

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR

ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE EL HAHJ LAKHDER

BATNA

FACULTE DES SCIENCES

DEPARTEMENT D'AGRONOMIE



## **Mémoire de magister en sciences agronomiques**

*Spécialité : Agronomie*

*Option : Agrotechnie*

# **THEME :**

**FONCTIONNEMENT MINERAL (N, P, K, Ca, Mg)  
D'UN VERGER DE POMMIER SUR SOL  
CALCAIRE IRRIGUE AU GOUTE A GOUTTE  
DANS LA REGION DE SERIANA (W. BATNA)**

Réalisé par :

**M<sup>me</sup> : SERHANE SONIA**

*Soutenu le : ... / ... / 2010 Devant la commission d'examen :*

<u>Président</u> :	M <sup>me</sup> BENBOUZA Halima	Maitre de conférences A	Université de Batna
<u>Promoteur</u> :	Mr HALITIM Amor	Professeur	Université de Batna
<u>Examineur</u> :	Mr BENSALD. Rabah	Professeur	Université de Skikda.
<u>Examinateur</u> :	Mr BEN TOUATI. Abdellah	Maitre de conférences A	Université de Batna
<u>Invité</u> :	M <sup>r</sup> MEDEJADBA. A.M	Maitre assistant	Université de Batna

*Année Universitaire : 2009 – 2010*



## Avant propos :

Avant tout je remercie Dieu le tout puissant qui m'a donné la force et la foi et de m'avoir permis d'arriver à ce stade.

Au terme de cette étude, je tiens à adresser ma profonde reconnaissance à tous les personnes qui m'ont soutenues, aider et encourager tout au long de ce travail.

Je tiens à exprimer ma profonde reconnaissance à Mr **HALITIM AMOR** professeur à l'Université de BATNA qui a assuré la direction scientifique du sujet, je le remercie vivement pour ces précieux conseils et réflexions qu'il ma apporté.

Je remercie M<sup>ELLE</sup> **BENBOUZA HALIMA**, Maître de Conférence A au département d'agronomie - Université de BATNA - pour l'honneur qu'elle ma fait en acceptant de présider le jury.

J'exprime ma gratitude à Mr **BENSAID RABAH** professeur à l'université de SKIKDA d'avoir accepté d'examiner ce travail.

J'exprime ma gratitude à Mr **BENTOUATI ABDELLAH** Maître de Conférence A au département d'Agronomie - Université de BATNA - d'avoir accepté d'examiner ce travail.

Mes vives remerciements vont à Mr **MARC GARCIA** professeur de l'ENSA de Toulouse pour ces précieux conseils et Mr **MEDJADBA** d'avoir accepté mon invitation.

Je remercie vivement les propriétaires de la pépinière (lieu ou s'est déroulé notre travail) pour leur collaboration et en particulier Mr **ZERRAD MOURAD** pour son aide et sa disponibilité.

Et particulièrement, j'adresse mes remerciements à Mr **SAHRAOUI A.** et **CHIOUKH S,** en leur expriment ma vive reconnaissance pour l'aide fournie.

Très nombreux sont les personnes qui, de près ou de loin, ont participé à la réalisation de ce travail. En m'excusant auprès d'eux de ne pouvoir les citer je leur exprime ma vive reconnaissance.

# TABLE DES MATIERES

Introduction

## Première partie : Etude Bibliographique

### Chapitre I : Considération générale sur pommier

I- Origine et importance économique .....	4
I.1- Origine du pommier .....	4
I.1.1- Origine géographique .....	4
I.1.2- Origine botanique .....	4
I.1.3- Origine génétique .....	4
I.1.4- Caractères botaniques .....	5
I.2- Importance de la culture du pommier .....	5
I.2.1- Dans le monde .....	5
I.2.2- En Europe .....	6
I.2.3- Au Maghreb .....	6
I.2.4- Dans la wilaya de Batna .....	8
II- Exigences du pommier.....	10
II.1- Exigences climatiques .....	10
II.1.1 La température .....	10
II.1.2- La pluviométrie .....	11
II.1.3-L'hygrométrie .....	12
II.1.4- La lumière .....	12
II.1.5- La grêle .....	12
II.1.6- Le vent .....	12
II.2- Les exigences édaphiques .....	12
II.2.1- La profondeur .....	12
II.2.2- Paramètres physiques .....	13
II.2.2.1- La texture .....	13
II.2.2.2- La structure .....	13
II.2.2.3- L'humidité du sol .....	13
II.3- Paramètres chimiques .....	14
II.3.1- Le pH .....	14
II.3.2- Le calcaire .....	14
II.3.3- La salinité .....	14
II.4- Les exigences culturelles .....	14
II.4.1- La plantation .....	14
II.4.2- Entretien du sol .....	15
II.4.3- La fertilisation .....	15

II.4.4- L'irrigation .....	16
II.4.5- La taille .....	16
II.4.6- Protection phytosanitaire .....	16

## **Chapitre II : Alimentation minérale du pommier**

Introduction .....	17
I- Les principaux éléments minéraux .....	17
I.1- Rôle et importance des éléments minéraux .....	17
I.1.1- L'azote .....	17
I.1.2- Le phosphore .....	18
I.1.3- Le potassium .....	19
I.1.4- Le calcium .....	20
I.1.5- Le magnésium .....	21
I.2- Les formes des éléments dans le sol .....	22
I.2.1- L'azote dans le sol .....	22
I.2.2- Phosphore dans le sol .....	23
I.2.3- Potassium dans le sol .....	24
I.2.4- Le calcium dans le sol .....	25
I.2.5- Le magnésium .....	25
I.3- Toxicité des éléments minéraux .....	25
I.4- Les interactions entre les éléments minéraux .....	25
I.4.1- Les antagonismes .....	25
I.4.2- Les synergies .....	27
I.4.3- Le blocage .....	27
I.4.4- Précipitation réciproque .....	27
II- Facteurs influençant la composition minérale des feuilles .....	28
II.1- Facteurs liés à l'arbre .....	28
II.1.1- L'espèce et la variété .....	28
II.1.2- Le porte-greffe .....	29
II.1.3- L'âge de l'arbre .....	30
II.1.4- La charge en fruits de l'arbre .....	30
II.2- Facteurs liés à la feuille .....	30
II.2.1- L'évolution dans le temps .....	30
II.2.2- Position et orientation de la feuille sur l'arbre .....	31
II.2.3- Nature du rameau porteur .....	31
II.2.4- Facteurs liés aux techniques culturales .....	32
II.2.4.1- La taille .....	32
II.2.4.2- La fertilisation et les interactions entre éléments .....	32
II.2.5- L'irrigation .....	32
II.2.6- Travail et mode d'entretien du sol .....	32
II.3- Facteurs liés aux conditions du milieu .....	33

II.3.1- Le type de sol .....	33
II.3.2- Le climat .....	33
III- Diagnostic nutritionnel du pommier .....	35
III.1- Le diagnostic visuel .....	35
III.2- L'analyse du sol .....	35
III.3- Les essais de fertilisation .....	35
III.4- L'estimation des exportations.....	36
IV- Contrôle de l'alimentation minérale du pommier par la méthode du diagnostic foliaire .....	37
IV.1- Définitions du diagnostic foliaire .....	37
IV.2- Buts et principes du diagnostic foliaire .....	37
IV.3- Limites du diagnostic foliaire .....	38
IV.4- Echantillonnage des feuilles .....	38
IV.5- Nombre d'arbres à échantillonner .....	39
IV.6- Répartition des arbres dans le verger .....	39
IV.7- Dimension de l'échantillon de feuilles .....	39
IV.8- Nombre de feuilles à prélever par arbre .....	39
IV.9- Position de la feuille à prélever .....	39
IV.10- Epoque de prélèvement .....	39

### **Chapitre III : Les sols calcaires en Algérie**

Généralités .....	41
1- Définition du sol calcaire .....	41
2- Les sols calcaires en Algérie .....	41
3- Principales formes du calcaire dans les sols.....	41
3.1- Distribution diffuse .....	42
3.2- Distribution discontinue .....	42
3.3- Distribution continue .....	42

### **Chapitre IV : Influence de l'irrigation goutte à goutte sur le système sol-végétal**

Généralités .....	44
1- Principes et mode de livraison d'eau .....	44
2- Impact de l'irrigation goutte à goutte sur le sol .....	44
3- Impact de l'irrigation goutte à goutte sur le végétal .....	45
Conclusion .....	46

## Deuxième partie : Etude expérimentale

### Chapitre I : Présentation de la région d'étude

I- Situation géographique .....	47
II- Caractéristiques climatiques .....	48
II.1- La température .....	48
II.2- La Pluviométrie .....	50
II.3- Le vent .....	51
II.4- La Gelée .....	51
II.5- La grêle .....	52
III- Synthèse bioclimatique .....	52
III.1- Diagramme Ombrothermique de GAUSSEN et BAGNOULS .....	52
III.2. Climagramme d'Emberger .....	53
IV- Présentation de la pépinière et du verger d'étude .....	56
IV.1- Présentation de la pépinière .....	56
IV.2- Présentation de la parcelle d'étude .....	56
IV.2.1- Techniques culturales appliquées .....	59
IV.2.2- Etats de végétation du verger .....	61

### Chapitre II : Matériels et Méthodes

1- Matériel végétal .....	64
1.1-La variété Golden Yellow .....	64
1.2- Le porte-greffe MM 111 .....	65
2- Méthodes d'études .....	66
2.1- Prélèvement du sol .....	66
2.2- Prélèvement des feuilles .....	66
3- Méthode d'analyses .....	69

## Troisième partie : Résultats et discussion

### Chapitre I : Interprétation des résultats des analyses du sol

I- Description du profil .....	70
II- Résultats des analyses du sol .....	71
II.1- Analyse physique .....	71
II.1.1- Analyse granulométrique .....	71
II.1.1.1- La texture .....	71
II.1.1.2- La matière organique .....	72
▪ En fonction des argiles .....	72
▪ En fonction du calcaire .....	75
II.1.3- Le calcaire total .....	75

II.1.4- Le calcaire actif .....	75
II.1.5- Le pH .....	76
II.1.6- Conductivité électrique .....	76
II.2- Analyses chimiques .....	76
II.2.1- L'azote .....	77
II.2.2- Le rapport C/N .....	78
II.2.3- Le phosphore .....	78
II.2.4- Le potassium échangeable .....	81
II.2.5- La capacité d'échange cationique (CEC) .....	83
II.2.7- Le calcium échangeable .....	85

## **Chapitre II : Interprétations des analyses foliaires**

Introduction .....	86
I.1- Interprétation des résultats des analyses foliaires .....	86
I.1.1- Azote .....	86
I.1.2- Phosphore .....	87
I.1.3- Le potassium .....	88
I.1.4- Le calcium .....	88
I.1.5- Le magnésium .....	89
I.2- Interactions entre les différents éléments minéraux .....	90
I.2.1- Détermination des sommes : (N + P + K et K + Ca + Mg) .....	91
I.2.2- Détermination des différents rapports .....	92
I.3- Evolution des éléments dans le temps .....	93
I.3.1- Azote .....	93
I.3.2- Le phosphore .....	94
I.3.3- Le potassium .....	94
I.3.4- Le calcium .....	95
I.3.5- Magnésium .....	96

### **Conclusion générale**

### **Références bibliographiques**

### **Annexes**

## INTROUCTION

La progression régulière des superficies consacrées au pommier fait que son aire de culture est l'une des plus étendues que l'on connaisse, néanmoins les productions et les rendements n'ont pas évolués au même rythme (**F.A.O., 2004**) la faiblesse du rendement moyen non corrélé à l'augmentation significatives des superficies est d'origine multifactorielle. Ainsi la question est comment nourrir les pommiers conformément à leurs besoins ? Et comment les entretenir afin d'améliorer le rendement ? Les facteurs responsables de cette discordance sont nombreux, mais le principal est l'inadaptation variétale à certaines conditions du milieu dont le climat et le type de sol

Dans les zones semi-arides, le régime des pluies est si aléatoire que le manque d'eau se fait le plus souvent sentir. De ce fait l'irrigation d'appoint devient de plus en plus incontestable.

La quantité et la phase d'apport d'eau, en cas d'irrigation, demeurent un des éléments importants à prendre en considération pour réussir le rendement indépendamment de l'année.

Plusieurs essais ont été réalisés ces dernières années et dans l'ensemble les meilleurs rendements et réactions de culture furent ceux de l'irrigation au goutte à goutte. La pratique d'une irrigation fertilisante est un avantage remarquable car la quantité d'engrais fournie est mieux contrôlée (**HALEVAY et al., 1973**).

En Algérie, les deux dernières décennies ont été marquées par une progression substantielle des superficies consacrées à l'arboriculture fruitière et plus particulièrement au pommier (**F.A.O., 2005**)

Toutefois la production et le rendement restent faibles tant au niveau national que dans la wilaya de Batna considérée comme l'une des premières régions productrices de pommes.

En Algérie, les sols cultivés sont pour la plupart calcaires leur abondance, surtout dans les hauts plateaux est due à la présence de roches calcaires et carbonatés, leurs propriétés sont pour la plupart dominées par l'influence de la calcite (**RUELLANT, 1976**)

En arboriculture, la nutrition minérale des plantes notamment dans les régions arides où les sols ont en majorité calcaires entraîne des antagonisme entre les cations principalement le potassium et le magnésium puisque les sols sont toujours saturés en calcium (**TOUMI, 1997**)

**BOULAY et al. (1986)** notent que les analyses du sol sont absolument nécessaires avant toute plantation afin de fixer le niveau de correction nécessaire. En suite des analyses périodiques du sol doivent être réalisées sur le verger en place, au minimum tous les cinq ans pour contrôler leur fertilité (**GERMAIN et al., 1999**) et pour adapter peu à peu la fumure au couple verger/sol (**LICHOU et AUDUBERT 1989**).

Le pH est l'une des propriétés chimiques les plus importantes pour assurer une bonne nutrition minérale des cultures. C'est ainsi que l'augmentation du pH induit des problèmes de blocage par insolubilisation en relation avec des excès de calcium. Il en est ainsi du phosphore qui se cristallise à l'état de phosphate tricalcique ou d'apatite, du fer dont le blocage dans les sols trop riches en calcaire actif provoque la chlorose et du manganèse et du bore dont l'insolubilisation provoque des carences. Ces problèmes son souvent rencontrés en sols calcaires dont le pH est basique. De même les pH acides posent des

problèmes nutritionnels, c'est donc entre 6.5 et 7.5 (pH neutre) qu'il est souhaitable de le maintenir (**SOLTNER, 1986**)

La pratique d'une fertilisation raisonnée, en fonction de la richesse des sols et des conditions climatiques qui influencent l'assimilation des éléments minéraux par la plante, permettent la réalisation d'un bon rendement (**GARCIA et al., 1984**)

Une bonne nutrition est la conséquence directe de la fertilité du sol, c'est-à-dire la présence en contact des racines, des éléments minéraux en quantité capable de couvrir leurs besoins au moment propice.

Or de nombreux processus qui interviennent dans le sol, ainsi que l'effet du climat et les diverses techniques culturales peuvent modifier la disponibilité des éléments nutritifs et leur niveau dans la plante .

Le technicien dispose d'un certain nombre de méthodes de contrôles de la nutrition de l'arbre, dont le contrôle visuel, la détermination des exportations des différents éléments par la récolte et le bois de taille, les essais de fertilisation de plein champ, l'analyse du sol et enfin les analyses de la plante en particulier le diagnostic foliaire.

Ces méthodes sont complémentaires et aident le praticien à mieux connaître le niveau nutritionnel de son verger afin d'atteindre l'objectif relatif aux rendements réguliers et élevés

L'analyse foliaire permet de contrôler le statut alimentaire des arbres, de déceler les déséquilibres nutritionnels et de compléter les résultats des analyses du sol qui indiquent les potentialités de fourniture en éléments nutritifs, cette analyse doit être effectuée selon un protocole bien établi pour chaque espèce fruitière le moment doit correspondre à la période où les éléments minéraux dans les feuilles sont les plus stables.

Pour des impératifs de temps notre objectif à travers cette étude s'est limité à une appréciation de la nutrition minérale d'un verger de pommier type dans la région de Sériana (wilaya de Batna) et de suivre le niveau d'assimilation de cinq éléments majeurs N, P, K, Ca et Mg par le pommier en sols calcaires caractéristique de la région.

En parallèle, et pour une meilleure connaissance des variations de la teneur en éléments minéraux dans les feuilles en vue de déterminer éventuellement une période de stabilité relative de la teneur de ces éléments, et qui pourrait être retenue comme période d'échantillonnages pour la réalisation de ce diagnostic pour le contrôle de l'alimentation minérale de nos vergers.

Pour effectuer ce contrôle notre démarche comprends trois étapes essentiels, la pratique d'un échantillonnage foliaire une analyse de sol et la collecte des données techniques et culturales appliqués au niveau du verger.

Le présent document est constitué de trois parties :

La première partie est une synthèse bibliographique qui illustre l'importance de la culture du pommier, sa nutrition minérale et les différentes méthodes aidant l'arboriculteur à contrôler cette dernière

Une deuxième partie est consacrée à la connaissance des conditions pédoclimatiques de la région d'étude avec une présentation du site d'échantillonnage, du matériel végétal et la méthode adoptée pour cette étude.

Une troisième partie est consacrée aux résultats obtenus et leurs discussions avec les conclusions auxquelles nous avons abouties.

Enfin, une conclusion générale sur les points essentiels abordés dans ce travail et les perspectives offertes par une telle étude

**Mots clés :** *Malus domestica* ; irrigation fertilisante ; fructification, nutrition, élément minéral, arbre fruitier, irrigation localisée, rosacée, dicotylédones.

## I- Origine et importance économique

### I.1- Origine du pommier

#### I.1.1- Origine géographique

Le pommier, selon **BRETAUDEAU (1978)** est la première espèce fruitière que l'homme a cultivée. Il possède l'aire de culture la plus étendue que l'on connaisse pour une seule espèce.

**HUGARD (1974)**, note que son origine remonte à la préhistoire, Soit 13 siècles avant J.C, par la suite il a été propagé pour être cultivé par les Grecs et les Romains. Le centre de la plus grande diversité semble être l'aire du sud-ouest, en particulier les forêts du Caucase et du Turkestan (**GALLAIS et BANNEROT, 1995**).

On trouve aussi quelques espèces originaires du continent nord américain, en particulier *Malus Fusca* (Schneid), *Malus angustifolia* (Michx), *Malus joénsis* et *Malus coronaria* (Miv.) (**GALLAIS et BANNEROT, 1995**).

#### I.1.2- Origine botanique

Pendant longtemps, les botanistes ont considéré que le pommier constituait le sous genre *Malus* au sein du genre *Pyrus*, l'appellation botanique était alors *Pyrus malus*. A l'heure actuelle, on admet que *Pyrus* et *Malus* forment deux genres distincts, bien que très voisins (**HUGARD, 1974**).

Selon **LAFON et al. (1996)** le pommier est classé comme suit :

Embranchement	: Spermaphytes
Sous embranchement	: Angiospermes
Classe	: Dicotylédones
Sous classe	: Dialypétales
Famille	: <i>Rosacées</i>
Sous Famille	: <i>Maloïdeae</i>
Genre	: <i>Malus</i>
Espèce	: <i>domestica / communis / pumila</i> .

Le genre *Malus* comprend 25 à 47 espèces, selon les approches taxonomiques (**ROBINSON et al., 2001**). La plupart s'entrecroisent et il est parfois difficile de classer certains écotypes (**GALLAIS et BANNEROT, 1995**).

#### I.1.3- Origine génétique

Deux types génétiques sont à l'origine de toutes les variétés existantes :

- *Malus Communis* Lamarck (*Malus sylvestris* Miller, *Malus acerba* Mérat ., c'est un arbre de 10 m de hauteur environ, avec des rameaux grêles épineux. Sa culture est répandue dans toute l'Europe et la Russie (**BRETAUDEAU, 1978**).
- *Malus pumila* Miller (*Pyrus Malus* Linné, *Malus paradisiaca* Médicus) : c'est un arbre de taille moyenne et buissonnant. Sa patrie serait le Caucase, le Proche Orient et la Russie méridionale (**BRETAUDEAU, 1978**).

### **I.1.4- Caractères botaniques**

Le pommier est un arbre de type buisson, à vigueur moyenne et à port arrondi. Il peut atteindre 6 à 8 mètres de hauteur avec des branches divergentes et retombantes avec l'âge, les rameaux sont à écorce lisse brun portant des bourgeons qui peuvent être végétatifs ou reproducteurs. Sur les rameaux, les feuilles sont caduques, alternes, simples, entières et dentées sur les bords. Elles portent 2 stipules à la base du pétiole.

Les fleurs du pommier sont hermaphrodites, et la reproduction de l'espèce est assurée avec une allogamie prédominante, l'inflorescence du pommier est une corymbe à floraison centrifuge (**PRATT, 1988**).

La fleur est pentamère et présente 5 sépales, 5 pétales, 20 étamines à filets libres et un gynécée comportant 5 styles soudés à leur base L'ovaire comprend 5 carpelles infères soudés renfermant chacun 2 ovules.

Le pommier cultivé comprend environ 6000 variétés, elles sont en majorité diploïdes ( $2n = 34$ ) ; quelques unes sont triploïdes ( $3n = 51$ ) (**GALLAIS et BANNEROT, 1995**).

Le fruit est une drupe, à mésocarpe charnu entourant 5 loges cartilagineuses. La chaire croquante de teinte blanchâtre, jaune ou rose, les loges contenant les pépins (**BRETAUDEAU, 1978**).

## **I.2- Importance de la culture du pommier**

### **I.2.1- Dans le monde**

Les superficies réservées au pommier ont considérablement évoluées cette dernière décennie. La pomme est l'un des fruits frais les plus consommés dans les pays développés et occupe la quatrième place après les agrumes, les bananes et les raisins (**F.A.O., 2005**).

Les statistiques de la **F.A.O** de **1990 à 2005 (tableau n° 01)** permettant de constater que :

- La superficie cultivée oscille entre 5 et 6 millions d'hectares,
- La courbe du rendement est régulièrement ascendante avec un rendement moyen de 120 Quintaux / hectare
- La production totale a fluctué entre 56 et 60 million de tonnes durant la dernière décade.

La comparaison de la production de 1990 (41 million de tonnes) diffère significativement de celle de 2004 (61.9 millions de tonnes). Cette production mondiale qui s'accroît en moyenne de 3 millions de tonnes par an depuis trois ans pourra dépasser les 70 millions de tonnes à l'horizon 2010 (**ANONYME, 2003**).

La chine est le premier producteur mondial avec 22 millions de tonnes pour une superficie totale dépassant 2.1 millions d'hectares (**F.A.O., 2005**) le rendement moyen (105 Qx / ha) reste plus bas que la moyenne mondiale qui est de 120 Qx / ha. Cependant, il intéressant de constater que pour ce même pays, le rendement a été multiplié par quatre et la production quintuplée en 15 ans.

Les U.S.A sont le second producteur avec 4,5 millions de tonnes avec seulement une superficie de 162 000 ha mais le rendement y est bien plus élevé (281 Qx / ha).

Ce développement important du pommier, régi par une demande croissante a généré des modifications tant dans les données économiques que dans les conceptions techniques car

produire des pommes en quantité et qualité nécessite des investissements importants et ce pour une durée assez longue.

**Tableau n° 01** : Evolution de la culture du pommier dans le monde (F.A.O. 2005)

Années	Superficie cultivée (ha)	Rendement (Qx / ha)	Production (Mt)
1990	5114957	80,190	41016903
1991	4957555	74,096	36733683
1992	5241591	89,278	46795979
1993	5645948	87,099	49175779
1994	6043945	79,945	48318077
1995	6318627	79,644	50324145
1996	6301875	89,302	56276743
1997	6129896	93,717	57447319
1998	5802136	97,876	56789129
1999	5633207	103,139	58100252
2000	5406394	109,621	59265547
2001	5227273	110,612	57820063
2002	5017758	110,804	55598981
2003	4952429	118,609	58740234
2004	5178360	119,573	61919066

### I.2.2- En Europe

La France se situe au premier rang des pays producteurs devant l'Italie et l'Allemagne durant les quatre précédentes années. En dépit du fait que la superficie a tendance à baisser, le rendement y est plus élevé (381 Qx / ha) (**tableau n°02**).

**Tableau n° 02** : Evolution de la culture de pommier dans les principaux pays Européens producteurs de pommes (F.A.O., 2005).

Années	France		Italie		Allemagne	
	Production (Mt)	Rendement (Qx / ha)	Production (Mt)	Rendement (Qx / ha)	Production (Mt)	Rendement (Qx / ha)
2001	2,3	363,2	2,0	371,7	1,7	254
2002	2,4	370,0	1,8	240,9	1,4	210
2003	2,1	357,2	1,6	217,7	1,5	225
2004	2,2	381,0	2,0	336,6	1,5	227

La France est également le premier exportateur européen de pommier (**TRILLOT et al., 2002**).

L'Allemagne est le premier importateur européen et mondial de pommes bien que gros producteur avec 1,59 million de tonnes pour un rendement de 227 Qx/ha en 2004.

Les deux variétés golden Delicious et Délicieuse Rouge sont les plus dominantes dans le monde et le demeurent encore, même si d'autres variétés comme Fuji et surtout Gala Progressent dans tous les continents

### I.2.3- Au Maghreb

La comparaison des données sur la culture du pommier au Maghreb : Algérie, Maroc, Tunisie (**tableau n° 03**) durant les cinq dernières années (2000-2004) révèle qu'au Maroc, les superficies sont pratiquement stationnaires depuis plus de dix ans, mais la production et le rendement même fluctuants selon les années ne cessent de croître.

Le Maroc occupe la première place Maghrébine tant pour la production que le rendement qui reste supérieur à 100 Qx / ha.

En Algérie la superficie occupée par le pommier a presque triplé en 15 ans couvrant ainsi 30000 ha en 2004 (**tableau n° 04**). Le rendement, variable selon les années, n'est pas corrélé à cette hausse et demeure faible (**figure n° 01**).

Durant cette même période, l'augmentation de la production, multipliée par trois et surtout liée à l'accroissement de la surface cultivée et non à la productivité des vergers.

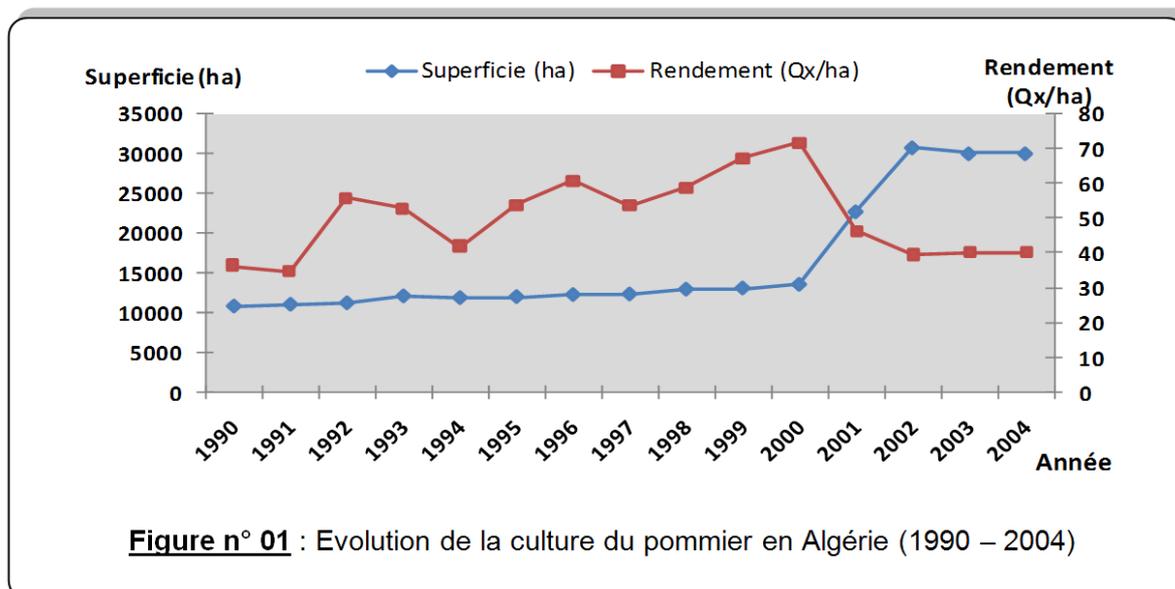
Pour la Tunisie, la superficie, la production et le rendement sont comparables à ceux de l'Algérie.

**Tableau n° 03:** Evolution de la culture du pommier au Maghreb (Algérie, Maroc, Tunisie) (F.A.O., 2005).

Années	Superficie cultivée (ha)			Rendement (Qx / ha)			Production (mt)		
	Algérie	Maroc	Tunisie	Algérie	Maroc	Tunisie	Algérie	Maroc	Tunisie
2000	13480	27800	25660	71,6	107,9	42,08	96517	300005	108000
2001	22670	28600	25770	46,2	79,6	41,9	104900	227800	108000
2002	30750	26700	26000	39,3	139,5	38,4	121038	372500	100000
2003	30000	27000	26000	40,0	101,9	38,0	120000	275200	99000
2004	30000	26100	32000	40,0	150,6	37,8	120000	393140	121000

**Tableau n° 04 :** Evolution de la culture de pommier en Algérie (F.A.O., 2005)

Années	Superficie cultivée (ha)	Rendement (Qx / ha)	Production (mt)
1990	10740	36,258	38941
1991	10960	43,638	47827
1992	11140	55,641	61984
1993	12020	52,753	63409
1994	11800	41,777	49297
1995	11930	53,764	64140
1996	12190	60,598	73869
1997	12260	53,446	65525
1998	12870	58,574	75385
1999	13020	67,065	87318
2000	13480	71,600	96517
2001	22670	46,273	104900
2002	30750	39,362	121038
2003	30000	40,000	120000
2004	30000	40,000	120000



### I.2.4- Dans la wilaya de Batna

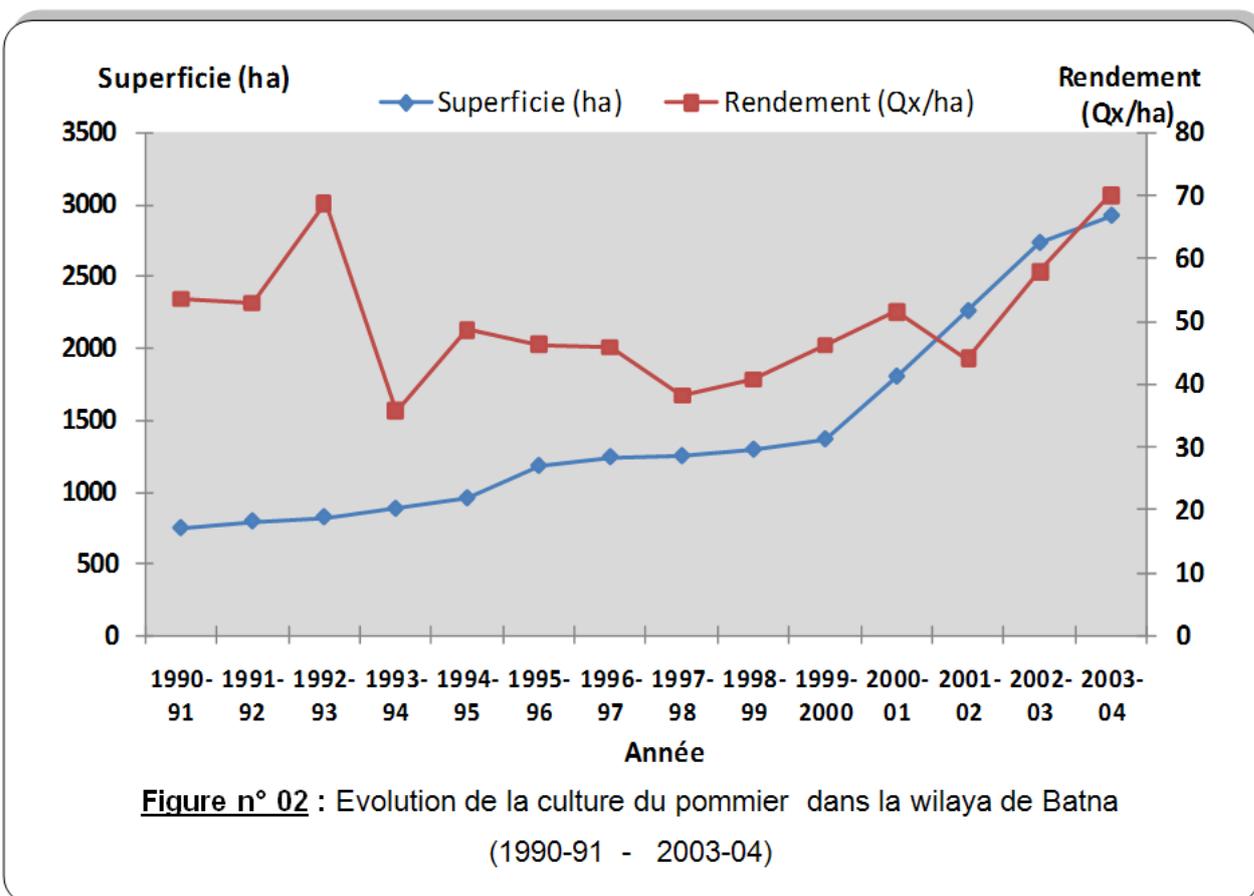
Durant les 15 dernières années, la superficie totale occupée par le pommier est passée de 747 ha (1990-1991) à 2919 ha (2003-2004) (**tableau n°05**). Avoisinant ainsi une hausse de 400% (**D.S.A., 2004**). A l'instar des autres régions du pays, la production et le rendement ont certes progressé mais demeurent insuffisants (**figure n° 02**).

**Tableau n° 05** : Evolution de la culture du pommier dans la wilaya de Batna (D.S.A., 2004)

Années	Superficie (ha)		Production (t)	Rendement (Qx / ha)
	Plantée	En production		
1990-1991	747,5	661,5	2878,2	43,5
1991-1992	795,0	598,5	3160,2	52,8
1992-1993	823,5	641,5	4407,8	68,7
1993-1994	882,0	690,5	2469,1	35,7
1994-1995	956,0	688,5	3348,3	48,6
1995-1996	1180,0	734,0	3404,7	46,3
1996-1997	1241,0	771,5	3538,5	45,8
1997-1998	1248,0	875,0	3337,0	38,1
1998-1999	1293,0	956,0	3895,1	40,7
1999-2000	1365,0	1010,5	4656,3	46,1
2000-2001	1801,0	1025,0	5277,8	51,5
2001-2002	2256,0	1131,0	4991,2	44,1
2002-2003	2730,0	1160,0	6703,0	57,6
2003-2004	2919,0	1417,0	9919,0	70,0

Plusieurs facteurs peuvent expliquer cette faiblesse :

- Erreur de conception dans le choix des systèmes de vergers (haute densité de plantation).
- Absence d'étude préalable du sol.
- Appréciation incorrecte des caractéristiques du climat
- Connaissance empirique des technique modernes de production et d'entretien du verger (travail du sol, taille, fertilisation, techniques d'irrigation, système de drainage et la lutte phytosanitaire.



**Conclusion**

Le pommier est l'espèce qui occupe la plus grande surface en matière de rosacées fruitières avec une production de 64 millions de tonnes de pommes annuellement dans le monde.

C'est un secteur qui connaît une évolution rapide stimulé par un marché porteur et une gamme variétale qui tend à se diversifier.

## **II- EXIGENCES DU POMMIER**

### **II.1- Exigences climatiques**

La dispersion du pommier sur des zones climatiques très différentes laisse supposer une grande plasticité de cette espèce au milieu (**BRETAUDEAU, 1978**) et (**GAUTIER, 1988**).

**HUGARD (1974)**, signale que la variété Golden Delicious s'étend des bords de la mer méditerranéenne jusqu'au Danemark. Il ne va pas de même pour la plupart des autres variétés, leur aire de prédilection est beaucoup plus limitée.

**GAUTIER (1988)**, indique que son aire de culture est l'une des plus étendue à travers le monde comparativement aux autres espèces.

#### **II.1.1 La température**

Les températures jouent un rôle important dans l'évolution des bourgeons, depuis l'entrée en dormance jusqu'à sa levée et au moment du débourrement et de la floraison.

Deux modes d'action de la température sont à prendre en considération :

- Les températures basses de l'hiver qui lèvent la dormance des bourgeons ;
- Les températures élevées permettent leur évolution après la levée de dormance.

##### **II.1.1.1- Les températures extrêmes hivernales**

Le pommier est une espèce rustique qui ne souffre des basses températures d'hiver que si elles sont importantes ( - 20 à - 25 °C) (**GAUTIER, 1987**).

**EIVREINOVF (1948) in ZAIDI (1985)**, signale que certains cultivars canadiens et russes s'accommodent très bien à des températures de -45°C.

Selon **GAUTIER (1988)**, les hivers rigoureux assurent une bonne levée de dormance et une floraison regroupée.

**ZAIDI (1985)**, confirme que le passage au froid hivernal est nécessaire au développement des bourgeons de pommier.

##### **II.1.1.2- Les températures moyennes**

La plupart des variétés de pommier ont des besoins moyens en froid hivernal pour lever la dormance des bourgeons. Ces derniers sont calculés en nombre d'heures de froid ou de température qui sont < 7,2°C « seuil de végétation » (**ANONYME, 1989**).

**ZAIDI (1985)**, indique que les variétés : Golden Delicious et Starkrimson nécessitent 600 à 800 heures de froid et s'adaptent bien en régions d'altitude.

Selon **GAUTIER (1988)**, les besoins en froid du pommier sont de l'ordre de 600 à 1500 °C heures de température < 7,2 °C.

Toutefois certaines variétés à faible besoin en froid (400 heures) peuvent être cultivées dans la région méditerranéenne, ce sont des variétés locales d'Afrique du nord ou des variétés Californiennes (Early Mac Intosh et Winter Banana) (**GAUTIER, 1979**).

Après le départ en végétation, des températures élevées et un bon ensoleillement sont les principaux facteurs qui favorisent la mise à fruit, ainsi qu'un bon développement des pousses et des fruits.

Selon **GAUTIER (1988)**, une température moyenne de 15°C entre Mai et Octobre suffit à beaucoup de variétés pour terminer leur fructification.

### **II.1.1.3- Les températures extrêmes printanières (Gel printanier)**

Les gelées printanières qui surviennent au début du printemps, détruisent Les fleurs, et entravent la fécondation et la nouaison, provoquant ainsi la perte de la récolte (**GAUTIER, 1987**) (tableau n° 06).

**Tableau n° 06** : Seuil de nuisibilité du gel au pommier

<b>Stades</b>	<b>Gonflement des bourgeons</b>	<b>Bourgeons éclatés</b>	<b>Boutons verts</b>	<b>Boutons épanouis</b>	<b>Chute des Pétales</b>	<b>Jeunes fruits</b>
<b>Seuil</b>	-7 °C	-3,4 °C	-2,5 °C	-2 °C	-1,5 °C	-1,5 °C

(I.N.R.A, Versailles) in (**GAUTIER, 1987**)

En Algérie, le pommier se place parmi les espèces relativement peu exposées au gel printanier car sa date de floraison est tardive, comparée à celle d'autres espèces fruitières (**ANONYME, 1989**).

**GAUTIER (1979)**, note qu'une variété se montre d'autant plus sensible au gel printanier que sa floraison est plus précoce.

### **II.1.1.4- Les températures extrêmes estivales**

Les températures extrêmes pendant l'été, supérieures à 35 °C ne semblent pas avoir par elles-mêmes, un effet limitant marqué sur les Rosacées fruitières à condition que l'évapotranspiration élevée à laquelle, elles sont associées soit compensée par un supplément hydrique adéquat (**HUGARD, 1974** et **GAUTIER, 1987**).

### **II.1.2- La pluviométrie**

La pluviométrie des régions favorables à la culture du pommier est en moyenne de 600 à 700 mm d'eau par an (**BRETAUDEAU, 1978**).

**GAUTIER (1987)**, indique que les plus forts besoins en eau se font sentir en Juillet et Août.

En Algérie, les zones où le pommier pourrait prospérer reçoivent 400 à 800 mm pendant la période hivernale (**ANONYME, 1989**). **SAPIN (1977)**, propose des doses supplémentaires d'eau en raison de 200 à 300 mm / Ha.

### **II.1.3-L'hygrométrie**

Le pommier aime les climats tempérés où l'hygrométrie est élevée (**ZAIDI, 1985**).

Cependant une hygrométrie élevée favorise certaines maladies telles que l'Oïdium et la Tavelure surtout si celle-ci se maintienne élevée durant plusieurs jours.

### **II.1.4- La lumière**

La lumière influe sur la photosynthèse, l'induction florale, le grossissement et la coloration des fruits (**GAUTIER, 1987**).

D'après **BRETAUDEAU (1975)**, les conditions idéales de luminosité pour le pommier semblent être les suivantes :

- Fin de printemps, début d'été assez lumineux (bonne induction florale) ;
- Été relativement couvert avec des nuits chaudes (bon grossissement des fruits)

### **II.1.5- La grêle**

Elle provoque des fissures dans l'écorce des arbres, hache les jeunes pousses, fait tomber les bourgeons, les fleurs et les fruits et engendre des lésions irrémédiables (**LAMONARCA, 1985** et **GAUTIER, 1987**).

### **II.1.6- Le vent**

Le vent violent brise les branches, provoque la chute des fleurs et des fruits.

Au printemps, il détériore les nouvelles feuilles, fait obstacle à l'action pollinisatrice des insectes. Il accélère la maturité des fruits, augmente l'évapotranspiration et peut conduire aux brûlures (**LAMONARCA, 1985**).

## **II.2- Les exigences édaphiques**

Selon **GAUTIER (1987)**, le sol constitue le support physique, biologique et chimique dans lequel vit et se développe le système racinaire et de ce complexe dépend la fertilité du sol et donc la bonne santé de l'arbre.

Le pommier est capable de croître et de produire des fruits dans une gamme de sol aux caractéristiques physiques et chimiques très étendues (**ANONYME, 1989**).

### **II.2.1- La profondeur**

Selon **GAUTIER (1987)**, le sol doit présenter une épaisseur suffisante pour permettre l'extension du système racinaire. De même qu'une épaisseur d'un mètre représente une bonne moyenne, on peut faire pousser des arbres sur 50 cm de terre arable.

