

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

**Université Blida1
Faculté des Sciences de la nature et de la vie
Département de biotechnologie**



**Projet de fin d'études
En vue de l'obtention du diplôme de Master Académique en Agronomie
Option : agro ressources et impact environnemental**

**Thème :
Contribution à l'étude d'évaluation du niveau de contamination des
fruits de courgette conduite en plein champs par les intrants agricoles
(engrais et pesticides).**

Présenté par :

M^{me} : Benghanem Fahima

M^{elle} : Hamidouche Soraya

Devant le jury :

Monsieur	Zouaoui A	MAA	UB1	Président
Madame	Benrebeha FZ	Professeur	UB1	Promotrice
Monsieur	Boutahraoui SA	MAA	UB1	Examineur

Année Universitaire : 2015/2016

Remerciement

Avant tout, Nous remercions Allah le tout puissant de nous avoir donné la force d'arriver à ce stade et d'accomplir cette modeste étude.

Nous exprimons notre reconnaissance au professeur Benrebiha FZ pour l'encadrement, son aide et ses conseils apportés au cours de la réalisation de ce travail.

Nous prions Messieurs Zouaoui A et Bouthraoui SA pour avoir accepté de présider le jury et d'examiner ce travail.

Nous tenons à remercier le staff dirigeant de l'Institut Technique des Cultures Maraîchères et Industrielles (ITCMI) où la présente étude a été réalisée pour avoir accepté de nous accueillir au sein de leur établissement.

Nos remerciements s'adressent aussi à Messieurs Kistali, et Zerdali, également à Mademoiselle Bedj de l'ITCMI pour leur aide et encouragements.

Enfin nous adressons un grand merci à toute personne ayant participé de près ou de loin pour mener à bien ce modeste travail.

Résumé.

Il est aujourd'hui important d'étudier l'impact de la pollution par les éléments métalliques sur la végétation. Dans ce contexte, nous proposons d'étudier la teneur en éléments trace métalliques sur une espèce végétale comestible (courgette). deux types ont été sélectionnés, un type de courgette biologique sans aditifs et un autre conventionnel traité par les différents intrants culturales. Ainsi, une série d'analyses, par méthode Spectrométrie de masse à plasma, a concerné Les fruits des échantillons (courgette).

Les concentrations métalliques (oligo-éléments, macroéléments, métaux lourds) mesurées dans les plantes ne sont pas significativement supérieures aux normes de l'OMS. On trouve aussi des concentrations différentes entre les échantillons du même type. Ces analyses ont permis de conclure que l'accumulation des éléments traces métalliques dépend des paramètres physiologiques des plantes et pédologiques des sols et des pratiques culturales (conduites de la culture) ainsi que l'état de l'environnement de la culture.

ملخص

ومن المهم الآن لدراسة تأثير التلوث من العناصر المعدنية على الغطاء النباتي. في هذا السياق، فإننا نقترح دراسة المحتوى من العناصر النزرة المعدنية على الأنواع النباتية الصالحة للأكل (الكوسا). اثنين وقد تم اختيار أنواع، نوع من كوسه العضوية من دون إضافات، والأخرى غير العضوية المصنعة من قبل مختلف المدخلات الزراعة. وهكذا، سلسلة من التحليلات بطريقة البلازما الطيفي، عينات المعدنية من الفواكه (كوسه).

تراكيز المعادن (العناصر النزرة، عناصر الاقتصاد الكلي، والمعادن الثقيلة) يقاس في النباتات ليست أعلى بكثير من معايير منظمة الصحة العالمية. هناك أيضا تركيزات مختلفة بين عينات من نفس النوع. وقد خلصت هذه التحليلات أن تراكم المعادن النزرة يعتمد على المعايير الفسيولوجية للنباتات والتربة من الممارسات التربة والزراعة (خطوط للثقافة)، وحالة البيئة ثقافة

Abstract

It is now important to study the impact of pollution from the metal elements on vegetation. In this context, we propose to study the content of trace metal elements on an edible plant species (zucchini) .two types have been selected, a type of organic zucchini without additives and other non-organic processed by the various inputs farming. Thus, a series of analyzes by method plasma mass spectrometry, involved samples of fruits (zucchini).

The metal concentrations (trace elements, macro elements, heavy metals) measured in plants are not significantly higher than the WHO standards. There are also different concentrations between samples of the same type. These analyzes have concluded that the accumulation of trace metals depends on the physiological parameters of the plants and soil of soil and farming practices (lines of culture) and the status of the culture environment .

Liste des tableaux

Tableau 1 : Répartition de la surface agricole utile (ha)	15
Tableau 2 : Répartition de la surface des cultures herbacées (ha)	15
Tableau 3 : Répartition des cultures maraichères sous serres par wilaya	16
Tableau 4 : Répartition des cultures maraichères en plein champs par wilaya	17
Tableau 5 : Superficies consacrées à la culture de courgette	18
Tableau 6 : Liste des fertilisants appliquée	45
Tableau 7: Liste des produits phytosanitaires appliquée.....	46
Tableau 8: Liste des éléments étudiés	49
Tableau 9 : Dosage de la solution mère	49
Tableau 10 : Résultats de la présence des métaux lourds (ppm)	52
Tableau 11: Résultats de la contenance en macroéléments (ppm).....	53
Tableau 12 : Résultats de la teneur en oligoéléments (ppm)	54
Tableau 13 : Seuils de toxicité des éléments étudiés	58
Tableau 14 : Répartition des précipitations mensuelles.....	68
Tableau 15 : Températures mensuelles moyennes °C.....	68
Tableau 16: Résultats d'analyse	69
Tableau 17: Résultats d'analyses Granulométriques	69
Tableau 18: Résultats d'Analyse Physico – chimiques.....	69

Liste des figures

Figure 1: Section longitudinale de la fleur femelle	22
Figure 2: Section longitudinale de la fleur mâle	22
Figure 3: Courgette longue entière	23
Figure 4: Courgette longue sectionnée longitudinalement	23
Figure 5: Section transversale d'une courgette	23
Figure 6: Devenir des pesticides dans l'environnement. (Boucher, 2003).	33
Figure 7: Dispositif expérimental de l'essai.....	43
Figure 8: Travaux de préparation du sol	44
Figure 9 : Opération de semis	44
Figure 10 : Réseau d'irrigation goutte à goutte	45
Figure 12: Echantillon de courgette conventionnelle	46
Figure 11 : Echantillon de courgette biologique	46
Figure 13: Calendrier cultural de l'essai	47
Figure 14 : Spectroscopie de masse	48
Figure 15 : Présence des métaux lourds	52
Figure 16: Contenance en macro-éléments (ppm)	53
Figure 17 : Teneur en oligo-éléments (ppm).....	54

Liste des annexes

Annexe 1: Volume de production de courgette par wilaya (qx/ha)	67
Annexe 2 : Tableaux des données climatiques de la région d'essai	68
Annexe 3: Résultats d'analyses du sol et de l'eau	69
Annexe 4: Tableaux de résultats d'analyse par groupe d'éléments	70
Annexe 5: Tableaux des résultats d'analyse comparer les moyennes (teste de Student)	71
Annexe 6: Tableaux des résultats de test de corrélation	73

Liste des abréviations

NPK	: Azote -Phosphore- Potassium
Ppm	: 1 partie pour million
µm.	: Micromètre
µl	: Microlitre
Ppt	: 1 part pour trillion
ICAP	: Spectrométrie de masse à plasma a ions
CMV	: Concombre Maladie de virus
ZYMV	: Mosaïque jaune maladie virale de la courge
WMV	: Joses des pastèques mosaïque
Ec, Sf	: Mildiou
LMR	: Limite maximale de résidus
Ppb	: Partie pour billion
PpM	: Partie pour Million
SA	: Substance active
µg	: Microgramme
PH	: Potentiel hydrogène
Al	: Aluminium
As	: Arsenic
Cd	: Cadmium
Cu	: Cuivre
Fe	: Fer
Zn	: Zinc
Mo	: Molybdène
Co	: Cobalt
Cr	: Chrome
Hg	: Mercure
Mg	: Magnésium
S	: Soufre
Mgr	: Milligramme
Kcal	: Kilocalorie
Kjoules	: Kilojoules
Min	: Minute
Mm	: Millimètre
F1	: Première génération
DAR	: Date avant récolte
ICP	: Spectrométrie de masse à plasma
ITCMI	: Institut technique des cultures maraichères et industrielles
INRAA	: Institut national de la recherche agronomique
FAO	: Organisation mondiale de l'alimentation
OMS	: Organisation mondiale de la santé
JMPR	: Réunion conjointe FAO/OMAS sur les résidus de pesticides
ANSES	: Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation,
MADR	: Ministère de l'agriculture et du développement rural et de la pêche

Sommaire

Remerciements	
Résumé	
Liste des tableaux	
Liste des figures	
Liste des annexes	
Liste des abréviations	

Table de matières

Introduction

1. Chapitre 1 : Les cultures maraichères en Algérie	14
1.1. Importance des cultures maraichères	15
1.2. Répartition géographique des cultures maraichères	16
1.2.1. Cultures maraichères sous serres	16
1.2.2. Cultures maraichères en plein champs	17
1.2.3. Superficies consacrée à la culture de courgette	18
2. Chapitre 2 : Généralités sur la culture de la courgette	19
2.1. Historique et origine de la courgette (Curcubita pepo).....	20
2.2. Classification de la courgette	20
2.2.1. Classification botanique (systématique)	20
2.2.2. Classification génétique	21
2.3. Caractéristiques morphologiques de la courgette	21
2.3.1. L'appareil végétatif	21
2.3.1.1. Le système racinaire.....	21
2.3.1.2. La tige	21
2.3.1.3. La feuille	21
2.3.2. L'appareil reproducteur	22
2.3.2.1. La fleure	22
2.3.2.2. Le fruit	23
2.4. Exigences édaphoclimatiques de la courgette	24
2.4.1. Exigences climatiques	24
2.4.2. Exigences édaphiques	24
2.4.3. Mise en place de la culture	24
2.4.3.1. Préparation du sol:.....	24
2.4.3.2. Semis et plantation:.....	24
2.4.3.3. Entretien de la culture.....	25
2.4.3.4. Fertilisation.....	25
2.4.3.5. Irrigation.....	25
2.4.3.6. Récolte.....	25
2.4.4. Les contraintes de la culture de la courgette	25

2.5.	Importance de la courgette	25
2.5.1.	Valeur nutritionnelle des fruits	25
2.5.2.	Importance médicinale de la courgette :.....	26
3.	Chapitre 3: Généralités sur la Pollution, Type et sources	28
3.1.	Définition de la pollution	29
3.2.	Les origines de la pollution	29
3.2.1.	La pollution domestique	29
3.2.2.	La pollution industrielle.....	29
3.2.3.	La pollution agricole	30
3.2.3.1.	Les principaux polluants d'origine agricole.....	30
3.2.3.1.1.	Les fertilisants	30
3.2.3.1.2.	Les pesticides	30
3.3.	Les effets et les conséquences de la pollution agricole.....	31
3.3.1.	Les effets des fertilisants	31
3.3.1.1.	Les engrais chimiques.....	31
3.3.1.2.	Les engrais phosphatés	32
3.3.1.3.	Les engrais potassiques	32
3.3.1.4.	Les métaux lourds	32
3.3.2.	Les effets des pesticides	32
3.3.2.1.	Effets toxiques des éléments-traces en excès sur l'homme	33
3.3.2.1.1.	L'Arsenic	33
3.3.2.1.2.	Le Mercure	33
3.3.2.1.3.	Le Plomb	34
3.3.2.1.4.	Le Magnésium (Mg)	35
3.3.2.1.5.	Le Souffre (S).....	35
3.3.2.1.6.	L'Aluminium (Al).....	35
3.3.2.1.7.	L'Argent (Ag)	36
3.3.2.1.8.	Le Chrome (Cr)	36
3.3.2.1.9.	Le Cuivre (Cu)	36
3.3.2.1.10.	Le Fer (Fe).....	37
3.3.2.1.11.	Le Nickel (Ni).....	37
3.3.2.1.12.	Le Zinc (Zn)	38
3.3.2.2.	Impact environnemental	38
3.3.2.2.1.	Effets nocifs sur la microflore du sol.....	38
3.3.2.2.2.	Effets nocifs sur les mammifères	38
3.3.2.2.3.	Effets nocifs sur la faune aquatique	39
3.3.2.3.	Cadre législatif et réglementaire.....	39
3.4.	Analyse des résidus chimiques des engrais et pesticides	39

4. Chapitre 4 : Matériels et méthodes	41
4.1. Objectifs du travail	42
4.2. Matériels et méthodes	42
4.2.1. Conduite de l'essai sur terrain	42
4.2.2. Matériel.....	42
4.2.2.1. Site d'implantation de l'essai	42
4.2.2.2. Matériel végétal	42
4.2.2.3. Dispositif expérimental	42
4.2.2.3.1. Préparation du sol	44
4.2.2.3.2. Semis	44
4.2.2.3.3. Entretien de la culture	44
4.2.2.3.4. Fertilisation	45
4.2.2.3.5. Irrigation.....	45
4.2.2.3.6. Traitement phytosanitaires	46
4.2.2.3.7. Prélèvement des échantillons	46
4.2.3. Conduite d'analyse au laboratoire	48
4.2.3.1. Méthode utilisée	48
4.2.3.2. Principe de fonctionnement	48
4.2.3.3. Eléments étudiés	49
4.2.3.4. Protocole d'expérimentation	49
4.2.3.4.1. Préparation de la solution mère	49
4.2.3.4.2. Etablissement de la courbe d'étalonnage	49
4.2.3.4.3. Mode opératoire	49
5. Chapitre 5 : Résultats et Discussion	51
5.1. Résultats.....	52
5.1.1. Les métaux lourds	52
5.1.2. Les macro-éléments	52
5.1.3. Les oligo-éléments.....	53
5.2. Discussion	55
5.2.1. Les macro-éléments et les Oligo-éléments	55
5.2.2. Les métaux lourds	55

Conclusion et suggestions

Références bibliographiques

Annexes

Introduction

Introduction

Les enjeux d'avenir de l'agriculture s'efforcent de répondre aux objectifs de production qualitative et quantitative mais aussi aux exigences du développement durable. L'agriculture dite durable se propose de concilier les objectifs socio-économiques et environnementaux en adoptant de nouveaux systèmes de production. [1].

Si les effets bénéfiques des engrais et pesticides ne sont plus à démontrer, leur utilisation pose de sérieux problèmes pour l'environnement, pour la santé humaine et animale. Les engrais constituent une source de nutriments qui assure à la plante une croissance et une bonne résistance aux maladies. Une fertilisation excessive ou encore maladroite de la part des agriculteurs entraîne une pollution par une concentration élevée essentiellement en nitrates et phosphates. [2].

Les pesticides (insecticides, fongicides, herbicides) sont utilisés pour lutter contre les insectes, champignons, les mauvaises herbes et pour protéger les récoltes contre les ravageurs. En effet, ces substances qui ont une action rapide, peuvent, en parallèle, avoir une rémanence tenace. De plus, la toxicité liée à leur structure moléculaire, ne se limite pas aux seules espèces que l'on souhaite éliminer, elle s'exerce en outre sur de nombreux organismes non cibles et plus particulièrement l'homme.

De nos jours, des cas de pollution des ressources en eau par les résidus de pesticides, sont, en effet, signalés quotidiennement dans le monde, alors que la grande partie passe sous silence à cause du manque de diagnostic réel de la cause. Les pesticides constituent, de ce fait, un sujet de préoccupation majeur et le problème de résidus qui leur est lié reste d'actualité. [3].

Mais le rapport à l'alimentation a évolué, la nourriture doit être source de bonne santé pour l'organisme : le crédo « mangeons bien, mangeons sain » est devenu un message médiatique omniprésent, et désormais l'aliment est plus vanté pour ses qualités nutritionnelles que pour son goût. De la même manière, l'individu se préoccupe plus de l'environnement, nous devenons sensibles aux problèmes de pollutions, et ces préoccupations se retrouvent également dans le discours politique. Ainsi le consommateur se questionne sur les résidus de chimiques trouvés dans l'alimentation et dans l'environnement, et de leurs impacts sur la santé humaine. [4].

En mettant en place une stratégie efficace qui vise à limiter au maximum l'utilisation des produits phytosanitaires et engrais, toutes les composantes de l'écosystème en bénéficient.

En Algérie, les habitudes alimentaires basées autrefois sur les céréales ont tendance à changer d'orientation vers les fruits et légumes et ceci pour plusieurs considérations (santé, silhouette, mentalité ;;;).

Ce changement a forcé l'accroissement des volumes produits des fruits et légumes, pour répondre à cet objectif, les agriculteurs se basent essentiellement sur l'utilisation même excessive dans certain cas des intrants agricole tel que les engrais et les pesticides pour assurer le plus rendements possible.

La culture de courgette qui s'inscrit de plus en plus dans les menus des médecins diététiques a connu une évolution considérable dans la consommation, et ceci grâce à ses propriétés nutritionnelles et médicinales.

Dans le but de donner un aperçu sur la qualité de la courgette consommée sur le plan de la teneur des éléments chimiques traces, nous nous intéressons dans ce travail à l'étude de l'effet des engrais et des pesticides sur les caractéristiques physicochimiques pour deux types de cultures différentes (biologique et conventionnelle). Le présent document est segmenté en deux parties :

Une première partie consacrée à l'étude bibliographique des chapitres suivants :

- Situation des cultures maraichères en Algérie
- Généralités sur la culture de la courgette
- Pollution et analyse des résidus

Une deuxième partie consacrée à l'étude expérimentale, et discussion des résultats à travers les chapitres suivants :

- Matériels et méthodes
- Résultats et Discussion

Pour terminer, une conclusion résume l'ensemble des résultats et des perspectives de recherche ont été dégagés.

