

I - SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

I.1 - Aperçu Historique sur l'analyse minérale des plantes :

La composition élémentaire de ce que l'on peut appeler la matière vivante est très complexe. En partant des premières découvertes de Lavoisier à ce sujet, on était déjà arrivé au commencement du siècle dernier à convenir que les organismes des végétaux et des animaux étaient en général constitués par l'association, sous forme de combinaisons diverses, d'environ dix à douze éléments. [6]

Les principes de l'analyse d'une plante se sont développés tôt depuis les années 1800. Le début était en Europe (DeSaussure, 1804) [7], divers éléments ont été identifiés comme essentiels pour la croissance des plantes. D'autres scientifiques, ont commencé à analyser les plantes pour leur contenu dont Von Liebig (1840) [7]. Une courte période plus tard, Weinhold (1862) [7] a conçu l'idée d'utiliser de l'analyse des plantes en tant qu'index d'approvisionnement en éléments nutritifs disponibles. Ceux-ci et bien d'autres scientifiques ont comparé la croissance des plantes ou le rendement avec les concentrations élémentaires de la matière sèche de la plante entière ou des structures de la plante, telles que les feuilles, les tiges, les pétioles, les fruits ou les graines, prélevés à différentes périodes pendant leur développement. Goodall et Gregory (1947) [7] ont passé en revue les premières recherches, concluant qu'une grande partie du travail effectué avant 1947 a pu être groupée dans une des quatre catégories :

1. Les investigations faites sur les affections nutritionnelles se manifestent par des symptômes bien définis.
2. Interprétation des résultats des essais.
3. Élaboration de méthodes rapides d'essai pour l'usage dans les travaux consultatifs.
4. Utilisation de l'analyse des plantes comme méthode de surveillance nutritionnelle.

Ces catégories sont encore aujourd'hui applicables, en termes de recherche ou pour l'utilisation de l'analyse des plantes dans la prise de décision pour la production végétale. Bear (1948) a également présenté une perspective historique

occidentale du développement de la nutrition minérale des récoltes en relation avec les principes des techniques d'analyse des plantes. [7]

Depuis lors, l'information historique continue sur le développement de la technique d'analyse des plantes dans certain nombre de revues et de livres (Ulrich, 1948; Smith, 1962; Hardy, 1967; Walsh et Beaton, 1973; Reuter et Robinson, 1986; Martin Prevel et autres, 1987; Westerman, 1990; Jones et autres, 1991; Black, 1993; Mills et Jones, 1996) [7]. Marschner (1986) a fourni des informations historiques, sur l'identification des micronutriments essentiels requis par de plus hautes plantes, de 1860 à 1954 [7]. Glass (1989) a fourni une liste chronologique complète sur les découvreurs des éléments, et sur ceux établissant leur essentialité pour les plantes [7]. Bergmann (1992) a compilé un livre complet sur les affections nutritionnelles des plantes qui inclut une excellente section sur l'analyse des plantes [7].

I.2 - Eléments trace et Essentialité :

I.2.1 - Eléments trace :

Depuis les premières recherches, des traces de manganèse, de fluor, d'iode et de quelques autres avaient, en outre, été signalées, mais dans des cas qui passaient aux yeux de presque tous pour exceptionnels et dont l'intérêt physiologique restait à démontrer. Des progrès qu'il n'est pas exagéré de qualifier de surprenants, avaient été accomplis. Un aboutissement très intéressant de ceux-ci, et grasse aux travaux combinés des chimistes et des biologistes, l'apparition de deux principes, l'un qualitatif et le second quantitatif, et qui avaient été largement démontrés : **(1)**. toutes les espèces vivantes, végétales et animales, renferment, non plus dix à douze éléments, métalloïdes et métaux, mais plus de trente; **(2)**. au point de vue quantitatif, onze de ces éléments : le carbone, l'hydrogène, l'oxygène, l'azote, le soufre, le phosphore et le chlore, ajoutés au calcium, au magnésium, au potassium et au sodium, représentent au moins 99,98% du poids des organismes [6], ainsi, on leur avait attribués le nom de : **éléments plastiques**. Donc, il ne reste plus qu'une proportion de 0,02%, au maximum, c'est-à-dire rien que des traces des autres métalloïdes et métaux. Ce caractère leur avait conférés l'épithète d'**oligoéléments**.

