

**Titre:** Dosage d'aluminium par activation neutronique dans les aliments en vente au Canada  
Title: Dosage d'aluminium par activation neutronique dans les aliments en vente au Canada

**Auteur:** Khaled Soliman  
Author:

**Date:** 1997

**Type:** Mémoire ou thèse / Dissertation or Thesis

**Référence:** Soliman, K. (1997). Dosage d'aluminium par activation neutronique dans les aliments en vente au Canada [Ph.D. thesis, École Polytechnique de Montréal].  
Citation: PolyPublie. <https://publications.polymtl.ca/6837/>

## Document en libre accès dans PolyPublie

Open Access document in PolyPublie

**URL de PolyPublie:** <https://publications.polymtl.ca/6837/>  
PolyPublie URL:

**Directeurs de recherche:** Lubomir Zikovsky  
Advisors:

**Programme:** Unspecified  
Program:

UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

DOSAGE D'ALUMINIUM PAR ACTIVATION NEUTRONIQUE DANS LES  
ALIMENTS EN VENTE AU CANADA

KHALED SOLIMAN  
DÉPARTEMENT DE GÉNIE MÉCANIQUE  
ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTREAL

THÈSE PRÉSENTÉE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLÔME DE  
PHILOSOPHIE DOCTOR (Ph.D.)  
(GÉNIE NUCLÉAIRE)  
NOVEMBRE 1997



National Library  
of Canada

Acquisitions and  
Bibliographic Services  
  
395 Wellington Street  
Ottawa ON K1A 0N4  
Canada

Bibliothèque nationale  
du Canada

Acquisitions et  
services bibliographiques  
  
395, rue Wellington  
Ottawa ON K1A 0N4  
Canada

Your file Votre référence

Our file Notre référence

The author has granted a non-exclusive licence allowing the National Library of Canada to reproduce, loan, distribute or sell copies of this thesis in microform, paper or electronic formats.

The author retains ownership of the copyright in this thesis. Neither the thesis nor substantial extracts from it may be printed or otherwise reproduced without the author's permission.

L'auteur a accordé une licence non exclusive permettant à la Bibliothèque nationale du Canada de reproduire, prêter, distribuer ou vendre des copies de cette thèse sous la forme de microfiche/film, de reproduction sur papier ou sur format électronique.

L'auteur conserve la propriété du droit d'auteur qui protège cette thèse. Ni la thèse ni des extraits substantiels de celle-ci ne doivent être imprimés ou autrement reproduits sans son autorisation.

0-612-33029-X

Canada

UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL

Cette thèse intitulée :

DOSAGE D'ALUMINIUM PAR ACTIVATION NEUTRONIQUE DANS LES  
ALIMENTS EN VENTE AU CANADA

présentée par : SOLIMAN Khaled  
en vue de l'obtention du diplôme de : Philosophiae Doctor  
a été dûment acceptée par le jury d'examen constitué de :

M. KOCLAS Jean, Ph.D., président

M. ZIKOVSKY Lubomir, Ph.D., membre et directeur de recherche

M. KENNEDY Gregory, Ph.D., membre

M. LÉGARÉ Jean-Marc, Ph.D., membre

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

**Au nom de Dieu le très miséricordieux, le tout miséricordieux**

à ma défunte mère Aicha Meki  
à mon épouse Yomna Meki  
à mes deux garçons Abdel-Rahman  
et Abdul-Allah

## **REMERCIEMENTS**

Le premier remerciement est sans doute à Allah pour m'avoir donné la santé et la force pour pouvoir accomplir ce travail.

Je tiens à remercier vivement mon directeur de recherche Dr Lubomir Zikovsky, dont la merveilleuse participation et les idées ont su me guider tout au long de sa réalisation.

Je voudrais également remercier Dr Jean-Marc Légaré et Dr Greg Kennedy pour leurs suggestions judicieuses et précieux conseils pratiques.

Je tiens sincèrement à remercier Dr Guy Marleau pour son aide extrêmement appréciable en fournissant ces résultats de calculs de simulation du flux neutronique du réacteur SLOWPOKE, et Dr Jean Koclas pour ses observations enrichissantes et ces commentaires qui avaient pour but d'améliorer la thèse.

M. Jean St-Pierre pour sa bienveillante collaboration lors des mes travaux au laboratoire SLOWPOKE.

J'aimerais remercier mes collègues de travail à l'Université de Montréal, section de radioprotection, Mme Francine Bernatchez et M. Siméon Sokoloff pour leur appui lors de la rédaction de ce travail.

Finalement, je voudrais bien remercier mon père M. Bakr Soliman pour son permanent soutien et ses encouragements continues.

Papa, c'est pour toi que je l'ai fait.

## SOMMAIRE

L'aluminium est un élément non essentiel à la santé humaine. On le retrouve abondamment dans la nature. Pendant longtemps il a été considéré comme peu毒ique, mais récemment sa toxicité a été réévaluée. Certains auteurs estiment maintenant qu'il est hautement toxique. Les maladies dans lesquelles l'aluminium serait en cause sont la maladie d'Alzheimer, l'ostéodystrophie rénale, l'encéphalopathie démentielle des hémodialyses et le cancer. On a également soulevé la possibilité d'une relation directe entre la maladie d'Alzheimer et la quantité d'aluminium ingérée par les aliments. D'autres part plusieurs chercheurs pensent que l'aluminium ne constitue pas un danger sur la santé et il peut être ingéré sans restriction et que la corrélation entre lui et l'Alzheimer est simplement due au hasard. En conclusion le débat sur la toxicité de l'aluminium reste ouvert et controversé.

Par conséquent nous avons dosé systématiquement l'aluminium dans les aliments consommés par le public canadien dans le but d'estimer sa consommation moyenne par les aliments au Canada.

L'aluminium a été dosé par activation neutronique à l'aide du réacteur SLOWPOKE II de l'école Polytechnique en utilisant la méthode semi-absolue.

Nous avons étudié l'interférence nucléaire possible du phosphore et du silicium afin de soustraire leur contribution de la concentration apparente d'aluminium.

Nous avons étudié 11 groupes d'aliments différents et analysé plus de 450 échantillons. La consommation moyenne en aluminium par les aliments selon notre estimation est de 6.06 mg/jour. ces résultats sont comparables à ceux qu'on trouve dans les études semblables dans d'autres pays.

## ABSTRACT

Aluminum is the third most common element and the most abundant metal. It has historically been regarded as nonessential and non-toxic.

Recently there has been an increase in reports of aluminum toxicity from environmental exposure. Aluminum has been implicated in the pathogenesis of a number of clinical disorders ranging from cancer and renal osteodystrophy to Alzheimer disease.

Despite all this, there are many researchers who believe that aluminum can safely be used with food, and that the correlation between Alzheimer's disease and aluminum is purely coincidental. Thus the question concerning the toxicity of aluminum remains quite controversial.

Consequently we have systematically measured aluminum concentration in food consumed by the Canadians and used the actual published Canadian food consumption statistics to calculate the average intake of aluminium by individual in Canada.

Neutron activation analysis was used to measure the concentration of aluminum in food samples. the semi-absolute method was used.

We have studied the possible nuclear interference due to phosphorus and silicon and subtracted its contribution from the value obtained for aluminum.

To achieve this we first irradiated the samples in regular plastic vials for 200 sec, we waited one week and irradiated the samples for the second time, this time in cadmium shielded vials to cut-off thermal neutrons and to get only the induced

activity due to phosphorus and silicon through  $(n,\alpha)$  and  $(n,p)$  nuclear reactions. Samples were counted using a high volume intrinsic Ge detector.

Concentrations were calculated for eleven food groups and over 450 samples were analysed.

The average Canadian aluminum intake by the food groups analysed was estimated to be 6.06 mg/day . the results are comparable with those found in other countries and available through the literature.

## TABLE DES MATIÈRES

	Page
REMERCIEMENTS .....	V
SOMMAIRE .....	VI
ABSTRACT .....	Vii
LISTE DES TABLEAUX .....	Xii
LISTE DES FIGURES .....	XViii
1. INTRODUCTION .....	1
2. REVUE BIBLIOGRAPHIQUE .....	4
2.1 Éléments de trace .....	4
2.2 Éléments essentiels .....	6
2.3 L'aluminium dans l'environnement .....	7
2.4 L'aluminium et les technologies de transformation .....	8
2.5 L'aluminum et la médecine .....	9
2.6 L'aluminium dans les aliments .....	12
2.7 Les méthodes d'analyses utilisées .....	15
3. PARTIE THÉORIQUE .....	17
3.1 Analyse par activation .....	17
3.2 La méthode semi-absolue .....	18
3.3 Dosage d'aluminium .....	20
3.3.1 Le spectre énergétique des neutrons .....	20
3.3.2 Les réactions d'interférences .....	21
3.3.3 Irradiation dans la piscine du réacteur .....	22
3.3.4 Dosage du phosphore .....	28
3.3.4.1 Spectroscopie gamma .....	28
3.3.4.2 Analyse de spectre bêta .....	29
3.3.4.3 Scintillation liquide .....	30
3.3.5 Dosage du silicium .....	30
3.4 La méthode utilisée .....	31

3.5 Système de comptage .....	34
3.5.1 Interaction des photons avec la matière .....	35
3.5.2 Le détecteur .....	36
3.5.3 Les amplificateurs .....	36
3.5.4 L'analyseur multicanaux .....	37
3.6 Calcul de la surface du pic .....	37
3.7 Limite de détection .....	41
3.8 Calcul d'erreur .....	43
3.8.1 Exactitude et précision .....	43
3.8.2 Moyenne et écart-type .....	44
3.9 Estimation de la consommation moyenne annuelle .....	45
4. PARTIE EXPÉRIMENTALE .....	41
4.1 Méthode analytique .....	47
4.2 Choix des aliments et échantillonnage .....	49
4.3 Dosage d'aluminium .....	50
4.3.1 Préparation des standards .....	51
4.3.2 Calcul de la constante d'activation B .....	52
4.3.3 Calcul des facteurs d'interférences.....	53
4.3.4 Irradiation dans la piscine du réacteur et calcul des facteurs d'interférence .....	55
4.3.5 Conditions d'irradiation .....	59
4.3.6 Conditions de comptage .....	62
4.3.7 Spectres obtenus .....	62
4.4 Dosage d'autres éléments chimiques .....	65
4.4.1 Préparation des standards .....	67
4.5 Validation de la méthode analytique .....	67
5. RÉSULTATS .....	69
5.1 Concentration de l'aluminium dans les aliments .....	69
5.1.1 Groupes d'aliments analysés .....	70

5.1.2 Concentrations moyennes par groupe .....	71
5.1.3 Distribution globale des concentrations obtenues .....	77
5.2 Dosage d'autres éléments présents dans les aliments .....	80
5.2.1 Concentrations moyennes par groupe d'aliments .....	80
5.2.2 Dosage du magnésium .....	81
5.2.3 Dosage du chlore .....	86
5.2.4 Dosage du calcium .....	90
5.2.5 Dosage du vanadium .....	94
5.3 La consommation des aliments au Canada .....	96
5.4 Consommation moyenne d'aluminium .....	109
5.5 Consommation moyenne du chlore .....	110
5.6 Consommation moyenne du calcium .....	119
5.7 Consommation moyenne du magnésium .....	121
6. ANALYSE DES RÉSULTATS ET DISCUSSION .....	123
6.1 Les groupes d'aliments analysés .....	123
6.2 Évaluation de la concentration d'aluminium .....	123
6.3 Évaluation de la concentration d'autres éléments .....	126
6.4 La consommation des aliments au Canada .....	127
6.5 Consommation moyenne d'aluminium .....	131
6.6 Consommation moyenne d'autres éléments .....	132
6.7 Facteurs influençant les résultats .....	134
6.7.1 Statistiques disponibles .....	134
6.7.2 Sensibilité et limitations de la méthode .....	135
6.7.3 Aspects budgétaires et échantillonnage .....	136
7. CONCLUSIONS .....	137
BIBLIOGRAPHIE .....	139
ANNEXE I Liste des échantillons analysés .....	152

LISTE DES TABLEAUX

	Page
Tableau 2.1 Consommation quotidienne en aluminium dans la diète en mg/jour .....	14
Tableau 3.1 Principales réactions nucléaires lors de dosage d'aluminium par activation neutronique .....	21
Tableau 3.2 Facteurs d'interférence mesurés dans la cuve du réacteur et dans l'eau de la piscine .....	23
Tableau 4.1 Limites de détection .....	49
Tableau 4.2 Calcul de la constante d'activation B pour l'aluminium .....	52
Tableau 4.3 Calcul de la constante d'activation B pour le phosphore .....	53
Tableau 4.4 Calcul de la constante d'activation B pour le silicium .....	54
Tableau 4.5 Calcul de la constante d'activation B pour l'aluminium irradié dans l'eau de la piscine .....	56
Tableau 4.6 Calcul de la constante d'activation B pour le phosphore irradié dans l'eau de la piscine .....	56
Tableau 4.7 Calcul de la constante d'activation B pour le silicium irradié dans l'eau de la piscine .....	57

Tableau 4.8 Calcul des facteurs d'interférences en fonction de la distance axiale des standards irradiés dans l'eau de la piscine .....	57
Tableau 4.9 Les principaux éléments probablement mesurables en utilisant les conditions de dosage de l'aluminium.....	66
Tableau 4.10 La constante d'activation B de quelques éléments chimiques dosés par activation neutronique .....	67
Tableau 4.11 Résultats des mesures des standards certifiés .....	68
Tableau 5.1 Les groupes d'aliments analysés .....	70
Tableau 5.2 Concentration moyenne d'aluminium dans le groupe 1 (pains et céréales) .....	71
Tableau 5.3 Concentration moyenne d'aluminium dans le groupe 2 (sucre et sirops) .....	72
Tableau 5.4 Concentration moyenne d'aluminium dans le groupe 3 (légumes à gousses et noix).....	72
Tableau 5.5 Concentration moyenne de l'aluminium dans le groupe 4 (huiles et corps gras).....	73
Tableau 5.6 Concentration moyenne de l'aluminium dans le groupe 5 (pommes de terre).....	73

Tableau 5.7 Concentration moyenne de l'aluminium dans le groupe 6 (viandes) .....	74
Tableau 5.8 Concentration moyenne de l'aluminium dans le groupe 7 (œufs et volailles) .....	74
Tableau 5.9 Concentration moyenne de l'aluminium dans le groupe 8 (poissons) .....	74
Tableau 5.10 Concentration moyenne de l'aluminium dans le groupe 9 (fruits) .....	75
Tableau 5.11 Concentration moyenne de l'aluminium dans le groupe 11 (lait et produits laitiers ) .....	75
Tableau 5.12 Concentration moyenne de l'aluminium dans le groupe 10 (légumes) .....	76
Tableau 5.13 La fréquence des concentrations d'aluminium dans les aliments .....	78
Tableau 5.14 Concentration moyenne de Mg, Cl, Ca et V par groupe d'aliments .....	81
Tableau 5.15 Résultats globaux de la concentration du magnésium dans les aliments .....	83
Tableau 5.16 Résultats globaux de la concentration du chlore dans les aliments .....	87

Tableau 5.17 Résultats globaux de la concentration du calcium dans les aliments .....	91
Tableau 5.18 Résultats globaux de la concentration du vanadium dans les aliments .....	95
Tableau 5.19 La consommation moyenne des aliments au Canada .....	98
Tableau 5.20 La consommation moyenne des aliments du groupe 1 (pains et céréales) au Canada .....	99
Tableau 5.21 La consommation moyenne des aliments du groupe 2 (sucres et sirops) au Canada .....	100
Tableau 5.22 La consommation moyenne des aliments du groupe 3 (légumes à gousses et noix) au Canada .....	101
Tableau 5.23 La consommation moyenne des aliments du groupe 4 (huiles et corps gras) au Canada .....	102
Tableau 5.24 La consommation moyenne des aliments du groupe 6 (viandes) au Canada .....	103
Tableau 5.25 La consommation moyenne des aliments du groupe 7 (œufs et volailles) au Canada .....	104
Tableau 5.26 La consommation moyenne des aliments Du groupe 9 (fruits) au Canada .....	105

Tableau 5.27 La consommation moyenne des aliments du groupe 10 (légumes) au Canada .....	106
Tableau 5.28 La consommation moyenne des aliments du groupe 11 (lait et produits laitiers ) au Canada .....	108
Tableau 5.29 La consommation moyenne d'aluminium en mg/jour dans le groupe 1 (pains et céréales) .....	109
Tableau 5.30 La consommation moyenne d'aluminium en mg/jour dans le groupe 2 (sucre et sirops) .....	110
Tableau 5.31 La consommation moyenne d'aluminium en mg/jour dans le groupe 3 (légumes à gousses et noix).....	110
Tableau 5.32 La consommation moyenne d'aluminium en mg/jour dans le groupe 4 (huiles et corps gras).....	111
Tableau 5.33 La consommation moyenne d'aluminium en mg/jour dans le groupe 6 (viandes) .....	111
Tableau 5.34 La consommation moyenne d'aluminium en mg/jour dans le groupe 7 (œufs et volailles) .....	112
Tableau 5.35 La consommation moyenne d'aluminium en mg/jour dans le groupe 9 (fruits) .....	112
Tableau 5.36 La consommation moyenne d'aluminium en mg/jour dans le groupe 10 (légumes) .....	113

Tableau 5.37 La consommation moyenne d'aluminium en mg/jour dans le groupe 11 (lait et produits laitiers ) .....	114
Tableau 5.38 La consommation moyenne d'aluminium en mg/jour dans les aliments .....	114
Tableau 5.39 Estimation de la consommation moyenne du chlore dans les aliments au Canada .....	117
Tableau 5.40 Estimation de la consommation moyenne du calcium dans les aliments au Canada .....	119
Tableau 5.41 Estimation de la consommation moyenne du magnésium dans les aliments au Canada .....	121
Tableau 6.1 Liste des aliments qui contribuent à plus de 1% dans la consommation des aliments au Canada .....	129
Tableau 6.2 Comparaison de profil de consommation entre 1979 et 1994 au Canada pour certains groupes d'aliments .....	135

**LISTE DES FIGURES**

	Page
Figure 2.1 Structure d'un système analytique pour l'analyse d'éléments de trace.....	6
Figure 3.1 Réaction des neutrons avec une cible .....	17
Figure 3.2 Positions d'irradiation à l'intérieur et à l'extérieur de la cuve du réacteur SLOWPOKE .....	25
Figure 3.3 Rapport des flux rapide et thermique en fonction de la position Radiale du réacteur SLOWPOKE .....	26
Figure 3.4 Distribution radiale de flux thermique et rapide dans le réacteur SLOWPOKE .....	27
Figure 3.5 Description schématique de la méthode analytique utilisée pour doser l'aluminium dans les aliments .....	33
Figure 3.6 Les principales composantes d'un système de comptage .....	35
Figure 3.7 Les différents paramètres utilisés dans le calcul de la surface du pic .....	40
Figure 3.8 Calcul de l'estimation de la consommation moyenne d'aluminium en mg/jour .....	46

Figure 4.1 Les facteurs d'interférences en fonction de la position Verticale .....	58
Figure 4.2 Les principales composantes du cœur de réacteur SLOWPOKE II .....	60
Figure 4.3 Un schéma du réacteur SLOWPOKE II.....	61
Figure 4.4 Le spectre d'un standard d'aluminium .....	63
Figure 4.5 Le spectre de la farine blanche .....	64
Figure 4.6 Le pic d'aluminium dans le spectre de la farine blanche .....	64
Figure 5.1 La fréquence des concentrations d'aluminium dans les aliments.....	79
Figure 5.2 Concentration moyenne du magnésium en mg/kg en fonction des groupes d'aliments .....	84
Figure 5.3 La fréquence des concentrations du magnésium dans les aliments .....	85
Figure 5.4 Concentration moyenne du chlore en mg/kg en fonction des groupes d'aliments .....	88
Figure 5.5 La fréquence des concentrations du chlore dans les aliments .....	89

Figure 5.6 Concentration moyenne du calcium en mg/kg en fonction des groupes d'aliments .....	92
Figure 5.7 La fréquence des concentrations du calcium dans les aliments .....	93
Figure 5.8 La consommation moyenne des aliments au Canada .....	98
Figure 5.9 La distribution de la consommation moyenne des aliments du groupe 1 (pains et céréales) .....	99
Figure 5.10 La distribution de la consommation moyenne des aliments du groupe 2 (sucre et sirops) .....	100
Figure 5.11 La distribution de la consommation moyenne des aliments du groupe 3 (légumes à gousses et noix).....	101
Figure 5.12 La distribution de la consommation moyenne des aliments du groupe 4 (huiles et corps gras).....	102
Figure 5.13 La distribution de la consommation moyenne des aliments du groupe 6 (viandes) .....	103
Figure 5.14 La distribution de la consommation moyenne des aliments du groupe 7 (œufs et volailles) .....	104
Figure 5.15 La distribution de la consommation moyenne des aliments du groupe 9 (fruits) .....	105

Figure 5.16 La distribution de la consommation moyenne des aliments du groupe 10 (légumes) .....	107
Figure 5.17 La distribution de la consommation moyenne des aliments du groupe 11 (lait et produits laitiers ) .....	108
Figure 5.18 La consommation moyenne d'aluminium en fonction des groupes d'aliments .....	115
Figure 5.19 La consommation moyenne du chlore dans les aliments .....	118
Figure 5.20 La consommation moyenne du calcium dans les aliments .....	120
Figure 5.21 La consommation moyenne du magnésium dans les aliments .....	122
Figure 6.1 Les 18 aliments majeurs dans la diète au Canada et leurs pourcentages relatifs .....	130
Figure 6.2 Les aliments ayant contribué le plus dans la consommation moyenne annuelle d'aluminium .....	132

## CHAPITRE 1

### INTRODUCTION

On se préoccupe depuis plusieurs années du problème de la contamination des aliments par les résidus divers dus à la technologie de transformation.

Un problème particulier concerne la présence d'aluminium à l'état de trace dans la nourriture et les maladies diverses qui pourraient être causées par cet élément.

L'aluminium est le troisième élément le plus abondant dans la croûte terrestre après l'oxygène et la silice. On le trouve omniprésent dans l'environnement.

La toxicité biologique de l'aluminium reste encore un sujet que les recherches tentent d'élucider. Des nombreuses études dans ce sens ont été faites. Ces études comme nous allons voir dans le chapitre 2 couvrent des domaines variés tel que l'environnement, la santé humaine et les méthodes analytiques de dosage de cet élément.

Par conséquent, il nous paraît important d'étudier la teneur en aluminium des aliments consommés par le public canadien.

Nous proposons donc dans ce projet de recherche de doser systématiquement l'aluminium dans les principaux aliments solides consommés par les Canadiens. Dans le but de calculer la consommation moyenne. Autant qu'on sache, aucune étude de ce genre n'a été réalisée jusqu'à date au Canada.

L'aluminium est un élément que nous pouvons activer facilement dans un flux de neutrons thermiques et par conséquent l'analyse par activation se prête bien à son dosage.

Notre objectif principal est le dosage d'aluminium dans un grand nombre d'échantillons afin d'obtenir les résultats qui sont représentatifs de l'ensemble de l'alimentation canadienne au mieux possible.

La présente thèse est répartie en 7 chapitres. Le chapitre 1, introduction, passe en revue le but, la motivation et l'organisation de cette thèse.

Le chapitre 2, revue bibliographique, fait le tour du problème de l'aluminium en général et discute plus particulièrement des études effectuées par d'autres chercheurs dans d'autres pays qui avait comme objectif d'estimer la consommation moyenne de ce métal dans les aliments.

Le chapitre 3, partie théorique, discute de la méthode de dosage proposée et aussi d'autres approches expérimentales possibles pour résoudre le problème de dosage d'aluminium en présence d'interférence du phosphore et de silicium. Le système de comptage est également présenté. Finalement les calculs de la consommation moyenne par individu sont présentés sous forme d'équation pour faciliter la compréhension des résultats obtenus.

Le chapitre 4, partie expérimentale, traite de l'échantillonnage, de la préparation des standards et des conditions expérimentales des mesures.

Le chapitre 5, résultats, est consacré à la présentation des résultats de l'aluminium et d'autres éléments dosés. Les concentrations des échantillons que nous avons analysés ainsi que la consommation moyenne d'aluminium sont calculées.

Le chapitre 6, analyse des résultats et discussion, traite et examine les résultats de ce travail, souligne les tendances observées et clarifie les interprétations possibles. Il discute également des facteurs influençant les résultats.

Dans le septième chapitre, nous présentons les conclusions du présent travail.

## CHAPITRE 2

### REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

Ce chapitre discute et présente les résultats des travaux recherches reliés à l'analyse chimique des éléments de trace, particulièrement l'aluminium. Il discute des éléments essentiels à la vie cellulaire. Nous présentons aussi des études directement reliées à l'aluminium dans l'environnement, les technologies de transformation, la médecine et la nutrition. Finalement nous parlons des travaux associés à l'analyse d'aluminium dans les aliments et identifions les principales méthodes d'analyse chimiques employées.

#### **2.1 Éléments de trace**

L'analyse de trace veut dire la détection et la détermination des petites concentrations. Les recherches dans différents domaines ont démontré que les propriétés de plusieurs substances sont influencées par la composition au niveau de trace de certaines composantes qui contiennent la substance en question.

Par exemple, les propriétés électriques des semi-conducteurs, supraconducteurs ou conducteurs ioniques sont fortement dépendantes de certaines impuretés présentes dans la matrice.

Les propriétés optiques de plusieurs matériaux telles que la photoconductivité, l'absorption de la radiation, la luminescence, la phosphorescence sont également très influencées par la présence des éléments de trace ; on peut aussi mentionner d'autres propriétés telles que l'effet des radiations sur les solides, la fatigue des alliages métalliques, les caractéristiques mécaniques et magnétiques des alliages et de leurs surfaces.

Il est clair que les analyses de trace sont requises dans beaucoup de domaines, que ce soit de recherche ou de fabrication. Des substances chimiques de haut degré de pureté sont en demandes, par exemple des réactifs ou des solutions standards.

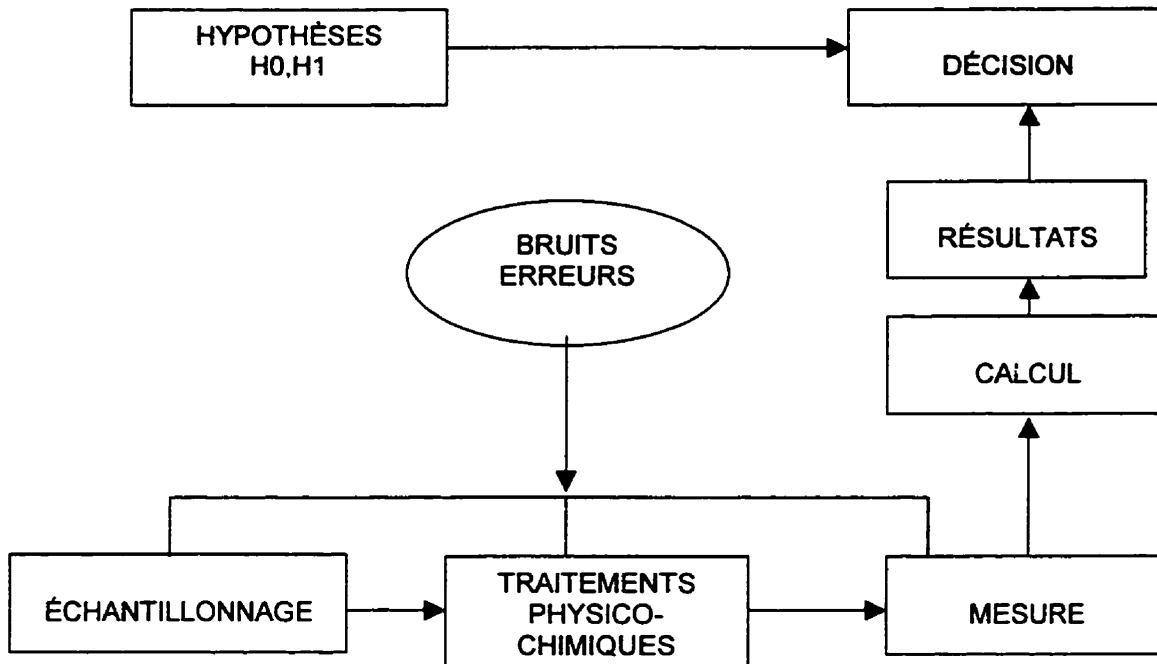
La demande importante de ces substances agit comme stimulateur puissant sur la technologie de la fabrication des substances chimiques, qui par le fait même donnera de l'importance à l'analyse de trace.

Nous savons que la présence de certains éléments au niveau de trace dans les eaux des rivières, sol et plantes, est un indicateur utile sur l'existence et la localisation des grands dépôts des substances naturelles.

Il a été démontré que la diète et l'environnement sont deux facteurs qui influencent la présence des éléments de trace dans les tissus et les liquides biologiques (IYENGAR, 1983).

En médecine et en biochimie les éléments de trace ont également beaucoup d'importance dans l'étude pathologique de certaines maladies.

Les domaines de l'analyse de la pollution atmosphérique et l'environnement font aussi appel à l'analyse des éléments de trace, chose certaine ; le développement de la technologie de ces analyses fera une contribution dans l'avancement des sciences (LITENAU, 1980).



**Figure 2.1 Structure d'un système analytique pour l'analyse d'éléments de trace**

## 2.2 Éléments essentiels

Il est connu que la présence de certains éléments de trace tel que le bore, le cobalt, le cuivre et le zinc, dans les plantes, le sol et la nourriture, est essentielle à la reproduction et à la santé des êtres vivants. Ces éléments sont essentiels et peuvent exister sous forme de trace.

BRYAN (1981) a mentionné que les éléments suivants ont été trouvés dans les noyaux cellulaires : Be, Bi, Cd, Pb, Hg et Ti.

L'iode joue un rôle essentiel dans le fonctionnement physiologique de la glande thyroïde chez l'homme (MASHIMO, 1973).

Il existe 14 éléments de trace qui jouent un rôle essentiel dans la vie cellulaire chez l'homme et l'animal. Ces éléments sont les suivants : Fe, I, Ca, Zn, Mn, Co, Ni, Mo, B, Se, Cr, F, Si, V (PARSAD, 1976).

### **2.3 L'aluminium dans l'environnement**

L'aluminium est un métal très commun dans la croûte terrestre et sa concentration varie beaucoup selon les sites étudiés. Il est omniprésent dans l'environnement, il est le troisième métal le plus abondant dans la croûte terrestre. Dans les systèmes biologiques, l'aluminium est présent uniquement sous forme de traces.

Durant les dernières décennies, nous avons remarqué un intérêt accru manifesté par plusieurs études concernant le rôle nocif de l'aluminium dans certains problèmes d'ordre biologique. Nous allons mentionner quelques-unes dans un ordre chronologique.

SORENSEN (1974) a mesuré les concentrations d'aluminium dans différents lacs au Canada, les résultats étaient de 0.05 - 0.14 ppm. Aux États-Unis les concentrations étaient de 250 ppm dans les lacs au pH acide (KING, 1974).

BARNES (1975) mentionne que les pluies acides modifient la mobilité de l'aluminium dans les sols et tendent à augmenter la concentration d'aluminium dans les eaux naturelles. NIELSEN (1982) a mesuré l'aluminium dans l'eau de surface en Norvège, les concentrations trouvées sont 0.10-0.25 ppm.

On suppose que l'aluminium est responsable des problèmes causés aux plantes ainsi qu'aux poissons, suite aux effets des pluies acides (HALL, 1979).

Dans le domaine de l'agriculture, l'aluminium a été relié au problème de déclin des forêts en Europe et aux États-Unis (ULRICH, 1983 ; MCLAUGHLIN, 1985).

HAVAS (1986) mentionne que l'aluminium a des effets nuisibles sur les organismes aquatiques et les plantes terrestres à des concentrations observées dans certains plans d'eau ou dans certains sols acidifiés.

Les formes chimiques de l'aluminium dans les eaux au niveau du sol ont été identifiées comme étant le  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Al(OH)}^+$ ,  $\text{Al(Cl}_2\text{)}^+$ ,  $\text{Al(F)}^+$  et  $\text{Al(SO}_4\text{)}^+$ . Ces formes diffèrent dans leur abondance relative et pouvoir toxique (WOOD, 1988).

Aux États-Unis, les concentrations observées dans 194 sources d'eau naturelles étaient de l'ordre de 0.4 mg/L (LETTERMAN, 1988). Ces concentrations sont de l'ordre de 2 mg/L dans les eaux traités aux stations municipales de traitement. MOORE (1991) a rapporté qu'une des causes de l'augmentation de la concentration d'aluminium dans l'eau potable, est le traitement physico-chimique que l'eau subit dans les usines municipales de traitement. Ils utilisent le sulfate d'aluminium ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ) dans leur processus de purification d'eau.

Finalement une augmentation importante de la concentration d'aluminium dans les eaux suite à des dépôts acides peut être toxique pour le biote aquatique (HENDERSHOT, 1996).

## 2.4 L'aluminium et les technologies de transformation

La science moderne et le développement technologique ont permis à une population mondiale en croissance continue, de survivre sur cette planète et de vivre plus longtemps.

Par contre, ces technologies peuvent être la cause de divers problèmes de santé. Les tendances modernes orientées vers des nouvelles sources d'aliments et des nouvelles méthodes d'élevage, d'entreposage, d'emballage,

de transformation et de préparation vont augmenter la présence des éléments de trace de plus en plus variés.

JIMENEZ (1974) a démontré que la concentration d'aluminium dans le jus de citron entreposé dans des contenants en aluminium était de 5-10 ppm.

Deux études ont été faites, pour mesurer l'effet de l'entreposage des aliments dans les contenants en aluminium. La conclusion était qu'il n'y a pas d'effet significatif du contenant (KONING, 1981 ; TRAPP, 1981).

WILLIAMS (1983) démontre que la technologie affecte directement la disponibilité biologique des éléments de trace dans l'environnement.

Les additifs ajoutés aux aliments en conserve ont un effet notable sur l'augmentation de la concentration d'aluminium dans ces aliments (PENNINGTON, 1988).