Chapitre 1 : Les cultures maraichères en Algérie

1.1. Importance des cultures maraichères :

Elles ont connu un développement important au cours des dernières années. La production totale est passée de 6 millions de tonnes en 2007/2008 à 9,5 millions en 2010/2011, soit une augmentation de 58 %. La pomme de terre, produit de grande consommation, est l'espèce la plus représentée avec une production de 3,8 millions de tonnes. L'Algérie est d'ailleurs devenue récemment exportatrice de pomme de terre. [5].

La surface agricole utile est estimée à 8 475 616 hectares ce qui représente seulement 20% de la surface agricole totale qui est estimée à son tour à 42 902 131 Ha, comme le montre le tableau suivant :

Tableau 1 : Répartition de la surface agricole utile (ha)

Spécifications	Superficie (ha)	%
Cultures herbacées	4 417 513	52%
Terres au repos	3 065 544	36%
Plantations fruitières	898 930	11%
Vignobles	70 852	1%
Prairies naturelles	25 777	0%
Total Superficie Agricole Utile (S.A.U)	8 478 616	20%
Pacages et parcours	32 965 976	77%
Terres improductives des exploitations agricoles	1 457 539	3%
Total des terres utilisées par l'agriculture (S.A.T)	42 902 131	100%

Source : MADR 2014

Les cultures herbacées occupent près de 52% de la SAU soit 4 417 513 Ha, les cultures maraichères sont classées après les céréalicultures avec une superficie totale de 432 516 Ha soit 10% de la SAU.

Tableau 2 : Répartition de la surface des cultures herbacées (ha)

Désignation	Superficie (Ha)	%
Céréales d'hiver	2 948 449	67%
Céréales d'été	1 058	0%
Légumes secs	90 507	2%
Fourrages artificiels	916 001	21%
Cultures industrielles	28 472	1%
Cultures maraichères	432 516	10%
Autres cultures	510	0%
Total cultures herbacées	4 417 513	100%

Source : MADR 2014

Les cultures maraichères occupent une superficie totale de 432 516 ha soit 10% de la surface totale des cultures herbacées estimée à 4 417 513 ha, elles sont classées comme troisième groupe après les cultures céréalières et fourragères.

1.2. Répartition géographique des cultures maraichères :

1.2.1. Cultures maraichères sous serres:

Le tableau ci-dessous trace la répartition des cultures maraichères sous serres à travers le territoire nationale. [5].

Tableau 3 : Répartition des cultures maraichères sous serres par wilaya

Wilaya	Superficie (Ha)	Production Qx	Rdt Qx/Ha	Wilaya	Superficie (Ha)	Production Qx	Rdt Qx/Ha
Adrar	83,92	47 975	572	Mostaganem	773	485 938	629
Chlef	668	464 800	696	M'Sila	155	110 400	712
Batna	4,44	5 959	1 342	Mascara	8,24	4 900	595
Bejaia	59,43	43 254	728	Ouargla	679,05	181 950	268
Biskra	5 164	5 087 069	985	Oran	30,96	26 451	854
Bechar	1,16	870	750	Illizi	0,48	486	1 013
Blida	171,91	65 987	384	Boumerdes	424	240 700	568
Tamanrasset	4,64	1 120	241	El-tarf	2,16	2 290	1 060
Tlemcen	210	156 000	743	Tindouf	11,08	8 192	739
Tizi-Ouzou	14,8	8 709	588	El-oued	182	125 375	689
Alger	460	304 622	662	Khenchela	21	44 250	2 107
Djelfa	24,15	7 570	314	Tipaza	1 901,56	1 165 930	613
Jijel	879,23	583 147	663	Mila	9,5	5 300	558
Sétif	301,52	324 558	1 076	Ain-Defla	200	150 180	751
Skikda	31,84	27 556	866	Ain Temouchent	77,52	42 259	545
Constantine	1,32	463	351	Ghardaïa	1,86	744	400
Total Algérie					12 558	9 725 004	774

Source : MADR 2014

D'après le tableau de répartition des cultures maraichères sous serres, c'est la wilaya qui monopolisent ce type d'occupation suivi directement par les wilayas : Tipaza, Jijel, Ouargla et Alger.

1.2.2.Cultures maraichères en plein champs :

Le tableau ci-dessous trace la répartition des cultures maraichères sous serres à travers le territoire nationale. [5].

Tableau 4 : Répartition des cultures maraichères en plein champs par wilaya

Wilaya	Superficie (Ha)	Production Qx	Rdt Qx/Ha	Wilaya	Superficie (Ha)	Production Qx	Rdt Qx/Ha
Adrar	4 499	724 172	161	Constantine	3 527	363 166	103
Chlef	10 483	4 400 150	420	Médéa	8 706	1 193 010	137
Laghouat	9 881	1 849 365	187	Mostaganem	28 692	7 707 222	269
O.E.Bouaghi	3 223	711 808	221	M'Sila	10 140	2 470 150	244
Batna	11 352	2 137 971	188	Mascara	29 633	7 335 000	248
Bejaia	5 935	983 466	166	Ouargla	4 773	962 439	202
Biskra	19 415	7 600 800	392	Oran	4 035	457 190	113
Bechar	4 100	595 609	145	El-Bayadh	2 294	393 421	172
Blida	5 170	1 737 775	336	Illizi	198	21 661	109
Bouira	8 117	2 052 270	253	B.B.Arreridj	1 971	247 544	126
Tamanrasset	1 651	199 289	121	Boumerdes	26 925	7 534 100	280
Tébessa	2 571	580 000	226	El-tarf	12 050	2 295 000	191
Tlemcen	19 980	3 294 100	165	Tindouf	145	37 842	261
Tiaret	11 475	3 718 183	324	Tissemsilt	977	99 879	102
Tizi-Ouzou	7 040	1 118 172	159	El-Oued	40 150	12 789 000	319
Alger	14 128	3 509 070	248	Khenchela	3 117	428 915	138
Djelfa	7 807	1 524 960	195	Souk-Ahras	5 505	1 021 350	186
Jijel	6 107	1 225 619	201	Tipaza	16 439	4 610 720	281
Sétif	10 761	2 223 649	207	Mila	4 686	1 574 546	336
Saida	4 748	1 273 928	268	Ain-Defla	36 464	12 419 356	341
Skikda	21 917	5 000 100	228	Naama	3 280	471 060	144
S.B.Abbes	7 994	2 264 501	283	Ain Temouchent	11 342	1 731 034	153
Annaba	8 850	1 358 000	153	Ghardaïa	4 852	872 032	180
Guelma	11 772	2 629 696	223	Relizane	20 226	3 229 180	160
Total Algérie					499 103	122 977 470	246

Source : MADR 2014

D'après le tableau de répartition des cultures maraichères en plein champs, c'est la wilaya qui Biskra qui monopolisent ce type d'occupation suivi directement par les wilayas : Tipaza, Jijel, Ouargla et Alger, d'une manière générale il s'agit du même scénario que les cultures sous serres.

1.2.3. Superficies consacrée à la culture de courgette :

Tableau 5 : Superficies consacrées à la culture de courgette

Primeur	Superficie (Ha)	925
	Production Qx	244 421
	Rdt Qx/Ha	264
Saison	Superficie (Ha)	10 563
	Production Qx	2 119 823
	Rdt Qx/Ha	201
Sous serres	Superficie (Ha)	1 189
	Production Qx	488 683
	Rdt Qx/Ha	411
Total	Superficie (Ha)	12 677
	Production Qx	2 364 244
	Rdt Qx/Ha	186

Source : MADR 2014

En 2014, c'est la culture de saison qui domine la superficie totale de la culture de courgette avec une superficie de 10 563 hectares soit 83% de la surface totale. [5].

La répartition des surfaces affectées à la culture de courgette par wilaya est donnée en annexe, où il est mentionné :

- ✚ La culture de courgette en primeurs est localisée dans les wilayas de Skikda, Tipaza et Alger avec des superficies respectivement de 295ha, 211 ha et 130ha.
- ✚ La culture de courgette de saison est localisée dans les wilayas de Mostaganem, Skikda, et M'Sila avec des superficies respectivement de 945ha, 710 ha et 650ha.
- ✚ La culture sous serre de courgette est localisée dans les wilayas de Tipaza, Bejaia et Boumerdes des superficies respectivement de 252ha, 229 ha et 170ha.

Chapitre 2 : Généralités sur la culture de la courgette

2.1. Historique et origine de la courgette :

La courgette fait partie de la famille des cucurbitacées, les courges sauvages existent depuis fort longtemps. En effet on en retrouve des traces 10 000 ans avant notre ère, ancêtres de la courgette elles étaient déjà consommées en Amérique centrale, au Mexique et au Guatemala. Progressivement elles seront domestiquées et elles seront plus fruitées et plus charnues. Elles font partie d'un sous-groupe de courges dites « à moelle ». Jusqu'au XVe siècle ces courges ancêtres de la courgette étaient cultivées avec le maïs et les fèves par les Aztèques, les Incas et les Mayas. [6].

C'est au XVIe siècle lors des conquêtes que les conquistadores espagnols découvrent l'*askutasquash* des Indiens déjà largement cultivé. Rapidement ils en apprécient la chair et rapportent des graines en Europe pour les jardins botaniques afin de les étudier, avant de les cultiver comme légumes. Pendant près de 400 ans cette « courge à moelle », va faire l'objet d'études dans le but d'obtenir de nouvelles variétés, des floraisons hâtives et des fruits uniformes. [6].

Elle sera rapidement adoptée par les consommateurs du monde entier, notamment en Asie et en Afrique où elle symbolise l'abondance et la fécondité.

Au XVIIIe siècle les Italiens vont se spécialiser dans sa culture, puis la courgette va se répandre dans tout le bassin méditerranéen et remonter vers la France vers le XXe siècle. Ce n'est qu'en 1929 que le terme « courgette » apparaît dans la langue française qui la nommait jusque-là « courge d'Italie ». Aujourd'hui la courgette se retrouve toute l'année sur les étals, grâce aux possibilités techniques à savoir les serres chauffées. [7].

2.2. Classification de la courgette :

2.2.1. Classification botanique (systématique) :

- Règne Plantae
- Division Magnoliophyta
- Classe Magnoliopsida
- Ordre Violales
- Famille Cucurbitaceae
- Genre Cucurbita
- Espèce Cucurbita pepo

La courgette est une plante de la famille des Cucurbitacées, la courgette fait partie de l'espèce des courges « vraies » (*Cucurbita pepo*), espèce la plus répandue du genre *Cucurbita*, qui comprend également certaines variétés de citrouilles, les courges spaghetti, les pâtissons et les patidoues. [7].

2.2.2. Classification génétique :

La courgette cultivée, *Cucurbita pepo* est une espèce monoïque avec $2n=16$ chromosomes, chez laquelle il existe de très nombreux mutants monogéniques, dont certains sont très importants pour la sélection.

Les fleurs de *Cucurbita pepo* se comportent comme une plante allogame. On ne peut avoir de fécondation croisée dans la nature. [7].

Variétés fixes : Il existe plus de cinq variétés fixes (conservent les qualités parentales). Leurs légumes sont plus ou moins réguliers, sont sensibles aux maladies, mais avec de bonnes qualité gustative. [8].

Variétés hybrides : Les variétés hybrides sont plus nombreuses. Elles sont relativement récentes, puisqu'elles n'existent que depuis 1960. [8].

2.3. Caractéristiques morphologiques de la courgette :

2.3.1. L'appareil végétatif :

2.3.1.1. Le système racinaire

Le système racinaire est fort développé, une solide racine pivotante se développe rapidement et peut descendre jusqu'à 1.50m de profondeur, mais le chevelu racinaire est presque totalement concentré dans la première tranche de 60 cm.

Les primordiales des racines latérales se développent dans le voisinage immédiat de la zone tropicale (1mm). Cette partie peut être très facilement subir de dégâts lors du repiquage, ce qui compromet la ramification et risque d'entraîner la mort de la plantule, le semis direct (en place) est donc préférable. [9].

2.3.1.2. La tige :

L'axe principal de la plante se développe lentement, par conséquent la tige et les branches sont relativement courtes et la plante peut avoir un port érigé ou être grimpante, mais de toute façon, il n'est pas nécessaire de prévoir des tuteurs. [10].

2.3.1.3. La feuille :

La courgette développe de larges feuilles au centre desquelles se forment des fleurs. Les feuilles sont alternes et stipulées (dotées d'une petite excroissance au début de la tige), Les feuilles sont grandes, lobées et possèdent de longs pétioles. Elles partent de la base de la plante pour former une grande touffe. On trouve à leur base une vrille solitaire qui s'entoure autour des longs pétioles. Les fleurs sont jaunes et unisexuées. Les pétales et sépales sont au nombre de cinq. Les pétales sont le plus souvent soudés à la base. [11].

2.3.2. L'appareil reproducteur :

2.3.2.1. La fleur :

La courgette est une plante monoïque, chaque pied porte deux types de fleurs : mâles et femelles. Le nombre de fleurs mâles est toujours plus élevé que celui des fleurs femelles, ce qui est nécessaire pour assurer la fécondation de ces dernières. [12].

La fleur femelle (fig.01) est portée par un court pédoncule anguleux, elle est constituée d'un calice formé de 5 petits sépales triangulaires formant 5 dents. La corolle, jaune d'or de grande taille, est constituée de 5 pétales plus ou moins soudés entre eux. Le stigmate est constitué de trois lobes supportés par un style formé de 3 colonnes et au-dessous duquel se trouve un ovaire infère de grande taille (future courgette) contenant en moyenne 411 ± 52 ovules (9). Le nectaire consiste en un canal autour de la base du style bordé par un anneau.

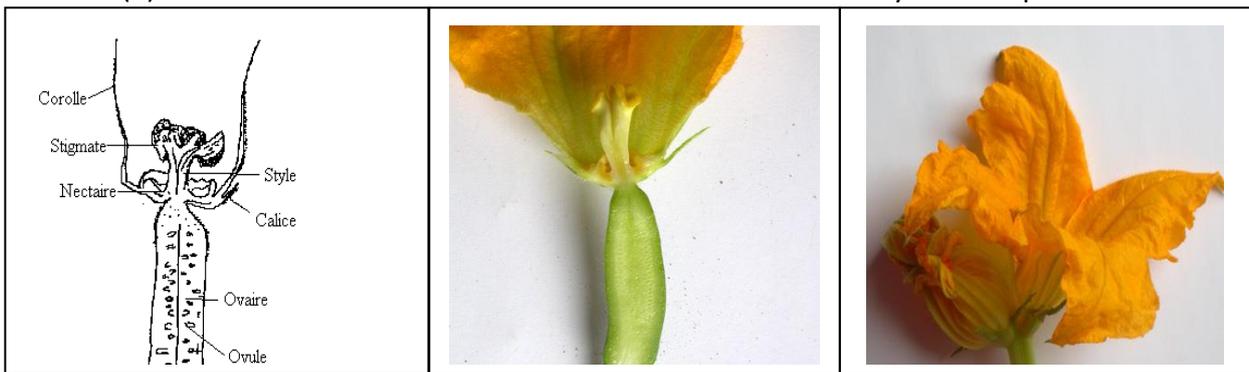


Figure 1: Section longitudinale de la fleur femelle

La fleur mâle (fig.01) est portée par un long et grêle pédoncule, elle est constituée d'un calice formé de 5 sépales verts longs et minces. La corolle, jaune d'or et également de grande taille, est soudée au calice. Elle est formée de 5 pétales plus ou moins longuement soudés entre eux. Il y a 5 anthères tubulaires pliées pour former la colonne anthérifère. Les 5 anthères produisent une moyenne de 16487 ± 231 grains de pollen (9). Le nectaire se trouve à l'intérieur d'une niche à la base des filets staminaux qui forment autour de lui une couronne [12].



Figure 2: Section longitudinale de la fleur mâle

Les fleurs mâles sont stériles (elles ne donneront pas de courgettes) mais possèdent des étamines. Les fleurs femelles ne possèdent pas d'étamines mais un ovaire situé sous l'insertion des pièces florales et qui donnera le fruit. [12].

Comme on le voit en observant de jeunes courgettes, l'ovaire puis le fruit se développe sous l'insertion des pièces florales (ovaire infère) et ceci explique l'origine réceptacle de la partie externe du fruit (comparer avec la pomme). [12].

2.3.2.2. Le fruit

Le fruit provient d'un ovaire infère adhérent. Le péricarpe charnu provient en partie dans sa partie externe du réceptacle de la fleur. En colorant une coupe de courgette par un colorant spécifique de la lignine (la phloroglucine), on peut visualiser le trajet des tissus conducteurs depuis le pédoncule jusqu'au réceptacle floral. On constate alors que des vaisseaux conducteurs irriguent la partie périphérique du fruit jusqu'à l'ancienne insertion des pièces florales (partie du péricarpe due au développement du réceptacle). D'autres vaisseaux, centraux, irriguent les carpelles (vrai fruit au sens botanique). [12].

