



République Algérienne Démocratique et Populaire  
الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

N° d'ordre=...  
N° de sérier :..

Université Echahid Hamma Lakhdar EL-OUED

جامعة الشهيد حمه لخضر - الوادي

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

كلية علوم الطبيعة والحياة

Département de Biologie Cellulaire et Moléculaire

قسم البيولوجيا الخلوية والجزيئية

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

*En vue de l'obtention du Diplôme de Master Académique en Sciences Biologiques*

Spécialité : *TOXICOLOGIE*

THEME

**Effet de l'utilisation aléatoire des pesticides sur le  
teneur de métaux lourds de la tomate  
(*Solanum lycopersicum* L.1554) et de la pomme de terre  
(*Solanum tuberosum* L.1568) dans la région du Souf**

Présenté par :

BEHIR Mohamed Seddik  
GHILANI Monia  
HAMROUNI Achouak  
MIEESA Amira

Devant le jury composé de :

	Nom et Prénom	Grade	Université
Président :	KHECHEKHOUCHE El Amine	M.C.A	Université d'El-Oued
Examineur :	AOUIMER Meriem	M.A.A	Université d'El-Oued
Promoteur :	ALIA Zeid	M.C.A	Université d'El-Oued

Année universitaire : 2021 / 2022



# ***Dédicaces***

JE DÉDIE CE MODESTE TRAVAIL À CELLE QUI M'À

DONNÉ LA VIE,

TENDRESSE, QUI S'EST SACRIFIÉE POUR MON BONHEUR

ET MA RÉUSSITE, À MA MÈRE

À MON PÈRE,

À M'ENCOURAGER, À ME DONNER L'AIDE ET À ME PROTÉGER.

QUE DIEU LES GARDES ET LES PROTÈGE,

À MES ADORABLES SŒURS

À MES FRÈRES

À TOUS CEUX QUI M'ONT ENCOURAGÉ À ALLER JUSQU'AU

# Remerciements

*Avant de commencer nous remercions avant tout Allah tout puissant, de nous avoir donné le courage, la patience et la chance d'étudier et suivre de chemin de la science. Nous tenons en premier lieu à remercier notre encadreur M. Alia Zeid, pour nous avoir fait confiance, sa disponibilité et pour avoir nous orienter avec justesse tout au long de notre cheminement, sa patience, ses encouragements et ses conseils. Nous soulignons particulièrement son sens de la pédagogie et son humanisme. Nous exprimons nos vifs remerciements à Dr. KHÉCHÉKHOUCHE El Amine, pour L'honneur qu'il nous a fait en acceptant de présider le jury de ce mémoire. Mes remerciements vont aussi à Dr. AOUMER Meriem pour avoir accepté d'examiner ce modeste travail. Nous tenons également à remercier tous les enseignants de la faculté des sciences de la nature et de la vie de Université Echahid Hamma Lakhdar -EL OUED, spécialement les enseignants qui ont contribué à notre formation en toxicologie. Nos remerciements vont également à tous les membres des Laboratoires biochimiques et toxicologie et laboratoire de fati lab. Et tous les étudiants de notre section toxicologie.*

# **Tableau de matière**

# Tableau de matière

Tableau de matière	
Liste de figure	
Liste de tableaux	
Résumé	
Liste d'abréviation	
<b>Introduction</b>	<b>02</b>
<b>Parte1 synthèse bibliographique</b>	
<b>Chapitre 1 : Généralité sur le pesticide</b>	
1_Historique	06
2_ Définitions	06
3_classification des pesticides	08
3_1.Classification des pesticides selon leur usage	08
3.1.1-Pesticides à usage agricole ou produits phytopharmaceutiques	
3.1.2-Pesticides à usage non agricole ou biocides :	
3_2.Classification des pesticides selon leur cible	08
3.2.1-Insecticides	08
3.2.2-Herbicides	08
3.2.3-Fongicides	09
3.2.4-Rodenticides	09
3.2.5-Molluscicides	10
3_3.Classification des pesticides selon leur groupe chimique	10
4_ mode d'action	11
4_1.Mode d'action d'herbicides	11
4.1.1-Perturbation de la photosynthèse	11
4.1.2-Permeabilisation des membranes	13
4.1.3-Inhibition de la synthèse de la cellulose	13
4.1.4-Blocage de la synthèse des lipides	14
4.1.5-Inhibition de la synthèse d'acides aminés	14
4.1.6-Inhibition de la synthèse des pigments	15
4.1.7-Perturbation de la division cellulaire (cible k1)	16
4.1.8-Perturbation de la régulation de l'auxine (cible o)	16
4.1.9-Perturbation du transport de l'auxine (cible p)	16
4.1.10-Inhibition de la 7,8-dihydropteroate synthèse (d'HP : cible i)	17
4_2.Mode d'action des fongicides	17
4.2.1-Fongicides affectant le processus respiratoire	17
4.2.2-Fongicides multi-sites :	18
4.2.2.1-Fongicides minéraux	18
4.2.2.1.2-Fongicides de synthèse	19
4.2.2.1.2-Fongicides nuisîtes	19
4.2.2.2.1-Inhibiteurs du complexe II mitochondrial	19
4.2.2.2.2-Inhibiteurs du complexe III mitochondrial	19
4.2.2.2.3-Fongicides affectant la biodisponibilité de l'ATP	20
4.2.2 Fongicides affectant les biosynthèses	20

4.2.2.1-Fongicides affectant la constitution des parois	20
4.2.2.1.1- Inhibiteurs de la biosynthèse de la chitine	20
4.2.2.1.2-Inhibiteurs de la biosynthèse de mélanines	20
4.2.2.2-Fongicides affectant la constitution des membranes	20
4.2.2.2.1- Inhibiteurs de la biosynthèse de stérols	20
4.2.2.2.2-Fongicides affectant la synthèse des acides nucléiques	21
4.2.2.2.3-Fongicides affectant la biosynthèse d'acides aminés	21
4.2.2.2.4-Fongicides affectant la biosynthèse de glucides	21
4.2.3-Fongicides agissant sur les microtubules	21
4_3.Mode d'action d'Insecticides	22
4.3.1-Action sur le système nerveux	22
4.3.1.1-Action sur la transmission axonale de l'influx nerveux	22
4.3.1.2-Action sur les synapses et les neuromédiateurs	22
4.3.2-Action sur le système respiratoire	23
4.3.3_Regulateurs de croissance des insectes	24
4.3.3.1-Perturbateurs de mue	24
4.3.3.2-Inhibiteurs de chitine	24
5_ facteurs de risque pour la santé	24
6_ pesticides dans les denrées alimentaires	29
6_1. Formation des résidus en production végétale	30
<b>Chapitre 2 : généralité sur les métaux lourde</b>	
1_ Définitions	32
1_1.Métal	32
1_2.Métalloïde	32
1_3.Les métaux lourds	33
2_Propriétés des métaux	33
3_ Les métaux dans la classification périodique des éléments	33
4_ Les source des métaux lourds	33
4_1.Les sources naturelles	34
4.1.1-Passage du minerai au contaminant.	34
4_2.Les sources anthropiques	35
5_ les métaux étudier	35
5_1.Le manganèse	35
5.1.1-Généralité	35
5.1.2-Comportement du manganèse	36
5.1.3-Toxicité du manganèse :	37
5_2.Le cuivre.	38
5.2.1-Généralité :	38
5.2.2-Comportement du cuivre	39
5.2.3-Toxicité du cuivre:	40
5_3.Le Fer.	41
5.3.1-Généralité	41
5.3.2-Comportement du Fer	41
5.3.3-Toxicité du Fer:	42
5_4.Le zinc	43
5.4.1-Généralité	43
5.4.2-Comportement du zinc	44

5.4.3-Toxicité du zinc:	46
5_5.Le Potassium	47
5.5.1-Généralité	47
5.5.2-Comportement du Potassium	48
5.5.3-Toxicité du Potassium:	48
5.5.3.1_Hyperkaliémie	48
5.5.3.2-Hypokaliémie	49
5.5.3.3-Implications cliniques des dyskaliémies	49
5_6.LE phosphore	50
5.6.1-Généralité	50
5.6.2-Comportement du phosphore	51
6_ Les différent méthodes détecteurs des métaux lourds	52
1.1 Les techniques spectroscopiques	54
1.2 La polarographie	55
6.3 Le bismuth	57
6.4 Les électrodes spécifiques d'ions (ISE)	57
6.5 Les électrodes chimiquement modifiées (CME)	58
<b>Chapitre 3 : Plantes étudiée</b>	
1_ Généralité la pomme de terre	60
1_1.Définition la pomme de terre	60
1_2. L'origine de la pomme de terre	60
1_3.Taxonomie	60
1_4 Partie aérienne	62
3.1.4.1.-Tiges	62
3.1.4.2.-Feuilles	62
3.1.4.3-Fleurs	62
3.1.4.4-Fruits et graines	63
1_5 Partie souterraine	63
3.1.5.1-Racines	63
3.1.5.2-Tiges souterraines	63
3.1.5.3-Tubercules	63
3.1.5.3.1-Structure externe du tubercule :	63
3.1.5.3.2-Structure interne du tubercule :	64
6_Cycle de reproduction et physiologie	64
6_1. Cycle sexué	64
6_2.Cycle végétatif	65
1.6.2.1-Dormance	65
1.6.2.2-Germination	66
1.6.2.3-Croissance	66
1.6.2.4-Tubérisation :	66
7_Importance nutriment	66
8_ Les besoins environnementaux du plant de pomme de terre	67
1.8.1-Sol	67
1.8.2-Température	67
1.8.3-La lumière	68
1.8.4-Humidité	68
9_Production de la pomme de terre	68

9_1.Production mondiale de la pomme de terre	69
9_2.Production en Algérie	69
2_Généralité sur la tomate	70
2_1.Classification de tomate	70
2_2. Description morphologique de la tomate	71
3.2.2.1_Système racinaire	71
3.2.2.2-Tiges	71
3.2.2.3.-Feuilles	72
3.2.2.4.-Fruit	72
3.2.2.5.-Graines	73
3.2.2.6-Fleurs	73
2_3.Le Cycle biologique de la tomate.....	74
3.2.3.1-Germination :	74
3.2.3.2-Croissance :	74
3.2.3.3-Floraison :	74
3.2.3.4-Pollinisation :	75
3.2.3.5-Fructification et nouaison des fleurs :	75
3.2.3.6-Maturation du fruit	75
2_4. Les exigences climatiques	76
3.2.4.1-Température de l'air	76
3.2.4.2-Lumière :	76
3.2.4.3-L'humidité de l'air	76
3.2.4.4-Vent :	77
2_5.Caractéristique du fruit mature	77
2_6.Valeur nutritionnelle de la tomate	77
2_7.Qualité de la tomate	78
2_8.Production de la tomate	79
2_8.1. Production en monde	79
2_8.1. Production en Algérie	79
<b>Partie 2 : pratique</b>	
<b>Chapitre 1 : Présentation générale du milieu d'étude</b>	
1_Situation géographique de la région d'El Oued	83
2_ Les caractéristiques climatiques	83
2_1.Température	84
2_2.Précipitations	85
2_3.Humidité relative de L'aire	85
2_4.Vents	85
2_5. Evaporation	86
2_6.Insolation	86
2_7.Pédologie	87
2_8.Topographie.	87
2_9.La flore et la faune	87
3.1_Potentiel agricole	88
3.1.1-Structures agricoles de la région d'El-Oued.	88
<b>Chapitre 2 : Méthodologie du travail</b>	
1_La préparation des échantillons.	90
2 Étapes de préparation des solutions végétale.	90

3 la photo originale de la Matériaux utilisés	91
4-Méthode de la travaille	91
4.1-Techniques spectroscopiques	92
<b>Chapitre 3 : Résultats et discussion</b>	
1_Résultats	96
2_discussion	97
Conclusion.	101
Référence & bibliographiques	104
Annexe	124

## Liste de figure

N <sup>0</sup>	TITRE	PAGE
01	Photo originale de certains insecticides utilisé dans la l'agriculture D'El Oued. (2021)	<b>09</b>
02	Cibles et modes d'action des herbicides. Source : Herbicide Résistance Action Comite	<b>12</b>
03	Sites d'action des herbicides agissant sur la photosynthèse	<b>12</b>
04	Perméabilisation des membranes cellulaires par les phénols nitrés.	<b>13</b>
05	Réaction catalysée par l'acétylcoenzyme A carboxylase	<b>14</b>
06	Site d'action du glyphosate dans la voie du shikimate	<b>15</b>
07	Cible des fongicides affectant les processus respiratoires	<b>18</b>
08	Action de l'imidaclopride, un néonicotinoïde	<b>23</b>
09	La forme manganèse	<b>36</b>
10	La forme de Cuivre	<b>39</b>
11	La forme de Fer	<b>41</b>
12	La forme de potassium	<b>47</b>
13	La forme de phosphore	<b>51</b>
14	Caractéristiques morphologiques de la pomme de terre	<b>61</b>
15	Le morphologiques de la Feuilles	<b>62</b>
16	Le morphologiques de la Fleurs	<b>62</b>
17	Pièces intérieures et extérieures tubercule	<b>64</b>
18	Les stades de développement des plantes de pommes de terre saison	<b>67</b>
19	Production le pomme de terre 1961_2014 en Algérie	<b>69</b>
20	Système racinaire de la tomate	<b>71</b>
21	Tige de tomate	<b>72</b>
22	Feuille de tomate	<b>72</b>
23	Coupes transversale (a) et longitudinale (b) d'un fruit de tomate à maturité	<b>73</b>
24	Fleur de tomate à l'anthèse	<b>74</b>
25	Le cycle biologie de la tomate	<b>75</b>
26	Répartition de la production mondiale de la tomate	<b>79</b>
27	Évolution de la production de la tomate en Algérie	<b>80</b>
28	Situation géographique de la région d'El Oued	<b>84</b>

29	Photo original Séchage des échantillons	<b>90</b>
30	Matériel utilisation	<b>91</b>

## Liste des tableaux :

<b>N°</b>	<b>TITRE</b>	<b>P</b>
01	Cibles et modes d'action des herbicides	<b>11</b>
02	Classification botanique de Solanum tuberosum	<b>64</b>
03	Apport nutritionnel moyen de la pomme de terre	<b>68</b>
04	Les principaux producteurs de pomme de terre dans le monde	<b>72</b>
05	Classification botanique de la tomate	<b>74</b>
06	Valeur nutritionnelle moyenne de tomate	<b>82</b>
07	Températures mensuelles maximales et minimales de la région d'El Oued et durant la 2021	<b>90</b>
08	Précipitations moyennes mensuelles de la région d'El Oued durant la période 2021	<b>90</b>
09	Humidité relative moyenne mensuelle de la région d'El Oued durant l'année 2021	<b>91</b>
10	Moyenne mensuelle de la vitesse du vent de la région d'étude durant l'année 2021	<b>91</b>
11	le principe technique de spectroscope	<b>99</b>
12	Concentration de minéraux dans les pommes de terre	<b>102</b>
13	Concentration de minéraux dans les tomates	<b>102</b>

# Résumés

## Résumé

Cette étude vise à protéger la santé publique des humains dans ce travail, nous étudions les changements de certains éléments minéraux dans les pommes de terre et les tomates après l'utilisation de pesticides afin de déterminer les changements d'éléments minéraux dans les tomates et les pommes de terre par des mesures chimiques et physiques.

Où un échantillon aléatoire a été sélectionné dans le marché aux légumes de la wilaya d'El Oued L'étude en laboratoire a été menée sur deux échantillons d'une solution végétale pour tomates et pommes de terre cette solution a été obtenue par la méthode de digestion minérale et mesurée par la technologie spectromètre

Les résultats obtenus révèlent, une différence comparaison avec les proportions naturelles où avons-nous trouvé

Dans la tomate: le phosphore (44.22mg/l), le potassium (232 ,91mg/l), le fer (0,20mg/l), le zinc (0,25mg/l) le manganèse (4.015mg/l) le cuivre (0.64mg/l)

Dans la pomme de terre : le phosphore (0.77mg/l), le potassium (93.86mg/l), le fer (2.06mg/l), le zinc (39.40mg/l) le manganèse (0.27) le cuivre (0.45mg/l)

D'après les résultats obtenus, nous avons constaté que les pesticides ont un rôle en modifiant la proportion de minéraux et en altérant ainsi la valeur et la qualité de la récolte résultante

**Mots clé :** Produit phytosanitaire, élément trace métallique, région d'el-Oued, usage, morelle tubéreuse

## ملخص

تهدف هذه الدراسة إلى حماية الصحة العامة للإنسان في هذا العمل قمنا بدراسة التغيرات في بعض العناصر المعدنية في البطاطا والطماطم بعد استخدام المبيدات لتحديد التغيرات في العناصر المعدنية في الطماطم والبطاطا من خلال القياسات الكيميائية والفيزيائية.

حيث تم اختيار عينة عشوائية بسوق الخضار بولاية الواد وأجريت الدراسة المعملية على عينتين من محلول نباتي للطماطم والبطاطا تم الحصول على هذا المحلول بطريقة الهضم المعدني وتم قياسه بتقنية المطياف.

النتائج التي تم الحصول عليها تكشف عن اختلاف مقارنة بالنسب الطبيعية حيث وجدنا

في الطماطم: الفوسفور ( 44.22 مجم / لتر)، البوتاسيوم ( 232.91 مجم / لتر)، الحديد ( 0.20 مجم / لتر)، الزنك ( 0.25 مجم / لتر) المنغنيز ( 4.015 مجم / لتر) النحاس ( 0.64 مجم / لتر)

في البطاطس: الفوسفور ( 0.77 مجم / لتر)، البوتاسيوم ( 93.86 مجم / لتر)، الحديد ( 2.06 مجم / لتر)، الزنك ( 39.40 مجم / لتر) المنغنيز ( 0.27) النحاس ( 0.45 مجم / لتر).

من النتائج التي تم الحصول عليها، وجدنا أن المبيدات لها دور في تغيير نسبة المعادن وبالتالي تغيير قيمة جودة المحصول

النتائج

## **Abstract**

This study aims to protect the public health of humans. In this work, we study the changes of some mineral elements in potatoes and tomatoes after the use of pesticides to determine the changes of mineral elements in tomatoes, potatoes by chemical and physical measures.

Where a random sample was selected in the vegetable market of the wilaya of El Oued The laboratory study was carried out on two samples of a vegetable solution for tomatoes and potatoes this solution was obtained by the method of mineral digestion and measured by spectrometer technology

The results obtained reveal, a difference Comparison with the natural proportions where did we find

In tomato: phosphorus (44.22mg / l), potassium (232.91mg / l), iron (0.20mg / l), zinc (0.25mg / l) manganese (4.015mg / l) copper (0.64mg / l)

In the potato: phosphorus (0.77mg / l), potassium (93.86mg / l), iron (2.06mg / l), zinc (39.40mg / l) manganese (0.27) copper (0.45 mg/l)

From the results obtained, we found that pesticides have a role in altering the proportion of minerals and thus altering the value and quality of the resulting harvest.

## VII Liste d'abréviation

- **OMS** : World Health Organization
- **FAO**: Food and Agriculture Organization
- **WHO** : Organisation mondiale de la santé
- **DDT** : ddichlorodiphenyltrichloroethane
- **NADP** : Le nicotinamide adénine dinucléotide phosphate (NADP) est une coenzyme
- **ATP** : L'adénosine triphosphate
- **PH** : Le potentiel hydrogène
- **FOPS**: Diclofop methyl, fluazifop butyl
- **DIMES** : Cléthodime, cycloxydime
- **Ps2** : Le photosystem II
- **NDP** : Nicotinamide adénine dinucléotide phosphate
- **PS1** : Le photosystem I
- **ALS** : L'acétolactate synthase
- **HPPD** : Hydroxyphénylpyruvate dioxygénase
- **DHP** : Dihydropteroate synthase
- **GABA** :  $\gamma$ -aminobutyric acid
- **ACCcase** : Acetyl CoA Carboxylase
- **EFSA** : Européenne de sécurité sanitaire des aliments
- **IBS** : Stérols
- **DMI** : Demethylase
- **ARN** : Acide ribonucléique
- **ADN** : Acide désoxyribonucléique
- **EMX** : Les enzymes du métabolisme des xénobiotiques
- **UGT** : Glucuronosyl transférases
- **MRP** : Multidrug resistance proteins
- **GST** : Glutathion-Stransférases
- **ECO\_DDS** : Internet de l'éco-organisme
- **DG CCRF** : Concurrence et de la consommation des Répressions de France
- **USA** : Etats-Unis d'Amérique
- **VIB** : Le deuxième groupe du tableau périodique
- **ETM** : Elément traces métallique

- **SOD** : Superoxydes dismutase
- **ICP\_MS** : Spectrométrie de masse à plasma à couplage inductif,
- **EDXRE** : Fluorescence X à dispersion d'énergie
- **INAA** : D'analyse par activation neutronique
- **DPV** : Voltammétrie différentielle à impulsions
- **SWN** : Signaux carrés
- **CME** : Cavity microelectrode
- **LOD** : Limit of Detection
- **EPSP** : Enolpyruvylshikimate-3-phosphate synthase
- **R\_SH** : Un thiol
- **UE** : Union européenne
- **HADE** : Hanging mercury drop electrode
- **SMDE** : Static mercury drop electrode
- **Ca** : Calcium,
- **Zn** : Zinc
- **Cu** : Cuivre
- **Cd** : Cadmium,
- **Pb** : le plomb,
- **Hg** : Le mercure
- **MnCO<sub>3</sub>** : Manganese carbonate
- **MnO<sub>2</sub>** : Le dioxyde de manganèse
- **CuSO<sub>4</sub>** : Sulfate de Cuivre
- **Ca (OH)<sub>2</sub>** : L'hydroxyde de calcium
- **Fe (OH)<sub>3</sub>** : D'hydroxyde de fer
- **ZnCO<sub>3</sub>** : Le carbonate de zinc
- **K** : Potassium
- **ATPase** : Adénosinetriphosphatase
- **Ug** : Microgramme
- **Mg** : Mile gramme
- **Kg** : Kilogramme
- **g.mol** : Gramme par mole
- **Mmol** : Mill mole
- **Nmol** : Nanomol

- **V** : Vitesse
- **T** : Température
- **H** : Humidité
- **%** : Pourcentag

# **Introduction**

## Introduction

---

### Introduction

Alimentation saine aide à se protéger contre toutes les formes de malnutrition, ainsi que contre les maladies non transmissibles parmi lesquelles le diabète, les cardiopathies (**Kakumanu et al., 2016**). Une mauvaise alimentation et le manque d'exercice physique sont les principaux risques pour la santé à l'échelle mondiale (**WHO, 2020**).

Est également considéré manger des légumes et des fruits est l'un des fondements d'une alimentation saine aider à prévenir des affections d'importance majeure, comme les maladies cardiovasculaires et certains cancers (**Bouhelal et al., 2014**). Selon le Rapport sur la santé dans le monde, 2002, la faible consommation de fruits et légumes est la cause d'environ 31 % des cardiopathies ischémiques et de 11 % des accidents vasculaires cérébraux dans le monde.1 Globalement, jusqu'à 2,7 millions de vies pourraient être sauvées chaque année en augmentant suffisamment la consommation de fruits et légumes. OMS/FAO à l'échelle mondiale (**OMS, FAO, 2014**)

Le développement agricole était encadré par les politiques des Nations Unies visant à réduire la pauvreté et la malnutrition dans les pays en développement et à fournir de la nourriture et du bétail pour le monde. (**Afssa, 2003**) La vision des Nations Unies pour 2015 a déjà vu certains progrès en ce qui concerne cet objectif, sauf dans la plupart des pays d'Afrique subsaharienne, dont la pauvreté reste un sujet de grave préoccupation (**FAO, 2002**)

Le développement de l'agriculture à El Oued n'est pas différent du reste des pays du monde. L'investissement du gouvernement dans la Wilaya pour faire progresser l'agriculture visait en premier lieu à stimuler l'économie. La région a connu une accélération du passage d'un secteur agricole très traditionnel et rural doté d'outils primitifs à une agriculture apparemment avancée (**Mebarki, 2015**). Cette évolution résulte de l'expansion des terres agricoles entre 2000 et 2014, avec la création de 41 concessions agricoles pour 2215 bénéficiaires (Wilaya El Oued, introduction générale 2015). La wilaya a contribué massivement à l'économie nationale en dirigeant le pays dans la production de pommes de terre en particulier et en concurrençant les autres wilayas dans la production de tomates et d'autres produits (**DAA, 2014**)

Cependant, ce développement a connu de nombreux abus notre région sur les excès des agriculteurs utilisant différents types de produits chimiques sur les légumes et les fruits plantés. Il

## Introduction

---

n'y avait aucun respect des doses fixées dans les normes concernant les pesticides qui traitent différentes maladies. Ces observations ont commencé à se transformer en inquiétude après la propagation inexplicable du cancer dans notre région, qui a coïncidé avec le développement agricole de la Wilaya d'El Oued.

C'est dans cette optique que s'inscrit la présente étude dont objectif Générale de déterminer les quantités de résidus de pesticides et son impact sur certains éléments.

Pour atteindre cet objectif nous avons subdivisé notre mémoire en quatre parties. Le premier est consacré à une synthèse bibliographique sur les pesticides, et le deuxième des métaux lourds et la troisième étude sur la tomate (*Solanum lycopersicum L*) et pomme de terre (*Solanum tuberosum L*) La quatrième partie sera consacré de la méthodologie et des technique statistique sera attribuée et les différents résultats obtenus et discussion. Nous terminons cette modeste contribution par une conclusion

# **Partie Théorique**

# **Chapitre 1 :**

# **Généralité sur le**

# **pesticide**

### 1.1-Historique :

Ce bref rappel de l'histoire de l'utilisation des pesticides s'inspire de la mise au point de **(Hassall,1982)**. Utilisation de produits chimiques minéraux contre les insectes pourrait remonter à l'antiquité gréco-romaine. En effet, Homère mentionne l'intérêt du soufre comme désinfectant tandis que Pline l'Ancien préconise l'utilisation de l'arsenic comme insecticide et signale l'utilisation de la soude et de l'huile de l'olive pour le traitement des semences de légumineuses. De leur côté, les Chinois ont utilisé de petites quantités d'arsenicaux comme insecticides dès le XVIe siècle puis, peu après, la nicotine, sous forme d'extraits de tabac. Au XIXe siècle, on s'est mis à utiliser le pyrèthre et le savon pour combattre les insectes ainsi qu'une association de tabac, de soufre et de lait de chaux contre les insectes et les champignons **(Perriot et al., 2003)**

Le milieu du XIXe siècle a vu l'apparition des premières études scientifiques systématiques sur l'utilisation des produits chimiques en agriculture **(Mostafalou et al, 2017)**. Les travaux sur les arsenicaux ont conduit en 1867, à l'introduction du vert de Paris, forme impure d'arsénite de cuivre. Aux Etats-Unis d'Amérique, on s'en est servi pour enrayer la propagation du doryphore

Et, en 1900, ce produit était si utilisé qu'il a fallu adopter une législation à ce sujet, probablement la première législation au monde sur les pesticides. En 1896, un viticulteur français s'aperçut, en appliquant de la bouillie bordelaise (sulfate de cuivre et hydroxyde de calcium) sur ses vignes que les feuilles de moutarde des champs voisins noircissaient. Cette observation fortuite apportait la preuve qu'on pouvait détruire les plantes adventices au moyen de produits chimiques ; peu après, on constata que la pulvérisation de sulfate de fer sur un champ de céréales détruisait les mauvaises herbes sans endommager les plantes cultivées. Dans les dix années qui suivirent, on montra que plusieurs autres produits minéraux avaient une action sélective, à condition d'être employés à la concentration **(Hayes, 1975)**

### 1.2-Définitions :

Le terme pesticide est un anglicisme, issu du latin *pestis* (*peste, fléau*) et *caedere* (*tuer*). L'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) et l'Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (ou Food and Agriculture Organisation – FAO) entendent par 'pesticide' toute substance destinée à prévenir, détruire, attirer, repousser ou combattre tout élément nuisible y compris toute espèce indésirable de plantes ou d'insectes pendant la

production, le stockage, le transport, la distribution et la préparation d'aliments, de denrées agricoles ou de produits pour l'alimentation animale, ou pouvant être appliqués aux animaux pour les débarrasser d'ectoparasites. Ce terme englobe les substances utilisées comme régulateurs de la croissance végétale, défoliants, agents d'ébourgeonnement ou inhibiteurs de germination, ainsi que les substances appliquées aux cultures avant ou après la récolte pour protéger la production contre toute détérioration pendant le stockage et le transport. (FAO et OMS, 1997).

Les pesticides sont aussi appelés « produits phytosanitaires ». La directive européenne du (relative à la mise sur le marché des produits phytosanitaires), les définit comme étant les substances actives et les préparations contenant une ou plusieurs substances actives qui sont présentes sous la forme dans laquelle elles sont livrées à l'utilisateur et qui sont destinées à (Kakumanu et al., 2016)

- Protéger les végétaux ou les produits végétaux contre tous les organismes nuisibles ou à prévenir leur action,
- Exercer une action sur les processus vitaux des végétaux, pour autant qu'il ne s'agisse pas de substances nutritives,
- Assurer la conservation des produits végétaux, pour autant que les substances ou produits ne fassent pas l'objet de dispositions particulières du Conseil ou de la Commission concernant les agents conservateurs,
- Détruire les végétaux indésirables.
- Détruire les parties de végétaux, freiner ou prévenir une croissance indésirable des végétaux (**La directive européenne, 1991**)

Les pesticides sont encore désignés par le terme « produits phytopharmaceutiques » au sens de la directive 91/414 /CEE (remplacée par le règlement n° 1107/2009/CE du 21 octobre 2009) appelés en France plus communément « produits phytosanitaires », les produits utilisés principalement pour la protection des végétaux en agriculture ou dans d'autres secteurs. Les substances actives, dont l'incorporation est autorisée dans les produits (inscrites à l'annexe I du règlement 1107/2009/CE et anciennement directive 91/414/CE), sont au nombre de 365 substances chimiques et 36 microorganismes (Index Phytosanitaire ACTA, 2014)

### 1.3-Classification des pesticides :

Les pesticides disponibles aujourd'hui sur le marché sont caractérisés par une telle variété de structure chimique, de groupes fonctionnels et d'activité que leur classification est complexe. Selon (El Mrabet *et al* ,2008).

Les systèmes de classification sont universels, mais les deux systèmes de classification les plus utilisés sont le groupe chimique auquel le pesticide appartient ou le parasite sur lequel il agit, il s'ajoute à ces deux, la classification en fonction de leur usage (Merhi et al,2008)

#### 1.3.1-Classification des pesticides selon leur usage :

##### 1.3.1.1-Pesticides à usage agricole ou produits phytopharmaceutiques :

Qui sont des substances chimiques minérales ou organiques, de synthèse ou naturelles. Elles sont utilisées pour la protection des végétaux contre les maladies et contre les organismes nuisibles aux cultures. (El Mrabet *et al*, 2008)

##### 1.3.1.2-Pesticides à usage non agricole ou biocides :

Qui sont similaires aux premiers, utilisés par exemple en hygiène publique (lutte anti-vectorielle) et dans d'autres applications comme la conservation du bois, la désinfection, ou certains usages domestiques (Bouhelal *et al.*, 2014)

#### 1.3.2-Classification des pesticides selon leur cible

##### 1.3.2.1-Insecticides :

Comme leur nom l'indique, les insecticides sont des produits utilisés pour tuer les insectes et les animaux par la perturbation des processus vitaux par action chimique. Ils peuvent être des produits chimiques organiques ou inorganiques. La source principale est la fabrication de produits chimiques, bien que quelques-uns être issus de plantes. (Figure 1) (Bouhelal *et al.*, 2014).

##### 1.3.2.2-Herbicides :

Le terme herbicide est un synonyme de désherbant, il est défini comme une préparation ayant la propriété de tuer les végétaux. En protection des cultures, les herbicides sont employés pour lutter contre les adventices, ou mauvaises herbes, destinées à détruire ou à limiter la croissance des végétaux, qu'ils soient herbacés ou ligneux. (Velmurugan *et al*, 2008)



Figure 01 : photo

originale de certains insecticides utilisé dans la l'agriculture

D'El Oued. (Loufi, 2021)

### 1.3.2.3-Fongicides :

Les premiers fongicides systémiques apparurent à la fin des années 60. Ils présentent l'avantage d'avoir une action à la fois préventive et curative. Ce sont des produits phytosanitaires conçus exclusivement pour tuer ou limiter le développement des champignons parasites des végétaux. Les produits à usages médicaux sont dénommés des antimycosiques On distingue :

- Les produits préventifs empêchant le développement des spores à la surface de la plante. En effet Ils agissent sur les spores du champignon avant que celles-ci n'aient pu émettre des filaments pénétrant les tissus de l'hôte.
- Les produits curatifs qui stoppent le développement du champignon déjà installé dans la plante.

Actuellement, les fongicides employés proviennent de l'association d'une trentaine de matières actives regroupés en plusieurs familles chimiques. (Bouhelal *et al*, 2014).

### 1.3.2.4-Rodenticides :

Un produit rodenticide (du latin, rodere, ronger) est une substance active ou une préparation ayant la propriété de tuer certains rongeurs, considérés comme nuisibles pour l'homme, les rodenticides sont utilisés dans l'environnement domestique, en milieu rural et dans l'industrie agroalimentaire pour lutter contre les souris, les surmulots, les taupes (qui ne sont pas des rongeurs mais des insectivores),

les ragondins, les campagnols. Ils sont commercialisés sous forme de poudres de piste, de concentras huileux, d'appâts près à l'emploi et, plus rarement, en fumigations dans les galeries creusées par les rongeurs. (Bouhelal *et al*, 2014).

**1.3.2.5-Molluscicides :**

Ce sont les pesticides utilisés dans l'agriculture ou le jardinage, pour commander spécifiquement des espèces de mollusque de parasite, ces pesticides sont prévus pour viser certain lingot et espèces de l'escargot qui peuvent endommager des récoltes en les mangeant partiellement. Ces substances incluent la métaldéhyde, le Methiocarb et le sulfate en aluminium, les Molluscicides devraient cependant être employé avec prudence, car elles peuvent être nocives pour les autres animaux non-ciblé. (Jaacks *et al*, 2015)

**1.3.3-Classification des pesticides selon leur groupe chimique :**

Il s'agit d'un classement technique à partir de la molécule principale utilisée. Ce système de classification tient compte de la nature chimique de la substance active majoritaire qui compose les pesticides. Certains d’entre eux peuvent, en effet, être composés de plusieurs fonctionnalités chimiques (Tableau. 01)(El Mrabet *et al*, 2007), On distingue :

- Les organochlorés, parmi les plus anciens et les plus persistants, dont le fameux DDT déjà évoqué. Ils sont surtout utilisés comme insecticides en agriculture et dans les métiers du bois. (Exemples: aldrine, dieldrine, etc...)
- Les organophosphorés, eux aussi utilisés comme insecticides (Tableau. 01).
- Les carbamates, fongicides et insecticides.
- Les phénoxy, herbicides
- Les organo-azotés, repérables par le suffixe « zine », principalement utilisés comme herbicides (Exemple : atrazine, simazine, etc....)

