



**HAL**  
open science

## Prise en charge nutritionnelle du patient hypertendu

Emilie Loret-Vanhoutte

► **To cite this version:**

Emilie Loret-Vanhoutte. Prise en charge nutritionnelle du patient hypertendu. Sciences pharmaceutiques. 2013. dumas-00798577

**HAL Id: dumas-00798577**

**<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-00798577v1>**

Submitted on 8 Mar 2013

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

## AVERTISSEMENT

Ce document est le fruit d'un long travail approuvé par le jury de soutenance et mis à disposition de l'ensemble de la communauté universitaire élargie.

Il n'a pas été réévalué depuis la date de soutenance.

Il est soumis à la propriété intellectuelle de l'auteur. Ceci implique une obligation de citation et de référencement lors de l'utilisation de ce document.

D'autre part, toute contrefaçon, plagiat, reproduction illicite encourt une poursuite pénale.

Contact au SICD1 de Grenoble : [thesebum@ujf-grenoble.fr](mailto:thesebum@ujf-grenoble.fr)

## LIENS

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 122. 4

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 335.2- L 335.10

[http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg\\_droi.php](http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg_droi.php)

<http://www.culture.gouv.fr/culture/infos-pratiques/droits/protection.htm>

# THESE

PRESENTEE POUR L'OBTENTION DU TITRE DE

DOCTEUR EN PHARMACIE

DIPLÔME D'ETAT  
PAR

Émilie LORET-VANHOUTTE  
Née le 16 novembre 1985 à Reims

## **Prise en charge nutritionnelle du patient hypertendu**

Présentée et soutenue publiquement le 26 février 2013

Devant le jury composé de :

Président du jury et directeur de thèse: Madame Isabelle HININGER-FAVIER  
(Maître de conférences)

Membres du jury : Madame Magalie BAUDRANT-BOGA (Pharmacien hospitalier)  
Monsieur Jean-François CASSAZ (Pharmacien d'officine)  
Madame Pascale DOMEUR (Pharmacien d'officine)

# THESE

PRESENTEE POUR L'OBTENTION DU TITRE DE

DOCTEUR EN PHARMACIE

DIPLÔME D'ETAT  
PAR

Émilie LORET-VANHOUTTE  
Née le 16 novembre 1985 à Reims

## **Prise en charge nutritionnelle du patient hypertendu**

Présentée et soutenue publiquement le 26 février 2013

Devant le jury composé de :

Président du jury et directeur de thèse: Madame Isabelle HININGER-FAVIER  
(Maître de conférences)

Membres du jury : Madame Magalie BAUDRANT-BOGA (Pharmacien hospitalier)  
Monsieur Jean-François CASSAZ (Pharmacien d'officine)  
Madame Pascale DOMEUR (Pharmacien d'officine)

*La faculté de Pharmacie de Grenoble n'entend donner aucune approbation ni improbation aux opinions émises dans les thèses ; ces opinions sont considérées comme propres à leurs auteurs.*

## UFR de Pharmacie de Grenoble

DOMAINE DE LA MERCI  
38706 LA TRONCHE CEDEX – France  
TEL : +33 (0)4 75 63 71 00  
FAX : +33 (0)4 75 63 71 70



Doyen de la Faculté : **M. Christophe RIBUOT**  
Vice-doyen et Directeur des Etudes : **Mme Delphine ALDEBERT**

Année 2012-2013

### ENSEIGNANTS A L'UFR DE PHARMACIE

#### PROFESSEURS DES UNIVERSITES (n=11)

|                     |            |  |
|---------------------|------------|--|
| <b>BAKRI</b>        | Aziz       | Pharmacie Galénique et Industrielle, Formulation et Procédés Pharmaceutiques (TIMC-IMAG) |
| <b>BOUMENDJEL</b>   | Ahcène     | Chimie Organique (D.P.M.)  |
| <b>BURMEISTER</b>   | Wim        | Biophysique (U.V.H.C.I)  |
| <b>DECOUT</b>       | Jean-Luc   | Chimie Inorganique (D.P.M.)  |
| <b>DROUET</b>       | Christian  | Immunologie Médicale (TIMC-IMAG)   |
| <b>DROUET</b>       | Emmanuel   | Microbiologie (U.V.H.C.I) -  |
| <b>GODIN-RIBUOT</b> | Diane      | Physiologie-Pharmacologie (HP2)  |
| <b>LENORMAND</b>    | Jean Luc   | Ingénierie Cellulaire, Biothérapies (THEREX, TIMC, IMAG)                                 |
| <b>PEYRIN</b>       | Eric       | Chimie Analytique (D.P.M.)   |
| <b>RIBUOT</b>       | Christophe | Physiologie – Pharmacologie (HP2)  |
| <b>WOUESSIDJEW</b>  | Denis      | Pharmacotechnie (D.P.M.)   |

#### PROFESSEURS DES UNIVERSITES-PRATICIEN HOSPITALIER (n=6)

|               |          |  |
|---------------|----------|--|
| <b>CALOP</b>  | Jean     | Pharmacie Clinique (TIMC-IMAG, PU-PH)            |
| <b>CORNET</b> | Murielle | Parasitologie – Mycologie Médicale (LAPM, PU-PH) |
| <b>DANEL</b>  | Vincent  | Toxicologie (SMUR SAMU / PU-PH)                  |
| <b>FAURE</b>  | Patrice  | Biochimie (HP2/PU-PH)                            |
| <b>MOSSUZ</b> | Pascal   | Hématologie (PU-PH-THEREX-TIMC)                  |
| <b>SEVE</b>   | Michel   | Biochimie – Biotechnologie (IAB, PU-PH)          |

#### PROFESSEUR EMERITE (n=1)

|                |       |  |
|----------------|-------|--|
| <b>GRILLOT</b> | Renée | Parasitologie – Mycologie Médicale (L.A.P.M) |
|----------------|-------|--|

#### MAITRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITES (n=31)

|                           |          |  |
|---------------------------|----------|--|
| <b>ALDEBERT</b>           | Delphine | Parasitologie-Mycologie (L.A.P.M)                |
| <b>BATANDIER</b>          | Cécile   | Nutrition et Physiologie (L.B.F.A)               |
| <b>BELAIDI-CORSAT</b>     | Elise    | Pharmacologie Physiologie –(HP2)                 |
| <b>BOURGOIN</b>           | Sandrine | Biochimie – Biotechnologie (IAB)                 |
| <b>BRETON</b>             | Jean     | Biologie Moléculaire / Biochimie (L.C.I.B – LAN) |
| <b>BRIANCON-MARJOLLET</b> | Anne     | Physiologie Pharmacologie (HP2)                  |
| <b>BUDAYOVA SPANO</b>     | Monika   | Biophysique (I.B.S)                              |

Dernière mise à jour : 23/10/2012

Rédacteur : LANTOU FAURE ; Secrétaire doyen Pharmacie

DOMAINE DE LA MERCI – 38706 LA TRONCHE CEDEX – France - TEL : +33 (0)4 75 63 71 00 – FAX : +33 (0)4 75 63 71 70

## UFR de Pharmacie de Grenoble

DOMAINE DE LA MERCI  
38706 LA TRONCHE CEDEX – France  
TEL : +33 (0)4 75 63 71 00  
FAX : +33 (0)4 75 63 71 70



|                   |            |  |
|-------------------|------------|--|
| CAVAILLES         | Pierre     | Biologie Cellulaire et génétique (L.A.P.M)                                 |
| CHOISNARD         | Luc        | Pharmacotechnie (D.P.M)  |
| DELETRAZ-DELPORTE | Martine    | Droit Pharmaceutique<br>(Equipe SIS « Santé, Individu, Société »-EAM 4128) |
| DEMEILLIERS       | Christine  | Biochimie (L.B.F.A)  |
| DURMORT-MEUNIER   | Claire     | Biotechnologies (I.B.S)  |
| GEZE              | Annabelle  | Pharmacotechnie (D.P.M)  |
| GILLY             | Catherine  | Chimie Thérapeutique (D.P.M)   |
| GROSSET           | Catherine  | Chimie Analytique (D.P.M)  |
| GUIEU             | Valérie    | Chimie Analytique (D.P.M)  |
| HININGER-FAVIER   | Isabelle   | Biochimie (L.B.F.A)  |
| JOYEUX-FAURE      | Marie      | Physiologie - Pharmacologie (HP2)  |
| KHALEF            | Nawel      | Pharmacie Galénique (TIMC-IMAG)  |
| KRIVOBOK          | Serge      | Biologie Végétale et Botanique (L.C.B.M)                                   |
| MOUHAMADOU        | Bello      | Cryptogamie, Mycologie Générale (L.E.C.A)                                  |
| MORAND            | Jean-Marc  | Chimie Thérapeutique (D.P.M)   |
| MELO DE LIMA      | Christelle | Biostatistiques (L.E.C.A)  |
| NICOLLE           | Edwige     | Chimie Thérapeutique (D.P.M)   |
| PERES             | Basile     | Pharmacognosie (D.P.M)   |
| PEUCHMAUR         | Marine     | Chimie Organique (D.P.M.)  |
| RACHIDI           | Walid      | Biochimie (L.C.I.B)  |
| RAVEL             | Anne       | Chimie Analytique (D.P.M)  |
| RAVELET           | Corinne    | Chimie Analytique (D.P.M)  |
| SOUARD            | Florence   | Pharmacognosie (D.P.M)   |
| TARBOURIECH       | Nicolas    | Biophysique (U.V.H.C.I.)   |
| VANHAVERBEKE      | Cécile     | Chimie (D.P.M)   |

### MAITRE DE CONFERENCE DES UNIVERSITES-PRATICIEN HOSPITALIER (n=3)

|         |           |  |
|---------|-----------|--|
| ALLENET | Benoit    | Pharmacie Clinique (THEMAS TIMC-IMAG/MCU-PH) |
| BUSSER  | Benoit    | Pharmacie (MCU-PH-IAB-INSERM)                |
| GERMI   | Raphaëlle | Microbiologie (U.V.H.C.I./MCU-PH)            |

### PROFESSEUR CERTIFIE (PRCE) (n=2)

|         |          |         |
|---------|----------|---------|
| FITE    | Andrée   | P.R.C.E |
| GOUBIER | Laurence | P.R.C.E |

## UFR de Pharmacie de Grenoble

DOMAINE DE LA MERCI  
38706 LA TRONCHE CEDEX – France  
TEL : +33 (0)4 75 63 71 00  
FAX : +33 (0)4 75 63 71 70



### PROFESSEURS ASSOCIES (PAST) (n=4)

|           |          |  |
|-----------|----------|--|
| BELLET    | Béatrice | Pharmacie Clinique                           |
| BEU       | Isabelle | Oncologie (Praticien Attaché – CHU)          |
| TROUILLER | Patrice  | Santé Publique (Praticien Hospitalier – CHU) |
| DON       | Martin   | Laboratoire TIMC-IMAG                        |

### PROFESSEUR AGREGÉ (PRAG) (n=1)

|          |               |          |
|----------|---------------|----------|
| GAUCHARD | Pierre-Alexis | (D.P.M.) |
|----------|---------------|----------|

### ASSISTANTS HOSPITALO-UNIVERSITAIRES (AHU) (n=2)

|            |           |                                      |
|------------|-----------|--------------------------------------|
| SUEUR      | Charlotte | Virologie (U.V.H.C.J)                |
| VAN NOOLEN | Laetitia  | Biochimie Toxicologie (HP2-DBTP-BGM) |

### ATER (n= 6)

|                        |      |                                      |
|------------------------|------|--------------------------------------|
| DAYDE David            | ATER | Parasitologie Mycologie (J.R)        |
| FAVIER Mathieu         | ATER | Pharmacologie - Laboratoire HP2 (JR) |
| HADDAD-AMAMOU Anis     | ATER | Laboratoire de Pharmacie Galénique   |
| HENRI Marion           | ATER | Physiologie – Laboratoire HP2 (JR)   |
| LEHMANN Sylvia         | ATER | Biochimie Biotechnologie (JR)        |
| REGENT-KLOEKNER Myriam | ATER | Biochimie (LECA-UJF)                 |

### MONITEUR ET DOCTORANTS CONTRACTUELS (n=9)

|               |             |                            |                                |
|---------------|-------------|----------------------------|--------------------------------|
| CAVAREC       | Fanny       | (01-10-2011 au 30-09-2014) | Laboratoire HP2 (JR)           |
| GRAS          | Emmanuelle  | (01-10-2010 au 30-09-2013) | Laboratoire HP2 (JR)           |
| LESART        | Anne-Cécile | (01-10-2009 au 30-09-2013) | Laboratoire (TIMC-IMAG)        |
| MELAINE       | Feriel      | (01-10-2011 au 30-09-2014) | Laboratoire HP2(JR)            |
| NASRALLAH     | Chady       | (01-10-2011 au 30-09-2014) | Laboratoire HP2(JR)            |
| THOMAS        | Amandine    | (01-10-2011 au 30-09-2014) | Laboratoire HP2 (JR)           |
| LECERF-SHMIDT | Florine     | (01-10-2012 au 30-09-2015) | Pharmacochimie (DPM)           |
| BERTHOIN      | Lionel      | (01-10-2012 au 30-09-2015) | Laboratoire (TIMC-IMAG-THEREX) |
| MORAND        | Jessica     | (01-10-2012 au 30-09-2015) | Laboratoire HP2 (JR)           |

CHU : Centre Hospitalier Universitaire  
CIB : Centre d'Innovation en Biologie  
DPM : Département de Pharmacochimie Moléculaire  
HP2 : Hypoxie Physiopathologie Respiratoire et Cardiovasculaire  
IAB : Institut Albert Bonniot, Centre de Recherche « Oncogénèse et Ontogénèse »  
IBS : Institut de Biologie Structurale  
LAPM : Laboratoire Adaptation et Pathogénèse des Microorganismes  
LBFA : Laboratoire Bioénergétique Fondamentale et Appliquée  
LCBM : Laboratoire Chimie et Biologie des Métaux  
LCIB : Laboratoire de Chimie Inorganique et Biologie  
LECA : Laboratoire d'Ecologie Alpine  
LR : Laboratoire des Radio pharmaceutiques  
TIMC-IMAG : Laboratoire Technique de l'Imagerie, de la Modélisation et de la Cognition  
UVHCI : Unit of Virus Host Cell Interactions

Dernière mise à jour : 23/10/2012

Rédacteur : LANTOU FAURE ; Secrétaire doyen Pharmacie

DOMAINE DE LA MERCI – 38706 LA TRONCHE CEDEX – France - TEL : +33 (0)4 75 63 71 00 – FAX : +33 (0)4 75 63 71 70

## **REMERCIEMENTS**

### **Aux membres du jury**

Je remercie Isabelle HININGER-FAVIER pour avoir présidé et dirigé ma thèse. Merci pour votre disponibilité, votre gentillesse et vos conseils tout au long de ce travail.

Je remercie Magalie BAUDRANT-BOGA, pharmacien hospitalier, d'avoir aimablement accepté de juger mon travail.

Je remercie Jean-François CASSAZ, pharmacien d'officine, d'avoir gentiment accepté de faire parti du jury.

Je remercie Pascale DOMEUR, pharmacien d'officine, pour sa gentillesse et son soutien durant mes dernières années d'études. Merci également d'avoir accepté de juger mon travail.

### **A ma famille**

Tout d'abord, à mes parents, ma soeur et mon frère, pour avoir toujours été là pour moi, pour m'avoir supporté et soutenu pendant toutes ces années d'études.

A mon mari, pour son Amour, son soutien moral et ses conseils au quotidien.

A ma belle-famille, pour leur soutien et leur accueil chaque jour.

A mes grands parents, pour leur soutien et à ma mamie, pour m'avoir aidé dans mes révisions.

Je vous aime tous très fort.

### **A mes amis**

A ma Luce, avec qui j'ai passé quasiment tous ces jours à travailler sur ma thèse.

A Fabienne, qui m'a aidée pour la mise en page et l'orthographe.

A Sarah, pour son soutien téléphonique pendant toutes ces années.

A Flo, Manu, Marie, Yo, Nat et Michael.....et à tous les autres, pour leur amitié dont j'avais besoin.

### **A la faculté de Reims et de Grenoble**

A mes professeurs, à qui je dois mes connaissances d'aujourd'hui.



# TABLE DES MATIERES

|   |           |
|---|-----------|
| <b>LISTE DES FIGURES</b> .....  | <b>9</b>  |
| <b>LISTE DES TABLEAUX</b> .....   | <b>10</b> |
| <b>LISTE DES ABREVIATIONS</b> .....                                     | <b>12</b> |
| <b>INTRODUCTION</b> .....   | <b>15</b> |
| <b>1 PRESSION ARTERIELLE</b> .....                                      | <b>16</b> |
| <b>1.1 Définition de la pression artérielle</b> .....                   | <b>16</b> |
| <b>1.2 Rappels physiologiques sur le système cardiovasculaire</b> ..... | <b>16</b> |
| 1.2.1 Cœur.....   | 16        |
| 1.2.2 Vaisseaux sanguins.....   | 17        |
| 1.2.3 Circulation sanguine.....   | 18        |
| 1.2.4 Conduction cardiaque .....  | 19        |
| 1.2.5 Régulation de la circulation sanguine .....                       | 19        |
| <b>1.3 Rappels physiologiques rénaux</b> .....                          | <b>20</b> |
| 1.3.1 Physiologie et rôle du rein.....                                  | 20        |
| 1.3.2 Régulation du sodium rénal .....                                  | 21        |
| 1.3.3 Facteurs de régulation .....                                      | 24        |
| <b>1.4 Sel et pression artérielle</b> .....                             | <b>27</b> |
| 1.4.1 Rôles physiologiques .....  | 27        |
| 1.4.2 Hypo et hypernatrémie .....                                       | 30        |
| 1.4.3 Mécanismes d'action sur la pression artérielle.....               | 31        |
| <b>1.5 Autres micronutriments et pression artérielle</b> .....          | <b>34</b> |
| 1.5.1 Potassium et pression artérielle .....                            | 34        |
| 1.5.1.1 Rôles physiologiques .....                                      | 34        |
| 1.5.1.2 Régulation de la kaliémie .....                                 | 35        |
| 1.5.1.3 Hypo et hyperkaliémie .....                                     | 35        |
| 1.5.1.4 Potassium et Pression artérielle : mécanisme d'action.....      | 36        |
| 1.5.2 Calcium et pression artérielle.....                               | 37        |
| 1.5.2.1 Rôles physiologiques .....                                      | 37        |
| 1.5.2.2 Régulation de la calcémie.....                                  | 38        |
| 1.5.2.3 Hypo et hypercalcémie.....                                      | 38        |
| 1.5.2.4 Calcium et pression artérielle : hypothèses mécanistiques ..... | 38        |
| 1.5.3 Magnésium et pression artérielle .....                            | 39        |
| 1.5.3.1 Rôles physiologiques .....                                      | 39        |
| 1.5.3.2 Régulation de la magnésémie .....                               | 40        |
| 1.5.3.3 Hypo et hypermagnésémie .....                                   | 41        |
| 1.5.3.4 Mg et pression artérielle : hypothèses mécanistiques.....       | 43        |
| <b>2 L'HYPERTENSION ARTERIELLE</b> .....                                | <b>45</b> |
| <b>2.1 Définition de l'hypertension</b> .....                           | <b>45</b> |
| <b>2.2 Épidémiologie</b> .....  | <b>46</b> |
| <b>2.3 Étiologie</b> .....  | <b>46</b> |
| <b>2.4 Diagnostic</b> .....   | <b>48</b> |
| <b>2.5 Les complications liées à l'hypertension</b> .....               | <b>50</b> |

|          |  |            |
|----------|--|------------|
| 2.6      | Les médicaments traditionnellement utilisés dans l'hypertension .....  | 50         |
| <b>3</b> | <b>LE SEL.....</b>   | <b>53</b>  |
| 3.1      | Réglementation et historique du sel.....   | 53         |
| 3.1.1    | Structure moléculaire.....   | 53         |
| 3.1.2    | Codex Alimentarius .....   | 55         |
| 3.1.3    | Teneur minérale en chlorure de sodium.....   | 55         |
| 3.1.4    | Molécules parasites naturellement présentes.....   | 55         |
| 3.1.5    | Raffinage .....  | 56         |
| 3.1.6    | Exigences à respecter .....  | 56         |
| 3.1.7    | Historique du sel .....  | 57         |
| 3.2      | Génome et sel .....  | 58         |
| 3.2.1    | Évolution du génome .....  | 58         |
| 3.2.2    | Données actuelles sur le sel et le génome .....  | 59         |
| 3.2.3    | Sensibilité ou résistance au sel .....   | 61         |
| 3.2.4    | Autres pathologies nutritionnelles et sensibilité au sel .....   | 63         |
| <b>4</b> | <b>EFFET DU REGIME ALIMENTAIRE DANS LA PREVENTION DE L'HYPERTENSION .....</b>                                | <b>66</b>  |
| 4.1      | Comparaison d'un régime alimentaire primitif à un régime moderne.....  | 66         |
| 4.2      | Sel et hypertension artérielle .....   | 68         |
| 4.2.1    | Consommation de sel et hypertension chez l'adulte .....  | 69         |
| 4.2.2    | Consommation de sel et hypertension chez l'enfant .....  | 76         |
| 4.3      | Potassium et hypertension artérielle.....  | 77         |
| 4.4      | Calcium et hypertension .....  | 79         |
| 4.5      | Magnésium et hypertension .....  | 81         |
| 4.6      | Association de micronutriments.....  | 82         |
| 4.7      | Les controverses sur le rôle des micronutriments dans l'hypertension .....                                   | 87         |
| 4.8      | Discussion .....   | 89         |
| <b>5</b> | <b>CONSOMMATION EN SEL ET AUTRES NUTRIMENTS (K, Mg, Ca) EN FRANCE .....</b>                                  | <b>90</b>  |
| 5.1      | Sources et extraction de sel .....   | 90         |
| 5.2      | Source de sel dans l'alimentation des Français .....   | 92         |
| 5.3      | Propriétés et intérêts du sel .....  | 96         |
| 5.3.1    | Du point de vue des consommateurs.....   | 96         |
| 5.3.1    | Du point de vue des industriels.....   | 96         |
| 5.3.2.1  | Intérêt technologique et organoleptique .....  | 96         |
| 5.3.2.2  | Principaux vecteurs .....  | 98         |
| 5.3.2    | Du point de vue santé publique .....   | 101        |
| 5.4      | Accoutumance au sel .....  | 102        |
| 5.5      | Bilan de la consommation en sel en France .....  | 102        |
| 5.6      | Besoins, sources et apports en Potassium .....   | 106        |
| 5.7      | Besoins, sources et apports en calcium.....  | 109        |
| 5.8      | Besoins, sources et apports en Magnésium .....   | 111        |
| <b>6</b> | <b>POLITIQUE DE SANTE PUBLIQUE POUR LA REDUCTION DE LA CONSOMMATION DE SEL ET INTERETS ECONOMIQUES .....</b> | <b>113</b> |
| 6.1      | Les objectifs.....   | 113        |

|            |  |            |
|------------|--|------------|
| 6.1.1      | Les acteurs.....   | 113        |
| 6.1.1.1    | Les industriels.....   | 113        |
| 6.1.1.2    | Les professionnels de santé.....                               | 114        |
| 6.1.2      | Lieux d'action .....   | 117        |
| 6.1.3      | Les idées pour réduire les quantités de sel des aliments ..... | 118        |
| 6.1.3.1    | Exhausteurs de goût .....                                      | 118        |
| 6.1.3.2    | Libération du sel .....  | 118        |
| 6.1.3.3    | Substituer le sel.....   | 118        |
| 6.1.3.4    | Réduction progressive .....                                    | 120        |
| 6.1.4      | Les moyens d'informations .....                                | 122        |
| 6.1.4.1    | Étiquetage .....   | 122        |
| 6.1.4.2    | Publicité.....   | 123        |
| <b>6.2</b> | <b>Intérêts économiques .....</b>                              | <b>124</b> |
| 6.2.1      | Industriels.....   | 124        |
| 6.2.2      | Budget santé publique .....                                    | 124        |
| <b>7</b>   | <b>CONSEILS A L'OFFICINE.....</b>                              | <b>125</b> |
|            | <b>CONCLUSION.....</b>   | <b>130</b> |
|            | <b>ANNEXES.....</b>  | <b>132</b> |
|            | <b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....</b>                        | <b>138</b> |
|            | <b>SERMENT DES APOTHICAIRES.....</b>                           | <b>157</b> |

## LISTE DES FIGURES

|             |  |     |
|-------------|--|-----|
| Figure 1 :  | Le cœur.....   | 16  |
| Figure 2 :  | Le réseau vasculaire chez l'homme.....   | 18  |
| Figure 3 :  | Physiologie cardio-circulatoire.....   | 19  |
| Figure 4 :  | Physiologie du rein.....   | 20  |
| Figure 5 :  | Pompe Na <sup>+</sup> /K <sup>+</sup> .....  | 22  |
| Figure 6 :  | Mode d'action du furosémide (F) et du bumétanide (B).....  | 23  |
| Figure 7 :  | Réabsorption du sodium.....  | 24  |
| Figure 8 :  | Régulation neuro-hormonale de la fonction rénale.....  | 25  |
| Figure 9 :  | Système rénine-angiotensine-aldostérone.....   | 26  |
| Figure 10 : | L'eau dans le corps.....   | 27  |
| Figure 11 : | Mouvements d'eau.....  | 28  |
| Figure 12 : | Canaux et pompes de la membrane neuronale.....   | 29  |
| Figure 13 : | Hypothèse d'action du sel sur la pression artérielle.....  | 32  |
| Figure 14 : | Répartition du magnésium dans l'organisme.....   | 39  |
| Figure 15 : | Hypothèse d'action du magnésium sur la pression artérielle.....  | 45  |
| Figure 16 : | Étiologie de l'hypertension.....   | 47  |
| Figure 17 : | Tensiomètre manuel.....  | 48  |
| Figure 18 : | Tensiomètre électronique.....  | 49  |
| Figure 19 : | Stratégie thérapeutique de l'hypertension.....   | 50  |
| Figure 20 : | Formation des ions Na <sup>+</sup> et Cl <sup>-</sup> .....  | 54  |
| Figure 21 : | Réseau cristallin.....   | 54  |
| Figure 22 : | Gènes intervenant dans la régulation de la pression artérielle.....  | 60  |
| Figure 23 : | Pression artérielle avant ou après chargement oral de NaCl<br>ou de NaHCO <sub>3</sub> .....                                       | 63  |
| Figure 24 : | IMC et corpulence.....   | 64  |
| Figure 25 : | Comparaison de l'obésité entre 1997 et aujourd'hui.....  | 64  |
| Figure 26 : | Interactions entre les apports en sodium et potassium<br>d'un régime moderne avec le rein dans l'apparition de l'hypertension..... | 68  |
| Figure 27 : | Pression artérielle systolique en fonction de l'âge<br>et de la consommation de sel.....   | 69  |
| Figure 28 : | Bénéfice d'une restriction sodée.....  | 73  |
| Figure 29 : | Evolution de la PAS moyenne en fonction des apports en sodium.....   | 74  |
| Figure 30 : | Effet moyen obtenu sur la pression artérielle pour différentes études.....   | 79  |
| Figure 31 : | Compositions en minéraux des différents régimes DASH en comparaison<br>à un régime alimentaire primitif.....                       | 85  |
| Figure 32 : | Effet sur la PAS des différents régimes.....   | 86  |
| Figure 33 : | Source et extraction du sel.....   | 92  |
| Figure 34 : | Résumé des études sur la consommation de sel en France.....  | 106 |
| Figure 35 : | Ventes totales de sel de table et de cuisine aux consommateurs<br>en France (en %).....  | 121 |
| Figure 36 : | Symbole cardiaque apposé sur les produits à teneur élevée en sel.....  | 122 |
| Figure 37 : | Système de codes couleurs.....   | 123 |

## LISTE DES TABLEAUX

|   |    |
|---|----|
| Tableau 1 : Action des différents facteurs de régulation sur la réabsorption du sodium rénal.....   | 27 |
| Tableau 2 : Composition en minéraux des liquides intra et extracellulaires .....  | 28 |
| Tableau 3 : Étiologies des hypomagnésémies.....   | 41 |
| Tableau 4 : Sémiologie de l’hypomagnésémie.....   | 42 |
| Tableau 5 : Grades de l’hypertension selon l’OMS.....   | 46 |
| Tableau 6 : Traitements antihypertenseurs.....  | 52 |
| Tableau 7 : Ventes de sel entre 2008 et 2010.....   | 57 |
| Tableau 8 : Différence de composition en sodium et potassium d’un régime primitif et d’un régime moderne.....   | 66 |
| Tableau 9 : Moyennes de pressions artérielles en fonction du sexe et de l’âge.....  | 71 |
| Tableau 10 : Estimations des consommations de sel en France en 2006 chez les adultes selon l’Etude ENNS.....  | 71 |
| Tableau 11 : Moyennes de pressions artérielles en fonction du sexe et de l’âge, après l’exclusion des patients sous traitement antihypertenseurs..... | 71 |
| Tableau 12 : Caractéristiques des patients inclus dans l’étude TOHP I.....  | 72 |
| Tableau 13 : Caractéristiques des patients inclus dans l’étude TOHP II.....   | 73 |
| Tableau 14 : Différence de PAS entre les différents apports en sodium en fonction du régime.....  | 75 |
| Tableau 15 : Différence de PAS entre le régime témoin et le régime DASH en fonction des différents apports en sodium.....                             | 75 |
| Tableau 16 : Différence de PAD entre les différents apports en sodium en fonction du régime.....  | 75 |
| Tableau 17 : Différence de PAD entre le régime témoin et le régime DASH en fonction des différent apports en sodium.....                              | 75 |
| Tableau 18 : Réduction de la pression artérielle chez un groupe supplémenté en potassium en comparaison à un groupe ayant reçu un placebo.....        | 78 |
| Tableau 19 : Réduction de la pression artérielle pour 100 mg de produits laitiers par jour.....   | 80 |
| Tableau 20 : Rapport K/Na et hypertension.....  | 83 |
| Tableau 21 : Pression artérielle moyenne obtenue dans chacun des groupes.....   | 84 |
| Tableau 22 : Effet des minéraux sur la pression artérielle (NHANES III.....   | 84 |
| Tableau 23 : Différence de pression artérielle systolique (PAS) moyenne en fonction des différents régimes.....                                       | 86 |
| Tableau 24 : Pourcentage de personnes ayant obtenues une diminution de la PAS par mesure ambulatoire.....   | 86 |
| Tableau 25 : Aliments vecteurs de sodium et de sel dans l’enquête INCA.....   | 93 |
| Tableau 26 : Aliments vecteurs de sodium et de sel en fonction du sexe dans l’étude SU.VI.MAX.....  | 93 |
| Tableau 27 : Évolution des teneurs en sel des aliments entre 2003 et 2008.....  | 94 |
| Tableau 28 : Apport en sodium et en bicarbonate de quelques eaux plates ou pétillantes pour exemple.....  | 95 |
| Tableau 29 : Quantité de sel dans la charcuterie.....   | 99 |

|  |     |
|--|-----|
| Tableau 30 : Quantité de sel dans les potages .....  | 100 |
| Tableau 31 : Quantité de sel dans le fromage .....   | 101 |
| Tableau 32 : Consommation en sel de l'échantillon de patients .....  | 102 |
| Tableau 33 : Évolution des apports moyens en sel provenant des aliments .....  | 103 |
| Tableau 34 : Estimations de la consommation en sel en France<br>en 2006 chez les adultes selon l'Etude ENNS .....    | 104 |
| Tableau 35 : Estimations de consommation en sel en France en 2006 chez les enfants selon<br>l'Etude ENNS .....       | 105 |
| Tableau 36 : Apport maximal quotidien recommandé en sel en France .....  | 105 |
| Tableau 37 : Apport maximal quotidien recommandé en sel au Canada .....  | 105 |
| Tableau 38 : ANC en potassium en fonction de l'âge .....   | 107 |
| Tableau 39 : Pourcentage d'hommes et de femmes consommant moins de<br>5 portions de fruits et légumes par jour ..... | 107 |
| Tableau 40 : Source potassium dans les fruits et légumes .....   | 108 |
| Tableau 41 : Autres sources de potassium .....   | 108 |
| Tableau 42 : ANC en calcium fixé par l'ANSES .....   | 109 |
| Tableau 43 : Consommation moyenne en calcium des Français .....  | 109 |
| Tableau 44 : Source de calcium dans les produits laitiers hormis le fromage .....                                    | 110 |
| Tableau 45 : Source de calcium dans les fromages .....   | 111 |
| Tableau 46 : Autres sources de calcium .....   | 111 |
| Tableau 47 : ANC en magnésium .....  | 112 |
| Tableau 48 : Source de magnésium dans l'alimentation .....   | 112 |
| Tableau 49 : Composition des principaux minéraux (en mg/100g) présents<br>dans les eaux minérales .....              | 128 |
| Tableau 50 : Mesures hygiéno-diététiques et pression artérielle .....  | 129 |

## LISTE DES ABREVIATIONS

|         |  |
|---------|--|
| (aq)    | Aqueux   |
| (s)     | Solution   |
| ADH     | Hormone AntiDiurétique                                   |
| ADN     | Acide DésoxyriboNucléique                                |
| ADP     | Adénosine DiPhosphate                                    |
| AFSSA   | Agence Française de Sécurité Sanitaire des Aliments      |
| AINS    | Anti-Inflammatoires Non Stéroïdiens                      |
| AJR     | Apport Journalier de Référence                           |
| AMPc    | Adénosine MonoPhosphate cyclique                         |
| ANC     | Apport Nutritionnel Conseillé                            |
| ANP     | Peptide Natriurétique Atrial                             |
| ANSES   | Agence Nationale de Sécurité Sanitaire de l'alimentation |
| ARA II  | Antagonistes des Récepteurs de l'Angiotensine II         |
| As      | Arsenic  |
| ATP     | Adénosine Triphosphate                                   |
| ATPase  | Enzyme qui hydrolyse les molécules d'ATP                 |
| AVC     | Accident Vasculaire Cérébral                             |
| aw      | Activity of Water  |
| Ca      | Calcium  |
| CASH    | Consensus Action on Salt and Health                      |
| Cd      | Cadmium  |
| CIQUAL  | Centre Informatique sur la Qualité des Aliments          |
| Cl      | Chlore   |
| Cu      | Cuivre   |
| DASH    | Dietary Approches to Stop Hypertension                   |
| DFG     | Débit de Filtration Glomérulaire                         |
| E.coli  | Escherichia coli   |
| ECA     | Enzyme de Conversion à l'Angiotensine                    |
| EDRF    | Endothélium Derived Relaxing Factor                      |
| EduSCOL | Portail national des professionnels de l'éducation       |
| EI      | Effet Indésirable  |
| ENaC    | Canaux épithéliaux à sodium                              |
| ENNS    | Étude Nationale Nutrition Santé                          |
| FAO     | Food and Agriculture Organization of the united nations  |
| g       | Gramme   |
| g/j     | Gramme par jour  |
| Gly     | Glycine  |
| GMPC    | Guanylate Monophosphate cyclase                          |
| GMS     | Glutamate MonoSodique                                    |
| GNB3    | Guanine Nucléotide Binding protein 3                     |
| H       | Heure  |

|          |  |
|----------|--|
| HCSP     | Haut Conseil de la Santé Publique                            |
| HDL      | Lipoprotéine de haute densité                                |
| Hg       | Mercure  |
| HPST     | Hôpital, Patients, Santé et Territoire                       |
| HTA      | HyperTension Artérielle                                      |
| ICA      | Inhibiteurs Calciques  |
| IEC      | Inhibiteurs de l'Enzyme de Conversion                        |
| IL6      | InterLeukine 6   |
| IMC      | Indice de Masse Corporel                                     |
| INBP     | Institut National de la Boulangerie-Pâtisserie               |
| INCA     | Individuelle Nationale des Consommations Alimentaires        |
| INPES    | Institut National de Prévention et d'Éducation pour la Santé |
| INRA     | Institut National de la Recherche Agronomique                |
| K        | Potassium  |
| KCl      | Chlorure de potassium  |
| kg       | Kilogramme   |
| LDL      | Lipoprotéine de basse densité                                |
| LEC      | Liquide ExtraCellulaire                                      |
| MADAM    | Machine A Décoder les Aliments Mystérieux                    |
| MAP      | Pression Artérielle Moyenne                                  |
| MCV      | Maladie Cardio-Vasculaire                                    |
| Mg       | Magnésium  |
| mg       | Milligramme  |
| mg/j     | Milligramme par jour   |
| MHTS     | Médicaments à Haute Teneur en Sodium                         |
| ml       | Millilitre   |
| mmHg     | Millimètre de mercure  |
| mosmoles | Milliosmoles   |
| Na       | Sodium   |
| NaCl     | Chlorure de sodium   |
| NaHCO3   | Bicarbonate de sodium  |
| NDNS     | National Diet and Nutrition Survey                           |
| NHANES   | National Health And Nutrition Examination Survey             |
| NO       | Monoxyde d'azote   |
| Obépi    | Enquête nationale sur l'obésité et le surpoids               |
| OMS      | Organisation Mondiale de la Santé                            |
| PA       | Pression Artérielle  |
| PAD      | Pression Artérielle Diastolique                              |
| PAS      | Pression Artérielle Systolique                               |
| Pb       | Plomb  |
| pH       | Potentiel Hyddrogène   |
| Pi       | Phosphate Inorganique  |
| PNNS     | Programme National Nutrition Santé                           |
| PTH      | ParaTHormone   |
| ROS      | Espèce Réactive de L'oxygène                                 |
| SALT     | Sodium Alimentaire Limitons les Taux                         |



|                |   |
|----------------|---|
| SGLT1          | Transporteur sodium-glucose                           |
| SR             | Résistant au Sel                                      |
| SRA            | Système Rénine Angiotensine                           |
| SRAA           | Système Rénine Angiotensine Aldostérone               |
| SS             | Sensible au Sel                                       |
| SU.VI.MAX      | SUplémentation en Vitamines et Minéraux Anti-oxydants |
| TA             | Tension artérielle                                    |
| TOHP           | Trials of hypertension prevention                     |
| TONE           | Trials of non pharmacologic interventions in elderly  |
| Try            | Tryptophane   |
| WASH           | World Action on Salt and Health                       |
| WNK            | With no lysine  |
| β-adrénergique | Béta-adrénergique                                     |
| β-bloquant     | Béta-bloquant   |

# INTRODUCTION

Au niveau mondial, les maladies cardio-vasculaires représentent la première cause de mortalité et l'hypertension en est le principal facteur de risque. En France, malgré tout l'arsenal thérapeutique existant et prescrit chaque jour, les pathologies cardiovasculaires représentent encore la deuxième cause de mortalité. Dans les pays développés, l'émergence de l'hypertension est un souci majeur en termes de santé publique. En France, le nombre de personnes souffrant d'hypertension est estimé entre 15 et 16 millions. Parallèlement, on constate une évolution nutritionnelle dans ces pays avec un enrichissement des produits alimentaires en sel et en lipides (acides gras saturés et acides gras  $\omega 6$ ) associés à un appauvrissement en certains minéraux essentiels (calcium, potassium et magnésium). La forte progression de consommation de produits transformés au détriment d'une consommation plus saine à base de produits bruts pour répondre à l'évolution des modes de vies sociétales est à l'origine de ces modifications de la qualité nutritionnelle de notre alimentation. De ce fait, l'hypothèse selon laquelle ces modifications alimentaires pourraient avoir un rôle dans l'incidence de l'hypertension artérielle a soulevé plusieurs questions :

Quels impacts peuvent avoir les principaux minéraux, à savoir le sodium, le potassium, le calcium et le magnésium, dans la régulation de la pression artérielle ?

Peut-on réduire significativement la pression artérielle en modifiant seulement nos habitudes alimentaires ?

Depuis l'instauration de la nouvelle loi HPST<sup>1</sup>, le Pharmacien se doit de tenir un engagement de coopération avec les autres professionnels de santé dans le cadre d'une continuité des soins.

En effet, le pharmacien a un rôle important de veille et de protection sanitaire, il a la possibilité de participer à des actions de prévention et de dépistage, ainsi qu'à l'éducation thérapeutique afin de maintenir un bon état de santé de la personne.

Qu'il s'agisse d'hypertension ou de toutes autres maladies, le pharmacien doit acquérir les connaissances scientifiques permettant d'élaborer des conseils adaptés à chaque type de patients. La base de la prévention ou du traitement de l'hypertension passe par la mise en place de mesures hygiéno-diététiques comprenant une alimentation adaptée, la pratique d'une activité sportive régulière et une réduction des autres facteurs de risques modifiables comme la consommation de tabac... Si ces mesures étaient respectées, l'utilisation de médicaments pourrait être diminuée pour traiter l'hypertension et il serait possible d'en retirer de nombreuses économies (traitements, consultations, hospitalisations...).

De plus, on constate aujourd'hui que la moitié des gens sous traitements n'obtiennent pas leur objectif tensionnel. L'alimentation peut elle être en cause dans cet échec ?

Pour tenter d'y remédier, le comité de lutte contre l'hypertension s'est fixé le seuil de 30% de patients traités non contrôlés d'ici 2015. Pour cela, diverses actions doivent être mises en place pour tenter d'améliorer l'hygiène de vie de la population Française.

# 1 PRESSION ARTERIELLE

## 1.1 Définition de la pression artérielle<sup>2</sup>

La pression artérielle est une mesure de la force qu'exerce le sang sur les parois artérielles. Elle se définit par deux mesures en mmHg : la PAS (pression artérielle systolique) et la PAD (pression artérielle diastolique)

La pression systolique correspond à la pression à laquelle le cœur envoie le sang dans les artères au moment de sa contraction. La pression diastolique, à l'inverse, est la pression la plus basse correspondant au relâchement du cœur.

Les scientifiques utilisent parfois la mesure de la PAM (pression artérielle moyenne) ou MAP (mean arterial pressure). Il s'agit d'une moyenne entre la PAS et la PAD. Elle se calcule de la manière suivante :

$$\text{PAM (mmHg)} = (\text{PAS} + 2 \times \text{PAD}) / 3$$

La pression artérielle va être régulée par le système cardiovasculaire et le système rénal.

## 1.2 Rappels physiologiques sur le système cardiovasculaire

### 1.2.1 Cœur

Le cœur est un muscle creux, il se situe au niveau du thorax et va avoir pour rôle de recueillir le sang des veines pour le propulser dans les artères.

Il se divise en quatre cavités :

- Oreillette droite
- Oreillette gauche
- Ventricule droit
- Ventricule gauche

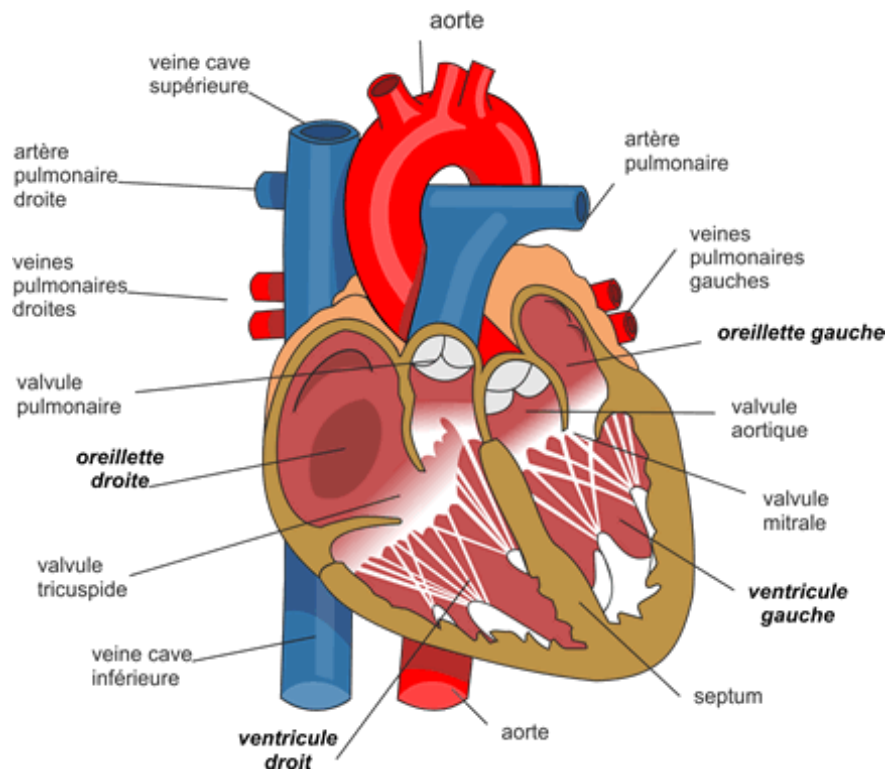


Figure 1 : Le cœur (source : google image)

Chaque oreillette communique avec le ventricule qui lui correspond par l'orifice auriculo-ventriculaire. On délimite donc ainsi un cœur droit et un cœur gauche. Le sang circule du cœur droit au cœur gauche en passant par les poumons.

Les ventricules possèdent un orifice supplémentaire appelé orifice artériel qui les fait communiquer réciproquement à l'aorte et à l'artère pulmonaire.

La paroi du cœur comprend trois tuniques : une tunique musculaire épaisse appelée aussi myocarde, une tunique interne ou endocarde et une membrane qui l'entoure ou péricarde.

La vascularisation du cœur est réalisée par les deux artères qui naissent de la partie initiale de la crosse aortique.

### 1.2.2 Vaisseaux sanguins

- **Structure des vaisseaux**

Un vaisseau sanguin est composé de trois tuniques différentes. L'intima est la couche la plus interne du vaisseau, elle est composée d'endothélium et de tissu conjonctif. Ensuite vient la média, composée de fibres musculaires lisses et de fibres élastiques. Enfin, l'adventice qui est la couche la plus externe et qui est composée de tissus conjonctifs. Cette tunique reçoit les terminaisons nerveuses du système nerveux autonome.<sup>3</sup>

- **Réseau vasculaire**

Les vaisseaux sanguins ont pour rôle de transporter le sang à travers l'organisme. Les artères sont les plus gros vaisseaux, elles permettent le transport du sang du cœur vers les tissus et les organes alors que les veines permettent le trajet inverse, des tissus vers le cœur.

Les artères, grâce à la présence de fibres musculaires lisses, peuvent se contracter ou se relâcher en fonction des signaux reçus par le système nerveux ou endocrinien, on parle alors de vasoconstriction ou de vasodilatation. La présence d'élastine permet à l'artère de s'adapter au volume sanguin et ce dans des limites définies. On parle alors de la compliance du vaisseau.

Les veines sont également élastiques mais leur compliance est plus faible puisqu'elles reçoivent moins de pression que les artères.

Les capillaires quant à eux sont les plus petits vaisseaux du réseau vasculaire. Ils servent à relier les veines et les artères. Ils forment un lieu d'échange d'oxygène et de nutriments avec les tissus en fonction des besoins des organes concernés.

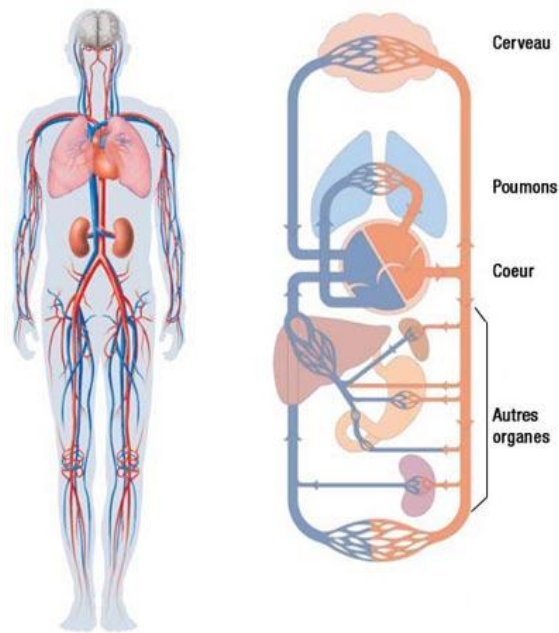


Figure 2 : Le réseau vasculaire chez l'homme (source : google image)

### 1.2.3 Circulation sanguine

L'oreillette droite collecte le sang arrivant de la veine cave, ce sang a parcouru tout le corps et s'est donc appauvri en oxygène et chargé de  $\text{CO}_2$  (le sang "bleu"). Ce sang va ensuite être envoyé vers le ventricule droit pour être éjecté dans les poumons via l'artère pulmonaire où il va pouvoir être ré-oxygéné. De la même façon, l'oreillette gauche reçoit le sang riche en oxygène et libéré de son  $\text{CO}_2$  (le sang "rouge") via les veines pulmonaires et l'achemine au ventricule gauche, afin qu'il puisse être éjecté sous haute pression par l'aorte et conduit dans l'ensemble des tissus du corps.

Il existe quatre valves cardiaques (tricuspide, pulmonaire, mitrale, et aortique) qui ont pour rôle de toujours faire circuler le sang dans le même sens :

- La valve tricuspide empêche le reflux de sang depuis le ventricule droit vers l'oreillette droite,
- La valve pulmonaire prévient le reflux depuis l'artère pulmonaire vers le ventricule droit,
- La valve mitrale empêche le reflux de sang depuis le ventricule gauche vers l'oreillette gauche,
- La valve aortique prévient le reflux depuis l'aorte vers le ventricule gauche.

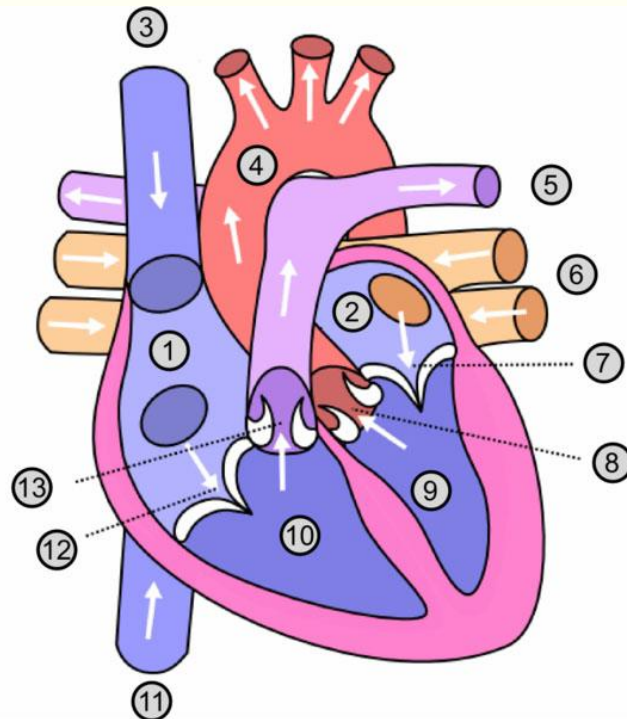


Figure 3 : Physiologie cardio-circulatoire (source : google image)

1. Oreillette droite
2. Oreillette gauche
3. Veine cave supérieure
4. Aorte
5. Artère pulmonaire
6. Veine pulmonaire
7. Valve mitrale
8. Valve aortique
9. Ventricule gauche
10. Ventricule droit
11. Veine cave inférieure
12. Valve tricuspide
13. Valve sigmoïde (pulmonaire)

#### 1.2.4 Conduction cardiaque

Le cœur possède un système de conduction électrique qui assure chacun de ses battements. Ce système de "pacemaker" est appelé le nœud sinusal, on le retrouve dans la paroi de l'oreillette droite. Cette région va produire une impulsion électrique (onde électrique) qui va permettre la contraction du muscle cardiaque responsable de l'éjection du sang vers les poumons et l'aorte.

On appelle rythme cardiaque ou pouls, le nombre de contractions observées par minute. Chez le nouveau-né et les jeunes enfants, ce rythme cardiaque est nettement plus élevé (100 à 170 battements par minute) que chez les enfants plus âgés et les adultes (70 à 100 battements par minute).

#### 1.2.5 Régulation de la circulation sanguine

La régulation de la circulation sanguine est sous le contrôle de neuromédiateurs et d'hormones.

Au niveau cardiaque, à travers des messages nerveux, les cellules du nœud sinusal créent un automatisme cardiaque.

L'acétylcholine est le principal neuromédiateur du système parasympathique alors que l'adrénaline et la noradrénaline sont sous la directive du système nerveux sympathique.

L'endothélium vasculaire est également capable de sécréter des substances telles que la bradykinine ou des prostaglandines ayant une action vasodilatatrice. Cette action va être de courte durée.

A plus long terme et sous l'action de l'hypophyse postérieure, la volémie peut être modifiée par la sécrétion d'aldostérone qui va permettre d'augmenter la réabsorption rénale de sodium et en parallèle, la sécrétion d'ADH (Hormone antidiurétique) entraînant la réabsorption d'eau et donc une augmentation du volume sanguin.

### 1.3 Rappels physiologiques rénaux

#### 1.3.1 Physiologie et rôle du rein

Le rein est composé de millions de néphrons qui contiennent eux-mêmes un système de filtration appelé le glomérule. C'est par l'intermédiaire de ce glomérule que le rein produit 180 litres d'urine par jour mais seulement 1 à 1,5 litre est évacué et ceci grâce à l'important pouvoir de réabsorption du rein. Ce système nous permet donc de nous adapter aux quantités d'eau et de sel que nous consommons.