Le pommier se plaît dans des sols profonds, sains et aérés (**BRETAUDEAU, 1978**), (**FAURE, 1979**), (**BOUHIER DE L'ECLUSE, 1983**), (**GAUTIER, 1988**) et (**ANONYME, 1989**).

## **II.2.2- Paramètres physiques**

### **II.2.2.1- La texture**

Le pommier s'adapte à une gamme de texture de sol assez large allant du sable à l'argile (GAUTIER, 1987).

FAURE (1979), signale qu'il s'accommode aux sols à texture argileuse, argilo-siliceuse (avec d'avantage de sable).

Les meilleures terres qui lui conviennent : 20-30% d'argile et 5-6% d'humus (LAMONARCA, 1985 ; BOULAY et al., 1984).

BRETAUDEAU (1978), signale que les sols trop siliceux sont à déconseiller.

Selon ANONYME (1989), les terres argilo-sablo-limoneuses sont considérées comme les plus favorables à l'arboriculture fruitière et pour le pommier « un bon sol » présente les proportions suivantes:

- Argile : 15-30%
- Limons : 15-30%
- Sables fins : 10-20%
- Sables grossiers : 20-40%

### **II.2.2.2- La structure**

Selon CALLOT et al. (1982), la structure du sol à une importance considérable pour la croissance des plantes. D'une part, elle facilite la pénétration des racines dans la masse du sol. d'autre part, elle diminue les déplacements d'eau et d'éléments fertilisants de la masse du sol vers les racines. Les même auteurs, signalent que les structures les mieux adaptées à la croissance des plantes semblent être les structures grumeleuses ou polyédriques fines dans lesquelles les agrégats ont quelques millimètres.

En Algérie, le comportement de nos sols, lié aux argiles soumises aux alternances : humectation-dessiccation, leur confère une structure qui est loin d'être aussi défavorable (ANONYME ,1989).

### **II.2.2.3- L'humidité du sol**

Le pommier redoute les excès d'humidité, par contre une fraîcheur naturelle du sol lui est indispensable (BRETAUDEAU, 1978).

En sols asphyxiants, la vigueur peut être diminuée de 15-30% selon les porte-greffes utilisés (MICHELESI, 1979).

BOULAY et al. (1984), ajoutent que le porte-greffe MM106 est peu sensible au risque d'asphyxie racinaire.

BLANCHET (1987) et FREGONI (1980) in (KECHADE, 1995), affirment que l'alimentation minérale dépend surtout de l'état d'humidité du sol.

## **II.3- Paramètres chimiques**

### **II.3.1- Le pH**

Les sols à pH acide (5,5 – 7) sont les plus favorables aux arbres fruitiers à pépins (BOUHIER DE L'ECLUSE, 1983).

FAURE (1979), signale que le pommier peut être cultivé à un pH bas de 5, sans que l'arbre souffre. Selon ANONYME (1989), le pommier supporte aussi un pH basique de l'ordre de 8,3.

### **II.3.2- Le calcaire**

Le pommier tolère mieux le calcaire actif (12-15%) que le poirier et le pêcher (BOUHIER DE L'ECLUSE, 1983), (GAUTIER, 1987) et (ANONYME, 1989).

### **II.3.3- La salinité**

Il est admis que le seuil critique pour le pommier se situe entre 1,7 - 2 mmhos/cm (ANONYME, 1989) et un taux de 2g de Na Cl / l dans la solution du sol est considéré comme une limite à ne pas franchir.

## **II.4- Les exigences culturales**

### **II.4.1- La plantation**

La meilleure époque de plantation se situe en Novembre - Décembre, afin que les jeunes plants profitent des pluies d'hiver (ANONYME, 1980).

Afin d'éviter l'affranchissement du pommier (émission de racines au-dessus du bourrelet de greffe qui inhibent l'action du porte-greffe), le bourrelet de greffe doit dépasser le niveau du sol d'au moins 10 cm (CHARTON, 1992).

La distance de plantation doit être choisie en fonction de l'espèce cultivée, du système d'exploitation envisagé (intensif ou extensif), de la vigueur du porte-greffe et de la conduite de l'arbre (tableau n° 07) (LAUMONIER, 1960 et LAMONARCA, 1985).

**Tableau n° 07** : Distance de plantation selon le type d'exploitation et le porte-greffe (CHARTON, 1992)

Type d'exploitation	Porte-greffe	Distance de plantation	Nombre de plants/ha
<b>En irrigué</b>	Faible ou moyennement faible	3 x 2 m	1666
	Moyen à vigoureux	5 x 3 m	666
	Vigoureux	5 x 5 m	400
	Très vigoureux	7 x 5 m	285
<b>En sec</b> 500 à 800 mm + de 800 mm	Très vigoureux	8 x 8 m	156
	//	7 x 7 m	204

## II.4.2- Entretien du sol

Cette opération présente une très grande importance pour l'avenir du verger, elle permet de détruire les mauvaises herbes, l'infiltration de l'eau (**LAMONARCA, 1985**).

Selon **LAUMONIER (1960)** et **LAMONARCA (1985)**, il convient de réaliser les travaux suivants :

- **Le labour d'hiver** : C'est un labour peu profond et s'adresse à toute la surface du terrain, exécuté avant la floraison, lorsque la terre est bien ressuyée.
- **Les façons superficielles de printemps et d'été** : Au cours de cette période, le sol doit être fréquemment travaillé en surface de manière à ameublir le sol et à le préserver de l'envahissement des mauvaises herbes.
- **Le labour d'automne** : Il sera plus profond que le labour d'hiver (15 à 20 cm) et permettra l'infiltration plus facile des eaux de précipitation, on profitera aussi pour l'incorporation de la fumure phospho-potassique et s'il y a lieu de la fumure organique.

## II.4.3- La fertilisation

La fertilisation du sol est pratiquée pour restituer les éléments qui ont été prélevés par les arbres. Ces apports sont indispensables à une croissance et une fructification correcte et de qualité chez l'espèce (**tableau n° 08**).

L'apport et le rôle des éléments nutritifs chez le pommier ne sont plus à démontrer, il reste dans nos conditions de déterminer :

- \* Les quantités à apporter ;
- \* L'époque d'apport ;
- \* Comment apporter.

En tenant compte de certains paramètres :

- \* La fertilité de chaque sol et même de chaque parcelle ;
- \* Les exportations par les arbres : bois de taille et récolte ;
- \* L'analyse de la plante elle-même ;
- \* Les essais de fertilisation (**ANONYME, 1989**).

**Tableau n°08** : Estimation des besoins annuels du pommier pour une production de 40 t/ha

Elément	N	P2O5	K2O	CaO	MgO	Cu	Fe	Mn	Zn
Unité	En kg / Ha / an					En grammes / Ha / an			
Dose	88,5	52,4	133,5	187,00	36,00	110,00	750,00	120,00	240,00
	(BATTER et ROGERS, 1952) in (BOULAY et al., 1984).					(TROCM, 1959) in (BOULAY et al., 1984).			

#### **II.4.4- L'irrigation**

Dans notre climat, le pommier a besoin d'irrigation surtout pour les variétés d'automne et les plus fortes doses se manifestent en Juillet-Août.

Les besoins complémentaires du pommier sont estimés à 3000 m<sup>3</sup> / Ha pour une région ayant 400 à 500 mm de pluviométrie.

La rotation des irrigations se fera selon la nature du sol :

- **Sols légers** : irrigations rapprochées avec faibles doses.
- **Sols lourds** : irrigations plus espacées avec de fortes doses.

Dans des conditions pédo-climatiques particulièrement sèches le recours à cette technique est avant tout un facteur d'augmentation du rendement. Dans certaines situations, lorsqu'elle permet d'éviter un stress hydrique sévère tout en maintenant un déficit hydrique modéré, elle peut également être un facteur de qualité (**VAN LEEUWEN et al., 2003 in TOUMI, 2006**)

D'après **TIERCELIN (1998)**, la mobilisation des engrais peut être progressive est plus régulière en culture irriguée qu'en culture sèche. La fertilisation peut être mieux valorisée Par la plante , dont la croissance n'est pas perturbée par les aléas climatiques.

#### **II.4.5- La taille**

La taille est un ensemble d'opérations destinées à conduire les arbres et à leur donner des formes afin de mieux les rentabiliser.

- **La taille de formation** : pour avoir une charpente basse, solide, aérée, équilibrée. Elle est engagée à la fin d'hiver suivant la plantation (**LAUMONIER, 1960**).
- **La taille de fructification** : se situe dans un contexte d'entretien de l'arbre. Cette opération permet d'assurer une large pénétration de l'air et de la lumière à l'intérieur de la couronne de l'arbre ainsi que l'établissement d'un équilibre annuel entre la végétation et la fructification (**LAUMONIER, 1960**), avec une meilleure répartition de la sève dans le rameau après la formation des bourgeons floraux (**GAUTIER, 1971**).

#### **II.4.6- Protection phytosanitaire**

Le pommier est sujet à plusieurs attaques de maladies et de ravageurs. Les plus fréquents sont la Tavelure, l'Oïdium, les Pucerons, le Carpocapse et les Acariens.

La protection phytosanitaire est onéreuse en raison du nombre élevé d'interventions que nécessite cette espèce. Elle dépend de la situation de chaque verger et des attaques subies la saison écoulée. Il est difficile d'établir un calendrier de traitement pour toutes les situations. La lutte phytosanitaire se résume en 3 phases :

- La connaissance du parasite (description et mode de vie) ;
- La mesure du risque (contrôles visuels, piégeages,...) ;
- Le traitement s'il est nécessaire (**CHARTON ,1992**).

## **Introduction**

Selon **BOULAY et al. (1984)**, tous les éléments nutritifs ne jouent pas le même rôle dans la nutrition végétale. Les uns ( Oxygène , Carbone , Hydrogène , Azote , Phosphore , Soufre ) sont les constituantes de base des tissus végétaux et sont assemblées au cours des synthèses organiques .

D'autre part, les cations (Potassium, Calcium, Magnésium) ont principalement pour rôle de maintenir dans le milieu interne un équilibre avec les anions.

On classe généralement les éléments minéraux nécessaires à la plante en macroéléments dont la plante a besoins en quantités élevées et en micro-éléments dont la plante a besoin en petites quantités. Ces derniers sont aussi dénommés oligo-éléments.

Les éléments minéraux sont des éléments indispensables à la vie des plantes, qui se rencontrent à des taux très variables suivant les végétaux (**HELLER et al. ,1998**).

## **I- Les principaux éléments minéraux**

Les principaux éléments minéraux actuellement reconnus comme essentiel chez les plantes : l'azote (N), le phosphore (P), le potassium (K), le calcium (Ca) , et le magnésium (Mg).

### **I.1- Rôle et importance des éléments minéraux**

#### **I.1.1- L'azote ( 1 à 5 % de la matière sèche)**

L'azote est le plus indispensable des éléments minéraux, sa présence est essentiel dans les deux fractions les plus fondamentales de la matière vivante représentée par les protéines et le cytoplasme (**MARTIN PREVEL et al., 1984**).

**BOULAY et al (1984)**, signale que l'azote avec le potassium est l'élément le plus important pour la croissance de l'arbre et l'élaboration du rendement.

Le même auteur précise que cet élément chez les arbres en production contribue à la formation des boutons floraux de qualités et rend les fleurs fécondables plus longtemps. La coulure et l'alternance sont réduites par une bonne nutrition azotée des arbres.

Selon **DUTHIL (1973)**, cet élément favorise le développement foliacé et ligneux. La floraison, la fécondation et la nouaison provoquent une faim en azote très importante.

##### **I.1.1.1- Carence en azote**

Un affaiblissement général des arbres est remarqué, la croissance est ralentie, le feuillage clair semé, tombe prématurément (**DE CORMIS et al., 1978**).

On assiste à une coloration vert – pâle des feuilles plus âgées. Puis mort et ou chute de celles-ci selon gravité de la carence, diminution de la teneur en protéines. En cas de carence aigue, forte réduction de la floraison (**ANONYME, 1987**).

**HUGUET (1978)** signale que cette carence peut être due à la pauvreté de la roche mère en cet élément, au lessivage excessif de celui-ci ou à l'immobilisation de cet élément.

Selon **KHELIL (1980)**, il est nécessaire qu'il y ait un taux d'azote suffisant avant la floraison pour subvenir à la croissance et au grossissement des fruits après la nouaison. Il est par contre déconseillé d'apporter de l'azote au cours de la floraison, étant donné que celui-ci va accélérer la poussée végétative au détriment de l'alimentation azotée des fleurs.

En général, une fumure azotée appropriée appliquée sur le feuillage (pulvérisation d'urée) ou via le sol (nitrate) permettra de compenser la carence et d'assurer une reprise de la croissance (**LEPOIVRE, 2003**)

Des carences risquent d'apparaître dans des vergers soumis à l'enherbement suite à une concurrence importante durant les premières années de son installation (**DE CORMIS et al., 1978**)

D'autres paramètres ralentissent ou inhibent la nutrition azotée telle que le froid ou l'excès d'eau (**KHELIL, 1980**).

Selon **DE CORMIS et al. (1978)**, les fumures azotées en surface permettent de prévenir et de guérir plus ou moins rapidement les carences.

L'excès d'azote engendre un retard de maturité, ramollissement et une sensibilité accrue des tissus aux maladies cryptogamiques et parasitaires et une floraison insuffisante (**SOLTNER, 2000**).

### **I.1.2- Le phosphore (0.1 à 0.5 % de matière sèche)**

C'est un élément très mobile dans la plante, il entre dans la constitution de certains éléments structuraux essentiels à la vie cellulaire ( phospholipides, nucléotides, ATP, ADP, ...).

Il intervient dans les fonctions métaboliques essentielles : (respiration, assimilation, ...) et il est particulièrement concentré dans les zones d'intense activité cellulaire (méristème).

Le phosphore joue le rôle de stimulateur. Il participe activement à la formation des racines et, par le fait même, à l'absorption de tous les autres éléments. De plus, la floraison et la formation des graines sont directement liées à l'action du phosphore. Le phosphore assimilable par les plantes provient en grande partie de la décomposition de la matière organique du sol (**ANONYME, 1999**)

**KHELIL (1989)**, signale que les besoins en cet élément chez les arbres fruitiers sont peu élevés et les carences peu fréquentes.

#### **I.1.2.1- Carence en phosphore**

Retard de la maturité, mauvaise formation des graines et des fruits ou leur absence totale (**ANONYME, 1987**)

Tronc et branches du pommier deviennent rougeâtres. Les feuilles sont petites et ternes ou prennent des teintes rougeâtres (**ANONYME, 2005**)

**TAHA (2001)** indique que les feuilles de la partie basale de la pousse sont d'un rouge violacé, avec diminution des bourgeons floraux.

**SOLTNER (2000)** indique que la carence en phosphore rend la plante moins résistante au froid.

L'insuffisance de cet élément dans le sol peut être secondaire à d'autres facteurs qui peuvent réduire son assimilabilité par le pommier. Parmi les facteurs qui induisent la carence en cet élément, nous citons les sols très calcaires ou très acides, le mauvais choix du porte-greffe, le fonctionnement défectueux du système racinaire et enfin l'action du froid (**KHELIL, 1980**)

Le traitement des carences en phosphore nécessite un programme général de fertilisation avant et après plantation. Un redressement rapide fait appel à des fumures localisées au niveau des racines. Les pulvérisations sur le feuillage (phosphate mono-ammoniaque ou potassique à 5 g/l) ne sont pas très efficaces (**DE CORMIS et al., 1978**).

L'excès de phosphore (rare) entraîne une diminution des teneurs en oligo-éléments, de l'acidité et de la vitamine C (**KHELIL, 1980**)

### **I.1.3- Le potassium (0.4 à 4 % de matière sèche)**

Contrairement à l'azote et au phosphore qui sont des éléments plastiques, le potassium est un élément d'échange permettant à la fois des synthèses cellulaires et des transport inter-cellulaires. Ces deux fonctions sont permises par deux caractéristiques d'où découlent les différents rôles du potassium. D'une part sa charge positive qui permet la neutralisation d'anions et d'autre part sa faible hydratation et sa grande mobilité à travers les parois cellulaires et les vaisseaux. Aboutissant finalement à la conduite des produits de synthèse d'un organe à l'autre (**SOLTNER, 2000**)

Les rôles du potassium d'après le même auteur sont la gestion de l'eau de la plante en favorisant son absorption ou son départ par transpiration ; et toute insuffisance diminue la résistance à la sécheresse. Il régule la photosynthèse en ouvrant ou en fermant les stomates par variation de la pression osmotique des cellules stomatiques. Il facilite la migration des glucides en régulant leur métabolisme dans les feuilles puis leur transport. Enfin il active certains enzymes notamment ceux qui interviennent dans la synthèse des protéines.

**TAHA (2001)** note que le potassium joue également un rôle dans la réduction des sucres en les transformant en amidon et aide la plante à absorber l'azote du sol.

Le potassium intervient aussi dans l'élaboration de la qualité des fruits (calibre, coloration, qualité gustative) et confère aux arbres une certaine résistance aux maladies et aux ravageurs (**GAUTIER, 1987**)

#### **I.1.3.1- Carence en potassium**

Les symptômes de déficience ne se manifestent généralement que sur des plantes ayant atteint un certain degré de développement (**BOVEY et al., 1979**)

Au printemps, le bord du limbe rougit légèrement ou se décolore. Chez la plupart des variétés, les feuilles ont tendance à s'enrouler en gouttière vers le haut, puis les parties atteintes se dessèchent et brunissent "Leaf Scorch". Ces symptômes progressent vers l'intérieur, plus ou moins entre les nervures. Les feuilles âgées sont atteintes en premier lieu (parfois les feuilles du milieu des rameaux) et il n'y a pas de chute prématurée. On assiste souvent à une floraison plus abondante que la normale, une coloration plus foncée du feuillage avec diminution de la formation des bourgeons fructifères (**TAHA, 2001**).

**DE CORMIS et al. (1978)** ; **BOVEY et al. (1979)** notent une diminution de la vigueur des arbres avec des fruits de petit calibre qui mûrissent mal et une grande sensibilité aux maladies et aux ravageurs

**SOLTNER (2000)** signale qu'une insuffisance en potassium peut réduire la résistance à la sécheresse et favoriser une accumulation de l'azote minéral.

La carence sévère en potassium a des répercussions aussi bien sur le rendement que sur la qualité des fruits. Elle est très fréquente en Algérie sur arbres fruitiers (**KHELIL, 1980**).

La carence en potassium constitue une des causes du dépérissement des pommiers de la variété Reinette du Canada et de Golden Delicious (**BOVAY, 1979**)

La carence est essentiellement provoquée par une teneur insuffisante du sol en potassium échangeable et peut survenir dans tous les types de sols. Plusieurs facteurs aggravent le phénomène ou hâtent son apparition comme la fertilisation azotée trop élevée, la sécheresse estivale, la teneur élevée du sol en magnésium, les exigences particulières de certains porte-greffes et variétés (**DELAS, 2000**)

Les excès de potassium sont fréquents et contrarient l'absorption des éléments comme le calcium, le sodium et le magnésium (**KHELIL, 1980**).

#### **I.1.4- Le calcium (0.5 à 3.5 % de la matière sèche)**

Le calcium constituant des membranes cellulaires sous forme de pectate de calcium ; nécessaire pour la mitose normale (division cellulaire). Améliore la stabilité des membranes et le maintien de la structure des chromosomes , active les enzymes. Agit comme antibiotique en neutralisant les acides organiques dans la plante (**ANONYME, 1987**).

Il est présent dans les parois pectiques, donne une certaine résistance aux tissus, favorise la formation et la maturation des fruits (**SOLTNER, 2000**)

**KHELIL (1980)** signale que les arbres fruitiers et la vigne sont assez bien pourvus en calcium, en Algérie, on ne rencontre jamais de déficience de calcium, car les sols contiennent généralement des quantités suffisantes pour satisfaire les besoins de la plante.

##### **I.1.4.1- Carence en calcium**

Dans les vergers où la carence en calcium a été signalée notamment en sols sableux à pH acide insuffisamment pourvus en calcium, des symptômes sur fruits de type "Bitter – Pit" ont été observés. Ce phénomène est en relation avec les valeurs du rapport (K + Mg)/Ca dans les fruits. Lorsque ce rapport est inférieur à 0.60, le risque de l'apparition du Bitter – Pit lors du stockage des fruits est réduit (**KHELIL, 1980**).

**BRETAUDEAU et FAURE (1992)** signalent que la carence en calcium se manifeste en terrains très acides ou ayant reçu une fumure organique trop forte, ce qui paralyse l'assimilation du calcium par la plante. Chez le pommier le fruit reste vert et acide.

Des phénomènes de carence en fer, en acide phosphorique, en bore et magnésium peuvent apparaître en présence d'un excès de calcium (**ANONYME, 2005**).

Les excès de potassium et d'azote sont particulièrement néfastes vis-à-vis de l'absorption du calcium (**GAUTIER, 1987**).

Par contre l'excès de calcium, gêne l'absorption du potassium, du phosphore et des oligo-éléments (notamment le fer) induisant ainsi des chloroses (**KHELIL, 1980**)

Selon le même auteur, les excès du calcium (sols calcaires, les apports de matières organiques limitent les chloroses.

### **I.1.5- Le magnésium (0.1 à 1 % de matière sèche)**

Les plantes absorbent l'ion  $Mg^{++}$  en solution de l'eau du sol. Le magnésium est un constituant de la chlorophylle et il intervient comme activateur d'enzyme, notamment dans les processus de la respiration (**SOLTNER, 2000**)

Il est aussi essentiel à la fixation du gaz carbonique de l'air et à la synthèse des sucres par le végétal (**DELAS, 2000**)

Dans l'arbre, le magnésium se porte vers les zones de croissance active, en période de forte absorption (mai – juin) (**GAUTIER, 1987**).

Par ailleurs, il est étroitement lié au métabolisme du phosphore dans la plante puisqu'il en favorise l'absorption et le transport dans la graine, où il permet la synthèse de la phytine et celle des lipides (**KHELIL, 1980 et SOLTNER, 2000**).

Il influe aussi sur la régulation stomatique des feuilles et s'avère nécessaire à la formation des bourgeons (**GAUTIER, 1987**).

Il favorise la fécondation, la formation des fruits et des graines, élève la teneur des végétaux en vitamine A et C et augmente la turgescence (gonflement par hydratation) des tissus (**SOLTNER, 2000**).

#### **I.1.5.1- Carence en magnésium**

La déficience magnésienne selon **GAUTIER (1978)** et **KHELIL (1980)**, se répercute sur le fonctionnement des feuilles qui est à l'origine de la dégénérescence des chloroplastes, du blocage des stomates, de la disparition de la chlorophylle d'abord sur les bords puis à l'extrémité des feuilles et enfin la partie du limbe contenant de la chlorophylle prend la forme d'un V renversé.

Les mêmes auteurs signalent également une décoloration des feuilles (entre les nervures) qui tombent prématurément, un aplatissement des fruits (cas de la Golden Delicious) qui deviennent plus petits avec moins d'éléments solubles, de vitamine C et plus sensibles au froid.

L'apparition de nécroses succède parfois très rapidement à celle de chloroses, ou bien elles constituent la première manifestation visible de la carence. Parfois aussi, on n'observe que des chloroses et pas de nécroses. La coloration des plages chlorotiques ou nécrosées diffère selon les espèces et les variétés, par exemple la chlorose jaune clair chez Golden Delicious (**DE CORMIS et al., 1978**)

Quand les signes de carences apparaissent relativement tard en saison et restent peu accusés, les incidents sur la production ne sont pas marqués. On peut alors observer une diminution du poids moyen des fruits, de leur qualité, de leur aptitude à la conservation. Si la déficience est sévère, la réduction de la récolte est importante et les feuilles se détachent prématurément (**DE CORMIS et al., 1978 et KHELIL, 1980**).

Les carences magnésiennes ont été observées dans de nombreux types de sols algériens (**KHELIL, 1989**).

Les déficiences sont favorisées par une alimentation excessive en potassium qui extériorise des insuffisances magnésiennes latentes (antagonisme K – Mg). Certains conditions climatiques comme la sécheresse et le vent, les pluies précédées d'une élévation de température prédisposent la plante à la carence (**DE CORMIS et al., 1978 et KHELIL, 1980**).

**BOULAY (1989)** indique que la prévention et le traitement de la carence magnésienne peuvent se faire par des apports de matière organique sous forme de fumier ou d'engrais magnésiens.

Les pulvérisations foliaires seront répétées dès le printemps à base de sulfate ou nitrate de magnésium, en évitant l'excès d'engrais potassiques. L'emploi d'engrais potassique et magnésien donnent des résultats satisfaisants (**DE CORMIS et al., 1978 ; KHELIL, 1980 ; BOULAY, 1989 et TAHA, 2001**)

Chez le pommier, l'apport exagéré de magnésium risque de favoriser le " Bitter-Pit" du fait de l'antagonisme Mg-Ca (**DE CORMIS et al., 1978 ; KHELIL, 1980**).

## **I.2- Les formes des éléments dans le sol**

### **I.2.1- L'azote dans le sol**

Dans le sol, l'azote se trouve essentiellement sous trois formes: organique, ammoniacale et nitrique. L'azote est assimilé par la plante sous la forme nitrate ( $\text{NO}^{3-}$ ) ou ammonium ( $\text{NH}^{4+}$ ). Les plantes peuvent utiliser ces deux formes à la fois dans leur processus de croissance. Cependant, la partie la plus importante de l'azote absorbée par la plante l'est sous forme de nitrate. Cet ion est mobile et circule avec la solution du sol vers les racines de la plante. Sous certaines conditions de température, d'aération, d'humidité et de pH, les micro-organismes du sol changent toutes formes d'azote en nitrate (**SOLTNER, 2000**).

La forme organique représente presque 95% de l'azote total du sol, notamment sous forme de matière organique. Cet azote est minéralisé progressivement sous l'action de la flore microbienne (1 à 2% par an) pour se retrouver en fin d'évolution sous forme nitrique ( $\text{NO}^{3-}$ ). (**SOLTNER, 2000**)

Les formes inorganiques rencontrées dans le sol sont constituées par l'azote nitrique ( $\text{NO}^{3-}$ ), l'azote ammoniacal ( $\text{NH}^{4+}$ ), l'azote gazeux ( $\text{N}_2$ ) et l'oxyde d'azote ( $\text{NO}_2$ ). La fraction d'azote minéral dans le sol représente moins de 5% de l'azote total. L'azote minéral se trouve principalement sous forme d'ammonium et de nitrate. (**CLEMENT, 1990**)

La forme ammoniacale ( $\text{NH}^{4+}$ ) est le résultat de la première transformation de l'azote organique du sol. Cette forme est soluble dans l'eau et bien retenue par le pouvoir adsorbant du sol, elle est transitoire et sera transformée ensuite en azote nitrique.

La forme nitrique ( $\text{NO}^{3-}$ ) est la plus mobile dans le sol et par conséquent la plus accessible aux plantes. (**SOLTNER, 2000**)

L'azote est l'élément le plus exposé au lessivage en raison de sa grande mobilité dans le sol. Les pertes par lessivage sont d'autant plus importantes que:

- ▶ Les quantités d'eau (pluie et irrigation) reçues par le sol sont importantes,
- ▶ La texture du sol est grossière: l'azote est plus facilement lessivé dans les sols sableux,
- ▶ L'engrais apporté est sous forme nitrique. L'urée et le sulfate d'ammoniaque sont moins exposés au lessivage que l'ammonitrate.

Pour tenir compte des pertes par lessivage, il est conseillé de majorer les apports d'engrais de 5 à 30 % selon la combinaison des facteurs cités ci-dessus, aggravant ce risque (**ELALAOUI, 2007**).

## **I.2.2- Phosphore dans le sol**

Dans le sol, le phosphore est présent sous plusieurs formes:

- ▶ Le phosphore de la roche mère (non assimilable par les plantes);
- ▶ Le phosphore de la phase solide (disponible aux plantes au cours d'un cycle de culture). Cette forme a une plus grande solubilité que le phosphore de la roche mère;
- ▶ Le phosphore de la solution du sol qui peut être utilisé immédiatement par les plantes.

Trois ions phosphore existent:  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ,  $\text{HPO}_4^{2-}$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ . Ce dernier ne se rencontre en quantité notable qu'aux valeurs élevées du pH. La plante absorbe le phosphore sous forme  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  ou  $\text{HPO}_4^{2-}$ , selon le pH du sol (SOLTNER, 2000).

### **Le phosphore insoluble des roches mères**

Il représente la très grande majorité du phosphore total du sol, forme quasiment inutilisable par la plante. Mais, c'est la réserve générale à partir de laquelle une petite fraction parviendra au bout de la chaîne dans les solutions du sol, à la suite de nombreuses et lentes transformations de nature physico-chimiques ou biotiques (ELALAOUI, 2007).

### **Le phosphore lié aux constituants organiques**

Dans ce cas, le phosphore se trouve engagé dans des structures moléculaires organiques plus ou moins stables et non assimilables par la plante. L'humus intervient dans l'alimentation phosphorique en limitant l'évolution de l'acide phosphorique vers des formes plus difficilement assimilables par le végétal, notamment en sol calcaire (ELALAOUI, 2007).

### **Le phosphore lié aux constituants minéraux**

Les ions phosphoriques peuvent être fixés sur le complexe argilo-humique, particulièrement sur les argiles. L'augmentation de la teneur en argile diminue le coefficient de diffusion du phosphore à cause de l'augmentation des sites d'adsorption à la surface des particules. Le  $\text{P}_2\text{O}_5$  adsorbé ne représente qu'une faible partie du phosphore total. Il constitue la majeure partie du phosphore assimilable ou échangeable qui, suivant les sols peut atteindre 300 à 500 Kg/ha (ELALAOUI, 2007).

Dans les sols calcaires, les ions phosphore solubles s'insolubilisent très progressivement sous forme de phosphates tricalciques et pour une faible part sous forme d'apatite (ELALAOUI, 2007).

### **Le phosphore de la solution du sol**

C'est la fraction du phosphate total la plus faible et en même temps la plus importante pour l'alimentation de la plante. Le phosphore se trouve sous les deux formes  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  et  $\text{HPO}_4^{2-}$  qui sont dominantes dans la solution du sol. La solubilité des minéraux de phosphore et la concentration des sols en  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  et  $\text{HPO}_4^{2-}$  sont fortement dépendantes du pH. L'ensemble des deux dernières formes de phosphore (celui de la solution du sol et celui adsorbé sur le complexe) représente le pool alimentaire qui constitue la fraction du phosphore total considérée comme la principale réserve alimentaire. Elle correspond au phosphore assimilable ou échangeable (ELALAOUI, 2007).

### **I.2.3- Potassium dans le sol**

Le potassium est absorbé par la plante sous sa forme ionique  $K^+$ . Il est essentiel pour la translocation des sucres et pour la formation de l'amidon. Il intervient dans la régulation osmotique et ionique, ainsi que dans le processus d'ouverture et de fermeture des stomates. Le potassium est nécessaire pour plusieurs fonctions enzymatiques et pour le métabolisme des protéines et des carbohydrates (CLEMENT, 1990).

Dans le sol, le potassium se trouve sous quatre formes principales de valeur inégale pour la plante (SOLTNER, 2000).

#### **Le potassium dans la solution du sol**

Le potassium dans la solution du sol est directement absorbé par la plante. Cette fraction du potassium est la plus faible et la plus variable dans le sol. La vitesse de réapprovisionnement de la solution du sol en potassium est une caractéristique intrinsèque du sol. Cette capacité est appelée le "pouvoir tampon". Quand les plantes puisent leurs besoins en potassium du sol par absorption racinaire, les sols argileux réapprovisionnent plus rapidement la solution du sol en cet élément que les sols sableux.

#### **Le potassium adsorbé**

Il existe un équilibre entre le potassium de la solution du sol et celui qui est adsorbé sur le complexe d'échange cationique, les deux états constituent un tout utilisable pour l'alimentation de la plante: C'est le potassium échangeable ou assimilable.

Le potassium échangeable correspond à la quantité de  $K^+$  de la solution du sol et celle adsorbée au complexe d'échange et qui est extractible avec une solution d'acétate d'ammonium normale et neutre. En utilisant l'acétate d'ammonium, 95% du potassium adsorbé au complexe argileux humique du sol peuvent être extraits. Le potassium échangeable est un très bon indice de la disponibilité du potassium dans les sols.

#### **Le potassium à l'intérieur des réseaux cristallins**

C'est le potassium interne qui intervient plus difficilement dans l'alimentation de la plante. En effet, les ions  $K^+$  ne restent pas tous adsorbés à l'extérieur du complexe d'échange, ils peuvent aussi pénétrer à l'intérieur entre les feuillets d'argile. On dit alors que le potassium est rétrogradé ou fixé sous forme non échangeable. Mais quand le potassium repasse à l'extérieur du complexe, il redevient utilisable par la plante: on dit alors que le potassium est régénéré. Cette forme du potassium peut dans certaines conditions contribuer de manière très significative à l'alimentation des plantes.

#### **Le potassium non échangeable**

Les formations cristallines et volcaniques sont généralement riches en potasse (2 à 7% dans les feldspaths du granite), mais cette potasse se trouve sous forme pratiquement insoluble donc inutilisable par la plante. Toutefois, sous l'action des agents atmosphériques et des racines, une petite fraction pourrait être mise à la disposition des plantes.

Les apports massifs de potassium ainsi que des teneurs du sol en potassium trop élevées peuvent induire des carences en magnésium et en calcium.

#### **1.2.4- Le calcium dans le sol**

Le calcium est présent dans le sol soit comme constituant du calcaire (plus ou moins actif), soit à l'état ionique (sous forme de calcium échangeable, lié au complexe absorbant), soit sous forme de sels solubles (CLEMENT ; 1990).

#### **Le calcium échangeable**

Lié au complexe argilo-humique. Le calcium échangeable a une importance considérable dans le sol du fait de ses propriétés et du fait qu'il représente jusqu'à 80 à 90 % des éléments échangeables dans le sol.

#### **Le potassium soluble**

Se trouve dissous dans l'eau du sol et provient du bicarbonate de calcium et d'autres sels solubles, tels que le nitrate et le sulfate (CLEMENT, 1990)

#### **1.2.5- Le magnésium**

Dans les sols, la teneur en magnésium (exprimée en magnésie Mgo) varie généralement de 1 à 30 ‰ du poids de terre sèche, mais seulement une faible partie de ce magnésium est échangeable, donc utilisable pour l'alimentation des plantes (CLEMENT, 1990)

### **I.3- Toxicité des éléments minéraux**

Lorsqu'un élément est présenté sous forme assimilable en quantité très importante, la plante s'enrichit en cet élément sans que la production de la matière sèche augmente (il s'agit d'une consommation de luxe) mais, au delà d'un certain taux, le métabolisme végétal est contrarié, le rendement de la culture baisse et la mort de la plante peut survenir dans les cas extrêmes.

L'acidité des sols étant un facteur de solubilité des métaux, on observera des phytotoxicités surtout en sol très acides (COIC et COPPENETT, 1989).

### **I.4- Les interactions entre les éléments minéraux**

Les éléments nutritifs sont susceptibles d'exercer les uns sur les autres des actions qui aboutissent soit à stimuler soit à inhiber leur absorption par le végétal.

#### **I.4.1- Les antagonismes**

C'est une action d'opposition entre deux éléments, l'un tendant à prendre la place de l'autre et réciproquement, ce qui réduit son absorption (CLEMENT, 1990). Parmi les antagonismes les plus importants, nous citons :

*a/- Interaction N-K* : Une fertilisation azotée trop élevée aggrave les risques d'une carence potassique (BRETAUDEAU, 1992 ; DELAS, 2000).

L'interaction N-K tire son importance du rôle des deux éléments dans la constitution du rendement et de la qualité (LOUE, 1982).

Le potassium par son action spécifique permet à la plante de synthétiser les composés organiques liés à l'absorption d'azote (STEINECH et HAEDER, cité par LOUE, 1982)

- b/- Interaction N - Mg* : Un excès d'azote ammoniacal peut induire une carence en magnésium (RYSER et HELLER, 1997).
- c/- Interaction N-Cu* : L'absorption du cuivre est limitée par l'abondance des ions nitriques suite à un apport d'engrais azotés (SOLTNER, 2000).
- d/- Interaction N-B* : Un excès en azote peut provoquer une carence en bore (BRETAUDEAU et FAURE, 1992)
- e/- Interaction P-Cu, P- Zn* : SOLTNER (2000), signale que l'augmentation de la fumure phosphatée se traduit par une diminution de l'assimilabilité du cuivre et du zinc.
- f/- Interaction P- Fe* : L'interaction entre l'élément phosphore et fer est très souvent citée suite au blocage du fer par une richesse de la solution du sol en phosphore (LOUE, 1993).
- g/- Interaction K-Na, K-Mg, K- Ca* : L'excès de potassium conduit à la baisse de l'absorption du calcium, du magnésium et du sodium (DE CORMIS et al., 1978 ; BELGER et RYSER, 2002).
- h/- Interaction K- B* : L'apport excessif de potassium entrave l'assimilabilité du bore (SOLTNER, 2000).
- i/- Interaction K-Fe* : Cette interaction semble présenter des aspects contradictoires. D'une part il a été vérifié que les organes chlorotiques présentaient des teneurs élevées en potassium, d'autre part la déficience en potassium est susceptible de favoriser des chloroses ferriques (LOUE, 1993).
- j/- Interaction Ca- Mn, Ca- Fe, Ca- B, Ca- Cu, Ca- Zn* : L'excès de calcium a pour effet soit directement, soit par un relèvement du pH (alcalinisation du milieu), d'entraîner une baisse dans l'assimilabilité du manganèse du fer, du bore, du cuivre et du zinc (SOLTNER, 2000 ; BELGER et RYSER, 2002).
- k/- Interaction Ca- Mg* : Bitter-Pit (maladie physiologique), est due à l'antagonisme entre magnésium et calcium et rend la conservation des fruits difficile (DE CORMIS et al., 1978).
- l/- Interaction Fe- Zn* : L'interaction entre l'élément fer et le zinc est surtout connue dans le sens des effets des déficiences en zinc sur les niveaux en fer des plantes. Les plantes déficientes en zinc ont des teneurs en fer beaucoup plus élevées (LOUE, 1993).
- m/- Interaction Fe-Cu et Fe-Mn* : Des concentrations élevées en cuivre dans une solution nutritive et des teneurs également élevées en manganèse induisent des chloroses ferriques sur agrumes. Cette chlorose due au manganèse est très connue chez les plantes cultivées (LOUE, 1993).
- n/- Interaction Mo- Fe, Mo- Zn, Mo- Mn, Mo- Cu* : L'excès de molybdène peut entraîner une baisse des capacités d'absorption du fer, du zinc, du manganèse et du cuivre (BELGER et RYSER, 2002).

### **I.4.2- Les synergies**

Ce sont des actions stimulantes que produit un élément sur l'absorption d'un autre. C'est-à-dire un élément favorise l'absorption ou l'utilisation d'un autre élément (**ANONYME, 1985**).

L'absorption des ions phosphoriques est facilitée par les ions de magnésium, ceci serait due à la mise en jeu d'une ATPase activée par ce dernier (**LAFON et al ., 1996**) et (**HELLER et al., 1998**).

L'azote ammoniacal favorise la pénétration du phosphore (**MARTIN-PREVEL et al ., 1984**).

**BINET et PRUNET (1967)** indiquent que le phosphore intervient dans la pénétration et la fixation du fer ; c'est pourquoi certaines chloroses de type « chlorose ferrique » ne peuvent être guéries par un apport de fer et sont liées en réalité à l'insuffisance du phosphore.

L'existence des interactions ioniques montre que ce ne sont pas seulement les doses totales des différents ions qui sont importantes à la nutrition des plantes, mais aussi les proportions entre les doses (**LAFON et al., 1996**).

### **I.4.3- Le blocage**

C'est le phénomène par lequel un élément utile à la plante réduit l'assimilabilité d'un autre sans pour autant prendre sa place. Il se produit pour certains éléments minéraux lorsque le pH est supérieur à 7, par excès de calcium. Dans ce cas il est dû à une réduction de la solubilité de l'élément qui ne peut plus être véhiculé par les racines de la plante. Il en est ainsi pour le phosphore, le zinc, le manganèse, le fer et le cuivre.

### **I.4.4- Précipitation réciproque**

Il s'agit de simples précipitations chimiques

## II- Facteurs influençant la composition minérale des feuilles

La composition minérale des feuilles dépend d'un grand nombre de facteurs qui sont à la fois complexes et variés. A cet égard, l'interprétation des résultats du diagnostic foliaire doit être très prudente (DUDE, 1978).

Les résultats d'analyse des feuilles doivent être examinés en tenant compte d'un certain nombre de facteurs qui influencent leur composition ces facteurs sont :

### II.1- Facteurs liés à l'arbre

#### II.1.1- L'espèce et la variété

Selon KHELIL (1980) et GAUTIER (1984), les teneurs en éléments minéraux varient avec l'espèce fruitière et pour une même espèce avec les variétés.

Les feuilles des rosacées à noyaux présentent des teneurs plus élevées en azote et en potassium comparativement à celles des rosacées à pépins (tableau n° 09) (DUDE, 1978).

**Tableau n° 09** : Compositions foliaires des rosacées fruitières en pourcentage de matière sèche (niveaux considérés satisfaisants)

Espèce \ Elément	Azote	Phosphore	Potassium	Magnésium
Pommier	2.50	0.22	1.60	0.30
Poirier	2.30	0.20	1.35	0.25
Pêcher	3.90	0.30	2.70	0.40
Abricotier	2.75	0.25	2.25	0.35
Prunier	2.35	0.22	2.25	0.30

(LEVY, 1973) in (DUDE, 1978)

BOULAY (1989) signale que la Cox's Orange possède des teneurs foliaires plus élevées en N, P, K, que la Golden Délicious, cette dernière étant plus minéralisée en Ca, et en Mg.

TRZINSKI in MARTIN-PREVEL et al. (1984), signale que la variété Cox's Orange prélève plus facilement le potassium que le calcium, alors que la Golden Délicious dans les mêmes conditions absorbe ces deux éléments de manière plus équilibrée.