Le tableau ci-dessous mentionne les principaux groupes chimiques de certains pesticides :

**Tableau 01 :** Classification et caractéristique des groupes de pesticides d’après (Ben Oujji ,2012).

	Classes	Exemples	Utilisation/ action	Caractéristique
<b>Insecticides</b>	Organochlores	Lindan, chlordaes	Paralysie et mort des insecte	Bioaccumulation Bioamplification
	Organophosphores	Parathin Diazinne Malathin	Neurotoxique	Persistances dans les milieux hydrosoluble
	Carbamates	Carbaryl	Neurotoxique	Hydrosoluble

		Aldicare		
<b>Herbicides</b>	Triazines	Atrazine	Agit sur la photosynthèse. Utilise dans les cultures demais	Très hydrosoluble Toxique pour IE phytoplancton et les algues d'eau douce.
	Dérive des Pyridines	Paraquat	Des herbant de la vigne	Lésions pulmonaires irréversibles
	Les ureessubstituees	Diuron	Inhibiteur de la photosynthèse	Toxicité faible pour l'homme
	Les acides organiques	Glyphosae	Desherbanttotl	Toxicité faible due à La pénétration difficile ans les feuilles
<b>Fongicides</b>		Pentachlorophol (PCP)	Tue les champignons Ignivores	Haute ment toxique pour l'homme

**1.4-Mode d'action :**

**1.4.1\_Mode d'action d'herbicides :**

Les herbicides possèdent différents sites d'actions sur les plantes :(FIGURE 01)

- ✚ Perturbateurs de la photosynthèse
- ✚ Perméabilisants de la membrane cellulaire
- ✚ Perturbateurs de la croissance : inhibition de la division cellulaire, perturbation de l'élongation,
- ✚ Inhibiteurs de la synthèse de la cellulose
- ✚ Inhibiteurs de la synthèse des lipides
- ✚ Inhibiteurs de la synthèse d'acide aminés
- ✚ Inhibiteurs de la synthèse de pigments (Testud, 2001)

**1.4.1.1-Perturbation de la photosynthèse :**

La photosynthèse est un processus bioénergétique qui permet aux plantes de synthétiser de la matière organique en exploitant la lumière du soleil. L'énergie lumineuse absorbée par la chlorophylle est utilisée pour le transfert d'électrons dans une chaîne, aboutissant à la réduction de NADP+ en NADPH ainsi que la production d'énergie sous forme d'ATP, ce qui permet à la plante de synthétiser de la matière organique. Cette chaîne de transfert d'électrons comprend des ensembles protéiques, les photosystèmes I et II (PS I et PS II), qui sont les cibles de ce type


d'herbicides. (Afssa, 2003)

**www.hracglobal.com**

<b>A</b> (1)	Lipid synthesis inhibition (inh. of ACCase)	<b>H</b> (10)	Inhibition of glutamine synthetase
<b>B</b> (2)	Inhibition of ALS (branched chain amino acid synthesis)	<b>I</b> (18)	Inhibition of DHP
<b>C</b> (5, 6, 7)	Inhibition of photosynthesis PS II	<b>K<sub>1</sub></b> (3)	Inhibition of microtubule assembly
<b>D</b> (22)	PS I electron diversion	<b>K<sub>2</sub></b> (23)	Inhibition of microtubule organisation
<b>E</b> (14)	Inhibition of protoporphyrinogen oxidase	<b>K<sub>3</sub></b> (15)	Inhibition of cell division (VLCFA)
<b>F</b>	Inhibition of pigment synthesis (bleaching)	<b>L</b> (20, 21)	Inhibition of cellulose synthesis
<b>F<sub>1</sub></b> (12)	Inhibition of PDS	<b>M</b> (24)	Uncoupler of oxidative phosphorylation
<b>F<sub>2</sub></b> (27)	Inhibition of 4-HPPD	<b>N</b> (8, 26)	Inhibition of lipid synthesis (not ACCase)
<b>F<sub>3</sub></b> (11, 13)	Unknown target	<b>O</b> (4)	Synthetic auxin
<b>F<sub>4</sub></b>	Inhibition of DOXP synthase	<b>P</b> (19)	Auxin transport inhibition
<b>G</b> (9)	Inhibition of EPSP synthase	<b>Z</b> (17, 25)	Unknown mode of action

( ) WSSA Group

A free copy of this poster can be downloaded from [www.hracglobal.com](http://www.hracglobal.com) Designed and produced by Syngenta 2010

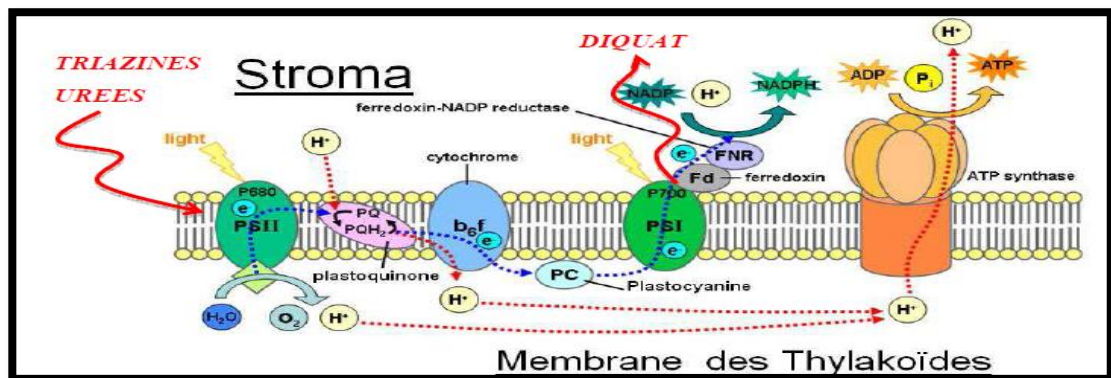


**Figure 02 :** Cibles et modes d'action des herbicides. Source : Herbicide Résistance Action Comite

La perturbation de la photosynthèse se fait au niveau de 2 cibles :

- Le PSII (cible C) : ce sont de famille benzothiadiazone phenylcarbamates hydroxybenzonnitriles, phényl-pyridazines, pyridazinones, triazines, triazinones, uraciles, uréessubstituées. Ces produits bloquent le transfert d'électrons au niveau du PSII, dont la conséquence est l'arrêt de synthèse de composés sucrés, ainsi que des réactions de photooxydation provoquées par un état excité de la chlorophylle et de la production de formes réactives de l'oxygène, amenant à la mort des cellules.

Figure 03 (Afssa, 2003)

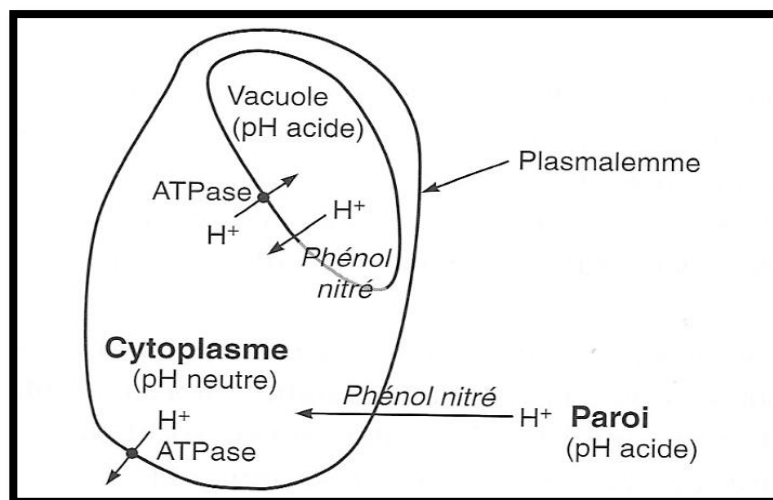


**Figure 03 :** Sites d'action des herbicides agissant sur la photosynthèse.

- La protéine PsaC du PS I (cible D), qui normalement réduit la ferrod oxine : la famille Des bipyridiles avec le diquat agissent sur cette protéine, ils entrent en compétition avec la Ferredoxine et sont réduits par la protéine PsaC, créant ainsi beaucoup d'ions super oxydes ainsi que du peroxyde d'hydrogène. Ces espèces chimiques sont hautement réactives et vont détruire rapidement les cellules de la plante. (Testud, 2001)

#### 1.4.1.2-Permeabilisation des membranes :

Les phénols nitrés ou oxynils perméabilisent les membranes végétales aux ions  $H^+$  (cible M), membranes cellulaires et aussi mitochondriales. La synthèse d'ATP n'est donc plus possible, le pH de la cellule ne peut plus être régulé, la cellule meurt rapidement (figure 04) (Spiewak, 2001)



**Figure 04** : Perméabilisation des membranes cellulaires par les phénols nitrés. Source :  
(Roger *et al*, 2005.)

Cependant ces produits peuvent exercer une action similaire chez les mammifères, ce pourquoi ils ont été retirés du marché (Spiewak, 2001).

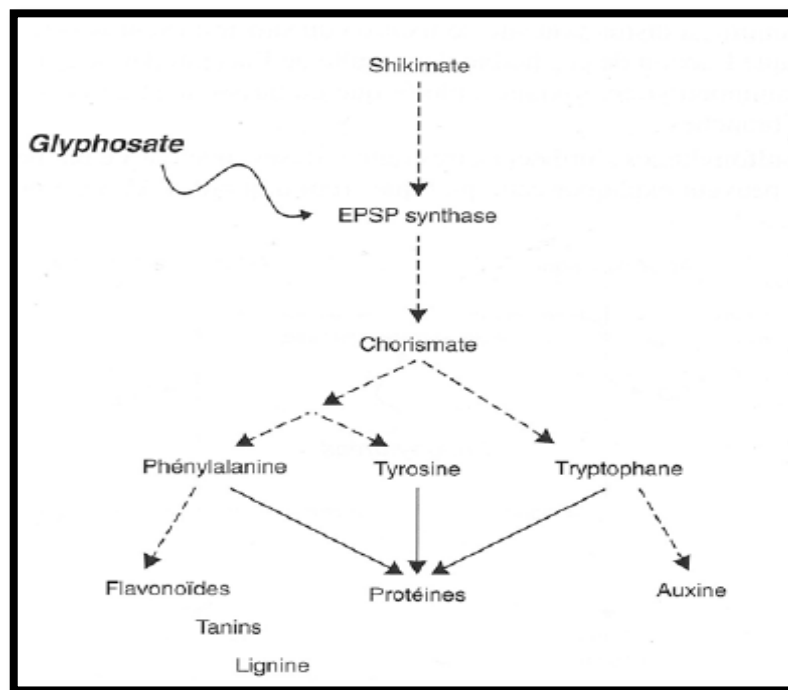
#### 1.4.1.3-Inhibition de la synthèse de la cellulose :

Deux herbicides, l'isoxaben (famille des benzamides) et le dichlobénil (famille des benzonitriles), inhibent la synthèse de la cellulose de la paroi pecto-cellulosique (cible L). La plante ne peut pas se développer, elle ne peut assurer son maintien ni l'absorption et le transport des substances essentielles. (Shawgm, 1999)

#### 1.4.1.4-Blocage de la synthèse des lipides :



la plante. Le sulfosate est un produit récent voisin du glyphosate dont l'action est similaire (Figure 06) (Organisation, 2002).



**Figure 06** : Site d'action du glyphosate dans la voie du shikimate. (Regnaultroger. *et al*, 2005).

- Inhibiteurs de l'acétolactate synthèse (ALS ; cible B) : plusieurs familles de produit s'agissent sur l'ALS ou l'acétohydroxyacide-synthétase (AHAS), inhibant la synthèse de la valine, leucine et isoleucine. Ces produits agissent à très faible dose car l'ALS est une enzyme peu abondante dans les végétaux. Il s'agit tout d'abord des sulfonilurées (chlorsulfuron, flazasulfuron...), famille déjà ancienne, à nombreuses matières actives, et encore en expansion ; le propoxycarbazone, récent, appartient à une famille très proche. Les imidazolinones (imazamox) et les triazolopyrimidines (florasulam, métosulam...) sont des familles récentes aux propriétés similaires. D'une manière générale ces produits sont peu adsorbés par le sol, donc très mobiles : seule une application à faible dose permet d'éviter une contamination importante des eaux (Organisation, 2002).

#### 1.4.1.6-Inhibition de la synthèse des pigments :

Il existe plusieurs sites d'action inhibant la synthèse des pigments : Inhibition de la synthèse des caroténoïdes (cibles F): les caroténoïdes ont un rôle protecteur vis-à-vis des chloroplastes en neutralisant l'état excité de la chlorophylle sous l'effet des photons, ainsi qu'un rôle de collecteur de

lumière en transférant à la chlorophylle l'énergie lumineuse collectée dans les gammes du spectre lumineux situées entre le violet et le rouge. Les plantes traitées présentent donc des tissus albinos par manque de chlorophylle et ne sont plus aptes à réaliser la photosynthèse. La synthèse de caroténoïdes peut être perturbée en plusieurs sites dans la voie de synthèse : la cible F1 est la phytoène désaturase (PDS), la cible F2 est la 4-hydroxyphénylpyruvate dioxygénase (HPPD), et la cible F3 regroupe des produits bloquant la synthèse des caroténoïdes mais dont la cible biochimique n'est pas connue avec précision (Afsset, 2007).

- Inhibition de la protoporphyrinogène oxydase (cible E) :

L'action toxique résulte de l'accumulation de protoporphyrine IX, qui sous l'action de la lumière produit des espèces activées de l'oxygène (réaction de photo-oxydation) aboutissant à la mort de la cellule. Les familles possédant ce mode d'action sont les diphenyl-éthers, N-phénylphtalimides, oxadiazoles, phénylpyrazoles, et triazolinones. (Llop *et al*, 2013)

#### **1.4.1.7-Perturbation de la division cellulaire (cible k1)**

Les dinitroanilines, benzamides et pyridines se fixent sur l' $\alpha$ -tubuline, empêchant sa polymérisation en microtubules. Ces derniers étant essentiels à la migration des chromosomes lors de la division cellulaire, elle ne peut plus se dérouler normalement. Cependant ces herbicides sont sélectifs des végétaux car ils se fixent mal sur la tubuline des mammifères et donc peu toxiques pour eux. (Afsset, 2007)

#### **1.4.1.8-Perturbation de la régulation de l'auxine (cible o)**

Les herbicides auxiniques sont des anti-dicotylédones de post-levée, car ils agissent sur la prolifération des cellules du cambium et occasionnent des perturbations de croissance. Les plantes monocotylédones ne possèdent pas de cambium, d'où l'absence d'effet sur ces dernières. Des phénomènes de courbure de tige en croissance sont observés, ainsi que l'épaississement des tiges. De plus les tissus cambiaux sont situés près des vaisseaux conducteurs, et leur prolifération entraîne une compression de ces vaisseaux et déprime les mouvements de sève dans la plante. Les acides phénoxy-alcanoïques, acides benzoïques, acides picoliniques et acides quinoléine carboxyliques possèdent ces propriétés. (Aubertot, 2005)

#### **1.4.1.9-Perturbation du transport de l'auxine (cible p)**

Le naptalame est un inhibiteur du transport de l'auxine. Il inverse aussi le géotropisme. Cependant il a été retiré du marché en 2007. (Aubertot, 2005)

#### 1.4.1.10-Inhibition de la 7,8-dihydropteroate synthèse (d'HP : cible i)

L'asulame (famille des carbamates) inhibe la DHP, qui prend part à la synthèse d'acide folique. Cet acide est impliqué dans la synthèse des bases puriques et pyrimidiques et de certains acides aminés.

(Aubertot, 2005)

Ainsi il existe de nombreux sites d'action pour les herbicides, la plupart étant sélectifs

Des végétaux par action spécifique au niveau d'enzymes, voies de synthèses, ou compartiments cellulaires propres aux végétaux, limitant ainsi les risques de toxicité directe des produits chez l'homme. (Birks *et al*, 2016).

#### 1.4.2-Mode d'action des fongicides :

Pour fonctionner, toute cellule animale ou végétale a besoin :

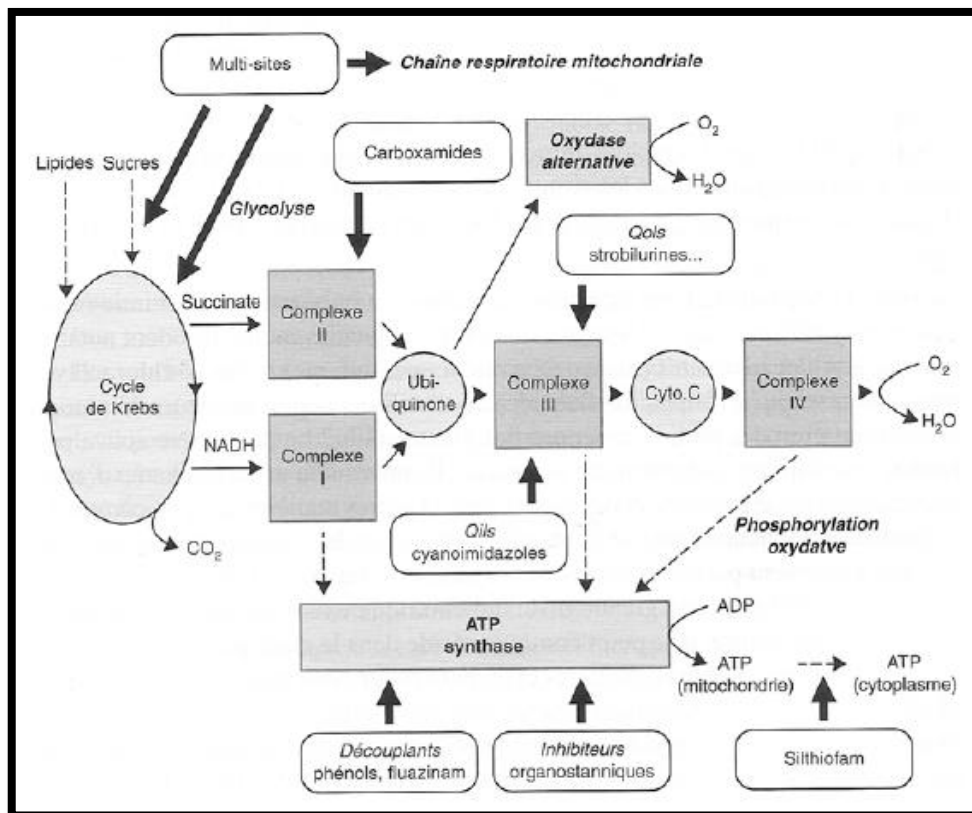
- d'énergie, grâce au processus respiratoire fournissant de l'ATP.
- d'échanges avec le milieu extracellulaire : la perméabilité membranaire permet de réguler les entrées et sorties d'eau et de substances nutritives à travers la membrane cellulaire. (Baldi *et al*, 2011)

- de se diviser : le phénomène de division cellulaire (mitose et méiose) permet la croissance et la reproduction de l'organisme.

Toute atteinte à l'un de ces trois phénomènes vitaux va donc provoquer des perturbations dans la cellule, se traduisant par l'arrêt provisoire du fonctionnement de la cellule fongique (produit fongistatique) ou bien par la mort du champignon (produit fongicide). Ainsi il existe des fongicides affectant le processus respiratoire, des fongicides affectant la biosynthèse de chitine, des mélanines, des stérols, des acides nucléiques, et enfin des fongicides agissant sur les microtubules. (Baldi I *et al*, 2007)

##### 1.4.2.1-Fongicides affectant le processus respiratoire

Ces fongicides agissent sur différentes étapes du catabolisme oxydatif de molécules organiques (glucides, lipides), processus servant à générer de l'énergie pour la cellule sous forme d'ATP. De nombreuses molécules affectent en particulier la chaîne respiratoire mitochondriale, constituée d'une série de transporteurs d'électrons. Ces molécules sont capables d'inhiber la germination des spores des champignons, de bloquer l'élongation du filament mycélien, et aussi d'immobiliser les zoospores des oomycètes (groupe comprenant les mildious). Il existe des fongicides à effets multiples, dits multisites ; ceux-ci peuvent être minéraux ou de synthèse. A l'inverse d'autres fongicides n'agissent que sur une cible, ce sont des fongicides unisites (Figure 07). (Dick *et al*, 1992)



**Figure 07** : Cible des fongicides affectant les processus respiratoires. Source : (Regnaultroger *et al*, 2005).

#### 1.4.2.1.1-Fongicides multisites :

##### 1.4.2.1.1.1-Fongicides minéraux

Les fongicides multisites ont la capacité d'interagir avec de nombreux constituants cellulaires, en particuliers avec ceux possédant des groupements thiols ou R-SH. Cet effet implique un blocage de la consommation d'oxygène, du catabolisme des substances de réserve des spores (lipides, sucres) et de la production d'énergie. Parmi les fongicides multisites minéraux, le cuivre se complexe avec les groupements thiols des enzymes respiratoires du cycle de Krebs ainsi que sur les complexes II et III de la chaîne respiratoire, empêchant la production d'ATP (par exemple la coenzyme Déshydrogénase). Le soufre a une action un peu différente, il pénètre dans les cellules fongiques, est réduit en dihydrogène sulfuré H<sub>2</sub>S qui est un poison respiratoire mortel pour la cellule fongique. (Elbaza *et al*, 2009)

#### 4.2.1.1.2-Fongicides de synthèse

Ces fongicides regroupent les familles suivantes :

- les dithiocarbamates ; ceux-ci interagissent avec les enzymes respiratoires métalliques, il y a chélation entre le fongicide et le métal de l'enzyme respiratoire, formant des complexes de grande taille. (Longnecker *et al*, 2001)

- les sulfénides ont un groupe thiophosgène qui intéragit avec le groupement thiol des enzymes respiratoires. (FAO, OMS, 1995)

- les quinones et les hydroxyquinones affectent également les processus respiratoires des cellules fongiques mais ont un mode d'action moins bien connu. D'une manière générale, les fongicides multisites inhibent la germination des spores, corrélée avec l'inhibition de la respiration, due au blocage d'enzymes ou coenzymes à groupement thiols. Ils sont faiblement toxiques pour l'homme du fait de leur interaction avec le glutathion, qui conduit à leur dégradation. (FAO ; OMS, 1995)

#### 1.4.2.2.2-Fongicides unisites :

##### 1.4.2.2.2.1-Inhibiteurs du complexe II mitochondrial :

Les crotonalini des (plus généralement les carboxamides) agissent sur la coenzyme Qréductase, qui est un des composant de la succinase déshydrogénase, enzyme du le complexe II de la chaine respiratoire mitochondriale. (FAO, OMS1958)

##### 1.4.2.2.2.2-Inhibiteurs du complexe III mitochondrial :

Le complexe III ou cytochrome bc1 assure au sein de la chaine respiratoire mitochondriale le transfert des électrons du coenzyme Q au cytochrome c. Il comporte une dizaine de protéines dont le cytochrome b, qui possède deux sites de fixation pour le coenzyme Q: l'un situé sur la face interne de la membrane mitochondriale (Qi), et l'autre sur la face externe (Qo). Suivant que les inhibiteurs du complexe III mitochondrial se fixe sur le site interne ou externe, ils sont appelés respectivement QiI ou QoI. (FAO, OMS1958)

Dans le groupe des QoI sont classés les familles des strobilurines, imidazolinones, et oxazolidinediones. Les strobilurines sont des molécules de synthèse inspirées de la strobilurine A, substance naturelle produite par un champignon forestier, *Strobilurus tenacellus*. Ces molécules ont fortement été utilisées, et de nombreuses résistances se sont développées face à elles. (FAO, OMS, 1958) Dans le groupe des QiI se trouvent une cyanoimidazole, la cyasofamide. Aucune Résistance n'a été décelée contre le produit. (FAO, OMS 1958)

#### **1.4.2.2.3-Fongicides affectant la biodisponibilité de l'ATP :**

Le silthiofam empêche le transfert de l'ATP des mitochondries vers le cytoplasme, mais a une action limitée à une seule souche fongique responsable du piétin-échaudage du blé (**García-rodríguez j et al, 1996**).

Les agents découplant affectent la phosphorylation oxydative de la chaîne respiratoire en perméabilisant les membranes mitochondriales aux protons. On trouve le fluazinam et le meptyldinocap. Le fluanizam est faiblement toxique pour les vertébrés, du fait de sa rapide détoxification par le glutathion (**García et al, 1996**).

#### **1.4.2.2 Fongicides affectant les biosyntheses :**

##### **1.4.2.2.1-Fongicides affectant la constitution des parois**

###### **1.4.2.2.1.1- Inhibiteurs de la biosynthèse de la chitine :**

La famille des organophosphorés inhibent la chitine synthèse présente chez les végétaux, mais agissent également comme insecticides car cette même hormone est présente chez les Insectes (**Hartung t, 2007**).

###### **1.4.2.2.1.2-Inhibiteurs de la biosynthèse de mélanines :**

Les mélanines sont des pigments noirs poly-phénoliques synthétisés par de nombreux organismes dont les champignons. Certains champignons, avec un défaut de mélanisation, ne sont plus capables de produire d'hyphes permettant d'infecter les cellules épidermiques des plantes hôtes. Ces fongicides ont donc une activité anti-pénétrante. (**Hartung, 2007**)

##### **1.4.2.2.2-Fongicides affectant la constitution des membranes**

###### **1.4.2.2.2.1- Inhibiteurs de la biosynthèse de stérols :**

Les stérols sont des composés essentiels des membranes cellulaires, dont ils régulent la fluidité. Les inhibiteurs de la biosynthèse de stérols (IBS) agissent à plusieurs niveaux :

- Les inhibiteurs de la demethylase (DMI) (famille des imidazoles, pyridines, pyrimidines et triazoles) inhibent la C 14 déméthylase. (**Hartung, 2007**)

- Les amines (morpholines et pipéridines) inhibent la C 8-7 isomérase, et/ou C 14réductase. (**Hartung t, 2007**)

- les hydroxyanilides inhibent la C 4 déméthylase .L'élongation du filament mycélien ne peut pas se poursuivre, le champignon ne peut pas croître. (**Hartung t, 2007**)

#### 1.4.2.2.2-Fongicides affectant la synthèse des acides nucléiques

Dans cette catégorie se trouvent des fongicides inhibant la biosynthèse d'ARN, soit par Inhibition de l'ARN polymérase I (phénylamines) soit par inhibition de l'adénosine désaminase I (hydroxypyrimidines). Il existe également des produits bloquant la synthèse d'ADN (isoxazoles). **(Hartung t, 2007)**

#### 1.4.2.2.3-Fongicides affectant la biosynthèse d'acides aminés

Le cyprodinil, le mépanipyrim et le pyriméthanil sont trois anilinyrimidines efficaces notamment contre la pourriture grise et la tavelure des arbres fruitiers. Ces produits inhiberaient la biosynthèse de la méthionine. **(Hartung t, 2007)**

#### 1.4.2.2.4-Fongicides affectant la biosynthèse de glucides

Les dicarboximides, le fludioxonil et le toclofos-méthyl (hétérocycles azotés) perturberaient l'osmorégulation, en entraînant une accumulation cytoplasmique de polyols (inositol, glycérol, mannitol). La cible serait une protéine kinase impliquée dans l'osmo-régulation. Les hyphes des champignons atteints subissent des altérations physiologiques du type ramification, renflement, éclatement. **(Mcduffie, et al, 2001)**

#### 1.4.2.3-Fongicides agissant sur les microtubules

Les familles des benzamides, phénylcarbmates et benzimidazoles se fixent sur la  $\beta$ tubuline, empêchant la polymérisation de l' $\alpha$  avec la  $\beta$  tubuline. Les phénylurées agissent également sur les microtubules, mais la cible est inconnue. **(Letouzé, 2013)**

Chez les champignons, les substances interférant avec la formation et le fonctionnement des microtubules entraînent un arrêt de l'élongation des hyphes et induisent d'importantes déformations. En conclusion, les fongicides constituent un moyen efficace de lutte contre les maladies majeures des plantes cultivées **(Maqbool et al, 2015)**

Cependant pour que ces produits puissent être encore utilisés, ils ne doivent pas présenter d'effets néfastes pour le manipulateur, le consommateur, et l'environnement. Du fait de leur interaction avec des cibles présentes aussi chez l'homme et les mammifères, certains produits, trop toxiques, ont été retirés du marché. Les nouvelles substances développées tendent donc à être sélectifs de cibles propres aux champignons, afin d'en limiter la toxicité **(Wang et al., 2016)**.

Toutefois des phénomènes de résistance sont apparus ces dernières années, liés à l'utilisation accrue de certains fongicides (notamment les strobilurines), rendant désuète leur Utilisation **(Gamet et al, 2017)**.

### 1.4.3-Mode d'action d'Insecticides :

#### 1.4.3.1-Action sur le système nerveux :

La neurotoxicité de ces insecticides se manifeste par le blocage de la propagation de l'influx nerveux au niveau des neurones et des synapses, tant au niveau du système nerveux central que périphérique. Les symptômes d'intoxication par les substances neurotoxiques sont les suivants : période de latence, hyperexcitation, manque de coordination, tremblements, convulsions, prostration, mort. (Mathur *et al*, 2010)

##### 1.4.3.1.1-Action sur la transmission axonale de l'influx nerveux

La transmission de l'influx nerveux est possible grâce à une différence de potentiel de part et d'autre de la membrane axonale, maintenue par des différences de concentrations en ions Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup> et Cl<sup>-</sup>, intra et extracellulaires. (Mathur *et al*, 2010)

La famille des organochlorés (un des précurseurs étant le DDT, très toxique pour l'homme et retiré du marché en 1973) avec le dicofol, et les pyréthriinoïdes de synthèse sont considérés comme des « poisons axoniques », ils se fixent sur les canaux à sodium et en perturbent le fonctionnement. Les organochlorés ralentissent ou bloquent l'ouverture du canal à Na<sup>+</sup>, perturbent la sortie de K<sup>+</sup>, et inhibent l'ATPase associée au fonctionnement de la pompe Na/K chargée de réguler les concentrations de sodium et de calcium dans la cellule axonale. Ces phénomènes ont pour conséquence de prolonger le potentiel d'action nerveux, ce qui provoque une contraction permanente des muscles, des convulsions et la mort (Et Ellero, 2016).

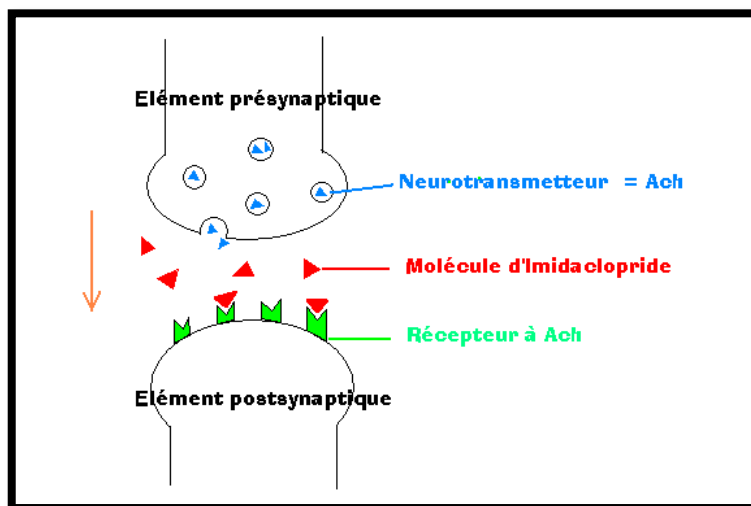
Les pyréthriinoïdes de synthèse se fixent également sur les canaux à Na<sup>+</sup> mais sur un site différent, qui dans ce cas provoque soit un trémor et une hyperexcitabilité, soit une incoordination des mouvements (Evangelou *et al*, 2016). Les oxadiazines (avec l'indoxacarbe) perturbent de la même manière le système nerveux en bloquant les échanges de sodium (Magnier, 2011)

##### 1.4.3.1.2-Action sur les synapses et les neuromédiateurs

Les organophosphorés et carbamates agissent au niveau des synapses cholinergiques en inhibant le fonctionnement de l'acétylcholine estérase, l'enzyme de dégradation de l'acétylcholine. L'acétylcholine s'accumule donc dans l'espace inter-synaptique et provoque une hyperexcitation menant à la mort (Birks *et al*, 2016).

Les néonicotinoïdes, chloronicotiniles, spinosoïdes et la nicotine ont une action similaire car ce sont des agonistes du récepteur cholinergique : ils miment l'action de l'acétylcholine en se fixant sur les récepteurs post-synaptiques des synapses cholinergiques, et de ce fait provoquent une

hyperstimulation suivie d'une dépression affectant le système végétatif, les nerfs moteurs des muscles striés, et le système nerveux central (Figure 08) .(Khuder sa *et al*, 1997)



**Figure 08** : Action de l'imidaclopride, un néonicotinoïde. ([Http://taste.versailles.inra.fr](http://taste.versailles.inra.fr))

L'action des insecticides peut aussi se faire sur les synapses inhibitrices, comme les synapses GABAergiques, par inhibition compétitive au niveau du site de liaison du GABA, comme les phénylpyrazoles (fipronil). (Khuder *et al*, 1997) Les avermectines (avermectin) bloquent également l'activité électriques au niveau des nerfs et des muscles des invertébrés en augmentant de manière irréversible la conductance aux ions Cl<sup>-</sup> ; ces molécules se fixent aussi sur les récepteurs au glutamate, principal neurotransmetteur excitateur du cerveau. Les milbémycines (milbémetines) perturbent les canaux chlorures GABAergiques. (Ellero-Simatos, 2016)

Enfin les pyridine-azométhrines (pymétozine) et pyridine-carboxamide (flocanimide) déclenchent une libération de sérotonine au niveau des neurones sérotoninergiques, et la stimulation de ces neurones provoque l'inhibition de la prise alimentaire. Les insectes visés meurent d'inanition et de déshydratation au bout de quelques jours. (Mathur n *et al*, 2010)

#### 1.4.3.2-Action sur le système respiratoire

La famille de quinazolines des pyridazinones (pyridabène), des pyrazol carboxamides (tébufenpyrad) et des phénoxy pyrazoles (fenpyroximate) sont des inhibiteurs du site I de la chaîne mitochondriale (coenzyme Q oxydo-réductase) tandis que l'Hydra méthyl non inhibe le complexe cytochrome bc1.(Mathur *et al*, 2010) Une autre cible biochimique du système respiratoire cellulaire est la phosphorylation oxydative : les dérivés stanniques (qui comprennent de l'étain) inhibent la phosphorylation oxydative.(Mathur *et al*, 2010)

### 1.4.3.3\_Regulateurs de croissance des insectes

#### 1.4.3.3.1-Perturbateurs de mue

Parmi ces produits se trouvent des analogues et mimétiques des hormones juvéniles (fénoxycarbe et pyriproxifène) : ils ont une structure analogue à celle des hormones juvéniles et agissent en perturbant la physiologie de reproduction de l'insecte, son cycle de développement au niveau du développement embryonnaire et de sa métamorphose. (Mcduffie *et al*, 2001) On trouve également :

- des inhibiteurs de mue (le buprofézine) qui bloque l'hydroxylation de l'ecdysone et interrompent le développement larvaire de l'insecte. (Inserm, 2013)

- des déclencheurs de mue, qui sont des agonistes de l'ecdysone (le tébufénozide), hormone responsable de la mue de l'animal. Ces produits déclenchent prématurément la mue de l'insecte. (Mcduffie *et al*, 2001)

#### 1.4.3.3.2-Inhibiteurs de chitine

Les benzoyl-urées inhibent la production de chitine, qui est un élément constitutif majeur de l'exosquelette des insectes. (MSA, 2000) En conclusion, beaucoup d'insecticides ont été retirés du marché car très toxiques pour leur utilisateur : ceci s'explique par des cibles communes avec les mammifères, comme l'acétylcholine estérase, enzyme très largement répandue dans le règne animal. Cependant la recherche a permis de créer des produits moins toxiques en choisissant des cibles plus

Spécifiques des insectes (par exemple les canaux sodiques des insectes sont mille fois plus sensibles que ceux des rongeurs aux pyréthrinoïdes de synthèse), voir complètement spécifiques (perturbation de l'ecdysone, hormone propre aux insectes) (Letouzé, 2013).