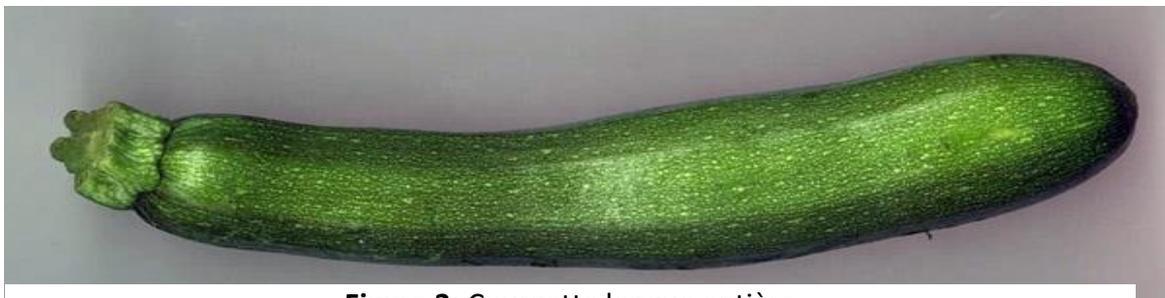


Figure 3: Courgette longue entière



Figure 4: Courgette longue sectionnée longitudinalement

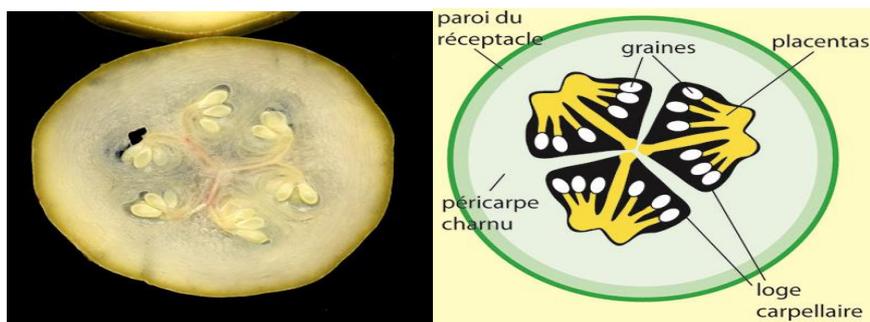


Figure 5: Section transversale d'une courgette

2.4. Exigences édaphoclimatiques de la courgette :

2.4.1. Exigences climatiques :

La courgette est une plante exigeante en chaleur, en eau. Les températures de germination des graines: 20 à 25 °C (germination dure 36 à 48 heures). Attention à ne pas arroser les graines avec de l'eau froide, ce qui diminue la vigueur des futurs plants et qui favorise la fonte des semis. L'température d'élevage du plant: 16 à 25 °C (selon luminosité) et avec une température de substrat de 18 °C. La température du sol pour une bonne implantation doit être au moins de 12 °C. Les températures optimales en végétation : - diurnes : 25 °C - nocturnes : 13 à 15°C

L'hygrométrie de l'air et l'humidité du sol ont une influence sur le développement des plantes : une hygrométrie de 80 % maximale est requise, au-delà, les risques de botrytis sont importants. La croissance rapide et la production importante exigent des quantités d'eau importantes mais les excès d'eau sont néfastes: asphyxie racinaire (pythium, phytophthora etc....), Il faut fractionner les irrigations. Les besoins en eau pour une culture de printemps de 4 mois (sous abris) sont évalués à 200 à 300 mm. . [13].

2.4.2. Exigences édaphiques :

Le sol doit être léger et riche en humus. L'acidité du sol doit être neutre et maintenir la terre très légèrement humide. La courgette aime le soleil, ce sont ses feuilles caduques assez grandes qui jouent parasol pour ses fruits. La distance de plantation entre les pieds doit être supérieure à 50 cm dans tous les sens. [13].

2.4.3. Mise en place de la culture :

2.4.3.1. Préparation du sol:

- Labour 25 à 30 cm
- Epannage fumure de fond
- Disquage croisé [14].

2.4.3.2. Semis et plantation:

- **Semis** : sous serre en pépinière septembre octobre,
- **Plantation** octobre décembre : **Distances de plantation** : Entre rangs : 1,10 à 1,30 m
Entre ligne : 0,50 à 0,60 m
- Plein champ : Semis direct : mars avril mai
- **Distances de plantation** : Entre rangs : 1,20 à 1,50 m Entre ligne : 0,50 à 0,60 m
- Sous tunnel : semis direct : novembre – décembre
- **Densité** : 11 000 à 16 000 plants/ ha. [13].

2.4.3.3. Entretien de la culture

- Binage
- Eclaircissage
- Désherbage

2.4.3.4. Fertilisation

Fumure de fond :

- Organique : 30 t / ha
- Minérale : 120 unités de n / ha, 60 unités de p / ha, 100 unités de k / ha

Fumure d'entretien : 2 apports

- 1er apport à la nouaison 30 unités / ha
- 2ème apport 15 jours après le 1^{er} 30 unités de n / ha 20 unités de k / ha. [14].

2.4.3.5. Irrigation

Recommandé le réseau goutte à goutte, les besoins estimés sont de l'ordre de :

- primeur (sous abris) : **1500 à 2000 m³ / ha**
- primeur (sous tunnel) : **2000 à 2500 m³ / ha**
- saison : **2500 m³ / ha.**

2.4.3.6. Récolte

Récolte manuelle à l'aide d'un couteau

Rendements : 30 à 50 t / ha sous serre, 25 à 40 t / ha en plein champ

2.4.4. Les contraintes de la culture de la courgette :

La courgette semble avoir une productivité potentielle très élevée mais très peu exploitée. La production fluctue très fortement, en fonction de la plante en fonction de la technologie et le marché présente une faible élasticité.

Au niveau de la plante elle-même, on est en droit de s'attendre à quelques améliorations grâce à la création et à la culture de variétés plus tolérante ou plus résistante aux parasites (en particulier à l'oïdium) et qui développent davantage de fruits parthénocarpiques.

Les techniques culturales semblent devoir surtout faire face à des troubles physiologiques de croissance liés aux variations d'humidité de l'air et du sol. [14].

2.5. Importance de la courgette :

2.5.1. Valeur nutritionnelle des fruits :

La courgette améliore la qualité nutritionnelle de l'ensemble de l'alimentation, puisqu'elle renforce l'apport minéral et vitaminique de la ration, sans aucun risque de surcharge énergétique. [15].

La courgette est particulièrement savoureuse lorsqu'elle mesure entre 15 et 20 cm. Elle est indispensable dans la ratatouille. Les fleurs mâles sont comestibles ; farcies ou frites en beignets, elles ont une saveur délicate. [16].

Quand la courgette va vers sa maturité, les graines deviennent grosses et dures dans la cavité centrale. A ce stade, elle sert à confectionner des potages, car son taux de fibres est plus élevé, ce qui la rend beaucoup moins tendre. En potage, elle permet un drainage efficace des voies digestives, mais perd une partie de ses vitamines. [16].

La courgette se consomme rarement crue, mais plutôt cuite dans de multiples plats, ratatouille, couscous, gratins. [17].

Crues, elles se conservent au frais dans le bas du réfrigérateur mais il vaut mieux ne pas les garder plus de deux jours car elles perdent leur eau, leur brillant et leur fermeté.

Découpées en rondelles et blanchies 1 min, vous pourrez les congeler après les avoir bien égouttées ([17].

La courgette est très peu énergétique, seulement 15 Kcalories ou 63 Kjoules

100 gr de courgette est composé de :

- 93 % d'eau
- 0,6 à 1,5 % de fibres suivant leur maturité
- 3 % de protéines
- 0,4 % de lipides
- 3% de glucides.

100 gr de courgette contiennent comme les minéraux :

- Potassium: 200
- Calcium: 30
- Phosphore : 25
- Sodium : 3
- Fer : 0,3
- Zinc : 0,3
- Manganèse : 0,14
- Cuivre : 0,08. [18].

2.5.2.Importance médicinale de la courgette :

La grande teneur en provitamine A, font de la courgette plus une plante médicinale qu'un légume. Une ration de 300 g de courgette a un faible apport calorique, seulement 50 kcal, apporte : - 1 mgr de provitamine A ; soit 130% de la dose journalière recommandée. [17].

Rôle de la provitamine A :

- Intervient dans la défense de notre organisme contre les agents infectieux.
- Agit, grâce au rétinol, sur la vue, la protection des tissus de l'œil et la qualité des muqueuses.
- Elle est un facteur capital de la croissance.
- Indispensable à la nutrition de tous les tissus (cartilages, os, organes digestifs, vaisseaux sanguins)
- Favorise le sommeil.
- Régule la tension artérielle
- Entretien la thyroïde
- Frénateur folliculaire dans le syndrome douloureux qui précède les règles
- La vitamine A résiste dans la cuisson à moins de 100°C et est liposoluble.

- 600 mgr de potassium ; soit 17 % de la dose journalière recommandée. [17].

Rôle du potassium :

- Maintien l'équilibre en eau des cellules
- Stabilise la structure des cellules
- Entretien la propagation de l'influx nerveux
- Améliore les performances musculaires
- C'est donc le complément indispensable à la provitamine A.

- 45 mgr de vitamine C ; soit 75 % de la dose journalière recommandée. [17].

Rôle de la vitamine C :

- Favorise le métabolisme du fer
- Antioxydant
- Renforce les défenses immunitaires
- Combat les infections
- Accélère la cicatrisation des plaies
- Renforce les tissus
- Antihistaminique naturel
- Soluble dans l'eau, les excédents sont rejetés par les urines. [18].

La très faible teneur en sodium (3 mg/100 g), fait de la courgette l'élément clé du régime hyposodé (sans sel). Les fibres tendre de la courgette jeune stimulent en douceur les fonctions des intestins et convient parfaitement aux systèmes digestifs délicats :

Cueillie jeune et cuite après avoir été grattée ou épluchée, elle fait partie des premiers légumes que l'on peut introduire dans le régime des opérés du tube digestif, ou des personnes ayant souffert de gastrite ou de crise ulcéreuse. [17].

Chapitre 3

Généralités sur la Pollution, Type et sources

La protection de l'environnement et la sécurité alimentaire sont depuis plus de dix ans deux préoccupations majeures du monde.

Comme toute activité humaine, l'utilisation inconsidérée des intrants agricoles peut avoir des impacts négatifs sur l'environnement.

Par ailleurs, l'application des traitements phytosanitaires et la fertilisation raisonnée a des effets positive sur la qualité des produits agricoles et contribue en revanche un impact certain sur la qualité des produits agricoles et contribue à l'offre d'une alimentation variée, dans un environnement sain et équilibré.

3.1. Définition de la pollution :

Le terme « pollution » désigne la présence d'une substance au-delà d'un seuil pour lequel des effets négatifs sont susceptibles de se produire. [18].

Polluer signifie étymologiquement : profaner, souiller, salir, dégrader. Ces vocales ne prêtent pas à équivoque et nous paraissent tout aussi adéquats que les longues définitions données par les experts. Parmi celles-ci nous retiendrons la suivante, publiée dans un rapport rédigé en 1965 par le comité scientifique officiel de la maison blanche intitulée : «pour restaurer la qualité de notre environnement » : «La pollution est une modification défavorable du milieu naturel qui apparaît en totalité ou en partie comme un sous-produit de l'action humaine, au travers d'effets directs ou indirects altérant les critères de répartition du flux d'énergie, des niveaux de radiation, de la constitution physico-chimique du milieu naturel et de l'abondance des espèces vivantes. Ces modifications peuvent affecter l'homme directement ou à travers des ressources agricoles, en eau et en autres produits biologiques. Elles peuvent aussi l'affecter en altérant les objets physiques qu'ils possèdent, les possibilités réactives du milieu. » [19].

3.2. Les origines de la pollution :

Selon l'origine des substances polluantes, quatre catégories de pollutions sont à distinguer [20].

3.2.1.La pollution domestique:

Elle provient des habitations et elle est, en général, véhiculée par le réseau d'assainissement jusqu'à la station d'épuration. La pollution domestique se caractérise par la présence des germes fécaux, de fortes teneurs en matières organique, des sels minéraux et des détergents [20]. Elle peut être responsable de l'altération des conditions de transparence et d'oxygénation de l'eau ainsi que du développement de l'eutrophisation dans les rivières. [21].

3.2.2.La pollution industrielle

Elle provient des usines et elle est caractérisée par la présence d'une grande diversité des polluants, selon l'utilisation de l'eau tels que [22]:

- Les hydrocarbures (raffinerie) ;
- Les métaux (traitement de la surface) ;
- L'eau chaude (circuit de refroidissement des centrales thermiques) ;
- Les matières radioactive (centres nucléaires, traitement des déchets radioactifs).

Il peut y avoir un effet toxique sur les organismes vivants, par l'accumulation de certains éléments dans les denrées alimentaires tels que les métaux et les pesticides. [24]

3.2.3. Pollution naturelle

Certains auteurs considèrent que divers phénomènes naturels sont aussi à l'origine de la pollution (éruption volcaniques, etc.) [25].

3.2.4. La pollution agricole

Elle provient des fermes ou des cultures et elle se caractérise par les fortes teneurs en sels minéraux (NO₂, P, K,...) et la présence de produits chimiques des traitements (pesticides, engrais...) [24,25].

3.2.4.1. Les principaux polluants d'origine agricole

La pollution agricole s'est intensifiée depuis que l'agriculture est entrée dans un stade d'industrialisation. La pollution d'origine agricole peut se présenter sous deux formes : diffuse lorsque elle concerne de grandes surfaces et ponctuelle lorsqu'elle est accidentelle ou chronique sur un espace plus réduit [25].

3.2.4.1.1. Les fertilisants

Les engrais chimiques sont dispersés dans les sols afin d'accroître les rendements des végétaux cultivés. Parmi les éléments principaux aux développements des plantes, nous avons l'azote, le phosphate, le potassium et dans une moindre mesure le soufre, le calcium, le magnésium et d'autres oligo-éléments. L'usage intensif et successif de ces produits contamine le sol, les eaux superficielles et même les nappes phréatiques [25].

A. Les engrais azotés :

Parmi les engrais chimiques les plus utilisés nous citons le nitrate d'ammonium, le nitrate de calcium, le sulfate d'ammonium et l'urée. Les nitrates proviennent essentiellement de la minéralisation des matières organiques du sol et des apports d'engrais minéraux azotés. La lixiviation a lieu lorsque la couche du sol atteint l'humidité à la capacité au champ le drainage reprend et les pertes vont dépendre du stock d'azote minéral présent et de la pluviométrie hivernale [25].

B. Les engrais phosphatés :

Les phosphates sont surtout dispersés sous forme de superphosphates (ortho phosphates solubles). La majorité du phosphore utilisé comme engrais chimiques est immobilisé dans les sols à cause de leur richesse en azote, en aluminium et en fer qui fixent ces éléments [26].

C. Les engrais potassiques :

Le potassium est exprimé sous forme K₂O, apporté par du chlorure, du nitrate et du sulfate de potassium [26].

3.2.4.1.2. Les pesticides :

L'usage des pesticides connaît une expansion considérable, non seulement dans les pays développés et sur les cultures tropicales d'exportation, mais aussi dans l'ensemble des pays du tiers monde où la «révolution verte » a augmenté les exigences en traitements antiparasitaires car elle a propagé des variétés moins résistantes aux divers ravageurs des cultures que les souches cultivées autochtones. [27].

3.3. Les effets et les conséquences de la pollution agricole

Les plantes sont exposées de deux façons aux éléments-traces : par les parties aériennes et par les racines. Les éléments-traces peuvent être déposés à la surface des feuilles et des racines (dans ce cas un lavage à l'eau en enlève une partie) ou pénétrer dans la plante.

Ils peuvent y pénétrer par les parties aériennes (feuilles, tiges, fruits), à partir de particules en suspension dans l'air, de composés gazeux (notamment pour le Hg et le Se) ou de composés dissous dans l'eau de pluie ou d'irrigation [28].

Ils peuvent pénétrer par les racines à partir du sol. Une fois prélevés par la plante, les éléments-traces peuvent être piégés et ne pas circuler dans la plante, ou alors être transportés du lieu de l'absorption vers un autre organe végétal [28].

Dans les zones de forte pollution atmosphérique, comme à proximité d'une industrie de fabrication d'alliages de métaux ou à côté d'une autoroute, les retombées atmosphériques de métaux sur les parties aériennes des plantes, par les pluies ou par les poussières (projections de terre polluée ou poussières émanant des industries), sont importantes. Dans ce cas, la contamination des feuilles, tiges et fruits est élevée. Une partie de cette contamination peut être enlevée par simple lavage à l'eau, ce qui montre qu'elle reste à la surface des parties aériennes en un dépôt superficiel. Une autre partie reste piégée dans les feuilles par exemple. Il est vraisemblable qu'une troisième partie des éléments-traces peut être transportée dans la plante, mais son importance est controversée.

Dans les zones de faible pollution, les avis des scientifiques divergent sur l'importance de l'entrée d'éléments-traces par les parties aériennes [28].

3.3.1. Les effets des fertilisants :

Les engrais chimiques tels que le nitrate d'ammonium, de calcium, de sulfate d'ammoniac, le superphosphate, etc., nécessaires, à la production croissante d'aliments, sont devenus une source importante de pollution des sols et des eaux [29]. Ils provoquent un déséquilibre de certains cycles biogéochimiques, la dégradation du sol et également l'eutrophisation. [30].

3.3.1.1. Les engrais chimiques

La super fertilisation en nitrates des terres des cultures s'accompagne d'une augmentation de leurs taux dans les tissus des végétaux qui croissent dans ces derniers.

Le nitrate et le nitrite participent à l'acidification des eaux de pluies, réagissent avec l'oxygène et produisent de l'ozone (O₃) dans les basses atmosphères. Leur forte absorption dans le domaine provoque le smog photochimique (contribue à l'effet de serre) [31].

3.3.1.2. Les engrais phosphatés :

L'homme a modifié radicalement les réserves naturelles de phosphate par l'addition d'engrais riche en phosphate dans le sol. Les phosphates d'origine agricole représentent 0,3 Mt/an, auxquels il faut ajouter ceux libérés par les élevages [32].

Les phosphates provoquent l'eutrophisation de l'eau, c'est-à-dire un excès de nutriments, se traduisant par une croissance excessive des algues et une diminution de l'oxygène, ce qui modifie massivement l'écosystème en place, détruisant la biodiversité et favorisant la croissance d'espèces nuisibles [33].

3.3.1.3. Les engrais potassiques :

La potasse est naturellement présente dans les terres, certains sols étant plus riches que d'autres. Quelques végétaux sont particulièrement avides de potasse, tels que les pommes de terre, les betteraves, ou encore la vigne [34].