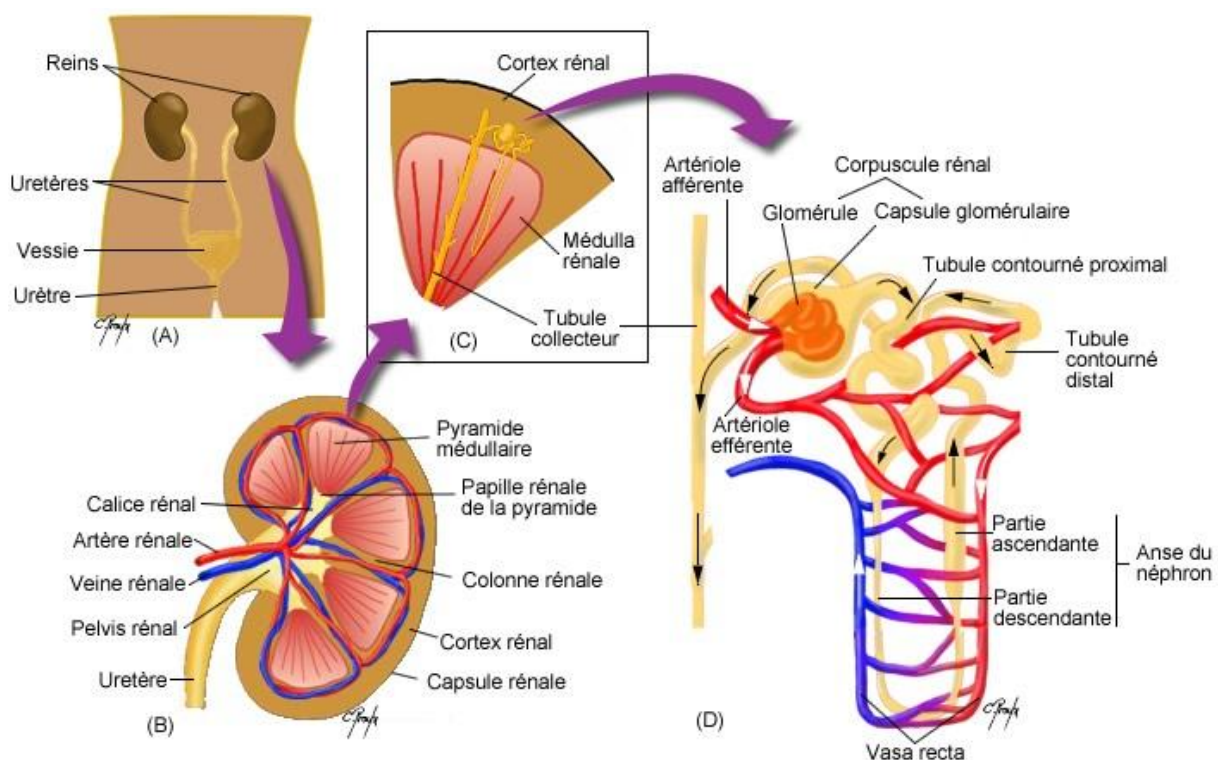


Figure 4 : Physiologie du rein (source : google image)

Le principal rôle du rein est de maintenir l'équilibre du liquide extracellulaire (LEC) et ce grâce à la régulation du sodium. La teneur en sel de ce liquide doit être constante à 9g/litre. En effet, la natrémie doit être comprise entre 135 et 145 mmol/L.

Le maintien du volume du LEC est indispensable (maintien du volume plasmatique) car il va conditionner le maintien du débit cardiaque, de la pression sanguine et de la perfusion tissulaire.

### 1.3.2 Régulation du sodium rénal<sup>4-5</sup>

Le sodium fait parti des minéraux les plus abondants de la terre, il fait également parti des minéraux indispensables à la vie des hommes, des animaux et des plantes.

Le sel joue un rôle essentiel dans l'homéostasie de l'organisme humain, son apport est indispensable puisque le corps ne peut le produire lui-même.

L'être humain, comme tous les autres mammifères, doit absorber la quantité de sel qui lui est nécessaire pour compenser les pertes dues à la sueur et aux excréments intestinaux et urinaires.

Le corps d'un adulte de 70 kg contient environ 4200 mmol de sodium, soit 245 g de sel, cependant il a besoin d'au moins 3 à 5 g de sel par jour qui lui sera apporté quotidiennement à travers l'alimentation.

Une partie du sodium se trouve dans le sang avec une natrémie qui doit être comprise entre 135 - 145 mmol/L et le reste se trouve dans les os (45 g), le liquide extracellulaire (38 g) et liquide intracellulaire (10 g).

Les entrées de sodium dans l'organisme sont variables selon les individus pouvant aller de 100 à 200 mmol/24 h soit 6 à 12 g/jour en fonction des habitudes alimentaires de chacun.

Les sorties de sodium peuvent être dues à des pertes sudorales ou digestives mais surtout le sodium en excès va être éliminé par les urines.

Afin de pouvoir assurer ses fonctions, il est nécessaire que le sodium soit régulé correctement.

Le volume du LEC dépend des entrées et des sorties de sel et d'eau. Le rein détient le rôle majeur dans la régulation de ce volume extracellulaire, il va devoir ajuster les quantités de sel et d'eau à excréter en fonction des apports et des pertes.

Si on considère une ingestion moyenne de 9 g de sel par jour, cela correspond à 150 mosmoles de Na et 150 mosmoles de Cl.

L'excrétion du sodium par le rein doit s'adapter aux apports. En condition normale, on considère que les pertes de Na à travers la sueur ainsi que les pertes digestives sont trop minimales pour être prise en compte, le rein devra excréter l'équivalent de 150 mosmoles de Na pour maintenir sa quantité de Na et donc son volume extracellulaire.

Il n'y a qu'en cas d'effort intense que les pertes sudorales de sodium peuvent être prises en compte et soustraites à l'élimination rénale.

Il sera nécessaire de supplémenter en sel seulement une personne qui aurait un effort intense et prolongé (> 1H) afin d'éviter une hypotension.<sup>6</sup>

La réabsorption du sodium va être différente selon la partie du rein. Pour cela, plusieurs canaux ou pompes vont être sollicités. Deux types de transports sont possibles pour le sodium, soit par transport actif avec l'aide de la pompe  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  ATPase, soit par diffusion passive.

La réabsorption de sodium entraîne toujours une réabsorption équivalente en chlorure et donc une réabsorption isotonique en sel (NaCl).



- **Tube contourné proximal**

Au niveau du tube contourné proximal, la réabsorption du sodium se fait par l'intermédiaire de la pompe  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  ATPase.

Cette pompe permet l'échange entre 3 Na et 2 K et ceci avec une consommation d'ATP (coût de 25% des réserves énergétiques et 70% pour les cellules nerveuses).

Sur cette portion du rein, environ 65% du filtrat initial est réabsorbé.

### FONCTIONNEMENT DE LA POMPE $\text{Na}^+/\text{K}^+$ ATPase

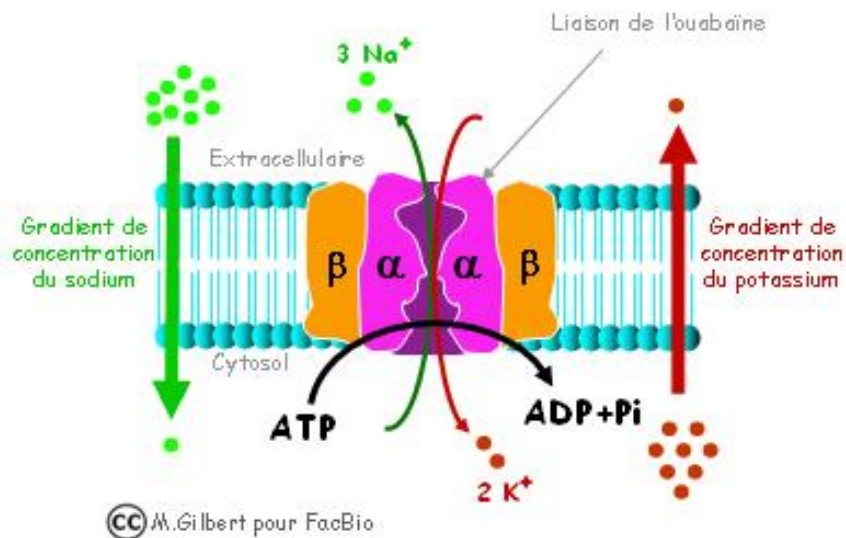


Figure 5 : Pompe  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  (Source : [www.facbio.com](http://www.facbio.com))

Quant à l'eau, elle sera transportée par le gradient osmotique créée par le transport actif de solutés (de la solution la moins concentrée vers la solution la plus concentrée).

- **Anse de Henlé**

Au niveau de l'anse de Henlé, la branche ascendante large est imperméable à l'eau et réabsorbe activement le sodium, alors que la branche descendante fine est perméable à l'eau et ne fait pas de transport actif.

Un Co-transporteur Na-K-2Cl fait circuler les ions Na, K et Cl grâce à l'énergie générée par la pompe  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  ATPase.

Au niveau de la branche ascendante, le sodium sera réabsorbé à hauteur de 15% de l'ultrafiltrat.

L'utilisation de diurétique de l'anse tel que le furosémide interagit directement avec le co-transporteur Na-K-2Cl pour l'inhiber et ainsi augmenter la fraction de sodium excrétée.

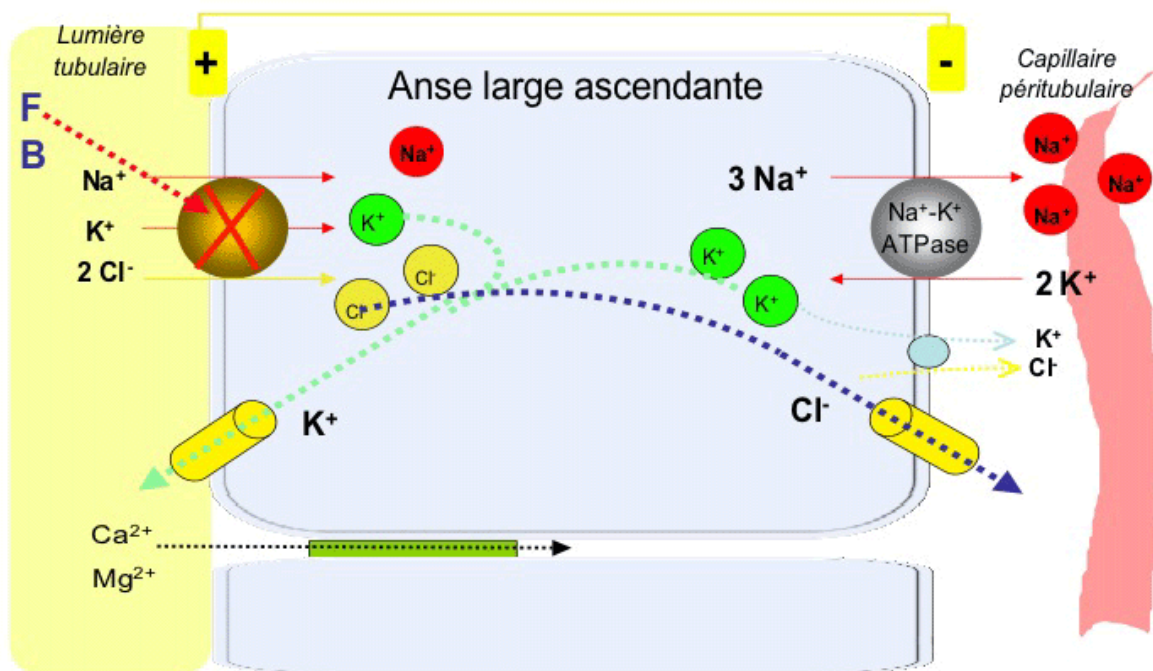


Figure 6 : Mode d'action du furosémide (F) et du bumétanide (B)  
(Source : <http://www.cuen.fr>)

- **Tube contourné distal**

Ce sont les 2/3 proximaux du tube contourné distal qui vont être chargés de la réabsorption du sodium par l'intermédiaire du co-transporteur Na-Cl.

A ce niveau, la membrane est alors imperméable à l'eau.

Le dernier tiers du tube (cellules P) réabsorbe le sodium grâce aux canaux ENaC et la sécrétion de potassium grâce aux canaux potassiques. Ici, la perméabilité est faible mais peut être augmentée par l'intermédiaire de l'ADH.

Les diurétiques thiazidiques ont pour cible le co-transporteur Na-Cl. En inhibant ce co-transporteur, les diurétiques empêchent la réabsorption du sodium ou facilitent son excrétion. Toutefois, cette excrétion reste faible car ne représente que 5 à 10% du sodium filtré par le rein.

L'activité du canal épithéliale à sodium (ENaC) est contrôlée par l'aldostérone en fonction des apports sodés. En cas de régime hyposodé correspondant à moins de 3g/jour, la production d'aldostérone augmente la transcription et l'expression des canaux ENaC dans la membrane des cellules rénales. Ainsi, 2% du sodium filtré peut être contrôlé par l'aldostérone.

En cas de mauvaise activité du canal ENaC, deux types de pathologie s'en suivent :

- Hyperactivité du canal ENaC : réabsorption accrue du sodium, ce qui entraîne une hypertension artérielle (maladie de Liddle : rare),
- Hypoactivité du canal ENaC : excrétion accrue du sodium, ce qui entraîne une hypotension.

- **Tube collecteur**

De la même manière que pour le dernier tiers du tube contourné distal, la réabsorption du sodium au niveau du tube collecteur (cellules P) s'effectue à travers les canaux ENaC. Ici aussi la membrane est peu perméable à l'eau mais peut être augmentée par l'ADH.

La réabsorption est faible et représente 1 à 2% du sodium filtré mais peut également être augmentée en cas de besoin par l'aldostérone.

Le reste du sodium, non réabsorbé, sera éliminé dans les urines et représente en général moins de 1% de la masse filtrée.

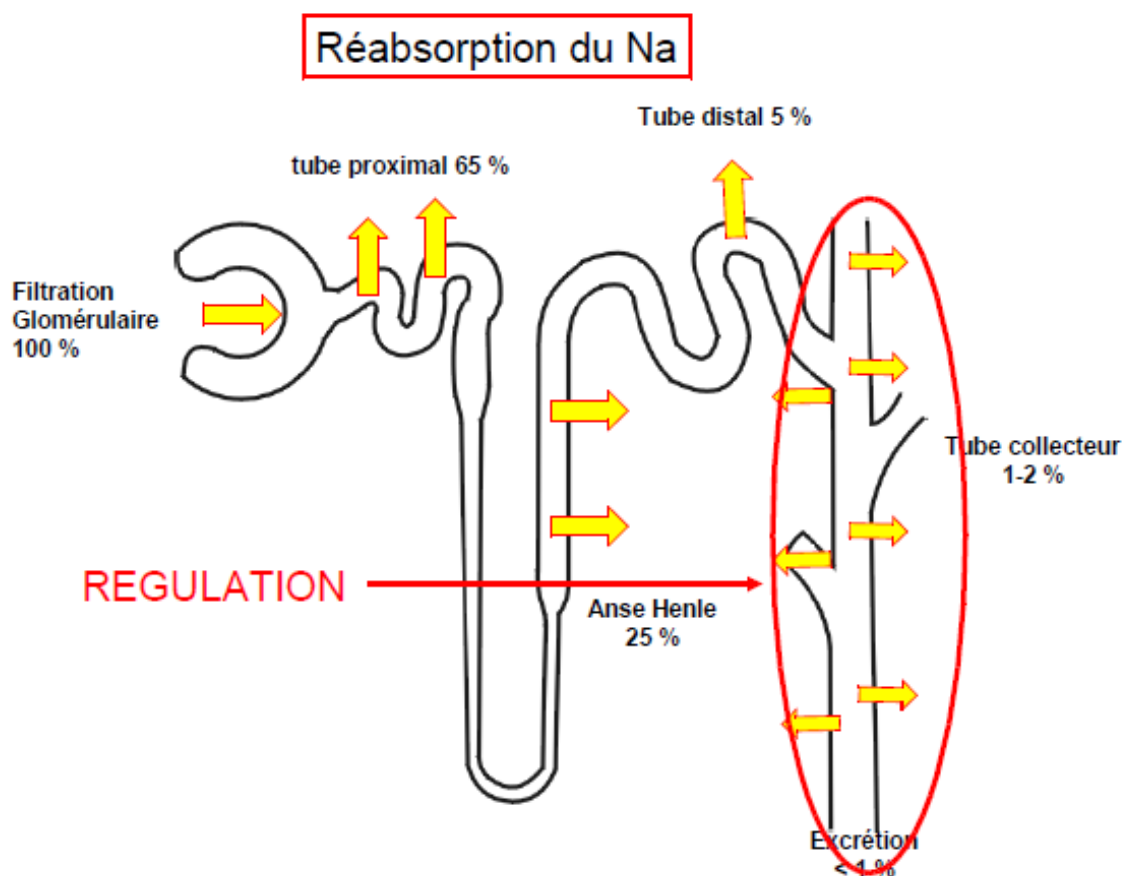


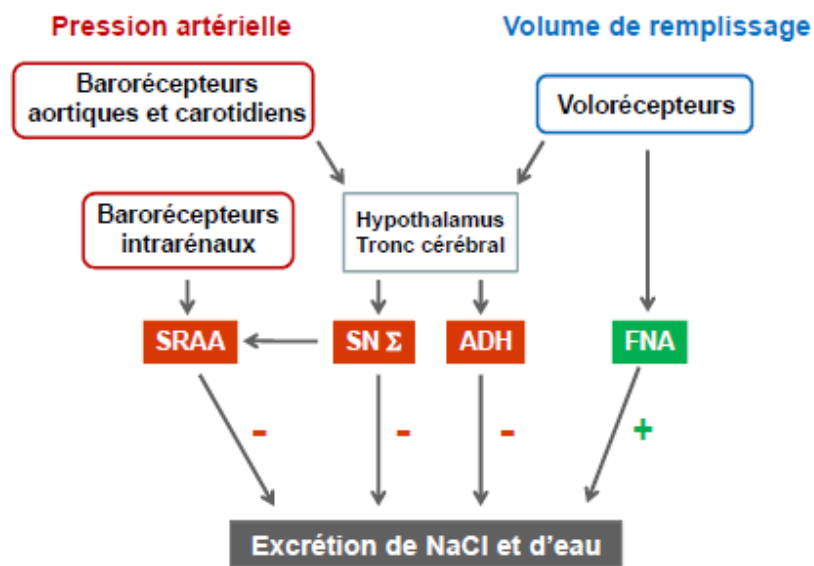
Figure 7 : Réabsorption du sodium (Source : Métabolisme hydrosodé, L. Dubourg)

### 1.3.3 Facteurs de régulation

De nombreux facteurs vont intervenir dans la régulation du sodium et de l'eau : le système rénine-angiotensine, le système sympathique, les dérivés des prostaglandines, l'ADH, l'ANP (Atrial Natriuretic Peptide) et l'endothéline.

# Mécanismes effecteurs

## Régulation neurohormonale de la fonction rénale



**Excrétion = Filtration glomérulaire - Réabsorption tubulaire**

Figure 8 : Régulation neuro-hormonale de la fonction rénale  
(source : <http://www.uvp5.univ-paris5.fr>)

### Légende :

SRAA = Système rénine-angiotensine-aldostérone

SN = Système nerveux sympathique

ADH = Hormone anti-diurétique

FNA = Atrial Natriurétic Factor = Facteur natriurétique auriculaire = ANP

- **Système sympathique**

Une déplétion hydrosodée va avoir pour conséquence une diminution de la pression artérielle. Des barorécepteurs au niveau de la crosse de l'aorte et de la carotide vont permettre l'activation du système sympathique et donc la synthèse de rénine. L'activation du système nerveux sympathique participe au tonus vasculaire avec une action vasoconstrictrice.

- **Système rénine-angiotensine-aldostérone (SRAA)**

Le SRAA est l'axe principal de la régulation de la pression artérielle.

La rénine est sécrétée par les cellules de l'artériole afférente du glomérule rénal en cas de baisse de la teneur en sodium dans le sang, d'une diminution de la pression sanguine ou en réponse à la stimulation  $\beta$ -adrénergique des cellules juxtaglomérulaires. A partir de la production de rénine, une cascade enzymatique va être mise en place pour aboutir à la production d'angiotensine II. Cette angiotensine va permettre la production d'aldostérone qui va agir au niveau des tubules rénaux en favorisant la réabsorption du sodium et de l'eau.<sup>7</sup>

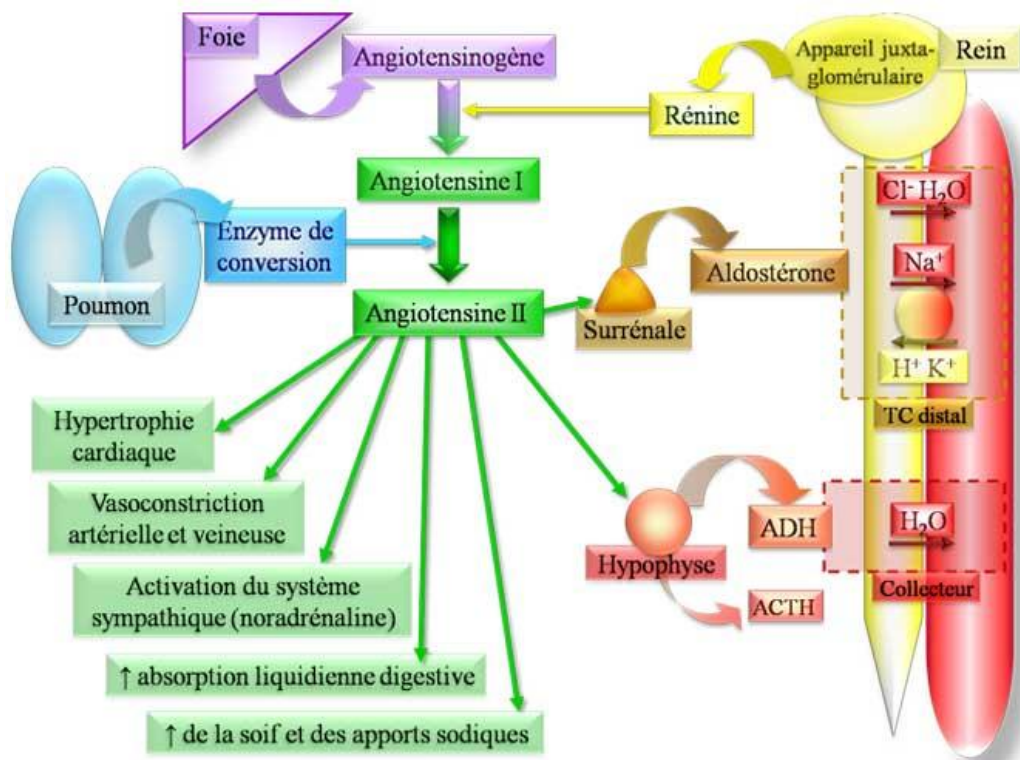


Figure 9 : Système rénine-angiotensine-aldostérone  
 (Source : [http://www.memobio.fr/html/bioc/bi\\_re\\_sra.html](http://www.memobio.fr/html/bioc/bi_re_sra.html))

- **Dérivés des prostaglandines<sup>8</sup>**

Les prostaglandines sont des substances dérivées de l'acide arachidonique, elles sont produites par le rein. La plupart d'entre elles vont avoir un rôle vaso-actif.

Il existe différentes prostaglandines : E2, D2, I2 (prostacycline), F2 $\alpha$  et la thromboxane A2.

La F2 $\alpha$  n'a pas d'action sur les vaisseaux.

La thromboxane A2 a une action vasoconstrictrice, alors que les autres sont vasodilatatrices.

La production des prostaglandines E2, D2 et I2 va permettre une vasodilatation entraînant une augmentation du débit sanguin rénal et une augmentation du DFG.

- **Atrial Natriurétique Peptide (ANP)**

L'ANP est une hormone sécrétée par les cellules des oreillettes cardiaques en cas de pression artérielle trop élevée. Par son effet vasodilatateur, cette hormone est impliquée dans la régulation du sodium et de l'équilibre de l'eau du corps. Elle va avoir une action sur plusieurs organes.

Au niveau de l'hypothalamus, l'ANP va diminuer la sécrétion d'ADH.

Au niveau du rein, l'hormone augmente le débit de filtration glomérulaire et donc augmente l'excrétion urinaire de Na. Cette hormone agit aussi en diminuant la sécrétion de rénine, d'angiotensine et donc d'aldostérone ce qui favorise l'excrétion du sodium.

Au niveau du cortex surrénal, l'ANP réduit la libération d'aldostérone.

- Endothélines

L'endothéline est un neuropeptide sécrété par l'endothélium vasculaire. Par son action vasoconstrictrice, l'endothéline va favoriser la réabsorption du sodium par le rein en agissant sur la synthèse d'aldostérone.

- Vasopressine

La vasopressine ou encore appelée hormone antidiurétique (ADH) est une hormone peptidique synthétisée par l'hypothalamus et libérée par l'hypophyse postérieure. Cette hormone agit au niveau du rein de manière antidiurétique en provoquant une réabsorption d'eau en cas de déshydratation du corps. Cette action va avoir lieu sur le segment distal du néphron.

- Résumé d'action des différents facteurs

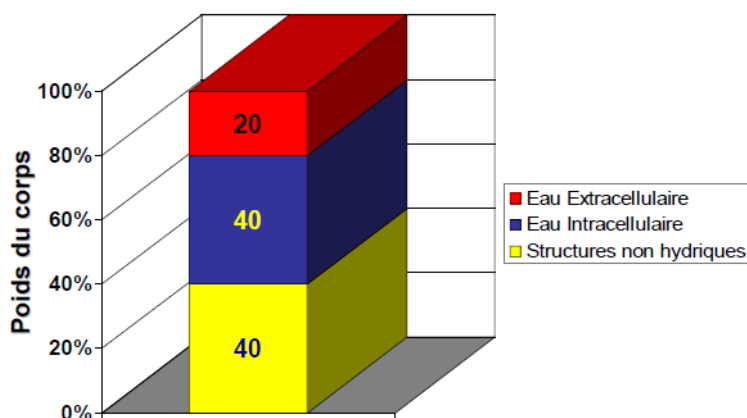
| Facteurs de régulation      | Réabsorption du sodium |
|-----------------------------|------------------------|
| Système rénine-angiotensine | Augmentation           |
| Prostaglandines             | Diminution             |
| Système sympathique         | Augmentation           |
| ADH                         | Augmentation           |
| ANP                         | Diminution             |
| Endothéline                 | Augmentation           |

Tableau 1 : Action des différents facteurs de régulation sur la réabsorption du sodium rénal

## 1.4 Sel et pression artérielle

### 1.4.1 Rôles physiologiques

- Maintien de l'équilibre des fluides du corps



**Environ 60% du poids du corps sont constitués par de l'eau**

Figure 10 : L'eau dans le corps (Source : Métabolisme hydrosodé, L. Dubourg)

L'eau est le principal constituant de notre corps représentant 60% de notre poids, avec 20% de liquide extracellulaire et 40% de liquide intracellulaire. Indispensable à la vie, elle doit donc être finement régulée. Les 20% du milieu extracellulaire sont divisés en deux secteurs : le milieu interstitiel (15%) et le milieu vasculaire (5%).

Le milieu extracellulaire contient essentiellement du sodium (98%), les 2% restant concernent le potassium et le chlore. A l'inverse, le milieu intracellulaire contient d'avantage de potassium et moins de sodium.

|    | Sang           | Intracellulaire |
|----|----------------|-----------------|
| Na | 135-145 mmol/L | 10-20 mmol/L    |
| K  | 3,5-4,5 mmol/L | 140 mmol/L      |
| Cl | 98-106 mmol/L  | 4-7 mmol/L      |

Tableau 2 : Composition en minéraux des liquides intra et extracellulaires

Des échanges vont avoir lieu entre le milieu intracellulaire et extracellulaire. L'eau est toujours échangée par osmose et toutes les autres substances utilisent la diffusion passive, le transfert actif, le transfert facilité ou l'endocytose-exocytose.

L'osmose est une notion importante faisant intervenir principalement le sodium et le potassium. Il s'agit d'un transfert d'une solution diluée, dite hypotonique, vers une solution concentrée, dite hypertonique à travers une membrane semi-perméable c'est-à-dire perméable à l'eau mais pas aux ions et aux molécules de grosses tailles.

Les mouvements d'eau vont donc s'effectuer d'une solution pauvre en sodium vers une solution concentrée en sodium.

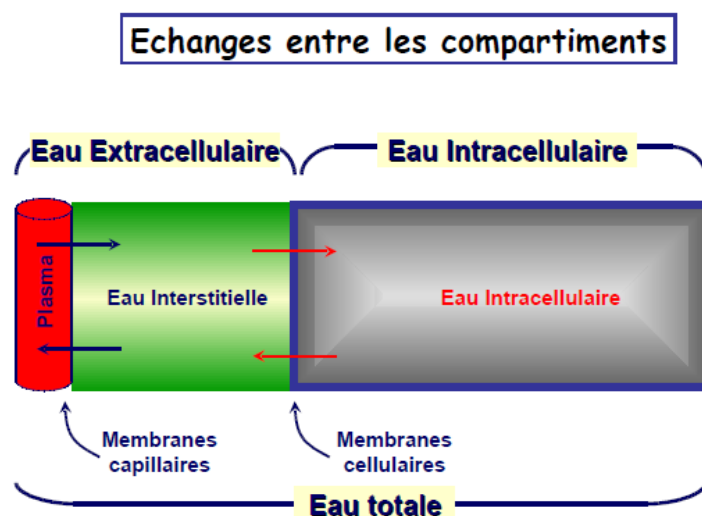


Figure 11 : Mouvements d'eau (Source : Métabolisme hydrosodé, L. Dubourg)

La variation du capital sodé entraîne une modification de la volémie (liquide extra-cellulaire) qui elle-même engendre une variation du débit cardiaque (fréquence cardiaque x le volume éjecté de sang).

Une variation du volume extracellulaire agit directement sur la pression artérielle. Le sodium et donc le sel vont avoir un rôle essentiel dans la survenue de l'hypertension.

- **Na et activité musculaire et nerveuse**

Le sel par son ion sodium permet la transmission de l'influx nerveux. Une impulsion électrique est créée par les changements de polarisation à la surface des nerfs, induits par les échanges entre ions sodium et potassium au travers des membranes. Donc le sel joue un rôle capital à la fois au niveau du cerveau et du cœur car il y a transmission des ordres et réception des informations par l'intermédiaire des neurones.

La membrane neuronale est composée de deux couches phospholipidiques, ce qui la rend très isolante. Les « canaux ioniques », ancrés dans la membrane, permettent aux ions de circuler. Il y a trois circulations possibles à travers ces canaux :

- Par transport passif, les ions circulent alors librement d'un côté à l'autre de la membrane (diffusion).
- Par transport actif : la pompe Na/K va permettre l'échange de 2  $K^+$  (entrée dans la cellule) contre 3  $Na^+$  (sortie de la cellule) et ceci dans le but de compenser la fuite due aux canaux passifs. Pour que ce transport ait lieu, il doit y avoir consommation d'énergie sous forme d'ATP. Cette pompe va entraîner, à chaque cycle, une perte de charge positive intracellulaire. Ainsi, on parle de pompe électrogène car elle va hyperpolariser la membrane un peu plus à chaque cycle.
- Par l'intermédiaire de canaux voltage-dépendants dont l'ouverture dépend du potentiel.

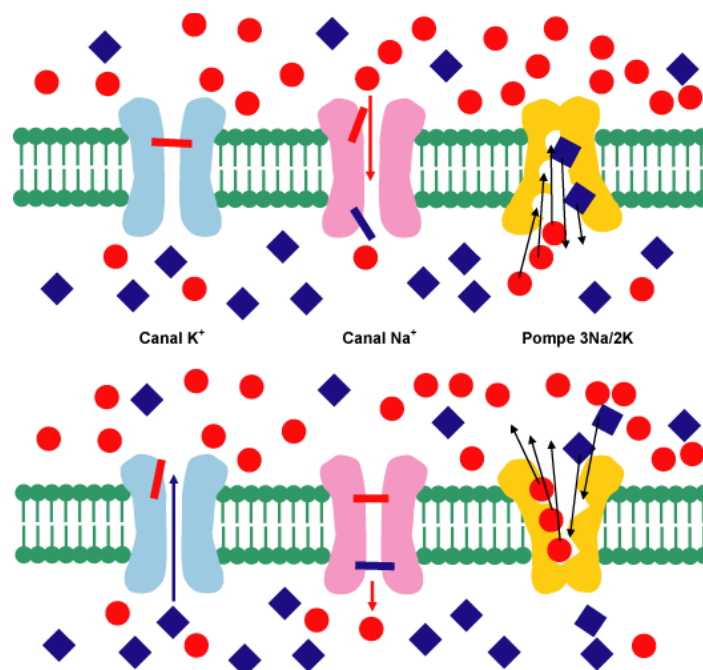


Figure 12 : Canaux et pompes de la membrane neuronale (Source : [www.ticemed.upmc.fr](http://www.ticemed.upmc.fr))



Le sodium participe à l'élaboration de potentiels électriques permettant la contraction musculaire. En ce qui concerne le cœur, le sodium va contribuer au bon déroulement de la contraction myocardique et ainsi, intervient dans la régulation de la pression artérielle.

- **Na et assimilation des nutriments<sup>5-9</sup>**

Le sel contribue à la génération de gradients transmembranaires permettant l'assimilation des nutriments par les cellules de la muqueuse intestinale et des tubules rénaux.

Cependant une trop forte consommation de sel peut poser problème. En effet, à chaque fois qu'un nutriment pénètre dans la cellule, deux atomes de sodium l'accompagnent mais contrairement aux nutriments, le sodium n'est pas métabolisé et va s'accumuler dans la cellule.

Pour maintenir la pression osmotique, l'eau va être attirée dans la cellule. Malheureusement, cette augmentation volumique de la cellule va perturber son activité normale. Il va alors y avoir un ralentissement voire une inhibition du système de co-transport, ce qui a pour conséquence une forme de résistance pour les nutriments.

Au niveau des hépatocytes, le gonflement de la cellule entraîne un anabolisme, ce qui a pour conséquence un stockage au niveau de la cellule.

- **Rôle du sodium dans le métabolisme glucidique<sup>5</sup>**

Le sodium sert de co-transporteur dans le fonctionnement de la pompe R-SGLT1 qui transporte le glucose ou le galactose. La quantité de glucose transportée va être dépendante du gradient de concentration en sodium de part et d'autre de la membrane. Le sel va donc faciliter le processus de digestion-absorption du glucose et du galactose, on comprend alors qu'il puisse également jouer un rôle dans le diabète en cas de surconsommation.

#### **1.4.2 Hypo et hypernatrémie**

Comme tout élément indispensable à la vie, une carence ou un excès de sodium peut être néfaste pour l'organisme. Avec une consommation de sel inférieur à 1,5 g par jour, nous risquons la perte de connaissance.

Les principales pertes sodées peuvent être dues à une transpiration excessive, des diarrhées, un effort physique intense, une grossesse ou encore l'allaitement. La carence peut également être la cause d'une sous-alimentation ou d'un mauvais équilibre alimentaire.

Une hyponatrémie aiguë est susceptible d'entraîner des troubles digestifs comprenant des nausées, des vomissements avec un possible dégoût de l'eau. Des signes neurologiques peuvent également survenir avec des céphalées, des troubles de l'humeur pouvant aller jusqu'au coma.

Si un déficit en sel peut être dangereux pour notre santé (ce qui est très rare), un excès est tout aussi grave mais moins visible car les effets sont plus tardifs.

Il est bien connu aujourd'hui que l'excès de sel (chlorure de sodium) dans notre alimentation est un facteur de risque important dans l'augmentation de la pression artérielle et par conséquent dans l'apparition des maladies cardio-vasculaires. Il jouerait également un rôle dans l'apparition de l'ostéoporose et du cancer de l'estomac.

Une hypernatrémie se caractérise par une soif avec des muqueuses sèches, une fièvre, une polyuro-polydipsie et des signes neurologiques plus ou moins importants avec une asthénie, de la confusion et dans les cas les plus graves, un coma.

### 1.4.3 Mécanismes d'action sur la pression artérielle

Le mécanisme d'action exact du sel sur la pression artérielle est encore inconnu, il semble illusoire de penser qu'un seul mécanisme en soit la cause. Plusieurs mécanismes ont été proposés mais ils restent encore controversés.

- **Par augmentation du volume sanguin**

Pour maintenir le volume du LEC constant, le rein va s'adapter aux apports en sel et en eau. Ainsi, une consommation faible d'eau entraîne une excrétion faible d'urine et inversement une urine plus abondante sera excrétée en cas de consommation importante de liquide.

En cas de surconsommation de sel par rapport à nos besoins, le rein va s'adapter et excréter moins d'eau tout en augmentant la réabsorption tubulaire d'eau pour diluer le LEC et rétablir l'équilibre voulu. En parallèle, l'ingestion de sel déclenche la soif toujours dans le même but.

A court terme et par l'intermédiaire de volorécepteurs, chémorécepteurs et de barorécepteurs, le vaisseau sanguin va s'adapter au volume de sang. Une augmentation du volume du LEC va déclencher une vasodilatation pour diminuer la pression à l'intérieur du vaisseau. Cependant jusqu'où le système circulatoire est-il assez flexible pour s'adapter à des changements de volume sanguin et ne dépend-il pas de chaque personne ?

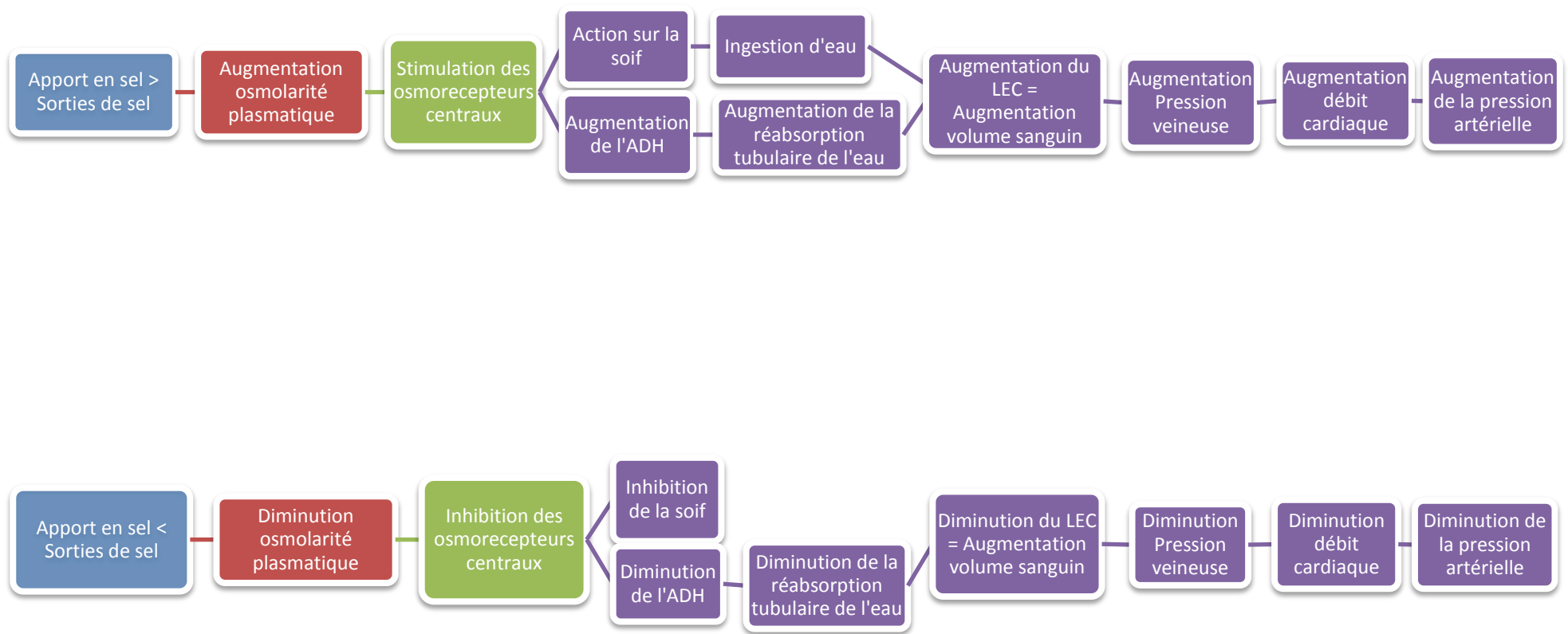


Figure 13 : Hypothèse d'action du sel sur la pression artérielle  
 (Source : Métabolisme hydrosodé, L. Dubourg)

- **Favorise la rigidité vasculaire<sup>10</sup>**

Le système circulatoire semble solide mais pas infallible surtout en vieillissant. En effet, avec l'âge, les vaisseaux sanguins deviennent de moins en moins élastiques et donc de plus en plus rigides.

De plus, la consommation à long terme d'une trop grande quantité de sel peut être un facteur de risque important dans le vieillissement prématuré du système circulatoire et dans l'apparition de la rigidité vasculaire. Ceci pourrait être la cause de l'activation du système rénine-angiotensine.

Une consommation trop importante de sel à long terme induisant une augmentation de la volémie pourrait être plus difficile à gérer pour un appareil circulatoire vieillissant présentant une certaine rigidité. Le vaisseau pouvant moins s'adapter à l'augmentation du volume a pour conséquence une augmentation de la pression artérielle.

- **Activation du système rénine angiotensine tissulaire (SRA tissulaire)<sup>11-12</sup>**

Chez les personnes dites « sensibles au sel », un problème dans la régulation du SRA au niveau du tissu serait en cause.

Il existe deux sécrétions possibles d'angiotensine, systémique au niveau du rein mais aussi locale au niveau des tissus.

L'enzyme de conversion à l'angiotensine (ECA) transforme l'angiotensine I en angiotensine II active mais aussi dégrade la bradykinine et donc son effet vasodilatateur sur l'endothélium. En effet la bradykinine favorise la transformation de l'acide arachidonique en prostacycline et la libération d'EDRF (endothélium-derived relaxing factor) encore appelé NO (oxyde nitrique).

L'angiotensine II produite au niveau tissulaire a deux rôles, celui de facteur de croissance dans une action de remaniement cardiaque et vasculaire mais aussi celui de neurotransmetteur dans l'activation du système sympathique, dans le déclenchement de la soif et de l'appétit pour le sel. Cette production d'angiotensine va donc avoir des conséquences directes sur la pression artérielle.

- **Activation du système nerveux sympathique<sup>13-14-15</sup>**

L'augmentation de la pression artérielle en conséquence d'une augmentation du volume sanguin est un sujet controversé avec l'idée qu'elle pourrait être due à une constriction des artères causées par une libération trop importante d'adrénaline. Une consommation trop importante et régulière de sel serait donc à l'origine d'une stimulation du système nerveux sympathique et ainsi de la libération d'adrénaline.

Des études plus poussées sur le système nerveux sympathique doivent encore être menées pour confirmer cette hypothèse.

- **Vieillessement rénal**

Le rein est l'organe essentiel à la régulation du sel présent dans notre organisme. Le vieillissement du rein est normal au cours du temps et se caractérise le plus souvent par une insuffisance rénale plus ou moins importante. Cependant, la consommation excessive de sel

pour le rein peut conduire à un vieillissement prématuré et donc aggraver cette insuffisance rénale. En effet, le rein va devoir travailler plus pour éliminer le sel consommé en excès. L'insuffisance rénale pose problème dans l'excrétion du sodium dans les urines, il va donc y avoir une rétention du sel qui peut être la cause d'une hypertension.

Le sel agit sur la pression artérielle mais le moyen par lequel il agit reste encore incertain et dépend sûrement de chaque individu. Des études doivent encore être menées pour approfondir le sujet. En tout cas, la réduction de la consommation de sel semble être une bonne initiative pour réduire l'hypertension et les maladies cardio-vasculaire qui en découlent.

## 1.5 Autres micronutriments et pression artérielle

### 1.5.1 Potassium et pression artérielle <sup>16</sup>

C'est le chimiste anglais Sir HUMPHRY Davy qui a isolé le potassium en 1807. Il lui attribua le symbole chimique K, pour *kalium*, mot latin qui signifie alcalin. Ce n'est qu'en 1928 qu'on mentionna pour la première fois que le potassium pourrait contribuer à abaisser la tension artérielle. Puis, en 1938, des chercheurs ont démontré, par des expériences sur les animaux, que le potassium était essentiel à la vie.

#### 1.5.1.1 Rôles physiologiques <sup>17</sup>

Tout comme le sodium est le cation principal du liquide extracellulaire, le potassium est le principal cation du liquide intracellulaire. Il est essentiel à la vie humaine. Pour un adulte pesant 65 kg la teneur de potassium de son organisme est de 160 g. Pour assurer ses fonctions correctement, la kaliémie doit être maintenue entre 3,5 et 5,5 mmol/L.

La survie des cellules et le maintien du système cardiaque en état de fonctionnement nécessitent un apport quotidien d'au moins 2g de potassium à travers notre alimentation.

Il va intervenir à 3 niveaux différents : au niveau cellulaire, de l'activité nerveuse et du système cardiaque.

- **Au Niveau cellulaire**

En association avec le sodium et le magnésium, le potassium va jouer un rôle essentiel dans la régulation de l'équilibre ionique entre le liquide intracellulaire et extracellulaire mais aussi dans le maintien de l'équilibre des fluides du corps. Il intervient dans la synthèse des protéines et des glucides. C'est en tant que co-facteur d'enzymes que le potassium, nécessaire à l'activité de la pyruvate kinase, permet le métabolisme des glucides.

- **Potassium et l'activité neuro-musculaire**

Toujours en association avec le sodium, le potassium permet la transmission de l'influx nerveux. C'est la différence des concentrations de ces deux électrolytes de chaque côté de la membrane qui permet de créer un potentiel de membrane. Ce potentiel est maintenue par les pompes Na-K-ATPase. Il va donc avoir un rôle essentiel dans la contraction des muscles (limite les crampes et douleurs musculaires chez les sportifs)

- **Potassium et système cardio-vasculaire**

En favorisant la réduction de la pression artérielle, le potassium protège le système cardio-vasculaire et donc il participe à limiter les risques de décès par maladies cardiovasculaires et par AVC.

Il serait également en mesure de neutraliser ou du moins d'atténuer la sensibilité au sel (par exemple chez les afro-américains reconnus pour être plus sensibles au sel) en favorisant l'élimination du sodium de l'organisme.

- **Potassium et pH sanguin**

Le potassium permettrait la régulation de l'équilibre acide-base du corps en jouant sur la réabsorption du bicarbonate par les reins.

### 1.5.1.2 Régulation de la kaliémie<sup>16</sup>

Le potassium de l'organisme est apporté par l'alimentation. Ces apports varient en fonction du régime alimentaire (75-100 mmol) et le rein, par l'intermédiaire d'hormones telle que l'aldostérone, joue un rôle important dans le maintien de la kaliémie dans les valeurs physiologiques (entre 3,5 et 4,5 mmol/litre).

On considère que 90% du potassium ingéré est absorbé au niveau du tube digestif pour passer dans la veine porte où il va stimuler la sécrétion d'insuline. La pompe  $\text{Na}^+ - \text{K}^+$  ATPase est également activée pour favoriser l'entrée du potassium dans les cellules où il va pouvoir tenir son rôle vital.

Différents facteurs peuvent influencer la distribution du potassium dans l'organisme comme les hormones, le métabolisme du glucose, l'équilibre acide-base, la concentration d'autres électrolytes...

L'absorption du sodium et l'aldostérone permettent de réguler la sécrétion de potassium. L'aldostérone, en réponse à une concentration importante de potassium dans le milieu extracellulaire, augmente le nombre et l'activité des pompes  $\text{Na}^+ - \text{K}^+$  ATPase pour favoriser l'excrétion du potassium par les cellules principales du néphron distal du rein.

Dans les conditions physiologiques, la quantité de potassium excrété (90 à 95% dans les urines et le reste dans les selles) doit correspondre à la quantité ingérée. En cas de diarrhée ou de néphropathie, la quantité de potassium excrétée augmente. Il peut également y avoir des pertes de potassium par la sueur mais cela reste minime chez la plupart des gens sauf en cas d'effort intense.

### 1.5.1.3 Hypo et hyperkaliémie

Un excès de potassium dans le sang est appelé hyperkaliémie. Elle se rencontre le plus souvent chez une personne souffrant d'insuffisance rénale, chez des personnes sous traitements médicamenteux comme les diurétiques épargneurs du potassium, les IEC, les AINS, les bêta-bloquants... ou chez des personnes étant supplémentées en potassium. Les premiers symptômes ressentis au cours d'une hyperkaliémie sont des picotements dans les pieds et les mains, une faiblesse musculaire suivie d'une éventuelle arythmie pouvant causer un arrêt cardiaque dans les cas les plus graves.

L'hypokaliémie peut être due à des vomissements ou des diarrhées prolongées, à certains diurétiques (furosémide...) ou un abus de laxatifs, certaines maladies rénales ou troubles métaboliques. Cela se caractérise essentiellement par de la fatigue, de la faiblesse musculaire avec apparitions de crampes, des ballonnements, de la constipation et une arythmie qui peut être fatale.

#### 1.5.1.4 Potassium et Pression artérielle : mécanisme d'action<sup>18-19-20</sup>

Aujourd'hui de nombreuses preuves ont été trouvées pour l'action du potassium sur la pression artérielle. Il agirait à différents niveaux dans la régulation de la pression artérielle, cependant, il est difficile de dire quel mécanisme prédomine.

- **Augmentation de la natriurèse**

Il a été mis en évidence la capacité du potassium à réduire la pression artérielle en facilitant l'excrétion du sodium dans les urines. Une étude<sup>18</sup> comparant le régime DASH à un régime contrôle a montré un effet diurétique de ce régime sur la pression artérielle. Le régime DASH est basé sur un apport alimentaire enrichi en potassium à travers la consommation de fruits et de légumes, c'est pourquoi il a été associé à ce minéral l'effet diurétique retrouvé. Cependant, le régime DASH est également enrichi en calcium et en magnésium, il est donc difficile d'attribuer ce bénéfice uniquement au potassium.

L'effet du potassium sur la pression artérielle est dépendant de l'apport en sodium : plus l'apport est élevé en sodium plus le potassium a une action anti-hypertensive.

- **Vasodilatation**

Au niveau de l'endothélium vasculaire, les cellules endothéliales ont un rôle essentiel dans le maintien du tonus vasculaire et ainsi du débit sanguin et ce par l'intermédiaire de vasoconstricteurs tel que l'endothéline ou les dérivés de prostaglandines et de vasodilatateurs comme le NO (monoxyde d'azote) ou la prostacycline. Le potassium serait en mesure de favoriser la libération de NO.<sup>21-22</sup>

La vasodilatation est contrôlée également en partie grâce à l'hyperpolarisation des cellules musculaires lisses. Cette hyperpolarisation va avoir lieu grâce à la libération de potassium à travers l'ouverture des canaux potassiques, elle-même dépendante de la concentration intracellulaire en calcium.<sup>23-24</sup>

- **Une réduction de l'activité du système nerveux sympathique**

Le potassium serait en mesure de recapter la noradrénaline présente au niveau des terminaisons nerveuses sympathiques et ainsi de réduire l'efficacité de la celle-ci en tant que vasoconstricteur. Ainsi, le potassium favorise la vasodilatation des vaisseaux sanguins et donc la réduction de la pression artérielle.

Il pourrait même inhiber la libération de la noradrénaline.

A l'inverse, une réduction de la concentration en potassium dans le sang entraîne une vasoconstriction et donc une augmentation de la pression artérielle.<sup>25</sup>

Le potassium est connu pour atténuer les effets délétères du sel sur la pression artérielle mais les mécanismes ne sont pas élucidés à ce jour. Une étude sur des rats a permis de mettre en évidence la capacité du potassium à émousser la vasoconstriction engendrée par le système sympathique. Ce serait le principal mécanisme par lequel le potassium serait en mesure de diminuer la pression artérielle mais ce résultat n'a été retrouvé que chez les rats immatures.<sup>26</sup>

- **Diminution du nombre de transporteurs de sodium rénal<sup>27</sup>**

Une étude chez des rats ayant subi une néphrectomie unilatérale a mis en évidence une augmentation de la natriurèse chez le rat supplémenté en potassium. Cet effet natriurétique pourrait être dû à une diminution de l'expression du co-transporteur  $\text{Na}^+/\text{Cl}^-$  sous l'effet de WNK4 (With-No-Lysine) et de l'échangeur  $3\text{Na}^+/\text{H}^+$ .

Les WNK sont des kinases qui ont un rôle essentiel dans le transport ionique épithélial. Il en existe plusieurs : WNK1, WNK2, WNK3 et WNK4. Le WNK4 est celui qui est le plus retrouvé au niveau des épithéliums.

- **Effet antioxydant<sup>28</sup>**

Dans l'hypertension dite sensible au sel, une surproduction d'espèces réactives à l'oxygène (ROS) a été mise en évidence. Le potassium alimentaire, par son effet antioxydant peut réduire cette sensibilité au sel et ainsi permettre une réduction de la pression artérielle chez les sujets dits « sensibles ».

## **1.5.2 Calcium et pression artérielle**

### **1.5.2.1 Rôles physiologiques<sup>29</sup>**

Dans notre organisme 99% du calcium se trouve sous forme de réserve dans les os, les 1% restant sont répartis entre les tissus mous et le plasma. Toutefois, cette petite fraction a un rôle essentiel dans l'organisme. La calcémie normale doit être comprise entre 2,2 et 2,6 mmol/L.

