

Les effets sur la santé de l'élimination—notamment par déminéralisation et dessalement—de substances présentes à l'état naturel dans l'eau de boisson

Rapport sur la réunion
d'un groupe de travail de l'OMS

Bruxelles
20–23 mars 1978

BUREAU RÉGIONAL DE L'EUROPE
Organisation mondiale de la Santé
COPENHAGUE
1980



ISBN 92 9020 255 6

© Organisation mondiale de la Santé 1980

Les publications de l'Organisation mondiale de la Santé bénéficient de la protection prévue par les dispositions du Protocole N°2 de la Convention universelle pour la Protection du Droit d'Auteur. Pour toute reproduction ou traduction partielle ou intégrale, une autorisation doit être demandée au Bureau régional de l'OMS pour l'Europe, 8 Scherfigsvej, DK-2100 Copenhague Ø, Danemark. Le Bureau régional sera toujours très heureux de recevoir des demandes à cet effet.

Les appellations employées dans cette publication et la présentation des données qui y figurent n'impliquent de la part du Secrétariat de l'Organisation mondiale de la Santé aucune prise de position quant au statut juridique des pays, territoires, villes ou zones, ou de leurs autorités, ni quant au tracé de leurs frontières ou limites.

La mention de firmes et de produits commerciaux n'implique pas que ces firmes et produits commerciaux sont agréés ou recommandés par l'Organisation mondiale de la Santé de préférence à d'autres. Sauf erreur ou omission, une majuscule initiale indique qu'il s'agit d'un nom déposé.

Ce rapport exprime les vues collectives d'un groupe de travail et ne représente pas nécessairement les décisions ou la politique officiellement adoptées par l'Organisation mondiale de la Santé.

SOMMAIRE

	<i>Page</i>
1. Introduction	1
2. Composition de l'eau : approvisionnement	2
3. Besoins en eau	5
3.1 Importance de différentes substances pour la santé	6
3.2 Identification des substances potentiellement importantes	7
4. L'eau et les maladies cardio-vasculaires	8
4.1 Importance pour la santé du calcium dans l'eau de boisson	8
4.2 Importance pour la santé du magnésium dans l'eau de boisson	9
4.3 Importance pour la santé du sodium dans l'eau de boisson	11
5. Eléments retenus pour discussion plus approfondie	12
5.1 Calcium	13
5.2 Magnésium	13
5.3 Sodium	14
5.4 Potassium	15
5.5 Zinc	15
5.6 Chrome	16
5.7 Fluor	17
5.8 Silicium	18
5.9 Lithium	18
6. Conclusions générales et recommandations	18
6.1 Conclusions	19
6.2 Recommandations	19
Bibliographie	21
Annexe I Composition des sous-groupes	24
Annexe II Liste des participants	25

**GROUPE DE TRAVAIL DE L'OMS
SUR L'IMPORTANCE POUR LA SANTE
DES PRODUITS CHIMIQUES NATURELLEMENT PRESENTS
DANS L'EAU DE BOISSON**

Bruxelles, 20-23 mars 1978

1. INTRODUCTION

En collaboration avec le Gouvernement belge, le Bureau régional de l'Europe de l'Organisation mondiale de la Santé a réuni à Bruxelles, du 20 au 23 mars 1978, un groupe de travail sur l'importance pour la santé des produits chimiques naturellement présents dans l'eau de boisson (projet ICP/RCE 101(7)).

Une série de groupes de travail avaient été convoqués pour étudier différents problèmes relatifs à l'eau potable et la réunion précitée entre dans ce cadre; les conclusions formulées serviront de base à une nouvelle révision des normes applicables à l'eau de boisson, publiées par l'OMS (1, 2).

La composition des différents sous-groupes de travail et la liste des participants figurent aux Annexes I et II.

En ouvrant la réunion, le Professeur S. Halter, Secrétaire général au Ministère belge de la Santé publique et de la Famille, a d'abord souhaité la bienvenue aux participants, puis il a évoqué la longue histoire de la collaboration entre le Gouvernement belge et l'OMS.

Après avoir transmis les vœux du Dr Leo A. Kaprio, Directeur du Bureau régional de l'OMS pour l'Europe, le Dr M.J. Suess a résumé les travaux des précédentes réunions de cette série et évoqué la réunion de La Haye (mai 1978) consacrée au sodium, aux chlorures et à la conductivité.

Le Professeur A. Lafontaine a été élu président, le Professeur J. Menczel vice-président, le Professeur C.J. Roberts et le Dr R.B. Dean rapporteurs. Le Dr Suess a assumé les fonctions de secrétaire.

Dans le cadre des travaux qui doivent aboutir à une révision des normes de l'OMS pour l'eau de boisson, le Bureau régional de l'Europe avait réuni à Bruxelles en avril 1976 un groupe d'évaluation sur l'absorption par l'homme de polluants présents en quantité infime dans l'eau et les aliments. Ce groupe avait conclu, entre autres choses, que «de nouvelles consultations de spécialistes seront nécessaires pour explorer plus en détail les divers problèmes qui sont associés à l'ingestion, en quantité infime, des micropolluants présents dans l'eau et les aliments» (3).

Cette fois, il était demandé aux participants d'étudier les effets que peut avoir sur la santé l'élimination de substances organiques présentes à l'état naturel dans l'eau de boisson, et dont un apport quantitativement insuffisant peut avoir des effets nocifs sur la santé. Une partie importante des discussions ont été consacrées aux relations entre les affections cardio-vasculaires et la teneur en minéraux des eaux de boisson, notamment des eaux déminéralisées et dessalées.

Pour certains chercheurs, les différences enregistrées dans les taux de mortalité par maladies cardio-vasculaires sont directement associées à la présence ou à l'absence d'une certaine substance dans l'eau de boisson. D'autres ont suggéré que la qualité de l'eau n'est peut-être que le reflet d'autres conditions de l'environnement (climatiques par exemple) qui, elles, auraient un effet direct sur les cardiopathies (4, 5). On doit reconnaître que l'appareil digestif absorbe sans doute plus facilement certains minéraux quand ils se trouvent dans l'eau que quand ils se trouvent dans les aliments. Par ailleurs, le corps humain n'est pas toujours en mesure de retirer de l'eau et des aliments absorbés la totalité de leur teneur en un minéral donné. En effet, il existe par exemple dans les aliments des substances organiques qui se combinent à certains minéraux, et leur absorption par l'appareil digestif est gênée par cette liaison. Il faut donc toujours tenir compte du facteur de biodisponibilité, qui représente la fraction d'un constituant minéral susceptible d'être absorbée par l'intermédiaire des voies digestives.

La cuisson à l'eau des aliments peut entraîner une extraction assez appréciable des minéraux qu'ils contiennent, aussi conseille-t-on d'utiliser pour cela une quantité d'eau aussi réduite que possible, ou de se servir de l'eau de cuisson pour préparer des soupes ou des sauces. Il est des cas toutefois où l'eau extraira des aliments des éléments solubles indésirables, tels que le sel de certaines conserves ou les nitrates de certains légumes en feuilles, et il conviendra alors d'envisager sérieusement de jeter la solution riche en minéraux. En fonction de tous ces faits, il est donc nécessaire de réévaluer la perte en minéraux susceptible d'intervenir lors de la cuisson dans diverses quantités d'eau, et de préparer de nouveaux bilans alimentaires pour les sels minéraux, tenant compte des conditions locales d'approvisionnement en eau et en produits alimentaires et des modes de préparation.

2. COMPOSITION DE L'EAU : APPROVISIONNEMENT

La teneur de l'eau en substances dissoutes peut varier considérablement, selon les lieux et selon la saison. Faute d'un accord sur la composition exacte de l'eau, il n'est pas possible de donner une teneur moyenne de l'eau en éléments divers. On peut toutefois indiquer que, par ordre décroissant, la concentration

des ions est souvent la suivante : $\text{Ca}^{+2} > \text{Na}^{+} > \text{Mg}^{+2} > \text{K}^{+}$ pour les cations, $\text{HCO}_3^{-} > \text{SO}_4^{-2} > \text{Cl}^{-}$ pour les anions; ces substances se rencontrent généralement à des concentrations variant entre 1 et 250 mg/l. En ce qui concerne les autres ions, les concentrations sont plus faibles, habituellement inférieures à 1 mg/l; pour beaucoup même, elles n'atteignent pas 1 $\mu\text{g/l}$ (6).

Calcium et magnésium sont les deux principaux cations bivalents; ils contribuent ensemble pour quelque 95% de ce que l'on appelle la «dureté» de l'eau, à laquelle toutefois peuvent aussi participer les autres cations polyvalents. Comme les résultats de nombreuses enquêtes épidémiologiques importantes menées par le passé ont été exprimés en termes de «dureté» plutôt que de concentrations d'ions déterminés, il ne sera pas possible de renoncer complètement dans le présent rapport à l'usage des appellations d'eau «dure» et «douce». L'expression des concentrations en ions calcium et magnésium est cependant préférable.