3.3.1.4. Les métaux lourds

Divers métaux et métalloïdes (présents dans les engrais phosphatés) constituent un très sérieux risque potentiel de contamination des terres cultivées. Ils sont à moins de 1l /1000 chez les êtres vivants. Certains sont essentiels à la vie alors que, leur excédent (Cd, Hg, Pb, ...) est toxique pour l'homme [35].

3.3.2. Les effets des pesticides :

L'impact des pesticides sur l'environnement est incontestable. Après ruissellement et infiltration, ces produits se trouvent dans le sol entraînant sa pollution et celle des nappes phréatiques [36].

Au sens de la directive européen 91/414, les produits phytosanitaires désignent les substances actives et les préparations contenant une ou plusieurs substances actives qui sont destinées à: [40].

- ❖ Protéger les végétaux contre tous les organismes nuisibles ou à prévenir leur action, exercer une action sur les processus vitaux des végétaux,
- ❖ Assurer la conservation des végétaux,
- ❖ Détruire les végétaux indésirables,
- ❖ Détruire des parties des végétaux pour freiner ou prévenir une croissance indésirable.

Seule une faible partie de ces produits entre en contact avec les organismes cibles. La plupart des chercheurs l'évalue à moins de 0,3% , ce qui veut dire que 99,7 % de la quantité épandue n'atteignent pas la cible visée [41].

Cette partie se disperse alors dans les trois compartiments de l'environnement : l'air, le sol et l'eau. Les mécanismes qui gouvernent ce devenir sont nombreux et complexes et encore souvent mal connus. Cependant, suivant un schéma classique (figure 06), ils peuvent se classer en trois types [41,42].

- La rétention (dans le sol),

- La dégradation (abiotique et biotique),
- Le transfert (vers l'atmosphère, les eaux de surface et les eaux souterraines).

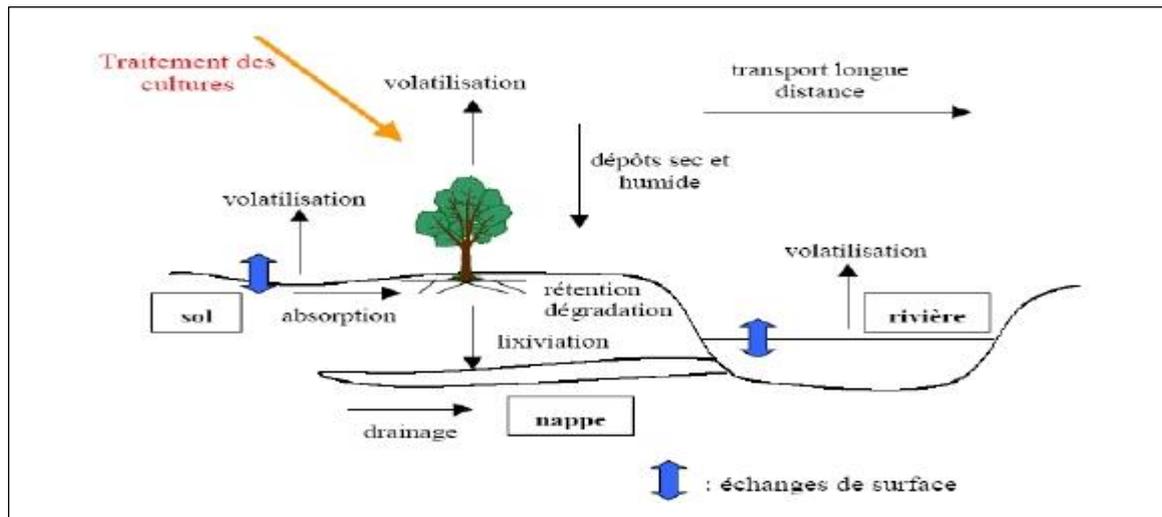


Figure 6: Devenir des pesticides dans l'environnement.[34].

3.3.2.1. Effets toxiques des éléments-traces en excès sur l'homme

La toxicité des éléments-traces est son potentiel à produire des effets nocifs sur la santé, à court ou à long terme [43]. L'évaluation des effets toxiques est complexe car de nombreux paramètres sont à considérer : la nature du composé, ses propriétés toxico- dynamiques, la durée d'exposition et ses variations, l'effet des mélanges, la nature libre ou liée des résidus, etc... [41].

3.3.2.1.1. L'Arsenic (As) :

L'arsenic se trouve dans le traitement des matériaux de construction, combustion du charbon, spray contre les insectes, les pesticides, la terre riche en arsenic, fruits de mer dans les eaux côtières, en particulier les moules, les huîtres et les crevettes

La toxicité de l'arsenic se présente par de douleur abdominale, anorexie, ongles cassants, diarrhée, nausées, vomissements, anémie chronique, sensation de brûlure dans la bouche / œsophage / estomac / l'intestin, confusion, convulsions, dermatites, somnolence, inhibition enzymatique, odeur d'ail pour l'haleine / les selles, perte de cheveux, maux de tête, hyperpigmentation des ongles et de la peau, augmentation du risque de cancer foie / poumon / peau, légère fièvre, mucus dans le nez et la gorge, douleurs musculaires / spasmes / faiblesse, nervosité, infections des voies respiratoires, difficulté à avaler, goût métallique, constriction de la gorge[42].

3.3.2.1.2. Le Mercure (Hg) :

La toxicité du mercure est établie depuis l'Antiquité.

Le mercure est un métal très réactif au milieu dans lequel il se trouve (température, composition chimique...). Il peut se lier dans l'organisme aux molécules constituant la cellule

vivante (acides nucléiques, protéines...) modifiant leur structure ou inhibant leurs activités biologiques.

Le mercure est à l'origine de maladies professionnelles. Le mercure a longtemps été utilisé dans l'industrie du feutre et a constitué un élément entrant dans la fabrication des piles, des thermomètres, des amorces de cartouches foraines... Ces activités ont généré des maladies professionnelles aisément identifiables. L'intoxication par le mercure s'appelle l'hydrargie ou hydrargyrisme, caractérisée par des lésions des centres nerveux se traduisant par des tremblements, des difficultés d'élocution, des troubles psychiques...

Le mercure liquide se transforme en vapeur à température ambiante. La vapeur est inhalée et est très facilement absorbée. Certains dérivés organiques volatiles, pénètrent également dans l'organisme par inhalation [43].

Hors absorption accidentelle ou expérimentale du mercure liquide, et hors absorption de composés ioniques, l'ingestion concerne essentiellement les formes organiques de mercure, absorbés par l'intermédiaire de la nourriture.

En fonction de ses propriétés physico-chimiques, chaque forme chimique de mercure atteint des « cibles » biologiques préférentielles. Selon la forme chimique, le mercure va être dirigé vers certaines cellules ou parties de l'organisme. La spéciation influence directement la toxicité du mercure. Pour cette même raison, la sensibilité au mercure est également très différente selon les espèces biologiques.

Les composés inorganiques du mercure ont pour cibles principales le système nerveux central (quand le mercure est sous forme métallique Hg^0), les reins (quand le mercure est sous forme ionisé Hg^{2+}) et, éventuellement, la peau. Pour les composés organiques, la neurotoxicité est prédominante [43].

3.3.2.1.3. Le Plomb (Pb) :

Le Plomb est présent dans la croûte terrestre et dans tous les compartiments de la biosphère.

Dans l'air, les émissions de Plomb provenant de poussières volcaniques véhiculées par le vent sont reconnues d'une importance mineure. Les rejets atmosphériques sont principalement anthropiques, ils proviennent d'abord des industries de première et deuxième fusion du plomb, et au niveau urbain ou routier, des rejets des véhicules à moteur. [44]. Les rejets aquatiques les plus importants proviennent de la sidérurgie. Les teneurs dans les eaux côtières sont à peine plus élevées qu'en zone océanique à cause de l'ampleur de l'enlèvement dans les zones où les concentrations en matières en suspension sont fortes. Des eaux côtières, dont les teneurs sont inférieures à 50 ng.L⁻¹ peuvent être considérées comme non contaminées [45]

Ces composés liquides sont extrêmement volatils et pénètrent facilement dans l'organisme par la voie respiratoire mais aussi par la peau. Comme ils sont très liposolubles, ils passent immédiatement dans le sang et, par leur capacité de bioaccumulation, ils vont, dans un premier temps, se stocker dans le foie. Pour s'en débarrasser, le foie va leur retirer, grâce à des enzymes d'oxydation, un de leurs quatre groupements alkyles. Ainsi, le plomb

tétraéthyle va conduire au plomb triméthyle qui, grâce au sang, va se répartir dans tout l'organisme et se stocker préférentiellement dans le cerveau où il va entraîner des processus inflammatoires très graves qui vont aboutir à une encéphalite parfois mortelle, cette contamination est appelée saturnisme.

Parmi les aliments qui peuvent être riches en Plomb, citons les champignons de Paris (500µg/kg) et les abats comme le foie et surtout les rognons (jusqu'à 0,2 µg/kg) [46].

3.3.2.1.4. Le Magnésium (Mg):

Le magnésium est un élément absolument indispensable à l'organisme, la toxicité de magnésium est de plus en plus fréquente de nos jours.

Il est nécessaire à la fonction de plus de 500 enzymes qui régulent le métabolisme des glucides, la production d'énergie, la perméabilité de la membrane cellulaire, et la conduction musculaire et nerveuse.

Les métaux toxiques comme le plomb, le zinc, le cadmium et le mercure sont également des antagonistes du magnésium [47].

3.3.2.1.5. Le Souffre (S):

Le soufre est un élément très important pour les êtres vivants surtout comme constituant des acides aminés soufrés : cystine, cystéine et méthionine.

Le soufre possède une faible toxicité aiguë quelle que soit la voie d'exposition. Il est irritant pour les yeux mais moins pour la peau; ce n'est pas un sensibilisant cutané.

Les seuls effets rapportés suite à une exposition chronique au soufre proviennent de travailleurs miniers exposés leur vie durant à des poussières de soufre et du dioxyde de soufre. Des troubles oculaires, une bronchite chronique ainsi que des effets chroniques au sinus et des problèmes respiratoires ont été rapportés [48].

3.3.2.1.6. L'Aluminium (Al):

L'aluminium se trouve dans les feuilles d'aluminium, aliments pour animaux, antiacides, aspirine, gaz d'échappement automobile, levure, bière, farine blanchie, cannettes, céramique, filtres de cigarette, additifs de couleur, matériaux de construction, ustensiles de cuisine, cosmétiques, amalgames dentaires, déodorants, eau potable, poussière, isolation du câblage, médicaments, produits laitiers, spray nasal, pesticides, pollution, sel, eau du robinet, fumée du tabac, dentifrice, eau traitée, vanille en poudre [49].

Les effets de cette élément trace se présente maladie d'Alzheimer (en savoir plus relation aluminium et Alzheimer) anémie, perte d'appétit, problèmes de comportement, cavités, rhumes, colite, confusion, constipation, démence, bouche sèche, peau sèche, perte d'énergie, transpiration excessive, flatulences, maux de tête, brûlures d'estomac, hyperactivité, inhibition des systèmes enzymatiques, dysfonctionnement rénal, réduction de l'immunité, difficultés d'apprentissage, dysfonctionnement du foie, pertes de mémoire, troubles neuromusculaires, engourdissement, ostéoporose, paralysie, maladie de Parkinson, ulcère peptique, psychose, réduction de l'activité intestinale, sénilité, problèmes de peau, douleur à la rate, l'estomac, faiblesse et douleurs musculaires [49].

3.3.2.1.7. L'Argent (Ag):

L'argent est un élément relativement rare qui se manifeste naturellement dans la croûte terrestre comme un métal mou argenté.

L'ingestion de quantités excessives d'argent peut causer l'argyrie, un état caractérisé par une coloration bleue ou grise de la peau, des yeux et des muqueuses. On note que la prédisposition individuelle à l'argyrie est extrêmement variable; de plus, on ne connaît pas la dose exacte qui cause cet effet. L'argyrie a été provoquée par l'injection, en une seule dose, de 1 000 mg d'argent (à l'état d'arsphénamine-argent), quantité 10 fois plus petite que la dose d'argent (à l'état de nitrate) qui entraîne la mort [33].

Les aliments constituent la principale source d'argent pour les personnes qui n'y sont pas exposées dans leur travail. Dans les eaux potables brutes ou traitées, au Canada comme aux États-Unis, on n'a pas observé de concentrations d'argent supérieures à 0,005 mg/L; les plus fortes concentrations signalées dans la plupart des eaux potables sont 50 fois plus faibles. Par conséquent, l'eau potable contribue de façon négligeable à l'apport d'argent chez l'individu, sauf si cet élément est utilisé comme agent antimicrobien dans les installations de traitement de l'eau. De plus, la dose quotidienne d'argent ingérée avec les aliments et l'eau est bien inférieure au taux de concentration qui pourrait produire des effets nocifs.

On n'a donc pas fixé de concentration maximale acceptable de l'argent dans l'eau potable [50].

3.3.2.1.8. Le Chrome (Cr):

Le chrome est présent dans l'environnement de manière ubiquitaire. Il s'agit d'un élément largement distribué dans la croûte terrestre.

Les principales sources de rejet du chrome VI dans l'environnement sont les activités industrielles.

L'alimentation (nourriture et eau de boisson) représente la principale voie d'exposition au chrome total (chrome III et chrome VI) pour la population générale.

Les effets de cette élément trace se manifeste par une inflammation massive du tube digestif, dermatite eczématiforme (ciment), tests épici tannés, Ulcérations chroniques de 5 à 10 mm de diamètre, bords abrupts, non douloureux, parfois prurigineux, pigeonneaux. Coloration jaunâtre des dents et de la langue, Irritation des muqueuses, atrophie de la muqueuse nasale suivie d'ulcération puis de perforations, rhinite, conjonctivite, dyspnée et prurit. Allergie respiratoire, crise d'asthme avec les fumées d'acide chromique [51].

3.3.2.1.9. Le Cuivre (Cu):

Le Cuivre est l'un des métaux les plus employés à cause de ses propriétés physiques et particulièrement de sa conductibilité électrique et thermique. Il est très largement employé dans la fabrication de matériels électriques (fils, enroulements de moteurs, dynamos, transformateurs), dans la plomberie, dans les équipements industriels, dans l'automobile et en chaudronnerie. Il est présent dans l'environnement, sa concentration dans l'écorce terrestre est estimée à environ 70 ppm (30 à 100 ppm).

Le transport par le vent des poussières de sol, les éruptions volcaniques, les décompositions végétales, les feux de forêts et les aérosols marins constituent les principales sources naturelles d'exposition. Dans les eaux, le Cuivre provient pour la majeure partie de l'érosion des sols par les cours d'eau : 68 % ; de la contamination par le Sulfate de Cuivre : 13 % ; et des rejets d'eaux usées qui contiennent encore du Cuivre, même après traitement.

Le Cuivre est un élément essentiel chez l'homme et l'animal (oligo-élément), impliqué dans de nombreuses voies métaboliques, notamment pour la formation d'hémoglobine et la maturation des polynucléaires neutrophiles. De plus, il est un co-facteur spécifique de nombreuses enzymes et métalloprotéines de structure. Cependant le Cuivre en excès produit des radicaux libres responsables de lésions cellulaires au niveau de l'ADN et d'organites tels que les mitochondries ou les lysosomes. [52].

3.3.2.1.10. Le Fer (Fe):

Le Fer (Fe) est un métal essentiel, entre dans la composition de nombreux alliages dont les aciers inoxydables. Il est utilisé dans les machines et ustensiles divers utilisés quotidiennement ainsi que dans les infrastructures du monde moderne. Le Fer est classé au quatrième rang des éléments de la croûte terrestre par ordre d'abondance, sa présence dans l'eau peut avoir diverses origines : lessivage des terrains avec dissolution des roches et des minerais contenus dans le sous-sol ; rejets industriels (pollutions minières, métallurgiques, sidérurgiques) ; corrosion des canalisations métalliques (en fonte ou en acier) ou existence de dépôts antérieurs.

La régulation du Fer dans le sang est contrôlée par deux protéines d'absorption et d'exportation. La carence ou l'excès en Fer peut être potentiellement toxique pour les cellules, c'est pourquoi son transport est rigoureusement contrôlé. Un faible niveau de Fer chez l'homme cause l'anémie, l'un des problèmes de santé publique les plus répandus qui peut être imputable à des causes d'ordre nutritionnel, notamment la carence en Fer, à des troubles inflammatoires ou infectieux et à des pertes de sang.

Le mécanisme toxique principal du Fer réside dans sa capacité à induire la formation de radicaux libres, avec, pour conséquence, une peroxydation lipidique. Classiquement, l'intoxication au Fer est décrite comme évoluant en cinq phases : troubles digestifs, amélioration clinique transitoire, toxicité systémique avec choc, acidose métabolique, coma, toxicité hépatique avec coagulopathie, séquelles digestives à type de sténose. Le traitement comporte, hormis le traitement symptomatique, la décontamination digestive avec irrigation. L'exposition chronique au Fer est principalement d'origine professionnelle et se traduit par une pneumoconiose de surcharge consécutive à l'inhalation de poussières et d'oxydes de Fer. La sidérose oculaire est une pathologie chronique grave pouvant aboutir à la perte de la vision de l'œil touché. Elle survient lorsqu'un corps étranger contenant du Fer se retrouve dans l'œil ou à son contact. [46,53].

3.3.2.1.11. Le Nickel (Ni):

Le Nickel se trouve dans le beurre, engrais, transformation des aliments, combustion du fuel, matières grasses hydrogénées et huiles, imitation de crème fouettée, engrais,

transformation des aliments, margarine, dispositif d'essais nucléaires, huîtres, ustensiles de cuisine en acier inoxydable, sachets de thé, fumée du tabac[54].

Les effets de cette élément trace se manifeste par une anorexie, dysfonctionnement rénal, apathie, la perturbation des hormones et du métabolisme lipidique, fièvre, hémorragies, maux de tête, crise cardiaque, cancer, tension artérielle basse, les spasmes musculaires, nausées, problèmes de peau, vomissements [54].