Les produits abordés ici sont les plus couramment utilisés. Cependant il existe aussi d'autres classes de produits comme les nematicides (produits de lutte contre les nématodes) et les régulateurs de croissance, pour la plupart mimétiques de phytohormones. Ces derniers sont de plus en plus utilisés pour les espaces verts et les jardins. L'éthylène est également utilisé pour accélérer la maturation des fruits. Cependant le mode d'action de ces produits ne sera pas développé (Gamet-Payraastre, 2017).

### 1.5\_Facteurs de risque pour la santé :

Les pesticides sont considérés comme des facteurs de risque pour la santé chez l'homme. De nombreuses études épidémiologiques montrent en effet une association entre l'exposition professionnelle aux pesticides et l'apparition de pathologies graves telles que certains cancers, maladies neurodégénératives et métaboliques. Les résultats de l'expertise INSERM publiée en 2013

montrent notamment un excès de risque de développer un cancer de la prostate, un lymphome, myélome ou une leucémie chez les agriculteurs (**Inserm, 2013**).

Une augmentation du risque de développement des tumeurs cérébrales chez les utilisateurs professionnels de pesticides a été récemment confortée par les résultats issus de la cohorte française d'agriculteurs (**Agrican et al, 2017**). De nombreuses données épidémiologiques montrent par ailleurs que les populations professionnellement exposées aux pesticides présentent un excès de risque supérieur à 50% de développer la maladie de Parkinson (**Mark et al, 2012**) Des liens entre l'exposition professionnelle aux pesticides et des atteintes de la fertilité masculine ou des impacts sur les taux d'hormones thyroïdiennes ont aussi été rapportés dans la littérature (**Campos et al 2016**). Aujourd'hui de nombreuses études montrent une association entre l'utilisation professionnelle de pesticides et le risque de diabète de type 2 (**Montgomery et al, 2008**) L'exposition professionnelle aux pesticides n'affecterait pas uniquement l'utilisateur mais pourrait aussi avoir un impact sur sa descendance. Il existe notamment une présomption forte d'un lien entre l'exposition parentale et l'apparition de leucémies, de tumeurs cérébrales, de malformations congénitales et de mort foetale dans la descendance (**Mao et al, 2018**).

L'exposition résidentielle aux pesticides (lors du traitement des animaux de compagnie ou de l'utilisation d'insecticides pour la maison) peut aussi jouer un rôle dans l'augmentation de l'incidence de certaines pathologies chez les enfants comme les tumeurs du cerveau, les leucémies, les troubles neurodéveloppementaux (**Van maele et al, 2017**). Une baisse du poids des enfants à la naissance et un surpoids des enfants à l'âge de 7 ans ont aussi été corrélés avec l'exposition environnementale à divers perturbateurs endocriniens dont certains pesticides (**Agay et al, 2015**)

Les consommateurs sont exposés aux pesticides principalement via l'alimentation. Différents rapports de l'autorité européenne de sécurité sanitaire des aliments (EFSA) montrent en effet la présence de faibles doses de pesticides dans de nombreuses denrées alimentaires (fruits et légumes) (**EFSA, 2017**). Les risques observés après utilisation professionnelle ou résidentielle des pesticides ne sont pas applicables aux consommateurs car les voies et les doses d'exposition sont différentes. Par contre, aujourd'hui des études de population permettent d'apporter des éléments de réponse quant à l'impact d'une exposition alimentaire aux pesticides. Dans l'étude de cohorte NutriNet-Santé réalisée sur une population d'adultes français, les sujets possédant une alimentation enrichie en produits issus de l'agriculture biologique présentent un risque moindre de développer un cancer

---

et une diminution du risque de surpoids et de développer un syndrome métabolique par rapport aux non consommateurs ou consommateurs épisodiques (**Baudry et al, 2018**).

L'existence ou la présomption d'un lien entre pesticides et santé telles qu'elles sont rapportées dans les études épidémiologiques ne permettent pas de prouver le lien de causalité. Les arguments de causalité peuvent être apportés par les études expérimentales qui évaluent l'impact de ces composés sur les cibles cellulaires humaines ou animales et recherchent si les mécanismes d'action des pesticides sont comparables à ceux qui sous-tendent certaines pathologies. Arguments de causalité (**Wang, 2001**)

Les pesticides sont des composés biologiquement actifs agissant sur des fonctions essentielles des organismes cibles (tels que les insectes, les mauvaises herbes, les champignons etc.). Ils affectent par exemple, le système respiratoire, le système nerveux ou la mue chez les insectes, la photosynthèse chez les végétaux, la division cellulaire, la biosynthèse d'acides aminés chez les plantes et microorganismes. Les études expérimentales réalisées in vitro dans les cellules humaines ou animales ou in vivo chez l'animal montrent que ces composés peuvent impacter de nombreuses cibles cellulaires (**Mostafalou et al, 2013**)

Ils peuvent interagir avec des récepteurs nucléaires impliqués dans les régulations métaboliques, endocrines et les mécanismes de détoxification ; ils peuvent agir directement sur l'ADN, induire des cassures, mutations et fusion de gènes et peuvent affecter l'activité des mitochondries, organites jouant un rôle primordial dans la respiration cellulaire et la production d'énergie indispensable au bon déroulement des fonctions de la cellule et, par extension, de l'organisme (**Inserm, 2013**)

L'impact de certains pesticides sur l'enzyme mitochondriale succinate déshydrogénase pourrait notamment conduire à des modifications épigénétiques (**Favier et al, 2013**). L'induction d'un stress oxydant par certains pesticides, un phénomène pouvant altérer ADN, protéines et lipides cellulaires est aussi un mécanisme par lequel ces composés peuvent exercer leur toxicité (**Wang et al, 2016**). Les pesticides peuvent aussi interférer avec les voies de signalisation cellulaire qui permettent le transfert de différents signaux depuis la membrane cellulaire jusqu'aux gènes et sont impliquées dans le contrôle de différentes fonctions (prolifération, survie, métabolisme etc.) (**Inserm, 2013**). A l'échelle de l'organisme, les pesticides peuvent induire dans les cellules neuronales un stress oxydant et une mort cellulaire, phénomènes observés lors des processus de dégénérescence neuronale (**Favier et al, 2013**)

Certains composés perturbent la production d'insuline par le pancréas, affecte les fonctions métaboliques, du foie et du tissu adipeux, autant d'effets qui peuvent expliquer leur rôle dans l'étiologie des pathologies métaboliques (**Maqbool et al, 2015**)

De nombreuses études montrent que les pesticides peuvent impacter le microbiote (**Claus ,2016**), un écosystème dynamique jouant un rôle prépondérant dans de nombreuses fonctions Physiologiques de l'hôte. Des déséquilibres de cet écosystème intestinal ont été associés à de nombreuses pathologies (maladies métaboliques et/ou inflammatoire ou comportementale). Ainsi certaines études suggèrent que les pesticides pourraient indirectement être à l'origine de troubles métaboliques et fonctionnels en affectant le microbiote intestinal (**jin et al, 2015**). Par ailleurs une étude récente montre que certains pesticides organophosphorés peuvent être métabolisés par le microbiote intestinal en composés capables de stimuler la néoglucogenèse et ainsi perturber l'homéostasie métabolique (**Velmurugan et al,2017**). Compte tenu de la diversité des cellulaires et moléculaires des pesticides la question reste posée de savoir qu'elle est la résultante de l'association de plusieurs composés. (**Rizzati et al, 2016**)

- **Impact des mélanges de pesticides**

Les différents effets dus à une combinaison de composés quels qu'ils soient peuvent être liés soit à une addition de doses, ou à un phénomène d'interaction i.e. synergie (un des composés du mélange accroît l'effet de l'autre), potentialisation (augmentation de l'effet d'un produit par une substance n'ayant pas d'effet) antagonisme (dans ce cas l'effet du mélange est plus faible que l'effet de l'un des produits seul). Dans une revue récente de la littérature (**Rizzati et al, 2016**)

Nous avons étudié 78 études expérimentales liées à l'impact de mélange de pesticides dans des modèles animaux ou humains. Ces études montrent que l'effet cocktail peut se traduire par un large spectre de réponses. De l'ensemble des études répertoriées dans cette revue, 48% des effets cocktails étaient dus à une addition de doses et 35% à des interactions qui en majorité (71%) étaient liées à une synergie. Ces interactions sont assez complexes puisqu'elles impliquent un réseau de cibles et de mécanismes à différents niveaux (cellulaire et de l'organisme). (**Claus ,2016**),

Les interactions entre pesticides peuvent se produire au niveau toxicocinétique. Comme tout composé exogène les pesticides sont pris en charge au niveau cellulaire par les enzymes du métabolisme des xénobiotiques (EMX). Deux étapes principales caractérisent ce processus : l'activation métabolique par les enzymes dites de phase I, et celle de la phase II qui fixent le pesticide ou son produit de transformation à une molécule endogène, par exemple le glutathion, pour

faciliter leur élimination. Les enzymes de la phase I (principalement les cytochromes P450), catalysent surtout les réactions d'oxydo-réduction et d'hydrolyse. Les enzymes de la phase II (glutathion-Stransférases [GST], UDP glucuronosyl transférases [UGT], catalysent les réactions de conjugaison. Généralement, les transporteurs (P-glycoprotéine [Pgp], multidrug resistance proteins [MRP] excluent au travers des membranes les xénobiotiques, et leurs dérivés, en vue de leur élimination de la cellule. Un composé peut altérer ces activités métaboliques et modifier la biodisponibilité et donc la toxicité des autres composés du mélange (**Svendsen *et al*, 2010**).

Deux composés appartenant à des familles chimiques différentes peuvent interagir en synergie par différents mécanismes conduisant au même effet (**Corbel *et al*, 2006**). L'interaction des pesticides dans un mélange pourrait aussi se produire au niveau de leurs cibles cellulaires et moléculaires. Des études récentes montrent que deux composés peuvent interagir au sein même de la poche du ligand d'un récepteur nucléaire (**Delfosse *et al*, 2015**). Les effets cocktails peuvent provenir d'un réseau d'interactions impliquant différentes cibles cellulaires. Les effets combinés du paraquat et du maneb sont consécutifs à des impacts sur la prolifération, les systèmes de transport, l'équilibre redox, les voies du métabolisme intermédiaire (**Roede *et al.*, 2014**). Les interactions entre deux composés peuvent être synergiques ou antagonistes en fonction de la dose de chaque composé dans le mélange. Les réponses « non additives » ne sont pas limitées aux fortes doses (**Christen *et al*, 2014**).

Afin de réduire les risques liés à l'utilisation des pesticides pour le grand public, la loi du 6 février 2014 visant à mieux encadrer l'utilisation des produits phytosanitaires sur le territoire national a interdit, à partir du 1er janvier 2022, la vente aux particuliers ainsi que la détention et l'utilisation par ces derniers, de tous les produits phytopharmaceutiques, à l'exception des produits de biocontrôle, des produits à faible risque et des produits dont l'usage est autorisé dans le cadre de l'agriculture biologique. Cependant, la loi du 17 août 2015 relative à la transition énergétique pour la croissance verte a avancé de 3 ans l'échéance du 1er janvier 2022. C'est ainsi, qu'à partir du 1er janvier 2019, les produits phytopharmaceutiques « de synthèse chimique » seront interdits pour les utilisateurs non professionnels.

Liste des produits autorisés amateurs - Actualisée le 21 février 2019

Liste des produits non autorisés amateurs - Actualisée le 30 janvier 2019

(Liste des produits possédant une autorisation de mise sur le marché en vigueur en décembre 2018 et qui ne sont plus autorisés depuis le 1er janvier 2019).

Afin d'assurer leur élimination dans des conditions sécurisées, les produits non utilisés et leurs emballages détenus par les utilisateurs non professionnels doivent être apportés dans une déchetterie ou un point de collecte temporaire assurant la collecte des déchets diffus spécifiques (déchets chimiques ménagers). **(Eco-Dds.2019)**

### **1.6-Pesticides dans les denrées alimentaires :**

En France, les 14,3 millions hectares de forêts et les 18 millions hectares de productions végétales diverses à savoir les céréales, betteraves, pommes de terre consomment 90% des pesticides commercialisés chaque année ; ce qui représente plus de 53 500 tonnes en 2004. La France est le premier pays consommateur de ces produits de l'Union Européenne et le troisième au niveau mondial après les USA et le Japon. Le marché européen étant le deuxième au niveau mondial avec 76 100 tonnes de matières actives commercialisées en 2004. Au Maroc la région de Souss-Massa constitue une zone pilote de la production et de l'exportation des produits maraîchers. Le haricot vert destiné à **(Food Marketing Institute, 1998)**

L'exportation provient exclusivement des cultures sous serres avec un pourcentage de 45%. Selon la Direction Générale de la Protection des Consommateurs de la Commission Européenne, 95% des échantillons testés ne dépassent pas la limite maximale autorisée par l'UE. Les analyses effectuées par la Direction Générale de Concurrence et de la consommation des Répressions de France (DGCCRF) ont révélé que 53% des fruits, légumes et céréales consommés en France en 2002 contiennent des résidus de pesticides, dont 9% sont non-conformes. La culture de tomate sous serre de la région de Sous Massa est parmi les cultures les plus consommatrices des pesticides. Les dépenses phytosanitaires peuvent représenter jusqu'à 20% du coût total de production qui pourrait engendrer une accumulation de résidus dans les fruits de tomates, sachant que les pays importateurs de l'UE de la denrée marocaine deviennent de plus en plus exigeants en matière de résidus des pesticides. **(Beltran et al, 1989).**

Les résidus des pesticides dans les denrées alimentaires présentent un aspect de danger le plus préoccupant des produits phytosanitaires, en affectant la population entière, qui consomme ces aliments. Selon l'enquête réalisée par Food Marketing Institute en USA, 75% des consommateurs ont une plus grande inquiétude pour les résidus de pesticides dans les aliments, que pour le cholestérol, la matière grasse, les agents de conservation ou autres composants des aliments. Pour l'établissement des LMRs, il faut tenir compte des critères toxicologiques et agronomiques **(Beltran et al, 1989).**

Pour le régime alimentaire moyen du pays considéré, et les aliments qui peuvent être traités avec le pesticide, l'application d'un facteur alimentaire permet d'obtenir un chiffre qui représente le niveau admissible de résidus d'un pesticide dans une denrée alimentaire déterminée (FAO, 1989). Le deuxième critère, nommé les Bonnes Pratiques Agricoles (BPA), prend en considération seulement les résidus qui restent au moment de la récolte. Pour cela, il est nécessaire de savoir l'évolution des résidus dans le temps pour chaque produit végétal. Ces études seront d'un grand intérêt pour les pesticides récemment introduits dans le marché et pour ceux qui sont déjà commercialisés, en général ces résidus sont fréquemment trouvés dans les végétaux.

On peut donc qualifier le terme de résidus comme étant la somme de la molécule mère et de toutes les molécules métabolites issues de sa dégradation ou de sa métabolisation. L'accumulation de résidus de pesticides est en fonction de cinq facteurs (Cluzean *et al*, 1999) :

- L'espèce cultivée
- L'organe récolté
- La toxicité et la dose d'utilisation du produit ;
- La fréquence des traitements ;
- Les conditions climatiques.

### **1.6.1-Formation des résidus en production végétale :**

Les produits antiparasitaires appliqués sur les parties aériennes des végétaux ou en traitement du sol évoluent quantitativement et qualitativement au cours du temps. La quantité de matière active ou de ses produits de transformation présente dans ou sur les parties consommables du végétal à la récolte constitue le résidu dont l'importance dépend tout d'abord de la nature de l'antiparasitaire mais aussi d'un certain nombre de conditions extérieures à savoir : la nature de la molécule, le climat, et les conditions d'emploi de pesticide (Yaftian, 2007).

# **Chapitre 2 : Généralité sur les métaux lourds**

---

## 2-Métaux lourds

### 2.1-Définitions

#### 2.1.1-Métal :

Corps simple caractérisé par un éclat particulier dit <<éclat métallique>>, une aptitude à la déformation, une tendance marquée à former des cations, et conduisant bien en général la chaleur et l'électricité. **(Duval et al, 1978)** Un métal est une matière, issu le plus souvent d'un minerai ou d'un autre métal, doté d'un éclat spécial, bon conducteur de la chaleur, et de l'électricité, ayant des caractéristiques de dureté, et malléabilité, se combinant ainsi aisément avec d'autres éléments pour former des alliages utilisables dans l'industrie, l'orfèvrerie **(Perriot et al, 2003)**

#### 2.1.2-Métalloïde :

Un métalloïde est corps simple susceptible de libérer des anions simples **(Duval r et al ,1978)** Un métalloïde est un élément qui combine certaines caractéristiques du métal et d'autres caractéristiques opposés (l'absence de conductivité électrique par exemple)

#### 2.1.3-métaux lourds :

Les métaux lourds sont les éléments métalliques naturels dont la masse volumique dépasse 5g/cm<sup>3</sup> et qui possèdent un numéro atomique élevé. Ils sont présents dans tous les compartiments de l'environnement, mais en général en quantités très faibles et ne sont pas biodégradables. On dit que les métaux sont présents en « quantités traces » car ils représentent 0,6 % (en masse) du total des constituants de la croûte terrestre **(Blum ,1990)** et représentent aussi « la trace » du passé géologique et de l'activité anthropique.

Le terme de métal lourd est souvent appliqué à tort à des éléments en raison de leur toxicité té. En effet, certains métaux toxiques sont déclarés métaux lourds alors qu'ils sont des métalloïdes (arsenic). De plus, il existe des métaux lourds qui sont indispensables aux organismes vivants ; d'autres, par contre, ne sont pas essentiels. La toxicité de certains des métaux non essentiels est reconnue, même à de très faibles concentrations (Cd, Pb, Hg) **(Blum, 1990)** alors que les métaux essentiels (calcium (ça), zinc (Zn), cuivre (Cu)) peuvent également devenir dangereux dès que leur concentration dans l'organisme dépasse un certain seuil **(Baize, 1997)**. La relation-dose effet d'éléments essentiels et non essentiels

### 2.2-Propriétés des métaux :

Les métaux diffèrent des métalloïdes par un certain nombre de propriétés dont les plus importantes sont les suivantes :

- Les métaux ont un aspect brillant
- Ils possèdent à un degré plus ou moins marqué des propriétés mécaniques particulières : ils peuvent être étirés en fils (ductilité) ou mise en feuilles minces (malléabilité) etc.
- En général ce sont des substances plus dures que les métalloïdes solides.
- Ils sont bons conducteurs de la chaleur et de l'électricité. Cette propriété est en relation avec la mobilité des électrons des atomes métalliques. Ces propriétés dans l'ensemble, doivent être considérées comme les propriétés caractéristiques d'un éclat métallique et plutôt que celles des métaux eux-mêmes.
- Les métaux possèdent la propriété de donner des ions positifs par perte d'électrons périphériques de Valence (Ont en général leur masse volumique élevée, supérieur à 5g/m<sup>3</sup>14) (**Domange, 1974**)

### 2.3-Métaux dans la classification périodique des éléments :

Considérons la classification élargie des éléments, nous savons que les éléments non métalliques ou métalloïdes se situent à droite et sur la ligne passant par le Bore, le Silicium, l'Arsenic et l'Astate. Tous les éléments situés à gauche de cette ligne sont des métaux Il faut cependant souligner que les éléments situés à la frontière sont parfois difficiles à classer dans l'un ou l'autre groupe et que la répartition ci-dessus est assez arbitraire. (**Domange, 1974**)

### 2.4-Source métaux lourds :

Les métaux lourds sont naturellement présents mais en quantités très faibles dans les sols, l'eau et l'air et ne sont pas biodégradables. Ils s'introduisent dans l'environnement de diverses façons : extraction minière, utilisation de combustibles fossiles, comme le charbon, combustion de déchets, feux de forêt, fumée de cigarette. Certains métaux sont indispensables aux organismes vivants, d'autres, par contre, ne sont pas essentiels. La toxicité de certains de ces métaux non essentiels, dont le cadmium (Cd), le plomb (Pb), et le mercure (Hg), est reconnue, même à de très faibles concentrations.

---

Cette toxicité est renforcée par un phénomène de concentration dans l'organisme qu'on appelle bioaccumulation. Dans plusieurs études menées sur des travailleurs, l'exposition aux métaux lourds dans l'air a été associée à une augmentation de la mortalité causée par le cancer du poumon (**circ, 2006**). De plus, les effets toxiques des métaux sont amplifiés chez les gros fumeurs à cause d'effets de potentialisation entre la fumée de cigarette inhalée et les métaux lourds provenant du secteur d'activité (**Byrd et al, 1989**). Une fois absorbés, ces métaux sont souvent difficiles à éliminer et la demi-vie de la plupart d'entre eux dans le corps humain est plutôt longue : elle est d'environ 30 ans pour le Cd (**Feillet et al, 2002**).

#### 2.4.1-Sources naturelles :

Les métaux lourds, comme tout minerai, sont présents dans les roches, et sont diffusés avec l'érosion. Les métaux lourds en surface ne viennent cependant pas tous de la roche, puisqu'il peut y avoir cumul entre ce qui vient du sous-sol et ce qui est apporté par l'air, qui peut provenir de très loin (plomb dans les glaces des pôles). (**Byrd et al, 1989**).

##### 2.4.1.1-Passage du minerai au contaminant.

Ces gisements naturels, enfouis dans les roches, deviennent accessibles et contaminants potentiels à quatre occasions :

- L'exploitation (les mines) et l'utilisation,
- L'érosion qui transporte les métaux vers les sols, les eaux de surface et les sédiments,
  - Les prélèvements d'eau. En puisant dans des nappes phréatiques de plus en plus profondes, on peut tomber sur une nappe contaminée par une roche très chargée en métaux lourds. Cette source de mobilisation des métaux lourds est la moins connue, mais aujourd'hui l'une des plus fréquentes, Les éruptions volcaniques terrestres ou sous-marines. Une éruption volcanique libère surtout de grosses quantités de gaz carbonique et de soufre, mais aussi des métaux lourds. On estime que les volcans libèrent en moyenne annuelle dans le monde, de 800 à 1.400 tonnes de cadmium, 18.800 à 27.000 tonnes de cuivre, 3.200 à 4.200 tonnes de plomb, et 1.000 tonnes de mercure dans l'atmosphère. (**Feillet et al, 2002**).

**NB** : Le Mali pays continental, est un pays à vocation minière l'exploitation minière concerne surtout l'or, dans lequel le pays se classe 3eme producteur sur le continent africain. Le pays ne connaît pas d'éruption volcanique.

Sous réserve de recherches poussées, les rejets d'origines naturelles de plomb, cadmium et de cuivre sont à minimiser dans le contexte Malien. (**Byrd et al, 1989 ; Perrot et al, 2003**).

---

### 2-4.1.2\_Sources anthropiques

L'activité humaine n'a apporté aucun changement dans les volumes de métaux lourds. Il n'y a ni création, ni suppression. Elle a surtout changé la répartition des métaux, les formes chimiques (ou spéciations) et les concentrations par l'introduction de nouveaux modes de dispersion (fumées, égouts, les gaz d'échappement des véhicules, l'agriculture et les déchets liquides et solides...). Si une partie des métaux lourds part directement dans le sol et les eaux, l'essentiel est d'abord émis dans l'atmosphère avant de rejoindre les deux autres éléments. Certains métaux (le cadmium, l'arsenic, et surtout le mercure et le plomb) sont introduits dans l'environnement, de façon quasi exclusive par l'homme. Le tableau suivant (tiré d'une étude de Lantzy et Mackenzie) montre le rapport entre le flux lié à l'activité humaine et le flux naturel de quelques métaux. (Feillet *et al.*, 2002).

### 2.5-Métaux étudié :

#### 2.5.1-Manganèse :

##### 2.5.1.1-Généralité :

Le manganèse Mn (Figure 09) (numéro atomique  $Z = 25$ , masse atomique relative  $A_r = 54,938$ ) figure dans le groupe VIB de la classification périodique des éléments, à côté du technétium et du rhénium. Il appartient à la première série des éléments du bloc *d*, ou ébèment de transition, comme le titane, le vanadium, le chrome, le nickel et le cuivre. Par suite de leur configuration électronique, les éléments de transition possèdent certaines propriétés caractéristiques : ce sont tous des métaux existant à divers états d'oxydation et formant de nombreux composés colorés Et paramagnétiques. Plusieurs éléments de transition jouent un rôle important dans les systèmes biologiques A l'état élémentaire, le manganèse est un métal cassant couleur gris clair, très réactif, dont la température de fusion est de  $1244^{\circ}\text{C}$  et la température d'ébullition de  $1962^{\circ}\text{C}$ . Après le fer et le titane, il s'agit du métal de transition le plus commun. Il peut se présenter dans les composés à divers degrés d'oxydation, dont les plus fréquents sont  $\pm 2$ ,  $\pm 3$  et  $+7$ . (Aljbevi, *et al* 1971)



Figure 09 : Forme manganèse ([www.ibelieveinsci.com](http://www.ibelieveinsci.com))

### 2.5.1.2-Comportement du manganèse

Le Mn est un élément naturellement omniprésent dans l'environnement que ce soit dans certaines roches, les sols, les sédiments (lacustres, fluviaux et marins), l'atmosphère, les eaux salées et douces, mais également au sein des organismes vivants (faune et flore confondues) (Post, 1999). Il s'agit du 10<sup>e</sup> élément le plus abondant dans la croûte terrestre où sa concentration moyenne est de l'ordre de 0,1% (Howe *et al.*, 2004). À l'état de minéraux primaires, le Mn ne se présente pas sous sa forme métallique native, mais il est le composant mineur d'une vaste gamme de minéraux issus de roches ignées, métamorphiques et sédimentaires. Les basaltes étant les roches ignées les plus riches en Mn avec une teneur moyenne de 1550 ppm (Reimer, 1999). Le Mn est également retrouvée, en plus faibles concentrations, sous forme de minéraux secondaires qui apparaissent sous forme de nodule ou de croûte dans les sédiments lacustres et marins de surface. Les minéraux les plus communs dans les gisements de minerais sont les oxyhydroxydes de Mn (ex. la pyrolusite, MnO<sub>2</sub>) suivi des carbonates (ex. rhodochrosite, MnCO<sub>3</sub>) et dans une moindre mesure les silicates et les sulfures (Howe *et al.*, 2004). Toutefois, sur les 300 minéraux porteurs de Mn, actuellement identifiés, seulement 12 ont un intérêt significatif dans le cadre d'une exploitation minière. On estime à 53 millions de tonnes la quantité de Mn produits à l'échelle mondiale pour l'année 2013, ce qui en fait le 4<sup>e</sup> métal le plus consommé après le fer, le cuivre et l'aluminium (Postle *et al.*, 2015).

- Forme naturelle et occurrence géologique

---

À l'état naturel, le Mn est essentiellement présent dans tous les types de roches (ignées, métamorphiques et sédimentaires) où il est contenu sous sa forme divalente [Mn(II)] en tant que constituant mineur (**Hem, 1985**). Sa présence dans le sol est le résultat de l'altération des roches au cours du processus de pédogenèse (**Reimer, 1999**). Cette occurrence naturelle dans les roches et les sols représente également une source de Mn qui peut se dissoudre par la suite dans les eaux souterraines et de surface ou encore se déposer sous forme de sédiments avec un potentiel de dissolution subséquent (**Howe et al., 2004 ; Nadaska et al., 2012**). Dans les sols, bien que sa présence soit essentiellement d'origine crustale, le Mn peut provenir de sources mineures telles que les dépôts atmosphériques directs, le lessivage des végétaux ou d'autres surfaces ou encore les (**Howe et al., 2004**). Les concentrations de Mn dans le sol sont de l'ordre de 40-900 mg/kg, avec une moyenne de 330 mg/kg (**Williams et al., 2012**). Son transport dans l'atmosphère s'effectue par l'émission de particules en suspension contenant du Mn (**Barceloux, 1999**). Les éruptions volcaniques, les incendies de forêt, les embruns océaniques, mais surtout l'érosion des sols sont de fait les sources les plus courantes (**USEPA, 2004**).

### 2.5.1.3-Toxicité du manganèse :

Biologiquement, le manganèse est un oligoélément essentiel. Il est indispensable pour assurer le métabolisme normal des acides aminés, des lipides, des protéines et des glucides, de même que pour assurer la fonction d'un certain nombre de familles enzymatiques, y compris les oxydoréductases, les transférases, les hydrolases, les lyases, les isomérases et les ligases (**Aschner et al, 2005**). La carence en manganèse chez l'humain est très peu fréquente et elle demeure mal définie, sans doute parce que le manganèse est présent dans la plupart des aliments. Il n'existe pas d'apport nutritionnel quotidien recommandé en manganèse, car les données sont insuffisantes pour déterminer le niveau d'apport requis. En lieu et place, la (**NAS, 2001**), avec la participation de Santé Canada, a établi que l'« apport suffisant » pour le manganèse est de 2,3 et de 1,8 mg/jour pour les hommes et les femmes, respectivement, des valeurs qui représentent l'apport moyen aux États-Unis et pour lesquelles on n'a pas observé de symptômes manifestes de carence en manganèse au sein de l'ensemble de la population. De façon analogue, un « apport maximal tolérable » de 11 mg/jour chez l'adulte a été établi parce qu'aucun effet indésirable n'a été signalé chez les personnes qui suivent des régimes végétariens de type occidental comprenant un apport de manganèse équivalent. En plus d'être un

---

élément essentiel, le manganèse est une substance ayant un effet toxique bien documenté chez l'humain à des niveaux d'exposition suffisamment élevés. (Maynard, 2014)

Alors que le manganèse peut être toxique pour plusieurs systèmes organiques, le système nerveux central constitue l'organe cible critique pour lequel des effets nocifs ont été documentés à des taux d'exposition plus faibles que pour les autres systèmes. Dans des conditions d'exposition élevée, le manganèse s'accumule dans les ganglions de la base du cerveau. Cela peut entraîner le « manganisme », une maladie neurologique clinique et gravement débilante qui est le plus souvent décrite chez des travailleurs exposés à des concentrations très élevées de manganèse inhalé (généralement plus de 1 mg/m<sup>3</sup>), mais qui est aussi possible pour d'autres types d'exposition. À des concentrations plus faibles d'exposition chronique au manganèse (plusieurs centaines de mg/m<sup>3</sup>), des effets subcliniques ont été recensés, y compris des modifications des habiletés motrices, de la mémoire à court terme et des habiletés cognitives (Cannon *et al*, 2017).

## 2.5.2-Cuivre :

### 2.5.2.1-Généralité :

Le cuivre (Figure 10) est un métal de transition. C'est un oligo-élément. Il est indispensable à la vie en faible quantité, et toxique en quantité plus importante. On peut trouver le cuivre sous forme de métal. Les minerais de cuivre sont principalement constitués de sulfures, de sulfosels, d'oxydes, de carbonates, de silicates et de sulfates de cuivre. Les minerais ne sont pas employés en tant que tels dans des applications courantes. Ils servent à élaborer le cuivre métal, les alliages et les composés du cuivre. (Foix 2002)

Dans les alliages de cuivre les plus fréquemment employés, la proportion de cuivre est majoritaire. Ils se caractérisent en général par une bonne conductivité thermique, électrique et une résistance à la corrosion. De nombreux alliages de cuivre existent, leur nombre est estimé à 400 (Laitons, bronzes, cupro-aluminiums, cupronickels etc. Les principaux composés du cuivre sont : l'acétate de cuivre, le chlorure cuivrique, le chlorure cuivreux, l'oxyde cuivrique, l'oxyde cuivreux, le sulfate de cuivre. (Ineris ,2005.)



Figure 10 : Forme de Cuivre, ([www.metals-commonly.com](http://www.metals-commonly.com))

### 2.5.2.2-Comportement du cuivre :

Le cuivre est naturellement présent dans la croûte terrestre. Sa teneur moyenne dans la partie supérieure de l'écorce continentale est évaluée à 14,3  $\mu\text{g. g}^{-1}$  (Wedepohl, 1995). Lors du processus de pédogénèse, l'altération de la roche mère puis des minéraux primaires et secondaires va alimenter la solution du sol en éléments constitutifs. Ainsi, les minéraux dont la structure contient du cuivre le libèreront lors de leur altération. C'est entre autres le cas de certains sulfures (chalcopryrite, bornite), oxydes (cuprite, ténorite), carbonates (malachite, azurite), silicates (chrysocolle) et chlorures (tolbachite). La teneur naturelle en cuivre d'un sol dépend fortement de la nature de sa roche mère (Besnard, 1999). La teneur naturelle en cuivre d'un sol est appelée fond pédogéochimique et correspond à la concentration en cuivre sans apport anthropique. Le fond pédogéochimique des rendzines sur craie de la région champenoise a été évalué à 4  $\mu\text{g. g}^{-1}$  (sous forêt, dans le Bois de la Bardolle, à proximité de Chalons en Champagne (Rigaux 2007).

Les origines anthropiques du cuivre et de nombreux autres ETM, sont multiples puisque l'utilisation des métaux est extrêmement variée dans les sociétés humaines. Les activités humaines considérées comme ayant le plus d'impact sur la contamination des sols sont l'extraction minière, l'industrie (notamment la métallurgie), le transport et l'agriculture. De plus, les conditions de contamination sont très variables : la contamination peut être locale ou à grande échelle, ponctuelle ou chronique, concentrée ou diffuse et transportée par voie aquatique ou atmosphérique (Bourrelier *et al*, 1998 )

La présence de cuivre dans les sols agricoles peut résulter des différents amendements et engrais utilisés. Ainsi, le cuivre peut provenir de boues résiduaires de stations d'épuration (STEP), de composts de déchets urbains, de lisiers et d'engrais phosphatés. La présence de cuivre anthropique

---

dans le vignoble champenois est surtout liée aux traitements agricoles. En effet, dès la fin du 19<sup>ème</sup> siècle, le cuivre a été reconnu pour ses propriétés fongicides et a été pulvérisé systématiquement sur le feuillage des vignes pour lutter contre le mildiou. (**Lamy et al. 2005**).

Bien que différentes solutions de sel de cuivre soient utilisées, la plus populaire est la « bouillie bordelaise ». Sa composition exacte est difficile à connaître car elle varie selon les lieux et les époques. Il s'agit globalement du résultat de la réaction de sulfate de cuivre ( $\text{CuSO}_4$ ) par de la chaux ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ). Le cuivre ainsi pulvérisé sur les feuilles de vigne est en grande partie insoluble. Il réagit cependant avec le dioxyde de carbone des eaux de pluie pour former de la malachite ( $\text{Cu}_2(\text{CO}_3)(\text{OH})_2$ ) qui se solubilise lentement en libérant les ions  $\text{Cu}^{2+}$  aux propriétés antifongiques. La bouillie bordelaise est un produit phytosanitaire efficace et persistant (**Besnard, 1999**).