**Tableau n° 10** : influence de la variété sur la composition minérale des feuilles de pommier prise à mi-rameau entre le 30 juin et le 11 août (en % de MS)

Eléments \ Variétés		Delicious	Jonathan	Mc Intosh	Northern Spy
%	N*	2,31	2,23	2,17	2,10
	K*	1,83	1,39	1,46	1,83
	P	0,237	0,197	0,203	0,228
	Ca*	0,95	1,09	1,05	0,92
	Mg*	0,324	0,288	0,275	0,301
Ppm	Fe	245	270	228	229
	Cu	12,6	13,1	12,4	12,2
	B*	38,1	30,2	30,4	29,7
	Mo*	4,1	4,7	4,6	4,1
	Al	245	359	329	252

Différences significatives au seuil de 5% = \*

(AWAD ET KENWORTHY, 1963) in (DUDE, 1978)

La variété agit par l'influence du patrimoine génétique qui fait que deux plantes d'espèces différentes poussant sur une même solution nutritive ou sur un même sol n'auront pas, au bout d'un certain temps la même composition (**tableau n° 10**)

### II.1.2- Le porte-greffe

La nature du porte-greffe peut influencer la composition minérale des feuilles. Cette influence du porte-greffe sur la nutrition s'exerce surtout sur la différenciation des cations (K, Ca, Mg), plus que l'azote et le phosphore (**tableau n° 11**) (**BOULAY, 1989**).

Les concentrations des feuilles du pommier en calcium et magnésium sont plus élevées sur le M9 que sur le M7, alors que c'est souvent l'inverse pour le potassium (**WHITFIELD, 1963 in MARTIN PREVEL et al.,1984**)

**LEFEVER in GAUTIER (1975)**, constate que les feuilles de Cox's Orange pépin et Golden Délicieux greffée sur M9 sont plus riches en calcium et magnésium et plus pauvres en azote, et phosphore que celles greffées sur M2

Pour **TURKY et al. (1962) in BOULAY (1989)**, l'effet du porte-greffe n'est pas majeur, chaque partie de l'arbre influence la nutrition minérale

Selon **FERGONI et al (1984) in KECHAD (1995)**, un greffon qui accumule de petites quantités d'un éléments minéral aura toujours une teneur basse en cet élément, même s'il est greffé sur un porte-greffe qui en absorbe de grandes quantités, inversement l'association porte-greffe mauvais extracteur avec un greffon gros consommateur, matérialise un cas limité.

**BAJIC et PAVNOVIC (1981) in BENAZIZA (1997)** notent que la composition minérale de sept variétés d'abricotier greffées sur le même porte-greffe myrobolan est très différente.

**Tableau n° 11** : Influence du porte-greffe sur la composition minérale des feuilles de pommier prise à mi-rameau au mois de juillet (en % de MS)

Eléments	Site	Porte-greffes			
		M9	M7	M2	M106
Azote	Churchields	2,89	2,93	2,93	3,04*
	Larkfield	2,92	2,94	3,02	3,01
Phosphore	Churchields	0,22	0,22	0,24	0,22**
	Larkfield	0,21	0,21	0,22	0,21*
Potassium	Churchields	1,05***	1,32	1,13	1,19
	Larkfield	1,81	1,74	1,54	1,72***
Calcium	Churchields	0,98***	0,62	0,91	0,75***
	Larkfield	1,01***	0,82	0,97	0,78***
Magnesium	Churchields	0,17***	0,12	0,21	0,19
	Larkfield	0,16***	0,14	0,19	0,16**

**Différences significatives entre porte-greffes au seuil de 5% = \*, 1%= \*\*, 0.1= \*\*\***

(WHITFIELD, 1963 in DUDE, 1978)

### **II.1.3- L'âge de l'arbre**

**EMMERT (1955) et GAUTIER (1976) in (DUDE ,1978)** ont rapporté des changements dans la composition minérale des feuilles liés à l'âge de l'arbre.

Pour le premier auteur, les arbres âgés de 16 à 25 ans ont des taux en calcium et en magnésium plus élevés que les arbres âgés de 9 à 16 ans.

**GAUTIER (1968) in (MARTIN-PREVEL et al., 1984)** note lors d'un suivi pendant 26 ans d'un verger de pommier (variété Belle de Boskoop) une décroissance régulière des teneurs en éléments des feuilles.

**THOMPSON in (DUDE, 1978)** avait rapporté une diminution des taux d'azote et de magnésium chez les arbres âgés de plus de 30 ans avec une augmentation de la teneur calcique, mais un maintien d'un niveau normal du phosphore dans les feuilles.

**GAUTIER (1976) in DUDE (1978)** a montré qu'à la sixième année de plantation, les arbres présentaient un taux élevé en azote dans les feuilles, particulièrement chez ceux ne recevant pas d'engrais azotés, avec tendance à l'enrichissement potassique dans les feuilles d'arbres âgés.

**MARTIN PREVEL et al. (1984)** rapportent que le taux d'azote diminue régulièrement avec l'âge de 5 à 25 ans, même si le verger est régulièrement alimenté en azote.

### **II.1.4- La charge en fruits de l'arbre**

Il est généralement admis qu'un accroissement de récolte s'accompagne d'un abaissement des teneurs potassiques et d'une élévation des teneurs en calcium et magnésium des feuilles. Les résultats concernant le phosphore sont plus contradictoires (**TRZCINSKI ,1978 in GAGNARD ,1988**).

**BOULAY et al (1984)** signale qu'une forte récolte est à l'origine d'une augmentation des taux d'azote, du calcium et du magnésium et une diminution de la teneur en potassium dans les feuilles du pommier.

Chez les arbres fruitiers, la composition minérale des feuilles est influencée par l'importance de la récolte. **DUDE (1978)** signale qu'il a été fréquemment démontré que les feuilles avaient une composition différente selon que l'arbre portait une récolte abondante ou non.

## **II.2- Facteurs liés à la feuille**

### **II.2.1-L'évolution dans le temps**

La concentration des éléments analysés varie dans la feuille selon la date de prélèvement, donc avec l'âge de la feuille .au printemps, la teneur azotée des feuilles est plus élevée puis décroît au cours de la saison au profit des organes en croissance, des fruits et des réserves. Par contre, le calcium et le magnésium suivent l'évolution inverse avec un minimum au printemps et un maximum enfin de saison (**GAUTIER, 1975 et DUDE ,1978**)

**AUDUBERT et LICHOU (1989)**, notent que le phosphore à une migration partielle à partir des feuilles vers les parenchymes corticaux, qui aboutit enfin de cycle végétatif à des teneurs foliaires très basses.

**GUILLEN et al. (1965) in MARTIN PREVEL et al. (1984)** établissent des équations de régressions représentatives des variations de la teneur des éléments en fonction du temps au cours de l'année.

**MARTIN PREVEL et al. (1984)** indiquent que les teneurs en azote, phosphore et potassium diminuent progressivement au fur et à mesure du vieillissement de la feuille chez la majorité des espèces, le phénomène est inverse pour le calcium qui augmente avec la sénescence des feuilles.

### **II.2.2- Position et orientation de la feuille sur l'arbre**

Les teneurs foliaires comme l'ont démontré plusieurs auteurs, varient également selon la position des feuilles sur le rameau, de leur orientation et de l'ombrage. **MULDER et al. (1952) in LOUE (1987)** avaient déjà remarqué sur pommier qu'une déficience en manganèse est plus prononcée sur les feuilles situées à l'ombre.

**MARTIN PREVEL et al., (1984)** signalent que l'orientation de la feuille a une influence sur la concentration en calcium et potassium

**GAUTIER (1987)** propose que les feuilles soient prélevées tout autour de la frondaison sur les quatre points cardinaux de l'arbre. **DUDE (1978)** note que les feuilles prélevées, à différents niveaux, même sur un même rameau, présentent des différences de composition minérale (les feuilles de la base du rameau étant plus âgées que celles du sommet).

Les feuilles entières avec pétioles, situées dans la partie médiane des pousses de l'année semblent les plus représentatives de l'état nutritionnel du pommier (**MARTIN PREVEL et al., 1984**).

### **II.2.3- Nature du rameau porteur**

Chez le pommier, les feuilles des lambourdes, des dards et les feuilles des rameaux n'ont pas le même rythme de croissance et leur composition minérale diffère (**tableau n° 12 (HOLLAND et WHITFIELD, 1965 in GAUTIER, 1984)**).

Le type de rameaux intervient dans la composition des feuilles qui est influencée par la présence ou non des fruits qui puisent les éléments minéraux non seulement du sol mais aussi des réserves des feuilles (**MARTIN PREVEL et al., 1984**).

Selon la même source, les arbres fruitiers en général présentent des teneurs en azote en phosphore et en potassium plus faibles dans les feuilles des rameaux fructifères, ceci est dû à leur migration vers les fruits. Par contre, les teneurs en calcium et magnésium augmentent suite à l'appel de la feuille pour se substituer au potassium.

**Tableau n° 12** : Taux moyens des éléments minéraux contenus dans les feuilles de différents types de rameaux de pommier (Var Cox's Orange Pippin /M2)

Types de feuilles Eléments	Jeunes feuilles étalées	Feuilles du milieu du rameau	Rosette de dard
<b>Azote</b>	2.96	2.88 (sol nu) 2.70 (sol enherbé)	2.74
<b>Phosphore</b>	0.26	0.20	0.19
<b>Potassium</b>	1.46	1.40	1.22
<b>Calcium</b>	0.69	0.84	1.39
<b>Magnésium</b>	0.28	0.21	0.28

(**HOLLAND et WHITFIELD, 1965 in GAUTIER, 1984**)

## **II.2.4- Facteurs liés aux techniques culturales**

### **II.2.4.1-La taille**

**LAMONARCA (1985)** affirme que la taille des arbres à une influence considérables sur les exigences nutritionnelles.

**GAUTIER (1987)** indique qu'une taille courte en hiver augmente le taux d'azote, la taille d'été souvent recommandée, constitue à réduire le rapport  $K^+/Ca^{++}$  du fruit .

**MARTIN PREVEL et al . , (1984)**, notent que la taille peut également modifier l'absorption et l'accumulation des éléments nutritifs chez les cultures pérennes.

### **II.2.4.2- La fertilisation et les interactions entre éléments**

La fumure influence la teneur en éléments minéraux des feuilles, soit directement par l'élément apporté , soit indirectement par antagonisme avec un autre élément (**DETOMASI ET SCHWARZ, 1995**)

**VAN DER BOON (1964)**, montre que la teneur en potasse de la feuille du pommier (variété Jonnathan greffée sur le M9 ) augmente suite à des apports de potasse par contre les teneurs en magnésium et calcium de la feuille s'abaissent.

La théorie de l'absorption d'un élément minéral par les végétaux montre qu'elle ne se fait pas de manière indépendante des autres éléments. Le plus souvent on assiste à un antagonisme, une teneur élevée de l'un d'entre eux dans la plante peut freiner, voir empêcher la pénétration d'un autre élément (**LOUE, 1987**).

Les effets de concentrations et de dilution des éléments minéraux dans les plantes sont des phénomènes communs qui doivent être attentivement considérés dans l'interprétation des résultats en terme d'antagonisme ou synergie pendant l'absorption (**ANONYME, 2006**)

### **II.2.5- L'irrigation**

**DUDE (1978)**, indique qu'une bonne alimentation en eau liée à une bonne utilisation de l'azote disponible se traduit par une croissance élevée et une augmentation des prélèvements d'éléments dans le milieu. Au contraire, le manque d'eau peut réduire la croissance et induire une mauvaise utilisation de certains éléments qui s'accumulent dans la feuille.

**CALLOT et al. (1982)**, signalent que l'humidité du sol et les flux hydriques favorisent largement la mobilité des ions et l'absorption de l'eau par les plantes. Une bonne alimentation hydrique favorise la croissance des végétaux et augmente les besoins, elle entraîne une absorption d'éléments minéraux plus importante que pour les plantes souffrant de la sécheresse.

### **II.2.6- Travail et mode d'entretien du sol**

L'action du travail du sol sur l'ensemble de ses propriétés et sur la croissance des cultures est en fait l'un des principaux moyens d'amélioration de sa fertilité (**SOLTNER ,1990**) .le même auteur, note que le travail du sol permet d'améliorer les propriétés physique, chimique du sol et l'activité biologique ; comme il favorise la pénétration profonde des racines qui exploitent l'eau et les élément nutritifs naturels ou incorporés comme fumure de défense ou d'entretien.

**TROCME et GRAS (1977) in LOUIS (1978)** ; ont montré que le désherbage total du sol se traduit par des teneurs foliaires plus élevées en N, P, K, Ca, Mg par rapport au sol non travaillé, ceci confirmé par des travaux entrepris par le **(CEMAGREF, 1983)**.

**MARTIN- PREVEL et al. (1984)** signalent que l'enherbement en absence d'apports supplémentaire d'azote, engendre dans la plupart des cas, un effet dépressif temporaire et une diminution des teneurs en azote des feuilles au cours des trois à quatre années qui suivent le changement du mode d'entretien du sol. Ce dernier peut aussi affecté la concentration en phosphore et en potassium en parallèle avec le niveau de la fumure azotée.

**TROCME et GRAS (1977) in LOUIS (1978)**, concluent d'après les résultats obtenus sur une période assez longue (1962-1971) que les modes d'entretien du sol interviennent de façon importante sur la nutrition des arbres.

### **II.3- Facteurs liés aux conditions du milieu**

#### **II.3.1- Le type de sol**

Les déficiences en certains éléments dans la plante peuvent être en relation directe, mais également indépendante, de leur disponibilité dans le sol. Elles sont souvent l'expression d'un rapport défavorable dans ce dernier, affectant l'absorption, la distribution et la possibilité de mutuelles interactions dans le végétal **(MARTIN- PREVEL et al., 1984)**.

**GRUPPE (1966) in (DUDE, 1978)** mentionne que les pommiers en sol légers même relativement pauvres en potassium échangeable absorbent presque toujours davantage de potassium assimilable que ceux plantés en sol lourds, même très riches.

Ces différences dans l'absorption potassique selon le type de sol sont susceptibles de modifier certains rapports entre éléments, notamment avec le calcium et avec toutes les conséquences qui en découlent

Les phénomènes de carence potassique apparaissent le plus souvent en sol très argileux, même apparemment bien pourvu en potassium échangeable **(CALVET et VILLEMINE, 1986)**

Le pH du sol exerce également une influence sur la disponibilité, l'assimilabilité minérale, et la composition foliaire de la plante **(MARTIN PREVEL et al., 1984)**.

#### **II.3.2- Le climat**

##### **II.3.2.1- La température**

Divers travaux mettent en évidence une relation entre la température au niveau des racines et la teneur en éléments minéraux des tissus de plante. **(TRZCINSKI, 1978)** et **(TROMP, 1980)** montrent que les écarts de température influencent les teneurs en azote, phosphore, potassium, calcium. Le rapport Ca / K dans les feuilles est plus élevé aux basses températures qui ralentissent l'absorption du potassium.

**SAMISH et al (1968) in MARTIN PREVEL et al., (1984)** ont mis en évidence l'effet des hautes températures du sol sur la croissance des racines, l'absorption du potassium et du zinc. Ces auteurs observent qu'à partir de 25 ou 30°C selon les cultivars, se manifeste une réduction de la teneur foliaire en potassium et en zinc. Les porte-greffes M9 et M2 semblent particulièrement sensibles.

**TREMBLAY et al. (2001)** indiquent qu'un temps ensoleillé et chaud améliore l'absorption de l'azote puisque la vitesse de la photosynthèse est plus élevée dans de telles conditions

### **II.3.2.2- Pluviométrie**

L'irrégularité climatique induit des fluctuations annuelles parfois considérables sur la nutrition des plantes. en année très pluvieuses, le potassium est lessivé à partir même des feuilles (DALBRO, 1955 in MARTIN PREVEL et al ., 1984 ).

Les pluies sont susceptibles de provoquer un certain lessivage au niveau des feuilles pouvant générer des pertes de 10 à 15 % pour le phosphore, de 20% pour le calcium, de 30% pour le soufre (TRZCINSKI, 1974 in DUDE, 1978)

**FERAUGE (1970)** rapporte que lors de printemps et d'étés froids et humides, la variété Cox's Orange Pippin est sujette à une maladie caractérisée par une dépression de la nutrition calcique, magnésienne et manganique.

**GAUTIER (1975)** cite le cas de symptômes de carence en zinc accompagnés d'une baisse de la teneur en cet élément dans les feuilles, par printemps froids et pluvieux, chez des pommes cultivés en sol sableux.

En année sèche avec une pluviométrie faible, les teneurs en azote et potassium sont réduites mais la baisse potassique précède celle des autres éléments (**LEMAIRE et al., 1980 in GAGNARD, 1988**)

Les étés chauds et secs se traduisent par une réduction de la nutrition potassique, azotée, phosphorique et en bore. Par conséquent une humidité optimale constante est indispensable, car les quantités d'eau déficitaires ou excédentaire altèrent : le fonctionnement, l'alimentation minérale de la plante (**GOODE et INGRAM, 1971 in DUDE, 1978**).

D'après **COIT et COOPNET (1989)**; les étés secs favorisent d'apparition d'une carence en bore, parfois les températures anormalement basses au printemps provoquent également cette carence.

### **II.3.2.3- L'état sanitaire**

Les maladies infectieuses et parasitaires ainsi que les ravageurs induisent des troubles physiologiques qui se traduisent le plus souvent par des symptômes de carences (**KHELIL, 1980**)

L'examen de l'état pathologique des arbres et de leurs feuilles est donc indispensable lors de l'échantillonnage, on cherchera toujours autant que possible à éviter les arbres malades (**DUDE ,1978**).

### **III- Diagnostic nutritionnel du pommier**

L'arboriculteur, pour apprécier l'état nutritionnel de son verger dispose de quelques méthodes complémentaires, à savoir le diagnostic visuel, l'analyse du sol. L'estimation des exportations par le bois de taille, les essais de fertilisation, et l'analyse de certains organes de la plante indicateurs de sa nutrition comme la feuille

#### **III.1- Le diagnostic visuel**

Cette méthode rapide n'exige aucun appareillage élaboré et permet de déterminer la nature de l'élément qui manque à la plante dont l'insuffisance provoque des symptômes reconnaissables de carence (**THEVENET, 1990**).

Les symptômes retrouvés peuvent être détaillés et complétés par des photos. Le diagnostic visuel peut être parfois contributif pour la mise en œuvre d'une fumure corrective (**DELAS, 2000**).

Néanmoins de nombreux facteurs sont susceptibles de provoquer des symptômes qui ne doivent pas être confondus avec ceux d'une carence tels que : excès d'eau, sécheresse, toxicités en sols acides, attaques parasitaires.

C'est pourquoi le diagnostic visuel doit être toujours complété par l'analyse foliaire et par l'analyse du sol (**ANONYME, 1987**) et (**DELAS, 2000**).

#### **III.2- L'analyse du sol**

Elle indique les quantités d'éléments nutritifs mises à la disposition de la plante. Les propriétés physiques du sol dont la perméabilité, la profondeur, la texture, la structure, sont déterminantes dans la productivité et la longévité d'un verger (**KHELIL, 1980**).

La résistance du sol à la pénétration influe sur l'allongement des racines et la profondeur d'enracinement qui dépend de l'humidité et de la porosité du soi (**DUCHAUFOUR, 1988**)

Il est établi que la matière organique du sol agit sur ses propriétés physiques avec un effet favorable sur la stabilité des agrégats, sur la structure, sur la capacité de rétention hydrique et l'amélioration des conditions de nutrition des plantes (**ANONYME, 1989**).

Le pH du milieu est un facteur important de la solubilisation des éléments minéraux qui sont davantage solubles à des pH légèrement acide ou neutre (**SOLTNER, 2000**).

#### **III.3- Les essais de fertilisation**

Ils permettent d'enrichir en éléments fertilisants directement assimilables par la plante et de nourrir plutôt le sol en favorisant le déroulement naturel des cycles biologiques le cycle des matières organiques (cycle du carbone, de l'azote, du phosphore et d'autres éléments...) (**SOLTNER, 2000**).

**DELAS (2000)** propose une méthode de raisonnement de la fertilisation instituée avant la plantation qui comporte plusieurs volets : la fumure de fond, la fumure d'entretien et la fumure corrective.

##### **❖ Fumure de fond**

Elle est essentiellement destinée à modifier les caractéristiques du sol car susceptibles de compromettre la réussite de la plantation. Elle permet d'emmagasiner en profondeur les éléments minéraux peu mobiles comme le phosphore, le potassium ou le magnésium.

Elle est basée sur une analyse physico-chimique préalable du sol et du sous-sol de la parcelle puis complétée par l'examen du profil cultural dont le but est de déceler la présence éventuelle en profondeur de calcaire ou d'un horizon imperméable et de juger donc la nécessité d'un drainage.

Les résultats obtenus permettent d'apprécier l'opportunité d'apports d'amendements organiques, calciques, magnésiens d'une part, et de fixer le niveau, la forme des apports d'anhydride phosphorique, d'oxyde de potassium et d'oxyde de magnésium d'autre part.

Ces résultats sont déterminants dans le choix du porte-greffe le mieux adapté aux caractéristiques du sol (**DELAS, 2000**).

#### ❖ **Fumure d'entretien**

Elle dépendra du sol, puisque après la plantation, les engrais sont épandus en surface et non mélangés à la couche explorée par les racines.

La migration des engrais varie selon la nature du sol et de la disponibilité de l'eau.

Ainsi, il est important de rechercher des doses de fumure convenables aux conditions locales particulières (**CATZEFLIS, 1971**).

Pour **DELAS (2000)** la fumure d'entretien d'un sol convenablement fertilisé avant plantation est destinée à compenser les exportations d'éléments minéraux, ainsi que les pertes en profondeur par entraînement ou par insolubilisations.

#### ❖ **Fumure de redressement**

Si les 2 fumures précédentes ont été mal réalisées, on y adjoint une fumure corrective destinée à faire disparaître des troubles de la nutrition (déficit d'apport, inefficacité des apports réalisés loin des racines due à la sécheresse par exemple).

Pour **CHEVALIER (1976)** la plupart des travaux prouvent que même si un sol possède des réserves suffisantes en potasse, il est nécessaire d'apporter une fumure de fond, abondante avant la plantation du pommier et la compléter si besoin par des fumures annuelles superficielles correctives.

### **III.4- L'estimation des exportations**

Les besoins effectifs ou réels en éléments fertilisants sont représentés par l'addition des prélèvements exportés et des prélèvements immobilisés (**HUGUET, 1978**).

Les éléments prélevés annuellement par les arbres fruitiers dans le sol permettent l'apparition ou la croissance des organes (feuilles, racines, charpente), le reste est exporté par les fruits et bois de taille.

Or, il est nécessaire que les arbres trouvent dans le sol, pour compenser les exportations, des éléments minéraux en quantités suffisantes (**GAUTIER, 1987**).

L'appréciation de ces exportations en éléments permet à la fois l'ajustement des doses lors de la fertilisation et le contrôle du statut nutritionnel (**HUGUET, 1978**).

Ainsi, le même auteur évalue ces exportations chez les rosacées à pépins et constate que le calcium, le potassium et l'azote sont les éléments les plus exportés

## **IV- Contrôle de l'alimentation minérale du pommier par la méthode du diagnostic foliaire**

### **IV.1- Définitions du diagnostic foliaire**

Plusieurs définitions du diagnostic foliaire ont été proposées, mais le principe reste le même.

Selon **LAGATU et MAUME (1926)**, le diagnostic foliaire est défini comme étant l'état chimique à un instant donné d'une feuille prise en place convenablement choisie. D'après les mêmes auteurs, le diagnostic foliaire annuel est constitué par la série des états chimiques de cette feuille prélevée à diverses époques réparties sur tout le cycle végétatif.

**GAUTIER (1975)** le définit comme étant une méthode qui permet d'évaluer les besoins des végétaux en éléments nutritifs, en utilisant la plante elle-même comme indicateur

**KHELIL (1980)** le conçoit comme une méthode de mesure (in vivo) des rapports existants entre apports d'éléments fertilisants et la façon dont ils sont utilisés par la plante.

**CLEMENT (1981)** le définit comme un test grâce auquel on peut apprécier l'alimentation minérale de la plante et la corriger si besoin. Il repose sur l'analyse chimique de certaines feuilles bien choisies.

Pour **DETOMASI et SCHWARZ (1995)**, l'analyse foliaire est représentée par la quantité d'éléments minéraux réellement absorbée au cours d'une période de végétation dans un sol et sous un climat donné.

**HECKMAN (2001)** le définit comme une procédure permettant de déterminer la concentration des éléments nutritifs dans les feuilles qui reflètent le statut alimentaire des arbres.

### **IV.2- Buts et principes du diagnostic foliaire**

Le but que s'assigne la méthode est essentiellement agricole (**DETOMASI et SCHWARZ, 1995**)

L'analyse foliaire permet de déceler des stades de carence latente ou de consommation de luxe bien avant l'apparition des symptômes caractéristiques sur la plante. La méthode permet aussi de déterminer les taux optima en éléments minéraux majeurs et oligo-éléments à atteindre, de montrer éventuellement s'il existe des déséquilibres trophiques en certains éléments afin de détecter la carence ou l'excès.

La connaissance de ces valeurs optimales et des déséquilibres trophiques permet d'estimer les besoins en engrais minéraux des arbres. C'est le rôle du diagnostic foliaire dans la rationalisation des fumures sans compromettre la production ou la qualité du produit (**LEVY, 1971 ; HECKMAN, 2001**).

Les résultats ainsi obtenus seront comparés à des valeurs dites de référence ou "normes standards". Ces dernières permettent de situer pour un échantillonnage donné le niveau critique, le taux de déficience ou le taux optimum dans une région donnée.

Ainsi, le but du diagnostic foliaire est de comparer la composition des feuilles prélevées et analysées selon des méthodes préalablement définies, correspondant à des arbres dont la production est considérée comme optimale.

Sur le plan pratique, la mise en œuvre d'un programme de fumure résulte de l'interprétation des résultats de l'analyse foliaire, comparée aux résultats de l'analyse du sol.

La feuille est l'organe le plus facile à prélever sans causer de préjudice à l'arbre, ainsi, le relevé de l'état chimique des feuilles à un moment donné fournit des indications sur le déroulement des réactions de synthèse (**GAUTIER, 1979**).

### **IV.3- Limites du diagnostic foliaire**

Si l'usage du diagnostic foliaire est assez répandu, les difficultés apparues dans la pratique arboricole ont conduit à définir les limites de cette méthode.

L'analyse chimique des feuilles des arbres ne rend pas forcément compte des conditions réelles de leur alimentation. En effet, la constitution des réserves importantes dans leurs parties pérennes, peut retarder voire masquer un déséquilibre nutritionnel latent.

En parallèle, de nombreux facteurs influencent la composition minérale des feuilles et l'interprétation peut s'avère difficile du fait de leurs interactions.

Le diagnostic foliaire détecte des déséquilibres alimentaires si l'absorption radiculaire se produit dans des conditions normales (**DUDE, 1978**).

En outre, le diagnostic foliaire ne permet pas de déterminer les origines des anomalies nutritionnelles révélées (**GAUTIER, 1987**).

Si l'analyse foliaire met en évidence la déficience d'un élément, elle n'indique pas obligatoirement le correctif à appliquer du fait des antagonismes cationiques éventuels ou de l'effet du pH ; de l'âge des feuilles (**GOUNY, 1956 in MARTIN PREVEL et al., 1984**).

Ainsi l'existence de nombreux éléments susceptibles d'altérer la fiabilité du diagnostic foliaire a incité certains auteurs à rechercher d'autres moyens d'investigations. Néanmoins, il n'existe pas encore de méthodes qui permettent de standardiser les valeurs mesurées. Elles seraient pourtant nécessaires afin d'éliminer les différences dues au terrain, à la région, à la variété et aux moments de prélèvement (**BERTSCHINGER et al., 2006**).

L'appréciation du niveau nutritionnel s'avère difficile et insuffisante par le diagnostic foliaire et pourrait être complétée par l'analyse d'autres organes (**CAMPBELL et PLANK, 2000**).

**REDLICH et VERDURE in DUDE (1978)** proposent de l'étendre aux fleurs et aux bourgeons.

**BERTSCHINGER et al. (2006)** suggèrent l'utilisation des jeunes fruits dont l'analyse pourrait fournir des indications précoces sur le développement qualitatif du fruit (éventuels troubles physiologiques).

### **IV.4- Echantillonnage des feuilles**

**KENWORTHY et CHAPMAN (1964)** notent que l'analyse foliaire en tant que méthode de diagnostic dépend de la possibilité de prélever les feuilles les plus appropriées, à la date la plus favorable de la saison, et de la standardisation des techniques d'échantillonnage, le choix d'un échantillon de feuilles représentatives consiste d'abord à choisir des arbres susceptibles de refléter au mieux ceux du verger. Ce choix est à la fois qualitatif et quantitatif (**DUDE, 1978**).

Les arbres doivent être en bonne santé, pas trop vigoureux pour éviter des problèmes de consommation de luxe. Les arbres de vigueur moyenne ont un bon équilibre ; végétation – production (**DUDE, 1978**).

#### **IV.5- Nombre d'arbres à échantillonner**

Ce nombre est variable selon les auteurs cités par **MARTIN PREVEL et al. (1984)**

- 4 à 6 arbres (**KENWORTHY, 1975**)
- 10 arbres (**BEYERS, 1962 et LEVY, 1968**)
- 20 arbres (**GAUTIER, 1975**)
- 25 arbres (**CHAPMAN, 1964 ; GREENHAM et HOLLAND, 1973**)

La méthode préconisée par la station anglaise d'East-Malling, ou encore par divers auteurs américains (25 arbres) pourrait être une solution intermédiaire satisfaisante (**DUDE, 1978**).

#### **IV.6- Répartition des arbres dans le verger**

Les arbres étalons peuvent être répartis dans les vergers au hasard, ou de façon systématique. Une autre méthode consiste à diviser la parcelle en 26 blocs élémentaires portant chacun un arbre, puis ces derniers doivent être reportés sur un plan (**DUDE, 1978**).

**HOLLAND (1965) in DUDE (1978)** trouve que les variations de la composition foliaire des arbres d'un verger homogène est en général plus faible que celle des arbres d'un verger hétérogène, à l'exception du potassium.

#### **IV.7- Dimension de l'échantillon de feuilles**

L'erreur due à l'échantillonnage diminue quand le nombre de feuilles est important. La dimension de l'échantillon de feuille est très variable allant de 60 feuilles pour **BOULD** jusqu'à 192 feuilles pour **GAUTIER**

Le nombre généralement préconisé de 100 feuilles par (**HOLLAND, 1966**) semble convenable (**DUDE, 1978**)

#### **IV.8- Nombre de feuilles à prélever par arbre**

**BOULD et JARRETT (1962) et KENWORTHY (1964)** cités par **CHAPMAN (1964)** préconisent de prélever au moins 100 feuilles au total provenant de 25 arbres différents.

**GAUTIER (1975)** conseille de prélever 10 à 15 feuilles par arbre, sur 10 arbres représentatifs et sur tout le pourtour de l'arbre.

#### **IV.9- Position de la feuille à prélever**

Les méthodes systématiques et au hasard sont les plus utilisées. Elles consistent à récolter au hasard des feuilles dans la partie médiane du rameau de l'année (**DUDE, 1978**).

#### **IV.10- Epoque de prélèvement**

D'une année à l'autre, la date de pleine floraison peut varier dans la même région ou entre différentes régions.

Par conséquent, il paraît illusoire de vouloir réaliser l'échantillonnage à la même date, chaque année, et pour toutes les régions.

Le meilleur moyen d'obtenir des résultats comparables serait donc de prélever un nombre de jours déterminés après le stade F2 de Fleckinger (par exemple 45<sup>ème</sup> jour ; 75<sup>ème</sup> jour ; 105<sup>ème</sup> jour ; 135<sup>ème</sup> jour) (**DUDE, 1978 et GAGNARD, 1988**).

Le prélèvement entre la 8<sup>ème</sup> et la 12<sup>ème</sup> semaine après le stade F2 du pommier paraît le plus courant, correspondant au mois de juillet, période de fluctuation minimale dans la composition des tissus.

La complexité de ces différentes techniques a conduit (**GAGNARD, 1988**), à recommander une méthode d'échantillonnage simple et pratique qui consiste à :

- Prendre un échantillon par variété dans une parcelle homogène
- Choisir une feuille entière avec pétiole, au milieu de la pousse de l'année, ce type de pousse représentatif du verger doit être défini avant prélèvement, tant par sa longueur que par sa position.
- Prélever après le stade F2, 4 feuilles à mi-hauteur de chaque arbre.

## Généralités

Les sols calcaires sont très fréquents dans les régions méditerranéennes et désertiques. Notamment en Algérie, où on les rencontre dans les régions semi-arides et arides (HALITIM, 1991) ; leur origine est due principalement à deux facteurs :

- Les roches : qui sont très fréquentes carbonatées et dolomitique ou simplement riches en calcium.
- Les climats : Souvent très arides, ainsi les régimes pluviométriques sont peu favorables à un entraînement profond (lessivage) du calcaire hors des sols.

### 1- Définition du sol calcaire

Un sol calcaire c'est un sol contenant du  $\text{CaCO}_3$  libre en quantité suffisante pour présenter une effervescence visible sous l'action d'HCl dilué à froid. Le  $\text{CaCO}_3$  est souvent accompagné de  $\text{MgCO}_3$  (LOZET et MATHIEU, 1990).

**Tableau n° 13:** Type d'effervescence en fonction de la teneur en  $\text{CaCO}_3$   
(LOZET et MATHIEU, 1990)

Teneur	Réaction à l'HCl	$\text{CaCO}_3$ en %
Très faible	Décelable	< 2
Faible	Faible	2 – 10
Moyenne	Moyenne	10 – 25
Forte	Vive	25 – 50
Très fort	Très vive	> 50

A partir du tableau n° 13 en tire cinq (05) classes de sols calcaires :

- 1 : Sols très faiblement calcaires avec un taux de  $\text{CaCO}_3$  < 2 % .
- 2 : Sols faiblement calcaire avec un taux de  $\text{CaCO}_3$  2 à 10 % .
- 3 : Sols moyennement calcaire avec un taux de  $\text{CaCO}_3$  10 à 25 %
- 4 : Sols fortement calcaire avec un taux de  $\text{CaCO}_3$  25 à 50 % .
- 5 : Sols très fortement calcaire avec un taux de  $\text{CaCO}_3$  > 50 % .

### 2- Les sols calcaires en Algérie

Les sols calcaires en Algérie sont localisés dans le nord du pays, où il sont dans leur majorité faiblement à fortement calcaires. En dehors des conditions particulières de la pédogenèse ; si les pluies sont importantes, les sols ne peuvent plus être calcaires même si la roche mère est calcaire (DJILI, 2000 in ZEMOURA, 2006). Toute fois les sols calcaires s'expriment mieux entre les isohyètes 270 et 500 mm. Selon le même auteur, les sols les mieux pourvus en matière organique se situent entre les isohyètes 400 et 600 mm, cette tranche pluviométrique coïncide aussi en partie avec le domaine des sols calcaires qui sont favorables à la conservation de la matière organique, les taux de calcaire diminuent du sud vers le nord de l'Algérie, les fortes teneurs en calcaire se localisent préférentiellement dans les zones intérieures du pays.

### 3- Principales formes du calcaire dans les sols

Les sols calcaires sont en général caractérisés par la présence d'un horizon d'accumulation BCa qui peut être ou plus moins développé. Le calcaire peut se trouver dans le sol sous trois formes principales (LOZET et MATHIEU, 1990) :

### 3.1- Distribution diffuse

Où il est sous forme de particules égales ou inférieures à 1 mm.

### 3.2- Distribution discontinue

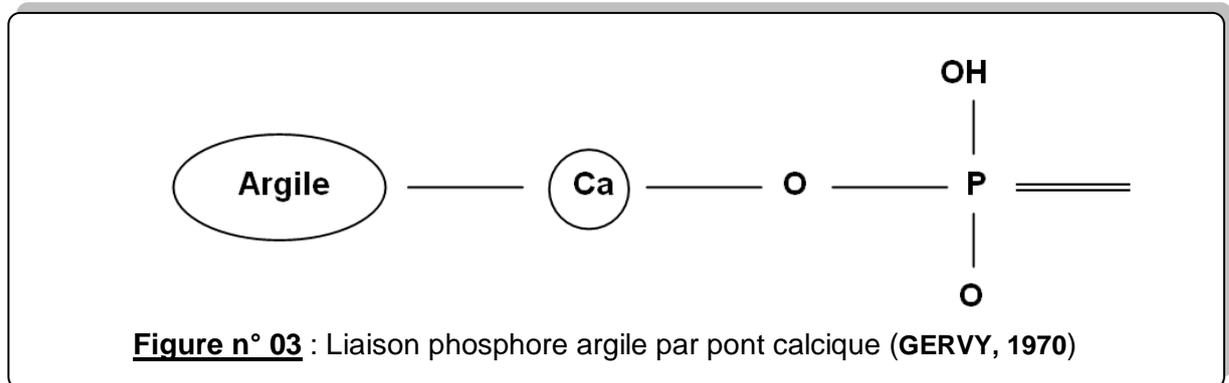
Où les principales formes sont des pseudo-mycéliums, amas friable ou nodules.

### 3.3- Distribution continue

Où l'horizon caractérisé par cette forme de calcaire est appelée encroûtement calcaire, sa teneur en carbonate est plus souvent supérieur à 60 % ou en distingue les encroûtements feuilletés (croûtes ou dalles compactes) et les lamellaires ou pellicules rubanées.

Le calcaire ( $\text{CaCO}_3$ ) exerce un rôle protecteur vis-à-vis des ions phosphoriques, contre leur adsorption énergétique par le fer libre et leur précipitation n'existe qu'à des pH élevés supérieur à 8 (GERVY, 1970)

En concentration faible le  $\text{CaCO}_3$  peut avoir un rôle positif. Il sert comme pont pour la fixation d'ions phosphoriques qui restent, sous forme échangeable (figure n° 03) (GERVY, 1970).



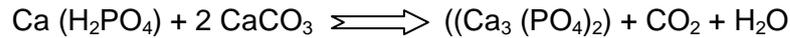
Le calcium est le principal cation d'échange dans le sol et permet le bon fonctionnement du pouvoir adsorbant, il agit favorablement sur la fixation du phosphore. Il favorise la vie microbienne en agissant sur les conditions de vie des micro-organismes et il accélère la décomposition des matières organiques (ELIARD, 1979).

Dans les sols calcaires, l'évolution d'une partie des phosphates solubles vers des formes peu solubles ou insolubles conduit à prévoir des apports très supérieurs aux exportations par les récoltes (MOREL, 1996).

Dans un milieu calcaire, la nutrition des végétaux en phosphore est limitée à cause de la faible solubilité des phosphates calciques qui est étroitement liée à la dissolution des carbonates donc de la pression partielle de  $\text{CO}_2$ .

Le pouvoir fixateur et l'insolubilisation sont deux facteurs de l'efficacité des engrais phosphatés en milieu calcaire suite à un apport d'engrais et une minéralisation de la matière organique d'origine animale ou végétale, les ions phosphoriques se libèrent dans le sol sous forme de solution diluée de phosphore sans se précipiter. Néanmoins, elle engendre une fixation très rapide à la surface des grains de  $\text{CaCO}_3$  tandis que la précipitation des phosphates calciques aura lieu en solution plus concentrée à  $\text{pH} > 8$  (ARVIEU, 1980)

Dans les sols carbonatés le  $\text{CaCO}_3$  ou le  $\text{Ca}^{+2}$  réagit avec les ions phosphoriques  $\text{HPO}_4^{2-}$  et le fait précipiter sous une forme insoluble "tricalcique" (**DIEHL, 1975**).



Le calcaire est souvent présenté comme un véritable poison de l'acide phosphorique, qu'il rendait inefficace en le faisant rapidement évoluer vers les formes irrécupérables c'est la rétro-dégradation, selon le schéma suivant :

- Phosphate monocalcique : (  $\text{Ca (H}_2\text{PO}_4)_2$ )
- Phosphate bicalcique : (  $\text{Ca}_2 (\text{HPO}_4)_2$ )
- Phosphate Tricalcique : (  $\text{Ca}_3 (\text{PO}_4)_2$ )
- Phosphate Octo-calcique : (  $\text{Ca}_8 \text{H}_2(\text{PO}_4)_6$ )

Ce dernier pouvant encore évoluer en vieillissant vers les formes plus calciques de type apatitique (**GERVY, 1970**).

Le calcaire a une action floculante sur les colloïdes minéraux et organiques du sol, action nécessaire à l'établissement d'un état structural satisfaisant et stable, et permettant au sol de créer des réserves en éléments nutritifs.

Parmi les actions fâcheuses d'un excès de calcaire, le blocage éventuel d'oligo-éléments, provoquant des carences induites, et concernant les éléments Fe, B, Cu, Mn, Zn. Insolubilisation de la calcite au niveau des racines dont le fonctionnement se trouve perturbé, obstacle à la minéralisation de la matière organique par effet d'enrobage (**MOREL, 1996**).

## Généralités

L'arrosage goutte à goutte est une technique qui est devenue aujourd'hui assez utilisée dans certains pays où l'agriculture rencontre de nombreux problèmes dus soit à la rareté de l'eau ou à sa qualité chimique, soit à la nature du sol, soit à l'aridité du climat.

En Algérie, la micro-irrigation est à ses débuts. Elle a été introduite dans quelques zones de manière disparate sans l'implication directe des spécialistes. Actuellement, quelques milliers d'ha sont localisés en majorité dans le sud du pays et dans les points dominés par les cultures sous serres (ZELLA et BOUSDIRA, 2000).

RICHARD (1985) in TIERCELIN (1998) signale qu'un déficit d'alimentation en eau est pratiquement toujours accompagné d'une réduction de l'alimentation minérale du végétal, puisque la majeure partie des éléments minéraux entre dans les plantes sous forme dissoute dans l'eau absorbée par les racines.

L'effet de l'irrigation localisée, peut être double, d'une part elle favorise l'alimentation hydrique et d'autre part, elle intervient très favorablement sur l'absorption minérale (CALLOT et al, 1982).

### 1- Principes et mode de livraison d'eau

L'irrigation goutte à goutte consiste à fournir l'eau à la partie de sol explorée par les racines de la plante, c'est donc, un procédé d'arrosage en surface. L'eau est distribuée ponctuellement à l'aide de goutteurs branchés sur des rampes d'alimentation, le tout est en polyéthylène "noir" (HALEVAY et al., 1973).