Les autres éléments métalliques sont presque tous associés dans une large mesure à d'autres substances. Les chélates qui en résultent peuvent, sur le plan ionique, être positifs, négatifs ou neutres (7). Une fraction notable des métaux lourds est adsorbée sur les particules en suspension, et beaucoup de ce qui a été indiqué comme se trouvant en solution peut être adsorbé sur des particules de taille inférieure à un micron (franchissant les filtres à pores de 0,45 μm). L'aluminium, le fer et autres ions polyvalents forment des hydroxydes polymériques qui peuvent également adsorber le plomb, le cadmium et le mercure. Le sodium, le potassium et le lithium, métaux alcalins, sont en général librement dissous et totalement ionisés dans l'eau. Les métaux alcalino-terreux comme le calcium, le magnésium, le strontium et le baryum se rencontrent aussi bien sous forme d'ions simples qu'en complexes avec des anions et des matières organiques, ou en dispersion.

La plupart des collectivités ne disposent pour leur approvisionnement en eau que d'un choix de sources très réduit. Si l'accroissement démographique rend insuffisantes les disponibilités primitives, il peut devenir nécessaire d'aller chercher de l'eau à une certaine distance. Si l'eau utilisée à l'origine est une eau souterraine fortement minéralisée et si, pour compléter l'approvisionnement, on recourt à une eau superficielle de faible teneur en minéraux, il est vraisemblable que la composition du mélange variera selon les saisons et les districts. Dans certaines zones, l'eau riche en ions calcium et magnésium est adoucie avant distribution, ailleurs, c'est chez les usagers qu'elle sera adoucie, à des degrés divers, tandis que certaines collectivités acceptent cette eau sans chercher à la modifier. On peut adoucir une eau à forte teneur en ions bicarbonate par l'adjonction de chaux, qui élève le pH et précipite le carbonate de calcium; à un pH plus élevé, l'hydroxyde de magnésium est, lui aussi, précipité. Ce procédé n'ajoute pas d'ions à l'eau et en réduit même, en fait, la concentration en minéraux. Lorsque le principal anion est un sulfate, on peut encore adoucir l'eau en élevant son pH par addition de carbonate de sodium, mais alors la concentration en ions sodium

augmente. Une troisième méthode utilise la liaison du sodium avec une résine échangeuse d'ions : les ions calcium et magnésium sont remplacés par deux fois autant d'ions sodium. Tous les adoucisseurs domestiques sont des systèmes échangeurs d'ions, et dans certains endroits cette méthode est également utilisée pour le traitement des eaux à l'échelon municipal.

Pour augmenter les quantités disponibles, on mélange souvent dans les réseaux de distribution des eaux provenant de différentes sources; lorsque l'on utilise, pour adoucir l'eau, le procédé de la précipitation, il est généralement plus économique d'enlever presque totalement le calcium et le magnésium d'une certaine quantité d'eau, puis de mélanger l'eau ainsi traitée avec de l'eau adoucie afin d'obtenir un produit acceptable. De même, on peut mélanger de l'eau dessalée à un approvisionnement existant pour en augmenter le volume, pour y ajouter des ions minéraux en vue d'améliorer son goût, enfin pour en réduire l'agressivité. L'eau de mer ne se prête pas au mélange avec de l'eau dessalée, bien qu'à bord des bateaux et sur certaines îles arides il puisse être nécessaire d'ajouter certains minéraux à l'eau destinée à la boisson. Une méthode commode, qui permet d'obtenir en proportion désirable aussi bien le magnésium que le calcium, consiste à faire passer l'eau sur du calcaire dolomitique. On peut additionner l'eau de gaz carbonique pour lui donner un pouvoir tampon suffisant. Chaque fois qu'il s'agit d'ajouter à l'eau des substances chimiques (y compris le chlorure de sodium utilisé pour régénérer les adoucisseurs d'eau), il faut utiliser des produits aussi purs que possible, d'une qualité comparable à celle qui est exigée des additifs alimentaires et des denrées comestibles.

On est parvenu récemment à extraire à peu près tous les composants minéraux de l'eau salée, et à préparer un produit répondant aux normes actuellement exigées pour l'eau de boisson. Dans maintes zones arides, c'est par distillation de l'eau salée que l'on assure tout ou partie de l'approvisionnement en eau potable. On peut également traiter des eaux souterraines à forte teneur en minéraux par distillation ou séparation sur membrane. Mais l'un comme l'autre de ces procédés ne permettent pas d'enlever des produits de pollution tels que les ammoniums, les nitrates et certaines substances organiques volatiles; il faut donc que l'eau soumise au dessalement ne soit pas une eau par trop polluée. Les adoucisseurs d'eau utilisés dans les foyers domestiques peuvent devenir des milieux de culture pour les bactéries qui, toutefois, n'auront probablement aucun effet nocif aussi longtemps que l'eau ainsi adoucie ne sera utilisée qu'après ébullition ou pasteurisation correcte. A ce propos, un groupe de travail de l'OMS a déjà recommandé que l'eau provenant du réseau d'approvisionnement public et qui doit servir à la boisson et à la préparation des aliments soit prélevée avant son passage dans l'adoucisseur domestique (8).

Avec l'utilisation croissante de l'eau dessalée, deux questions importantes se posent : d'abord, l'utilisation de cette eau ne va-t-elle pas avoir d'effets adverses pour la santé, et si oui, lesquels ? En deuxième lieu, pour

que cette eau soit de bonne qualité, ne sera-t-il pas nécessaire de lui restituer certaines substances disparues au cours du dessalement ? Le groupe de travail s'est montré assez partagé quant à l'opportunité d'ajouter des minéraux à une eau naturelle, même si la concentration de minéraux importants dans cette eau est très faible. Quelques-uns sont d'avis qu'on ne doit ajouter du magnésium et/ou d'autres minéraux qu'à une eau artificiellement déminéralisée, et pensent qu'une telle eau risque d'être dangereuse pour la santé si son contenu minéral n'est pas « corrigé » par la restitution de certains éléments ioniques. D'autres estiment qu'il faudrait peut-être aborder le problème en considérant, pour chaque élément, les quantités nécessaires à l'organisme humain, et sa biodisponibilité, quelle que soit l'origine de l'eau et sans se demander si l'eau insuffisamment minéralisée est une eau naturelle, captée par exemple dans un bassin granitique, ou si elle provient d'une usine de dessalement. Quoi qu'il en soit, toute option devra être fondée sur une évaluation risques-avantages approfondie.

3. BESOINS EN EAU

De tous les besoins nutritionnels, le plus important est le besoin d'eau. La ration quotidienne nécessaire à l'adulte se situe entre 35 et 50 g d'eau par kilo de poids corporel, dans des conditions normales et sous un climat tempéré, mais elle sera considérablement plus élevée en climat tropical ou chez les personnes qui travaillent à la chaleur. Le nourrisson a besoin, par jour, de 100 à 150 g d'eau par kilo de poids, soit trois fois plus qu'un adulte, pour son poids (9). L'eau n'est pas absorbée seulement sous forme de breuvages tels que thé, café, boissons non alcoolisées, jus de fruit, vin ou bière; les aliments eux-mêmes en apportent environ un litre par jour. Dans le présent rapport, on a considéré que la quantité moyenne d'eau du robinet consommée chaque jour par un adulte normal est de deux litres (10, 11), y compris ce qui servira à préparer des boissons telles que le thé ou les sirops, mais non compris les boissons en bouteille (bière, « eau minérale ») éventuellement absorbées par ailleurs.

Avec l'eau sont ingérés les minéraux et les substances qu'elle contient à des concentrations qui peuvent être assez basses. Mais si la consommation d'eau est forte, la quantité de substances (désirables et indésirables) ainsi absorbées peut être relativement importante. Il faudra donc considérer pour chacune de ces substances les problèmes nutritionnels, la disponibilité biologique et les seuils éventuels de toxicité et vérifier s'il n'y a pas, soit entre les substances elles-mêmes, soit avec d'autres composants alimentaires, des interactions susceptibles de diminuer ou de renforcer la disponibilité des éléments et leurs effets sur la santé.

Les besoins et la consommation d'eau :

- varient considérablement selon l'âge du consommateur, son régime alimentaire, ses conditions de travail et le climat; des substances qui n'auraient pas d'effet appréciable pour une consommation d'eau normale peuvent prendre de l'importance quand les quantités d'eau ingérées sont plus fortes;
- augmentent pendant la grossesse et l'allaitement; et
- sont affectés par des états pathologiques tels que le diabète insipide ou les maladies s'accompagnant de sueurs profuses. Il faudrait étudier particulièrement, des points de vue toxicologique et nutritionnel, les groupes de population à haut risque.