### 2.5.2.3-Toxicité du cuivre :

Le cuivre est un oligo-élément essentiel pour le fonctionnement des plantes, des microorganismes et des animaux en raison de son exigence pour de nombreux processus métaboliques particuliers (**ICA, 1995**). En particulier, il est essentiel pour de nombreuses fonctions biochimiques, comme par exemple la catalyse de réactions d'oxydo-réduction dans le cytoplasme, la mitochondrie et le chloroplaste des cellules (**Fargasova, 2004**), ou bien comme un transporteur d'électrons durant la respiration (**Yruela, 2009**). Le cuivre participe aussi dans la lutte des espèces réactives de l'oxygène comme la Cu/Zn superoxydes dismutase (SOD) qui convertit l'anion superoxydes en dioxygène et peroxyde d'hydrogène (**ICA, 1995**). Dans le sol, le  $\text{Cu}^{2+}$  existe sous plusieurs espèces chimiques, mais il est principalement absorbé comme un élément nutritif par les plantes sous forme de  $\text{Cu}^{2+}$  (**Maksymiec, 1997**). L'accumulation du  $\text{Cu}^{2+}$  peut atteindre des concentrations de 20 et 30  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  de poids sec (**Pham et al., 2013**). La caractérisation primaire de toxicité du  $\text{Cu}^{2+}$  est l'inhibition de l'élongation des racines et la croissance de la plante (**Tsay et al., 1995**). Les effets du  $\text{Cu}^{2+}$  provoquent d'autres symptômes comme la nécrose, la Chlorose et la décoloration des feuilles (**Yruela, 2009**). Le changement. Redox du  $\text{Cu}^+$  en  $\text{Cu}^{2+}$  induit la formation d'espèces oxygénées radicalaires comme l'oxygène singulet ( $\text{O}_2^-$ ) et le radical hydroxyle ( $\text{HO}^\bullet$ ), et ces espèces oxydatives provoquent des dommages aux macromolécules biologiques, comme l'ADN, l'ARN, les protéines, les lipides et les glucides (**Lombardi et al., 2005 ; Yurekli et al., 2006**). Tal aussi été démontré que la toxicité du  $\text{Cu}^{2+}$  induit une réduction de l'activité

photosynthétique par une baisse du rendement quantique du photosystème II (Alaoui-sosse *et al.*, 2004 ; Pesko *et al.*, 2013).

Également, les êtres humains sont exposés au cuivre par l'inhalation de particules de  $\text{Cu}^{2+}$ , l'ingestion d'eau ou de nourriture contaminée par le cuivre. Cependant, la toxicité du cuivre pour l'être humain est relativement faible par rapport aux autres métaux tels que le cadmium, le mercure, le plomb et le chrome. Les effets toxicologiques qui peuvent être induites par les ions cuivre ( $\text{Cu}^{2+}$ ) peuvent provoquer des dépôts dans le cerveau, le foie, la peau, le pancréas et le myocarde (Davis *et al.*, 2000).

### 2.5.3-Fer :

#### 2.5.3.1-Généralité :

Le fer (Fe) (Figure 11) est l'élément chimique de la période 4, du groupe 8 et du bloc du tableau périodique. Il possède une couche d partiellement remplie ( $3d^6$ ). Il est le 26eme élément selon sa classification périodique de la table de Mendeleïev avec une masse atomique de  $55,8 \text{ g.mol}^{-1}$ . Il représente un matériau ferromagnétique le plus courant dans la vie quotidienne sur la terre avec une part de 6% de la croute terrestre ou équivalent a un milliard de tonnes, a quoi il faut ajouter deux a trois milliards de tonnes dans les océans et deux cents a trois cents millions de tonnes dans les végétaux (Pehkonen *et al.*, 1992).



Figure 11 : Forme de Fer (www.futura-sciences.com)

#### 2.5.3.2- Comportement du fer :

Il est présent dans les sources en eau naturelles (oued, mer..) ou artificielles (puits, barrage..) sous l'influences de différents facteurs qui favorisent sa libération a partir des roches mères par la lessive des eaux et autres facteurs qui le génère sous la forme d'hydroxyde de fer ( $\text{Fe}(\text{OH})_3$ )

---

(Manceau *et al*, 2000), son déplacement du milieu extérieur vers ces sources en eau sous l'influence d'une part des facteurs naturels à savoir les effets des contraintes climatiques et hydrologiques (Oliver *et al* , 1975; Ardoin-bardin *et al*, 2005) et d'autre part des facteurs anthropiques à titre d'exemple les déversements des rejets dans ces sources sans traitement préalable (FOURTH ANNUAL REPORT, 1976). Souvent, on trouve le fer dans les eaux de surface sous forme de sels contenant du Fe(III) au pH supérieur à 7 (Faust *et al*, 1990). La plupart de ces sels sont insolubles, coagulent et sédimentent dans le fond en entraînant des traces de métaux toxiques. Le fer peut être complexe par différents types de ligands comme les carboxylates, phénolates, anions inorganiques (Longford *et al*, 1975) tels que les ions chlorures et il peut aussi être contribué dans des réactions d'oxydoréduction avec d'autres éléments tels que le chrome ou le cuivre.

Cet élément est très important dans plusieurs domaines et processus naturels ou artificiels. Il est à la fois indispensable à la vie et toxique si sa concentration dépasse la norme conventionnelle (Adriano, 2001)

### 2.5.3.3-Toxicité du fer :

L'ingestion de grandes quantités de fer produit une hémochromatose ; dans cette affection, les mécanismes normaux de régulation n'agissent plus efficacement et il se produit des lésions de tissus par suite de l'accumulation du fer. Cette affection apparaît rarement par suite d'une simple surcharge alimentaire (Watt *et al* 1963). On a toutefois observé, dans certains cas d'alcoolisme, des lésions tissulaires associées à des apports excessifs de fer provenant des boissons alcoolisées. La consommation soutenue d'aliments acides cuits dans des plats en fer a aussi causé, dans certains cas, des lésions tissulaires. (Jacobs *et al.*, 1986)

L'ingestion de grandes quantités de comprimés de fer a déjà provoqué des intoxications chez de jeunes enfants. (Stein *et al.*, 1976 ) Puisque les comprimés de fer pour adultes contiennent parfois beaucoup plus de fer élémentaire que les comprimés pour enfants, l'ingestion accidentelle, par des enfants, de suppléments de fer destinés aux adultes peut provoquer une intoxication. (Steinhardt-Bour, *et al* 1984 ) On considère que trois grammes de sulfate de Fe(II) constituent la dose létale pour un enfant de deux ans. La dose létale pour un homme adulte est comprise entre 14 et 17,5 g. (National Academy of Sciences, 1980) Il se fait une bonne consommation de suppléments de fer (une étude cite le chiffre de 14 % des femmes pré ménopausées) sans qu'on rapporte d'effets toxiques, sinon des troubles gastro-intestinaux. (Gibson, 1984) Il semble que l'on n'a observé aucun

---

signe de toxicité par le fer d'origine alimentaire dans la population en général. Puisque l'absorption est régulée, les organes ne sont généralement pas exposés au fer en forte concentration. Les sources pharmaceutiques de fer et certains états pathologiques tels que l'hémochromatose essentielle (**Powell, et halliday1980**) ainsi que la thalassémie majeure (laquelle nécessite bon nombre de transfusions sanguines) conduisent à des concentrations élevées en fer. On a signalé que les personnes souffrant d'une surcharge en fer sont davantage exposées à des néoplasmes. (**Weinberg, et Biol, 1990**)

#### 2.5.4-Zinc :

##### 2.5.4.1- Généralités :

Le zinc est un élément abondant qui constitue à peu près 0,004 pour cent de la croûte terrestre. (**browning , 1969**) La forme minérale la plus commune du zinc est la sphalérite (ZnS), qui est souvent associée aux sulfures de certains autres éléments métalliques tels que le plomb, le cuivre, le cadmium et le Fer. (**U.S. Environmental Protection Agency, 1976**). Le Zinc se rencontre aussi sous forme de calamine (ZnCO<sub>3</sub>) dans les sédiments carbonatés ; les autres formes du zinc sont habituellement des produits d'oxydation de la sphalérite (**HEM, 1970**). Les minerais et les concentrés produits au Canada au cours de 1984 renfermaient 1 207 098 tonnes de zinc ; la consommation de zinc au pays s'élevait à 150 528 tonnes. Les réserves de zinc que renferment les gisements canadiens connus ont été évaluées à 20 492 700 tonnes. (**Gauvin, 1985**) Au Canada, le zinc sert surtout à la galvanisation du fer et de l'acier ; représentant en 1984, 40 pour cent de la consommation de zinc. Une autre tranche de 20 pour cent était destinée à la production d'accessoires de plomberie et de chauffage en laiton, alors qu'une proportion de 15 pour cent servait, dans l'industrie du moulage en coquille, à produire des pièces de quincaillerie utilisées en construction ainsi que des accessoires d'automobiles. (**Environnement Canada1972**)

La consommation restante de zinc est répartie entre un grand nombre d'industries. L'oxyde de zinc sert à la fabrication de peinture, de caoutchouc, de rayonne, de fils, d'encre, d'allumettes et de produits chimiques la « poussière » de zinc est utilisée en imprimerie ou pour teindre les tissus, purifier les graisses, ou cémenter les métaux dans des procédés métallurgiques ; le zinc laminé est utilisé dans les pièces ornementales et les batteries ; finalement, des sels de zinc servent à la préparation d'agents de conservation du bois et de pesticides. (**Environnement Canada1972**)

---

#### 2.5.4.2-Comportement du Zinc :

Les émissions industrielles et domestiques contribuent beaucoup à la quantité de zinc présente dans l'environnement tant aquatique qu'atmosphérique. Durant l'année 1972, la production primaire de fer et d'acier fut responsable de l'émission de 2 690 tonnes de zinc (sous forme d'oxyde de zinc) dans l'atmosphère canadienne. Les quantités émises par la production primaire de cuivre et de zinc étaient semblables (2 290 tonnes) (**Ministère de l'Environnement de l'Ontario, 1987**).

L'ensemble des émissions industrielles de zinc s'élevait à 6 340 tonnes. La combustion de carburant (charbon et huiles lourdes) dans un appareil fixe y ajoutait encore 134 tonnes. Les transports, l'incinération de déchets solides et l'épandage de pesticides étaient respectivement responsables de l'émission de 794, de 124 et de 1,8 tonne de ce métal. L'ensemble des émissions de toute origine s'élevait en 1972 à 7 400 tonnes (**Environnement Canada, 1972**). D'après des évaluations faites après une étude réalisée en 1980, la contribution respective des sources naturelles et anthropiques de zinc dans l'environnement s'élevait cette année-là à 768 000 et à 414 000 tonnes. Le dosage du zinc dans les matières particulaires en suspension dans l'air au-dessus des régions urbaines a montré l'existence de concentrations variant entre 0,32 mg/g à Toronto à 5,40 mg/g à Vancouver. (**Howe et al ,1973**) Dans les poussières, le long des quais de Toronto, les teneurs atteignaient même 6 mg/g. (**Vanloon ,1973**)

Le dosage des matières particulaires totales en suspension dans l'air au-dessus d'Edmonton durantn1978 et 1979 a laissé voir une concentration moyenne de 0,085 mg/m<sup>3</sup> qui variait peu avec la saison. Dans un cas, en novembre 1978, cette concentration atteignait 0,6 mg/m<sup>3</sup>, peut-être à cause d'émissions fugitives venant des incinérateurs. (**Klemm, et al, 1982**)

Une étude réalisée en 1982 dans l'ensemble de l'Ontario portait sur le contrôle des métaux (y compris le zinc) sous forme de traces dans l'air et les précipitations, de façon à en établir la distribution spatiale. (**Chan, et al 1982**)

La concentration atmosphérique moyenne de zinc variait de 0,019 mg/m<sup>3</sup> dans le sud à 0,007 mg/m<sup>3</sup> dans le nord. De façon similaire, les retombées sèches annuelles de zinc allaient de 1,51 mg/m<sup>2</sup> dans le sud à 0,51 mg/m<sup>2</sup> dans le nord. La concentration moyenne de zinc dans les précipitations annuelles passait de 0,0083 mg/L dans le sud à 0,0055 mg/L dans le nord. Les concentrations de métaux sous forme de traces dans l'ensemble de l'Ontario avaient généralement tendance à diminuer dans la direction sud-nord (**Lazrus et al., 1970**).

---

La quantité de zinc trouvée dans les précipitations est un indice de la présence ou de l'absence d'installations dont l'exploitation entraîne l'émission de zinc. Près de Sudbury en Ontario, la concentration moyenne de zinc dans les précipitations était de 0,028 mg/L en 1972–1973 ; toutefois, une pointe de 120 mg/L fut atteinte au cours d'une précipitation. (**Beamish et al., 1977**) Aux États-Unis, la concentration moyenne de zinc dans les pluies était de 0,107 mg/L. (**Lazrus et al., 1970**) Dans des échantillons de neige non polluée prélevés dans une région éloignée du nord du Manitoba, les concentrations de zinc étaient inférieures à 0,001 mg/L. (**Beamish, et al, 1977**) La concentration moyenne de zinc dans le sol est de 90 mg/kg au Canada. Une valeur analogue a été trouvée dans des sols du Nouveau-Brunswick ne renfermant pas de minerais sulfurés. (**Presant, et al , 1965**)

Dans des sols représentatifs d'endroits industrialisés du Canada, la teneur en zinc variait de 106 à 2 095 mg/kg (la valeur maximale ayant été observée à Toronto). Des échantillons de sols urbains recueillis à Vancouver et à Toronto renfermaient des teneurs respectives en zinc de 395 et de 220 mg/kg. Les carbonates, les oxydes et les sulfures de zinc sont peu solubles dans l'eau ; par conséquent, les concentrations de zinc présentes dans les eaux naturelles sont faibles. Les chlorures et les sulfates, qui sont très solubles, y sont hydrolysés en hydroxydes et en carbonates. Les teneurs en zinc dissous sont encore diminuées par adsorption sur les hydrolysats sédimentaires. Au cours de la période allant de 1980 à 1985, la concentration de zinc des eaux de surface canadiennes variait de 0,001 mg/L à un maximum de 1,17 mg/L. (Banque nationale de données sur la qualité des eaux (**Naquadat,1985**))

L'analyse des eaux de plusieurs lacs de l'Ontario (servant à l'approvisionnement en eau potable) a révélé qu'elles avaient une teneur moyenne en zinc inférieure à 0,010 mg/L. Une étude des eaux fluviales du centre et de l'ouest du Canada a révélé que les teneurs en zinc variaient fortement, aussi bien selon l'endroit que selon la saison. La plage de cette variation allait de 0,001 à 0,096 mg/L, les teneurs maximales ayant été observées dans la rivière des Esclaves dans les Territoires du Nord-Ouest ; normalement, les concentrations présentes dans les eaux fluviales ne dépassent pas 0,04 mg/L. (**Environnement Canada, 1984**)

L'eau du robinet peut renfermer des concentrations de zinc beaucoup plus élevées que les eaux de surface par suite de la lixiviation du zinc dans les tuyaux galvanisés, les réservoirs à eau chaude et les garnitures en laiton. (**National Academy of Science, 1972**)

Une enquête réalisée dans l'ensemble du pays sur les réseaux de distribution en eau potable a permis de trouver que la teneur moyenne en zinc des échantillons d'eau brute, d'eau traitée et d'eau

---

distribuée dépassait rarement 0,01 mg/L. Toutefois, l'accumulation de zinc dans l'eau était fréquente pendant sa circulation dans les réseaux de distribution. Au Nouveau-Brunswick et en Saskatchewan, ce phénomène était négligeable ; par contre, en Colombie-Britannique et au Québec, on notait que plus de la moitié des réseaux de distribution favorisaient l'accumulation de zinc. (**Meranger, et al, 1981**)

Des données récentes recueillies en Ontario sont venues corroborer ces observations. En effet, la première eau tirée du robinet après avoir séjourné dans les conduites pendant la nuit renfermait des teneurs en zinc qui étaient parfois 100 fois supérieures à celles de l'eau traitée. Ainsi, à Gananoque. (**Taylor, et al , 1980**)

Sur le fleuve Saint- Laurent, les eaux traitées avaient une concentration en zinc inférieure à 0,01 mg/L en 1986, alors que leur teneur moyenne après stagnation pendant la nuit était 0,309 mg/L (plage de 0,03 à 1,17 mg/L) à sept postes d'échantillonnage. Après que l'eau eut coulé pendant cinq minutes, les échantillons avaient une teneur moyenne en zinc de 0,014 mg/L. Étant donné la valeur nutritive de cet élément, plusieurs études ont été entreprises afin de déterminer la teneur en zinc de certains aliments et de régimes alimentaires complets. Deux études ont été réalisées dans le but de trouver la teneur en zinc de régimes alimentaires typiques du Canada. D'après ces études, la viande, le poisson, la volaille, les céréales, les huiles et les graisses possèdent les teneurs les plus élevées ; de plus, ce sont la viande, le poisson et la volaille qui contribuent le plus à l'apport alimentaire quotidien (**Fargasova, 2004**)

#### **2.5.4.3-Toxicité du zinc :**

Aucune toxicité n'a été signalée pour le zinc d'origine alimentaire, bien que l'exposition professionnelle (**PAPP, 1968**) ou les interventions pharmacologiques (**Prasad, et al, 1978**) puissent produire des symptômes. Des effets tératogènes ont été signalés chez le mouton (**Campbell et al, 1979**) ainsi qu'une rupture du métabolisme du cholestérol chez l'homme;(**Klevay,1980 ; katya-katya et al, 1984**) ces deux manifestations seraient attribuables aux effets nocifs de fortes concentrations de zinc sur le métabolisme du cuivre. Le bilan du cuivre devrait donc être surveillé chez les personnes ayant une alimentation riche en zinc. On a signalé que les réactions immunitaires seraient altérées chez l'homme par l'absorption de trop grandes quantités de zinc. (**Chandra 1984**)

## 2.5.5-Potassium

### 2.5.5.1-Généralité

Le potassium (Figure 12) fait partie des éléments minéraux. Il appartient à la 4<sup>ème</sup> période et au sous-groupe I-A du tableau de Mendeleïv. De symbole chimique K et de numéro atomique 19, sa masse atomique est de : 39,1. Le contenu en potassium de l'organisme dépend de la masse corporelle participant aux métabolismes (masse corporelle maigre ou le *lean body mass*) ; il est 100 d'environ g chez la femme et de 150 g chez l'homme (1mmol = 39 mg) **(Brobst,1986)**.

Le potassium est un élément naturel essentiel pour les végétaux et les animaux ; les humains y sont exposés principalement par leur alimentation, à des niveaux peu susceptibles d'être dangereux pour la santé. Au Canada, l'apport quotidien moyen de potassium, toutes sources confondues, est d'environ 3,1 g pour un adulte de 70 kg, ce qui est bien en dessous de l'apport suffisant établi à 4,7 g par jour pour les adultes. Les eaux traitées par les municipalités peuvent contenir de faibles concentrations de potassium. L'utilisation d'un adoucisseur d'eau qui utilise du chlorure de potassium peut accroître considérablement la concentration de potassium dans l'eau potable, même à des valeurs de dureté de l'eau jugées acceptables. Lorsqu'on se sert d'un adoucisseur qui ajoute du potassium à l'eau, la stratégie recommandée consiste à prévenir ou à limiter l'ajout de potassium à l'eau qui sera ingérée, par exemple en faisant en sorte qu'une partie de l'eau contourne l'adoucisseur. Bien qu'il existe des techniques d'élimination du potassium, elles coûtent habituellement plus cher et sont inutiles en combinaison avec le traitement d'adoucissement **(Brobst,1986)**.



**Figure12** : le forme de potassium ([www. Testoil .com](http://www.Testoil.com))

---

### 2.5.5.2-Comportement du potassium :

Il est présent à raison de 2 à 4% de la matière sèche et est exprimé sous forme de  $K_2O$  dans les engrais. Le potassium est présent en forte concentration dans les tissus jeunes en pleine croissance et en moindre quantité dans les organes âgés. Le potassium n'est pas un élément plastique mais un élément à fonction électrochimique et catalytique. Le K lié aux minéraux silicatés (mica, feldspath) ainsi qu'aux argiles, vont être libérés progressivement par l'altération des minéraux. Le K échangeable et facilement utilisable dans la solution du sol ou adsorbé au complexe adsorbant. Le K fixé qui constitue une réserve lentement utilisable. Les ions  $K^+$  peuvent passer des couches externes aux couches internes des argiles. Selon le type d'argile, la rétrogradation du K le rend différemment échangeable ; ce phénomène étant accentué par l'alcalinisation du sol. Il y a un équilibre entre ces trois formes et le K dans la plante. Argile K (non échangeable)  $\leftrightarrow$  K (échangeable)  $\leftrightarrow$  K (engrais)  $\leftrightarrow$  K (plante) Le K contenu dans les matières organiques le rend facilement utilisable soit, directement à la mort des végétaux par l'évacuation des ions du suc cellulaire, soit, après la mort et la décomposition des végétaux. (**Presant, et al, 1965**)

### 2.5.5.3-Toxicité du potassium :

Le potassium est le principal cation intracellulaire de l'organisme avec plus de 90 % de présence dans ce compartiment. Le gradient de potassium à travers la membrane cellulaire est le principal déterminant du potentiel électrique transmembranaire. Ce potentiel électrique influence l'excitabilité des tissus musculaires et nerveux, comme le muscle cardiaque. La concentration de potassium doit donc être comprise dans des limites bien précises (**Garcia et al, 1999**).

La physiologie du potassium et sa régulation font appel à des mécanismes complexes et une régulation essentiellement via le rein et le système rénine angiotensine aldostérone et, pour une part moindre, par le tractus gastro-intestinal

#### 2.5.5.3.1\_Hyperkaliémie

L'hyperkaliémie est habituellement définie par une concentration sérique en potassium supérieure à 5 ou à 5,5 mmol/l. Le Conseil européen de réanimation, quant à lui, définit l'hyperkaliémie comme une concentration  $> 5,5$  mmol/l. L'hyperkaliémie est souvent définie comme légère (5-5,5 mmol/l ou 5,5-5,9 mmol/l selon les définitions), modérée (5,5-6 ou 6,0-6,4 mmol/l), ou sévère ( $\geq 6-6,5$  mmol/l). Une hyperkaliémie supérieure à 6,0 mmol/l ou 6,5 mmol/l est un seuil en règle recommandé pour initier un traitement d'urgence. (**Alfonzo et al, 2019**)

---

Une particularité, dans ce contexte, est l'existence d'un phénomène biologique appelé : Pseudo-hyperkaliémie. Ce dernier a été signalé pour la première fois par Hartmann et, qui le décrit comme une élévation marquée des concentrations sériques de potassium en l'absence de preuves cliniques de déséquilibre électrolytique et, en particulier, sans effet clinique. Elle semble être la résultante de deux mécanismes (**Mellinkoff en 1955**).

Indépendants et séquentiels :

- La dégranulation des plaquettes, qui offre une charge de potassium au sérum environnant au moment de la formation d'un caillot in vitro.
  - Le transfert d'une partie de cette charge de potassium dans les cellules sanguines afin de maintenir l'homéostasie. (**Hartmann et al, 1955**)

Le résultat est qu'une quantité importante de potassium reste dans le sérum et donne ainsi Naissance au phénomène de pseudo-hyperkaliémie. La formation de ce caillot peut être favorisé par l'utilisation d'un garrot trop serré, de contractions musculaires répétées, ou encore par l'agitation prolongée du tube de prélèvement (notamment lors d'un transport en voiture), ou enfin d'un retard de traitement du prélèvement, qui provoquent une hémolyse, responsable d'une fausse hyperkaliémie. L'hémolyse n'est pas toujours possible à confirmer en pratique courante ou en situation d'urgence ; en effet selon les appareils de mesure et la précision du dosage du potassium, l'affirmation ou non d'une hémolyse par la machine n'est pas toujours possible. Le biologiste doit alors effectuer un test visuel pour vérifier la présence ou non d'une hémolyse dans l'échantillon et l'interpréter en fonction de la situation clinique. (**Sevastos et al, 2008**)

### **2.5.5.3.2-Hypokaliémie**

L'hypokaliémie est définie par une concentration de potassium sanguin inférieure à 3,5 mmol/l, voire inférieure à 4 mmol/l dans certaines populations. Des kaliémies inférieures à 3 mmol/l sont en règle recommandées comme seuils pour initier un traitement d'urgence. (**Rossignol et al,2017**)

### **2.5.5.3.3-Implications cliniques des dyskaliémies**

Les dyskaliémies sont reconnues comme facteurs associés à une augmentation globale de la mortalité, mais les facteurs prédictifs associés à la morbi-mortalité ne sont pas à ce jour totalement établis. La gravité potentielle des dyskaliémies résulte de la potentielle altération de la conduction intracardiaque et de l'augmentation de troubles du rythme cardiaque, toutes associées à un risque létal. (**McMahon et al,2012**)

---

Les signes cliniques sont aspécifiques et tardifs dans l'hyperkaliémie. Il s'agit de palpitations, de tachycardie, qui peuvent passer inaperçues. L'arrêt cardiaque peut être le seul symptôme présenté par un patient et peut même être le symptôme inaugural du trouble. (Anjn *et al*,2012)  
L'hypokaliémie est elle aussi est souvent bien tolérée chez des patients en bonne santé.

En effet les patients sont souvent asymptomatiques, surtout si les taux sont supérieurs à 3 Mmol/l. Les patients souffrant d'insuffisance cardiaque sont plus susceptibles d'être symptomatiques. Il est ainsi recommandé de maintenir leur niveau de kaliémie à 4,0 mmol/lou plus pour prévenir les arythmies. (Medford Davis, 2014)

Si l'on se place d'un point de vue physiopathologique, le déplacement intracellulaire du potassium peut être induit par une sécrétion d'insuline ou la stimulation du système nerveux sympathique. Ces deux éléments jouent un rôle-clé dans la régulation de l'équilibre potassique. Ces mécanismes sont ainsi importants et la libération d'adrénaline au cours d'un stress physique peut entraîner une diminution de la kaliémie de 0,5 à 0,6 mmol/l Ainsi, l'hypokaliémie pourrait être interprétée comme un marqueur de gravité d'une situation clinique, notamment dans des situations de forte libération d'adrénaline (comme aux urgences). (Medford Davis 2014)

## 2.5.6-Phosphore

### 2.5.6.1-Généralité

Le phosphore (Figure 13) est un élément essentiel à la croissance des plantes. En excès, il contribue toutefois à la pollution de l'environnement en favorisant l'eutrophisation des eaux de surface, un phénomène caractérisé par la prolifération d'algues et autres végétaux. L'eutrophisation constitue une sérieuse menace réduisant les usages de l'eau et la qualité de l'eau potable. Les sources de phosphore dans les eaux de surface proviennent de processus naturels comme l'érosion, le ruissellement et l'infiltration, amplifiés ou supplémentés par des activités agricoles, industrielles et municipales. Plusieurs études ont mis en évidence une contribution majeure de l'agriculture à l'eutrophisation, car les autres activités ont été contrôlées par des mesures d'assainissement et des normes de rejet au cours d'eau. Il faut maintenant mieux contrôler les flux de phosphore dans les systèmes agricoles en reconnaissant les principaux éléments de la dynamique du phosphore dans les systèmes sol-plante-élevage et en obtenant des indices fiables de la capacité réceptrice des milieux. Une grande responsabilité des actions à entreprendre est dévolue aux agronomes. (Balland, 1988)  
Corps simple légèrement ambré, très inflammable (" le phosphore, ce feu étrange entre tous puisqu'il se conserve sous l'eau ", G. Bachelard), lumineux dans l'obscurité (" phosphore =qui porte la

lumière"), le phosphore est, sous un grand nombre d'espèces chimiques, une brique essentielle du développement de tous les organismes vivants III. Chez l'homme par exemple, où il est présent au taux de 1,1 à 1,2 g/kg de son poids (dont 85 % dans le squelette et les dents), il joue un rôle premier dans trois fonctions essentielles 121(**Ceep,1997**)

- réservoir et transfert d'énergie nécessitée par la " veille" métabolique et l'activité physique, mettant en jeu notamment l'A.T.P. (adénosine-5 triphosphate),

- synthèse des acides aminés et des protéines et transmission de l'information (code génétique), comme élément constitutif des molécules d'ARN et d'ADN respectivement,

- édification des tissus durs, squelette et dents, dont le développement et la maintenance sont à l'origine des besoins, par l'alimentation, et des pertes, par les excréta, les plus importants. Les besoins moyens sont, chez l'enfant, de 0,5 g/jour, chez l'adulte, de 0,8 à 1 g/jour selon la corpulence. Ils s'élèvent à 1,2 g/jour chez la femme enceinte et allaitante. Les végétaux, algues et végétaux supérieurs (macrophytes), expriment à l'encontre du phosphore des exigences physiologiques tout aussi impératives que chez l'homme et les animaux. Ils ont besoin de cet élément pour leur développement et leur croissance, en particulier pour l'accomplissement de la fonction qui leur est spécifique de l'assimilation chlorophylle- Henné, par laquelle ils bénéficient de la propriété de synthétiser leur propre matière, à partir de l'énergie lumineuse et d'une série d'ingrédients essentiels : c'est la photosynthèse dont l'équation fondamentale est donnée ci-après (**Barroin ,1997**)



**Figure 13:** le forme de phosphore ([www.ar.wikipediacom](http://www.ar.wikipediacom.org) .org)

### 2.5.6.2-Comportement du phosphore

Ce qui précède permet une certaine hiérarchie des origines du phosphore, que l'on examine ci-après en termes de tonnages annuels respectifs, sachant que toutes, peu ou prou, contribuent à accroître un stock en place déjà considérable. En effet, il est possible de distinguer entre les origines en circuit ouvert, c'est-à-dire qui sollicitent sans cesse une importation à partir, notamment, de fabrications industrielles. Il s'agit pour l'essentiel :(**Balland, 1988**)

- des produits lessiviels : lavage du linge, des textiles, de la vaisselle, entretien des locaux ...
- de l'alimentation humaine, et surtout animale, pour sa partie importée,
- des fabrications industrielles consommatrices de phosphore,
- de la fertilisation des cultures par engrais industriel.

Même si l'on vise à la réduction des flux (cas des lessives) ou à l'optimisation du couple fourniture/besoins (cas de l'alimentation animale ou de la fertilisation des cultures), ces diverses origines ont le point commun de consommer du phosphore importé et de restituer au milieu quasiment tout (lessives) ou partie (cultures, animaux) de l'importation. En circuit pseudo fermé (il n'existe pas de circuit fermé strict) avec recyclage partiel. Il s'agit essentiellement du phosphore produit et consommé à la ferme pour lequel on cherche à optimiser le couple " production de déjections animales/ valorisation par les fourrages ". C'est également à cette activité qu'on demande de recycler (valoriser) les sous-produits provenant de l'épuration des effluents domestiques (boues), ce qui ne peut qu'accroître la complexité de la conduite de l'exploitation agricole.

Ces caractéristiques doivent amener à considérer particulièrement les origines du phosphore, allant au-delà de leur quantification en flux annuels, d'autant que les modes de transfert aux milieux sensibles sont extrêmement diversifiés. (Corpen ,1998).

D'une manière générale, on rencontre sur un bassin donné l'ensemble des origines de ce tableau en proportions différenciées. L'activité agricole y est représentée mais sa contribution ne doit pas être résumée aux seuls transferts diffus. L'équation " agricole = diffus " est non seulement simplificatrice mais erronée. Il semble même que la maîtrise du " ponctuel agricole " (élevages) soit plus pressante et prioritaire en cas d'excédent de production de déjections par rapport aux possibilités de valorisation. ENS de détection (Corpen ,1998).

## 2.6-Différent méthodes détecteurs des métaux lourds

### Etat de l'art sur la détection électrochimique des ETM

La détection des métaux lourds est principalement réalisée par des techniques spectroscopiques : la spectroscopie d'absorption atomique (AAS Kenawy,2000) la spectrométrie de masse par torche plasma (ICP-MS)(Caroli,1999), la fluorescence aux rayons X et l'analyse par activation neutronique sont les méthodes les plus utilisées. Leurs principaux avantages sont leur souplesse, puisqu'elles permettent la détection d'un grand nombre d'éléments, leur sensibilité et leur limite de détection (LOD) de l'ordre du femto-molaire. Cependant, elles présentent certains inconvénients : un matériel onéreux, l'emploi d'un personnel qualifié pour la réalisation des procédures analytiques

---

complexes, la préparation des échantillons ne permettant pas une mesure sur site en temps réel, nécessaire pour prévenir des phénomènes de pollution occasionnels. Enfin, seule la concentration totale en métal peut être déterminée par ces méthodes et l'obtention de données sur la spéciation engendre des étapes de prétraitement et de stockage des échantillons augmentant les risques d'erreur sur la mesure. **(Silva, 2009)**

Dans ce cadre, l'électrochimie représente une alternative intéressante. Les appareils électrochimiques sont la plupart du temps intuitifs et faciles d'utilisation, peu onéreux et miniaturisés. Ils permettent des mesures sur site en effectuant un minimum de préparation de l'échantillon naturel, diminuant ainsi les risques de contamination lors du stockage. Ils s'appuient en outre sur des procédures simples qui ne nécessitent pas l'utilisation conséquente de réactifs.

Les systèmes électrochimiques permettent aussi des mesures en quelques minutes voire en temps réel, fournissant donc des données dynamiques pertinentes. Néanmoins, certains développements sont requis, particulièrement en termes de LOD, de sensibilité et d'automatisation. Pour améliorer ces performances, un grand nombre de méthodes électrochimiques avec différentes modulations de potentiel ou de courant ont été développées comme les techniques de voltammétrie à redissolution anodique à impulsions différentielle, à vague carrée (Square Wave Anodic Stripping Voltammetry ou SWASV) ou la chronopotentiométrie à redissolution (Stripping Chrono Potentiometry ou SCP). L'obtention de mesures à haute définition temporelle est possible lorsque les capteurs électrochimiques sont associés à des systèmes d'analyse à flux continu, fournissant ainsi des mesures sur site et en continu. Une autre performance analytique essentielle à la détection des métaux lourds est la sélectivité. Dans les milieux complexes, le signal associé à la cible analytique est souvent **(Adriano, 2001)**

Victime d'interférences dues à la présence d'autres espèces (parfois d'autres métaux lourds ou de matière organique). Afin de résoudre ce problème, plusieurs stratégies de fonctionnalisation de surface d'électrode ont été développées. **(Ceep,1997)**

Depuis les années 1920 et les travaux pionniers de Jaroslav Heyrovsky (République Tchèque) **(Heyrovsky, 1922)**, de nombreux travaux ont permis de développer l'électrochimie pour la détection des métaux lourds en milieux naturels **(Goncalves, 1993)**. D'un point de vue national, lors du protocole Aarhus (1998), la France s'est engagée à limiter ses rejets de Pb, Hg et Cd à des niveaux inférieurs à ceux relevés en 1990 (Observation Statistiques Commissariat général au développement durable, 2012.). Mais la situation reste inquiétante : durant les années 2007 à 2009,

---

25 métaux lourds ont été détectés dans plus de 10 % des analyses effectuées sur différents types d'échantillons (sols, eaux) (Bilan de présence des micropolluants dans les milieux aquatiques continentaux 2007-2009 ; Commissariat général au développement durable, 2011.).

Ce chapitre présente les outils électrochimiques de détection des éléments traces métalliques.