D'autre part on a constaté que le fait d'avoir utilisé des ustensiles en aluminium n'augmente pas la concentration de celui-ci dans les aliments (U.S DEPARTEMENT OF HEALTH AND HUMAN SERVICES, 1988).

## 2.5 L'aluminium et la médecine

L'aluminium a démontré dernièrement sur le plan médical des phénomènes cliniques toxiques. Plusieurs recherches médicales tentent de relier l'aluminium aux divers maladies particulièrement l'Alzheimer.

Nous allons mentionner quelques travaux qui avaient pour but d'identifier ou examiner le rôle joué par ce métal dans la pathologie de ces maladies.

L'Alzheimer est une maladie de démence présénile caractérisée par une détérioration intellectuelle profonde, accompagnée des troubles de la conscience. Présentement les preuves scientifiques n'ont pas été en mesure de relier le métal à la maladie. Chez l'homme la prédisposition à la toxicité d'aluminium pourrait être reliée aux facteurs génétiques. Une alimentation déficiente en fer peut être reliée à l'accumulation du métal dans le cerveau.

Dans les systèmes biologiques, l'aluminium est présent uniquement sous forme de traces et il ne joue aucun rôle d'importance dans les processus biologiques du corps humain selon (DAVIDSON, 1975). L'aluminium semble être un facteur pathologique dans les cas de démence sénile et présénile (CRAPPER, 1976 ; DUCKETT, 1976).

Des observations chez les patients dialysés montrent qu'il y a une augmentation de la concentration de ce métal dans le cerveau, tissus osseuses et musculaires à cause de la présence d'aluminium dans la solution de dialyse (ALFREY, 1976).

La concentration de ce métal dans le plasma sanguin et l'urine augmente suite à l'administration d'une solution orale saline de 0.7g d'Al (KAEHNY, 1977).

TRAPP (1978) et PERL (1979) avancent l'hypothèse qui attribue un rôle étiologique à l'aluminium dans le cas de la maladie d'Alzheimer.

Une relation existe entre l'aluminium et l'encéphalopathie démentielle des hémodialyses (ARIEFF, 1979; ALFREY, 1980) et l'ostéodystrophie (ELLIS , 1979 ; HODSMAN, 1982).

Les individus en phase terminale des maladies rénales, accumulent de l'aluminium dans le sang suite aux médicaments qu'ils reçoivent à base

d'hydroxyde d'aluminium pour éliminer le dépôt de phosphate dans les reins (KING, 1981).

Des études expérimentales démontrent que l'exposition des cellules de cerveau à l'aluminium est associée aux perturbations dans le métabolisme des protéines cytoskelétiques (BOYCE, 1982).

Les mécanismes toxicologiques de l'aluminium chez l'humain méritent d'être mieux étudié et élucidé (BROWN and SAVORY, 1983).

Des études ont démontré qu'il y a de silicate d'aluminium dans le centre des plaques séniles qui se trouvent au niveau du cortex et de l'hippocampe (CANDY, 1986).

On suppose que l'agent infectant est un virus, un fonctionnement anormal du système immunitaire, une prédisposition génétique, une perturbation dans la biochimie du cerveau ou encore une concentration élevée d'aluminium dans le sang (SINGH, 1989).

Une étude réalisée en Ontario, a constaté que les diagnostics de la maladie d'Alzheimer étaient de 40% plus élevés dans les régions où l'eau contient des niveaux élevés d'aluminium (EDWARDSON, 1989; PRESSE CANADIENNE, 1996).

Le taux de mortalité causé par les maladies des motoneurones augmente avec la concentration d'aluminium dans l'eau potable et que ce sont les femmes qui sont les plus affectées par ce phénomène (LINDEGARD, 1989).

WILLS (1990) a constaté que l'exposition des tissus de cerveau à l'aluminium in vivo ou in vitro provoque un déséquilibre dans le métabolisme des protéines cytoskelatique.

Dernièrement une étude démontre qu'il y a une absence d'aluminium dans le centre des plaques séniles situées dans les cerveaux des patients morts d'Alzheimer (LANDSBERG, 1992).

## 2.6 L'aluminium dans les aliments

Plusieurs études ont été faites pour mesurer le niveau d'aluminium dans la nourriture et essayer d'estimer l'absorption moyenne par individu lors des repas quotidiens. SORENSEN (1974) a réalisé une étude complète sur le contenu en aluminium d'une diète type calculée à partir des données internationales. Il a constaté qu'il y a des aliments qui ont des niveaux d'aluminium plus forts que d'autres. Heureusement les aliments contenant les taux les plus hauts ne constituent pas une source alimentaire importante dans la diète typique.

UNDERWOOD (1977) a mentionné que le niveau d'aluminium dans les légumes est de 0.5-50 mg/kg .

L'aluminium dans le lait en poudre formule pour enfant est de 1.0 mg/kg aux États-Unis (U.S. FOOD AND NUTRITION BOARD, 1980).

LIONE (1983) a montré que la majeure contribution dans l'absorption quotidienne peut être les antiacides commerciaux où la concentration peut atteindre 800-1500 mg/jour.

Nikdel et Al (1984) ont mesuré l'aluminium dans le jus d'orange frais, et ils ont trouvé une concentration moyenne de 0.227 ppm comparativement à 0.556 ppm dans le jus de pamplemousse frais et de 0.258 ppm dans le jus d'orange en conserve.

BOUATTOUR (1990) a mesuré la concentration d'aluminium dans l'eau potable de la région de Montréal et il a trouvé 0.011 – 0.135 mg/l. La concentration est 0.150 - 0.200 mg/l dans la région de Toronto. Des concentrations de 0.05 – 0.15 mg/l ont été observées en France (LERY, 1982), de 0.003 – 0.766 mg/l en Angleterre (CAMERON, 1988) et de 0.014 – 2.670 mg/l aux Etats-Unis (MILLER, 1984).

La norme de l'eau potable en Ontario est de 0.1 mg/l de concentration de sulfate d'aluminium.

La concentration moyenne d'aluminium dans le lait est de 0.1 - 0.45 mg/kg aux États-unis (ANDERSON, 1992).

La contribution d'un litre de jus de fruit en terme d'absorption ou de consommation était de 0.24 - 0.94 mg d'aluminium dans la région de Montréal (SOLIMAN, 1993).

Plusieurs chercheurs ont estimé l'absorption quotidienne en aluminium dans la diète type; les résultats de ces recherches sont dans le tableau 2.1 à la page suivante.

**Tableau 2.1**  
**Consommation quotidienne en aluminium dans la diète**  
**en mg/jour**

mg/jour	Pays	Références
36	États-Unis	(KEHOE, 1940)
6	États-Unis	(GORMIAN, 1970)
3	États-Unis	(GORSKY, 1979)
7	Finlande	(KOIVISTOINEN, 1980)
5	Japon	(TERAOKA, 1981)
12-14	États-Unis	(PENNINGTON, 1981)
30-50	États-Unis	(BJORKSTEN, 1982)
4	Suisse	(KNUTTI, 1985)
27	États-Unis	(GREGER, 1985)
6-8	Angleterre	(MAFF, 1985)
1-10	États-Unis	(FAIRWEATHER, 1987)
20-45	États-Unis	(MOORE, 1991)

Dans la littérature les différences que nous observons au niveau de l'estimation de la consommation moyenne annuelle sont dues essentiellement au fait que les statistiques sur les quantités consommées par aliment sont calculées de différentes façons selon l'étude ou le pays.

Des facteurs de pondérations sont utilisés dans certains cas pour tenir compte du groupe d'âge, de sexe et de région géographique (STATISTIQUE CANADA, 1994).

Ces facteurs vont influencer le calcul de la diète type pour une population donnée.

Le regroupement d'aliments diffère aussi selon l'étude. Les statistiques sont basées sur des données souvent estimées. Des données sur la production, les inventaires, l'importation, l'exportation et la fabrication des produits alimentaires localement et ne tiennent pas compte du gaspillage ou des pertes possibles des aliments avant de les considérer comme consommation réelle.

Un autre facteur qui explique les différences c'est la méthode analytique employée.

## 2.7 Les méthodes d'analyses utilisées

Lors de l'analyse de la bibliographie de ce projet de recherche nous avons noté les méthodes d'analyse chimique qui ont été utilisées le plus souvent dans l'analyse des aliments; il s'agit de :

- Spectrométrie d'absorption atomique
- Spectrométrie d'émission atomique
- Analyse par activation neutronique
- Chromatographie en phase liquide (HPLC)
- Fluorescence des rayons x

La méthode d'absorption atomique est la méthode la plus utilisée; elle présente une très bonne sensibilité pour la majorité des éléments. L'inconvénient majeur de cette méthode est son manque de flexibilité dans le cas d'analyse de plusieurs éléments en même temps, aussi le temps long de préparation des standards et des échantillons avant la mesure.

PARKINSON (1982) a déterminé la concentration d'aluminium dans le sérum sanguin avec cette méthode.

KANEKO (1991) a utilisé la chromatographie en phase liquide pour doser l'aluminium dans le sang.

L'analyse par activation neutronique a été utilisée dans beaucoup d'études grâce à sa rapidité et sa préparation minimale d'échantillons. BLOTCKY (1976) dans l'analyse de l'urine, BUONO (1977) dans l'analyse des tissus biologiques, YAMAGUCHI (1980) dans les cellules des yeux chez les humains, SOLIMAN (1992) dans les jus de fruits et BLOTCKY (1992); VAN DALSEM (1995) dans les cellules de cerveau chez l'homme. Ce sont des exemples parmi des centaines d'autres qu'on peut trouver dans la littérature.

Lors de l'analyse et de la détermination des éléments chimiques de trace dans la nourriture, quatre problèmes peuvent se manifester :

- homogénéité des échantillons et les effets de la différence entre le standard et l'échantillon (SLAVIN, 1986).
- concentration très faible de l'élément à doser.
- contamination possible qui provient soit de l'instrument ou des réactifs chimiques ajoutés lors de l'analyse (GTELMAN, 1989).
- sensibilité diminuée à cause d'une forme chimique particulière sous laquelle l'élément se trouve.

En utilisant l'analyse par activation nous éviterons ces problèmes surtout les deux dernières (HISLOP, 1980).

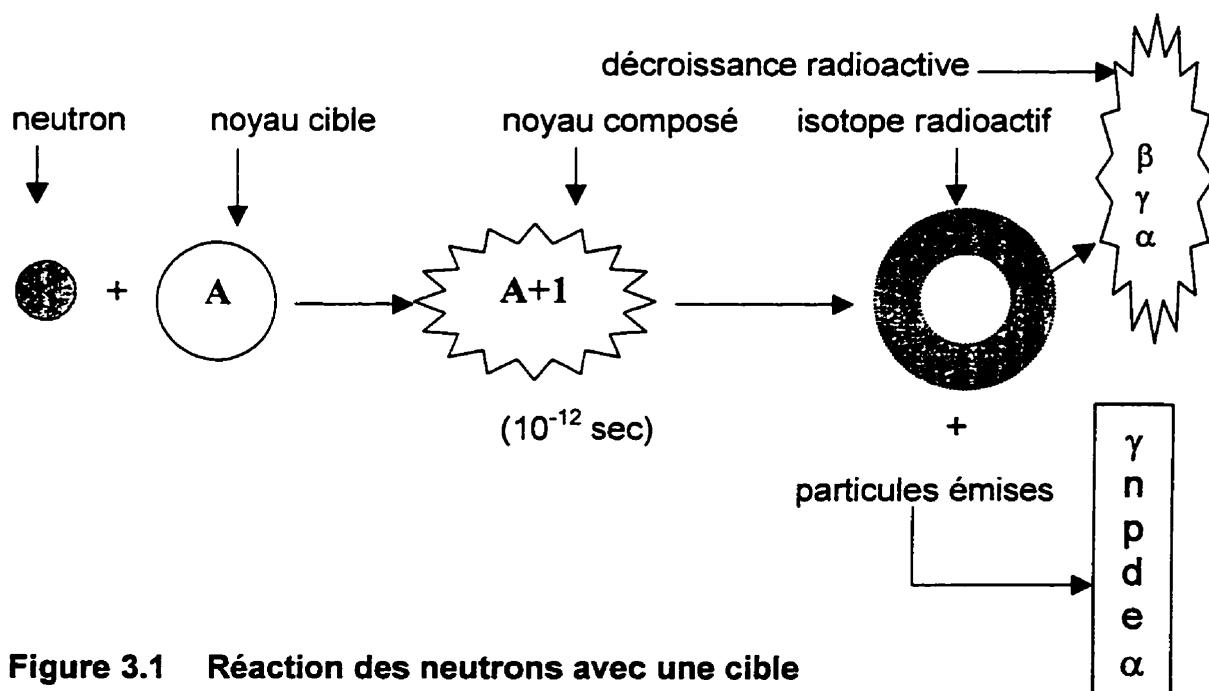
## CHAPITRE 3

### PARTIE THÉORIQUE

#### 3.1 Analyse par activation

L'analyse par activation neutronique est une méthode analytique utilisée pour déterminer la concentration d'un élément chimique dans une matrice quelconque de matériau. La méthode est basée sur la détection et la mesure des rayonnements caractéristiques émis par cet élément suite à une transformation nucléaire. Cette transformation est le résultat du processus d'activation impliquant la réaction des projectiles incidents sur les noyaux de l'élément cible.

Nous parlerons de l'analyse par activation neutronique lorsque les projectiles utilisés sont des neutrons. La mesure de l'activité induite permet ainsi de déterminer le poids de l'élément (KRUGER, 1971). La figure 3.1 résume sous forme d'un schéma le processus de capture neutronique.



**Figure 3.1 Réaction des neutrons avec une cible**

En pratique l'échantillon est bombardé par un flux de neutrons thermiques en majorité, l'irradiation dans le réacteur SLOWPOKE est un exemple. Dépendant du temps d'irradiation et de la section efficace de capture des noyaux cibles, une partie se transforme en noyaux instables lesquels après une décroissance radioactive se transforment en isotopes stables. La nature et l'intensité des rayonnements émis lors de la décroissance radioactive dépendent du radio-isotope produit.

L'analyse par activation neutronique instrumentale se caractérise par une sensibilité élevée, une bonne précision et une obtention rapide des résultats. De plus, la méthode est indépendante des formes physico-chimiques des éléments à analyser. La préparation des échantillons est minimale et assez facile à effectuer, cependant une attention particulière doit être portée afin d'éviter la contamination des échantillons, en respectant ces conditions nous obtiendrons des résultats fiables.

### 3.2 La méthode semi-absolue

La masse (m) et la concentration (C) d'un élément dans la matrice de l'échantillon, sont calculé en utilisant la méthode semi-absolue en analyse par activation neutronique. Le nombre de coups enregistré (n) ou la surface du pic est alors donnée par l'équation suivante :

$$n(\text{coups}) = b(\text{coups} / \mu\text{g})m(\mu\text{g})SDT$$

$$\lambda n(\text{coups}) = N(\text{cps}) = B(\text{cps} / \mu\text{g})m(\mu\text{g})SDT$$

b: constante d'activation propre à l'élément en coups/ $\mu\text{g}$

Alors la masse va être égale à :

$$m(\mu\text{g}) = \frac{N(\text{cps})}{B(\text{cps} / \mu\text{g})SDT}$$

Et la concentration est égale à :

$$C(ppm) = \frac{m(\mu\text{g})}{M(g)} = \frac{N(cps)}{B(cps / \mu\text{g}) M(g) SDT}$$

cps : le nombre de coups comptés par second

$\lambda$  : constante de temps en sec<sup>-1</sup>

m: la masse en  $\mu\text{g}$

M : la masse de l'échantillon en g

B : constante d'activation propre à l'élément en cps/ $\mu\text{g}$

S: facteur de saturation ou d'activation; il est donné par l'équation suivante:

$$S = (1 - e^{-\lambda t_i})$$

$t_i$ : le temps d'irradiation

D: facteur de décroissance radioactive; il est donné par l'équation suivante:

$$D = e^{-\lambda t_d}$$

$t_d$ : le temps de décroissance en sec

T: facteur de temps de comptage est donné par l'équation suivante:

$$T = (1 - e^{-\lambda t_c})$$

tc: le temps de comptage en sec

$$\lambda = \frac{\ln 2}{t_{1/2}}$$

$t_{1/2}$ : le temps de demi-vie du radio-isotope.

### 3.3 Dosage d'aluminium

Pour doser l'aluminium par activation neutronique il faut prendre un certain nombre de facteurs en considération. Dans cette section nous discuterons de ces facteurs ainsi que les différentes approches et méthodes analytiques possibles pour résoudre le problème.

#### 3.3.1 Le spectre énergétique des neutrons

Nous savons que dans les canaux centraux d'un réacteur nucléaire, la fraction de neutrons rapides est considérable et qu'elle diminue en s'éloignant du centre, c'est le cas du réacteur SLOWPOKE.

Les neutrons rapides sont responsables des réactions  $(n,p)$  et  $(n,\alpha)$ , les neutrons thermiques le sont pour les réactions  $(n,\gamma)$ .

Les sections efficaces des réactions nucléaires sont fonction de l'énergie des projectiles incidents. Alors la connaissance du spectre en énergie des neutrons dans le réacteur va permettre à l'expérimentateur de développer des stratégies pour minimiser les interférences, favoriser la formation de certains radio-isotopes et le cas échéant défavoriser d'autres.

Une étude a été faite pour mesurer le rapport du flux des neutrons rapides versus thermiques dans le réacteur SLOWPOKE; les résultats étaient : 0.21, 0.22 et 0.19 (ZIKOVSKY, 1981).

La présence non négligeable des neutrons rapides (20%) dans le réacteur SLOWPOKE vont permettre la production possible des réactions  $(n,p)$  et  $(n,\alpha)$  lors de dosage d'aluminium dans les échantillons d'aliments.

### 3.3.2 Les réactions d'interférences

Il y a interférence nucléaire quand deux éléments chimiques différents, présent dans la matrice d'un échantillon suite à des réactions nucléaires d'activations différentes produisent le même radio-isotope. Le tableau 3.1 résume les réactions nucléaires possibles lors de dosage d'aluminium. Les sections efficaces des réactions sont en millibarn (GENERAL ELECTRIC, 1979), les facteurs d'interférence ont été mesurés expérimentalement, les calculs et les résultats de mesures sont dans le chapitre 4.

Le facteur d'interférence veut dire que pour produire une activité équivalente à celle produite par l'irradiation d'un µg de  $^{27}\text{Al}$  il faudrait irradier 622 µg de  $^{31}\text{P}$  ou 252 µg de  $^{28}\text{Si}$  dans les mêmes conditions.

Le tableau 3.1 indique les abondances isotopiques (Al), les sections efficaces ( $\sigma$ ) et les facteurs d'interférences mesurés (Fi). Voir le chapitre 4 pour les détails des mesures.

**Tableau 3.1**  
**Principales réactions nucléaires lors de dosage d'aluminium par activation neutronique**

Réaction nucléaire	Al en (%)	$\sigma$ en (mb)	Fi Mesurés
$^{28}\text{Si} (\text{n},\text{p}) ^{28}\text{Al}$	92.2	6.4	252
$^{31}\text{P} (\text{n},\alpha) ^{28}\text{Al}$	100	1.9	622
$^{27}\text{Al} (\text{n},\gamma) ^{28}\text{Al}$	100	233	

### 3.3.3 Irradiation dans la piscine du réacteur

Afin de réduire l'interférence possible dû aux réactions ( $n,p$ ) et ( $n,\alpha$ ), nous avons tenté d'irradier des échantillons directement dans la piscine du réacteur à l'extérieur de la cuve où les neutrons pourront être presque tous thermiques. Dans ce cas nous avons uniquement des réactions ( $n,\gamma$ ). Les résultats de ces mesures ont démontré que les neutrons n'ont pas été totalement thermiques et la composante rapide est assez importante. Nous concluons que cette approche ne constitue donc pas une solution au problème d'interférence. Par contre, il sera bientôt possible d'irradier des échantillons dans les sites d'irradiation situés entre le réflecteur et la cuve, ce qui correspond sur la figure 3.2 par les positions radiales situées entre 21.2 et 30 cm. Dans cette région, il pourrait être possible d'obtenir un rapport ( $\Phi_R/\Phi_{th}$ ) qui améliore les facteurs d'interférences ( $FI_P$ ) et ( $FI_{Si}$ ). C'est donc une expérience qui vaudrait la peine d'être faite.

En analyse par activation neutronique nous pouvons exprimer l'activation d'un échantillon par la relation simple suivante :

$$A = N \sigma \Phi f(t) g(\epsilon)$$

Où A : est l'activité induite dans l'échantillon

N : le nombre de noyaux cible

$\sigma$  : la section efficace totale des réactions d'activation

$\Phi$  : le flux moyen de neutrons à travers l'échantillon

$f(t)$  : un fonction qui dépend du temps d'irradiation, décroissance et de comptage

$g(\epsilon)$  : un fonction qui dépend de l'efficacité du système de détection.

Lors d'une expérience de variation de la position d'irradiation le facteur le plus important à examiner est la distribution du flux ( $\Phi$ ). Nous avons pensé à irradier les échantillons directement dans l'eau de la piscine juste à l'extérieur de la cuve du réacteur afin d'améliorer sensiblement les facteurs d'interférences ( $FI_{Si}$ ) et ( $FI_P$ ) qui sont définie dans la méthode semi-absolue par :

$$(FI)_{Si} = (B_{Al}) / (B_{Si})$$

$$(FI)_P = (B_{Al}) / (B_P)$$

il faut immédiatement remarquer qu'un meilleur facteur d'interférence veut dire un facteur plus grand. Alors nous pouvons faire l'hypothèse suivante :

si  $(\Phi_R / (\Phi_{th}))_1 > (\Phi_R / (\Phi_{th}))_2$ , alors  $(FI)_1 < (FI)_2$ .

Suite à l'irradiation des standards d'aluminium, phosphore et de silicium à l'intérieur de la cuve à la position 1 et dans la piscine, position 2 (voir figure 3.2) nous avons obtenu les résultats qui se trouvent dans le tableau 3.2. Les indices 1 et 2 indiquent les positions d'irradiation (voir le chapitre 4 pour les détails des mesures et les conditions expérimentales) :

**Tableau 3.2**  
**Facteurs d'interférence mesurés dans la cuve du réacteur**  
**et dans l'eau de la piscine**

	$(FI)_1$	$(FI)_2$	$B_1(\text{cps/mg})$	$B_2(\text{cps/mg})$	$B_2/B_1$
			Al      26700	5.372	4970
P	622	235	P      42.9	0.025	1715
Si	252	91	Si      106	0.068	1560

On remarque que les résultats obtenus sont contraires aux attentes à savoir que le fait d'irradier les échantillons dans la piscine élimine ou encore réduit les interférences possibles.

En examinant les figures 3.3 et 3.4 qui sont produits à partir des simulations utilisant le code DRAGON développé à l'Institut de génie nucléaire de l'école Polytechnique (MARLEAU, 1997). En utilisant uniquement deux groupes d'énergie avec une coupure thermique à 4 eV, nous observons que le rapport  $(\Phi_R / (\Phi_{th}))$  augmente à l'extérieur de la cuve du réacteur SLOWPOKE et continue d'augmenter plus qu'on s'éloigne de la cuve dans la direction radiale.

Ces résultats de simulation peuvent expliquer les résultats que nous avons obtenus. Il faut préciser que le calcul de la simulation numérique arrête à la distance radiale de 35.5 cm. Pour prédire le comportement de  $(\Phi_R/\Phi_{th})$  à une distance supérieure à 35.5 cm il faudrait faire une extrapolation sur la courbe de la figure 3.4.

D'autre part la précision expérimentale sur la position d'irradiation des échantillons dans l'eau de la piscine à plus de 5 mètres de profondeur était faible dû aux moyens techniques que nous avons en notre disposition pour stabiliser l'échantillon en position radiale pendant l'irradiation afin d'assurer une certaine reproductibilité des mesures.

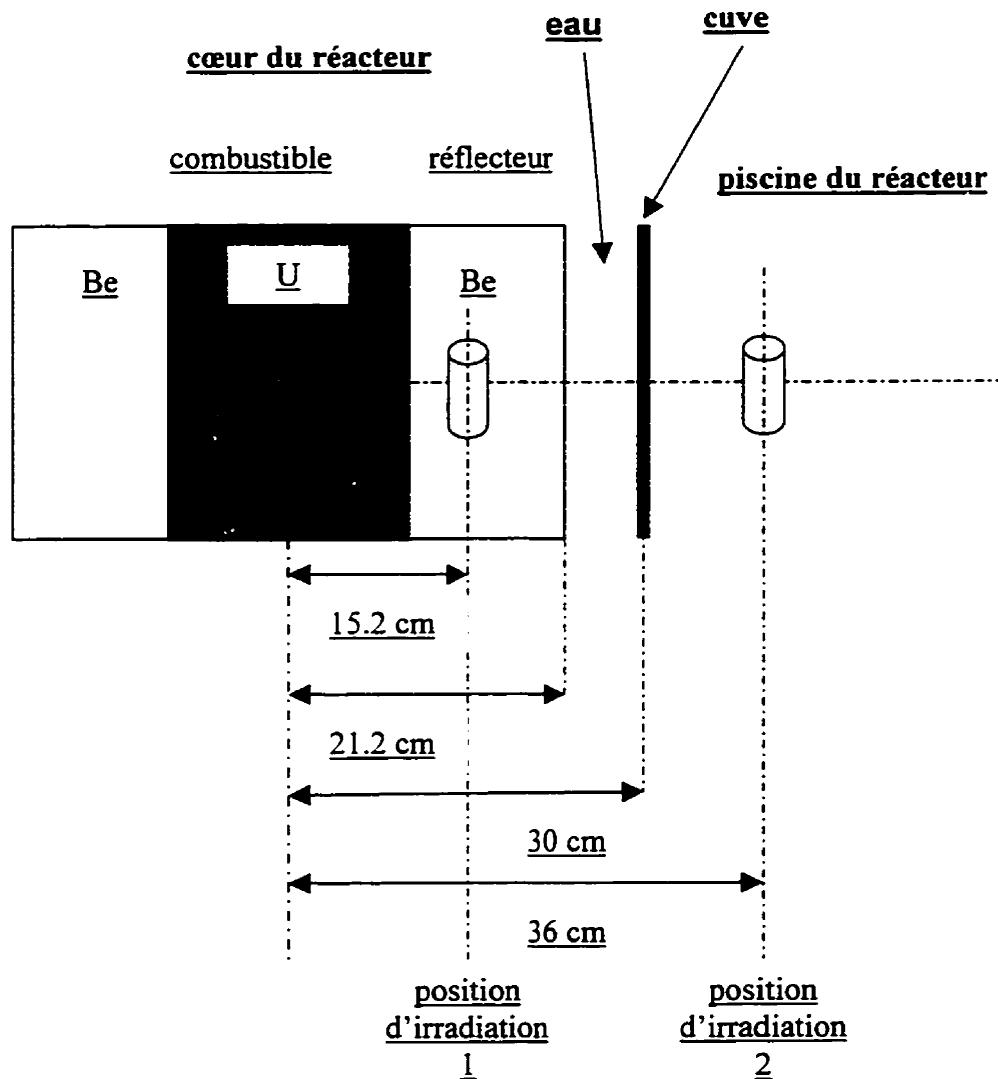
Il faut aussi remarquer que l'eau dans le réacteur SLOWPOKE joue deux rôles opposés en terme de la réactivité.

- L'eau absorbe les neutrons à cause de la section efficace d'absorption élevée de l'hydrogène dans l'eau.
- L'eau agit à titre de modérateur des neutrons.

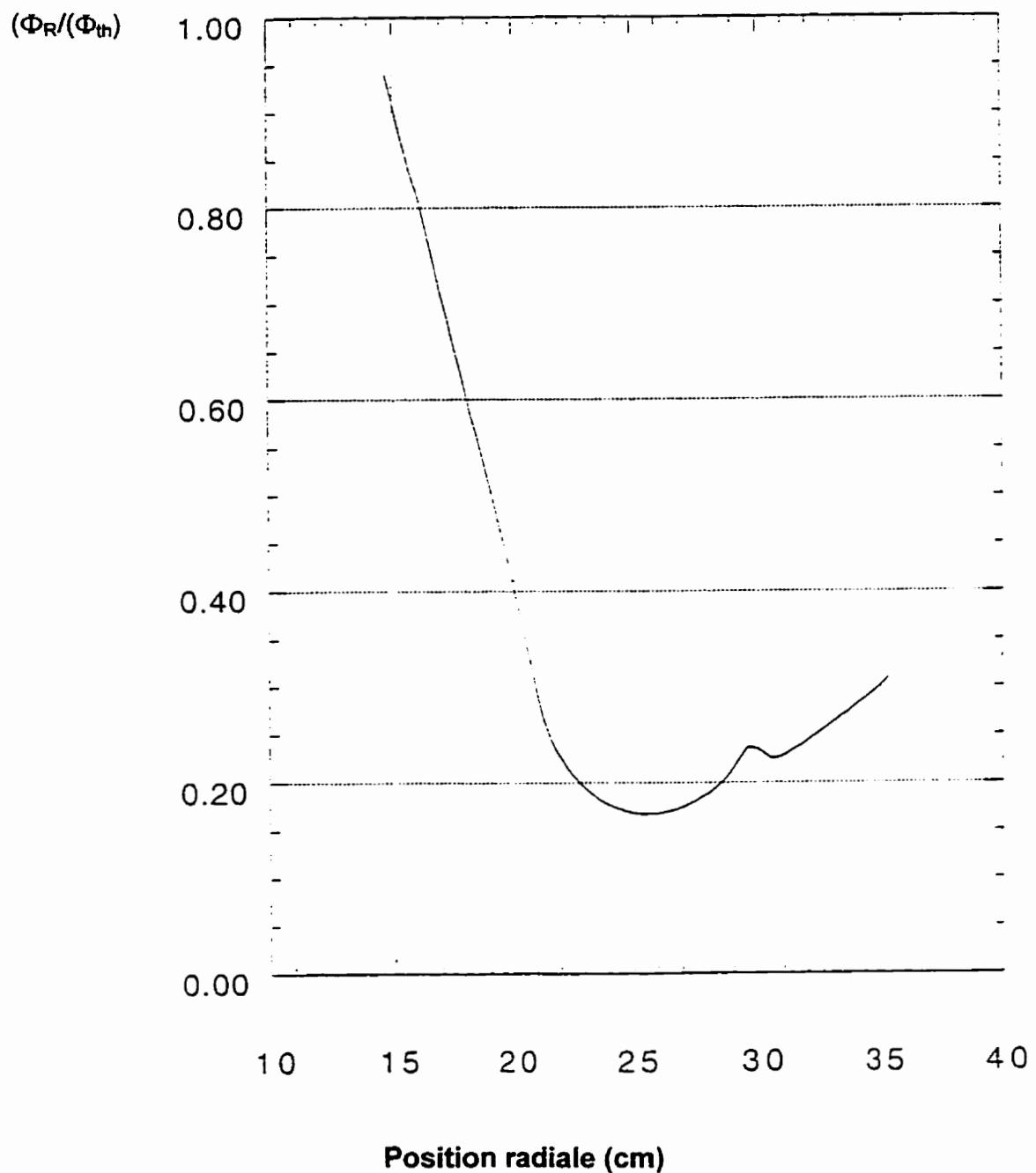
D'autres facteurs peuvent aussi influencer la précision de la simulation théorique. La distribution axiale du flux n'est pas nécessairement uniforme tel que l'hypothèse utilisée dans la simulation de SLOWPOKE par le code DRAGON. Nous avons mesuré les facteurs d'interférence en fonction de la position axiale et les résultats démontrent des petites variations que nous pouvons relier aux fluctuations statistiques, ou encore à la distribution axiale du flux.

Le modèle de simulation ne tient pas compte de la composition matérielle du site d'irradiation, de la capsule et de l'échantillon irradié.

Les impuretés présentes dans l'eau du modérateur changent ces propriétés d'absorption et de modération dans le réacteur, il faut donc également en tenir compte dans les calculs.



**Figure 3.2 Positions d'irradiation à l'intérieur et à l'extérieur de la cuve du réacteur SLOWPOKE.**



**Figure 3.3 rapport des flux rapide sur thermique en fonction de la position radiale dans le réacteur SLOWPOKE.**

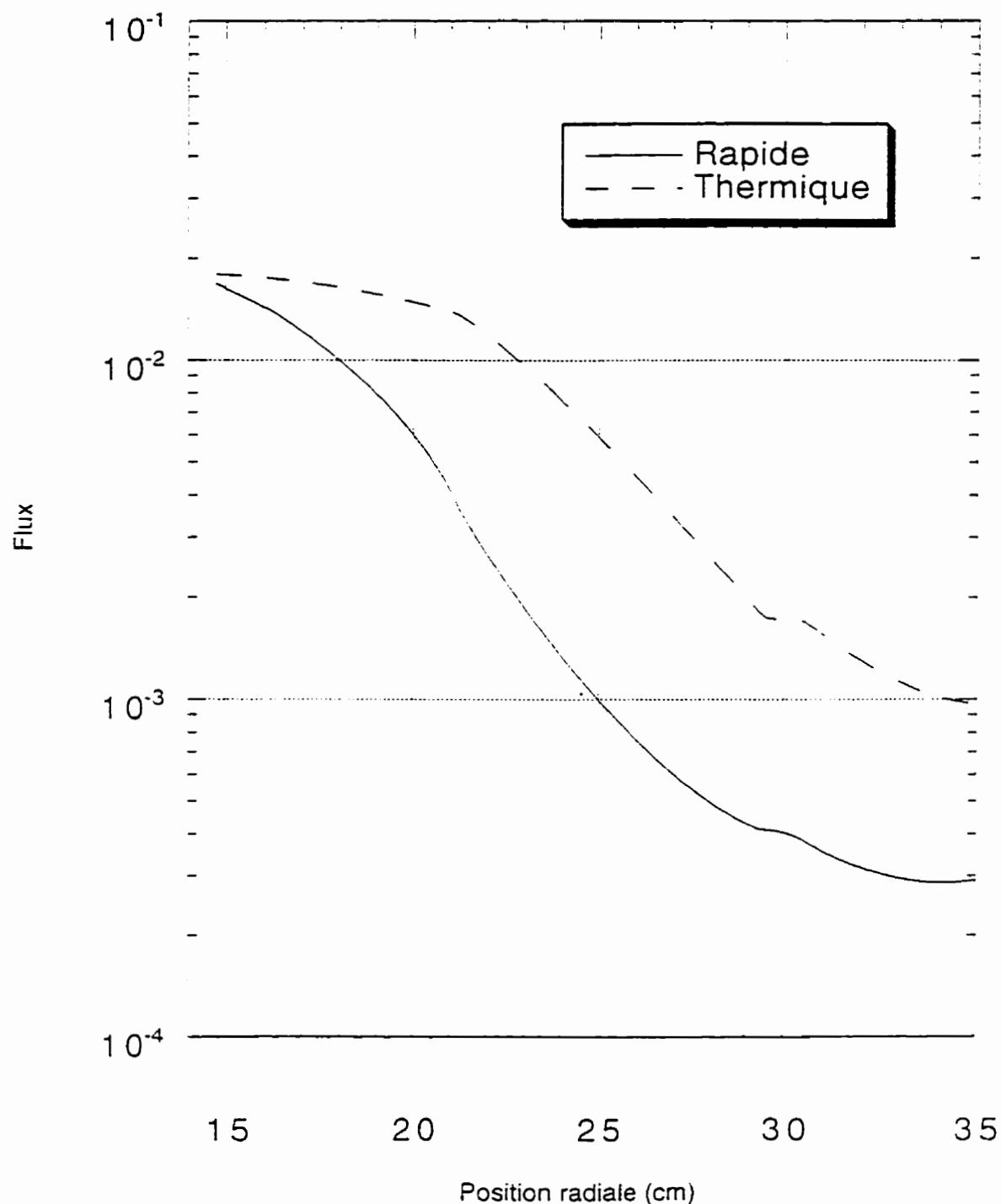


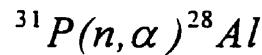
Figure 3.4 distribution radiale de flux thermique et rapide dans le réacteur SLOWPOKE.