3.1 Importance de différentes substances pour la santé

Le groupe de travail a estimé que l'effet sur la santé de certaines substances existant dans l'eau de boisson ne saurait être uniquement fonction de leur présence même ou bien de leur concentration excessive, mais aussi d'une baisse du taux des minéraux ainsi dissous. Pour affirmer que le manque d'un minéral se répercute sur la santé, on tient compte à la fois de son importance nutritionnelle et de ses effets tant immédiats qu'à long terme. On s'appuie pour cela sur les données fournies par les recherches en laboratoire et sur des animaux et les études épidémiologiques des populations humaines. Les jugements ne peuvent être étayés que par les seules informations disponibles. Cependant, le fonds de connaissances ne cesse de s'enrichir, compte tenu de la nature même des atteintes portées à la santé et grâce aux nouveaux résultats apportés par des observations répétées de l'état de santé des populations et aux progrès techniques réalisés dans le dépistage de la morbidité. Il sera donc nécessaire de remettre régulièrement en cause avis et recommandations.

Dans l'ensemble, il est plus facile de mettre en évidence les effets nocifs des polluants présents dans l'eau que les effets bénéfiques des constituants normaux. Ce fait a eu tendance à influencer les conceptions des organismes législatifs, aussi bien que de ceux qui fixent les normes. L'idée n'est pas nouvelle que certains éléments constitutifs de l'eau peuvent être salutaires. On a par exemple observé que le taux de mortalité par maladies cardiaques est plus faible dans les populations des régions où l'eau contient des quantités relativement élevées de calcium et de magnésium (eau «dure») que chez les habitants des régions où l'eau ne contient ces minéraux qu'en faible proportion. L'existence d'un rapport de cause à effet est bien étayée (12) et on en a proposé un certain nombre d'explications possibles. Nombreux sont ceux qui pensent qu'il y a dans l'eau une substance bénéfique pour la santé; on ignore toutefois si ce «bénéfice» présumé est lié au fait que l'eau «dure»

ne se charge pas d'éléments toxiques à son passage dans les tuyauteries, ou s'il est dû à la présence de quantités supplémentaires d'un élément nutritionnel important. Selon une autre théorie, les eaux «douces» contiendraient fréquemment en excès certains ions tels que sodium, calcium et plomb, susceptibles d'avoir des effets toxiques.

Puisque l'eau peut jouer un rôle notable dans la satisfaction des besoins nutritionnels de l'homme, il importe d'en examiner les constituants afin de voir si l'eau naturelle assure un apport substantiel de certains d'entre eux. C'est par des enquêtes épidémiologiques (recherche d'un rapport entre la prévalence d'une maladie dans une population déterminée et la distribution présumée de substances chimiques ou autres facteurs dans l'eau dont dispose cette population, etc.) que l'on va pouvoir obtenir la plupart des données concernant les effets sur la morbidité à moyen et long terme des substances contenues dans l'eau. Mettre en évidence une association entre les deux faits n'est cependant pas, en soi, prouver une relation de cause à effet. Pour établir une telle relation, il faut souvent se livrer à des enquêtes ardues, afin de déterminer la constance de l'association (dans l'espace, d'un lieu et d'une population à l'autre, et dans le temps), son impact (c'est-à-dire l'amplitude du risque de maladie parmi les personnes exposées par rapport à celles qui ne sont pas exposées), et sa plausibilité biologique dans les recherches de laboratoire ou l'expérimentation animale.

Avant de pouvoir affirmer qu'une relation est vraisemblablement causale, deux conditions essentielles doivent avoir été préalablement remplies : il faut avoir une relation temporelle (certitude que l'exposition à la cause soupçonnée est antérieure à l'apparition de la maladie) puis recherché une relation entre dose et réponse, telle qu'on en trouve par exemple entre les fluorures et les caries dentaires, le tabagisme et le cancer du poumon. Dans une association non causale, la modification voire la suppression de la cause suspectée n'ont aucun effet sur la fréquence de la maladie en cause. C'est pourquoi, avant de recommander une modification quelconque de la teneur en minéraux de l'eau de boisson, il est indispensable d'avoir rassemblé des preuves irréfutables de causalité, telles que celles qui ont été évoquées ci-dessus.

3.2 Identification des substances potentiellement importantes

Le groupe de travail a tout d'abord dressé une liste des substances inorganiques naturellement présentes dans l'eau de boisson : aluminium, antimoine, argent, arsenic, baryum, béryllium, bore, brome, cadmium, calcium, carbonates, chrome, cobalt, cuivre, étain, fer, fluor, iode, lithium, magnésium, manganèse, mercure, molybdène, nickel, nitrates, phosphates, plomb, potassium, sélénium, silicium, sodium, strontium, sulfates, thallium, titane, vanadium, zinc. On rencontre également dans l'eau d'autres ions et éléments mineurs, mais en très faibles quantités, et le groupe n'a pas jugé nécessaire de les étudier, estimant qu'ils n'avaient aucune importance sur le plan nutritionnel.

Le groupe de travail a considéré que neuf des substances figurant sur sa liste (calcium, chrome, fluor, lithium, magnésium, potassium, sélénium, sodium et zinc) devaient être étudiées de plus près, car certains faits donnent à penser que leur présence ou leur absence dans l'eau de boisson peut se répercuter sur la santé. On ajoute généralement ces substances aux eaux déminéralisées ou dessalées par mélange d'un volume d'eau naturelle calculé de manière à ajuster les concentrations en ions calcium, magnésium et bicarbonates. Les membres du groupe de travail ont jugé qu'une telle addition était acceptable, en soulignant toutefois qu'en aucun cas le produit ainsi obtenu ne devait s'écarter des normes applicables à l'eau de boisson.

4. L'EAU ET LES MALADIES CARDIO-VASCULAIRES

4.1 Importance pour la santé du calcium dans l'eau de boisson

Les avis relatifs à l'importance du calcium pour la santé reposent largement sur l'interprétation faite des données épidémiologiques. Or leur volume est si grand qu'on ne saurait citer dans le présent rapport les documents qui étayent les résultats mentionnés, et moins encore rendre compte en détail de l'interprétation qui en a été donnée. La discussion qui va suivre est fondée sur ce que l'on espère être un résumé impartial des conclusions de plus de soixante enquêtes épidémiologiques menées sur une période de dix-neuf ans, de 1957 à 1976. De nombreuses études poursuivies selon un protocole adéquat par des chercheurs indépendants au Canada, en Angleterre, au Pays de Galles et aux Etats-Unis, ont fait ressortir une corrélation inverse entre la «dureté» de l'eau de boisson (et en particulier sa teneur en calcium) et la mortalité à l'âge adulte en général et notamment par maladie cardio-vasculaire. Le fait que certains chercheurs n'ont pas constaté cette association n'infirme pas les conclusions précédentes. Il existe à coup sûr une association, mais elle n'est évidemment pas uniforme.

Depuis 1957, date à laquelle Kobayashi (13) a observé une corrélation apparente entre la distribution géographique de l'acidité de l'eau dans les fleuves du Japon et celle de l'apoplexie, qui était à cette époque l'une des principales causes de mortalité dans ce pays, un nombre croissant de chercheurs, dans le monde entier, se sont efforcés de vérifier cette association et de déterminer la nature de la relation entre la dureté de l'eau de boisson et la mortalité, en particulier par maladies cardio-vasculaires. La documentation en ce domaine est volumineuse, et le sujet a fait l'objet de plusieurs études exhaustives (4, 12, 14). On a avancé de nombreuses hypothèses pour essayer d'expliquer comment le manque de calcium peut jouer un rôle dans la pathogénèse des maladies cardio-vasculaires. On a suggéré que certains types de

cardiopathies peuvent être aggravés par le manque de calcium, substance qui est nécessaire aux contractions musculaires et dont on a prouvé qu'elle abaisse les taux de lipides sériques (15, 16). Crawford *et al.* (17, 18) ont attribué la surmortalité des zones à eau «douce» à une fréquence accrue de l'hypertension dans les populations locales, bien qu'à l'origine on ait postulé un effet protecteur du calcium contre l'absorption de plomb. On a posé plus tard l'hypothèse d'un mécanisme plus complexe, faisant intervenir la proportion du magnésium et du calcium par rapport au sodium (19). Une théorie similaire a été proposée par Joossens (20), pour lequel le calcium pourrait assurer une protection contre les effets nocifs du sodium. En 1968, Langford (21) a fait valoir que l'effet hypertenseur du sodium pourrait être aggravé quand l'apport de calcium est faible. La relation entre «dureté» de l'eau et mortalité infantile n'a pas été aussi largement étudiée; la plupart des rapports signalant une corrélation inverse entre les deux phénomènes proviennent d'études bien conçues à grande échelle menées en Angleterre et au Pays de Galles (22, 23). Là encore, malgré certaines données contradictoires est apparue une association entre la mortalité infantile et la «dureté» de l'eau. Comme dans le cas des maladies cardio-vasculaires, l'association existe, sans être constante.