L'irrigation localisée distribue l'eau sur une base journalière à une vitesse très faible. Elle débite de 2 à 8 l/heure et par goutteur. HALEVAY et al. (1973) estiment que ce débit varie de 2 à 10 l/h/goutteur. Elle permet un réapprovisionnement presque quotidien de l'eau consommée par la plante pour maintenir l'humidité du sol très près, ou légèrement au dessus de la capacité de rétention.

L'efficacité de l'irrigation à l'aide du goutte à goutte peut avoisiner les 100 % durant la saison de culture ; en d'autres termes, les besoins d'évapotranspiration de la plante peuvent être satisfaits sans pertes par ruissellement ou percolation profonde (VERMEIRON, 1980 in IMERZOUKEN, 1980)

### 2- Impact de l'irrigation goutte à goutte sur le sol

Le système assure l'humidification de la partie du sol qui doit être exploitée par les racines, le reste du sol demeure pratiquement sec (OLLIER et POIRÉE, 1981).

Le nombre de goutteurs et leur répartition peuvent influencer considérablement ce processus.

HALEVAY et al. (1973) considèrent que la dynamique de l'eau est très complexe. Elle est fonction de plusieurs facteurs notamment les propriétés physiques, hydrodynamiques et même morphologiques du sol, des paramètres liés au mode d'irrigation et ceux dépendant de la culture.

Par ailleurs, on juge qu'au niveau de la zone humidifiée, la tension sol-eau est pendant toute la période de végétation maintenue à une valeur faible proche de la capacité au champ. La fluctuation de la teneur en eau autour de cette valeur maximale, selon **SINE (1976) in BELGHEMMAZ (2000)**, est réduite à la suite des cycles humectation-dessiccation.

D'après **TIERCELIN (1998)** en irrigation goutte à goutte, les risques de lessivage liés au maintien d'une humidité élevée au niveau du bulbe d'arrosage et l'accumulation des sels à la périphérie du bulbe humide, ainsi que dans les parties du sol non humidifiées peuvent être importants

### **3- Impact de l'irrigation goutte à goutte sur le végétal**

Par le biais de l'irrigation goutte à goutte, la distribution du système racinaire peut être modifiée. Il a été constaté que les racines ont tendance à se concentrer dans la zone arrosée par les goutteurs.

Pour beaucoup de cultures, l'irrigation est quotidienne, en période très sèche où l'évapotranspiration est intense. Mais, dans tous les cas, le temps de retour ne dépasse pas trois jours. On a ainsi, un volume d'humidité constamment élevé dans les limites du volume du sol mouillé. Ce qui permet le développement d'un réseau serré de ramification racinaires et surtout de radicules. De ce fait, on atteint un bon niveau de disponibilité en eau et en éléments nutritifs (**BELGHEMMAZ, 2000**).

Dans la pratique de l'irrigation fertilisante, le système goutte à goutte permet de mieux contrôler la quantité d'engrais. On réalise dans l'ensemble, une économie d'engrais, ensuite une distribution uniforme à toutes les plantes ; donc une utilisation optimale du fertilisant (**HALEVAY et al., 1973**).

Une déficience ou un excès, tant au niveau des quantités d'eau disponibles que de la qualité de celle-ci, affectent le fonctionnement des racines et l'alimentation minérale de la plante (**MARTIN PREVEL et al., 1984**)

Le mode d'apport de l'eau est également susceptible d'exercer une influence sur l'absorption racinaire. Une bonne répartition des racines dans le profil facilite l'absorption par la plante des réserves contenues dans le sol (**MARTIN PREVEL et al., 1984**).

**ANSTETT (1964) in MARTIN PREVEL et al. (1984)** signale qu'en milieu très riche en potassium, on observe une mauvaise utilisation de cet élément avec les faibles humidités.

L'irrigation localisée modifie le comportement dans le sol de certains éléments minéraux, en particulier le phosphore et le potassium, et leur absorption par la plante, action plus renforcée lorsque ces éléments sont incorporés dans l'eau (irrigation fertilisante (**TIERCELIN, 1998**))

**FOURCADE (1979) in MARTIN PREVEL et al. (1984)** souligne l'action favorable de cette technique sur la teneur en éléments minéraux des feuilles, la quantité des bourgeons, le calibre et la qualité des fruits.

**MARTIN PREVEL et al. (1984)** signalent que pour un même niveau de fumure, la teneur des feuilles en phosphore, potassium, calcium et magnésium, au stade pleine floraison (+ 110

jours) est plus importante avec l'apport dans l'eau d'arrosage par goutte à goutte qu'avec l'apport à la surface du sol.

D'après **CALLOT et al (1982)**, en cas d'une bonne alimentation hydrique des plantes, les racines sont généralement plus rapprochées les unes des autres et donc plus accessibles aux éléments à absorber.

Les mêmes auteurs signalent que l'existence d'un régime hydrique satisfaisant favorise la mobilité et la disponibilité de certains éléments comme le phosphore et le potassium.

## **Conclusion**

L'objectif de l'irrigation ponctuelle n'est pas seulement de fournir aux cultures l'eau qui leur est nécessaire pour se développer. Le modèle d'humidification du sol procuré permet une alimentation hydrique et minérale aux cultures d'une façon régulière uniforme et optimale.

Ce mode d'irrigation, peut également minimiser le risque d'élévation du niveau de la nappe ainsi qu'il atténue la remontée des sels de profondeur suite à l'évapo-concentration dans la zone racinaire grâce à l'application des volumes très petits avec des fréquences élevées (**HERRERO et al., 1977 in BELGHEMMAZ, 2000**)



## **I- Situation géographique**

La région de Sérïana est située sur le flanc du Djebel Metrassi, qui constitue la partie Nord de la chaîne des monts des Aurès. Etant un obstacle naturel propice pour les précipitations et contre les vents asséchants du sud (**D.S.A., 2006**).

La topographie assez accidentée de la région permet une forte érosion sur le flanc de la montagne qui surplombe la plaine fertile de Sérïana, située en contre bas du prolongement plat du Djebel.

La nature relativement friable du sol (marnes) en pente forte facilite un entaillage profond du site, matérialisé par trois oueds qui entourent Sérïana ; oued Ahadad au nord, oued sérïana qui est l'oued le plus important et oued zouggar au sud. Ces oueds déversent les eaux de crues vers le Ghott gadaine en période hivernale en traversant la plaine fertile dite Mallel. Ces oueds charrient généralement les matériaux arrachés en amont des montagnes, notamment les particules fertiles, pour les déposer au niveau de la plaine de Mallel, constituant ainsi un sol fertile à haut rendement agricole.

Les grandes lignes du relief qui composent le territoire étudié se répartissent comme suit :

- Les forêts représentent 4136 ha soit 30 % de la superficie totale.
- Steppe et parcours constituent 11 % du territoire avec une superficie de 2306 ha.

La commune de Sérïana est à prédominance céréalière, la surface totale utilisée par l'agriculture est estimée à 13008 ha.

- La surface agricole utile (SAU) représente 8365 ha dont 450 en irrigués, ce qui représente 48 % de la surface totale de la commune.
- Les terrains productifs sont estimés à 3100 ha.

La céréaliculture pratiquée est en extensive. La taille des exploitations reste dominée par de petites superficies de 1 à 5 ha qui sont irriguées par des puits. L'arboriculture est faible occupe une superficie de 47 ha.

Le travail que nous avons mené s'est déroulé au niveau d'une pépinière privée, située dans la commune de Sérïana (**figure n° 04**).

Cette commune située au nord de la wilaya de Batna est limitée administrativement comme suit :

- \* La commune de Lazrou au Nord.
- \* Les communes de Fesdis et Batna au Sud.
- \* Les communes de Djerma et Ain-Yagout à l'Est.
- \* Les communes de Zana El-Baïda et Oued El-Ma à l'Ouest.



Selon (LAMONARKA, 1985) en arboriculture, se sont les températures extrêmes plus que les moyennes qui ont une influence sur la végétation.

D'après le **Tableau n° 14**, nous remarquons que :

- La température moyenne annuelle est de 15,42°C.
- Le mois le plus froid est janvier, avec une température moyenne minimale de 0,5°C.
- Le mois le plus chaud est juillet avec une température moyenne maximale de 34°C.

Sur le plan thermique, l'examen des données révèle la présence de deux saisons contrastées (les caractéristiques du climat méditerranéen) une saison froide s'étalant de mois d'Octobre jusqu'au mois d'Avril et une saison chaude s'étalant du mois du Mai jusqu'au mois de Septembre.

**Tableau n° 14** : Moyennes mensuelles des températures en °C (1995-2004)

Mois	J	F	M	A	M	J	Jt	A	S	O	N	D	Moy
<b>Maxima (M)</b>	11,2	12,1	14	19,1	22,8	29,3	34	33,7	27,4	26	14,2	10,9	21,22
<b>Minima (m)</b>	0,5	2	3,1	7,8	10	18,4	17,6	16,9	17	15	6,2	1,1	9,63
<b>Moy (M+m/2)</b>	5,85	7,05	8,55	13,45	16,4	23,85	25,8	25,3	22,2	20,5	10,2	6	15,42

(Station météorologique, Batna, 2005)

**Tableau n° 15** : Moyennes mensuelles des températures en °C (pour les deux années d'étude )

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	O	Moy
<b>Minima (m)</b>	<b>11,3</b> 20,20	<b>8</b> 9,3	<b>6</b> 3,8	<b>4</b> 1,60	<b>-3</b> 0,2	<b>-1</b> 0,8	<b>1,5</b> 2,9	<b>7</b> 7,9	<b>12,5</b> 12,8	<b>16,1</b> 15,4	<b>18,3</b> 16,8	<b>16,5</b> 7,6	<b>8,10</b> 8,27
<b>Maxima (M)</b>	<b>23,8</b> 28,23	<b>20,7</b> 24,9	<b>16,5</b> 17,9	<b>13,5</b> 11,0	<b>8</b> 9,7	<b>9,5</b> 12,1	<b>19</b> 19,4	<b>18</b> 23,7	<b>24</b> 27,8	<b>38,2</b> 32,7	<b>42,5</b> 35,6	<b>36,2</b> 34,6	<b>22,49</b> 23,13
<b>Moy (M+m/2)</b>	<b>17,55</b> 24,21	<b>14,35</b> 17,1	<b>11,25</b> 10,85	<b>8,75</b> 6,30	<b>2,15</b> 4,95	<b>4,25</b> 6,45	<b>10,25</b> 11,15	<b>12,5</b> 15,8	<b>18,25</b> 20,3	<b>27,15</b> 24,05	<b>30,4</b> 26,2	<b>26,35</b> 21,1	<b>15,29</b> 15,70

(Station météorologique, Batna, 2005)

--- : Année 2003 – 2004

--- : Année 2004 - 2005

Les températures moyennes du mois de Mai au moi d'Août sont supérieur à 15°C, et selon GAUTIER (1988), des températures moyennes de 15°C durant cette période suffisent à beaucoup de variétés de pommiers pour faire mûrir leurs fruits.

**\* Comptabilisation des heures de froid des deux années d'étude:**

La température intervient selon deux modalités d'action très différentes sur les bourgeons (BIDABE, 1965) :

- Les basses températures pour lever la dormance.
- Les températures élevées pour favoriser l'évolution des bourgeons après leur levée de dormance.

Le besoin en froid est couramment évalué par le nombre d'heures de froid au dessous de 7,2 °C (HUGARD, 1974).

CROSS-RAYNAUDE (1950) in HERTER (1992), stipule que seules les températures inférieures à 7,2 °C contribuent de la même façon à la levée de dormance toutes les températures supérieures n'ont aucun effet.

CROSS-RAYNAUDE (1955) in SOLTNER (1986), proposa la formule suivante pour la détermination des besoins en froid journaliers :

$$B.F = \frac{(7,2 - m)}{(M - m)} \times 24 \quad \text{avec :}$$

- \* B.F : besoins en froid hivernal
- \* 7,2°C : seuil au dessus duquel l'effet de la température est nul
- \* M : Température maximale journalière
- \* m : Température minimale journalière.

Les besoins en froid sont comptabilisés à partir du mois de Novembre jusqu'au mois de Mars (BLANCHET, 1993).

La comptabilisation des basses températures enregistrées durant les mois de Novembre, Décembre, Janvier, Février et Mars donne les résultats indiqués dans le **tableau n° 16**.

**Tableau n° 16** : Somme des heures de froid des mois de Novembre, Décembre, Janvier, Février et Mars

Mois	Novembre	Décembre	Janvier	Février	Mars	Total
Somme des heures de froid (h)	149 173,4	300 349,68	524,75 485,46	436 407,7	226 193,75	1647,75 1610

(Station météorologique, Batna, 2005)

--- : Année 2003 – 2004

--- : Année 2004 - 2005

Les exigences du pommier et du poirier selon GAUTIER (1987) sont de l'ordre de 1200 à 1500 heures, alors que (BLANCHET, 1993) avance un chiffre de 800 à 1500 heures.

Les totaux en heures de froid enregistrés durant les deux campagnes reflètent un hiver rigoureux et très satisfaisant en quantité de froid.

## II.2- La Pluviométrie

La pluviométrie constitue une donnée fondamentale pour caractériser le climat d'une région, celle des régions favorables à la culture du pommier est en moyenne de 600 à 700 mm d'eau par an (BRETAUDEAU, 1978).

**Tableau n° 17** : Moyennes mensuelles des précipitations (1995-2004)

Mois	J	F	M	A	M	J	Jt	A	S	O	N	D	Total
P(mm)	42.53	21.31	22.63	35.35	24.41	18.18	5.14	16.4	28.33	29.77	31.28	31.99	307.32

(Station météorologique, Batna, 2005)

D'après le **tableau n° 17** la pluviométrie moyenne annuelle enregistrée sur 10 ans a été de 307,32 mm (annexe), la répartition des pluies d'une année à l'autre et d'une saison à l'autre est également marquée par sa très grande irrégularité, le maximum des précipitations est enregistré pendant le mois de janvier 42,53 mm, par contre le minimum 05,14 mm, on remarque aussi que près de 90 % des précipitations tombent en automne, en hiver et au printemps.

**GAUTIER (1987)**, indique que le pommier consomme environ 6000 m<sup>3</sup> d'eau par hectare et par an, ce qui correspond à une pluviométrie de 600 mm. La quantité enregistrée (307,32mm) oblige les arboriculteurs à effectuer des irrigations complémentaires.

La plupart des pluies sont torrentielles et ont souvent une intensité supérieure à la vitesse d'infiltration des sols, la moindre pente provoque le ruissellement et l'érosion (**BADLY, 1986**).

**Tableau n° 18** : Moyennes mensuelles des précipitations pour les deux années d'étude

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A	Total
P(mm)	16,4	25,9	93,6	116,2	12,8	60,2	29,0	29,8	5,5	17,1	2,1	11,3	419,9
	15,4	17,1	20,8	27,6	36,3	42,5	5,8	71,9	92,8	10,9	4,8	3,00	348,9

(Station météorologique, Batna, 2005)

--- : Année 2003 – 2004

--- : Année 2004 - 2005

Durant les deux campagnes d'expérimentation, les quantités enregistrées sont respectivement de 419,9 mm et de 348,9 mm. Ce volume ne répond pas aux besoins du pommier. Des compléments d'irrigation s'avèrent donc nécessaires (**tableau n° 18**).

### II.3- Le vent

Avant toute installation d'une plantation fruitière, il est nécessaire de connaître la violence, la fréquence et la direction des vents, ceux-ci peuvent causer des dégâts importants surtout s'ils surviennent en phases critiques (débourrement, floraison et nouaison).

Au niveau de la région d'étude, les vents dominants sont de direction Sud-Ouest et Nord-Ouest avec une vitesse moyenne qui varie entre 2 et 5 m/s. et peuvent atteindre des vitesses qui dépassent les 16 m / s.

Les vents de Sud-Ouest (sirocco) sont chauds et secs favorisant ainsi l'assèchement brutal de la surface foliaire et accélèrent l'évapotranspiration potentielle (E.T.P).

Les vents de Nord-Ouest soufflent surtout en hiver et apportent des pluies à la région.

### II.4- La Gelée

C'est un phénomène qui se manifeste à une température inférieure à 0 °C. Le pommier par ses variétés à floraison précoce (exp: Akane, Earligold, ...) est très exposé aux risques de gel.

Les gelées les plus graves sont celles qui se produisent au départ de la végétation provoquant ainsi la destruction des bourgeons fleurs et jeunes fruits.

Le **Tableau n° 19** met en évidence le nombre moyen de jours de gel durant la décennie 1995 – 2004

**Tableau n° 19** : Nombre de jours de gelée (1995 - 2004)

Mois	J	F	M	A	M	J	Jt	A	S	O	N	D
Gelée	15	17	5	0	0	0	0	0	0	0	2	10

(Station météorologique, Batna, 2005)

Les données résumées dans le **Tableau n° 19** révèlent que les gelées sont fréquentes lors du débourrement (durant le mois de Février et le mois de Mars).

**Tableau n° 20** : Nombre de jours de gelée pour les deux années d'étude

Mois	J	F	M	A	M	J	Jt	A	S	O	N	D
Gelée	<b>25</b>	<b>18</b>	<b>10</b>	<b>3</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>7</b>	<b>5</b>
	17	12	7	0	0	0	0	0	0	0	5	11

(Station météorologique, Batna, 2005)

--- : Année 2003 – 2004

--- : Année 2004 – 2005

Les données résumées dans le **tableau n° 20** révèlent que les gelées sont fréquentes lors du débourrement (du mois de février au mois de mars)

## II.5- La grêle

La fréquence de la grêle est variable selon les années, généralement, elle est fréquente pendant la période d'avril à septembre. Pour l'année (2003-2004) survenue après la floraison, n'a provoqué que des blessures légères aux fruits.

Durant la deuxième année d'expérimentation, les dégâts ont été remarquables durant la nouaison.

## III- Synthèse bioclimatique

### III.1- Diagramme Ombrothermique de GAUSSEN et BAGNOULS

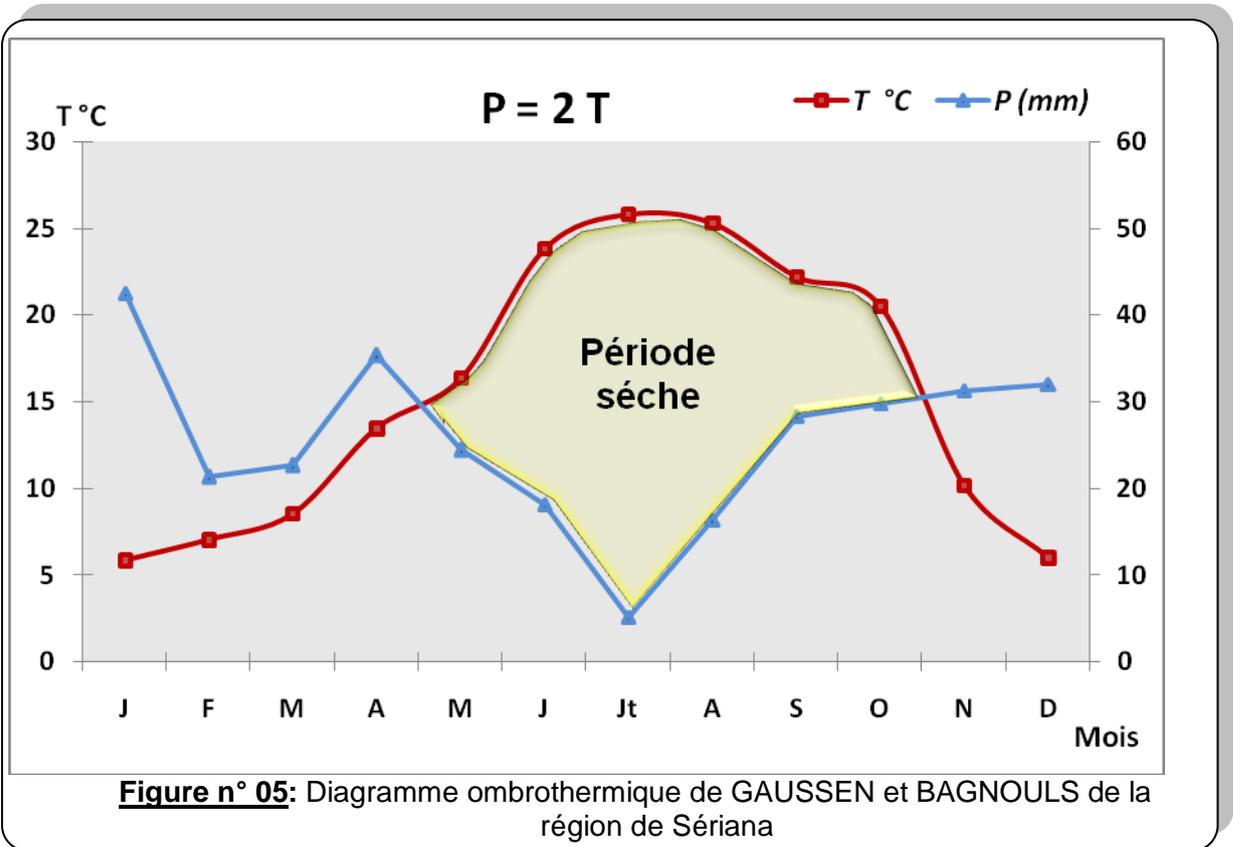
Ce diagramme est une méthode graphique où sont portés en abscisses les mois, et en ordonnées à gauche les précipitations et à droite les températures ( $P = 2T$ ). L'intersection des deux courbes permet de définir la saison sèche (**figure n° 05**)

Les données pour l'élaboration de ce diagramme sont rassemblées dans le **tableau n° 21**

**Tableau n° 21**: Données moyennes mensuelles des températures et des précipitations sur dix ans (1995-2004)

Mois	J	F	M	A	M	J	Jt	A	S	O	N	D
T°C	5,85	7,05	8,55	13,45	16,4	23,85	25,8	25,3	22,2	20,5	10,2	6
P (mm)	42,53	21,31	22,63	35,35	24,41	18,18	5,14	16,4	28,33	29,77	31,28	31,99

(Station météorologique, Batna2005)



La figure met en évidence une période sèche qui s'étale du mois de Mai au mois d'Octobre nécessitant des apports d'eau par irrigation pour compenser le déficit hydrique et une période humide allant du mois d'Octobre au mois d'Avril pendant cette période.

### III.2. Climagramme d'Emberger

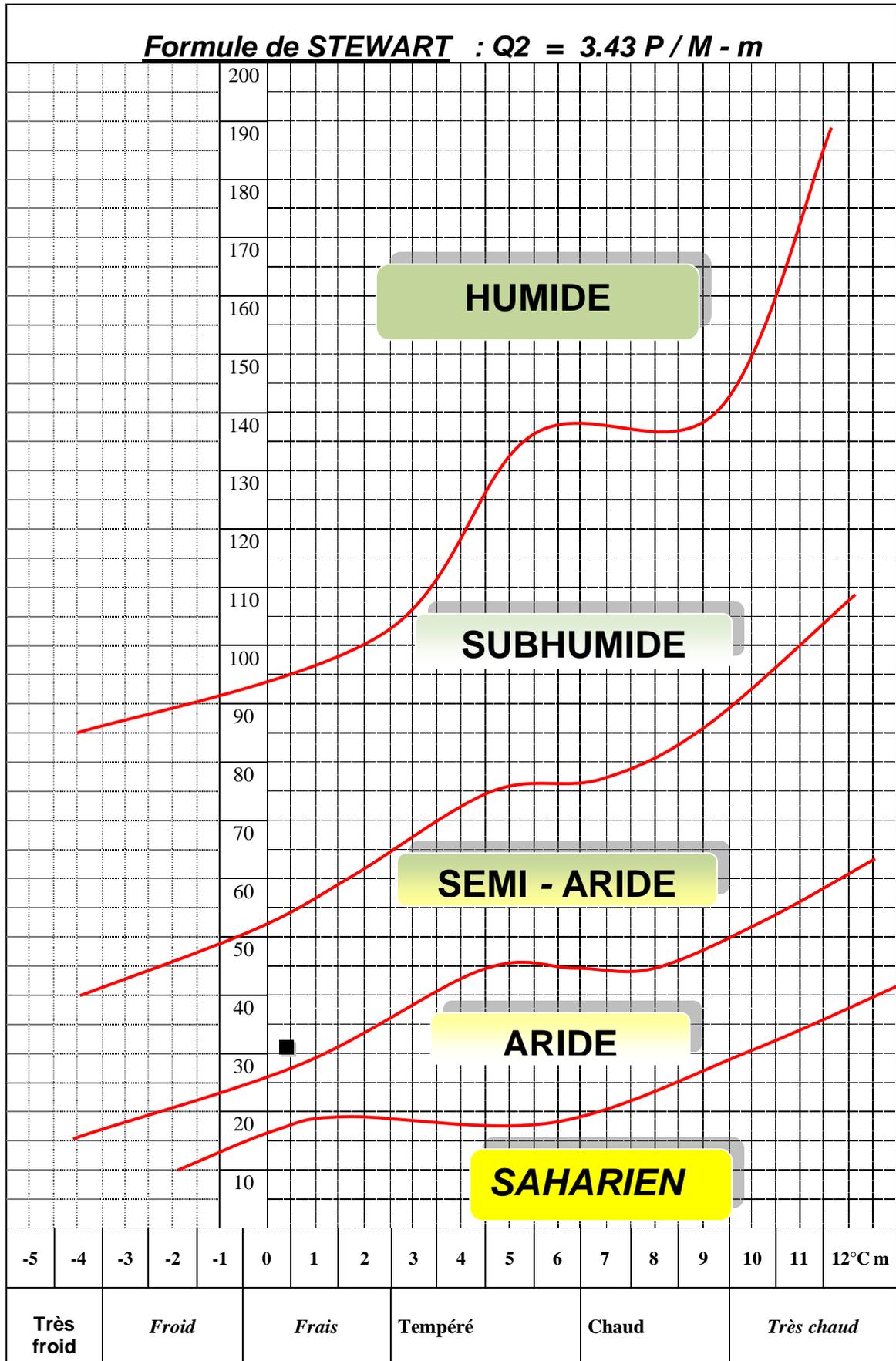
Le quotient d'Emberger spécifique au climat méditerranéen est un rapport entre les précipitations et les températures moyennes annuelles.

Son estimation permet une classification bioclimatique des milieux (SOLTNER, 2000). La formule suivante permet de déterminer ce quotient (Q) :

$$Q = 3,43 \times P / (M - m)$$

- P : pluviométrie(mm) moyenne annuelle .
- M : température (°C) maximale du mois le plus chaud.
- m : température (°C) minimale du mois le plus froid (0.5°C).
- P : 307,32 mm ; M : 34 °C ; m : 0,5 °C donc Q = 31,46

Le report de ce quotient pluviométrique sur le Climagramme permet de déduire que la région d'étude appartient à l'étage bioclimatique « semi aride à hiver frais » (figure n° 06)



**Figure n° 06:** Situation de la région de Sérïana dans le Climagramme d'Emberger

## **Conclusion**

Le climat de la région est de type méditerranéen (Semi-aride frais), caractérisé par un hiver froid et pluvieux et un été sec et chaud, avec des précipitations torrentielles et irrégulières, pouvant créer un milieu favorable au développement des maladies cryptogamiques.

Les pluies de printemps ont une grande importance, car elles conditionnent la vitesse de croissance, l'élongation finale des rameaux et l'importance de la surface foliaire.

Les pluies d'hiver ne peuvent exercer d'influence négative sur le pommier que dans la mesure où elles provoquent une perte d'éléments minéraux par lessivages ; cependant, les réserves accumulées dans le sol seront utiles au printemps et en été.

Dans la région une période de sécheresse s'étale de la mi-Mai à la mi-Août, et accuse un déficit hydrique prononcé.

Des compléments d'irrigations s'avèrent donc nécessaires surtout pendant la période estivale, **SAPIN (1977)**, préconise une dose de 200-300 mm/ha dans les conditions de notre pays.

Les moyennes de température apparaissent assez favorables pour le débourrement et le bon déroulement de la floraison et la fructification du pommier.

Les risques de gelées et de grêle sont très courants et peuvent provoquer des dégâts importants.

#### **IV- Présentation de la pépinière et du verger d'étude**

##### **IV.1- Présentation de la pépinière**

Notre travail s'est déroulé au niveau d'une pépinière privée, située sur la route nationale N° 86 reliant Batna - Sétif (**figure n° 07**). Elle s'étend sur une superficie de 17 hectares.

L'infrastructure occupe 0,40 Ha, elle est composée d'un bloc administratif, un hangar (320 m<sup>2</sup>), une chambre froide (160 m<sup>2</sup>).

L'équipement hydraulique est constitué d'un forage de 16 l /s de débit, un bassin d'accumulation de 650 m<sup>3</sup> de capacité et 11 Ha de réseau d'irrigation au goutte à goutte.

La pépinière hors sol renferme une serre tunnel, une serre de nébulisation et une aire de greffage.

Les arbres sont protégés contre l'action des vents par un réseau de brise vents à base de deux espèces forestières : le *Cupressus sp.* et le *Casuarina sp.*

##### **IV.2- Présentation de la parcelle d'étude**

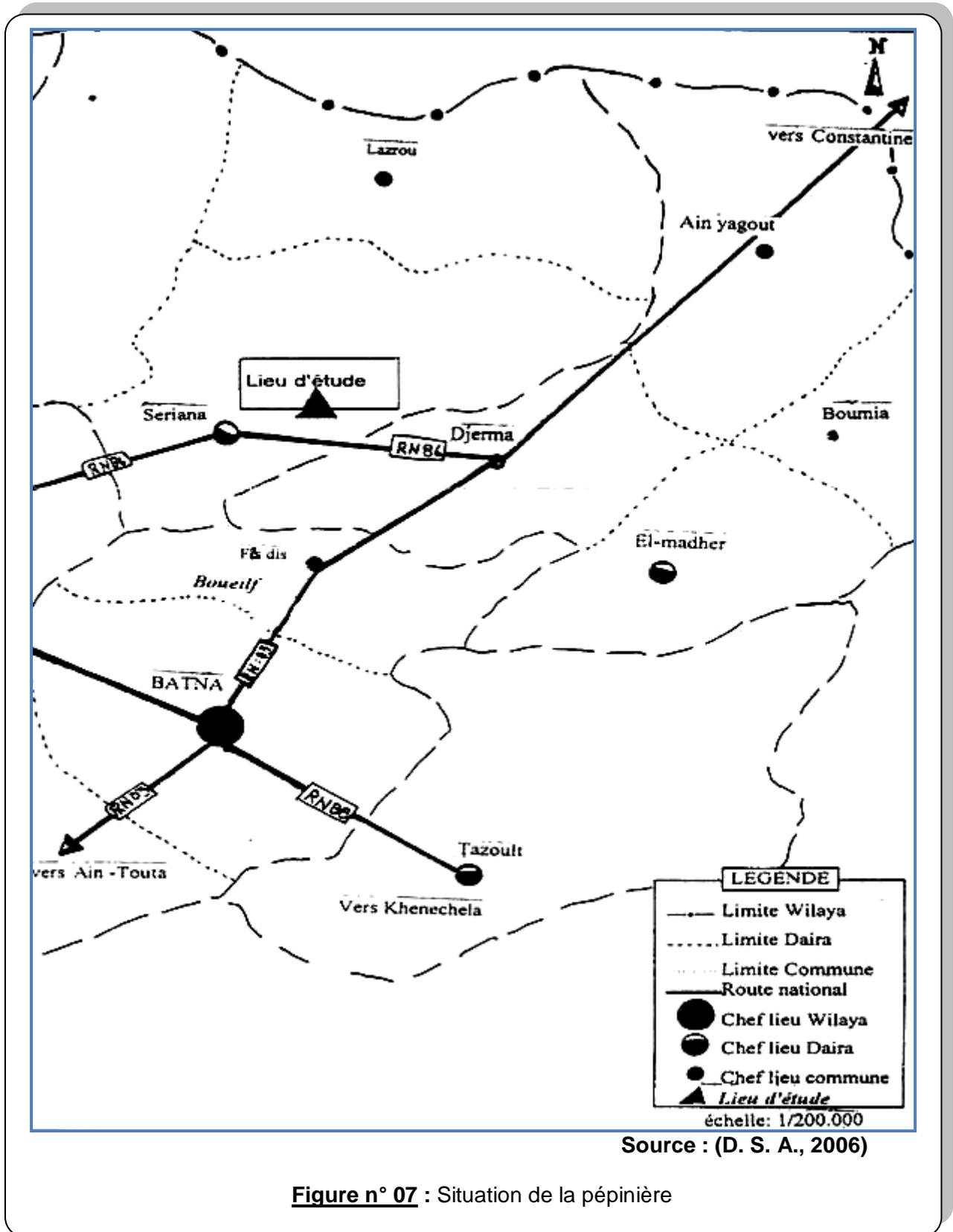
La parcelle d'étude est située au Nord - Ouest de la pépinière (**figure n° 08**) composée d'une seule variété de pommier : **Golden Yellow**, greffée sur un même porte-greffe : **MM111**.

Les plants greffés soudés ont été importés et plantés en Avril 2000.

Les arbres sont plantés à 3 m entre les rangs et à 2.5 m entre les plants, correspondant à une densité de plantation de 1333 arbres / ha (**tableau n° 22**) (**Photo n° 01**)

**Tableau n° 22** : Présentation de la parcelle étudiée

<b>La parcelle</b>	<b>Date de plantation</b>	<b>Superficie (Ha)</b>	<b>Densité de plantation arbres /Ha</b>	<b>Nombre total d'arbre</b>
<b>Golden Yellow</b>	Avril 2000	1.25	1333	1669



**Figure n° 07** : Situation de la pépinière

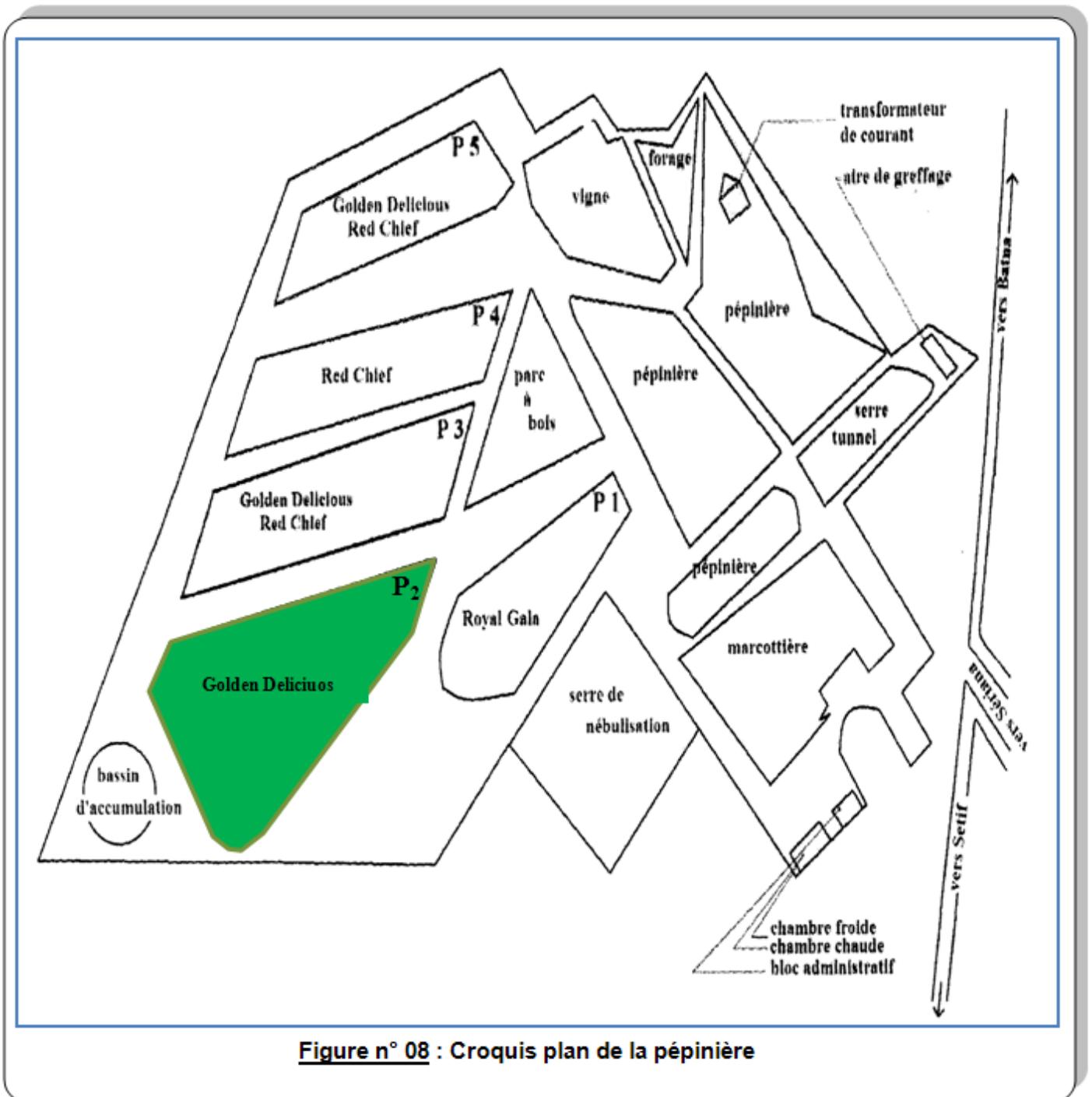


Figure n° 08 : Croquis plan de la pépinière



**Photo n° 01 : Vue générale de la parcelle étudiée**

#### **IV.2.1- Techniques culturales appliquées**

Les techniques culturales appliquées au niveau du verger sont :

##### **-Taille :**

La pratique de la taille a été effectuée une seule fois au mois de Janvier (la dernière taille de formation = ouverture du Goblet) pour donner la forme terminale du Goblet aux arbres.

##### **-Travail du sol :**

Avant l'installation du verger, la céréaliculture a constitué le précédent cultural au niveau de cette parcelle.

Un défoncement a été pratiqué lors de l'installation du verger sur une profondeur de 80 à 90 cm.

La fumure de fond appliquée au niveau des trous de plantation à raison de 5 kg de fumier de ferme sur une profondeur de 40 – 60 cm

Au cours de la végétation, un passage au cover crop en interligne au printemps, début avril, fin mai. Un désherbage mécanique est effectué mensuellement durant les mois de mai, juin et juillet.

La fertilisation est appliquée sous forme d'irrigation fertilisante, les apports effectués sont reportés au niveau du **tableau n° 23**.

**Tableau n° 23** : Programme d'irrigation fertilisante

Types d'engrais	Stade phénologique (doses/ha)		
	Débourrement	Floraison Nouaison	Grossissement des fruits
Engrais F 10-35-10	160 kg / ha En 8 fois	210 kg (sur sept semaines)	330 kg réparti en 5 mois 1fois par semaine
Engrais à base d'azote (15 %) et calcium (26 %)			
Engrais fort en magnésium 10-5-11-34			
Engrais azoté et oxyde de potassium			
			150 kg une fois par semaine en alternance avec (10-5-11-34) pendant 3 mois et demi

**- Irrigation :**

L'irrigation est pratiquée au goutte à goutte

Le calendrier des irrigations est présenté dans le **tableau n° 24**.

**Tableau n° 24** : Calendrier des irrigations appliquées au verger

Période d'irrigation		Durée d'irrigation (heurs /jour):
La floraison		120 L /semaine (= 4 jours/semaine en raison de 2 heurs /jour).
La chute des fleurs		2 jours/semaine en raison de 4 heurs /jour
La nouaison		2 jours/semaine en raison de 6 heurs /jour
Le grossissement des fruits		2 jours/semaine en raison de 8 heurs /jour
<b>Juillet</b>	1 <sup>ère</sup> semaine	2 jours/semaine en raison de 10 heurs /jour
	2 <sup>ème</sup> semaine	2 jours/semaine en raison de 12 heurs /jour
	3 <sup>ème</sup> semaine	2 jours/semaine en raison de 14 heurs /jour
	4 <sup>ème</sup> semaine	2 jours/semaine en raison de 12 heurs /jour
<b>Août</b>	1 <sup>ère</sup> semaine	2 jours/semaine en raison de 10 heurs /jour
	2 <sup>ème</sup> semaine	2 jours/semaine en raison de 8 heurs /jour
	3 <sup>ème</sup> semaine	2 jours/semaine en raison de 6 heurs /jour
	4 <sup>ème</sup> semaine	2 jours/semaine en raison de 4 heurs /jour
<b>Septembre</b>	1 <sup>ère</sup> et 2 <sup>ème</sup> semaine	2 jours/semaine en raison de 4 heurs /jour

**-Traitement phytosanitaire :**

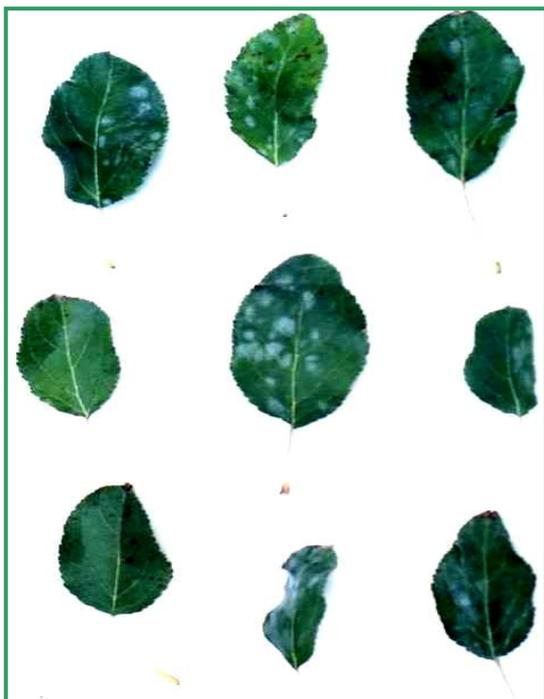
Les traitements appliqués sont présentés dans le **tableau n° 25**

**Tableau n° 25 :** Calendrier des traitements phytosanitaires

<b>Problèmes à traiter</b>	<b>Période de traitement</b>	<b>Nombre d'interventions</b>	<b>Produits utilisés</b>
Les chancres	05 Janvier 05 Mars	2	-Bouillé Bordelaise (1.5 kg/HL) -Bouillé Bordelaise (400 g/HL)
Tavelure	10 Mars 10 Juin	2	-Necator ( 10 kg /HL) -Blinexa ( 350 mg /HL)
Pucerons	04 Avril 20 Mai	2	-Monspullon (125g/HL) -Confidor ( 3.5 mg /HL)
Acarien rouge	06 Mai 25 Juin	2	-Vertimac (350 ml/HL d'eau) -Omite57 (1L/ HL d'eau)
Chlorose	24 Mai	1	-Chélate de fer (6g /L d'eau).