Le maintien de la calcémie est vital pour l'organisme. En cas d'apport insuffisant, l'organisme va devoir palier au déficit en puisant du calcium dans la structure osseuse. Le calcium joue donc un rôle essentiel dans la structure des os et des dents. Au niveau cellulaire, le calcium est un médiateur de la vasoconstriction ou de la vasodilatation, ainsi il intervient dans la régulation de la pression artérielle. Il va également intervenir dans la sécrétion d'hormones, la perméabilité membranaire et le renouvellement cellulaire. Des canaux calciques voltage-dépendants présents dans les membranes cellulaires participent à l'activité des muscles (cœur) et des cellules nerveuses. Il a donc un rôle dans la transmission de l'influx nerveux. En tant que co-facteur de certaines enzymes et protéines, il participe aux différents stades de la coagulation sanguine.



### 1.5.2.2 Régulation de la calcémie

Il y a trois hormones principales qui agissent dans la régulation de la calcémie, il s'agit de la parathormone (PTH), la vitamine D et la calcitonine.

La régulation du calcium de l'organisme se fait par l'intermédiaire de trois organes : le tissu inerte, le tube digestif et les reins.

La PTH est une hormone hypercalcémiante, elle est sécrétée par la thyroïde en fonction de la dose de calcium qui circule dans le sang. La PTH favorise la résorption du calcium osseux, l'augmentation de la réabsorption rénale de calcium, la stimulation enzymatique permettant la transformation de la vitamine D3 en calcitriol mais aussi l'absorption du calcium au niveau du duodénum.

La vitamine D ou calciférol doit subir une transformation en calcitriol (vitamine D3 active) pour être active. C'est une hormone hypercalcémiante qui va agir en association avec la PTH pour augmenter le taux de calcium dans le sang, favoriser l'absorption intestinale du calcium et faciliter son transport et sa fixation sur les os.

Seulement 15 minutes d'exposition par jour au soleil de nos régions tempérées suffisent à la synthèse de vitamine D à travers la peau. La vitamine D absorbée par l'alimentation a un rôle moins important, sauf en cas de faible exposition solaire. On retrouve la vitamine D principalement dans les poissons et les huiles de foie de poissons, dans les œufs, le lait...

La calcitonine est également une hormone produite par la thyroïde mais a un effet antagoniste avec la PTH. En effet il s'agit d'une hormone hypocalcémiante qui va agir directement sur les ostéoblastes afin de diminuer la résorption osseuse.

### 1.5.2.3 Hypo et hypercalcémie<sup>30</sup>

Une hypercalcémie est souvent retrouvée au cours de pathologies comme l'hyperparathyroïdie, le myélome ou la néoplasie.

Les symptômes dépendent entièrement de la sévérité de l'hypercalcémie et de la vitesse à laquelle elle s'est installée. Tout d'abord, on repère des manifestations neuropsychiques et musculaires (asthénie, somnolence, céphalée, trouble de l'humeur, faiblesse musculaire, hyporéflexie...), des manifestations gastro-intestinales (constipation, douleurs abdominales, vomissements...), des manifestations urinaires et rénales (syndrome polyuro-polydipsique, lithiase rénale,...) et des manifestations cardiaques (tachy ou bradycardie, hypertension artérielle mais non prouvée).

Un apport en calcium insuffisant peut entraîner une hypocalcémie. Un engourdissement, des picotements dans les doigts, des convulsions et un rythme cardiaque anormal sont des signes d'une hypocalcémie.

### 1.5.2.4 Calcium et pression artérielle : hypothèses mécanistiques

Le mécanisme d'action du calcium sur la pression artérielle est encore en cours d'études. Parmi les hypothèses proposées, l'hypertension pourrait être due au mouvement de l'ion calcium de chaque côté de la membrane cellulaire et qu'une diminution de la concentration calcique intracellulaire serait en mesure d'abaisser la pression artérielle. Une diminution de

la concentration de calcium dans la cellule entraînerait un relâchement des fibres vasculaires et donc une vasodilatation.

L'utilisation d'inhibiteurs calciques dans le traitement de l'hypertension relève de cette hypothèse. En effet, les inhibiteurs calciques vont réduire le tonus du muscle lisse artériel par blocage sélectif des canaux calcique avec un effet anti-arythmique, vasodilatateur et inotrope négatif.

Il s'en suit donc une diminution de la pression artérielle par l'intermédiaire de ces médicaments.

Ex : Diltiazem, Vérapamil, amlodipine<sup>31</sup>...

Puisqu'une diminution de l'entrée du calcium dans la cellule est capable de diminuer la pression artérielle, une diminution des apports en calcium aurait-elle le même effet ?

Existe-t-il une fourchette d'apport à respecter pour avoir un effet optimal du calcium ?

La réponse n'est pas aussi simple car chez des personnes obèses et hypertendues, la supplémentation en calcium s'est révélée bénéfique. Le calcium aurait également la propriété de diminuer les taux de LDL et d'augmenter les HDL, ce qui est un élément protecteur du système cardio-vasculaire.

Il a également été soumis l'idée que le calcium pourrait augmenter l'excrétion du sodium mais aussi la sensibilité de l'oxyde nitrique sur son action vasodilatatrice.<sup>32-33</sup>

### 1.5.3 Magnésium et pression artérielle

#### 1.5.3.1 Rôles physiologiques<sup>34-35-36-37</sup>

Le magnésium est un élément essentiel à la vie, il s'agit du quatrième cation le plus abondant du corps humain et du deuxième cation intracellulaire après le potassium.

Il intervient dans de nombreux mécanismes essentiels à l'organisme. Au même titre que le calcium, le magnésium a un rôle structural dans les os et les membranes cellulaires.

Le corps humain contient environ 25 g (environ 16 mmol/kg) de magnésium répartis selon le schéma suivant :

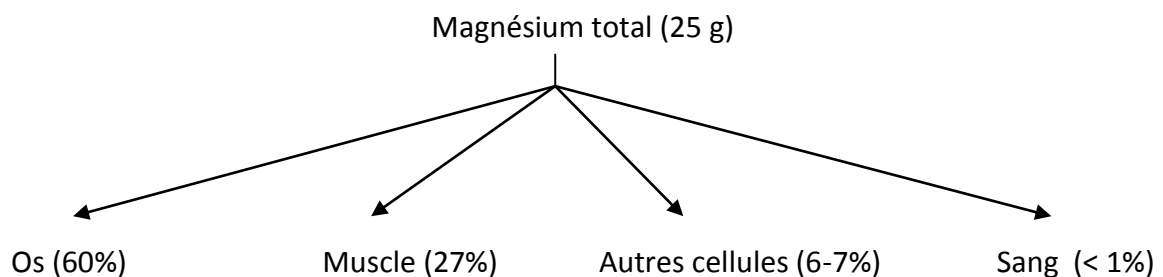


Figure 14 : Répartition du magnésium dans l'organisme

Le magnésium stocké dans les os représente la fraction mobilisable du magnésium. C'est dans cette réserve que le corps va puiser en cas de besoin.

Moins de 1% du magnésium seulement est retrouvé dans le sang. La magnésémie doit être comprise entre 0,75 mmol/L et 0,90 mmol/L.

La magnésémie n'est donc que faiblement représentative des ressources en magnésium du corps humain.

Ce micronutriment permet le transport des ions potassium et calcium à travers la membrane cellulaire et donc influe dans l'homéostasie des ions. Il est aussi indispensable au fonctionnement d'un certain nombre de pompes de transports (pompe  $\text{Na}^+/\text{K}^+$ ). Il joue un rôle dans l'influx nerveux, la conduction et le rythme cardiaque et dans plus de 300 réactions enzymatiques en tant que cofacteur. Il participe également à la signalisation cellulaire (par ex : intervient dans la sécrétion de la PTH) et à la régulation du métabolisme énergétique. En effet l'ATP doit s'associer au magnésium sous forme de complexe  $\text{Mg}^{2+}$ -ATP pour être actif. Le magnésium intervient dans la synthèse d'acide nucléique et de protéines, mais aussi dans le maintien de l'intégrité de la membrane ainsi que sa stabilité.

De part son effet antagoniste calcique, le magnésium préserve les cellules myocardiques de la surcharge calcique présente au cours des lésions ischémiques de reperfusion.

De plus, il va jouer un rôle dans la contraction ou la relaxation musculaire (ce qui comprend les muscles lisses des vaisseaux sanguins) et donc dans la régulation de la pression artérielle. Les sels de magnésium bloquent la transmission neuromusculaire, il y a donc potentialisation des effets avec la prise de curares non dépolarisants.

Les curares non dépolarisants, par leur capacité à bloquer le récepteur à acétylcholine, vont empêcher l'ouverture du canal ionique et donc la dépolarisation.

### 1.5.3.2 Régulation de la magnésémie<sup>38</sup>

Pour maintenir la magnésémie constante, il doit y avoir un équilibre permanent entre les apports et les pertes de magnésium. C'est le rein qui va adapter la réabsorption tubulaire du magnésium en fonction des apports alimentaires. Cette alimentation doit apporter au moins 0,2 mmol/kg/j de magnésium pour le bon fonctionnement de l'organisme et doit être augmentée dans certains cas (pour un adolescent et pour une femme enceinte ou allaitante).

Les sorties de magnésium peuvent avoir lieu à 2 niveaux principaux. Le 1<sup>er</sup> est involontaire et concerne des pertes digestives obligatoires qui peuvent être plus importantes en cas de diarrhées ou en cas de fistule biliaire. L'excrétion rénale est le niveau de sortie du magnésium le plus important puisqu'il s'adapte aux apports alimentaires dans le but de maintenir une magnésémie constante, c'est pourquoi il est plus facile de se rendre compte de la quantité de magnésium absorbée par jour en mesurant le taux de magnésium contenu dans les urines des 24 h. Plus rarement, le magnésium peut être éliminé du corps à travers la sueur (nécessite une sudation importante) mais aussi en cas de problèmes endocrinométabolique comme l'hypoglycémie, la dysthyroïdie, la déshydratation... ou d'alcoolisme.

C'est au niveau de l'intestin grêle qu'a lieu l'absorption du magnésium, elle représente environ 45 à 55% au niveau du jéjunum et de l'iléon mais peut être différente en fonction des complexes formés par le magnésium. Le phosphate est capable de diminuer l'absorption du magnésium.

C'est au niveau de la partie large de l'anse de Henlé que va s'effectuer la modulation de la réabsorption rénale du magnésium par un mécanisme passif dépendant d'un gradient électrique créé par le co-transport  $\text{Na}^+ - \text{K}^+ - 2\text{Cl}^-$ .

Au niveau physiologique, le magnésium est un antagoniste du calcium. Cependant un apport supérieur à 2g de Ca ne semble pas diminuer l'absorption du magnésium.

### 1.5.3.3 Hypo et hypermagnésémie<sup>35</sup>

Un régime équilibré chez une personne en bonne santé réduit considérablement les risques de carence en magnésium.

Certains facteurs sont susceptibles d'entraîner une carence tel que des troubles gastro-intestinaux (maladie de Crohn, diarrhée prolongée,...), une affection du rein (diabète sucré,...), l'alcoolisme, une diminution de l'absorption avec l'âge...ou l'utilisation de certains traitements comme les diurétiques ou les digitaliques.

|  |  |
|--|--|
| <b>Apport insuffisant</b>  | Malnutrition<br>Nutrition parentérale inadaptée  |
| <b>Atteintes digestives<br/>(défaut d'absorption<br/>ou augmentation des<br/>pertes)</b> | Vomissements ou aspiration gastrique prolongée<br>Diarrhées aiguës ou chroniques<br>Fistules biliaires ou intestinales<br>Malabsorption intestinale<br>Pancréatites aiguës<br>Cirrhose alcoolique  |
| <b>Pertes rénales</b>  | Anomalies congénitales de la réabsorption rénale de magnésium (syndromes de Bartter ou de Gitelman, acidose tubulaire rénale...)<br>Intoxication éthylique aiguë ou chronique<br>Hypophosphatémie, hypercalcémie<br>Médicaments (diurétiques, cisplatine, aminosides, pentamidine, ciclosporine)<br>Dialyse avec un bain pauvre en magnésium |
| <b>Endocrinopathies<br/>(fuite rénale et<br/>redistribution cellulaire)</b>              | Hyperparathyroïdie primaire<br>Hypoparathyroïdie<br>Diabète insulino-dépendant, acidocétose diabétique<br>Hyperaldostéronisme primaire<br>SIADH  |

Tableau 3 : Étiologies des hypomagnésémies  
(Sources : [www.sfar.org](http://www.sfar.org))

La magnésémie doit être comprise entre 0,75 mmol/L et 0,90 mmol/L, on parle d'hypomagnésémie lorsque le taux sanguin de magnésium est en dessous de ces limites et d'hypermagnésémie lorsqu'il se trouve au dessus de ces limites.

Une hypomagnésémie est souvent latente car les symptômes cliniques sont reconnus seulement dans 10 % des cas.

Selon la sévérité de la carence, différents symptômes sont associés.

Pour une hypomagnésémie légère, il est possible d'observer de la fatigue, de la nervosité parfois accompagnée de problèmes de sommeil, une irritabilité, des crampes ou une faiblesse musculaire et quelquefois des problèmes de mémoire.

Pour les personnes ne consommant pas assez d'aliments riches en magnésium, il est possible de compléter sa consommation par l'intermédiaire de compléments alimentaires (ex : MAGNE B6, MAG 2, SPASMAG, MAGNOGENE, ...).

Une hypomagnésémie plus sévère s'accompagne dans la plupart des cas d'une hypocalcémie et d'une hypokaliémie ainsi que d'une rétention de sodium. Les symptômes associés à une hypomagnésémie sont d'ordres neuromusculaires, cardiovasculaires et métaboliques (cf. : tableau 4).

|   |   |
|---|---|
| <b>Manifestations neuromusculaires</b>  | <b>Hyperexcitabilité</b><br>Fasciculations, myoclonies, tétanie<br>Paralysie (hypomagnésémie profonde)<br>Troubles du comportement (irritabilité, anxiété, délire)                                  |
| <b>Manifestations cardiovasculaires</b> | Troubles du rythme (torsades de pointes, tachycardie ventriculaire)<br>Modifications de l'ECG (allongement de l'espace PR, modification de l'onde T)<br>Spasme coronaire<br>Hypertension artérielle |
| <b>Désordres métaboliques</b>           | Hypokaliémie<br>Hypocalcémie  |

Tableau 4 : Sémiologie de l'hypomagnésémie  
(Source : [www.sfar.org](http://www.sfar.org))

Dans les hypomagnésémies sévères, on constate souvent une hypocalcémie ne répondant pas à une supplémentation calcique. Ceci peut être expliqué par une inhibition de la sécrétion de la parathormone et en parallèle, par une résistance périphérique aux effets de celle-ci (serait due à une diminution de la synthèse d'AMPC).

Une hypermagnésémie est rare car le rein élimine l'excès de Mg. Toutefois, en cas d'insuffisance rénale, le risque est élevé. De ce fait, les apports en magnésium doivent être contrôlés chez les personnes souffrant d'insuffisance rénale et d'autant plus si la personne est traitée pour une arythmie cardiaque, afin d'éviter une hypermagnésémie.

Elle se caractérise par un blocage de la transmission neuromusculaire ayant un effet semblable aux curares avec une diminution des réflexes ostéotendineux, quadriplégie évoluant vers une paralysie des muscles respiratoires et pouvant atteindre le coma profond.

Au niveau cardiaque, l'effet antagoniste calcique peut provoquer un bloc auriculo-ventriculaire et entraîner un arrêt cardiaque.

#### 1.5.3.4 Mg et pression artérielle : hypothèses mécanistiques

Il existe une relation antagoniste entre le calcium et le magnésium, ainsi une augmentation de la concentration en magnésium dans le milieu extracellulaire entraîne une diminution de la concentration de calcium dans les cellules musculaires lisses<sup>39</sup>.

Le magnésium peut agir par l'intermédiaire de différents procédés sur la pression artérielle :

- **Action sur le système rénine-angiotensine-aldostérone (SRAA)**

Des études ont prouvé l'action du magnésium sur le système rénine-angiotensine<sup>40-41-42</sup>.

Une étude a mis en relation une concentration élevée en magnésium chez les personnes souffrant d'hypertension, avec des taux de rénine basse et à l'inverse un taux de magnésium faible chez les personnes hypertendus à taux en rénine élevée.

L'activité de la rénine est donc liée au changement de flux du magnésium à travers les membranes cellulaires<sup>42</sup>.

- **Favorise la vasodilatation et donc réduit la vasoconstriction**

Une étude apporte l'effet délétère d'un déficit en magnésium sur la pression artérielle. Une diminution de la concentration extracellulaire de magnésium pourrait être en mesure de favoriser une vasoconstriction et d'augmenter le tonus vasculaire. À l'inverse, une augmentation de la concentration en magnésium permettrait de diminuer la résistance vasculaire et la vasoconstriction induite par les agonistes vasoactifs.

Le magnésium pourrait agir sur le tonus vasculaire par l'intermédiaire de médiateur tel que le NO, l'endothéline-1 et les dérivés de prostaglandines libérés par l'endothélium. Cet endothélium est donc essentiel à la régulation de la pression artérielle<sup>39-43-44-45</sup>.

Le NO (monoxyde d'azote) est un puissant vasodilatateur des vaisseaux sanguins, il est donc capable de faire diminuer la pression artérielle.

In vitro, une diminution de ce composé chimique entraîné par la baisse de concentration de magnésium, diminuerait de manière significative la réponse de l'acétylcholine et de l'adénosine diphosphate sur la vasodilatation<sup>46</sup>.

L'endothéline-1 est un peptide vasoconstricteur produit par les cellules endothéliales. La supplémentation en magnésium diminue l'expression et donc l'effet vasoconstricteur de l'endothéline. De cette manière, le magnésium a un effet vasodilatateur<sup>47-48-49</sup>.

L'endothélium est en mesure, par une vasodilatation réflexe, de contrer les effets néfastes d'une hypomagnésémie alors qu'en cas de lésion de celui-ci (c'est le cas dans de nombreuses pathologies cardio-vasculaires), cette vasodilatation indispensable ne serait plus efficace. C'est ainsi, qu'une hypomagnésémie serait en mesure d'augmenter la pression artérielle.

- **Antioxydant et anti-inflammatoire**

L'action du magnésium sur la pression artérielle pourrait être en partie due à son action anti-oxydante et anti-inflammatoire sur le système vasculaire. La présence d'espèces réactives de l'oxygène au niveau vasculaire peut endommager la contraction des cellules musculaires lisses vasculaires, ainsi que leur croissance.

Une diminution de la concentration en magnésium pourrait augmenter l'épaisseur du média des vaisseaux. Ces modifications structurales peuvent être qualifiées d'hypertrophie vasculaire entraînant une augmentation de la pression artérielle avec augmentation de la résistance vasculaire<sup>43</sup>.

Une étude expérimentale chez des rats recevant une dose faible ou importante de magnésium (150 mg/jour ou 800 mg/jour ou 3200 mg/jour pendant 22 mois) a montré l'intérêt d'une supplémentation en magnésium sur la pression artérielle.

Les rats ayant reçus la dose la plus faible de magnésium ont eu une pression artérielle plus importante. De plus chez le rat vieillissant, un apport faible en magnésium augmente la présence d'interleukine-6 dans le plasma, ainsi que le fibrinogène et la lysophosphatidylcholine érythrocytaire. L'hypertension apparaissant avec le vieillissement pourrait être due en partie à un état inflammatoire que le magnésium pourrait être en mesure d'éradiquer<sup>50</sup>.

- **Par remodelage de la paroi vasculaire**

De nombreux travaux sur des animaux ont permis de démontrer qu'un déficit en magnésium pourrait jouer un rôle dans le développement de l'hypertension artérielle par une vasoconstriction, mais aussi par un remodelage et une augmentation de la rigidité vasculaire.

Différents changements peuvent avoir lieu, en commençant par un épaississement de la paroi des vaisseaux sanguins (plus précisément du média), entraînant une diminution du diamètre de la lumière et donc une augmentation de la résistance vasculaire.

Tous ces changements appelés également, hypertrophie vasculaire, peuvent être dus à des altérations biologiques des composants cellulaires et non cellulaires de la paroi artérielle. La plupart de ces processus sont influencés par le magnésium.

De petits changements dans les niveaux de magnésium peuvent avoir des effets significatifs sur l'excitabilité cardiaque, sur le tonus, la contractilité et la réactivité vasculaire. En conséquence, des perturbations dans l'homéostasie du magnésium cellulaire peuvent jouer un rôle important dans la régulation de la pression artérielle<sup>43-51</sup>.

- **Par régulation du système nerveux sympathique**

Le magnésium agirait sur la pression artérielle en agissant sur le nerf sympathique, principalement en inhibant les canaux calciques de type N au niveau des terminaisons nerveuses, diminuant la libération de noradrénaline<sup>52</sup>.

Une étude résume la majorité des effets du magnésium sur la pression artérielle. Elle montre que le magnésium n'a pas qu'un rôle direct dans la vasodilatation. En effet, après retrait de l'endothélium, l'effet du magnésium sur la relaxation aortique est diminué, soulignant ainsi le rôle de l'endothélium dans la relaxation des muscles lisses aortiques et ce par la libération

d'un composé vasodilatateur : le monoxyde d'azote (NO). Cette étude a également mis en évidence que le magnésium n'était pas dans la capacité de créer une vasodilatation à travers l'action du NO en l'absence de calcium. L'action du magnésium sur la production et la libération de NO par l'endothélium semble donc calcium-dépendant<sup>39</sup>.

Ces effets sont résumés dans le schéma suivant (figure 5) :

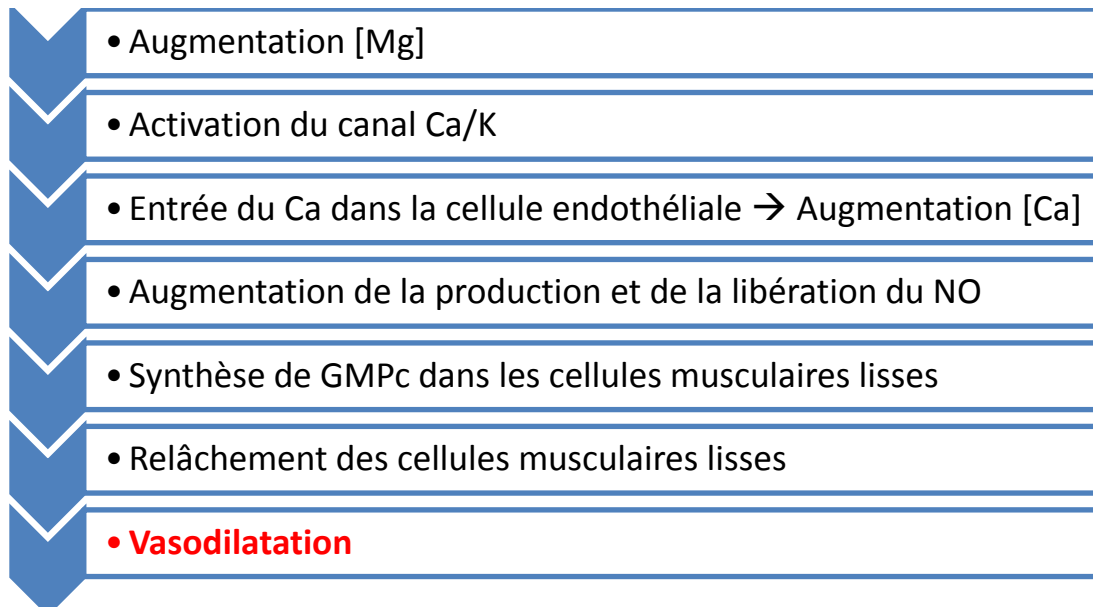


Figure 15 : Hypothèse d'action du magnésium sur la pression artérielle

## 2 L'HYPERTENSION ARTERIELLE

### 2.1 Définition de l'hypertension

L'hypertension artérielle est définie par le maintien permanent d'une pression élevée. L'élévation de la pression artérielle doit correspondre à une pression systolique supérieure ou égale à 140 mmHg avec ou non une pression diastolique supérieure ou égale à 90 mmHg. La pression artérielle s'exprime toujours en millimètre de mercure (mmHg). C'est à partir de cette valeur qu'il a été jugé nécessaire de mettre en place une prise en charge thérapeutique après évaluation du bénéfice-risque.

Il existe trois grades d'hypertension selon l'OMS (cf. : tableau 5).



| Catégorie                      | PAS (mmHg) |       | PAD (mmHg) |
|--------------------------------|------------|-------|------------|
| Optimale                       | < 120      | et/ou | < 80       |
| Normale                        | < 130      | et/ou | < 85       |
| Normale élevée                 | 130-139    | et/ou | 85-89      |
| Grade 1                        | 140-159    | et/ou | 90-99      |
| Grade 2                        | 160-179    | et/ou | 100-109    |
| Grade 3                        | > 180      | et/ou | > 110      |
| Hypertension systolique isolée | > 140      | et/ou | < 90       |

Tableau 5 : Grades de l'hypertension selon l'OMS

## 2.2 Épidémiologie

On estime à environ 10 millions, le nombre de patients traités pour une hypertension artérielle mais il faut également prendre en compte le nombre de personnes hypertendues non prises en charge !

Les cas d'hypertension sont plus souvent retrouvés en milieu urbain. Il y a également plus de personnes hypertendues dans les pays en développement que dans les pays développés, cela est sûrement dû aux difficultés d'accès aux soins (déplacements, coût des médicaments...), à un taux souvent élevé d'alphabétisme, aux mauvaises habitudes alimentaires,...<sup>53</sup>.

Malgré l'accès aux médicaments, seulement 1 patient traité sur 3 obtient des chiffres tensionnels normaux.

C'est dans ce contexte que le pharmacien doit tenir son rôle dans l'éducation du patient que ce soit dans l'explication de son traitement afin de permettre un bon usage et une bonne observance ou dans le rappel des mesures hygiéno-diététiques (pratique d'une activité sportive régulière, alimentation adaptée, sevrage du tabac...).

L'hypertension artérielle représente aujourd'hui le 1<sup>er</sup> motif de consultation en médecine générale. 1 patient hypertendu sur 2 présente une dyslipidémie : 19% des hypertendus sont fumeurs et 16% sont diabétiques. Cela confirme la possible implication de l'alimentation dans la survenue de l'hypertension.

## 2.3 Étiologie

Malgré des interrogatoires, des examens cliniques, ainsi que d'autres examens complémentaires adaptés, l'HTA reste dans 90% des cas d'étiologie inconnue. En effet, l'hypertension fait partie des maladies multifactorielles, c'est-à-dire qu'il y a de nombreux facteurs capables d'influencer la tension et qu'il est difficile d'attribuer une hypertension à un seul et même facteur.

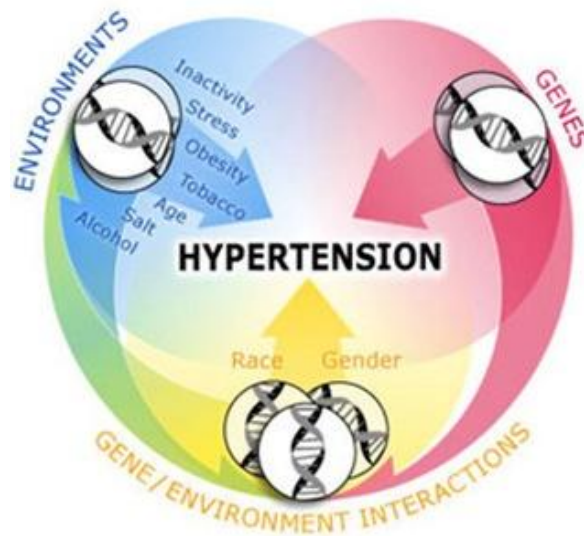


Figure 16 : Étiologie de l'hypertension (Source : google image)

Il existe deux types d'HTA :

- L'HTA primaire qui représente 95% des cas et n'a pas d'étiologie connue.

En revanche on connaît certains facteurs qui prédisposent à cette hypertension. Le principal facteur de risque est l'âge, en effet la pression artérielle systolique augmente avec l'âge chez 2/3 des personnes. Le vieillissement s'associe à des modifications physiologiques des vaisseaux appelés remodelage vasculaire ; ceux-ci se caractérisent par une diminution de la compliance et une augmentation des résistances périphériques mais aussi une augmentation de la rigidité artérielle.

D'autres facteurs peuvent intervenir dans la prévalence de l'hypertension comme les antécédents familiaux d'hypertension, la surcharge pondérale mais aussi de mauvaises mesures hygiéno-diététiques. En effet la consommation excessive de sel (Na) ou d'alcool éthylique (C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH) mais aussi une consommation insuffisante de potassium, calcium ou magnésium peut s'avérer néfaste sur l'évolution de la pression artérielle. Également, une activité physique régulière permet de protéger le système cardio-vasculaire et permet de maintenir une bonne pression artérielle avec l'âge.

- L'hypertension artérielle secondaire représente que 5% des cas, mais les causes sont connues. Elle peut venir d'une cause rénale (insuffisance rénale) ou d'une cause endocrinienne avec la présence d'un phéochromocytome, d'un hyperaldostéronisme primaire, d'une acromégalie, d'un syndrome de Cushing, d'une hyperthyroïdie... L'hypertension peut être d'origine iatrogène, par exemple par la prise de contraceptifs oraux, de corticoïdes, de cyclosporine, d'AINS...

## 2.4 Diagnostic

Le diagnostic d'une hypertension n'est pas toujours évident. En effet, les patients hypertendus ne se plaignent souvent d'aucun symptôme. La mesure de la pression artérielle est très variable car dépend de différents paramètres. Elle s'élève pendant un effort, une activité intellectuelle ou même d'une émotion. C'est pourquoi, il est possible de poser le diagnostic d'une hypertension seulement après deux mesures par consultations sur trois rendez-vous successifs et ce dans un délai de 3 à 6 mois.

Ces mesures peuvent également être prises au domicile du patient, on parle alors d'auto-mesure.

Il y a différentes manières de mesurer la tension :

- Au cabinet médical, les médecins utilisent des tensiomètres manuels. (cf. : figure 17)  
Cette prise de tension est basée sur une méthode auscultatoire qui utilise un brassard occlusif qui permet la compression de l'artère et en parallèle un stéthoscope afin de détecter les bruits engendrés lors du passage du sang pendant le dégonflage du brassard. C'est pourquoi, le dégonflage doit être lent (2-3 mmHg/s) à l'approche des valeurs de PAS et PAD (repérées par une mesure préalable).



Figure 17 : Tensiomètre manuel  
(Source : google image)

Ces bruits sont appelés bruits de Korotkoff et ils sont au nombre de 5 :

Phase 1 : apparition du premier son

Phase 2 : tonalité de murmure

Phase 3 : son vif et net

Phase 4 : affaiblissement du son

Phase 5 : disparition du son

La phase 1 correspond à la pression systolique et la phase 5 à la pression diastolique  
Pour une mesure optimale, le patient doit être allongé ou assis depuis au moins 5 minutes.

- A la maison ou à la pharmacie, la prise de tension se fait le plus souvent à l'aide de tensiomètres électroniques basés sur une méthode oscillométrique. (cf. : figure 18)  
Cette méthode analyse les oscillations de la paroi. Quand la pression du brassard est supérieure à la pression artérielle systolique, l'appareil capte les petites oscillations dues au choc de la pulsion des artères comprimées.  
La pression systolique correspond au début de l'augmentation de l'amplitude de ces oscillations alors que la pression diastolique correspond à la fin de la baisse de l'amplitude



Figure 18 : Tensiomètre électronique  
(Source : google image)

Les brassards doivent être adaptés à la morphologie de la personne pour la fiabilité de la mesure. En effet, un brassard trop petit risque de surestimer la pression artérielle et à l'inverse un brassard trop grand la sous-estimera.

Il est important de penser qu'il existe toujours une asymétrie entre nos deux bras, donc afin d'avoir des mesures comparables, il est nécessaire de toujours effectuer la prise de tension sur le même bras (le bras gauche en général).

Il est nécessaire de prendre en compte « l'HTA de la blouse blanche » qui correspond à une élévation transitoire de la pression artérielle seulement due à la présence du médecin et ainsi qu'à la peur des conséquences de ses constatations.

Ce biais dans les prises de mesures du à l'effet « blouse blanche » peut être éliminé grâce à la prise d'automesure, c'est pourquoi la formation à la prise de tension à domicile doit être prise au sérieux afin d'avoir des chiffres justes.

## 2.5 Les complications liées à l'hypertension

L'hypertension est à l'origine de nombreuses pathologies cardio-vasculaires (AVC, infarctus du myocarde, insuffisance cardiaque...), oculaires (rétinopathie, glaucome...), rénales (insuffisance rénale),...

Une diminution même modeste de la pression artérielle pourrait permettre une réduction non négligeable de la morbidité et de la mortalité par cause cardio-vasculaire. En effet, la pression artérielle joue un rôle essentiel dans la perfusion des organes vitaux, une pression non adaptée augmenterait le risque cardio-vasculaire<sup>54</sup>.

Une diminution de 2mmHg seulement de la PAD réduirait la prévalence de l'hypertension de 17%, ainsi qu'une diminution de 6% des risques de coronaropathie et de 15% des AVC.<sup>9</sup>

## 2.6 Les médicaments traditionnellement utilisés dans l'hypertension

En cas de diagnostic d'une hypertension légère, des mesures hygiéno-diététiques sont instaurées, dans un premier temps, par le médecin traitant. Il s'agit de conseils alimentaires et d'hygiène de vie (arrêt du tabac, pratique d'un sport...).

Le médecin conseille à son patient de normaliser son poids s'il est en surpoids, de limiter ses apports en sel et de réduire au maximum les autres facteurs de risques tel que la consommation de tabac, d'alcool...

Si la pression artérielle ne peut pas être contrôlée sans traitement, le médecin met en place une monothérapie par diurétiques thiazidiques (en 1<sup>ère</sup> intention) ou  $\beta$ -bloquants ou IEC ou sartan ou inhibiteurs calciques. Les alpha-1 bloquants et les antihypertenseurs d'action centrale viennent en complément en cas d'efficacité insuffisante de la monothérapie. Les choix thérapeutiques se font suivant le schéma suivant.

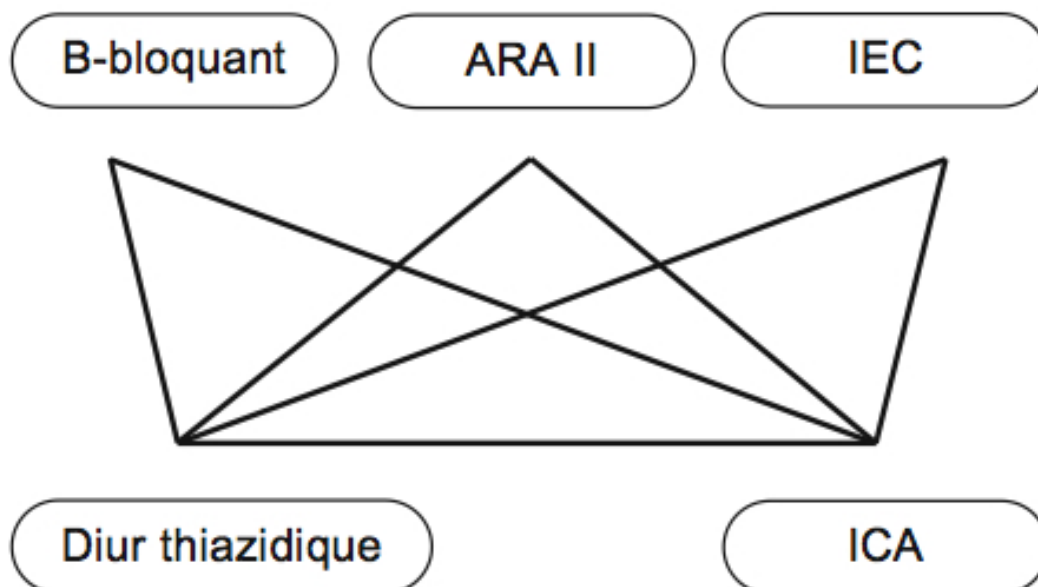


Figure 19 : Stratégie thérapeutique de l'hypertension (Source : google image)

Voici le mode d'action et les principaux effets indésirables des antihypertenseurs :

| Anti-hypertenseurs  | Mode d'action  | Effet indésirables   |
|---|--|--|
| <p><b><u>β-bloquants</u></b><br/>(Propranolol, sotalol, atenolol, bisprolol, acébutolol, céliprolol...etc.)</p> | <p>Antagonistes compétitifs des catécholamines au niveau des récepteurs β-adrénergiques (du cœur, des vaisseaux et des bronches).</p>  | <p>Bradycardie, asthénie transitoire, bloc auriculo-ventriculaire, insuffisance cardiaque, hypoglycémie, risque de crise d'asthme, syndrome de Raynaud, paresthésie des extrémités cutanées.</p>   |
| <p><b><u>Alpha-1 bloquant</u></b><br/>(Urapidil, Prazosine...etc)</p>   | <p>Vasodilatateur agissant :<br/>- en bloquant les récepteurs alpha-1 post-synaptique (réduction des résistances périphériques totales sans modification de la fréquence ou du débit cardiaque)<br/>- par un effet de régulation centrale de la pression artérielle.</p> | <p>Vertiges, nausées, céphalées, palpitations, tachycardie, asthénie, gastralgies, rétention hydrosodée avec prise de poids et œdème.</p>  |
| <p><b><u>Anti-hypertenseurs centraux</u></b><br/>(Rilmenidine, monoxidine...etc.)</p>                           | <p>Agoniste des récepteurs des imidazolines et, de façon moindre, des alpha-2-adrénergiques cérébraux (baisse du tonus sympathique périphérique et de la TA)</p>   | <p>Généralement transitoire : bouche sèche, somnolence, constipation, asthénie, gastralgie, palpitations, insomnies, diarrhées, risque d'hypotension.</p>  |
| <p><b><u>Diurétiques de l'anse</u></b><br/>(Furosémide)</p>   | <p>Inhibant la réabsorption du Na et du Cl principalement au niveau de l'anse de Henlé. (action puissante, rapide et brève avec un effet hypocalcémiant à forte de dose.)</p>  | <p>Hyponatrémie, déshydratation, hypovolémie et hypotension orthostatique (troubles favorisés par un régime désodé trop strict). Risque d'hypokaliémie avec souvent alcalose métabolique. Hyperuricémie (goutte).</p>  |
| <p><b><u>Diurétique thiazidique</u></b><br/>(Hydrochlorothiazide)</p>   | <p>Inhibe la réabsorption du Na et du Cl au niveau du segment cortical. Effet anticalciurique et antidiurétique dans le diabète insipide.</p>  | <p>Hyponatrémie, déshydratation, hypovolémie et hypotension orthostatique (favorisé par un régime désodé trop strict). Risque d'hypokaliémie. Possible élévation de l'uricémie avec parfois crise de goutte. Augmentation du LDL cholestérol et des triglycérides.</p> |

|   |   |   |
|---|---|---|
| <b><u>Anti-hypertenseurs faiblement diurétiques</u></b><br>(Indapamide, ciclétanine)                      | <b><u>Indapamide</u></b> : diminution des résistances périphériques.  |   |
|   | <b><u>Ciclétanine</u></b> : diminution des résistances périphériques, augmentation de la distensibilité des petites et grosses artères. | Hypokaliémie, réactions allergiques   |
| <b><u>Diurétique hyperkaliémant</u></b><br>(spironolactone = S, amiloride = A et Triamtérène = T)         | Spironolactone : antagoniste de l'aldostérone<br>Amiloride/Triamtérène :  | Hyperkaliémie, troubles digestifs, troubles endocrinien (S), encéphalopathie (A et T) et anémie (T)   |
| <b><u>IEC = Inhibiteurs de l'enzyme de conversion</u></b><br>(Enalapril, lisinopril, quinalapril,...etc.) | Inhibiteurs de la kininase II ayant une action anti-hypertensive et vasodilatatrice.  | Toux persistante, flush facio-cervical, éruptions cutanées, élévation de la créatinine, des transaminases, urticaire. Risque d'hypotension et/ou d'insuffisance rénale  |
| <b><u>Antagonistes de l'angiotensine II = Sartans</u></b><br>(Losartan, valsartan, candésartan...etc.)    | Antagonistes des récepteurs de type AT1 de l'angiotensine II (inhibent les effets vaso-constricteurs.                                   | Risque d'hypotension artérielle (déplétion hydrosodée préalable ou IC), risque d'hypotension orthostatique, vertiges, céphalées, asthénie, diarrhées, nausées, vomissements, hyperkaliémie, augmentation modérée et transitoire de l'uricémie, élévation des transaminases. |
| <b><u>Inhibiteurs calciques</u></b><br>(Diltiazem, vérapamil, amlodipine...etc.)                          | Inhibiteur calcique souvent sélectif du canal calcique de type L (réduit tonus du muscle lisse artériel).                               | Oedèmes des jambes (vasodilatation périphérique), hypotension, céphalées...etc.   |
| <b><u>Inhibiteurs de la rénine</u></b><br>(Aliskiren)   | Inhibiteur direct de la rénine  | Diarrhée, éruptions cutanées, angioedème.   |

Tableau 6 : Traitements anti-hypertenseurs (Source : Dorosz)

Il faut également penser que certains médicaments peuvent être responsables d'une hypertension artérielle comme les œstro-progestatifs, les vaso-constricteurs nasaux, les corticoïdes mais aussi la consommation excessive de réglisse...

Au vu des données épidémiologiques sur le contrôle de l'hypertension par traitement médicamenteux et en combinant le risque d'effets indésirables causés par ces traitements, il serait judicieux de pouvoir réduire l'utilisation de certains traitements médicamenteux au profit de simples règles hygiéno-diététiques.

Les règles hygiéno-diététiques prennent donc une part essentielle dans la prise en charge de l'hypertension tant sur le plan de la prévention que du traitement. Et le pharmacien a un rôle important d'informations et de conseils envers ces patients<sup>55</sup>.

### 3 LE SEL



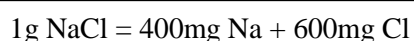
#### 3.1 Réglementation et historique du sel

##### 3.1.1 Structure moléculaire

Le sel ou communément appelé « sel de table » est une substance cristallisée qui se solubilise parfaitement dans l'eau, friable au toucher et d'un goût piquant, il est très utilisé au quotidien pour diverses emplois et notamment celui d'assaisonner les plats.

Au niveau moléculaire, le sel est essentiellement composé de chlorure de sodium ayant pour formule : NaCl. Proportionnellement, la molécule de NaCl comprend 40% de Na et 60% de Cl.

Pour les équivalences, 1 g de chlorure de sodium est égal à 400 mg de sodium et 600 mg de chlorure.





Au contact de l'eau, le NaCl se solubilise et la molécule se sépare pour former des ions  $\text{Na}^+$  et  $\text{Cl}^-$  selon l'équation suivante :  $\text{NaCl}_{(s)} \longrightarrow \text{Na}^+_{(aq)} + \text{Cl}^-_{(aq)}$

Sur la figure ci-dessous, ont été représentés un atome de sodium et un atome de chlore, le noyau représente les protons et les neutrons. Les points représentent les électrons de chaque atome qui gravitent autour du noyau. L'atome de sodium totalise 11 électrons contre 17 pour le chlore. Les atomes sont neutres. Pour qu'un atome se transforme en ion, un ou plusieurs électrons doivent être échangés. L'ion formé portera donc une charge positive (perd un électron) ou négative (gain d'un électron) en fonction du déplacement de l'électron. Ici, le sodium va perdre l'unique électron qu'il possède sur sa dernière couche et se charger positivement pour former le  $\text{Na}^+$ . À l'inverse, le chlore va gagner un électron et se charger négativement pour former le  $\text{Cl}^-$ .

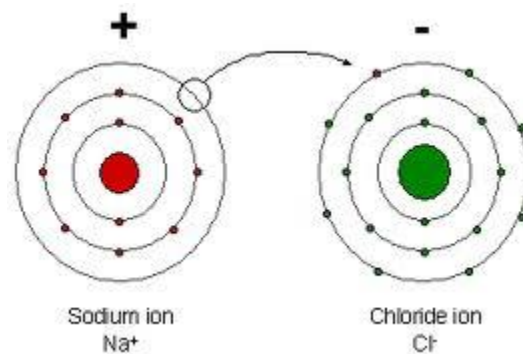


Figure 20 : Formation des ions  $\text{Na}^+$  et  $\text{Cl}^-$  (Source : google image)

Pour sa configuration dans l'espace, la molécule de Na-Cl, composée de deux atomes n'existe pas telle quelle, il s'agit plutôt d'une multitude d'atomes de sodium et de chlore qui s'organisent pour former une structure stable dite de cristal.

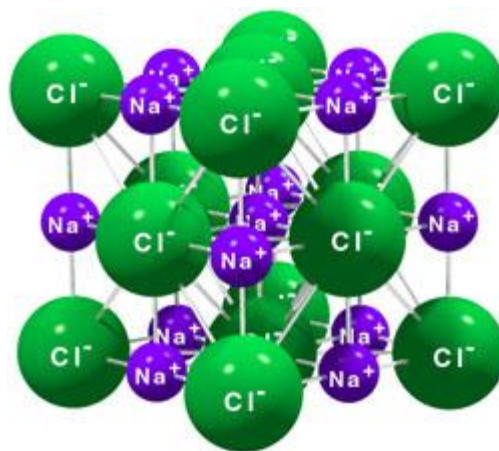


Figure 21 : Réseau cristallin (Source : google image)

### 3.1.2 Codex Alimentarius

Le Codex Alimentarius est une norme qui concerne le sel utilisé en tant qu'ingrédient alimentaire, destiné aussi bien à la vente directe au consommateur qu'à l'industrie alimentaire, mais aussi au sel utilisé comme support d'additifs alimentaires et/ou d'éléments nutritifs.

La commission du Codex Alimentarius a été créée en 1963 par la FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) et l'OMS (Organisation Mondiale de la Santé) dans le but d'établir des normes alimentaires pour la sécurité de tous.

Depuis un certain nombre d'années, le commerce international a connu un grand essor, les normes alimentaires n'étant pas toujours les mêmes d'un pays à l'autre, ce codex a été élaboré dans le but d'uniformiser ces normes en créant des lignes directrices et des codes de pratique à suivre dans le but d'assurer un niveau de qualité constant et donc une sécurité alimentaire pour les consommateurs<sup>56</sup>.

### 3.1.3 Teneur minérale en chlorure de sodium

Selon la norme adoptée en 1985 par le Codex Alimentarius, le sel de table doit être constitué à 97 % au minimum de NaCl sur extrait sec, sans prendre en compte les additifs, pour être reconnu comme « alimentaire », le restant concerne des molécules parasites incorporées au sel au cours de sa récolte.

L'utilisation d'un sel dont la teneur est inférieure au seuil de conformité (97%), pourrait être susceptible de présenter un risque sanitaire. C'est également pour cela que seul un sel pur à 97% de NaCl sur extrait sec pourra subir un enrichissement en iode et/ou en fluor.

L'arrêté du 24 avril 2007 limite l'utilisation d'iode (sous forme iodate de potassium, iodate de sodium, iodure de potassium ou iodure de sodium) entre 15 et 20 mg/kg de sel (exprimés en iode).

Le fluorure de potassium peut être additionné au sel dans la proportion de 250 mg/kg (exprimés en ions fluorures)<sup>57</sup>.

### 3.1.4 Molécules parasites naturellement présentes

En dehors du NaCl, les autres molécules présentes dans le sel sont des molécules parasites qui ont été récupérées en même temps que la récolte.

Ces molécules sont présentes en quantités variables dans le sel selon l'origine et la méthode de production. Ce sont principalement des chlorures, sulfates, carbonates et bromures de calcium, de potassium, de magnésium et de sodium.

On peut également retrouver des contaminants naturels capables de nuire à la santé, c'est pourquoi des quantités maximales ont été fixées par les autorités compétentes, toujours dans le but d'assurer la sécurité des consommateurs.

Les limites maximales à ne pas dépasser sont les suivantes<sup>57</sup> :

- Cuivre : pas plus de 2mg/kg (exprimé en Cu),
- Plomb : pas plus de 2 mg/kg (exprimé en Pb),
- Arsenic : pas plus de 0,5mg/kg (exprimé en As),
- Cadmium : pas plus de 0,5mg/kg (exprimé en Cd),
- Mercure : pas plus de 0,1mg/kg (exprimé en Hg).

### 3.1.5 Raffinage

Le raffinage permet d'obtenir un sel de couleur blanche préférée par le consommateur, composé de NaCl pratiquement pur (99,9%) et ceci parfois au détriment de ses qualités. En effet le raffinage peut nous priver de la présence naturelle de certains autres minéraux essentiels comme le potassium et le magnésium.

Le sel prend la couleur de ses insolubles, ils sont présents à l'état brut (l'argile notamment pour le sel de mer). Après avoir été soigneusement lavé, la blancheur du sel devient un gage de qualité et de pureté.

Des adjuvants comme des antiagglomérants ou des composés iodés ou fluorés peuvent être ajoutés au sel raffiné.

Il peut parfois être enrichi en iode lorsqu'il n'en contient pas assez et ceci a été établi depuis 1952, dans le but de prévenir l'apparition des goitres.

L'enrichissement en fluor lui a pour but une protection contre les caries.

### 3.1.6 Exigences à respecter<sup>58</sup>

Depuis le début des années 1920, le Comité des Salines de France regroupe les principaux producteurs de sel établis en France.

En 1999, cette organisation professionnelle a élaboré une charte de qualité du sel alimentaire.

Cette charte permet de garantir aux consommateurs un sel de qualité irréprochable ainsi qu'une sécurité alimentaire parfaite.

« Cette nouvelle charte s'articule autour de trois axes :

- Garantir la qualité du sel et maîtriser les risques pour la sécurité alimentaire.
- Participer à la politique de prévention des risques de déficit en iode et de la carie dentaire.
- Contribuer à l'information du consommateur et au bon usage du sel. »

Le sel en termes de « produit », se différencie par sa granulométrie (gros ou fin), la nature de son emballage (sous forme de salière, sachets, étuis cartons...) et de sa supplémentation ou non en iode et/ou fluor.

Pour être de qualité « alimentaire », le sel doit respecter certaines exigences.

Tout d'abord, il doit provenir de marais salants, de gisements souterrains de sel gemme ou de saumure obtenu par dissolution du sel gemme. Tous les stades de production doivent être contrôlés de la production jusqu'à la mise en rayon du sel tout, en assurant sa traçabilité.

Des contrôles doivent être effectués pour connaître la teneur en chlorure de sodium (97% sur extrait sec), le degré d'humidité, la teneur en sels secondaires (magnésium, potassium, calcium et sulfate), la teneur en iode et en fluor, la granularité, être conditionné dans des emballages dont les matériaux répondent aux dispositions relatives aux denrées alimentaires et respectent l'environnement.

Cette dernière exigence engendre des règles strictes de conditionnement, de stockage et de transport afin d'éviter que les propriétés du sel ne s'altèrent et ainsi qu'il puisse conserver sa qualité « alimentaire ».

### 3.1.7 Historique du sel <sup>9</sup>

#### - Préhistoire

Au cours du Paléolithique, les chasseurs-cueilleurs consommaient peu de sel soit environ 2 g/jour contre beaucoup de potassium, soit environ 12 g/jour. Le sel absorbé à cette période provenait de la chair des gibiers et des poissons qu'ils consommaient.

C'est au cours du Néolithique que la consommation de sel a augmenté avec la sédentarisation de l'homme. En effet, la découverte de ses vertus de conservation des aliments, notamment de la viande et du poisson, mais aussi son intérêt gustatif (pour donner du goût aux aliments les plus fades), ont fait de lui un élément indispensable au quotidien.

Compte tenu de sa rareté et de son intérêt, il est devenu une monnaie d'échange.

A l'époque Gallo-Romaine, des rations de sel pouvaient être distribuées aux soldats en gage de solde, c'est de là qu'est apparu le mot « salaire ». Le sel avait également une valeur fiscale. La taxe sur le sel était appelée « la gabelle ».

Le sel a donc joué un rôle critique dans l'évolution de l'homme en l'aidant à se civiliser.

#### - Aujourd'hui

De nos jours, la consommation de sel est devenue un problème de santé public. Facilement obtenu et accessible financièrement, la moyenne des apports en sel atteint 10g/jour. Nous sommes loin des chasseurs-cueilleurs et de leur 2 g/jour de sel.

L'alimentation industrielle tient aujourd'hui une grande place dans les habitudes alimentaires de la population. En effet, avec l'augmentation de la consommation de plats préparés au détriment des aliments bruts, la quantité de sel absorbée en moyenne par jour a doublé au cours de ces dernières décennies. Depuis les années 60, l'achat de plats tout prêts a doublé et cela ne va pas en s'arrangeant avec le temps.

Les industriels ne peuvent plus se passer du sel : pour ses propriétés de conservations (moins qu'auparavant puisque nous avons maintenant les réfrigérateurs) et pour d'autres capacités du sel comme celle de rehausser la saveur des aliments,... (cf. : propriétés et intérêts du sel : du point de vue des industriels, p 96).

Tout le monde sait aujourd'hui qu'une consommation trop importante de sel entraîne des effets néfastes pour la santé. Néanmoins, au même titre que la consommation de cigarettes, sa consommation semble rester largement tolérée par la population.