L'analyse du tissu humain, comme d'autres organismes, révèle que le corps contient une large gamme de métaux, dont les oligoéléments qui renferment 50 ppm

de fer, 20 ppm de zinc, 4 ppm de cuivre, et moins encore pour le manganèse avec 0.5 ppm. Les proportions pour le nickel, le cobalt, l'aluminium, le titane, le bore, l'iode, l'arsenic, etc. tendent vers les dixièmes et les centièmes du ppm et même encore vers les ppb. [6]

I.2.2 - Essentialité :

Une source contemporaine [8] indique que la plupart de ces métaux, hormis le calcium et les autres appelés métaux en bloc, sont présents à des concentrations au µg/g ou encore moins, et dont, seulement peu d'entre eux, jouent des rôles métaboliques significatifs dans le corps. Actuellement, neuf métaux (le fer, le zinc, le chrome, le cobalt, le nickel, le cuivre, le manganèse, le molybdène et le sélénium) sont généralement inclus dans ce groupe d'oligoéléments essentiels. Il est fortement probable que certains d'autres, tel que le vanadium, peuvent également être nutritionnellement importants, bien que jusqu'ici, leur essentialité n'a pas été entièrement établie. En considérant les propriétés et les rôles biologiques des éléments trace essentiels, il est important de se rendre compte qu'ils représentent moins de 0,1% de toute la composition du corps humain. Quatre éléments non métalliques, l'hydrogène, l'oxygène, le carbone et l'azote, comptent pour 99% de tous les éléments, pas simplement dans le corps humain, mais dans tous les systèmes biologiques. Encore sept éléments, appelés majeurs éléments, le sodium, le potassium, le calcium, le magnésium, le phosphore, le soufre et le chlore, totalisent approximativement 0,9%. Les oligoéléments essentiels partagent le 0,1% restant avec tous les autres éléments, métaux et non-métaux. [8]

Il existe un certain nombre de raisons pour lesquelles le nombre réel des oligoéléments essentiels chez l'homme est incertain. Ce n'est pas, comme il est facile de le comprendre, sans se placer dans des conditions particulières, que l'on peut arriver à reconnaître et à doser les oligoéléments de la matière vivante. Elles ne sont pas minimes les difficultés analytiques rencontrées en essayant de déterminer les concentrations, en particulier les plus basses, généralement trouvées dans les tissus. Probablement, également important est le problème de la classification. Décider si un élément est essentiel ou non implique une définition prescriptive de

l'essentialité, ce qui peut sembler inacceptable à tous et peut être modifié par de nouveaux résultats. [8]

Différents investigateurs ont proposé un certain nombre de définitions du concept de l'essentialité. Arnon et Stout (1939) [8] ont établis les critères suivants : un élément est considéré essentiel si le cycle de vie d'une plante ne peut pas être accompli sans lui, et ne peut pas être remplacé par aucun autre élément, et exerce une fonction essentielle directe dans la plante. La plus simple est que : un élément essentiel est un élément métabolique ou fonctionnel. Les nutritionnistes [8] adoptent une définition beaucoup plus précise et plus détaillée qui peut être récapitulée comme suit : être considéré comme essentiel, un oligoélément doit:

- (1). être présent dans un tissu sain.**
- (2). sa concentration doit être relativement constante parmi différents organismes.**
- (3). l'insuffisance induit des changements biochimiques spécifiques.**
- (4). les changements sont accompagnés d'anomalies équivalentes dans différentes espèces.**
- (5). la supplémentation avec l'élément corrige l'anomalie.**

Deux observations peuvent être faites sur le tableau périodique concernant les éléments essentiels [8] :

- La première est que presque tous les éléments essentiels sont trouvés parmi les éléments les plus légers. Seulement l'iode et le molybdène ont les nombres atomiques supérieurs à 34.
- La seconde est que les éléments essentiels se trouvent dans tous les groupes chimiques, excepté les groupes 3, 4 et 18 (groupe des gaz inertes).