Les diverses associations rapportées entre la présence de calcium dans l'eau et les aliments et d'autres maladies, vasculaires ou non, ne réfutent pas en elles-mêmes l'hypothèse que l'absorption de calcium a un effet spécifique sur la mortalité par cardiopathie ischémique, et ne devraient pas empêcher d'envisager des études d'intervention prospective. En fait même, la situation est si complexe que l'intervention prospective est peut-être le seul moyen d'arriver à la solution du problème. A l'heure actuelle toutefois, l'examen des données épidémiologiques fait penser que l'ensemble de faits pourrait avoir une explication indirecte, totalement étrangère à l'eau de boisson. Cela étoufferait évidemment tout espoir de pouvoir aisément influencer sur la mortalité, soit par un apport diététique supplémentaire de calcium, soit en agissant sur la teneur en calcium de l'approvisionnement d'eau potable.

4.2 Importance pour la santé du magnésium dans l'eau de boisson

Dans l'état actuel de nos connaissances, l'importance du magnésium pour la santé publique paraît dépendre de deux questions : d'abord, les personnes ayant une ration optimale en magnésium risquent-elles moins de mourir de maladie cardio-vasculaire que celles qui en ingèrent moins (en vérifiant cette hypothèse, il importe d'éviter de prendre la symptomatologie cardio-vasculaire comme critère d'une consommation optimale de magnésium), ensuite, l'eau de boisson, par sa teneur en magnésium, contribue-t-elle de façon notable à assurer ce niveau optimal ? C'est en grande partie de l'analyse épidémiologique que dériveront les réponses à ces deux questions, et cette analyse à son tour dépend de la disponibilité d'indices sanitaires satisfaisants concernant une consommation suboptimale de magnésium; ces indices doivent être tels qu'on

puisse vérifier la prévalence de ces maladies au sein de populations auxquelles les aliments et l'eau de boisson apportent beaucoup ou au contraire peu de magnésium.

Les situations, en ce qui concerne le magnésium et le calcium, présentent un contraste intéressant. Les données recueillies prouvent très nettement l'association entre le calcium et les maladies cardio-vasculaires, mais les expériences menées en laboratoire et sur les animaux n'ont pas pu faire apparaître une relation de cause à effet. Dans le cas du magnésium, en revanche, si l'association est biologiquement plausible, elle n'est encore que faiblement étayée par les données épidémiologiques. Néanmoins, l'hypothèse que les variations de l'apport de magnésium peuvent avoir un effet critique pour des cœurs déjà atteints (cardiopathies) ou fonctionnant mal (arythmies) semble tout à fait raisonnable.

L'association magnésium/mort subite par accident cardio-vasculaire (24) est peut-être importante, mais tous les chercheurs ne l'ont pas constatée. De plus, on ne sait pas très bien dans quelle mesure il est légitime de subdiviser ainsi les causes de mortalité cardio-vasculaire. Quelle est exactement la différence, en terme de pathogénèse sous-jacente, entre les sujets qui meurent sur le coup de leur infarctus et ceux qui y survivent par exemple 48 heures ?

Une grande partie des données montrant une association entre la teneur en magnésium de l'eau de boisson et les maladies de cœur a la même origine que celles qui font apparaître une association entre cardiopathies et taux de calcium (parce que les teneurs de l'eau de boisson en calcium et en magnésium sont très fortement liées). En conséquence, nombre des réserves qui s'appliquent à l'interprétation des données relatives au calcium valent aussi pour le magnésium.

On attache actuellement beaucoup d'importance au magnésium présent dans le cœur et les autres muscles. Des études menées sur des hommes morts d'accident ont montré des teneurs moins élevées chez les habitants des régions à eau « douce » que chez ceux des régions à eau « dure » (25-27). Anderson (27) a dosé le magnésium dans le myocarde de 54 accidentés résidant dans des zones où l'eau est peu magnésienne, et de 29 autres de zones où l'eau est au contraire riche en magnésium; pour le premier groupe, les valeurs étaient inférieures de 7% à celles trouvées dans le deuxième. Cette différence toutefois n'ayant qu'une très faible signification statistique, on peut douter de son importance biologique.

La concentration du magnésium dans le myocarde de sujets décédés de cardiopathie ischémique s'est révélée inférieure de 24% à celle de sujets morts accidentellement (27), mais il est difficile de savoir si cette teneur apparemment moindre est la cause ou le résultat de la lésion cardiaque.

En résumé, il faut bien admettre que les preuves d'une relation de cause à effet entre les cardiopathies et la teneur en magnésium de l'eau de boisson demeurent assez faibles, et moins substantielles que celles dont on dispose sur l'association entre calcium et maladies de cœur. L'hypothèse du magnésium

est cependant caractérisée par une forte plausibilité biologique, et elle est bien étayée par les expériences en laboratoire et sur l'animal, ce qui n'est pas le cas pour le calcium.

4.3 Importance pour la santé du sodium dans l'eau de boisson

Comme cela a été indiqué à la section 2, éliminer de l'eau le calcium, le magnésium et d'autres ions qu'elle peut contenir, en utilisant le procédé de la résine échangeuse d'ions, peut avoir pour résultat d'ajouter du sodium à l'eau de boisson. Cette augmentation de la consommation de sodium risque d'avoir pour la santé des effets importants, qui vont être examinés dans cette section.

Plusieurs chercheurs ont signalé que, contrairement à ce qui se passe d'ordinaire, la pression sanguine n'augmente pas avec l'âge chez certaines populations primitives dont le régime alimentaire ne comporte pas de sel (20, 28-30). Par contre, Shaper *et al.* (31) ont noté chez de jeunes Samburis - qui mangent normalement sans sel - une augmentation rapide de la pression sanguine quand, au cours de leur service militaire, ils consomment chaque jour 15 g de sel. Sakaki (32) enregistre une chute progressive de la tension artérielle chez des enfants japonais qui reçoivent dans les écoles des repas à faible teneur en sel.

Si les effets nocifs d'une alimentation riche en sodium paraissent avoir été confirmés, on est moins certain des effets que peut avoir l'ingestion d'une eau de boisson fortement sodée. En 1975, Steinbech *et al.* (33) rapportaient que la prévalence de l'hypertension chez les habitants du village de Jurilovca (Roumanie) était parmi les plus fortes du monde. Or on a constaté que l'eau de ce village contient 26 fois plus de sodium que celle de Bucarest ou d'un village voisin de la vallée de Gurghiu. Aucune des études épidémiologiques menées jusqu'à présent n'a pu faire ressortir que des concentrations normales de sodium dans l'eau de boisson risquaient d'être dangereuses pour la santé. Une certaine inquiétude a toutefois été exprimée en ce qui concerne les effets nocifs possibles de la consommation d'eau adoucie contenant des ions sodium en nombre excessif. Un groupe de travail de l'OMS (8) a déjà suggéré qu'une eau ainsi adoucie ne devait pas être utilisée pour la boisson ou pour la cuisine, parce que la consommation d'eau traitée dans les adoucisseurs domestiques va non seulement apporter un excédent de sodium, mais encore modifier la proportion de sodium par rapport au potassium, au calcium et au magnésium. De telles altérations peuvent jouer un rôle dans la pathogénèse de l'hypertension (34).

Qu'un régime à faible teneur en sodium soit bénéfique aux hypertendus, cela a été largement prouvé.^a En Europe, dans des conditions normales, l'eau de boisson apporte entre 2% et 6% de la consommation totale journalière de ce minéral (4). Il semblerait que la plupart des gens puissent éliminer sans dommage apparent les grandes quantités de sodium fournies par les aliments habituels. Aux Etats-Unis, on a récemment suggéré que 40% au moins de la population auraient avantage à maintenir leur consommation totale de sodium au-dessous de 2 g par jour (11).

5. ELEMENTS RETENUS POUR DISCUSSION PLUS APPROFONDIE

Après avoir identifié les substances potentiellement importantes, le groupe de travail est passé à l'examen, pour chacune d'entre elles, de la relation entre l'apport alimentaire quotidien recommandé et celui qui sera vraisemblablement fourni par la nourriture et l'eau de boisson.

La décision de recommander l'enrichissement de l'eau de boisson en une substance particulière devra reposer sur les éléments suivants :

- a) la valeur de cette substance pour la santé humaine;
- b) la quantité normalement apportée par des sources autres que l'eau de boisson;
- c) les conditions locales : climat, habitudes diététiques, disponibilité d'eau de boisson; et
- d) l'adéquation de l'eau de boisson en tant que véhicule de la substance en cause.