**IV.2.2- Etats de végétation du verger**

Aux cours des sorties effectuées, nous avons remarqué une persistance des symptômes en particulier la Tavelure sur les feuilles ( **Photo n° 02** ) et les fruits (**Photo n° 03** ) , la Brûlure sur fruits ( **Photo n° 04** ) la présence du Puceron vert sur les feuilles ( **Photo n° 05** ) et les carences en fer ( **Photo n° 06** ) (LAAMARI, 2006)( Communication orale) .



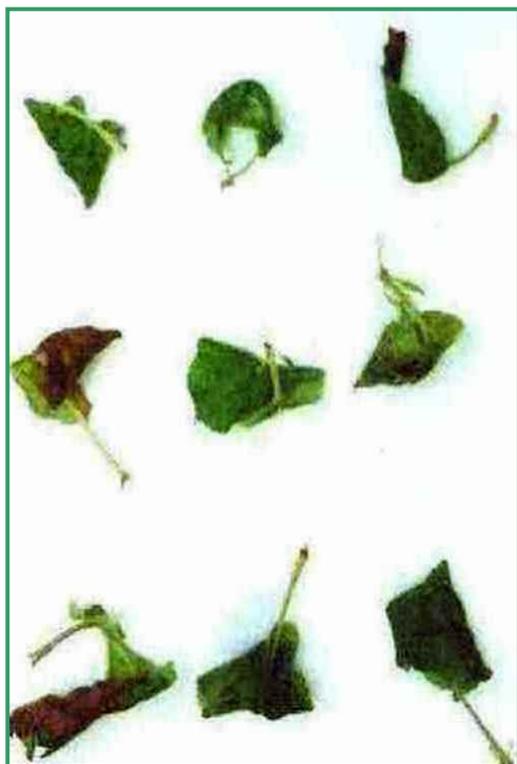
**Photon° 02 : Tavelure sur feuilles**  
**(Venturia inaqualis)**



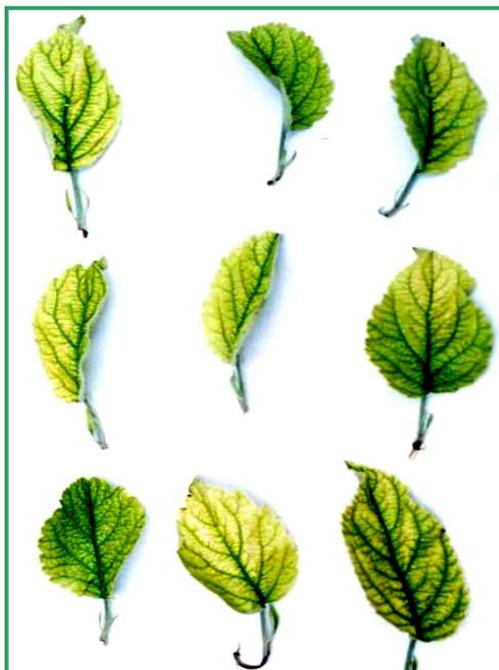
**Photo n° 03 : Tavelure sur fruits**  
**(Venturia inaqualis)**



**Photo n° 04 : Brûlure sur fruits**



**Photon°05** : Effets du Puceron vert (*Aphis pomi*)



**Photo n° 06** : Chlorose ferrique

## 1- Matériel végétal

### 1.1-La variété Golden Yellow (Golden Délicieux)

La Golden Yellow a été découverte en 1912 par **ANDERSON MULLINS**, sur une colline de West Virginia (**photo n° 07**) (**GAUTIER 2001**).

Elle serait un hybride de la Red Delicious et de Grimes Golden.

L'arbre est de vigueur moyenne, à port semi-érigé, il a une végétation vigoureuse les premières années (**BOUHIER DE L'ECLUSE, 1983**).

Avec l'âge, cette vigueur diminue et l'arbre émet beaucoup de brindilles faibles (**GAUTIER, 1978**).

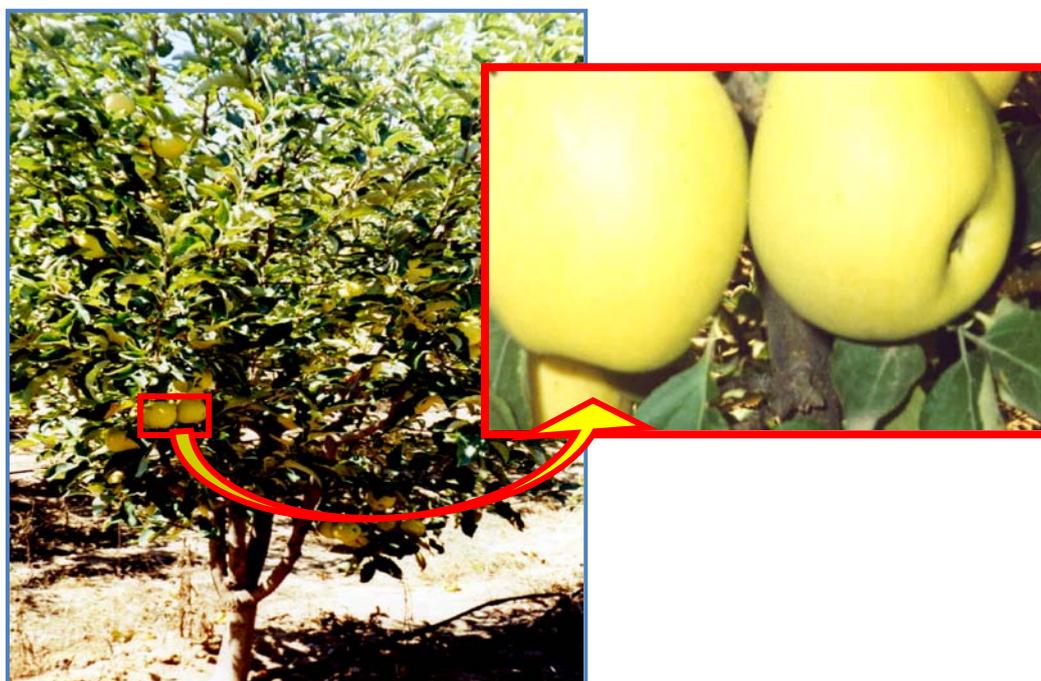
La mise à fruits est rapide avec une production abondante et une tendance à l'alternance. Il est indispensable de l'éclaircir très fortement si l'on veut éviter cette alternance (**BOUHIER DE L'ECLUSE, 1983**) et (**GAUTIER, 2001**).

Le fruit est de calibre moyen à gros, à épiderme vert-jaune, devenant jaune d'or à maturité chair de très bonne qualité gustative (**CHARTON, 1992**).

En Algérie la floraison se situe suivant les régions entre la fin du mois de Mars et le début du mois d'Avril.

La cueillette peut se réaliser environ 145-150 jours après le stade F2 de **FLECKENGER**. En Algérie la récolte se déroule entre le 10 et 27 Septembre (**SEMADI, 1976** et **SAPIN, 1977**).

La Golden Yellow est très sensible à la majorité des maladies virales, à la Tavelure, et à la Rugosité ou Russeting (réaction liégeuse de l'épiderme à divers facteurs : brouillard froid, traitement à base de cuivre) et moyennement sensible à l'oïdium, fragilité relative du fruit à certaines maladies de conservation (Gléosporium) (**GAUTIER, 2001**).



**Photo n° 07: La variété Golden Yellow**

## **1.2- Le porte-greffe MM 111**

Le MM111 est d'origine Anglaise, issu d'un croisement de Northern Spy x M 1 793 (le M1 793 est lui-même un croisement de Northern Spy et M2) d'après **(BOULAY, 1979 et TRILLOT et al., 2002)**.

La compatibilité est assez bonne (présence d'un bourrelet de greffe). Le MM111 confère un niveau de vigueur légèrement supérieur à celui de MM106 **(GAUTIER, 2001 et TRILLOT et al., 2002)**.

Ses caractéristiques sont :

- Une très bonne multiplication en pépinière, supérieur à celle de M 2.
- Une bonne reprise à l'écussonnage.
- Une rapidité de mise à fruits.
- Une bonne productivité notamment avec la variété Golden Délicious **(BOULAY, 1979 et BOUHIER DE L'ECLUSE, 1983)**.

Ce porte-greffe est d'un intérêt limité en raison de son niveau de vigueur élevée et de sa sensibilité aux rejets **(TRILLOT et al., 2002)**.

Il est moins productif que MM 106 et M 25, mais donne des résultats satisfaisants **(GAUTIER, 2001)**.

Cependant le MM 111 ne peut être utilisé que dans des sols bien drainés, pas trop lourd, avec des variétés qui ne sont pas virosées et il doit être conseillé avec beaucoup de prudence **(MICHELESI, 1979)**. Son adaptation en sol sableux est bonne **(MASSERON, 1989)**.

Ce porte-greffe est également sensible à l'asphyxie racinaire, peu sensible à la pourriture du collet (*Phytophthora*) et au pourridié à l'inverse du MM 106 **(GAUTIER, 2001)**.

Il est plus résistant à la sécheresse que le MM 106 et sa sensibilité au feu bactérien est moyenne **(GAUTIER ,1978 et MASSERON, 1989)**.

## **2- Méthodes d'études**

### **2.1- Prélèvement du sol**

La parcelle d'étude semble homogène de par la pente très faible (terrain plat). La couleur rouge claire du sol en surface est identique avec absence d'accident particulier. Le prélèvement est réalisé à l'aide d'une tarière graduée selon quatre profondeurs ; 0 – 20 cm , 20 – 40 cm, 40 – 60 cm et 60 – 80 cm.

A chaque profondeur correspond un échantillon moyen de 2 à 3 kg. Prélévés dans le sens de la diagonale sur toute la parcelle.

Ces échantillons correctement étiquetés ont été acheminés vers le laboratoire où ils ont été étalés et séchés à l'air libre, puis tamisés à 2 mm et conservés.

### **2.2- Prélèvement des feuilles**

La méthode de prélèvement utilisée est celle de **(KENWORTHY, 1964 in MARTIN PREVEL et al ., 1984)** qui consiste à prélever des feuilles 8 à 12 semaines après la pleine floraison (stade F2 de **FLECKINGER**) (**figure n° 10**)

Pour la campagne 2003 – 2004, la pleine floraison a eu lieu la troisième semaine du mois d'Avril, pour le 2<sup>ème</sup> campagne 2004 – 2005, la pleine floraison a eu lieu la première semaine du mois d'Avril. Les premiers prélèvements ont été effectués à partir de la sixième semaine après la pleine floraison ( à raison d'un prélèvement chaque semaine).

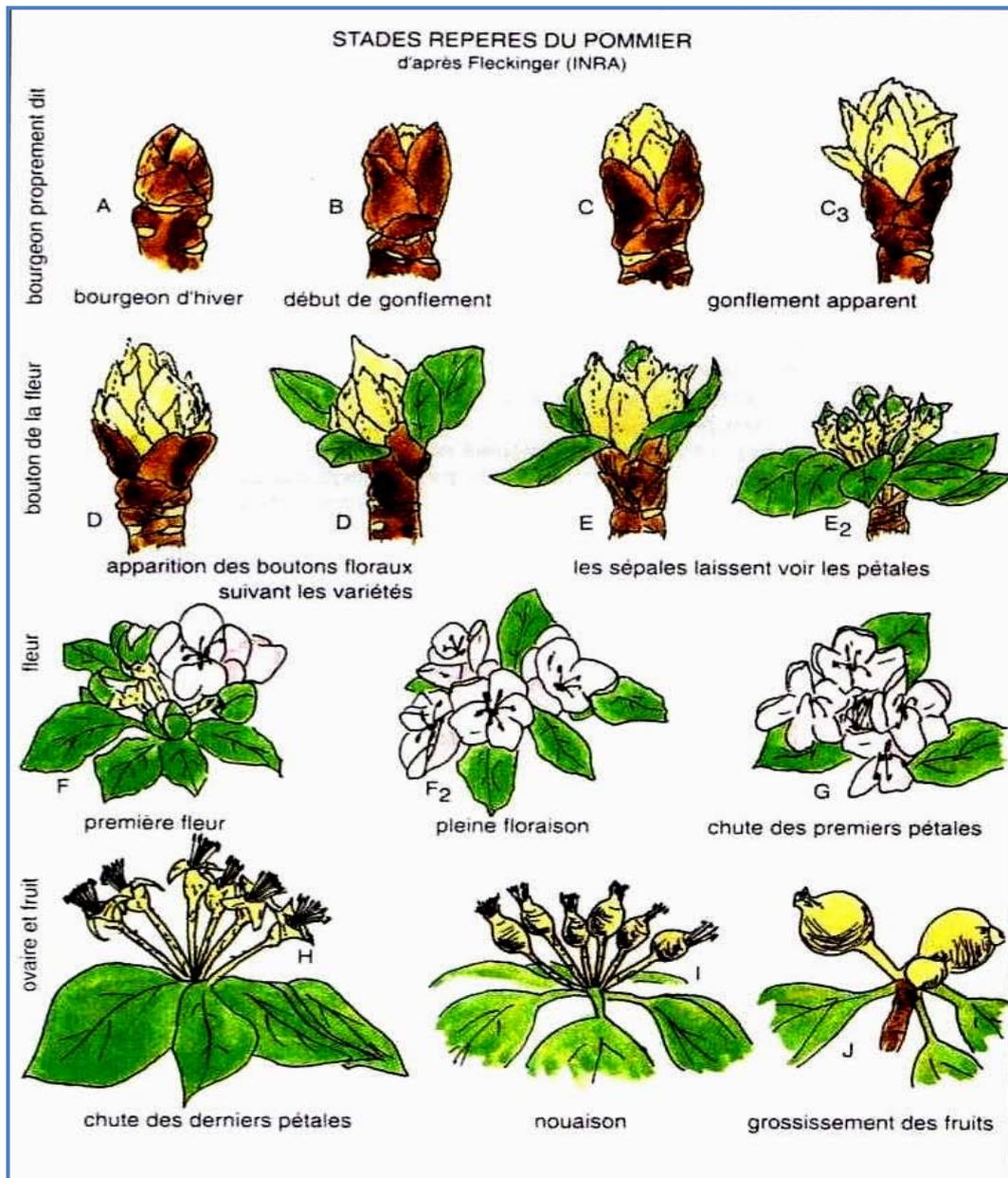
Une dizaine d'arbres par répétition ont été concernés par l'échantillonnage (chaque prélèvement comporte une cinquantaine de feuilles environ).

Nous avons subdivisé notre parcelle en 04 sous parcelles, chacune d'elles comporte dix arbres correspondant à une répétition (**figure n° 11**).

Nous signalons que les arbres de bordure et ceux présentant des symptômes de malnutrition ou d'attaques parasitaires ont été écartés lors de l'échantillonnage.

Les prélèvements sont effectués la matinée, les feuilles sont placées dans des sachets en polyéthylène, propres, étiquetées et ramenées le plus tôt possible au laboratoire celles-ci sont essuyées à l'aide de coton imbibé légèrement dans de l'eau distillée.

Les feuilles sont placées à l'étuve pendant 48 heures à 65° C, broyées en poudre fine et conservées dans des flacons jusqu'au moment des analyses.



**Figure n° 10** : Les stades phénologiques du pommier (stade repère de FLECKINGER) (CHARTON, 1992)

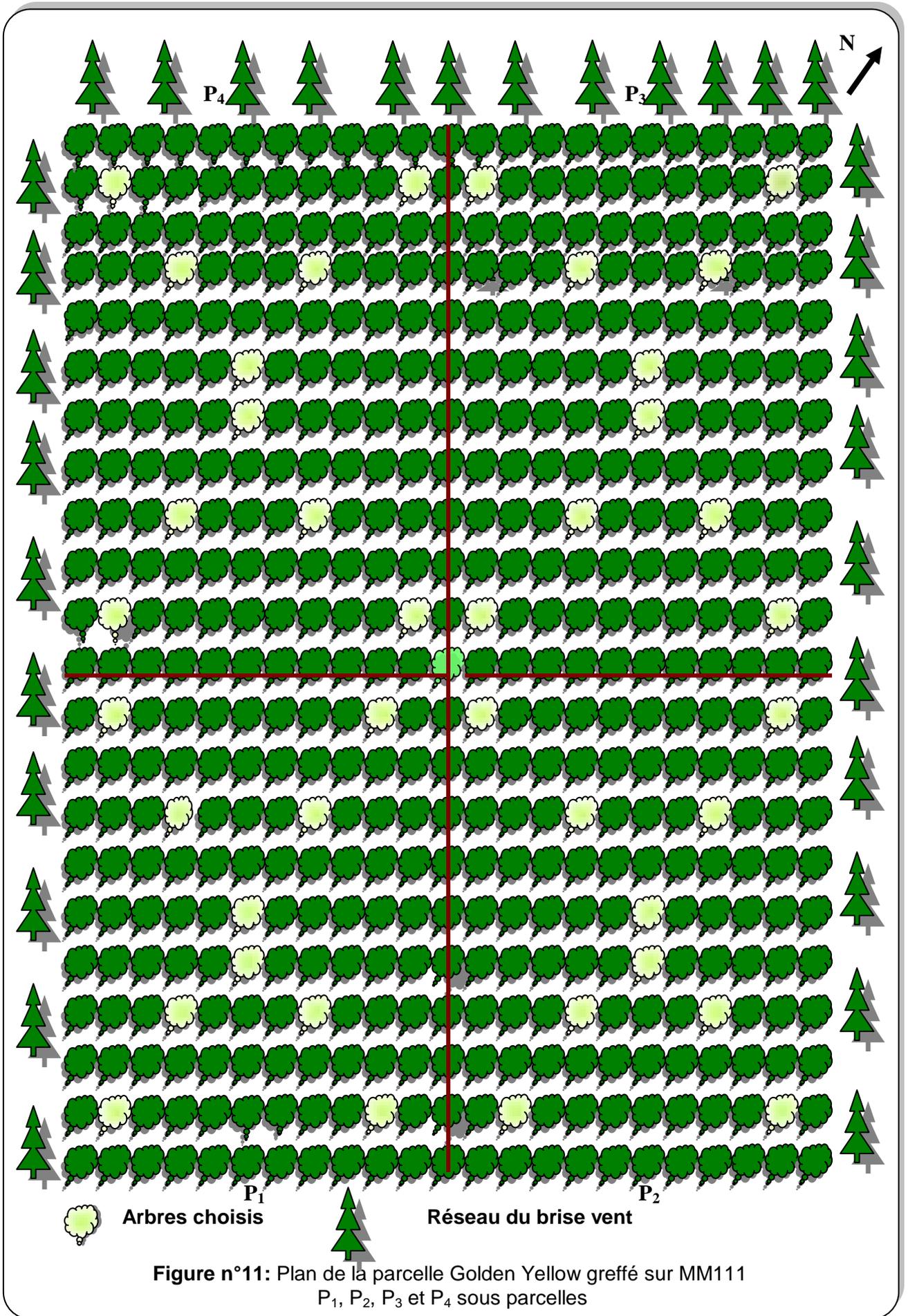


Figure n°11: Plan de la parcelle Golden Yellow greffé sur MM111  
P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>, P<sub>3</sub> et P<sub>4</sub> sous parcelles

### 3- Méthode d'analyses

Les analyses de végétal concernent les éléments suivants et sont exprimés en pour cent de la matière sèche.

- **Ca et Mg** : par spectrophotométrie à absorption atomique
- **K** : par photométrie à flamme
- **N total** : par la méthode Kjeldahl
- **P total** : par la méthode de Joret – Hebert

Les analyses de sol portant sur les éléments suivants sont effectuées comme suit :

- **Granulométrie** : déterminée par la méthode internationale à la pipette Robinson.
- **Calcaire total** : méthode volumétrique à l'aide du calcimètre Bernard sur terre tamisée à 2 mm, exprimé en %.
- **Calcaire actif** : par la méthode de Drouineau et Galet exprimé en %
- **Conductivité électrique** : à l'aide d'un conductivimètre électrique sur extrait aqueux au 1/5 exprimée en ds/m.
- **C.E.C** : centrifugation après addition d' $\text{NH}_4$ , puis lavage à l'alcool et addition de KCl. Elle est exprimée en méq/100 g.
- **pH** : grâce à un pH mètre électrique à l'extrait aqueux au 1/205
- **Carbone** : méthode de Wakley-Blak, la matière organique est donnée par la formule :  
$$\text{M.O} = \text{C} \times 1.72 \text{ exprimé en \%}$$
- **Azote total** : par la méthode de Kjeldahl exprimé en %
- **Phosphore assimilable** : par la méthode Joret-Hebert en méq/100 g.
- **Ca et Mg** : déterminés par spectrophotométrie à absorption atomique en méq/100 g.
- **K** : déterminé par photométrie à flammes en méq/100g.



## **I- Description du profil**

**Date de description** : 25/05/2004

**Matériel parental** : alluvions

**Pente** : 0 %

**Géomorphologie** : plaine

**Végétation** : verger de pommier

### **Horizon 1 : 0 – 20 cm**

Brun (10 Y/R 5/3) à l'état sec, brun foncé à l'état humide de (7.5 Y/R 4/4)

Structure polyédrique : grossière à moyenne friable à l'état sec. La texture est argileuse peu collante à l'état humide plastique et élastique, présence de fentes de retrait de faibles largeur et discontinues. Très poreux, pores moyens et grossiers de formes tubellaires, verticaux et obliques. Présence de calcaire sous forme de Pseudo-mycelliums et diffus avec une forte effervescence et une transition nette.

### **Horizon 2 : 20 – 40 cm**

Brun clair (7.5 Y/R 6/4) à l'état sec, brun foncé à l'état humide (7.5 Y/R 4/4)

Structure polyédrique angulaire, moyenne à fine peu friable. La texture est argileuse lourde, collante plastique et élastique à l'état humide.

Présence de fentes de faibles largeur et discontinues, horizon très poreux, pores grossiers à fins de formes tubellaires, continus, verticaux et obliques. Présence de calcaire de type diffus pseudo-mycellium effervescence moyenne, présence de racines de tailles moyennes, orientation horizontale.

### **Horizon 3 : 40 – 60 cm**

Brun clair (7.5 Y/R 6/4) à l'état sec, brun jaunâtre ( 10 Y/R 5/6) à l'état humide

Structure polyédrique sub-angulaire, moyenne à fine peu friable, présence de fentes de faible largeur et discontinues. Texture argileuse lourde, pores grossiers à fin de formes tubellaires. Présence de calcaire avec une forte effervescence

### **Horizon 4 : > 60 cm**

Brun foncé ( 10 Y/R 8/4) à l'état sec

Structure polyédrique sub-angulaire moyenne à très fine peu friable à dur. Texture argileuse lourde, très collante très plastique, très élastique. Très poreux, pores moyennes à fines, absence de fentes, avec une forte effervescence.

## **Conclusion**

L'examen du profil, nous renseigne sur les possibilités offertes par le sol pour le développement des racines et des cultures.

Le sol de la parcelle est peu profond, vu la présence d'une couche dure qui limitera l'épaisseur du sol mise à la disposition des racines.

Il présente une texture fine

La répartition du système racinaire est limitée au niveau du deuxième horizon.

## **II- Résultats des analyses du sol**

### **II.1- Analyse physique**

L'analyse du sol est un premier outil pour établir un diagnostic de fertilité du sol, par l'estimation de la quantité d'un élément minéral jugé assimilable par la plante (VERCESI et al., 1993).

D'après les mêmes auteurs, l'analyse physico-chimique du sol constitue une technique fondamentale, elle est employée pour estimer le potentiel du sol et définir les apports fertilisants.

#### **II.1.1- Analyse granulométrique**

La granulométrie classe les éléments constitutifs du sol en fonction du diamètre des particules et aide à déterminer le pourcentage de chaque fraction (SOLTNER, 2000)

Selon SOLTNER (2000), l'analyse physique comprend cinq mesures essentielles :

- L'analyse granulométrique
- Le dosage du calcaire total et actif
- Le dosage de la matière organique
- La mesure du pH
- La mesure de la conductivité électrique

Les résultats des analyses physiques du sol de la parcelle sont consignés respectivement au niveau du **tableau n° 26** et de la **figure n° 12**

**Tableau n° 26** : Résultats de l'analyse physique du sol de la parcelle d'étude

Production	Granulométrie (%)					Texture	MO %	Calcaire total (%)	Calcaire actif (%)	CE D.s/m	pH
	A	LF	LG	SF	SG						
0 -20 cm	39.95	25.25	9.49	22.74	6.12	Limono-argileuse	2.99	27.03	15.5	0.31	8.25
20- 40 cm	42.12	25.55	6.12	20.54	5.67	Argileuse	3.52	29.50	13.25	0.31	8.16
40- 60 cm	44.48	25.51	4.01	20.08	5.12	Argileuse	1.68	31.87	14.25	0.31	8.24
60 -80cm	45.75	28.18	2.05	16.16	7.06	Argileuse	1.62	34.81	21.50	0.29	8.24

#### **II.1.1.1- La texture**

La granulométrie permet d'évaluer la perméabilité, la rétention en eau, l'aération, la capacité d'échange et en particulier les risques de battance selon la proportion existante entre les argiles et limons (CALVET et VILLEMIN, 1986)

Les données granulométriques (**tableau n° 26**) portées sur le triangle textural indiquent que le sol de la parcelle d'étude présente une texture limono-argileuse pour le premier horizon, et une texture plus lourde en profondeur 0 – 40 cm, 40 – 60 cm et 60 – 80 cm, présentant des pourcentages d'argile supérieur à 40 %. Ces derniers sont prédisposés aux problèmes d'asphyxie, avec comme conséquence la rétrogradation du phosphore et la fixation du potassium surtout quand le pH du sol est supérieur à 7.

S'il est établi que la meilleure terre pour le pommier contiendrait 20 à 30 % d'argile, les sols argileux, conviennent mal aux arbres fruitiers car l'espace existant entre les particules de terre est infime et généralement gorgé d'eau au lieu d'être rempli d'air. Les racines risquent alors d'être asphyxiées (**LAMONARCA, 1985**).

En dépit de la sensibilité du porte-greffe MM111, les symptômes de l'asphyxie radicaire n'ont pu être observés dans l'état actuel, du fait probablement que le système radicaire n'a pas encore atteint son maximum de développement pour plonger dans les couches d'argiles.

La détermination de l'indice de battance (IB) de la parcelle est calculé au niveau de la couche superficielle, selon **CALVET et VILLEMIN (1986)** permet de déduire qu'il s'agit d'un sol très battant (IB > 2) (**Annexe n° 2**)

### **La formule utilisée pour le calcul**

$$IB = \left[ \frac{(1.25 \times LF + 0.75 \times LG)}{(A + 10MO)} \right] - 0.2 \times (pH - 7)$$
$$IB = \left[ \frac{(1.25 \times 25.25 + 0.75 \times 9.49)}{(39.95 + 10 \times 2.99)} \right] - 0.2 \times (8.25 - 7)$$
$$IB = 4.139$$

**IB** : Indice de battance   **LF** : Limon fin   **LG** : Limon grossier   **A** : Argile   **MO** : matière organique

### **II.1.2- La matière organique**

La matière organique au cours de sa décomposition donne naissance d'une part à des éléments minéraux solubles ou gazeux, tels que NH<sub>3</sub>, CO<sub>2</sub>, les nitrates, les sulfates, etc .. D'autre part à des composés qui contractent des liaisons avec les éléments minéraux, les argiles notamment pour former le complexe argilo-humique (**DUCHAUFFOUR, 1979**).

Il est donc logique que la quantité nécessaire de matière organique doit être en rapport avec les argiles et le calcaire (**CALVET et VILLEMIN, 1986**)

La matière organique constitue une réserve en éléments minéraux qu'elle libère au fur et à mesure de sa minéralisation sous forme disponible pour les plantes à une vitesse très variable (**BAIZE; 1988**)

Si l'on considère le modèle d'appréciation proposé par (**CALVET et VILLEMIN, 1986**) en tenant compte des taux d'argiles et de calcaire (**figure n° 13**)

Le sol de la parcelle étudiée possède des teneurs en matière organique comme suit :

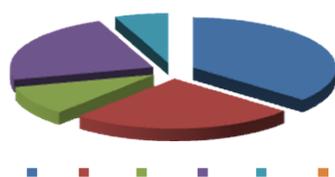
#### **En fonction des argiles :**

0 – 20 cm , 20 – 40 cm : teneur satisfaisantes  
40 – 60 cm , 60 – 80 cm : teneurs faibles

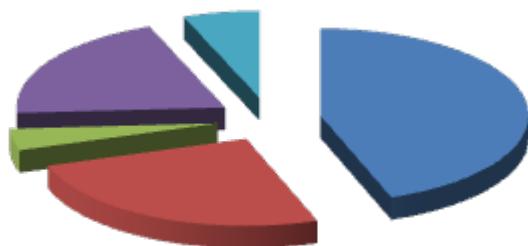
Le niveau satisfaisant en matière organique dans les deux premiers horizons peut s'expliquer par les apports d'entretien localisé pratiqué par le propriétaire plus les apports des résidus de culture.

D'une façon générale, le niveau de la matière organique sur l'ensemble des horizons s'avère faible et des apports de redressement sont indispensables.

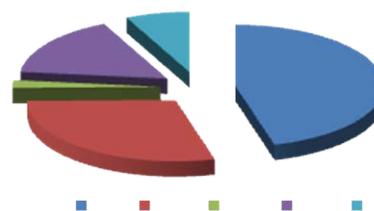
Selon **LAMONARCA (1985)** les arbres fruitiers ne prospèrent que dans des sols possédant suffisamment de substances organiques néanmoins la teneur ne doit pas dépasser 3 à 4 %



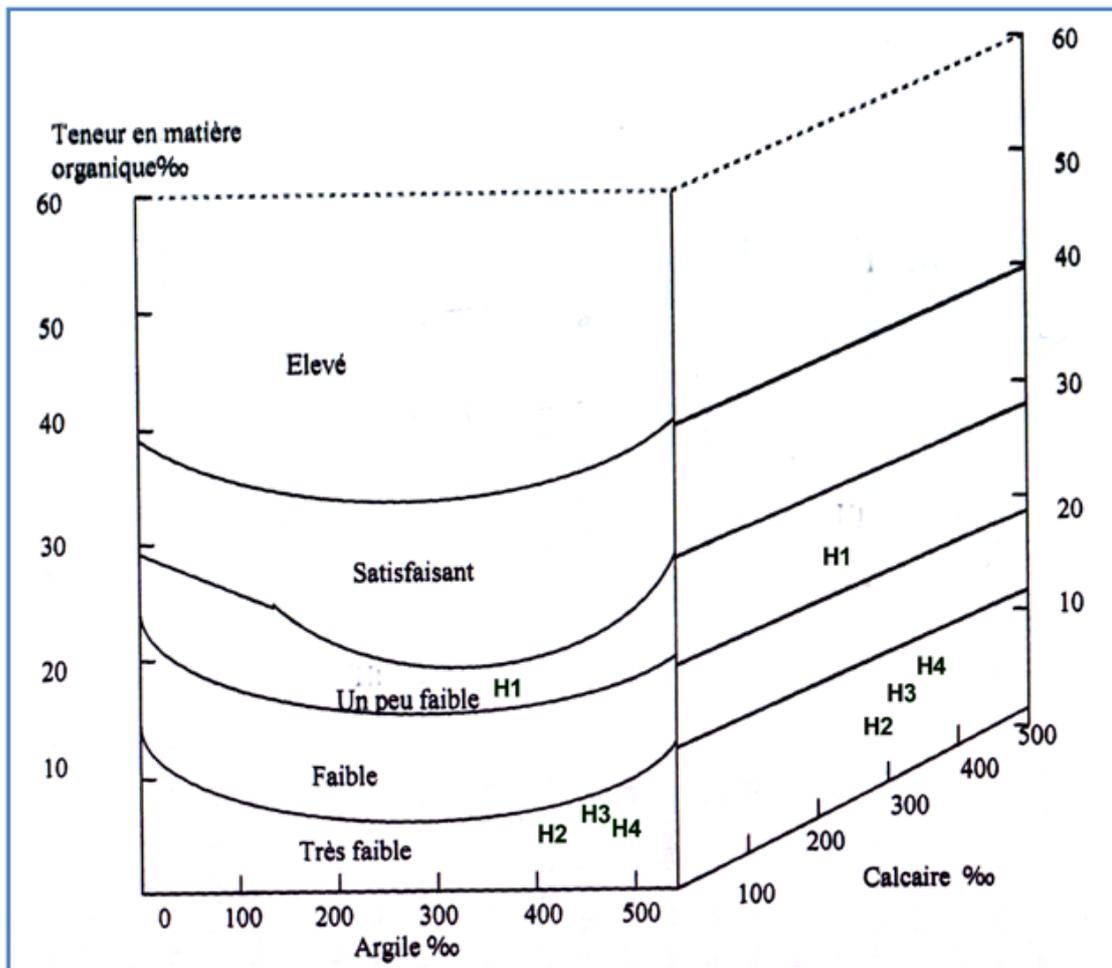
### Horizon 3



■ A ■ LF ■ LG ■ SF ■ SG



**Figure n° 12** : Résultat de l'analyse granulométrique de la parcelle étudiée



H1: Horizon1, H2: Horizon2, H3: Horizon3, H4: Horizon4.

**Figure n° 13** : Appréciation du niveau de la MO en fonction de la teneur en argile et en calcaire (CALVET et VILLEMIN, 1986)

**En fonction du calcaire :**

0 – 20 cm , 20 – 40 cm : teneur un peu faible  
40 – 60 cm, 60 – 80 cm : teneurs très faible

Ces niveaux faibles enregistrés en fonction du calcaire s'expliqueraient par le taux élevé en cet élément dans le sol.

**II.1.3- Le calcaire total**

La valeur du calcaire total est indispensable à connaître en milieu calcaire (**BAIZE,1988**). Selon **CALVET** et **VILLEMIN (1986)**, un sol est considéré comme calcaire à partir de 2 % de calcaire total et franchement calcaire au-delà de 6 %

**BAIZE (1988)** signale qu'en milieu calcaire, la connaissance de la valeur du calcaire total est indispensable car elle est déterminante pour le choix de la forme des engrais à préconiser, notamment celles des fertilisants sulfatés.

L'examen des résultats de l'analyse du sol révèle que la parcelle d'étude possède des taux de calcaire total variables qui augmentent avec la profondeur. Selon les normes proposées par **BAIZE (1988) (Annexe n° 3)**, les profondeurs considérées sont fortement calcaires.

Il est établi que la teneur en calcaire total influe sur le choix du porte-greffe et induit une immobilisation du phosphore et des oligo-éléments (**HEVIN, 1975**) in (**BONNEAU et SOUCHIER, 1979**).

Cependant si la teneur en calcaire total n'est pas suffisante pour connaître la vocation du sol en tant que sol fruitier (**BOUHIER DE L'ECLUSE, 1983**) et (**GROS, 1979**), l'estimation du calcaire actif s'impose (**DUCHAUFFOUR, 1988**) et (**MOREL, 1996**).

**II.1.4- Le calcaire actif**

Le calcaire actif est le principal pourvoyeur en cations  $Ca^{++}$ , solubles en présence de  $CO_2$  (**DUCHAUFFOUR, 1988**)

Les taux de calcaire actif varient dans le même sens que le calcaire total (**BRETAUDEAU, 1978**), (**GAUTIER, 1988**).

Les valeurs brutes du calcaire actif s'échelonnent entre 2 et 35 % (**BAIZE, 1988**)

La teneur en calcaire actif devient nuisible au-delà d'une certaine limite.

A partir de 6 % de calcaire actif, on peut déjà avoir une action chlorosante sur les arbres fruitiers car il insolubilise le fer et d'autres éléments (**CALVET et VILLEMIN , 1986**)

Au-delà de 8 %, la disponibilité en oligo-éléments pour les arbres fruitiers peut être compromise. Il peut même parfois en résulter un risque de blocage (**GAUTIER, 1988**).

Même si le pommier est capable de supporter des teneurs relativement élevées en calcaire actif, il faut renoncer à le cultiver dès que le taux de calcaire actif dépasse 15 %. Pour cette raison il est conseillé de déterminer le taux de calcaire actif avant plantation afin de choisir le porte-greffe le mieux adapté à ce type de sol et après plantation pour apprécier la résistance du porte-greffe (**CALVET et VILLEMIN, 1986**) et (**ANONYME, 1989**).

Les résultats de notre étude pour ce paramètre se situent au voisinage ou sont supérieur à la limite critique de 15 % qu'il ne faut pas franchir. Ces données confirment les effets délétères de l'excès de calcaire actif puisque des symptômes de chlorose ont été observés sur les feuilles des arbres. Ceci pourrait témoigner déjà d'une altération dans la disponibilité des oligo-éléments ou leur blocage au cours du temps.

### **II.1.5- Le pH**

Le pH du sol exerce une influence importante sur l'activité du sol, sur la disponibilité de la majeure partie des éléments nutritifs, sur leur assimilation et la composition de la plante (**MARTIN PREVEL et al., 1984**) et (**BERTSCHINGER et al., 2006**)

Le pH de la solution du sol est normalement compris entre 5 pour les sols siliceux et 8 pour les sols calcaires, un pH basique entraîne la formation d'hydroxydes insolubles (**HELLER et al., 1998**).

**GROS (1979)** indique que les valeurs élevées du pH sont fréquemment corrélatives de difficultés d'assimilabilité par les plantes, de certains éléments indispensables comme : P, Zn, Mn, Cu et Fe.

**GAUTIER (1988)** et **BERTSCHINGER et al. (2006)**, signalent que la valeur du pH favorable à l'arboriculture fruitière oscille entre 6.0 et 7.5.

Pour **BOUHIER DE L'ECLUSE (1983)**, les sols à pH basique ( 7.5 à 8) sont beaucoup moins favorables aux arbres fruitiers et mentionne que parmi les pommiers, seules les variétés Golden Delicious, Winesap et Reinette Baumann supportent un pH neutre ou légèrement alcalin.

Toutes les valeurs du pH que nous avons obtenues sont supérieures à 8, ce qui signifie que le sol étudié est alcalin selon le référentiel (**GAGNARD et al., 1988**) ( **Annexe n° 04**)

Selon les résultats indiqués dans **tableau n° 26**, l'apparition du problème de blocage du phosphore et du fer n'est pas à écarter.

### **II.1.6- Conductivité électrique**

Nous signalons qu'avant plantation du verger des mesures de ce paramètre réalisées correspondaient à un sol peu salé (0.60 – 1.25 ds/m)

Les valeurs de la conductivité électrique se situent au dessous de 0.6 ds/m de l'échelle de saturation (**Annexe n° 5**) ce qui correspond à un sol non salé

La pratique de l'irrigation au goutte à goutte et l'augmentation de doses à conduit à un lessivage des sels solubles, ce qui a permis de réduire la conductivité du sol.

## **II.2- Analyses chimiques**

Le but des mesures de l'analyse chimique est de connaître :

- La quantité d'éléments améliorant ou nuisant la structure
- La quantité d'éléments nutritifs que le sol est capable de fournir aux plantes et à leur équilibre, d'où l'on déduit les conseils de fumure
- L'opportunité d'amender ou non le sol et la manière de la faire pour en éviter les dangers.
- L'existence éventuelle de quantités excessives de certains éléments pouvant devenir toxique pour les arbres (**SOLTNER, 2000**)

**Tableau n° 27** : Résultats de l'analyse chimique du sol de la parcelle retenue pour l'étude

Couches	Carbone (%)	L'azote total (%)	C/N	Phosphore assimilable (ppm)	CEC (meq/ 100 g)	Les bases échangeables (méq/ 100 g)			
						Mg	Ca	Na	K
0– 20cm	1.66	0.17	09.76	60	19.20	5.01	12.5	1.03	0.55
20-40cm	2.05	0.20	10.25	58.33	22.40	7.52	14.11	1.03	0.81
40-60cm	0.87	0.10	10.00	56.66	24.21	7.52	14.25	0.69	0.74
60-80cm	0.94	0.10	09.40	25.00	27.20	7.02	15.46	0.69	0.70

### II.2.1- L'azote

Le comportement de l'azote dans le sol est lié à de nombreuses voies de transformation. Il se trouve sous trois principales formes : une forme gazeuse dans l'atmosphère du sol, une forme organique dans la matière organique du sol et une forme minérale. La transformation des différentes formes d'azote dans le sol se produit sous l'action de micro-organismes

La période de prélèvement des échantillons conditionne la fiabilité des résultats obtenus (DAOUD, 1997)

Dans une bonne terre végétale, la teneur en azote du sol est de l'ordre de 1 %, dont 1 à 2 % de cette quantité est sous forme minérale (HELLER et al., 1998)

**Tableau n° 28** : normes d'interprétation pour l'azote

Eléments analysés	Très pauvres	Pauvres	Moyen	Riche	Très riche
Azote (%) selon Kjeldahl	< 0.05	0.05 à 0.1	0.1 à 0.15	0.15 à 0.25	> 0.25

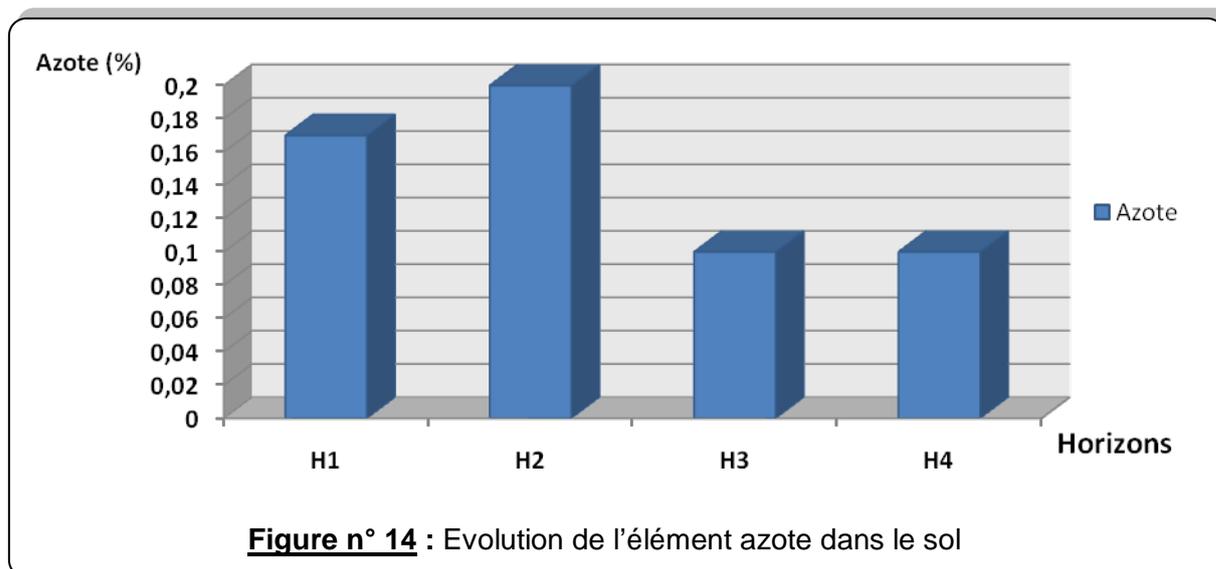
L'examen des résultats obtenus (**figure n° 14**) révèle que le sol de la parcelle d'étude présente des teneurs moyennes à riches pour cet élément.

