

# LES OLIGO-ELEMENTS

## PLAN

- 1 Définition
- 2 Classification des oligo-éléments
  - 2.1 Chez l'Être Humain
  - 2.2 Chez les végétaux
- 3 Mode d'action
  - 3.1 Liaison métal/protéine
  - 3.2 Utilisation tissulaire
  - 3.3 Fonctions
    - 3.3.1 Cofacteurs enzymatiques
    - 3.3.2 Hormones
    - 3.3.3 Système immunitaire
    - 3.3.4 Rôle structural
- 4 Métabolisme chez l'Homme
  - 4.1 Absorption
  - 4.2 Transport sanguin
  - 4.3 Stockage
  - 4.4 Excrétion
  - 4.5 Homéostasie
    - 4.5.1 Régulation de l'absorption intestinale
    - 4.5.2 Régulation du stockage
- 5 Conclusion

### 1- Définition

Les oligo-éléments sont une classe de nutriments éléments minéraux purs nécessaires à la vie d'un organisme, mais en quantités très faibles. On appelle oligo-éléments les éléments chimiques qui représentent une masse inférieure à 1 mg/kg.

Les oligo-éléments possèdent également une toxicité pour l'organisme lorsqu'ils sont présents à des taux trop élevés. L'effet d'un oligo-élément dépend de la dose d'apport. Lorsque l'oligo-élément est dit *essentiel*, l'absence, comme un apport excessif, sont létaux (entraîne la mort).

Les oligo-éléments essentiels répondent aux critères suivants :

- être présents à une concentration peu variable dans les tissus d'un organisme ;
- provoquer, par leur absence, des anomalies structurelles et physiologiques proches, et ce de façon similaire dans plusieurs espèces ;
- prévenir ou corriger ces troubles par leur seule présence.

### 2- Classification des oligo-éléments

#### 2.1- Chez l'Être Humain

D'un point de vue nutritionnel, il est possible de distinguer deux types d'oligo-éléments selon le risque de carence :

- oligo-éléments essentiels à risque de carence démontré : Iode, Fer, Cuivre, Zinc, Sélénium, Chrome, Molybdène,
- oligo-éléments essentiels à faible risque de carence ou non prouvée chez l'Homme : Manganèse, Silicium, Vanadium, Nickel et Étain

À l'inverse, certains oligo-éléments sont toxiques à hautes doses. D'autres ne le sont pas vraiment, mais peuvent être à l'origine de déséquilibres entre les éléments : un excès de zinc entraîne par exemple une carence en cuivre.

## 2.2- Chez les végétaux

Pour les végétaux, les principaux oligo-éléments sont, par ordre alphabétique :

Bore, Cuivre, Fer, Manganèse, Molybdène, Zinc.

Pour avoir une idée des quantités nécessaires aux plantes : un hectare de vigne absorbe, par an (en moyenne et environ), 200 grammes de bore (B), 180 grammes de cuivre (Cu), 600 grammes de fer (Fe), 300 grammes de manganèse (Mn), 4 grammes de molybdène (Mo), et 250 grammes de zinc (Zn). Par comparaison, il faudra 80 000 grammes (80 kg) de potasse (K<sub>2</sub>O) ou de calcium (Ca).

## 3- Mode d'action

### 3.1- Liaison métal/protéine

Sauf à de rares exceptions, les métaux ne sont jamais présents à l'état d'ions libres dans un organisme. Leur absorption, leur transport, ainsi que leur stockage et leur mode d'action, sont conditionnés par la liaison à une protéine.

On distingue deux types de liaisons possibles :

- liaisons ioniques (métaux alcalins ou alcalino-terreux tels que Sodium, Potassium ou Calcium) : le métal, chargé positivement, se lie à des protéinates très facilement dissociables dont les groupements acides sont chargés négativement ;
- liaisons de coordination : tout oligo-élément métallique est apte à former ainsi des complexes de forme variable avec les protéines. Lorsque les deux éléments sont difficilement dissociables, on parle de métalloprotéines.

### 3.2- Utilisation tissulaire

Les oligo-éléments peuvent tout d'abord être stockés, en réserve. Lors de leur utilisation proprement dite, ils peuvent subir des réactions d'oxydation de réduction ou de méthylation sous l'influence d'enzymes spécifiques. Leur rôle majeur est toutefois l'incorporation dans des enzymes, au fonctionnement desquelles ils sont alors essentiels.