### 2.6.1-Techniques spectroscopiques

Les principales méthodes actuellement utilisées en routine pour la détection des ETM sont les méthodes spectroscopiques (**Lepri, 2011**) :

- Spectrométrie d'absorption atomique (AAS), avec plasma induit par haute fréquence (ICP-AAS),
- Spectrométrie d'émission optique par ionisation de flamme (F-OES),
- Spectrométrie d'émission optique avec plasma induit par haute fréquence (ICP-OES),
- Spectrométrie de masse avec plasma induit par haute fréquence (ICP-MS).

On peut aussi y ajouter les méthodes de fluorescence à rayons X (XRF) et d'analyse par activation neutronique instrumentale (INAA) (**Djingova, 2000**)

Les techniques de spectrométrie atomique optique ont pour principe l'étude de l'absorption et de l'émission de photons lors de la restructuration atomique des analystes à doser, préalablement mis sous forme d'atomes libres. On retrouve donc parmi elles, les techniques d'absorption atomique (AAS), utilisant une flamme ou un four (GF-AAS), et les techniques d'émission atomique comme l'ICP/OES ou encore la LIBS (Spectroscopie par claquage laser) pour les solides,

Les spectrométries de masse se basent quant à elles sur le principe d'ionisation des composés à doser suivie de leur séparation en phase gazeuse en fonction de leur rapport masse/charge Cette catégorie se limite presque exclusivement à la spectrométrie de masse à plasma à couplage inductif (ICP/MS). (**Luther, 1985**)

Les méthodes de fluorescence X, comme la fluorescence X à dispersion d'énergie (EDXRF), se basent sur l'émission de rayons X qui provoquent l'ionisation des couches profondes de l'atome, avant que ce dernier ne retourne à son état fondamental. Cette dernière étape engendre l'émission radiative de photons de longueur d'onde caractéristique qui est ensuite analysée Cette méthode permet de ne pas provoquer la détérioration massive ou la perte de l'échantillon(**Mhatre,1995**). Les techniques d'analyse par activation neutronique (INAA) où les éléments sont irradiés par un flux de neutrons thermiques puis identifiés et quantifiés par le spectre de rayons  $\gamma$  émis par la désexcitation des radionucléides de l'élément irradié est aussi utilisée de manière plus spécifique. Cette méthode

---

est extrêmement sensible mais nécessite l'accès à une source de neutrons, qui ne permet pas son utilisation dans la plupart des laboratoires (**Pohl,2009**)

C'est la technique de spectrométrie de masse qui connaît à l'heure actuelle une très forte popularité, notamment depuis l'apparition de technologies permettant d'éliminer simplement de nombreuses interférences poly atomiques. Son caractère multi-élémentaire allié à sa grande sensibilité de détection en fait une technique majeure en analyses de traces de métaux lourds (**Tanguy et al ,2010**)

D'une manière globale, ces méthodes font office de référence dans le dosage des ETM car les principes sur lesquels elles reposent permettent de s'affranchir des matrices complexes et des problèmes de spéciation tout en procurant des résultats très sensibles sur la totalité des éléments métalliques ciblés. (**Prabhakar , 2012**)

Leur principal inconvénient est leur mobilité réduite. En effet, les mesures sont souvent effectuées en laboratoire à partir d'échantillons prélevés sur site. Les incertitudes quant au stockage et au transport de ces échantillons constituent alors une source d'erreur supplémentaire sur la mesure. De plus, l'analyse en continu d'un effluent est inenvisageable et la mesure dynamique des concentrations des ETM ne peut être réalisée.

D'autres méthodes doivent donc être développées pour envisager le dosage des métaux lourds en temps réel. Dans cette optique, l'électrochimie fait partie des méthodes les plus prometteuses. Les différentes techniques électrochimiques sont détaillées dans les paragraphes suivants. (**Newton,2012**)

### **2.6.2-Polarographie**

La polarographie a certainement été la technique électrochimique la plus utilisée et étudiée du 20ème siècle depuis les travaux pionniers d'Heyrovsky en 1922 (**Heyrovsky, 1922**). C'est grâce aux propriétés particulières de la goutte de mercure : un renouvellement continu de la surface active de l'électrode, une large fenêtre de potentiel cathodique due à la grande surtension de réduction de l'hydrogène et l'aptitude du mercure à former des amalgames avec la majorité des composés métalliques... De ce fait, l'étude des métaux lourds a fait l'objet de nombreuses publications.

Pour des concentrations supérieures à  $10^{-5}$  mol. L<sup>-1</sup>, la voltammétrie à balayage linéaire de potentiel (Linear Sweep Voltammetry ou LSV), sur électrode à goutte tombante de mercure (Dropping Mercury Electrode ou DME) ou sur une électrode statique de mercure (Static Mercury Drop Electrode ou SMDE) formée à l'extrémité d'un capillaire, est la méthode la plus appropriée.

---

Pour des concentrations inférieures, le rapport courant faradique sur courant capacitif n'est plus aussi favorable (**Heyrovsky, 1922**)

Les techniques de voltamètre impulsionnelles, normales (Normal Pulse Voltammetry ou NPV), différentielles (DPV) et à vagues carrées (SWV) ont permis de réduire le courant résiduel et d'abaisser les limites de détection (LOD). Pour ce qui est de la détection des métaux traces, ces rampes de potentiel ont été associées à des voltammétrie à redissolution anodique (Anodic Stripping Voltammetry ou ASV) ou cathodique (Cathodic Stripping Voltammetry ou CSV), sur une électrode à goutte pendante de mercure (Hanging Mercury Drop Electrode ou HMDE), sur laquelle l'analyte est pré concentré à un potentiel constant dans une solution agitée. Les méthodes résultantes : LSASV, DPASV, SWASV et leur combinaison, permettent d'atteindre des LOD inférieures à  $10^{-12}$  mol. L<sup>-1</sup> pour le Zn, le Pb, le Cd et le Cu avec des électrodes de type HMDE ou SMDE (**Magnier, 2011**).

Malgré de très bonnes performances analytiques en termes de sensibilité et de stabilité de la réponse en fonction du temps, la faible tension de vapeur et la grande toxicité du mercure ont encouragé des recherches sur les méthodes polar graphiques à faible teneur en mercure. Une première solution consiste à déposer un film mince de mercure (Thin Film Mercury Electrode ou TFME) sur des substrats solides comme le carbone vitreux (CV). Ces types d'électrode ont permis de doser le Fe(III) (RISO, 2006) ou le Sb(III) jusqu'à des concentrations de l'ordre du nano molaire et du pico molaire, respectivement. (**Tanguy, 2010**)

Alternativement, le groupe de recherche de Potin-Gaultier a développé des électrodes sérigraphiques (SPE), constituées de micro surfaces de mercure. Ce système miniaturisé permet d'augmenter le transport de masse de l'analyte et d'atteindre des LOD de l'ordre du nano molaire pour le Zn<sup>2+</sup>, Cd<sup>2+</sup> et le Pb<sup>2+</sup> (**Cugnet, 2009**)

Afin de favoriser des électrodes solides sans mercure, certains groupes ont travaillé sur l'électro dépôt d'une monocouche de mercure. Une sensibilité exceptionnelle a été obtenue pour la détection du Pb<sup>2+</sup> avec une LOD remarquable de  $80 \text{ f mol. L}^{-1}$  sur électrode cylindrique [48Munteanu, G. 2009 ;]. Néanmoins, toutes ces techniques à base de mercure sont vouées à disparaître dans les années à venir, l'utilisation et la présence de mercure étant en cours d'interdiction. (**Parat, et al 2011**)

### 2.6.3-Bismuth

Plus « éco compatible » et moins toxique que le mercure (Svancara, 2010), le bismuth a été considéré comme une alternative au Hg. L'avantage majeur du Bi pour l'analyse de traces est sa capacité à former des alliages binaires ou multi-composants avec de nombreux métaux lourds (Svancara, 2010). Il a aussi la particularité d'être un des métaux les plus diamagnétiques, permettant ainsi d'éviter les problèmes de conductivité. Un autre intérêt du Bi est son insensibilité à l'oxygène dissous, rendant inutile l'étape de désaération de l'échantillon. Les performances de films de Bi sont comparables à celles obtenues avec des électrodes de Hg, assurant une bonne sensibilité et des signaux bien définis. En général, le film de Bi est déposé juste avant l'analyse sur la surface de l'électrode par réduction potentiostatique d'une solution de Bi(III), même si un dépôt simultané avec les métaux traces a aussi été réalisé (Wang, 2000).

En utilisant la DPASV, une électrode constituée de Bi déposé sur cuivre a permis la quantification du Cd<sup>2+</sup> de 10<sup>-8</sup> mol. L<sup>-1</sup> à 10<sup>-6</sup> mol. L<sup>-1</sup> (Legeai, 2005). Elle a aussi été testée avec succès pour la détection simultanée de Cd<sup>2+</sup>, Zn<sup>2+</sup> et Pb<sup>2+</sup> à 10<sup>-5</sup> mol. L<sup>-1</sup> puis du Ni<sup>2+</sup> seul (Legeai, 2006). Urbanova et coll. ont augmenté la surface active de l'électrode en déposant le Bi sur des sphères en polystyrène (Urbanova, 2010).

En utilisant la DPASV, des LOD de 5,3 n mol. L<sup>-1</sup> et 6,3 n mol. L<sup>-1</sup> ont été obtenues pour le Cd<sup>2+</sup> et le Pb<sup>2+</sup>, respectivement. Zaouak et coll. ont obtenu des performances comparables en utilisant un film de Bi électro déposé sur une SPE de CV. Un domaine de linéarité de 10 n mol. L<sup>-1</sup> à 400 nmol. L<sup>-1</sup> et une LOD de 5,34 nmol. L<sup>-1</sup> ont été atteints pour le dosage du Cd par SWASV (Zaouak, 2009). Les électrodes de Bi ont également été utilisées avec succès pour la détection de traces de Pb, Zn et Cd se trouvant en phase gazeuse (Lud et al 2010). Dans ce cas, la poudre de Bi mélangée avec de l'encre de carbone est recouverte d'une couche d'hydrogel qui agit à la fois comme un électrolyte solide et favorise la préconcentration de l'analyte se trouvant sous forme de vapeur. (Yaftian, m. 2007)

### 2.6.4\_ Les électrodes spécifiques d'ions (ISE)

Les électrodes spécifiques d'ions (ISEs) sont des capteurs potentiométrique incluant une membrane sélective qui minimise les interférences matricielles et confère une sélectivité au capteur (BOBACKA, 2008). Leur réponse est basée sur une réaction de complexation à l'équilibre entre l'analyte et la sonde avec des cinétiques réactionnelles fortement dépendantes de la composition de la membrane. La mesure potentiométrique tout comme la nature des interactions moléculaires

---

permettent généralement l'obtention de LOD de l'ordre du  $\mu\text{mol. L}^{-1}$  et de domaines de linéarité de  $10^{-5}$  mol.  $\text{L}^{-1}$  à  $10^{-2}$  mol.  $\text{L}^{-1}$  dans une fenêtre de pH comprise entre 3 et 6. Les performances analytiques sont améliorées grâce à l'emploi de matériaux fonctionnalisés (membranes vitreuses, liquides ou polymériques). L'emploi de membranes polymériques de type -arène a permis l'obtention de LOD de  $10^{-8}$  mol.  $\text{L}^{-1}$  pour le Pb en présence de 22 espèces interférentes (Yaftian,2006). Toutefois, aucune mesure n'a été réalisée en eau réelle. (Parat *et al*, 2011).

Plus sélectifs encore, les matériaux vitreux de type chalcogénure possèdent une meilleure résistance chimique en milieu acide. Plusieurs alliages vitro-cristallins ont été utilisés : Cu- As-S (Cali, *etal*2002), Cu-Ag-S (Essi, 2011). Des LOD de  $10^{-6}$  mol.  $\text{L}^{-1}$  ont été obtenues pour le dosage du Cu(II) et de l'Ag(II) dans des échantillons réels. De plus, la sélectivité du capteur est assurée malgré la présence simultanée des ions  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{Cd}^{2+}$  et  $\text{Zn}^{2+}$  (ESSI, 2011). Mear et coll. ont étudié un film mince d'un chalcogénure vitreux de  $\text{Ge}_{28}\text{Se}_{60}\text{Sb}_{12}$  incluant du cuivre pour quantifier les ions Cu(II) et Cd(II) séparément avec une LOD de  $3 \mu\text{mol. L}^{-1}$  (Mear, 2005).

### 2.6.5-Electrodes chimiquement modifiées (CME)

En combinant les propriétés intrinsèques de la modification chimique et d'une réaction électrochimique donnée, les CME offrent une réponse significativement améliorée comparativement aux électrodes non modifiées (Murray, 1987).

Pour la détection de métaux lourds à l'état de traces par les techniques à redissolution, la modification favorise l'accumulation sélective de l'analyte lors de l'étape de pré concentration, permettant ainsi l'obtention d'une meilleure sensibilité du capteur et de LOD plus faibles (Arrigan, 1994) Pendant l'étape de détection, la modification favorise aussi souvent la cinétique de transfert électronique. La fonctionnalisation peut être obtenue de nombreuses manières : à partir d'un minéral comme la silice ou l'argile, d'un polymère, d'un composé organique ou inorganique ou de nanoparticules métalliques. En fonction de sa nature, la fonctionnalisation s'effectue soit par adsorption, soit par liaison covalente ou dépôt ou même par dispersion au sein d'une matrice conductrice. Nous ne présenterons ici que brièvement les principales fonctionnalisations (Cox, 1996).

# **Chapitre3 : Plantes d'étude**

### 3.1-Généralité sur la pomme de terre

#### 3.1.1-Définition la pomme de terre

La pomme de terre (*Solanum tuberosum* L.1568) est une plante vivace dicotylédone tubéreuse, herbacée, cultivée pour ses tubercules riches en amidon et possédant des qualités nutritives, originaire d'Amérique du Sud. Elle appartient à la famille des Solanacées, qui sont des plantes à fleurs, et partage le genre *Solanum* avec au moins 2 000 autres espèces, entre autres la tomate, l'aubergine, le tabac, le piment, et le pétunia (Boufares, 2012).

#### 3.1.2- Origine de la pomme de terre

Les Incas ont d'abord cultivé la pomme de terre dans l'Altiplano du Haut andes du Chili à l'époque préhistorique. Les explorateurs espagnols ont introduit la pomme de terre en Europe vers la fin du XVI<sup>e</sup> siècle. Bien qu'initialement considérée comme une « nourriture paysanne », la culture de la pomme de terre s'est répandue en Europe, y compris l'Europe continentale, la Grande-Bretagne et l'Irlande.

Vers 1780, la pomme de terre est devenue une culture de base en Irlande. Bien que la culture de la pomme de terre ait contribué à l'expansion rapide de la population irlandaise entre 1750 et 1850, une famine a commencé à la fin des années 1840 à la suite d'une infection fongique brûlure de la pomme de terre. Pendant le Grand Faim en Irlande entre 1845 et 1852, environ un million de décès sont survenus avec la migration de 1,5 million (Lee *et al*, 2006) personnes. Par la suite, de nouvelles variétés de pommes de terre génétiquement modifiées présentant une résistance accrue aux agents pathogènes des plantes et une composition nutritive améliorée sont un domaine de recherche active (Edwards, 1965).

#### 3.1.3-Taxonomie

La famille des Solanaceae comprend plusieurs plantes cultivées bien connues telles que la tomate, l'aubergine, le tabac, le poivre et la pomme de terre (*Solanum tuberosum*). La pomme de terre se classe, à l'échelle mondiale, au quatrième rang de la production alimentaire pour l'amidon récoltés. Environ 300 000 tonnes métriques sont produites (FAO, 1985). Au sein du genre *Solanum*, plus d'un millier d'espèces ont été reconnues. D'après Burton (1989) le genre *Solanum* regroupe environ 2000 espèces dont plus de 200 sont tubéreuses (Tableau 03) (Hawkes, 1990).

Tableau 02 : Classification botanique de *Solanum tuberosum* (Hawkes, 1990)

Règne	Plante
Embranchement	Spermatophytes
Sous- embranchement	Angiospermes
Classe	Dicotylédones
Sous-classe	Asteridae
Ordre	Polemoniales
Famille	Solanaceae
Genre	Solanum L
Sous-Genre	Potatoe
Section	PetotaDumort
Sous-section	Potatoae
Espèce	Solanum tuberosum L

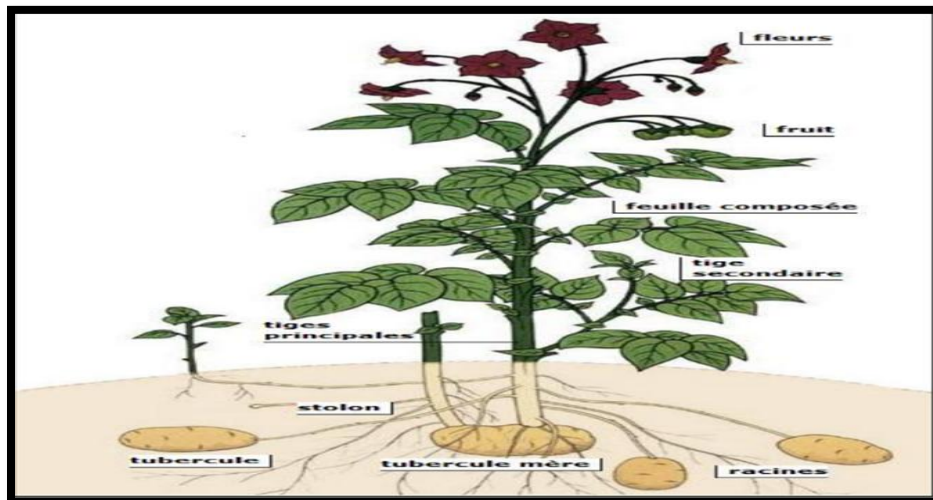


Figure 14 : Caractéristiques morphologiques de la pomme de terre (FAO, 2008)

La pomme de terre est une plante annuelle dicotylédone qui se propage essentiellement par voie végétative (**Harchouche, 1999**) Les pommes de terre peuvent être divisées en deux parties principales aérienne et souterraine.

### 3.1.4-Partie aérienne

#### 3.1.4.1\_Tiges :

La pomme de terre comprend une tige plus ou moins dressée ou étalée et des tiges secondaires qui se différencient des tiges principales par un diamètre plus faible. La tige peut être entièrement verte, mais dans bien des cas elle possède des pigments rouges violacés (**Khaldi et al,2006**).

#### 3.1.4.2.- Feuilles :

Elles sont de type composé de longueur de 10 à 15 cm comprenant 3 à 5 paires de folioles avec une foliole terminale (Figure 15) (**Cherfi, 1989**).



**Figure 15** : Morphologiques de la Feuilles ([www.wikifarmer.com](http://www.wikifarmer.com))

#### 3.1.4.3-Fleurs :

Les fleurs sont disposées en cyme bipaire à corolles blanches, roses ou violettes Selon (**Kebaili et al, 2009**), les fleurs de pomme de terre sont hermaphrodites de type cinq : calice (5 sépales soudés), corolle (5 pétales soudés), androcée (5 étamines alternipétales), ovaire biloculaire pluri ovulé. Les fleurs sont autogames (Figure 16) (**Rousselleet al, 1996**).



**Figure 16** : Morphologiques de la Fleurs ([www.agronomie.com](http://www.agronomie.com))

**3.1.4.4-Fruits et graines :**

Les fruits sont des baies sphériques vertes, contenant de nombreuses graines plates et de forme ovale, et peuvent contenir jusqu'à 200 graines (**Rousselle et al, 1992**)

**3.1.5-Partie souterraine**

La partie souterraine représente la partie la plus intéressante de la plante puisqu'on y trouve les tubercules qui confèrent à pomme de terre sa valeur alimentaire. Elle comprend

**3.1.5.1-Racines :**

D'après, les plantes de pomme de terre développées à partir des graines développent une racine pivotante mince avec des racines latérales, alors que celles multipliées par tubercules produites des racines adventives à la base de chaque germe (**Huaman , 1987**).

**3.1.5.2-Tiges souterraines ou stolon :**

Se sont des tiges latérales, De forme cylindrique, tendant à une croissance horizontale, avec de petites feuilles écailleuses disposées en forme de spirale, des bourgeons axillaires et un bourgeon terminal, elles prennent naissance à partir des bourgeons latéraux du tubercule mère, ces stolons donnent par la suite naissance à la formation des tubercules fils (Figure 13)(**Kebaili et al.,2009**).

**3.1.5.3-Tubercules :**

Le tubercule de pomme de terre n'est pas une portion de racine, c'est une tige souterraine. Comme toutes les tiges, il est constitué d'entre nœuds, courts et tapissés dans le cas présent, et porte des bourgeons que l'on appelle les « yeux » situés dans de petites dépressions. En se développant, les bourgeons donnent les germes et les futures tiges aériennes. Les racines prennent naissance sur différentes parties : au niveau des nœuds enterrés des tiges feuillées, au niveau des nœuds des stolons ou encore au niveau des yeux du tubercule. (**Boufares, 2012**)

**3.1.5.3.1-Structure externe du tubercule :**

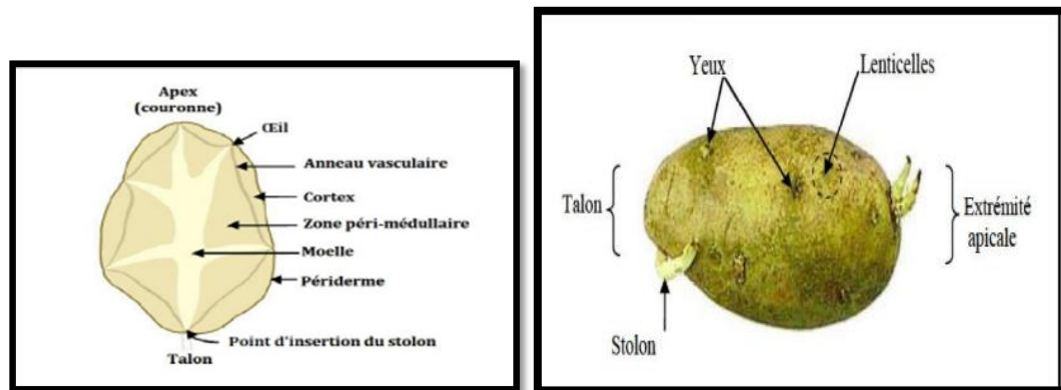
Le tubercule de pomme de terre est une tige souterraine avec des entre-nœuds courts et épais. Il a deux extrémités le talon (ou hile) rattaché à la plante- mère par le stolon. La couronne (extrémité apicale opposée au talon) où, la plupart des yeux ont concentrés. Les yeux sont disposés en spirale et leur nombre est fonction de la surface (ou calibre) du tubercule. Chaque œil présente plusieurs bourgeons qui donnent des germes. Ces derniers produisent, après plantation, des tiges (principales et latérales), des stolons et des racines (Figure 16) (**Bernhards ,1998**).

### 3.1.5.3.2-Structure interne du tubercule :

Sur la coupe longitudinale d'un tubercule arrivé à maturité, on observe de l'extérieur vers l'intérieur tout d'abord le péri derme, connu plus communément sous le nom de la peau. La peau du tubercule mûr devient ferme et à peu près imperméable aux produits chimiques, gazeux et liquides. Elle est aussi une bonne protection contre les micro-organismes et la perte d'eau (**Boufere, 2012**).

Lenticelles assurent la communication entre l'extérieur et l'intérieur du tubercule et jouent un rôle essentiel dans la respiration de cet organe. L'examen au microscope Les optique montre que les cellules des parenchymes péri vasculaires sont petites et contiennent de très petits grains d'amidon (**Bernhard, 1998**).

Généralités de la pomme de terre 8 Les cellules du parenchyme cortical sont plus grandes et renferment beaucoup plus de grains d'amidon, de moindre taille que dans la moelle. Le tissu de revêtement péri-derme est la région du tubercule la plus pauvre en grains d'amidon. La zone péri médullaire présente les plus gros grains d'amidon (Figure 17) (**Chelha, 2000**)



**Figure17** : Pièces intérieures et extérieures tubercule (**Boufares, 2012**)

### 3.1.6-Cycle de reproduction et physiologie

#### 3.1.6.1-Cycle sexué

Le fruit est une baie sphérique ou ovoïde de 1 à 3 centimètres de diamètre, il contient généralement plusieurs dizaines de graines (**Bernhards, 1998**), et peut contenir jusqu'à 200 graines. La pomme de terre est très peu reproduite par graines dans la pratique agricole, cependant la graine est l'outil de création variétale (**Soltner, 2005**). La germination est épigée et les cotylédons sont portés au-dessus du sol par le développement de l'hypocotyle. En conditions favorables, quand la jeune plante a seulement quelques centimètres de hauteur, les stolons commencent à se développer

d'abord au niveau des cotylédons puis aux aisselles situées a - dessus, et s'enfoncent dans le sol pour donner des tubercules (**Bernhards, 1998**).

**Tableau 03** : Apport nutritionnel moyen de la pomme de terre pour 100 g cuites à l'eau (**Oswaldo, 2010**)

<b>Elément</b>	<b>Quantités</b>	<b>Elément</b>	<b>Quantités</b>
<b>Valeur énergétique</b>	<b>86KCAL</b>	<b>Vitamins</b>	
<b>Glucides</b>	<b>19g</b>	<b>B1</b>	<b>0.11mg</b>
<b>Protéines</b>	<b>2g</b>	<b>B2</b>	<b>0.04mg</b>
<b>Lipides</b>	<b>0.1g</b>	<b>B3</b>	<b>1.2mg</b>
<b>Minéraux</b>		<b>B6m</b>	<b>0.2mg</b>
		<b>C</b>	<b>13mg</b>
Potassium	<b>410mg</b>		
Magnésium	<b>27mg</b>		
Fer	<b>0.8mg</b>		
Manganèse	<b>0.17mg</b>		
Cuivre	<b>0.16mg</b>		
Phosphore	<b>43,7mg</b>		
Sélénium	<b>7,07mg</b>		
Sodium	<b>48 ,8mg</b>		
Zinc	<b>0,24mg</b>		

**3.1.6.2-Cycle végétatif :**

Le tubercule n'est pas seulement un organe de réserve, c'est aussi un organe qui sert à la multiplication végétative. Cette dernière se déroule en quatre étapes :

**3.1.6.2.1-Dormance :**

Après la récolte, la plupart des variétés de pommes de terre traversent une période où le tubercule ne germe pas, quelles que soient les conditions de température, et d'humidité. Il s'agit de la période de dormance, et sa durée dépend beaucoup de la variété et des conditions d'entreposage, et surtout de la température. Pour hâter la germination, on peut traiter chimiquement les tubercules de semence ou les exposer alternativement à des températures élevées et basses (**Belguendouz, 2011**)

**3.1.6.2.2-Germination :**

D'après (**El Lisseche, 2008**), lorsqu'un tubercule est placé dans des conditions d'environnement favorables (16-20°C, 60-80% d'humidité relative) aussitôt après la fin de son repos

végétatif, il commence à germer. Après une évolution physiologique interne les tubercules deviennent capables d'émettre des bourgeons, une évolution interne du tubercule conduit d'abord à un seul germe qui se développe lentement et dans ce cas c'est toujours le germe issu du bourgeon terminal qui inhibe les autres bourgeons : ce phénomène est la dominance apicale (**Soltner, 2005**). Puis un petit nombre de germes à croissance rapide se développent. Ensuite un nombre de plus en plus élevé de germes démarrent, traduisant une perte progressive de la dominance apicale. Ils s'allongent lentement, se ramifient, deviennent filiformes et finalement tubérisent (**Bernhards, 1998**)

#### **3.1.6.2.3-Croissance :**

Une fois le tubercule mis en terre au stade physiologique adéquat, les germes se transforment en dessous du sol en tiges herbacées pourvues de feuilles ce qui rend la plante autotrophe dès que la surface foliaire atteint 300 à 400 cm<sup>2</sup> (**Rousselle et al, 1996**). Les bourgeons axillaires donnent, au-dessus du sol des rameaux, et en dessous, des stolons (**Soltner, 2005**)

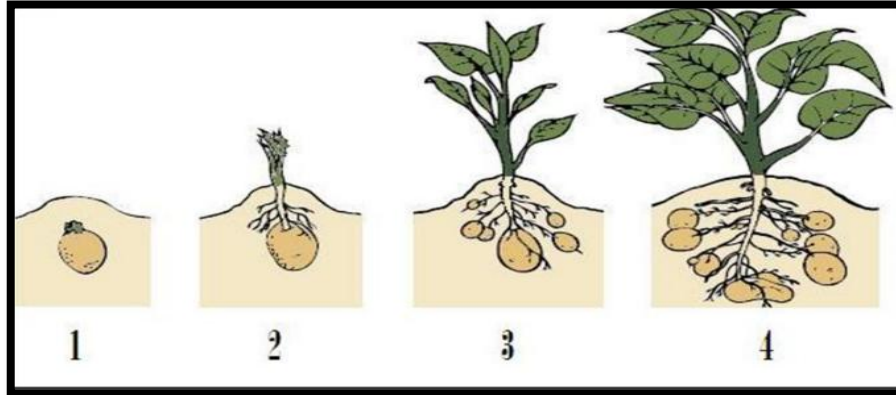
#### **3.1.6.2.4-Tubérisation :**

Le tubercule est la justification économique de la culture de pomme de terre puisqu'il constitue la partie alimentaire de la plante et en même temps, son organe de propagation le plus fréquent. Ce phénomène de tubérisation commence d'abord par un arrêt d'élongation des stolons après une période de croissance. La tubérisation est réalisée dès que le diamètre des ébauches est le double de celui des stolons qui les portent. Outre les processus de multiplication cellulaire, le grossissement des ébauches de tubercules s'effectue par accumulation dans les tissus des substances de réserve synthétisées par le feuillage. Ce grossissement ralentit puis s'arrête au cours de la sénescence du feuillage (**Bernhards, 1998**). Le modèle de développement suivi par les tubercules varie considérablement entre les tubercules d'une même plante. Une hiérarchie s'établit entre ces organes de stockage qui entrent en compétition pour les nutriments : les tubercules croissant le plus vite limitent le développement des autres tubercules (Figure 18) (**Verhees, 2002**)

#### **3.1.7-Importance nutriment**

La pomme de terre est un légume riche en nutriments, avec une teneur en matière sèche comprise entre 15 et 29 amine %, car l'amidon représente 10 à 25 % de ce pourcentage. Il contient également des protéines représentées dans 18 acides sur les 20 acides aminés essentiels nécessaires au corps humain, leur conférant une valeur vitale haute (**Haj Al I Hammouda, 2010**).

C'est aussi une bonne source de nombreux éléments minéraux (fer, potassium, phosphore...etc.), et d'En termes de vitamines, il contient un groupe de vitamines, en particulier la vitamine C et le groupe de vitamines B (Al-Amouri, 2007).



**Figure 18** : Stades de développement des plantes de pommes de terre saison (FAO, 2008)

### 3.1.8-Besoins environnementaux du plant de pomme de terre

#### 3.1.8.1-Sol

La culture de la pomme de terre convient aux terres lâches et jaune clair avec des pores perméables à l'air L'humidité, l'irrigation et le drainage sont disponibles. Les pommes de terre sont considérées comme l'une des plantes peu tolérantes à la salinité, car elles sont cultivées dans un sol dont le pH varie de 5,5 à 5,6, ce qui est le degré le plus approprié pour la croissance de la pomme de terre et l'augmentation de son rendement (Baouz, 2009).

#### 3.1.8.2-Température :

Elle influence beaucoup le type de croissance. Les hautes températures stimulent la croissance des tiges ; par contre, les basses températures favorisent davantage la croissance du tubercule (Rousselle *et al*, 1996). La pomme de terre est très sensible au gel. Le zéro de végétation est compris entre 6 et °C8. Les températures optimales de croissance des tubercules se situent aux alentours de 18°C le jour et 12°C la nuit. Une température du sol supérieure à 25°C est défavorable à la tubérisation (Toumi, 2014).

#### 3.1.8.3- Lumière :

Le plant de pomme de terre est l'une des plantes qui a besoin d'une longue période d'éclairage entre 14 et 18 heures par jour pour le pousser des feuilles, comme pour les journées courtes de moins

de 12 heures par jour, il aide à la formation des tubercules, et provoque le raccourcissement des feuilles pendant la journée, à un stade précoce de croissance, les feuilles cessent de pousser et les tubercules commencent à se former (**Bazouchea, 2007**).

#### 3.1.8.4-Humidité

Selon **Crosnier (1987)** mentionné, il est souhaitable que le sol à côté de la plante soit humide, mais non saturé arroser entre la plantation et la germination, car l'abondance d'eau rend les racines instables efficace (**Baouz, 2009**).

### 3.1.9-Production de la pomme de terre

#### 3.1.9.1-Production mondiale de la pomme de terre

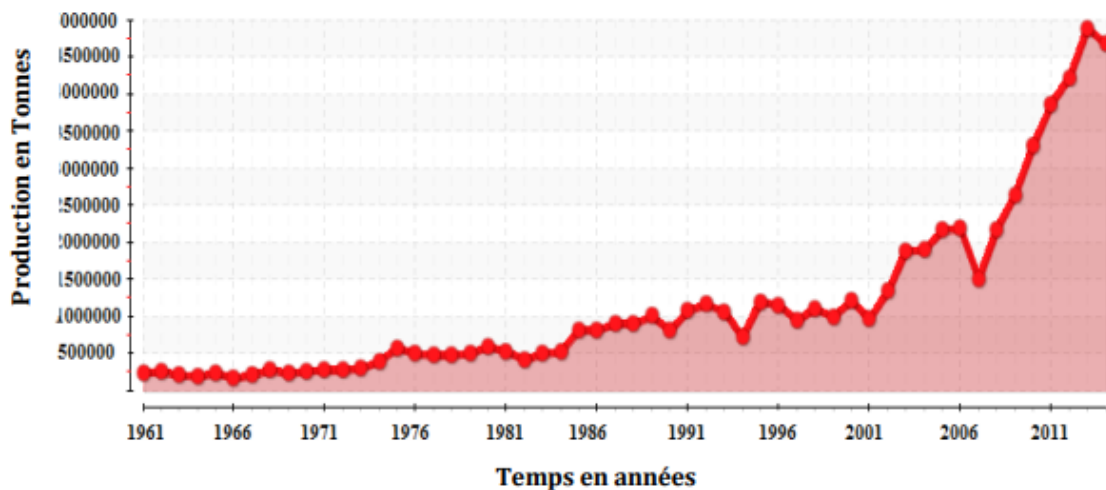
La pomme de terre est la deuxième culture vivrière par son importance au monde après les céréales. Elle joue un rôle important dans l'économie de nombreux pays et peut présenter une solution aux problèmes de déficit alimentaire mondial Aujourd'hui, dans de nombreux pays en développement, les ménages agricoles les plus pauvres et sous-alimentés dépendent de la pomme de terre comme source principale ou secondaire d'alimentation et de nutrition (Tableaux 05) (**Rajnchapel, 1987**).