### 3.3.4 Dosage du phosphore

Trois méthodes de dosage de phosphore dans les aliments ont été étudiées en fonction de leurs sensibilités, limites de détection et pouvoir analytique. Ces méthodes sont : la spectroscopie gamma, l'analyse du spectre bêta et le comptage en scintillation liquide. Nous allons voir chacune de méthodes dans les prochaines sections.

#### 3.3.4.1 Spectroscopie gamma

Pour le dosage de phosphore il est théoriquement possible d'utiliser la réaction suivantes:



pour réaliser l'activation il faut irradier les échantillons dans des capsules de bore pour favoriser les réactions  $(n,\alpha)$ . L'utilisation de la spectroscopie gamma va permettre de calculer la concentration de phosphore.

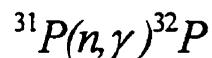
Des essais au laboratoire ont été faits dans le but de vérifier la sensibilité de cette méthode de dosage. Des standards de phosphore ont été irradiés dans des capsules de bore pour favoriser uniquement les réactions  $(n,p)$  et  $(n,\alpha)$ . Nous avons trouvé, pour un flux neutronique de  $5 \times 10^{11}$  n/cm<sup>2</sup>/sec, les résultats suivants (voir chapitre 4 pour les détails des calculs):

$$B = 42.9 \pm 3 \text{ cps/mg}$$

$$\text{Limite de détection} = 500 \text{ ppm}$$

### 3.3.4.2 Analyse de spectre bêta

Le dosage par l'analyse de la courbe d'émission bêta est une technique utilisée au laboratoire SLOWPOKE pour doser le phosphore en comptant l'activité induite de P-32 produite par la réaction suivante :



En utilisant l'analyse de spectre bêta obtenu à l'aide d'un système de comptage, composé principalement d'un analyseur multicanaux couplé à un cristal à scintillation de type NaI(Tl).

L'activité induite suite à l'irradiation d'une quantité connue de  $^{32}P$  est enregistrée par le système de comptage et comparée à l'activité de l'échantillon analysé. Il s'agit d'une méthode relative.

Le calcul de la concentration est basé sur le calcul de surface sous la courbe produite par l'analyseur. Chaque courbe est une caractéristique d'un émetteur bêta.

Il est important de remarquer que la présence d'autres émetteurs bêta dans l'échantillon tels que:  $^{45}Ca$ ,  $^{65}Zn$ ,  $^{35}S$  et  $^{36}Cl$  va avoir l'effet de produire une courbe d'émission de forme différente de celui de  $^{32}P$  pur et ceci va rendre très difficile la comparaison entre l'activité de standard et de l'échantillon.

Il faut aussi remarquer que le système de comptage est sensible aux rayonnements gamma. Cette sensibilité aura comme effet de fausser les résultats de comptage d'échantillons susceptibles d'avoir en plus d'une activité bêta, une certaine activité gamma mesurable et de demi-vie longue.

### 3.3.4.3 Scintillation liquide

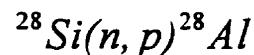
Il est également possible de doser le phosphore par comptage en scintillation liquide, soit dans un cocktail à scintillation ou soit dans l'eau par effet Cerenkov.

Les compteurs à scintillation liquide sont capables de faire la discrimination en énergie et sont aussi capables de compter simultanément différentes énergies dans des canaux différents.

Un problème particulier se pose, celui de l'autoabsorption des rayonnements bétas dans le cas des échantillons solides.

### 3.3.5 Dosage du silicium

Lors de l'analyse de l'aluminium dans les aliments par activation neutronique, le silicium cause de l'interférence nucléaire selon la réaction suivante :



nous pouvons alors exploiter cette réaction pour doser le Si; ceci est donc possible en irradiant les échantillons sous bore. Des standards de silicium ont été irradiés et, pour un flux neutronique de  $5 \times 10^{11}$  n/cm<sup>2</sup>/sec, nous avons les résultats suivants :

$$B = 106 \pm 8 \text{ cps/mg}$$

$$\text{Limite de détection} = 1200 \text{ ppm.}$$

Il faut cependant noter que les concentrations typiques de silicium dans les aliments sont de l'ordre de 1-10 ppm, la limite de détection mesurée ici ne permet pas de doser ces concentrations.

Donc on ne peut pas doser le silicium par activation neutronique dans ces conditions. Et il faudra le doser par une autre méthode analytique.

### 3.4 La méthode utilisée

Nous avons appliqué la méthode suivante pour le dosage de l'aluminium dans les aliments par activation neutronique selon la méthode semi-absolue. Nous avons irradié les échantillons une première fois dans des capsules en polyéthylène. Nous avons calculé une activité initiale induite notée par  $N_a$ , une semaine plus tard nous avons irradié l'échantillon une deuxième fois dans une capsule de bore. Nous avons calculé une activité secondaire induite notée par  $N_b$  que nous avons soustrait de la première activité. Finalement nous avons appliqué la méthode semi-absolue pour calculer la concentration de l'aluminium présent dans l'échantillon.

La concentration est donc donnée par la relation suivante :

$$C = \frac{1}{MB} \left[ \frac{N_a}{S_a D_a T_a} - \frac{N_b}{S_b D_b T_b} \right]$$

Où,  $S_a$ ,  $D_a$  et  $T_a$  : sont les facteurs de saturation, décroissance et comptage pour la première irradiation, et les facteurs :  $S_b$ ,  $D_b$  et  $T_b$  le sont pour la deuxième.

Quand l'irradiation est effectué dans un filtre comme une capsule de cadmium ou de bore les réactions ( $n,p$ ), ( $n,\alpha$ ) ou ( $n,2n$ ) produites par les neutrons rapides

sont peu ou pas de tout affectées par le filtre (ROSSITTO, 1972). Cependant il est important de remarquer que le blindage en Bore utilisé lors de la deuxième irradiation n'est pas 100% imperméable aux neutrons thermiques, il est donc possible d'obtenir des réactions ( $n,\gamma$ ). Dans ce cas il faudrait corriger le facteur B en conséquence pour tenir compte de ce phénomène.

Prenons par exemple un standard d'aluminium ( $m_{Alst}$ ) que nous avons irradié selon la méthode proposée plus haut; En gardant constant le temps d'irradiation, de décroissance et de comptage pour les deux irradiations et après avoir enlevé les termes dépendant du temps S, D et T pour simplifier l'écriture, nous avons :

$$N_{aAl} = B_{Al} m_{Alst}$$

$$N_{bAl} = X_{th} B_{Al} m_{Alst}$$

$$X_{th} = \frac{N_{bAl}}{N_{aAl}}$$

Le filtre en bore est dit 100% impérmeable si  $X_{th}=1$  (GATSCHKE, 1980).

Prenons le cas d'un échantillon qui contient une masse (m) inconnue de l'aluminium et que nous devons le calculer avec la méthode proposée. Alors on peut écrire :

$$N_a = B m S D T$$

$$N_b = X_{th} B m S D T$$

$$N_a - N_b = (1 - X_{th}) B m S D T$$

$$m = \frac{1}{B (1 - X_{th})} \left[ \frac{N_a}{S D T} - \frac{N_b}{S D T} \right]$$

Donc le facteur de correction que nous devons utiliser pour corriger la constante B est égale à  $(1-X_{th})$ . C'est le résultat obtenu par (BLOTCKY, 1992).

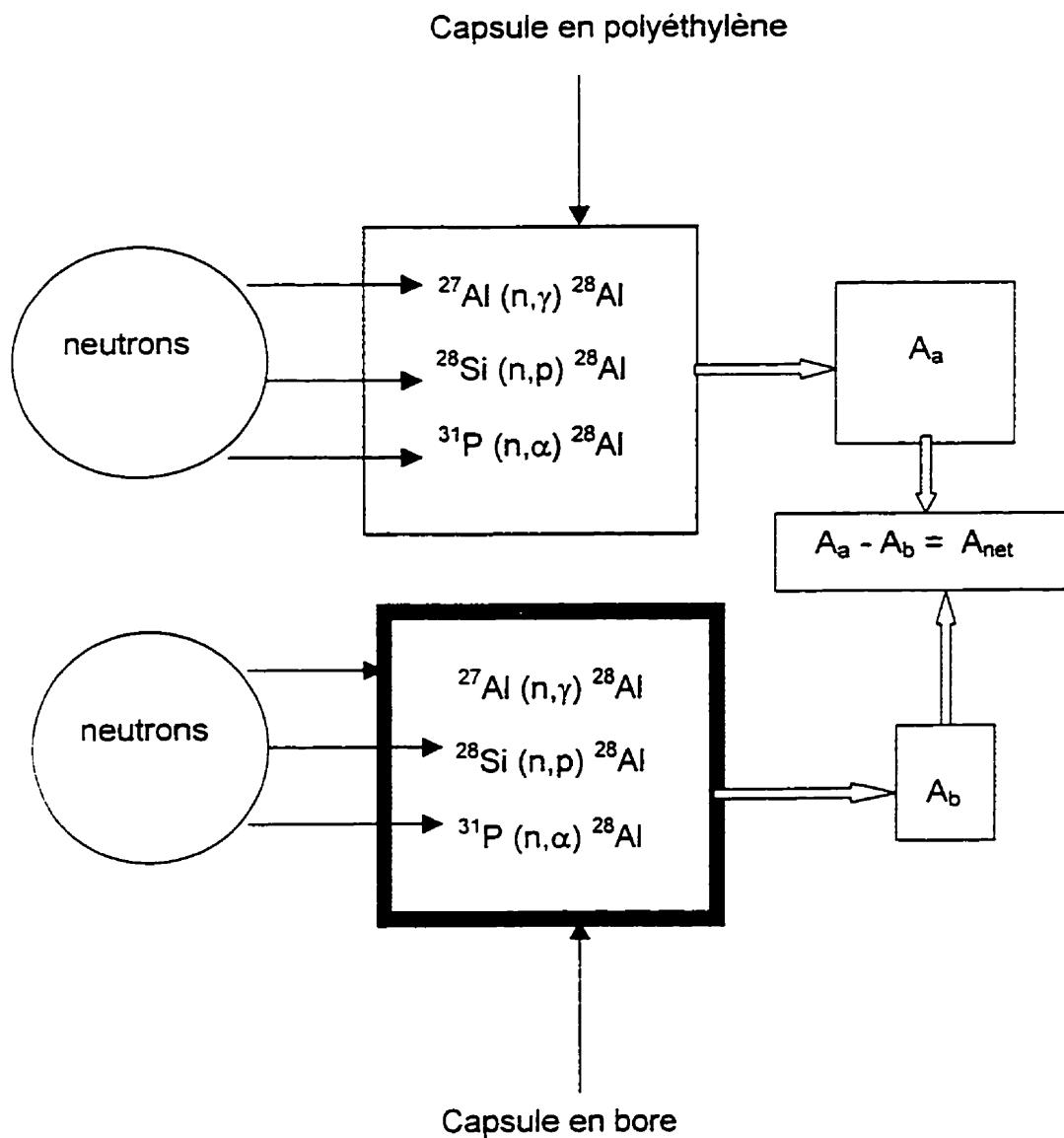


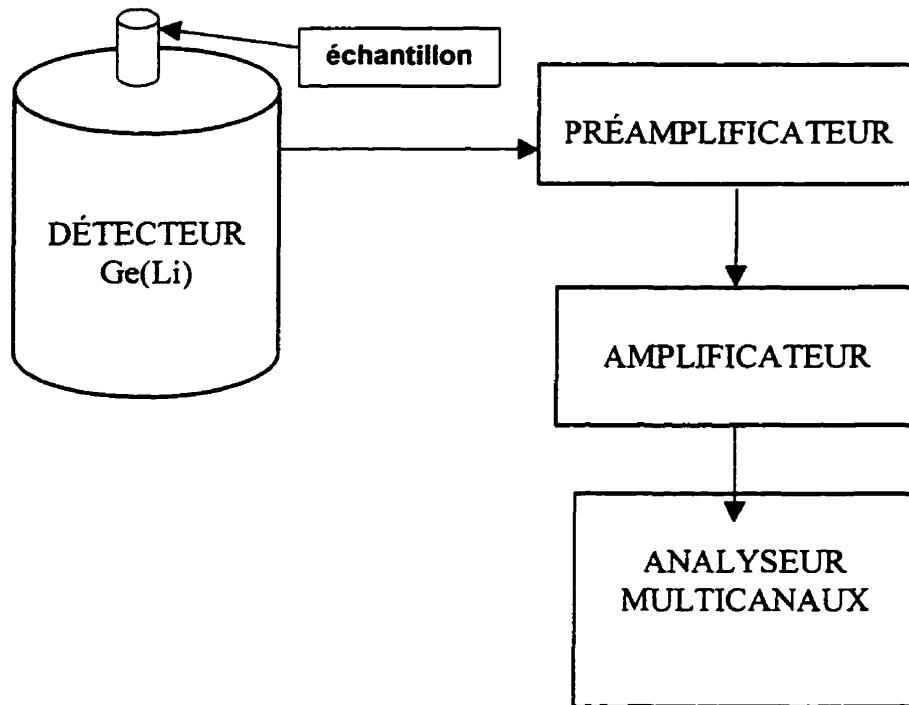
Figure 3.5 Description schématique de la méthode analytique utilisée pour doser l'aluminium dans les aliments.

### 3.5 Système de comptage

Le système de comptage de l'activité induite par l'irradiation est essentiellement constitué de deux composantes majeures soit le détecteur et l'analyseur.

Le choix d'un système approprié de détection dépend du type des radiations émises. En analyse par activation neutronique la méthode employée est généralement la spectrométrie gamma.

Le système de comptage le plus utilisé en analyse par activation consiste essentiellement en un détecteur Ge(Li), suivi d'un système électronique de conditionnement du signal, soit un préamplificateur; par la suite il y a un amplificateur et un analyseur multicanaux (EICHHOLZ, 1982). La figure 3.6 montre sous forme d'un diagramme bloc les principales composantes d'un système de comptage.



**FIGURE 3.6** Les principales composantes d'un système de comptage

### 3.5.1 Interaction des photons avec la matière

Les photons de haute énergie sont détectés résultant d'interactions avec les matériaux qui composent le détecteur.

Les mécanismes d'interactions classés par ordre croissant d'énergie sont :

- L'effet photoélectrique
- L'effet Compton
- La production de paires

Le résultat de l'interaction se manifeste par le dépôt d'énergie dans le détecteur, ce qui génère une impulsion électrique dont l'amplitude est proportionnelle à l'énergie déposée.

### 3.5.2 Le détecteur

En spectrométrie gamma les détecteurs à semi-conducteurs sont souvent utilisés compte tenu de leur excellente résolution en énergie. Les détecteurs de type Ge(Li) peuvent avoir une résolution de 3 keV à la mi-hauteur du pic (TSOULFANIDIS, 1983).

Le détecteur à semi-conducteur comprend, si nous le réduisons à l'essentiel, une pastille en matière semi-conductrice monocristalline placée entre deux électrodes (KNOLL, 1982).

### 3.5.3 Les amplificateurs

Le préamplificateur a pour fonction d'optimiser le couplage entre les impulsions fournies par le détecteur et le reste du système. Il minimise le bruit électronique associé au signal qui peut dégrader la résolution en énergie du système.

Il est strictement nécessaire d'utiliser un amplificateur de signal pour différentes raisons techniques. Les impulsions issues du préamplificateur atteignent des amplitudes de quelques millivolts. La mesure directe de ce genre de signaux n'est pas facile, ils doivent être amplifiés et doivent également recevoir une forme convenable. L'amplificateur remplit le double rôle; il est capable de multiplier les signaux qu'il reçoit quelques milliers de fois.

### 3.5.4 L'analyseur multicanaux

Un analyseur multicanaux est un dispositif électronique qui a pour rôle d'accumuler et d'enregistrer les signaux issus de l'amplificateur.

Ces signaux sont distribués selon leurs hauteurs dans des canaux différents, un canal par échelon de hauteur. La hauteur de signal est proportionnelle à l'énergie des particules gamma.

La distribution des hauteurs dans les canaux représente une image du spectre en énergie des gammas émis. Cette image est affichée sur l'écran de l'analyseur sous forme graphique. L'axe des x représente le numéro du canal et celui des y le nombre d'impulsions enregistrées par canal.

En analyse par activation chaque radio-isotope mesurable dans un échantillon aura un signal sous forme d'un pic. Le maximum du pic est situé à l'énergie caractéristique de gamma associée au radio-isotope. La surface sous le pic est proportionnelle à la concentration de l'élément chimique analysé.

### 3.6 Calcul de la surface du pic

La surface de pic donné par l'analyseur multicanaux est aussi la variable (A) qui correspond à l'activité induite que nous devons calculer pour la méthode semi-absolue. Il est donc important de comprendre comment cette quantité est calculée par l'analyseur multicanaux. La figure 3.3 montre un schéma décrivant les paramètres utilisés dans le calcul de la surface du pic.

La surface nette du pic notée par  $S_p$  (en nombres d'impulsions enregistrées) se compose de deux quantités :

- Le compte intégral du pic noté  $I_p$
- La base de pic notée  $B_p$

La base contient les contributions des autres énergies (canaux) dont il faut soustraire pour calculer la surface nette.

$$I_p = \sum_{i=u}^v x_i$$

$S_p = I_p - B_p$ ,  $I_p$  est donné par :

$x_i$  : le nombre d'impulsions enregistré dans le canal  $i$

la base est donné par la relation suivante :

$$B_p = \frac{N}{2}(U + V)$$

N : la largeur du pic

U : le nombre d'impulsions dans le canal de gauche délimitant le pic

V : le nombre d'impulsions dans le canal de droit délimitant le pic

Alors la surface net du pic dans ce cas est égale à :

$$\sum_{i=u}^v x_i - \frac{N}{2}(U + V)$$

Les erreurs statistiques (écart-type) attachée au  $B_p$  ( $\sigma_p$ ) et à la surface nette du pic  $S_p$  ( $\sigma_s$ ) sont :

$$\sigma_B = \frac{\sqrt{U + V}}{2}$$

$$\sigma_s = \sqrt{\sum_{i=u}^v x_i + \frac{N}{4}(U + V)}$$

Au lieu de prendre seulement un canal à gauche et un autre à droite pour délimiter le pic, nous prenons une moyenne de  $k$  canaux de chaque côté du pic et nous traçons une ligne droite qui va passer par les valeurs moyennes prises sur les  $k$  canaux de chaque côté pour délimiter la base. Cette façon de calculer améliore l'estimation de la base du pic. Sous ces conditions les valeurs de  $B_p$  et  $S_p$  sont données par les expressions suivantes :

$$B_p = \frac{N}{2K} \left( \sum_{i=u}^{u+K-1} x_i + \sum_{i=v-K+1}^v x_i \right)$$

$$S_p = \sum_{i=u}^v x_i - \frac{N}{2K} \left( \sum_{i=u}^{u+K-1} x_i + \sum_{i=v-K+1}^v x_i \right)$$

Dans ce cas, l'incertitude associée avec la surface exacte du B diminue avec le carré de la largeur K de l'intervalle à gauche et à droite du pic, étant donné que en appliquant la loi de propagation d'erreur, elle est égale à :

$$\sigma_s = \sqrt{\sum_{i=u}^v x_i + \frac{N}{4K^2} \left( \sum_{i=u}^{u+K-1} x_i + \sum_{i=v-K+1}^v x_i \right)}$$

L'erreur statistique attachée au pic est alors égale à :

$$\sigma_p = \frac{1}{2K} \sqrt{\sum_{i=u}^{u+K-1} x_i + \sum_{i=v-K+1}^v x_i}$$

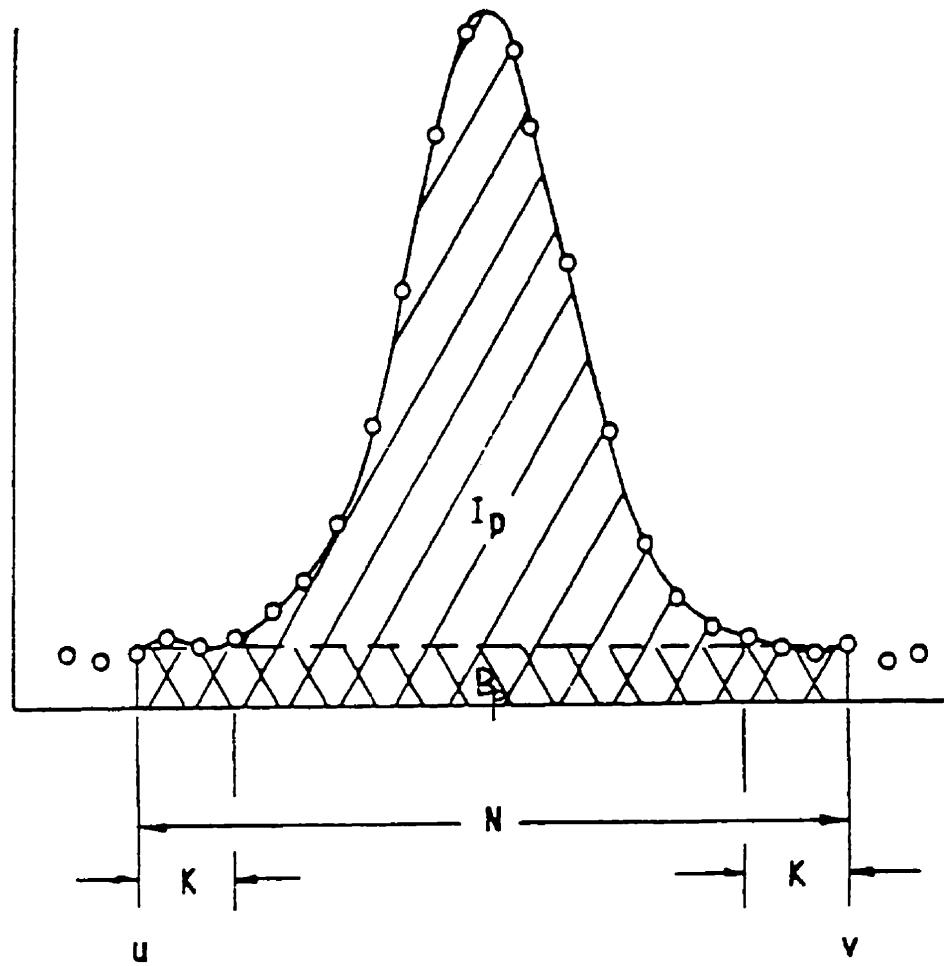


Figure 3.7 Les différents paramètres utilisés dans le calcul de la surface du Pic.

### 3.7 Limite de détection

Pour calculer les limites de détection (LD) on se sert du bruit de fond (B) dans la région du spectre où le pic devrait se trouver. Dans ce cas la limite de détection est calculée en utilisant la relation suivante, tel que définie par (CURRIE, 1968).

$$LD = 2.7 + 3.29\sqrt{B}$$

Dans le cas, qu'il y a des interférences nucléaires ou spectrales la situation se complique. Supposons que des éléments interférents génèrent un pic dont la surface nette est de  $N_b$  et dont le bruit de fond est égal à  $B_b$ . Dans ce cas on peut décider, par exemple, que l'élément n'est pas détecté si l'erreur relative associée à sa surface nette dépasse 100%. En appliquant la loi de propagation d'erreurs on peut écrire :

$$\sigma = \sqrt{x + 2B_a + N_b + 2B_b}$$

Où  $x$  est la surface minimale que le pic de l'aluminium doit avoir pour qu'on puisse décider que l'aluminium a été détecté.

La concentration minimale qu'on peut détecter dépendra de la composition chimique de chaque échantillon. L'erreur relative  $\varepsilon$  est égale à :

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{x} < 1$$

Dans le cas où l'erreur = 100%, alors  $\sigma = x$ , et on peut donc écrire :

$$x = \sqrt{x + 2B_a + N_b + 2B_b}$$

$$x^2 = x + 2B_a + N_b + 2B_b$$

Après avoir solutionné une simple équation quadratique on obtient :

$$x = \frac{1 + \sqrt{1 + 4(N_b + 2B_a + 2B_b)}}{2}$$

La dernière équation est valide pour un niveau de confiance de 68% qui correspond à  $1\sigma$ . Si on exige un niveau plus élevé par exemple  $n\sigma$ , l'équation s'écrira :

$$x = \frac{n^2 + n\sqrt{n^2 + 4(N_b + 2B_a + 2B_b)}}{2}$$

Alors la limite de détection (LD) en ppm s'écrira :

$$LD = \frac{n^2 + n\sqrt{n^2 + 4(N_b + 2B_a + 2B_b)}}{2BMSTD}$$

Pour calculer les limites de détection dans le cas de ce travail de recherche, nous avons pris  $n=3$  tel que recommandé par (ACS,1980). Alors la limite de détection (LD) ou bien la concentration minimale détectable en ppm devient :

$$LD = \frac{9 + \sqrt{81 + 36(N_b + 2B_a + 2B_b)}}{2BMSTD}$$

Les limites de détections sont calculées dans le chapitre 4 à la section 4.1 voir tableau (4.1).

### 3.8 Calcul d'erreur

Dans cette section nous allons parler de l'exactitude et la précision des mesures et nous présentons le calcul de la moyenne et de l'écart type utilisé dans le chapitre 5.

#### 3.8.1 Exactitude et précision

Les erreurs de mesures en analyse par activation sont de deux types, aléatoires et systématiques.

Pour un ensemble donné de conditions de mesures, une source d'erreurs aléatoires est variable en grandeur et en signe, une source systématique a une grandeur relative constante et est toujours du même signe.

La précision constitue une mesure de la reproductibilité d'un système; elle ne réfère qu'aux incertitudes aléatoires.

Pour un ensemble infini de mesures, 95% des valeurs obtenues tomberont à l'intérieur de  $2\sigma$  de la moyenne, où  $\sigma$  est l'écart-type de l'ensemble des mesures.

Un système qui comprend plusieurs sources d'incertitudes indépendantes aura un écart-type total calculé à partir de la sommation en quadrature des écarts-types individuels.

$$\sigma = \sqrt{\sigma_a^2 + \sigma_b^2 + \dots + \sigma_n^2}$$

L'exactitude est reliée à la vraisemblance d'une mesure d'être à l'intérieur de certaines limites de la vraie valeur et implique les deux types d'incertitudes, aléatoire et systématique.

Pour calculer l'erreur associée à une concentration qui a été obtenue par la spectrométrie, il faut inclure dans l'erreur globale toutes les erreurs qui peuvent se produire.

### 3.8.2 Moyenne et écart-type

La moyenne arithmétique et l'écart-type sans biais que nous allons utiliser dans les calculs des résultats au chapitre 5 sont donnés par :

$$C_m = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N C_i$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{n \sum_i x_i^2 - (\sum_i x_i)^2}{n(n-1)}}$$

### 3.9 Estimation de la consommation moyenne annuelle

Pour estimer la consommation moyenne annuelle en aluminium par les aliments au Canada il faut, en premier lieu, calculer la concentration moyenne d'aluminium dans les aliments. Par la suite il faut multiplier le résultat par la consommation moyenne des mêmes aliments afin d'obtenir la consommation moyenne d'aluminium. Alors nous avons les relations suivantes :

$$C_{mi} K_{mi} = K_{iAl}$$

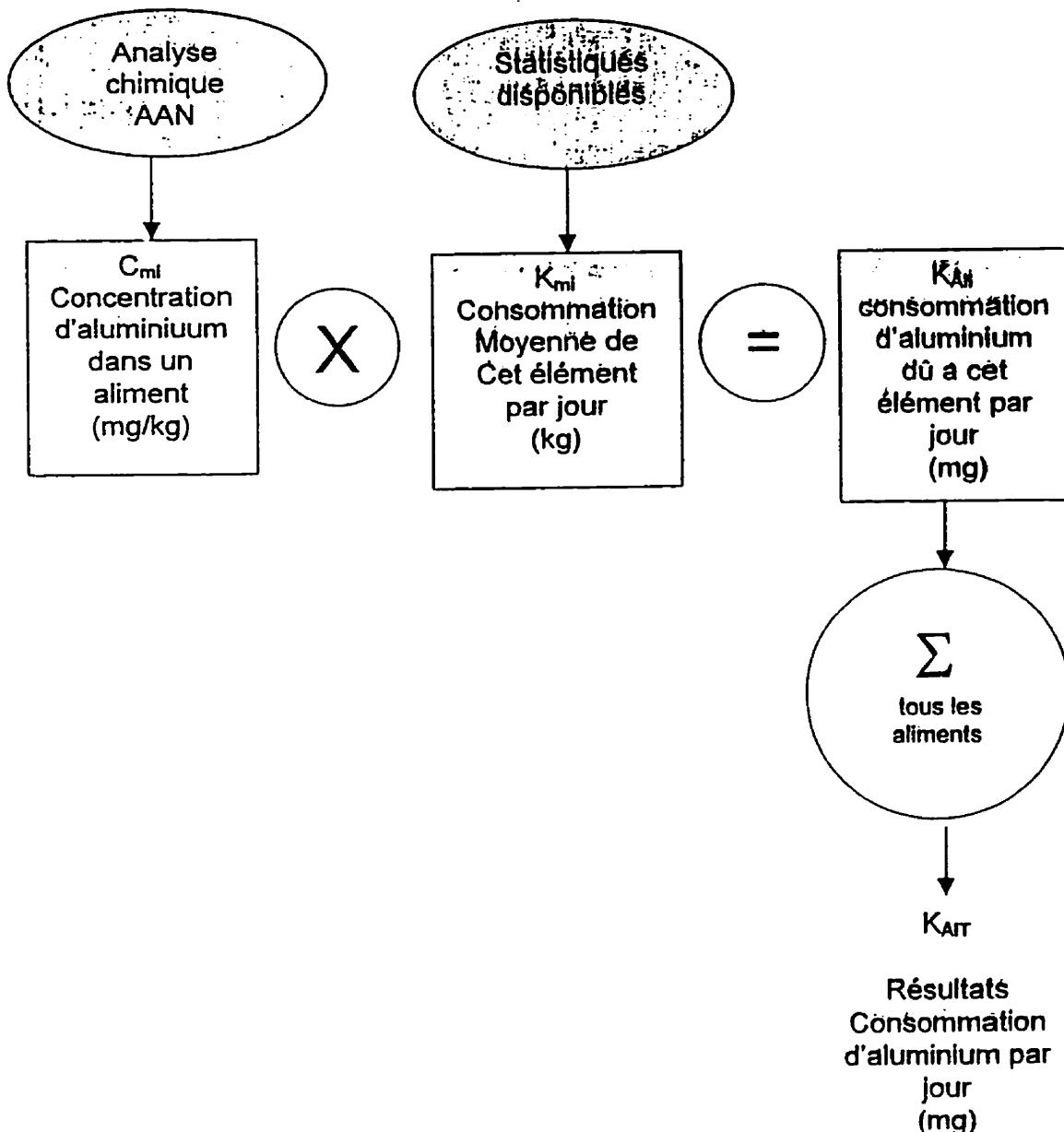
$$\sum K_{iAl} = K_{TAI}$$

$C_{mi}$  : la concentration moyenne d'aluminium mesurée dans l'aliment  $i$  en mg/kg.

$K_{mi}$  : la consommation moyenne de l'aliment  $i$  selon les statistiques sur la consommation canadienne des aliments en kg/jour.

$K_{iAl}$  : la consommation de l'aluminium par l'aliment  $i$  par jour en mg/jour.

$K_{TAI}$  : la consommation totale d'aluminium par les aliments consommés en mg/jour.



**Figure 3.8 Calcul de l'estimation de la consommation moyenne d'aluminium en mg/jour.**

## CHAPITRE 4

### PARTIE EXPÉRIMENTALE

L'approche analytique proposée dans ce travail de recherche est d'utiliser l'analyse par activation neutronique instrumentale pour doser l'aluminium dans les aliments. Cette approche n'implique donc pas l'utilisation des méthodes de séparation physico-chimique. Ces méthodes sont très efficaces pour résoudre les problèmes reliés aux interférences nucléaires lors du processus d'irradiation des échantillons. Dans le cadre de ce travail, les problèmes qui doivent être résolus par les méthodes de séparation physico-chimique ont très peu d'effet sur l'atteinte des objectifs visés par ce travail de recherche. Mais par contre, elles permettraient de résoudre les problèmes non résolus lors de cette recherche comme nous allons voir dans la prochaine section de ce chapitre.