Ce qui confirme la consistance de la liaison entre toutes les sortes de processus chimiques et le processus de la vie. Lavoisier à son époque a bien précisé que la vie est une fonction chimique, et l'essentialité d'un élément peut être expliquée en termes de ses propriétés chimique et physique.

Henry Schroeder, investigateur pionnier, récapitule un certain nombre de points clés qui doivent être pris en compte en considérant la question de

l'essentialité. Il a noté, dans “*The Trace Elements and Nutrition*” [9], qu'un élément essentiel doit avoir été :

- (1). **abondant quand la vie a commencé, dans l'eau de la mer;**
- (2). **réactif, c.-à-d., ayant la capacité d'avoir une liaison chimique avec d'autres éléments;**
- (3). **capable de faire partie intégrante d'une structure;**
- (4). **dans le cas des métaux, soluble dans l'eau, auto réactif avec l'oxygène, et capable d'établir une liaison avec la matière organique.**

Ces qualités ont été trouvées dans 23 parmi les 42 premiers éléments du tableau périodique [8].

Comme toutes les cellules des organismes vivants se composent de 80-90% d'eau, seulement les processus qui sont compatibles avec la présence de l'eau sont possibles. Ce qui a déterminé réellement la convenance d'un élément pour un rôle essentiel n'était pas simplement son abondance dans l'océan primitif, mais sa disponibilité dans les solutions aqueuses. La disponibilité dépend, en grande partie, de la capacité d'un élément de former des composés qui sont solubles dans l'eau à pH 7,0 [8]. Les éléments, sodium, potassium, calcium et magnésium, des groupes 1 et 2, peuvent bien le faire et, par conséquent, sont disponibles pour les organismes vivants. En revanche, le scandium, le titane et d'autres éléments des groupes 3 et 4 forment des composés de faible solubilité et n'ont pas un rôle biologique. Les non-métaux essentiels, l'oxygène et le soufre, et même le métalloïde sélénium, dans le groupe 16, forment également des composés solubles dans les solutions aqueuses neutres, de même qu'en général, **les métaux de transition du groupe 6 à 12** (le Zn et le Cu en font partie) [8].

Ainsi les éléments considérés comme essentiels pour les plantes incluent donc :

- le carbone (C), l'oxygène (O) et l'hydrogène (H), fournis par l'anhydride carbonique (CO₂) de l'air, à travers les feuilles, et l'eau (H₂O) des précipitations et/ou l'irrigation, absorbée du sol par les racines de la plante;
- les éléments minéraux, l'azote (N), le phosphore (P), le potassium (K), le calcium (Ca), le magnésium (Mg) et le soufre (S), connus sous le nom d'éléments majeurs

ou (macronutriments); et le bore (B), le chlore (Cl), le cuivre (Cu), le fer (Fe), le manganèse (Mn), le molybdène (Mo) et le zinc (Zn), connus sous le nom d'éléments mineurs ou (micronutriments). Tous ces éléments sont disponibles à travers le sol ou sont additionnés en amendements de sol, comme la chaux et les engrais, et sont alors absorbés par les racines de la plante [8].

Le sodium (Na), le silicium (Si) (Takahashi et autres, 1990), et le nickel (Ni) (Brown et autres, 1987) ont été suggérés aussi comme étant essentiels pour quelques plantes cultivées, tandis que le chrome (Cr), le sélénium (Se), et le vanadium (V), à de basses concentrations, ont été trouvés bénéfiques pour quelques plantes cultivées (Mengel et Kirkby, 1982; Marschner, 1986; Adriano, 1986; Kabata-Pendias et Pendias, 1995; Pais et Jones, 1996), certains de ces éléments est toxiques à des concentrations plus élevées [7]. Des observations semblables ont été faites par Asher (1991) et Pais (1992) [7]. Le cobalt (Co) et le nickel (Ni) sont essentiels pour la fixation symbiotique de l'azote (N₂), un processus qui peut nettement influencer la croissance des légumineuses cultivées dans les sols N-déficients (Ahmed et Evans, 1960; Dalton et autres, 1985) [7].

I.3 - Les plantes médicinales :

I.3.1 - Le développement de la Phytothérapie :

Depuis la nuit des temps, les hommes apprécient les vertus apaisantes et analgésiques des plantes. Aujourd'hui encore, les deux tiers de la pharmacopée ont recours à leurs propriétés curatives. A travers les siècles, les traditions humaines ont su développer la connaissance et l'utilisation des plantes médicinales.