3.3.2.1.12. Le Zinc (Zn):

Le Zinc entre naturellement dans l'atmosphère à partir du transport par le vent de particules du sol, des éruptions volcaniques, des feux de forêts et d'émission d'aérosols marins. Les apports anthropiques de Zinc dans l'environnement résultent des sources minières industrielles (traitement minéral, raffinages, galvanisation du Fer, gouttières de toitures, piles électriques, pigments, matières plastiques, caoutchouc), des épandages agricoles (alimentation animaux, lisiers) et des activités urbaines (trafic routier, incinération ordures). Dans les zones portuaires, le Zinc est introduit à partir de la dissolution des anodes destinées à la protection des coques de bateaux contre la corrosion, et est contenu dans certaines peintures antisalissure [55]

Le Zinc est un oligo-élément nécessaire au métabolisme des êtres vivants, essentiel pour de nombreux metallo enzymes et les facteurs de transcription qui sont impliqués dans divers processus cellulaires tels que l'expression des gènes, transduction du signal, la transcription et la réplication. Le Zinc est un des métaux les moins toxiques et les problèmes de carence sont plus fréquents et plus graves que ceux de toxicité. Les risques tératogènes, mutagènes et cancérogènes sont pratiquement nuls aux doses utilisées chez l'homme. Si les signes digestifs aigus n'apparaissent qu'à dose élevée, une anémie sévère par interaction avec le Cuivre peut survenir avec des doses peu supérieures aux apports recommandés. En outre, des problèmes non résolus persistent dans des domaines importants en santé publique: maladie d'Alzheimer, patients diabétiques ou séropositifs. [55].

3.3.2.2. Impact environnemental :

D'un point de vue écologique, les résidus de pesticides et d'engrais ne sont pas des produits anodins. En effet, ils sont responsables de nombreux effets toxiques secondaires causant des risques potentiels pour l'environnement [56].

3.3.2.2.1. Effets nocifs sur la microflore du sol

La microflore est essentielle pour le maintien de la fertilité du sol. Or, même si les traitements sont le plus souvent appliqués sur les parties aériennes des plantes, plusieurs études ont montré que l'emploi massif des intrants agricoles peut avoir des répercussions majeures sur les autres invertébrés [56].

3.3.2.2.2. Effets nocifs sur les mammifères

Les animaux absorbent les produits phytosanitaires via la nourriture ou l'eau d'alimentation, via l'air respiré ou au travers de leur peau. Ayant franchi diverses barrières, le toxique atteint les sites du métabolisme où il est stocké. Cette exposition peut engendrer chez les

mammifères toute une gamme d'effets toxiques dont des baisses spectaculaires de fertilité souvent remarquées [57].

3.3.2.2.3. Effets nocifs sur la faune aquatique

Les intrants agricoles et leurs dérivés peuvent provoquer des dégâts importants sur la faune aquatique. En effet, même si les mortalités des poissons représentent les effets les plus spectaculaires, les autres composantes de l'écosystème aquatique comme les mollusques, les insectes, les petits crustacés, les algues et les plantes aquatiques sont aussi affectées par les effets néfastes des pesticides [57]

3.3.2.3. Cadre législatif et réglementaire

En Algérie, le contrôle des produits phytosanitaires s'est établi peu à peu en fonction de la politique de développement prônée par le pays et la disponibilité des moyens.

Ce contrôle a connu une évolution dans le temps et la promulgation de la loi N° 87-17 de 1987 relative à la protection phytosanitaire et a permis d'édicter les mesures relatives à la fabrication, l'étiquetage, l'entreposage, la distribution, la commercialisation et l'utilisation des produits phytosanitaires à usage agricole. Au terme de cette loi, aucun produit phytosanitaire ne peut être commercialisé, importé ou fabriqué s'il n'a pas fait l'objet d'une homologation. Selon le décret exécutif n°95-405 du 2 décembre 1995 relatif au contrôle des produits phytosanitaires à usage agricole modifié et complété par les décrets exécutifs du 20 juillet 1999 et du 31 janvier 2010 [58] ;

Article 06: les produits phytosanitaires bénéficiant d'une homologation, sont inscrits sur un registre tenu et mis à jour par le secrétariat technique de la commission des produits phytosanitaires à usage agricole.

Article 08: le retrait de l'homologation d'un produit phytosanitaire intervient lorsqu'un élément nouveau apparaît mettant en évidence sa nocivité ou mettant en cause son efficacité.

Article 20: les produits phytosanitaires à usage agricole (particulièrement dangereux) ne peuvent faire l'objet d'une commercialisation ou d'une utilisation que sur autorisation délivrée, sur demande, par l'autorité phytosanitaire.

Les produits phytosanitaires à usage agricole particulièrement dangereux exemple : Bromure de méthyle, phosphore d'aluminium, strychnine et phosphore de magnésium.

3.4. Analyse des résidus chimiques des engrais et pesticides :

3.4.1. Objectifs d'analyse des résidus chimiques :

Pourquoi l'analyse des résidus ?

L'importance d'une saine alimentation dans la promotion de la santé et la prévention des maladies chroniques souligne la pertinence de surveiller la qualité des aliments offerts aux consommateurs, c'est l'objectif principal de ces analyses.

Le résidu est considéré comme résidu ou contaminant "toute substance chimique quelconque qui persiste dans un milieu donné, en quantité généralement très faible (de

l'ordre du ppm : partie par million, ppb : partie par billion, ou encore par milliard, soit par exemple 1µg/kg.

Le terme «résidus» englobe la substance active et ses produits de dégradation ou métabolites ainsi que certaines molécules interdites, quelque fois depuis de nombreuses années, mais qui possèdent une forte rémanence dans les compartiments environnementaux [59].

LMR : Les "Limites Maximales de Résidus" concentration maximale que le Codex Alimentarius recommander d'autoriser officiellement. •Ces LMR sont utilisées dans le commerce international. •Elles sont obtenues par les réunions conjointes FAO/OMS(JMPR) suite à une évaluation toxicologique. •Elles sont établies par couple substance active / culture et exprimées en mg de SA par Kg de denrée alimentaire.

3.4.2. Techniques d'analyse multi-résidus:

Les méthodes dites « multi-résidus » sont des méthodes d'analyses revendiquant l'analyse simultanée de plusieurs familles chimiques de substances sur un même échantillon. Leur essor au cours des dix dernières années est largement dû à une volonté d'optimisation des délais de réponse et de rationalisation des coûts analytiques. Ces méthodes ont été développées de manière individualisée par chaque laboratoire en fonction de la typologie des demandes qu'il traite et du matériel dont il dispose. La possibilité pour chacun d'eux de faire reconnaître sa compétence en matière de développement analytique par le biais de l'accréditation en portée flexible a favorisé l'émergence de nombreuses méthodes différentes, qualifiées de manière indifférenciée de « multi-résidus » et accréditées sans distinction, présentant néanmoins des champs d'application et des performances très variables [60].

Les méthodes les plus utilisées dans le monde sont :

- ✓ Détection par chromatographie liquide couplée à la spectrométrie de masse ;
- ✓ Détection fluorimétrique,
- ✓ Détection par absorption dans l'UV-visible,
- ✓ Détection par spectrométrie de masse,
- ✓ Détection par spectrométrie de masse à plasma.

Chapitre 4 : Matériels et méthodes

4.1. Objectifs du travail :

L'objectif principal de cette étude est de déterminer l'effet des engrais et pesticides appliqués sur la courgette, associant à d'autres facteurs tels que, le calendrier cultural et la gestion de l'eau. Cette analyse devrait nous permettre de déduire l'état de résidus des produits chimiques (pesticides et engrais) sur le légume dans le but de diagnostiquer l'état du produit qu'on consomme.

4.2. Matériels et méthodes :

4.2.1. Conduite de l'essai sur terrain :

4.2.2. Matériel

4.2.2.1. Site d'implantation de l'essai :

L'essai a été conduit au niveau de la station expérimentale de Staoueli (ITCMI). Cette zone est caractérisée par un climat subhumide

4.2.2.2. Matériel végétal

Le matériel végétal est constitué par la variété de courgette « la Rigas F1 hybride » ultrarésistante aux virus.

Elles présentent les caractéristiques suivantes :

- hybride précoce culture essentiellement en plein air
- Plante possible avec nœuds courts, très productive
- feu vert avec des rayures vert foncé, de fruits cylindrique - légers boukalotos, longueur \pm 18 cm.
- La tolérance à CMV (concombre Maladie de virus de la mosaïque), ZYMV (mosaïque jaune maladie virale de la courge), WMV (Jose des pastèques mosaïque) et Ec, Sf (Mildiou).

4.2.2.3. Dispositif expérimental

Nous avons adoptés un système de semis sur 02 parcelles avec plusieurs répétitions :

- ✚ Parcelles N°01 : Conduite sans fertilisation et traitement (courgette biologique)
- ✚ Parcelles N°02 : Conduite avec fertilisation et traitement (courgette conventionnelle)

Mise en place : Surface de de l'essai : 500 m²

- ✚ Parcelle A : 250 m²
- ✚ Parcelle B : 250m²

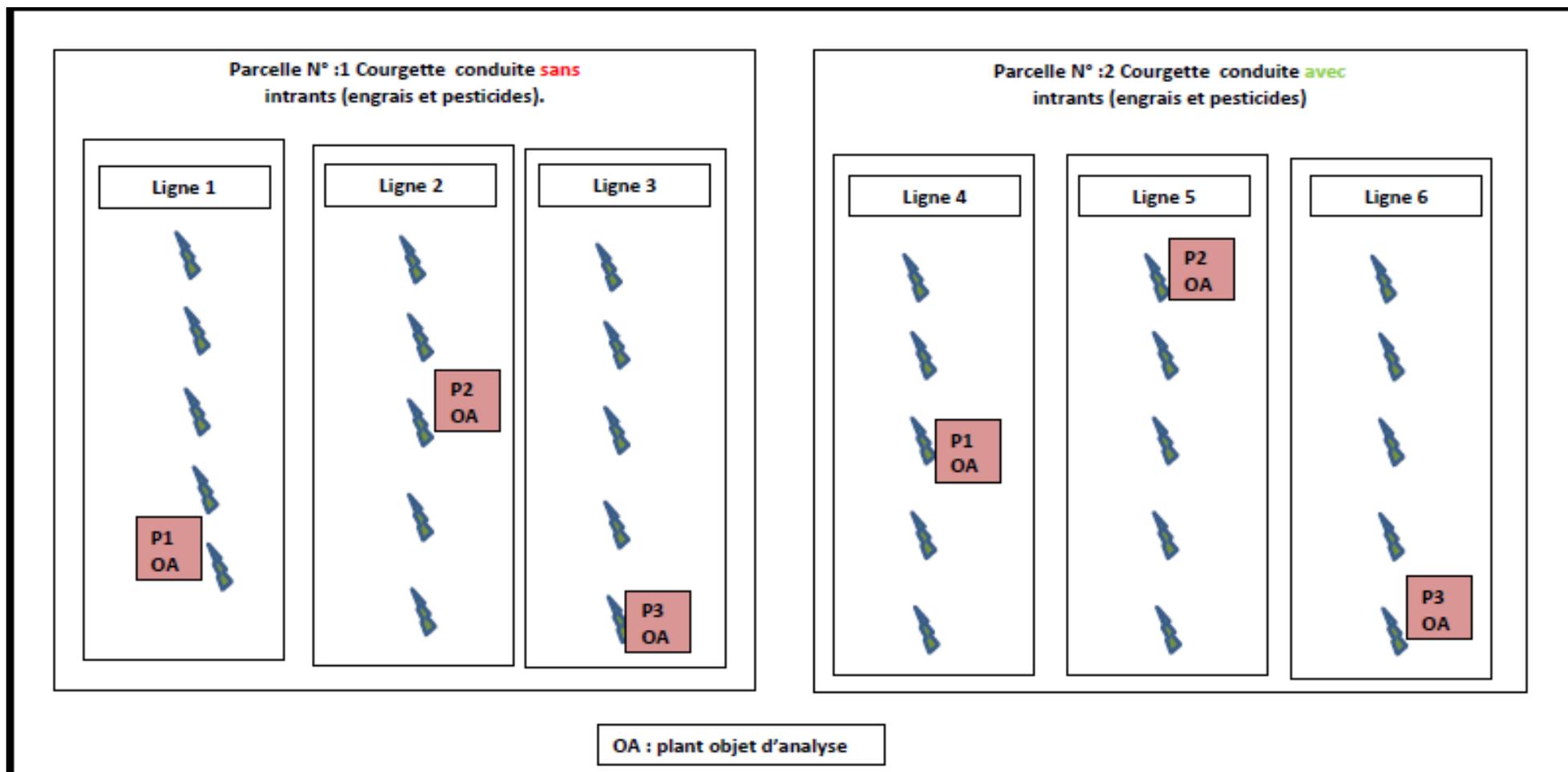


Figure 7: Dispositif expérimental de l'essai

4.2.2.3.1. Préparation du sol :

En général, la courgette n'a pas d'exigences particulières en matière de sol. Cependant, elle s'adapte bien dans les sols profonds, meubles, bien aérés et bien drainés. Une texture sablonneuse ou sablo limoneuse est préférable. La nature du sol de l'ITCMI est sablo limoneux (Analyse du sol en annexe -1-).



Figure 8: Travaux de préparation du sol

4.2.2.3.2. Semis :

Le semis a été réalisé le 25/04/2016, avec une densité de 60 cm entre les plants et 1 m entre les lignes, soit près de 417 plants par parcelle, total essai 833 plants.



Figure 9 : Opération de semis

4.2.2.3.3. Entretien de la culture :

Un désherbage régulier est effectué mais aussi aux alentours de celle-ci et ce, tout au long de la culture. Le contrôle des adventices est très important. Le désherbage n'est pas seulement justifié pour éviter la compétition pour l'eau, l'air, la lumière et les fertilisants. Les adventices rendent les pulvérisations moins efficaces et sont des hôtes potentiels pour les ravageurs et maladies.

4.2.2.3.4. Fertilisation :

Aucune fumure de fond n'a été appliquée, les apports en fertilisants sont donnés dans le tableau qui suit :

Tableau 6 : Liste des fertilisants appliqués

N°	Date	Type d'engrais	Dose	Observation
1	Avril 2016	NPK (15.15.15)	25 kg	Utilisé en fumure de fond
2	10/05/2016	Urée 46	02 kg	Stade croissance végétale et début formation des fleurs
3	17/05/2016	K ₂ O	02 kg	Stade floraison et début de nouaison
4	22/05/2016	NPK (20.20.20)	02 kg	Stade grossissement des fruits
5	10/06/2016	NPK (20.20.20)	02 kg	Stade maturation des fruits et récolte

4.2.2.3.5. Irrigation.

Les irrigations se réalisent régulièrement selon les besoins de la culture, sur la base d'une irrigation chaque 03 jours, par le réseau goutte à goutte.



Figure 10 : Réseau d'irrigation goutte à goutte

4.2.2.3.6. Traitement phytosanitaires :

Le tableau suivant résume les traitements phytosanitaires qui ont été effectués durant le cycle de la culture.

Tableau 7: Liste des produits phytosanitaires appliquée

N°	Date	Produit Phytosanitaire	Nature	Dose	Observation
1	25/04/2016	Tachigazol	Fongicide	20ml/10l d'eau	Traitement contre la fonte de semis
2	10/05/2016	Abamectine	Insecticide /acaricide	50mlg/100 l d'eau	Traitement contre pucerons,,,,
3	09/05/2016	Bayfidan	Fongicide	200gr/200l d'eau	Traitement utilisé contre le botrytis en préventif Oidium sur feuille
4	16/05/2016	Deltacall	Insecticide	30mg/10 l d'eau	Traitement contre les pucerons,,,,
5	20/05/2016	Bouillie Bordelaise	Fongicide	600gr/200l d'eau	Traitement utilisé contre le botrytis en préventif Oidium sur feuille

4.2.2.3.7. Prélèvement des échantillons :

Nous avons procédé aux prélèvements des échantillons au bout de la deuxième récolte soit le 13/06/2016 puis déposer au niveau du laboratoire dans des sacs en papier pour analyse des résidus chimiques ou éléments traces des engrais et des pesticides.

Le poids moyen des échantillons varient entre 150g à 200g.



Figure 12: Echantillon de courgette conventionnelle **Figure 11 :** Echantillon de courgette biologique

Les analyses ont été effectués au niveau du laboratoire d'analyse des denrées alimentaire « WANYLAB » localisé dans la commune de Chéraga, wilaya d'Alger.

4.2.3. Conduite d'analyse au laboratoire :

4.2.3.1. Méthode utilisée

La méthode d'analyse de multi-résidus utilisée dans cet essai est la Spectrométrie de masse à plasma abréviation de l'anglais inductively Coupled Plasma « ICP » qui peut mesurer quantitativement la teneur en éléments d'un matériau, dans une fourchette allant du ppt au % poids.



Figure 14 : Spectroscopie de masse

Cette technologie a démontré son excellence pour l'analyse des éléments traces dans des divers échantillons, le sang, les végétaux, l'eau,,,, [61].

L'ICP est une technique d'analyse multi-élémentaire à fort potentiel, elle permet d'analyser en quelques minutes 50 à 70 éléments différents à partir des matériaux plus variés avec une excellente sensibilité proche. [62,63].

4.2.3.2. Principe de fonctionnement :

L'échantillon est nébulisé puis introduit au centre du plasma. Sa température permet la désolvatation, puis la volatilisation et l'atomisation des éléments contenus dans l'échantillon à analyser. Lors de la désexcitation des ions, il y a émission d'énergie aux longueurs d'ondes spécifiques de chaque élément. Les ions ainsi formés sont détectés à l'aide d'un réseau polychromatique.