#### **4.1 Méthode analytique**

Nous avons dosé l'aluminium par activation neutronique instrumentale. Les échantillons ont été irradiés dans le réacteur SLOWPOKE II de l'ÉCOLE POLYTECHNIQUE. Les interférences nucléaires probables de phosphore et de silicium ont fait l'objet d'étude. Pour cela nous avons irradié d'abord les échantillons avec les neutrons thermiques dans des capsules en polyéthylène. Nous avons mesuré l'activité induite du  $^{28}\text{Al}$  et après une semaine, les mêmes échantillons ont été re-irradiés avec des neutrons rapides en les mettant dans des capsules de bore.

La nouvelle activité est soustraite de la première, afin de corriger les résultats des interférences mentionnées en haut. De cette façon nous avons l'activité nette de l'échantillon.

Il y a deux cas pour lesquels la méthode analytique proposée ici ne fonctionne pas. Le premier cas est celui des aliments très riches en phosphore et en silicium soit par contamination ou par propriété intrinsèque de l'aliment. Dans ce cas l'activité nette est inférieur à la limite de détection ou encore  $A-B=0$ .

Le deuxième cas est celui où l'échantillon est riche en sodium. En irradiant ces échantillons même pour une période de 15 secondes, ils deviennent très actifs et nous ne sommes pas en mesure de les compter avec notre système, car le système devient saturé et le temps mort de l'analyseur devient très grand.

Les conséquences de ces problèmes sont que nous n'étions pas en mesure de doser un certain nombre d'aliments qui heureusement ont peu d'effets sur les résultats des analyses. Voici la liste d'aliments dont nous avons tenté de doser sans succès :

Céréales gruau, son d'avoine, crème de blé et semoule de blé, pruneaux, saumon de l'atlantique, agneau cuit, jambon cuit et les fromages.

Il faut mentionner que pour résoudre les problèmes analytiques associés aux cas mentionnés plus haut, il faut utiliser les méthodes de séparation radiochimique et les combiner avec l'analyse par activation instrumentale pour doser l'aluminium dans les aliments.

Nous avons calculé les limites de détection (LD) tel qu'expliqué dans le chapitre 3. Le tableau 4.1 résume les résultats de ces calculs.

**Tableau 4.1**  
**Limites de détection**

Élément	E (keV)	$\sigma_{th}$ (mb)	T <sub>1/2</sub> (min)	LD (ppm)
<sup>27</sup> Mg	1014	38	9.48	5
<sup>28</sup> Al	1779	232	2.24	.20
<sup>38</sup> Cl	2167	428	37.2	19
<sup>49</sup> Ca	3083	1100	8.72	20
<sup>52</sup> V	1423	4880	3.76	0.05
<sup>66</sup> Cu	1039	2170	5.10	28
<sup>60m</sup> Co	1333	20400	10.48	2.25

#### **4.2 Choix des aliments et échantillonnage**

Le choix des aliments est basé sur les statistiques de la consommation des aliments au Canada publiés par statistique Canada (STATISTIQUE CANADA, 1994).

En ce qui concerne les aliments eux-mêmes, l'échantillonnage est effectué d'une manière aléatoire sans choisir une marque ou un fabricant des produits alimentaires en particulier, mais plutôt sur une base de consommation personnelle des personnes impliquées dans ce projet de recherche.

La méthode de préparation des échantillons cuits, consiste à les transporter à partir de la maison jusqu'au laboratoire dans des sacs en plastique fermés pour éviter la contamination des échantillons. Ils sont conservés par la suite au réfrigérateur ou au congélateur jusqu'au moment de leurs préparations.

La préparation des aliments pour l'irradiation est très simple. Il s'agit d'introduire 1-2 grammes de l'échantillon dans les capsules d'irradiations. Lors de la mise en capsule nous utilisons des instruments en plastique seulement, soit pour couper ou pour manipuler l'échantillon.

Nous avons utilisé très peu d'aliments cuits lors des analyses. La plupart des aliments utilisés sont des aliments crus que nous avons lavé à l'eau distillée lorsque c'est applicable.

Nous les coupons et les mettons dans les capsules d'irradiation. Il faut mentionner que nous avons manipulé les échantillons sous la hotte au laboratoire pour éviter la contamination possible.

Pour chaque aliment nous avons choisi plusieurs fournisseurs et différentes marques pour mieux représenter la réalité de la consommation. Nous avons acheté ou apporté les échantillons d'aliments au fur et à mesure des besoins des expériences et en fonction des résultats obtenus. Également, nous avons évité d'entreposer les échantillons pendant des longues périodes au congélateur avant de les utiliser pour analyse.

#### **4.3 Dosage d'aluminium**

Le dosage de l'aluminium s'est effectué selon la méthode d'analyse proposée plus haut; la première étape est l'irradiation des échantillons dans le réacteur nucléaire SLOWPOKE II de l'Institut de génie nucléaire de L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL. Un point très important auquel il faut porter une attention particulière dans le cas de l'aluminium est la préparation des échantillons avant l'irradiation à cause de l'omniprésence de l'aluminium dans l'environnement. Il faut donc isoler l'échantillon des autres sources de

contamination et les manipulations doivent se faire soigneusement et proprement, afin d'éviter tous les problèmes de contamination (KOSTA, 1982). Avant l'irradiation, l'échantillon doit être scellé dans une capsule en polyéthylène (ZIEF, 1976). Lors de la préparation des échantillons, il faut utiliser du matériel en plastique et non pas en métal.

#### 4.3.1 Préparation des standards

Dans le but de doser l'aluminium par activation neutronique instrumentale, nous utilisons la méthode semi-absolue telle que mentionnée au chapitre 3, qui consiste à comparer le signal enregistré par le système de comptage d'un standard et celui de l'échantillon dont nous désirons connaître la concentration.

Pour préparer les standards nous prenons une quantité connue d'aluminium sous forme de composé moléculaire connu et nous fabriquons une solution en ajoutant de l'eau distillée à un nombre précis de  $\mu\text{g}$  du produit.

Les deux produits chimiques que nous avons utilisés comme standard d'aluminium sont, l'aluminium nitrate ( $\text{Al}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ ) et l'aluminium potassium sulfate ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot \text{K}_2\text{SO}_4 \cdot 24\text{H}_2\text{O}$ ). Nous avons fabriqué des solutions de différentes concentrations pour faire une dizaine d'échantillons que nous irradions dans les conditions suivantes pour finalement calculer la constante d'activation B en ( $\text{cps}/\mu\text{g}$ ) :

$$\Phi = 5 \times 10^{11} \text{ n/cm}^2/\text{sec}$$

$$t_i = 30 \text{ sec}, \quad t_d = 60 \text{ sec}, \quad t_c = 300 \text{ sec}$$



$$\text{Le résultat est } B = 26.7 \pm 1.2 \text{ cps}/\mu\text{g}$$

cps : coups par seconde ( $\text{sec}^{-1}$ )

### 4.3.2 Calcul de la constante d'activation B

Le tableau 4.2 résume les paramètres de calcul de la constante d'activation B et les résultats obtenus.

**Tableau 4.2**  
**Calcul de la constante d'activation B pour l'aluminium**

Masse ( $\mu\text{g}$ )	S	D	T	$N_a$ (cps)	$N_b$ (cps)	B (cps/ $\mu\text{g}$ )
175	0,14334	0,73387	0,78714	412	14,2	28,4
175	0,14334	0,73387	0,78714	432	14,5	29,8
175	0,14334	0,73387	0,78714	410	13,7	28,3
175	0,14334	0,73387	0,78714	400	12,5	27,6
175	0,14334	0,73387	0,78714	387	13,6	26,7
200	0,14334	0,73387	0,78714	423	11,4	25,5
200	0,14334	0,73387	0,78714	452	12,7	27,3
200	0,14334	0,73387	0,78714	472	14,2	28,5
200	0,14334	0,73387	0,78714	439	14,7	26,5
200	0,14334	0,73387	0,78714	465	13,1	28,1
Moyenne				429,2	13,5	27,7
Ecart-type				26,6	1,0	1,2
$N_b / N_a$						3,70%
$B (\text{corrigé}) = B(\text{moyenne}) * (1 - N_b / N_a)$						26,7

### 4.3.3 calculs des facteurs d'interférences

afin de calculer les facteurs d'interférences nucléaires de phosphore et de silicium sur l'aluminium dans les sites d'irradiation, nous avons irradié des standards de phosphore et de silicium, nous avons évalué les facteurs B de chaque élément et calculer les facteurs d'interférences du phosphore et de silicium tel que définie dans le chapitre 3. Les tableaux de résultats 4.3 et 4.4 montrent les résultats obtenus.

**Tableau 4.3  
Calcul de la constante d'activation B pour le phosphore**

T <sub>i</sub> (sec)	T <sub>d</sub> (sec)	T <sub>c</sub> (sec)	N (cps)	M (mg)	B (cps/mg)
30	60	300	131	160	42.0
40	50	300	203	188	40.5
40	60	300	236	192	48.5
40	50	300	185	166	41.8
40	47	300	288	239	44.5
40	33	300	209	168	42.7
40	35	300	219	166	45.8
60	63	300	318	228	39.2
60	45	300	334	200	42.7
60	40	300	318	193000	41.1
<b>Moyenne</b>					<b>42.9</b>

**Tableau 4.4**  
**Calcul de la constante d'activation B pour le silicium**

T <sub>i</sub> (sec)	T <sub>d</sub> (sec)	T <sub>c</sub> (sec)	N (cps)	M (mg)	B (cps/mg)
45	600	300	478	596	109
30	720	300	97	285	125
15	240	300	535	300	105
15	270	300	580	429	93
15	300	300	337	251	108
15	270	300	536	350	105
15	360	300	315	319	108
15	300	300	448	345	104
15	270	300	507	354	98
15	420	300	295	412	107
<b>Moyenne</b>					<b>106</b>

Alors les facteurs d'interférences sont les suivants :

$$(FI)_P = B_{Al} / B_P = 26700/42.9 = 622$$

$$(FI)_{Si} = B_{Al} / B_{Si} = 26700/106 = 252$$

#### **4.3.4 Irradiation dans la piscine du réacteur et calculs des facteurs d'interférences**

Afin de comparer les facteurs d'interférences nucléaires de phosphore et de silicium calculés suite à l'irradiation des standards dans l'eau de la piscine du réacteur SLOWPOKE a ceux des standards irradiés dans les sites d'irradiation.

Nous avons irradié des standards de phosphore et de silicium dans l'eau de la piscine à une distance approximative de  $6\text{ cm}\pm 2$  sur l'axe radiale à l'extérieur de la cuve. Nous avons fait des mesures en variant la distance axiale ou verticale, c'est à dire la profondeur de la position d'irradiation dans la piscine à partir de la limite inférieure des blocs de ciments qui sert de blindage en haut de la piscine du réacteur.

Les échantillons ont été placés dans des grandes capsules en plastique et attaché à l'aide d'une corde qui sert à la maintenir en place lorsque introduit dans l'eau et sert aussi à fixer la distance axiale prédéterminée par la longueur de la corde la précision sur la distance est  $\pm 2\text{ cm}$ .

Nous avons évalué les facteurs B de chaque élément et calculer les facteurs d'interférences du phosphore et de silicium tel que définie dans le chapitre 3.

Les tableaux de résultats 4.5, 4.6, 4.7 et 4.8 montrent les résultats obtenus et la figure 4.1 exprime les facteurs d'interférences en fonction de la position verticale ou axiale.

## **Tableau 4.5** **Calcul de la constante d'activation B pour l'aluminium Irradié dans l'eau de la piscine**

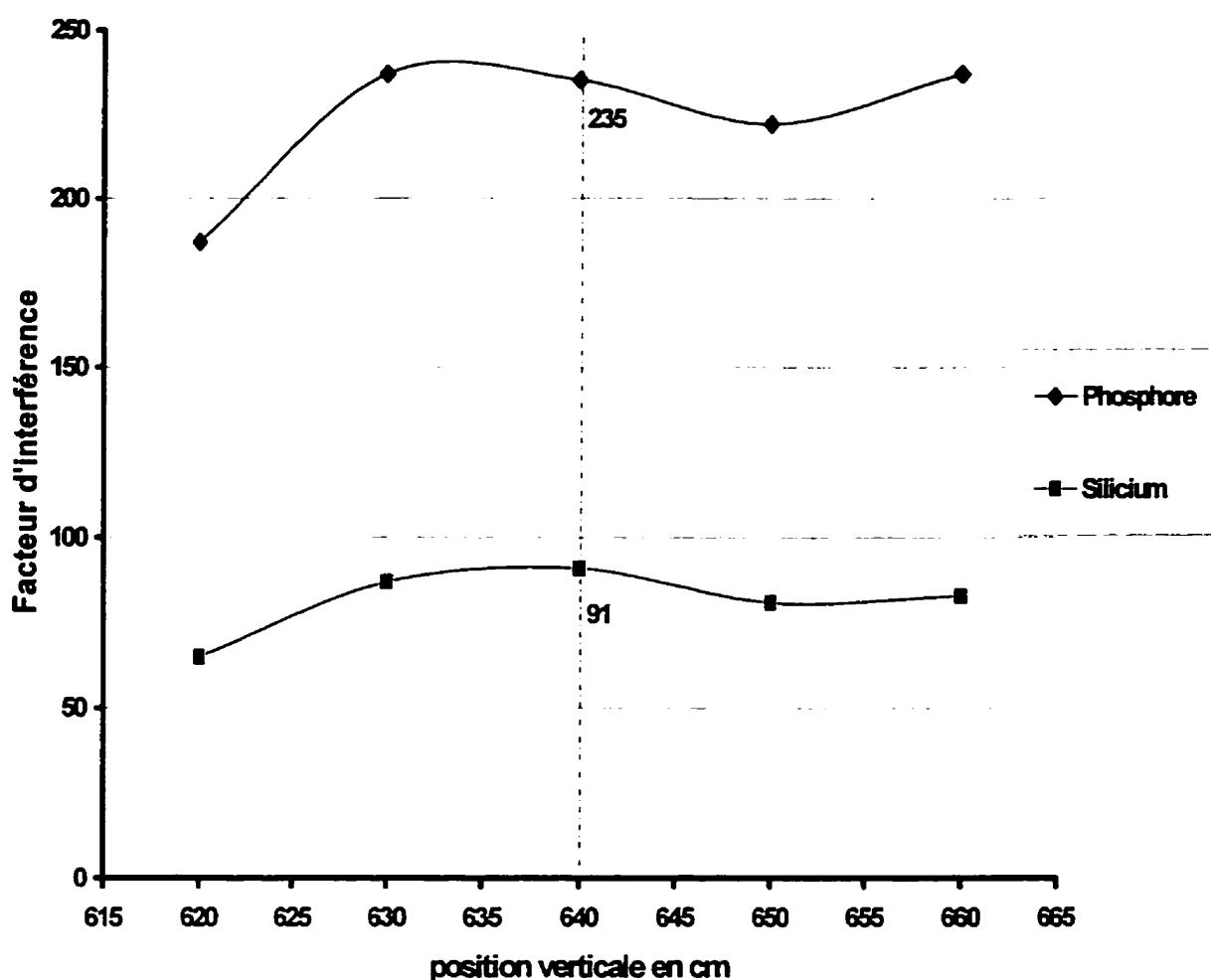
**Tableau 4.6**  
**Calcul de la constante d'activation B pour le phosphore**  
**Irradié dans l'eau de la piscine**

**Tableau 4.7**  
**Calcul de la constante d'activation B pour le silicium**  
**Irradié dans l'eau de la piscine**

Distance Axiale (cm)	T <sub>i</sub> (sec)	T <sub>d</sub> (sec)	T <sub>c</sub> (sec)	N (cps)	M (mg)	B (cps/mg)
620	231	50	300	308	17862	0,063
630	109	40	300	264	17862	0,083
640	245	50	300	390	17862	0,078
650	210	45	300	289	17862	0,061
660	190	50	300	191	17862	0,044
<b>Moyenne</b>						<b>0,068</b>

**Tableau 4.8**  
**Calcul des facteurs d'interférences en fonction de la distance axiale des standards irradiés dans l'eau de la piscine**

Distance Axiale (cm)	B <sub>Al</sub> (cps/mg)	B <sub>P</sub> (cps/mg)	B <sub>Si</sub> (cps/mg)	(FI) <sub>P</sub>	(FI) <sub>Si</sub>
620	4,099	0,022	0,063	187	65
630	7,197	0,030	0,083	237	87
640	7,020	0,030	0,078	235	91
650	4,932	0,022	0,061	222	81
660	3,612	0,015	0,044	237	83



**Figure 4.1** Les facteurs d'interférences en fonction de la position verticale.

#### 4.3.5 Conditions d'irradiation

Les échantillons de standard et des aliments, nous les plaçons pour irradiation dans la cuve du réacteur nucléaire SLOWPOKE dans un flux de  $5 \times 10^{11}$  n/cm<sup>2</sup>/sec. Le réacteur SLOWPOKE a été spécifiquement conçu pour l'analyse par activation neutronique et la production de traceurs radioactifs.

Il s'agit essentiellement d'un réacteur de type piscine utilisant du combustible fortement enrichi, modéré et refroidi à l'eau légère par convection naturelle (AECL, 1975).

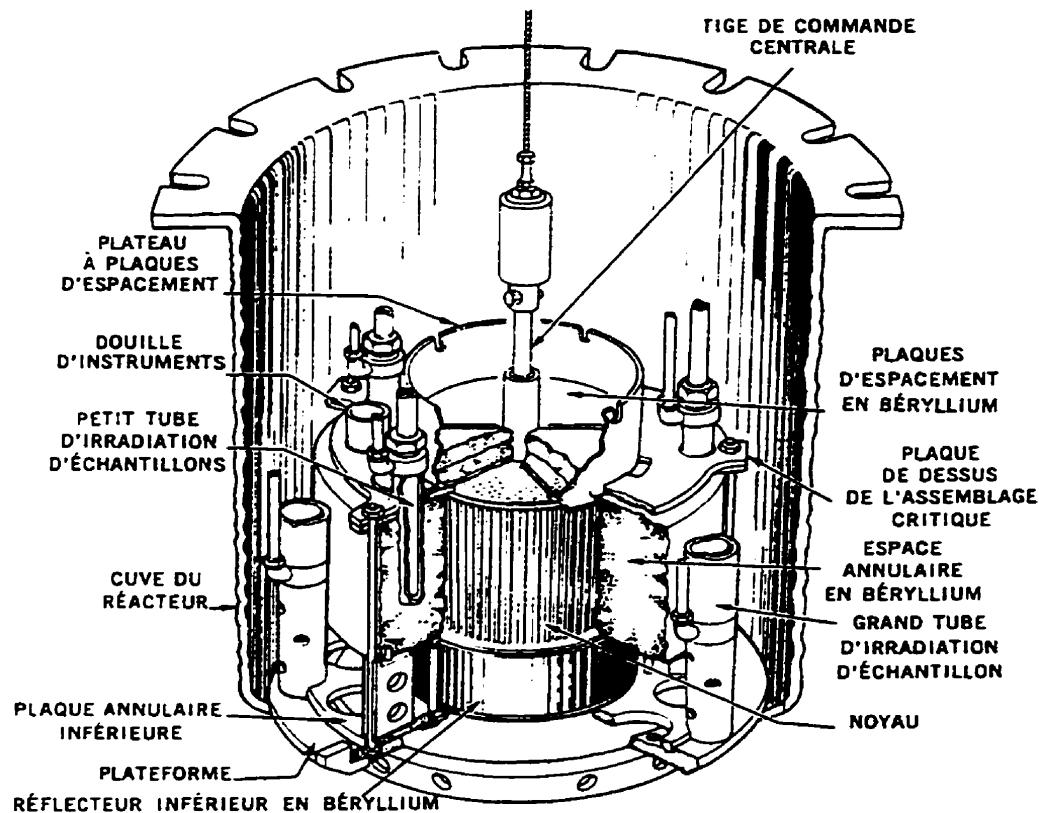
Les sites d'irradiations internes peuvent accepter des capsules en polyéthylène dont le diamètre est 1.58 cm, la longueur est 5.4 cm et dans lesquelles se trouvent scellées deux petites capsules de 10 mm de diamètre et de 23 mm de hauteur. Une des deux contient l'échantillon à irradier, c'est cela que nous plaçons en dessous et nous laissons l'autre au-dessus vide.

L'utilisation d'un tel arrangement lors de l'irradiation est exigée par la Commission de contrôle de l'énergie atomique du Canada afin de contrôler et minimiser les risques de contamination. Le fait d'utiliser un tel arrangement va assurer la reproductibilité géométrique des conditions de l'irradiation.

Le temps d'irradiation est d'environ 200 sec. Les capsules sont transportés vers les sites d'irradiation automatiquement à l'aide d'un système de transfert pneumatique qui assure la sortie rapide des échantillons vers l'extérieur à la fin de la période d'irradiation. La figure 4.2 montre un schéma de la cuve et du cœur de réacteur.

Des capsules de contrôles choisi aléatoirement ont été analysées chaque semaine dans le but de déterminer leur teneur en aluminium. Les résultats ont

démontré une activité induite non mesurable, inférieur à la limite de détection de 0.20 ppm calculé pour la méthode d'analyse utilisée. Le temps de décroissance est d'environ 60 sec.



**Figure 4.2 Les principales composantes du cœur de réacteur SLOWPOKE II**

La figure 4.3 montre les sites d'irradiation, le système de transfert pneumatique et le poste qui contrôle le réglage du temps d'irradiation et les entrées et sorties des capsules.

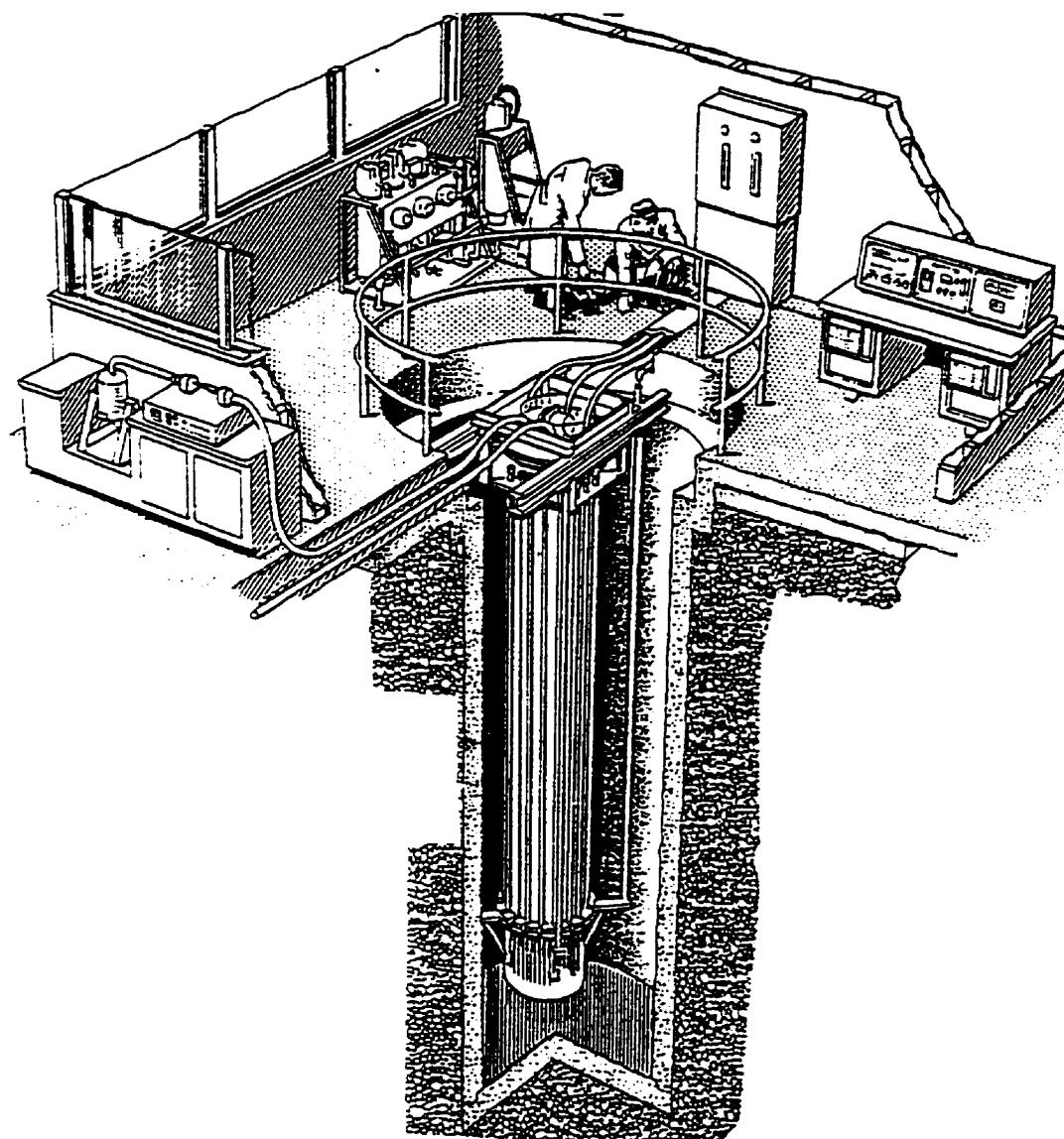


Figure 4.3 Un schéma du réacteur SLOWPOKE II

#### **4.3.6 Conditions de comptage**

Le comptage des échantillons s'effectue en utilisant un système de spectroscopie gamma qui comprend un détecteur Ge, couplé à un préamplificateur (CANBERRA 1413) ainsi qu'un analyseur multicanaux (CANBERRA 8180), ayant 4096 canaux.

Le temps de comptage est d'environ 300 sec. Les capsules sont placées dans la position 0, il s'agit de la position la plus proche du détecteur.

#### **4.3.7 Spectres obtenus**

L'analyse de spectre gamma obtenue à l'aide d'un détecteur Ge consiste à déterminer l'énergie ou le numéro du canal correspondant au pic, et d'en déterminer le nombre des coups enregistrés pour ce pic ou ce canal.

La vérification de la bonne correspondance entre le numéro du canal et l'énergie associée à ce canal en kev se réalise en faisant le comptage d'une source d'énergie connue par exemple celui du  $^{60}\text{Co}$  et d'observer le résultat sur l'écran de l'analyseur pour s'assurer de la correspondance. Une fois que cette vérification de la calibration est faite, nous sommes donc assurés que le numéro du canal correspond à l'énergie.

L'analyseur nous donne le nombre brut des impulsions enregistrées pour le pic. Il faut par la suite calculer la surface nette sous le pic.

La surface nette sous le pic correspond à la concentration de l'élément.

La figure 4.4 présente sous forme graphique le spectre d'un standard d'aluminium tel qu'il est perçu sur l'écran de l'analyseur multicanaux. La figure 4.5 montre le spectre d'un aliment irradié sous les conditions énumérées dans la section précédente de ce chapitre. L'identification du pic de l'aluminium est donc possible. Finalement la figure 4.6 montre le pic d'aluminium seulement tel que nous l'avons isolé du spectre de la figure 4.4.

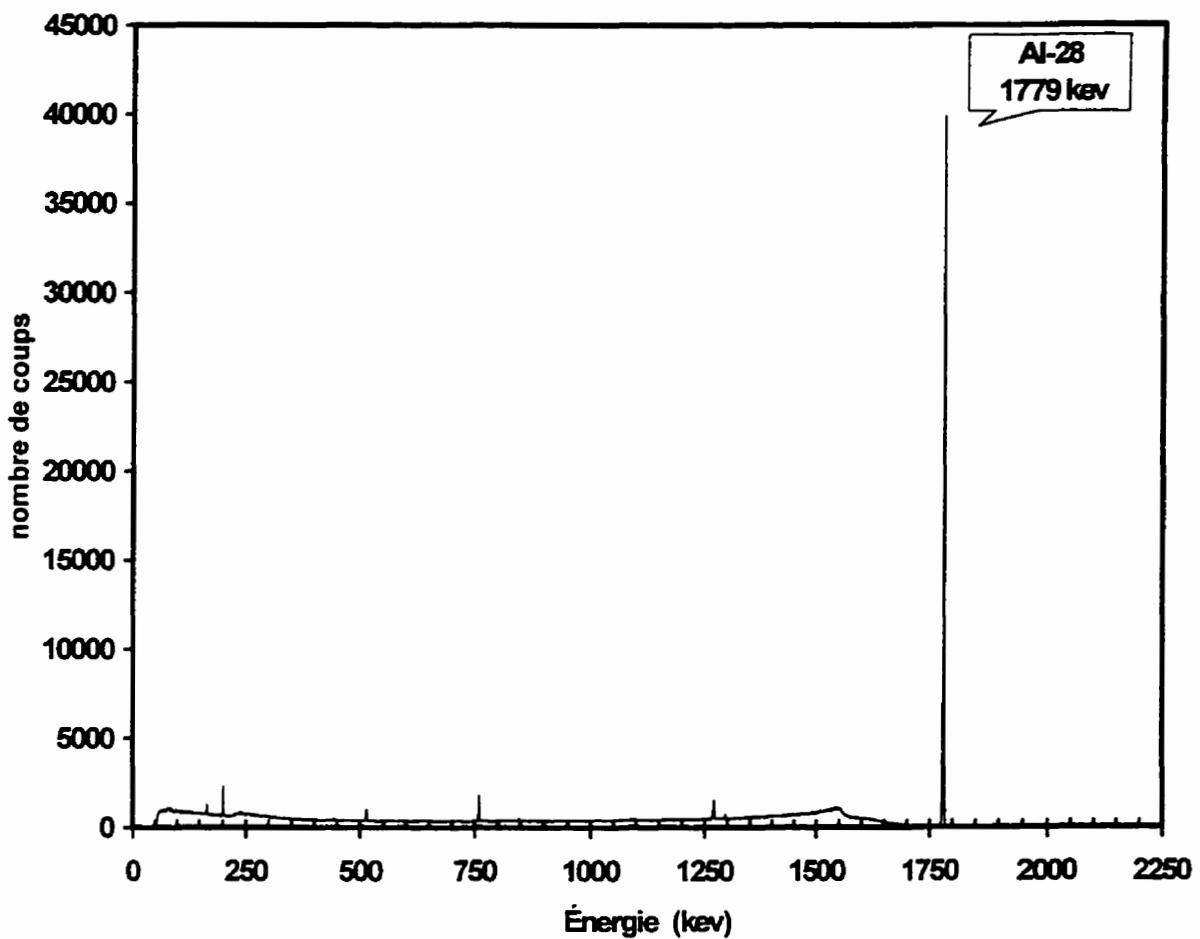
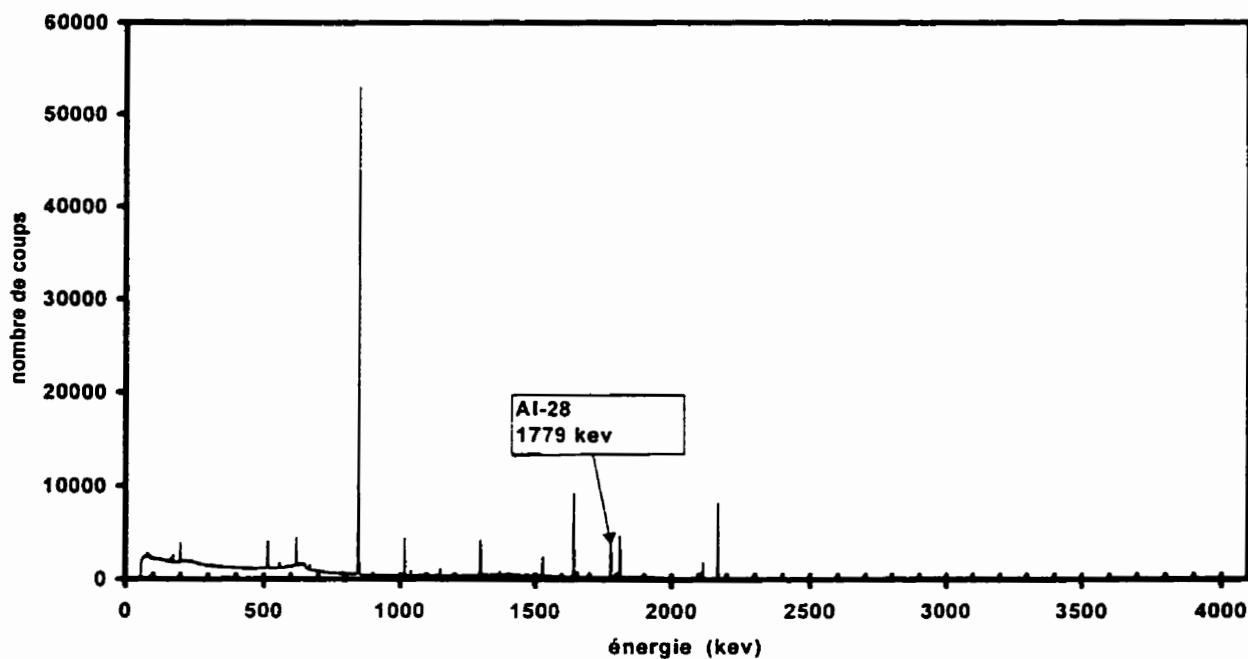
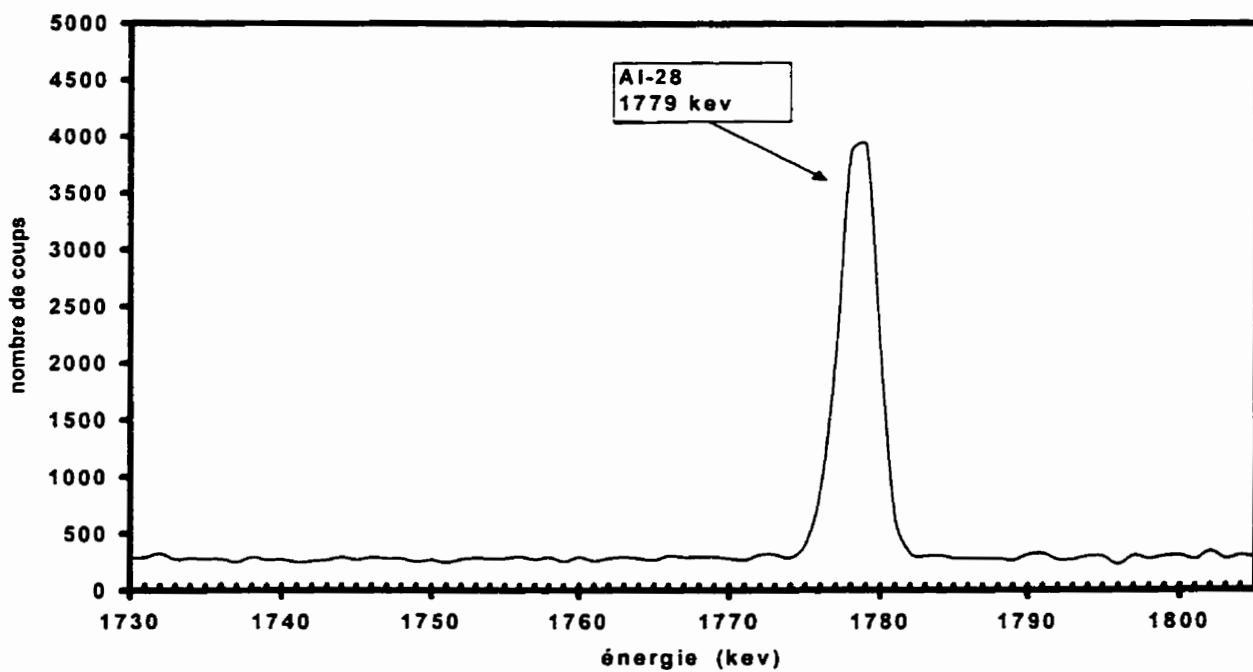


Figure 4.4 Le spectre d'un standard d'aluminium



**Figure 4.5 Le spectre de la farine blanche**



**Figure 4.6 Le pic de l'aluminium dans le spectre de la farine blanche**

#### 4.4 Dosage d'autres éléments chimiques

Nous avons examiné les possibilités théoriques de doser d'autres éléments sans changer les conditions expérimentales, simplement en examinant les spectres gamma obtenus lors de dosage de l'aluminium.