### 3.3- Fonctions

#### 3.3.1- Cofacteurs enzymatiques

En se liant aux enzymes, les oligo-éléments sont pour la plupart capable de changer la conformation de ces protéines au rôle de catalyseur. La liaison entre un métal et son enzyme (alors appelée apoenzyme) est généralement très spécifique du métal pour une enzyme donnée.

Un oligo-élément ainsi lié à une enzyme a un comportement de cofacteur enzymatique, indispensable au bon fonctionnement de l'enzyme.

Ces métallo-enzymes sont très nombreuses dans le règne animal. On a ainsi décrit plus de deux cent enzymes ayant le zinc pour cofacteur.

Certains oligo-éléments entrent également dans la structure des vitamines, comme le Cobalt intégré à la vitamine B12. Ils n'ont alors pas directement une action de cofacteur, mais sont indispensables à la composition d'une coenzyme organique.

Dans le règne végétal, les oligo-éléments sont également capables de se lier à des apoenzymes pour former des hétéroenzymes catalysant la plupart des réactions vitales du métabolisme végétal (respiration, transport d'énergie, photosynthèse, etc.). Par exemple, l'un des rôles importants du fer est de permettre la fabrication de la chlorophylle.

### **3.3.2- Hormones**

Certains oligo-éléments participent de manière indirecte à la constitution des signaux hormonaux par une action de coenzyme lors de la synthèse de l'hormone. Toutefois, les oligo-éléments peuvent intervenir directement dans le signal hormonal, que ce soit en participant à la structure moléculaire de l'hormone (comme l'iode et les hormones thyroïdiennes) ou à sa conformation spatiale (comme le zinc et l'insuline), ou encore en agissant au niveau du récepteur hormonal. Ils peuvent alors faciliter ou au contraire inhiber la reconnaissance de l'hormone par son récepteur.

### **3.3.3- Système immunitaire**

Chez l'Homme, certains oligo-éléments participent au bon fonctionnement du système immunitaire, par une action sur les enzymes, mais aussi par une interaction avec des molécules de l'expression et de la transformation des cellules lymphoïdes. Ils peuvent également concourir à la lutte contre les radicaux libres de l'oxygène ( $H_2O_2$  ...), potentiellement toxiques.

### **3.3.4- Rôle structural**

Bien que n'entrant dans la composition corporelle que dans une faible proportion, les oligo-éléments peuvent renforcer la solidité de certains tissus. C'est le cas notamment du fluor dans l'hydroxyapatite (de formule  $Ca_5(PO_4)_3(OH)$ , usuellement écrite  $Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$  pour souligner le fait que la maille de la structure cristalline comprend deux molécules) du tissu osseux et dentaire, le fluor (F) remplaçant l'ion hydroxyle (OH). L'hydroxyapatite est la principale composante minérale de l'émail dentaire, la dentine (ou ivoire) et l'os.

## **4- Métabolisme chez l'Homme**

### **4.1- Absorption**

L'absorption est l'étape d'assimilation des nutriments lors de la digestion. Dans le cas des oligo-éléments, elle se révèle complexe, en raison de la diversité de leurs formes d'apport, sels minéraux ou complexes organiques (métalloprotéines, organométalliques, acides aminés, vitamines...).

Le transport, à travers la muqueuse de l'intestin grêle, peut aussi bien être actif que passif, par transporteur protéique ou par un transporteur de molécules organiques. Le métal peut être

substitué à un composant du transporteur (à la place d'un acide aminé, par exemple), mais aussi complexé à son transporteur. L'oligo-élément peut également être stocké dans la cellule intestinale où des protéines de transport peu spécifique le prendront en charge.

#### 4.2- Transport sanguin

Les oligo-éléments, très rarement présents sous forme ionique dans le sang, sont liés à divers transporteurs :

- protéines aspécifiques, comme l'albumine, capable de transporter de nombreux types de molécules ;
- protéines spécifiques à chaque oligo-élément (transferrine et fer...). La transferrine est une bêta globuline, de poids moléculaire 76 kDa, synthétisée par le foie; elle est constituée d'une seule chaîne polypeptidique porteuse de 2 sites de captation du fer, à raison de 2 atomes de fer par molécule de transferrine. La fonction de la transferrine est le transport du fer de l'intestin vers les réserves hépatiques et vers les réticulocytes (la cellule précédant le stade d'érythrocyte dans l'érythropoïèse).