La double visée dont est équipée l'ICAP 7000 permet le dosage simultané et sans dilution supplémentaire des éléments majeurs et mineurs contenus dans un même échantillon. La visée radiale, moins exposée, sera utilisée pour le dosage des majeurs, alors que les mineurs seront analysés en visée axiale. Cet aspect est particulièrement intéressant lorsque l'on dispose d'un volume d'échantillon réduit.

4.2.3.3. Eléments étudiés :

Le tableau suivant résume les éléments étudiés dans cet essai.

Tableau 8: Liste des éléments étudiés

Groupe d'éléments	Elément
Métaux lourds	Arsenic
	Mercure
	Plomb
Macro-éléments	Magnésium (Mg)
	Souffre (S)
Oligo-éléments	Aluminium (Al)
	Argent (Ag)
	Chrome (Cr)
	Cuivre (Cu)
	Fer (Fe)
	Nickel (Ni)
Zinc (Zn)	

4.2.3.4. Protocole d'expérimentation :

4.2.3.4.1. Préparation de la solution mère :

Nous avons pris 100 µl de chaque solution standard dans une fiole de 100 ml puis nous l'avons compléter au trait de jauge.

4.2.3.4.2. Etablissement de la courbe d'étalonnage :

Pour établir la courbe d'étalonnage, nous avons préparé à partir de la solution mère quatre dilutions couvrant 04 gammes des concentrations différentes, les dilutions sont faites dans une fiole de 50ml.

Tableau 9 : Dosage de la solution mère

	1	2	3	4
ml de la solution mère	5	10	25	50
Eau permuté	45	40	25	0
Concentration (mg/l)	0.1	0.2	0.5	1

Les points de la courbe d'étalonnage sont identifiés comme standard dans le logiciel Qtega avant la lecture, le blanc est le point zéro (BLK).(le logiciel Qtega est intégré dans l'équipement).

4.2.3.4.3. Mode opératoire :

A. Prétraitement de l'échantillon :

L'échantillon a été acidifié immédiatement après le prélèvement, avec 1ml d'acide nitrique concentré par 200 ml d'échantillon, le pH est inférieur à 2.

Un précipité s'est formé lors de l'acidification, nous avons procédé à une acidification supplémentaire, par la suite l'échantillon est filtré par une membrane de 0.45 μm .

B. Analyse de l'échantillon

L'échantillon est identifié dans le logiciel Qtegra comme inconnu, la lecture de l'échantillon a été effectuée après la lecture des standards.

C. Expression des résultats :

Les résultats sont donnés par le logiciel directement, et vérifiés par les courbes d'étalonnage et les proportions de l'intégration (pixel).

D. Analyse des résultats :

Les résultats ont fait l'objet d'une analyse de comparaison des moyennes réalisée avec logiciel SPSS, ces résultats ont été suivis par le test de student seuil $\alpha \leq 5\%$.

Chapitre 5 : Résultats et Discussion

5.1. Résultats

5.1.1. Les métaux lourds :

Pour le groupe des métaux lourds, le test de student au seuil $\alpha = 5 \%$ a montré une différence significative (voir annexe 04) :

- ✚ La présence du plomb a enregistré une valeur de $(0,150 \pm 0,055)$ au niveau de la courgette conventionnelle par rapport à celle de la courgette biologique avec une différence de $(0,08 \pm 0,038)$.
- ✚ La présence du mercure a enregistré une valeur de $(0,05 \pm 0,041)$ au niveau de la courgette conventionnelle par rapport à celle de la courgette biologique avec une différence de $(0,05 \pm 0,024)$.
- ✚ La présence de l'arsenic a enregistré une valeur de $(0,086 \pm 0,011)$ au niveau de la courgette conventionnelle par rapport à celle de la courgette biologique avec une différence de $(0,06 \pm 0,001)$.

Tableau 10 : Résultats de la présence des métaux lourds (ppm)

Métal/Echantillon		N	Moyenne	Ecart-type	Erreur standard moyenne
Plomb	Biologique	3	0,0700	0,03606	0,02082
	Conventionnelle	3	0,1500	0,05568	0,03215
Mercure	Biologique	3	0,0033	0,00577	0,00333
	Conventionnelle	3	0,0533	0,04163	0,02404
Arsenic	Biologique	3	0,0267	0,01155	0,00667
	Conventionnelle	3	0,0867	0,01155	0,00667

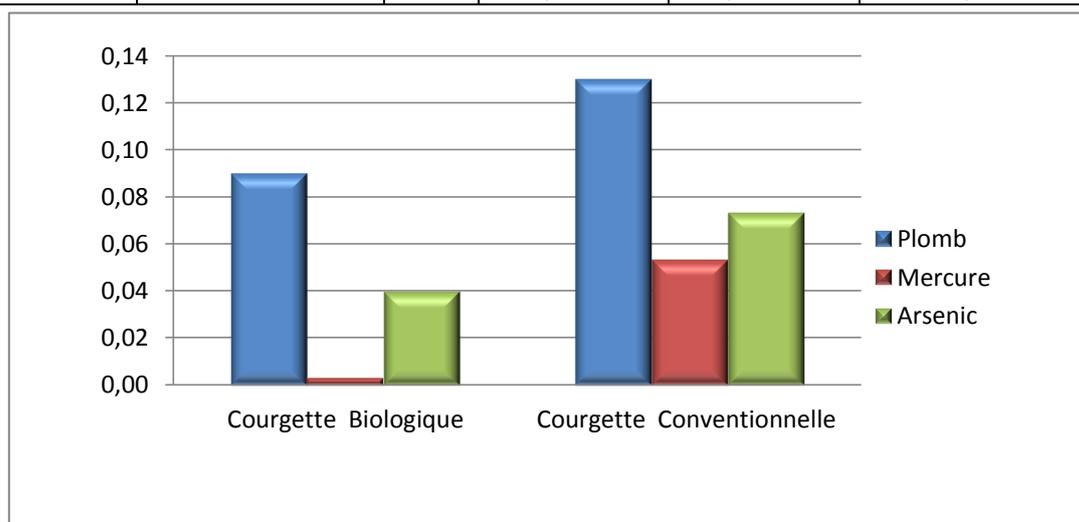


Figure 15 : Présence des métaux lourds

5.1.2. Les macro-éléments:

Concernant la contenance en macroéléments en l'occurrence le soufre et le magnésium, le test de student au seuil $\alpha = 5 \%$ a montré une différence significative (voir annexe 04)

- ✚ La contenance en soufre a enregistré une valeur de de $(84,71 \pm 7,71)$ au niveau de la courgette conventionnelle par rapport à celle de la courgette biologique avec une différence de $(15,51 \pm 21,21)$.
- ✚ La contenance en magnésium a enregistré une valeur de de $(102,71 \pm 14,73)$ au niveau de la courgette conventionnelle par rapport à celle de la courgette biologique avec une différence de $(15,51 \pm 21,21)$.

Tableau 11: Résultats de la contenance en macroéléments (ppm)

Macroélément/Echantillon		N	Moyenne	Ecart-type	Erreur standard moyenne
Soufre	Biologique	3	69,2033	35,91978	20,73829
	conventionnelle	3	84,7133	7,71759	4,45575
Magnésium	Biologique	3	89,8100	34,07837	19,67515
	conventionnelle	3	102,7100	14,73824	8,50913

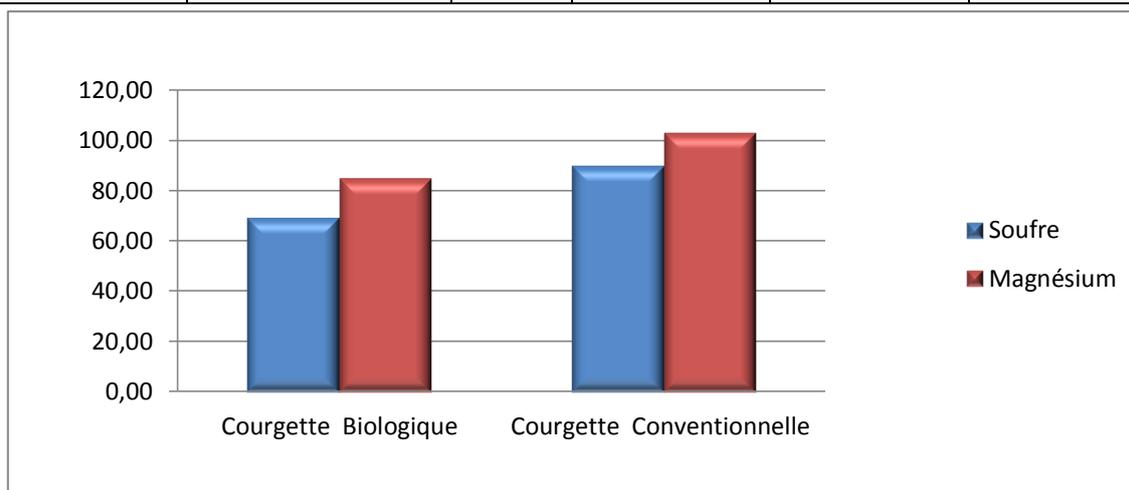


Figure 16: Contenance en macro-éléments (ppm)

5.1.3. Les oligo-éléments:

Relatif à la teneur des oligoéléments, le test de student au seuil $\alpha = 5 \%$ a montré une différence significative (voir annexe 04)

- ✚ La teneur en Nickel a enregistré une valeur de de $(0,13 \pm 0,04)$ au niveau de la courgette conventionnelle par rapport à celle de la courgette biologique avec une différence de $(0,07 \pm 0,030)$.
- ✚ La teneur en Aluminium a enregistré une valeur de de $(9,08 \pm 5,56)$ au niveau de la courgette conventionnelle par rapport à celle de la courgette biologique avec une différence de $(8,12 \pm 3,21)$.
- ✚ La teneur en Chrome a enregistré une valeur de de $(0,16 \pm 0,04)$ au niveau de la courgette conventionnelle par rapport à celle de la courgette biologique avec une différence de $(0,12 \pm 0,02)$.
- ✚ La teneur en Argent a enregistré une valeur de de $(0,01 \pm 0,01)$ au niveau de la courgette conventionnelle par rapport à celle de la courgette biologique avec une différence de $(0,01 \pm 0,01)$.

✚ La teneur en Zinc a enregistré une valeur de de (2,58±0,16) au niveau de la courgette conventionnelle par rapport à celle de la courgette biologique avec une différence de (1,42±0,23).

✚ La teneur en Cuivre a enregistré une valeur de de (4,66±1,28) au niveau de la courgette conventionnelle par rapport à celle de la courgette biologique avec une différence de (2,77±0,77).

✚ La teneur en Fer a enregistré une valeur de de (3,47±1,17) au niveau de la courgette conventionnelle par rapport à celle de la courgette biologique avec une différence de (1,16±0,88).

Tableau 12 : Résultats de la teneur en oligoéléments (ppm)

Oligoélément/Echantillon		N	Moyenne	Ecart-type	Erreur standard moyenne
Nickel	Biologique	3	0,0533	0,02887	0,01667
	conventionnelle	3	0,1300	0,04359	0,02517
Aluminium	Biologique	3	0,9633	0,30989	0,17892
	conventionnelle	3	9,0867	5,56016	3,21016
Chrome	Biologique	3	0,0433	0,00577	0,00333
	conventionnelle	3	0,1633	0,04726	0,02728
Argent	Biologique	3	0,0067	0,00577	0,00333
	conventionnelle	3	0,0133	0,01155	0,00667
Zinc	Biologique	3	1,1567	0,37608	0,21713
	conventionnelle	3	2,5833	0,16258	0,09387
Cuivre	Biologique	3	1,8867	0,39526	0,22821
	conventionnelle	3	4,6633	1,28943	0,74445
Fer	Biologique	3	2,3100	0,99454	0,57420
	conventionnelle	3	3,4733	1,17330	0,67741

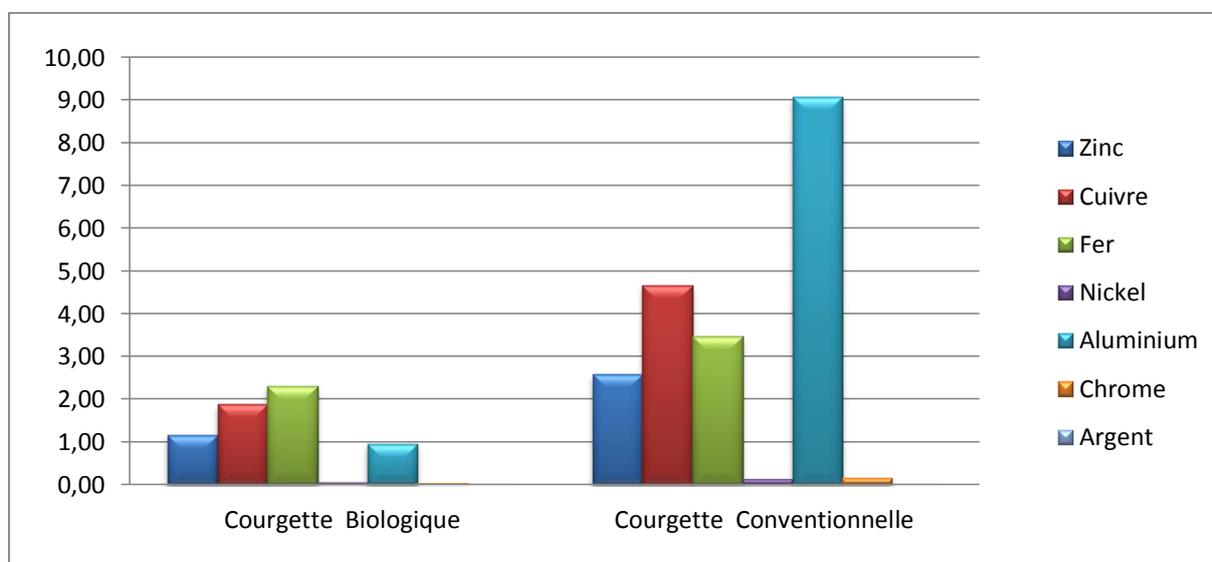


Figure 17 : Teneur en oligo-éléments (ppm)

5.2. Discussion :

Grace au test de student nous remarquons une différence entre la teneur en éléments minéraux des échantillons de la courgette biologique et la courgette conventionnelle, la teneur en résidus dans un produit agricole est expliquée donc, par le mode de culture dont elle a été menée.

Quoi que tous les produits biologique ne sont pas exempts de résidus ou traces d'éléments chimiques, c'est le cas de notre expérience puisque les échantillons biologiques ne sont pas sans ces résidus ou traces, ce qui veut dire qu'il faut aller plus loin et examiner le contexte environnemental. En 2013, ce sont donc 0,8 % des échantillons des produits biologiques qui sont non conformes à la réglementation sur les LMR. En 2009, on observait des dépassements de LMR de 0,4 à 0,5 % sur les 3 090 échantillons biologiques prélevés dans 25 pays différents (arboriculture, cultures de plein air). [64].

5.2.1. Les macro-éléments et les Oligo-éléments :

D'après les histogrammes des figures 16-17, on remarque nettement que la concentration des éléments minéraux dans les échantillons de la courgette conventionnelle est beaucoup plus élevée par rapport aux échantillons de la courgette biologique, cela est due au fait que la courgette conventionnelle a reçu un apport en plus des éléments minéraux via les engrais et les fertilisants. L'accumulation des éléments métalliques dépendants particulièrement de la physiologie de la plante et de l'organe considéré : fruit, racine, ou feuille. [65].

La concentration des éléments minéraux dans nos échantillons de courgette biologique et conventionnelle restent toujours modérément inférieur au seuil de toxicité.

Concentration qui ne présente pas un danger pour la santé humaine. La toxicité enregistrée chez l'aubergine pour des teneurs de 27 ppm de nickel trouvé dans les feuilles. [66], chez le maïs pour une teneur de 15 ppm dans les feuilles. [67]. Les oligo-éléments semblent poser plus de problèmes de carence chez les végétaux, le bétail et l'homme, que de toxicité. Les manifestations pathologiques chez l'homme sont plutôt liées à une carence en Cu qui entraîne anémie résistante au traitement par le Fe, etc. [68].

5.2.2. Les métaux lourds :

La comparaison des résultats analytiques obtenus des échantillons de courgette biologique et conventionnelle montre que les teneurs des métaux lourds dans les échantillons de la courgette conventionnelle sont supérieures à celles des échantillons de la courgette biologique, mais dans des deux cas les teneurs ne dépassent pas le seuil de toxicité. Le fruit est sain, on peut expliquer ça par les bonnes pratiques culturales et le respect des doses et des délais d'utilisation des pesticides, La diminution des résidus, après un délai avant récolte de sept jours et suite à des applications adéquates. [69]. Mais avec l'utilisation massive des pesticides sont apparus des signes évidents de toxicité et d'effets néfastes pour l'environnement et pour l'Homme. Les industriels doivent et devront faire la preuve scientifique de la non-toxicité de leurs substances en fonction de normes officielles [70].

Beaucoup d'études ont pu mettre en évidence la présence permanente et préoccupante de résidus et multi-résidus contaminant les denrées alimentaires. L'analyse de ces résidus est très complexe à cause de leurs propriétés physico-chimiques telles que la solubilité dans l'eau par exemple. Cette analyse est menée par des instituts de recherche, des universités, des laboratoires privés et des agences gouvernementales. Elle permet non seulement la protection des consommateurs et des plantes, mais aussi un contrôle rigoureux de la pollution de l'environnement.

Les pesticides se trouvent souvent à la surface des légumes et fruits. Une étude a montré que le lavage couplé avec le frottement du végétal peut réduire plus significativement la présence de résidus. [71]. Etant donné que certains pesticides sont lipophiles, ils peuvent pénétrer au cœur de la plante. Il est évident que le fait de laver et peler les fruits et légumes ne signifie pas qu'on peut réduire, ni éliminer ces résidus définitivement.

En effet, une autre étude a pu montrer la présence de ces résidus même dans les concombres traités et pelés. [72].