Nous pouvons constater que les deux horizons de surface se révèlent riches en azote (0.17 à 0.20 %) , alors que les teneurs sont moyennes (0.10 %) dans les horizons profonds (**tableau n° 28**).

Cette diminution progressive pourrait être due à :

- L'accumulation de la fraction organique que au niveau des horizons de surface.
- Les apports localisés des matières fertilisantes

Ces niveaux, semblent néanmoins maintenir une alimentation suffisante en azote des arbres



**Figure n° 14** : Evolution de l'élément azote dans le sol

### II.2.2- Le rapport C/N

En général, la matière organique renferme à la fois du carbone et de l'azote (N) dans des proportions relativement fixes.

Pour les sols de culture, ce rapport est compris entre 9 et 12 (**GAGNARD et al., 1989**)

La matière organique bien décomposée, c'est-à-dire l'humus stable du sol, a un rapport C/N voisin<sup>2</sup> de 10, cette valeur indique un sol, où les conditions physico-chimiques sont favorables et où la vie microbienne est active. Quand il est supérieur à 11, le rapport C/N indique en général, soit une mauvaise structure du sol, soit un sol acide, soit un sol asphyxiant et une vie microbienne ralentie (**CALVET et VILLEMINE, 1986**)

En se référant aux normes citées précédemment, on constate que le sol de la parcelle d'étude présente un rapport (C/N) qui varie très peu avec les horizons entre 9.4 et 10.25, mais diminue légèrement avec la profondeur, ce qui traduit des conditions favorables de minéralisation (**tableau n° 27**)

### II.2.3- Le phosphore

D'après **HUGUET (1978)**, quelque soit la nature du sol, le phosphore est un élément très peu mobile et migre en profondeur en très faible quantité

**SOLTNER (2000)**, signale qu'en milieu alcalin, les phosphates mono et bicalciques se transforment en phosphates cristallisés (apatite) et cette rétrogradation est le principal obstacle à la nutrition phosphatée en sol calcaire.

**MOUGET (1978) in BENSEGHIR (2006)**, signale que les engrais phosphatés dans le sol libèrent le phosphore sous forme de  $H_2PO_4^-$  ou  $HPO_4^{2-}$ , selon le pH du sol, les anions du phosphore qui n'entrent pas en contact avec les racines ne seront plus absorbés et vont réagir avec des cations tels que le calcium en sol basique et le fer et l'aluminium en sol acide pour former des minéraux qui sont peu solubles et donc moins disponibles pour les plantes, ces réactions sont à l'origine de la très faible mobilité du phosphore dans le sol

## Le phosphore assimilable

Le phosphore dissous dans la solution du sol et le phosphore adsorbé ou "autodiffusible" sur le complexe absorbant, représentant la réserve rapidement assimilable par la plante (SOLTNER, 2000)

## Les résultats de l'appréciation

D'après les normes d'interprétations citées dans le **tableau n° 29** et les graphiques d'appréciation des niveaux du phosphore assimilable en fonction de la teneur en argile et en fonction de la C.E.C (**figure n° 16**) Les teneurs en phosphore sont d'un niveau moyen dans les trois premiers horizons et d'une teneur très pauvre pour le dernier horizon

**Tableau n° 29** : Normes d'interprétation du phosphore

Eléments analysés	Très pauvre	Pauvre	Moyen	Riche	Très riche
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> assimilable (‰) 'JORET – HEBERT)	0 – 0.03	0.03 – 0.05	0.05 – 0.07	0.1 – 0.2	> 0.2

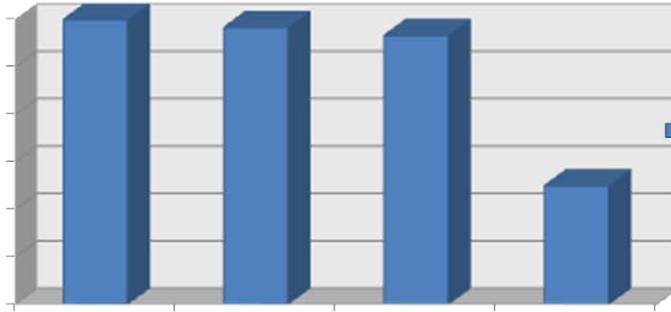
Nous pouvons constater que les concentrations en phosphore dans le sol étudié, diminue avec la profondeur, mais ne varient pas brusquement à travers le profil (**tableau n° 27** résultats des analyses des sols) (**figure n° 15**)

Cette diminution progressive pourrait être à l'origine de la fraction organique qui s'accumule beaucoup plus dans les horizons de surface et qu'en se décomposant libère une quantité non négligeable de phosphore.

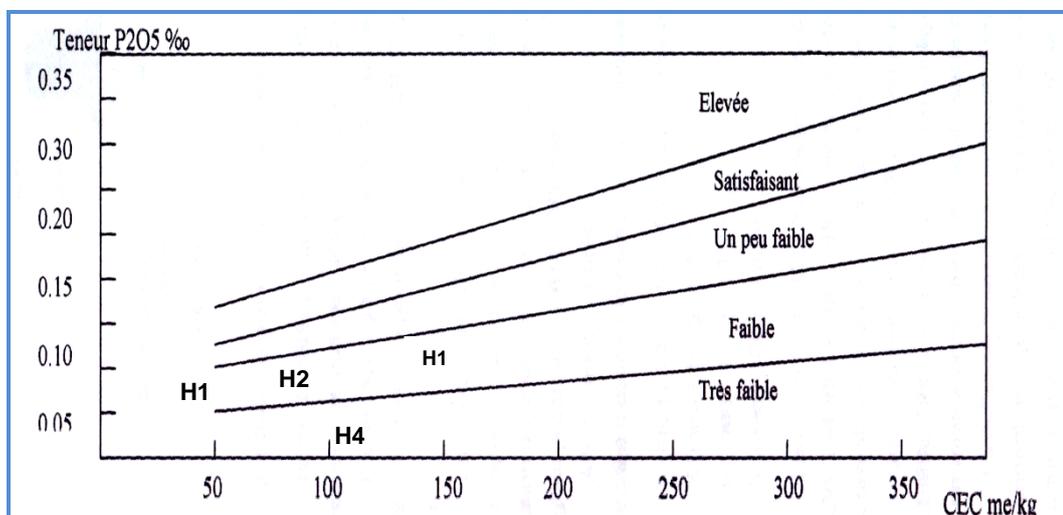
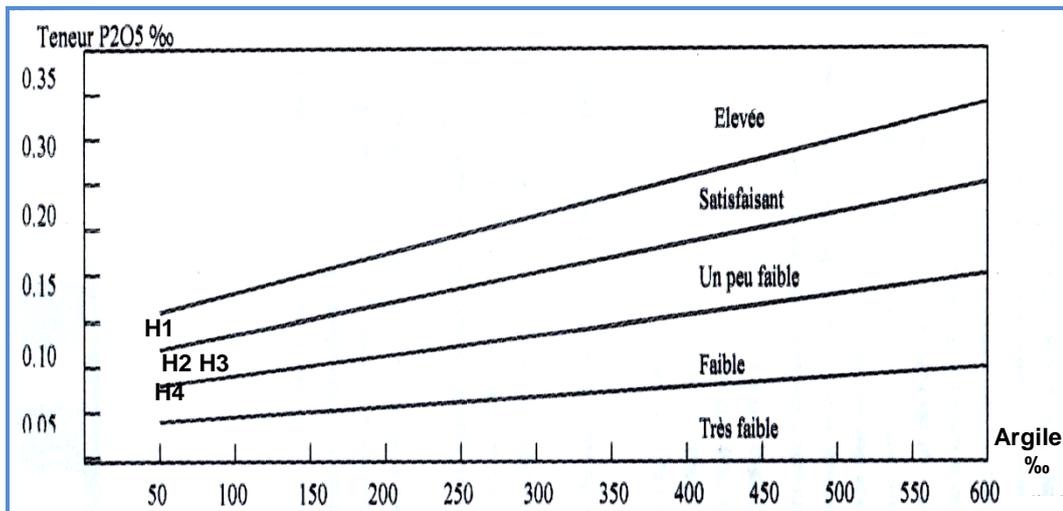
**Tableau n° 30** : Appréciation du niveau de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> assimilable en fonction de la teneur en argile et la valeur de la C.E.C

Profondeur (cm)	Teneur en argile (%)	C.E.C (méq/100g de sol)	Teneur en P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	Niveau de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> assimilable
00-20 cm	35.95	19.20	0.060	Faible
20-40cm	42.12	22.40	0.058	Faible
40-60 cm	44.48	24.21	0.056	Faible
60-80 cm	45.75	27.20	0.025	Très faible

La présence d'un taux de calcaire élevé en profondeur, pourrait limiter ultérieurement la disponibilité du phosphore et engendre une carence importante et ce avec le vieillissement de la plantation



**Figure n° 15 :** Evolution de l'élément phosphore dans le sol



**Figure n° 16 :** Appréciation du niveau de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> assimilable en fonction de la teneur en argile et la valeur de la CEC (CALVET et VILLEMIN, 1986)

## II.2.4- Le potassium échangeable

L'évolution de l'élément potassium dans le sol est indiquée au niveau de **la figure n° 17**.

Le sol présente un taux de potassium échangeable élevé, que ce soit en fonction de la CEC ou des argiles (**figure n° 18**)

Les résultats de l'appréciation du niveau de la potasse ( $K_2O$ ) échangeable en fonction de la teneur en argile et la valeur de la CEC sont regroupés dans le **tableau n° 31**

**MOREL (1996)**, signale que l'estimation de l'aptitude d'un sol à assurer l'alimentation potassique des cultures doit être associée aux taux d'argiles et à la valeur de la C.E.C

D'une façon générale 90 à 98 % du potassium total dans les sols se trouvent sous forme non utilisable pour la plante (**DAOUD, 1997**) et pour être disponible il faut qu'il soit libéré

La disponibilité du potassium aux cultures dépend de son intensité, de sa quantité et de sa capacité. Cette dernière caractérise la capacité du sol à maintenir une intensité de libération du potassium, constante lors de son assimilation par les racines ou lors de l'apport d'engrais potassiques (**DAOUD, 1997**).

Les valeurs de  $K_2O$  échangeable exprimées en fonction de la teneur en argiles (**CALVET et VILLEMIN, 1986**) permettent de déduire que les teneurs sont élevées dans les deux premières couches et satisfaisantes dans les deux dernières.

Quant aux valeurs de  $K_2O$  échangeable exprimées selon la C.E.C (**CALVET et VILLEMIN, 1986**), elles permettent de souligner que la teneur en  $K_2O$  est élevée dans les trois premières profondeurs et satisfaisante dans la dernière couche (60-80 cm).

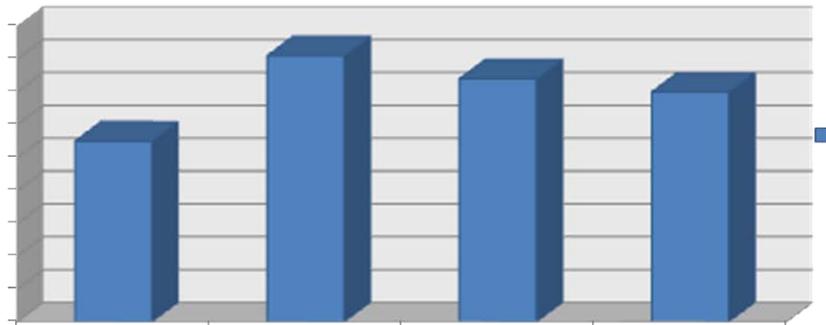
La richesse potassique du sol peut être due aux argiles complexes du sol qui contiennent des quantités importantes de potassium et aussi à l'enfouissement d'engrais potassiques pratiqué avant l'échantillonnage (**CATZEFLIS, 1971 et CHEVALIER, 1976**).

**Tableau n° 31** Appréciation du niveau de  $K_2O$  échangeable en fonction de la teneur en argile et la valeur de la CEC

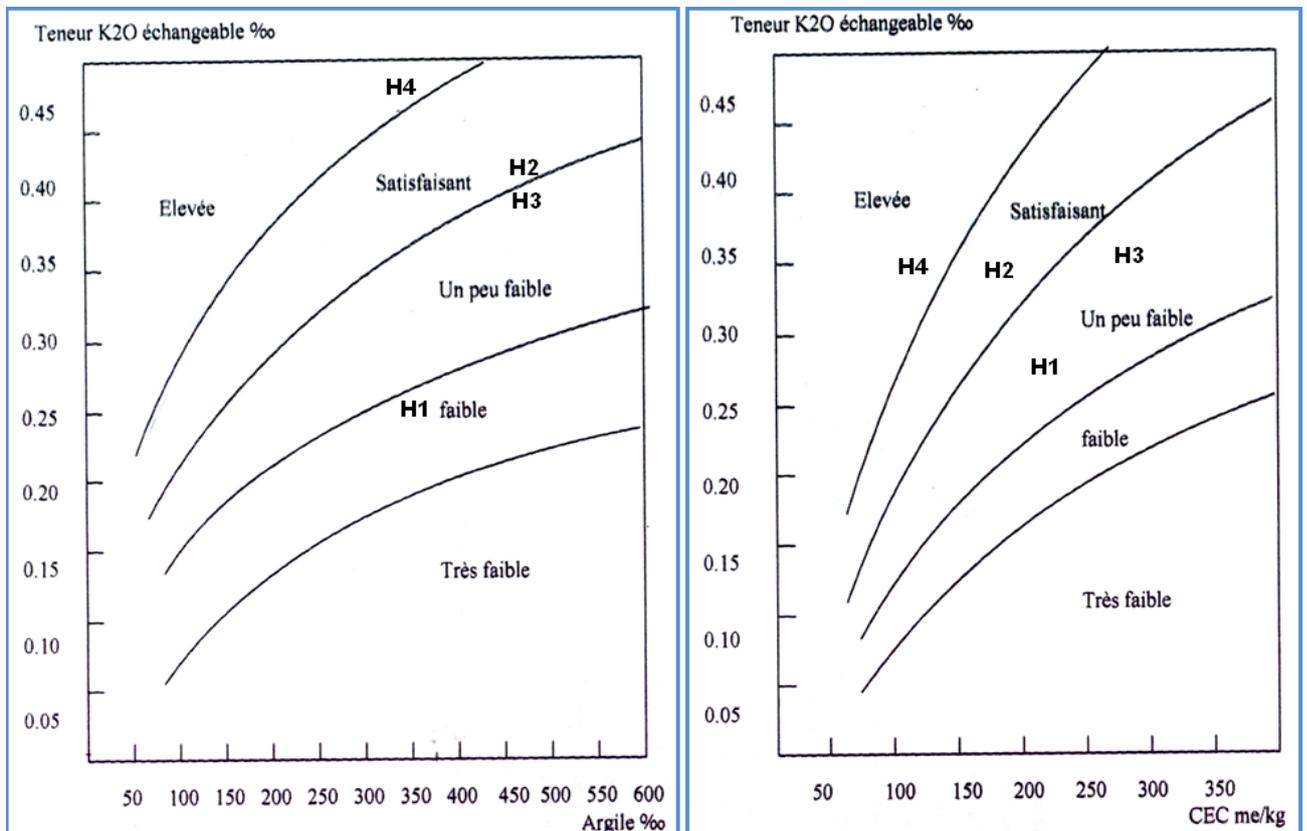
Profondeur (cm)	Teneur en argile (%)	C.E.C (méq/100g de sol)	Teneur en $K_2O$ (‰)	Niveau de $K_2O$ échangeable
00-20 cm	35.95	19.20	0.25	Faible
20-40cm	42.12	22.40	0.38	Satisfaisant
40-60 cm	44.48	24.21	0.34	Satisfaisant
60-80 cm	45.75	27.20	0.92	Elevé

La teneur des sols en potassium est généralement plus élevée que celle de l'azote ou du phosphore (**HALILAT, 1993**)

La richesse potassique du sol peut être due a la nature des argiles ((montmorillonites) du sol qui renferment des quantités importantes de potassium et aussi à l'enfouissement des engrais potassiques pratiqué avec les prélèvements du sol



**Figure n° 17 :** Evolution de l'élément potassium dans le sol



**Figure n° 18 :** Appréciation du niveau de  $K_2O$  échangeable en fonction de la teneur en argile et la valeur de la CEC (CALVET et VILLEMEN,1986)

### II.2.5- La capacité d'échange cationique (CEC)

La CEC représente la somme des cations échangeables du complexe adsorbant, elle représente la réserve totale assimilable du sol en ces éléments.

Ce paramètre donne la fertilité chimique du sol (CALVET et VILLEMIN, 1986) et (GAGNARD et al., 1988)

En se référant aux normes d'interprétation de DELMAS et DARTRIGUE in CALVET et VILLEMIN (1986) (tableau n° 32) ; nous remarquons que les valeurs de la CEC dans les différentes couches du sol de la parcelle étudiée sont élevées à très élevées et tendent à augmenter la profondeur

**Tableau n° 32** : Normes d'interprétation de la CEC

Eléments analysés	Très pauvre	Pauvre	Moyen	Riche	Très riche
CEC (méq/100 g de sol) (DEMLAS et DARTIQUE (INRA))	Très faible < 5	Faible 5 à 10	Moyenne 10 à 15	Elevée 15 à 20	Très élevée > 20

### II.2.6- Le magnésium échangeable

L'évolution de l'élément magnésium dans le sol est indiqué sur la **figure n° 19**

Le magnésium souvent associé au calcium, aura une action analogue bien que moins énergétique (SOLTNER, 2000)

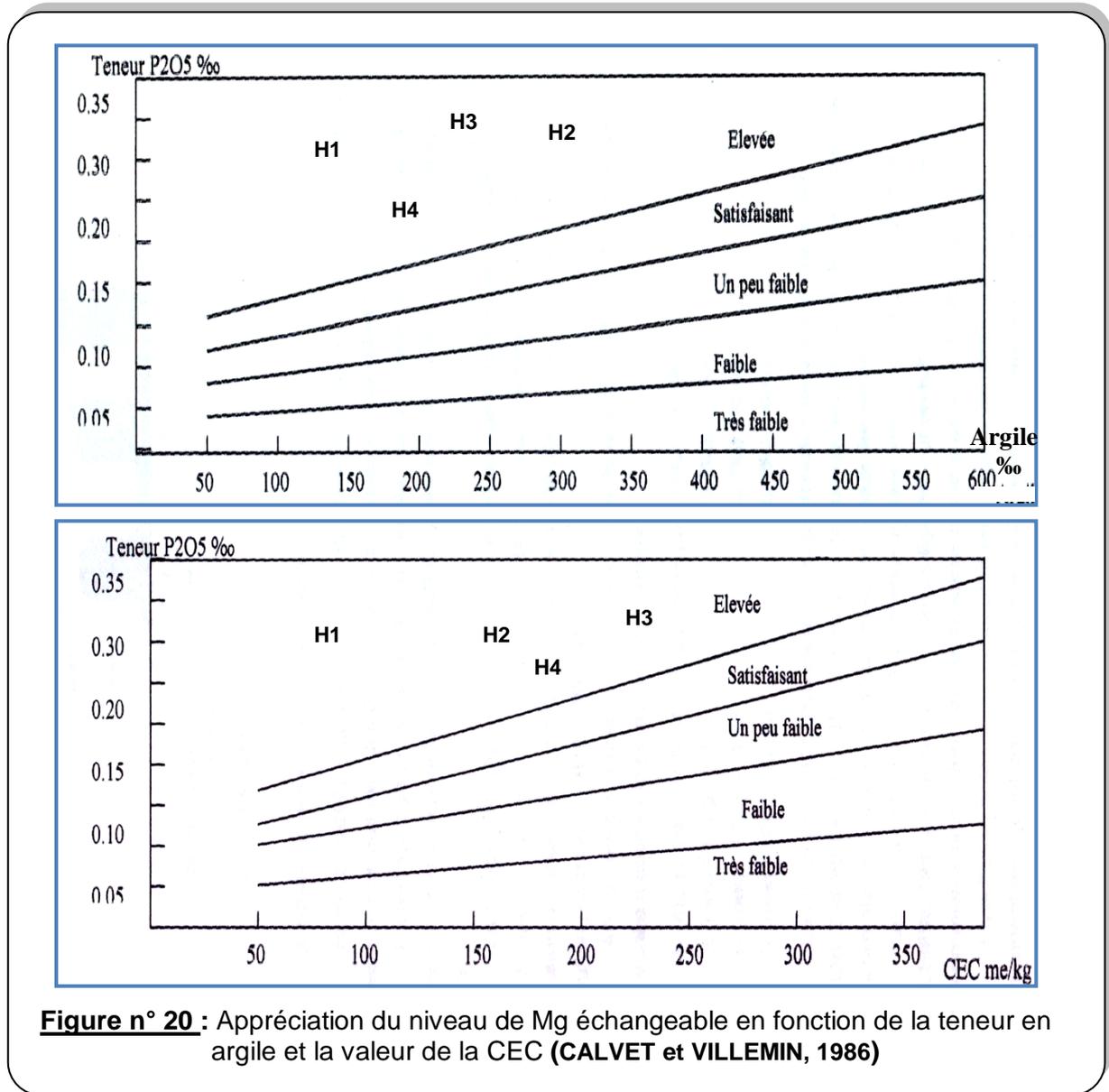
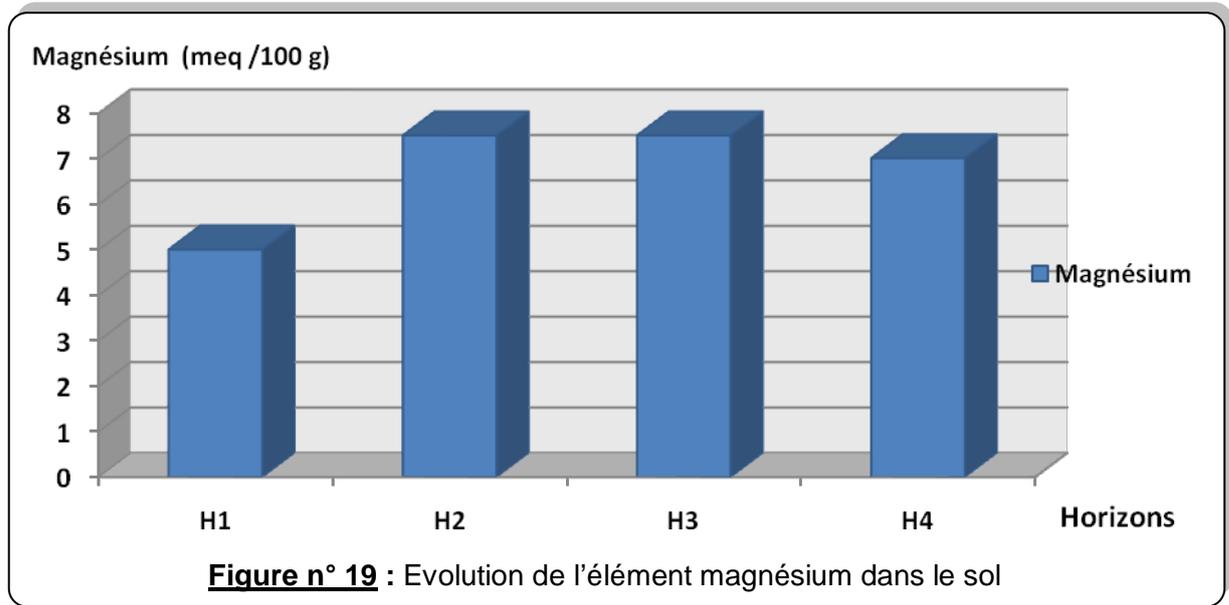
**Tableau n° 33** : Appréciation du niveau de Mgo échangeable en fonction de la teneur en argile et la valeur de la CEC

Profondeur (cm)	Teneur en argile (%)	C.E.C (méq/100g de sol)	Teneur en MgO (‰)	Niveau de MgO échangeable
00-20 cm	35.95	19.20	1	Elevé
20-40cm	42.12	22.40	1.5	Elevé
40-60 cm	44.48	24.21	1.5	Elevé
60-80 cm	45.75	27.20	1.4	Elevé

En se basant sur le graphique (**figure n° 20**) et (**tableau n° 33**), nous pouvons constater que les teneurs en Mgo échangeable exprimées aussi bien en fonction des argiles qu'en fonction de la CEC vont dans le même sens, à savoir celui d'un sol riche en magnésium. Ces valeurs élevées peuvent être expliquées par les faits suivant :

Le sol de la parcelle est riche en, calcaire et son pH supérieur à 8, confirmant ainsi l'hypothèse de (BOUHIER DE L'ECLUSE, 1986) notant l'action favorable de la matière organique qui contribue à l'amélioration de la réserve de cations retenus par le complexe argilo-humique notamment le magnésium.

Nous pouvons conclure que les teneurs sont fortement suffisantes pour le maintien d'une bonne alimentation magnésienne des arbres.



### II.2.7- Le calcium échangeable

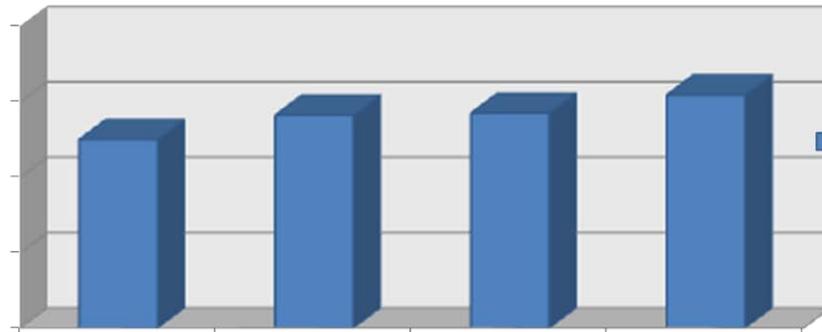
Le principal élément de saturation dans le sol est représenté par le calcium. Ce dernier existe sous une forme de réserve qui est le calcaire.

Les cations  $\text{Ca}^{++}$  fixés sur le complexe argilo-humique servent de cations d'échanges (ELIARD, 1974). La floculation de ce complexe est due au calcium (GAUTIER, 1987).

En outre, les excès calciques peuvent engendrer une insolubilisation des composés phosphatés voire un blocage des oligo-éléments tels le fer, le zinc, le cuivre et le manganèse (MOREL, 1996).

Ainsi le calcium est l'élément prépondérant dans le complexe absorbant et le sol étudié est très bien pourvu (tableau n° 27).

Par conséquent le problème ne se pose pas en terme de disponibilité du calcium dans le sol étudié puisqu'il y est largement disponible. Par contre, ce sont surtout les effets néfastes éventuels qu'il peut induire tels que les antagonismes secondaires à cette richesse calcique et qui doivent être redoutés



**Figure n° 21** : Evolution de l'élément calcium dans le sol

**Introduction**

Les résultats de différents éléments dosés au niveau des feuilles sont exprimés en pourcentage de matière sèche et mentionnés dans les tableaux (**Annexe n° 01 (a et b)**)

Nous proposons de comparer ces résultats a ceux obtenus par **BOULD (1964)** ; **KENWORTHY (1964)** et **GAUTIER (1975)** (**Annexe n° 08**).

**I.1- Interprétation des résultats des analyses foliaires**

**I.1.1- Azote**

Les teneurs foliaires en azote obtenues pour les deux années d'étude sont portées dans le **tableau n° 34**. Ces teneurs sont respectivement de 2.72 (% de M.S) et 2.94 (% de M.S) pour les deux années.

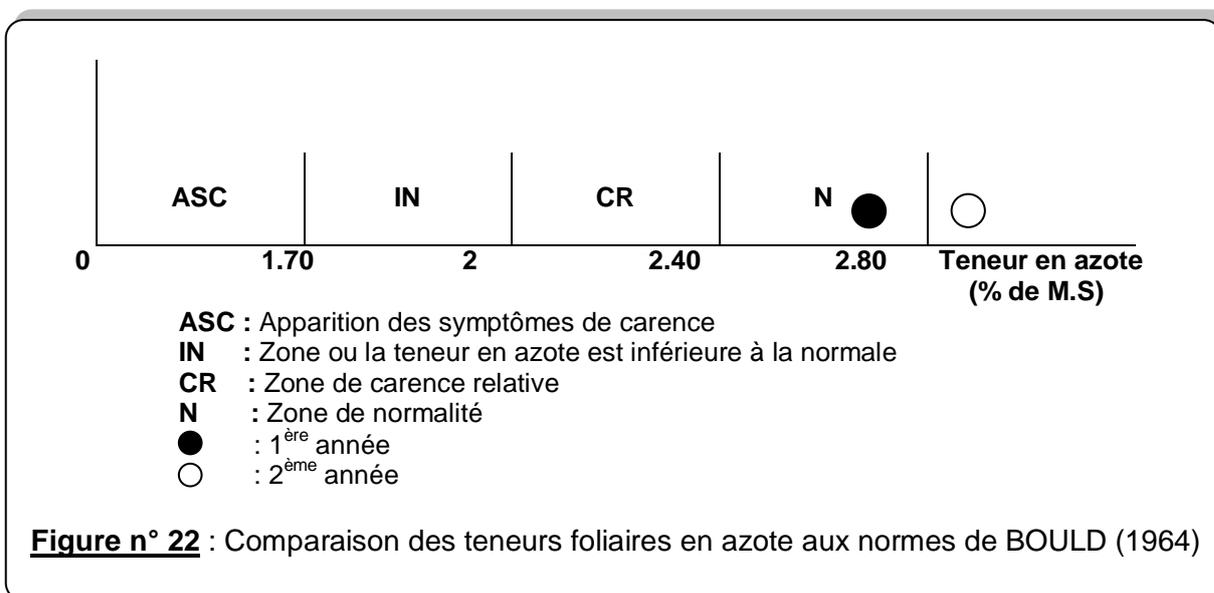
Selon les normes de **BOULD (1964)**, la teneur en azote pour la première année se situe dans la zone d'alimentation normale, alors qu'elle est au dessus de la limite supérieure à la normale (2.80 (% de M.S)) pour la deuxième année.

Les valeurs de tous les échantillons se situent au dessus de la limite supérieure de la normale (2.33 % ) indiquée par **KENWORTHY (1964)** et par rapport a ceux de **GAUTIER (1975)** (2.3 – 2.5 %)

Au vu de la richesse du sol en azote et des niveaux normaux des feuilles, le bilan de l'élément azote peut être considéré a l'optimum et que son degré d'assimilabilité par la plante est satisfaisant, nous pouvons également confirmer que les apports d'engrais azotés ont répondu aux besoins du verger.

**Tableau n° 34:** Teneur foliaires en azote (% de matière sèche)

Années \ Répétitions	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	Moyenne ET
<b>I</b>	3.06	3.01	2.97	2.97	2.88	2.88	2.75	2.75	2.53	2.72 ± 0.05
<b>II</b>	3.23	3.15	3.01	3.06	3.03	3.08	2.88	2.49	2.55	2.94 ± 0.03



**I.1.2- Phosphore**

Les résultats obtenus des teneurs foliaires en phosphore sont rapportés dans le **tableau n° 35**.

L'examen des résultats montre que pour les teneurs foliaires en phosphore et quelque soit l'année se projettent dans une zone inférieure à la normale selon les normes proposées par les trois auteurs, ce qui nous amène a conclure que cet élément est déficient au niveau du verger.

Ces faibles teneurs foliaires confirment également la faiblesse des teneurs en cet élément en profondeur (au niveau de la localisation des racines).

**HUGUET (1978)** note que cet élément est connu par sa très faible migration en profondeur et reste localisé en surface où il à été apporté.

**MOUGHLI (2000)** indique que dans les sols à pH élevé, généralement calcaires, le phosphore évolue vers des formes insolubles mais facilement utilisables par le végétal.

**KHELIL (1989)** indique qu'en Algérie, l'apport de la forme phosphatée enrichit davantage l'horizon de surface, cet élément ne parvient plus aux racines en raison de sa faible mobilité et son blocage par le calcaire et le pH alcalin. La réaction de la plante peut être lente à la fumure phosphatée.

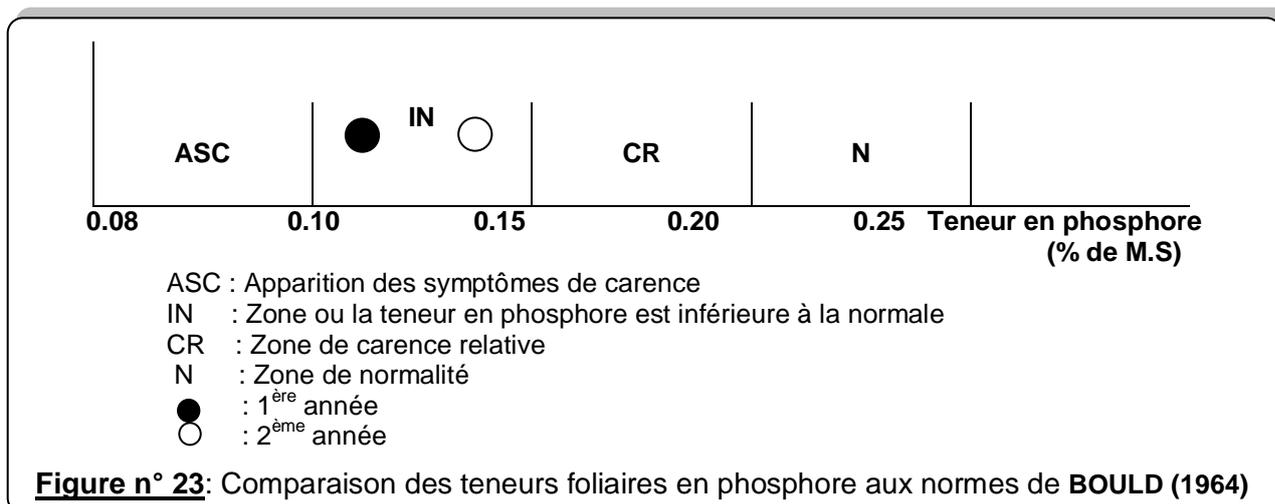
Nous pouvons constater que malgré, la pratique de la ferti-irrigation au niveau du verger, la nutrition phosphatée est déficiente.

La faiblesse des valeurs observées peut être due particulièrement à une insolubilisation du phosphore du sol de la parcelle qui est à la fois calcaire et à pH alcalin.

Une réduction des teneurs en cet élément est décelée durant les deux campagnes (de la pleine floraison au stade de maturité) montrant une migration de cet élément vers d'autres organes en croissance.

**Tableau n° 35** : Teneurs foliaires en phosphore (% de matière sèche)

Années \ Répétitions	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	Moyenne ET
I	0.15	0.17	0.15	0.17	0.11	0.13	0.04	0.07	0.04	0.11 ± 0.01
II	0.16	0.15	0.16	0.15	0.17	0.11	0.13	0.07	0.02	0.12± 0.01



**I.1.3- Le potassium**

Les teneurs moyennes en potassium respectivement de 1.33 (% de M.S) et 1.40 (% de M.S) (**tableau n° 36**) se situent dans la zone de normalité pour les deux années, selon les normes de **BOULD (1964)**. Comparées aux normes de **KENWORTHY (1964)** (1.53 %) et de **GAUTIER (1975)** (1.8 – 2 %) les valeurs sont inférieures à la normale.

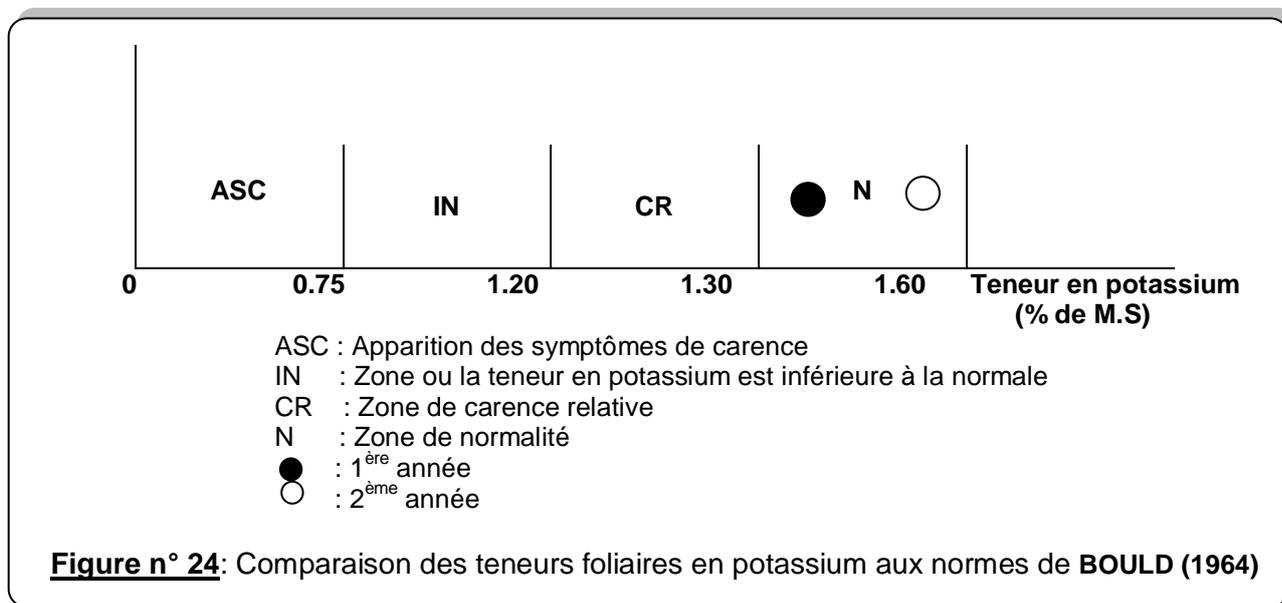
Les teneurs reflètent la richesse du sol en cet élément

Les apports effectués en engrais potassiques seraient efficaces

**KHELIL (1980)** signale que les excès en potassium sont fréquents et contraignent l'absorption des éléments comme le magnésium, le calcaire et le sodium

**Tableau n° 36** : Teneurs foliaires en potassium (% de matière sèche)

Années \ Répétitions	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	Moyenne ET
I	1.63	1.58	1.56	1.49	1.44	1.24	1.07	1.00	1.02	1.33 ± 0.02
II	2.08	1.89	1.63	1.55	1.44	1.08	1.00	0.96	1.03	1.40 ± 0.02



**I.1.4- Le calcium**

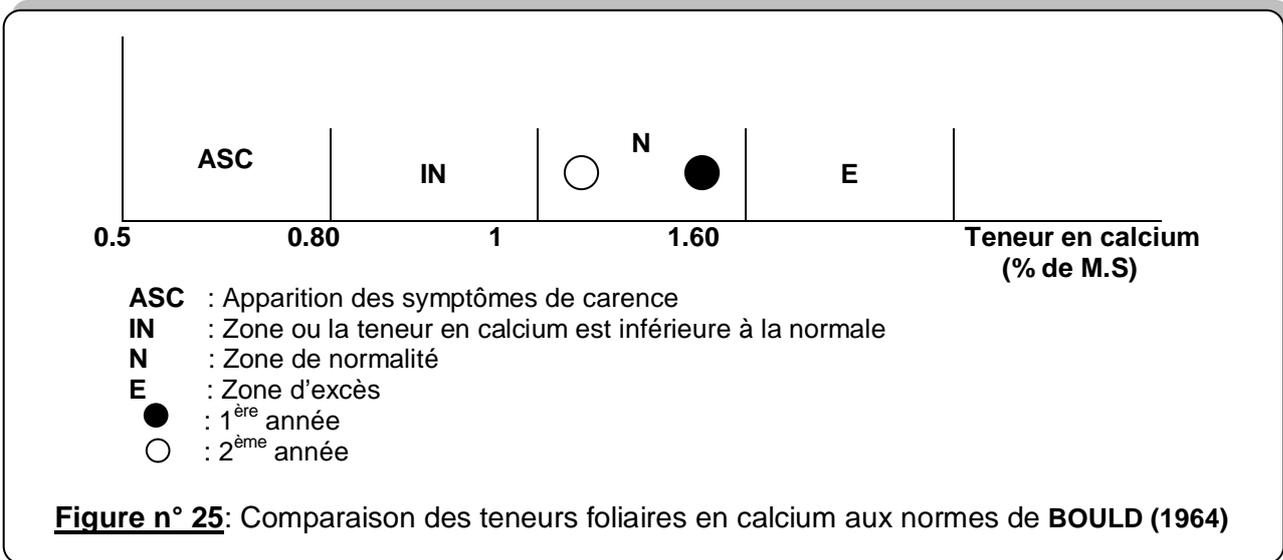
Le **tableau n° 37** montre des valeurs moyennes de 1.38 (% de M.S) pour la première année et de 1.37 (% de M.S) pour la deuxième année, nous pouvons constater que les valeurs foliaires en élément calcium sont dans la zone normale d'après les normes de **BOULD (1964)** et de **KENWORTHY (1964)** (1.4 %).

En Algérie, les déficiences en cet élément n'ont jamais été signalées, les arbres fruitiers sont bien alimentés en calcium (**KHELIL, 1989**). Ce même auteur signale que des excès très fréquents en calcium gênent l'absorption du phosphore, du potassium et des oligo-éléments particulièrement le Fer en induisant la chlorose ferrique, phénomène très fréquent en vergers en Algérie.