Cela se voit aussi dans les ventes de sel qui n'ont pas diminué entre 2008 et 2010, elles ont même légèrement augmenté.

| Année  | 2008 | 2009 | 2010 |
|--|------|------|------|
| Total de sel cristallisé (en milliers de tonnes) | 363  | 359  | 404  |

Tableau 7 : Ventes de sel entre 2008 et 2010

Parallèlement à cette hausse importante de la consommation de sel, il a été constaté une augmentation considérable de maladies cardio-vasculaires. En effet, ces maladies représentent aujourd'hui la principale cause de mortalité et d'invalidité dans le monde. Cette évolution a été proportionnelle à l'élévation de la pression artérielle<sup>59</sup>, ce qui n'est pas étonnant puisqu'il s'agit du principal facteur de risque. Environ deux tiers des accidents vasculaires cérébraux (AVC) et la moitié des maladies cardiaques sont liées à l'augmentation de la pression artérielle.

### 3.2 Génome et sel<sup>60</sup>

Des études ont montré sur des populations immigrées l'implication de facteurs environnementaux et génétiques à l'origine d'une augmentation de la pression artérielle avec l'âge.

L'hypertension est une maladie complexe faisant intervenir un certain nombre de mécanismes et d'hormones. Plusieurs gènes peuvent également être à l'origine d'une hypertension.

#### 3.2.1 Évolution du génome

Le corps humain s'adapte à son environnement. Cette évolution se fait petit à petit au cours du temps par l'intermédiaire de mutations dans le génome. Il semblerait que 50% des cas d'hypertension soit attribuable à des facteurs environnementaux dont la consommation de sel.

La consommation de sel a beaucoup changé au cours des siècles, le corps s'est-il adapté à cette consommation ?

C'est au cours de millions d'années que les mammifères, dont l'être humain, se sont adaptés à un régime pauvre en sel et ceci par l'accumulation de différents polymorphismes génétiques.

Dès la naissance, que ce soit les carnivores ou les herbivores, le lait est le seul aliment consommé et celui-ci ne contient que des traces de NaCl. Ce n'est pas non plus à travers la consommation de végétaux ou de viandes que l'alimentation est enrichie en NaCl. En effet, les végétaux ne contiennent quasiment pas de sel. Par exemple, en Amazonie, l'alimentation des Indiens Yanomamo constituée exclusivement de végétaux, leur apporte entre 0,06 et 0,6 g de sel par jour. Même si les consommateurs de viande auront un apport plus important en sel que les végétariens, le régime reste très modéré. Par exemple, les Eskimo d'Alaska qui ont un régime alimentaire riche en viande carnée (50%) absorbent en moyenne 1 à 2 g de sel par jour.

Une consommation plus importante et plus régulière de sel a été observée depuis les 5000 dernières années chez l'espèce humaine, qui d'ailleurs est la seule. Cela est dû à la sédentarisation de l'homme et à la découverte des nombreuses propriétés du sel qui font de lui un élément indispensable aujourd'hui dans certaines industries.

Le taux de mutation de l'ADN nucléaire est d'environ une mutation tous les 100 ans sur la totalité du génome. En terme évolutif, 5000 ans, c'est trop court pour voir apparaître une adaptation génomique. Le patrimoine génétique de l'être humain d'aujourd'hui semble être

toujours adapté à une consommation faible en sel, l'organisme ne serait donc pas en mesure de gérer une absorption trop importante de sel, cela pourrait expliquer en partie l'incidence de l'hypertension et de l'augmentation du nombre de pathologies cardio-vasculaires.

### 3.2.2 Données actuelles sur le sel et le génome

Le contrôle de la pression artérielle est un mécanisme physiologique complexe et d'innombrables gènes sont concernés. La découverte d'un gène unique expliquant l'hypertension est une illusion.

La majeure partie des gènes découverts influençant la pression artérielle sont des gènes qui codent pour des protéines impliquées dans la régulation du sel et de l'eau. Dans la majorité des cas, ces gènes jouent un rôle dans la réabsorption du sodium.

Il y a un caractère héréditaire possible dans la survenue de l'hypertension, ce qui a été prouvé au cours d'études familiales et représenterait environ 30% des cas d'hypertension dans la population.

Des gènes ont été identifiés comme intervenant sur la rétention hydrosodée et donc dans l'augmentation du volume plasmatique. Il s'agit des gènes des sous-unités du canal sodium épithélial (ENaC), des gènes du système kallibréine-kinine ou la sous-unité  $\beta_3$  des protéines G (GNB3). Une mutation sur les sous-unités  $\beta$  et  $\gamma$  du canal sodium épithélial (ENaC) entraîne une forme rare d'hypertension artérielle appelée : Syndrome de Liddle<sup>61</sup>. Cette mutation est la cause d'une hyperactivité de la fonction du canal et donc d'une réabsorption excessive de sodium.

D'autres gènes sont suspectés d'avoir un rôle dans la régulation de la pression artérielle mais doivent être encore étudiées pour l'affirmer, tels que les gènes de la 11 $\beta$ -hydroxystéroïde déshydrogénase de type II, de l'aldostérone synthase, de la sous-unité  $\gamma$  du canal sodique épithélial...

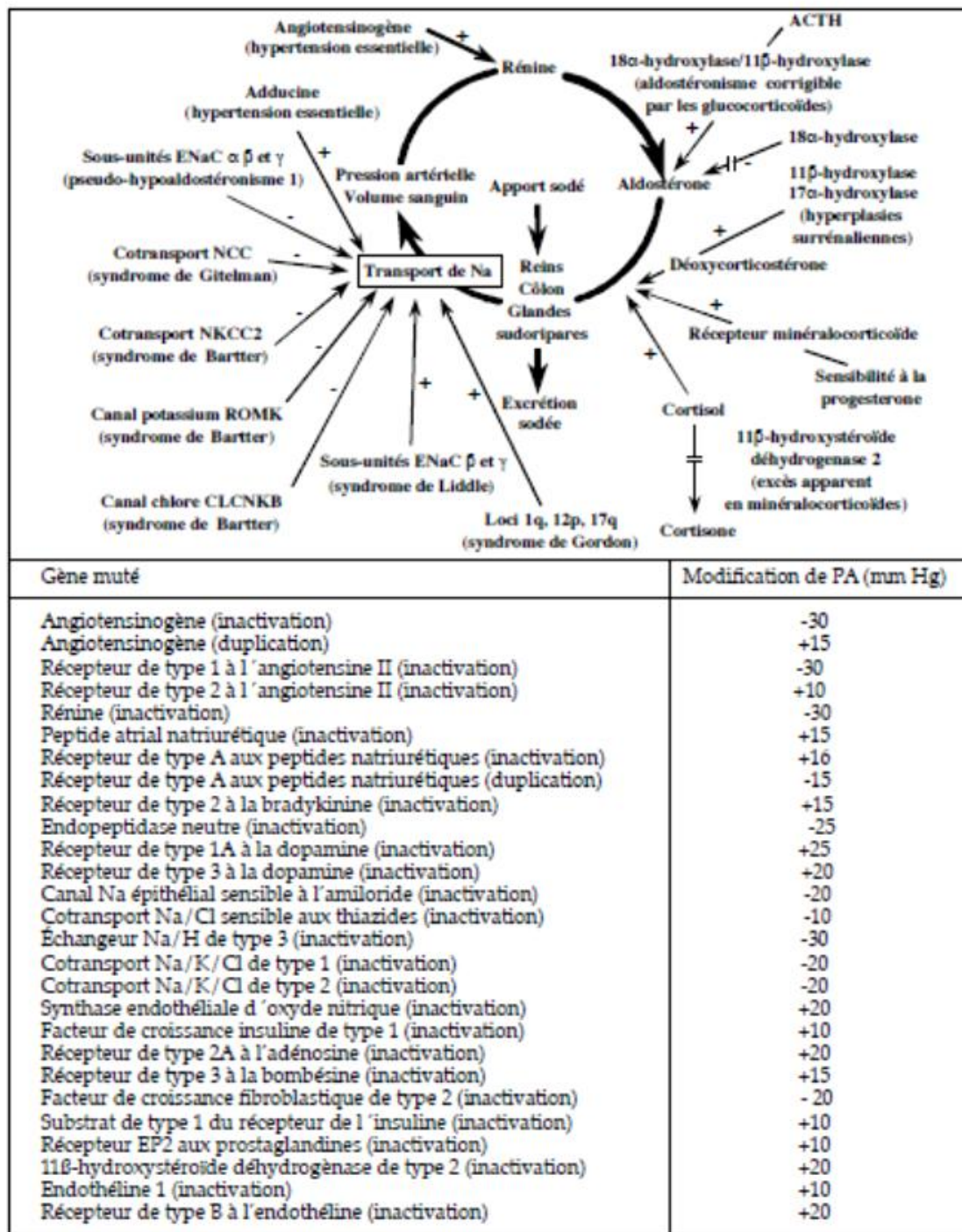


Figure 1. Gènes faisant partie des mécanismes de contrôle de la pression artérielle. Chez l'homme (schéma en haut), les gènes ont été identifiés le plus souvent dans des formes monogéniques d'hypertension ou d'hypotension ; seuls les polymorphismes des gènes codant pour l'angiotensinogène et l'adducine ont été trouvés dans les formes communes d'hypertension. Chez la souris (tableau en bas), les gènes indiqués sont ceux pour lesquels une mutation introduite par recombinaison homologe produit une modification chronique de la pression artérielle. La plupart des gènes interviennent dans la réabsorption de Na au niveau des organes excréteurs et ils sont identiques chez l'homme et la souris.

Figure 22 : Gènes intervenant dans la régulation de la pression artérielle

### 3.2.3 Sensibilité ou résistance au sel <sup>6-62-63-64</sup>

La sensibilité au sel se caractérise par une augmentation excessive de la pression artérielle en réponse à une consommation faible de sel. Elle est couramment retrouvée chez les hypertendus et est considérée comme précurseur d'une hypertension chez les normotendus. Chaque population du monde a ses propres habitudes alimentaires en fonction de son environnement, de ses coutumes... Ces habitudes de consommation ancrées depuis longtemps vont jouer un rôle dans la sensibilité ou la résistance au sel, on le voit en observant la consommation de sel des populations et en parallèle la pression artérielle. Il peut y avoir des écarts importants de consommation de sel entre les populations sans pour autant qu'elles développent d'hypertension.

Par exemple, les indiens d'Amérique ont pour habitude de consommer en moyenne 13 g/jour de sel alors que les indiens Yanomano ont une consommation de sel allant de 0,06 à 0,6 g/jour, pourtant ces deux populations ne développent pas d'hypertension. A l'intérieur d'une même communauté, par exemple l'Europe, il y a une grande disparité de consommation entre les individus pouvant aller de moins de 3 g/jour jusqu'à 20 g/jour.

La sensibilité au sel reste un sujet aujourd'hui très controversé. Elle ne concernerait qu'une partie de la population soit 30 à 40% des personnes et serait variable d'une personne à l'autre. Les professionnels de santé remarquent parfois que les traitements anti-hypertenseurs ne viennent pas toujours à bout de certaines hypertensions dites « résistantes ». En effet, 30% seulement des patients traités atteindraient leurs objectifs thérapeutiques. Il peut y avoir différentes raisons à cela : une mauvaise observance du traitement, un régime alimentaire non adapté, une sensibilité au sel, une résistance au traitement (l'efficacité d'un traitement peut être très différente d'une personne à l'autre), ou d'autres raisons méconnues.

On caractérise par « sensible au sel », une personne dont la pression artérielle varie directement avec l'apport en sel alimentaire. Elle se définit par une augmentation  $\geq 7$  mmHg de la pression artérielle moyenne au cours d'un changement de régime alimentaire passant d'une faible à une forte consommation de sel. Chez ces personnes, des études ont souvent mis en évidence, une diminution de la capacité d'excrétion du Na mais aussi une augmentation de l'activité du système nerveux sympathique, une hypersensibilité aux hormones vasopressives (noradrénaline et angiotensine II) et une variabilité de la sensibilité ANP.

Plusieurs facteurs peuvent être à l'origine d'une sensibilité au sel comme des anomalies génétiques, des problèmes rénaux, l'ethnie (personnes de races noires), mais aussi le vieillissement.

La sensibilité au sel peut être en partie due à des mutations au niveau de certains gènes à l'origine d'une rétention hydrosodée. Une altération génétique qui améliorerait la fonction tubulaire rénale du Na et du Cl ou un apport insuffisant en K, Ca ou Mg serait en mesure de favoriser la rétention hydrosodée. Des mutations ont été mises en évidence sur des gènes à l'origine du fonctionnement des principaux axes de régulation de la pression artérielle.

Au niveau du système rénine-angiotensine, il existe différents polymorphismes génétiques qui modifient l'activité du système et la possible apparition d'hypertension artérielle essentielle.



Une insertion ou une délétion d'une séquence d'acides aminés dans le gène codant pour l'enzyme de conversion de l'angiotensine ont été identifiées comme pouvant être un des facteurs de développement d'une HTA « sensible au sel ».

Sur l'animal, il a été mis en évidence une mutation de la protéine du cytosquelette dans la pompe Na/K ATPase des cellules épithéliales tubulaires rénales.

C'est au niveau de la  $\alpha$ -adducin et du Gly460Trp qu'il y aurait une variation de la séquence des acides aminés en ayant pour conséquence, l'augmentation de l'activité de la pompe et donc de la réabsorption tubulaire de sodium.

Il serait possible que le polymorphisme de l' $\alpha$ -adducin Gly460Trp joue un rôle dans l'HTA « sel-sensible »<sup>65</sup>.

Il existe une prédisposition à l'hypertension chez certaines populations comme les populations noires. 35 personnes noires normotendues ont été étudiées<sup>66</sup> sur une durée de 3 semaines avec le schéma de supplémentation suivant :

Durant la première semaine, les patients ont été supplémentés en NaCl ou NaHCO<sub>3</sub> (de manière aléatoire) soit 250 mmol/70 kg sans jamais dépasser 300 mmol/jour

La deuxième semaine avait pour but, la restriction en Na

Toujours de manière aléatoire, au cours de la troisième semaine, les patients ont été supplémentés en NaCl ou NaHCO<sub>3</sub>

Il a été mis en évidence que la moitié des personnes étudiées étaient « sensibles au sel » (SS) contre l'autre moitié dites « résistantes au sel » (SR). Chez les personnes qualifiées comme « SR », il n'a pas été observé de changement de pression artérielle voire parfois une augmentation de la tension avec une diminution de l'apport en sel.

Après une supplémentation en NaCl, il est apparu chez les personnes dites « SS » une augmentation de pression artérielle moyenne (MAP) équivalente à  $11 \pm 2$  mmHg et chez les personnes dites « SR » une modification de la pression artérielle de  $-1 \pm 2$  mmHg.

Les deux tiers des sujets sensibles au sel ont vu leur MAP augmenter d'au moins 5 mmHg en réponse à une supplémentation en NaHCO<sub>3</sub>, alors que les autres personnes n'ont pas eu d'augmentation. Cependant la réponse reste moins importante qu'avec une supplémentation en NaCl. Chez les sujets SR, la pression moyenne n'a pas évolué avec les différents apports en sodium. Le chlore pourrait donc avoir un rôle potentialisateur dans l'effet du sodium sur la pression artérielle.

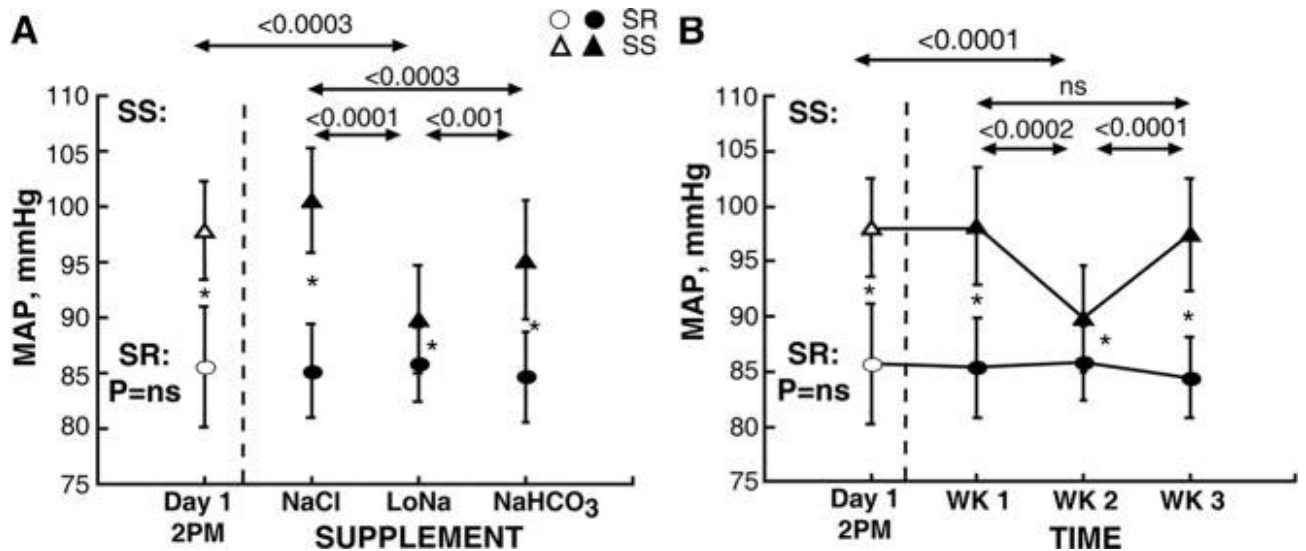


Figure 23 : Pression artérielle avant ou après chargement oral de NaCl ou de NaHCO<sub>3</sub>

Légende :

Day 1 = Pression moyenne initiale

NaCl = pressions moyennes recueillies après chargement orale de NaCl

NaHCO<sub>3</sub> = pressions moyennes recueillies après chargement orale de NaHCO<sub>3</sub>

SS (▲) = personnes sensibles au sel

SR (●) = personnes résistantes au sel

La pression artérielle moyenne (MAP) indiquée sur ce graphique se calcule de la manière suivante :  $MAP \text{ (mmHg)} = (PAS + 2 \times PAD) / 3$

### 3.2.4 Autres pathologies nutritionnelles et sensibilité au sel

- **Obésité et surpoids**<sup>67</sup>

En France, d'après l'enquête Nationale Obépi, la proportion de personnes en surpoids et obèses représente presque la moitié de la population totale, 33% d'entre elles sont en surpoids selon l'IMC (indice de masse corporel) et 15% sont considérées comme obèses.

L'IMC est une mesure permettant de déterminer la corpulence d'une personne à partir de sa taille (en mètres) et de son poids (en kilogrammes). Il se calcule de la manière suivante :

$$IMC = \text{poids} / \text{taille}^2$$

Il est possible d'interpréter ce résultat uniquement chez l'adulte âgé de 18 à 65 ans.

En termes de prévalence de l'obésité, entre 1997 et 2012, nous sommes passés de 8,5% à 15%, avec un léger ralentissement ces dernières années. Le surpoids a également augmenté mais en moindre mesure puisqu'il est passé de 29,8% à 32,3%. Cela a donc pour conséquence une diminution du nombre de personnes ayant un poids correct passant de 57,5% à 49,2%.

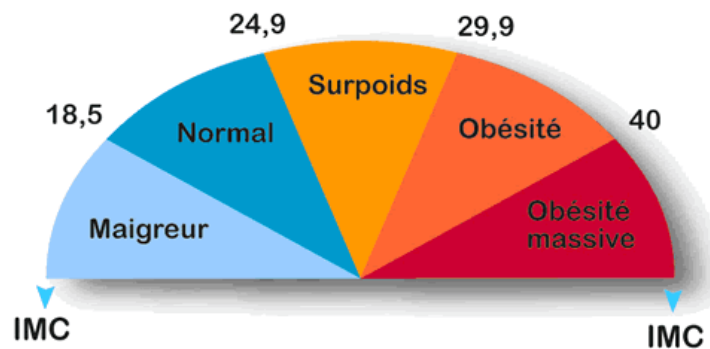


Figure 24 : IMC et corpulence

Légende : selon l'IMC

Obésité : > 30

Surpoids : 25,0 à 29,9

Poids correct : 18,5 à 24,9

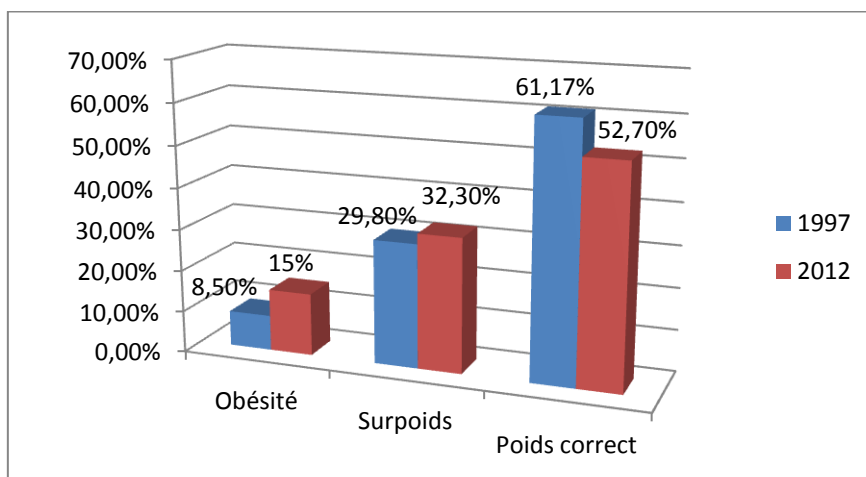


Figure 25 : Comparaison de l'obésité entre 1997 et aujourd'hui

Le bilan de l'évolution de l'obésité en France est mauvais bien qu'il soit en léger ralentissement. L'hypertension est souvent associée à l'obésité, en effet, il a été remarqué la nécessité d'un traitement antihypertenseur de manière 3,6 fois plus fréquent chez les personnes obèses. Le sel pourrait avoir un lien avec ces observations. L'action du sel sur la pression artérielle est différente d'un individu à un autre car il dépend de différents facteurs (âge, sexe, état de santé, ethnique, présence de sensibilité ou de résistance au sel). On sait que l'hypertension artérielle pourrait être la cause d'un apport excessif en sel. Les personnes obèses ont, dans la majorité des cas, un problème de surconsommation alimentaire avec le plus souvent des produits trop riches en graisses saturées, sucres et sel et en parallèle trop peu de fruits et légumes. Il n'est donc pas étonnant qu'en consommant trop de sel et peu de potassium, ces personnes développent une hypertension artérielle.

Plusieurs processus relient le sel et l'obésité. Tout d'abord par sa propriété appétissante, il favorise chez le consommateur l'envie de consommer plus mais aussi de boire plus.

Une étude a montré qu'une consommation de 10 g de sel par jour incite à boire 350 ml de plus de boisson qu'avec 5 g de sel par jour<sup>68</sup>.

Malheureusement, de nombreux jeunes préfèrent consommer des boissons sucrées à la place de l'eau. Cela se voit dans les chiffres français, en 6 ans (de 2002 à 2008), la consommation de boissons sucrées a augmenté de 2,5%, ce qui n'est pas négligeable surtout quand cela concerne en priorité les jeunes hommes de 12 à 17 ans. Un enfant sur quatre boit quotidiennement des boissons sucrées avec un pourcentage plus important chez les garçons(INPES).

D'autre part, il a été remarqué une certaine sensibilité au sel chez les personnes obèses. Même si dans la majorité des cas, la sensibilité au sel est due à une modification du génome, chez les personnes obèses comme chez les insulino-résistants ou les personnes âgées, elle semble être acquise<sup>69</sup>.

Une étude<sup>70</sup> assez récente sur la partie inflammatoire de l'obésité révèle une interleukine (IL 6) capable d'activer le canal ENaC et ainsi la réabsorption du sodium par les reins avec pour conséquence un risque de développer une hypertension artérielle. Les conséquences d'une surconsommation en sel sont donc aggravées chez les patients obèses.

En parallèle, plusieurs études confirment la présence d'une hypertension artérielle importante chez la plupart des adolescents en excès de poids<sup>71-72-73-74</sup>.

- **Syndrome métabolique**

Il existe de nombreuses définitions du syndrome métabolique. Il s'agit d'une maladie très complexe qui se caractérise globalement par des troubles glucidiques, lipidiques et vasculaires. De nombreuses études ont retrouvé des anomalies d'élimination du sodium, principalement une réabsorption rénale accrue dans le syndrome métabolique. Ces anomalies d'élimination du sel rendent alors plus sensibles ces personnes aux effets néfastes du sel sur la pression artérielle. Ainsi, une consommation en excès de sel est un facteur de risque très important dans la survenue d'hypertension chez les personnes présentant un syndrome métabolique<sup>75-76-77-78-79</sup>.

- **Diabète et insulino-résistance**

La consommation de sel en excès semble être un facteur de risque important dans la survenue du diabète de type II<sup>80</sup>. Une étude a mis en évidence un pic d'hyperglycémie chez les patients diabétiques recevant des aliments enrichis en sel. Cependant, cette hypothèse n'a pas été confirmée dans une étude suivante<sup>81</sup>.

Un lien a été démontré entre la sensibilité au sel d'une personne et le développement d'une insulino-résistance par plusieurs études<sup>82-83-84-85-86-87-88</sup>.

Un apport sodé important chez des personnes normotendues ou hypertendues dites sensibles au sel engendrerait une hyperinsulinémie et à long terme une résistance à l'insuline sans parler d'une hypertension artérielle.

C'est donc une consommation à long terme d'une alimentation riche en sel chez des patients sensibles au sel qu'il est possible de voir apparaître un diabète de type II ainsi qu'une insulino-résistance.

Une trop courte durée d'exposition au sel pourrait être à l'origine des résultats contradictoires retrouvés par plusieurs études.

Cependant des études sur le long terme doivent encore être menées pour confirmer ces hypothèses.

En conclusion, l'étude Obépi montre un réel problème de nutrition en France. Peu importe le mécanisme par lequel le sel relie les pathologies nutritionnelles avec le développement de l'hypertension artérielle, il paraît évident d'agir pour en réduire sa consommation en excès au plus vite.

Même pour les patients normotendus, une réduction de la consommation de sel reste essentielle en cas d'obésité et de surpoids pour ne pas favoriser le développement de la plaque d'athérome puisque celle-ci semble être proportionnelle à la quantité de sel consommée.

Des études sur une plus longue durée et de préférence dès l'enfance permettraient de confirmer l'effet du sel sur l'obésité, diabète et le développement d'insulino-résistance mais aussi sur le syndrome métabolique.<sup>89-90-91</sup>

## 4 EFFET DU REGIME ALIMENTAIRE DANS LA PREVENTION DE L'HYPERTENSION

### 4.1 Comparaison d'un régime alimentaire primitif à un régime moderne<sup>66</sup>

Plusieurs études suggèrent l'importance de l'alimentation dans la régulation de la pression artérielle.

Le potassium, le calcium et le magnésium semblent être des facteurs alimentaires intervenants dans le contrôle du débit cardiaque et de la résistance vasculaire et donc de la régulation de la pression artérielle.

Un apport faible en potassium, calcium et magnésium, associé à une consommation élevée en sodium, potentialiserait l'augmentation de la pression artérielle.

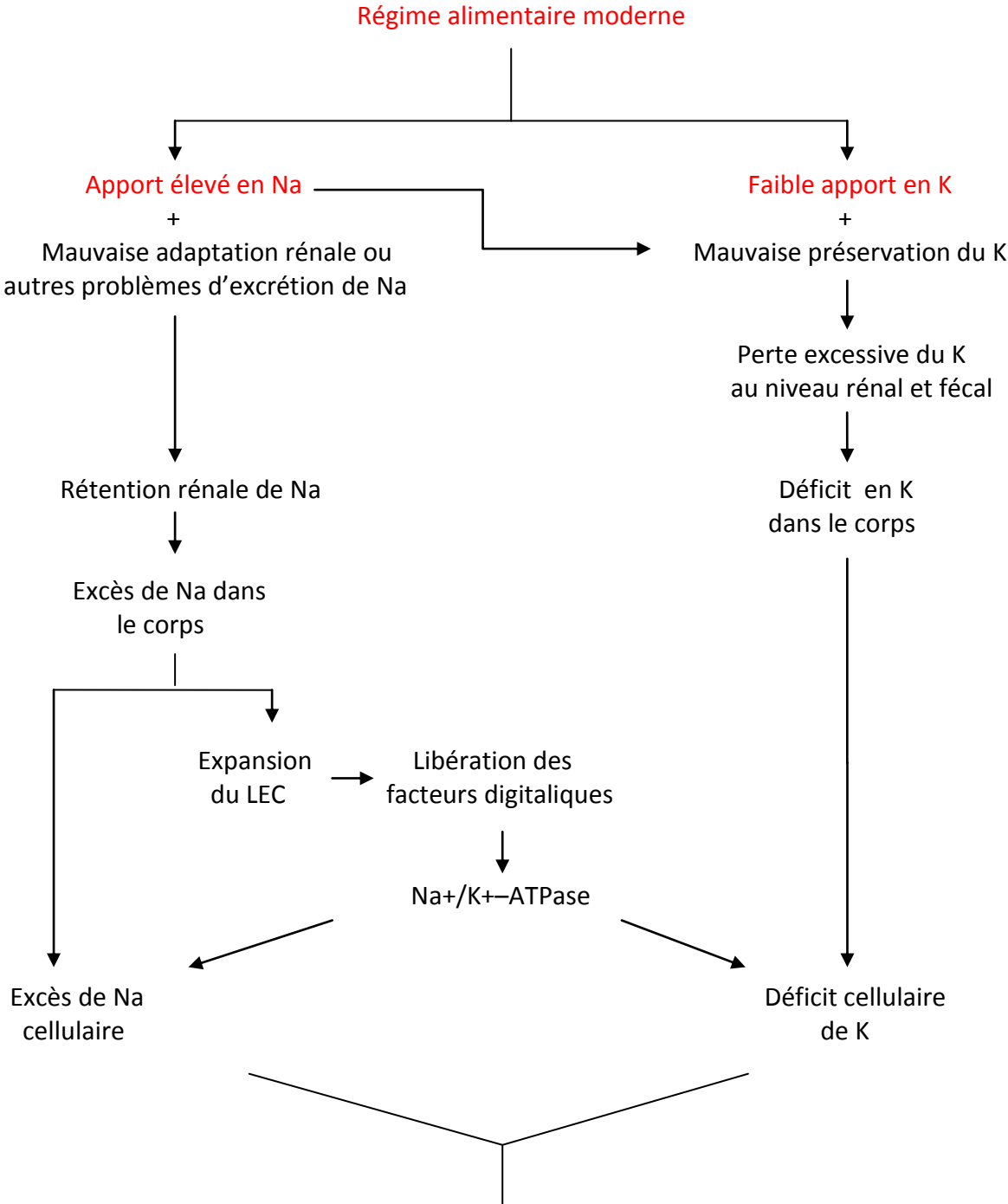
Notre corps serait encore « programmé » pour consommer des aliments non transformés tel que nous les consommions il y a au moins plusieurs centaines d'années. Il ne s'est pas écoulé assez de temps pour que le corps ait pu s'habituer (à travers des mutations) à une consommation de produits industrialisés tels que nous en consommons aujourd'hui. Ce sont ces changements de consommation qui seraient à l'origine de la survenue de l'hypertension chez de nombreuses personnes et les pathologies cardio-vasculaires qui en découlent.

| Régime   | Sodium (mmol/jour) | Potassium (mmol/jour) | Ratio K/Na |
|----------|--------------------|-----------------------|------------|
| Primitif | 20 à 40            | 150 à 290             | > 3 à 10   |
| Moderne  | 80 à 250           | 30 à 70               | < 0,4      |

Tableau 8 : Différence de composition en sodium et potassium d'un régime primitif et d'un régime moderne

Dans les sociétés ayant un régime primitif composé de beaucoup de fruits et légumes, l’hypertension touche uniquement 1% de la population. En effet, leur consommation de potassium, calcium et magnésium est élevée, avec une consommation de sodium faible. Dans les pays industrialisés, la consommation d’aliments transformés apporte peu de potassium (moins de la moitié par rapport au régime primitif) contre beaucoup de sodium (au moins le double) et le bilan d’hypertension est mauvais avec une personne sur trois concernée par l’hypertension. Nous avons donc inversé les consommations de sodium et de potassium. Il n’est pas étonnant que cela soit la cause de l’apparition de l’hypertension artérielle et/ou certaines maladies surtout cardio-vasculaires, mais aussi d’ostéoporose... Cela confirme les recommandations de santé publique préconisant de consommer moins de sel et plus de fruits et de légumes.

Au cours de l’évolution, nos reins se sont habitués à une consommation riche en potassium et faible en sodium (préhistoire) et donc ont conservé cette capacité de rétention du sodium et de l’excrétion du potassium aujourd’hui.



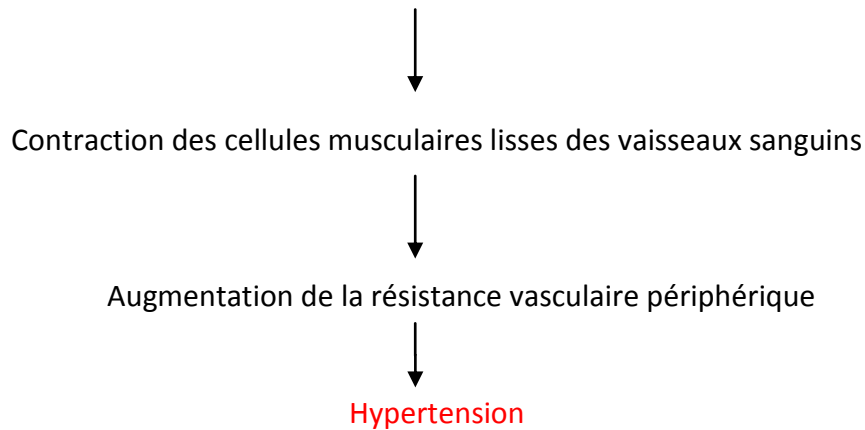


Figure 26 : Interactions entre les apports en sodium et potassium d'un régime moderne avec le rein dans l'apparition de l'hypertension<sup>94</sup>

#### 4.2 Sel et hypertension artérielle

C'est bien connu, nous mangeons trop salé ! Les Français ne dérogent pas à cette règle, en consommant en moyenne 7-10 g/jour de sel. Ceci n'est qu'une moyenne mais les consommations des Français en sel sont très variables d'une personne à l'autre pouvant aller de 3 à 12 g/jour de sel, voire 25 g/jour !

De nombreuses études se sont penchées sur les risques d'une consommation élevée de sel sur la santé, mais aussi l'intérêt d'une réduction de sa consommation sur la pression artérielle. En effet, d'après les résultats des études, l'OMS a émis l'hypothèse qu'une réduction de l'apport en sel des populations mondiales pour atteindre l'objectif de 5g par jour permettrait de réduire significativement la pression artérielle et donc l'incidence des maladies cardio-vasculaire. Ainsi, 2,5 millions de décès par an pourraient être évités.

Diverses méthodes peuvent être utilisées pour suivre la consommation de sel : en analysant les aliments consommés dans la journée (enquêtes alimentaires), en choisissant les aliments consommés par les personnes participant à l'étude (études de portions témoins) mais aussi par prélèvements urinaires des 24h. C'est la dernière méthode qui est la plus précise car elle permet de récupérer dans les urines entre 85 et 90% du sodium ingéré mais elle est contraignante pour les patients et assez coûteuse. Les résultats obtenus par les autres méthodes sont sûrement sous-estimés puisqu'ils ne prennent pas en considération le sel ajouté en cours de cuisson ou à table.

Cependant, les résultats des études peuvent être surévalués ou sous-évalués car la modification de la pression sanguine en réponse à la consommation de sel dépend également des facteurs génétiques, de l'âge, de la masse corporelle, des maladies associées et des facteurs ethniques propres à chacun. Ils peuvent être également biaisés par la consommation d'autres micronutriments comme le calcium, le potassium, le magnésium..., par la pratique d'activité sportive, la consommation de tabac...

De nombreuses études ont mis en évidence l'intérêt d'une réduction de sel sur la pression artérielle que se soit chez l'homme ou chez l'animal, bien qu'un certain nombre d'entre elles restent encore controversées.

#### 4.2.1 Consommation de sel et hypertension chez l'adulte<sup>9</sup>

De nombreuses études ont mis en relation l'excrétion urinaire de sodium de 24 h avec la pression artérielle. Chez les personnes vivant dans les pays en développement, une excrétion urinaire de sodium faible allant de 1 à 10 mmol par jour contre une excrétion forte en potassium allant de 80 à 200 mmol/jour est associée à une faible incidence de l'hypertension artérielle liée à l'âge. Les études de migrants ont permis d'observer une augmentation de la pression artérielle chez les personnes migrants vers des pays plus industrialisés et ce, en seulement quelques mois.

Des populations Kenyane ayant une alimentation traditionnelle séculaire associée à un ratio K<sup>+</sup>/Na élevé, ont vu leur pression artérielle augmenter en arrivant dans le pays d'accueil. Ces études sont en faveur d'une consommation faible en sel associée à une consommation riche de potassium pour permettre le contrôle de la pression artérielle. Des changements d'habitudes alimentaires passant d'une alimentation primitive à une alimentation industrialisée suite à une migration favorisent le développement d'une hypertension.

Les consommations de sel varient de manière importante selon les pays et dépendent des habitudes alimentaires. La figure 27 montre la relation entre consommation en sel selon le pays et la pression artérielle. C'est aux Bahamas que la pression artérielle systolique est la plus élevée (environ 175 mmHg) chez les personnes âgées de 60 à 69 ans avec une consommation de sel allant de 15 à 30 g de sel par jour. Au Portugal, la consommation de 18 g de sel par jour est associée à une PAS moyenne d'environ 155 mmHg. La plus faible pression artérielle (environ 103 mmHg) a été relevée chez les indiens Yanomamo avec une consommation de sel égale à 0,05 g par jour.

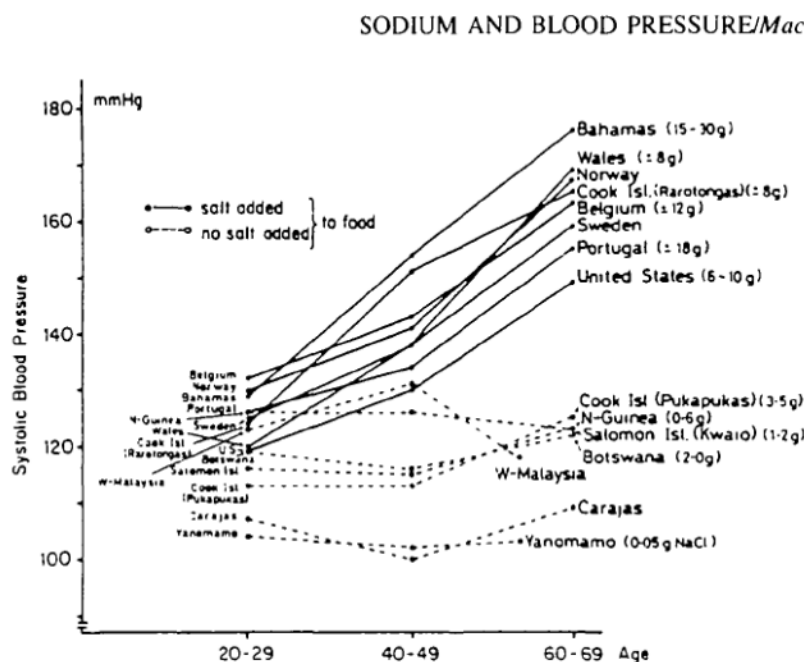


FIGURE 1. Comparative international data on salt intake and blood pressure levels at varying ages. (Adapted from Joossens.<sup>3</sup>)

Figure 27 : Pression artérielle systolique en fonction de l'âge et de la consommation de sel<sup>6</sup>



Une étude réalisée en Chine chez des migrants a comparé la pression artérielle chez des agriculteurs Yi vivant dans des petits villages reculés, à celle de personnes issues de même population Yi mais vivant dans le comté. Les immigrants Yi consommant plus de sodium et moins de potassium que les agriculteurs, avaient un ratio Na/K urinaire plus élevé. L'évolution de la pression artérielle au cours du temps chez les agriculteurs n'a pas évolué alors qu'elle a augmenté chez les immigrants.

L'étude **INTERSALT**, datant de 1988, a permis d'émettre la première corrélation entre l'excrétion urinaire des 24 h et la pression artérielle. Des relevés ont été effectués sur 52 échantillons de population à travers le monde incluant 10 079 personnes provenant de 32 pays, hormis la France. Les personnes incluses dans l'étude étaient âgées de 20 à 59 ans. Les résultats ont mis en évidence que la moitié des hommes consommait entre 8,8 et 11,7 g de sel par jour et 50% des femmes entre 5,9 et 8,8 g par jour ce qui est bien au dessus des recommandations actuelles fixées par l'OMS. Cette étude a mis en évidence des différences d'excrétions de sodium pouvant varier de 0,01 g/jour (indiens Yanomani, Brésil) à 14 g/jour (au nord de la Chine).

Seulement 4 groupes de l'échantillonnage de cette étude avaient de faibles apports en sel (inférieurs à 3 g par jour). Mais surtout une corrélation positive a été identifiée entre l'augmentation de la pression artérielle avec l'âge et la consommation de sel. Par ailleurs, il a été observé qu'une population ayant des apports alimentaires faibles en sodium conservait une tension artérielle basse et qu'elle n'augmentait pas avec l'âge.

En 2006, l'étude **ENNS**<sup>92</sup>, dont les principaux résultats sont présentés dans le tableau ci-dessous, a montré que malgré des consommations de sel au-dessus des recommandations, les PA moyennes étaient correctes, quelque soit l'âge et le sexe. Aucune des valeurs relevées n'étaient au dessus des valeurs limites de 140 mmHg pour la PAS et de 90 mmHg pour la PAD. La population incluse dans l'étude était âgée de 18 à 74 ans et appartenait à des ménages ordinaires (ne font pas partie des ménages ordinaires : les personnes vivant dans des habitations mobiles et la population des communautés : foyers de travailleurs, maisons de retraite, résidences universitaires, maisons de détention... Source : INSEE).

Un effet genre était observé avec une PA plus élevée chez les hommes de tout âge parallèlement à leur consommation en sel qui était également plus élevée. Pour les deux sexes, une hausse de la PA avec l'âge est également rapportée, ce qui peut être la cause d'une consommation excessive de sel au cours de la vie associée à une altération du goût et /ou à un vieillissement de l'appareil circulatoire et/ou une insuffisance rénale.

| Ages               | Hommes                          | Femmes                          | Ensemble                        |
|--------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| <b>18 à 74 ans</b> | PAS = 129 mmHg<br>PAD = 79 mmHg | PAS = 119 mmHg<br>PAD = 76 mmHg | PAS = 124 mmHg<br>PAD = 78 mmHg |
| 18 à 29 ans        | PAS = 117 mmHg<br>PAD = 69 mmHg | PAS = 107 mmHg<br>PAD = 70 mmHg | PAS = 112 mmHg<br>PAD = 69 mmHg |
| 30 à 54 ans        | PAS = 128 mmHg<br>PAD = 81 mmHg | PAS = 116 mmHg<br>PAD = 77 mmHg | PAS = 122 mmHg<br>PAD = 79 mmHg |
| 55 à 74 ans        | PAS = 139 mmHg<br>PAD = 84 mmHg | PAS = 131 mmHg<br>PAD = 80 mmHg | PAS = 135 mmHg<br>PAD = 82 mmHg |

Tableau 9 : Moyennes de pressions artérielles en fonction du sexe et de l'âge

| ADULTES                       | Hommes | Femmes | Ensemble |
|-------------------------------|--------|--------|----------|
| Consommation de sel en g/jour | 9,9    | 7,1    | 8,5      |
| Apport < 6g/jour              | 12,9 % | 41,6 % | 27,25 %  |
| Apport < 8g/jour              | 33,5 % | 73,6 % | 53,5 %   |
| Apport > 12g/jour             | 23,7 % | 4,6%   | 14,1 %   |

Tableau 10 : Estimations des consommations de sel en France en 2006 chez les adultes selon l'Etude ENNS

Après exclusion des patients sous traitement médicamenteux, les chiffres tensionnels moyens ont diminué chez les sujets âgés de 55 à 74 ans. Cela signifie que se sont les sujets qui sont sous traitement qui auraient tendance à faire augmenter les pressions artérielles moyennes. Cette hypothèse est possible sachant que 70% des patients traités par antihypertenseurs n'atteignent pas leur objectif tensionnel.

| Ages               | Hommes                          | Femmes                          | Ensemble                        |
|--------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| <b>18 à 74 ans</b> | PAS = 126 mmHg<br>PAD = 78 mmHg | PAS = 116 mmHg<br>PAD = 75 mmHg | PAS = 121 mmHg<br>PAD = 77 mmHg |
| 18 à 29 ans        | PAS = 117 mmHg<br>PAD = 69 mmHg | PAS = 107 mmHg<br>PAD = 70 mmHg | PAS = 112mmHg<br>PAD = 69 mmHg  |
| 30 à 54 ans        | PAS = 128 mmHg<br>PAD = 81 mmHg | PAS = 115 mmHg<br>PAD = 76 mmHg | PAS = 121 mmHg<br>PAD = 78 mmHg |
| 55 à 74 ans        | PAS = 136 mmHg<br>PAD = 83 mmHg | PAS = 127 mmHg<br>PAD = 79 mmHg | PAS = 131 mmHg<br>PAD = 81 mmHg |

Tableau 11 : Moyennes des pressions artérielles en fonction du sexe et de l'âge, après l'exclusion des patients sous traitement anti-hypertenseurs (ENNS)

L'étude **TOHP I**<sup>93-94</sup> est une des premières grandes études des années 90 à étudier la modification de la pression artérielle suite à une réduction de l'apport en sel chez des personnes de poids normal (cf. tableau 12).

|  | TOHP I intervention<br>(n=327) | TOHP I contrôle<br>(n=417) |
|--|--------------------------------|----------------------------|
| IMC (kg/m <sup>2</sup> )                     | 27                             | 27                         |
| PAS (mmHg)                                   | 124,8 ± 8,5                    | 125,1 ± 8,1                |
| PAD (mmHg)                                   | 83,7 ± 2,7                     | 83,9 ± 2,8                 |
| Excrétion sodique (en mmol/24h)              | 154,6 ± 60,5                   | 156 ± 60,5                 |
| Variation d'excrétion sodique en fin d'étude | -55,2 ± 76,9                   | -11,3 ± 77,7               |

Tableau 12 : Caractéristiques des patients inclus dans l'étude TOHP I<sup>161</sup>

Une éducation des patients sur la consommation de sel a été réalisée sur 3 mois, puis, l'étude a commencé et a duré 18 mois. Au cours de l'étude, il a été noté une réduction moyenne de la consommation de sodium de 44mmol/j (2,6 g de sel). Les mesures de sodium ont été réalisées sur prélèvement de l'excrétion urinaire des 24h.

A la fin de l'étude, la PAS était réduite de 1,7 mmHg et la PAD de 0,8 mmHg. Même si la méthode de récupération des urines des 24h est la méthode la plus fiable, les résultats peuvent être sous-estimés car la capacité d'excrétion urinaire n'est pas la même pour tous et dépend d'un certain nombre de facteur propre à chacun. En tout cas, l'incidence de l'hypertension a pu être réduite de 20%. L'effet semblait être plus important chez les personnes avec un polymorphisme AA qu'avec un polymorphisme GG dans le promoteur du gène codant pour l'angiotensinogène. La substitution d'une base G en A entraînerait une augmentation des taux circulants d'angiotensinogène.

Une restriction de la consommation de sel a pour conséquence de diminuer de manière conséquente la pression artérielle. De plus, nous pouvons élargir les bénéfices à l'apparition de maladies cardio-vasculaires : les patients ayant réduits leur consommation de sel au cours de l'étude ont rapporté moins d'événements cardio-vasculaires.

Le groupe avec « restriction sodée » a mis en évidence une réduction significative de 25% du risque relatif d'événements cardiovasculaires. Après ajustement des données sur le poids et de l'excrétion urinaire de sodium, la réduction du risque relatif atteignait 30 %.

L'étude **TOHP II**<sup>93</sup> a évalué l'intérêt d'une réduction de la consommation de sel chez les personnes en surpoids. (cf. Tableau 13)

|  | TOHP II intervention | TOHP II contrôle |
|--|----------------------|------------------|
| IMC (kg/m <sup>2</sup> )                         | 31                   | 31               |
| PAS (mmHg)                                       | 127,5 ± 6,6          | 127,4 ± 6,2      |
| PAD (mmHg)                                       | 86,0 ± 1,9           | 85,9 ± 1,9       |
| Excrétion sodique (mmol/24h)                     | 182,9 ± 78,4         | 184,5 ± 76,8     |
| Variation d'excrétion sodique fin étude mmol/24h | - 42,5 ± 89          | - 9,8 ± 87,7     |

Tableau 13 : Caractéristiques des patients inclus dans l'étude TOHP II<sup>161</sup>

Pour cette étude, les apports en sodium ont été réduits de 33 mmol/jour (2 g/jour de sel) par rapport au groupe contrôle. Grâce à cette réduction, il a été permis de réduire la PAS de 1,2 mmHg et la PAD de 0,7 mmHg.

Pour les deux études, les réductions obtenues sur les PAS étaient plus significatives que celles obtenues sur les PAD.

L'étude **TONE**<sup>95</sup> (Essai des interventions non pharmacologiques chez les personnes âgées) est un essai randomisé comptabilisant 975 hommes et femmes traités pour leur hypertension. Au bout de 29 mois, le groupe ayant subi une réduction de leurs apports en sel a réduit de 31% le nombre d'hypertension et d'événements cardio-vasculaires. Ainsi, il a été possible de diminuer de moitié les traitements médicamenteux en comparaison au groupe témoin.

Diminuer ses apports en sel aurait plusieurs avantages :

- une diminution de la pression artérielle,
- une diminution des événements cardio-vasculaires,
- une diminution du nombre de traitements,
- une diminution des effets indésirables chez ces personnes âgées souvent polymédicamentées,
- une possible économie pour la sécurité sociale.

Beaucoup d'avantages qui incitent à réduire la consommation de sel chez les personnes âgées.

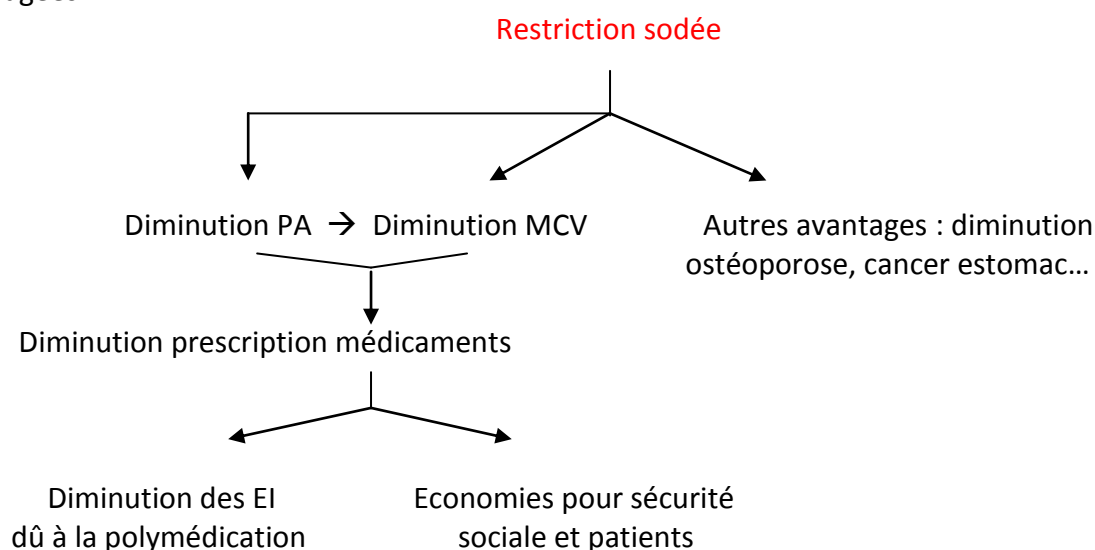


Figure 28 : Bénéfice d'une restriction sodée

Le régime **DASH** (Dietary approaches to stop hypertension) prône une alimentation riche en fruits et légumes, pauvre en matières grasses saturées notamment celles provenant des produits laitiers mais aussi pauvre en sel.

Une étude<sup>6-182</sup> a inclus 412 participants pour évaluer l'intérêt d'une réduction des apports en sodium sur la pression artérielle. Pour cela, les participants se sont vu attribuer un régime au hasard, c'est-à-dire le régime témoin ou le régime DASH, puis ont été suivis pendant 1 mois. Ici la variable est l'apport en sodium qui a été décliné de 3 manières pour chaque type de régime : un apport élevé de 3,3 g par jour (qui est la quantité moyenne consommée par les Américains), un apport intermédiaire de 2,3 g par jour et un apport faible de 1,5 g par jour.