Ces différents points vont être brièvement considérés ici pour le calcium, le magnésium, le sodium, le potassium, le zinc, le chrome, le fluor, le silicium et le lithium.

^a Les incidences en ont été examinées par un groupe de travail de l'OMS sur « les eaux de boisson : teneur en sodium, teneur en chlorures et conductivité », réuni à La Haye en mai 1978 (35). Tenant compte de l'impossibilité d'abaisser au-dessous de 460 mg par jour la quantité de sodium apportée par les aliments, et du fait que la consommation journalière d'eau est normalement de deux litres, le groupe a recommandé de fournir aux patients atteints d'hypertension et/ou d'insuffisance cardiaque congestive, et dont la ration quotidienne de sodium ne doit pas dépasser 500 mg/jour, une eau de boisson contenant au plus 40 mg de sodium par litre. Il a également recommandé que les autorités sanitaires soient tenues informées de la concentration réelle de sodium dans l'eau, lorsque le seuil de 20 mg/l est dépassé, et que la teneur en sodium de toute eau utilisée pour la boisson soit surveillée en permanence.

Une grande partie des données concernant les besoins corporels en divers éléments provient d'études-bilans dans lesquelles les doses journalières recommandées représentent la quantité nécessaire pour remplacer les pertes naturelles. Pour pouvoir apprécier l'effet, bénéfique ou nocif, que peuvent avoir sur la santé de légères modifications des doses quotidiennes recommandées, il faudra toutefois attendre que les méthodes permettant de mesurer la santé des individus soient plus au point. Il sera nécessaire aussi de réunir plus d'informations sur la différence d'absorption des substances selon qu'elles sont ingérées dans l'eau ou dans les aliments.

5.1 Calcium

Le calcium est indispensable à l'homme. Non seulement il représente l'un des principaux éléments du squelette, mais il est nécessaire à la coagulation sanguine et au fonctionnement normal des tissus nerveux entre autres. Les faits étayant l'hypothèse qu'une eau à forte teneur en calcium pourrait protéger contre les maladies cardio-vasculaires ont déjà été examinés dans la section 4.1.

La «dureté» de l'eau est essentiellement due à la présence de calcium et de magnésium. Une eau «dure» n'étant pas aussi corrosive qu'une eau «douce», elle risque moins de se charger, à son passage dans les canalisations, de métaux potentiellement nocifs tels que le plomb, le cuivre et le cadmium. La teneur de l'eau en calcium joue un rôle important dans cet effet protecteur. La proportion de l'apport alimentaire de calcium fournie par l'eau de boisson dépend de la concentration de ce minéral dans l'eau; calculée sur la base d'une consommation de deux litres d'eau par jour, elle se situe dans vingt et une grandes villes d'Europe entre 2% et 28%, avec une moyenne de 17% (6).

Compte tenu de la relation étroite des ions calcium et magnésium dans l'eau, et de l'importance d'un équilibre correct des substances ajoutées, il ne faudrait, en principe, décider d'ajouter du calcium à l'eau reconstituée qu'en considérant aussi la nécessité d'ajouter du magnésium. Il faudrait en même temps tenir compte de la nécessité de tamponner l'eau pour qu'elle ne soit pas corrosive et d'assurer, le cas échéant, un équilibre adéquat entre le calcium et d'autres éléments et minéraux essentiels, dont l'addition pourrait se révéler nécessaire (8).

5.2 Magnésium

Le magnésium est un cation bivalent important, essentiellement intracellulaire, présent dans tous les tissus du corps; c'est lui qui, entre autres choses, maintient l'intégrité fonctionnelle et structurelle du myocarde. Expérimentalement, la déplétion en magnésium entraîne une nécrose cardiaque (voir également les discussions en section 4.2).

Noix, céréales, fruits de mer, viandes et légumes sont des aliments riches en magnésium (36). Les consommations journalières actuellement recommandées sont de l'ordre de 300 mg (37), mais l'apport alimentaire moyen, dans les pays occidentaux, serait d'environ 250 mg par jour (6). Au Canada, Neri & Johansen (14) ont constaté que l'eau de boisson, dans les régions où elle est fortement magnésienne, pouvait fournir jusqu'à 20% de l'apport total journalier, contre 1% dans les zones où l'eau renferme peu de magnésium. Ces chercheurs ont calculé que, à régime alimentaire semblable, les habitants des régions du Canada où la «dureté» de l'eau de boisson dépasse 150 mg/l en CaCO₃ reçoivent en moyenne 50 mg de magnésium de plus que les résidents des zones à eau «douce». Ils suggèrent que cette quantité pourrait jouer un rôle important dans les cas où les besoins risquent de se trouver accrus par suite d'un stress quelconque, une crise d'arythmie par exemple.

Zoeteman & Brinkmann (6) ont constaté que la concentration moyenne du magnésium dans l'eau de boisson fournie en Europe par les systèmes publics d'adduction est relativement faible (aux alentours de 12 mg/l) et représente environ 10% des apports journaliers. D'après les mêmes auteurs, l'«eau minérale» en bouteille, largement utilisée dans certains pays européens, pourrait apporter en moyenne 40% du magnésium absorbé chaque jour.

Il faudrait étudier la possibilité de restituer à l'eau qui les a perdus par suite de sa déminéralisation ses ions magnésium. Dans d'autres cas, et lorsque l'on a démontré qu'un apport supplémentaire de magnésium pourrait être salutaire pour la population d'un lieu donné, il importera de vérifier en premier lieu l'innocuité et l'efficacité d'une telle mesure. L'idéal serait de comparer sur le plan coût/avantages différents moyens d'obtenir le même bénéfice (par exemple en ajoutant le minéral aux aliments plutôt qu'à l'eau), pour être sûr que l'utilisation de l'eau comme véhicule est bien le système le plus économique.

5.3 Sodium

La relation causale entre la présence d'une quantité donnée d'ions sodium et l'hypertension a été examinée plus haut, à la section 4.3. Du fait que c'est le sodium qui est habituellement ajouté au cours du processus d'échanges d'ions, on a jugé important de discuter en quelque détail ses sources et sa consommation.

La consommation journalière de sodium est extrêmement variable. Certaines sociétés primitives ont vécu pendant des générations avec des régimes comportant moins d'un gramme de sodium par jour. Des malades peuvent être maintenus à un régime désodé n'apportant que 0,2 g de ce minéral par jour, par contre, on a enregistré chez des ouvriers new-yorkais des consommations allant jusqu'à 9,6 g/jour (11, 38). Il est difficile de trouver des aliments composant un régime nutritionnellement acceptable et fournissant moins de 200 mg de sodium par jour. La presque totalité de l'excédent nutritionnel de

sodium vient du sel de table ordinaire qui a été ajouté aux quantités normalement présentes dans les aliments bruts. Le seul autre apport significatif provient de l'eau de boisson, pour laquelle on a signalé en Europe des teneurs allant de 4 à 125 mg/l de sodium par litre (6). Une enquête intéressant 2100 systèmes d'approvisionnement en eau aux Etats-Unis a fait apparaître des valeurs atteignant 1,9 g/l; la valeur moyenne est toutefois inférieure à 20 mg/l et moins de 8% des approvisionnements contenaient plus de 100 mg de sodium par litre d'eau (39). Les concentrations les plus fortes se rencontrent dans les eaux superficielles des zones arides, et dans les nappes souterraines en contact avec des dépôts de sel ou subissant des infiltrations d'eau de mer. De nombreux approvisionnements dans les régions côtières ont de fortes teneurs en sel dues aux embruns marins. Les techniques d'adoucissement de l'eau peuvent apporter des quantités importantes de sodium, surtout si l'on emploie le procédé de la chaux sodée ou des échangeurs d'ions.

Si la plupart du temps et pour une majorité d'individus la concentration en ions sodium de l'eau de boisson ne pose aucun problème sanitaire particulier, il faut, en revanche, toujours se préoccuper de l'existence de groupes à haut risque tels que les personnes astreintes à un régime désodé, ou qui vivent sous des climats chauds et dont la consommation de liquide peut être très importante, ou encore les habitants de régions où la teneur naturelle de l'eau en sodium est très élevée. Peut-être n'est-il pas rentable de diminuer la teneur en sodium de l'eau de boisson pour répondre aux besoins de patients atteints d'affections cardiaques et qui s'efforcent de suivre un régime pauvre en sel, mais il est certainement possible de réduire les additions délibérées de sodium à l'eau.