Afin d'éviter la contamination de ces denrées qui sont à l'origine d'intoxication chez l'homme et les animaux, il est donc recommandé de respecter les délais d'emploi des pesticides avant la récolte. L'utilisateurs de pesticides sont plus souvent atteints par certains cancers (estomac, prostate, vessie, cerveau, lèvres, LNH, leucémies) . [73]. Dans une région aux USA fortement contaminée par des herbicides organochlorés et triazines, une augmentation significative du risque de cancer du sein. [74].

D'autres études montrent que les effets neurocognitifs des pesticides organophosphorés sur les populations exposées professionnellement sont : troubles de la mémoire, anxiété, irritabilité et dépression [75].

Enfin les doses résiduelles trouvées, en accord ou non avec les normes, créent un risque certain pour le consommateur. Un contrôle permanent et régulier des résidus s'avère indispensable, ainsi que des études de toxicité et génotoxicité de de ces molécules chimiques très stables faisant partie de notre alimentation quotidienne.

Conclusion et Suggestions

Conclusion et Suggestions :

Les engrais et les pesticides forment un groupe important de substances chimiques qui peuvent contaminer les écosystèmes et affecter la santé humaine. Malgré les efforts fournis pour développer des méthodes alternatives, les pesticides sont toujours le moyen de lutte prédominant et leurs résidus constituent une menace potentielle.

Dans le but d'évaluer de l'impact des intrants agricoles sur la culture de courgette, une analyse physicochimique a été réalisée.

La méthode d'analyse de multi-résidus utilisée dans cet essai est la Spectrométrie de masse à plasma, L'ICP est une technique d'analyse multi-élémentaire a fort potentiel, elle permet d'analyser en quelques minutes 50 à 70 éléments différents à partir des matériaux plus varies avec une excellente sensibilité proche

Malgré les efforts déployés pour développer des méthodes alternatives, les pesticides sont toujours le moyen de lutte prédominant et leurs résidus constituent une menace potentielle. Il est donc impératif d'étudier la toxicité des pesticides car ils ont été très cités pour leur cytotoxicité et génotoxicité dans les études toxicologiques.

Les résultats obtenus au cours de cette étude, montrent que les fruits de courgettes sont assez contaminés par des substances chimiques avec une certaine hétérogénéité dans leurs valeurs mais n'atteignant pas encore un niveau alarmant, comme le montre ci-dessous

Tableau 13 : Seuils de toxicité des éléments étudiés

Elément	Valeur
Arsenic (As)	0,08 Mg.kg-1MS
Mercuré (Hg)	0,01 Mg.kg-1MS
Plomb (Pb)	0,49 Mg.kg-1MS
Magnésium (Mg)	C'est la carence qui provoque des problèmes non défini exactement.
Souffre (S)	100 mg/kg
Aluminium (Al)	80 µg/g
Argent (Ag)	0,2µg/g
Chrome (Cr)	0,1 µg/g
Cuivre (Cu)	15 µg/g
Fer (Fe)	500 µg/g
Nickel (Ni)	8 µg/g
Zinc (Zn)	17 µg/g

Cette étude représente une contribution modeste à l'évaluation correcte de l'ampleur du risque sanitaire dû à l'exposition aux résidus de pesticide et engrais.

Ce sujet suscite un grand intérêt actuellement et mérite :

- de réaliser plus de recherches en vue de mieux comprendre l'effet des résidus de substances chimiques notamment les métaux lourds sur la santé humaine.
- Il serait également intéressant d'étudier les taux de ces résidus dans le temps et à long terme.
- Il serait aussi indispensable de tester leur bioaccumulation et bioconcentration chez les animaux pour mieux étudier leurs méfaits sur la santé.

Une attention particulière devrait être accordée aux effets possibles de divers substances toxiques présentes dans l'environnement; en particulier ceux avec une faible toxicité qui sont présents dans les aliments et l'eau.

Le but ultime est de pouvoir contrôler leur utilisation surtout qu'on assiste à un mauvais usage des intrants agricoles et au non-respect de la réglementation comme méthode alternative pour réduire notamment leur ampleur.

Références Bibliographiques

Références bibliographiques

1. 7ème édition des Rencontres Internationales de l'Agriculture Durable aura lieu le 29 Janvier 2015 à l'AUDITORIUM PARIS CENTRE MARCEAU.
2. "pesticides agriculture et environnemt Aubertot J.N., J.M. Barbier, A. Carpentier, J.J. Gril, L. Guichard, P. Lucas, S. Savary, I. Savini, M. Voltz (éditeurs), 2005. Pesticides, agriculture et environnement. Réduire l'utilisation des pesticides et limiter leurs impacts environnementaux. Expertise scientifique collective, synthèse du rapport, INRA et Cemagref (France), 64 p."
3. Craven C., Hoy S. 2005. Pesticides persistence and bound residues in soil – regulatory significance, Environmental Pollution vol 133: 5-9."
4. https://fr.wikipedia.org/wiki/Grenelle_Environnement.
5. ANONYME1, 2014. Production agricole, superficies. Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural et de la pêche (série B).
6. DORE C. et VAROQUAUX F., 2006. Histoire et amélioration de cinquante plantes cultivées. Ed. INRA, Paris. 698p.
7. Ressources végétales de l'Afrique tropicale, 2 G J H Grubben; O A Denton; Fondation PROTA .2004, 737 p.
8. CRONQUIST A., 1981. An integrated system of classification of following plants Colombia university, 1256p.
9. GAUSSEN H., LEFOY J. et OZENDA P., 1982. Précis de Botanique. Deuxième Ed. Masson, Paris. 172p. (INRAA, 2006).
10. GALLAIS A. et BANNEROT H., 1992. Amélioration des espèces végétales cultivés objectif et critères de sélection. INRA, Paris. 765p.
11. BROSSARD D. Mémento des fruits et légumes CTIFL 2002.
12. Mc Gregor S.E. 1976. Insect pollination of cultivated crops plants. US Department of Agriculture, Agriculture Handbook No 496, Washington, 411 p.
13. Nepi & Pacini 1993: apertum development in Cucurbita pepo (Cucurbitaceae). — Plant Systematics and Evolution (Suppl.) 7: 13–22.
14. ANONYME2, 2010. Guide de la culture de la courgette. ITCMI, Staoueli. 20p.
15. ANONYME3, 2012. Infos Phyto Bultei d'information N :29 INPV Alger. 04 p.
16. ARUY M.-P. & F. GALLOUIN Légumes d'hier et d'aujourd'hui Belin 2007.
17. Régis THOMAS, Janvier 2009
18. FAVIER J., IRELAND-RIPERT J., TOQUE C., and FEINBERG M., 2003. Répertoire Général des aliments. Ed. Ciqual. pp40-48.

19. François R. 2000. Dictionnaire encyclopédique de la pollution. Edition internationale. Paris. 755p.
20. François R. 2000. Dictionnaire encyclopédique d'écologie et de science de l'environnement 2 ieme Edition DUNOD. Paris. 704p.
21. Gilli E., Mangan C., Mudry J. 2004. Hydrogéologie : objets, méthodes et applications. Édition DUNOD. Paris. 352 pages.
22. Gaujout D. 1995. La pollution des milieux aquatiques. Aide-mémoire, 2ème édition TEC et DOC. Paris. 520p.
23. Faurie C., Erra C., Médorie P., Devane J., Remptime J. L. 2003. Écologie, approche scientifique et pratique. 5ème édition LAVOISIER. 823p.
24. Calvet R., Barriuso E., Bedos C., Benoit P., Charnay M.P., Coquet Y. les pesticides dans le sol, conséquences agronomiques et environnementales ; 2005, Edition France AGRICOLE. 637 pages.
25. Grosclaude G. C. 1999. L'eau, Tome II, usage et polluants, Institut national de la recherche agronomique. Paris, France. 210p.
26. Conrad J. E., Colvin C., Sililo O., Görgens A., Weaver J., Reinhardt C. 1999. Assessment of the Impact of Agricultural Practices on the Quality of Groundwater Resources in South Africa. Water Research Commission, Pretoria, South Africa. Report 641/1/99. 86P.
27. Danish EPA; DAISY: Soil-Plant-Atmosphere System Model. Danish Research; Program on Nitrogen, Phosphorus and Organic Matter, Danish EPA, 1999, Copenhagen, Denmark, Report A10. 236p.
28. Lemerrier B. 2003. La pollution par les matières Phosphorées en Bretagne. Sources, Transfert Et moyennes de lutte. Direction régional de l'environnement Bretagne. 85p.
29. Debieche T.H. 2002. Évolution de la qualité des eaux (salinité. azote et métaux lourds) sous l'effet de la pollution agricole et industrielle. Thèse de doctorat en hydrogéologie de l'environnement. Université de Franche- Comté. France. 312p.
30. Adriano D.C. 2001. Trace elements in terrestrial environments; Biochemistry, bioavailability and risks of metals. 2ème édition. Springer-Verlag. New York. 867p.
31. Jokanović M. 2001. Biotransformation of organophosphorus compounds. Toxicology. Vol 166:139-160.
32. FAVIER J., IRELAND-RIPERT J., TOQUE C., and FEINBERG M., 2003. Répertoire Général des Aliments. Ed. Ciqual. pp40-48.
33. Domange N. 2005. Etude des transferts de produits phytosanitaires à l'échelle de la parcelle et du bassin versant viticole (Rouffach, Haut- Rhin), Thèse de doctorat, Université Louis Pasteur Strasbourg I. France. 285p.
34. Boucher C.G., Margoum C. 2003. Contribution à l'étude du devenir des produits phytosanitaires lors d'écoulements dans les fosses, caractérisation physico-chimique et hydrodynamique, Thèse de doctorat Université Joseph Fourier- Grenoble I. France. 292p.
35. CHAUX C.L. et FOURY C.L., 1994. Cultures légumières et maraichères. Tome III : légumineuses potagères, légumes fruit . Tec et Doc Lavoisier, Paris. 563p.

36. Bouchon C., Lemoine S. 2003. Niveau de contamination par les pesticides des chaînes trophiques des milieux marins côtiers de la Guadeloupe et recherche des biomarqueurs de génotoxicité, thèse de doctorat, Université des Antilles et de la Guyane, Guadeloupe. France. 265p.
37. M.T. Scholtus ; Construction d'un indicateur de qualité des eaux de surface vis-à-vis des produits phytosanitaires à l'échelle du bassin versant viticole, Thèse de doctorat, Institut national polytechnique de Lorraine, 2004, France. 295p.
38. Colin F. 2000. Approche spatiale de la pollution chronique des eaux de surface par les produits phytosanitaires, cas de l'atrazine dans le bassin versant du Sousson (Gers, France), Thèse de doctorat, Unité de recherche mixte : CEMAGREF-ENGREF " Structures et Systèmes Spatiaux », Montpellier, , France. 274p.
39. Carsel R. F., Mulkey L. A., N. Lorber M., Baskin L. B. 1985. The Pesticide Root Zone Model (PRZM): A Procedure for Evaluating Pesticide Leaching Threats to Ground Water, *Ecol Modeling*, Vol30: 49–69.
40. Barriuso E., Calvet R., Schiavon M., Soulas G. 1996. Les pesticides et les polluants organiques des sols. Transformations et dissipation. *Etude Gestion Sols*. Vol3: 279-296.
41. Arias E. M., Lopez P. E., Martinez C. E., Simal G. J., Merut J. C., Garcia R. L. 2008. The mobility and degradation of pesticides in soils and the pollution of groundwater resources. *Agriculture, Ecosystems and Environment* vol 123: 247-260.
42. Capkin E., Altinok I., Karahan S. 2006. Water quality and fish size affect toxicity of endosulfan, an organochlorine pesticide, to rainbow trout. *Chemosphere* vol 64: 1793–1800.
43. PICHARD, A. Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques, arsenic et ses dérivés. INERIS. 11 avril 2003.
44. PICHARD, A. Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques, mercure et ses dérivés. INERIS. 11 avril 2003.
45. PICHARD, Annick. Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques, plomb et ses dérivés. INERIS. 03 avril 2003. 90p.
46. CASAS, Stellio. Modélisation de la bioaccumulation de métaux traces (Hg, Cd, Pb, Cu et Zn) chez la moule, *mytilus galloprovincialis*, en milieu méditerranéen. Thèse de doctorat : Océanologie biologique, Environnement marin. 2005, 314p.
47. GUNNAR, F. NODBERG. BRUCE, A. NODBERG F, W. FRIBERG L. Handbook on the toxicologie of metals. 3eme edition. Academic Press, 25 juin 2007. 1024 p.
48. ANONYME4, 2011. <http://fr.Wikipedia.org/Wikipedia.org/wiki>.
49. PICHARD, A. Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques, soufre et ses dérivés. INERIS. 11 avril 2003.
50. PICHARD, A. Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques, aluminium et ses dérivés. INERIS. 11 avril 2003.
51. PICHARD, A. Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques, argent et ses dérivés. INERIS. 11 avril 2003.

52. ANSES, 2010 : Valeurs limites d'exposition en milieu professionnel – Les composés du chrome hexavale
53. PICHARD, A. Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques, cuivre et ses dérivés. INERIS.11 avril 2003.
54. NESTEL, P. DAVIDSSON, L. Anémie carence en fer et anémie ferriprive. Etat Unis d'Amérique, 2003.
55. PICHARD, A. Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques, nickel et ses dérivés. INERIS.11 avril 2003.
56. CASAS, Stellio. Modélisation de la bioaccumulation de métaux traces (Hg, Cd, Pb,Cu et Zn) chez la moule, *mytilus galloprovincialis*, en milieu méditerranéen. Thèse de doctorat : Océanologie biologique, Environnement marin. 2005,314p.
57. Relyea R. A. 2009. A cocktail of contaminants: How mixtures of pesticides at low concentrations affect aquatic communities. *Oecologia*, vol 159 (2): 363-376.
58. François R. 2010.Eléments d'écologie : Ecologie appliquée.7ème édition DUNOD, Paris. 754p.
59. Loi algérienne N° 87-17 relative à la protection phytosanitaire. 1987. Journal officiel de la république algérienne N°32 du 05-08-1987.
60. Organisation mondiale de la santé. Guidelines for drinking-water quality. Vol. 2. Health criteria and other supporting information. Ch. 15.Genève (1984).
61. L. Amalric, P. Bados, S. Lardy-Fontan, F. Lestremau et M.-P Strub 2012 Caractéristiques des multi-résidus pour l'analyse des substances 54p
62. Systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2010.
63. Ayrault, S. (2011). Transfert d'éléments en trace dans l'environnement. Thèse de HDR. Université ParisSud 11.
64. Analytical techniques for trace element analysis: an overview. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 24(3), 266–274.
65. Coic et Coppenet, (1989).Les oligo-éléments en agricultures et élevages. Incidence sur la nutrition humaine.INRA. Paris. 109p.
66. In Produits de Protection des Plantes : innovation et sécurité pour l'agriculture durable, Catherine Regnault-Roger, éditions Lavoisier, 2014, p 189.
67. Salim R., M. Haddad and 1. El-Khatib. 1988. Effect of nickel treatment on the growth of egg-plant. 1. *Environ. Sei. Realth A23*: 369-379.
68. L'Huillier L. 1992. Mise en valeur des sols ferrallitiques des massifs du Sud de la Nouvelle-Calédonie. Effets d'une fumure organique sur la croissance et la nutrition minérale du maïs cultivé sur un sol ferrallitique riche en métaux lourds (Ni, Mn, Cr, Co). Nouméa: üRSTüM. Conv.; Sei. Vie; Agropédol., 5 112 pages.

- 69.** Baize D. 1997. Teneurs totales en éléments traces métalliques dans les sols de France. Ed. INRA. Paris, 406.
- 70.** Pelletier F., (1992). Impact de différentes pratiques culturales sur la persistance de l'herbicide atrazine et sur la biomasse microbienne du sol. Mémoire INRS-Eau (Québec). Chapitre 1 : 6-18 et chapitre 2 : 30-36.
- 71.** Eriksson et al. 1990; Eriksson et al.1992; Snedeker, 2001; Den Hond et al. 2006; Schoeters et al. 2006; Bonde et al. 2008). Pour faire face à ce problème, le parlement Européen a instauré le projet REACH (Registration, evaluation and authorization of chemicals).
- 72.** Sala C., Fort F., Busto O., Zamora F., Arola L., Guasch J., (1996). Fate of some common pesticides during vinification process. Journal of Agricultural and Food Chemistry 44: 3668-3671.
- 73.** Viel J.F. (1992), « : Etude des associations géographiques entre mortalité par cancers en milieu agricole et exposition aux pesticides ».
- 74.** Pluygers et al., (1994). « Pesticides et cancer humain, revue », Ed Aves, liège, 43p.
- 75.** Kamrin, M. A. (1997). Environmental risk harmonization: federal/state approaches to risk assessment and management. Regul Toxicol Pharmacol 25: 158 - 165.
- 76.** Jamal G.A., (1997) Neurological symptoms of organophosphorus compounds, Adverse Drug React Rev 16: 133-170.