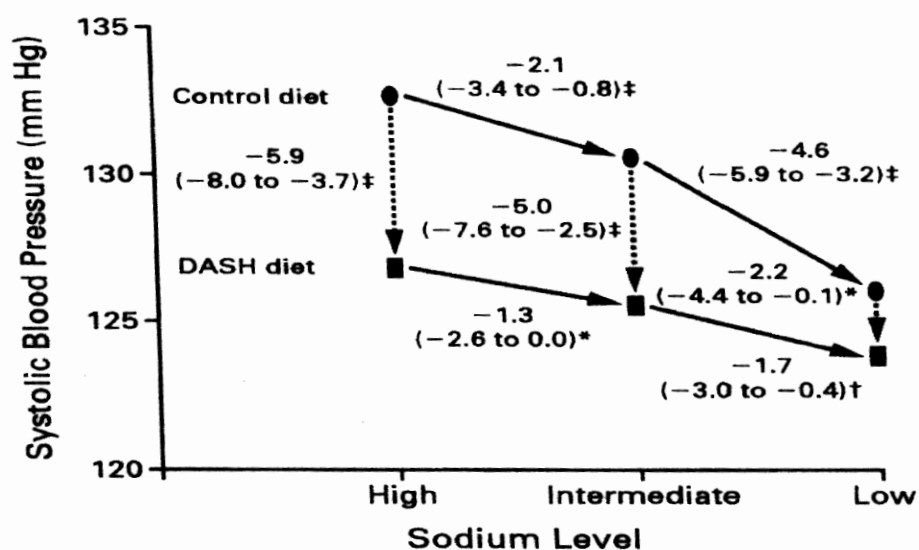


Figure 29 : Evolution de la PAS moyenne en fonction des apports en sodium<sup>182</sup>

Le régime témoin ressemble au régime typiquement Américain, on constate qu'en déclinant ce régime avec 3 apports différents en sodium, on obtient des résultats surprenants.

En effet, le passage d'une consommation de 3,3 g de sodium à 2,3 g a permis de diminuer la PAS en moyenne de 2,1 mmHg. L'effet était encore plus important au cours du passage entre l'apport intermédiaire de sodium(2,3 g) et le niveau faible (1,5 g) où il a estimé en moyenne une diminution de 4,6 mmHg de la PAS. Entre les deux apports extrêmes en sodium, la chute de pression artérielle équivaut à 6,7 mmHg.

En ce qui concerne le régime DASH, les différences de PAS entre les diverses consommations de sel sont moins importantes mais toujours significatives ; -1,3 mmHg entre le niveau le plus haut en sel et le niveau intermédiaire, -1,7 entre le niveau intermédiaire et le niveau le plus faible et en fin -3,0 mmHg entre les extrêmes.

| PAS           | 3,3 g → 2,3g de sodium | 2,3 g →1,5 g de sodium | 3,3 g →1,5 g de sodium |
|---------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| Régime témoin | - 2,1 mmHg             | - 4,6 mmHg             | -6,7 mmHg              |
| Régime DASH   | -1,3 mmHg              | -1,7 mmHg              | -3,0 mmHg              |

Tableau 14 : Différence de PAS entre les différents apports en sodium en fonction du régime

Les personnes sous régime DASH, quelque soit le niveau de sodium, avaient toujours une PAS plus faible qu'avec le régime témoin. En effet, pour un apport de 3,3 g de sodium, la différence de PAS entre les deux régimes était de 5,9 mmHg, 5,0 mmHg pour un apport de 2,3 mg de sodium et 2,2 mmHg pour un apport de 1,5 g de sodium.

| PAS          | 3,3 g de Na | 2,3 g de Na | 1,5 g de Na |
|--------------|-------------|-------------|-------------|
| Témoin /DASH | 5,9 mmHg    | 5,0 mmHg    | 2,2 mmHg    |

Tableau 15 : Différence de PAS entre le régime témoin et le régime DASH en fonction des différents apports en sodium

Pour les PAD, les différences de pressions évoluent de la même manière que pour les PAS mais de moindre manière. Pour le régime témoin, on observe une réduction de 3,5 mmHg entre la consommation de 3,3 g de Na et 1,5 g alors que pour le régime DASH on obtient une réduction de 2,5 mmHg.

| PAD           | 3,3 g →1,5 g de Na |
|---------------|--------------------|
| Régime témoin | - 3,5 mmHg         |
| Régime DASH   | - 2,5 mmHg         |

Tableau 16 : Différence de PAD entre les différents apports en sodium en fonction du régime

| PAD          | 3,3 g de Na | 1,5g de Na |
|--------------|-------------|------------|
| Témoin /DASH | - 2 mmHg    | - 1 mmHg   |

Tableau 17 : Différence de PAD entre le régime témoin et le régime DASH en fonction des différents apports en sodium

L'effet sur la pression artérielle était plus important en comparant le régime témoin avec 3,3 g de sodium et le régime DASH avec 1,5 g de sodium. On obtient alors une réduction moyenne de la PAS et de la PAD de respectivement 8,9 mmHg et 4,5 mmHg.

La réduction des apports en sodium est donc capable de baisser de manière significative la pression artérielle. De plus l'effet sur la pression artérielle est dose dépendant puisqu'il augmente avec une réduction de plus en plus importante de sodium. L'effet est également plus important lorsqu'il s'agit d'une personne consommant beaucoup de sodium à la base et/ou ayant une pression artérielle importante à l'origine.

Les effets sur la pression artérielle sont attendus chez les patients normotendus comme chez les patients hypertendus mais dans de moindre mesure.

Cependant pour obtenir un effet maximum sur la pression artérielle, il semble nécessaire de combiner le régime DASH riche en fruits et en légumes avec le plus faible apport en sodium (1500mg) chez une personne ayant à la base un régime proche du régime témoin. Le régime DASH semble potentialiser l'effet du sel sur la pression artérielle probablement par son apport en minéraux à travers les fruits et légumes et les produits laitiers. (cf : DASH page 83)

Le régime DASH est un régime contraignant difficile à réaliser au quotidien. Il suffirait déjà d'associer des apports faibles en sel (en évitant les aliments les plus salés) avec une consommation enrichie en fruits et légumes et en produits laitiers faibles en matières grasses. Cette recommandation doit s'appliquer chez toutes les personnes, qu'elles soient hypertendus ou non. Il ne faut pas attendre de développer une hypertension pour commencer à faire attention.

Pour les personnes avec une pression artérielle élevée, les médicaments peuvent se révéler indispensables mais une prise en charge nutritionnelle (sodium réduit et consommation régulière de fruits et de légumes) permettrait éventuellement de diminuer le nombre de traitements car les médecins ont souvent recours à une polymédication pour obtenir des chiffres tensionnels corrects. Dans tous les cas, une baisse de pression artérielle ne ferait que potentialiser l'action des médicaments.

Toutefois le régime devra s'accompagner d'une activité physique régulière et une diminution de la consommation d'alcool, tabac...etc. Ce régime alimentaire pourra favoriser la perte de poids puisqu'il est pauvre en matière grasses saturées et riche en fruits et légumes. De plus la réduction de la consommation de sel a montré des effets intéressants sur la perte de poids.<sup>96</sup>

#### **4.2.2 Consommation de sel et hypertension chez l'enfant**

L'étude NDNS (National Diet and Nutrition Survey) a révélé que l'usage excessif de la salière à table et en cuisine augmente la pression artérielle chez les enfants.

1 658 enfants âgés de 4 à 18 ans ont été suivis d'après un journal alimentaire tenu sur une durée de 7 jours (le sel ajouté à table et en cuisine n'a donc pas été pris en compte).

A l'âge de 4 ans, la consommation moyenne de sel était de 4,7 g/j et atteignait 6,8 g/j à l'âge de 18 ans ; ce qui est supérieur aux recommandations qui préconisent un maximum de 3 g de sel par jour à l'âge 4 ans et 5g par jour pour un jeune adulte.

La consommation d'1 g de sel supplémentaire chez un enfant a été associée à une augmentation de + 0,4 mmHg pour la PAS et de + 0,6 mmHg pour la PAD. Ces observations suggèrent qu'il serait possible chez ces enfants de diminuer leur pression artérielle moyenne

de 0,8 mmHg pour la PAS et de 1,6 mmHg pour la PAD puisque leur consommation moyenne de sel sont de 2 g au dessus des recommandations.

Une autre étude réalisée en double-insu chez environ 500 bébés dont l'apport en sel a été réduit de 30% a permis d'établir une réduction significative de la pression artérielle. Les effets de la réduction des apports ont été évalués par la mesure des concentrations urinaires en sodium. Après 6 mois d'intervention, les nouveau-nés appartenant au groupe ayant reçu des apports faibles en sel, ont eu une diminution de leur PAS de 2,1 mmHg. Ces enfants ont également été suivis jusqu'à l'âge de 15 ans et il s'avère que les bébés ayant reçu des apports réduits en sodium au cours de leurs 6 premiers mois avaient une pression significativement plus basse que ceux ayant reçu une alimentation classique. Cette étude suggère que l'exposition au sel pendant la toute petite enfance joue un rôle important dans la survenue d'hypertension avec l'âge<sup>161</sup>.

### 4.3 Potassium et hypertension artérielle<sup>97</sup>

Le potassium de l'alimentation a été associé de manière dose-dépendante à une inhibition de la sensibilité au sel.

Soumis à un régime faible en potassium correspondant à 30 mmol/jour, les résultats d'une étude<sup>98</sup> ont identifié 36% des personnes blanches et 79% des personnes noires comme sensibles au sel. Pour atteindre 20% de sensibilité dans les deux groupes, une supplémentation de bicarbonate de potassium atteignant 90 mmol était nécessaire pour les personnes noires alors qu'il suffisait de 40 mmol pour les personnes blanches.

Le potassium serait donc capable de supprimer ou de diminuer la sensibilité au sel chez les personnes hypertendues comme chez les personnes normotendues.

Une méta-analyse<sup>98</sup> regroupant 33 essais randomisés a montré qu'une consommation accrue de potassium était capable de réduire de manière significative la pression artérielle chez des sujets normotendus, mais surtout chez les sujets hypertendus. Avec une consommation supérieure à 60 mmol par jour de potassium, la pression artérielle pourrait diminuer respectivement de 1,8 mmHg et de 1,0 mmHg pour la PAS et la PAD. Chez les personnes hypertendues, il a été obtenu une réduction moyenne de la PAS de 4,4 mmHg et de 2,5 mmHg pour la PAD.

L'effet du potassium sur la pression artérielle a été reconnu plus grand chez les personnes consommant le plus de sel ainsi que chez les personnes noires.

Plusieurs études ont révélé un bénéfice de l'apport en potassium sur la pression artérielle<sup>99-100-101</sup>.

L'étude INTERSALT a ainsi mis en évidence qu'une réduction de 50 mmol de potassium était associée à une augmentation de la PAS de 3,4 mmHg et de 1,9 mmHg pour la PAD.

Les résultats statistiques étaient plus significatifs en prenant en compte le ratio K/Na plutôt que chacun des minéraux séparément. Il a été également constaté que l'impact de ce ratio était plus important chez les personnes de races noires que chez celles de race blanche et parallèlement, qu'une consommation faible en potassium chez les personnes noires était associée à une augmentation de la prévalence de l'hypertension.

Le risque d'hypertension artérielle est clairement admis chez les populations noires. L'étude County, a rapporté une plus faible excrétion urinaire de potassium chez ces populations noires (24 mmol/jour) par rapport aux populations blanches (40 mmol par jour)<sup>102</sup>.



Les résultats des études cliniques montrent une augmentation de la PAS de 6 mmHg et de la PAD de 4 mmHg chez des personnes normotendues avec une consommation faible en potassium d'environ 10 à 16 mmol par jour et une consommation habituelle de sodium soit entre 120 et 200 mmol.

Les effets sont plus importants chez les sujets hypertendus avec une augmentation de la PAS de 7 mmHg et de 6 mmHg pour la PAD<sup>98-103</sup>.

Une étude<sup>104</sup> a comparé l'effet d'un régime alimentaire enrichi en potassium (groupe 1 ayant reçu des conseils diététiques pour augmenter ses apports en potassium) avec un régime alimentaire habituel (groupe 2 n'ayant pas modifié leurs habitudes alimentaires) chez des personnes hypertendues. Après un an d'étude, il a été possible de contrôler la pression artérielle de 81% des personnes du groupe 1 avec moins de la moitié des traitements d'origines contre 29% des personnes du groupe 2. Cette diminution du nombre de traitements a donc permis au groupe 1 de réduire le nombre d'effets indésirables.

Une autre étude<sup>105</sup> rapporte une baisse significative de la pression artérielle atteignant 6 mmHg pour la PAS et 4 mmHg pour la PAD par rapport à la pression de base, avec une supplémentation de 22 mmol de KCl par jour, pour une durée de 6 semaines.

| Période        | Pression artérielle | Groupe supplémenté | Groupe placebo |
|----------------|---------------------|--------------------|----------------|
| Semaines 0 à 3 | PAS                 | 0,98               | 0,30           |
|                | PAD                 | 2,53               | 1,58           |
| Semaines 3 à 6 | PAS                 | 5,23               | 1,08           |
|                | PAD                 | 1,48               | 0,87           |
| Semaines 0 à 6 | PAS                 | 6,22               | 1,38           |
|                | PAD                 | 4,02               | 2,45           |

Tableau 18 : Réduction de la pression artérielle chez un groupe supplémenté en potassium en comparaison à un groupe ayant reçu un placebo

Différentes méta-analyses<sup>106</sup> ont admis une réduction de la pression artérielle par la consommation de potassium.

Par exemple, l'étude menée par CAPPuccio et MAC GREGOR a inclus 19 essais cliniques et a permis de trouver un abaissement de la pression artérielle de 5,9 mmHg pour la PAS et de 3,4 mmHg pour la PAD et ce par l'effet d'une supplémentation en potassium.

Mais une méta-analyse récente dirigée par DICKINSON et ses collaborateurs a abouti à une réduction de la PAS de 3,9 mmHg et de la PAD de 1,5 mmHg qui n'était pas significative.

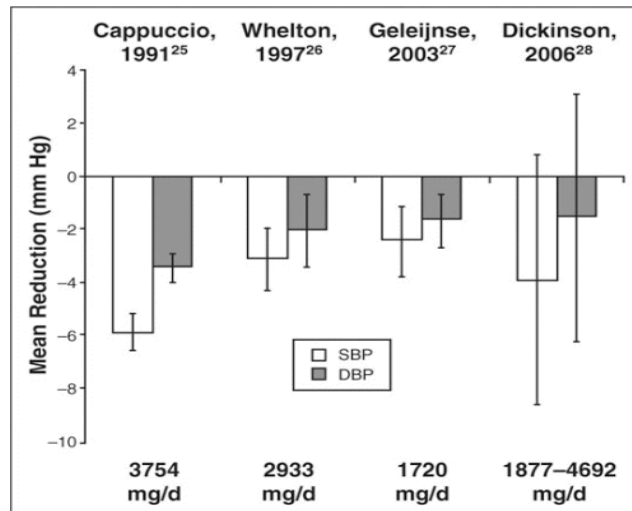


Figure 30 : Effet moyen obtenu sur la pression artérielle pour différentes études

Le bénéfice du potassium sur la pression artérielle semble être dose-dépendant et correspondrait à une réduction de la PAS de 1,0 mmHg et de 0,52 mmHg pour la PAD pour chaque augmentation de 0,6 mg de potassium à l'alimentation. Ces résultats seraient même indépendants de la consommation de base de potassium.

En moyenne, il a été mis en évidence une réduction de 8,0 mmHg pour la PAS et de 4,1 mmHg pour la PAD avec une consommation moyenne de 4,7 g soit 120 mmol de potassium journalière. Cependant avec des apports potassiques équivalents, l'effet hypotenseur était plus marqué chez les personnes noires et chez les personnes consommant en parallèle plus de sodium (plus de sel). De plus le potassium serait capable, indépendamment de son effet sur la pression artérielle de diminuer le risque de survenue des AVC. 4,7 g par jour de potassium permettraient de diminuer de 15% le risque d'AVC et de 6 à 11% le risque de survenue d'IM (infarctus du myocarde)<sup>107</sup>.

#### 4.4 Calcium et hypertension

A défaut du calcium, ce sont les effets des produits laitiers sur la pression artérielle qui ont été étudiés au cours des études d'observation.

##### - Produits laitiers

Une méta-analyse<sup>108</sup> a permis de mettre en évidence une relation entre la consommation de produits laitiers et la pression artérielle. Il semblerait qu'une consommation journalière de 100 mg de produits laitiers permet de réduire en moyenne la pression artérielle de 0,39 mmHg pour la PAS et de 0,35 mmHg pour la PAD. Pour les hommes, les résultats étaient respectivement de -0,34 mmHg et -0,22 mmHg et pour les femmes de -0,15 mmHg et -0,051 mmHg.

Ces résultats restent toutefois très faibles. L'effet hypotenseur aurait peut être été plus grand avec la consommation de produits laitiers faibles en matière grasse végétale.

|            | Hommes | Femmes | Hommes et Femmes |
|------------|--------|--------|------------------|
| PAS (mmHg) | 0,34   | 0,15   | 0,39             |
| PAD (mmHg) | 0,22   | 0,051  | 0,35             |

Tableau 19 : Réduction de la pression artérielle pour 100 mg de produits laitiers par jour

L'étude NHANES III <sup>109</sup> a permis d'établir une corrélation inverse entre la consommation de calcium et la pression artérielle systolique en fonction de l'âge. Il y aurait un effet à long terme du calcium sur la pression artérielle <sup>110</sup>.

Une étude d'intervention <sup>111</sup> réalisée sur 662 enfants de 8 à 11 ans rapporte qu'un apport journalier de calcium de 331 mg pourrait baisser la PAS de 0,93mmHg et la PAD de 0,50 mmHg.

Une étude prospective de cohorte a étudié l'effet d'une consommation de produits laitiers sur l'incidence de l'hypertension artérielle chez les personnes âgées Néerlandaises. Sur 2245 participants, 664 cas après 2 ans ont développé une hypertension. Le risque de développer une hypertension est inversement associé de manière significative à la consommation de produits laitiers. Cette association concerne les produits laitiers avec peu de matière grasse car les produits laitiers à forte concentration en matière grasse et les fromages n'ont pas été associés à l'hypertension. Une prise de produits laitiers avec un apport faible en gras serait en mesure de prévenir la survenue d'hypertension chez les personnes âgées.

Après 6 ans, 984 personnes ont développé une hypertension, ces résultats ont permis de montrer une possible diminution d'environ 20% de développer une hypertension avec la consommation de produits laitiers (pauvre ou non en gras) entre les personnes ayant un apport en produits laitiers allant de 164 g/jour et ceux consommant 691g/jour. Il est nécessaire de se demander si cette diminution du risque de développer une hypertension est due au calcium ou à d'autres composants présents dans les produits laitiers (ex : protéines, acides gras saturés...etc) <sup>112</sup>.

D'autres études confirment le rôle des produits laitiers dans la réduction de la pression artérielle avec des résultats similaires. L'une d'elle a permis de réduire de 50% la survenue d'hypertension chez des personnes étant habituées à un régime alimentaire de type méditerranéen, grâce à une consommation riche en produits laitiers faibles en matière grasse. Cependant, aucun bénéfice significatif ne semble avoir été trouvé pour les produits laitiers avec matières grasses.

De la même manière, un régime alimentaire enrichi en produits laitiers, sans exclusion du fromage, a été associé à une diminution du risque d'apparition de syndrome métabolique à long terme et à une diminution de la pression artérielle <sup>113-114</sup>.

En recherchant l'effet du calcium sur la pression artérielle chez des femmes en surpoids ou obèses, une étude a permis de découvrir que ce micronutriment était également capable d'améliorer la perte de poids. Cet effet est à l'origine de l'engouement des études sur le calcium et le contrôle du poids <sup>183</sup>.

## - Compléments alimentaires de calcium

Une méta-analyse<sup>115</sup> incluant des essais de 1966 à 1994 s'est intéressée à l'effet sur la pression artérielle des suppléments en calcium sur 2412 personnes. Il en résulte une baisse de la PAS et de la PAD de respectivement 1,27 mmHg et de 0,24 mmHg. Les suppléments en calcium seraient en mesure de réduire la PAS de manière modeste mais pas de modifier significativement la PAD.

Une autre méta-analyse<sup>116</sup> a établi une relation entre la supplémentation orale de calcium et la réduction de la pression artérielle. Les réductions sont également modestes avec – 1,44 mmHg pour la PAS et – 0,84 mmHg pour la PAD. Cette analyse n'a pas mis en évidence une différence significative d'effets entre la supplémentation en calcium provenant de l'alimentation ou de compléments alimentaires alors qu'un plus grand effet sur la pression artérielle est généralement retrouvé dans les études utilisant des produits laitiers faibles en matière grasse comme supplémentation en calcium.

Une méta-analyse<sup>111-117</sup> incluant 40 essais contrôlés randomisés et regroupant 2492 adultes, dans laquelle les doses de calcium reçues par les personnes allaient de 335 à 2000 mg avec une moyenne de 1 g par jour, rapporte une diminution moyenne de la pression artérielle de 1,9 mmHg pour la PAS et 1,0 mmHg pour la PAD. Chez les personnes consommant initialement moins de 800 mg/jour de calcium, la supplémentation a permis une baisse de pression artérielle de 2,6 mmHg pour la PAS et 1,3 mmHg pour la PAD. Le plus grand effet sur la pression artérielle avec une diminution de 10 mmHg pour la PAS et 5 mmHg pour la PAD a été observé sur une population asiatique consommant à la base peu de calcium (soit < 600mg).

Toutefois les suppléments calciques ne seraient pas dénués de risques et une consommation régulière de calcium par l'intermédiaire de compléments alimentaires pourrait augmenter le risque d'infarctus<sup>118</sup>.

Cette étude chez des femmes ménopausées a mis en évidence une diminution de 31% du risque d'attaque cardiaque par une supplémentation en calcium. En revanche, celles utilisant régulièrement des compléments alimentaires, avait un risque augmenté de 86% d'avoir une attaque cardiaque et ce risque était potentialisé chez celles consommant peu de vitamine D.

### **4.5 Magnésium et hypertension**

Au cours des années 70, une étude a permis de mettre en évidence une relation entre la dureté de l'eau et la pression artérielle. Cette étude a suggéré que le magnésium pourrait être en lien avec la baisse de pression artérielle observée. D'autres études ont établi une relation inverse entre la dureté de l'eau (sa richesse en calcium et magnésium) et l'apparition de pathologies cardio-vasculaires<sup>119-120</sup>.

Un certain nombre d'études ont établi une relation entre un apport insuffisant en magnésium et un risque accru d'augmentation de la PAS et de la PAD.

Parmi de nombreux éléments nutritifs tel que le calcium, le potassium, le phosphore, la vitamine C, la vitamine D mais aussi les fibres et les protéines végétales, le magnésium

semble être le plus apte à faire diminuer la pression artérielle d'après une étude réalisée par JOFFRES et al<sup>121</sup>.

Une étude a suivi l'évolution de 28 349 femmes appartenant aux professionnels de santé dont la pression artérielle était normale. Sur une durée de 9,8 ans, 8 544 femmes ont développé une hypertension. Les apports en magnésium de chaque femme ont été estimés sur la base de questionnaire alimentaire. Les résultats mettent en relation la survenue d'hypertension avec une consommation faible en magnésium. En effet, les femmes consommant environ 256 mg/jour de magnésium en moyenne avaient plus de risque de développer une hypertension que celles qui consommaient environ 434 mg/jour. Une consommation élevée et régulière de magnésium serait en mesure de protéger de manière raisonnable la survenue d'hypertension<sup>122</sup>.

Une méta-analyse<sup>120</sup> a réuni 20 essais randomisés contrôlés avec uniquement des études concernant le magnésium seul et non pas associé à d'autres minéraux. Une supplémentation moyenne en magnésium de 15,4 mmol/jour (variant de 10 à 40 mmol/jour) a été faite chez 1220 personnes âgées de 13 à 65 ans.

Il en ressort une réduction faible mais significative de 0,6 mmHg pour la pression artérielle systolique et de 0,8 mmHg pour la pression artérielle diastolique. En limitant l'analyse aux 16 études réalisées en double aveugle, il a été possible d'obtenir une baisse de la PAS de 3,4 mmHg et de 2 mmHg pour la PAD avec une augmentation de 10 mmol/jour de magnésium. Ensuite, en limitant l'étude aux patients hypertendus, il a été obtenu une baisse de la PAS atteignant 3,3 mmHg et 2,3 mmHg pour la PAD pour une même augmentation en magnésium (10 mmol/jour).

Cette analyse montre qu'il est nécessaire de supplémenter les patients avec des doses importantes de magnésium pour avoir un effet plus important sur la pression artérielle.

Une autre méta-analyse<sup>121</sup> regroupant 141 articles dont le suivi allait de 3 à 24 semaines et dont la dose de magnésium allait de 120 à 973 mg a également permis de conclure à un effet significatif du magnésium sur la pression artérielle.

Pour une consommation moyenne de 410 mg/jour, tout essai confondu, s'associe à une diminution de la pression artérielle systolique de 3 à 4 mmHg et diastolique de 2 à 3 mmHg. Les résultats ont été potentialisés avec une consommation de magnésium supérieur à 370 mg/jour.

De manière cohérente avec d'autres études<sup>112</sup> réalisées sur des enfants, une étude d'intervention alimentaire sur 662 enfants âgés entre 8 et 11 ans a permis de mettre en évidence la capacité des micronutriments à réduire la pression artérielle.

Un apport de 65 mg par jour de magnésium permettrait une diminution de la PAS de 0,91 mmHg et de la PAD de 0,72 mmHg.

#### **4.6 Association de micronutriments**

Si l'effet du calcium, du magnésium et du potassium indépendamment les uns des autres n'ont toujours pas montré d'effet sur la pression artérielle. Peut-être que la combinaison de minéraux est nécessaire pour avoir un effet plus significatif sur la pression artérielle ?

Une étude a mis en évidence une corrélation significative entre l'augmentation du rapport Ca/Mg dans la membrane des hématies et l'élévation de la pression artérielle. La détérioration de la membrane des globules rouges par un rapport Ca/Mg élevé pourrait être un facteur influençant la survenue de l'hypertension chez ces patients<sup>123</sup>.

Un régime alimentaire correspondant à un ratio faible K/Na (riche en sel et pauvre en potassium) est associé à une rétention de sodium et à une augmentation de la pression artérielle correspondant à 6 mmHg pour la PAS et 4 mmHg pour la PAD chez les patients ayant une pression artérielle de base correcte. Chez les patients hypertendus, la PAS a été augmentée de 7 mmHg et de 6 mmHg pour la PAD<sup>98-110</sup>.

Une alimentation primitive avec un rapport K/Na important est associée à une faible incidence de l'hypertension alors qu'une alimentation transformée de type industrielle avec un rapport K/Na faible favorise l'apparition de l'hypertension comme le montre le tableau ci-dessous<sup>98</sup>.

| Population         | Rapport K/Na | Hypertension |
|--------------------|--------------|--------------|
| Non industrialisée | > 3          | < 1%         |
| Industrialisée     | < 0,4        | Environ 33%  |

Tableau 20 : Rapport K/Na et hypertension

Une étude chez les enfants a analysé 8 ans de données de l'effet sur la pression artérielle d'une consommation de fruits et légumes et de produits laitiers.

Il en résulte une pression artérielle plus faible chez les enfants qui consommaient plus de fruits et légumes (4 portions ou plus) et de produits laitiers (2 portions ou plus) par jour avec une PAS moyenne de 106 mmHg ( $\pm$  2,9). La différence entre les deux groupes était de 7 mmHg puisque le groupe consommant moins de fruits et légumes et de produits laitiers avait une pression moyenne de 113 mmHg ( $\pm$  1,5). Les enfants ayant consommé des quantités plus importantes d'aliments d'un seul et même groupe (fruits et légumes ou produits laitiers) avaient une pression artérielle moyenne intermédiaire. Quant aux effets sur la PAD, les résultats trouvés étaient assez faibles.

C'est bien la combinaison d'un régime riche en fruits et légumes mais aussi en produits laitiers qui permet d'avoir un effet préventif optimum dans la survenue d'HTA avec l'âge<sup>124</sup>.

- **Etudes expérimentales**

Une étude<sup>125</sup> sur 48 rats hypertendus a permis de tester, sur une durée de 13 semaines, l'intérêt d'une supplémentation en calcium seule ou en magnésium seule ou la combinaison des deux sur l'hypertension.

Il en résulte une baisse de pression artérielle avec le calcium seul, mais aussi avec la combinaison des deux. En revanche, la supplémentation seule de magnésium n'a pas permis de baisse de la PAM (Pression Artérielle Moyenne) chez ces rats hypertendus.

|            | SHR     | Ca-SHR  | CaMg-SHR | Mg-SHR  | WKY     |
|------------|---------|---------|----------|---------|---------|
| PAM (mmHg) | 223 ± 4 | 212 ± 2 | 211 ± 3  | 225 ± 2 | 143 ± 3 |

Tableau 21 : Pression artérielle moyenne obtenue dans chacun des groupes

SHR = Rats hypertendus

Ca-SHR = Supplémentation en calcium chez les rats SHR

CaMg-SHR = Supplémentation simultanée en calcium et magnésium chez les rats SHR

Mg-SHR = Supplémentation en magnésium chez les rats SHR

WKY = Rats normotendus Wistar-Kyoto

Un régime riche en calcium renforce l'excrétion du magnésium dans les urines. Un régime riche en magnésium augmente un peu l'excrétion du magnésium dans les urines.

- **Chez l'homme**

- NHANES III

L'étude NHANES III<sup>110</sup> s'est intéressée aux grands facteurs alimentaires capables d'agir sur l'apparition d'une hypertension artérielle avec l'âge.

17030 personnes de plus de 20 ans ont participé à cette étude. Des analyses univariées et multivariées ont été réalisées.

Les apports de l'échantillon en sodium étaient élevés, alors que les apports en potassium étaient faible en comparaison aux recommandations. Les Afro-Américains consomment en moyenne plus de sodium et moins de potassium, calcium et magnésium.

Une PAS et PAD faibles ont été associées à une augmentation de la consommation de calcium, magnésium et potassium.

| Minéraux  | Effet sur la pression artérielle |            |
|-----------|----------------------------------|------------|
|           | PAS (mmHg)                       | PAD (mmHg) |
| Sodium    | NS                               | NS         |
| Potassium | - 0,8                            | - 0,6      |
| Na/K      | NS                               | NS         |
| Magnésium | - 6,3                            | - 2,5      |
| Calcium   | - 1,6                            | - 2,2      |

Tableau 22 : Effet des minéraux sur la pression artérielle (NHANES III)

Il existe une association entre le calcium et les protéines telle que le calcium augmenterait l'effet des protéines sur la PAS alors que le potassium serait capable de contrer leur effet.

L'étude NHANES III est en faveur d'une consommation riche en potassium et en calcium ainsi qu'une diminution de la consommation de sodium, protéines et alcool pour réduire la pression artérielle.

- L'étude DASH

Le régime DASH est basé sur une alimentation saine et équilibrée. Il est composé de fruits et légumes, de produits laitiers faibles en matière grasse, de volailles, de poissons, de noix et de graines. En revanche, il contient des quantités faibles de viandes rouges, de sucreries et de graisses saturées.

En terme de minéraux, le régime DASH est enrichi en potassium, calcium et magnésium et pauvre en sodium.

Le graphique suivant permet de comparer les apports en minéraux des différents types de régimes.

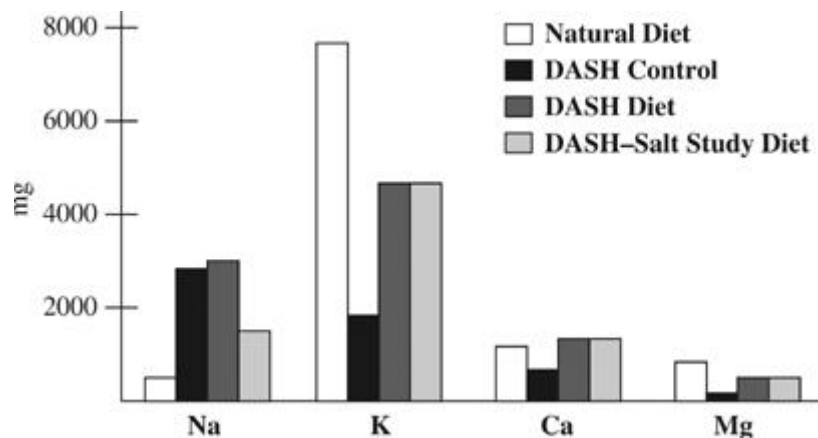


Figure 31 : Compositions en minéraux des différents régimes DASH en comparaison à un régime alimentaire primitif.<sup>126</sup>

Le « Natural Diet » correspond à une alimentation primitive telle que les humains consommaient avant l'industrialisation (beaucoup de fruits et légumes et peu de sodium)

Le « DASH Control » correspond au groupe témoin, ce régime est donc basé sur une alimentation représentative de la population Américaine.

Le « DASH Diet » signifie le régime DASH tel qu'il a été décrit précédemment.

Le « DASH-Salt Study Diet » est une étude basée sur l'intérêt d'un apport faible en sel sur la pression artérielle, le régime est donc identique au régime DASH mais plus appauvri en sel.

L'étude DASH<sup>127</sup> comprenait 459 participants. Parmi ces participants, 72 étaient diagnostiqués comme étant au stade I de l'hypertension systolique isolée ( $140 < \text{PAS} < 159$ ). Ces 72 personnes ont reçu pendant 3 semaines, une alimentation semblable à celle des américains types (régime contrôle). Après ces 3 semaines sous le régime contrôle, les personnes ont suivi au hasard soit le régime « Natural Diet », soit le régime « DASH Control » soit le régime « DASH Diet » pendant 8 semaines. Les mesures de la PAS ont été relevées au début et à la fin de l'intervention. Les résultats de l'étude confirment l'intérêt de la consommation du régime Dash dans la diminution de la pression artérielle<sup>127</sup>. Des différences de PAS ont été établies entre les deux régimes d'interventions et le régime contrôle. Avec le régime riche en fruits et en légumes, une réduction de 3,2 mmHg a pu être observée en comparaison au régime contrôle mais la réduction la plus importante a été observée avec le régime DASH qui a permis une réduction de 11,2 mmHg sur la PAS.



| Régime                     | PAS (8 semaines) |
|----------------------------|------------------|
| Riche en Fruits et légumes | 3,2 mmHg         |
| DASH                       | 11,2 mmHg        |

Tableau 23 : Différence de pression artérielle systolique (PAS) moyenne en comparaison avec le régime contrôle

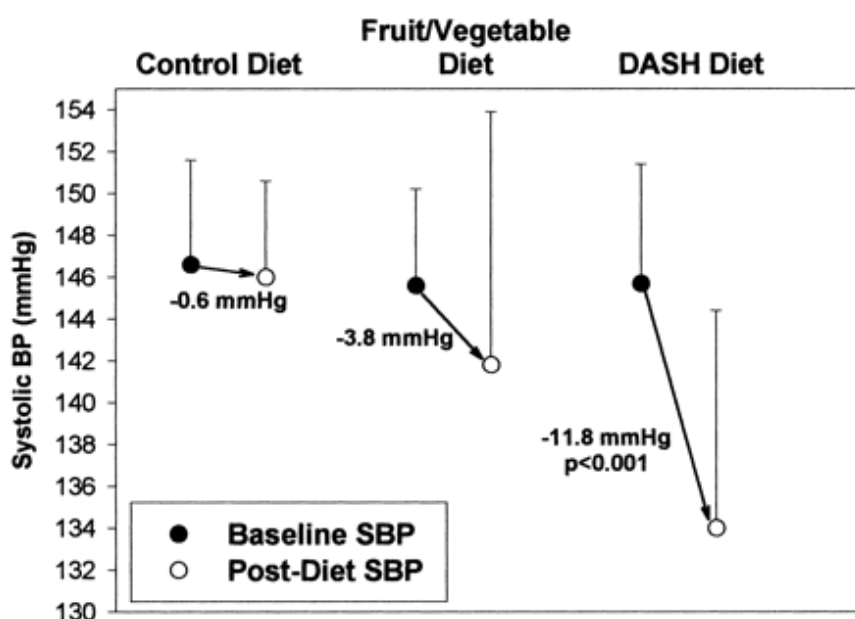


Figure 32 : Effet sur la PAS des différents régimes

La mesure ambulatoire de 24 h a permis d'observer une réduction de la PAS chez 24% des personnes appartenant au régime contrôle contre 50% avec le régime riche en fruits et légumes et 78% pour le régime DASH.

| Régime                     | PAS < 140 mmHg (24h ambulatoire) |
|----------------------------|----------------------------------|
| Contrôle                   | 24%                              |
| Riche en Fruits et légumes | 50%                              |
| DASH                       | 78%                              |

Tableau 24 : Pourcentage de personnes ayant obtenu une diminution de la PAS par mesure ambulatoire.

- Le régime DASH a été comparé à un régime typique Américain sur une durée de 11 semaines chez 379 patients. Ce régime a permis une réduction de l'ordre de 3,5 mmHg pour la PAS et de 2,1 mmHg pour la PAD chez les normotendus, mais la réduction s'est révélée plus importante chez les personnes hypertendues ou chez les patients noirs avec une réduction de la PAS de 11,4 mmHg et de 5,5 pour la PAD.

- **L'avantage du régime DASH** a été de permettre de juger les effets combinés en potassium, calcium et magnésium.

- **L'inconvénient** : il n'est pas possible d'attribuer la diminution de la pression artérielle à un de ces minéraux plus qu'à un autre puisque le régime est enrichi en magnésium et en potassium avec une consommation accrue de fruits et de légumes mais aussi en calcium avec une prise de 3 produits laitiers par jour.

L'étude DASH le prouve : c'est en combinant les différents apports en minéraux que l'effet sur la pression artérielle est accrue. Il est nécessaire de diminuer sa consommation de sodium par l'intermédiaire du sel et d'augmenter sa consommation de potassium, calcium et magnésium par une consommation plus importante de fruits et légumes et de produits laitiers faible en matière grasse.

Une étude cas-témoin<sup>128</sup> sur 75 patients dont 35 étaient normotendus et 40 étaient hypertendus, a montré une corrélation négative entre le magnésium et la pression artérielle et une corrélation positive entre le calcium et la pression artérielle.

#### 4.7 Les controverses sur le rôle des micronutriments dans l'hypertension

L'effet des micronutriments sur la pression artérielle est encore aujourd'hui controversé. Un certain nombre d'auteurs émettent des doutes sur l'intérêt de réduire de manière importante la consommation de sel à l'échelle de la population générale. Certaines évoquent même l'intérêt de conseiller la réduction de sel uniquement chez les sujets sensibles au sel: les hypertendus, les diabétiques, les obèses, les personnes âgées, les personnes souffrant de maladies rénales...<sup>70-129-130-131</sup>

Des études montrent même qu'une réduction trop sévère de la quantité de sel ingérée pourrait être néfaste du point de vue cardio-vasculaire et en particulier pour les patients diabétiques<sup>132-133</sup> ou ceux atteints de maladies cardiaques chroniques<sup>134</sup>.

Chez les normotendus, il est possible qu'une réduction des apports en sel ne trouve pas de bénéfice immédiat sur la pression artérielle puisque cela demande du temps. En effet, c'est surtout en vieillissant que l'on remarque une augmentation de la pression artérielle due à une trop forte exposition au sel au cours du temps.

En Finlande, la consommation de calcium est très importante, en moyenne 1400 mg/jour et pourtant il s'agit d'un des pays où il y a le plus de maladies cardio-vasculaires. Une campagne a donc été lancée dans le but de réduire la consommation de sel, de matières grasses, mais aussi de produits laitiers dans le but de diminuer la mortalité cardio-vasculaire<sup>135</sup>.

Une étude<sup>118</sup> assez récente sur 36 282 femmes ménopausées n'a pas permis de démontrer un réel intérêt d'un apport en calcium sur la pression artérielle. Pour cela 18176 femmes ont été supplémentées en calcium et vitamine D contre 18106 femmes recevant un placebo et ont été suivies pendant 7 ans. Il y avait même un risque plus élevé de supplémentation chez les femmes ayant un taux faible en vitamine D. Cependant, cette étude permet de conclure à un effet négatif du calcium sur la pression artérielle uniquement chez les femmes ménopausées. Est-ce que les résultats auraient été différents sur une autre population ?

Pour le magnésium, certaines études émettent toutefois des avis contradictoires quand à son effet sur la pression artérielle. En effet, les résultats de la phase I de l'étude TOHP incluant 698 adultes et ayant reçu des doses journalières correspondant à 1 g de calcium et 360 mg de magnésium sur une durée de 3 à 6 mois n'a pas permis de mettre en évidence une réduction de la pression artérielle<sup>136</sup>.

Un travail sur 29 études d'observation<sup>137</sup> a révélé qu'une supplémentation en magnésium est proportionnelle à une baisse de PAS et de PAD. Parmi ces 29 études, seulement 7 ont mis en évidence une baisse de pression artérielle avec une supplémentation en calcium.

Pour deux études il a été établi une diminution moyenne de 0,08 mmHg pour la PAS et 1,68 mmHg pour la PAD. Cette réduction est assez limitée.

Très peu d'études concernant l'action de l'ensemble des minéraux sur la pression artérielle ont obtenu des résultats non significatifs. Cependant, une étude ancienne réalisée par SACHS et al sur 125 patients n'a pas réussi à mettre en évidence la relation entre une consommation accrue de ces 3 minéraux et une baisse de pression artérielle<sup>101</sup>.

Une méta-analyse<sup>118-138</sup> regroupant 3 essais avec un total de 277 personnes ayant combinés les 3 minéraux dans leur régime n'a pas eu non plus de résultat significatif sur la pression artérielle.

La puissance de plusieurs de ces études a été contestée, cependant elles permettent de soumettre l'idée qu'il existe un minimum (3 g/jour) et un maximum (7 g/jour) de sel à absorber par jour et que l'effet obtenu sur la pression artérielle dépendra de chaque individu en fonction de son âge, son sexe, son état de santé, ...etc.

Il faut rappeler que l'OMS fixe un objectif de 5 g par jour. Cet objectif semble être en adéquation avec les limites fixées par l'étude d'O'DONNELL<sup>139</sup> et al pour avoir un risque minimum de survenue d'événements cardio-vasculaires.

Peu d'éléments sont en mesure de déconseiller une réduction de la consommation de sel à l'échelle de la population. De nombreux pays ont commencé à réduire la teneur en sel de leurs produits alimentaires et voient des bénéfices sur la pression artérielle. Depuis la fin des années 1950, le Japon a mis en place des campagnes gouvernementales pour réduire les quantités de sel consommées pour réduire le nombre d'AVC. Dans le nord du Japon, une réduction de 18 g de sel par jour à 14 g a permis de diminuer de 80% le nombre de décès par AVC, parallèlement à une réduction de la pression artérielle. En Finlande, grâce à la coopération des industries agro-alimentaires, les produits alimentaires ont été réduits en sel. Cependant, la réduction doit se faire progressivement et intelligemment pour ne pas créer de déficit.

## 4.8 Discussion

L'hypertension est une maladie plurifactorielle, de nombreux facteurs peuvent en être la source : âge, le sexe, le poids, l'ethnie, l'alimentation, la sensibilité au sel, la consommation de tabac, l'activité physique... Il est donc difficile d'analyser un paramètre sans que d'autres interviennent. C'est pourquoi l'effet retrouvé sur la pression artérielle peut être très variable d'une personne à l'autre et d'une étude à une autre. C'est aussi pour cela que de nombreuses études restent encore controversées.

Cependant, de nombreuses études s'accordent à dire que le sel a de grandes chances d'intervenir dans l'augmentation de la pression artérielle lorsqu'il est consommé en excès pendant de nombreuses années et d'autant plus s'il est consommé très tôt dans la vie. De plus, il semble avoir un effet beaucoup plus important chez les personnes dites « sensibles » au sel comme certaines populations africaines, certaines personnes souffrant de maladies telles que le diabète, l'obésité, de problèmes rénaux mais aussi les personnes âgées ou ayant hérités ou développés des anomalies génétiques.

Une étude qui suivrait l'évolution de la pression artérielle en fonction de la consommation de sel tout au long d'une vie serait l'idéal pour conclure sur l'effet du sel sur la pression artérielle. Malheureusement, ce type d'étude est trop difficile à réaliser car beaucoup trop contraignante et coûteuse.

L'objectif de l'OMS d'obtenir une consommation moyenne de sel de 5 g par jour en 2015 semble être raisonnable et en adéquation avec les études existantes et permettrait de réduire significativement la pression artérielle moyenne de la population et en particulier chez les personnes dites « sensibles au sel » ou résistantes aux traitements anti-hypertenseurs. Pour les normotendus, cette mesure servirait de prévention dans la survenue éventuelle d'une augmentation de pression artérielle avec l'âge.

Pour le potassium, une consommation accrue de ce micronutriment à travers une alimentation enrichie en fruits et légumes semble être bénéfique pour la pression artérielle. L'effet hypotenseur du potassium s'est toutefois montré plus significatif chez les personnes consommant de forte quantité de sel ou chez les personnes dites « sensible au sel » (population africaine par exemple). C'est pourquoi le potassium a été jugé comme capable de neutraliser les effets néfastes du sel sur la pression artérielle. L'idéal étant d'obtenir un rapport faible Na/K.

En ce qui concerne le calcium, peu d'études satisfaisantes ont été réalisées, souvent trop courtes ou sur un échantillon de population trop petit. C'est pourquoi l'intérêt d'une consommation accrue de calcium pour la population générale reste encore controversée. Les résultats les plus importants sur la pression artérielle ont été obtenus par une supplémentation importante en calcium chez des personnes consommant peu de calcium habituellement.

Il est nécessaire d'attendre des essais de plus longues durées sur des échantillons plus importants et de meilleure qualité avant de conclure sur le réel bénéfice que pourrait avoir le calcium sur la pression artérielle. Cependant, la population française étant déficitaire en calcium selon les recommandations, doit accroître ses apports par l'intermédiaire de produits laitiers faibles en matières grasses.

Des études épidémiologiques et expérimentales ont permis d'établir une relation entre une consommation enrichie en magnésium et la diminution de la pression artérielle mais les résultats restent inconstants et ne sont pas toujours confirmés par les études cliniques. Le rôle du magnésium dans l'hypertension reste donc controversé.

De la même manière que pour le calcium, il faut encore attendre des essais plus rigoureux avec peut être des apports plus élevés en magnésium pour confirmer l'effet hypotenseur. En attendant des preuves plus solides, il est préférable de conseiller aux patients de consommer plus de magnésium à travers les fruits et les légumes surtout chez les personnes prédisposées à l'hypertension ou les personnes âgées. En ce qui concerne les compléments alimentaires de magnésium, ils doivent être conseillés en cas de suspicion de carence en prenant soin de vérifier l'état de fonctionnement de leurs reins et de laisser le médecin adapter la dose en fonction de l'insuffisance rénale du patient.

Le régime DASH en est la preuve, c'est la combinaison d'apport en calcium, en magnésium et en potassium associée à une baisse significative de la consommation de sel qui serait la plus efficace pour réduire la pression artérielle, c'est-à-dire un régime riche en fruits et en légumes avec des produits laitiers pauvres en matières grasses et des aliments à teneur faible en sel.

## **5 CONSOMMATION EN SEL ET AUTRES NUTRIMENTS (K, Mg, Ca) EN FRANCE**

Les études précédentes suggèrent que les interactions entre le sodium, le potassium, le calcium et le magnésium jouent un rôle important dans la régulation de la PA. Il est facile de comprendre l'intérêt de corriger la consommation de tous ces minéraux à la fois. En effet, on peut espérer à l'appui de l'étude DASH que la correction des apports de ces quatre minéraux permettrait d'obtenir un effet optimal sur l'abaissement de la pression artérielle. Il est donc important pour agir et conseiller la population de connaître la consommation en France pour ces nutriments.

### **5.1 Sources et extraction de sel**

Le chlorure de sodium est un composé chimique. Il s'agit d'une substance cristallisée, friable, soluble dans l'eau. Présent en quantité quasi-illimitée dans la nature, soit dissout dans l'eau de mer soit sous forme solide et dans des quantités variables dans de nombreux minéraux comme l'halite, la sylvinite et la carnallite.



La Sylvinite

Le métier de salinier consiste à recueillir une substance minérale qui est le sel, à l'élaborer et à le conditionner en un produit conforme à la demande du consommateur et des industriels de l'alimentaire.

Le sel est principalement extrait de l'eau de mer ou des gisements souterrains de sel appelé sel gemme.

Le sel gemme est apparu suite à l'évaporation d'anciennes mers. Les plus anciens dépôts de sel formés ont été évalués comme datant de plus de 600 millions d'années.

Les mers et océans sont les plus grosses réserves de sel dissout, estimées à  $50 \times 10^{15}$  tonnes.

L'eau de mer contient environ 30 g de sel par litre d'eau.

Différentes méthodes peuvent être utilisées pour extraire le sel en fonction de la forme sous laquelle se trouve le sel dans les réserves.

Dans les pays où le climat est favorable (ensoleillement, pluviométrie faible et températures suffisantes), le sel est extrait par évaporation grâce aux systèmes des marais salants. Il s'agit d'un système très simple qui consiste à amener l'eau de mer dans une série de bassins peu profonds où elle va stagner et ensuite s'évaporer lentement au soleil. L'évaporation de l'eau va permettre la concentration et la cristallisation du sel.

Dans les pays froids, l'eau de mer est congelée et le sel sédimente dans la saumure de plus en plus concentrée et lorsque la concentration est suffisante, le sel finit par précipiter.

En France, le sel marin est produit sur le littoral atlantique (ex : Guérande) et en méditerranée (ex : Aigues-Mortes)

En ce qui concerne les gisements de sel gemme ou halite, le sel est extrait comme un minerais dans une mine à condition que la couche soit suffisamment épaisse. (technique minière)

Mais souvent la couche est trop fine ou le sel est mélangé, ainsi de l'eau est injectée et la solution de sel est pompée à la surface (exploitation du sel par dissolution).

En France, les gisements sont retrouvés par exemple en Alsace ou dans le Midi-Pyrénées.

Une autre méthode est utilisée en France, c'est la méthode ignigène. Il s'agit également d'obtenir une saumure par dissolution du sel mais qui va être ensuite envoyée dans des évaporateurs pour produire des cristaux de sel.

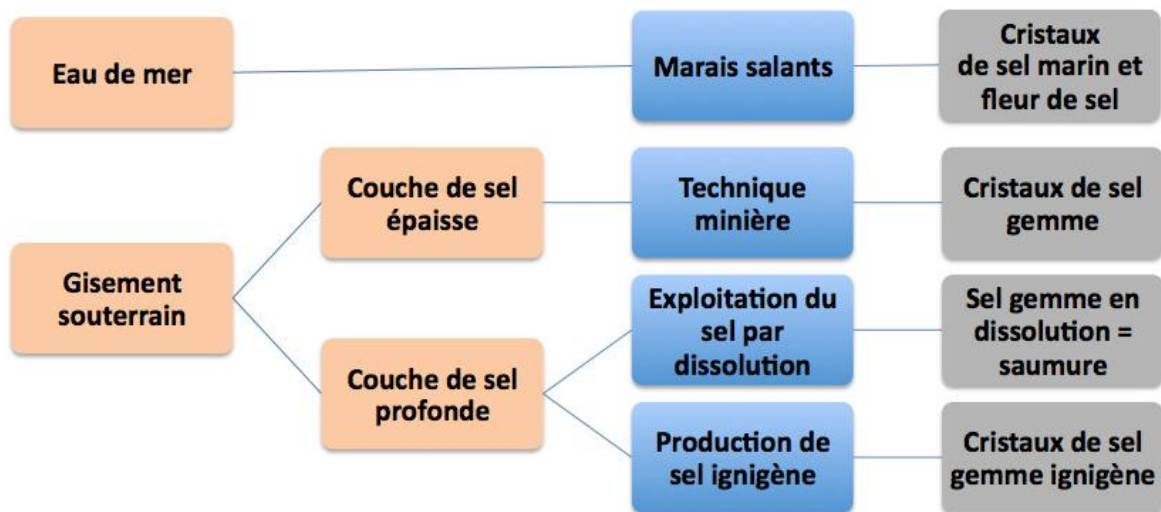


Figure 33 : Source et extraction du sel

## 5.2 Source de sel dans l'alimentation des Français

Il y a deux types de sources de sel dans notre alimentation :

- **Le sel « visible »** est celui que l'on ajoute directement à notre alimentation au cours de la cuisson ou à table. Cette source est minime car elle ne représente que 10 à 20% du sel que nous consommons.
- **Le sel « caché »** est le sel que l'on retrouve naturellement dans les aliments ou ajouté aux produits alimentaires au cours de la fabrication. Cette source de sel est la principale puisqu'elle représente au moins 80% du sel que nous absorbons tous les jours. On le trouve dans les produits courants comme le fromage, le pain, les charcuteries, les condiments (moutardes, bouillons...) mais aussi dans tous les plats cuisinés comme les soupes,...

La consommation de sel n'est pas la même d'un pays à un autre et même d'une personne à une autre. Elle va dépendre des traditions culinaires de chaque pays et des habitudes et goûts de chaque individu.

Au Canada, on retrouve plus de la moitié du sel consommé par la population dans dix groupes d'aliments transformés et boissons. En Asie, la plupart du sel consommé provient du sel ajouté pendant la cuisson ou contenu dans les sauces et assaisonnements.

En France, l'enquête alimentaire INCA (1998-1999) a analysé les habitudes alimentaires des adultes mais aussi des enfants.