5.4 Potassium

Le potassium est le principal cation intracellulaire monovalent. Il joue un rôle important dans le squelette et surtout dans le fonctionnement du muscle cardiaque. On considère généralement que les aliments apportent cet élément essentiel en quantité suffisante.

Les besoins moyens en potassium ont été calculés comme étant de l'ordre de 2,5 g par jour. On a constaté qu'en Europe la concentration moyenne du potassium dans le réseau public d'adduction d'eau va de 0,5 à 18 mg/l (6). Donc, normalement, l'eau de boisson ne contribue pas de façon notable à l'apport journalier de potassium. Par contre, son goût est influencé par sa teneur en potassium et en sodium.

5.5 Zinc

Le zinc est un élément important de nombreux systèmes enzymatiques; on a démontré qu'il est essentiel à la vie (37). La carence en zinc se traduit

chez l'homme par des retards de croissance et de développement sexuel, des difficultés de cicatrisation, la perte du goût et de l'odorat (40).

Les aliments fournis par les mammifères sont des sources importantes de zinc, de même que le poisson et les produits marins (37). La quantité de zinc que les aliments doivent apporter dépend de la composition du régime alimentaire et de la disponibilité de cet élément pour le corps humain. On a calculé que, si la disponibilité est de 10%, il faudrait 22 mg de zinc par jour pour répondre aux besoins d'un adulte, et davantage pour les jeunes enfants, et pour les femmes enceintes ou allaitantes (37). Des carences en zinc ont été signalées tant dans les pays industrialisés que dans les pays en développement (37). L'eau de boisson, compte tenu des normes actuellement en vigueur, peut apporter jusqu'à 10 mg de zinc par jour, c'est-à-dire à peu près la moitié de ce qu'il faut à l'adulte. L'étude des données disponibles, cependant, laisse entrevoir qu'en fait les quantités de zinc réellement présentes dans l'eau sont beaucoup plus faibles (1, 2). Il est possible toutefois que le minéral est mieux assimilé quand il est apporté par l'eau que lorsqu'il se trouve dans des aliments; c'est une hypothèse qui demande à être vérifiée par des études plus poussées.

Puisque, pour autant qu'on le sache, le zinc n'est jamais présent à l'état naturel dans l'eau de source en quantités importantes, il ne paraît donc pas nécessaire d'en ajouter aux eaux qui ont été déminéralisées ou dessalées. Un problème pourrait se poser si l'on envisageait de déminéraliser une eau naturellement riche en zinc; il serait alors nécessaire de procéder à une évaluation approfondie en se plaçant au point de vue de l'état nutritionnel de la population.

5.6 Chrome

Le chrome peut se rencontrer dans l'eau à la fois sous forme hexavalente et sous forme trivalente; la première est plus soluble que la seconde. Le chrome trivalent est un élément essentiel (37). Il influe sur la tolérance au glucose, et joue par là un rôle métabolique fondamental. Sous sa forme trivalente, le chrome va constituer des composés insolubles au pH naturel de l'eau, à moins d'être protégé par la formation de complexes.

En revanche, le chrome hexavalent pose des problèmes, liés à ses effets nocifs. Le chrome hexavalent administré à des animaux dans de l'eau ou des aliments est absorbé à environ 5%.

Les aliments contiennent également du chrome sous sa forme trivalente, mais alors 0,5% à 1% seulement de l'apport total quotidien sont réellement absorbés. Il est juste de dire que, dans certaines conditions, ce taux peut s'élever (37). Le chrome hexavalent est facilement réduit par l'organisme à sa forme trivalente; il perd ainsi en toxicité et gagne en importance nutritionnelle. Cette conversion est pratiquement irréversible.

Le chrome trivalent joue en rôle actif dans le mécanisme de la tolérance au glucose (37). Les études menées dans plusieurs pays ont fait ressortir une association entre l'insuffisance des apports en chrome et une mauvaise tolérance au glucose; la tolérance s'améliore avec l'administration de sels de chrome. Des rapports publiés aux Etats-Unis, faisant état des résultats anormaux du test de tolérance au glucose chez les personnes d'âge moyen, et d'une association entre l'abaissement de la teneur des tissus en chrome, la multiparité et le diabète, laissent penser que la population se trouve peut-être dans un état de carence marginale pour ce minéral (40). Il est possible que la même situation se retrouve dans d'autres parties du monde (37). D'après une étude jordanienne, il y aurait une relation entre l'état de santé et la pauvreté en chrome de l'eau de boisson (41) : on a constaté en effet une diminution de la tolérance au glucose chez des enfants buvant une eau contenant $0,5 \mu\text{g}$ de chrome par litre; les taux d'élimination du glucose se sont améliorés après administration de $250 \mu\text{g}$ de chlorure de chrome. Enfin, on a signalé en Finlande une relation entre les maladies cardio-vasculaires et la teneur en chrome de l'eau de boisson (42).

En Europe, la teneur en chrome des approvisionnements publics oscille généralement autour de $2 \mu\text{g/l}$ (6), tandis qu'aux Etats-Unis l'éventail va de «quantités non décelables» à $35 \mu\text{g/l}$ (11). En URSS, on a relevé dans les eaux superficielles des concentrations atteignant 100 et même $200 \mu\text{g/l}$ (44). On pense que l'apport alimentaire nécessaire pour compenser l'élimination dans les urines pourrait osciller entre $22 \mu\text{g}$ et $500 \mu\text{g}$ de chrome, selon sa nature chimique dans les différents aliments (37, 43). La nourriture est une source importante de chrome, mais les quantités qu'elle fournit peuvent se trouver insuffisantes parce qu'elles auront mal été absorbées. Aux Etats-Unis, les apports de chrome sont compris entre $5 \mu\text{g/jour}$ et plus de $100 \mu\text{g/jour}$ (37).

Compte tenu des rapports qui ont signalé une association entre les faibles teneurs de l'eau en chrome et une pathologie humaine, il faudra étudier avec le plus grand soin l'état nutritionnel de la population à l'égard de ce minéral, dans les cas où le traitement envisagé pour l'eau risquerait de diminuer notablement la teneur en chrome de l'eau de boisson. Il conviendrait de réaliser des études plus poussées sur l'éventualité d'une importance plus considérable de l'eau de boisson en tant que source nutritionnelle de chrome.

5.7 Fluor

Nul ne conteste aujourd'hui que l'incidence des caries dentaires baisse dès que la concentration de fluor dans l'eau de boisson atteint 1 mg/l environ. C'est la raison pour laquelle l'OMS préconise depuis de nombreuses années la fluoration de l'eau de boisson (1, 2, 45-47). On a reconnu récemment que le fluor était pour les animaux un élément essentiel (48).

Le poisson et le thé sont riches en fluor (45). Mais c'est en général l'eau de boisson, quand elle a été fluorée, qui en fournit l'apport le plus important (46).

5.8 Silicium

Il a été démontré que, chez les animaux, le silicium, associé avec la synthèse des mucopolysaccharides dans la formation des os et du tissu conjonctif et le développement du squelette (49), est un élément essentiel (37). On a constaté chez le rat, le lapin, le porc et le poulet une corrélation inverse entre la teneur en silicium et le vieillissement de certains tissus. Dans la paroi artérielle, le taux du silicium diminue avec le développement de l'athérosclérose. On n'a pas enregistré chez l'homme de manifestations de carence en silicium.

Cependant, à partir des études réalisées en laboratoire et sur l'animal, on a suggéré que la carence en silicium pouvait jouer un rôle dans la pathogénèse de l'athérosclérose (50). On a également avancé l'hypothèse que les effets apparemment favorables des régimes contenant du son ou d'autres aliments à forte teneur en fibres sur la réduction du risque de cardiopathie ischémique pourraient être dus à la forte concentration de ces substances en silicium (51).

L'eau de boisson ne fournit qu'une fraction de l'apport journalier (6). Il n'est pas possible de formuler à l'heure actuelle des recommandations sur la concentration optimale du silicium dans l'eau de boisson. Des recherches plus approfondies sont à encourager.

5.9 Lithium

Rien n'indique que le lithium, substance qui a été utilisée avec succès dans le traitement des états dépressifs, soit un nutriment essentiel pour l'homme. On a signalé dans une région des Etats-Unis une association entre la teneur en lithium de l'eau de boisson et certains paramètres de santé mentale, tels que le taux d'admissions dans les hôpitaux psychiatriques (52). L'addition de lithium à l'eau de boisson ne semble pas se justifier en l'état actuel des connaissances.

6. CONCLUSIONS GENERALES ET RECOMMANDATIONS

Les conclusions auxquelles est parvenu le groupe de travail sur l'importance que peuvent avoir pour la santé humaine la présence ou l'absence de certaines substances dans l'eau sont d'ordre général et s'appliquent à toutes les eaux potables. Les recommandations relatives aux additions se réfèrent spécifiquement à des eaux telles qu'en produisent le dessalement et certaines méthodes de déminéralisation. C'est en fonction de la situation locale qu'on devra apprécier s'il est ou non souhaitable d'ajouter diverses substances à l'eau naturelle.