Annexes

Annexe 1: Volume de production de courgette par wilaya (qx/ha)

WILAYA	Primeur			Saison			Sous serres		
	Superficie ha	Production qx	Rdt qx/ha	Superficie ha	Production qx	Rdt qx/ha	Superficie ha	Production qx	Rdt qx/ha
ADRAR	1	320	320	55	6 706	122	1,0	320	320
CHLEF	0	0	0	225	74 360	331	155,2	11 660	75
LAGHOUAT	0	0	0	423	160 740	380	0,0	0	0
O.E.BOUAGHI	0	0	0	149	28 641	192	0,0	0	0
BATNA	0	0	0	384	54 082	141	0,0	0	0
BEJAIA	12	2 080	173	191	27 980	146	3,8	1 530	398
BISKRA				0	0		229,0	170 010	742
BECHAR	0	0	0	54	7 020	130	0,0	0	0
BLIDA	22	3 840	175	74	21 180	286	4,0	2 980	745
BOUIRA	0	0	0	118	15 205	129	0,0	0	0
TAMANRASSET	0	0	0	85	7 025	83	0,5	75	150
TEBESSA	0	0	0	97	11 900	123	0,0	0	0
TLEMCEN	25	4 160	166	310	49 370	159	15,0	7 500	500
TIARET	0	0	0	380	93 100	245	0,0	0	0
TIZI-OUZOU	0	0	0	248	59 365	239	0,0	27	675
ALGER	130	44 800	345	575	126 850	221	151,0	52 673	349
DJELFA	0	0	0	207	23 140	112	0,0	0	0
JIJEL	68	11 950	176	298	33 971	114	63,3	23 558	372
SETIF	0	0	0	328	49 270	150	0,0	0	0
SAIDA	0	0	0	40	7 890	197	0,0	0	0
SKIKDA	295	50 980	173	710	95 173	134	2,8	742	263
S.B.ABBES	0	0	0	88	10 397	118	0,0	0	0
ANNABA	3	310	103	532	106 690	201	0,0	0	0
GUELMA	0	0	0	231	49 595	215	0,0	0	0
CONSTANTINE	0	0	0	7	600	87	0,1	38	475
MEDEA	0	0	0	266	36 523	137	0,0	0	0
MOSTAGANEM	0	0	0	945	241 763	256	92,0	33 746	367
M'SILA	0	0	0	650	130 000	200	2,0	800	400
MASCARA	0	0	0	240	50 920	212	0,1	80	667
OUARGLA	3	501	167	44	13 998	318	3,0	500	168
ORAN	2	260	130	93	15 356	164	0,5	290	558
EL-BAYADH	0	0	0	30	1 950	65	0,0	0	0
ILLIZI	0	0	0	11	1 205	110	0,0	10	1 000
B.B.ARRERIDJ	0	0	0	76	10 643	140	0,0	0	0
BOUMERDES	33	9 900	300	498	98 200	197	170,0	56 000	329
EL-TARF	32	4 000	125	258	32 000	124	0,0	0	0
TINDOUF	0	0	0	0	0	0	0,8	532	700
TISSEMSILT	0	0	0	27	3 352	124	0,0	0	0
EL-OUED	3	3 000	1 000	37	2 200	59	3,0	3 000	1 000
KHENCHELA	0	0	0	92	11 913	129	0,0	0	0
SOUK-AHRAS	0	0	0	108	8 640	80	0,0	0	0
TIPAZA	211	91 720	435	264	29 822	113	252,0	105 372	418
MILA	0	0	0	248	84 680	341	0,0	0	0
AIN-DEFLA	0	0	0	425	169 320	398	25,0	10 680	427
NAAMA	0	0	0	97	13 728	142	0,0	0	0
A.TEMOUCHENT	85	16 600	195	80	14 745	185	14,2	6 440	454
GHARDAIA	0	0	0	174	16 435	95	0,3	120	400
RELIZANE	0	0	0	92	12 180	132	0,0	0	0
TOTAL ALGERIE	925	244 421	264	10 563	2 119 823	7 978	1 189	488 683	11 952

Annexe 2 : Tableaux des données climatiques de la région d'essai

1. Précipitations:

La moyenne mensuelle de la pluviométrie à Alger station Dar El Beida est présentée dans le tableau ci-dessous :

Tableau 14 : Répartition des précipitations mensuelles

Saisons	Automne			Hiver			Printemps			Été			Cumul Annuel
Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A	
Moyenne Mensuelle	26.8	47.7	85.5	88.6	87.7	77.6	44.1	57	42.3	6.2	3	10.6	577.1

On remarque que la valeur maximale des précipitations est enregistrée au mois de novembre avec 88,6 mm, tandis que le minimum est atteint au mois de juillet avec 3,00 mm. La hauteur des pluies annuelle est de 577.10 mm.

Ces précipitations présentent une répartition acceptable pendant l'année

2. Températures:

Tableau 15 : Températures mensuelles moyennes °C

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A
T °C Maximale	29.9	26.3	20.9	17.8	16.8	17.4	19.8	21.5	27.7	28.9	31.6	32.7
T °C Minimale	17.9	14.4	9.9	6.9	5.4	5.2	7.3	8.8	12.8	16.3	19	20.1
T °C Moyenne	23.9	20.3	15.4	12.4	11.1	11.3	13.6	15.1	18.8	22.6	25.3	26.4

La moyenne mensuelle de la température ambiante est de 18,02 °C. Pendant l'année moyenne, les températures évoluent de septembre à août selon une courbe parabolique où le point d'inflexion se situe au mois de janvier qui se révèle comme le mois le plus froid de l'année.

Le mois le plus chaud est le mois de juillet où les températures moyennes enregistrées avoisinent les 25,30°C. Les températures extrêmes sont de 31,60°C pour les maxima (Juillet) et avoisinent 25,30 °C pour les minima (janvier).

3. Les vents:

Les vents dominants ont la direction Nord et Nord-ouest en hiver, tandis qu'en été les vents dominants soufflent du sud et sud-ouest.

4. Les gelées :

Les gelées plus ou moins fréquentes au niveau de la région, on dénombre annuellement 9.8 jours en moyenne qui se manifestent surtout en hiver.

Le climat de la région d'étude est caractérisé par un climat très réputé pour ses étés secs et chauds ainsi que pour ses hivers doux et humides. Les précipitations sont plus abondantes en hiver, c'est pour cela que l'humidité relative est supérieure durant cette saison. Le climat est de type méditerranéen.

Annexe 3: Résultats d'analyses du sol et de l'eau

Les analyses de l'eau et du sol sont effectuées au niveau de l'Institut National des Sols de l'Irrigation et du Drainage (INSID) avant la mise en place de l'essai.

1. Analyses de l'eau.

Tableau 16: Résultats d'analyse

Echantillon	Eau
Ph _{EAU}	6.26
Conductivité électrique (EC) (ds / m)	1.53
Calcium (Ca) (ppm)	3.41
Magnésium (Mg) (ppm)	1.19
Potassium (K) (ppm)	0.25
Sodium (Na) (ppm)	3.64

NB: Les analyses des anions (SO₄, CL, HCO₃, CO₃) et du calcaire actif n'ont pas été réalisées à cause d'une faible conductivité électrique et d'une faible concentration en calcaire total.

2. Analyses du sol.

Tableau 17: Résultats d'analyses Granulométriques

Granulométrie	Profondeur			Moyenne
	H1 10 cm	H2 20 cm	H3 30 cm	
Argile (%)	10.5	9.5	8.5	9.5
Limon (%)	7.97	10.22	9.34	9.17
Sable (%)	81.53	80.28	82.16	81.32

Notre sol est constitué essentiellement de sable (81,32%) avec très peu d'argile (9,5%) et de limon (9,5%).

Tableau 18: Résultats d'Analyse Physico – chimiques.

Types d'analyses	Echantillons			Moyenne
	H1	H2	H3	
Phosphore assimilable (ppm)	318.31	334.34	329.76	327.47
Ph _{EAU}	8.67	8.54	8.58	8.59
Conductivité électrique (EC) (ds / m)	0.17	0.12	0.14	0.14
Calcaire total (%)	5	4.22	8	5.74
Matière organique (%)	1.04	0.61	2.11	1.25
Calcium (Ca) (meq / 100 g sol)	8.95	7.38	9.12	8.48
Magnésium (Mg) (meq / 100 g sol)	2.82	2.96	6.85	4.21
Potassium (K) (meq / 100 g sol)	0.55	0.86	1.14	0.85
Sodium (Na) (meq / 100 g sol)	1.64	1.78	5.13	2.85

Nous constatons que notre sol est très faible en matière organique (1,25%) et riche en phosphore (327,47 ppm), il ne nécessite pas un apport supplémentaire en phosphore au moment de la fertilisation, par contre un grand apport en matière organique avant plantation.

Annexe 4: Tableaux de résultats d'analyse par groupe d'éléments

1. Présence des métaux lourds

Tableau des résultats de présence des macro-éléments (ppm)

Métal		Plomb	Mercure	Arsenic
Courgette conduite sans engrais et pesticides (Biologique)	Echantillon 01	0,20	0,00	0,10
	Echantillon 02	0,16	0,01	0,08
	Echantillon 03	0,03	0,00	0,04
	Moyenne	0,13	0,00	0,07
Courgette conduite avec engrais et pesticides (Conventionnelle)	Echantillon 01	0,08	0,10	0,02
	Echantillon 02	0,10	0,04	0,08
	Echantillon 03	0,09	0,02	0,02
	Moyenne	0,09	0,05	0,04

2. Contenance en macroéléments :

Tableau des résultats de la contenance en macro-éléments (ppm)

Métal		Soufre	Magnésium
Courgette conduite sans engrais et pesticides (Biologique)	Echantillon 01	90,39	116,07
	Echantillon 02	89,49	102,06
	Echantillon 03	27,73	51,30
	Moyenne	69,20	89,81
Courgette conduite avec engrais et pesticides (Conventionnelle)	Echantillon 01	93,16	119,22
	Echantillon 02	82,95	98,03
	Echantillon 03	78,03	90,88
	Moyenne	84,71	102,71

3. Teneur en oligoéléments :

Tableau des résultats de la teneur en oligo-éléments (ppm)

Métal		Zinc	Cuivre	Fer	Nickel	Aluminium	Chrome	Argent
Courgette conduite sans engrais et pesticides (Biologique)	Echantillon 01	2,30	6,01	4,78	0,07	8,81	0,11	0,02
	Echantillon 02	2,44	4,54	3,13	0,11	3,67	0,09	0,00
	Echantillon 03	0,73	0,50	0,50	0,02	0,90	0,04	0,01
	Moyenne	1,82	3,68	2,80	0,07	4,46	0,08	0,01
Courgette conduite avec engrais et pesticides (Conventionnelle)	Echantillon 01	2,55	0,87	3,42	0,10	0,69	0,04	0,01
	Echantillon 02	2,76	3,29	2,01	0,07	2,30	0,05	0,00
	Echantillon 03	1,73	3,44	2,51	0,18	14,78	0,04	0,02
	Moyenne	2,35	2,53	2,65	0,12	5,92	0,04	0,01

Annexe 5: Tableaux des résultats d'analyse comparer les moyennes (teste de Student)

1. Présence des métaux lourds

Statistiques de groupe :

Echantillon		N	Moyenne	Ecart-type	Erreur standard moyenne
Plomb	Biologique	3	,0700	,03606	,02082
	conventionnelle	3	,1500	,05568	,03215
Mercure	Biologique	3	,0033	,00577	,00333
	conventionnelle	3	,0533	,04163	,02404
Arsenic	Biologique	3	,0267	,01155	,00667
	conventionnelle	3	,0867	,01155	,00667

Test d'échantillons indépendants :

Métal/Echantillon		Test de Levene sur l'égalité des variances		Test-t pour égalité des moyennes				
		F	Sig.	t	ddl	Sig. (bilatérale)	Différence moyenne	Différence écart-type
Plomb	Hypothèse de variances égales	0,571	,492	-2,089	4	,105	-,08000	,03830
	Hypothèse de variances inégales			-2,089	3,427	,117	-,08000	,03830
Mercure	Hypothèse de variances égales	7,481	,052	-2,060	4	,108	-,05000	,02427
	Hypothèse de variances inégales			-2,060	2,077	,171	-,05000	,02427
Arsenic	Hypothèse de variances égales	,000	1,000	-6,364	4	,003	-,06000	,00943
	Hypothèse de variances inégales			-6,364	4,000	,003	-,06000	,00943

2. Contenance en macroéléments :

Statistiques de groupe :

Macroélément/Echantillon		N	Moyenne	Ecart-type	Erreur standard moyenne
Soufre	Biologique	3	69,2033	35,91978	20,73829
	conventionnelle	3	84,7133	7,71759	4,45575
Magnésium	Biologique	3	89,8100	34,07837	19,67515
	conventionnelle	3	102,7100	14,73824	8,50913

Test d'échantillons indépendants :

Macroélément/Echantillon		Test de Levene sur l'égalité des variances		Test-t pour égalité des moyennes				
		F	Sig.	t	ddl	Sig. (bilatérale)	Différence moyenne	Différence écart-type
Soufre	Hypothèse de variances égales	9,351	,038	-,731	4	,505	-15,51000	21,21157
	Hypothèse de variances inégales			-,731	2,184	,535	-15,51000	21,21157
Magnésium	Hypothèse de variances égales	3,100	,153	-,602	4	,580	-12,90000	21,43635
	Hypothèse de variances inégales			-,602	2,723	,594	-12,90000	21,43635

3. Teneur en oligoéléments :

Statistiques de groupe :

Oligoéléments/Echantillon		N	Moyenne	Ecart-type	Erreur standard moyenne
Nickel	Biologique	3	,0533	,02887	,01667
	conventionnelle	3	,1300	,04359	,02517
Aluminium	Biologique	3	0,9633	0,30989	0,17892
	conventionnelle	3	9,0867	5,56016	3,21016
Chrome	Biologique	3	,0433	,00577	,00333
	conventionnelle	3	,1633	,04726	,02728
Argent	Biologique	3	,0067	,00577	,00333
	conventionnelle	3	,0133	,01155	,00667
Zinc	Biologique	3	1,1567	,37608	,21713
	conventionnelle	3	2,5833	,16258	,09387
Cuivre	Biologique	3	1,8867	0,39526	0,22821
	conventionnelle	3	4,6633	1,28943	,74445
Fer	Biologique	3	2,3100	0,99454	0,57420
	conventionnelle	3	3,4733	1,17330	,67741

Test d'échantillons indépendants :

Oligoéléments/Echantillon		Test de Levene sur l'égalité des variances		Test-t pour égalité des moyennes				
		F	Sig.	t	ddl	Sig. (bilatérale)	Différence moyenne	Différence écart-type
Nickel	Hypothèse de variances égales	1,136	,346	-2,540	4	,064	-,07667	,03018
	Hypothèse de variances inégales			-2,540	3,471	,073	-,07667	,03018
Aluminium	Hypothèse de variances égales	4,102	,113	-2,527	4	,065	-8,12333	3,21514
	Hypothèse de variances inégales			-2,527	2,012	,127	-8,12333	3,21514
Chrome	Hypothèse de variances égales	8,522	,043	-4,366	4	,012	-,12000	,02749
	Hypothèse de variances inégales			-4,366	2,060	,046	-,12000	,02749
Argent	Hypothèse de variances égales	3,200	0,148	-0,894	4	0,422	-0,00667	,00745
	Hypothèse de variances inégales			-0,894	2,941	0,438	-0,00667	,00745
Zinc	Hypothèse de variances égales	3,243	,146	-6,031	4	,004	-1,42667	,23655
	Hypothèse de variances inégales			-6,031	2,722	,012	-1,42667	,23655
Cuivre	Hypothèse de variances égales	2,366	,199	-3,566	4	,023	-2,77667	0,77865
	Hypothèse de variances inégales			-3,566	2,373	,054	-2,77667	0,77865
Fer	Hypothèse de variances égales	0,127	,740	-1,310	4	,260	-1,16333	0,88802
	Hypothèse de variances inégales			-1,310	3,895	,262	-1,16333	0,88802

Annexe 6: Tableaux des résultats de test de corrélation

1. Corrélation des métaux lourds :

Métal		Plomb	Mercure	Arsenic
Plomb	Corrélation de Pearson	1	,907*	,842*
	Sig. (bilatérale)		,013	,035
	N	6	6	6
Mercure	Corrélation de Pearson	,907*	1	,847*
	Sig. (bilatérale)	,013		,033
	N	6	6	6
Arsenic	Corrélation de Pearson	,842*	,847*	1
	Sig. (bilatérale)	,035	,033	
	N	6	6	6

*. La corrélation est significative au niveau 0.05 (bilatéral).

2. Corrélation en macroéléments :

Macroélément		Soufre	Magnésium
Soufre	Corrélation de Pearson	1	,966
	Sig. (bilatérale)		,002
	N	6	6
Magnésium	Corrélation de Pearson	,966	1
	Sig. (bilatérale)	,002	
	N	6	6

**. La corrélation est significative au niveau 0.01 (bilatéral).

3. Corrélation en oligoéléments :

Oligoélément		Nickel	Aluminium	Chrome	Argent	Zinc	Cuivre	Fer
Nickel	Corrélation de Pearson	1	,883*	,883*	,418	,799	,514	,302
	Sig. (bilatérale)		,020	,020	,409	,057	,297	,561
	N	6	6	6	6	6	6	6
Aluminium	Corrélation de Pearson	,883*	1	,779	,734	,672	,552	,298
	Sig. (bilatérale)	,020		,068	,097	,144	,256	,566
	N	6	6	6	6	6	6	6
Chrome	Corrélation de Pearson	,883*	,779	1	,247	,871*	,611	,228
	Sig. (bilatérale)	,020	,068		,636	,024	,198	,665
	N	6	6	6	6	6	6	6
Argent	Corrélation de Pearson	,418	,734	,247	1	,215	,336	,413
	Sig. (bilatérale)	,409	,097	,636		,683	,515	,415
	N	6	6	6	6	6	6	6
Zinc	Corrélation de Pearson	,799	,672	,871*	,215	1	,882*	,615
	Sig. (bilatérale)	,057	,144	,024	,683		,020	,194
	N	6	6	6	6	6	6	6
Cuivre	Corrélation de Pearson	,514	,552	0,619	,336	,882*	1	,789
	Sig. (bilatérale)	,297	,256	,198	,515	,020		,062
	N	6	6	6	6	6	6	6
Fer	Corrélation de Pearson	,302	,298	,228	,413	,615	,789	1
	Sig. (bilatérale)	,561	,566	,665	,415	,194	,062	
	N	6	6	6	6	6	6	6

*. La corrélation est significative au niveau 0.05 (bilatéral).