D'après cette enquête, les quatre principales sources de sel dans l'alimentation quotidienne des Français sont le pain, les charcuteries, les soupes et les fromages.

| INCA  | Quantité consommée (g/j) | Na (mg/j) /sel (g/j) | % du produit dans l'apport total de sel |
|---|--------------------------|----------------------|---|
| <b>Pains et biscottes</b>                   | 122                      | 780/ 1,97            | 25,1                                    |
| <b>Charcuteries</b>                         | 38,4                     | 410/1,03             | 13,1                                    |
| <b>Soupes</b>                               | 86,37                    | 320/0,81             | 10,3                                    |
| <b>Fromages</b>                             | 39,25                    | 270/0,69             | 8,8                                     |
| <b>Pizzas, quiches et pâtisseries salés</b> | 23,57                    | 120/0,31             | 4, 0                                    |
| <b>Viennoiseries</b>                        | 17,34                    | 90/0,23              | 2,9                                     |
| <b>Condiments et sauces</b>                 | 9,68                     | 90/0,22              | 2,8                                     |
| <b>Pâtisseries</b>                          | 35,82                    | 80/0,20              | 2,6                                     |

Tableau 25 : Aliments vecteurs de sodium et de sel dans l'enquête INCA (Rapport sur le sel, AFSSA, 2002)

| SUVIMAX   | Hommes (mg) | Femmes (mg) |
|---|-------------|-------------|
| <b>Pains et biscottes</b>                       | 930 (30,7%) | 589 (26,5%) |
| <b>Charcuteries</b>                             | 395 (13,3%) | 252 (11,6%) |
| <b>Fromages</b>                                 | 337 (11,4%) | 210 (9,5%)  |
| <b>Soupes</b>                                   | 236 (7,7%)  | 232 (10,2%) |
| <b>Pizzas, quiches et pâtisseries salés</b>     | 130 (4,6%)  | 116 (5,6%)  |
| <b>Viennoiseries</b>                            | 34 (1,2%)   | 32 (1,6%)   |
| <b>Amuse-gueules</b>                            | 23 (0,8%)   | 20 (0,9)    |
| <b>Sauces (ketchup, moutarde, vinaigrettes)</b> | 64 (2,3%)   | 52 (2,5%)   |

Tableau 26 : Aliments vecteurs de sodium en fonction du sexe dans l'étude SU.VI.MAX (Rapport sur le sel, AFSSA, 2002)

Les données confondues de l'enquête INCA et de l'étude SU.VI.MAX ont permis de mettre en évidence que chez 10% des personnes jugées comme les plus grands consommateurs de sel, les principaux vecteurs restent les mêmes à savoir le pain, la charcuterie, les soupes, les snacks et le fromage. Le sel provenant de ces principaux vecteurs représente plus de 80% des apports totaux en sel.



Cependant, des progrès ont été faits entre 2003 et 2008. D'après le tableau ci-dessous, une baisse de la teneur en sel a eu lieu dans certains types d'aliments tels que les céréales, les charcuteries, les quiches et pizzas, certains plats cuisinés, les soupes, le pain de mie et certains fromages.

Malheureusement, ce n'est pas le cas de tous. Par exemple, le camembert qui a subi une augmentation moyenne de sel de 7,8%, la baguette de pain de 2,1% ou encore les choucroutes de 7%.

Des efforts restent encore à fournir en particulier pour réussir à faire baisser le taux de sel dans les pains (1<sup>er</sup> vecteur de sel), mais aussi dans les fromages.

|   | 2003<br>Teneur en sel en<br>g/100 g d'aliment | 2005<br>Teneur en sel en<br>g/100 g d'aliment | 2008<br>Teneur en sel en<br>g/100 g d'aliment | Évolution<br>2003/2008<br>en % |
|---|---|---|---|--------------------------------|
| <b>Céréales du petit-déjeuner</b>         |   |   |   |                                |
| Céréales type « corn-flakes »             | 2,27  | 2,09  | 1,88  | -17,3                          |
| Céréales au chocolat type « riz soufflé » | 1,07  | 0,96  | 0,90  | -16,1                          |
| <b>Charcuteries</b>                       |   |   |   |                                |
| Jambons crus                              | 5,51  | 5,50  | 5,06  | -8,1                           |
| Saucissons secs                           | 4,77  | 4,92  | 4,60  | -3,5                           |
| Jambons cuits supérieurs                  | 1,85  | 1,82  | 1,81  | -2,6                           |
| <b>Quiches et tartes salées</b>           |   |   |   |                                |
| Pizzas royales                            | 1,45  | 1,39  | 1,29  | -11,1                          |
| Quiches lorraines                         | 1,32  | 1,36  | 1,29  | -2,3                           |
| <b>Plats cuisinés</b>                     |   |   |   |                                |
| Raviolis                                  | 1,18  | 1,15  | 0,89  | -24,9                          |
| Cassoulets                                | 0,98  | 0,90  | 0,89  | -9,6                           |
| Choucroutes                               | 1,26  | 1,30  | 1,34  | +7,0                           |
| <b>Soupes et potages</b>                  |   |   |   |                                |
| Soupes déshydratées                       | 1,52  | 1,48  | 0,79  | -48,2                          |
| Soupes liquides                           | 0,78  | 0,75  | 0,74  | -5,2                           |
| <b>Pains et Viennoiseries</b>             |   |   |   |                                |
| Pains de mie                              | 1,38  | 1,42  | 1,28  | -6,9                           |
| Pains de campagne                         | 1,72  | 1,83  | 1,80  | +4,8                           |
| Baguettes de pain                         | 1,88  | 1,87  | 1,92  | +2,1                           |
| Croissants nature                         | 1,35  | 1,41  | 1,38  | +2,1                           |
| <b>Fromages</b>                           |   |   |   |                                |
| Fromages fondus                           | 1,14  | 1,08  | 1,01  | -11,7                          |
| Camemberts                                | 1,49  | 1,53  | 1,61  | +7,8                           |

**Champ :** Panel de 400 aliments les plus contributeurs à l'apport global en sel.

**Sources :** Étude INC-Anses 2003-2008.

Tableau 27 : Évolution des teneurs en sel des aliments entre 2003 et 2008 (Étude INCA)

- **Les eaux** peuvent être aussi une source de sodium non négligeable. Toutes les eaux ne possédant pas la même quantité de sodium, il est nécessaire de bien se renseigner sur l'étiquette pour le choix de ses eaux. Cependant, un autre élément est à prendre en considération en plus de l'apport en sodium, c'est la présence ou non de bicarbonates.

Il est nécessaire de ne pas confondre le sel et le bicarbonate de sodium. En effet, contrairement aux effets provoqués par le chlorure de sodium sur la pression artérielle, le bicarbonate ne serait pas en mesure d'induire ou d'aggraver une hypertension artérielle.

Bien au contraire, il semblerait qu'il puisse être bénéfique pour un patient souffrant d'hypertension essentielle.

Plusieurs études expérimentales ont montré que le bicarbonate n'était pas en mesure d'augmenter la pression artérielle ou d'aggraver une hypertension contrairement au NaCl. Le chlore combiné au sodium semble être le seul anion permettant d'augmenter le volume sanguin circulant et donc la pression artérielle, cependant la raison reste encore floue.<sup>140-141-142</sup>

Chez l'humain, ces études ont été confirmées, l'une d'elle a même soumis l'idée que le bicarbonate de sodium pourrait être en mesure de diminuer l'effet du NaCl sur la pression artérielle et donc diminuer la pression artérielle chez les sujets hypertendus<sup>143</sup>. Malheureusement, cela n'a pas été retrouvé dans toutes les études et une récente étude<sup>66</sup> sur 35 personnes de race noire sensibles au sel ont vu leur pression artérielle augmentée avec une consommation importante de NaHCO<sub>3</sub>. Cependant, l'augmentation était deux fois moins importante qu'avec la consommation de NaCl.

L'effet du bicarbonate de sodium sur la pression artérielle semble corrélé à la sensibilité au sel de chacun. En effet, les pressions artérielles étaient plus élevées chez les personnes les plus sensibles.

Une étude<sup>144</sup> a mis en évidence que ce serait le bicarbonate de sodium sous forme solide et non liquide qui pourrait avoir un effet néfaste sur la pression artérielle.

Le bicarbonate de sodium présent dans les eaux de boissons ne semble pas être en mesure d'augmenter la pression artérielle, sauf chez les personnes sensibles au sel, mais toutefois à moindre mesure qu'avec la consommation de NaCl.

La teneur en chlorure de sodium et en bicarbonates des eaux de boissons varie selon les marques, c'est une des raisons pour laquelle il est conseillé d'en changer régulièrement. (cf. : tableau 28).

Une eau est dite riche en sodium quand elle contient plus de 200 mg de sodium par litre et riche en bicarbonate quand elle en contient plus de 600 mg par litre.

| Types d'eaux  | Eaux     | Quantité de sodium (mg/l) | Quantité de bicarbonate (mg/l) |
|---------------|----------|---------------------------|--------------------------------|
| Eaux gazeuses | Badoit   | 165                       | 1300                           |
|               | Salvetat | 7                         | 820                            |
|               | Perrier  | 9,2                       | 430                            |
|               | St Yorre | 1708                      | 4368                           |
|               | Quezac   | 110                       | 1100                           |
| Eaux plates   | Evian    | 6,5                       | 360                            |
|               | Vittel   | 5                         | 399                            |
|               | Contrex  | 9,1                       | 403                            |
|               | Volvic   | 11,6                      | 71                             |
|               | Hépar    | 14,2                      | 384                            |

Tableau 28 : Apport en sodium et en bicarbonate de quelques eaux plates ou pétillantes pour exemple (liste non exhaustive)

### 5.3 Propriétés et intérêts du sel

Le sodium est un métal mou, il a un point de fusion faible et se dissout facilement dans l'eau et dans l'alcool.

Le sel est un produit hygroscopique, c'est à dire qu'il a la capacité de retenir l'eau. Une solution saline est ionique, ce qui lui permet de conduire l'électricité. C'est un très bon agent de sapidité car même à des doses minimes, il va permettre d'activer les circuits cérébraux dits « de la récompense ».

Il est donc facile de comprendre pourquoi certaines personnes ressentent comme une addiction au sel car avec le temps, une habitude au sel s'installe, ce qui oblige le consommateur à toujours augmenter sa dose de sel pour ressentir toujours cet effet de « récompense »<sup>145</sup> (cf. : Accoutumance au sel p 102).

#### 5.3.1 Du point de vue des consommateurs

L'utilisation du sel fait partie des habitudes familiales et culturelles.

La raison principale de son utilisation par les consommateurs, c'est avant tout pour sa saveur. La deuxième raison pour laquelle les consommateurs apprécient le sel, c'est parce qu'il est un très bon exhausteur de goût. En effet il va faire ressortir le goût naturel des aliments et renforcer sa saveur. Et malheureusement, il est parfois utilisé en grande quantité pour masquer le goût d'un met qui nous déplaît.

Le sel a toujours été la molécule de référence du goût salé et comme beaucoup de populations, les français aiment le goût du sel.

En fonction de l'utilisation, le sel peut être consommé soit sous forme de gros sel pour un apport salé précis et croquant, soit un sel fin pour un apport salé diffus et dilué ou sous forme de fleur de sel pour un apport raffiné, nuancé et délicat.

#### 5.3.1 Du point de vue des industriels

##### 5.3.2.1 Intérêt technologique et organoleptique

Les industriels ont pour mission de créer des produits alimentaires qui plairont aux consommateurs tout en prenant en compte la faisabilité industrielle et le budget. Tout cela doit également être réalisé de manière conforme aux réglementations et aux normes de qualités imposées dans le but de garantir une sécurité optimale aux consommateurs.

Le sel pour les industriels apportent beaucoup d'avantages technologiques dans la réalisation de leur projet.

- **Le goût**

Tout d'abord pour plaire au consommateur, le sel va être ajouté au produit alimentaire pour sa saveur mais aussi pour réhausser la saveur des aliments.

Sa fonction d'exhausteur de goût se fait par l'intermédiaire du sodium (Na<sup>+</sup>). La transmission de l'influx nerveux est assurée jusqu'au cerveau où les informations sensibles et sensorielles vont être intégrées.

C'est ainsi que le sel va donc conditionner notre perception des saveurs. C'est en quelque sorte un neurotransmetteur des saveurs, il va augmenter le goût de nos aliments. Grâce au sel, la nourriture devient un plaisir en plus d'être un besoin.

- **La couleur**

Le sel est très utile aussi dans l'industrie des charcuteries (pâté, jambon, saucisson...). L'utilisation de très grandes quantités de sel nitrés va permettre de révéler la couleur des aliments en donnant aux produits comme le jambon une couleur rose et stable qui est très attendue par la plupart des consommateurs.



Au niveau du pain, le sel permet d'obtenir une croûte à la couleur caractéristique, que nous avons plaisir à regarder. On l'utilise également dans les viandes cuites au four pour donner une couleur rôtie à la surface (par l'intermédiaire de la réaction de Maillard).

La réaction de Maillard (ou brunissement non enzymatique) permet la formation de pigments bruns ou noirs. Pour une réaction optimale, l'activité en eau ( $a_w$ ) de l'aliment doit être comprise entre 0,55 et 0,75. C'est le sel qui va permettre de régler l' $a_w$  de l'aliment et donc favoriser la réaction de Maillard.

(L' $a_w$  représente la capacité de l'aliment à retenir l'eau dans sa structure et à la maintenir pendant l'application des forces extérieures.)

- **Contrôle de la fabrication**

Le sel va également permettre, en fonction de son taux de concentration, de contrôler la vitesse de fermentation au cours de la fabrication de certains produits.

Il est possible de contrôler la quantité d'eau contenue dans le produit. En effet, le sel est un composé hygroscopique qui se définit par sa capacité à capter des molécules d'eau. Quand il est ajouté à un aliment, le sel va capter les molécules d'eau présentes dans l'aliment ce qui va donc diminuer très fortement sa disponibilité en eau (cela correspond à son  $a_w$ ).

- **Conservation**

La conservation est l'une des plus grandes utilisations du sel et cela remonte à des siècles. En effet, le sel a la possibilité, à des quantités dose-dépendantes, de ralentir voire totalement arrêter la prolifération des micro-organismes. Le sel peut donc avoir un effet bactériostatique ou bactériolytique à forte concentration.

Par exemple : le lactate de sodium empêche la multiplication des germes pathogènes comme la *listeria monocytigènes* ou le *pseudomonas fragi* dans les conserves de poissons.

En fromagerie, c'est le benzoate de sodium qui est utilisé.

Les di-phosphonates de sodium atténuent la résistance d'*E.coli*.

C'est par son effet hygroscopique que le sel va permettre de contrôler le développement de micro-organismes car la plupart des bactéries ont besoin d'eau pour pouvoir se multiplier correctement. Sur un aliment présentant un aw faible, les micro-organismes ne sont pas en mesure de croître.

Les industriels utilisent donc le sel dans le but de diminuer artificiellement l'aw de leurs produits et ainsi pouvoir augmenter leurs conservations.

Ce principe de conservation est le premier à avoir été découvert et est utilisé depuis des siècles, il s'agit de la salaison ou du saumurage. Cette méthode est toujours utilisée et en particulier dans l'industrie des charcuteries.

En revanche, certaines bactéries sont résistantes même à des concentrations en sel élevées.

- **Stratégies de ventes**

Les propriétés organoleptiques du sel, quand il est associé aux aliments, sont utilisées par les industriels pour augmenter leurs ventes.

Toujours en raison de sa capacité de rétention d'eau, la présence de sel dans un produit permet artificiellement d'augmenter la masse du produit vendu. Et en augmentant sa masse, l'industriel va pouvoir justifier d'un prix de vente plus élevé auprès du consommateur.

De plus, une alimentation salée favorise un besoin d'hydratation. Ce phénomène physiologique est donc utilisé au profit de l'industrie des boissons afin d'augmenter leurs ventes<sup>3</sup>.

Le sel offre de nombreux avantages aux industriels, il est donc dans leurs intérêts de garder sa présence dans leurs produits alimentaires.

C'est pour ces nombreuses qualités que le sel est facilement retrouvé dans de nombreux aliments mais est-il toujours indispensable ?

### 5.3.2.2 Principaux vecteurs <sup>6-146</sup>

- **Le pain**



La consommation de pain en France fait partie de nos habitudes alimentaires. Tout est apprécié dans le pain : sa couleur, son côté croustillant, son odeur et son goût.

Le pain est fabriqué à partir d'eau, de farine, de sel et de levure.

Par ses nombreuses propriétés, le sel va améliorer les propriétés plastiques de la pâte, stabiliser la fermentation de la levure, intervenir dans le volume et l'aspect du pain mais aussi augmenter sa conservation (sauf en milieu humide où il va au contraire accélérer le rassissement). Il va également apporter de la saveur au pain et favoriser la coloration de sa croûte.

Il faut savoir qu'il n'y a pas de réglementation en France sur la teneur en sel du pain, ce ne sont que des recommandations.

En moyenne, la teneur en sel du pain représente 2,4% du poids de la farine

Des recherches ont montré qu'au-dessus de 1% du poids de farine, la teneur en sel n'a plus de but technologique mais uniquement organoleptique.

Ce serait donc pour des raisons organoleptiques que certains boulangers refusent de diminuer leurs quantités de sel utilisées. En effet, en diminuant la teneur en sel, les boulangers craignent une modification de l'aspect de leur pain et donc que leurs ventes diminuent.

- **Les charcuteries**

Depuis longtemps, le sel est utilisé dans la conservation de la viande.

Au niveau des charcuteries, le sel a plusieurs rôles clés.

Il va donner de la saveur, permettre sa conservation, solubiliser les protéines pour donner une tenue, un goût et un aspect particulier, mais aussi intervenir sur le pH.

Il a également des propriétés liantes, émulsifiantes et gélifiantes nécessaires à la fabrication de la charcuterie.

D'après le rapport de l'AFSSA en 2002, au-delà de son action organoleptique, le sel est un élément indispensable du point de vue technologique et de la stabilité microbiologique pour la fabrication des charcuteries.

La marge de manœuvre pour réduire la teneur en sel dans la charcuterie est donc restreinte puisqu'elle risquerait d'entraver la sécurité alimentaire.

Cependant, il est tout à fait possible de conseiller aux gens d'éviter la consommation trop régulière des produits les plus salés.

| Charcuteries                      | Quantité de sel (g/100g) |
|-----------------------------------|--------------------------|
| Jambon cuit, découenné, dégraissé | 2,0                      |
| Lardons                           | 3,0                      |
| Boudin noir                       | 1,3                      |
| Chipolata                         | 1,8                      |

Tableau 29 : Quantité de sel dans la charcuterie  
(Source : Rapport sur le sel, AFFSA 2002)

- **Les soupes**

Les soupes, riches en légumes, apportent beaucoup de minéraux et autres nutriments essentiels mais sont souvent aussi trop salées, en particulier à cause de l'utilisation de bouillons.

Seulement 30% des consommations de soupes concernent les soupes industrielles.

Entre 2003 et 2008, leur teneur en sel a été revue à la baisse avec une diminution de 48,2% pour les potages déshydratés et 5,2% pour les soupes liquides.

| Bouillons et potages | Teneur en sel en g pour 100ml |
|----------------------|-------------------------------|
| Bouillons solides    | 0,19 – 0,39                   |
| Potages déshydratés  | 0,25 – 0,6                    |
| Potages liquides     | 0,19 – 0,4                    |

Tableau 30 : Quantité de sel dans les potages  
(Source : Rapport sur le sel, AFFSA 2002)

Des efforts ont été faits pour réduire les teneurs en sel des bouillons et des potages.

Au niveau réglementaire, un décret a fixé un maximum de 10 g de sel par litre. Malheureusement, cette valeur limite reste encore trop élevée pour inciter les industriels à réduire encore la teneur en sel de leurs produits

Plus de la moitié des soupes consommées sont réalisées à la maison. Le sel présent dans ces soupes maison vient principalement de l'utilisation trop courante de bouillons solides qui peuvent être très riches en sel, mais aussi de l'addition de sel au cours de la cuisson.

Les actions menées contre la consommation excessive de sel devraient rappeler aux gens de réduire l'utilisation de bouillons et de goûter leurs soupes avant de resaler.

- **Le fromage**



Le fromage, pour beaucoup de français, fait parti du patrimoine de la France. Il est fabriqué à partir du lait coagulé et fermenté.

Le salage du fromage permet de contrôler la conservation, de former une belle croûte, mais aussi permet d'assurer un bon égouttage et surtout de donner du goût. Le sel est essentiel au cours de l'affinage du fromage.

Selon le type de fromage, il peut y avoir de grandes variations de teneur en sel mais aussi entre un même fromage de marques différentes puisqu'il n'y a aucune limite fixée par les autorités. (cf. : tableau 31)

De plus l'industriel n'a même pas l'obligation de mentionner la quantité de sel présente dans le produit.

| Fromage                        | Sodium (mg/100g) | Min-max  |
|--------------------------------|------------------|----------|
| Camembert 45%                  | 802              | 490-1117 |
| Coulommiers                    | 684              | 456-701  |
| Reblochon                      | 840              | 477-877  |
| Comté                          | 315              | 155-758  |
| Emmental                       | 300              | 85-622   |
| Tomme                          | 808              | 730-940  |
| Fromage de chèvre à pâte molle | 564              | 151-1100 |

Tableau 31 : Quantité de sel dans le fromage  
(Source : Rapport sur le sel, AFSSA, 2002)

Il semble difficile de réduire la teneur en sel des fromages car il participe à faire d'eux des fromages uniques en goût et en texture.

Peut être serait-il possible de fixer quelques limites pour les fromages les plus consommés en France et de même type. Par exemple, pour les camemberts, il y a une grande variation possible de teneur en sel (490-1117 mg de sodium), pourtant il s'agit du même produit.

### 5.3.2 Du point de vue santé publique

Le seul intérêt du sel, du point de vue de la santé publique, c'est qu'il sert de vecteur.

Rappelons que le sel est de bon marché, facile à obtenir et ce n'est pas compliqué d'un point de vue technologique de l'enrichir. Étant consommé par tout le monde et tous les jours, il est donc le vecteur idéal. En effet, l'iode et le fluor ont été ajoutés au sel dans le but de palier au déficit de ces deux minéraux dans la population.

L'iode est un oligoélément indispensable puisqu'il participe à de nombreuses fonctions vitales (thyroïde...). De plus, les sources principales en iode sont les produits de la mer (poissons, crustacés,...) et les enquêtes alimentaires ont rapporté une carence en iode pour une grande partie de la population.

Le sel est donc utilisé comme vecteur d'enrichissement dans le cadre d'une mesure de santé publique.

De même pour le fluor, constituant essentiel de l'émail des dents, il a été ajouté au sel dans le but de prévenir les caries dentaires.



## 5.4 Accoutumance au sel<sup>6-147</sup>

Quand le sel se retrouve en bouche, il déclenche un stimulus gustatif et active les processus physiologiques. Si on peut s'habituer à manger moins salé, c'est aussi valable en sens inverse. A la différence du gras et du sucré, le goût du sel n'est pas inné chez l'homme, c'est en le consommant qu'on y prend goût.

Aujourd'hui, la consommation de plus en plus courante de produits alimentaires « tout prêts » réalisés par l'industrie agroalimentaire ou encore consommés dans les restaurations rapides, favorise l'appétence au sel.

Certains chercheurs ont émis l'hypothèse qu'il pouvait y avoir un rôle physiologique dans le désir de consommer du sel.

Des études ont mis en évidence la possibilité de ressentir comme une addiction au sel. En effet, l'envie de sel aurait des ressemblances avec la morphine ; cela pourrait être dû au fait que ces envies sont médiées par les enképhalines<sup>148-149-150-151</sup>.

Les résultats semblent être en adéquation avec une étude plus ancienne montrant que la naloxone serait un inhibiteur de l'appétence pour le sel.<sup>152</sup> La naloxone est utilisée en médecine comme antidote morphinique (Narcan®). Étant un antagoniste spécifique des opiacés, cela prouve que le sel a des ressemblances avec la morphine du point de vue dépendance bien que cela reste moins important.

Ainsi, la naloxone a montré, au cours de différentes études, des effets dans la régulation de la consommation de sel<sup>153-154-155</sup>.

## 5.5 Bilan de la consommation en sel en France

Les besoins physiologiques en sel sont satisfaits avec 2 g de sodium par jour. Par contre, si nos apports restent inférieurs à 1,5 g par jour, c'est le coma. Le corps médical recommande une consommation de sel de l'ordre de 5 à 6 g/jour ce qui correspond à 2 et 2,4 g de sodium (correspondance : 1 g de sel = 0,4 g de sodium = 17 mmol de sodium).<sup>6</sup>

Entre 1994 et 1998, l'étude SU.VI.MAX a contrôlé les effets des vitamines et des minéraux sur la santé de 12 535 volontaires âgés de 35-60 ans pour les femmes et de 45-60 ans pour les hommes. Afin de connaître la quantité de sel absorbée par jour par chaque volontaire à travers leur alimentation, les chercheurs ont utilisé la table de composition alimentaire du CIQUAL. L'inconvénient de cette méthode est qu'elle ne tient pas compte du sel ajouté à la cuisson et/ou à table.

| SUVIMAX  | moyenne (g/jour) | Min-max (g/jour) |
|----------|------------------|------------------|
| Homme    | 7,5              | 1,2-16,3         |
| Femme    | 6,9              | 1,7-12,8         |
| Ensemble | 5,5              | 7,7-8,1          |

Tableau 32 : Consommation en sel de l'échantillon de patients  
(Source : Rapport sur le sel, Afssa, 2002)

En 2003, l'OMS, après observations des résultats de différentes études, a conclu sur un objectif d'apport inférieur à 5 g /jour de chlorure de sodium pour l'ensemble des populations, ce qui correspond à 2 g de sodium par jour. Cet objectif est toujours d'actualité et ce pour 2025, ce qui représente une réduction de 30% de l'apport moyen en sel.

En effet, les études ont établi un lien entre la consommation de sel et l'augmentation de la pression artérielle, une réduction de l'apport permettrait de diminuer la pression artérielle et donc de réduire le risque de maladies cardiaques et d'attaques cérébrales.

En 2004, en France, une loi de santé publique a été publiée fixant un objectif de réduire la consommation de sel des français à 8 g/jour et par personne avant la fin de l'année 2008, ce qui représentait une réduction de 20% de l'apport sodé en cinq ans.

Deux grandes enquêtes alimentaires ont permis de connaître la consommation des Français en sel et ont permis d'établir des objectifs réalisables, il s'agit des études INCA et ENNS.

Les études INCA sont des études individuelles et nationales sur les consommations alimentaires. INCA-2 est une étude française qui a été réalisée de 2006 à 2007 auprès de 1918 adultes de 18 à 79 ans. Cet échantillonnage est représentatif de la population métropolitaine.

Après comparaison des données des études INCA 1 et INCA 2, il s'avère que les Français ont diminué leurs consommations de sel entre 1999 et 2007 mais cela reste encore bien insuffisant.

En 2006-2007, la population Française consommait en moyenne 7,7 g par jour de sel (INCA-2) contre 8,1 en 1999 (INCA-1) soit une réduction de 5,2%. La consommation étant toujours plus importante chez les hommes que chez les femmes avec respectivement 8,7 et 6,7g de sel par jour. L'objectif fixé en 2004 semble donc atteint, malheureusement, les résultats ne prenant pas en compte le sel ajouté à table ou à la cuisson, les résultats de l'étude INCA sont sous-estimés. Le panel Secodip\* en 2002 a estimé à 2,2 g par jour la quantité de sel ajouté aux aliments en se basant sur les achats de sel à domicile. En revanche, il est évident que tout le sel acheté n'est pas forcément consommé lorsque l'on tient compte des pertes dans les eaux de cuisson ou autres. Les ajouts individuels ont donc été rapportés à 1 et 2 g par jour en moyenne ce qui ramène à un apport total moyen entre 8,7 et 9,7 g par jour.

On en conclut, qu'en 2007, l'objectif de 8g par jour de sel n'était pas atteint.

**TABEAU 1 • Évolution des apports moyens en sel provenant des aliments selon les études INCA**

|                 | Effectifs de l'étude INCA-1 | Effectifs de l'étude INCA-2 | Apports moyens en sel en g/j (INCA-1) | Apports moyens en sel en g/j (INCA-2) | Écart en %  |
|-----------------|-----------------------------|-----------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|-------------|
| Hommes          | 613                         | 839                         | 9,3                                   | 8,7                                   | -6,6        |
| Femmes          | 732                         | 1079                        | 6,9                                   | 6,7                                   | -4,1        |
| <b>Ensemble</b> | <b>1345</b>                 | <b>1918</b>                 | <b>8,1</b>                            | <b>7,7</b>                            | <b>-5,2</b> |

Champ : Adultes de 18 à 79 ans. France entière.

Sources : INCA-1 (1998-1999), INCA-2 (2006-2007).

Tableau 33 : Évolution des apports moyens en sel provenant des aliments (INCA)

\* Il s'agit de panels de consommateurs constitués par des échantillons représentatifs de l'ensemble des ménages vivant en France, à l'exception des hommes seuls, de la Corse et des personnes vivant dans les collectivités (environ 4500 ménages dans le panel).

L'Etude Nationale Nutrition Santé (ENNS) est un outil de surveillance des objectifs du PNNS (Programme National de Nutrition Santé). Elle a également pour but d'étudier les apports alimentaires et le niveau d'activité physique de la population Française par l'intermédiaire d'un échantillon représentatif de 3 115 adultes âgés de 18 à 74 ans et de 1675 enfants de 3 à 17 ans.

Les consommations estimées en sel sont plus élevées que dans l'étude INCA-2 avec un an de différence, cela signifie peut-être qu'il y a eu une diminution entre temps. En 2006, la consommation moyenne était estimée à 8,5 g de sel par jour avec 9 g pour les hommes et 7,1 g pour les femmes.

En se basant sur l'objectif de santé public de 2004 d'avoir une consommation de sel < 8 g/jour de sel, 53,5% des patients suivis avaient une consommation de sel inférieur à 8g/jour, par contre 23,7% des hommes consommaient plus de 12 g/jour de sel.

| ADULTES                       | Hommes | Femmes | Ensemble |
|-------------------------------|--------|--------|----------|
| Consommation de sel en g/jour | 9,9    | 7,1    | 8,5      |
| Apport < 6g/jour              | 12,9 % | 41,6 % | 27,25 %  |
| Apport < 8g/jour              | 33,5 % | 73,6 % | 53,5 %   |
| Apport > 12g/jour             | 23,7 % | 4,6%   | 14,1 %   |

Tableau 34 : Estimations de la consommation en sel en France en 2006 chez les adultes selon l'Etude ENNS

En France, il est très inquiétant de voir les quantités de sel absorbées par les enfants (6,9g de sel par jour en moyenne) qui sont loin des recommandations puisque le maximum toléré pour un enfant de 3 ans est de 2 g par jour et 6 g pour un enfant de 14 ans qui d'ailleurs devrait être à peu près identique chez un adulte. De plus les quantités de sel recommandées chez l'enfant sont élevées comparées à celles établies au Canada. Il serait peut être bon de les revoir à la baisse. Des mesures doivent être mises en place pour protéger nos enfants d'une surconsommation en sel et prévenir la survenue d'hypertension à l'âge adulte et des risques cardiovasculaires qui en découlent.

| ENFANTS                       | Garçons | Filles | Ensemble |
|-------------------------------|---------|--------|----------|
| Consommation de sel en g/jour | 7,4     | 6,3    | 6,9      |
| Apport < 6g/jour              | 45,3 %  | 59,1%  | 52,2 %   |
| Apport < 8g/jour              | 71,9 %  | 82,4 % | 77,0 %   |
| Apport > 12g/jour             | 9,1 %   | 5,1 %  | 7,1 %    |

Tableau 35 : Estimations de consommation en sel en France en 2006 chez les enfants selon l'Etude ENNS

| Age            | Apport quotidien recommandé en sodium (mg) | Correspondance en NaCl (g/jour) |
|----------------|--|---------------------------------|
| De 0 à 6 mois  | < 400                                      | < 1                             |
| De 7 à 12 mois | 400  | 1                               |
| De 1 à 3 ans   | 800  | 2                               |
| De 4 à 6 ans   | 1200                                       | 3                               |
| De 7 à 10 ans  | 1900                                       | 5                               |
| De 11 à 14 ans | 2300                                       | 6                               |

Tableau 36 : Apport maximal quotidien recommandé en sel **en France** (Source : SALT)

| Age            | Apport quotidien recommandé en sodium (mg) | Correspondance en NaCl (g) |
|----------------|--|----------------------------|
| De 0 à 6 mois  | Suffisant avec 120                         | 0,3                        |
| De 7 à 12 mois | Suffisant avec 370                         | < 1                        |
| De 1 à 3 ans   | 1000                                       | 2,5                        |
| De 4 à 8 ans   | 1 200                                      | 3,0                        |
| De 9 à 13 ans  | 1 500                                      | 3,8                        |

Tableau 37 : Apport maximal quotidien recommandé en sel **au Canada** (Source : SALT)

Les résultats les plus récents proviennent d'une expertise sur deux ans et demi de travaux canadiens. Il semblerait qu'en termes de sodium, les besoins physiologiques d'un adulte seraient satisfaits avec 1500 mg/jour, mais l'organisme pourrait en moyenne tolérer jusqu'à

2300 mg/jour. Cependant, des personnes dites « en bonne santé » pourraient tolérer jusqu'à 3000 mg/jour de sodium.

Du fait des antécédents familiaux ou un âge supérieur à 60 ans, certaines personnes dites « à risque » ne devraient pas dépasser 1800 mg de sodium par jour.

Pour des personnes hypertendues ou ayant d'autres pathologies (diabète, néphropathie, ostéoporose...etc.), il est préférable de ne pas dépasser une consommation moyenne de sodium allant de 1500 mg/jour à 1200 mg/jour en fonction de la gravité et du type de pathologie.

La consommation de sel en France a évolué même si cela reste faible et encore loin des recommandations de l'OMS.

En résumé l'objectif est d'atteindre selon l'OMS, une consommation de sel inférieure à 5g de sel par jour ce qui correspond à 2 g de sodium en 2025. Cette cible a été fixée dans le but de prévenir l'apparition de maladies cardiovasculaires. Cela peut être tout à fait réalisable à condition que différentes actions soient mise en place.

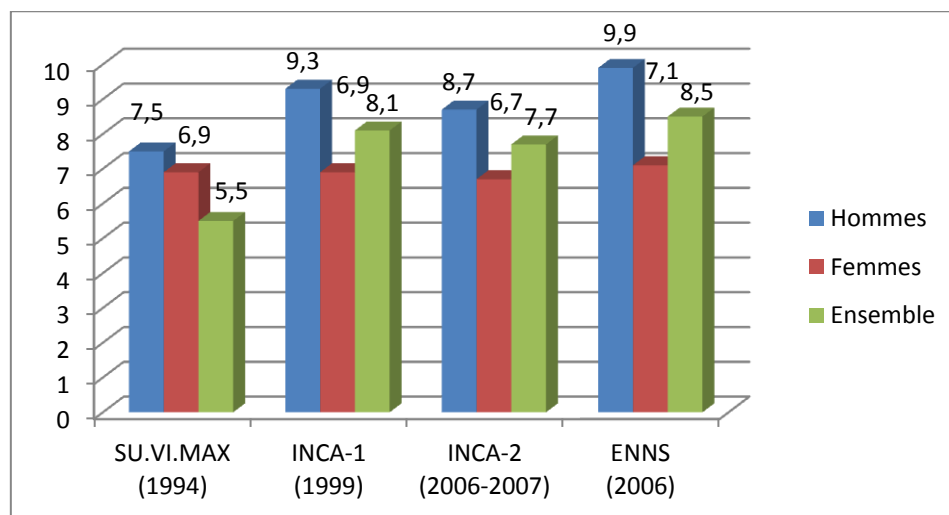


Figure 34 : Résumé des études sur la consommation de sel en France

## 5.6 Besoins, sources et apports en Potassium

En fonction du pays, les recommandations sont différentes. En Amérique, il est recommandé de consommer environ 120 mmol/jour de potassium (4,7 g/jour). Au Royaume Uni, la recommandation est de 90 mmol/jour.

En France, l'apport journalier de référence (AJR) en potassium est de 2000 mg.

Cette valeur a été définie qu'à des fins d'étiquetages réglementaires et ne s'agit que d'une valeur théorique basée sur les besoins moyens de la population. Elle ne tient pas compte de l'âge, du sexe et du niveau d'activité physique, il ne faut donc pas se référer à cette valeur de manière individuelle. Il s'agit d'un repère nutritionnel répondant aux besoins d'une personne de poids moyen, en bonne santé et ayant une activité physique moyenne.

En revanche, l'apport nutritionnel conseillé (ANC) fixé par l'ANSES (anciennement l'AFSSA) sert de base aux conseils nutritionnels même s'il ne s'applique pas non plus à un seul individu et ne sert pas à l'étiquetage des aliments.

L'ANC en potassium a été fixé à 4700 mg/jour pour un adulte.

Les besoins physiologiques dépendent de l'âge et des circonstances de la vie (grossesse, allaitement, maladies...).

| Étapes de la vie | Age            | Hommes (mg) | Femmes (mg) |
|------------------|----------------|-------------|-------------|
| Nourrissons      | 0-6 mois       | 400         | 400         |
| Nourrissons      | 7-12 mois      | 700         | 700         |
| Enfants          | 1-3 ans        | 3000        | 3000        |
| Enfants          | 4-8 ans        | 3800        | 3800        |
| Enfants          | 9-13 ans       | 4500        | 4500        |
| Adolescents      | 14-18 ans      | 4700        | 4700        |
| Adultes          | 19 ans et plus | 4700        | 4700        |
| Grossesse        |                | -           | 4700        |
| Allaitement      |                | -           | 5100        |

Tableau 38 : ANC en potassium en fonction de l'âge (ANSES)

Malheureusement, les données statistiques délivrées par l'étude ENNS indiquent que plus de la moitié des adultes consomment moins de 5 portions de fruits et de légumes par jour. Les consommations varient en fonction de l'âge (tableau 39).

| Age       | Hommes | Femmes |
|-----------|--------|--------|
| 18-29 ans | 79 %   | 76%    |
| 55-74 ans | 34%    | 39%    |

Tableau 39 : Pourcentage d'hommes et de femmes consommant moins de 5 portions de fruits et légumes par jour (ENNS)

Toutefois, les deux études INCA montrent une évolution positive de la consommation de fruits et légumes entre les années 1998-1999 (INCA-1) et les années 2006-2007 (INCA-2).

La consommation de fruits et de légumes varient beaucoup aussi en fonction de la région habitée, de la classe sociale et du niveau d'études.

Il est clair que l'alimentation d'aujourd'hui apporte trop peu de potassium ce qui pourrait expliquer l'apparition ou l'aggravation de certaines pathologies.

Plusieurs études ont permis d'avancer que le potassium aurait sûrement un rôle associé à la diminution du risque d'AVC.

En ce qui concerne l'hypertension, beaucoup d'études sont arrivées à la conclusion que le potassium jouerait un rôle important dans la régulation de la pression artérielle<sup>111</sup>.

L'alimentation d'aujourd'hui est essentiellement basée sur une consommation de produits transformés. Cette alimentation transformée entraîne une déperdition de potassium.

Des populations isolées ayant un régime alimentaire primitif, ont un apport supérieur à 150 mmol de potassium par jour contre 30 à 70 mmol pour des populations consommant

beaucoup de produits transformés. A titre d'exemple, deux tranches de jambon apportent 32 mmol de sodium contre seulement 4 mmol de potassium, alors qu'une orange apporte 6 mmol de potassium sans apporter de sel.

La principale source de potassium de notre alimentation se trouve dans les fruits et les légumes. Les plus riches sont les fruits séchés (abricot, figue), la banane, le melon, le kiwi, les concentrés et purées de tomates, l'avocat, les haricots rouges et les épinards (cf : tableau 40).

| Fruits et légumes  | mg/100g |
|--------------------|---------|
| Abricot séché      | 1090    |
| Figue séché        | 900     |
| Banane             | 411     |
| Melon              | 329     |
| Kiwi               | 270     |
| Tomate concentré   | 1330    |
| Tomate purée       | 799     |
| Avocat             | 412     |
| Haricot rouge cuit | 400     |
| Epinard cuit       | 390     |

Tableau 40 : Source potassium dans les fruits et légumes (Source : ANSES)

Il existe d'autres sources de potassium que les fruits et les légumes telles que le café, la chicorée, le lait en poudre écrémé, le cacao non sucré en poudre, ...

| Aliments              | Teneur moyenne en potassium en mg/100g |
|-----------------------|--|
| Café poudre soluble   | 3600                                   |
| Levure alimentaire    | 2460                                   |
| Lait en poudre écrémé | 1700                                   |
| Poivre noir moulu     | 1260                                   |
| Persil frais          | 795                                    |
| Thon cuit au four     | 462                                    |
| Lardon fumé cuit      | 428                                    |

Tableau 41 : Autres sources de potassium (Source : ANSES)

Les aliments ayant un bon rapport K/Na sont la banane, l'avocat, l'abricot, les légumineuses (lentilles, fèves, pois...), fruits secs (dattes, raisins...), herbes et épices, légumes à feuilles vertes (chou vert, épinard, laitue,...), poissons (morue, sardine, thon, truite,...), agrumes et autres fruits à pépins (pommes, melon...), champignons, pommes de terre, fruits à coque, viandes rouges et blanches, tomates et produits laitiers allégés.

## 5.7 Besoins, sources et apports en calcium

Pour assurer ses fonctions, le calcium sanguin doit être maintenu dans une fourchette étroite comprise entre 2,2 et 2,6 mmol/L et parfois au détriment des réserves osseuses lorsque les apports alimentaires sont insuffisants.

L'apport journalier de référence (AJR) en calcium est de 800 mg alors que l'ANC de calcium pour un adulte est de 1200 mg/jour pour la population française.

| Age   | ANC (mg/jour) |
|---|---------------|
| 1-3 ans   | 500           |
| 4-9 ans   | 800           |
| 10-18 ans   | 1200          |
| > 18 ans  | 900           |
| Femme > 55 ans  | 1200          |
| Homme > 65 ans  | 1200          |
| Femme enceinte (3 <sup>ème</sup> trimestre) ou allaitante ou post-allaitement | 1000          |

Tableau 42 : ANC en calcium fixé par l'ANSES

En France, un trop grand nombre de personnes ne consomment pas assez de calcium par rapport aux apports nutritionnels conseillés. L'étude INRA le prouve :

| Age                      | Consommation moyenne constatée, pondérée sur 30 études* |        |
|--------------------------|---|--------|
|                          | Hommes  | Femmes |
| 10 à 18 ans              | 1040 mg   | 820 mg |
| Adultes < 65 ans         | 850 mg  | 780 mg |
| Adultes > 65 ans         | 770 mg  | 690 mg |
| très âgés en institution | 500 mg  | 500 mg |

Tableau 43 : Consommation moyenne en calcium des Français

\* L. Guéguen, INRA, 1996

Dans l'alimentation des Français, le calcium est principalement retrouvé dans les produits laitiers. Leurs consommations nous apportent entre 60 et 80% du calcium. On le retrouve également dans les épices, le fromage et les eaux, mais aussi dans certains fruits et légumes. Le lait et les yaourts ne sont pas les aliments les plus riches en calcium. Ils font partis des sources principales de calcium des français seulement parce qu'ils sont consommés en grandes quantités.



Le fromage en moyenne contient beaucoup de calcium mais l'inconvénient de cette source est la présence non négligeable de sel et de matière grasse saturée. C'est pourquoi il doit être consommé avec modération.

Les 10 premières sources de calcium en termes de poids et non de consommation sont les feuilles de meloukhia, le thym sec, le lait en poudre écrémé, le parmesan, le chewing-gum sans sucre, la cannelle, l'emmental râpé ou allégé, le lait en poudre demi-écrémé et le gruyère.

Les herbes et épices peuvent être également une source de calcium. Bien qu'elles soient utilisées régulièrement, elles sont souvent utilisées en faible quantité.

Par exemple, en considérant que dans un plat on ajoute 2 g de thym pour assaisonner, l'apport en calcium serait alors de 63 mg, soit 4% des apports nutritionnels conseillés (ANC) en calcium pour adulte. Cela reste donc assez minime mais s'il ne faut pas le négliger.

En revanche certaines eaux peuvent apporter beaucoup de calcium. En effet, en considérant la consommation de 2 litres d'eau d'Hépar, cela apporterait 862 mg de calcium, c'est-à-dire presque la totalité des AJR.

Toutes les eaux ne sont pas identiques, c'est pourquoi il est important de regarder les étiquettes et de choisir celles qui correspondent à nos besoins. Le mieux étant de changer régulièrement de marque d'eaux pour avoir un apport varié en minéraux.

Tout dépend de l'alimentation de chaque personne, mais il semble difficile d'atteindre les apports conseillés sans consommer de produits laitiers. Le choix des produits alimentaires est essentiel, en effet, il est conseillé de consommer régulièrement des produits laitiers faibles en matières grasses saturés et en sel et de limiter la consommation des autres. Toutefois, les produits laitiers les plus riches en calcium sont également plus riches en matières grasses, il n'est pas nécessaire d'écarter les fromages les plus riches de notre alimentation mais seulement de les consommer de manière plus spontanée.

| Aliments          | Apports<br>(mg pour 100g) |
|-------------------|---------------------------|
| Yaourt nature     | 140                       |
| Lait écrémé UHT   | 120                       |
| Lait ½ écrémé UHT | 114                       |
| Fromage blanc     | 111                       |
| Beurre            | 15                        |

Tableau 44 : Source de calcium dans les produits laitiers hormis le fromage (Source : ANSES)

| Aliments                      | Apports (mg pour 100g) |
|-------------------------------|------------------------|
| Emmental                      | 971                    |
| Camembert 20% MG              | 463                    |
| Cantal                        | 759                    |
| Fromage bleu au lait de vache | 543                    |
| Saint Maure (chèvre)          | 151                    |
| Roquefort (brebis)            | 601                    |

Tableau 45 : Source de calcium dans les fromages (Source : ANSES)

| Aliments               | Teneur en calcium (mg pour 100g) |
|------------------------|----------------------------------|
| Thym sec               | 1260                             |
| Parmesan               | 1200                             |
| Chewing gum sans sucre | 1190                             |
| Cannelle               | 1080                             |
| Sésame                 | 962                              |
| Cumin                  | 931                              |
| Sardine                | 798                              |
| Coriandre              | 709                              |

Tableau 46 : Autres sources de calcium (Source : ANSES)

### 5.8 Besoins, sources et apports en Magnésium <sup>34</sup>

L'apport journalier recommandé en magnésium est de 375 mg, soit environ 6 mg/kg/j (cf. : tableau 47).

La consommation moyenne en magnésium de la population française a été estimée à 224 mg par jour en 2004 (INRA)

L'étude SUVIMAX (1994-2003) a identifié un apport en magnésium moyen pour les hommes de 370 mg et 280 mg pour les femmes. Sur un échantillon de 5000 Français, 75 % des hommes et 77% des femmes n'atteignaient pas les recommandations d'apports en magnésium. Ces résultats peuvent être en partie expliqués par le changement d'alimentation au cours des dernières années avec une consommation moins importante de fruits et légumes au profit d'une alimentation de produits préparés faibles en nutriments essentiels et riche en matière grasse saturée.

| Apport nutritionnel recommandé (ANR) en magnésium |                            |                       |                       |
|---|----------------------------|-----------------------|-----------------------|
| Étapes de la vie                                  | Âge                        | Hommes<br>(mg / jour) | Femmes<br>(mg / jour) |
| Enfants   | 1-3 ans                    | 80                    | 80                    |
|   | 4-8 ans                    | 130                   | 130                   |
|   | 6-9 ans                    | 200                   | 200                   |
|   | 10-12 ans                  | 280                   | 280                   |
| Les adolescents                                   | 13-16 ans                  | 410                   | 370                   |
|   | 16-19 ans                  | 410                   | 370                   |
| Adultes   | 19 et plus                 | 420                   | 360                   |
| Grossesse<br>Allaitement                          | 3 <sup>ème</sup> trimestre | -                     | 400                   |
|   | Allaitement                | -                     | 390                   |
| Personnes âgés                                    | 65 ans et plus             | 420                   |                       |
|   | 55 ans et plus             |                       | 360                   |

Tableau 47 : ANC en magnésium (AFSSA)

Le magnésium est principalement retrouvé dans les graines et les légumes comme le son de blé, les épinards...Les quantités de magnésium varient en fonction des aliments (cf. tableau 48)

| Aliments                         | Quantité de magnésium (mg/100g) |
|----------------------------------|---------------------------------|
| Beaufort                         | 1040                            |
| Sardine (à l'huile, en conserve) | 467                             |
| Cacao non sucré, poudre soluble  | 376                             |
| Cumin (graine)                   | 366                             |
| Tournesol (graine)               | 364                             |
| Café (poudre soluble)            | 356                             |
| Sésame (graine)                  | 324                             |

Tableau 48 : Source de magnésium dans l'alimentation (Source : ANSES)

## **6 POLITIQUE DE SANTE PUBLIQUE POUR LA REDUCTION DE LA CONSOMMATION DE SEL ET INTERETS ECONOMIQUES**

### **6.1 Les objectifs<sup>156</sup>**

Malgré l'existence de traitements médicamenteux permettant aux « pays riches » de combattre l'hypertension, l'incidence de celle-ci reste un problème de santé publique à résoudre puisqu'elle est la cause d'environ 51% des décès par AVC et 45% des décès par cardiopathie coronarienne. Malgré tous les antihypertenseurs prescrits aujourd'hui, moins de la moitié des patients traités réalisent les objectifs tensionnels.

Le dernier rapport statistique de l'OMS (194 pays) révèle une augmentation de l'hypertension et du diabète. En effet, un adulte sur trois serait concerné par l'hypertension. L'obésité dans le monde a doublé entre 1980 et 2008, prouvant l'existence d'un problème d'alimentation auquel il faut remédier le plus rapidement possible. L'obésité et l'hypertension peuvent toutes deux être réduites par des mesures hygiéno-diététiques adaptées. Bien que l'hypertension soit une maladie plurifactorielle, on sait aujourd'hui que la nutrition fait partie des facteurs de risque que l'on peut contrôler. En réduisant notre consommation de sel et en augmentant en parallèle nos apports en potassium, calcium et magnésium, il est possible de faire baisser la pression artérielle, mais aussi de prévenir l'apparition de celle-ci avec l'âge.

Le but de ces différentes actions est de sensibiliser les consommateurs, les professionnels de santé, les industries agro-alimentaires, les restaurateurs,... aux bénéfices d'une alimentation saine et équilibrée pour la santé.

#### **6.1.1 Les acteurs**

##### **6.1.1.1 Les industriels**

En raison de ses nombreux atouts (conservation, appétence...), le sel est indispensable à la fabrication de produits alimentaires industriels. Les arguments des industriels pour ne pas diminuer la quantité de sel de leurs produits sont nombreux. En effet, ils craignent d'altérer la sécurité du produit, de modifier son caractère organoleptique et son goût, mais aussi que cela puisse entraîner des pertes financières.

Cependant des études<sup>157</sup> montrent qu'il est possible de diminuer la teneur en sel de certains produits sans affecter pour autant la sécurité ni même le goût. Par exemple, dans le secteur de la boulangerie, des efforts peuvent être faits. Des tests de goûts ont montré que les consommateurs ne seraient pas en mesure de ressentir une différence au niveau gustatif avec une réduction de moins de 10% de la teneur en sel mais ces tests ont été contredits puisqu'ils n'ont pas été réalisés sur des aliments. Cependant, cette approche a permis d'obtenir des réductions de sel dans différents secteurs de fabrication britannique. En effet, dans le secteur des céréales, une réduction de 33% a pu être faite entre 1998 et 2005, 25% pour le pain depuis la fin des années 80, 33% pour le fromage.<sup>158</sup>

Il est donc possible, avec des marges de manœuvre différentes en fonction de chaque produit, de réduire les teneurs en sel des aliments sans pour autant les remplacer par des conservateurs ou autres. Une reformulation du produit peut parfois être nécessaire. Pour que l'action puisse toucher toutes les classes sociales, la réduction de la teneur en sel devra être effective sur des produits de gammes de prix différentes.

Parmi les principaux vecteurs de sel, le pain est le seul à avoir subi une augmentation de sa teneur en sel au cours de ces dernières années (+ 2% entre 2003 et 2008). Pourtant, il est possible de diminuer les quantités de sel dans le pain, la preuve encore en Nouvelle Zélande où des organisations non gouvernementales ont réussi à faire baisser le taux de sodium dans le pain. L'objectif était d'atteindre 450 mg de sodium dans 100 g de pain, la proportion de pain atteignant les objectifs était de 59% en 2007 pour arriver à 90% en 2010. En France, le pain contient en moyenne 650 mg de sodium pour 100g de pain. En 2007, les boulangers utilisaient en moyenne 20 g de sel par kg de farine, alors que l'AFSSA recommande l'utilisation de 18 g de sel par kg<sup>159</sup>.

Un test a été réalisé au niveau de l'INBP (Institut National de la Boulangerie-Pâtisserie), montrant qu'une diminution de la quantité de sel passant de 21 à 18 g par kg de farine n'entraîne pas de modification sensorielle du pain et même jusqu'à 16 g par kg, sans poser de problème de fabrication<sup>160</sup>.

Le but n'est pas de brusquer les industriels, mais de les informer et les encourager au changement.

Parfois, un intermédiaire est nécessaire pour favoriser la coopération entre les industriels et le gouvernement. Par exemple, au Royaume-Uni, le groupe CASH (Consensus Action on Salt and Health) a permis par l'intermédiaire de consensus avec les industries alimentaires et le gouvernement de faire diminuer les taux de sodium dans quasiment toutes les denrées alimentaires. La réussite de cette stratégie anglaise a incité à faire de même dans les autres pays du monde.

La France devrait prendre exemple sur les autres pays et commencer à se lancer, pour l'intérêt de tous, dans le « combat » contre le sel. Dans un premier temps, il serait judicieux de concentrer les efforts sur les principaux aliments vecteurs du sel en France, à savoir, le pain, la charcuterie, le fromage et la soupe. En effet, une baisse de la teneur en sel des principaux aliments consommés par les Français va avoir pour conséquence de diminuer de manière importante la consommation en sodium chez les « gros » consommateurs (personnes dont les apports sodés sont supérieurs à 12 g par jour).