**Tableaux 04** : Les principaux producteurs de pomme de terre dans le monde (**Faostat, 2016**).

Pays	Quantité(t)
1. Chine	96 136 320
2. Inde	46 395 000
3. Féd. de Russie	31 501 354
4. Ukraine	23 693 350
5. Etats-Unis	20 056 500
6. Allemagne	11 607 300
7. Bangladesh	9 435 150
8. France	8 054 500
9. Pologne	7 689 180
10. Pays-Bas	7 100 258
11. Biélorussie	6 279 715
12. Egypte	4 800 000
13. Iran	4 742 240
14. Pérou	4 693 209
15. Algérie	4 673 516

#### 3.1.9.2-Production en Algérie

Selon les historiens, l'entrée de la pomme de terre remonte au milieu de la première décennie du dix-neuvième siècle ; elle a été cultivée principalement pour l'exporter vers le marché français. Après l'indépendance, elle est devenue un produit important pour la consommation locale, et elle est devenue de plus en plus importante dans le régime alimentaire. En 2014, l'Algérie a occupé la deuxième place, après l'Égypte, dans la production de la pomme de terre en Afrique du Nord. La production nationale durant la dernière décennie (2003-2014) a augmenté de 1 896 270 tonnes en 2004 à 4 673 516 tonnes en 2014 pour une augmentation de la surface cultivée de 88 660 hectares en 2004 à 140 000 hectares en 2014. L'accroissement du rendement est aussi très significatif, de 21.20 tonnes par hectare en 2004 à 31.43 tonnes par hectare en 2014, c'est en dehors de la production de semences qui montre une nette augmentation durant cette période (FAOSTAT, 2016)



**Figure 19** : Production de la pomme de terre en Algérie (1961/2014) d'après (FAOSTAT, 2016)

### 3.2-Tomate (*Solanum lycopersicum* L1554)

La tomate (*Solanum lycopersicum* L) a une place importante dans l'alimentation humaine puisqu'elle est consommée toute l'année, dans le monde entier. Elle se positionne au premier rang mondial des fruits cultivés avec une production d'environ 177 millions de tonnes en 2016 (FAO, 2019). La tomate étant le produit le plus consommé et commercialisé au monde, elle représente

également le premier produit agricole consommé au sein du marché d'intérêt national de Rungis (**Rekibi, 2015**). Si l'on se réfère à la définition d'un fruit : produit végétal qui succède à la fleur après fécondation et qui renferme les graines de la plante, la tomate serait donc bien un fruit (on voit les graines à l'intérieur). La tomate est donc un fruit, mais un légume culinairement parlant (**Chaux et Foury, 1994**)

La tomate se consomme, soit cru, en mélange avec d'autres ingrédients ou en jus, soit cuit sous la forme de préparations variées à partir de produits frais ou transformés industriellement. De cela se dégagent deux grands types de cultures de la tomate : la culture de frais, réalisée en général sous abris et récoltée manuellement et la culture d'industrie, réalisée en plein champs et récoltée mécaniquement (**Ranc, 2010**). Compte tenu de son importance économique, elle est l'objet de nombreuses recherches scientifiques et est considérée comme une plante modèle pour les études scientifiques sur les fruits charnus (**Chanforan, 2010**).

### 3.2.1-Classification de tomate (*Solanum lycopersicum* L)

La tomate (*Solanum lycopersicum* L) est une espèce largement cultivée pour son fruit climactérique. Le terme désigne aussi ce fruit charnu, qui est l'un des légumes les plus importants dans l'alimentation humaine et qui se consomme frais ou transformé. La plante est cultivée, en plein champ ou sous abri, sous presque toutes les latitudes, le fruit a donné lieu au développement d'une importante industrie de transformation (**Dominique et al, 2000**)

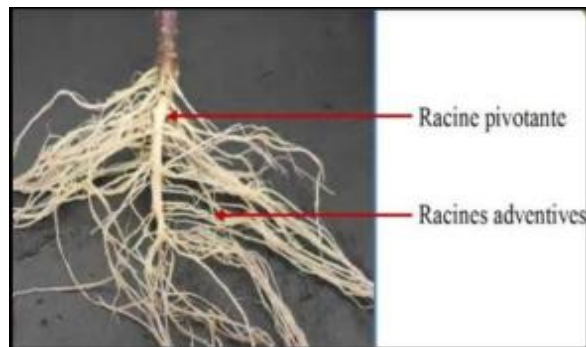
**Tableaux 05** : Classification botanique de la tomate (**Peralta et al, 2006**)

<b>Règne</b>	Plantae
<b>Sous règne</b>	Tracheobiota
<b>Division</b>	Magnoliophyta
<b>Classe</b>	Magnoliopsida
<b>Sous classe</b>	Asteridae
<b>Ordre</b>	Solanales
<b>Famille</b>	Solanaceae
<b>Genre</b>	Solanum
<b>Espèce</b>	Solanum Lycopersicum L

### 3.2.2-Description morphologique de la tomate

#### 3.2.2.1\_Système racinaire :

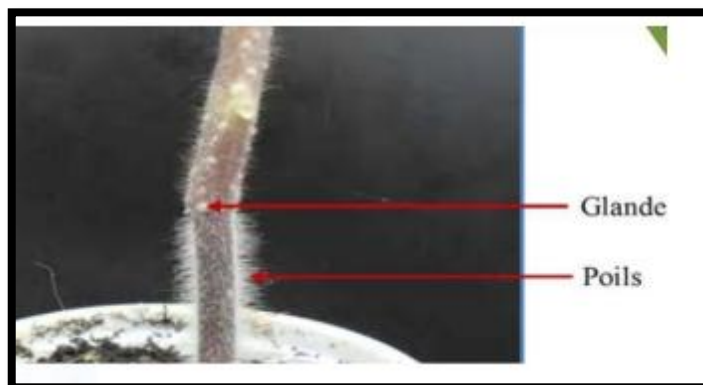
Le système racinaire est puissant, très ramifié et à tendance fasciculé. Il est très actif sur les 30 à 40 premiers centimètres. En sol profond, les racines peuvent jusqu'à un mètre (Figure 19) (Arvy, 2007).



**Figure 20** : Système racinaire de la tomate (Bouzaata, 2016)

#### 3.2.2.2-Tiges :

Elles sont vertes, épaisses aux entre-nœuds. Elles disposent de deux types de poils blanchâtres des poils simples et des poils glanduleux qui contiennent une huile essentielle, qui donne l'odeur de la tomate et la coloration verte. Elles portent les feuilles, les fleurs et les fruits. Une tige peut porter de nombreuses ramifications (appelées axillaires) et a une croissance indéterminée ou déterminée selon les variétés (Seghiri,2006)



**Figure 21** : Tige de tomate (Bouzaata, 2016)

**3.2.2.3- Feuilles :**

Les feuilles sont composées de 5 à 7 folioles principales, Elles ont une disposition alterne sur la tige, longues de 10 à 25cm et d'un certain nombre de petites folioles intercalaires ovales, un peu dentées sur les bords. Elles sont souvent repliées en forme de cuillères ou même à bords roulés en dessus (Figure 21) (Peron, 2006).



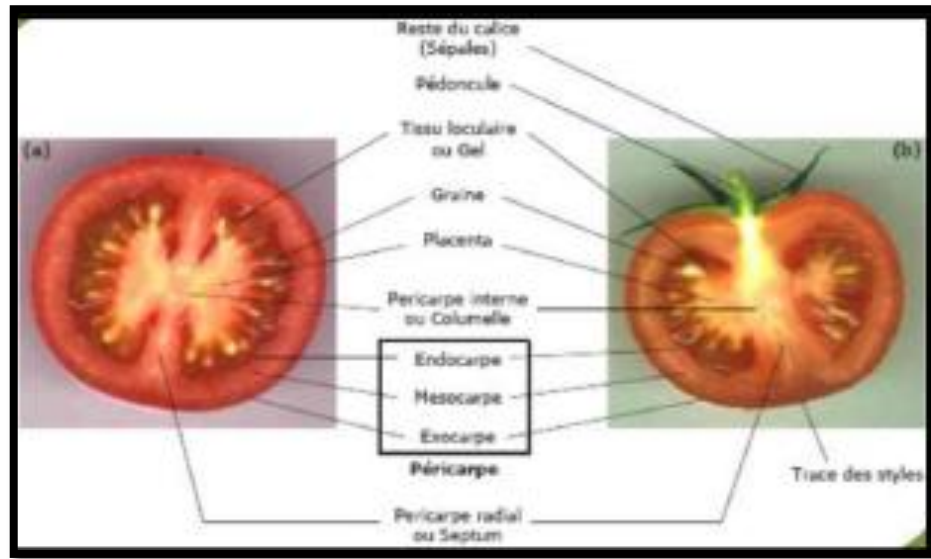
**Figure 22 : Feuille de tomate (Bouzaata, 2016)**

**3.2.2.4- Fruit :**

Le fruit est une baie plus ou moins grosse, de forme variable (sphérique, oblongue, allongée), et de couleurs variées (blanches, rose, rouge, jaune, orange, verte, noire) selon les variétés (Renaud, 2003). Les graines sont réparties dans des loges remplies de gel. La paroi de l'ovaire évolue en péricarpe charnu et délimite des loges. Le placenta constitue la partie centrale du fruit et est à l'origine des tissus parenchymateux. Le nombre de loges, l'épaisseur du péricarpe et l'importance du gel sont dépendants des variétés (Figure 22) (Grasselly *et al*, 2000).

**3.2.2.5- Graines :**

Les graines sont réparties dans des loges remplies de gel. La paroi de l'ovaire évolue en péricarpe charnu et délimite des loges. Le placenta constitue la partie centrale du fruit et est à l'origine des tissus parenchymateux. Le nombre de loges, l'épaisseur du péricarpe et l'importance du gel sont dépendants des variétés (Ousmane, 2011).



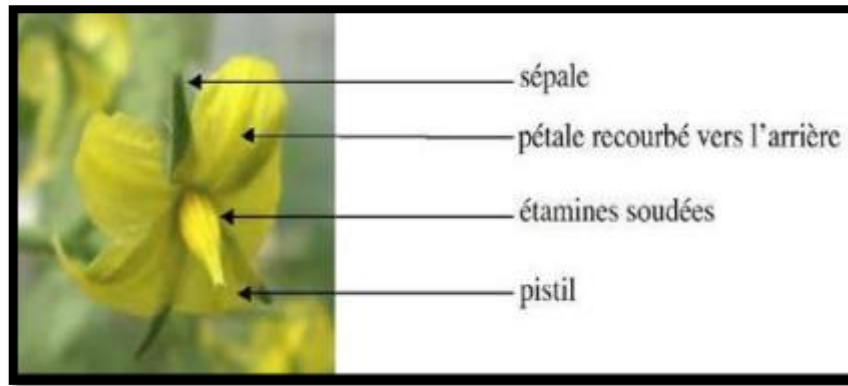
**Figure 23** : Coupes transversale (a) et longitudinale (b) d'un fruit de tomate à maturité  
(Bouzaata, 2016)

### 3.2.2.6-Fleurs :

Les fleurs sont bisexuées, régulières et mesurent entre 1,5 et 2 cm de diamètre le tube du calice est court et velu, les sépales sont persistants. En général, il y a six pétales qui peuvent atteindre une longueur de 1 cm, jaunes et courbées lorsqu'elles sont mûres et six étamines et des anthères de couleur jaune vif entourant le style. L'ovaire est type supère, doté de deux à neuf carpelles. Souvent, la plante est autogame, mais la fécondation croisée peut avoir lieu où les abeilles et les bourdons sont les principaux pollinisateurs (Naika *et al.*, 2005). Selon (Grubben *et al.*, 2004), on peut observer jusqu'à 47% de fécondation croisée dans la nature et l'augmentation de la température serait à l'origine de ce phénomène. La libération et la fixation du pollen reste sous la dépendance des facteurs climatiques. Si la température nocturne est inférieure à 13 C, la plupart des grains de pollen seraient vides, et une faible humidité dessèche les stigmates et cela résulte de la difficulté du dépôt du pollen (Figure 23) (Pesson et Louveaux, 1984).

### 3.2.3-Cycle biologique de la tomate

D'après Gallais *et* Bannerot (1992), le cycle végétatif complet, du semis de la graine à l'obtention du fruit, varie selon les variétés, l'époque et les conditions de culture, il s'étend généralement en moyenne de 3,5 à 4 mois du semis, jusqu'à la dernière récolte (7 à 8 semaines de la graine à la fleur et 7 à 9 semaines de la fleur au fruit). Ce cycle comprend six phases qui sont les suivants



**Figure 24** : Fleur de tomate à l'anthèse (Bouzaata, 2016)

### 3.2.3.1-Germination :

La germination est le stade de levée qui mène la graine jusqu'à la jeune plante capable de croître normalement (Corbineau et Core, 2006).

La germination chez la tomate est épigée, à ce moment une température ambiante d'environ 20°C et une humidité relative de 70 à 80% sont nécessaires (Chaux et Foury, 1994).

### 3.2.3.2-Croissance :

Selon REY (1965) la croissance d'un végétal est définie par une augmentation irréversible d'une ou de plusieurs de ses dimensions. Cette augmentation des dimensions se traduit par le développement de la plante à travers ses différents stades (Rey et Costes, 1965)

### 3.2.3.3-Floraison :

C'est le développement des ébauches florales par transformation du méristème apical de l'état végétatif, à l'état reproducteur. A un certain moment de la croissance de la plante qui dure environ un mois, la tomate entre en parallèle avec la mise à fleur. Ces fleurs étaient auparavant des boutons floraux. La floraison dépend de la photopériode, de la température, celle-ci ne peut fleurir que si elle reçoit la lumière pendant une durée qui lui est propre et d'un apport équilibré en éléments nutritifs. (Rey et Costes, 1965)

### 3.2.3.4- Pollinisation :

La pollinisation nécessite l'intervention des agents extérieurs, le vent ou certains insectes comme le bourdon qui est capable de faire vibrer les anthères et de libérer le pollen la libération et la fixation du pollen reste sous la dépendance des facteurs climatiques. Si la température nocturne est

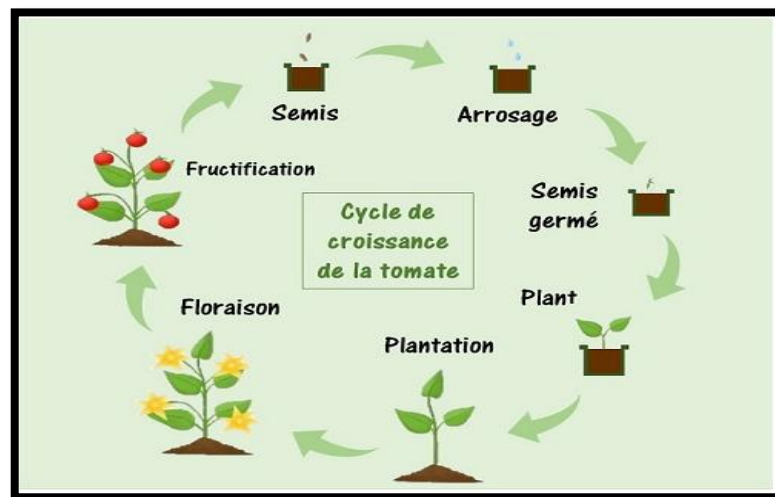
inférieure à 13°C, la plupart des grains de pollen seraient vides, et une faible humidité dessèche les stigmates et de cela résulte la difficulté du dépôt du pollen (**Pesson et Louveaux, 1984**)

### 3.2.3.5- Fructification et nouaison des fleurs :

La nouaison est l'ensemble de gaméto-genèse, pollinisation, croissance du tube pollinique, la fécondation des ovules et le développement des fruits « fructification » La température de nouaison est de 13°C à 15°C. Les nuits chaudes à 22°C sont défavorables à la nouaison (**Rey et Costes, 1965**)

### 3.2.3.6- Maturation du fruit :

La maturation du fruit se caractérise par grossissement du fruit, changement de couleur, du vert ou rouge. La lumière intense permet la synthèse active de matière organique qui est transporté rapidement vers les fruits en croissance, pour cela il faut une température de 18°C la nuit et 27°C le jour (Figure 24)



**Figure 25 : Cycle biologique de la tomate (Fan2Tomate 2020)**

### 3.2.4-Exigences climatiques :

La tomate s'adapte à une grande diversité de conditions climatiques, allant du climat tempéré vers le climat tropical chaud et humide (**Naika et al, 2005**).

#### 3.2.4.1-Température de l'air :

La tomate est une plante des saisons chaudes, elle est exigeante en chaleur pour assurer son cycle végétatif complet. Les températures optimales pour la plupart des variétés sont de 18°C le jour et 15 à 25°C la nuit. Pendant la nuit la fécondation s'arrête à des températures inférieures à 15°C. En

dessous de 10°C et en dessus de 38°C, les tissus végétaux sont endommagés (Naika *et al* , 2005). L'équilibre et l'écart entre température diurne et nocturne, semblent nécessaires pour obtenir une bonne croissance et une bonne nouaison de la tomate. Selon, durant la croissance la température nocturne a une grande importance, puisque la majeure partie de la croissance quotidienne de la tige (70 à 80%) se produit pratiquement à l'obscurité. La photosynthèse de la tomate est sensible à la température nocturne. Une différence de quelques degrés par rapport à la température appliquée pendant la croissance (14°C), entraîne une réduction d'environ 10% des échanges de la période diurne suivante (Longuenesse, 1982).

#### **3.2.4.2-Lumière :**

La tomate est une plante à jour long, elle peut fleurir avec des jours de durée inférieur à 12 heures mais la floraison est moins importante et la production du pollen est difficile. Un éclairage insuffisant provoque un étiolement des plantes, une perte de précocité et une baisse de rendement (Rey, 1965).

#### **3.2.4.3- Humidité de l'air :**

La tomate est très sensible à l'hygrométrie, il semble qu'une hygrométrie relativement ambiante de 60% à 65% soit la meilleure, l'humidité de l'air joue un rôle important dans la fécondation. Si l'humidité est trop élevée, le pollen est difficilement libéré. Par ailleurs, le développement des maladies cryptogamiques est lié à des fortes humidités accompagnées de la chaleur (Laumonier, 1979). Selon Benchaalal, l'humidité atmosphérique doit être de 76% lors de la germination ,75-80% durant l'élevage des plantes, 70-80% lors du développement des fruits. (Benchaalal, 1983)

#### **3.2.4.4- Vent :**

La tomate craint les vents surtout au moment de la reprise. Les vents chauds peuvent occasionner des brûlures sur les feuilles et des nécroses sur les fruits, en plus des dégâts causés par les vents forts tels la cassure des tiges (Grissa, 2010)

#### **3.2.5-Caractéristique du fruit mature**

Les modifications majeures du mûrissement sont les suivantes :

- **Couleur** : les chloroplastes sont transformés en chromoplastes, avec dégradation concomitante des chlorophylles et synthèse de caroténoïdes, en particulier le lycopène.

- **Goût** : l'acidité du fruit diminue suite à la dégradation de l'acide malique. Les teneurs en hexose augmentent sous l'effet de la dégradation des réserves d'amidon et par une importation massive dans le fruit au cours du développement. Les hexoses sont importés puis stockés dans la vacuole.
- **Arômes** : de nombreux composés aromatiques (esters, aldéhydes) sont synthétisés.
- **Texture** : la perte de fermeté du fruit résulte de la dégradation de certains des constituants des parois cellulaires (hémicelluloses, celluloses, pectines insolubles) et concorde avec une diminution de la résistance aux agents pathogènes (**Petit, 2013**)

### 3.2.6-Valeur nutritionnelle de la tomate

La tomate largement consommée, joue un rôle important dans l'alimentation humaine. Ce fruit contenant 93% à 95% d'eau, très pauvre en calories, ne fournit guère plus de 19 kilocalories par 100g, soit 63k Joules. Elle est très riche en carotène et lycopène, elle fournit des quantités de vitamines C, ainsi que de la provitamine A et de nombreuse vitamine du groupe B. Elle est riche en éléments minéraux (notamment en potassium, magnésium et phosphore ajoute que ces principales qualités font d'elle un régime alimentaire très apprécié (**Regal, 1996**). Les différents composants sont présentés dans le tableau (Tableau 07)

**Tableau06** : Valeur nutritionnelle moyenne pour 100g de tomate (**Chanforan, 2010**)

Composants	Teneur	Composants	Teneur
Eau (%)	94,50	<b>Acides aminés :</b>	
Energie (Kcal)	18	Tryptophane (g)	0,006
Protéines (g)	0,88	Thréonine (g)	0,021
Lipides (g)	0,20	Isoleucine (g)	0,020
Centres (g)	0,50	Leucine (g)	0,031
Carbohydrates (g)	3,92	Lysine (g)	0,031
Fibres (g)	1,20	Méthionine (g)	0,007
Sucres (g)	2,63	Cystine (g)	0,011
Glucose (g)	1,25	Phénylalanine (g)	0,022
Fructose (g)	1,37	Tyrosine (g)	0,015
<b>Minéraux :</b>		Valine (g)	0,022
Calcium (mg)	10	Arginine (g)	0,021
Fer (mg)	0,27	Histidine (g)	0,013
Magnésium (mg)	11	Alanine (g)	0,024
Phosphore (mg)	24	Acide aspartique (g)	0,118
Potassium (mg)	237	Acide glutamique (g)	0,313
Sodium (mg)	5	Glycine (g)	0,016
Zinc (mg)	0,17	Proline (g)	0,023
Cuivre (mg)	0,059	Sérine (g)	
Manganèse (mg)	0,114		

La vitamine		Le lipide	
Vitamine C (mg)	12,7	Acides gras saturés	0,045
Thiamine (µg)	37	(g) C16 :0 (g)	0,033
Riboflavine (µg)	19	C18 :0 (g)	0,050
Niacine (mg)	0,594	Acides grasmonoinsaturé	0,002
Acide	89	C16 :1 (g)	0,049
pantothénique (µg)	80	C18 :1 (g)	0,135
Vitamine B6 (µg)	15	Acides graspolyinsaturés	
Folates (µg)	42	C18 :2 (g)	0,130
Vitamine A (µg)	0,54	C18 :3 (g)	0,005
α-tocophérol (mg)	0,12	Phytosterols (mg)	7
γ-tocophérol (mg)	7,9		
Vitamine K (µg)			

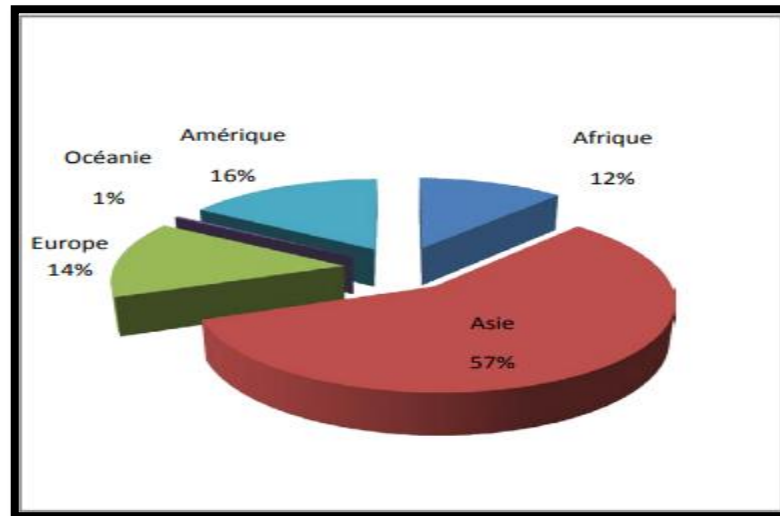
### 3.2.7-Qualité de la tomate

La qualité est une notion complexe puisque sa définition varie selon que l'on se place dans la situation du producteur, du distributeur ou du consommateur. Pour le producteur les critères importants sont le rendement, la résistance aux maladies, et les capacités d'adaptation aux contraintes pédo-climatiques (**Kaluzny-Pinon et al, 2001**). Le distributeur s'intéresse plus à la durée de vie du produit, l'homogénéité des lots, et à sa bonne tenue lors de la conservation et du transport (**Guichard, 1999**). Enfin pour le consommateur, la qualité du fruit est l'association de plusieurs paramètres : son aspect (couleur), sa texture (fermeté), son goût saveur, arôme et, depuis peu, sa valeur-santé. La qualité gustative des fruits peut se décomposer en trois parties : la texture, la saveur et les arômes. La texture est principalement caractérisée par la fermeté du fruit. L'arôme du fruit est défini par la concentration en composés aromatiques volatiles, sachant que plus de 400 composés ont été identifiés chez la tomate, et enfin la saveur est relative aux teneurs en sucre et acide (**Grasselly et al, 2000**)

### 3.2.8-Production de la tomate

#### 3.2.8.1-Production en monde :

La tomate est cultivée dans presque tous les pays du monde, sa production est répartie dans toutes les zones climatique, y compris dans des régions relativement froides grâce au développement des cultures sous abri .A l'échelle mondiale la tomate est classée deuxième culture légumière après la pomme de terre de par son volume de production .En effet, près de cinq millions d'hectares sont réservé annuellement à cette culture avec une production supérieure à 140 millions de tonnes et un rendement moyen de 28, 3 tonne à l'hectare (Figure 25) (**FAO stat,2012**)



**Figure 26** : Répartition de la production mondiale de la tomate (FAO, stat 2012)

### 3.2.8.2-Production en Algérie

La culture de la tomate occupe une place prépondérante dans l'économie agricole algérienne. Près de 33 000 ha sont consacrés annuellement à la culture de tomate (maraîchère et industrielle), donnant une production moyenne d'environ 7 millions de quintaux et des rendements moyens d'environ 311 Qx/ha. Cette culture est en pleine expansion, à la faveur de nombreux programmes mis en place par le M.A.D.R. Pour son développement, plusieurs nouvelles techniques sont introduites ces dernières années comme : la production en hydroponie, les multichappelles ...etc (M.A.D.R/D.S.A.S. I, 2010). En 2017, on a eu une production de 1 286 286 tonnes c'est-à-dire : 0,004 % de la production mondiale. (FAOSTAT, 2019)

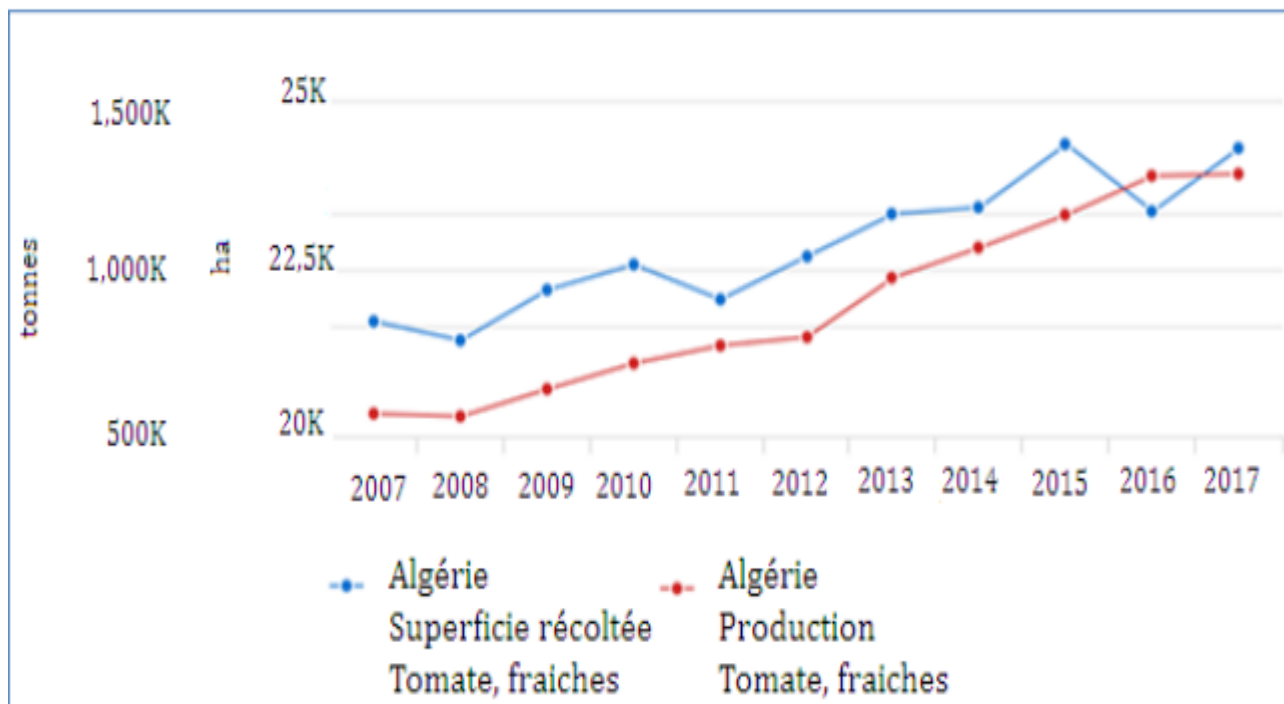


Figure 27 : Évolution de la production de la tomate en Algérie 2007-2017(FAOSTAT, 2019)

# Partie pratique

# **Chapitre 1 :**

# **Présentation de la**

# **région d'étude**

## 1-Présentation de la région d'étude

### 1.1-Situation géographique de la région d'El Oued:

La zone d'étude est située dans la wilaya d'El Oued, l'une de principales oasis du Sahara septentrional algérien. Elle est située au sud-est de l'Algérie, à une distance de 650 km de la capitale, au nord-est du Sahara septentrional et 350Km à l'ouest de Gabes (Tunisie). Elle occupe une superficie de 44586 km<sup>2</sup>, représentant 1,87 % de la superficie du territoire nationale (ANDI ,2014).

Elle est limitée par les wilayas :

- A l'Est par la république Tunisienne.
- Au Nord –Est par la wilaya de Tébessa.
- Au Nord par la wilaya de Khenchla et Biskra.
- Au Nord-Ouest par la wilaya de Biskra.
- A l'Ouest par la wilaya de Djelfa.
- Au Sud-Ouest et Sud par la wilaya d'Ouargla

Elle est limitée par les coordonnées géographiques suivantes :

- Longitudes X1 = 05°30' et X2 = 07°00' Est,
- Latitudes Y1 = 35°30' et Y2 = 37°00' Nord.

Traditionnellement, les limites des oasis du Souf sont l'erg oriental jusqu'aux abords du chott Melghir, où s'étire une masse de palmeraies limitée à l'est par la frontière tunisienne et à l'ouest par l'immense oasis de l'Oued-Righ. Les limites de cette oasis atteignent la frontière libyenne au sud (Voisin, 2004). Cette région se trouve à une altitude moyenne de 80 m, accusant ainsi une diminution notable du sud au nord pour être à 25 m au-dessous du niveau de la mer dans le chott Melghir qui occupe le fond de l'immense bassin du Bas Sahara. Elle possède des dunes qui dépassent parfois les 100 m de hauteur (Anrh, 2009).

La région d'El Oued comporte actuellement 18 communes regroupées en sept daïras

### 1.2-Caractéristiques climatiques

La connaissance des caractéristiques climatiques est fondamentale pour permettre une meilleure évaluation des besoins en eau des différentes cultures et une détermination des facteurs qui ont un effet néfaste sur la production et le rendement (Bneder, 1992).

La région d'El Oued se caractérise par un climat aride de type saharien désertique, en hiver la température baisse au-dessous de 0°C alors qu'en été elle atteint 50°C ; la pluviométrie moyenne varie entre 80 et 100 mm/an (période d'octobre à février) (ANDI, 2014).

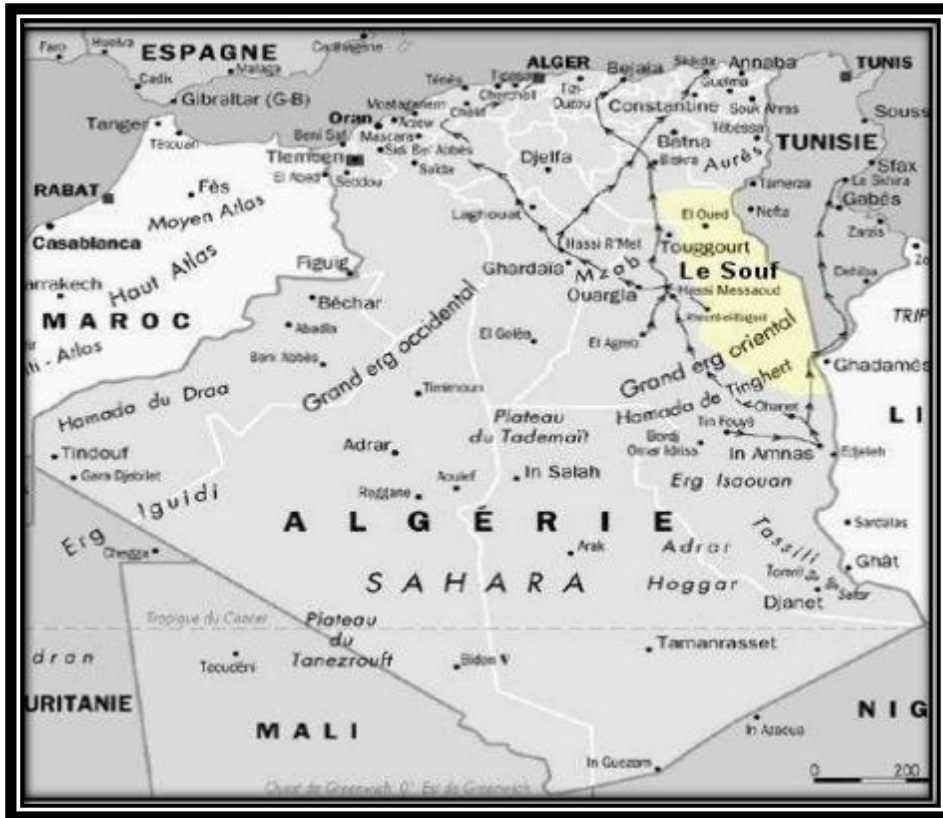


Figure 28 : situation géographique de la région d'El Oued (Mennai, 2014)

1.2.1-Température

Défini la température comme une grandeur physique qui traduit la sensation de froid et de chaud. D'une façon générale les êtres vivants ne peuvent subsister que dans un intervalle de température comprise entre 0 °C et 50 °C en moyenne, elle limite les aires de répartition qui agit comme un facteur limitant La saison très chaude (Clement, 1981). Les données thermométriques caractérisant notre région d'étude sont mentionnées dans le tableau suivant :

Tableaux 07 : Températures mensuelles maximales et minimales de la région d'El Oued et durant la 2021

Moi	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Juillt	Aout	Sept	Oct	Nov	Déc
<b>T</b>	12.8	15.5	16.5	22.2	27.3	34.3	35.6	36.2	32.1	23.2	15.8	11.3
<b>M</b>	19.1	21.1	22.3	28.2	33.6	41.1	42.2	43.2	38.4	28.9	21.2	17.2
<b>M</b>	6.2	9.8	10.1	15.6	20.4	27	27.6	28.4	25.6	17	10.5	5.9

(Www.tutitempo.net)

**M** : Moyennes mensuelles des températures maximales exprimées en °C.

**m** : Moyennes mensuelles des températures minimales exprimées en °C.

**T**: Moyennes mensuelles des températures exprimées en °C.

### 1.2.2-Précipitations

D'après **Raven et al (2009)**, les précipitations se rapportent à toutes les formes d'eau fondue et grêlé qui tombent de l'atmosphère. Elles varient d'un endroit à l'autre et elles ont un effet notable sur la et les type d'organismes présents. Elles constituent un facteur écologique d'importance fondamentale pour le fonctionnement et la répartition des écosystèmes terrestres. La répartition annuelle des précipitations est importante aussi bien par son rythme que par sa valeur volumique absolue (**Ramade, 2003**). Le tableau (08) montre les précipitations enregistrées d'El Oued.