#### 4.3- Stockage

Des réserves d'oligo-éléments existent, principalement au niveau du foie. Au niveau des tissus, les oligo-éléments peuvent se fixer à des protéines de stockage spécifiques (ferritine et fer... La ferritine étant une protéine permettant le stockage du fer. Elle joue un rôle clé dans son métabolisme, permettant de réguler l'absorption intestinale du fer en fonction des besoins de l'organisme. Elle a ainsi une fonction de réserve et de détoxication du fer), mais aussi à des protéines non spécifiques comme les métallothionéines, dont les nombreux radicaux thiols sont capables de retenir de nombreux métaux grâce à leur forte teneur en cystéine.

#### 4.4- Excrétion

De nombreux tissus de l'organisme humain sont aptes à excréter les métaux, qu'il s'agisse de la peau, des poumons, ou du rein et du foie. Ce sont toutefois ces deux derniers organes qui effectuent la quasi-totalité de cette excrétion. Chaque tissu n'est capable d'excréter que certains types d'oligo-éléments :

- excrétion majoritairement biliaire : cuivre, fer, manganèse, nickel, strontium, vanadium, qui possèdent ainsi un cycle entéro-hépatique (excrétion biliaire et réabsorption dans le duodénum) ;
- excrétion majoritairement urinaire : chrome, cobalt, sélénium, molybdène, prépondérante pour les métaux éliminés sous forme séquestrée (comme le cobalt dans la vitamine B12) ou anionique (comme le molybdate) ;
- excrétion majoritairement sudorale : chrome, cuivre, zinc, sélénium, strontium.

#### 4.5- Homéostasie

Assurée par la régulation de leur taux:

- absorption intestinale
- excrétion biliaire et urinaire.

Dans notre génome le mécanisme régulant le métabolisme des oligo-éléments est l'induction des protéines de stockage intracellulaire.

#### 4.5.1- Régulation de l'absorption intestinale

La régulation de l'absorption se fait principalement par l'induction de protéines de stockage intracellulaires. Un excès d'apport induira ainsi le gène de ces protéines, alors produites en plus grande quantité. Ces protéines de stockage vont fixer le métal en excès à l'intérieur de l'entérocyte, l'empêchant de traverser la cellule afin de gagner le flot sanguin. Les cellules intestinales composant un épithélium à renouvellement rapide, elles desquameront rapidement dans la lumière digestive, entraînant avec elles l'excès de métal fixé.

Ce mécanisme possède toutefois certaines limites. Tout d'abord, il se dégrade de manière physiologique avec le vieillissement de l'individu. Ensuite, les métalloprotéines étant aspécifiques, elles peuvent aussi bien fixer des métaux toxiques ou en excès que des métaux utiles. Un apport excessif de zinc entraîne ainsi une synthèse accrue de métallothionéines, et par là une fixation plus importante de métaux tels que le cuivre, qui seront donc moins bien absorbés. Dans le cas du

zinc et du cuivre, ce phénomène pourra induire des anémies par carence en cuivre.

#### 4.5.2- Régulation du stockage

La synthèse des protéines de stockage spécifiques est régulée par rétro-contrôle, permettant ainsi le contrôle des taux d'oligo-éléments sériques. Certaines maladies génétiques vont être responsables d'un dérèglement de ce stockage, entraînant des maladies de surcharge comme la maladie de Wilson (La maladie de Wilson est une maladie génétique secondaire liée à une accumulation de cuivre dans l'organisme et se manifestant par des atteintes du foie et du système nerveux) ou l'hémochromatose génétique (est une maladie génétique caractérisée par une hyperabsorption du fer par l'intestin entraînant son accumulation dans l'organisme, préférentiellement au niveau de certains tissus et organes).

### 5- Conclusion

L'ensemble des réactions métaboliques (dégradation ou biosynthèse) essentielles au bon fonctionnement des systèmes de l'organisme nécessite une activité enzymatique appelée catalyse. Cette dernière dépend des oligo-éléments qui agissent comme des cofacteurs d'enzyme. Les oligo-éléments sont indispensables en très faible quantité à tout processus enzymatique.

On peut ainsi observer ce contraste entre la faible importance quantitative et l'immense importance qualitative de ces minéraux sans lesquels la vie n'aurait pu apparaître, ne pourrait se maintenir ni évoluer.

Un oligo-élément doit être solubilisé (ionisé) pour être absorbé par l'organisme. Ainsi, leur ennemi numéro un est la chélation, phénomène qui les rend inactifs ou insolubles par des éléments chimiques de surcharge venant par exemple des métaux lourds, des colorants, des pesticides, des antibiotiques...