La plupart des espèces végétales qui poussent dans le monde entier possèdent des vertus thérapeutiques, car elles contiennent des principes actifs qui agissent directement sur l'organisme. Par ailleurs, des chercheurs ont démontré que les principes actifs de nombreux végétaux agissent de manière complexe et combinée pour produire un effet thérapeutique global. Toutefois, malgré les énormes progrès réalisés par la médecine moderne, la phytothérapie offre de multiples avantages. N'oublions pas que de tout temps, à l'exception de ces cent dernières années, les hommes n'ont eu que les plantes pour se soigner. Aujourd'hui, les traitements à base de plantes reviennent au premier plan. La phytothérapie, qui propose des remèdes

naturels, connaît de nos jours un renouveau exceptionnel en Occident, spécialement dans le traitement des maladies chroniques. De plus, les effets secondaires induits par les médicaments inquiètent les utilisateurs, qui se tournent vers des soins moins agressifs pour l'organisme. [10]

C'est un fait qu'un quart de toutes les prescriptions médicales sont des formulations basées sur des substances dérivées des plantes ou des analogues synthétiques à base de plantes, et d'après l'OMS, 80% de la population du monde - au début ceux des pays en voie de développement - comptent sur les médecines dérivées des plantes pour leur bien être. [11]

I.3.2 - L'action des plantes médicinales :

L'action de la phytothérapie sur l'organisme dépend de la composition des plantes. Depuis le XVIII^e siècle, au cours duquel des savants ont commencé à extraire et à isoler les substances chimiques qu'elles contiennent, on considère les plantes et leurs effets en fonction de leurs principes actifs dont leurs recherches ont permis la mise au point de médicaments essentiels. Aussi la présence de ces composés dans la nature a fourni une ressource de valeur inestimable qui pourra être employée pour trouver de nouvelles molécules de drogues [11].

I.3.3 - Les éléments actifs des plantes :

Les Phénols par ex., représentés par les composés simples comme l'acide salicylique donnant l'aspirine par synthèse, ou les composés phénoliques auxquels sont rattachés les glycosides. Ils sont des anti-inflammatoires antiseptiques, antioxydants et possèdent des propriétés antivirales ou **les Anthocyanes** encore qui sont de puissants antioxydants issus de l'hydrolyse des anthocyanidines (flavonoïdes proches des flavones), qui donnent aux fleurs et aux fruits leurs teintes bleues, rouges ou pourpres. Bien d'autres comme les **Flavonoïdes**, les **Tanins**, les **Coumarines**, les **Saponines**, les **Anthraquinones**, les **Glucosides Cardiaques**, les **Glucosides Cyanogéniques**, les **Polysaccharides**, les **Glucosinalates**, les **Alcaloïdes**, etc. dont les effets et les métabolismes peuvent être consultés depuis les références [10-13] ou bien encore la riche littérature existante.

Il est indispensable de connaître la composition des plantes pour comprendre comment elles agissent sur l'organisme. Ainsi, les éléments actifs à l'origine des actions thérapeutiques des plantes ont été isolés et étudiés. Les investigations menées en ce sens ont eu plusieurs aboutissements, dont celui de la liaison entre les principes actifs et les métaux et spécialement les oligoéléments. Ces métaux concentrés par les plantes médicinales ont souvent des fonctions comme cofacteurs ou activateurs des enzymes impliquées dans le métabolisme des composés physiologiquement actifs (PAC). En activant ou désactivant ces enzymes, de tels métaux influencent l'accumulation de ces composés naturels [12].

Beaucoup de métaux jouent des rôles importants pour l'activité biologique des enzymes et des vitamines en constituant une partie de la structure ou comme cofacteur de ces entités. Le zinc, par exemple, joue un rôle essentiel dans l'enzyme alcool déshydrogénase, et le cobalt est essentiel à la vitamine B12. L'hémoglobine, l'hémérythrine, et la myoglobine portent l'oxygène lié au fer. Les protéines redox sont les protéines (ferri-sulfure) comme les cytochromes c et b5. Les enzymes redox sont les cyt-p450, catalase, et peroxydase [14]. Un certain nombre de protéines sont des porteurs de métaux, comme c'est le cas dans les protéines du sang suivant : Transferrine (Fe), Ceruloplasmine (Cu), Métallothionéine (Zn, Cd, Hg, Cu), Albumine (Zn, Cd), Phosphoprotéines (Ca) [14].