**Tableau 08** : Précipitations moyennes mensuelles de la région d'El Oued durant la période 2021

annees	jan	Fev	Mar	Avr	Mai	jui	juillt	Aut	sept	Oct	Nov	éc
<b>P(mm)</b>	0.76	0	2.03	0	3.56	0	0	0	3.05	0	18.08	

([www.Tutiempo.net](http://www.Tutiempo.net))

La région d'El-Oued a enregistré une grande pénurie de précipitations pendant plusieurs mois, alors que la pluviométrie maximale en mai était de 18,08mm.

### 1.2.3-Humidité relative de l'air

Selon (**Dreux, 1980**) l'humidité est moins importante que la température. Elle est un état de climat qui représente le pourcentage de la vapeur d'eau qui se trouve dans l'atmosphère. Elle dépend de plusieurs facteurs à savoir : la quantité d'eau tombée, le nombre de jours de pluie, la température, les vents et de la morphologie de la station considérée (**Faurie et al,1980**).

**Tableau09** : Humidité relative moyenne mensuelle de la région d'El Oued durant l'année 2021

Moi	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Juillt	Aout	Sept	Oct	Nov	Déc
<b>H</b>	41	38.2	40.5	31.9	29.9	22.8	21.8	21.2	30.5	40.3	51.7	55.8

([www.Tutiempo.net](http://www.Tutiempo.net)2021)

Le tableau ci-dessous montre que le pourcentage d'humidité atteint sa valeur la plus élevée au mois de décembre, 55,8d'El Oued alors qu'il a enregistré sa plus faible valeur au mois d'août 221,

### 1.2.4-Vents

Le vent est un élément caractéristique du climat, il est déterminé par sa direction, sa vitesse et sa fréquence (**Dubief, 1964**). C'est un facteur important à considérer dans l'agriculture, il joue un

rôle essentiel dans le phénomène de pollinisation, comme il peut provoquer le flétrissement de certaines espèces végétales sensibles (Berrah, 2009).

**Tableau10** : Moyenne mensuelle de la vitesse du vent de la région d'étude durant l'année 2021

Moi	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Juillt	Aout	Spt	Oct	Nov	Dé
V(m/s)	10.07	13.08	12.5	15.2	14.2	15.2	13.1	11.3	12.4	9	10.2	9.2

(www.Tutiempo.net2021)

D'une façon générale, dans la région d'El Oued les vents sont fréquents surtout en période printanière (Ben Seddik *et al*, 2014)

### 1.2.5-Evaporation

L'évaporation est importante, pouvant atteindre atteignant à Oued Souf une ampleur considérable, car ce phénomène physique rencontre ici les conditions nécessaires optimales.

La moyenne annuelle est de 2244,85 mm, le maximum est atteint au mois de juillet, avec une moyenne de 333,95 mm, avec des minimas enregistrés durant mois de décembre avec une valeur de 78,65 mm L'évaporation est favorisée par les fortes températures et les vents desséchants fréquents. Elle correspond aussi à la pluviométrie annuelle. Cette situation traduit un écart très important entre l'évaporation et les précipitations, ce qui engendre un déficit hydrique considérable, justifiant les forts besoins en eau des cultures selon ONM El Oued Guemar (2015)

### 1.2.6-Insolation

A cause de la faible nébulosité de l'atmosphère, la quantité de lumière solaire est relativement forte, ce qui a un effet desséchant, tout en augmentant la température (Ozenda, 1983).

Les durées d'insolation sont évidemment très importantes au Sahara et varient assez notablement d'une année à l'autre, et même suivant les périodes de l'année envisagées la durée moyenne d'insolation est d'environ 277,29 heures, avec un maximum de 358,89 heures en juillet, et un minimum de 220,06 heures en décembre. En effet, les fortes insolation dans la région d'Oued Souf contribuent à l'augmentation considérable de l'évapotranspiration, justifiant des besoins en eau importants des cultures, qui doivent être comblés par l'irrigation. (Meissa 2016).

### 1.27-Pédologie

La région d'El Oued est caractérisée par des sols légers, à prédominance sablonneuse, à structure particulière. Ces sols sont connus par de faibles taux de matière organique.

L'autre aspect est appelé localement « Shounes » (plusieurs Sahane), où la surface du sol est parfois caillouteuse avec des croûtes gypseuses entourées par de hautes dunes (Ghroud) qui leur donnent ainsi une forme de cratères (**Achour, 1995**).

Les résultats de l'étude géophysique de la terre d'El Oued permettent de caractériser quatre étages (**Enageo, 1993**) :

- Terrain superficiel, d'une épaisseur variable, allant de 30 à 50 m, correspondant aux sables dunaires.
- Terrain ayant une épaisseur variable, allant de 50 à 80 m, correspondant aux sables argileux et aux argiles sableuses.
- La troisième couche n'existe pas dans toute la région, son épaisseur est plus importante et varie entre 5 à 90 m, elle correspond aux argiles sableuses.
- La quatrième couche correspond au substratum argileux (**Enageo, 1993**)

### 1.2.8-Topographie

La vallée du Souf est caractérisée par une topographie plane, monotone et sans exutoire ; le site où se trouve la ville d'El Oued est caractérisé topographiquement par une faible pente. Par conséquent, cette situation crée des problèmes d'évacuation des eaux, notamment dans la ville (**Meissa, 2016**)

D'El Oued. Cette région est sablonneuse. L'altitude moyenne de la région du Souf est de 80 mètres avec une diminution notable du sud au nord pour atteindre 25 mètres au-dessous du niveau de la mer dans la zone des chotts qui occupent le fond de l'immense bassin du bas Sahara (**Anrh, 2009**)

### 1.2.9- Flore et la faune.

#### Flore

Des arbustes rabougris et des touffes d'herbes espacées croissent aux pieds des dunes, le Souf n'est pas une région stérile mais une région aride. La flore spéciale est caractérisée par un certain nombre de traits déterminés qui sont : la rapidité d'évolution, l'adaptation au sol et au climat, le petit nombre des espèces, le caractère discontinu du matériel végétal les principales plantes

caractéristiques du Souf sont : Le Drinn (*Aristida pungens*), l'Alenda (*Ephédra alata*), l'Arta (*Calligonum comosum*), le Retem (*Retama retam*), l'Adhide (*Euphorbia guyoniana*), le Genêt (*Genista saharae*), l'Ethel (*Tamarix articulata*), le Saxaoul (*Anabasis ammodendron*). (**Ozenda, 1983**).

### **Faune**

Les deux principaux embranchements représentés dans le Souf, sont les articulés (Insectes, arachnides) et les vertébrés (mammifères, oiseaux, reptiles). Si tout le monde connaît le lézard, le scarabée, le scorpion, le fennec et la gerboise, on est plutôt surpris d'apprendre qu'il existe plus de 20 espèces d'oiseaux (**Voisin, 2004**)

## **1.3-Potentiel agricole**

### **1.3.2-Structures agricoles de la région d'El-Oued.**

La wilaya d'El-oued constitue d'une source très remarquable en matière de production végétale. La superficie agricole totale couvre un espace de 1719600 hectares avec une surface agricole utile (S.A.U) de 95000ha.

Parallèlement, on rencontre les pacages et parcours d'une superficie égale à 1410000 ha, et jointe à celle-ci une superficie de 214600 ha considérés comme des terres improductives, organisées à l'intérieur des exploitations agricoles à l'exemple des bâtiments, des chemins, et de pistes. Dans tout l'espace de la wilaya, on recense une superficie de 2738666 ha de terres improductives non affectées à l'agriculture s'expliquant par les couvertures des agglomérations en bâtiments, voies de Communications, et les terres non susceptibles d'être cultivées ou transformées en parcours

Les bonnes potentialités agricoles participent à la production de la wilaya dans divers produits, la production est dominée par la phoenici-culture et les cultures maraîchères, telles que la pomme de terre et la tomate à grande échelle. La priorité est donnée aux cultures maraîchères de superficie exploitée égale à 49440 ha, finalisant une production totale de 16214813 Qx La région du Souf a occupé le premier rang à l'échelle nationale dans la production de pomme de terre qui est estimée à 1136000qx (**DSA,2018**). Ces spéculations sont d'une importance capitale pour l'obtention d'un gain lucratif de la part du bilan pécunier annuel, et ce pour redevance en partie des échanges (**DSA ,2019**)

**Chapitre 2 :**  
**Méthodologie du**  
**travail**

### 2.1-Préparation des échantillons :

Des échantillons aléatoires sont prélevés pour chacun des fruits de pommes de terre et de tomates

### 2.3-Étapes de préparation des solutions végétale

- La pulpe de tomate est extraite et pressée pour éliminer l'eau et mettre dans bécher
- . Est coupé les pommes de terre en mince tranches et mettez-les dans bécher
- Les échantillons sont transférés dans le séchoir pendant un certain temps 24 h
- Après séchage Les échantillons sont broyés Et prenez la quantité de 0,5mg de la poudre obtenue
- Les échantillons sont brûlés dans un four spécial pendant un certain temps 4h sous température 650°C
- Après brûler et refroidissement, les échantillons sont versés 2ml d'acide azoté concentré On obtient une solution concentrée
- Solution concentrée sont ensuite dilués avec 100 ml d'eau distillée Prélever des échantillons pour analyse

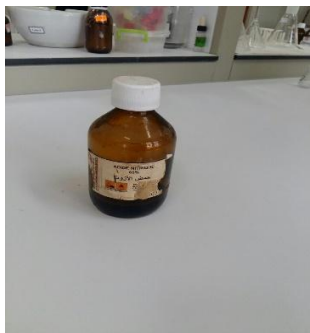


**Figure 29** : Photo original Séchage et broyage des échantillons

2.1-Photo originale de la Matériaux utilisés :



flacon



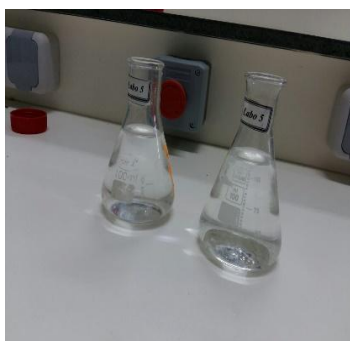
fiolle jauge



entonnoir



Four ammpohlesolution concentrée d'acide azoté



balance



Séchoir



pipette

Figure 30 : Matériaux utilisé

2.4-Méthode de la travaille

Les analyses de traces de métaux ont pour objet d'identifier et de quantifier les métaux et métaux lourds présents en très faibles quantités dans les échantillons. Bien que les traces de métaux dans notre alimentation soient essentielles à notre bonne santé, de nombreux métaux sont

potentiellement toxiques et peuvent nuire à la santé des humains, des plantes et des animaux, ainsi qu'à l'environnement. Les analyses de traces de métaux permettent donc de vérifier que les produits sont conformes aux critères légaux et réglementaires. Dans les secteurs pharmaceutique, chimique et pétrochimique, les analyses de traces de métaux sont utilisées lors des contrôles qualité afin d'identifier et de mesurer les contaminants métalliques présents dans les produits comme les médicaments, les engrais, les cosmétiques, les emballages, les appareils médicaux, les lubrifiants et les catalyseurs. En raison de l'influence potentielle des métaux sur les réactions chimiques, les analyses des traces de métaux sont aussi employées dans les recherches sur les formules chimiques et pour améliorer les processus de fabrication. (**Www.mettler.toledo.com**)

Dans ce travail, la technologie a été utilisée spectroscopiques

#### 2.4.1-Techniques spectroscopiques

Les principales méthodes actuellement utilisées en routine pour la détection des ETM sont les méthodes spectroscopiques (**Lepri *et al* 2011**)

- Spectrométrie d'absorption atomique (AAS), avec plasma induit par haute fréquence (ICP-AAS),
- Spectrométrie d'émission optique par ionisation de flamme (F-OES),
- Spectrométrie d'émission optique avec plasma induit par haute fréquence (ICP-OES),
- Spectrométrie de masse avec plasma induit par haute fréquence (ICP-MS).

On peut aussi y ajouter les méthodes de fluorescence à rayons X (XRF) et d'analyse par activation neutronique instrumentale (INAA) (**Djingova *et al*, 2000**)

Les techniques de spectrométrie atomique optique ont pour principe l'étude de l'absorption et de l'émission de photons lors de la restructuration atomique des analyte à doser, préalablement mis sous forme d'atomes libres. On retrouve donc parmi elles, les techniques d'absorption atomique (AAS), utilisant une flamme ou un four (GF-AAS), et les techniques d'émission atomique comme l'ICP/OES ou encore la LIBS (Spectroscopie par claquage laser) pour les solides.

Les spectrométries de masse se basent quant à elles sur le principe d'ionisation des composés à doser suivie de leur séparation en phase gazeuse en fonction de leur rapport masse/charge Cette catégorie se limite presque exclusivement à la spectrométrie de masse à plasma à couplage inductif (ICP/MS) (**Luther, 1985**)

. Les méthodes de fluorescence X, comme la fluorescence X à dispersion d'énergie (EDXRF), se basent sur l'émission de rayons X qui provoquent l'ionisation des couches profondes de l'atome, avant que ce dernier ne retourne à son état fondamental. Cette dernière étape engendre l'émission radiative de photons de longueur d'onde caractéristique qui est ensuite analysée. Cette méthode permet de ne pas provoquer la détérioration massive ou la perte de l'échantillon ( **Mhatre , 1995**)

Les techniques d'analyse par activation neutronique (INAA) où les éléments sont irradiés par un flux de neutrons thermiques puis identifiés et quantifiés par le spectre de rayons  $\gamma$  émis par la désexcitation des radionucléides de l'élément irradié est aussi utilisée de manière plus spécifique. Cette méthode est extrêmement sensible mais nécessite l'accès à une source de neutrons, qui ne permet pas son utilisation dans la plupart des laboratoires ( **Pohl, 2009**)

C'est ( **Heyrovsky, 1922**) la technique de spectrométrie de masse qui connaît à l'heure actuelle une très forte popularité, notamment depuis l'apparition de technologies permettant d'éliminer simplement de nombreuses interférences poly atomiques. Son caractère multi-élémentaire allié à sa grande sensibilité de détection en fait une technique majeure en analyses de traces de métaux lourds ( **Tanguy et al ,2010**)

**Tableaux 11** : Principe technique de spectroscope ( **Tanguy et al ,2010**)

Techniques	Spectrométrie			Fluorescence rayons X (XRF)	Activation Neutronique (INAA)
	Optique		masse		
	ICP-OES	GF_AAS	ICP-MS		
Nature de l'échantillon	Liquide/Gaz	Liquide/Gaz	Liquide/Gaz	Solide/Liquide	Solide/Liquide
Sélectivité	Multiéléments	Monoélément	Multiéléments	Multiéléments	Multiéléments
Limites de détection (LOD)	1 – 100 ppb	100 ppt - 10 ppb	1 ppt – 1 ppb	ppm	1 ppt – 1 ppb

D'une manière globale, ces méthodes font office de référence dans le dosage des ETM car les principes sur lesquels elles reposent permettent de s'affranchir des matrices complexes et des problèmes de spéciation tout en procurant des résultats très sensibles sur la totalité des éléments métalliques ciblés ( **Prabhakar, 2012**).

Leur principal inconvénient est leur mobilité réduite. En effet, les mesures sont souvent effectuées en laboratoire à partir d'échantillons prélevés sur site. Les incertitudes quant au stockage

et au transport de ces échantillons constituent alors une source d'erreur supplémentaire sur la mesure. De plus, l'analyse en continu d'un effluent est inenvisageable et la mesure dynamique des concentrations des ETM ne peut être réalisée. D'autres méthodes doivent donc être développées pour envisager le dosage des métaux lourds en temps réel. Dans cette optique, l'électrochimie fait partie des méthodes les plus prometteuses. Les différentes techniques électrochimiques sont détaillées dans les paragraphes suivants. (Newton, 2012)

# **Chapitre 3 : Résultats et Discussion**

**3.1-Résultat :**

Dans cette partie, nous présenterons les résultats de l'analyse de la concentration pour chacun des minéraux suivants : Phosphore, potassium, fer, zinc, Manganèse, cuivre.

Pour chacune des solutions végétales de tomate et de pomme de terre, avec le comparant avec des concentrations normales, puis en en discutant

**Tableaux 12 : Concentration de minéraux dans les pommes de terre**

<b>Paramétre</b>	<b>Concentration naturelle</b>	<b>Concentration après traitement aux pesticides</b>
Phosphore	43,7(mg)	0.77mg
Potassium	410(mg)	93.86mg
Fer	0,8(mg)	2.06mg
Zinc	0,24 (mg)	39.40mg
Manganèse	0,17(mg)	0,274mg
Cuivre	0,16 (mg)	0,456mg

Le tableau correspondant représente la concentration en minéraux à l'état naturel et après traitement aux pesticides sur le plante de pomme de terre où il apparaît

Diminution du phosphore et du potassium  $P_{\text{Traité aux pesticides}} (0,77\text{mg}) < (P_{\text{normal}} (43,7\text{mg}))$ ;  $K_{\text{Traité aux pesticides}} (93,86\text{mg}) < (K_{\text{normal}} (410\text{mg}))$  Par rapport à l'normale Et une augmentation significative du fer et du zinc et du cuivre  $(Fe_{\text{Traité aux pesticides}}(2,06)) > (Fe_{\text{normale}} (0,8))$ ;  $(Zn_{\text{Traité aux pesticides}} (39,40\text{mg})) > Zn_{\text{normal}} (0,24\text{mg})$ ;  $(Cu_{\text{Traité aux pesticides}}(0,45\text{mg})) > Cu_{\text{normal}} (0,16\text{mg})$   
Une légère augmentation du manganèse  $Mn_{\text{Traité aux pesticides}}(0,27\text{mg}) \geq Mn_{\text{normal}} (0,17\text{mg})$

**Tableaux 13: Concentration de minéraux dans la tomate**

<b>Paramétre</b>	<b>Concentration naturelle</b>	<b>Concentration après traitement aux pesticides</b>
Phosphore	24mg	44.22mg
Potassium	237mg	232.91mg

Fer	0.27mg	0.20mg
Zinc	0.17mg	0.25mg
Manganèse	0.114mg	4,015mg
Cuivre	0.059mg	0,64mg

Le tableau correspondant représente le pourcentage de concentration minérale chez la tomate à l'état normal et après traitement aux pesticides

Où il montre une légère augmentation de chacun de Zinc, Zn Traité aux pesticides (0,17) > Zn normal (0,25mg) Alors que les résultats montrent une similitude en fer et en potassium par rapport aux résultats normaux

Il montre une augmentation significative à la fois du phosphate de cuivre et du manganèse

P Traité aux pesticides (44,22mg) < (P normal (24mg)

Cu Traité aux pesticides (0,054mg) > Cu normal (0,64mg)

Mn Traité aux pesticides (0,114mg) ≥ Mn normal (4,015mg)

#### 4.2-Discutions

En prenant les la tomate et le pomme de terre comme modèle biologique, nous avons étudié la relation possible entre leurs expositions au produit phytosanitaire

Nous avons étudié la relation possible entre leur exposition à un produit phytosanitaire et son effet sur les minéraux présents dans celles-ci, en réalisant des analyses de concentration en Fe, cuivre, zinc, Manganèse, potassium, phosphore, fer pour solutions végétales au niveau des fruits. Une augmentation significative a été observée à la fois en Cu, Mn dans les tomates, et cela est dû à l'utilisation excessive de pesticides Où les pesticides sont pulvérisés directement sur les feuilles et les fruits ainsi que l'utilisation de fongicides contenant du manganèse et cuivre Selon l'étude (Zoran2014).

Une augmentation de la proportion de Cu et Mn a été observée en agriculture conventionnelle, contrairement à l'agriculture biologique, où les résultats sont deux fois plus élevés qu'en agriculture biologique, et cela est dû à l'utilisation de produits chimiques et fertilisation en agriculture conventionnelle. De même, le zinc a augmenté dans résultats Les résultats obtenus selon une étude

**Nidam (2016)**. Ils ont interprété les effets du zinc métallique toxique comme s'accumulant et absorbé par les racines de l'eau ou du sol. En ce qui concerne le phosphore et le potassium, les résultats étaient presque similaires par rapport au pourcentage normal de tomates. En ce qui concerne les pommes de terre, la proportion de Cu, et de Mn, dans la pomme de terre a été légèrement augmentée, contrairement à la tomate, et ce selon le tubercule de pomme de terre, où il n'est pas exposé à la pulvérisation directe où il est souterrain, ainsi que l'utilisation de fongicides.

Les fongicides contenant Cu et Mn selon l'étude de (**Market et al , 2018**) ainsi que la recherche menée par (**Soviket ,2018**) États-Unis pour noter que le manganèse est élevé et qu'il est affecté par les herbicides appliqués seuls avec des bio stimulants.

Les résultats ont également montré une augmentation significative du cuivre, comme dans l'étude de (**Vidina ,2019**), où ils ont interprété cette augmentation parce que les pommes de terre absorbent les minéraux dans le sol, selon l'expérience. L'absorption du cuivre et du plomb par les pommes de terre est le résultat du sol amendements et traitement lors de l'ajout d'engrais organiques et de lombricomposts. Les résultats obtenus ont également montré que le potassium et le phosphate sont faibles uniquement dans l'étude (**Manulivanetal., 2016**). Le résultat a également montré que le rapport était dans la pomme de terre.

La diminution du potassium et du phosphate n'est pas liée au manque ou à l'augmentation de la fertilisation dans le terre car dans cette étude le sol est riche en engrais malgré la faible teneur en phosphate et en potassium dans le pomme de terre et donc l'effet pourrait provenir des pesticides, car cela affectait les propriétés de le sol et est responsable du manque de minéraux dans le tubercule il affecte les propriétés du sol, ce qui entraîne une diminution de l'absorption. Le phosphate et le potassium déterminent également la qualité des pommes de terre et augmentent leur productivité.

Contrairement au zinc, où les herbicides n'affectent pas l'accumulation de zinc. Comme le montrent les résultats, peut-être à cause de la teneur du sol, comme dans l'étude de (**Betta et Petr ,2010**) l'humidité et la température sont associées à une augmentation de l'absorption du zinc, ainsi qu'à la qualité de pommes de terre.

Quant au fer, comme le montrent les résultats, il est élevé, et selon l'expérience de (**Marek guala et al, 2018**), il est dû à plusieurs facteurs. Sa teneur et son absorption dépendent de la qualité du tubercule et de la composition chimique de la pomme de terre, ainsi que sur le type de sol, les

conditions biologiques, les pratiques agricoles et l'utilisation de pesticides Selon la même étude, la proportion de fer a été affectée par les pesticides et leurs contacts Avec des stimulants vitaux, en particulier pendant la saison de croissance, où les herbicides ont notamment contribué à augmenter la teneur en fer des pommes de terre.

**Conclusion :**

### Conclusion

Les pollutions engendrées par les pesticides sont une remarquable illustration des catastrophes écologiques auxquelles peut conduire l'usage irréfléchi d'une technologie dont l'impact environnemental n'avait pas fait objet, au préalable, d'une estimation satisfaisante des dangers potentiels associés. Du fait de leur usage étendu, aussi bien en zone agricole qu'en zone non agricole, de leur caractère persistant et de la présence de résidus dans les milieux et dans l'alimentation, les pesticides posent un réel problème de santé publique puisque l'ensemble de la population est susceptible d'être exposée.

Les pesticides constituent un ensemble complexe de molécules aux propriétés physicochimiques différentes. Ils sont caractérisés par leur stabilité et leur résistance aux processus de dégradation dans l'environnement, ainsi que par leur tendance à s'accumuler dans les chaînes alimentaires.

L'étude vise à déterminer l'effet des pesticides sur les micro éléments des tomates et des pommes de terre il ressort de cette étude sur la base des modifications minérales de certains éléments chez la pomme de terre et le tomate Les pesticides ont un impact significatif sur les cultures agricoles que nous consommons, en particulier dans les changements relatifs de certains minéraux différents d'autant que la consommation quotidienne de produits traités avec des pesticides entraîne diverses maladies résultant de l'accumulation ou de la carence de ces minéraux dans l'organisme.

Si l'utilisation de ces produits est souvent nécessaire pour que les producteurs atteignent leurs objectifs de production, il demeure important de rappeler que les pesticides sont des produits toxiques et qu'ils doivent être utilisés de façon rationnelle et sécuritaire Par conséquent, en tant que chercheurs en toxicologie et en environnement, nous devons reconsidérer les dangers qui nous entourent en tant qu'organismes vivants dans un écosystème. À partir de cela, nous devons faire référence fondamentales, à la sécurité de la chaîne alimentaire qui est en relation étroite avec notre sécurité et notre bien-être. Conjointement, la chaîne de reproduction est menacée de ce danger qui peut conduire à l'insécurité des organismes vivants dans un écosystème équilibré.

Le danger des pesticides est grand sur ces deux chaînes alimentaire et reproductive car il n'est pas facile de le contrôler ou de le réduire ou se débarrasser de ses dommages une fois qu'il est

devenu un élément efficace, en particulier dans la chaîne alimentaire. Il est évident et sans avertissement que le danger des pesticides affecte la chaîne de reproduction. Par conséquent, nous, en tant qu'être conscients, devons tirer la sonnette d'alarme et tirer des lignes rouges pour les dangers qui nous entourent et rechercher des alternatives naturelles qui garantissent aux organismes vivants de vivre en paix sans dangers dans un écosystème équilibré.

**Références**

**bibliographiques :**

**ANRH,2009** Agence Nationale des Ressources Hydrauliques. Direction Régionale Sud Ouargla. Rapports et compagne des mesures.

**ASCHNER, J. L., ET M. ASCHNER. 2005.** Nutritional aspects of manganese homeostasis. Mol Aspects Med 26, no. 4-5:353–62.

**ANONYME. (2002).** Conférence de presse home, nature, pesticide. Avec participation de LFDR, POC et univers nature. France. Pp 10-19.

**ALJABEV, G. A. & DMITRIENKO, M. M. 1971** [Lee oligo-éléments dans la champignons comestibles et vénéneux do l'oblast d'Irkoutsk.] Nauk. Tr. Irkutsk. Med. Inst., 107 : 90-94 (en russe

**Alfonzo A, Soar J, MacTier R, Fox J, Shillday I, Nolan J, et al 2019.** Clinical practice guidelines

treatment of acute hyperkalaemia in adults The Renal association. (nov, 11).

**AL-AMOURI., 2007L'avantage** comparatif de la pomme de terre damas première Dama édition2007page50

**ANDI, 2014.** Agence Nationale de Développement de L'investissement wilaya d'El oued 11P

**ACHOUR A., 1995.** Diagnostic de l'état du patrimoine phoenicicole Algérien et essai d'analyse du cout de production dattier. Cas de la palmeraie du Souf. Mémoire d'ingénieur. Université d'Ouargla, 65p.

**AFSSA. 2003**Evaluation nutritionnelle et sanitaire des aliments issus de l'agriculture biologique. Rapport d'appuis scientifique et technique sur l'alimentation humaine -Saisine NUT-Ra-Agri Bio. 233p

**AFSSET.2010**Efficacité de protection chimique des combinaisons de type 3 et de type 4. Rapport d'appui scientifique et technique - Saisine n°2007/AC018.

**AUBERTOT JN, BARBIER JM, CARPENTIER A, GRIL JJ, GUICHARD L, LUCAS P, SAVARY S, SAVINI I, VOLTZ M 2005** (éditeurs). Pesticides, agriculture et environnement. Réduire l'utilisation des pesticides et limiter leurs impacts environnementaux. Rapport d'Expertise scientifique collective, INRA et Cemagref (France).

**ASCHNER, M., ET J. L. ASCHNER. 1991.** Manganese neurotoxicity: cellular effects and blood-brain barrier transport. Neurosci Biobehav Rev 15, no. 3: 333–40.

**American Public Health Association, American Water Works Association,** Water Pollution Control Federation. Standard methods for the examination of water and wastewater. 16e edition. American Public Health Association, Washington, DC (1985).

**Anonyme. (1983)** Iron deficiency and mental development. *Nutr. Rev.*,41: 235

**BALDI I, GRUBER A, RONDEAU V, LEBAILLY P, BROCHARD P, FABRIGOULE C.2011**

Neurobehavioral effects of long-term exposure to pesticides: results from the 4-year follow-up of the PHYTONER Study. *Occup Environ Med* 68 :108-115

**BALDI I, LEBAILLY P. 2007** Cancer et pesticides. *La revue du praticien* 57 :40-44.

**BOUHELALI, BOUROGAA.N, GUEHEF.S, NEGUIA.N 2014.** Procédure évaluation des risques éco-toxicologiques des pollutions par les pesticides. Mémoire ; université Echahid Hamma Lakhdar ; El-oued.59Page.

**BOUFARES.,2012-**Comportement de trois variétés de pommes de terre (Spunta, Désirée et Chubaek) entre deux milieux de culture substrat et hydroponique p3- 4-6-7.

**Baize D. 1997.** Un point sur les teneurs totales en éléments-traces métalliques dans les sols. INRA Éditions, Paris. France. pp. 408.

**BERNHARDS U., 1998** - la pomme de terre *solanum tuberosum* l. monographie institut national agronomique paris – grignon

**Blum WE. 1990.** Pollution des sols par métaux lourds. Sixième conférence ministérielle européenne sur l'environnement. Bruxelles.

**BELGUENDOZ A., 2011-** essai de substitution des milieux de culture en micro propagation et la physiologie de la micro tubérisation de la pomme de terre (*solanum tuberosum*. l), mém. mag. Agro, telemcen.124 p. Belhaven press 259

**BNEDER, 1992.** Inventaire du patrimoine phoenicicole. Irrigation drainage, Tipaza, 74p.

**BAOUZ M, 2009** - Etude de la filière semence de pomme de terre en Algérie – mémoire- En vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur d'État en Agronomie, p93.

**BAZOUCHE A.,2007** - Effet combiné du régime hydrique et de la fertilisation (N.P.K.) Sur les composantes du rendement de la pomme de terre *Solanum tuberosum* L. variété Désirée-mémoire- En vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en Sciences Agronomiques, P76.

**BOUZAATA, C. 2016.** Valorisation des sous-produits de quatre variétés de tomate industrielle (*Solanum esculentum* L) dans l'Est Algérien. (Thèse de Doctorat). Université Badji Mokhtar, Annaba, Algérie.

**BENCHALAAL., 1983.** Généralités sur la tomate, production végétale, production céréalière et fourragère. Aurès agronome. pp2-6

**BERRINO F, VILLARINI A, 2008.** Fruit and vegetables and cancer. Improving the health promoting properties of fruit and vegetable products. Tomas-Barberan, F AGil, M I.

**BURTON, W.G., 1989.** The potato. Longman Group UK Limited, 742 pp.

**BENCHALAAL., 1983.** Généralités sur la tomate, production végétale, production céréalière et fourragère. Aurès agronome. Pp2-6

**BERRAH, S. 2009.** Contribution à l'étude spatiale de la remontée de la nappe phréatique : problèmes posés et conséquences sur le système agricole " Ghout" à Oued Souf. Mémoire de fin d'études ; Agronomie Saharienne. Université KasdiMerbah Ouargla. 94p.

**BARCELOUX, D. G. 1999.** Manganese. *Journal of Toxicology: Clinical Toxicology*, 37(2), 293-307

Booster la croissance des plants de tomates Fan2tomate (2020) [www.fan2tomates.com](http://www.fan2tomates.com)

**BOWERING, J. ET MACPHERSON SANCHEZ, A 1976.** A conspectus of research on iron requirements of man. *J. Nutr.*,

**BROWING, E.1969** Toxicity of industrial metals. 2e edition. Butterworths, Londres. p. 348

**BEAMISH, R.J. ET VAN LOON, J.C.** Precipitation loading of acid and heavy metals to a small acid lake near Sudbury, Ontario. *J. Fish. Res. Board Can.*, (1977)

**BEAMISH, R.J. ET VAN LOON, J.C (1977)** Precipitation loading of acid and heavy metals to a small acid lake near Sudbury, Ontario. *J. Fish. Res. Board Can.*

**Banque nationale de données sur la qualité des eaux (NAQUADAT).** Direction de la qualité des eaux, Direction générale de la qualité des eaux intérieures, Environnement Canada, Ottawa (1985).

**CHERFI M., 1989** : Comparaison de différentes variétés de pomme de terre pour la détermination des meilleurs. *Mém. Ing. Agro., Inst. Nati. Ens. Sup. Scie. Biol., Sétif.*, 38 p

**Beauchemin, S., R.R. Simard et D. Cluis. 1998.** Forms and concentration of phosphorus in drainage water of twenty-seven tile-drained soils. *J. Environ. Qual.* 27 :721-728.

**Biologie' el écologie des espèces végétales aquatiques proliférâtes en France - Synthèse bibliographique** - Eludes Inter

**C. DUVAL R. DUVAL 1978** Dictionnaire de la chimie et de ses applications, 3e édition, TEC & DOC, ,1087 pages

**CHELHA M., 2000** : Essai sur l'évolution de résistance de quelques variétés de pomme de terre vis-à-vis de phthorimaeoperculellazeller (lepedoptera : gelechidea). MémIng. Agro., INA.Elharrach. Alger., 71 p.

**Banque nationale de données sur la qualité des eaux (NAQUADAT).** Direction de la qualité des eaux, Direction générale de la qualité des eaux intérieures, Environnement Canada, Ottawa (1985).

**CHAUX, C ; FOURY, L. 1994.** Cultures légumières et maraichères. Tome III : légumineuses potagères, légumes fruit. Tec et Doc Lavoisier, Paris ,563p.

**CHANFORAN, C. 2010.** Stabilité de micro constituants de la tomate (composés phénoliques, caroténoïdes, vitamines C et E) au cours des procédés de transformation : études en systèmes modèles, mise au point d'un modèle stoechio-cinétique et validation pour l'étape unitaire de préparation de sauce tomate. (Thèse de Doctorat). Université d'Avignon et des pays de Vaucluse, France

**CHAUX C.L. et FOURY C.L, 1994.** Cultures légumières et maraichères. Tome III : légumineuses Potagères, légumes fruit. Tec et Doc Lavoisier, Paris. 563p

**CORBINEAU F. ET CORE A., 2006** Dictionnaire de la biologie des semences et des plantules. Ed. Tec et Doc. Lavoisier. 226p.

**CHAUX C et FOURY CL. (1994).** Production légumières. Tome 3 : Légumineuses potagères, légumes fruits. Ed : Lavoisier, Paris, 477P.

**CHAUX, C ; FOURY, L1994.** Cultures légumières et maraichères. Tome III : légumineuses potagères, légumes fruit. Tec et Doc Lavoisier, Paris ,563p

**CORBINEAU F. et CORE A., 2006** Dictionnaire de la biologie des semences et des plantules. Ed. Tec et Doc. Lavoisier. 226p

**CHERFI M., 1989** : Comparaison de déférentes variétés de pomme de terre pour la détermination des meilleurs. Mém. Ing. Agro., Inst. Nati. Ens. Sup. Scie. Biol., Sétif., 38 p.

**CANNON, W. F., KIMBALL, B. E., & CORATHERS, L. A. (2017).** Manganese, chap. L of Critical Mineral Resources of the United States - Economic and Environmental Geology and Prospects for Future Supply. Schulz, K.J., DeYoung, J.H., Jr., Seal, R.R., II, and Bradley, D.C (edit.), (Professional Paper 1802– L), U.S. Department of the Interior and U.S. Geological Survey, Reston, Virginia, 40p

**CLARK, J.W., VIESSMAN, W., JR. ET HAMMER, M.J 1977.** Water supply and pollution control. 3e edition. Harper & Row Publishers, New York, NY, 857 pp. 1977.