6.1 Conclusions

1. Il semble, en l'état actuel de nos connaissances, que l'eau représente une source importante de certains minéraux essentiels, notamment le magnésium et le calcium. Son rôle est particulièrement notable lorsque les aliments à eux seuls ne peuvent assurer un apport suffisant.
2. Quand on envisage de se servir pour la boisson d'une eau déminéralisée, il faut tenir compte que cette eau est plus corrosive pour les tuyauteries.
3. La décision de fluorer l'eau de boisson pour lutter contre les caries dentaires est fondée sur des études épidémiologiques. C'est en effet après avoir observé pendant des périodes prolongées l'effet qu'avait sur des groupes nombreux la consommation d'eau de boisson contenant du fluor à des concentrations diverses que l'on est arrivé à une telle décision. Et dans l'avenir, chaque fois que l'on envisagera d'ajouter à l'eau certaines substances dont on pense qu'elles auront des effets pharmacologiques favorables, la décision devra toujours être précédée d'une évaluation semblable de l'efficacité et de l'innocuité. L'idéal serait de comparer en même temps, sur le plan des coûts et des avantages, les diverses façons d'obtenir un même bénéfice (par exemple, en ajoutant la substance en cause non à l'eau, mais à des aliments), pour s'assurer que l'eau est bien le véhicule le plus économique.

6.2 Recommandations

1. Il faudrait entreprendre de nouvelles études pour vérifier dans quelle mesure sont absorbés les oligo-éléments présents dans l'eau, et déterminer les différents facteurs qui influent sur leur absorption et leur disponibilité biologique. Il est également nécessaire d'obtenir des informations sur la spéciation des oligo-éléments.
2. On a également le plus grand besoin de savoir comment la préparation et la cuisson des aliments peuvent en modifier la teneur en minéraux et autres nutriments, surtout quand les aliments sont mis à bouillir dans des eaux plus ou moins minéralisées.
3. Il serait nécessaire d'avoir des informations sur la quantité totale de minéraux apportée à la population d'un lieu donné, surtout lorsque l'on envisage de modifier la teneur en minéraux de l'eau de boisson fournie à cette population. En appréciant les effets et l'innocuité des diverses substances, on pensera particulièrement aux groupes de population qui peuvent être plus spécialement sensibles, par exemple les nourrissons, les femmes enceintes, les mères allaitantes, les personnes atteintes d'affections néphrétiques, les vieillards ou les malades en général.

4. Il serait nécessaire de mieux connaître la nature réelle de la relation entre la mortalité cardio-vasculaire et la concentration dans l'eau de boisson des ions calcium et magnésium (et autres composants de sa «dureté»), ce qui ne peut se faire que par des études d'intervention prospectives impliquant des changements dans la concentration de ces ions dans l'eau. Il ne faut pas négliger l'occasion d'entreprendre ces études aussitôt que possible, tant sont considérables les bénéfices qu'on pourra retirer d'une modification de la teneur en minéraux de l'eau de boisson, s'il s'avère qu'il y a bien en fin de compte une relation de cause à effet.

5. Il faudra poursuivre des recherches sur les effets nocifs que peut avoir pour les groupes à haut risque l'introduction d'un excès de sodium dans l'eau au cours du processus de déminéralisation.

6. La décision de recourir à une eau déminéralisée et/ou dessalée pour alimenter une région donnée ne devra être prise qu'avec la plus grande prudence, et de préférence seulement après une étude approfondie de l'apport total de minéraux dont bénéficient les populations locales.

7. Il faut mesurer les effets que peut avoir sur la santé la déminéralisation de l'eau. L'idéal serait d'entreprendre des études épidémiologiques chaque fois que la situation s'y prête. Il est demandé à l'Organisation mondiale de la Santé de suivre de près, de promouvoir et de soutenir ces recherches.

8. Il faudrait procéder à une revue critique de toutes les études épidémiologiques menées jusqu'à présent sur la relation entre la composition minérale de l'eau et la santé, et il est demandé à l'Organisation mondiale de la Santé de promouvoir ce travail, en appliquant les meilleurs critères actuellement acceptés pour l'évaluation des données scientifiques.

BIBLIOGRAPHIE

1. **Organisation mondiale de la Santé.** *Normes européennes applicables à l'eau de boisson.* 2ème édition, Copenhague, Bureau régional de l'Europe, 1970.
2. **Organisation mondiale de la Santé.** *Normes internationales pour l'eau de boisson.* 3ème édition, Genève, 1972.
3. *Absorption par l'homme de polluants présents en quantité infime dans l'eau et les aliments : rapport d'un groupe d'évaluation.* Copenhague, Bureau régional de l'Europe, 1976 (document ICP/CEP 101(5)).
4. **Commission des Communautés européennes.** *Hardness of drinking water and public health.* Oxford, Pergamon Press, 1976.
5. **Roberts, C.J.** Water and health. In : *Recent advances in community medicine.* N° 1, Edimbourg, Churchill Livingstone, 1978, pp. 37-58.
6. **Zoeteman, B.C.J. & Brinkmann, F.J.J.** Human intake of minerals from drinking water in the European communities. In : *Hardness of drinking water and public health.* Oxford, Pergamon Press, 1976, pp. 173-211.
7. **Shuman, M.S. & Dempsey, J.H.** Column chromatography for field pre-concentration of trace metals. *Journal, Water Pollution Control Federation*, 49 : 2000-2004 (1977).
8. *Effets sur la santé des agents et procédés pour le traitement de l'eau de boisson : rapport d'un groupe de travail.* Copenhague, Bureau régional de l'Europe, 1979 (document ICP/CEP 101(6)).
9. **Lafontaine, A.** Introductory report. In : *Hardness of drinking water and public health.* Oxford, Pergamon Press, 1976, pp. 27-58.
10. *La recherche des substances radioactives dans l'eau de boisson : rapport sur la réunion d'un groupe de travail.* Copenhague, Bureau régional de l'Europe, Rapports et Etudes EURO (en préparation).
11. **National Research Council.** *Drinking water and health.* Washington, National Academy of Sciences, 1977, pp. 400-411 et 474-487.
12. **Neri, L.C. et al.** Can epidemiology elucidate the water story ? *American journal of epidemiology*, 99(2) : 75-88 (1974).
13. **Kobayashi, J.** On geographical relationship between the chemical nature of river water and death rate from apoplexy. *Reports of the Ohara Institute for Agricultural Biology, Okayama University*, 11 : 12-21 (1957).
14. **Neri, L.C. & Johansen, H.L.** Water hardness and cardiovascular mortality. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 304 : 203-219 (1978).
15. **Speckmann, E.W. & Brink, M.F.** Relationships between fat and mineral metabolism - a review. *Journal of the American Dietetic Association*, 51 : 517-522 (1967).
16. **Bierenbaum, M.L. et al.** Longterm human studies on the lipid effects of oral calcium. *Lipids*, 7 : 202-206 (1972).
17. **Crawford, M.D. & Crawford, T.** Lead content of bones in a soft and a hard water area. *Lancet*, 1 : 699-701 (1969).

18. Crawford, M.D. & Clayton, D.G. Lead in bones and drinking water in towns with soft and hard water. *British medical journal*, 2 : 21-23 (1973).
19. Crawford, M.D. Hardness of drinking water and cardiovascular disease. *Proceedings of the Nutritional Society*, 31 : 347-353 (1972).
20. Joossens, J.V. Salt and hypertension : water hardness and cardiovascular death rate. *Triangle* (English ed.), 12(1) : 9-16 (1973).
21. Langford, H.G. et al. Factors affecting blood pressure in population groups. *Transactions of the Association of American Physicians*, 81 : 135-146 (1968).
22. Crawford, M.D. et al. Infant mortality and hardness of local water supplies. *Lancet*, 1 : 988-992 (1972).
23. Roberts, C.J. Diseases other than cardiovascular disease and their association with the physico-chemical quality of drinking water. In : *Hardness of drinking water and public health*. Oxford, Pergamon Press, 1976, pp. 383-392.
24. Neri, L.C. et al. Risk of sudden death in soft water areas. *American journal of epidemiology*, 94 : 101-104 (1971).
25. Chipperfield, B. & Chipperfield, J.R. Heart-muscle magnesium, potassium and zinc concentrations after sudden death from heart disease. *Lancet*, 2 : 293-296 (1973).
26. Chipperfield, B. & Chipperfield, J.R. Magnesium and the heart. *American health journal*, 93 : 679-682 (1977).
27. Anderson, T.W. et al. Ischemic heart disease, water hardness and myocardial magnesium. *Canadian Medical Association journal*, 113 : 199-203 (1975).
28. Prior, I.A. et al. The Tokelau Island migrant study. *International journal of epidemiology*, 3 : 225-232 (1974).
29. Page, L.B. et al. Antecedents of cardiovascular disease in six Solomon Islands societies. *Circulation*, 49 : 1132-1146 (1974).
30. Dahl, L.K. Salt and hypertension. *American journal of clinical nutrition*, 25 : 231-244 (1972).
31. Shaper, A.G. et al. Environmental effects on the body build, blood pressure and blood chemistry in nomadic warriors serving in the army in Kenya. *East African medical journal*, 46 : 282-286 (1969).
32. Sakaki, N. The relation of salt intake to hypertension in the Japanese. *Geriatrics*, 19 : 735-744 (1964).
33. Steinbech, M. et al. Relationship between the genetic and ecologic factors in the determination of high blood pressure. *Reviews of Romanian medicine*, 13(4) : 261-263 (1975).
34. OMS, Série de Rapports techniques, N°628, 1978 (*L'hypertension artérielle : rapport d'un comité d'experts de l'OMS*).
35. *Eaux de boisson : teneur en sodium, teneur en chlorures et conductivité : rapport sur la réunion d'un groupe de travail*. Copenhague, Bureau régional de l'Europe, 1980 (Rapports et Etudes EURO, N°2).