Le tableau 4.9 résume les principaux éléments et réactions nucléaires vraisemblablement obtenus suite à l'irradiation des échantillons d'aliments. Le tableau donne également les informations suivantes :

- La demi-vie :  $T_{1/2}$  en minutes
- L'énergie des rayons gammas émis :  $E_\gamma$  en keV
- L'abondance isotopique des éléments cibles : Al en %
- La constante  $\lambda$  :  $\lambda = \ln(2)/T_{1/2}$  en sec<sup>-1</sup>

Il faut noter que nous nous sommes intéressés aux éléments dont la demi-vie est inférieure à 10 minutes, mais il est donc possible de pouvoir mesurer d'autres éléments chimiques dont la méthode de dosage implique des radio-isotopes de demi-vie plus longue.

Les spectres ont démontré un signal mesurable de sodium pour certains groupes d'aliments à cause de sa forte concentration, malgré que la demi-vie de <sup>24</sup>Na soit de 15.08 heures et le temps d'irradiation était de 200 secondes seulement.

Suite à l'examen des spectres obtenus lors de dosage de l'aluminium, nous avons pu calculer des concentrations pour le Cl, Mg, Ca et V.

**Tableau 4.9**  
**Les principaux éléments probablement mesurables en utilisant les conditions de dosage de l'aluminium**

Éléments	T <sub>1/2</sub> en (min)	E <sub>γ</sub> en (keV)	Réactions nucléaires	Al en %
<sup>27</sup> Mg	9.45	884 1014	<sup>26</sup> Mg (n,γ) <sup>27</sup> Mg <sup>27</sup> Al (n,p) <sup>27</sup> Mg <sup>30</sup> Si (n,α) <sup>27</sup> Mg	11 100 3
<sup>38</sup> Cl	37.2	2167 1642	<sup>37</sup> Cl (n,γ) <sup>38</sup> Cl <sup>38</sup> Ar (n,p) <sup>38</sup> Cl <sup>41</sup> K (n,α) <sup>38</sup> Cl	24 31 7
<sup>49</sup> Ca	8.72	3084	<sup>48</sup> Ca (n,γ) <sup>49</sup> Ca	0.2
<sup>52</sup> V	3.76	1434	<sup>51</sup> V (n,γ) <sup>52</sup> V <sup>52</sup> Cr (n,p) <sup>52</sup> V <sup>55</sup> Mn (n,α) <sup>52</sup> V	99.8 23 100
<sup>60m</sup> Co	5.10	1333	<sup>59</sup> Co (n,γ) <sup>60m</sup> Co <sup>60</sup> Ni (n,p) <sup>60m</sup> Co <sup>63</sup> Cu (n,α) <sup>60m</sup> Co	100 26 69
<sup>66</sup> Cu	5.10	1039	<sup>65</sup> Cu (n,γ) <sup>66</sup> Cu <sup>66</sup> Zn (n,p) <sup>66</sup> Cu <sup>69</sup> Ga (n,α) <sup>66</sup> Cu	31 28 60

#### **4.4.1 Préparation des standards :**

Nous avons préparé, irradié et compté des solutions standard pour les 6 éléments mentionnés dans le tableau 4.9 afin de calculer la constante d'activation B. Le tableau 4.10 résume les résultats des calculs et les conditions expérimentales. Le flux lors des irradiation était de  $5 \times 10^{11} \text{ n/cm}^2/\text{sec}$ .

**Tableau 4.10  
La constante d'activation B de quelques éléments chimiques dosés par activation neutronique**

Éléments	$\lambda_{1/2} (\text{sec}^{-1})$	$t_i$	$t_d$	$t_c$	B (cps/ $\mu\text{g}$ )	E (keV)
$^{27}\text{Mg}$	0.001222	200	60	300	$1.6 \pm 0.13$	1044
$^{38}\text{Cl}$	0.000311	200	60	300	$12 \pm 0.96$	2167
$^{49}\text{Ca}$	0.001325	200	60	300	$0.40 \pm 0.09$	3083
$^{52}\text{V}$	0.003072	30	45	300	$325 \pm 38$	1434
$^{60m}\text{Co}$	0.001102	200	60	300	$8.9 \pm 0.83$	1333
$^{66}\text{Cu}$	0.002265	200	60	300	$7.9 \pm 0.74$	1039

#### **4.5 Validation de la méthode analytique**

Dans le but de valider notre méthode analytique, nous avons analysé des standards certifiés. Sept échantillons de chaque standard ont été analysés. Un aspect important qu'il faut mentionner ici, est la nécessité de corriger la concentration des standards sous forme de poudre, afin de tenir compte de l'humidité absorbée par celles-ci suite aux conditions d'entreposage prolongées dans le laboratoire.

Il faut simplement peser les échantillons avant l'irradiation ensuite les faire subir un processus de séchage une semaine après la deuxième irradiation dans un four de 80°C pendant une heure et de les peser de nouveau.

Nous avons appliqué ce processus sur les deux standards utilisés; les résultats étaient les mêmes. Il y a eu diminution du poids de 8% après le séchage dans le cas de SRM1571 (Orchard leaves), et de 10% dans le cas de SRM1570 (Spinach leaves).

Nous avons utilisé la masse à sec, c'est à dire la masse après séchage dans le calcul de la concentration. Le tableau 4.11 résume les résultats obtenus.

**Tableau 4.11**  
**Résultats des mesures des standards certifiés**

Standard	Élément	Référence	Valeur certifiée (ppm)	Valeur calculée par la méthode analytique utilisée	Écart (%)
SRM1570	Al	NIST	870±50	791±50	9.1%
SRM1571	Al	MORRISON 1993	380±20	328±22	13.7%
SRM1570	Ca	NIST	13500±300	12630±2300	6.4%
SRM1571	Ca	NIST	20900±300	18210±2440	13.4%
SRM1571	Mg	NIST	6200±200	4090±425	34%

## **CHAPITRE 5**

### **RÉSULTATS**

Ce chapitre présente les résultats des analyses effectuées. La concentration moyenne en aluminium, magnésium, chlore, calcium, cuivre et vanadium est rapportée selon le groupe des aliments analysés ou encore selon l'aliment analysé pris individuellement.

Les concentrations seront comparées et analysées au chapitre 6 portant sur la discussion des résultats obtenus. La consommation moyenne canadienne par individu des aliments par année est présentée à partir des données obtenues des publications de Statistique Canada (1994).

Les facteurs de pondération seront calculés et ensuite utilisés pour calculer une estimation de la consommation moyenne en aluminium par individu au Canada pendant une année.

#### **5.1 Concentration de l'aluminium dans les aliments**

Cette section présente les concentrations moyennes de l'aluminium dans tous les aliments analysés sous forme de tableaux et de graphiques. Les concentrations moyennes globales par groupe d'aliments sont présentées en premier, ensuite pour chacun des groupes la concentration moyenne en aluminium de chaque aliment analysé sera présentée.

Les appellations utilisées pour identifier les différents groupes d'aliments sont celles de Statistique Canada. Des aliments divers provenant de 11 groupes pour lesquels des statistiques canadiennes sont disponibles en matière de consommation moyenne annuelle par individu ont été analysés.

### **5.1.1 Groupes d'aliments analysés**

Le tableau 5.1 présente donc les 11 groupes d'aliments auxquels nous faisons référence tout au long de ce chapitre. Le tableau indique également le nombre d'échantillons (N) par groupe et le total analysés lors de cette étude.

**Tableau 5.1**  
**Les groupes d'aliments analysés**

Numéro d'identification du groupe	Type d'aliments	N
1	Céréales et pains	116
2	Sucres et Sirops	33
3	Légumes à gousses et noix	28
4	Huiles et corps gras	19
5	Pommes de terre	25
6	Viandes	33
7	Oeufs et volailles	23
8	Poissons	10
9	Fruits	46
10	Légumes	90
11	Lait et produits laitiers	15

### 5.1.2 Concentrations moyennes par groupe

Les tableaux 5.2 à 5.12 présentent les concentrations d'aluminium obtenues pour chacun des groupes analysés lors de cette étude analytique. Les nombres d'échantillons analysés (N) sont également donnés.

**Tableau 5.2**  
**Concentrations moyennes de l'aluminium dans le groupe 1**  
**(pains et céréales)**

Aliment	Aluminium (mg/kg)	N
Biscuit	2,6	5
Couscous	6,7	5
Crème de blé	0,4	3
Farine blanche A	2,4	10
Farine blanche B	2,3	10
Farine de riz	5,4	5
Farine de seigle	10,7	5
Farine de seigle naturelle	3,8	5
Farine de soya	20,0	5
Farine blanche C	3,8	5
Céréale A	6,3	3
Pain blanc	19,0	5
Pain brun	4,8	5
Pain pour hot dog	4,6	5
Pâte au blé dur	2,9	5
Pâte aux œufs	14,3	5
Pâte A	4,2	5
Riz au jasmin	0,7	5
Riz basmati brun	18,5	5
Riz blanc	2,3	5
Semoule de blé	1,8	5
Son de blé	30,5	5

**Tableau 5.3**  
**Concentrations moyennes d'aluminium dans le groupe 2 (sucres et sirops)**

Aliment	Aluminium (mg/kg)	N
Chocolat A	29,3	5
Chocolat B	25,4	5
Confiture aux fraises	3,2	5
Miel	1,2	5
Sucre à glacer	0,8	5
Sucre brun	2,8	3
Sucre blanc	0,4	5

**Tableau 5.4**  
**Concentrations moyennes d'aluminium dans le groupe 3  
(légumes à gousses et noix)**

Aliments	Aluminium (mg/kg)	N
Arachides	2,0	5
Beurre d'arachides	1,3	5
Amandes	3,1	5
Haricots blancs	29,1	5
Noix mélangées	1,2	5
Pois secs	2,4	3

**Tableau 5.5**  
**Concentrations moyennes d'aluminium dans le groupe 4**  
**(huiles et corps gras)**

Aliment	Aluminium (mg/kg)	N
Beurre	2.3	3
Shortening	1,2	3
Huile B	0.2	5
Huile C	0,4	3
Margarine	1,7	5

**Tableau 5.6**  
**Concentrations moyennes d'aluminium dans le groupe 5 (pommes de terre)**

Aliment	Aluminium (mg/kg)	N
Pomme de terre A	2.8	5
Pomme de terre B	3,2	5
Pomme de terre C	2.1	5
Pomme de terre D	6,6	5
Pomme de terre E	7,1	5

**Tableau 5.7**  
**Concentrations moyennes d'aluminium dans le groupe 6 (viandes)**

Aliment	Aluminium (mg/kg)	N
Agneau cuit	0.8	3
Bœuf haché cru	2,6	5
Porc cuit	6.6	5
Côtelettes de bœuf	2,9	5
Saucisses A	6,6	5
Saucisses B	6,6	5
Steak haché cuit	5.6	5

**Tableau 5.8**  
**Concentrations moyennes d'aluminium dans le groupe 7  
(oeufs et volailles)**

Aliment	Aluminium (mg/kg)	N
Dinde	0.7	3
œuf bouilli	0,1	5
Oie	2.2	5
Poulet frais	1,6	5
Poulet à grains	0,71	5

**Tableau 5.9**  
**Concentrations moyennes d'aluminium dans le groupe 8 (poissons)**

Aliment	Aluminium (mg/kg)	N
Saumon	3.7	5
Truite	0,6	5

**Tableau 5.10**  
**Concentrations moyennes d'aluminium dans le groupe 9 (fruits)**

Aliments	Aluminium (mg/kg)	N
Bananes	0.4	3
Pêches	9,6	5
Mandarines	2.1	3
Oranges	1,5	5
Poires	2,5	5
Pommes A	1,0	10
Pommes B	1.8	5
Pruneaux	2.2	5
Raisins	3.8	5

**Tableau 5.11**  
**Concentrations moyennes d'aluminium dans le groupe 11  
(lait et produits laitiers)**

Aliment	Aluminium (mg/kg)	N
Lait	0.9	12
Yogourt	0,4	3

**Tableau 5.12**  
**Concentration moyenne d'aluminium dans le groupe 10 (légumes)**

Aliments	Aluminium (mg/kg)	N
Betteraves	2,7	5
Brocolis	5,5	3
Carottes	16,3	8
Céleris	0,8	3
Champignons	2,6	5
Choux	1,8	5
Choux de Bruxelles	1,6	3
Choux-fleurs	2,5	5
Concombres	24,1	3
Haricots verts	2,7	3
Laitue A	4,4	3
Laitue B	2,4	5
Mais A	0,8	3
Mais B	1,22	5
Oignons A	2,6	5
Oignons B	2,5	5
Piments	1,8	5
Pois	40,7	5
Radis	2,7	5
Tomates	23,1	6

### 5.1.3 Distribution globale des concentrations obtenues

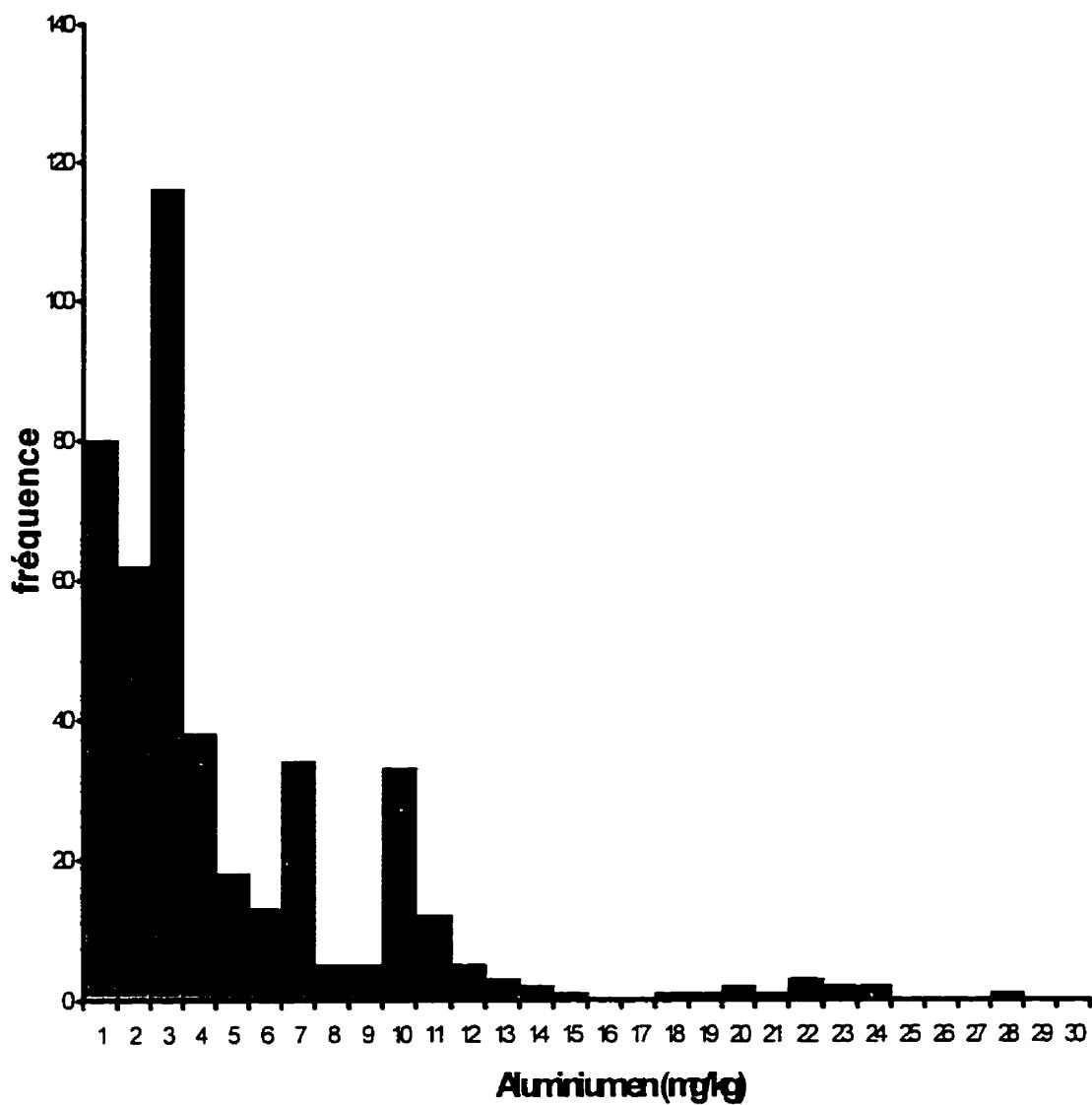
La distribution de la fréquence est tracée pour l'ensemble des résultats obtenus, c'est-à-dire toutes les valeurs des concentrations obtenues pour tous les groupes d'aliments analysés, ce qui permet de caractériser la population d'échantillons analysés au sens statistique.

En théorie des statistiques paramétriques, le type de la distribution des fréquences est relié aux lois statistiques bien définies comme la loi Normal par exemple, où il existe un grand nombre de tests d'hypothèse que nous pouvons appliquer afin de tirer des conclusions intéressantes.

Le tableau 5.13 présente les distributions obtenues par intervalle de concentration suivi par la figure 5.1 qui exprime les mêmes résultats sous forme graphique.

**Tableau 5.13**  
**Fréquence des concentrations d'aluminium dans les aliments**

Intervalle de concentration (mg/kg)	Nombre d'échantillons
0.0-1.0	80
1.1-2.0	62
2.1-3.0	116
3.1-4.0	38
4.1-5.0	18
5.1-6.0	13
6.1-7.0	34
7.1-8.0	5
8.1-9.0	5
9.1-10	33
10.0-11	12
11.1-12	5
12.1-13	3
13.1-14	2
14.1-15	1
15.1-16	0
16.1-17	0
17.1-18	1
18.1-19	1
19.1-20	2
20.1-21	1
21.1-22	3
22.1-23	2
23.1-24	2
24.1-25	0
25.1-26	0
26.1-27	0
27.1-28	1
28.1-29	0
29.1-30	0



**Figure 5.1 La fréquence des concentrations d'aluminium dans les aliments.**

## 5.2 Dosage d'autres éléments présents dans les aliments

Les spectres obtenus ont fait l'objet d'une analyse dans le but de déterminer s'il nous est possible de doser d'autres éléments chimiques. Nous avons constaté que le calcium, le chlore, le magnésium et le vanadium peuvent être dosés sous les mêmes conditions d'irradiation, de décroissance et de comptage que l'aluminium.

Les concentrations de ces éléments ont été effectivement évaluées et dans cette section les résultats de cette évaluation seront présentés.

Pour certains groupes, certains éléments ne sont pas présents ou encore ne sont pas détectables par la méthode utilisée car les conditions d'irradiation et de comptage n'ont pas été optimisées au départ pour eux.

### 5.2.1 Concentrations moyennes par groupe d'aliments

Le tableau 5.14 exprime les concentrations moyennes obtenues par groupe d'aliments des éléments suivants :

- Mg : magnésium
- Cl : chlore
- Ca : calcium
- V : vanadium

**Tableau 5.14**  
**Concentration moyenne de Mg, Cl, Ca et V par groupe d'aliments**

Groupe	V (mg/kg)	Cl (mg/kg)	Ca (mg/kg)	Mg (mg/kg)	N
1	<0.05	294	777	671	116
2	0,09	478	361	224	33
3	0,08	214	2327	722	28
4	<0.05	27	186	226	19
5	<0.05	717	90	121	25
6	<0.05	684	102	136	33
7	<0.05	838	407	91	23
8	<0.05	951	85	151	10
9	<0.05	172	381	85	46
10	<0.05	450	485	133	90
11	<0.05	796	3072	115	15

### 5.2.2 Dosage du magnésium

Le magnésium est le deuxième élément sous forme ionique en terme de nombre et d'importance dans le milieu intracellulaire. Dans le corps humain 60% du magnésium se trouve dans les os et 26% dans les muscles, le restant se trouve dans les tissus mous et dans les liquides extracellulaires.

Il joue un rôle important dans les réactions enzymatiques de l'ATP. Il est aussi impliqué dans plus de 300 enzymes qui jouent des rôles dans le métabolisme des aliments, la synthèse des acides gras et des protéines.

Il agit également au niveau des activités neuromusculaires, il agit comme élément antagoniste au calcium dans les mécanismes de contraction musculaire (ISERI,1994).

Le pourcentage d'absorption du magnésium dans le corps est de 35-45%, il se fait au niveau de l'intestin grêle.

Lorsqu'on augmente la consommation du magnésium, les mécanismes de régulation font en sorte que l'excédant soit éliminé par l'urine et la concentration du magnésium dans le sang reste constante pour une longue période. Il est donc très difficile de déterminer la carence du magnésium dans l'alimentation des individus par simple dosage au niveau du sang (CZAJKA-NARINS,1996).

Le magnésium dans la diète a été évalué à 187-194 mg/jour pour les femmes et de 250-297 mg/jour pour les hommes (PENNINGTON,1990).

La consommation moyenne recommandée est de 350 mg/jour pour les hommes de 25-50 ans et de 280 mg/jour pour les femmes du même groupe d'âge (NAS,1989).

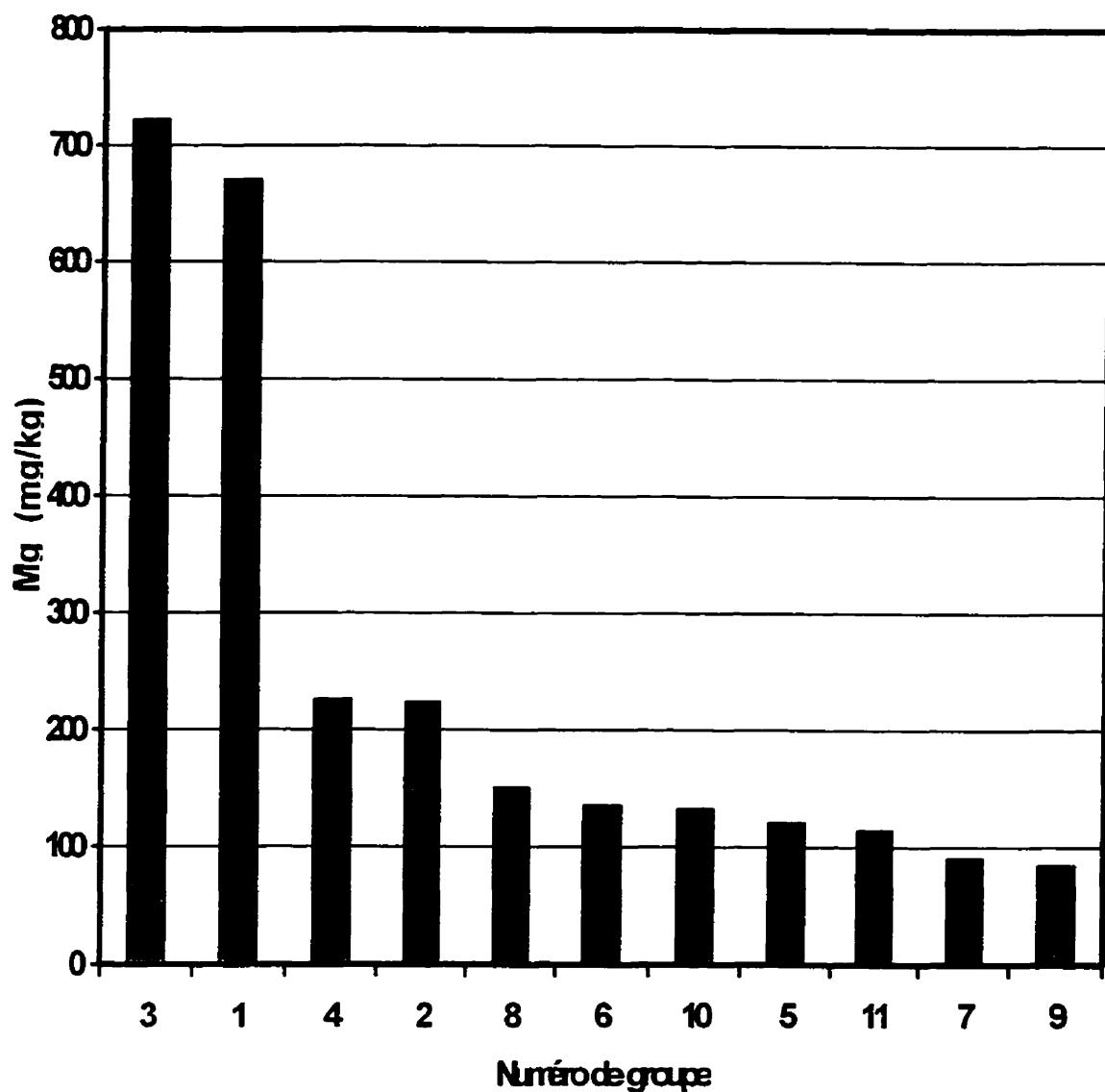
On trouve le magnésium dans les aliments tel que les noix, céréales et les sucres.

Le tableau 5.15 présente les paramètres statistiques relatifs à la concentration de Mg dans les 11 groupes d'aliments. La figure 5.2 présente graphiquement les concentrations moyennes par groupe d'aliments.

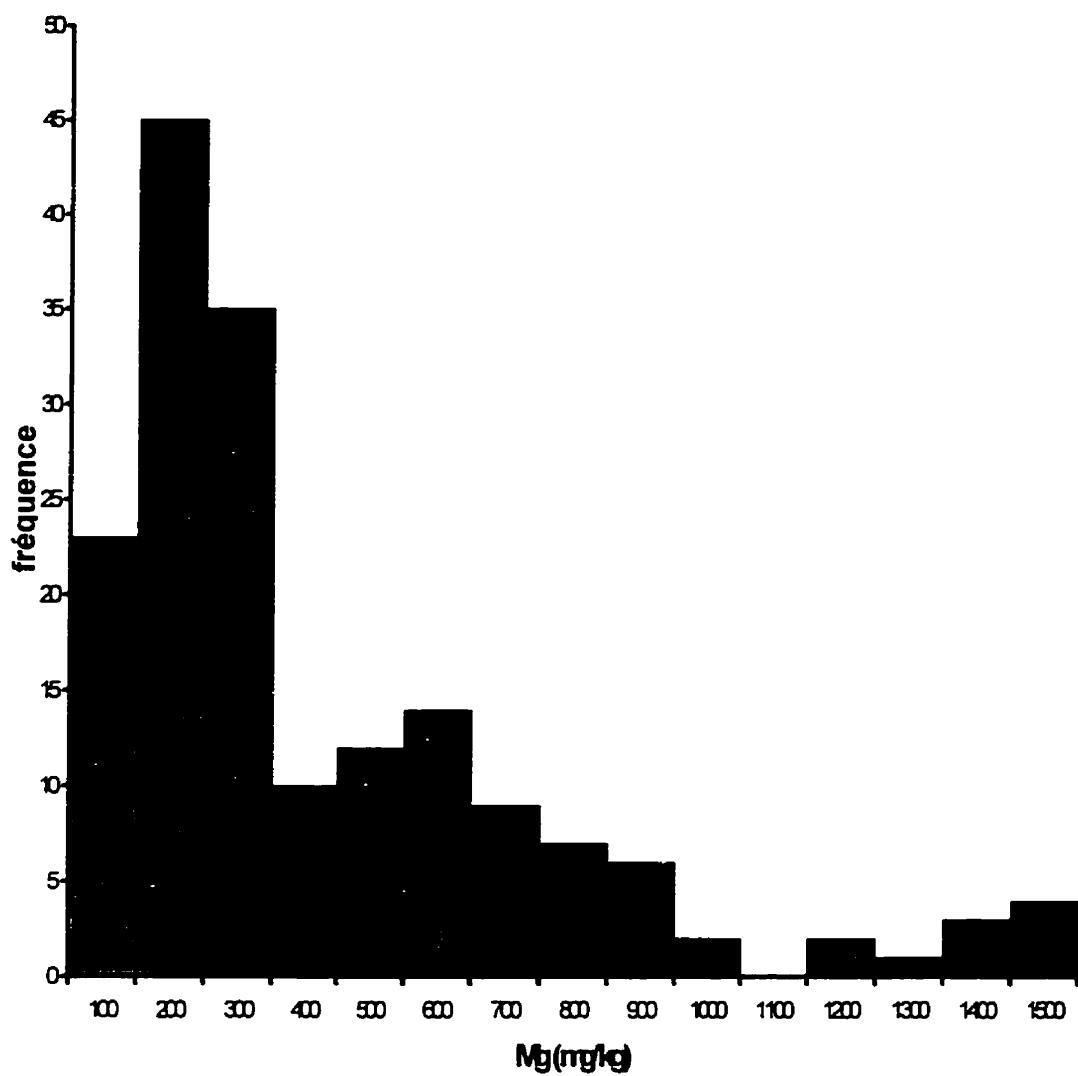
La distribution de valeurs de la concentration de Mg sous forme d'un graphique du nombre des valeurs observées (la fréquence) par intervalle de concentration donné est tracé dans la figure 5.3 .

**Tableau 5.15**  
**Résultats globaux de la concentration du magnésium dans les aliments**

Groupe	C <sub>moy</sub> (mg/kg)	C <sub>max</sub> (mg/kg)	C <sub>min</sub> (mg/kg)	σ (mg/kg)	σ (%)
1	671	1488	135	482	72%
2	224	682	6	294	131%
3	722	990	107	625	87%
4	226	683	6	236	104%
5	121	193	98	28	23%
6	136	287	20	75	54%
7	91	224	32	77	83%
8	151	194	96	41	27%
9	85	269	21	70	81%
10	133	463	47	111	82%
11	115	356	28	121	100%



**Figure 5.2 Concentration moyenne du magnésium en mg/kg en fonction des groupes d'aliments**



**Figure 5.3 La fréquence des concentrations du magnésium dans les aliments**

### 5.2.3 Dosage du chlore

Le chlore sous forme ionique se trouve partout dans le corps. Sur le plan cellulaire le chlore et le sodium sont les principaux ions extracellulaires responsables de maintien de l'équilibre osmotique.

Le chlore participe également au maintien de l'équilibre acide-base au niveau de tous les liquides biologiques du corps humain.

Les concentrations les plus élevées du chlore se trouvent dans les liquides cerebrospinal, gastrique et pancréatique (WHITMIRE, 1996).

Le chlore est complètement absorbé dans les intestins. Il est excrété par les urines et la transpiration au même titre que le sodium.

Le NaCl est la principale source d'alimentation en chlore pour les hommes. L'estimation de l'absorption moyenne quotidienne du chlore est évaluée à 3000-9000 mg.