Conseil canadien des ministres des ressources et de l'environnement. Recommandations pour la qualité des eaux au Canada. Environnement Canada, Ottawa (1987).

**CHAN, W.H., TANG, A.J.S, CHUNG, D.H.S. ET LUSIS, M.A. 1982** Concentrations and deposition of trace metals in Ontario Water Air Soil Pollut., 29: 373 (1986).

**CHAN, W.H., TANG, A.J.S., CHUNG, D.H.S. ET LUSIS, M.A. 1986** Concentrations and deposition of trace metals in Ontario — 1982. Water Air Soil Pollut., 29: 373 (1986).

**CAMPBELL, J.K. ET MILLS, (1979).** C.F. Toxicity of zinc to pregnant sheep. Environ. Res.

**CHANDRA, R.K.** Excessive intake of zinc impairs immune responses. **J. AM. Med. Assoc.**, (1984).

**CMARITSA VEGETABLE CROPS RESEARCH INSTITUTE, PLOVDIV, BULGARIA,** Effect of organic amendments on heavy metals uptake by potato plants 2010

**DSA, 2019.** Données Statistiques sur la production de la culture pomme de terre.

**DICK RP. A1992.** review: long-term effects of agricultural systems on soil biochemical and Microbial parameters. Agr Ecosyst Environ 40 :25-36.

**DJINGOVA, R.;** Kuleff, I.; Instrumental techniques for trace analysis. Trace Metals in the Environment, 2000, 4, 137-185

**DYLEWSKI JF, LINAS S. 2018** Variability of Potassium Blood Testing: Imprecise Nature of Blood Testing or Normal Physiologic Changes? Mayo Clin Proc. 2018 ;93(5):551-4.

**ELLISSECHE D., 2008.** Production de pomme de terre ; quels défis pour aujourd'hui et pour demain

**EDWARDS RO JR.** Poisoning from plant ingestions. J Fla Med Assoc 1965; 52:875-81

**ENAGEO, 1993.** Entreprise nationale de géophysique. Rapports techniques

**FAURIE, C., FERRA, C., MEDORI, P., DEVAUX, J, 1980.** Ecologie approche scientifique et pratique. Ed. Lavoisier, Paris, P 43 à 46.

**E. TOPP, I. SCHEUNERT ; A. ATTAR, F. KORTE, ENVIRON. SAF., 1986.ELBAZ A, CLAVEL J, RATHOUZ PJ, MOISAN F, GALANAUD JP, DELEMOTTE B, ALPÉROVITCH A, TZOURIO C. 2009.** Professional Exposures to Pesticides and Parkinson Disease. *Ann Neurol* 66 :494–504.

**ELMRABET K., 2011-** Développement d'une méthode d'analyse de résidus de pesticides par dilution isotopique associée à la chromatographie en phase liquide couplée à la spectrométrie de masse en tandem dans les matrices céréalières après extraction en solvant chaud pressurisé. Thèse de Doctorat. Université Pierre et Marie Curie, 292 p

**Environnement Canada. National inventory of sources and emissions of zinc 1972.** Rapport interne de la DGAA 76-1, Direction générale de l'assainissement de l'air, juin 1976.

**Environnement Canada. National inventory of sources and emissions of zinc 1972.** Rapport interne de la DGAA 76-1, Direction générale de l'assainissement de l'air, juin 1976

**Environnement Canada. Detailed surface water quality data, Northwest Territories 1980–1981, Alberta 1980–1981, Saskatchewan 1980–1981, Manitoba 1980–1981.** Direction générale des eaux Intérieures (1984).

**Environnement Canada. National inventory of sources and émissions of zinc (1972).** Rapport interne de la DGAA 76-1, Direction générale de l'assainissement de l'air, juin (1976).

**ENVIRONNEMENT CANADA. 1985.** chlorure de potassium. Collection Enviroguide. Service de protection de l'environnement, Environnement Canada, (ISBN 0-662-93648-5).

intake and renal handling, and their impact on the cardiovascular

**Eutrophisation des milieux aquatiques : bilan des connaissances et stratégies de lutte", Nole technique SDAGEn'2 - Comité de bassin el Préfet Coordonna leur de bassin Rhône-Méditerranée-Corse – décembre 1996 - 29 pages.**

**Eutrophisation des eaux colères-** J.L. Mauvais, A. Menesguen. Merceron" P. Lassus, Ifremer - Bulletin de l'Agence de l'Eau Adour Garonnen'45-1990/12-18.

**FAO, (1995) OMS.** Evaluation des risques dus à la présence de produits chimiques dans les Aliments. Archives de documents de la FAO. 1995. Issu d'Application de l'analyse des Risques dans le domaine des normes alimentaires, par le Comité mixte FAO/OMS D'experts des Normes alimentaires. 39p

**FAO, OMS 1958.** Méthodes d'essai toxicologique des additifs alimentaires (Deuxième rapport

Du Comité mixte FAO/OMS d'experts des Additifs alimentaires). OMS Série de Rapports Techniques, No. 144. 24p

**F.E. Ahmed, 2001** Trends in Analytical Chemistry, 20, (2001) 649.

**FAO/UNEP/WHO 1989.** Guidelines for predicting dietary intake of pesticide residues, World Health Organization, Geneva,

**Food Marketing Institute, Trends 1988.** Consumers attitudes and the supermarket, Food Marketing Institute, Washington D.C,

**FAO (Food and Agriculture Organisation) et OMS (Organisation Mondiale de la Santé).1997**

**RapportsurlesconsidérationsgénéralesdesréunionsconjointesFAO/OMSde1997 et de 1998** sur les résidus de pesticides.

**FAO. 2008.** Food and Agriculture Organisation. Année internationale de la pomme de terre. Disponible en ligne sur: <http://www.fao.org/potato-2008/fr/monde/index.html>

**FAOSTAT. 2016.** Disponible en ligne sur : <http://www.fao.org/faostat/en/#data>

**GRASSELLY D, NAVEZ B, LETARD M, 2000.** Tomate, pour un produit de qualité. 112

**GRUBBEN G. J. H. et DENTON O. A., 2004.** Ressources végétales de l'Afrique tropicale 2. Légumes. Fondation PRaTA, Wageningen, Pays Bas/ Backhuys Publishers, Leiden, PaysBas/CTA, Wageningen, Pays-Bas. 737p

**GALLAIS A. et BANNEROT H, 1992.** Amélioration des espèces végétales cultivés objectif et critères de sélection. INRA, Paris. 765p

**GRISSA K., 2010.** Etude de base sur les cultures d'agrumes et de tomates en Tunisie, Regional Integrated Pest Management Program in the Near East GTFS /REM/ 070/ ITA, juillet – septembre 2010,92 P

**GUICHARD S. 1999.** "Flux hydriques, croissance et qualité du fruit de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en conditions estivales sous serre." Université aix Marseille III : 118.

**GARCÍA-RODRÍGUEZ J, GARCÍA-MARTÍN M, NOGUERAS-OCAÑA M, DE DIOS LUNA-DEL-CASTILLO J, ESPIGARES GARCÍA M, OLEA N, LARDELLI-CLARET**

**P.1996.**Exposure to pesticides and cryptorchidism : geographical evidence of a possible association. Environ Health Perspect

**GREEN, R., CHARLTON, R., SEFTEL, H., BOTHWELL, T., MAYET, F., ADAMS, B., FINCH, C.** et Layrisse, M. Body iron excretion in man.A collaborative study. Am. J. Med., 45: 336 (1968)

**GIBSON, R.S., MARTINEZ, O., ET MACDONALD, A.C. 1984** Available dietary iron intakes of a selected sample of pre- and post-menopausal Canadian women. Nutr. Res.

**GAUVIN, M.J. ZINC. DANS 1984 : L'Annuaire des minéraux du Canada.**Direction des ressources minérales, ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources (1985).

**HAWKES, J.G.,** 1990. The potato: Evolution, biodiversity and genetic resources. Belhaven Press, London, 259 pp

**Hartmann RC, Mellinkoff SM 1955.** Relationship of platelets to serum potassium concentration. J Clin Invest. 1955

**HARCHOUCHE T,1999 :** Contribution à l'étude du comportement physiologique de la pomme de terre de semence (*solanum tuberosum* L.) pendant la consommation et le stockage en système traditionnel et moderne. Thèse Mag. INA., El harrach. Alger., 90 p

**HUAMAN Z., 1987 :** Botanique systématique et morphologie de la pomme de terre. Bull. Info. Tech. n° 6. C.I.P. Lima: 18-32.

**HOWE, P., MALCOLM, H., & DOBSON, S. 2004.** Manganese and its compounds: environmental aspects. World Health Organization (WHO), Geneva, Switzerland, 63p

**HAHARTUNG T 2007** ESAC statement on the OECD adopted Test Guidelines for acute oral toxicity testing. European Commission, European Centre for the Validation of Alternative Methods.

**HASSALL, K.A. (1982)** The chemistry of pesticides: their metabolism, mode of action and uses in crop protection. Weinheim, Verlag Chemie.

**HAYES, w.J.Jr. Jr 1975**Toxicology of pesticides. Baltimore, Etats-Unis d'Amérique, Williams and wilkins c

**HEM, J. D. 1985.** Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water. U.S. Geological Survey Water-Supply, Paper 2254, 223p.

**HEM, J. D. (1985).** Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water. U.S. Geological Survey Water-Supply, Paper 2254, 223p.

**Heavy metals in the environment. Oregon State University Seminar, Janvier (1973)**

**INDEXPHYTOSANITAIREACTA.2014** Le réseau des instituts des filières animales et végétales. 50<sup>ème</sup> édition. (France).

**HERSHKO, C 1977.** Storage iron regulation. Dans: Progress in haematology. Vol. 10, E. B. Brown (dir. de publ.). Grune and Stratton, New York, NY. p. 105 (1977)

**HEM, J.K. 1970** Zinc. Dans: Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water. Geological Survey Water Supply, renvoi N° 1437, Washington, DC. p. 125 (1970).

**J. AM. MED. ASSOC, 1978.** Hypocupremia induced by zinc therapy in adults.

**INFORMATIONS SUR LE PLANT DE POMME DE TERRE**([www.wikifarmer.com](http://www.wikifarmer.com))

**IARC.1991** Occupational exposures in insecticide application and some pesticides. Lyon, France: IARC, 1991.

**HOPPS, H. C (1972).** Ecology of disease in relation to environmental trace elements — particularly iron. Geol. Soc. Am. Spec. Pap., 340: 1

**International Commission on Radiological Protection. Report No.1984:** Report of the Task Group on Reference Man. Pergamon Press, Oxford, U.K., 411 pp. 1984.

**Inventaire des ulves en Bretagne - Année 1997 - Rapport de synthèse"** - IFREMER et Agence de l'eau Loire-Bretagne - 18 pages

**J. C. WHITE, M. J. I. MATTINA, B. D. EITZER, W. I. BERGER, 2002** Chemosphere, 47 (2002) 639.

**J ALI HAMMOUDA., 2010** \_ pommes de terre\_Khartoum, Soudan\_p 30 40

**J. C. CHIFFOLEAU 2001.** La contamination métallique. Technical report, IFREMER, Région Haute Normandie, (Programme scientifique Seine-Aval)

**JACOBS, A. IRON OVERLOAD 1977** clinical and pathologic aspects. Semin. Haematol.,

**KALUZNY-PINON L, LETARD M, ZAMBUJO C, 2001.** "La tomate se concentre sur le gout." Culture Légumière

**KHALDI A ET SEGHIRI A.A 2006 :** Contribution à l'étude de l'effet calibre et densité de plantation chez deux variétés de pomme de terre (*solanum tuberosum* L.) dans les conditions

agro-climatiques de la région de Sétif – Mezloug. Mém. Ing. Agro., Univ. M'sila. Algérie., 57 p

**KEBAILI L., ADADI F ET DERRADJI W.2009** : Contribution a l'étude de l'effet d'une fertilisation foliaire de type potassique sur le développement et la croissance de la culture de pomme de terre (*solanumtuberosum* L.) dans la région nord de Sétif –Cas de Beni-fouda. Mém. Ing. Agro., Univ. M'sila. Algérie., 63 p

**KHUDER SA, MUTGI AB. 1997**Meta-analyses of multiple myeloma and farming. 1997. Am J Ind Med 32:510–516. 1986. J Natl Cancer Inst.

.

**KIRKPATRICK, D.C. ET COFFIN, D.E.** The trace metal content of representative Canadian diets in 1970 and 1971. Can. Inst. Food Sci. Technol. J, 1974.

**KIRKPATRICK, D.C. ET COFFIN, D.E.** The trace metal content of a representative Canadian diet in 1972. Can. J. Public Health, 1977.

**Klemm, R.F.** et Gray, J.M.L. A study of the chemical composition of particulate matter and aerosols over Edmonton. Rapport RMD 82/9, préparé pour la Research Management Division par l'Alberta Research Council. p. 125 (1982).

**KIRKPATRICK, D.C. ET COFFIN, D.E 1970**The trace metal content of representative Canadian diets in 1970 and 1971. J. Inst. Can. Sci. Technol. Aliment. 1974

**KLEMM, R.F. ET GRAY, J.M.L. A 1982**Study of the chemical composition of particulate matter and aerosols over Edmonton. Rapport RMD 82/9, préparé pour la Research Management Division par l'Alberta Research Council. p..

**KIRKPATRICK, D.C. ET COFFIN, D.E 1974** The trace metal content of representative Canadian diets in 1970 and 1971. J. Inst. Can. Sci. Technol. Aliment., 7: 56 (1974).

**KLEVAY, L.M. 1980**Interactions of copper and zinc in cardiovascular disease. Ann. N.Y. Acad. Sci.

**KATYA-KATYA, M., ENSMINGER, A., MEJEAN, L. ET DERLEY, G. 1984.**The effect of zinc supplementation on plasma cholesterol levels. Nutr. Res

**ZARZECKA K., GUGAŁA M., BARANOWSKA A., DOŁĘGA H., SIKORSKA A. 2016.**concentrations of copper, zinc and manganese in potato tubers under the influence of herbicides

**LEE MR.** The Solanaceae: foods and poisons. **J R COLL** Physicians Edinb 2006

**LAUMONNIER R., 1979.** Cultures légumières et maraichère. Tome III. Ed. Bailliere, Paris. 279p

**LEPRI, F. G.;** Chaves, E. S.; Vieira, M. A.; Ribeiro, A. S.; Curtius, A. J.; De Oliveira, L. C. C.; De Campos, R. C.; Determination of trace elements in vegetable oils and biodiesel by atomic spectrometric techniques. A review. Applied Spectroscopy Reviews, 2011,

**LIN CS, LIN C, FANG WH, HSU CJ, CHEN SJ, HUANG KH 2020,** A Deep-Learning Algorithm(ECG12Net) for Detecting Hypokalemia and Hyperkalemia by Electrocardiography: AlgorithmDevelopment. JMIR Med Inform. 2020 ;8(3): e15931.

**L. DOMANGE 1974** Précis de chimie générale et de chimie minérale, Tome2, Masson, Paris,

527 pages

**LAZRUS, A.L., LORANGE, E. ET LODGE, J.P1970** Lead and other metal ionsin United States precipitation. Environ. Sci. Technol. (1970).

**LAZRUS, A.L., LORANGE, E 1970** et Lodge, J.P. Lead and other metal ionsin United States precipitation. Environ. Sci. Technol.(1970).

**LERCHL K, RAKOVA N, DAHLMANN A, RAUH M, GOLLER U, BASNER M (2015)** , et al.Agreement Between 24-Hour Salt Ingestion and Sodium Excretion in a Controlled Environment. Hypertension. 10 août 2015;

**LONGNECKER MP, KLEBANOFF MA, ZHOU H, BROCK JW 2001** Association between maternal serum concentration of the DDT metabolite DDE and preterm and small-for-gestational-age babies at birth. 2001. Lancet 358:110-4

**Le phosphore en milieu marin ". A Aminol - 23 pages - Colloque**

**AIDEC sus-cité.**

**Lessives, phosphates et eutrophisation des eaux" - Eludes InterAgences n°39- 1997 - 26 pages**

**La pollution des eaux stagnantes par les phosphates– Controverses(pseudo) scientifiques et (absence de) décisions politiques" - G. Barroin Environnement, Science et Politique non daté - 89-115**

**La gestion des lisiers de porcs associant le traitement en zone d'excédent structurel - J. Coillard - Cemagref 1997 - 23 pages + annexes**

**LEANDRO DA SILVA ALMEIDA ; HAMILTON SERON PEREIRA ; ATALITA Francis CARDOSO 2018** accumulation and export of micronutrients in potato fertilized with organic-mineral fertilizer

- MAREK GUGALA<sup>1</sup>, KRYSZYNA ZARZECKA, IWONA MYSTKOWSKA AND ANNA SIKORSKA 2018** Iron and manganese content and uptake with the yield of potato tubers as affected by herbicides and biostimulants, and potato tuber nutritional value
- M.V. Beltran Barbisa 1989**, and R. Coscollá Ramón, Residuos de plaguicidas en Manual para la utilización de productos fitosanitarios, Consejería de Agricultura y Pesca, Generalitat Valenciana,
- M. CASANOVA, L. ANDRE, M. HASCOET, 1983** Les produits antiparasitaires à usage agricole, Ed. Lavoisier, Paris, (1983).
- MATHUR N, PANDEY G, JAIN GC(2010)** Pesticides: a review of the male reproductive toxicity. J Herb Med Toxicol 4:1-8
- Maynard, J. B. (2014)**. Manganiferous Sediments, Rocks, and Ores. H.D. Holland, K.K. Turekian (éd. p. 327-349, Chap. 9.11.), Treatise on Geochemistry, vol. 9, Elsevier, Oxford, UK
- MENNAI, A. (2014)**. Contribution à l'étude des pathologies dominantes chez le dromadaire dans la région d'El Oued. (These de Doctorat). Université de Chadli Ben Djedid, Taref, Algeria
- MCDUFFIE HH, PAHWA P, MCLAUGHLIN JR, SPINELLI JJ, FINCHAM S, DOSMAN JA, ROBSON D, SKINNIDER LF, CHOI NW (2001)** Non-Hodgkin's lymphoma and specific pesticide exposures in men: Cross-Canada study of pesticides and health. 2001. Cancer Epidemiol Biomarkers Prev 10 :1155–63.
- MSA. 2000** Appareils de protection respiratoire et filtres, comment choisir ? 2000. Brochure publiée par la MSA pour la prévention en milieu agricole.
- MERHI M, 2008-** Etude de l'impact de l'exposition à des mélanges de pesticides à faibles doses : caractérisation des effets sur des lignées cellulaires humaines et sur le système hématopoïétique murin. Thèse de Doctorat. Université de Toulouse, 140 p. L'exemple de la bouillie bordelaise, Institut Technique d'Agriculture Naturelle ITAN, 7 p
- Medford-Davis L, Rafique Z 2014**. Derangements of potassium. Emerg Med Clin North Am. 2014;32(2):329-47
- McMahon GM, Mendu ML, Gibbons FK, Christopher KB 2012**. Association between hyperkalemia at critical care initiation and mortality. Intensive Care Med. 2012;38(11):1834-42.
- MOSTAFALOU S, ABDOLLAHI M, 2013**. Pesticides and human chronic diseases:

Evidences, mechanisms, and perspectives. *Toxicology and Applied Pharmacology* 268 (2013) 157–177.

**MEISSA B, 2016.** L'eau et l'espace agricole dans l'Oued Souf : cas de l'ancienne palmeraie. Mémoire magister. Université d'Ouargla. 113P

**Ministère de l'Environnement de l'Ontario. Survey of water quality in the distribution systems, Ontario 1981–1986.** Données non publiées (1987).

**MERANGER, J.C., SUBRAMANIAN, K.S. ET CHALIFOUX, C.** METALS and other elements. *Int. J. Assoc. Anal. Chem.*, 64: 44 (1981).

**Ministère de l'Environnement de l'Ontario. Survey of water quality in the distribution systems, Ontario 1981–1986. Données non publiées (1987).**

**MERANGER, J.C., SUBRAMANIAN, K.S. ET CHALIFOUX, C(1981).** Metals and other elements. *Int. J. Assoc. Anal. Chem.*, 64 : 44 (1981).

**Manuel de limnologie appliquée - G. Barroin 1 RA - Texte nonPublié - 168 pages**

**MARLIERE F., 2000-** Mesure des pesticides dans l'atmosphère, Institut National de L'Environnement Industriel et des Risques INERIS, 55 p.

**MANUEL IVAN GOMEZ, STANISLAV MAGNITKA, LUIS ERNESTO RODRIGUEZ, AND AQUILES E. DARGHAN2017** Acumulación de N, P y K en tubérculos de papa (*Solanum tuberosum* L.ssp.andígena) bajo suelos contrastantes en zona andina de Colombia

**NAIKA S., LIDT DE JEUDE V. J., GOFFAU DE M., HILMI M. et VAN DAM B., 2005.** La culture de la tomate : production, transformation et commercialisation, Fondation Agromisa et CTA, Wageningen, Agrodok 17, 105p

**National Academy of Sciences. Water quality criteria. Vol. 93. Washington, DC (1972)**

**NAIKA S., DE JEUD J.V.L., DE JEFFAU M., HILMI M. et VANDAM B., 2005.** La culture de tomate, production, transformation et commercialisation. Ed. Wageningen, Pays-Bas. 105p.

**NEWTON, M. E.; MacPherson, J. V.; Unwin, P. R.; Mollart, T. P.** Electrochemical deposition and spectroscopic analysis methods and apparatus using diamond electrodes. UK, 2012

**N. Motohashi, H. Nagashima, C. Parkanyi, B. Subrahmanyam, and G. Zhang (1996),** *Journal of Chromatography A*, 754, (1996) 333.

**NADASKA, G., LESNY, J., & MICHALIK, I. (2012).** Environmental aspect of manganese chemistry. Hung Arian Journal Sciences, 100702, 1-16.

**National Academy of Sciences. Recommended dietary allowances. 9e edition. National Academy Press, Washington, DC 1980.**

**National Academy of Sciences. Water quality criteria. Vol. 93. Washington, DC 1972.**

**NIDÁ M. SALEM, LUMA S. ALBANNA1 AND AKL M. AWWAD**toxic heavy metals accumulation in tomato plant (solanum lycopersicum)

**PRESANT, E.W. ET TUPPER, W.M.** Trace elements in some NewBrunswick soils. Can. J. Soil Sci. 45: 305 (1965).

**N JN, LEE JP, JEON HJ, KIM DH, OH YK, KIM YS,2012.** severe hyperkalemia requiring

hospitalization: predictors of mortality. crit care. 2012 ;16(6):225

**NAS (National Academy of Sciences). 2001.** "Dietary ReferenceIntakes for Vitamin A, Vitamin K, Arsenic, Boron,Chromium, Copper, Iodine, Iron, Manganese,Molybdenum, Nickel, Silicon, Vanadium, and Zinc(2002). National Academy Press, Washington, D.C

**OSWALDO L., 2010 :** Hommage à la pomme de terre. Heds. Haute école de santé Genève. Filière nutrition et diététique. 11p

**OZENDA P., 1983.** Flore du Sahara. Ed. Centre National des Recherches Scientifiques, Paris. 39 p

**ORGANISATION DES NATIONS UNIES POUR L'ALIMENTATION ETL'AGRICULTURE. (2003)**Code international de conduite pour la distribution et l'utilisation des pesticides (Version révisée). Texte adopté lors du conseil de la FAO à Rome en novembre 2002

**Origine domestique des apports en phosphore ". P. Balland – 34 pages. Colloque AIDEC, Le phosphore. Ses dérivés et leur comportementdans le milieu naturel " - Dijon - novembre 1988**

**OZENDA P., 1983.** Flore du Sahara. Ed. Centre National des Recherches Scientifiques, Paris. 39 p.

**PERON J.Y., 2006 :** Production légumière. Ed. Lavoisier. 2eme édition. France.,316 p.

**PERON J Y.,2006-** Références Productions Légumières, 2ème Edition. Synthèse Agricole p 538-547

**PERALTA I E. KNAPP S. SPOONER D M. 2006.** Report of the tomato genetics cooperative. Ed : TGC REPORT n°56, Pp10.

**PESSON et LOUVEAUX J, 1984.** Pollinisation et production végétales. Ed. INRA. 663p

**PETIT, J. 2013.** Identification et validation fonctionnelle de gènes candidats controlant la composition de la cuticule chez le fruit de tomate. (These de Doctorat). Université de Bordeaux I, France

**P.T. Hollan, C.P 1992.**Malcolm, Multiresidue Analysis of Fruits and Vegetables in Emerging Strategies for Pesticide Analysis in T. Cairns, J. Sherma (Eds.) CRC Press, Boca Raton, Florida,

Post, J. (1999). Manganese Oxide Minerals: Crystal Structures and Economic and Environmental Significance. Proceedings of the National Academy of Sciences, 96(7), 3447-3454

**Papp, J.P. 1968** Metal fume fever. Postgrad. Med

**PRODUCTION DE LEGUMES**([www.agronomie.info](http://www.agronomie.info))

**Phosphate'' - Brochure du Centre Européen d'Etudes des Poly phosphates (CEEP) - 16 pages - 1997**

**ROUSSELLE P, ROBERT Y ET CROSNIER J.C., 1992 :** Utilisation des paramètres génétiques dans l'amélioration de la pomme de tproblèmes posés. 10eme Conf. Trisannuelle d'EARP. Danemark: 241-242

**RAMADE F., 2005-** Eléments d'écologie : écologie appliquée, Ed. Dunod, Paris, 6ème édition, 864 p

**Powell, L.W., Bassett, M.L. 1980** et Halliday, J.W. Hemochromatosisupdate. Gastroenterology, 78: 374 (1980).

**PRESANT, E.W. ET TUPPER, W.M.1965** Trace elements in some NewBrunswick soils. Can. J. Soil Sci. 45 : 305 (1965).

**Phosphate'' - Brochure du Centre Européen d'Etudes des Poly phosphates (CEEP) - 16 pages – 1997**

**Programme d'action concernant la maîtrise des rejets de phosphore provenant des activités agricoles - CORPEN 1998.**

**REKIBI, F. 2015.** Analyse compétitive de la filière tomate sous serre. Cas de la Wilaya de Biskra. Thèse de magister

**RANC, N. 2010.** Analyse de polymorphisme moléculaire de gènes de composantes de la qualité des fruits dans les ressources génétiques sauvages et cultivée de tomate ; recherche d'associations gènes/QTL. (Thèse de Doctorat). Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Montpellier, France

**RENAUD V, 2006.** Les tomates qui ont du goût. Paris, Eugen Ulmer. 95

**REY Y. et COSTES C., 1965.** La physiologie de la tomate, étude bibliographique. INRA.111p

**REGAL. (1996).** Répertoire général des aliments. Pp65.

**REGAL. 1996.** Répertoire général des aliments. Pp65

**RAMADE, F. 2003.** Eléments d'écologie- écologie fondamentale. Ed. Dunod, Paris,689 p.

**RAJNCHAPEL M. J, 1987.**La pomme de terre fait peau neuve. Biofutur, p. 25-33

**R. H. Bromilow, R. L. O. Rigitano, G. G. Briggs, K. Chamberlain 1987,** Pestic. Sci., 19, (1987) 85.

**ROSSIGNOL P, GIRERD N, BAKRIS G, VARDENY O, CLAGGETT B, MCMURRAY J, (2017)** Impact of eplerenone on cardiovascular outcomes in heart failure patients with hypokalaemia. Eur J Heart Fail. 2017 ; 19(6):792-9.

**REGNAULT-ROGER C 2005.**Enjeux phytosanitaires pour l'agriculture et l'environnement.2005. Ed: Tek & Doc. 1013p.

**REIMER, P. S. 1999.** Environmental effects of manganese and proposed guidelines to protect freshwater life in British Columbia. Thesis, Department of Chemical and Biological Engineering, University of British Columbia, 126p

**REIMER, P. S. 1999.** Environmental effects of manganese and proposed guidelines to protect freshwater life in British Columbia. Thesis, Department of Chemical and Biological Engineering, University of British Columbia, 126p

- SOLTNER D, 2005.** Les Grandes Productions Végétales, Pyrotechnie Spéciale-Céréales Plantes Sarclées-Prairies. Collection Sciences Et Techniques Agricoles 20eme Edition p472
- Sevastos N, Theodossiades G, Archimandritis AJ 2008.** Pseudo hyperkalemia in serum: a new insight into an old phenomenon. Clin Med Res. 2008;6(1):30-2
- SNOUSSI S. A., 2010-** Etude de base sur la tomate en Algérie. Rapport de mission Programme régional de gestion intégrée des ravageurs pour le Proche-Orient. Rome, 52 p
- S. Cluzeau, C. Paternelle, 1999.** Index phytosanitaire, Ed. Acta Association de Coordination Technique Agricole, France,
- SHAW GM, WASSERMAN CR, O'MALLEY CD, NELSON V, JACKSON RJ 1999.** Maternal pesticide exposure from multiple sources and selected congenital anomalies. Epidemiology
- SPIEWAK R (2001).** Pesticides as a cause of occupational skin diseases in farmers. 2001. Ann Agric Environ Med 8 :1-5.
- SPROULE, B.J., MITCHELL, J.H. ET MILLER, W.F 1960** Cardiopulmonary physiological response to heavy exercise in patients with anemia. **J. CLIN. INVEST.**
- STEIN, M., BLAYNEY, D., FEIT, T., GOEGEN, T. G., MICIK, S. ET NYHAN, W. L. 1976** Acute iron poisoning in children. West. J. Med
- Santé et Bien-être social Canada Apports nutritionnels recommandés pour les Canadiens, Committee for Revision of the Canadian Dietary Standard, Ottawa, (1983).**
- STEINHARDT-BOUR, N.J., SOULLIER, B.A. ET ZEMEL, M.B. (1984)** Effect of level and form of phosphorus and level of calcium intake on zinc, iron and copper bioavailability in man. Nutr. Res., 4 : 371 (1984).
- SAMUEL O., et SAINT-LAURENT L., 2001-** Guide de prévention pour les utilisateurs de pesticides en agriculture maraîchère, l'Institut de Recherche en Santé et en Sécurité du Travail du Québec IRSST, 89 p.
- TIRRILY Y ET BOURGEOIS C.M., 1999 :** Technologie des légumes. Ed. Lavoisier. Paris., p558
- TANGUY, V.; Waeles, M.; Vandenhecke, J.; Riso, R. D.;** Determination of ultra-trace Sb(III) in seawater by stripping chronopotentiometry (SCP) with a mercury film electrode in the presence of copper. Talanta, 2010, 81, 614-620.

**TOUMI I., 2014** : Identification et Biodeversité de L'entamofaune de La Pomme de Terre (*Solanum tuberosum* L.) dans la Région d'El oued p 2.

**TESTUD F, GARNIER R, DELEMOTTE B2001.** Toxicologie humaine des produits phytosanitaires - Tome 1. 2001. Ed : EDKA. 272p.

**TAYLOR, M.C. ET DEMAYO, A. LE ZINC. DANS 1980:** Lignes directrices concernant la qualité des eaux de surface. Vol. 1. Les substances chimiques inorganiques. Direction générale des eaux intérieures, Direction de la qualité des eaux, Environnement Canada, Ottawa

**TAYLOR, M.C. ET DEMAYO, A 1980.** Le zinc. Dans : Lignes directrices concernant la qualité des eaux de surface. Vol. 1. Les substances chimiques inorganiques. Direction générale des eaux intérieures, Direction de la qualité des eaux, Environnement Canada, Ottawa

**USEPA. (2004).** Drinking Water Health Advisory for Manganese. Document was prepared under U.S. Environmental Protection Agency, led by Health and Ecological Criteria Division, Office of Science and Technology, Office of Water, U.S. Environmental Protection Agency Health and Ecological Criteria Division, January 2005, Washington, DC, 55p.

**U.S. Environmental Protection Agency. Quality criteria for water. Washington, DC. p. 481 1976.**

**VERHEES J, 2002.** Cell Cycle and Storage Related Gene Expression in Potato Tubers (Thèse De Doctorat). Wagening en : Wagening en Agricultural University, 133 P

**VOISIN R, 2004.** Le Souf monographie, Edit El Walid. 319p

**VOORHESS, M.L., STUART, M.J., STOCKMAN, J.A. ET OSKI, F.A. IRON 1975** deficiency anemia and increased urinary iron epinephrine excretion. J. Pediatr..

**Van Loon, J.C.** Toronto's precipitation analysed for heavy metal content. Water Pollut. Control, 1 **VAN LOON, J.C. 1973** Toronto's precipitation analysed for heavy metal content. Water Pollut. Control, 1973

**WILLIAMS, M., TODD, G. D., RONEY, N., CRAWFORD, J., COLES, C., MCCLURE, P. R., GAREY, JD., ZACCARIA, K., CITRA, M. 2012.** Toxicological profile for manganese. In. Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR), Division of Toxicology and Human Health Sciences (proposed), Atlanta, Georgia, 506p.

**WATT, B.K. ET MERRILL, A.L1963.** Composition of foods — raw, processed, prepared. Revised Agriculture Handbook 8, U.S. Department of Agriculture

**WILLIAMS, M., TODD, G. D., RONEY, N., CRAWFORD, J., COLES, C., MCCLURE, P. R., GAREY, JD., ZACCARIA, K., CITRA, M. 2012.** Toxicological profile for

manganese. In. Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR), Division of Toxicology and Human Health Sciences (proposed), Atlanta, Georgia, 506p

**Walker, R1978.** Water supply, treatment and distribution. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 420 pp

**WEINBERG, E.D 1981.** Iron and neoplasia. Biol. Trace Elem. Res.,

**WARREN, H.V.** Some trace element concentrations in various environments. Dans : Environmental médecine. G.M. Howe et J.A. Loraine (éditeurs). William Heinemann Medical Books Ltd Londres. p. 9 (1973).

**WARREN, H.V 1973.** Some trace element concentrations in various environments. Dans : Environmental médecine. G.M. Howe et J.A. Loraine (éditeurs). William Heinemann Medical Books Ltd.,

Londres. p. 9

**WHO. Global action plan for the prevention and control of noncommunicable Disease 2013-2020. WHO ; 2013 [cité 17 déc. 2015].** Disponible sur :

[http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/94384/1/9789241506236\\_eng.pdf](http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/94384/1/9789241506236_eng.pdf)

**Ziri S., 2011-** Contribution à la lutte intégrée contre Tuta absoluta sur tomate en plein champ. Thèse en vue de l'obtention du diplôme de magister en science agronomiques, Ecole nationale supérieure agronomique El-Harrach. 92 p

**ZOETEMAN, B.C.J. ET BRINCKMAN, F.J.S. 1975** Intake of minerals by man. Dans: Hardness of drinking water and public health. Proceedings of the European Scientific Colloquium, Luxembourg, 1975. Pergamon Press, Oxford, U.K. 1976

**ZORAN S. ILIĆ, NIKOLAOS KAPOULAS, LJUBOMIR ŠUNIĆ, DRAGOLJUB BEKOVIĆ, NATAŠA MIRECKI 2014** Heavy Metals and Nitrate Content in Tomato Fruit Grown in Organic and Conventional Production Systems

# Annexe

Annexe 01 : les pesticides utilisé pour agriculture dans la région EL Oued

Les herbicides



Les fongicides



Les insecticides



Les acaricides