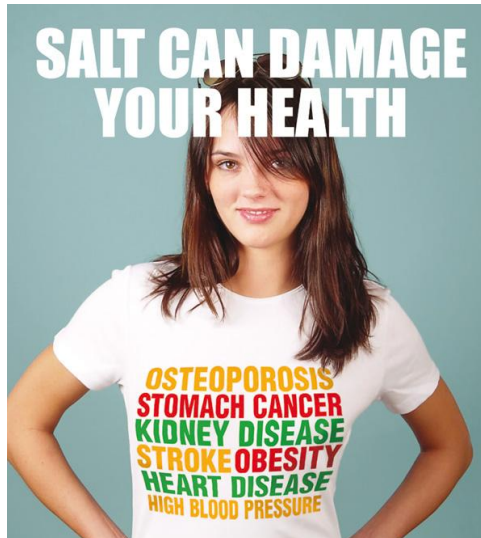
### 6.1.1.2 Les professionnels de santé

- **Groupe SALT<sup>161</sup>**

Au même titre que le groupe CASH, le groupe SALT (Sodium Alimentaire Limitons les Taux) a été créé en 2010, est constituée la branche Française du mouvement WASH (World Action on Salt and Health) né en 2005.

Ce groupe a trois buts principaux. Le premier est de développer les informations sur les dangers de l'excès de sel au quotidien au niveau des autorités compétentes, mais aussi du public. Ensuite de créer une collaboration avec les industriels et les artisans de l'alimentation, afin d'élaborer ensemble des produits alimentaires répondant aux objectifs fixés par l'AFSSA. Et pour tout cela, le groupe doit également recueillir des données nouvelles sur les minéraux et leurs impacts sur la santé publique car il est nécessaire de prouver pour convaincre.

Chaque année depuis 2008, le mouvement WASH organise une semaine d'alerte sur le sel.



Faute de moyen le groupe SALT n'a pas pu se joindre à la semaine mondiale d'alerte au sel en 2012. Les membres du groupe espèrent qu'avec un soutien du secteur alimentaire et d'une aide financière des pouvoirs publics, ils pourront participer aux actions de 2013.

- **PNNS**<sup>162-163</sup>

Ces dernières années, la nutrition a prouvé son intérêt dans le maintien d'une bonne santé. C'est pourquoi, aujourd'hui, la politique nutritionnelle tient un rôle essentiel en termes de santé publique. En 2001, le PNNS (Programme National Nutrition Santé) a été créé dans le but d'améliorer de manière générale la santé de la population. Les objectifs nutritionnels prônés par le PNNS ont été fixés par le Haut conseil de santé publique, il en évalue aussi la réalisation et en fait le suivi.

Le premier objectif du PNNS est de réduire l'obésité et le surpoids. Cela se fera sûrement grâce à la réalisation de 2 autres objectifs qui sont d'augmenter l'activité physique et d'améliorer de manière qualitative les apports nutritionnels de la population. Le dernier objectif est de limiter la prévalence des pathologies nutritionnelles.

La réduction de la consommation de sel fait partie des améliorations promues par le PNNS. Il préconise également la consommation de 5 fruits et légumes par jour dans le but d'augmenter la consommation en potassium et en magnésium de la population et 3 produits laitiers par jour pour augmenter la consommation de calcium. La publicité est utilisée pour passer le message. Malheureusement, il n'est pas précisé que consommer des produits laitiers est bon pour la santé à condition que ces produits soient faibles en matières grasses saturées.

Il existe une charte « Villes actives PNNS », les villes concernées s'engagent en signant cette charte de mettre en place des actions pour promouvoir une nutrition favorable à la santé de la population. En Rhône Alpes, les villes d'Annecy, Annonay, Bilieu, Bourgoin-Jallieu, Caluire et Cuire, Crest, Feurs, Fontaine, Saint Etienne, Seynod, Valence, Vienne et Villeurbanne ont signé cette charte. Les actions du PNNS essaient de viser le plus de monde possible incluant les professionnels de santé, les professionnels de l'éducation, les collectivités locales mais aussi le grand public...

- **OMS**

En septembre 2011, le sommet international sur les maladies non transmissibles s'est réuni à New York, sous l'organisation de l'OMS. Quatre objectifs ont été fixés : la réalisation de campagnes de communication, se mettre d'accord avec les fabricants pour établir un cadre réglementaire dans le but de réduire les quantités de sel utilisées en fonction du produit et la manière dont il faut procéder pour y arriver (une reformulation du produit peut être nécessaire) mais aussi suivre l'évolution des objectifs et de leur impacts.

- **Le gouvernement**

Si le gouvernement prenait part dans le combat contre le sel, cela accélérerait sûrement les choses. Par l'intermédiaire de réglementation, les industriels n'auraient pas le choix. On le voit d'ailleurs dans d'autres pays.

Il suffirait dans un premier temps de ne viser que les catégories d'aliments vecteurs de la plus grande partie du sel consommé (pains, charcuteries...)

Un accord avec les états membres doit être convenu pour renforcer les politiques d'actions nutritionnelles dont celle concernant le sel. Cela consiste à fixer un objectif de consommation maximum qui soit réalisable, de sensibiliser la population à l'action menée en les informant sur les dangers et de leur transmettre les moyens d'y remédier, d'inciter les professionnels du secteur alimentaire à reformuler leur produits de manière à réduire au maximum l'utilisation du sel pour la santé de tous, de récolter des informations sérieuses pour suivre et évaluer la progression des actions menées et il s'agit également de soutenir les mesures prises au niveau national pour réduire la consommation de sodium de la population.

En 1950, les japonais se sont rendus compte que les AVC étaient directement liés avec les consommations de sel. Par l'intermédiaire d'une campagne gouvernementale, une diminution de la consommation de sel de 18 à 14 g de sel par jour dans le nord du pays a permis de faire chuter de 80 % les AVC. Sans compter le fait qu'à cette même période, le mode de vie des Japonais s'est occidentalisé avec une consommation plus importante de graisses, tabac et alcool.

- **Le Comité Français de Lutte contre l'hypertension Artérielle**

Le Comité Français de Lutte contre l'hypertension Artérielle fixe un objectif de 70%, le nombre d'hypertendus traités d'ici l'année 2015. Un livret d'information a été rédigé par des experts, appelé : « Objectif 2015 : 70% des hypertendus contrôlés », malheureusement, aucune ligne ne mentionne de diminuer la quantité de sel alimentaire ! Il est apparemment question de promouvoir en priorité les médicaments, mais la nutrition peut être un très bon allié d'un traitement obligatoire. De plus, il est maintenant démontré que les excès de sel alimentaire représentent la première cause de la non-efficacité des traitements antihypertenseurs<sup>55-164-165-166</sup>.

Dans les stratégies thérapeutiques de l'hypertension, les mesures hygiéno-diététiques apparaissent avant l'instauration d'un traitement médicamenteux. Si malgré le suivi de mesures hygiéno-diététiques, la pression artérielle n'est toujours pas contrôlée, un traitement médicamenteux est alors ajouté, mais dans tous les cas ces mesures restent essentielles et ne feront que potentialiser l'effet du traitement.

Les antihypertenseurs doivent être utilisés à juste mesure. Dans tous les cas la réduction de sel est bénéfique et doit être promue surtout dans le cas d'hypertension résistante.

### 6.1.2 Lieux d'action

- Milieu scolaire<sup>167-168</sup>

De plus en plus tôt, les enfants sont exposés au sel. De la même manière que chez les adultes, il va se créer une accoutumance qui va pousser ces enfants à réclamer des produits de plus en plus salés pour satisfaire leurs papilles.

L'expertise de l'INRA a montré que c'est au cours des toutes premières années de vie que la perception des signaux physiologiques de la faim et du rassasiement est la meilleure et que les préférences sensorielles se développent à ce moment là. Cette capacité diminuerait à partir de l'âge de 3 ans, perturbée par l'environnement et le contexte social. Une prédisposition au gras et au sucré a été démontrée chez les nourrissons, ce qui n'est pas le cas pour le salé, cette appétence pour le sel s'acquiert avec la consommation de celui-ci.

Le milieu scolaire est une cible privilégiée puisque les enfants sont les futurs acheteurs et consommateurs. Une éducation alimentaire paraît donc indispensable pour leur apprendre le rôle des aliments sur la santé et notamment l'importance d'une consommation de produits pauvres en sel.

Les enseignants peuvent jouer un rôle important dans l'éducation à la nutrition, malheureusement trop peu de temps semble consacré à ce sujet.

Des outils pédagogiques ont été élaborés dans le cadre du PNNS pour aider les enseignants dans l'éducation nutritionnelle. Il s'agit d'affiches ou de guides nutritionnels...

Chaque année, en octobre, a lieu la semaine du goût dans les écoles pour sensibiliser les enfants à la diversité des goûts et des saveurs mais surtout de les encourager vers une consommation variée et équilibrée. Cette semaine sert en priorité à faire découvrir aux enfants les différents fruits et légumes qui existent et d'en connaître le goût.

D'après le dossier EduSCOL sur la « Nutrition à l'école » de 2009, la sensibilisation au danger d'une surconsommation au sel n'est mise en place qu'à partir de la 3<sup>ème</sup>. Ce programme pourrait également être envisagé pour les enfants de primaire.

Au niveau des cantines, il est recommandé de ne plus mettre à disposition des enfants les salières et sachets de sel pour éviter les ajouts réalisés parfois par habitude. Les quantités de sel contenues dans les plats élaborés par les cuisiniers doivent tenir compte de l'âge des enfants pour qui sont destinés les plats. Des fruits sont également mis à la disposition des enfants.



- **La Restauration**

Dans les restaurations, il a été conseillé de modifier la contenance des sachets de sel mis à la disposition du consommateur, passant de 1 g à 0,5 g de sel. Beaucoup de gens remettent systématiquement du sel dans leur plat sans même l'avoir goûté, cette mesure permet donc de limiter les quantités de sel ajoutées par réflexe.

Tout comme les industriels, les restaurateurs n'ont pas intérêt à réduire la quantité de sel dans leurs plats puisque de part sa propriété appétissante et assoiffante, le sel permet de vendre plus de plats et de boissons et donc d'augmenter le chiffre d'affaires.

Dans les bars, la commande de boissons est souvent accompagnée de quelques biscuits apéritifs (cacahuètes,...). C'est évidemment un geste commerciale, mais c'est aussi dans le but d'augmenter encore plus la soif et donc favoriser une nouvelle commande.

Dans ce secteur, il semble difficile que des actions soient mises en place pour réduire la quantité de sel absorbées par les consommateurs.

### **6.1.3 Les idées pour réduire les quantités de sel des aliments**

#### **6.1.3.1 Exhausteurs de goût**

Des chercheurs du Centre des Sciences du Goût et de l'Alimentation ont voulu trouver des solutions pour maintenir une perception salée tout en réduisant la quantité de chlorure de sodium.

L'ingestion d'aliments déclenche différents signaux sensoriels perçus au niveau de la langue et du nez. Les arômes et les saveurs jouent un rôle essentiel dans la perception sensorielle du goût chez les consommateurs. Ainsi, 14 arômes ont été sélectionnés (sardines, cacahuètes...) dans le but de suggérer le goût salé. Leurs utilisations permettent de renforcer la perception salée puisqu'après avoir fait goûter une solution contenant seulement de l'eau et du sel et une solution contenant de l'eau, du sel et la saveur cacahuète, c'est la dernière qui a été jugée la plus salée alors que les deux solutions contenaient exactement la même quantité de sel.

Cela permet d'envisager que par l'addition d'arômes, il serait possible de diminuer la teneur en sodium d'aliments sans pour autant altérer sa perception salée<sup>169</sup>.

#### **6.1.3.2 Libération du sel**

La forme du sel peut également être travaillée de manière à ce que la libération de celui-ci soit optimisée et ainsi augmenter la perception du consommateur au goût salé<sup>158</sup>.

#### **6.1.3.3 Substituer le sel**

La substitution du NaCl est une solution envisageable dans la réduction de la consommation de sel, que ce soit pour les industries alimentaires ou à la maison.

Une étude a montré qu'il était possible de diminuer la pression artérielle en remplaçant le sel classique NaCl par du triple sel : chlorhydrate de magnésium, ammonium et potassium. Les résultats ont été conséquents puisque l'utilisation du triple sel a permis de diminuer de

7,5 ± 10,1 mmHg pour la PAS et de 2,7 ± 4,5 mmHg pour la PAD, alors que l'utilisation du NaCl a augmenté la pression artérielle au cours de l'étude, soit de 3,8 mmHg pour la PAS et de 1,5 mmHg pour la PAD. En moyenne, 2,8 g de NaCl ont été consommés en moins avec l'utilisation du triple sel. Cette étude étant réalisée à petite échelle et sur une courte durée, d'autres études sont nécessaires pour confirmer cette relation<sup>170</sup>.

Des sels, au sens chimique du terme, il en existe un certain nombre (sel de sodium, magnésium, calcium...). Le sel qui est le plus connu et employé quotidiennement en cuisine est le chlorure de sodium (NaCl). Mais des sels à base de sodium, il en existe d'autres : carbonate, glutamate, phosphate, lactate ou encore glutamate de sodium<sup>6</sup>.

Le sel de substitution le plus utilisé est le KCl. Quant à son utilisation dans l'industrie agro-alimentaire, il semblerait que le KCl soit un aussi bon inhibiteur de la croissance des micro-organismes puisque son effet sur l'*aw* est équivalent au NaCl. Par contre, le KCl, à la différence avec le NaCl apporte une légèrement amertume qui peut être potentialisée en présence de NaCl<sup>159-171</sup>. D'autres sels de potassium peuvent être utilisés comme le phosphate de potassium (E340), le citrate de potassium (E332) et le bicarbonate de potassium (E501) mais aussi le chlorure de calcium (E509) et les sels de magnésium. Leur utilisation est restreinte puisque la plupart offrent un goût amer et que la consommation régulière de sels de magnésium a un effet laxatif. Le tréhalose et la L-Lysine peuvent être utilisés pour masquer le goût amer procuré par ces différents sels. Le tréhalose est un édulcorant mais aussi un exhausteur de goût<sup>158</sup>.

Pour les consommateurs nécessitant des régimes sans sodium strict (sous avis médical seulement), des sels dits «sans sel ou sans sodium» ont été élaborés par les industriels à partir de chlorure de potassium et de calcium.

Il existe aussi des sels parfumés où seulement une partie du sel est remplacée par des aromates ou des herbes. Ces sels contiennent en général deux fois moins de sel qu'un sel classique.

Aujourd'hui on connaît d'autres solutions permettant de compenser les propriétés fonctionnelles du sel. Des protéines fonctionnelles du soja ou du lait, des hydrocolloïdes (alginates...) ou encore de l'amidon sont en mesure de former un réseau tel que le sel le ferait pour maintenir et coller des morceaux de viandes, par exemple le saucisson.

Les phosphates sont capables d'augmenter la propriété du sel pour fixer l'eau<sup>172</sup>.

L'unami (glutamate monosodique) est une saveur découverte par un professeur de l'Université Impériale de Tokyo qui n'a ni le goût du sucré, ni du salé, ni de l'aigre, ni de l'amer. Il ne semble pas être nocif pour la santé puisqu'il est produit par le corps. En quantité, le glutamate monosodique (GMS, E621) apporte deux tiers de sodium en moins que le sel de table et en plus il est utilisé en plus faible quantité. Même sans apporter le côté salé au plat, le GMS serait en mesure de lui donner un goût aussi savoureux que s'il avait été salé.

Parfois la substitution du sel peut être périlleuse surtout à l'échelle industrielle. En effet, le sel étant un conservateur, son ajout à un produit alimentaire empêche la présence de certains autres conservateurs (acide benzoïque,...) qui peuvent être autant, voire plus

mauvais que le sel, et ce, sans parler des contraintes technologiques et du coût financier que cela pourrait représenter pour les industriels. Remplacer le sel peut également avoir des conséquences sur le goût et l'aspect du produit. De plus, il est évident que les consommateurs préfèrent voir marquer sel sur les étiquettes alimentaires que des éléments chimiques ou des séries de E... Tout cela peut donc avoir des conséquences sur les ventes du produit.

Même si l'industrie agro-alimentaire était prête à remplacer une partie du NaCl par du KCl, il faudrait d'abord changer le décret qui reconnaît le sel alimentaire comme un mélange contenant minimum 94% de sodium, cela empêche les industriels d'utiliser des minéraux de substitution qui pourraient avoir des intérêts nutritionnels.

#### 6.1.3.4 Réduction progressive

Un abaissement progressif de la teneur en sel sur un certain nombre de produits alimentaires et en particulier chez les principaux vecteurs de sel, semble être indispensable pour réduire la consommation de sel des Français. Par contre, une réduction trop importante pourrait être préjudiciable à la conservation de certaines denrées et pourrait poser problèmes en termes de goût pour le consommateur.

Des études ont montré qu'en 2 à 3 semaines, les consommateurs s'habituèrent à consommer moins salé et finissaient même à y prendre goût.

Des tests ont prouvé qu'il est possible de réduire la teneur en sel du pain sans pour autant que cela n'affecte ses propriétés (conservation, gustative, organoleptique...), mais elle n'est pas toujours possible et va dépendre du produit. Le mouvement WASH a mis en évidence que dans une même gamme de produits, il pouvait y avoir des teneurs en sel différentes, cela laisse donc penser qu'il est parfois possible de diminuer les quantités de sel de produits sans qu'il y ait besoin de le remplacer. Bien que des produits appartiennent à la même catégorie, leur différence de teneur en sel peut s'expliquer par des moyens de production différents. Toutefois, plusieurs études ont confirmé qu'un certain nombre de fabricants seraient en mesure de le faire.<sup>173</sup>

D'après une étude réalisée en comparant les étiquettes de certains produits alimentaires belges, il a été possible de calculer une teneur moyenne en sel par catégorie d'aliments, cela pourrait donc servir de base pour fixer des limites par le gouvernement.<sup>174</sup>

La réduction progressive de la teneur en sel des aliments semble être la méthode la plus simple et la plus efficace même si des études seront nécessaires pour garantir la sécurité alimentaire du produit et maintenir des perceptions sensorielles correctes chez le consommateur.

C'est par une collaboration entre les organismes de santé et les industriels qu'il est possible de mettre en place une telle action. Pour cela, des efforts devront être faits et des moyens mis en place (campagnes d'informations, étiquetage, publicités...).

Il ne faut pas oublier que le sel est utilisé comme vecteur d'iode et de fluor, une réduction de la consommation de sel pourrait entraîner un déficit en iode ou en fluor de la population. Dans l'industrie alimentaire, le sel utilisé n'est pas iodé donc 80% du sel que nous absorbons ne l'est pas à ce jour. Les 20% concernent le sel que l'on ajoute à table ou au cours de la cuisson et dépendent entièrement du consommateur. Il faudra donc lui conseiller de consommer du sel iodé et ou fluoré au lieu d'un sel classique. Les industriels ne sont pas

autorisés à utiliser le sel iodé et /ou fluoré dans leurs fabrications car le risque de dépasser les limites supérieures de sécurité est trop important et en particulier chez les enfants<sup>10-175</sup>.

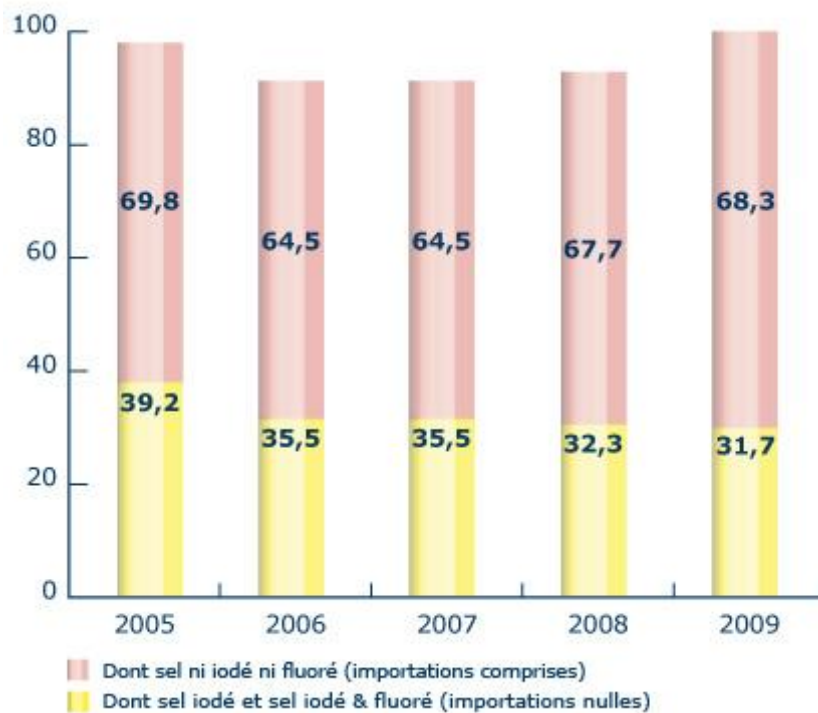


Figure 35 : Ventes totales de sel de table et de cuisine aux consommateurs en France (en %)  
(Source : [www.salines.com](http://www.salines.com))

Ce graphique met en évidence une diminution de la consommation de sel iodé et fluoré au profit d'un sel non supplémenté

## 6.1.4 Les moyens d'informations

### 6.1.4.1 Étiquetage<sup>163</sup>

Un étiquetage adapté est nécessaire pour que les consommateurs puissent comparer les produits et choisir celui qui contient le moins de sel. Ces informations doivent être claires, lisibles et faciles à comprendre. Il est peut être plus facile de comprendre le terme « sel » que sodium pour la plupart des consommateurs, il serait sûrement plus judicieux de renseigner les consommateurs sur le taux de sel à la place du sodium dans l'aliment. Les allégations doivent être claires pour les consommateurs.

Voici les allégations admises en France :

« **À teneur réduite en sel / sodium** » : contient au minimum 25 % de sel en moins qu'un produit similaire. Il est potentiellement toujours salé mais moins que la majorité des produits équivalents.

« **Pauvre en sel / sodium** » : l'aliment ne contient pas plus de 0,12 g de sodium pour 100 g ou 100 ml de produit (soit 0,3 g de sel pour 100 g ou 100 ml de produit).

« **Sans sel** » : l'aliment ne contient pas plus de 0,005 g de sodium pour 100 g ou 100 ml, ce qui est très faible.

Les allégations peuvent être difficiles à comprendre pour les consommateurs, de plus, elles ne donnent pas directement la teneur en sel et n'attirent pas forcément l'attention du consommateur.

Dans le but d'attirer l'attention des consommateurs, en Finlande, un petit symbole cardiaque a été apposé sur les étiquettes des produits contenant des quantités de sel élevées, en plus d'un message d'avertissement<sup>176</sup>.



Figure 36 : Symbole cardiaque apposé sur les produits à teneur élevée en sel

Au Royaume-Uni, à l'inspiration des feux tricolores, des couleurs ont été attribuées aux aliments à faible (vert), moyenne (orange) et forte (rouge) teneur en sel, sucres et acides gras saturés<sup>177</sup>.

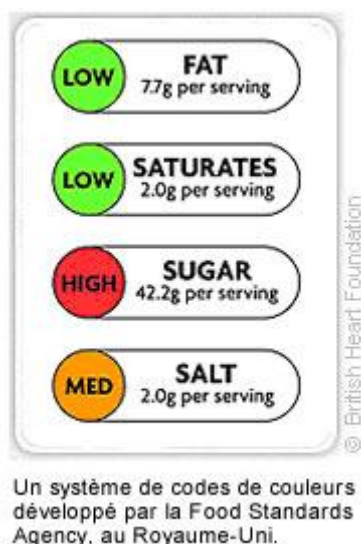


Figure 37 : Système de codes couleurs  
(Low: faible teneur, Med: teneur intermédiaire, High: haute teneur)

Une étude a montré qu'il était plus facile pour le consommateur de se repérer sur les étiquettes avec des couleurs qu'avec un simple tableau contenant des pourcentages en fonction des AJR (Apports Journaliers recommandés).

Pour que les consommateurs s'y retrouvent facilement sur les étiquettes dans n'importe quel pays, les Australiens proposent l'adoption d'un système d'étiquetage universel basé sur le principe des feux tricolores. Il est évident que pour que cela fonctionne et que ce soit identique dans tous les pays, il faudrait que les gouvernements établissent une réglementation qui serait alors obligatoire et mettrait les industriels sur le même pied d'égalité.

Des améliorations au niveau de l'étiquetage en France doivent être mises en place pour aider le consommateur dans le choix de ses aliments.

#### 6.1.4.2 Publicité

Aujourd'hui, il y a de la publicité partout, à la télévision, dans la rue, aux arrêts de bus, dans les journaux, magazines,...

Elle a pour but d'influencer les consommateurs dans leurs choix. La plupart des publicités influencent la consommation de produits trop gras, sucrés et salés.

Le PNNS s'est donc servi de la publicité pour faire passer le message de « Manger moins gras, moins sucré, moins salé », ce slogan peut porter à confusion car il ramène ces trois éléments au même niveau. Cependant, les lipides et les glucides nous nourrissent mais le sel, aux doses auxquelles nous le consommons, nous « intoxique ».

## 6.2 Intérêts économiques

### 6.2.1 Industriels

Le sel permet aux industriels de réaliser un certain profit de part ces nombreuses propriétés (conservation, capacité de donner aux produits une couleur agréable...) mais aussi par sa capacité de rétention d'eau, il est capable d'augmenter le poids du produit alimentaire et donc justifier d'un prix de vente plus élevé. Il a été envisagé que pour atteindre l'objectif fixé par les autorités de santé, cela représenterait pour les industriels français une perte d'environ 6 milliards d'euros<sup>6</sup>. On comprend pourquoi certains d'entre eux ne sont pas prêts à réduire la teneur en sel de leurs produits. Pour que cela se fasse, il faudrait que des lois soient établies.

### 6.2.2 Budget santé publique<sup>9</sup>

Le sel est reconnu aujourd'hui comme un facteur essentiel dans la régulation de la pression artérielle. Une diminution des apports en sel dans l'alimentation permet de diminuer significativement la pression artérielle. Une pression artérielle élevée étant la principale cause de survenue des événements cardio-vasculaires, à l'aide des données épidémiologiques, il a été possible d'estimer le recul du risque cardio-vasculaire grâce à une réduction de l'apport en sel.

D'après ces calculs, une diminution de 50% de la consommation de sel et ce sur une durée de 25 ans, permettrait de réduire de 1 à 2% le taux de mortalité et de 5% le nombre de personnes nécessitant un traitement antihypertenseur. Ainsi, de grandes économies pourraient être réalisées.

Une réduction de seulement 30% de l'apport sodé de la population passant de 9 g de sel quotidien à 6 g permettrait de diminuer de 16% les infarctus du myocarde et de 22% la survenue des AVC.

En revanche, avec une diminution de pression artérielle de seulement 1 mmHg, aucune économie ne serait faite.

En 1998, le projet WHO-CHOICE, à l'initiative de l'OMS, a pour but de regrouper les données des études sur la rentabilité des actions menées. Ces données coût-efficacité doivent servir de preuves pour permettre d'utiliser de manière intelligente les ressources disponibles dans le secteur de la santé.

Les actions menées contre la réduction de sel dans l'alimentation semblent offrir un bon rapport qualité-prix. Ces mesures incluent les modifications de composition de certains produits manufacturés et le changement de certaines étiquettes dans le but qu'elles soient plus précises et ainsi permettre aux consommateurs de choisir tel ou tel produit de manière éclairée. Il semblerait même que l'intervention des politiques sous forme de loi dans les actions de santé soit plus avantageuse que lorsqu'elles sont faites de manière volontaire.

Une diminution de la quantité de sel consommé en prenant en compte la reformulation des produits et l'étiquetage adéquat serait rentable selon certaines études<sup>181</sup>.

En Norvège par exemple, une diminution de mortalité de l'ordre de 1 à 2% (augmentation de l'espérance de vie), ainsi qu'une diminution de 5% de l'utilisation des traitements antihypertenseurs pourrait être à l'origine d'une économie équivalente à 270 millions de dollars sur une durée de 25 ans.

Au Canada, le sel serait la cause de 30% des hypertensions, 1 million de Canadiens pourraient être normotendus à condition de voir la consommation de sel diminuer de moitié. En plus du bénéfice apporté à la santé publique, la réduction de la consommation de sel permettrait d'économiser au moins 430 millions de dollars par an de traitements.

L'OMS a mené des études qui ont permis d'affirmer qu'en plus d'être une stratégie d'amélioration de la santé publique, la réduction de la consommation de sel serait très rentable<sup>9</sup>.

Fin avril, à Dubaï, s'est déroulé un congrès mondial de cardiologie au cours duquel a été abordée une nouvelle réflexion pour réduire la consommation de sel à l'échelle de la population générale. Au même titre que les cigarettes, il a été suggéré l'idée de taxer les aliments dont la teneur en sel serait trop importante et de réduire de 10% la quantité de sel présente dans les aliments transformés dans le but d'obtenir une réduction de 3% de la mortalité cardio-vasculaire dans les pays en développement. Cependant, suite à cette proposition, très peu de personnes étaient enthousiaste<sup>162</sup>.

## 7 CONSEILS A L'OFFICINE

Tout d'abord, il faut rappeler aux patients que 80% du sel que nous absorbons est « caché » (fromages, charcuteries, pains, bouillons, moutarde, pizza, quiches, viennoiseries...) et ne contient pas d'iode, ni de fluor, puisque les industriels n'en ont pas l'autorisation. Le but est donc de limiter la consommation de ce type de produits.

Les produits dit « très salés » sont ceux contenant plus de 400 mg de sel pour 100 g alors que les aliments dits « peu salés » affichent moins de 120 mg de sel pour 100 g de produit.

Le sel peut être mentionné de différentes manières sur les étiquettes, soit sous forme de sel, de sodium ou encore de chlorure de sodium.

A savoir que  $1 \text{ g de NaCl} = 17,1 \text{ mmol de Na} = 393,4 \text{ mg de sodium}$

Quelques gestes simples peuvent être utilisés au quotidien pour réduire sa consommation de sel (cf. : annexe 1 et 2).

Il faut toujours goûter les plats avant de resaler. Beaucoup de gens ont le réflexe de remettre du sel dans leur assiette avant de manger. Ce comportement est très mauvais et favorise l'accoutumance au sel. Plus on mange salé, plus on aime le sel et moins on peut s'en passer. Le sel aux herbes peut être une bonne alternative pour assaisonner les plats tout en réduisant de moitié la quantité de sel ajouté.

Cependant, il est important de rappeler aux patients qu'il est inconscient de se lancer dans un régime sans sel sans avis médical car même s'il peut être nocif à haute dose, il est tout aussi dangereux de ne pas en consommer assez puisqu'il peut entraîner de gros problèmes de santé (déshydratation, dysthyroïdie...).

Le message délivré par la santé publique est souvent mal interprété par le consommateur. Le but n'est pas de stopper l'utilisation de sa salière car cela pourrait nous carencer en iode et en fluor.



L'achat de plats cuisinés est une solution pratique lorsque le temps manque à la préparation de plats « maisons », cependant ils contiennent souvent trop de sel. Il est donc nécessaire d'en limiter la consommation.

Le pain, le fromage, les charcuteries et les soupes constituent les principaux apports en sel de l'alimentation quotidienne des Français.

Les eaux de boissons peuvent également être une source non négligeable d'apport de sodium.

Quelques exemples d'eaux pauvres en sodium : Evian, Vittel, Salvetat, Perrier...

Un « gros consommateur » de sel essayant de réduire sa consommation va devoir passer une période de « sevrage ». Tout d'abord, il va avoir l'impression que tous les aliments sont fades mais cela ne va pas durer. En effet, les papilles gustatives devenant plus sensibles au sel en seulement 2 à 3 semaines<sup>178</sup>, certains aliments appréciés auparavant par le consommateur deviennent soudain trop salés. Moins on mange salé, moins on aime le sel. 1/3 de la quantité de sel pourrait être supprimé sans que le consommateur refuse de consommer le produit. Au cours de l'étude DASH, les régimes restreints en sel ont été aussi bien tolérés que les régimes plus salés.<sup>179</sup>

En ce qui concerne les enfants, il faut les habituer très tôt à consommer très peu de sel. Ainsi, ils auront moins tendance à consommer trop de sel en étant adultes et apprécieront d'avantage le vrai goût des aliments. Les parents doivent donc être vigilants sur la quantité de sel absorbée par leurs enfants et c'est à eux que revient le rôle de ne pas saler ou très peu leurs plats afin de ne pas leur donner cette appétence qui risque de devenir une mauvaise habitude pour eux. Pour les bébés, il est très fortement conseillé de ne pas saler les plats faits maison ou d'acheter des plats préparés adaptés à leur âge puisqu'ils ont été conçus pour eux en fonction de leur besoins physiologiques ; il faudra néanmoins varier les plats.

Certains médicaments dits « à haute teneur en sodium » (MHTS) peuvent apporter une quantité non négligeable de sel, en particulier, les antalgiques effervescents, les antiacides, les laxatifs, les expectorants et les antihistaminiques effervescents. Pris trop régulièrement, ces médicaments peuvent entraîner des effets iatrogènes. Il a été démontré que les MHTS apportent en moyenne 2 g de sel par jour, soit environ 1/3 des apports recommandés par le corps médical.

Le pharmacien ne doit pas proposer des MHTS aux personnes souvent sensibles au sel comme les personnes hypertendues, diabétiques, obèses, les populations africaines, les personnes âgées, mais aussi toutes personnes présentant des problèmes rénaux.

En cas d'activité physique intense et prolongée, il peut s'avérer nécessaire de se supplémenter en sel. Pour un effort de moins d'une heure, la supplémentation serait inutile. Par exemple, un effort d'une durée de 3-4 h nécessite une supplémentation de sel à l'eau de boisson allant de 0,4 à 1,2 g/L<sup>6</sup>.

Après avis médical, certains patients doivent se contraindre à un régime sans sel strict. Étant difficile de supprimer le goût salé de l'alimentation, certaines personnes ont recours au sel « sans sodium» (Ex : sel diététique Bouillet).

Ces sels sont composés essentiellement de chlorure de potassium. Ils doivent être consommés avec prudence afin d'éviter une hyperkaliémie.

Les patients à risque sont les patients sous traitements médicamenteux (IEC, sartans, spironolactone, AINS, héparine,...) ou présentant un hypoaldostéronisme, une insuffisance rénale, une insuffisance surrénalienne...

- **Autres minéraux**

Pour avoir des apports optimaux en micronutriments essentiels, il semble judicieux de consommer environ 400 g de fruits et légumes par jour mais aussi des produits laitiers faibles en matière grasse.

Dans les 400 g nécessaire, il n'est pas pris en compte les féculents, les pommes de terre et le manioc<sup>180</sup>.

C'est pourquoi le PNNS recommande la consommation minimum de 5 fruits et légumes par jour. Mais il s'agit plutôt de 5 portions de fruits et de légumes. En termes de poids une portion représente entre 80 et 100 grammes. Par exemple, une tomate de taille moyenne, 1 bol de soupe, une poignée de haricots verts, 1 pomme, 4-5 fraises, 1 banane...équivalent à une portion.

Manger des fruits et légumes est une chose mais il est tout aussi important de les cuisiner de manière à conserver leurs minéraux. Il est préférable de manger des fruits et des légumes frais qu'en conserve car ils contiennent plus de minéraux essentiels et surtout moins de sel. Pour ceux ne pouvant pas s'approvisionner régulièrement en fruits et en légumes, les surgelés peuvent être très utiles et conservent une grande partie de leurs nutriments. Il est préférable de manger les fruits et les légumes crus, d'utiliser les eaux de cuisson pour cuisiner d'autres plats car elles contiennent les minéraux et les vitamines dissouts. La cuisson à la vapeur de courte durée semble être le meilleur moyen pour conserver au maximum les minéraux.

En ce qui concerne les produits laitiers, le PNNS recommande la consommation de 3 par jour et 4 pour les enfants, adolescents et personnes âgées. Il s'agit donc du lait, des yaourts, du fromage blanc et même du fromage. Le mieux étant de consommer au maximum ceux étant pauvres en matières grasses et en sel. Les fromages dits « à pâte dure » (beaufort, conté, emmental...) sont les plus riches en calcium, mais également en matière grasse. D'autres comme la fêta ou le roquefort sont très salés.

C'est pourquoi, l'essentiel est de varier son alimentation pour avoir des apports variés en minéraux et ainsi limiter les déficits comme les excès.

Il faut rappeler au consommateur que le beurre et la crème fraîche ne doivent pas compter parmi les produits laitiers au même titre que certains desserts lactés (flans, crèmes desserts...) car l'apport en calcium est trop limité par rapport à l'apport en graisse.

L'eau de boisson peut être une source non négligeable de minéraux, mais la composition varie d'une eau à l'autre. C'est pourquoi, il est conseillé de changer de marque d'eau constamment pour varier les apports.

Une eau est dite « fortement minéralisée » lorsque sa teneur globale en minéraux est supérieure à 500 mg/L (résidus secs).

Une eau est dite riche en sodium quand elle contient plus de 200 mg de sodium par litre. Pour le calcium, il faut un taux supérieur à 150 mg/L et 50 mg/L pour le magnésium.

La présence de sodium sous forme de bicarbonate dans une eau ne semble pas être en mesure d'augmenter la pression artérielle telle que le fait le chlorure de sodium, mais le sujet est encore controversé.

Une eau riche en bicarbonate doit contenir plus de 600 mg/l, le mieux étant de les consommer occasionnellement pour améliorer la digestion ou encore après une activité sportive pour favoriser la réhydratation et la récupération musculaire.

|          | Sodium | Potassium | Calcium | Magnésium | Bicarbonates |
|----------|--------|-----------|---------|-----------|--------------|
| Evian    | 6,6    | 0,8       | 70,7    | 35,3      | 360          |
| Vittel   | 3,7    | 1,8       | 206     | 58,9      | 399          |
| Hépar    | 14,5   | 3,2       | 575     | 145       | 384          |
| Contrex  | 8,5    | 2,6       | 481     | 96,3      | 403          |
| Badoit   | 167    | < 11      | 141     | 98,6      | 1300         |
| Salvetat | 6,2    | 2,3       | 241     | 10,4      | 820          |
| Perrier  | < 11,7 | 0,4       | 137     | 3,5       | 430          |
| St Yorre | 1780   | 119       | 89      | 11,2      | 4368         |

Tableau 49 : Composition des principaux minéraux (en mg/L) présents dans les eaux minérales (Source : ciqua)

Le calcium, le magnésium et le potassium sont régulièrement retrouvés dans les compléments alimentaires mais les apports varient entre les différents produits.

Les compléments alimentaires, comme leurs noms l'indiquent, ont pour but de compléter une alimentation normale, en tout cas conforme aux recommandations nutritionnelles. De nos jours, le rythme de vie nous impose un certain nombre de contraintes (sociales, économiques, familiales ou encore professionnelles) et risque de nous éloigner de nos objectifs nutritionnels.

Ils peuvent être un bon recours :

- pour les personnes n'arrivant pas à diversifier leur alimentation (par manque de temps, manque de moyens...)
- pour les personnes mangeant peu (ex : anorexique,...)
- pour des périodes particulières (de stress, fatigue, ménopause, efforts physiques...)

Leur but est de combler un manque occasionnel ou permanent en nutriments essentiels qui pourrait entraîner des conséquences pour la santé. Chaque complément a ses objectifs et ses contre-indications.

Un complément alimentaire en potassium ne devra pas être délivré chez des personnes présentant un risque d'hyperkaliémie : hypoaldostéronisme, une insuffisance rénale, une insuffisance surrénalienne... ou sous traitement par IEC, sartans, spironolactone, AINS, héparine...

Il ne faut pas conseiller un complément alimentaire à base de calcium chez un patient présentant une insuffisance rénale, une lithiase rénale ou sous traitement par diurétiques thiazidiques.

De la même manière, un complément alimentaire à base de magnésium ne doit pas être donné à un patient insuffisant rénal sévère.

Le plus important dans la nutrition est d'avoir des apports alimentaires variés qu'il s'agisse de viandes, poissons, fruits, légumes, produits laitiers, graisses, eaux minérales... pour pouvoir couvrir les besoins de l'organisme en micronutriments de manière optimale sans risquer une carence ou une surconsommation. Pour cela il ne faut pas hésiter à consulter les étiquettes des produits de manière à pouvoir comparer les apports et choisir le plus adapté. Il existe également un outil internet appelé MADAM, créé par le PNNS dans le but de comparer la composition des aliments. Il s'agit d'une source d'informations non négligeable puisqu'il compare une centaine de produits alimentaires. Ce module pédagogique, conçu pour le grand public, est un outil pratique qui aide le consommateur à choisir le produit alimentaire le plus adapté parmi les plus grandes familles d'aliments quotidiennement consommés.

Une activité physique doit également être envisagée pour un contrôle optimal de la pression artérielle. En effet, elle fait partie intégrante de la prise en charge du patient hypertendu.

Il est préférable pour ce type de patient de pratiquer une activité physique d'endurance plusieurs fois par semaine si possible (4 à 5 fois). Cependant, la reprise d'une activité sportive doit être progressive et adaptée à l'état de santé du patient.<sup>184</sup>

L'activité physique comme toutes les activités « anti-stress » : yoga, tai-chi, sophrologie peuvent être conseillées par le pharmacien.

Les personnes hypertendues peuvent espérer réduire leur pression systolique de 10 mmHg et leur pression diastolique de 5 mmHg.

| Methodes                                 | Baisse de la PAS       |
|--|------------------------|
| <b>Activité physique</b>                 | 4-9 mmHg               |
| <b>Régime riche en fruits et légumes</b> | 8-14 mmHg              |
| <b>Réduction du sel</b>                  | 2-8 mmHg               |
| <b>Réduction de l'alcool</b>             | 2 à 4 mmHg             |
| <b>Perte de poids</b>                    | 5 à 20mmHg/10kg perdus |

Tableau 50 : Mesures hygiéno-diététiques et pression artérielle  
(Source : cours sur le sport et HTA, Hininger I)

TITRE : Prise en charge nutritionnelle du patient hypertendu

## CONCLUSION

Grâce aux différentes actions mises en place par le Ministère de la Santé, notamment à travers le Plan National Nutrition et Santé, la population prend peu à peu conscience de l'importance d'une alimentation saine et variée. Certains excès alimentaires ou au contraire des carences en nutriments peuvent être impliqués dans l'étiologie de pathologies importantes et constituent de réels problèmes de santé publique. Ainsi, parmi les pathologies dans laquelle la nutrition peut être un levier de prévention, on compte : l'obésité, l'ostéoporose, les cancers, les maladies cardiovasculaires et l'hypertension artérielle.

Pour cette dernière, même si des études complémentaires sont encore nécessaires, il est incontestable que certains minéraux et plus largement l'alimentation et le mode de vie peuvent influencer la pression artérielle. Cependant, l'effet n'est pas constant et va dépendre de chaque individu car différents facteurs comme l'âge, le sexe, l'ethnie,...etc. rentrent en compte dans la variation de la pression artérielle. En effet, Il existe une sensibilité au sel qui se caractérise par une augmentation exagérée de la pression artérielle suite à de faibles consommations de sel.

La majorité des études a mis en évidence une baisse de la pression artérielle après une réduction des apports en sel, mais également que l'impact de la variation de la consommation de sel sur la pression artérielle dépend de chaque personne conduisant à la notion de personnes « sensibles aux sels ». Chez ces personnes, une diminution des apports en sel permet de réduire de manière importante la pression artérielle moyenne jusqu'à - 11 mmHg. Des actions doivent encore être mises en place pour atteindre l'objectif de l'OMS de 5g par jour de sel passant par une baisse de la teneur en sel des principaux aliments vecteurs et autres produits de l'industrie agro-alimentaire ou encore par l'élaboration d'un système d'étiquetage plus explicite pour les consommateurs.

Toutefois, la diminution des apports sodés ne serait pas suffisante pour un effet optimal sur la pression artérielle. Ainsi, l'étude DASH a montré qu'une consommation enrichie en produits laitiers, en fruits et légumes et appauvrie en sel, permet d'obtenir une réduction de la pression artérielle plus significative que celle apportée par une alimentation uniquement pauvre en sel. Cette étude se caractérise par une densité nutritionnelle élevée, due à sa


teneur en potassium apportée par les fruits et légumes, en calcium et magnésium, et un ratio K<sup>+</sup>/Na<sup>+</sup> élevé.

Le bénéfice d'une activité physique régulière dans la prise en charge de la pression artérielle est aujourd'hui admis en favorisant entre autre le maintien d'un poids normal et l'élimination de sodium par sudation.

Le pharmacien, en tant qu'acteur de santé, doit proposer des conseils adaptés à la pathologie du patient. La délivrance des traitements antihypertenseurs à un patient doit être un moment privilégié de la relation pharmacien-patient pour associer à la délivrance des conseils nutritionnels qui pourront optimiser l'efficacité du traitement. De plus, une réduction de la quantité de sel consommée quotidiennement aurait d'autres bénéfices, comme celui de réduire les risques de survenue d'ostéoporose ou de cancer de l'estomac et pourrait même avoir un rôle dans l'obésité. Les fruits et légumes, quant à eux, permettent aussi le maintien d'un poids normal, évitent la constipation,...etc. Leur consommation ne sera surveillée que dans de rares cas particuliers (allergie, crise inflammatoire dans les pathologies intestinales...etc.).

VU ET PERMIS D'IMPRIMER

Grenoble, le 7 Février 2013



LE DOYEN

Professeur Christophe RIBUOT



LE PRESIDENT DE THESE

Isabelle HININGER-FAVIER

# ANNEXES

ANNEXE 1 : Conseils nutritionnels généraux (adressés aux patients)

ANNEXE 2 : Conseils nutritionnels pour le quotidien du patient hypertendu (adressés aux patients)

ANNEXE 3 : Prise en charge nutritionnelle du patient hypertendu à l'officine (adressée aux pharmaciens)

## ANNEXE 1

### CONSEILS NUTRITIONNELS GENERAUX

(Adressés aux patients)

#### Pour qui ?

Cette fiche s'adresse à tout le monde mais en particulier aux personnes hypertendues ou prédisposées à le devenir.

#### Pourquoi ?

Nous consommons en moyenne 9-10 g de sel par jour, alors que les recommandations médicales pour une bonne santé cardio-vasculaire n'en préconisent que 5 g par jour.

#### Comment ?

##### 1. Rappels

**80% du sel** que nous consommons provient de l'industrie agro-alimentaire. Les principaux vecteurs de sel de notre alimentation sont **le pain, le fromage, les charcuteries et les soupes et bouillons.**

Voici les équivalences entre le sel (NaCl) et le sodium (Na) :



L'alimentation moderne (riche en produits industriels) apporte trop de sel et de matière grasse saturée contre trop peu de minéraux essentiels tels que le potassium, le calcium ou le magnésium.

Aujourd'hui, encore trop de gens sont en **carence en minéraux essentiels** alors qu'ils sont en excès de sel et de matières grasses saturées.

Ce **dérèglement nutritionnel** peut avoir de sérieuse conséquence sur la santé y compris sur la **pression artérielle.**

##### 2. Conseils



**Limiter au maximum la consommation d'aliments à forte teneur en sodium.**

Olives, crevettes, viande et poisson fumés, sauce soja, bouillon de cubes, bacon, anchois...

Il ne s'agit pas de les éliminer mais seulement de les manger avec parcimonie.



**Manger moins de plats tout prêts en préférant les produits bruts à cuisiner.**



**Manger plus d'aliments à faible teneur en sodium et riches en nutriments essentiels.**

Fruits et légumes (séchés, frais ou congelés), certaines céréales, œufs, poissons et viandes fraîches, fromage frais, pâtes...



## ANNEXE 2

### CONSEILS NUTRITIONNELS POUR LE QUOTIDIEN DU PATIENT HYPERTENDU

(Adressés aux patients)

#### ➤ Aliments et pression artérielle :

| Catégories d'aliments                       | Effet positif sur PA   | Effet négatif sur la PA   |
|---|--|---|
| Fruits et légumes frais, surgelés ou séchés | Tomates, carottes, poireaux, haricots verts, avocat, champignon ...etc.<br>Pommes, poires, pruneaux, banane...<br>Fruits secs : dattes, raisins...<br>Légumes à feuilles vertes : chou, épinard, laitue... | Soupes prêtes à consommer (trop riche en sel), bouillons.                       |
| Légumineuses                                | Lentilles, pois, fèves...  |   |
| Produits laitiers                           | Lait demi-écrémé   | Lait entier, Lait écrémé  |
|   | Fromage frais, fromage blanc...  | Fromages affinés : Reblochon, beaufort, camembert au lait cru, roquefort...     |
|   | Yaourts au lait demi-écrémé  | Yaourts au lait entier  |
| Viandes et poissons                         | Viandes blanches (poulet, dinde...)  | Viandes rouges (bœuf...)  |
|   | Poissons frais ou surgelés : morue, thon, cabillaud...   | Poissons fumés : saumon, hareng...  |
|   |  | Charcuteries : jambons, salami, saucissons...                                   |
| Céréales                                    |  | Pains, biscottes, croissants, céréales petit déjeuner...                        |
| Biscuits /Pâtisseries                       |  | Apéritifs : Cacahuètes, amuse-bouches...<br>Gâteaux du commerce, pâtisseries... |
| Plats préparés                              |  | Hachis parmentier, crêpes, cordon bleu, pizza...                                |
| Condiments                                  | Herbes et épices...  | Cornichons, moutarde, mayonnaise,...  |

**Tableau des différentes catégories d'aliments et leur effet sur la pression artérielle**

#### Légende :

- **Effet positif sur la PA (pression artérielle) :** aliments permettant le contrôle de la pression artérielle
- **Effet négatif sur la PA (pression artérielle) :** aliments pouvant favoriser l'augmentation de la pression artérielle

Les produits classés comme « positifs » pour la pression artérielle doivent être consommés en priorité en particulier les fruits et les légumes. Alors que les produits classés comme « négatifs » pour la pression artérielle doivent être consommés avec modération.

➤ Eaux et pression artérielle

| Eaux de boissons | Eaux pauvres                                 | Eaux riches  |
|------------------|--|--|
| Sodium           | Evian, Vittel, Contrex, Salvetat, Perrier... | (Plus de 200 mg/L)<br>St Yorre, Vichy Célestins...     |
| Calcium          | Evian, St Yorre, Perrier...                  | (Plus de 150 mg/L)<br>Vittel, Hépar, Contrex...        |
| Magnésium        | Evian, Salvetat, Perrier, St Yorre...        | (Plus de 50 mg/L)<br>Vittel, Hépar, Contrex, Badoit... |
| Bicarbonates     | Evian, Vittel, Hépar, Contrex, Perrier...    | (Plus de 600 mg/L)<br>Badoit, Salvetat, St Yorre...    |

Tableau des apports en minéraux des eaux de boissons

Chaque eau a une composition différente. Pour le patient hypertendu, il est conseillé d'augmenter ses apports en calcium et magnésium tout en réduisant la consommation de sodium. Le mieux étant de varier sa consommation pour avoir des apports équilibrés en minéraux. Cependant pour les patients hypertendus, il est préférable d'éviter les eaux riches en sodium.

➤ Quelques idées pour réduire sa consommation de sel :

Attention : Il n'est pas question de stopper sa consommation de sel sans avis médical. Il est nécessaire d'apporter 5 g de sel par jour à notre organisme et de préférence du sel iodé et/ou fluoré.

**- Préparation du repas :**

Des gestes simples peuvent permettre de réduire sa consommation de sel au cours de la préparation du repas :

- réduire la quantité de sel utilisée dans les eaux de cuisson (pâtes, riz...),
- Goûter les plats pour ne pas trop saler,
- Penser à utiliser des herbes aromatiques pour assaisonner les plats comme substitut partiel du sel (thym, ciboulette, basilic, estragon...),
- Penser également aux épices qui pourront relever les plats (cumin, curry, paprika, poivre...),
- Pour les poissons, il est possible d'ajouter du citron,
- Les oignons, ail et échalotes permettent de rehausser la saveur des plats.

**- A table :**

Toujours goûter les plats avant de resaler. Beaucoup de gens ont le réflexe de remettre du sel dans leur assiette avant de manger. Ce comportement est très mauvais et favorise l'accoutumance au sel. Plus on mange salé, plus on aime le sel et moins on peut s'en passer.

Le sel aux herbes peut être une bonne alternative pour assaisonner les plats tout en réduisant de moitié la quantité de sel ajouté.

## **- Achats de produits alimentaires :**

L'achat de plats cuisinés est une solution pratique lorsque le temps manque à la préparation de plat maison, cependant ils contiennent souvent trop de sel. Limiter les achats de plats tout prêts (pizzas, croque monsieur...).

A savoir que le pain, le fromage, les charcuteries et les soupes constituent les principaux apports en sel de l'alimentation quotidienne des Français.

Les eaux de boissons peuvent également être une source non négligeable d'apport de sodium et en autres minéraux.

Quelques exemples d'eaux pauvres en sodium : Evian, Vittel, Salvetat, Perrier...

Comparer les étiquettes est le meilleur moyen de choisir correctement ses aliments.

## **- Apéritif :**

L'apéritif est le moment le plus propice à la consommation de sel. En effet, les gâteaux apéritifs, comme leurs noms l'indiquent, ont pour but d'ouvrir l'appétit. Le sel étant l'appétissant par excellence, on comprend facilement pourquoi ces mets en contiennent autant.