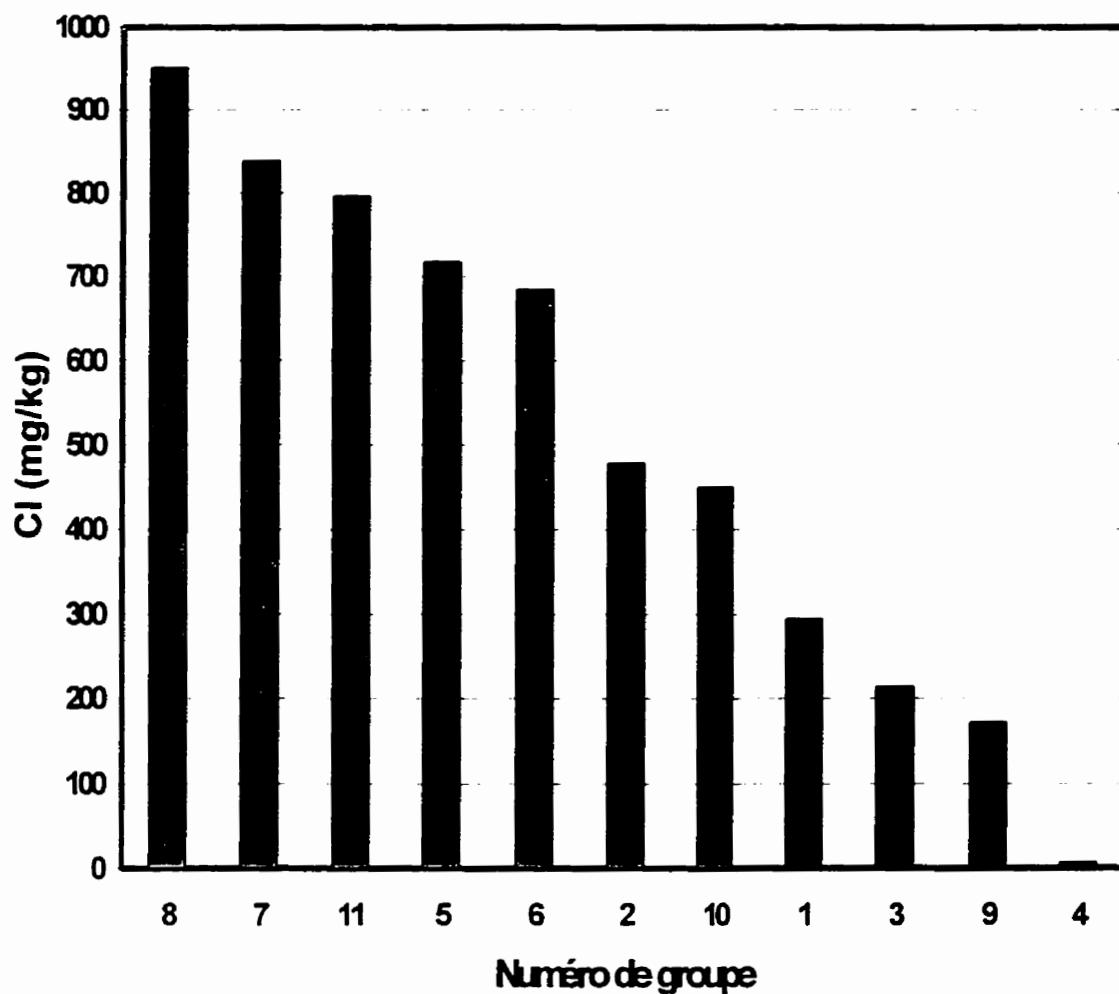
Le chlore dans l'eau potable contribue marginalement dans la consommation globale de celui-ci par la diète.

La consommation moyenne recommandée est de 750 mg/jour (NAS, 1989).

Le tableau 5.16 présente les résultats obtenus pour le dosage du chlore et la figure 5.4 présente les résultats d'analyse du chlore dans chaque groupe dans l'ordre décroissant. La distribution de la fréquence en fonction de intervalles de concentration est tracée au figure 5.5 .

**Tableau 5.16**  
**Résultats globaux de la concentration du chlore dans les aliments**

Groupe	C <sub>moy</sub> (mg/kg)	C <sub>max</sub> (mg/kg)	C <sub>min</sub> (mg/kg)	σ (mg/kg)	σ (%)
1	294	608	60	205	70%
2	478	1355	31	560	117%
3	214	264	100	60	28%
4	27	41	21	13	43%
5	717	995	602	117	16%
6	684	914	481	142	21%
7	838	1318	36	431	52%
8	951	1582	546	415	44%
9	172	758	31	247	144%
10	450	1341	133	338	101%



**Figure 5.4 Concentration moyenne du chlore en mg/kg en fonction des groupes d'aliments**

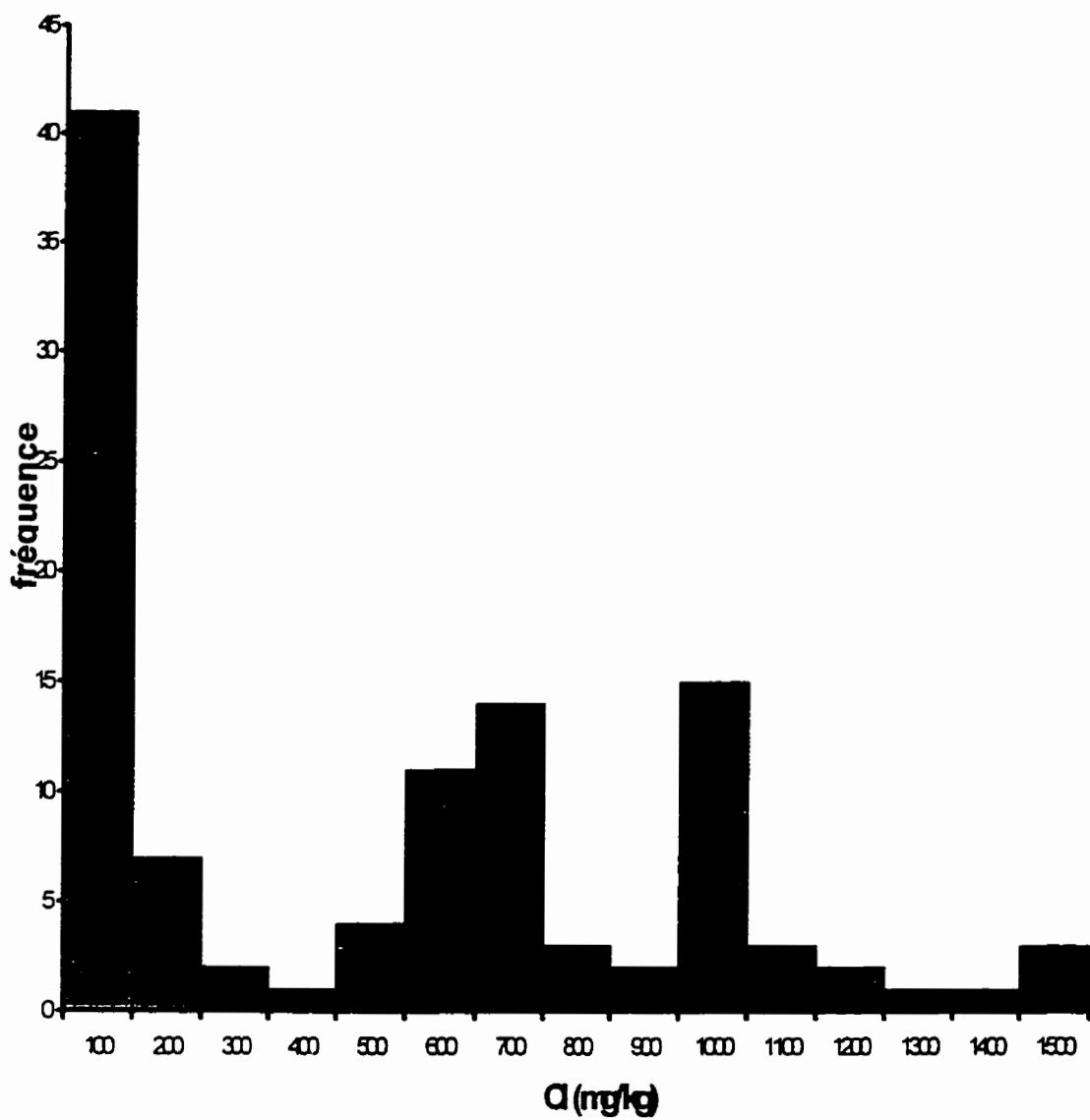


Figure 5.5 La fréquence des concentrations du chlore dans les aliments.

#### 5.2.4 Dosage du calcium

Le calcium est l'élément minéral le plus abondant dans le corps humain. Il constitue à lui seul environ 2% du poids total de l'homme moyen et de 39% du total des minéraux dans l'organisme.

99% du calcium se trouve dans les os et les dents. 1% est sous forme ionique dans les liquides extracellulaires, intracellulaires et les tissus mous.

Autre que son rôle important dans le maintien et le développement des os et des dents, le calcium a un rôle important dans le processus de transport membranaire cellulaire et dans le contrôle de l'émission des neurotransmetteurs au niveau des jonctions synaptiques.

Il a également un rôle dans la régulation du rythme cardiaque et dans le fonctionnement de plusieurs hormones et enzymes. Il est impliqué dans le métabolisme de la vitamine D (ROBERTSON, 1988).

Le calcium est principalement absorbé au niveau de duodénum dans un environnement à pH acide, 10% seulement de l'absorption se fait au niveau des intestins grêles. L'élimination se fait par les selles et les urines d'une façon égale.

Le besoin en calcium est essentiel pour les enfants, adolescents, adultes et femmes enceintes.

La consommation moyenne recommandée est de 800 mg/jour pour les hommes et les femmes de 25-50 ans (NAS, 1989).

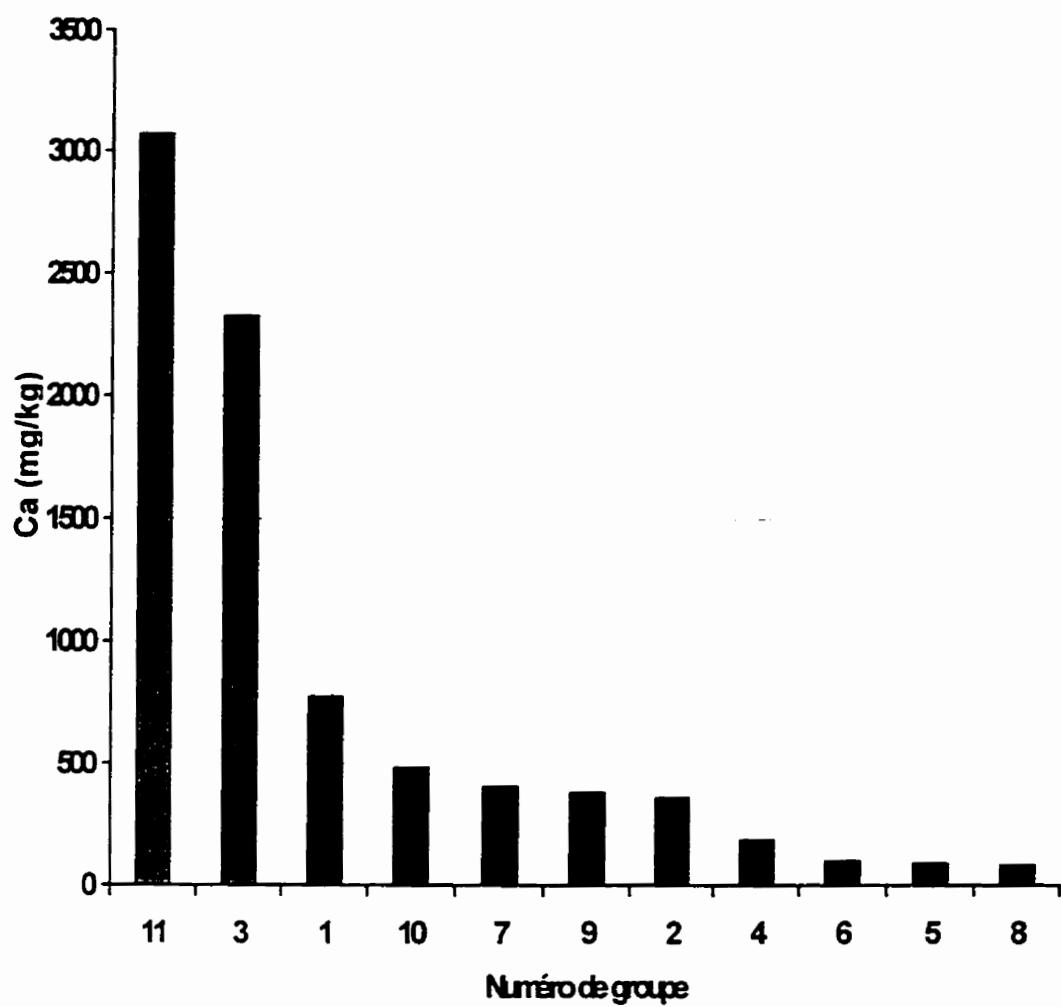
On trouve le calcium dans les aliments comme le lait et les produits laitiers, les légumes, les céréales et les noix.

Le tableau 5.17 présente les résultats d'analyse du calcium dans les aliments, ils sont classés dans l'ordre décroissant et présentés sous forme d'histogramme au figure 5.6 .

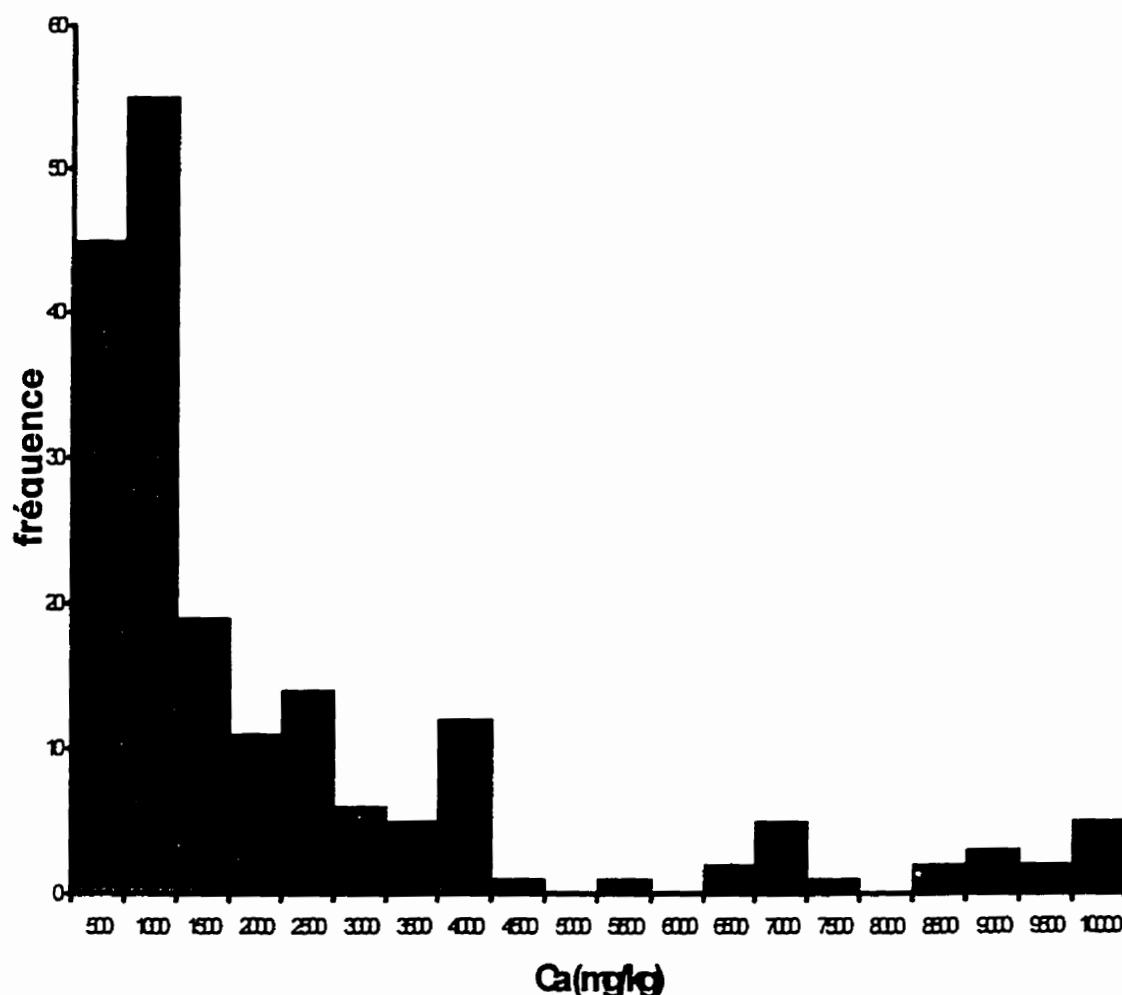
La distribution de la fréquence en fonction de intervalles de concentration est tracée au figure 5.7 .

**Tableau 5.17**  
**Résultats globaux de la concentration du calcium dans les aliments**

Groupe	$C_{moy}$ (mg/kg)	$C_{max}$ (mg/kg)	$C_{min}$ (mg/kg)	$\sigma$ (mg/kg)	$\sigma$ (%)
1	777	2347	48	969	125%
2	361	1105	28	331	92%
3	2327	2608	1706	364	16%
4	186	276	27	127	68%
5	90	194	29	53	59%
6	102	179	17	57	56%
7	407	1024	33	458	112%
8	85	135	51	33	39%
9	381	1079	19	349	91%
10	485	1359	16	422	87%
11	3072	9506	942	3497	114%



**Figure 5.6 Concentration moyenne du calcium en mg/kg en fonction des groupes d'aliments**



**Figure 5.7 La fréquence des concentrations du calcium dans les aliments**

### 5.2.5 Dosage du vanadium

Le vanadium est considéré comme un élément essentiel. Il joue un rôle d'inhibiteur chez les enzymes impliqués dans les processus de l'hydrolyse des phosphates comme le phosphotyrosine-phosphatase et l'adénosine-triphosphatase. Il a un rôle dans le transport du glucose au niveau cellulaire. Il agit sur la glande thyroïde et la métabolisme de l'iode (NIELSEN, 1990).

Le vanadium est faiblement absorbé par les voies gastro-intestinales, il est cependant absorbé par les voies respiratoires.

Il est généralement éliminé par les selles. Dans le cas où il est absorbé par l'organisme il va se trouver dans les reines ou il est éliminé par les urines (WHO, 1988).

La consommation moyenne du vanadium par la diète a été estimé à 11 µg/jour chez l'adulte (PENNINGTON, 1987).

Les bonnes sources du vanadium sont les légumes à gousse et les noix et les céréales de grains entiers.

Dans le cas du vanadium, nous avons détecté uniquement dans 3 groupes sur 11 des valeurs de la concentration de cet élément. Le tableau 5.18 contient les résultats obtenus.

**Tableau 5.18**  
**Résultats globaux de la concentration du vanadium dans les aliments**

Groupe	C <sub>moy</sub> (mg/kg)	C <sub>max</sub> (mg/kg)	C <sub>min</sub> (mg/kg)	σ (mg/kg)	σ (%)
1	<0.05				
2	.09	.18	.01	.04	44%
3	.08	.11	.05	.05	63%
4	.02	.06	.01	.01	50%
5	<0.05				
6	<0.05				
7	<0.05				
8	<0.05				
9	<0.05				
10	<0.05				
11	<0.05				

### 5.3 La consommation des aliments au Canada

La consommation des aliments au Canada à été compilée par Statistique Canada pour l'année 1994 (STATISTIQUE CANADA, 1995), ces statistiques sont basées sur la consommation apparente des aliments par personne au Canada.

Les donnés statistiques sont disponibles pour la plupart des aliments, mais pour certains aliments ils peuvent être non disponibles dû à plusieurs facteurs dont un est que les aliments en question soient consommés d'une façon marginale au Canada. Dans ce cas les chiffres obtenus sont de faibles valeurs pour qu'ils puissent être compilés ou encore les donnés sont de nature confidentielle en vertu des dispositions de la Loi sur la statistique relative à la confidentialité.

Citons ici à titre d'exemple quelques-uns de ces produits ou aliments :

Pommes : en conserve – séchées - congelées

Abricot : en conserve - congelés

Mais : en conserve – congelés

Poissons : traités – en conserve

Melons : frais

Pêches : fraîches – en conserve – congelées

Poires : fraîches – en conserve

Épinards : frais – en conserve – congelés

Tomates : Ketchup

Les donnés telles que mentionnées dans la publication de Statistique Canada proviennent de plusieurs sources, dont des ministères provinciaux et fédéraux, d'associations de producteurs et agences de commercialisation.

Dans cette section les données sur la consommation des aliments au Canada sont présentées selon la référence mentionnée. L'importance relative en terme de consommation, d'un aliment ou encore d'un sous-groupe d'aliments à l'intérieur d'un même groupe est clairement démontrée sous forme graphique, et ceci pour l'ensemble des groupes.

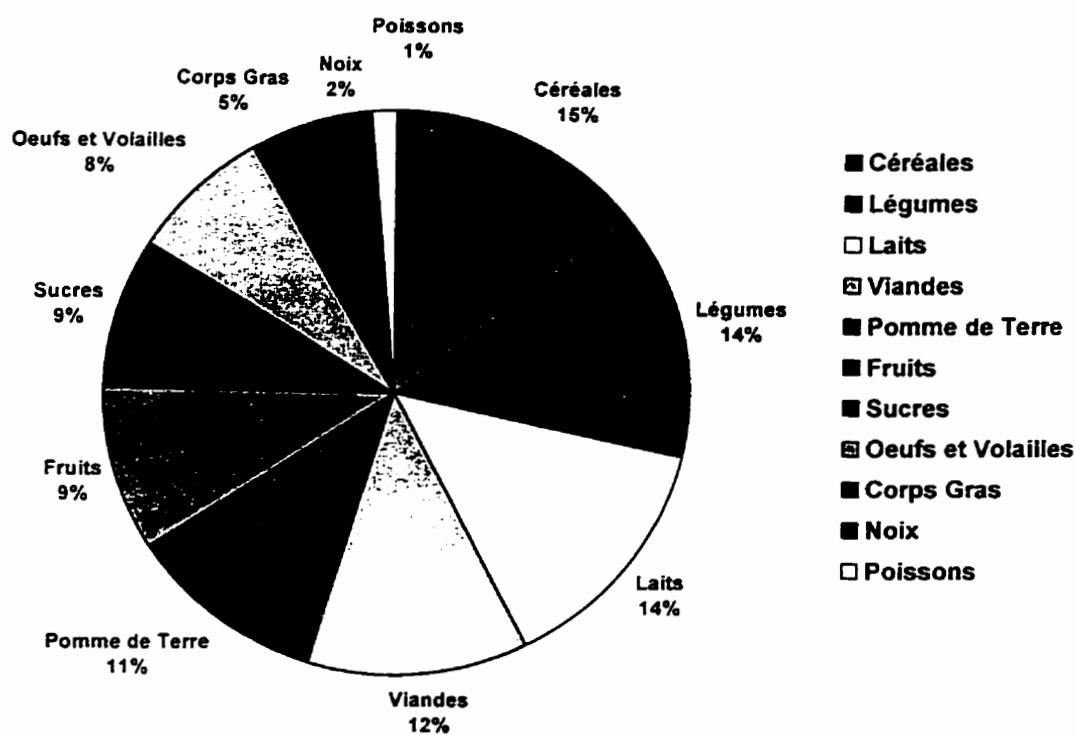
Les valeurs obtenues sont utilisées afin de calculer une estimation de la consommation moyenne d'aluminium au Canada. Les pourcentages de consommation relatifs aux 11 groupes d'aliments sont présentés sous forme graphique à la figure 5.8. Le tableau 5.19 contient la consommation moyenne des 11 groupes d'aliments analysés lors de cette étude.

Il faut aussi remarquer que dans la section 5.1 nous avons présenté dans des tableaux les résultats de mesure de la concentration d'un certain nombre d'aliments qui ne représente pas d'intérêt sur le plan de la consommation moyenne au Canada selon les statistiques. Ces aliments sont présents dans les résultats à cause qu'ils ont été analysés et ils ne seront pas considérés dans l'évaluation de la consommation moyenne annuelle en aluminium par individu au Canada.

Les tableaux 5.20 à 5.28 présenteront pour 9 des 11 groupes la consommation moyenne de chaque aliment ou encore de chaque sous-groupe d'aliments selon le cas. Les figures 5.9 à 5.17 illustrent les résultats d'une façon plus visuelle sous forme de graphique.

**Tableau 5.19**  
**La consommation moyenne des aliments au Canada**

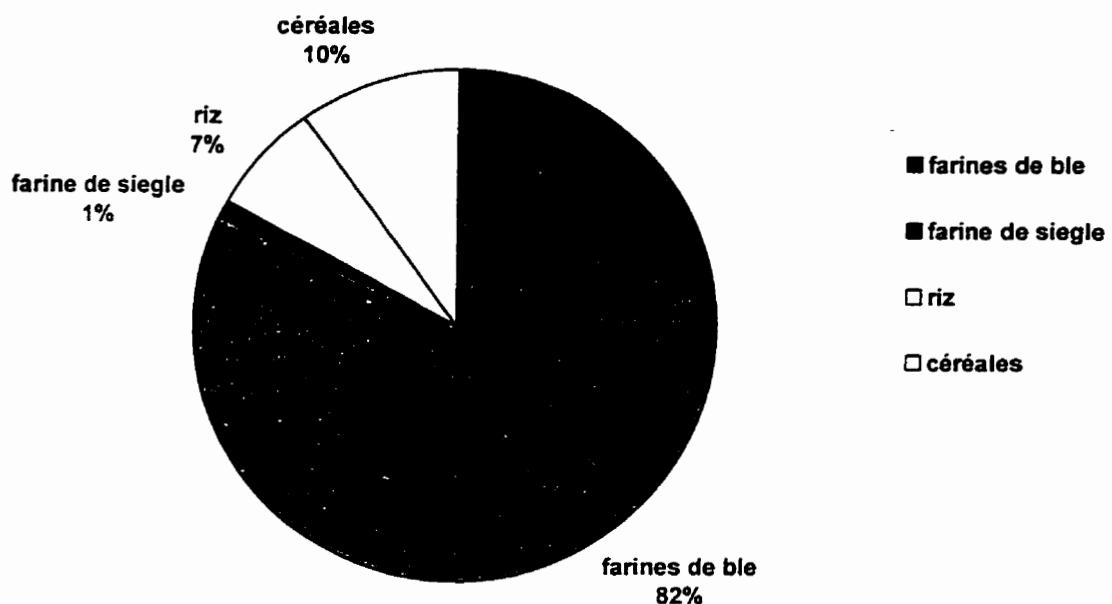
Groupe	Produits ou Aliments	Kg/An	Kg/jour
1	Pains et céréales (farine, pâte, riz)	71,95	0,197123
2	Sucres et sirops (miel, confiture)	43,33	0,118712
3	Légumes à gousses et Noix	10,54	0,028876
4	Huiles et Corps Gras	24,23	0,066383
5	Pommes de Terre	54,98	0,150630
6	Viandes	61,50	0,168493
7	Oeufs et Volailles	38,88	0,106520
8	Poissons	6,36	0,017424
9	Fruits	47,06	0,128931
10	Légumes	70,92	0,194301
11	Lait et Produits Laitiers	69,23	0,189671



**Figure 5.8** La consommation moyenne des aliments au Canada

**Tableau 5.20**  
**La consommation moyenne des aliments du groupe 1**  
**(pains et céréales) au Canada**

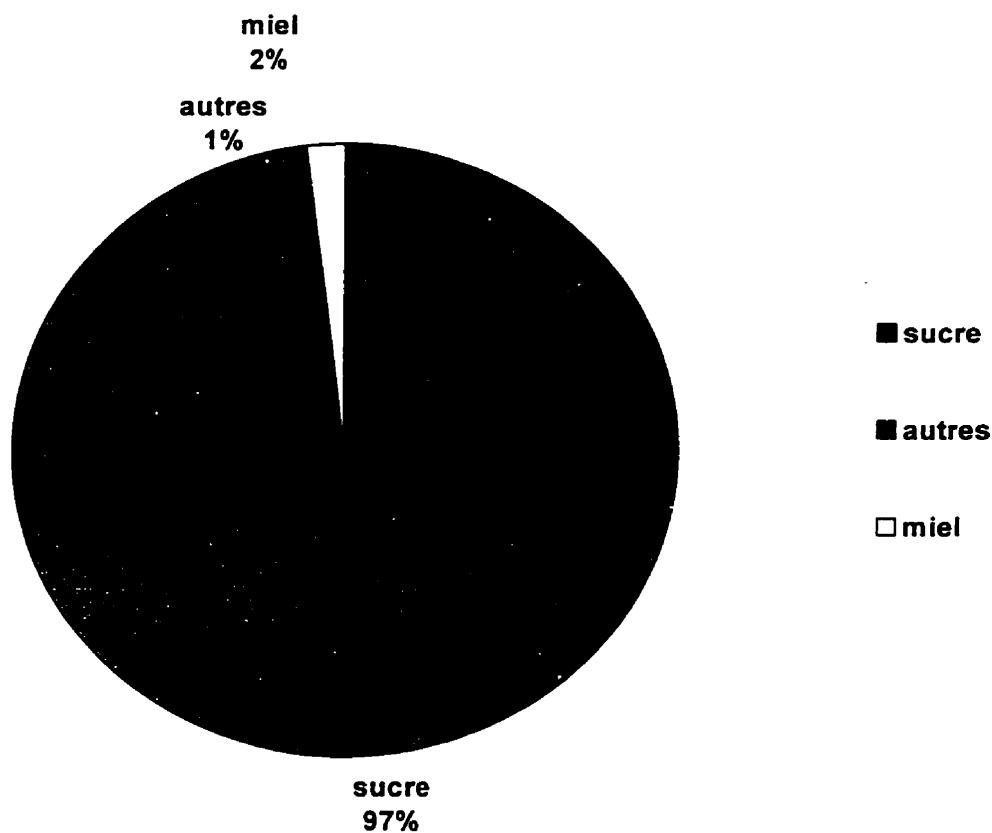
Aliments	Kg/An	Kg/jour
Farines de blé	58,999	0,161641
Farine de seigle	0,720	0,001971
Riz	5,037	0,013798
Céréales	7,195	0,019712



**Figure 5.9 La distribution de la consommation moyenne des aliments du groupe 1 (pains et céréales)**

**Tableau 5.21**  
**La consommation moyenne des aliments du groupe 2**  
**(sucres et sirops) au Canada**

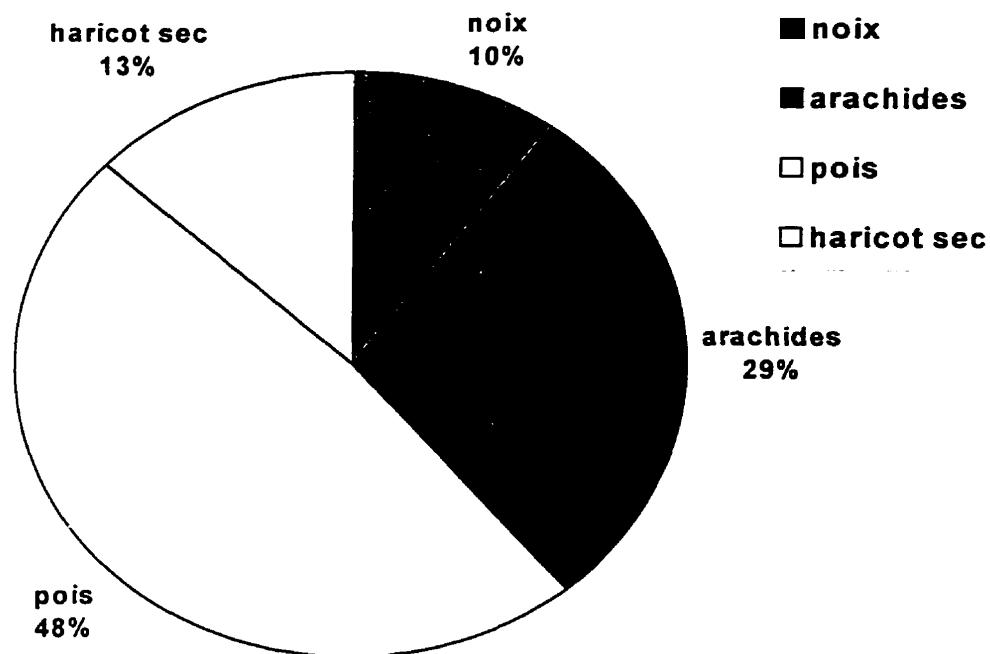
Aliments	Kg/An	Kg/jour
miels	0,867	0,002374
autres	0,433	0,001187
sucres	42,030	0,115150



**Figure 5.10 La distribution de la consommation moyenne des aliments du groupe 2 (sucres et sirops)**

**Tableau 5.22**  
**La consommation moyenne des aliments du groupe 3**  
**(légumes à gousses et noix) au Canada**

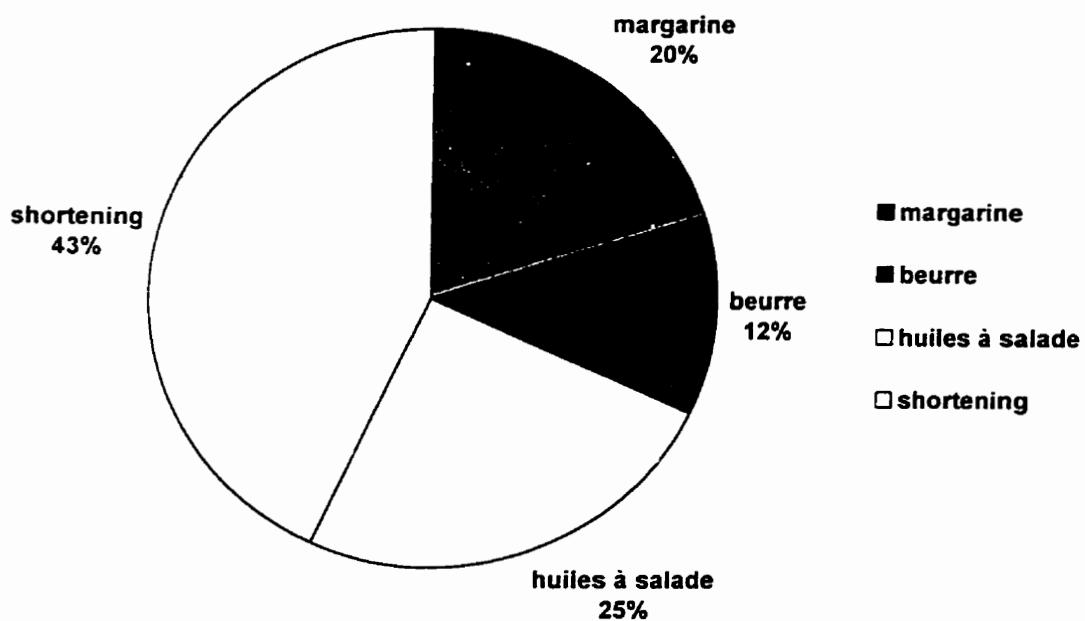
Aliments	Kg/An	Kg/jour
noix	1,054	0,002887
arachides	3,057	0,008374
pois	5,059	0,013860
haricots secs	1,370	0,003753