Les résultats d'analyse du sol montrent que le Ca<sup>++</sup> échangeable est le cation dominant sur le complexe absorbant, il y aurait donc une grande possibilité d'échange avec la solution du sol, permettant d'assurer une alimentation calcique convenable.

**Tableau n° 37** : Teneurs foliaires en calcium (% de matière sèche)

Répétitions Années	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	Moyenne ET
I	1.21	1.27	1.48	1.32	1.17	1.57	1.50	1.67	1.29	1.38 ± 0.04
II	1.17	1.23	1.47	1.25	1.17	1.74	1.49	1.08	1.2	1.37 ± 0.04



### I.1.5- Le magnésium

Les valeurs mentionnées dans le **tableau n° 38** sont incluses entre 0.57 et 0.62 % pour la première année avec une moyenne de 0.52 % et entre 0.52 et 0.63 % pour la deuxième année avec une moyenne de 0.57 % (**figure n° 26**).

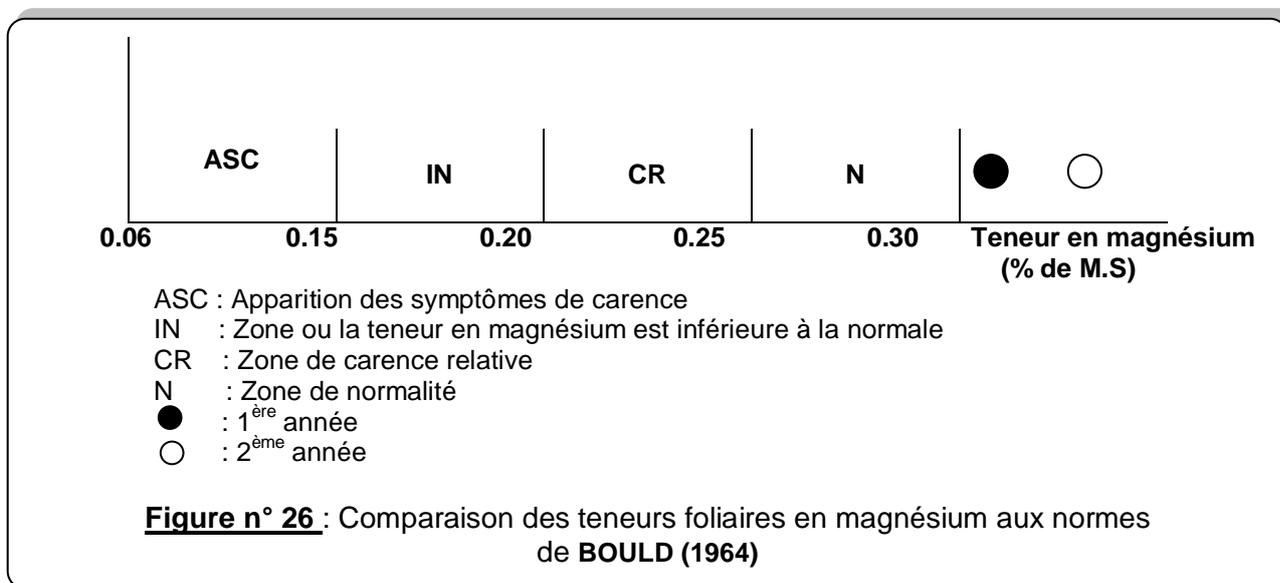
Les teneurs foliaires en cet élément sont situées dans la zone optimale pour les deux années selon les normes de **BOULD (1964)**.

L'examen des courbes d'évolution des teneurs en cet élément montre une faible variation au cours du temps.

Si nous nous référons aux résultats de l'analyse du sol, le magnésium échangeable (Mgo) présente des niveaux satisfaisants. Nous pensons que ceci s'est répercuté positivement sur les niveaux foliaires en cet élément.

**Tableau n° 38** : Teneurs foliaires en magnésium (% de matière sèche)

Répétitions Années	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	Moyenne ET
I	0.55	0.58	0.58	0.57	0.56	0.58	0.61	0.62	0.58	0.52 ± 0.02
II	0.53	0.53	0.59	0.58	0.59	0.63	0.58	0.62	0.52	0.57 ± 0.02



**I.2- Interactions entre les différents éléments minéraux**

RYSER (1982) ; DETOMASI et SCHWARZ (1995), proposent , en plus de l'interprétation des analyses foliaires par élément, de tenir compte également des interactions existantes entre ces mêmes éléments pour une meilleure appréciation de l'état nutritionnel de la plante.

Ces interactions sont très susceptibles aux variations et doivent faire l'objet de corrections annuelles en tenant compte des conditions locales et des facteurs influençant la composition minérale de la feuille en particulier le climat de l'année.

Les normes proposées par RYSER (1982), s'appliquent aux rosacées fruitières des zones tempérées (rosacées à noyaux et à pépins) (tableau n° 39)

**Tableau n° 39** : Normes pour interactions entre éléments

Niveau Rapport	Très faible	Faible	Bon	Elevé	Très élevé
<b>N + P + K</b>	2.58 – 3.17	3.18 – 3.77	3.78 – 4.38	4.39 – 4.98	4.99 – 5.58
<b>K + Ca + Mg</b>	2.02 – 2.47	2.48 - 2.93	2.94 – 3.40	3.40 – 3.86	3.87 – 4.32
<b>(N + P)/K</b>	0.91 – 1.10	1.11 – 1.30	1.31 – 1.51	1.52 – 1.71	1.72 – 1.91
<b>N/P</b>	-	5 – 7	14 – 17	-	-
<b>K/Ca</b>	0.85 – 1.04	1.05 – 1.24	1.25 – 1.45	1.46 – 1.65	1.66 – 1.85
<b>K/Mg</b>	-	-	4 – 5	-	-
<b>K/ (Ca + Mg)</b>	0.71 – 0.89	0.90 – 1.05	1.05 – 1.22	1.23 – 1.38	1.39 – 1.54

(RYSER, 1992)

Les résultats des interactions entre les éléments pour la variété étudiée sont représentés dans le **tableau n° 40**

**Tableau n° 40:** Résultats des interactions entre éléments pour la variété Golden delicious (Résultats des deux campagnes)

Rapport Compagne	N + P + K	K + Ca + Mg	(N+P)/K	N/P	K/Ca	K/Mg	K/(Ca+Mg)
2003 – 2004	4.16	3.23	2.12	24.72	0.96	2.55	0.70
2004 – 2005	4.46	3.34	2.18	24.50	1.02	2.45	0.72

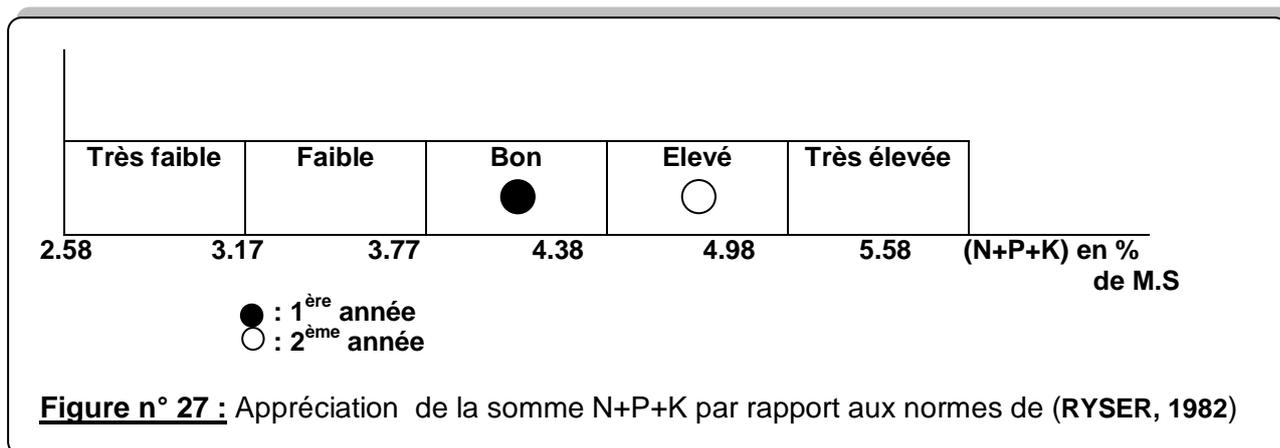
**I.2.1- Détermination des sommes : (N + P + K et K + Ca + Mg)**

**RYSER (1982)**, indique que ces deux sommes facilitent l'appréciation de la fertilité d'une culture.

Ces sommes seront d'autant plus importantes que le sol est riche et permettent de calculer une distribution des éléments en fonction de leurs sommes respectives (**tableau n° 41 et figure n° 27**)

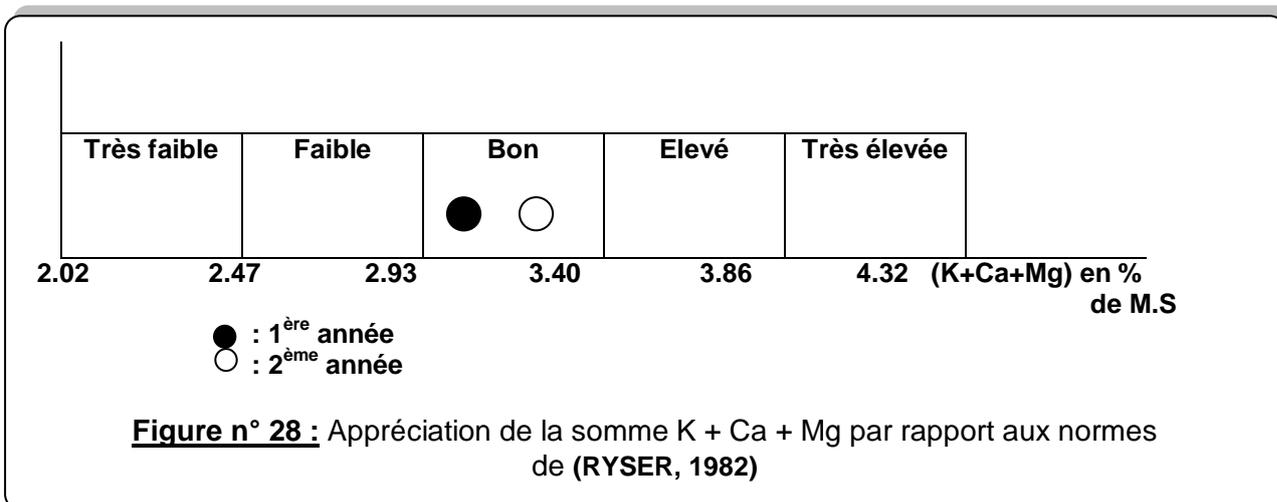
**Tableau n° 41** : Somme (N + P + K) et (K + Ca + Mg) pour les deux années études

Années	2003 – 2004	2004 – 2005	Normes niveau bon
N + P + K	4.16	4.46	3.78 - 4.38
K + Ca + Mg	3.23	3.34	2.94 - 3.40



Les sommes des moyennes des trois éléments N + P + K pour la première campagne est de 4.16 (% de M.S) tandis que pour la deuxième campagne elle est de 4.46 (% de M.S).

D'après le même auteur, l'emplacement des deux sommes à ce niveau (bon à élevé) témoigne d'une richesse du sol de la parcelle étudiée ; due probablement à une fertilisation suffisante.



Les sommes des moyennes des trois éléments K + Ca + Mg pour la première campagne 2003 – 2004 est de 3.23 (% de M.S) tandis que pour la deuxième campagne (2004 – 2005) elle est de 3.34 (% de M.S).(figure n° 28). Comparés aux normes de RYSER (1982) les sommes pour les deux années d'étude indiquent un bon niveau de fertilité.

### 1.2.2- Détermination des différents rapports

Les valeurs correspondantes aux différents rapports pour les campagnes sont consignées dans le tableau n° 42.

**Tableau n° 42 :** Rapports (N+P)/K, N/P, K/Ca, K/(Ca+Mg) et K/Mg pour les deux années

Rapports \ Années	2003 – 2004	2004 – 2005	Normes bon niveau
(N+P)/K	2.12	2.18	1.31 – 151
N/P	24.72	24.5	14 – 17
K/Ca	0.96	1.02	1.25 – 1.45
K/(Ca+Mg)	0.70	0.72	1.06 – 1.22
K/Mg	2.55	2.45	4 – 5

Le rapport (N + P)/K présente un niveau très élevé et informe sur l'éventualité d'une carence en bore (RYSER, 1982). Durant les deux années du suivie aucun symptôme caractéristique n'a été observé.

Ce rapport nous informe sur le risque de carence en bore, lorsque le rapport est qualifié « d'élevé » ou « très élevé », la culture se trouve dans une situation de pré-carence en bore, des observations en viticulture et en arboriculture on permis de confirmer cette situation dans des parcelles suivies pendant 4 à 5 ans (RYSER, 1982).

Les arbres de la parcelle d'étude sont dans une situation d'un fort risque de carence en bore, vu que le rapport (N+P)/K est supérieur au niveau très élevé selon les normes établies par RYSER (Tableau n° 42) ce rapport dépassant la limite supérieur est attribué aux teneurs foliaires élevés en Azote.

Le rapport N/P est satisfaisant pour les deux années.

GAUTIER (1968) in TOUMI (2006) indique qu'un rapport de 14 à 17, avec une teneur en azote de l'ordre de 2.30 % peut être considérée comme satisfaisante, alors qu'un rapport de 5 à 7 avec des teneurs en azote de l'ordre de 2 % est mauvais et indique une déficience

azotée, sans que le phosphore soit à un niveau suffisant dans le cas où l'alimentation azotée serait normale.

La détermination des deux rapports K/Ca et K/(Ca+Mg) permet la définition du seuil d'apparition du Bitter – Pit et la mise en évidence d'antagonisme possibles entre cations (RYSER, 1982)

Le rapport K/Ca est de 0.96 et 1.02 respectivement pour les deux années. Les résultats indiquent que le risque d'apparition du Bitter-Pit est faible à très faible. Donc la teneur en potassium et en calcium est bien équilibrée.

Le rapport K/(Ca + Mg) est de 0.70 pour la première année et de 0.72 pour la deuxième année. Ces deux rapports ne diffèrent pas entre les deux années. Ils sont au-dessous de la zone normale selon les normes de RYSER (1982) (tableau n° 42), et par conséquent l'éventualité d'apparition du Bitter–Pit lors du stockage des fruits est relativement faible.

L'estimation du rapport K/Mg permet la mise en évidence des phénomènes d'antagonisme éventuels entre cations mono et bivalents (RYSER, 1982) pour la première année, ce rapport est de 2.55 pour la deuxième année, il est égal à 2.45.

HUGUET et LIMOUZIN (1972) in (DUDE, 1978) rapportent que le pommier Golden Delicious greffé sur MM104 est très sensible à l'antagonisme K/Mg et que si ce rapport dépasse 5 dans les feuilles il existe une insuffisance magnésienne. Cette déficience magnésienne, n'est pas à signaler (à craindre) dans la situation actuelle du verger.

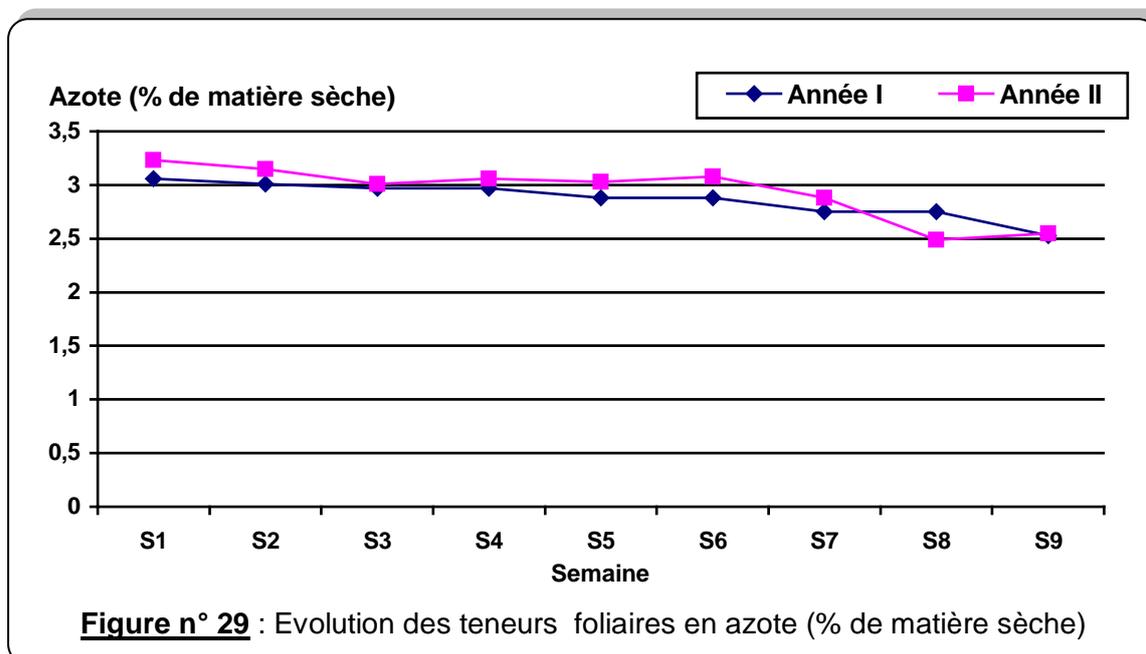
D'autre part, LEVY (1966) et MARTIN –PREVEL et al (1984) rapportent que les symptômes de carences potassique étaient observés quand le rapport K/Mg était inférieur à 4. Ce rapport est faible au niveau de la parcelle pour les deux années d'étude, ceci peut être attribué aux teneurs foliaires en Magnésium un peu élevées et non à une carence potassique puisque le niveau de l'alimentation potassique dans les feuilles est qualifié de satisfaisant.

### I.3- Evolution des éléments dans le temps

#### I.3.1- Azote

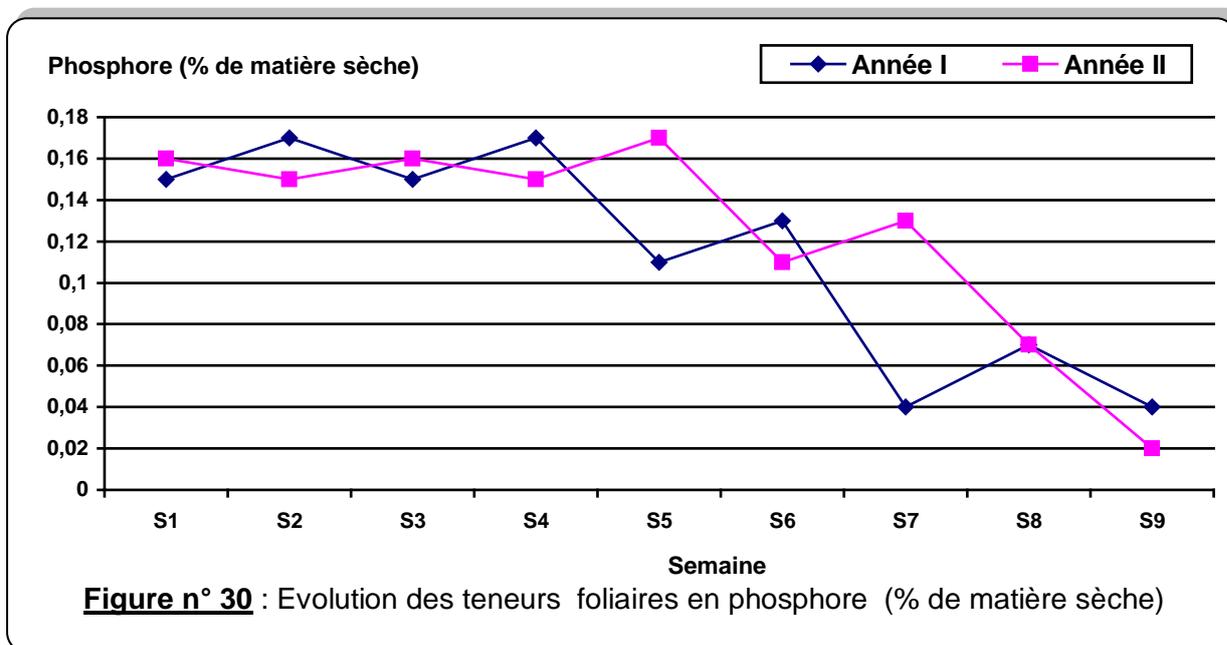
L'évolution de l'azote dans les feuilles est relativement stable à partir de la septième à la douzième semaine pour les deux années d'étude (figure n° 29)

On remarque que la teneur en azote dans les feuilles au début des prélèvements est plus élevée par rapport aux prélèvements suivants



### I.3.2- Le phosphore

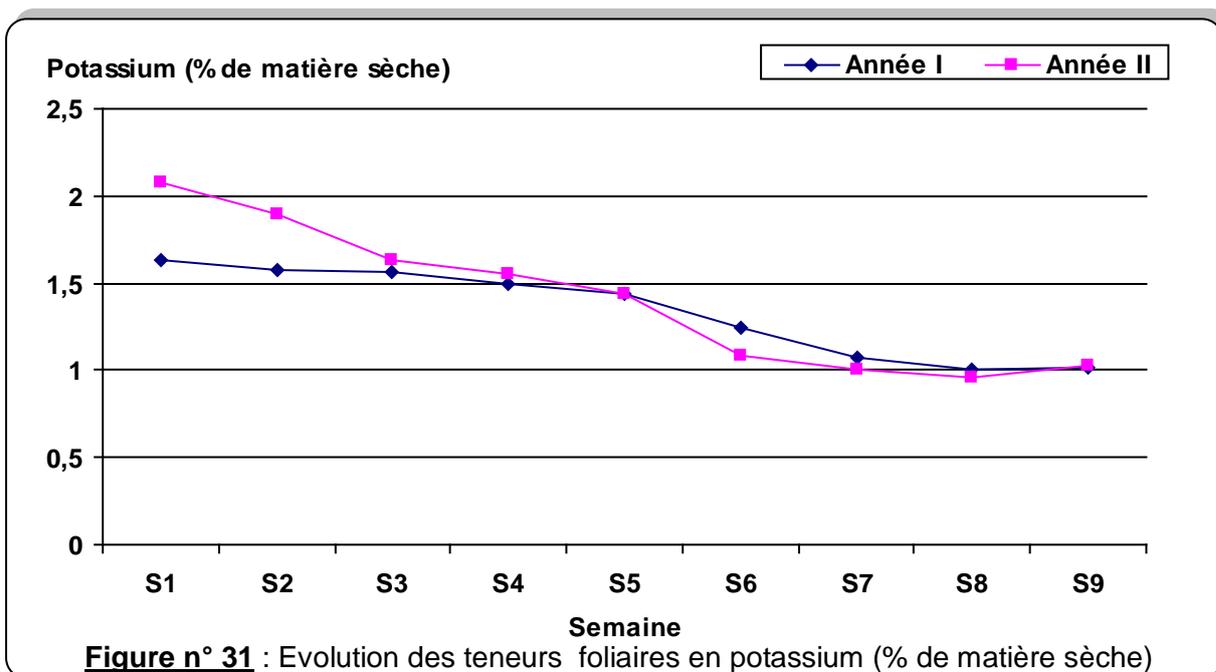
L'examen de la **figure n° 30**, montre pour les deux années d'études une évolution très variable de l'élément phosphore au cours du temps, avec une tendance tout d'abord à la baisse puis une fluctuation en dents de scie.



### I.3.3- Le potassium

L'observation des courbes d'évolution de cet élément montre que la teneur est stable à partir de la sixième à la dixième semaine pour la première année, alors que pour la deuxième année, cette période de stabilité se situe entre la huitième et la dixième année.

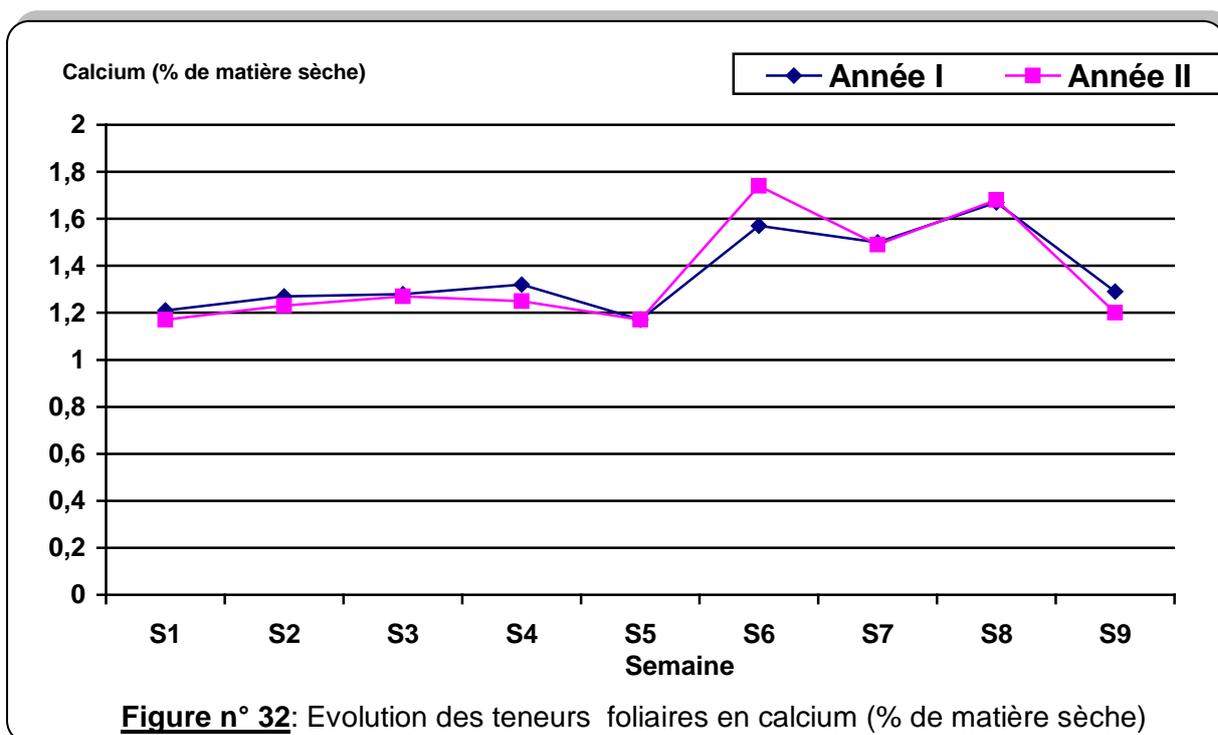
Par ailleurs, on note que la teneur en cet élément a tendance à la baisse au niveau des feuilles au cours du temps et pour les deux années, ceci probablement dû à la migration de cet élément vers les fruits (organes en voie de croissance active) (**figure n° 31**).



#### I.3.4- Le calcium

Le calcium est un élément physiologiquement peu mobile, il tend à s'accumuler avec l'âge des feuilles.

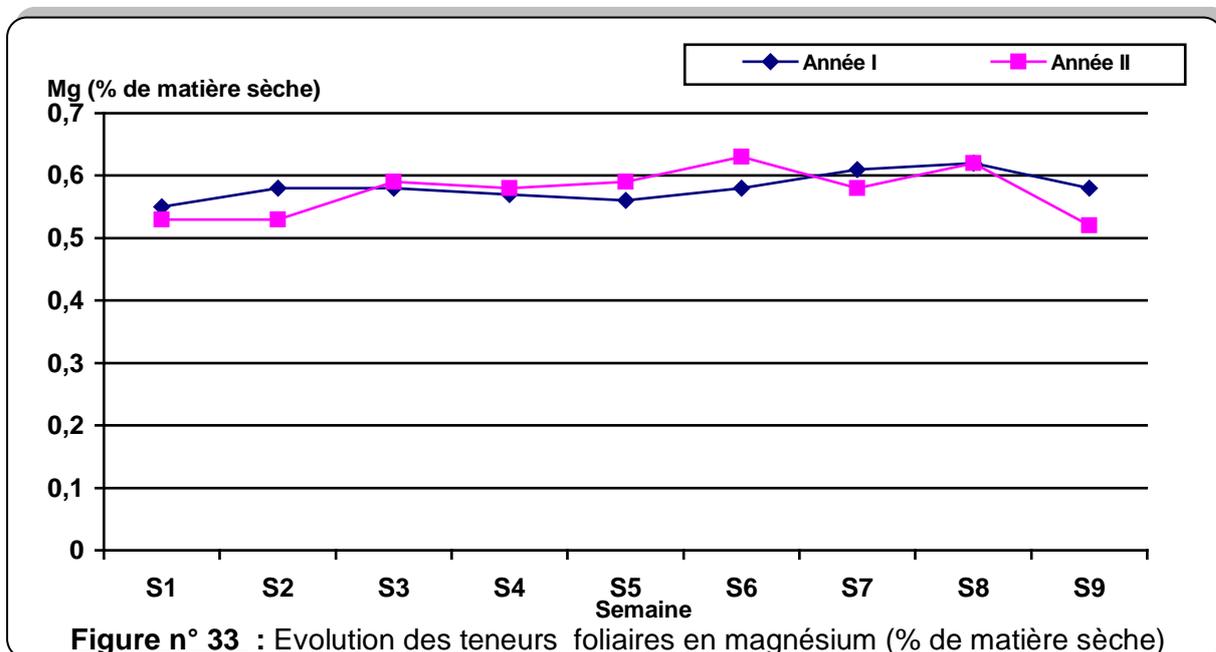
L'évolution de cet élément est relativement stable à partir de la sixième à la dixième semaine pour les deux années (**figure n° 32**)



### I.3.5- Magnésium

De tous les éléments, le magnésium présente des courbes d'évolutions les plus stables et les plus constantes au cours du temps.

La stabilité de la teneur est observée à partir de la huitième à la dixième semaine pour les deux années d'étude (**figure n° 33**).



Comme le calcium, le magnésium est relativement un élément peu mobile, d'où cette stabilité de la concentration que nous observons.

## **Conclusion**

A la lumière des résultats foliaires obtenus et de leurs interprétations, nous pouvons conclure que la nutrition azotée est au niveau normal. Ceci est confirmé par l'analyse du sol qui révèle une teneur élevée en azote total.

Le phosphore présente des niveaux faibles qui montrent la difficulté d'assimilabilité de cet élément dans les sols argileux et calcaires.

Les teneurs en potassium reflètent la richesse du sol en cet élément.

Le calcium et le magnésium présentent des niveaux satisfaisant qui reflètent les niveaux élevés de ces deux éléments dans le sol.

Les rapports entre éléments ne nous donnent pas de renseignements clairs sur l'alimentation du verger. Certains auteurs insistent sur des analyses répétées sur plusieurs années avec des corrections annuelles sur ces mêmes rapports afin de mettre en évidence les risques de carence et les corrections possibles.

A partir des résultats obtenus, nous pouvons dégager une période de stabilité commune pour tous les éléments compris entre la sixième et la dixième semaine, dans nos conditions d'expérimentation.

Si l'on situe ces prélèvements par rapport au stade de pleine floraison, la période d'échantillonnage à retenir correspond à la sixième, septième, huitième, neuvième et dixième semaine après la pleine floraison.

La méthode de **KENWORTHY (1964)** indique que l'échantillonnage foliaire s'effectue huit à douze semaines après le stade F2 (stade de pleine floraison)

Les résultats obtenus indiquent un gain de précocité de deux semaines (sixième semaine au lieu de la huitième semaine).

## **CONCLUSION GENERALE**

La nutrition minérale des arbres fruitiers peut être contrôlée par l'examen de la teneur du sol en éléments minéraux, les résultats des analyses du sol sont très difficiles à interpréter parce que les possibilités d'échange entre le sol et la plante dépendent de nombreux facteurs.

Ces facteurs sont, la nature et l'abondance des colloïdes, le profil des minéraux et de l'eau dans le sol et le profil d'occupation par le système racinaire, qui sont assez mal connus (**MARTIN PREVEL et al., 1984**)

Les déficiences en certains éléments dans la plante peuvent être en relation directe ou indirecte avec leurs disponibilités dans le sol. Elles sont souvent l'expression d'un rapport défavorable dans ce dernier affectant l'absorption, la distribution et la possibilité des interactions dans le végétal.

Les relations sol – plante s'établissent par l'intermédiaire des racines. Les conditions physico-chimiques du sol limitent le développement et l'absorption racinaire, mais aussi la disponibilité plus ou moins grande des divers éléments minéraux et de l'état sanitaire des racines.

Deux conditions essentielles doivent être remplies pour que la plante soit en mesure de puiser les éléments dissous ou adsorbés, nécessaires à son alimentation : perméabilité et aération, richesse en éléments nutritifs.

Au vu de la nature des sols calcaires caractérisant les zones semi-arides. L'objectif de notre travail a été de déterminer le fonctionnement minéral d'un verger de pommier (installé sur ces types de sols. Au niveau de la région de Batna, caractérisée par un climat semi-aride.

Pour cela nous avons essayé d'évaluer l'état nutritionnel de ce verger par la méthode du diagnostic foliaire complété par l'analyse du sol.

Les conclusions que nous pouvons formuler par rapport aux résultats obtenus sont les suivantes :

L'analyse du sol de la parcelle étudiée présente une texture argileuse avec des teneurs en argile qui augmentent en profondeur, le risque ultérieur d'asphyxie racinaire non observé actuellement n'est pas à écarter, lorsque le système racinaire avancera en profondeur, ceci est d'autant plus à craindre du fait que le porte-greffe MM111 est reconnue comme sensible à ce facteur.

Du point de vue physique :

Le sol renferme des teneurs élevées en calcaire total, ce taux de calcaire est assez élevé en profondeur, ce qui constituera un sérieux handicap pour la pénétration des racines.

Les valeurs du calcaire actif et du pH (pH alcalin) sont élevées, ce qui peut gêner l'assimilabilité de certains éléments nutritifs en particulier le phosphore et les oligo-éléments notamment le fer

Du point de vue chimique :

Les teneurs du sol en azote sont satisfaisantes à moyennement élevées.

---

Le rapport C/N montre une bonne décomposition de la matière organique. En fonction des teneurs en argile, les teneurs en matière organique sont acceptables dans les horizons de surface, du fait des apports effectués, elles deviennent moins satisfaisantes en profondeur.

Le phosphore assimilable présente des teneurs moyennes en surface, faible en profondeur

Les valeurs de potassium échangeable ( $K_2O$ ) indiquent que le sol est pauvre en surface et présente des teneurs assez bonnes en profondeur.

Le calcium et le magnésium échangeables, présentent des niveaux élevés dans le sol étudié.

La C.E.C. indice de fertilité élevée dans notre étude, elle révèle un bon stockage des éléments nutritifs.

L'analyse foliaire a permis d'apprécier les niveaux d'alimentation du verger et révèle :

- Une alimentation azotée suffisante pour les deux années d'étude.
- Des concentrations en phosphore qui se situent dans une zone (inférieure à la normale). La faiblesse des valeurs observées peut être due particulièrement à une insolubilisation du phosphore du sol étudié qui est à la fois calcaire et a pH alcalin.

Cette déficience notée en phosphore reste limitée actuellement mais est susceptible d'aggravation ultérieure avec le vieillissement du pommier.

Les teneurs foliaires pour les autres éléments minéraux (potassium, calcium et magnésium) indiquent une alimentation normale ou supérieure à la normale résultante d'une bonne fertilité du sol en ces éléments.

La détermination des interactions entre les différents éléments minéraux a permis de constater que le niveau de fertilité est satisfaisant pour les deux années.

Les sommes (N+P+K) et (K+Ca+Mg) ont confirmés la bonne fertilité de la parcelle étudiée.

En plus, la méthode de comparaison aux normes (standards) est complétée par l'utilisation des rapports entre les éléments plus importants sont : le rapport (N+P)/K qui informe sur les risque de carence en bore et les rapports K/Ca et K/(Ca+Mg) qui indiquent le seuil d'apparition du « Bitter-Pit » au moment du stockage des fruits.

Le rapport (N+P)/K indique une situation de pré-carence en bore au niveau du verger d'étude.

Les deux rapports K/Ca et K/(Ca+Mg) montrent que le risque d'apparition du « Bitter-Pit » dans le parcelle est faible.

La détermination de la période de stabilité de la teneur de l'ensemble des éléments minéraux, des feuilles est difficile à mettre en évidence en raison des fluctuations enregistrées au cours des deux années.

---

A partir des résultats obtenus, nous pouvons dégager une période de stabilité commune pour les éléments suivants (N, K, Ca et Mg) comprise entre la sixième et la dixième semaine, dans nos conditions d'expérimentation

Si l'on situe ces prélèvements par rapport au stade de pleine floraison, la période d'échantillonnage correspond à la sixième, huitième, neuvième et dixième semaine après la pleine floraison.

Il est à signaler que la détermination de la date de pleine floraison est indispensable pour déterminer la période d'échantillonnage des feuilles qui peut varier d'une année à une autre.

Les résultats obtenus, mettent en évidence tout l'intérêt du diagnostic foliaire comme outil de contrôle de la nutrition des cultures pérennes en général, certains auteurs insistent sur des analyses répétées sur plusieurs années pour mettre en évidence les déséquilibres nutritionnels et les corrections possibles.

La période de l'échantillonnage indiquée par la bibliographie ne semble pas convenir à la région d'étude. Ceci doit nous conduire à déterminer cette période dans les conditions locales

Nous signalons enfin qu'il faut rester prudent quant à l'alimentation satisfaisante signalée dans les interprétations des résultats. La complexité des cultures fruitières (interaction porte-greffe et greffon, leur pérennité ....) nous oblige à réaliser des bilans réguliers.

L'absence de normes à l'échelle nationale ou locale, nous amène à être prudents dans l'interprétation des résultats aussi bien du sol que du végétal. Dans ce contexte des études complémentaires doivent se réaliser dans nos conditions (édaphiques et climatiques). D'autant plus que ces dernières sont à priori favorables à la culture de l'espèce étudiée.

L'extension d'un tel travail à d'autres vergers et d'autres zones serait très importante pour l'élaboration de normes propres à nos régions.

---

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ANONYME 2005** : Les troubles de la nutrition. <http://Spectrum.afr/potassium.htm>.
- ANONYME, 1980** : L'abricotier. Ed. Institut de développement de l'arboriculture fruitière. Ministère de l'agriculture et de la réforme agraire. pp : 37-43.
- ANONYME, 1985** : Nutrition minérale. PRO. G.S.N. Ministère de l'agriculture et de la pêche. 85p.
- ANONYME, 1987** : Guide sur les engrais et la nutrition de plante. Ed. FAO, Rome, pp : 1 – 190.
- ANONYME, 1989** : Création et conduite d'un verger de pommier. Guide technique. Projet: MAD - P.N.U.D - FAO. Ministère de l'agriculture et de la pêche. 122 p.
- ANONYME, 1999**: The achon the fertilizer's elements. [http://www.ina/elements\\_sergle.htm](http://www.ina/elements_sergle.htm)
- ANONYME, 2003** : Site pomme Canada. La production. <http://antsciae.agr.ca/apple.canada/production-f.htm>.
- ANONYME, 2005** : Les troubles de la nutrition. <http://www.spectrum.afr/potassium.Htm>.
- ANONYME, 2006** : Diagnostic des désordres nutritionnels des plantes. Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II. Maroc, 7 p.
- ARVIEU J.C, 1980** : Réaction des phosphates minéraux en milieu calcaire, conséquences en sol calcaire, BAFES 4, pp : 207-224.
- AUDUBERT A. et LICHOU J., 1989** : L'abricotier. Ed. La Bayeusaine. Bayeux. 386p.
- BADLY C., 1986** : Agrométéorologie de développement des régions arides et semi-arides. Ed. INRA, Paris. 96 P.
- BAIZE D., 1988**: Guide des analyses courantes en pédologie. Ed. INRA, Paris. 171 P.
- BELGER E.U et RYSER J.P., 2002** : De l'importance des éléments nutritifs secondaires et des oligo-éléments en agriculture. Document BASFAG, D-6700. Ed. Ludwigshafen. 57 p.
- BELGHEMMAZ S, 2000** : Contribution à l'étude de l'évolution de la salinité et du complexe adsorbant d'un sol saharien soumis à l'irrigation au goutte à goutte. Thèse Mag. Inst? Agro., Batna, 101 p.