Pour limiter la consommation de sel au cours de ces apéritifs, le mieux est de remplacer au maximum les gâteaux apéritifs classiques (chips, cacahuètes...) par des légumes et fruits de saison (radis, tomates cerise, melon...).

## **- Sport :**

Le sel est évacué en très faible partie à travers la sueur en temps normal. Cependant, au cours d'un effort physique, la sudation augmente sous différentes conditions (la durée de l'effort, la chaleur...).

En fonction de la durée de l'effort physique, une supplémentation en sel peut s'avérer nécessaire.

## **Exemple :**

En considérant une absorption de 5 g de sel par jour, 1/5 de la quantité de sel se trouve dans : une rondelle de saucisson, une poignée de chips ou biscuit apéritifs, un bol de soupe, une part de pizza...

## **Conclusion :**

Le but est de réduire sa consommation de produits « tout prêts » riche en sel et en graisses saturés fabriqués par l'industrie agro-alimentaire, au profit d'une alimentation riche en produits bruts. Préférer la cuisson vapeur ou micro-onde pour conserver au maximum les nutriments essentiels des aliments.

Associer une alimentation saine et variée à une activité sportive régulière (d'endurance de préférence) permettra d'optimiser le contrôle de la pression artérielle.

## ANNEXE 3

### PRISE EN CHARGE NUTRITIONNELLE DU PATIENT HYPERTENDU A L'OFFICINE

(Adressée aux pharmaciens)

- Principaux médicaments à haute teneur en sel (MHTS) :

| Antalgiques effervescents et sachets   | Antiacides   | Laxatifs  | Expectorants                                     |
|--|--|---|--|
| paracétamol, Nureflex <sup>®</sup> , Claradol <sup>®</sup> , aspirine, tramadol... | Azantac <sup>®</sup> , Raniplex <sup>®</sup> , Gaviscon <sup>®</sup> , cimétidine... | Movicol <sup>®</sup> , Hépargitol <sup>®</sup> , Transipeg <sup>®</sup> ... | Exomuc <sup>®</sup> , Fluimucil <sup>®</sup> ... |

Le sel est principalement retrouvé dans les comprimés effervescents et les sachets. Ces traitements sont à déconseiller chez les patients hypertendus. Si possible, choisir de préférence une forme comprimé à avaler.

- Compléments alimentaires, traitements et pathologies :

Certaines pathologies ou la prise de certains médicaments peuvent être déconseillés ou contre-indiqués avec une supplémentation en micronutriments.

- **Apports potassiques :** Diffu-K<sup>®</sup>, sel sans « sodium », compléments alimentaires à base de potassium (granions...)...  
**Déconseillé avec le K (risque d'hyperkaliémie) :** hypoaldostéronisme, insuffisance rénale, insuffisance surrénalienne, diabète, âge supérieur à 70 ans..., ou sous traitement par IEC, sartans, spironolactone, AINS, héparine, digitaliques...
- **Apports calciques :** Cacit<sup>®</sup>, Calciprat<sup>®</sup>, Caltrate<sup>®</sup>, Orocal<sup>®</sup>..., compléments alimentaires à base de calcium (Berocca<sup>®</sup>...)  
**Déconseillé avec le Ca (risque d'hypercalcémie) :** insuffisance rénale, lithiase rénale ou sous traitement par diurétiques thiazidiques, prise d'antiacides (Rennie<sup>®</sup>,...)
- **Apports magnésiques :** Mag 2<sup>®</sup>, Magne B6<sup>®</sup>, Magnogene<sup>®</sup>, Spasmag<sup>®</sup>, Berocca<sup>®</sup>,...  
**Déconseillé avec le Mg (risque d'hypermagnésémie) :** insuffisance rénale

Conclusion : Avant de conseiller une supplémentation en micronutriments à un patient, il est essentiel de connaître sa fonction rénale et de vérifier la prise de traitements incompatibles.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

---

<sup>1</sup> **Assemblée nationale et Sénat.**

LOI n° 2009-879 du 21 juillet 2009 portant réforme de l'hôpital et relative aux patients, à la santé et aux territoires (1)

JORF n°0167, 22 juillet 2009, page 12187, texte 1

<sup>2</sup> **Cloutier L, Poirier L.**

Prise en charge systématisée des personnes atteintes d'hypertension artérielle, 2011 ; page 9

<sup>3</sup> **Léoni J**

Physiopathologie de l'athérosclérose-Mécanismes et prévention de l'athérombose

Disponible sur <http://www.123bio.net/revues/jleoni/biblio.html>

Consulté le 26 janvier 2013

<sup>4</sup> **Rossier B**

Sel et hypertension artérielle. Le rein, silencieux et si peu connu  
Le fait médical, décembre 2005, N ° 60

<sup>5</sup> **Levy Patrick**

Le bilan du sodium

Faculté de médecine de Grenoble, année universitaire 2007-2008, cours chapitre 4

Disponible sur : <http://umvf.biomedicale.univparis5.fr>

Consulté le 01/02/2013

<sup>6</sup> **Hininger-Favier I**

Sel : Le point en 2010

Faculté de pharmacie de Grenoble, 2010, cours

<sup>7</sup> **Damy T, Guellich A, Vermes E, Deswarte G, Hittinger L**

Physiologie et physiopathologie du système rénine-angiotensine-aldostérone

MT Cardio. Volume 3, Numéro 4, 257-62, Juillet-Août 2007, Dossier – Inhibiteurs de la rénine

<sup>8</sup> **Pallot JL**

Physiologie rénale

Disponible sur : <http://www.ifits.fr>

Consulté le 29/01/13

<sup>9</sup> **Mohan S, Campbell NR.**

Salt and high blood pressure.

Clin Sci (Lond). 2009 Jun 2;117(1):1-11

---

<sup>10</sup> **Joly L, Perret-Guillaume C, Mzietchueng R, Lacolley P, Benetos A**

Vieillesse artérielle : déterminants et conséquences cliniques

John Libbey Eurotext, MT cardio. volume 4, numéro 3,220-8,Mai-Juin 2008, Revues

<sup>11</sup> **Comité des Salines de France**

Sel et nutrition

Janvier 2011-Bulletin N°11

Disponible sur [www.salines.com](http://www.salines.com), consulté le 27 janvier 2013

<sup>12</sup> **Kaschina E, Unger T**

Effets des antagonistes des récepteurs AT1 sur l'endothélium vasculaire

Flammarion médecine-sciences, actualités néphrologiques 2002

Disponible sur : <http://www.soc-nephrologie.org/>

Consulté le 01/02/2013

<sup>13</sup> **Bernanose P**

Sel et hypertension : Aussi une question d'adrénaline ? – Journal of hypertension

Santéblog, 19/01/2012

Disponible sur : <http://blog.santelog.com/>

<sup>14</sup> **Cashin-Garbutt A, Mandal U**

Le sel excédentaire stimule la production de l'adrénaline et entraîne l'hypertension

News medical, 12 janvier 2102

<http://www.news-medical.net/news/20120112/858/French.aspx>

<sup>15</sup> **Gavras J, Gavras H.**

Volume-expanded' hypertension: the effect of fluid overload and the role of the sympathetic nervous system in salt-dependent hypertension.

J Hypertens. 2012 Apr;30(4):655-9.

<sup>16</sup> **Pasch A**

La régulation de l'équilibre potassique

Forum Med Suisse, 2006 ; 6 : 468-473

<sup>17</sup> **Higdon J**

Potassium

Institut Linus Pauling 2001-2013, Février 2004

Disponible sur : <http://lpi.oregonstate.edu/infocenter/minerals/potassium/index.html>

<sup>18</sup> **Akita S, Sacks FM, Svetkey LP, Conlin PR, Kimura G, DASH-Sodium Trial Collaborative Research Group.**

Effects of the Dietary Approaches to Stop Hypertension (DASH) diet on the pressure-natriuresis relationship.

Hypertension. 2003 Jul;42(1):8-13. Epub 2003 May 19.

---

<sup>19</sup> **Meneton P**

Le potassium et son rôle dans la diminution de la tension artérielle : la place des fruits et légumes

Equation Nutrition n°60 - Octobre 2006

<sup>20</sup> **Luft FC, Aronoff GR, Fineberg NS, Weinberger MH.**

Effects of oral calcium, potassium, digoxin, and nifedipine on natriuresis in normal humans. *Am J Hypertens.* 1989 Jan;2(1):14-9.

<sup>21</sup> **Gallen IW, Rosa RM, Esparaz DY, Young JB, Robertson GL, Batlle D, Epstein FH, Landsberg L.**

On the mechanism of the effects of potassium restriction on blood pressure and renal sodium retention.

*Am J Kidney Dis.* 1998 Jan;31(1):19-27.

<sup>22</sup> **Büssemaker E, Hillebrand U, Hausberg M, Pavenstädt H, Oberleithner H.**

Pathogenesis of hypertension: interactions among sodium, potassium, and aldosterone.

*Am J Kidney Dis.* 2010 Jun;55(6):1111-20.

<sup>23</sup> **Féléto M, Busse R, Edwards G, Fleming I, Weston AH, Vanhoutte PM**

Dialogue entre cellules endothéliales et cellules musculaires lisses

M/S : médecine sciences, décembre 2003, Volume 19, numéro 12, p. 1242-1250

<sup>24</sup> **Haddy JH, Vanhoutte PM, Feletou M**

Role of potassium in regulating blood flow and blood pressure

*Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol,* 2006, 290:R546-R552

<sup>25</sup> **Treasure J, Ploth D**

Role of dietary potassium in the treatment of hypertension.

*Hypertension.* 1983;5:864-872

<sup>26</sup> **Zicha J, Dobešová Z, Behuliak M, Kuneš J, Vaněčková I.**

Preventive dietary potassium supplementation in young salt-sensitive Dahl rats attenuates development of salt hypertension by decreasing sympathetic vasoconstriction.

*Acta Physiol (Oxf).* 2011 May;202(1):29-38

<sup>27</sup> **Jung JY, Kim S, Lee JW, Jung ES, Heo NJ, Son MJ, Oh YK, Na KY, Han JS, Joo KW**

Effects of potassium on expression of renal sodium transporters in salt-sensitive hypertensive rats induced by uninephrectomy.

*Am J Physiol Renal Physiol.* 2011 Jun;300(6):F1422-30

<sup>28</sup> **Ando K, Matsui H, Fujita M, Fujita T.**

Protective effect of dietary potassium against cardiovascular damage in salt-sensitive hypertension: possible role of its antioxidant action.

*Curr Vasc Pharmacol.* 2010 Jan;8(1):59-63.

---

<sup>29</sup> **Peacock M.**

Calcium metabolism in health and disease.  
Clin J Am Soc Nephrol. 2010 Jan;5 Suppl 1:S23-30.

<sup>30</sup> **Legroux-Gérot I, Vieillard MH**

Hypercalcémies, physiopathologie et aspects cliniques  
JBH santé, réflexions rhumatologiques, janvier 2009, N°115 - Tome 13

<sup>31</sup> **Vital Durand D, Le Jeune C**

DOROSZ, Guide pratique des médicaments, 2009  
Maloine, 28<sup>ème</sup> Edition, 1815 pages

<sup>32</sup> **Carbone LD, Bush AJ, Barrow KD, Kang AH.**

The relationship of sodium intake to calcium and sodium excretion and bone mineral density of the hip in postmenopausal African-American and Caucasian women.  
J Bone Miner Metab. 2003;21(6):415-20.

<sup>33</sup> **Itoh R, Suyama Y**

Sodium excretion in relation to calcium and hydroxyproline excretion in a healthy Japanese population.  
Am J Clin Nutr. 1996 May;63(5):735-40.

<sup>34</sup> **Sztark F, Cochard JF**

Le magnésium en anesthésie-réanimation  
Elsevier et SFAR, 1998

<sup>35</sup> **Berthelot A**

Le magnésium: un nutriment important  
Forum Med Suisse, N°27, 2 juillet 2003

<sup>36</sup> **Bo S , E Pisu .**

Role of dietary magnesium in cardiovascular disease prevention, insulin sensitivity and diabetes.  
Curr Opin Lipidol. 2008 Feb;19(1):50-6

<sup>37</sup> **Bielinski RW**

Magnésium et activité physique  
Revue médicale suisse N° 74, 26/07/2006

<sup>38</sup> **Swaminathan R**

Magnesium Metabolism and its Disorders  
Clin Biochem Rev. 2003 May; 24(2): 47–66.

<sup>39</sup> **Yang ZW, Gebrewold A, Nowakowski M, Altura BT, Altura BM**

Mg<sup>2+</sup>-induced endothelium-dependent relaxation of blood vessels and blood pressure lowering: role of NO  
American Journal of Physiology- Regu Physiol March 1, 2000 vol. 278 no. 3R628-R639



- 
- <sup>40</sup> **Touyz RM, Panz V, Milne FJ.**  
Relations between magnesium, calcium, and plasma renin activity in black and white hypertensive patients.  
Miner Electrolyte Metab 1995; 21: 417-22.
- <sup>41</sup> **Corica F, Corsonello A, Buemi M, De Gregorio T, Malara A, Mauro VN, Macaione S, Ientile R.** Platelet magnesium depletion in normotensive and hypertensive obese subjects: the role of salt-regulating hormones and catecholamines.  
Magnes Res 1999; 12: 287-96.
- <sup>42</sup> **Resnick LM, Laragh JH, Sealey JE, Alderman MH.**  
Divalent cations in essential hypertension. Relations between serum ionized calcium, magnesium, and plasma renin activity.  
N Engl J Med 1983; 309: 888-91.
- <sup>43</sup> **Sontia B, Touyz RM.**  
Role of magnesium in hypertension.  
Arch Biochem Biophys. 2007 Feb 1;458(1):33-9.
- <sup>44</sup> **Maier JA, Malpuech-Brugere C, Zimowska W, Rayssiguier Y, Mazur A.**  
Low magnesium promotes endothelial cell dysfunction: implications for atherosclerosis, inflammation and thrombosis.  
Biochim Biophys Acta 2004; 1689: 13-21
- <sup>45</sup> **Howard AB, Alexander RW, Taylor WR.**  
Effects of magnesium on nitric oxide synthase activity in endothelial cells.  
Am J Physiol 1995; 269: C612-C618.
- <sup>46</sup> **Pearson PJ, Evora PR, Secombe JF, Schaff HV.**  
Hypomagnesemia inhibits nitric oxide release from coronary endothelium: protective role of magnesium infusion after cardiac operations.  
Ann Thorac Surg 1998; 65: 967-72.
- <sup>47</sup> **Berthon N, Laurant P, Fellmann D, Berthelot A.**  
Effect of magnesium on mRNA expression and production of endothelin-1 in DOCA-salt hypertensive rats.  
J Cardiovasc Pharmacol 2003; 42: 24-31.
- <sup>48</sup> **Laurant P, Berthelot A.**  
Endothelin-1-induced contraction in isolated aortae from normotensive and DOCA-salt hypertensive rats: effect of magnesium.  
Br J Pharmacol 1996; 119: 1367-74
- <sup>49</sup> **Berthon N, Laurant P, Hayoz D, Fellmann D, Brunner HR, Berthelot A.**  
Magnesium supplementation and deoxycorticosterone acetate--salt hypertension: effect on arterial mechanical properties and on activity of endothelin-1.  
Can J Physiol Pharmacol 2002; 80: 553-61

---

<sup>50</sup> **Blache D, Devaux S, Joubert O, Loreau N, Schneider M, Durand P, Prost M, Gaume V, Adrian M, Laurant P, Berthelot A.**

Long-term moderate magnesium-deficient diet shows relationships between blood pressure, inflammation and oxidant stress defense in aging rats.  
Free Radic Biol Med. 2006 Jul 15;41(2):277-84.

<sup>51</sup> **Touyz RM**

Role of magnesium in the pathogenesis of hypertension  
Mol Aspects Med. 2003 Feb-Jun;24(1-3):107-36.

<sup>52</sup> **Shimosawa T, Takano K, Ando K, Fujita T.**

Magnesium inhibits norepinephrine release by blocking N-type calcium channels at peripheral sympathetic nerve endings.  
Hypertension 2004; 44: 897-902.

<sup>53</sup> **Ibrahim MM, Damasceno A.**

Hypertension in developing countries.  
Lancet. 2012 Aug 11;380(9841):611-9

<sup>54</sup> **Aram V, Chobanian MD**

The Hypertension Paradox : *More Uncontrolled Disease despite Improved Therapy*  
N Engl J Med 2009;361:878-87

<sup>55</sup> **Naudin-Rousselle P**

HTA : les nouvelles stratégies thérapeutiques  
Lemédecingénéraliste.fr, N°2505, 20/11/2009

<sup>56</sup> **Codex Alimentarius**

Disponible sur : <http://www.codexalimentarius.org/about-codex/en/>  
Consulté le 01/02/2013

<sup>57</sup> **Breton T, Bussereau D, Bas P**

Arrêté du 24 avril 2007 relatif aux substances d'apport nutritionnel pouvant être utilisées pour la supplémentation des sels destinés à l'alimentation humaine.  
[www.legifrance.gouv.fr](http://www.legifrance.gouv.fr)

<sup>58</sup> **Comité des salines de France**

Charte de qualité du sel alimentaire  
Disponible sur : [http://www.salines.com/wp-content/uploads/2012/05/Charte-de-qualite-du-sel-alimentaire\\_novembre2008.pdf](http://www.salines.com/wp-content/uploads/2012/05/Charte-de-qualite-du-sel-alimentaire_novembre2008.pdf)  
Consulté le 01/02/13

<sup>59</sup> **Lewington S, Clarke R, Qizilbash N, Peto R, Collins R; Prospective Studies Collaboration.**

Age-specific relevance of usual blood pressure to vascular mortality: a meta-analysis of individual data for one million adults in 61 prospective studies.  
Lancet. 2002 Dec 14;360(9349):1903-13

---

<sup>60</sup> **Meneton P, Jeunemaitre X**

Les relations entre l'apport en sel et la pression artérielle : évidences épidémiologiques, génétiques et cliniques  
Médecine thérapeutique Cardiologie. Volume 1, Numéro 4, 200-19, octobre-décembre 2003, Revue

<sup>61</sup> **Jeunemaitre X**

Syndrome de Liddle  
Orphanet N°526, Octobre 2011  
Disponible sur : [http://www.orpha.net/consor/cgi-bin/OC\\_Exp.php?Ing=FR&Expert=526](http://www.orpha.net/consor/cgi-bin/OC_Exp.php?Ing=FR&Expert=526)

<sup>62</sup> **Carey RM, Schoeffel CD, Gildea JJ, Jones JE, McGrath HE, Gordon LN, Park MJ, Sobota RS, Underwood PC, Williams J, Sun B, Raby B, Lasky-Su J, Hopkins PN, Adler GK, Williams SM, Jose PA, Felder RA.**

Salt sensitivity of blood pressure is associated with polymorphisms in the sodium-bicarbonate cotransporter.  
Hypertension. 2012 Nov;60(5):1359-66.

<sup>63</sup> **Ando K, Fujita T.**

Pathophysiology of salt sensitivity hypertension.  
Ann Med. 2012 Jun;44 Suppl 1:S119-26.

<sup>64</sup> **Meneton pierre**

Le chlorure de sodium dans l'alimentation : un problème de santé publique non résolu  
Inserm U367  
NAFAS SCIENCE –volume 5- 2001

<sup>65</sup> **Ernandez T, Pechère-Bertschi A, Dayer P, Desmeules J.**

Entre sel et gènes ou pharmacogénomique des antihypertenseurs.  
Revue Médicale Suisse N° 61, 12/04/2006

<sup>66</sup> **Schmidlin O, Forman A, Sebastian A, Morris RC Jr.**

Sodium-selective salt sensitivity: its occurrence in blacks.  
Hypertension. 2007 Dec;50(6):1085-92. Epub 2007 Oct 15.

<sup>67</sup> **Charles MA, Basdevant A, Eschwège E**

Obépi-Roche 2012 : *enquête nationale sur l'obésité et le surpoids*  
Disponible sur : [http://www.roche.fr/portal/roche-fr/obepi\\_2012\\_](http://www.roche.fr/portal/roche-fr/obepi_2012_)  
Consulté le 01/02/13

<sup>68</sup> **Feng J. He, Nirmala D. Markandu, Giuseppe A. Sagnella, Graham A. MacGregor**

Effect of Salt Intake on Renal Excretion of Water in Humans  
Hypertension. 2001 ; 38 : 317-302

<sup>69</sup> **EFSA**

Tolerable upper intake levels for vitamins and minerals. Février 2006  
<http://www.efsa.europa.eu/en/ndatopics/docs/ndatolerableuil.pdf>

- 
- <sup>70</sup> **Li K, Guo D, Zhu H, Hering-Smith K, Hamm L, Ouyang J, Dong Y**  
Interleukin-6 stimulates epithelial sodium channels in mouse cortical collecting duct cells  
*Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol.* 2010 August; 299(2): R590–R595.
- <sup>71</sup> **Israeli E, Schochat T, Korzets Z, Tekes-Manova D, Bernheim J, Golan E.**  
Prehypertension and obesity in adolescents: a population study.  
*Am J Hypertens.* 2006 Jul;19(7):708-12.
- <sup>72</sup> **Rafraf M, Gargari BP, Safaiyan A.**  
Prevalence of prehypertension and hypertension among adolescent high school girls in Tabriz, Iran.  
*Food Nutr Bull.* 2010 Sep;31(3):461-5.
- <sup>73</sup> **Colín-Ramírez E, Castillo-Martínez L, Orea-Tejeda A, Villa Romero AR, Vergara Castañeda A, Asensio Lafuente E.**  
Waist circumference and fat intake are associated with high blood pressure in Mexican children aged 8 to 10 years.  
*J Am Diet Assoc.* 2009 Jun;109(6):996-1003.
- <sup>74</sup> **Salvadori M, Sontrop JM, Garg AX, Truong J, Suri RS, Mahmud FH, Macnab JJ, Clark WF.**  
Elevated Blood Pressure in Relation to Overweight and Obesity Among Children in a rural Canadian Community.  
*Pediatrics* 2008;122:e821, DOI: 10.1542/peds.2008-0951
- <sup>75</sup> **Kirk EP, Klein S**  
Pathogenesis and Pathophysiology of the Cardiometabolic Syndrome  
*J Clin Hypertens (Greenwich).* 2009 December; 11(12): 761–765.
- <sup>76</sup> **Strazzullo P , A Barbato , Galletti F , G Barba , Siani A , R Iacone , D'Elia L , O Russo , Versiero M , Farinaro E ,Cappuccio FP .**  
Abnormalities of renal sodium handling in the metabolic syndrome. Results of the Olivetti Heart Study.  
*J Hypertens.* 2006 Aug;24(8):1633-9.
- <sup>77</sup> **Strazzullo P, Barba G, Cappuccio FP, Siani A, Trevisan M, Farinaro E, Pagano E, Barbato A, Iacone R, Galletti F.**  
Altered renal sodium handling in men with abdominal adiposity: a link to hypertension.  
*J Hypertens.* 2001 Dec;19(12):2157-64.
- <sup>78</sup> **Cappuccio FP , P Strazzullo , Siani A , M Trevisan .**  
Increased proximal sodium reabsorption is associated with increased cardiovascular risk in men.  
*J Hypertens.* 1996 Jul;14(7):909-14.
- <sup>79</sup> **Barbato A, Cappuccio FP, Folkerd EJ, Strazzullo P, Sampson B, Cook DG, Alberti KG.**  
Metabolic syndrome and renal sodium handling in three ethnic groups living in England.  
*Diabetologia.* 2004 Jan;47(1):40-6. Epub 2003 Nov 15.

- 
- <sup>80</sup> **Hu G, Jousilahti P, Peltonen M, Lindström J, Tuomilehto J**  
Urinary sodium and potassium excretion and the risk of type 2 diabetes: a prospective study in Finland  
Springer Link, August 2005, Volume 48, Issue 8, pp 1477-1483
- <sup>81</sup> **Thorburn AW, Brand JC, Truswell AS**  
Salt and the glycaemic response.  
Br Med J (Clin Res Ed). 1986 June 28; 292(6537): 1697–1699.
- <sup>82</sup> **Sharma AM, Ruland K, Spies KP, Distler A.**  
Salt sensitivity in young normotensive subjects is associated with a hyperinsulinemic response to oral glucose.  
J Hypertens. 1991 Apr;9(4):329-35.
- <sup>83</sup> **Sharma A M , Schorr U, Distler A**  
Insulin resistance in young salt-sensitive normotensive subjects.  
Hypertension. 1993;21:273-279
- <sup>84</sup> **Sharma AM, Schorr U**  
Salt sensitivity and insulin resistance: Is there a link?  
Blood Press Suppl. 1996;1:59-63.
- <sup>85</sup> **Bigazzi R, Bianchi S, Baldari G, Campese VM.**  
Clustering of cardiovascular risk factors in salt-sensitive patients with essential hypertension: role of insulin.  
Am J Hypertens. 1996 Jan;9(1):24-32.
- <sup>86</sup> **Galletti F, Strazzullo P, Ferrara I, Annuzzi G, Rivellese AA, Gatto S, Mancini M.**  
NaCl sensitivity of essential hypertensive patients is related to insulin resistance.  
J Hypertens. 1997 Dec;15(12 Pt 1):1485-91.
- <sup>87</sup> **Yatabe MS, Yatabe J, Yoneda M, Watanabe T, Otsuki M, Felder RA, Jose PA, Sanada H.**  
Salt sensitivity is associated with insulin resistance, sympathetic overactivity, and decreased suppression of circulating renin activity in lean patients with essential hypertension.  
Am J Nutr. 2010 Jul; 92 (1): 77-82
- <sup>88</sup> **Fuenmayor N, Moreira E, Cubeddu LX.**  
Salt sensitivity is associated with insulin resistance in essential hypertension.  
Am J Hypertens. 1998 Apr;11(4 Pt 1):397-402.
- <sup>89</sup> **Sarno F, Jaime PC, Ferreira SR, Monteiro CA.**  
Sodium intake and metabolic syndrome: a systematic review  
Arq Bras Endocrinol Metab vol.53, 2009 Jul
- <sup>90</sup> **Jürgens G, Graudal NA.**  
Effects of low sodium diet versus high sodium diet on blood pressure, renin, aldosterone, catecholamines, cholesterols, and triglyceride.  
Cochrane Database Syst Rev. 2004;(1):CD004022.

---

<sup>91</sup> **Misra A, Khurana L.**

The metabolic syndrome in South Asians: epidemiology, determinants, and prevention.  
Metab Syndr Relat Disord. 2009 Dec;7(6):497-514.

<sup>92</sup> **ENNS**

Maladies chroniques et traumatismes : Situation nutritionnelle en France en 2006 selon les indicateurs d'objectifs et les repères du Programme national nutrition santé (PNNS)  
Colloque du PNNS, 12 décembre 2007

<sup>93</sup> **Cook NR, Cutler JA, Obarzanek E, Buring JE, Rexrode KM, Kumanyika SK, Appel LJ, Whelton PK**

Long term effects of dietary sodium reduction on cardiovascular disease outcomes: observational follow up of the trials of hypertension prevention (TOHP)  
BMJ. 2007 April 28; 334(7599): 885.

<sup>94</sup> **Meneton P**

Le chlorure de sodium dans l'alimentation : un problème de santé publique non résolu  
Inserm U367  
2001 – volume 5 - NAFAS SCIENCE

<sup>95</sup> **Whelton PK, Appel LJ, Espeland MA, Applegate WB et al**

Sodium Reduction and Weight Loss in the Treatment of Hypertension in Older Persons  
A Randomized Controlled Trial of Nonpharmacologic Interventions in the Elderly (TONE)  
JAMA. 1998;279(11):839-846.

<sup>96</sup> **Mohan S, Campbell NR.**

Salt and high blood pressure.  
Departments of Medicine and Community Health Sciences, University of Calgary, Calgary, Alberta, Canada.  
Clin Sci (Lond). 2009 Jun 2;117(1):1-11.

<sup>97</sup> **Horacio J, Adrogué, MD, Nicolaos E. Madias MD.**

Sodium and Potassium in the Pathogenesis of Hypertension  
N Engl J Med 2007; 356:1966-1978 May 10, 2007

<sup>98</sup> **Whelton PK, He J, Cutler JA, et al.**

Effects of oral potassium on blood pressure: meta-analysis of randomized controlled clinical trials. JAMA 1997; 277:1624-32.

<sup>99</sup> **Whelton PK.**

Potassium and blood pressure.  
Blood Pressure Research, 2003:280-2

<sup>100</sup> **Dolson GM, Ellis KJ, Bernardo MV, Prakash R, Adrogué HJ.**

Acute decreases in serum potassium augment blood pressure.  
Am J Kidney Dis 1995;26:321-6.

---

<sup>101</sup> **Krishna GG, Kapoor SC.**

Potassium depletion exacerbates essential hypertension.  
Ann Intern Med 1991; 115:77-83.

<sup>102</sup> **Grim CE, Luft FC, Miller JZ, et al.**

Racial differences in blood pressure in Evans County, Georgia: relationships to sodium and potassium intake and plasma renin activity.  
J Chronic Dis 1980;33:87-94

<sup>103</sup> **Krishna GG, Miller E, Kapoor S.**

Increased blood pressure during potassium depletion in normotensive men. N Engl J Med 1989;320:1177-82.

<sup>104</sup> **Siani A, Strazzullo P, Giacco A, Pacioni D, Celentano E, Mancini M.**

Increasing the dietary potassium intake reduces the need for antihypertensive medication.  
Ann Intern Med 1991;115:753-9

<sup>105</sup> **Naismith DJ, Braschi A**

The effect of low-dose potassium supplementation on blood pressure in apparently healthy volunteers  
British Journal of Nutrition/Volume 90/Issue 01/July 2003, pp 53-60

<sup>106</sup> **Houston MC, Harper KJ.**

Potassium, magnesium, and calcium: their role in both the cause and treatment of hypertension.  
J Clin Hypertens. 2008 Jul;10(7 Suppl 2):3-11.

<sup>107</sup> **Houston MC**

The importance of potassium in managing hypertension  
Curr Hypertens Rep. 2011 Aug; 13(4):309-17.

<sup>108</sup> **Birkett NJ.**

Comments on a meta-analysis of the relation between dietary calcium intake and blood pressure.  
Am J Epidemiol. 1998 Aug 1;148(3):223-8; discussion 232-3.

<sup>109</sup> **Hajjar IM, Grim CE, George V, Kotchen TA.**

Impact of diet on blood pressure and age-related changes in blood pressure in the US population: analysis of NHANES III.  
Arch Intern Med. 2001 Feb 26;161(4):589-93

<sup>110</sup> **Van Mierlo LAJ, Arends LR, Streppel MT, Zeegers MPA, Kok FJ, Grobbee DE, Geleijnse JM**

Blood pressure response to calcium supplementation : a meta-analysis of randomized controlled trials  
Journal of human hypertension 2006, vol. 20, n°8, pp. 571-580

- 
- <sup>111</sup> **Simons-Morton DG, Hunsberger SA, Van Horn L, Barton BA, Robson AM, McMahon RP, Muhonen LE, Kwiterovich PO, Lasser NL, Kimm SY, Greenlick MR.**  
Nutrient intake and blood pressure in the Dietary Intervention Study in Children. Hypertension. 1997 Apr;29(4):930-6.
- <sup>112</sup> **Engberink MF, Hendriksen MAH, Schouten EG, Van Rooij FJA, Hofman A, Witteman JCM, Geleijnse Johanna.**  
Inverse association between dairy intake and hypertension: the Rotterdam Study  
Am J Clin Nutr June 2009vol. 89 no. 6 1877-1883
- <sup>113</sup> **Alonso A, Beunza JJ, Delgado-Rodríguez M, Martínez JA, Martínez-González MA.**  
Low-fat dairy consumption and reduced risk of hypertension: the Seguimiento Universidad de Navarra (SUN) cohort.  
Am J Clin Nutr. 2005 Nov;82(5):972-9.
- <sup>114</sup> **Snijder MB, van der Heijden AA, van Dam RM, Stehouwer CD, Hiddink GJ, Nijpels G, Heine RJ, Bouter LM, Dekker JM.**  
Is higher dairy consumption associated with lower body weight and fewer metabolic disturbances? The Hoorn Study.  
Am J Clin Nutr. 2007 Apr;85(4):989-95.
- <sup>115</sup> **Bucher HC, Cook RJ, Guyatt GH, Lang JD, Cook DJ, Hatala R, Hunt DL.**  
Effects of dietary calcium supplementation on blood pressure. A meta-analysis of randomized controlled trials.  
JAMA. 1996 Apr 3;275(13):1016-22.
- <sup>116</sup> **Griffith LE, Guyatt GH, Cook RJ, Bucher HC, Cook DJ.**  
The influence of dietary and nondietary calcium supplementation on blood pressure: an updated metaanalysis of randomized controlled trials.  
Am J Hypertens. 1999 Jan;12(1 Pt 1):84-92.
- <sup>117</sup> **Margolis KL, Ray RM, Van Horn L, Manson JE, Allison MA, Black HR, Beresford SA, Connelly SA, Curb JD, Grimm RH Jr, Kotchen TA, Kuller LH, Wassertheil-Smoller S, Thomson CA, Torner JC; Women's Health Initiative Investigators.**  
Effect of Calcium and Vitamin D Supplementation on Blood Pressure: the Women's Health Initiative randomized trial  
Hypertension. 2008 November; 52(5): 847–855.
- <sup>118</sup> **Bolland MJ, Grey A, Avenell A, Gamble GD, Reid IR.**  
Calcium supplements with or without vitamin D and risk of cardiovascular events: reanalysis of the Women's Health Initiative limited access dataset and meta-analysis.  
BMJ. 2011 Apr 19;342:d2040.
- <sup>119</sup> **Jee SH, Miller ER 3rd, Guallar E, Singh VK, Appel LJ, Klag MJ.**  
The effect of magnesium supplementation on blood pressure: a meta-analysis of randomized clinical trials.  
Am J Hypertens. 2002 Aug;15(8):691-6.



- 
- <sup>120</sup> **Kass L, Weekes J, Carpenter L.**  
Effect of magnesium supplementation on blood pressure: a meta-analysis.  
Eur J Clin Nutr. 2012 Apr;66(4):411-8.
- <sup>121</sup> **Joffres MR, Reed DM, Yano K.**  
Relationship of magnesium intake and other dietary factors to blood pressure: the Honolulu heart study.  
Am J Clin Nutr. 1987 Feb;45(2):469-75.
- <sup>122</sup> **Song Y, Sesso HD, Manson JE, Cook NR, Buring JE, Liu S.**  
Dietary magnesium intake and risk of incident hypertension among middle-aged and older US women in a 10-year follow-up study.  
Am J Cardiol. 2006 Dec 15;98(12):1616-21.
- <sup>123</sup> **Kosch M, Hausberg M, Westermann G, Köneke J, Matzkies F, Rahn KH, Kisters K.**  
Alterations in calcium and magnesium content of red cell membranes in patients with primary hypertension.  
Am J Hypertens. 2001 Mar;14(3):254-8.
- <sup>124</sup> **Moore LL, Singer MR, Bradlee ML, Djoussé L, Proctor MH, Cupples LA, Ellison RC.**  
Intake of fruits, vegetables, and dairy products in early childhood and subsequent blood pressure change.  
Epidemiology. 2005 Jan;16(1):4-11.
- <sup>125</sup> **Mäkynen H, Kähönen M, Arvola P, Wuorela H, Vapaatalo H, Pörsti I.**  
Dietary calcium and magnesium supplements in spontaneously hypertensive rats and isolated arterial reactivity.  
Br J Pharmacol. 1995 Aug;115(8):1455-62.
- <sup>126</sup> **Karppanen H, Karppanen P, Mervaala E**  
Why and how to implement sodium, potassium, calcium, and magnesium changes in food items and diets?  
Journal of Human Hypertension, 2005, 19, S10-S19
- <sup>127</sup> **Moore TJ, Conlin PR, Ard J, Svetkey LP.**  
DASH (Dietary Approaches to Stop Hypertension) diet is effective treatment for stage 1 isolated systolic hypertension.  
Hypertension. 2001 Aug;38(2):155-8.
- <sup>128</sup> **Abbasi IU, Salim-ul-Haque, Kausar MW, Karira KA, Zubaris NA.**  
Correlation of divalent cat ions (Ca<sup>++</sup>, Mg<sup>++</sup>) and serum renin in pateints of essential hypertension.  
J Pak Med Assoc. 2012 Feb;62(2):134-8.
- <sup>129</sup> **Graudal A, Hubeck-Graudal T, Jürgens G**  
Effects of Low-Sodium Diet vs. High-Sodium Diet on Blood Pressure, Renin, Aldosterone, Catecholamines, Cholesterol, and Triglyceride (Cochrane Review)  
American Journal of Hypertension (2012); 25 1, 1–15.

- 
- <sup>130</sup> **Stolarz-Skrzypek K et al**  
Fatal and Nonfatal Outcomes, Incidence of Hypertension, and Blood Pressure Changes in Relation to Urinary Sodium Excretion  
JAMA. 2011;305(17):1777-1785.
- <sup>131</sup> **Taylor RS, Ashton KE, Moxham T, Hooper L, Ebrahim S**  
Reduced dietary salt for the prevention of cardiovascular disease.  
Cochrane Database Syst Rev. 2011 Jul 6;(7):CD009217.
- <sup>132</sup> **Ekinci EI, Clarke S, Thomas MC, Moran JL, Cheong K, MacIsaac RJ, Jerums G.**  
Dietary salt intake and mortality in patients with type 2 diabetes.  
Endocrine Centre, Austin Health and the University of Melbourne, Victoria, Australia.  
Diabetes Care. 2011 Mar;34(3):703-9.
- <sup>133</sup> **Thomas MC, Moran J, Forsblom C, Harjutsalo V, Thorn L, Ahola A, Wadén J, Tolonen N, Saraheimo M, Gordin D, Groop PH; FinnDiane Study Group.**  
The association between dietary sodium intake, ESRD, and all-cause mortality in patients with type diabetes.  
Diabetes Care. 2011 Apr;34(4):861-6.
- <sup>134</sup> **Paterna S, Gaspare P, Fasullo S, Sarullo FM, Di Pasquale P.**  
Normal-sodium diet compared with low-sodium diet in compensated congestive heart failure: is sodium an old enemy or a new friend?  
Clin Sci (Lond). 2008 Feb;114(3):221-30.
- <sup>135</sup> **Mac Gregor GA**  
Sodium is more important than calcium in essential hypertension.  
Hypertension. 1985;7:628-640
- <sup>136</sup> **Yamamoto ME, Applegate WB, Klag MJ, Borhani NO, Cohen JD, Kirchner KA, Lakatos E, Sacks FM, Taylor JO, Hennekens CH.**  
Lack of blood pressure effect with calcium and magnesium supplementation in adults with high-normal blood pressure. Results from Phase I of the Trials of Hypertension Prevention (TOHP).  
Ann Epidemiol. 1995 Mar;5(2):96-107.
- <sup>137</sup> **Mizushima S, Cappuccio FP, Nichols R, Elliott P.**  
Dietary magnesium intake and blood pressure: a qualitative overview of the observational studies.  
J Hum Hypertens. 1998 Jul;12(7):447-53.
- <sup>138</sup> **Beyer FR, Dickinson HO, Nicolson DJ, Ford GA, Mason J.**  
Combined calcium, magnesium and potassium supplementation for the management of primary hypertension in adults.  
Cochrane Database Syst Rev. 2006 Jul 19;(3):CD004805.

---

<sup>139</sup> **O'Donnell MJ, Yusuf S, Mente A, Gao P, Mann JF, Teo K, McQueen M, Sleight P, Sharma AM, Dans A, Probstfield J, Schmieder RE**

Urinary sodium and potassium excretion and risk of cardiovascular events.  
JAMA. 2011 Nov 23; 306(20):2229-38.

<sup>140</sup> **Luft FC, Steinberg H, Ganten U, Meyer D, Gless KH, Lang RE, Fineberg NS, Rascher W, Unger T, Ganten D.**

Effect of sodium chloride and sodium bicarbonate on blood pressure in stroke-prone spontaneously hypertensive rats.  
Clin Sci (Lond), 1988, 74:577-85.

<sup>141</sup> **Zicha J, Kunes J, Jelinek J, Leont'eva GR, Govyrin VA.**

The importance of sodium and chloride ions for the development of DOCA-NaCl hypertension: a haemodynamic study.  
Physiol Bohemoslov 1986: 35:308-12.

<sup>142</sup> **Ziomber A, Machnick A, Dahlmann A, Dietsch P, Beck FX, Wagner H, Hilgers KF, Luft FC, Eckardt KU, Titze J.**

Sodium-, potassium-, chloride-, and bicarbonate-related effects on blood pressure and electrolyte homeostasis in deoxycorticosterone acetate-treated rats.  
Am J Physiol Renal Physiol, 2008, 295:F1752-F1763.

<sup>143</sup> **Luft FC, Zemel MB, Sowers JA, Fineberg NS, Weinberger MH.**

Sodium bicarbonate and sodium chloride: effects on blood pressure and electrolyte homeostasis in normal and hypertensive men.  
J Hypertens, 1990: 7:663-670.

<sup>144</sup> **Kunes J, Zicha J, Jelinek J.**

The role of chloride in deoxycorticosterone hypertension: selective sodium loading by the drinking fluid.  
Physiol Res, 2004: 32:149-54.

<sup>145</sup> **Desessard JF**

Semaine mondiale d'alerte au sel : il faut limiter la consommation de cet additif  
BE France 254, 25/03/2011  
Disponible sur : <http://www.bulletins-electroniques.com/actualites/66236.htm>

<sup>146</sup> **Hercberg S**

Rapport sel : *Evaluation et recommandations*  
AFSSA, Janvier 2002

<sup>147</sup> **Caeiro XE, Godino A, Vivas L**

$\beta$ -Endorphinergic system involvement in the inhibitory action of clonidine on induced sodium appetite.  
Regul Pept. 2011 Apr 11;167(2-3):222-6.

---

<sup>148</sup> **Cocores JA, Gold MS**

The Salted Food Addiction Hypothesis may explain overeating and the obesity epidemic.  
Med Hypotheses. 2009 Dec ; 73(6):892-9.

<sup>149</sup> **Tekol Y.**

Salt addiction : a different kind of drug addiction  
Med Hypotheses. 2006;67(5):1233-4.

<sup>150</sup> **Na ES, Morris MJ, Johnson AK.**

Behavioral cross-sensitization between morphine-induced locomotion and sodium depletion-induced salt appetite  
Pharmacol Biochem Behav. 2009 October; 93(4): 368–374.

<sup>151</sup> **Lucas LR, Grillo CA, McEwen BS.**

Salt appetite in sodium-depleted or sodium-replete conditions: possible role of opioid receptors.  
Neuroendocrinology. 2007;85(3):139-47.

<sup>152</sup> **Blackburn RE, Stricker EM, Verbalis JG**

Central oxytocin mediates inhibition of sodium appetite by naloxone in hypovolemic rats.  
Neuroendocrinology. 1992 Aug;56(2):255-63.

<sup>153</sup> **Stricker EM, Verbalis JG.**

Central inhibition of salt appetite by oxytocin in rats.  
Regul Pept. 1996 Oct 8;66(1-2):83-5.

<sup>154</sup> **Franchini LF, Rubinstein M, Vivas L**

Reduced sodium appetite and increased oxytocin gene expression in mutant mice lacking beta-endorphin.  
Neuroscience. 2003;121(4):875-81.

<sup>155</sup> **Godino A, De Luca Jr LA, Antunes-Rodrigues J, Vivas L**

Oxytocinergic and serotonergic systems involvement in sodium intake regulation: satiety or hypertonicity markers?  
AJP-règlement Physiol, Sept 2007, vol 293 pas 3 R1027-R1036

<sup>156</sup> **OMS**

Statistiques sanitaires mondiales : un cliché instantané de la santé dans le monde.  
Brochure, disponible sur :

[http://www.who.int/gho/publications/world\\_health\\_statistics/FR\\_WHS2012\\_Brochure.pdf](http://www.who.int/gho/publications/world_health_statistics/FR_WHS2012_Brochure.pdf)  
Consulté le 01/02/2013

<sup>157</sup> **Comité scientifique de l'agence fédérale pour la sécurité de la chaîne alimentaire**

Reformulation des denrées alimentaires - réduction du sel (Sci Com 2010/09 – CSS 8663)  
Avis conjoint, SciCom 05-2012 et CSS 8663

---

<sup>158</sup> **Kilcast D.**

Cutting Sodium.

Prepared Foods January 9, 2008.

Disponible sur : <http://www.preparedfoods.com>

Consulté le 01/02/2013

<sup>159</sup> **Comité scientifique du pain**

La composition des pains

Observatoire du pain

Disponible sur <http://www.observatoiredupain.fr/pro.asp?IDR=111572>

Consulté le 28/01/13

<sup>160</sup> **Brochure G**

Le sel en panification. Les nouvelles de la Boulangerie Pâtisserie.

INBP Supplément technique n°95, 15 janvier 2011.

Disponible sur : <http://www.cannelle.com/BILIOTHEQUE/revuetec/PDF/SUPSTn95.pdf>

Consulté le 28/01/2013

<sup>161</sup> [www.salt.asso.fr](http://www.salt.asso.fr)

<sup>162</sup> **PNNS 2011-2015**

Ministère du Travail, de l'Emploi et de la Santé

Conception : Paragramme - Réalisation : Studio des Plantes, Juillet 2011

Disponible sur : [http://www.sante.gouv.fr/IMG/pdf/PNNS\\_2011-2015.pdf](http://www.sante.gouv.fr/IMG/pdf/PNNS_2011-2015.pdf)

Consulté le 01/02/2013

<sup>163</sup> [www.mangerbouger.fr/](http://www.mangerbouger.fr/)

<sup>164</sup> **Pimenta E, Gaddam KK, Oparil S, Aban I, Husain S, Dell'Italia LJ, Calhoun DA.**

Effects of dietary sodium reduction on blood pressure in subjects with resistant hypertension: results from a randomized trial.

American Heart Association

Hypertension. 2009 Sep;54(3):475-81.

<sup>165</sup> **Appel LJ**

Another major role for dietary sodium reduction: improving blood pressure control in patients with resistant hypertension.

Hypertension. 2009 Sep ; 54(3):444-6.

<sup>166</sup> **Weir MR, Yadao AM, Purkayastha D, Charney An**

Effects of high- and low-sodium diets on ambulatory blood pressure in patients with hypertension receiving aliskiren.

J Cardiovasc Pharmacol Ther. 2010 Dec;15(4):356-63.

---

<sup>167</sup> **INRA**

Les comportements alimentaires : quels en sont les déterminants ? quelles actions pour quels effets ?

Une expertise scientifique collective conduite par l'INRA

INRA science et impact, 24/06/2010

<sup>168</sup> **PNNS**

Guide des ressources en information et éducation nutritionnelles

250-09385-B

Disponible sur : <http://www.inpes.sante.fr/CFESBases/catalogue/pdf/1011.pdf>

Consulté le 28/01/2013

<sup>169</sup> <http://www.vitagora.com/>

<sup>170</sup> **Sarkkinen ES, Kastarinen MJ, Niskanen TH, Karjalainen PH, Venäläinen TM, Udani JK, Niskanen LK**

Feasibility and antihypertensive effect of replacing regular salt with mineral salt -rich in magnesium and potassium in subjects with mildly elevated blood pressure

Nutrition Journal 2011, 10:88

<sup>171</sup> **Henney JE, Taylor CL, Boon CS**

Strategies to reduce sodium intake in the United States. IOM – Institute of Medicine.

The National Academic Press, 2010, Washington DC. Pp. 506.

<sup>172</sup> **Desmond E**

Reducig salt: a challenge for the meat industry.

Meat Science, 2006, 74, 188-196

<sup>173</sup> **WASH**

New Research reveals huge differences in sodium contents of identical pizzas around the world.

World Action on Salt & Health. 2011b.

Disponible sur : [http://www.worldactiononsalt.com/media/recent\\_press\\_releases.htm](http://www.worldactiononsalt.com/media/recent_press_releases.htm)

Consulté le 01/02/2013

<sup>174</sup> **CRIOC**

Nos aliments trop salés? Evaluation de la teneur en sel de 7 catégories de denrées alimentaires.

Centre de Recherche et d'Information des Organisations de Consommateurs. 2009.

Disponible sur : [http://www.crioc.be/FR/index.php?mode=document&id\\_doc=4792&lang=fr](http://www.crioc.be/FR/index.php?mode=document&id_doc=4792&lang=fr)

Consulté le 01/02/2013

<sup>176</sup> **Laatikainen T, Pietinen P, Valsta L, Sundvall J, Reinivuo H, Tuomilehto J.**

Sodium in the Finnish diet: 20-year trends in urinary sodium excretion among the adult population.

Eur J Clin Nutr. 2006 Aug;60(8):965-70.

---

<sup>177</sup> **FSA**

Front-of-pack (FOP) nutrition labeling. FSA 10/03/07.

Food Standards Agency. 2010b

Disponible sur : <http://www.food.gov.uk/multimedia/pdfs/board/fsa100307.pdf>

Consulté le 01/02/2013

<sup>178</sup> **Blais CA, Pangborn RM, Borhani NO, Ferrell MF, Prineas RJ, Laing B**

Effect of dietary sodium restriction on taste responses to sodium chloride: a longitudinal study

American Journal of Clinical Nutrition, 09/1986, 44(2) : 232-43

<sup>179</sup> **Karanja N, Lancaster KJ, Vollmer WM, Lin PH, Most MM, Ard JD, Swain JF, Sacks FM, Obarzanek E.**

Acceptability of sodium-reduced research diets, including the Dietary Approaches To Stop Hypertension diet, among adults with prehypertension and stage 1 hypertension.

J Am Diet Assoc. 2007 Sep ; 107(9):1530-8.

<sup>180</sup> **OMS**

Stratégie mondiale pour l'alimentation, l'exercice physique et la santé

OMS, 2013

Disponible sur : <http://www.who.int/publications/list/9241592222/fr/index.html>

Consulté le 01/02/2013

<sup>181</sup> **Selmer R et al (2000).**

Cost and health consequences of reducing the population intake of salt.

J Epidemiol Community Health, 54(9):697-702.

<sup>182</sup> **AFSSA**

Sel et santé : colloque international

11-12 janvier 2002

<sup>183</sup> **Major GC, Alarie F, Doré J, Phouttama S, Tremblay A**

Supplementation with calcium + vitamin D enhances the beneficial effect of weight loss on plasma lipid and lipoprotein concentrations

Am J Clin Nutr January 2007 vol. 85 no. 1 54-59

<sup>184</sup> **Bacquaert P**

Sport et tension artérielle

IRBMS, 31 octobre 2006

Disponible sur : <http://www.irbms.com/sport-tension-arterielle>

Consulté le 14/02/2013



# Serment des Apothicaïres

Je jure, en présence des maîtres de la faculté, des conseillers de l'ordre des pharmaciens et de mes condisciples :

D'honorer ceux qui m'ont instruit dans les préceptes de mon art et de leur témoigner ma reconnaissance en restant fidèle à leur enseignement.

D'exercer, dans l'intérêt de la santé publique, ma profession avec conscience et de respecter non seulement la législation en vigueur, mais aussi les règles de l'honneur, de la probité et du désintéressement.

De ne jamais oublier ma responsabilité et mes devoirs envers le malade et sa dignité humaine ; en aucun cas je ne consentirai à utiliser mes connaissances et mon état pour corrompre les mœurs et favoriser des actes criminels.

Que les hommes m'accordent leur estime si je suis fidèle à mes promesses. Que je sois couvert d'opprobre et méprisé de mes confrères si j'y manque.





---

# Prise en charge nutritionnelle du patient hypertendu

Thèse présentée pour l'obtention du titre de Docteur en pharmacie  
Soutenue le 26 février 2013 à la faculté de Pharmacie de Grenoble

## RESUME

L'hypertension est devenue aujourd'hui un problème de santé publique car elle concerne environ 15 à 16 millions de Français et est la principale cause de maladies cardio-vasculaires. De plus, pour certains cas d'hypertension, on observe des résistances aux traitements. L'objectif pour 2025 du comité de lutte contre l'hypertension est d'atteindre 70% de patients contrôlés. La nutrition pourrait participer à l'obtention de cet objectif : mais comment et quel bénéfice peut-on en attendre ?

L'un des facteurs de risque bien connu pour ses effets néfastes sur la pression artérielle, est la consommation élevée de sel. De ce fait, l'un des objectifs l'OMS est de réduire la consommation moyenne de sel à 5 g par jour d'ici 2015. Le groupe SALT, quant à lui essaie de créer des collaborations entre les différents organismes (gouvernement, OMS, AFSSA, industriels, les artisans...).

Quel bénéfice peut-on espérer de cette mesure sur la pression artérielle ? De quelle manière peut-on y parvenir ? Existe-t-il des nutriments protecteurs capables d'intervenir dans la régulation de la pression artérielle et ainsi d'optimiser le bénéfice santé d'une prévention nutritionnelle? Parmi ces nutriments, le calcium, le magnésium et le potassium semblent être de bons candidats pour corriger les anomalies de la pression artérielle.

Le but de ce travail est de répondre à ces interrogations et de montrer dans quelle mesure le pharmacien d'officine peut intervenir dans la prise en charge nutritionnelle du patient hypertendu.

### MOTS CLES

Nutrition – sel – sodium – potassium – calcium – magnésium – hypertension – patient – micronutriment – pression artérielle