I.4 - L'importance biologique du Zinc et du Cuivre :

I.4.1 - Le Cuivre :

Le cuivre est un composant faisant partie intégrante de beaucoup de métalloenzymes, y compris la ceruloplasmine, la superoxyde dismutase, la dopamine- β -hydroxylase, l'ascorbate oxydase, la lysyle oxydase, et la tyrosinase. Les fonctions principales des métalloprotéines de cuivre impliquent des réactions d'oxydoréduction. La plupart des enzymes connues renfermant le cuivre réagissent directement avec l'oxygène moléculaire.[15]

Un certain nombre de conditions pathologiques ont été attribuées à la perte d'activité des cuproenzymes. L'échec de la pigmentation a été attribué à la baisse d'activité de la tyrosinase exigée dans la première étape de la biosynthèse de la mélanine. Une variété de défauts du tissu de connexion (cardiaque, vasculaire, et

squelettique) est censée être provoquée par une perte d'activité de l'amine oxydase, en particulier celle de l'oxydase lysylique. L'ataxie peut résulter de la baisse d'activité du cytochrome c oxydase du neurone moteur. La baisse d'activité de la dopamine- β -hydroxylase peut avoir comme conséquence des conversions anormales de la catécholamine. [15]

L'insuffisance en cuivre provoque l'anémie, la diminution des globules blancs du sang, les maladies neurologiques, l'ostéoporose, et les désordres des tissus connectifs. Ces manifestations et bien d'autres encore peuvent être suscitées par la maladie de Menkes [16], laquelle est liée à une défectuosité du métabolisme du cuivre.

Le cuivre interagit avec d'autres éléments, particulièrement avec le zinc. L'absorption élevée du zinc empêche celle du cuivre par compétition des transporteurs [17].

I.4.2 - Le Zinc :

L'essentialité du zinc pour la croissance et le bien-être des plantes et des animaux est bien établie. Les fonctions métaboliques du zinc sont basées en grande partie sur sa présence dans plus de 300 métalloenzymes impliquées dans pratiquement tous les aspects du métabolisme. Les enzymes importantes contenant le zinc chez l'homme comprennent la carbonique anhydrase, l'alcaline phosphatase, les ARN et ADN polymérase, la thymidine kinase, les carboxypeptidases, et l'alcool déshydrogénase. Le zinc joue également un rôle important dans la synthèse des protéines et a une fonction importante dans l'expression du gène; l'implication dans l'expression du gène est à double rôle; structural et enzymatique. [15]

L'insuffisance alimentaire en zinc chez l'homme est assez répandue dans le monde entier; elle a été documentée la première fois en 1961 pour des mâles égyptiens et iraniens, résultant d'un faible régime en zinc dans lequel un contenu élevé de fibre a diminué la disponibilité du zinc pour l'absorption intestinale. Pendant que l'insuffisance du zinc progresse, les manifestations cliniques existent comme un spectre [18].

Lors d'une insuffisance modérée du zinc, l'oligospermie, la perte de poids et l'hyperammonémie ont été observées. Elle est caractérisée par le retard de croissance chez les adolescents et les enfants, l'hypogonadisme chez les mâles adolescents, la dermatite douce, le faible appétit, le retardement curatif des blessures, la léthargie mentale, l'altération des réactions immunitaires, et l'adaptation anormale à l'obscurité.

Les manifestations de l'insuffisance grave du zinc, se présentent dans la maladie de l'acrodermatite entéropathique incluant la dermatite bullous-pustulaire, l'alopecie, la diarrhée, la perte de poids, l'infection récurrente, les désordres neuropsychiatriques et, à défaut de traitement, finissent par la mort. [15]

Le zinc et le cuivre sont en antagonisme mutuel, ils s'interfèrent lors de l'absorption dans l'intestin. L'absorption du zinc interfère également avec celle du fer. [17]