36. **National Academy of Sciences.** *Geochemistry and the environment. Vol. 2. The relation of other trace elements to health and disease.* Washington, 1977, pp. 11-28.
37. OMS, Série de Rapports techniques, N°532, 1973 (*Les oligo-éléments en nutrition humaine : rapport d'un comité d'experts de l'OMS*).
38. **Dahl, H.K.** Salt intake and salt need. *New England journal of medicine*, **258** : 1152-1157 (1958).
39. **White, J.M. et al.** Sodium ion in drinking water : Properties, analysis and occurrence. *Journal of the American Dietetic Association*, **50** : 32-36 (1967).
40. **National Academy of Sciences.** *Geochemistry and the environment, Vol. 1. The relation of selected trace elements to disease.* Washington, 1974, pp. 43-56.
41. **Hopkins, L.L. et al.** Improvement of impaired carbohydrate metabolism by Cr III in malnourished children. *American journal of clinical nutrition*, **21** : 203-211 (1968).
42. **Punsar, S. et al.** Coronary heart disease and drinking water. *Journal of chronic diseases*, **28** : 259-287 (1975).
43. **Mertz, W.** Chromium occurrence and function in biological systems. *Physiological Review*, **49** : 163-239 (1969).
44. **Novakova, S.P. et al.** [La teneur des eaux de source en chrome hexavalent et son effet sur l'apparition d'une athérosclérose expérimentale chez les animaux à sang chaud] *Gigiena i sanitarija*, **5** : 78-80 (1974) (en russe).
45. *Fluor et santé.* Genève, Organisation mondiale de la Santé, 1970 (Série de Monographies, N°59).
46. **National Research Council.** *Drinking water and health.* Washington, National Academy of Sciences, 1977, pp. 369-400.
47. **Davies, G.N.** *Coûts et avantages de l'utilisation des fluorides pour la prévention des caries dentaires.* Genève, Organisation mondiale de la Santé, 1975 (Publications offset de l'OMS, N°9).
48. **Ulmer, D.** Trace elements. *New England journal of medicine*, **297** : 318-321 (1977).
49. **Carlisle, E.M.** *In vivo* requirements for silicon in articular cartilage and connective tissue formation in the chick. *Journal of nutrition*, **106** : 478-484 (1976).
50. **Schwarz, K. et al.** Inverse relation of silicon in drinking water and atherosclerosis in Finland. *Lancet*, **1** : 538-539 (1977).
51. **Schwarz, K.** Silicon, fibre, and atherosclerosis. *Lancet*, **1** : 454-457 (1977).
52. **Dawson, E.B. et al.** Shall we add lithium to drinking water? *In* : Manners, D.X., ed. *Water, its effects on life quality.* Lombard, IL, USA, Water Quality Research Council, 1974.

Annexe I

COMPOSITION DES SOUS-GROUPES

Sous-groupe I
(substances d'importance
discutable)

Dr Fairweather (*Directeur des débats*)
Dr Borneff
Dr Dean (*Rapporteur*)
Dr Garner
Dr Thornton

Sous-groupe III
(dessalement)

Dr Menczel (*Directeur des débats*)
Dr Dean (*Rapporteur*)

Sous-groupe II
(substances jouant probablement
un rôle important)

Dr Parizek (*Directeur des débats*)
M. Bouquiaux
Dr Coin
Dr Commins
Dr Falk
Dr Haring
Dr Masironi
Dr Menczel
Dr Neri
Dr Punsar
Dr Roberts (*Rapporteur*)
Dr Rywik
Dr Szostak

Sous-groupe IV
(épidémiologie)

Dr Neri (*Directeur des débats*)
Dr Masironi (*Rapporteur*)
Dr Menczel
Dr Punsar
Dr Rywik
Dr Szostak

Sous-groupe IV
(rapport sur les délibérations
du groupe de travail)

Dr Dean
Dr Fairweather
Dr Falk
Dr Parizek
Dr Roberts
Dr Suess

Annexe II

LISTE DES PARTICIPANTS

Conseillers temporaires

- Professeur J. Borneff, Directeur de l'Institut d'Hygiène de l'Université de Mayence, République fédérale d'Allemagne
- M. J. Bouquiaux, Chef du Département de l'Environnement, Institut d'Hygiène et d'Epidémiologie, Bruxelles, Belgique
- Dr L. Coin,^a Président de la section Santé et Assainissement, Conseil supérieur de l'Hygiène publique, Charenton-le-Pont, France
- Dr B.T. Commins, Section Head, Health Effects, Water Quality and Health Effects Division, Medmenham Laboratory, Water Research Centre, Medmenham, Marlow, Bucks., Royaume-Uni
- Dr R.B. Dean, Consultant pour le Génie et les Sciences de l'Environnement, Copenhague, Danemark (*Rapporteur*)
- Dr F.A. Fairweather, Senior Principal Medical Officer, Head, Division on Chemical Contamination of Food and Environmental Pollution, Department of Health and Social Security, Londres, Royaume-Uni
- Dr H.L. Falk, Associate Director for Health Assessment, National Institute of Environmental Sciences, Research Triangle Park, NC, Etats-Unis d'Amérique
- Dr J.R. Garner, Director, Health Effects Research Laboratory, National Environmental Research Center, US Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio, Etats-Unis d'Amérique
- Dr B.J.A. Haring, Laboratoire de Chimie inorganique, Division de la Chimie et de la Biologie, Institut national de l'Eau, Leidschendam, Pays-Bas
- Professeur A. Lafontaine, Directeur de l'Institut d'Hygiène et d'Epidémiologie, Bruxelles, Belgique (*Président*)

^a N'a pas assisté à toute la réunion.

Professeur J. Menczel, Président du Département de Médecine de l'Hôpital universitaire Hadassa et Directeur général au Ministère de la Santé, Jérusalem, Israël (*Vice-président*)

Professeur L.C. Neri, Département d'Epidémiologie et de Médecine communautaire, Faculté de Médecine de l'Université d'Ottawa, Hôpital Royal d'Ottawa, Ontario, Canada

Dr S. Punsar, Titulaire d'une bourse de recherche à l'Association cardiologique finlandaise, Helsinki, Finlande

Professeur C.J. Roberts, Director, Department of Community Medicine, Welsh National School of Medicine, University of Wales, Cardiff, Royaume-Uni (*Rapporteur*)

Dr S. Rywik, Professeur associé, Directeur de recherche adjoint, Chef du Département d'Epidémiologie et de Prévention, Institut de la Nutrition et de l'Alimentation, Varsovie, Pologne

Dr W. Szostak, Professeur associé, Directeur de l'Institut de la Nutrition et de l'Alimentation, Varsovie, Pologne

Dr I. Thornton, Reader in Environmental Geochemistry, Applied Biochemistry Research Group, Department of Geology, Royal School of Mines, Imperial College of Sciences and Technology, Londres, Royaume-Uni

Organisation mondiale de la Santé

Bureau régional de l'Europe

Dr M.J. Suess, Fonctionnaire régional pour la Lutte contre la pollution de l'environnement (*Secrétaire*)

Dr A.H. Wahba, Fonctionnaire régional pour la Biologie, la pharmacologie et la toxicologie

Siège

Dr R. Masironi, Maladies cardio-vasculaires, Division des Maladies non transmissibles

Dr J. Parizek, Critères et Normes d'Hygiène de l'Environnement, Division de l'Hygiène de l'Environnement