- BENAZIZA A., 1997** : Appréciation de la nutrition minérale, de la vigueur et du rendement d'un verger d'abricotier cultivé dans la région de Theneit El-Abed (W.Batna).Mémoire Magister.Inst.Agro.Batna.74p.
- BENSEGHIR A., 2006** : Contribution à l'étude de l'état nutritionnel par la méthode du diagnostic foliaire trois variétés d'abricotier (*Prunus armeniaca L.*) en zone aride (commune de Doucen-W.Biskra). Mémoire.Ing. Inst. Agro. Batna. 93p.
- BERTSHINGER L.; CHRISTIAN G.; RYSER J.P.; HASELI A., NEUWEILER R. ; PFAMMATTER W.; SHMID A.; et WEIBEL F., 2006** : Données de base pour la fumure en arboriculture fruitière, fruits à pépins, fruits à noyau, kiwis, baies d'arbustes. Fascicule n° 15. Ed. Eidgenössische for schung sanstalt postfach 185, CH – 8820 wädenswil. 48 p. Disponible sur [www.faw.ch](http://www.faw.ch).
- BINET P.et PRUNET J.P., 1967** : Biologie végétale, Physiologie végétale. Imprimerie de Montligeon, La Chappelle-Montligeon (ORNE).439p.
- BLANCHET P., 1993** : Les fruitiers tempérés en zones chaudes. Le besoin en froid. Cours d'arboriculture fruitière. B.T.S.Horticuture : production fruitière. L.E.G.T.A, domaine de Capou, Mantaubon. France. 10 P.
- BONNEAU M. et SOUCHIER B., 1979** : Constituants et propriétés du sol. Ed. Masson, Paris. 452 p.
- BOUHIER DE L'ECLUSE R., 1983** : La pomme, culture et débouchés. Ed: Flammarion.361p.
- BOULAY H., 1979** : Fertilisation : efficacité des fumures de fond sur pommier, revue arboriculture fruitière. N° 300 février 1979, pp :1-55.
- BOULAY H., 1989** : Nutrition minérale du pommier : effets du porte-greffe et du greffon Revue Arboriculture fruitière N° 417 Mai 1989.pp : 29-32.
- BOULAY H., DECROUX J., DIRIS J., 1984** : Pratique de la fertilisation raisonnée : pommier et poirier. Ed. S.C.P.A., Toulouse. 46 p.
- BOULD C., 1964** : 1<sup>er</sup> colloque sur le contrôle de la nutrition minérale et de la fertilisation en viticulture, en arboriculture et autres cultures méditerranéenne. Edit. Laboratoire coopératif de diagnostic foliaire. Montpellier, pp :13-19.
- BOVAY A., 1979** : La défense des plantes cultivées. Ed . PAYOT LAUSANNE, La maison rustique, Paris. 863 p.
- BOVEY R., BAGGIOLLIN M., BOULAY A., BOVAY E., CORBAZ R., MATHY S.G., MEYLANA., MURBACH R., PEILET F., SAVARY A et TRIVELL G., 1979** : La défense plantes cultivées. Traité pratique de phytopathologie et zoologie agricole. Edit. Payot. Lausanne. Paris, pp : 11-28.
-

- BRETAUDEAU J. et FAURE F., 1992** : Atlas d'arboriculture fruitière. Ed. Lavoisier « Tec et Doc », Paris. 459 p.
- BRETAUDEAU J., 1975** : Atlas d'arboriculture fruitière. Ed. J.B. Baillière et Fils, Paris.602 P.
- BRETAUDEAU J., 1978** : Atlas d'arboriculture fruitière. Vol. 02. Ed. J.B. Baillière et Fils, Paris. 173 P.
- CALLOT G., CHAMAGOU H., MAERTENS C. et SALSAC L., 1982** : Mieux comprendre les interactions entre sol–racines, incidences sur la nutrition minérale INRA.,Paris. 325 p.
- CALVET G., et VILLEMIN P., 1986** : Interprétation des analyses de terre Ed. SCPA. 24 p.
- CAMPBELL et PLANK., 2000**: Foundation for practical application of plant analysis. Agronomies division of the N.C., Département of Agriculture and consumer services. [http :// www.ar.state.nc.us/agronome/saesd/sect1.html](http://www.ar.state.nc.us/agronome/saesd/sect1.html).
- CATZEFLIS., 1971** : Correction des carences potassiques des pommiers. Revue Suisse de Viti. Arbo. Horti. Vol II, pp : 35 – 40.
- CEMAGREF., 1983** : Influence de l'irrigation sur le développement végétatif des arbres et la qualité gustative des fruits. Etude CEMAGREF. N°499. 68 p.
- CHAPMAN H.D., 1964** : Foliar sampling for determination the nutrient status of crops, world crops pp.36 49.
- CHARTON E., 1992** : Pommes et pommiers. Ed. S.A.E.P. p 100.
- CHEVALIER R., 1976** : Fertilisation potassique du pommier. Dossiers K2O. Ed. SCPA, pp : 1 – 10.
- CLIMENT J.M., 1990** : Larousse agricole. Ed. Larousse. Paris.1207p.
- COÏC Y et COPPENET M., 1989** : Les oligo-éléments en agriculture et élevage. INRA.Paris.114p.
- D.S.A., 2004** : Le pommier, statistiques agricoles, wilaya de Batna.
- D.S.A., 2006** : L'agriculture dans la wilaya de Batna, données statistiques et perspectives. 148 p.
- DAOUDI, 1997** : cours de fertilisation « A l'usage des étudiants de 5ème année de la section de spécialisation en science des sols : 140 p.
- DE CORMIS L., HUGET C., HUGET J.G., TROME S et CHEVALIER H., 1978** : Carences et toxicités chez les arbres fruitiers .Ed : I.N.V.U.F.L.E.C.Paris. 35p.
-

- DELAS J., 2000** : Elément d'écologie et d'agronomie, Tomme III. Ed. J.B. Baillière, Paris 265 p.
- DETOMASI H et SCHWARZ J.J., 1995** : Le diagnostic foliaire. Ecole Supérieure de Viticulture Changin Suisse. 10p.
- DIEHL R., 1975** : Agriculture générale. Ed. J.B Baillière, Paris, 396 p
- DUCHAUFFOUR, 1988** : Abrégé de pédologie. Ed. Masson. Paris. pp. 454.
- DUCHAUFFOUR P., 1979** : Constituant et propriété du sol, d. Masson. Pris. 424 p.
- DUDE J.L., 1978** : Le diagnostic foliaire – Ses possibilités d'application au niveau d'une région de production de fruits à pépin « le Maine et Loire». Mémoire de fin d'étude.E.N.I.T.H Angers. 130p.
- DUTHIL J., 1973** : Élément d'écologie et d'agronomie. Tome III, Ed, J-B BAILLIERE, Pris, 265p.
- ELALAOUI A., 2007** : Bulletin de l'INST. Agro et Vét, Hassan II. Programme National de transfert de technologie en Agriculture (PNTTA). RABAT. MAROC.
- ELIARD J.L, 1979** : Manuel d'agriculture générale. Ed. J.B. Baillière, Paris, 344 p.
- ELIARD J.L., 1974** : Manuel d'agriculture, Base de la production végétale, 3ème Edition. J.B. Baillière. Pris, pp. 1-328.
- F.A.O 2004** : Production agricoles, culture primaire, Banque de données statistiques. F.A.O, STAT. <http://www.fao.org>.
- F.A.O., 2005** : Productions agricoles, cultures primaires. Banques de données Statistiques, FAO. STAT. Http:// [www.Fao.org.com](http://www.Fao.org.com).
- FAURE F., 1979** : Vos arbres fruitiers de A à Z. Ed. L'ami des jardins et de la Maison. N°656. Pp 57-61.
- FERAUGE M.Th., 1970** : Annal de GEMBLoux,1,pp7-31.
- GAGNARD J., 1984** : Pommier in: L'Analyse végétale dans le contrôle de l'alimentation des plantes tempérées et tropicales in: **MARTIN PREVEL P., GAGNARD J. et GAUTIER P.**Ed: techniques et documentation. Lavoisier. pp : 234-257.
- GAGNARD J., HUGET C.et RYSER J.P., 1988** : L'analyse du sol et du végétal dans la conduite de la fertilisation, le contrôle de la qualité des fruits ., Secrétariat générale OILB/SROP.Ed.Diffusion ACTA.87p.
- GALLAIS A. et BANNEROTH, 1995** : Amélioration des espèces végétales cultivées. Objectifs et critères de sélection. INRA, France, 8 p.
-

- GARCIA M., DOUX C. et DEMONPEZAT G., 1984** : Alimentation minérale de la vigne en sol calcaire. Essai d'explication géo-climatique. 4<sup>ème</sup> colloque international sur l'optimisation de la nutrition des plants., Montpellier, France pp 99-906.
- GAUTIER M., 1971** : Quelques problèmes posés par la fructification des arbres fruitiers, Pollinisation, fécondation. Revue arboriculture fruitière. N°109. pp 21-26.
- GAUTIER M., 1975** : Sept années de contrôle de nutrition par diagnostic foliaire dans les vergers du Loir et Cher. Revue Arboriculture Fruitière N° 257.pp : 21-36.
- GAUTIER M., 1978** : L'arboriculture fruitière. Ed. Hachette. 211p.
- GAUTIER M., 1979** : Les espèces fruitières. Ed. Hachette. 253p.
- GAUTIER M., 1984** : Le diagnostic foliaires. Revue d'arboriculture fruitière. N° 359. pp : 31-37.
- GAUTIER M., 1987** : La culture fruitière. Volume 1, l'arbre fruitier. Ed. J.B. Baillièrre, Paris. 492 p.
- GAUTIER M., 1988** : La culture fruitière. Volume 2, les productions fruitières. Ed. J.B.Baillièrre, Paris. 452 p.
- GAUTIER M., 2001** : La culture fruitière. Volume 3, les productions fruitières. Ed. Lavoisier. Paris. 114p.
- GERMAIN E. ; PRUNE J.P. et ALIN G., 1999** : Le noyer. Ed. Centre technique interprofessionnel des fruits et des légumes CTIFL, 279 p.
- GERVY R., 1970** : Le phosphate et l'agriculture collection problèmes de l'entreprise agricole. 6<sup>ème</sup> éd. Dunod, Paris, 298 p.
- GROS A., 1979** : Engrais, guide pratique de la fertilisation, 7<sup>ème</sup> édition. Ed. Maison Rustique. 535p.
- HALEVAY I ; BOAZ M , ZOHAR Y. ; SHANI M., et DANH, 1973** : L'irrigation au goutte à goutte. Bull. d'irrig. Drain. (14). FAO, Rome : pp 75 – 119.
- HALILAT M.T., 1988** : Contribution à l'étude du régime du potassium dans quelques types de sols de la région de Batna avec un essai de fertilisation en pots de végétation. Thèse d'Ing. Inst. Agr. Batna, 76 p.
- HALITIM A., 1991** : Mise en valeur et identification agricole en zones arides et semi-arides. Rapport de recherche. Semestre II, pp : 1 – 10.
- HECKMAN J., 2001**: Leaf analysis for fruit trees. Fact. Sheet., rutgers cooperative extension, new jerzy. The state university of new jerzy. www. Rce Rutgers.edu
-

- HELLER R., ESNAULT R et LANCE C., 1998** : Physiologie végétale .Volume 1. Nutrition. 6<sup>ème</sup> édition de l'Abrégé.Imprimerie Dunod.Paris.323p.
- HERTER F.G., 1992**: Dormance des bourgeons et phénologie de quelques cultivars de pommier. Effet de la température en interaction avec le génotype .Thèse doctorat de l'Université Blaise Pascal (Clermont 2) INRA, France. 82 p.
- HUGARD Z., 1974** : Importance des facteurs climatiques pour les choix variétal chez les rosacées fruitière. Concrescence dans le domaine de la recherche et de développement. Séminaire INA, El-Harrach, Alger. 10p.
- HUGET C., 1978** : Aspects de la dynamique de l'alimentation azotée et minérale du pommier. Journées Fruitières d'Avignon. Montfavet.pp : 99-116.
- HUGUET C., 1978** : Pratique de la fertilisation minérale des arbres fruitiers. Ed. INRA, Paris. 43 P.
- IMERZOUKENE N., 1980** : Etude de deux bulbes de sol humidifié (sol lourd et sol léger) à partir d'une source d'irrigation au goutte à goutte. Thèse Mag. Pédo., INA – Alger, 185 p.
- KECHAD D., 1995**:Contrôle de la nutrition minérale du vignoble de table (variété Dattier de Bayrouth greffé sur 41B) des régions de Tizi-Ouzou et Bordj-menail (W de Boumerdes), par le bais du diagnostic foliaire et d'un essai de fertilisation potassique. Thèse. Mag. Ins. Agro. Tizi-Ouzou. 156 p.
- KENWORTHY A.L., et CHAPMAN L., 1964**: Fruit, nut and plantation crops, deciduous and evergreen, a guide for collecting foliar samples for nutrient element analysis, Hort. Dep. Michigan State Univ. 39p.
- KHELIL A., 1980**: Nutrition et fertilisation des arbres fruitiers et de la vigne. Cours photocopié. Ina. El Harrach Alger. 75 p.
- KHELIL A., 1989** : Nutrition et fertilisation des arbres fruitiers et de la vigne. Office des Publications Universitaires Ben AKnoun .Alger.67p.
- LAAMARI M., 2006** : Communication Orale.
- LAFON J.P., THARAUD PRAYER C et LEVY G., 1996**: Biologie des plantes cultivées . Tome1.Organisation / Physiologie de la nutrition . 2<sup>ème</sup> édition . Ed. Tec et Doc.Lavoisier. Paris. 233p.
- LAMONARCA F., 1985** : La culture des arbres fruitiers. Ed. Vecchi S. A., Paris. 213p.
- LAUMONNIER R., 1960** : Culture fruitière méditerranéennes. Ed.J.B.Baillière. Paris .453p.
-

- LEPOIVRE P., 2003** : Phytopathologie .Ed.De Boeck Université rue des minimes 39, B-1000.Bruxelles. 427p.
- LEVY J.F., 1971** : Les bases physiologiques du diagnostic foliaire de la vigne. 2<sup>ème</sup> coll. Contr. Fertil. PI Cult.pp : 243-254.
- LICHOU J.et AUDUBERT A., 1989** : L'abricotier. Ed.La Bayeusaine-Bayeux.386p.
- LOUE A., 1982** : Les oligo-éléments en agriculture. Ed. Agri-Nathan. Paris .307p.
- LOUE A., 1987** : Les oligo-éléments en agriculture. Ed. Agri-Nathan. Paris .307p.
- LOUE A., 1993** : Les oligo-éléments en agriculture. Ed. F. Nathan. Paris .577p.
- LOUIS A., 1978** : Clture fruitière, Edit J-B. Baillièrè, Paris, 564 p.
- LOZET et MATHIEU C., 1990** : Dictionnaire de science du sol. 2ème Ed. Tec. Et Doc, Lavoisier, 384 p.
- MARTIN PREVEL P., GAGNARD J et GAUTIER P., 1984** : L'analyse végétale dans le contrôle de l'alimentation des plants tempérées et tropicales. Ed. Tec et Doc. Lavoisier. Paris. 810p.
- MASSERON A., 1989** : Les porte-greffes pommier, poirier et nashi. Ed.CTIFL.297p.
- MICHELESI J.C., 1979** : Les porte-greffes du pommier .Ed.INRA et CTIFL / INVFLEC. 64p.
- MOREL R., 1996** : Les sols cultivés. 2ème Ed. Vol (3), pp : 226 – 238.
- MOUGHLI L., 2000** : Les engrais minéraux caractéristiques et utilisations. Revue. Transfert de technologie en agriculture N° 72.pp : 1-4.
- OLLIER Ch. ; POIREE M., 1981** : Irrigation les réseaux d'irrigation. Théorie, technique et économie des arrosages. 5ème éd., Paris, 503 p.
- PRATT C.,1988**: Applle flower and fruit : morphology and anatomy, horticultural. Review 10, 273 – 308 p.
- RUELLANT A., 1976** : Morphologie et répartition des sols calcaire dans les région méditerranéennes et desertiques. Annal. d'INA . pp 11– 39.
- RYSER J.P et HELLER W., 1997** : Carence en manganèse en arboriculture. Ed. Agroscope RAC et FAW. Wadenswil. 4p.
- RYSER J.P., 1982** : Vers l'utilisation pratique du diagnostic foliaire en viticulture et arboriculture. Revue suisse hort. Vit. Arbo. V14. N° 01.pp :49-55.
- SAPIN P., 1977** :L'arboriculture fruitière en Algérie (pommier / poirier). Cours photocopiés INA EL-HARRACH, Alger. 215 p.
- SEMADI A., 1976** : Etude du comportement des principales variétés de pommier cultivées en Algérie dans différentes situations climatiques. Essai de
-

définition de zones à vocation « pommier ».Mémoire Ing. Agro. Ina EL-HARRACH, Alger. 99 p.

**SOLTNER D, 1986** : Les bases de la production végétale. T1 le sol, 14ème édition, Masson, Paris, 464 p.

**SOLTNER ,1990** : Les bases de la production végétale. Tome II : Le climat. 8ème édition. Ed. Sciences et technique agricoles, Maine et Loire, France. 457 p.

**SOLTNER D., 2000** : Les bases de la production végétale. Tome I : L sol. 22<sup>ème</sup> édition. Ed. Sciences et technique agricoles, Maine et Loire, France. 464 p.

**STATION METEOROLOGIQUE DE BATNA, 2006** : Donnés climatiques de la région de Sérïana.

**TAHA C.H., 2001** : Encyclopédie des rosacées à pépins. Ed. Dar Alaa Eddine. Damas, pp : 1-468.

**THEVENET G.H, 1990** : Diagnostic visuel des carences, quelques éléments de méthodologie comptes rendus de l'académie d'agriculture en France. Colloque organisé avec le COMIFER, vol. 76 n° 2, pp : 147 – 150.

**TIERCELIN J.R.,1998** :Traité d'irrigation. Ed. Tec.et Doc Lavoisier, France,1011 p.

**TOUMI M., 2006** : Evaluation de l'état nutritionnel du vignoble de table, variété Dattier de Beyrouth du centre algérien (Grande Kabylie). Mémoire docteur. Inst.Agro.Ina.EL-HARRACH.Alger. 123p.

**TREMBLAY N. ; SCHARPF HC. ; WEIER W., 2001** : Régie de l'azote chez les cultures maraîchères, guide pour une fertilisation raisonnée. , ISBN, Canada, 70 p.

**TRILLOT M., MASSERON A., MATHIEU ., BERGOUGNOUX F et HUTIN C., 2002** : Le pommier. Ed. CTIFL. Paris.279p.

**TROMP J., 1980**: Mineral absorption and distribution in young apple trees under various environmental conditions, in : Mineral Nutr of Fruit Trees .pp : 173-182.

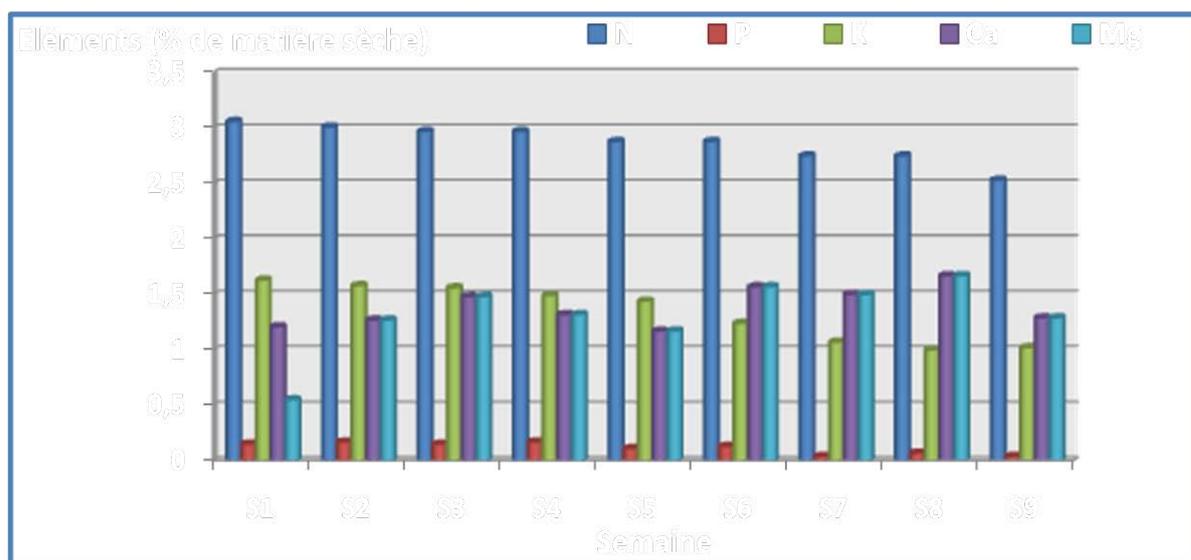
**TRZCINSKI T., 1978**: Le diagnostic chimique des tissus végétaux en tant que méthode d'estimation de la nutrition minérale des plantes en générale et du pommier en particulier, comité. Nat. Et.Cult.Fruit.Gembloux. Revue .Agri, 2,31.pp : 267-278.

**VAN DER BOON J., 1964** : Influence du sulfate de potasse sur la composition minérale de la feuille et du fruit du pommier. 1er Coll.Contr.Nutr.Min et Fertil.Cult.Méditer.pp : 145-154.

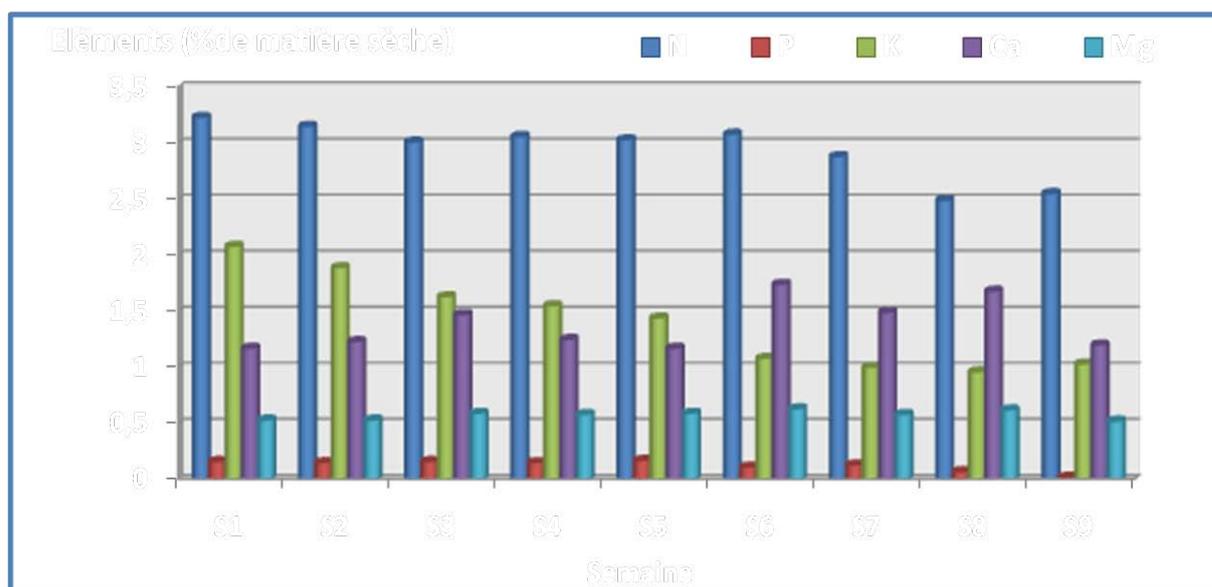
---

- ZAIDI L., 1985** : Influence de l'âge et du type d'organe fruitier de quelques variétés de pommier sur la récolte et la qualité des fruits. Thèse. Magister. Ina. EL-HARRACH, Alger. 133 p.
- ZELLA L. ; BOUSDIRA N., 2000** : Le goutte à goutte dans l'agriculture, une technique d'avenir. Commu. Sem. Micro – irrig. (SNMB 2000) du 22 au 23 mai, Blida.
- ZEMOURA A., (2006)** : Etude comparative de quelques méthodes de dosage du phosphore assimilable des sols calcaire en région Semi-Aride (BATNA). Thèse. Mag. 213.p

ANNEXE N° 01



**Annexe n° 01 (a)** : Evolution des éléments minéraux (N ; P ; K ; Ca et Mg) au cours du temps durant la première campagne (2003 – 2004)



**Annexe n° 01 (b)** : Evolution des éléments minéraux (N ; P ; K ; Ca et Mg) au cours du temps durant la première campagne (2004 – 2005)

## ANNEXE N° 2

Normes d'interprétations de l'indice de battance selon CALVET et VILLEMIN (1986)

<i>Indice de battance</i>	<i>Risque de battance</i>
<b>IB &gt; 2</b> <b>1.8 &lt; IB &lt; 2</b> <b>1.6 &lt; IB &lt; 1.8</b> <b>1.4 &lt; IB &lt; 1.6</b> <b>IB &lt; 1.4</b>	Sol très battant Sol battant Sol assez battant Sol peu battant Sol non battant

## ANNEXE N° 3

Normes d'interprétations du calcaire total selon BAIZE (1988)

<i>Teneur en calcaire total (%)</i>	<i>Type du sol</i>
<b>&lt; 1</b> <b>1-5</b> <b>5-25</b> <b>25-50</b> <b>50-80</b> <b>&gt; 80</b>	Non calcaire Peu calcaire Modérément calcaire Fortement calcaire Très fortement calcaire Excessivement calcaire

## ANNEXE N° 4

Normes d'interprétations du pH selon GAGNARD et al (1988)

<i>pH eau</i>	<b>&lt; 5.5</b>	<b>5.5-6.5</b>	<b>6.5-6.8</b>	<b>6.8-7.2</b>	<b>7.2-7.5</b>	<b>7.5-8.5</b>	<b>&gt; 8.5</b>
<b>Appréciation</b>	Fortement acide	Acide	Très légèrement acide	Voisin de neutralité	Légèrement alcalin	Alcalin	Fortement alcalin

## ANNEXE N° 5

Normes d'interprétations pour la conductivité électrique selon KHELIL (1980)

<i>CE (ds / m)</i>	<b>&lt; 0.6</b>	<b>0.6-1.2</b>	<b>1.2-2.5</b>	<b>2.5-6</b>	<b>&gt; 6</b>
Type du sol	Non salé	Peu salé	Salé	Très salé	Extrêmement salé

**ANNEXE 06** : Résultats des analyses foliaires pour l'année 2003 – 2004

	Répétitions	N	P	K	Ca	Mg
Semaine 1	R1	2,8	0,15	1,44	1,3	0,6
	R2	2,8	0,13	1,72	1,1	0,52
	R3	3,5	0,18	1,65	1,25	0,6
	R4	3,15	0,16	1,72	1,2	0,5
	<b>Moyenne</b>	<b>3,0625</b>	<b>0,155</b>	<b>1,6325</b>	<b>1,2125</b>	<b>0,555</b>
Semaine 2	R1	3,15	0,14	1,58	1,3	0,65
	R2	2,97	0,16	1,65	1,2	0,50
	R3	2,97	0,19	1,51	1,3	0,60
	R4	2,97	0,19	1,58	1,3	0,60
	<b>Moyenne</b>	<b>3,015</b>	<b>0,17</b>	<b>1,58</b>	<b>1,275</b>	<b>0,5875</b>
Semaine 3	R1	3,15	0,13	1,51	1,6	0,60
	R2	2,8	0,14	1,37	1,4	0,50
	R3	3,5	0,17	1,65	1,5	0,68
	R4	2,45	0,18	1,72	1,45	0,55
	<b>Moyenne</b>	<b>2,975</b>	<b>0,155</b>	<b>1,5625</b>	<b>1,4875</b>	<b>0,5825</b>
Semaine 4	R1	3,15	0,15	1,58	1,5	0,57
	R2	2,8	0,19	1,37	1,4	0,60
	R3	3,5	0,16	1,44	1,2	0,62
	R4	2,45	0,2	1,58	1,2	0,50
	<b>Moyenne</b>	<b>2,975</b>	<b>0,175</b>	<b>1,4925</b>	<b>1,325</b>	<b>0,5725</b>
Semaine 5	R1	2,62	0,16	1,51	1,16	0,50
	R2	2,8	0,16	1,37	1,2	0,57
	R3	2,97	0,06	1,3	1,2	0,70
	R4	3,15	0,07	1,58	1,15	0,77
	<b>Moyenne</b>	<b>2,885</b>	<b>0,1125</b>	<b>1,44</b>	<b>1,1775</b>	<b>0,6350</b>
Semaine 6	R1	2,45	0,15	1,3	1,7	0,60
	R2	2,8	0,14	1,23	1,6	0,55
	R3	3,15	0,12	1,3	1,4	0,68
	R4	3,15	0,14	1,16	1,6	0,63
	<b>Moyenne</b>	<b>2,8875</b>	<b>0,1375</b>	<b>1,2475</b>	<b>1,575</b>	<b>0,6150</b>
Semaine 7	R1	2,8	0,08	1,16	1,56	0,55
	R2	2,45	0,02	1,02	1,4	0,65
	R3	2,8	0,04	1,09	1,55	0,60
	R4	2,97	0,03	1,02	1,5	0,55
	<b>Moyenne</b>	<b>2,755</b>	<b>0,0425</b>	<b>1,0725</b>	<b>1,5025</b>	<b>0,5875</b>
Semaine 8	R1	2,62	0,05	1,02	1,4	0,55
	R2	2,8	0,08	1,02	1,9	0,70
	R3	2,97	0,08	1,09	1,6	0,65
	R4	2,62	0,09	0,88	1,8	0,60
	<b>Moyenne</b>	<b>2,7525</b>	<b>0,075</b>	<b>1,0025</b>	<b>1,675</b>	<b>0,6250</b>
Semaine 9	R1	1,92	0,05	0,81	1,3	0,55
	R2	2,8	0,02	0,88	1,44	0,61
	R3	2,62	0,06	1,16	1,15	0,62
	R4	2,8	0,04	1,23	1,3	0,55
	<b>Moyenne</b>	<b>2,535</b>	<b>0,0425</b>	<b>1,02</b>	<b>1,2975</b>	<b>0,5825</b>

**ANNEXE 07** : Résultats des analyses foliaires pour l'année 2004 - 2005

	Répétitions	N	P	K	Ca	Mg
Semaine 1	R1	3,5	0,17	2	1,2	0,55
	R2	3,5	0,13	2,14	1,1	0,52
	R3	2,8	0,19	1,93	1,3	0,57
	R4	3,15	0,16	2,28	1,1	0,5
	<b>Moyenne</b>	<b>3,2375</b>	<b>0,1625</b>	<b>2,0875</b>	<b>1,175</b>	<b>0,535</b>
Semaine 2	R1	3,15	0,18	1,7	1,3	0,57
	R2	2,8	0,15	1,86	1,2	0,5
	R3	3,5	0,13	2	1,3	0,57
	R4	3,15	0,16	2	1,14	0,51
	<b>Moyenne</b>	<b>3,15</b>	<b>0,155</b>	<b>1,89</b>	<b>1,235</b>	<b>0,5375</b>
Semaine 3	R1	3,15	0,18	1,7	1,55	0,56
	R2	2,97	0,18	1,6	1,37	0,6
	R3	2,97	0,13	1,72	1,55	0,66
	R4	2,97	0,16	1,5	1,44	0,55
	<b>Moyenne</b>	<b>3,015</b>	<b>0,1625</b>	<b>1,63</b>	<b>1,4775</b>	<b>0,5925</b>
Semaine 4	R1	2,8	0,13	1,55	1,23	0,57
	R2	2,8	0,17	1,3	1,3	0,6
	R3	3,5	0,14	1,62	1,3	0,63
	R4	3,15	0,18	1,75	1,17	0,54
	<b>Moyenne</b>	<b>3,0625</b>	<b>0,155</b>	<b>1,555</b>	<b>1,25</b>	<b>0,585</b>
Semaine 5	R1	2,8	0,15	1,38	1,15	0,55
	R2	2,8	0,19	1,5	1,15	0,53
	R3	3,4	0,2	1,38	1,3	0,62
	R4	3,14	0,17	1,5	1,1	0,66
	<b>Moyenne</b>	<b>3,035</b>	<b>0,1775</b>	<b>1,44</b>	<b>1,175</b>	<b>0,59</b>
Semaine 6	R1	3,15	0,07	1,09	1,76	0,6
	R2	2,97	0,16	1,15	1,73	0,65
	R3	3,2	0,07	1,03	1,74	0,63
	R4	3	0,16	1,08	1,75	0,64
	<b>Moyenne</b>	<b>3,08</b>	<b>0,115</b>	<b>1,0875</b>	<b>1,745</b>	<b>0,63</b>
Semaine 7	R1	2,45	0,15	1,09	1,58	0,56
	R2	2,8	0,13	1,06	1,37	0,6
	R3	3,15	0,11	1,06	1,58	0,63
	R4	3,13	0,14	0,8	1,44	0,55
	<b>Moyenne</b>	<b>2,8825</b>	<b>0,1325</b>	<b>1,0025</b>	<b>1,4925</b>	<b>0,585</b>
Semaine 8	R1	2,8	0,07	1	1,44	0,6
	R2	1,92	0,08	0,81	1,93	0,62
	R3	2,62	0,07	0,88	1,5	0,63
	R4	2,62	0,08	1,15	1,85	0,63
	<b>Moyenne</b>	<b>2,49</b>	<b>0,075</b>	<b>0,96</b>	<b>1,68</b>	<b>0,62</b>
Semaine 9	R1	1,9	0,04	0,9	1,2	0,55
	R2	2,8	0,02	0,88	1,3	0,6
	R3	2,8	0,02	1,2	1,15	0,44
	R4	2,7	0,02	1,15	1,15	0,5
	<b>Moyenne</b>	<b>2,55</b>	<b>0,025</b>	<b>1,0325</b>	<b>1,2</b>	<b>0,5225</b>

**ANNEXE N° 8 :**

Valeurs proposées pour les teneurs en éléments minéraux dans les feuilles de pommier (in MARTIN- PREVEL et al ., 1984)

Eléments	Apparition symptômes de carence	Inférieure à la normale	Normale
N %	< 1.7 1.67	1.7-2.0	2.50 (1) 2.40-2.80 (2) 2.25 (3) 2.33 (4) 2.30-2.50 (5) 2.31-2.51 (6)
P %	0.08-0.10 0.10	0.10-0.15 0.10-0.19	0.22 (1) 0.20- 0.25 (2) 0.22 (3) 0.23 (4) 0.16-0.18 (5) 0.16- 0.18 (6)
K %	0.75 0.67	0.75-1.2 < 1	1.60 (1) 1.30-1.60 (2) 1.13-1.75 (3) 1.53 (4) 1.80-2.0 (5) 1.48-1.86 (6)
Ca %	0,5 – 0,8 0,58	0,8 – 1 0,9 – 1,1	1,0 – 1,60 (2) 1,25 (3) 1,40 (4) 1,49 -2,0 (6)
Mg %	0,06 – 0,15 0,08 -0,20	0,15 – 0,20 < 0,20	0,30 (1) 0,25 – 0,30 (2) 0,21 – 0,47 (3) 0,41 (4) 0,22 – 0,26 (5) 0,23 – 0,33 (6)
D'après :			
(1) LEVEY		(4) KENWORTHY	
(2) BOULD		(5) GAUTIER M	
(3) CHAPMAN		(6) Service Argon. GESA	

## INDEX DES TABLEAUX

<b>TABLEAUX</b>	<b>TITRE</b>	<b>Page</b>
<b>Tableau n°01</b>	Evolution de la culture du pommier dans la monde (F.A.O. 2005)	<b>6</b>
<b>Tableau n°02</b>	Evolution de la culture de pommier dans les principaux pays Européens producteurs de pommes (F.A.O., 2005)	<b>6</b>
<b>Tableau n°03</b>	Evolution de la culture du pommier au Maghreb (Algérie, Maroc, Tunisie) (F.A.O., 2005).	<b>7</b>
<b>Tableau n°04</b>	Evolution de la culture de pommier en Algérie (F.A.O., 2005)	<b>7</b>
<b>Tableau n°05</b>	Evolution de la culture du pommier dans la wilaya de Batna	<b>8</b>
<b>Tableau n°06</b>	Seuil de nuisibilité du gel au pommier	<b>11</b>
<b>Tableau n°07</b>	Distance de plantation selon le type d'exploitation et le porte-greffe (CHARTON, 1992)	<b>14</b>
<b>Tableau n°08</b>	Estimation des besoins annuels du pommier pour une production de 40t /ha	<b>15</b>
<b>Tableau n°09</b>	Compositions foliaires des rosacées fruitières en pourcentage de matière sèche (niveaux considérés satisfaisants)	<b>28</b>
<b>Tableau n°10</b>	influence de la variété sur la composition minérale des feuilles de pommier prise à mi-rameau entre le 30 juin et le 11 août (en % de MS)	<b>28</b>
<b>Tableau n°11</b>	Influence du porte-greffe sur la composition minérale des feuilles de pommier prise à mi-rameau au mois de juillet (en % de MS)	<b>29</b>
<b>Tableau n°12</b>	Taux moyens des éléments minéraux contenus dans les feuilles de différents types de rameaux de pommier (Var Cox's Orange Pippin /M2)	<b>31</b>
<b>Tableau n°13</b>	Type d'effervescence en fonction de la teneur en CaCO <sub>3</sub> (LOZET et MATHIEU, 1990)	<b>41</b>
<b>Tableau n°14</b>	Moyennes mensuelles des températures en °C (1995-2004)	<b>49</b>
<b>Tableau n°15</b>	Moyennes mensuelles des températures en °C (pour les deux années d'étude)	<b>49</b>
<b>Tableau n°16</b>	Somme des heures de froid des mois de Novembre, Décembre, Janvier, Février et Mars	<b>50</b>
<b>Tableau n°17</b>	Moyennes mensuelles des précipitations (1995-2004)	<b>50</b>
<b>Tableau n°18</b>	Moyennes mensuelles des précipitations pour les deux années d'étude	<b>51</b>
<b>Tableau n°19</b>	Nombre de jours de gelée (1995 - 2004)	<b>52</b>
<b>Tableau n°20</b>	Nombre de jours de gelée pour les deux années d'étude	<b>52</b>
<b>Tableau n°21</b>	Données moyennes mensuelles des températures et des précipitations sur dix ans (1995-2004)	<b>52</b>
<b>Tableau n°22</b>	Présentation de la parcelle étudiée	<b>56</b>
<b>Tableau n°23</b>	Programme d'irrigation fertilisante	<b>60</b>
<b>Tableau n°24</b>	Calendrier des irrigations appliquées au verger	<b>60</b>
<b>Tableau n°25</b>	Calendrier des traitements phytosanitaires	<b>61</b>

<b>TABLEAUX</b>	<b>TITRE</b>	<b>Page</b>
<b>Tableau n°26</b>	Résultats de l'analyse physique du sol de la parcelle d'étude	<b>71</b>
<b>Tableau n°27</b>	Résultats de l'analyse chimique du sol de la parcelle retenue pour l'étude	<b>77</b>
<b>Tableau n°28</b>	normes d'interprétation pour l'azote	<b>77</b>
<b>Tableau n°29</b>	Normes d'interprétation du phosphore	<b>79</b>
<b>Tableau n°30</b>	Appréciation du niveau de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> assimilable en fonction de la teneur en argile et la valeur de la C.E.C	<b>79</b>
<b>Tableau n°31</b>	Appréciation du niveau de K <sub>2</sub> O échangeable en fonction de la teneur en argile et la valeur de la CEC	<b>81</b>
<b>Tableau n°32</b>	Normes d'interprétation de la CEC	<b>83</b>
<b>Tableau n°33</b>	Appréciation du niveau de Mgo échangeable en fonction de la teneur en argile et la valeur de la CEC	<b>83</b>
<b>Tableau n°34</b>	Teneur foliaires en azote (% de matière sèche)	<b>86</b>
<b>Tableau n°35</b>	Teneurs foliaires en phosphore (% de matière sèche)	<b>87</b>
<b>Tableau n°36</b>	Teneurs foliaires en potassium (% de matière sèche)	<b>88</b>
<b>Tableau n°37</b>	Teneurs foliaires en calcium (% de matière sèche)	<b>89</b>
<b>Tableau n°38</b>	Teneurs foliaires en magnésium (% de matière sèche)	<b>90</b>
<b>Tableau n°39</b>	Normes pour interactions entré éléments	<b>90</b>
<b>Tableau n°40</b>	Résultats des interactions entre éléments pour la variété Golden delicious (Résultats des deux compagnes)	<b>91</b>
<b>Tableau n°41</b>	Somme (N + P + K) et (K + Ca + Mg) pour les deux années études	<b>91</b>
<b>Tableau n°42</b>	Rapports (N+P)/K, N/P, K/Ca, K/(Ca+Mg) et K/Mg pour les deux années	<b>92</b>

---

## INDEX DES FIGURES

FIGURES	TITRE	Page
Figure n°01	Evolution de la culture du pommier en Algérie (1990 – 2004)	8
Figure n°02	Evolution de la culture du pommier dans la wilaya de Batna (1990-91 - 2003-04)	9
Figure n°03	Liaison phosphore argile par pont calcique ( <b>GERVY, 1970</b> )	42
Figure n°04	Situation et limites géographique de la région de Sérïana	48
Figure n°05	Diagramme ombrothermique de GAUSSEN et BAGNOULS de la région de Sérïana	53
Figure n°06	Situation de la région de Sérïana dans le Climagramme d'Emberger	54
Figure n°07	Situation de la pépinière	57
Figure n°08	Croquis plan de la pépinière	58
Figure n°10	Les stades phénologiques du pommier (stade repère de FLECKINGER) ( <b>CHARTON, 1992</b> )	67
Figure n°11	Plan de la parcelle Golden Yellow greffé sur MM111	68
Figure n°12	Résultat de l'analyse granulométrique de la parcelle étudiée	73
Figure n°13	Appréciation du niveau de la MO en fonction de la teneur en argile et en calcaire ( <b>CALVET et VILLEMIN, 1986</b> )	74
Figure n°14	Evolution de l'élément azote dans le sol	78
Figure n°15	Appréciation du niveau de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> assimilable en fonction de la teneur en argile et la valeur de la CEC ( <b>CALVET et VILLEMIN, 1986</b> )	80
Figure n°16	Appréciation du niveau de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> assimilable en fonction de la teneur en argile et la valeur de la CEC ( <b>CALVET et VILLEMIN, 1986</b> )	80
Figure n°17	Evolution de l'élément potassium dans le sol	82
Figure n°18	Appréciation du niveau de K <sub>2</sub> O échangeable en fonction de la teneur en argile et la valeur de la CEC ( <b>CALVET et VILLEMIN, 1986</b> )	82
Figure n°19	Evolution de l'élément magnésium dans le sol	84
Figure n°20	Appréciation du niveau de Mg échangeable en fonction de la teneur en argile et la valeur de la CEC ( <b>CALVET et VILLEMIN, 1986</b> )	84
Figure n°21	Evolution de l'élément calcium dans le sol	85
Figure n°22	Comparaison des teneurs foliaires en azote aux normes de BOULD (1964)	86
Figure n°23	Comparaison des teneurs foliaires en phosphore aux normes de BOULD (1964)	87
Figure n°24	Comparaison des teneurs foliaires en potassium aux normes de BOULD (1964)	88
Figure n°25	Comparaison des teneurs foliaires en calcium aux normes de BOULD (1964)	89

<b>FIGURES</b>	<b>TITRE</b>	<b>Page</b>
<b>Figure n°26</b>	Comparaison des teneurs foliaires en magnésium aux normes de <b>BOULD (1964)</b>	<b>90</b>
<b>Figure n°27</b>	Appréciation de la somme N+P+K par rapport aux normes de (RYSER, 1982)	<b>91</b>
<b>Figure n°28</b>	Appréciation de la somme K + Ca + Mg par rapport aux normes de (RYSER, 1982)	<b>92</b>
<b>Figure n°29</b>	Evolution des teneurs foliaires en azote (% de matière sèche)	<b>93</b>
<b>Figure n°30</b>	Evolution des teneurs foliaires en phosphore (% de matière sèche)	<b>93</b>
<b>Figure n°31</b>	Evolution des teneurs foliaires en potassium (% de matière sèche)	<b>95</b>
<b>Figure n°32</b>	Evolution des teneurs foliaires en calcium (% de matière sèche)	<b>95</b>
<b>Figure n°33</b>	Evolution des teneurs foliaires en magnésium (% de matière sèche)	<b>96</b>

---