**Figure 5.11 La distribution de la consommation moyenne des aliments du groupe 3 (légumes à gousses et noix)**

**Tableau 5.23**  
**La consommation moyenne des aliments du groupe 4**  
**(huiles et corps gras) au Canada**

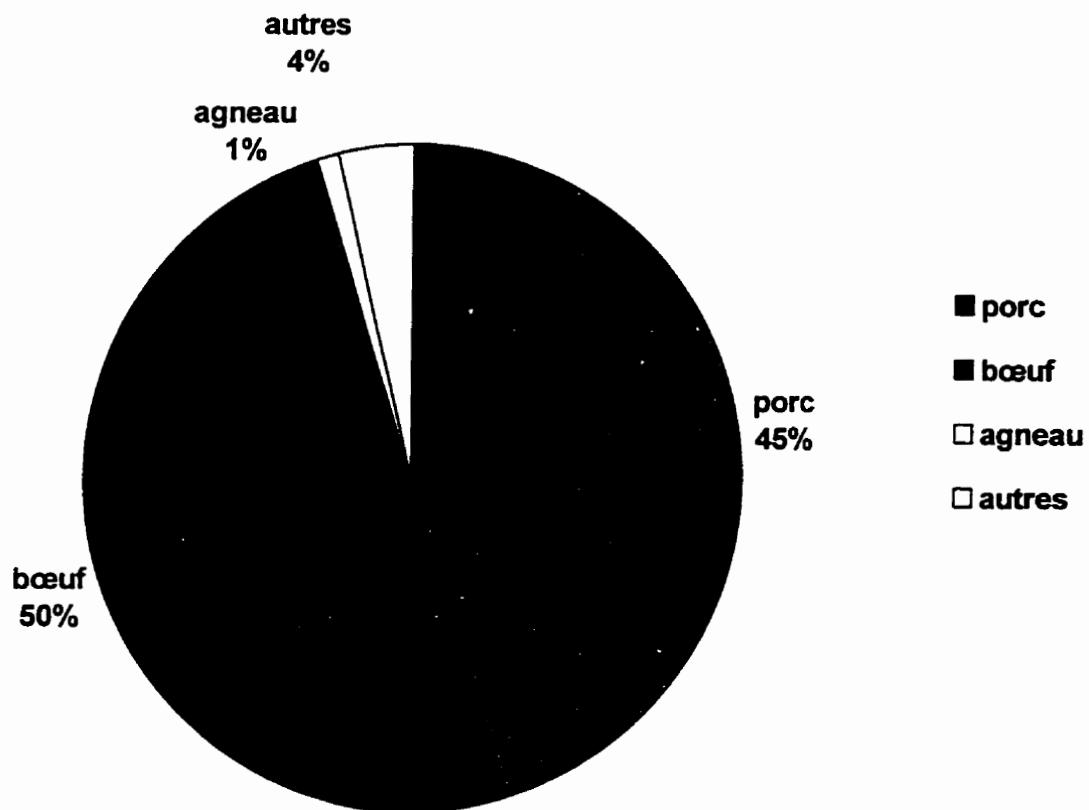
Aliments	Kg/An	Kg/jour
huile à salade	6,058	0,016595
beurre	2,908	0,007966
margarine	4,846	0,013276
shortening	10,419	0,028544



**Figure 5.12 La distribution de la consommation moyenne des aliments du groupe 4 (huile et corps gras)**

**Tableau 5.24**  
**La consommation moyenne des aliments du groupe 6 (viandes) au Canada**

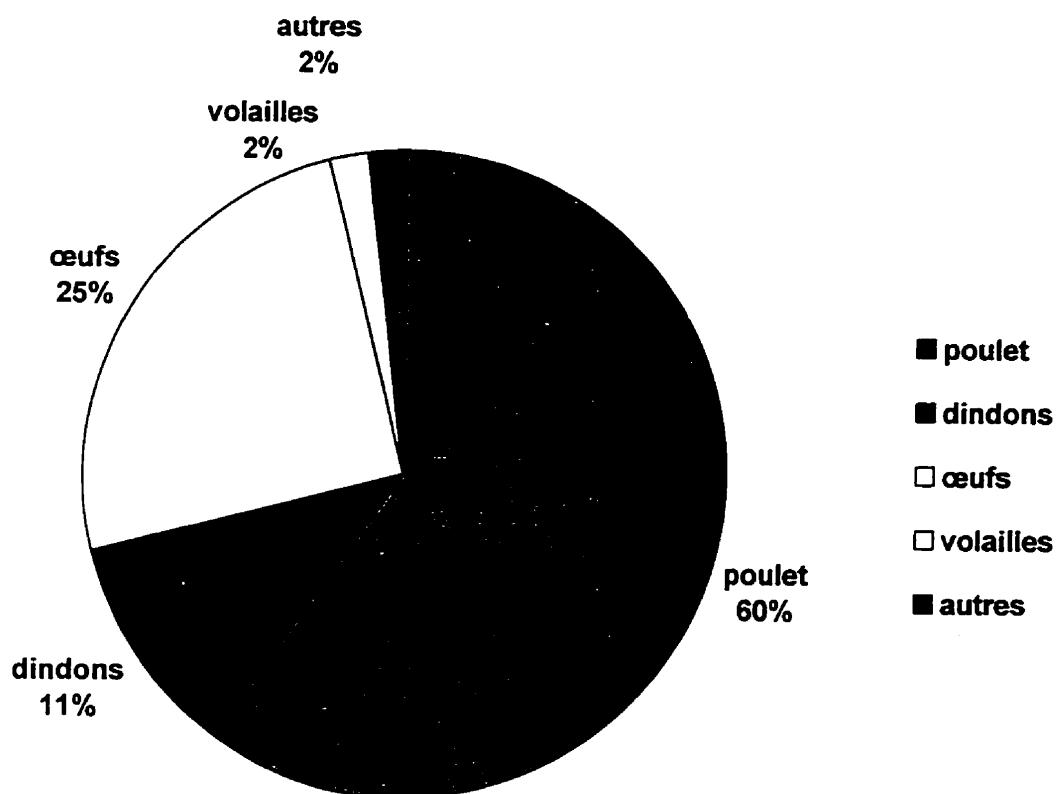
Aliments	Kg/An	Kg/jour
agneau	0,615	0,001685
autres	2,460	0,006740
bœuf	30,750	0,084247
porc	27,675	0,075822



**Figure 5.13 La distribution de la consommation moyenne des aliments du groupe 6 (viandes)**

**Tableau 5.25**  
**La consommation moyenne des aliments du groupe 7**  
**(œufs et volailles) au Canada**

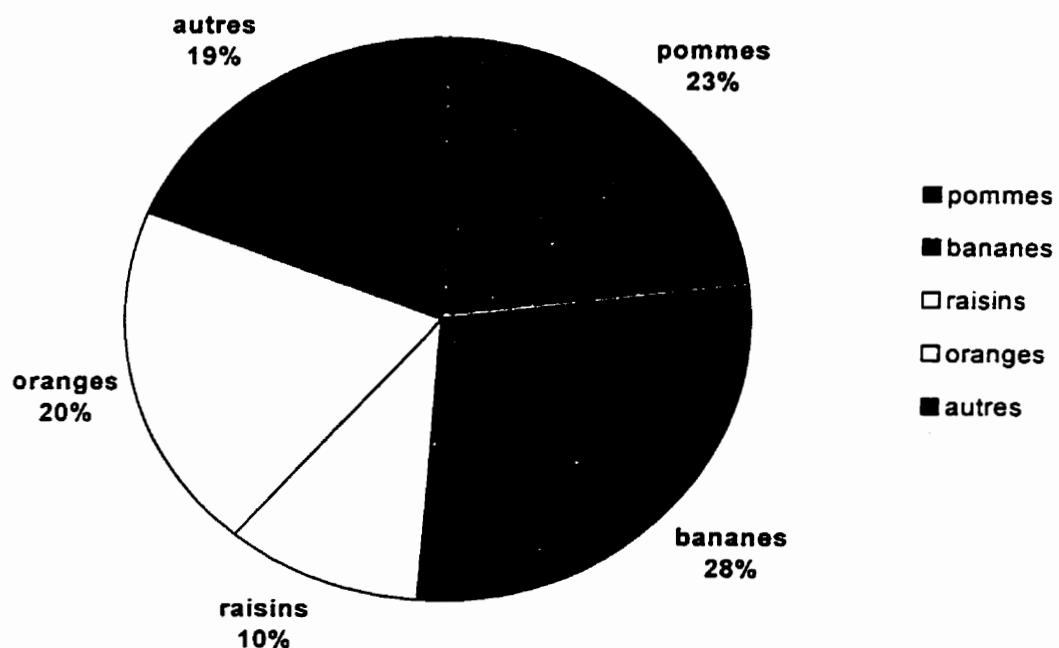
Aliments	Kg/An	Kg/jour
autres	0,778	0,002130
volailles	0,778	0,002130
œufs	9,720	0,026630
dindons	4,277	0,011717
poulets	23,328	0,063912



**Figure 5.14 La distribution de la consommation moyenne des aliments du groupe 7 (œufs et volailles)**

**Tableau 5.26**  
**La consommation moyenne des aliments du groupe 9 (fruits) au Canada**

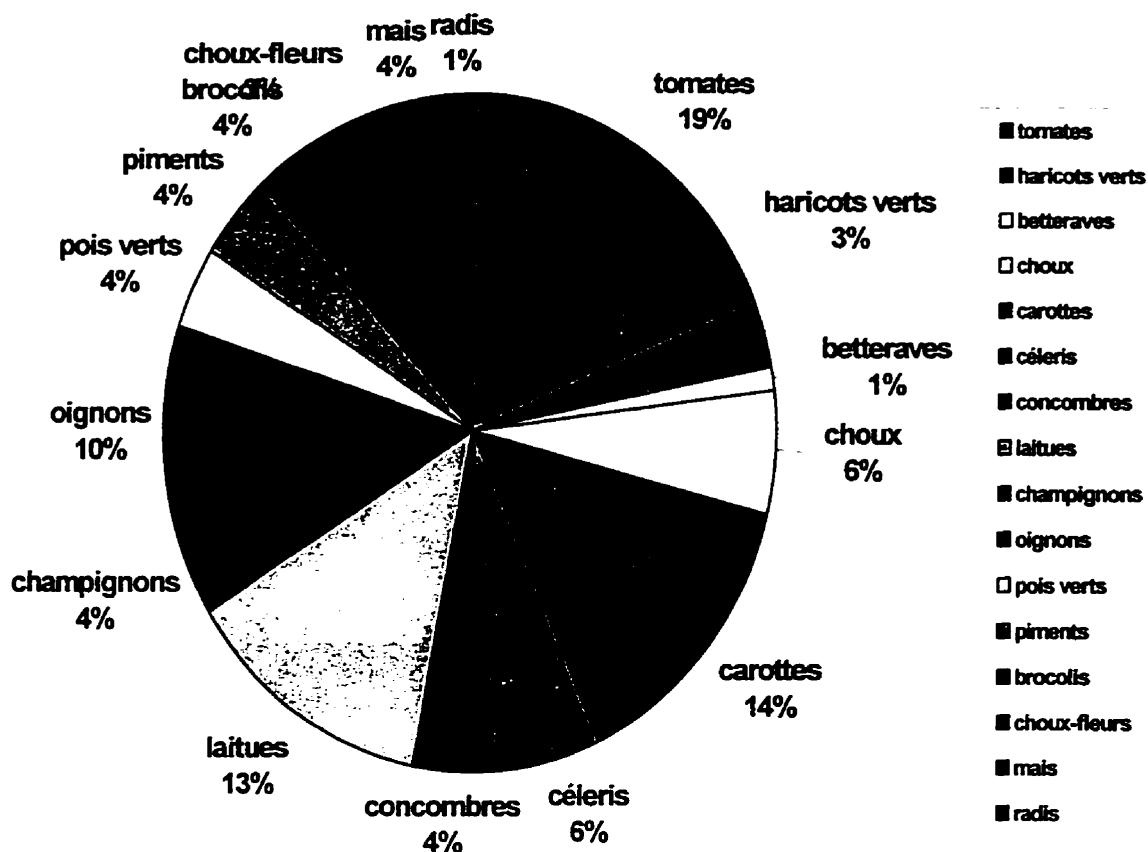
Aliments	Kg/An	Kg/jour
bananes	13,177	0,036101
oranges	9,412	0,025786
pommes	10,824	0,029654
raisins	4,706	0,012893
autres	8,941	0,024497



**Figure 5.15 La distribution de la consommation moyenne des aliments du groupe 9 (fruits)**

**Tableau 5.27**  
**La consommation moyenne des aliments**  
**du groupe 10 (légumes) au Canada**

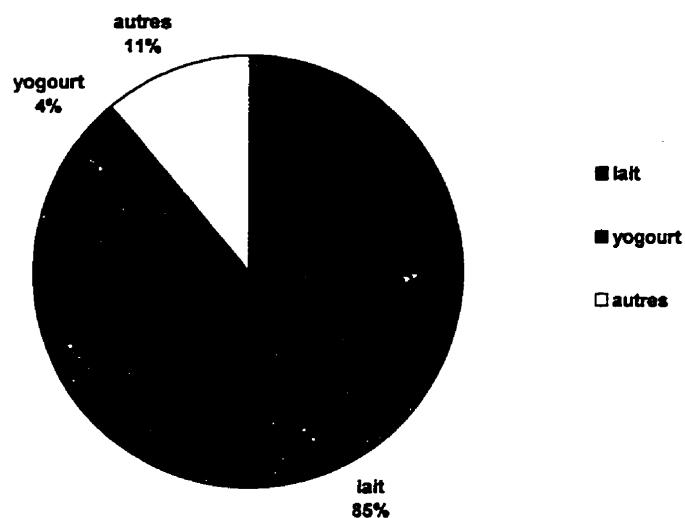
Aliments	Kg/An	Kg/jour
tomates	13,475	0,036917
carottes	9,929	0,027202
pois verts	2,837	0,007772
concombres	2,837	0,007772
laïtues	9,220	0,025259
oignons	7,092	0,019430
brocolis	2,837	0,007772
choux	4,255	0,011658
champignons	2,837	0,007772
haricots verts	2,128	0,005829
choux-fleurs	2,128	0,005829
piments	2,837	0,007772
céleries	4,255	0,011658
mais	2,837	0,007772
radis	0,709	0,001943
betteraves	0,709	0,001943



**Figure 5.16 La distribution de la consommation moyenne des aliments du groupe 10 (légumes)**

**Tableau 5.28**  
**La consommation moyenne des aliments**  
**du groupe 11 (lait et produits laitiers) au Canada**

Aliments	Kg/An	Kg/jour
yogourt	2,769	0,007587
autres	7,615	0,020864
lait	58,846	0,161221



**Figure 5.17 La distribution de la consommation moyenne des aliments du groupe 11 (lait et produits laitiers)**

#### **5.4 Consommation moyenne d'aluminium**

Cette section présente le calcul de la consommation moyenne en aluminium dans la diète au Canada à partir des résultats globaux de mesure des concentrations obtenus à la section 5.1 et le profile de la consommation des aliments par année au Canada tel que présenté dans la section précédente.

Il s'agit simplement de multiplier la concentration moyenne de l'aluminium par la consommation de l'aliment par jour afin d'obtenir la consommation de l'aluminium provenant de l'aliment. Les résultats des 11 groupes d'aliments analysés sont présentés.

**Tableau 5.29**  
**La consommation moyenne d'aluminium en mg/jour**  
**dans le groupe 1 (pains et céréales)**

Aliments	$K_{mi}$ (kg/jour)	$C_{mi}$ (mg/kg)	$K_{Ali}$ (mg/jour)
farine de seigle	0,001971	7,25	0,01
riz	0,013799	6,73	0,09
céréales	0,019712	7,67	0,15
farines de blé	0,161641	8,10	1,31

**Tableau 5.30**  
**La consommation moyenne d'aluminium en mg/jour**  
**dans le groupe 2 (sucres et sirops)**

Aliments	$K_{mi}$ (kg/jour)	$C_{mi}$ (mg/kg)	$K_{Ali}$ (mg/jour)
miels	0,002374	1,20	0,003
autres	0,001187	19,30	0,023
sucres	0,115151	1,33	0,154

**Tableau 5.31**  
**La consommation moyenne d'aluminium en mg/jour**  
**dans le groupe 3 (légumes à gousses et noix)**

Aliments	$K_{mi}$ (kg/jour)	$C_{mi}$ (mg/kg)	$K_{Ali}$ (mg/jour)
noix	0,002888	1,20	0,003
arachides	0,008374	1,65	0,014
pois	0,013861	2,40	0,033
haricots secs	0,003754	29,10	0,109

**Tableau 5.32**  
**La consommation moyenne d'aluminium en mg/jour**  
**dans le groupe 4 (huiles et corps gras)**

Aliments	$K_{mi}$ (kg/jour)	$C_{mi}$ (mg/kg)	$K_{All}$ (mg/jour)
huile à salade	0,016596	0,30	0,005
beurre	0,007966	2,30	0,018
margarine	0,013277	1,70	0,023
shortening	0,028545	1,20	0,034

**Tableau 5.33**  
**La consommation moyenne d'aluminium en mg/jour**  
**dans le groupe 6 (viandes)**

Aliments	$K_{mi}$ (kg/jour)	$C_{mi}$ (mg/kg)	$K_{All}$ (mg/jour)
agneau	0,001685	0,80	0,001
autres	0,006740	4,53	0,031
bœuf	0,084247	4,43	0,373
porc	0,075822	6,60	0,500

**Tableau 5.34**  
**La consommation moyenne d'aluminium en mg/jour**  
**dans le groupe 7 (œufs et volailles)**

Aliments	$K_{mi}$ (kg/jour)	$C_{mi}$ (mg/kg)	$K_{Ali}$ (mg/jour)
autres	0,002130	1,05	0,002
volailles	0,002130	1,06	0,002
œufs	0,026630	0,10	0,003
dindons	0,011717	1,45	0,017
poulets	0,063912	1,16	0,074

**Tableau 5.35**  
**La consommation moyenne d'aluminium en mg/jour**  
**dans le groupe 9 (fruits)**

Aliments	$K_{mi}$ (kg/jour)	$C_{mi}$ (mg/kg)	$K_{Ali}$ (mg/jour)
bananes	0,036101	0,40	0,014
oranges	0,025786	1,50	0,039
pommes	0,029654	1,40	0,042
raisins	0,012893	3,80	0,049
autres	0,024497	4,10	0,100

**Tableau 5.36**  
**La consommation moyenne d'aluminium en mg/jour**  
**dans le groupe 10 (légumes)**

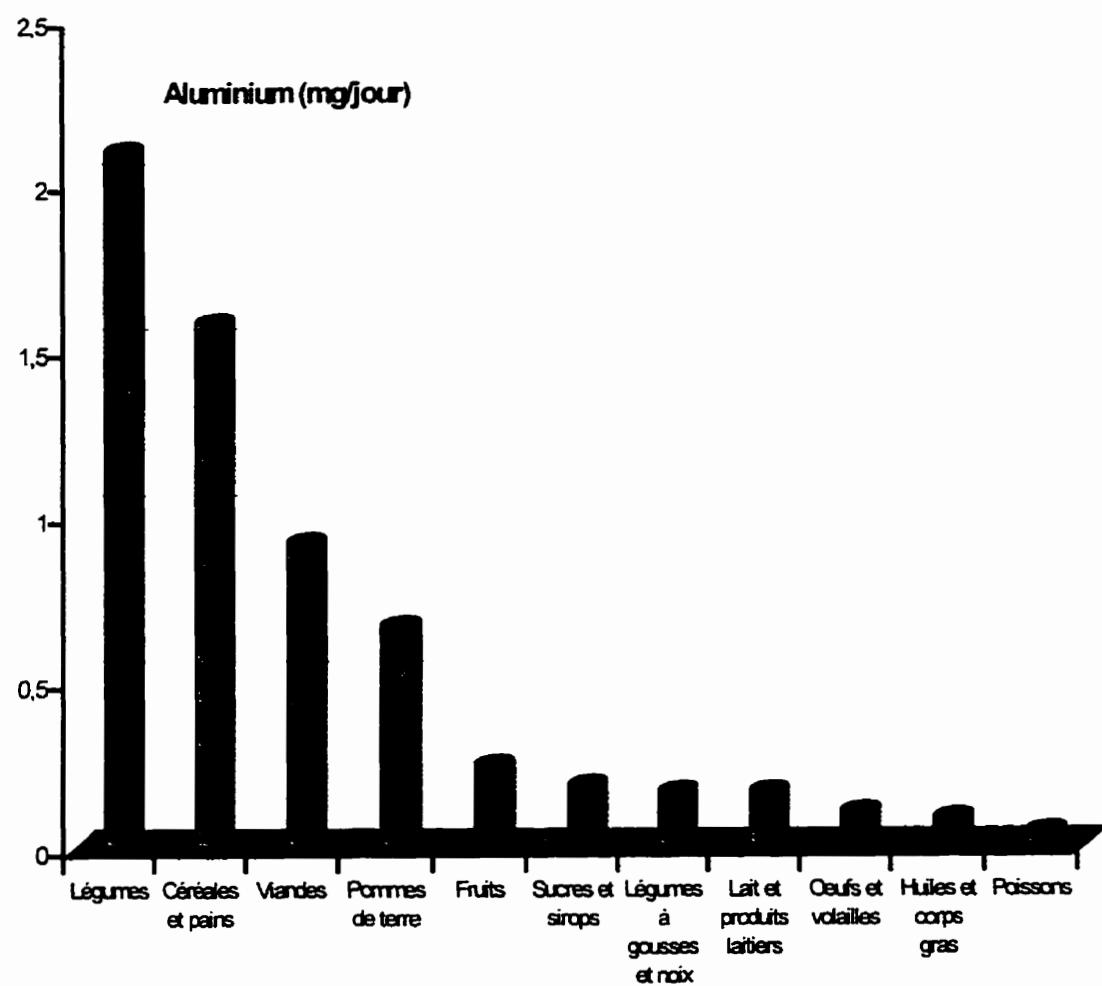
Aliments	$K_{mi}$ (kg/jour)	$C_{mi}$ (mg/kg)	$K_{All}$ (mg/jour)
tomates	0,036917	23,10	0,853
carottes	0,027202	16,30	0,443
pois verts	0,007772	40,70	0,316
concombres	0,007772	24,10	0,187
laitues	0,025259	3,40	0,086
oignons	0,019430	2,54	0,049
brocolis	0,007772	5,50	0,043
choux	0,011658	1,80	0,021
champignons	0,007772	2,60	0,020
haricots verts	0,005829	2,70	0,016
choux-fleurs	0,005829	2,50	0,015
piments	0,007772	1,83	0,014
céleries	0,011658	0,80	0,009
mais	0,007772	1,01	0,008
radis	0,001943	2,71	0,005
betteraves	0,001943	2,70	0,005

**Tableau 5.37**  
**La consommation moyenne d'aluminium en mg/jour**  
**dans le groupe 11 (lait et produits laitiers)**

Aliments	$K_{mi}$ (kg/jour)	$C_{mi}$ (mg/kg)	$K_{All}$ (mg/jour)
yogourt	0,007587	0,41	0,003
autres	0,020864	0,64	0,013
lait	0,161221	0,86	0,139

**Tableau 5.38**  
**La consommation moyenne d'aluminium en mg/jour**  
**dans les aliments**

Numéro d'identification Du groupe	Type d'aliments	Consommation Moyenne d'aluminium (mg/jour)
1	Céréales et pains	1,57
2	Sucres et sirops	0,18
3	Légumes à gousses et noix	0,16
4	Huiles et corps gras	0,08
5	Pommes de terre	0,66
6	Viandes	0,91
7	Oeufs et volailles	0,10
8	Poissons	0,04
9	Fruits	0,24
10	Légumes	2,09
11	Lait et produits laitiers	0,16



**Figure 5.18 La consommation moyenne d'aluminium en fonction des groupes d'aliments**

## 5.5 Consommation moyenne du chlore

La consommation moyenne du chlore par jour provenant de la diète canadienne est estimée ici en multipliant les concentrations moyennes obtenues de la section 5.2 du présent chapitre par la consommation moyenne par groupe d'aliments au Canada, pour le total des 11 groupes étudiés.

Il faut noter ici que l'estimation est moins précise que dans le cas de l'aluminium, car nous utilisons la consommation totale en kg/jour du groupe d'aliments dans son ensemble sans tenir compte de la contribution relative de chaque aliment composant le groupe. La concentration utilisée, c'est la concentration moyenne du groupe en mg/kg.

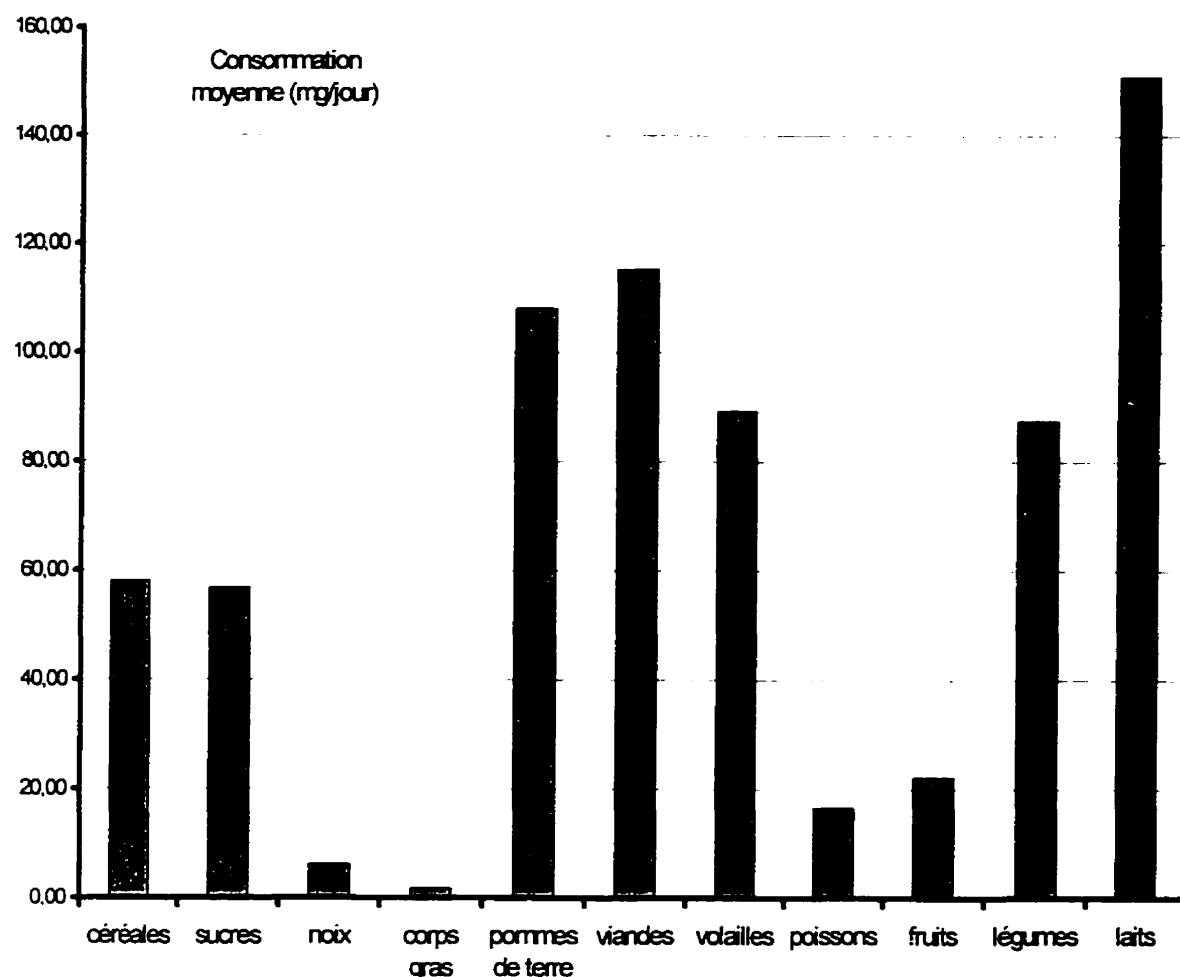
Il faut cependant se rappeler que le but de notre étude est de doser l'aluminium dans les aliments solides, mais en examinant les spectres gammas que nous avons obtenus, nous avons pu déterminer d'autres éléments chimiques qui peuvent être présents dans les aliments que nous avons analysés tel que le chlore.

Les résultats que nous présentons ici sont uniquement dans le but de donner un ordre de grandeur ou bien une estimation approximative de la consommation du chlore dans les aliments tel que nous l'avons analysé lors de cette étude de dosage par activation neutronique.

Le tableau 5.39 contient les résultats de l'estimation de la consommation moyenne et la figure 5.19 les présentera sous forme de pourcentage relatif la contribution de chaque groupe d'aliments par rapport à l'ensemble.

**Tableau 5.39**  
**Estimation de la consommation moyenne du chlore**  
**dans les aliments au Canada**

Type d'aliments	Concentration Moyenne (mg/kg)	Consommation moyenne (kg/jour)	Consommation Moyenne du chlore (mg/jour)
Céréales et pains	294	0,197123	57,95
Sucres et sirops	478	0,118712	56,74
Légumes à gousses et noix	214	0,028877	6,18
Huiles et corps gras	27	0,066384	1,79
Pommes de terre	717	0,150630	108,00
Viandes	684	0,168493	115,25
Oeufs et volailles	838	0,106521	89,26
Poissons	951	0,017425	16,57
Fruits	172	0,128932	22,18
Légumes	450	0,194301	87,44
Lait et produits laitiers	796	0,189671	150,98



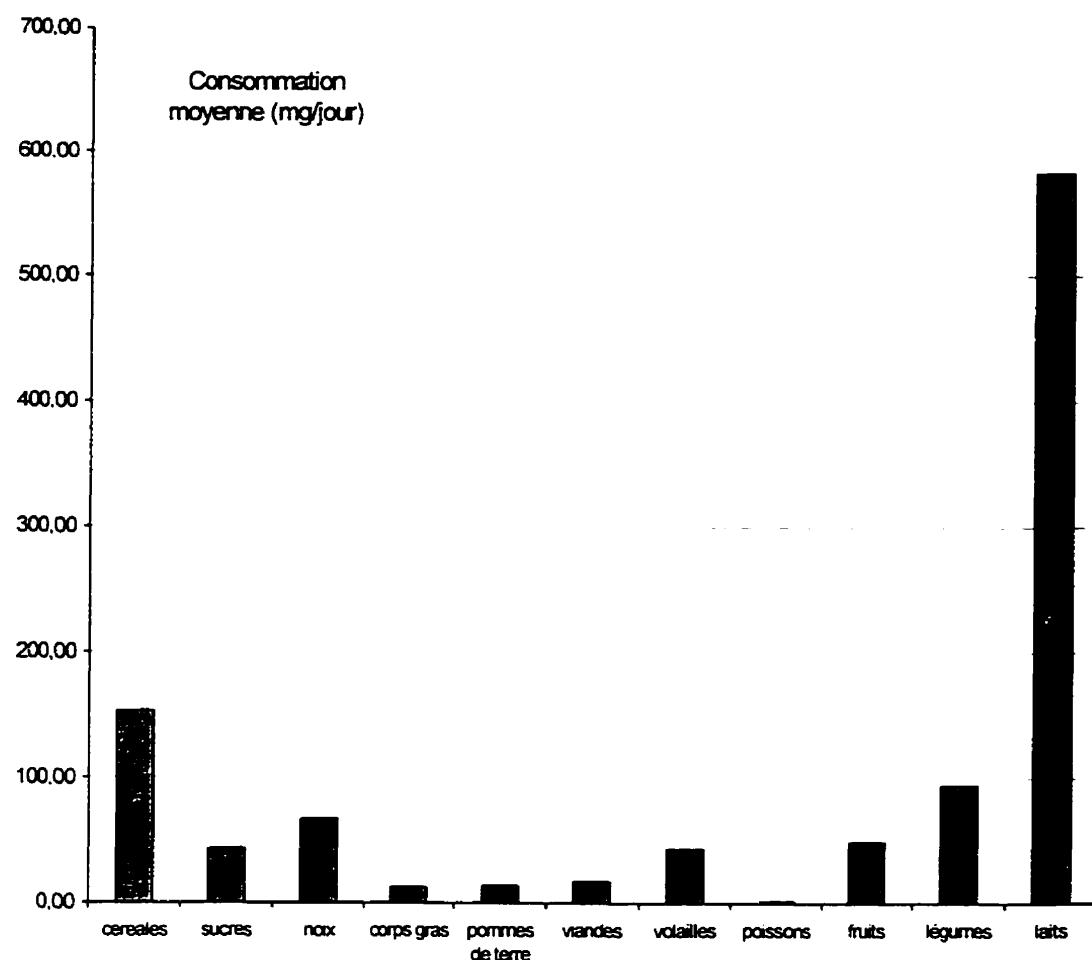
**Figure 5.19 La consommation moyenne du chlore dans les aliments**

## 5.6 Consommation moyenne du calcium

La consommation moyenne du calcium provenant de la diète canadienne est estimée ici de la même façon que la section précédente pour le chlore. Les résultats que nous présentons ici sont uniquement dans le but de donner un ordre de grandeur ou bien une estimation approximative des concentrations du calcium dans les aliments tel que nous l'avons analysé lors de cette étude de dosage par activation neutronique. Le tableau 5.40 contient les résultats de l'estimation de la consommation moyenne.

**Tableau 5.40  
Estimation de la consommation moyenne du calcium  
dans les aliments au Canada**

Type d'aliments	Concentration Moyenne (mg/kg)	Consommation moyenne (kg/jour)	Consommation Moyenne du calcium (mg/jour)
Céréales et pains	777	0,197123	153,16
Sucres et sirops	361	0,118712	42,86
Légumes à gousses et noix	2327	0,028877	67,20
Huiles et corps gras	186	0,066384	12,35
Pommes de terre	90	0,150630	13,56
Viandes	102	0,168493	17,19
Oeufs et volailles	407	0,106521	43,35
Poissons	85	0,017425	1,48
Fruits	381	0,128932	49,12
Légumes	485	0,194301	94,24
Lait et produits laitiers	3072	0,189671	582,67



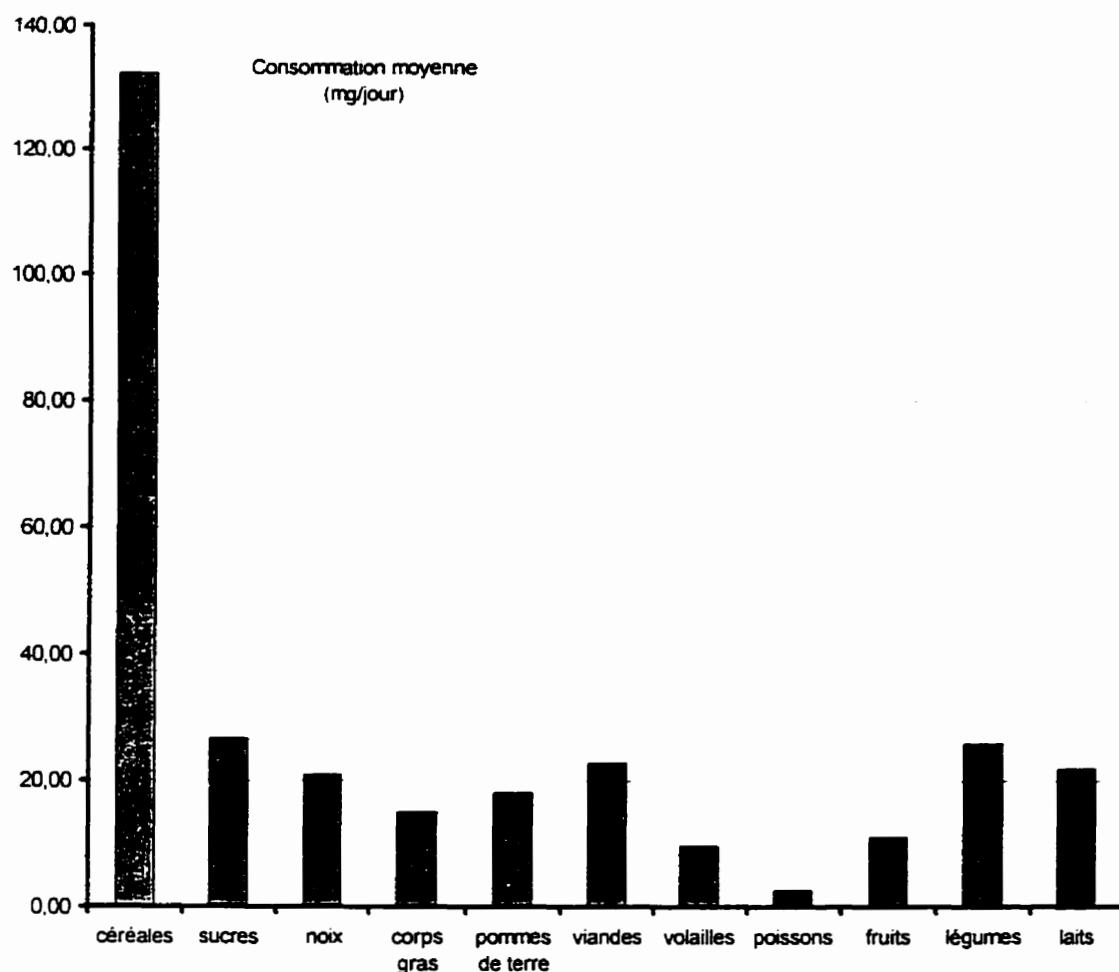
**Figure 5.20 La consommation moyenne du calcium dans les aliments**

### 5.7 Consommation moyenne du magnésium

La consommation moyenne annuelle du magnésium dans la diète canadienne est estimée ici de la même façon que les sections précédentes pour le chlore et le calcium. Les résultats que nous présentons ici sont uniquement dans le but de donner un ordre de grandeur ou bien une estimation approximative des concentrations du calcium dans les aliments tel que nous les avons analysés, lors de cette étude de dosage par activation neutronique. Le tableau 5.41 contient les résultats de l'estimation de la consommation moyenne.

**Tableau 5.41**  
**Estimation de la consommation moyenne du magnésium**  
**dans les aliments au Canada**

Type d'aliments	Concentration Moyenne (mg/kg)	Consommation moyenne (kg/jour)	Consommation Moyenne du magnésium (mg/jour)
Céréales et pains	671	0,197123	132,27
Sucres et sirops	224	0,118712	26,59
Légumes à gousses et noix	722	0,028877	20,85
Huiles et corps gras	226	0,066384	15,00
Pommes de terre	121	0,150630	18,23
Viandes	136	0,168493	22,92
Oeufs et volailles	91	0,106521	9,69
Poissons	151	0,017425	2,63
Fruits	85	0,128932	10,96
Légumes	133	0,194301	25,84
Lait et produits laitiers	115	0,189671	21,81



**Figure 5.21 La consommation moyenne du magnésium dans les aliments**

## CHAPITRE 6

### ANALYSE DES RÉSULTATS ET DISCUSSION

Ce chapitre discute les résultats obtenus lors de ce travail de recherche. La discussion portera sur un certain nombre de points pertinents pour la conclusion de l'étude et l'interprétation des résultats.

Les points abordés sont les groupes d'aliments analysés, l'évaluation de la concentration d'aluminium et d'autres éléments d'intérêt, la consommation des aliments au Canada, la consommation moyenne d'aluminium et d'autres éléments.

#### **6.1 Les groupes d'aliments analysés**

Lors de ce travail de recherche, plus de 450 échantillons ont été analysés. Ces échantillons proviennent essentiellement de 11 groupes d'aliments tel que décrit au chapitre 5 à la section 5.1. Les concentrations moyennes d'une centaine d'aliments différents appartenant aux 11 groupes ont été calculées.

#### **6.2 Évaluation de la concentration d'aluminium**

L'analyse de résultats globaux pour les 11 groupes démontre que, la concentration moyenne varie de 9.01 mg/kg maximum dans le cas du groupe 2 (sucres et sirops) jusqu'à 0.64 mg/kg minimum pour le groupe 11 (lait et produits laitiers). La concentration moyenne globale pour les 11 groupes est de 4.27 mg/kg.

Sept groupes : 4, 5, 6, 7, 8, 9 et 11 ont une concentration moyenne inférieure à 5 mg/kg (voir le chapitre 5 pour l'identification des groupes), et quatre groupes : 2, 1, 10 et 3 dont la concentration est supérieure à 5 mg/kg.

Les trois groupes qui ont la concentration moyenne la plus élevée sont :

- Les sucres et sirops : 9.01 mg/kg
- Les céréales et pains : 7.64 mg/kg
- Les légumes : 7.14 mg/kg

Sur le plan statistique le tableau 5.3 du chapitre 5 démontre très bien qu'il existe beaucoup de variabilité dans les valeurs des concentrations calculées, les aliments ne présentent donc pas des concentrations typiques ni dans l'ensemble ni par groupe qui est d'ailleurs très normale. L'écart type  $\sigma$  sous forme de pourcentage par rapport à la concentration moyenne  $C_{mi}$ .

Cette variabilité varie de 148% jusqu'à 53% entre les groupes. Le groupe 3 (légumes à gousses et noix) est le groupe qui a manifesté la plus grande variabilité dans les valeurs des concentrations moyennes des aliments composant ce groupe.

Les valeurs des concentrations les plus élevées enregistrées pour chacun des groupes ont été étudiées. Le groupe des légumes a la valeur maximale calculée qui est de 40.7 mg/kg. Les groupes qui ont les valeurs maximales les plus élevées sont dans l'ordre :

- Les légumes : 40.7 mg/kg
- Les pains et céréales : 30.5 mg/kg
- Les sucres : 29.3 mg/kg

Il faut aussi remarquer que le nombre d'échantillons analysés par groupe d'aliments n'était pas constant. Il varie entre 116 échantillons dans le groupe de céréales et pains jusque 15 dans le groupe de lait et produits laitiers.

L'explication possible est que le nombre varie selon l'importance relative de chaque groupe dans l'alimentation en général, de la disponibilité, de la variété possible des aliments qui composent chaque groupe et la facilité de manipulation des échantillons afin d'éviter la contamination par des agents externes. Se sont des facteurs affectant le nombre d'échantillons analysés.

Les trois premiers groupes pour lesquels un grand nombre d'échantillons ont été analysés sont dans l'ordre :

- Les pains et céréales : 116 échantillons
- Les légumes : 90 échantillons
- Les fruits : 46 échantillons

L'histogramme de la fréquence en fonction des intervalles de concentration a été tracé dans le but de voir si la distribution globale de la concentration suit une loi classique des statistiques paramétriques. Les résultats obtenus pour les 438 échantillons analysés démontrent que la distribution de la fréquence des concentrations ne suit pas les lois standard de la statistique et si nous voulons effectuer des tests statistiques nous devons utiliser les lois de la statistique non paramétrique.

Étant donné que le but de notre recherche est de doser l'aluminium dans les aliments et d'estimer la consommation moyenne annuelle par individu, nous ne ferons pas de test statistique en particulier, mais nous allons présenter les résultats globaux observés lors de cette étude sur les aliments en vente au Canada.

### 6.3 Évaluation de la concentration d'autres éléments

La section 5.2 du chapitre 5 présente les résultats de dosage d'autres éléments. Les concentrations moyennes obtenues sont les suivantes :

- Ca : 752 mg/kg
- Cl : 509 mg/kg
- Mg : 243 mg/kg

Le groupe qui contient la concentration moyenne la plus élevée de calcium, est celui des laits et produits laitiers avec 3072 mg/kg et une variabilité de 114% par rapport à la moyenne. La concentration la plus élevée enregistrée pour ce groupe est de 9506 mg/kg.

Le groupe des poissons est celui qui contient la concentration moyenne la plus faible parmi les 11 groupes, de 85 mg/kg de valeur avec une variabilité de 39%.

Le groupe des poissons contient la concentration moyenne la plus élevée du chlore est de 951 mg/kg avec une variabilité de 44% par rapport à la moyenne. La concentration la plus élevée enregistrée pour ce groupe est de 1582 mg/kg.

Le groupe des huiles et corps gras possède la concentration moyenne la plus faible, est de 7 mg/kg et une variabilité de 43%.

Le groupe des légumes à gousses et noix contient la concentration moyenne la plus élevée du magnésium, est de 722 mg/kg avec une variabilité de 87% par rapport à la moyenne.

La concentration la plus élevée enregistrée pour ce groupe est de 990 mg/kg. Le groupe des fruits possède la concentration moyenne la plus faible, est de 85 mg/kg et une variabilité de 81%.

La distribution de la fréquence en fonction des intervalles des concentrations des trois éléments mentionnés le chlore, le calcium et le magnésium ne possède donc pas une forme de distribution statistique classique, comme la loi normale par exemple.

Dans le cas du vanadium, il y a seulement 3 groupes qui présentent des résultats possibles, ce sont les groupes de sucres et sirops, légumes à gousses et noix. Les concentrations moyennes varient de 0.05 à 0.09 mg/kg.

#### 6.4 La consommation des aliments au Canada

L'examen des statistiques canadiennes sur la consommation des aliments, tel que présenté au chapitre 5, démontre qu'il y a 5 groupes sur 11 qui ont une contribution de 66% de la diète en aliments, ce sont les groupes de :

- Les Céréales et pains : 15%
- Les Légumes : 14%
- Les Lait et produits laitiers : 14%
- Les Viandes : 12%
- Les Pommes de terre : 11%

Les 6 autres groupes forment le 34% restant. Ils sont par ordre d'importance :

- Les Sucres : 9%
- Les Fruits : 9%
- Les Volailles et œufs : 8%
- Les Huiles et corps gras : 5%
- Les Noix et légumes à gousses : 2%
- Les Poissons : 1%

En examinant davantage la composition des groupes, nous observons le point suivant, en prenant le groupe des pains et céréales à titre d'exemple. Les farines de blé constitue 82% de ce groupe en multipliant ce facteur par 14% soit le poids du groupe nous obtenons 12.3% de la consommation des aliments au Canada comparativement au 1.5% pour les céréales. Les farines de blé constituent donc une source majeure d'alimentation au Canada.

La part d'un aliment dans la diète est le produit de la part de l'aliment dans son groupe par la part de ce groupe dans l'alimentation. Le tableau 6.1 résume les aliments ayant une part de plus de 1% dans la diète. La figure 6.1 illustre les résultats sous forme graphique. Les résultats sont sous forme de pourcentage par rapport à l'ensemble.

Les 18 aliments qui sont dans le tableau 6.1 composent à eux seuls 81.3% de la consommation des aliments au Canada selon les statistiques disponibles.

**Tableau 6.1**  
**Liste des aliments qui contribuent à plus de 1% dans la consommation  
des aliments au Canada**

Produit	Part dans la consommation en %
Farine de blé	12,3%
Lait	11,9%
Pomme de terre	11,0%
Sucre	8,7%
Bœuf	6,0%
Porc	5,4%
Poulet	4,8%
Tomate	2,7%
Banane	2,5%
Shortening	2,2%
Pomme	2,1%
Oeuf	2,0%
Carotte	2,0%
Laitue	1,8%
Orange	1,8%
Céréale	1,5%
Oignon	1,4%
Huile à salade	1,3%

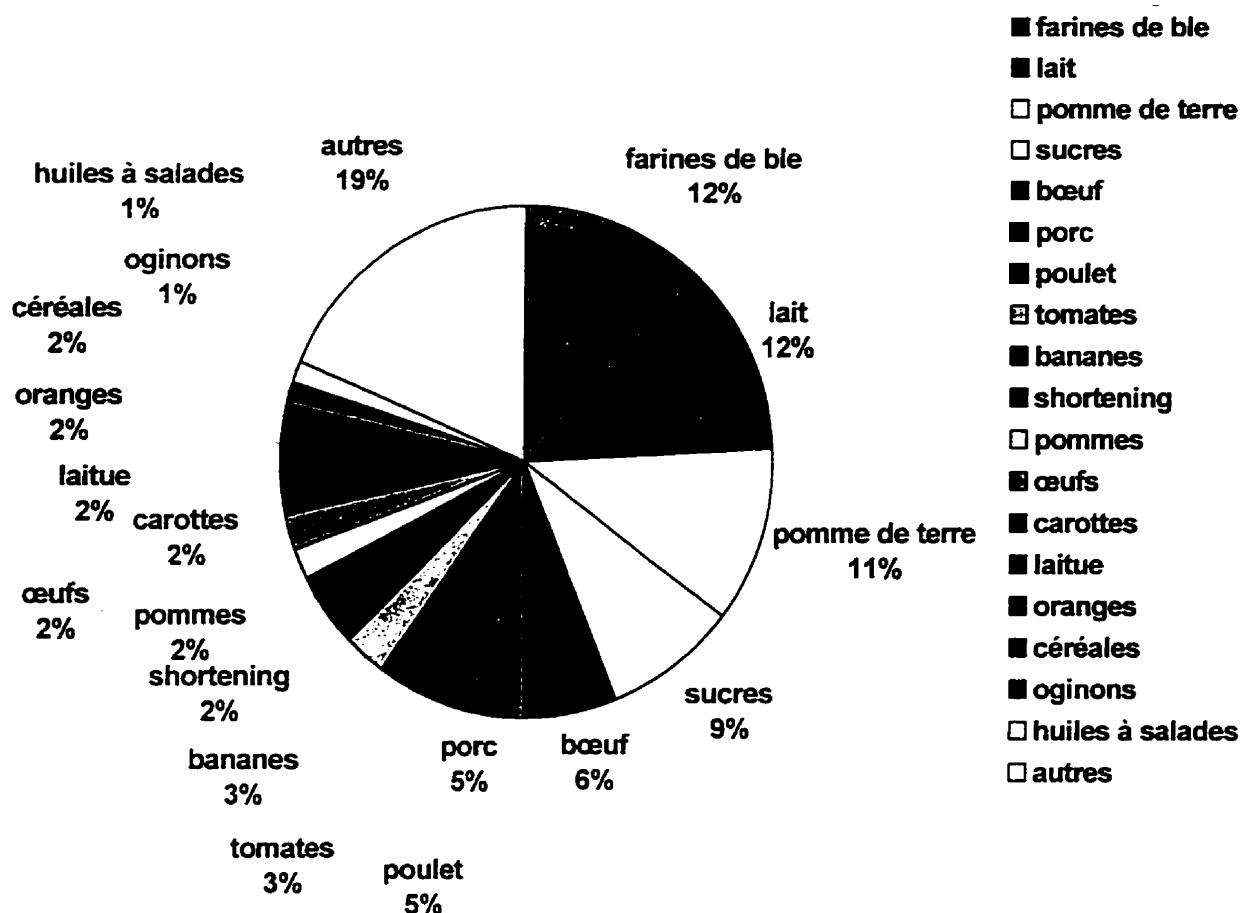


Figure 6.1 Les 18 aliments majeurs dans la diète au Canada et leurs pourcentages relatifs.

## 6.5 Consommation moyenne d'aluminium :

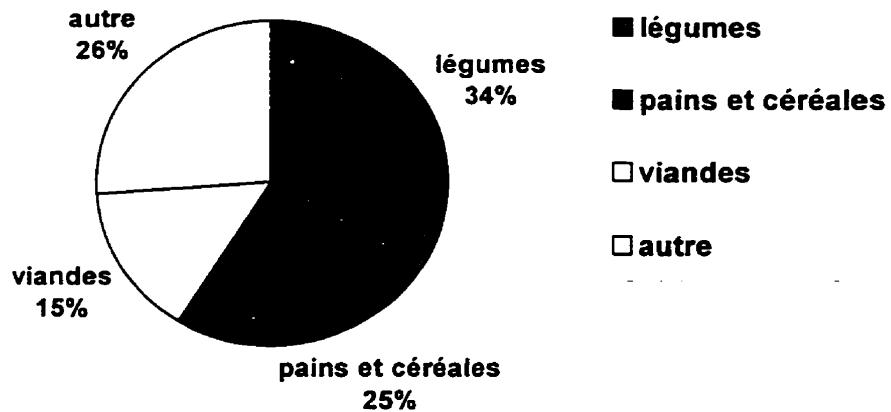
Dans le chapitre 5 à la section 5.4 nous avons calculé une estimation de la consommation moyenne d'aluminium provenant des aliments.

La consommation moyenne d'aluminium dans les aliments est estimée à 6.19 mg/jour au Canada selon nos calculs. Cette estimation est comparable aux diverses estimations dans différents pays que nous trouvons dans la littérature. 4 mg/jour en Suisse (KNUTTI, 1985), 6-8 mg/jour en Angleterre (MAFF, 1985) et 1-10 mg/jour aux États-Unis (FAIRWEATHER, 1987).

Les aliments, ou encore les groupes d'aliments, qui ont contribué le plus à cette consommation moyenne, sont énumérés ici par ordre d'importance et exprimés par le pourcentage de contribution :

- Les légumes : 34%
- Les pains et céréales : 25%
- Les viandes : 15%

L'ensemble de ces trois groupes a une contribution de 74% du total de la consommation moyenne annuelle d'aluminium. La figure 6.2 illustre ces résultats graphiquement.



**Figure 6.2 Les aliments ayant contribué le plus dans la consommation moyenne annuelle d'aluminium**

## 6.6 Consommation moyenne d'autres éléments

Nous discutons ici des trois éléments chimiques que nous avons analysés lors de ce projet de recherche. Les éléments sont dans l'ordre de la discussion : le chlore, le calcium et le magnésium.

La consommation moyenne du chlore dans la diète au Canada a été estimée à 712 mg/jour. La contribution majeure à cette consommation provient des trois groupes d'aliments qui ont contribués à 44% de sa valeur. Ils sont :

- Les viandes : 16%
- Les pomme de terre : 15%
- Les œufs et volailles : 13%

La consommation moyenne du calcium dans la diète au Canada a été estimée à 1077 mg/jour. La contribution majeure à cette consommation provient des deux groupes d'aliments qui ont contribués à 69% de sa valeur. Ils sont :

- Les lait et les produits laitiers : 55%
- Les pains et céréales : 14%

La concentration moyenne du magnésium dans la diète au Canada a été estimée à 307 mg/jour. La contribution majeure à cette consommation provient des trois groupes d'aliments qui ont contribués à 61% de sa valeur. Ils sont :

- Les pains et céréales : 44%
- Les sucres et sirops : 9%
- Les légumes : 8%

Après avoir examiné les résultats des différentes estimations de la consommation moyenne des éléments tels que l'aluminium, le chlore, le calcium et le magnésium, nous constatons que dans la plupart des cas il y a 3 ou 4 groupes d'aliments qui contribuent d'une façon significative dans le total de la consommation.

Ces groupes varient selon l'élément dosé comme c'est d'ailleurs un phénomène très répandu en nutrition. Il y a des aliments plus riches en certains éléments que d'autres. Nous l'avons démontré suite à l'analyse des résultats dans ce chapitre.

## 6.7 Facteurs influençant les résultats

Il y a trois groupes de facteurs qui peuvent influencer directement la conclusion d'une étude d'estimation de la consommation moyenne d'aluminium dans les aliments. Nous allons les énumérer par ordre d'importance relative, par la suite nous allons examiner chacun d'eux individuellement.

- Les statistiques disponibles
- La sensibilité et la limitation de la méthode analytique
- Les aspects budgétaires et l'échantillonnage

### 6.7.1 Statistiques disponibles

Les statistiques disponibles vont déterminer les aliments à analyser. Le profil de la population en terme d'âge, sexe, groupe social, région géographique va influencer le calcul de la consommation moyenne annuelle. L'importation et l'exportation des aliments vont aussi influencer les résultats.

Lors d'une étude sur les effets causés par la propagation des effluents radioactifs dans l'environnement au Canada, il y a quelques années, le profil de la consommation canadienne d'aliments a été évalué (NRPB, 1979). Aujourd'hui nous observons que pour un certain nombre d'aliments la consommation a demeuré presque la même. Le tableau 6.3 montre les résultats de la ressemblance entre les deux profils ceux de 1979 et de 1994.

**Tableau 6.2**  
**Comparaison de profil de consommation entre 1979 et 1994 au Canada**  
**pour certains groupes d'aliments**

Aliments	Consommation en 1979 (kg/an)	Consommation en 1994 (kg/an)
Farine de blé	58.8	59
Bœuf	43	30.8
Porc	27	27.7
Poulet	19.7	23.3
Poisson	5.5	6.4
Oeufs	13.5	9.7
Légumes	63	70.9

#### 6.7.2 Sensibilité et limitations de la méthode

Les méthodes de séparation radio-chimique vont être probablement nécessaires pour pouvoir doser l'aluminium par activation neutronique dans des aliments très riche en phosphore, silicium et sodium. Ce sont les principaux éléments interférant dans le cas de l'aluminium.

Une technique de séparation radio-chimique à été appliquée avec succès, et on a réussi à éliminer 99.3% de l'activité induite par le phosphore et 91% de l'activité dû au sodium (BLOTCKY, 1992).

### **6.7.3 Aspects budgétaires et échantillonnage**

Il y a d'autres composantes de la diète qu'il faut examiner et évaluer leur contenu en aluminium. À titre d'exemple nous pouvons mentionner les liqueurs, les boissons alcoolisés (la bière), l'eau de source et l'eau de robinet. Ce sont des exemples parmi d'autres, mais le facteur le plus déterminant d'après nous se sont les statistiques disponibles si le but de l'étude est d'estimer la consommation moyenne par individu. S'il s'agit simplement de dosage analytique, les statistiques n'auront plus la même importance.

S'il faut procéder d'une manière systématique pour estimer la consommation d'un grand nombre d'aliments et de variétés et marques différents. L'étude pourra impliquer des coûts non négligeables qu'il faut prévoir avant d'entamer la recherche.

## CHAPITRE 7

### CONCLUSIONS

Dans ce projet de doctorat nous avons utilisé la méthode semi-absolue de l'analyse par activation neutronique pour doser l'aluminium dans les aliments. Nous avons utilisé les données publiées par statistique Canada pour pondérer les concentrations moyennes calculées dans le but d'obtenir la consommation moyenne canadienne en aluminium par les aliments.

Nous avons étudié 11 groupes différents d'aliments et analysé plus que 450 échantillons. La consommation moyenne est de 6.19 mg/jour. Ce résultat est comparable à d'autres qui ont été faits dans d'autres pays.

Les légumes, les farines de blé et les céréales avaient les concentrations les plus fortes en aluminium, avec une concentration moyenne qui varie entre 8 et 11 ppm.

La méthode d'analyse utilisée dans ce projet a été en mesure de doser d'autres éléments chimiques présents dans les aliments et cela sans changer les conditions expérimentales. Les éléments ainsi dosés ont été le chlore, le magnésium et le calcium, pour lesquels nous avons pu calculer des concentrations. Par contre, il y a d'autres éléments que nous pouvons aussi doser mais ils n'ont pas été observés tel que le vanadium, le cobalt, le cuivre et le rubidium.

En ce qui concerne les perspectives futures, il est possible d'améliorer l'estimation de la consommation moyenne en analysant d'autres sortes d'aliments de consommation courante et qui n'ont pas été couverts dans cette étude.

À titre d'exemple les aliments suivants peuvent être analysés: les boissons gazeuses, les boissons alcoolisés, la bière, l'eau de source et du robinet, le ketchup et la nourriture des restaurants de (fast food).

De point de vue technique nous devons pouvoir utiliser les méthodes de séparations radio-chimique pour pouvoir doser l'aluminium par activation neutronique dans des échantillons riches en phosphore et en silicium et surtout en sodium.

En ce qui concerne l'estimation de la consommation moyenne en aluminium au Canada. Il faudrait considérer dans le calcul le profil d'âge et de sexe de la population canadienne. Il a été démontré par d'autres études sur le profil de la consommation canadienne des aliments, que les habitudes de la consommation changent selon le groupe d'âge et le sexe de l'individu.

Il est évident que les facteurs de pondération qui peuvent être utilisés pour améliorer l'estimation de la consommation moyenne et la rendre plus près de la réalité, dépendant des statistiques disponibles.

Les statistiques disponibles constituent en réalité un facteur limitatif face aux possibilités d'une étude de ce genre, car elles ne permettent pas de rendre les résultats plus proches de la réalité.

### BIBLIOGRAPHIE

AECL. (1975). SLOWPOKE II Nuclear Reactor., IND-69.

ALFREY, A. C. et Al. (1976). The dialysis encephalopathy syndrome, possible aluminum intoxication. N. Engl. J. Med. , 294 (4), 184-188.

ALFREY, A. C. et Al. (1980). Metabolism and toxicity of aluminum in renal failure. Am. J. Clin. Nutr. , (33), 1509-1116.

AMERICAN CHEMICAL SOCIETY, Committee on environmental improvement (ACS). (1980). Guidelines for data acquisition on data quality evaluation in environmental chemistry, Anal. Chem. , 52, 2242-2249.

ANDERSON, R. (1992). Comparison of trace elements in milk of four species. J. Dairy Sci. , 75(11), 3050-3055.

ARIEFF, A. I. et Al. (1979). Dementia, renal failure and brain aluminum. Ann. Inter. Med. , 90 (5) 741-747.

BARNES, R.B. (1975). The determination of specific forms of aluminium in natural water. Chem Geology , 15, 177-191.

BJORKSTEN, J.A. (1982). Sci. Total. Environ. , 25, 81-89.

BLOTCKY, A. J., et Al. (1976). Determination of trace aluminium in urine by neutron activation analysis. Analytical Chemistry , 48 (7), 335-337.

BLOTCKY, A. J., et Al. (1992). Determination of aluminum by chemical and instrumental neutron activation analysis in biological standard reference material and human brain tissue. Anal. Chem., (64), 2910-2913.

BOUATTOUR, Hatem. (1990). Recherche de l'aluminium dans l'eau potable de la ville de Montréal. Mémoire de maîtrise, Département de génie civil, École Polytechnique de Montréal, Canada.

BOYCE, B. F. et Al. (1982). Hypercalcaemic osteomalacia due to aluminum toxicity. Lancet, (2), 1009-1012.

BROWN, S. , SAVORY, J. (1983). Chemical Toxicology and Clinical Chemistry of Metals. Proceedings of 2<sup>nd</sup> International Conference held in Montreal Canada July 1983, Academic Press.

BRYAN, S.E. (1976). Heavy metals in the cell's nucleus. Metal Ions in Genetic Information Transfer, ELSEVIER, New-York, 87-102. (1981).

BUONO, J. A. et Al. (1977). Simultaneous determination of Al, V, Mn and Cu from neutron activated saline matrice by precipitation with poly-5-vinyl-8-hydroxyquinoline. J. Radioanal. Chem., 36, 353-358.

CAMERON, A. P. (1988). Aluminum and fluoride in the water supply and their removal for hemodialysis. The Science of Total Environment, 76(1), 19-28.

CANDY, J. M. et Al. (1986). Aluminosilicates and senile plaque formation in Alzheimer's disease. The Lancet, 354-357.

CRAPPER, D. R. , KRISHNAN, S. S. , QUITTKAT, S. (1976). Aluminum neurofibrillary degeneration and Alzheimer's disease. Brain, (99) 67-80.

CURRIE, L. A. (1968). Limits for Qualitative Detection and Quantative Determination. Anal. Chem., 40(3), 586-593.

CZALKA-NARINS, Dorice M. ( 1996). Krause's food, nutrition and diet therapy., edited by Mahan, Kathleen L., Escott-Stump, MA., W.B. Saunders Company, 127-128.

DAVIDSON, S. et Al. (1975). Human Nutrition and Dietetics, Churchill Livingstone, 335-346.

DUCKETT, S. et Al. (1976). Présence d'aluminium et de magnésium au niveau des artères et du parenchyme cérébral de malades atteints de syndrome striatonigre. C. R. Acad. Sci. , Paris, (282) 2115-2117.

EDWARDSON, J. A. et Al. (1989). Aluminium and the pathogenesis of neurodegenerative disorders. Aluminium in Food and the Environment, Massey and Taylor, 277-310.

EICHOLZ, G. , POSTON, I. W. (1982). Principles of Nuclear Radiation Detection. Ann Arbor science publishers, Butterworth Group, 181-186.

ELLIS, H. A. et Al. (1979). Bone aluminum in haemodialysed patients and in rats injected with aluminum chloride. J. Clin. Pathol. , (32) 832-844.

FAIRWEATHER, S. J. et AL. (1987). Dietary intake of aluminum. NATURE, (330) 213.

GATSCHE, W., GAWLIK, D. (1980). Simultaneous determination of aluminium and phosphorus by neutron activation analysis. Journal of Radioanalytical Chemistry, vol.56, No.1-2, 203-212.

GENERAL ELECTRIC CO. (1979). Chart of the Nuclides. San Jose, California.

GITELMAN, H. J. (1989). Aluminum and Health a Critical Review. Marcel Dekker, Inc. , New York and Basel.

GORMIAN, A. (1970). J. Am. Diet. Assoc., 56, 397-403.

GORSKY, J. E. et Al. (1979). Clin. Chem., 25, 1739-1743.

GREGER, J. L. (1985). Aluminum content of the American diet. Food Technol. , 39 (5), 73-80.

HALL, R. J. et Al. (1979). Ecological effects of whole stream acidification. Atmospheric Sulfur Deposition Environmental Impact and Health Effects, Shriner, D. S., 291-301.

HAVAS, M. , JAWORSKI, J. F. (1986). Aluminum in the canadian environment. National Research Council of Canada and NRCC associate committee on scientific criteria for environmental quality, subcommittee on heavy metals, NRCC No.24759, 1-15.

HENDERSHOT, W. H. (1996). Environmental Chemistry of Aluminium. G. Sposito, University of California, Riverside, editor, 181-185.

HISLOP, J. S. (1980). Choice of analytical methods. Element Analytical Chemistry in Medicine and Biology , De Gruyter, Berlin, 747-767.

HODSMAN, A. B. et Al. (1982). Bone aluminum and histomorphometric features of renal osteodystrophy. J. Clin. Endocrinol. Metab. , 54 (3), 539-546.

ISERI, L. T., FRENCH, J. H. (1994). Magnesium : Nature's physiologic calcium blocker. American Heart Journal., (108), 108-112.

IYENGAR, V. (1983). Regional reference ranges of elemental composition levels in some adult human samples of clinical interest a preliminary evaluation. Chemical toxicology and clinical chemistry of metal. Edited by Brown, S. and Savory, J., Academic Press., 153-158.

JIMENEZ, M. A., KANE, E. H. (1974). Compatability of aluminum for food packaging. Am. Chem. Soc., Advances in Chemistry Series, no 135.

KAEHNY, W. D. et Al. (1977). Aluminum transfer during haemodialysis. Kidney Int. , (12) 361-365.

KANEKO, E. et Al (1991). Determination of aluminum in the human serum of a dialysis patient by ion-pair reversed-phase partition High-Performance Liquid Chromatography. Anal. Chem. , (63), 2219-2222.

KEHOE, R. A. et Al. (1940). Spectrochemical study of the normal ranges of concentration of certain trace metals in biological materials. J. Nutr. , (19) 579-592.

KING, D. L. et Al. (1974). Acid strip mine lake recovery. J. Water. Pollut. Control Fed. , (46) 2301-2315.

KING, S. W., SAVORY, J., WILLIAMS, M. R. (1981). The Clinical Biochemistry of Aluminum. University of North Carolina School of Medicine, Chapel Hill, North Carolina, 112-114.

KNOLL, G. F. (1982). Radiation Detection and Measurment. John Wiley and Sons, 79-80.

KNUTTI, R. et Al. (1985). Mitt.Gebiete.Lebensm.Hyg. , 76 ,208-232.

KOIVISTOINEN, P. (1980). Acta Agriculturae Scandinavica, suppl 22,115-139.

KONING, J. H. (1981). Aluminum pots as a source of dietary aluminum. N. ENGL. J. MED. 303 (3) 172-173.

KOSTA, L. (1982). Contamination as a limiting parameter in trace analysis. J. Radioanal. Chem. 29, 985-992.

KRUGER, P. (1971). Principles of Activation Analysis. Wiley interscience, 169-171.

LANDSBERG, J. P. et Al. (1992). Absence of aluminum in neuritic plaque cores in Alzheimer's disease. Nature, vol 360, 5 nov 1992, 65-68.

LANDSBERG, S., ARENDT, A. M. (1989). Non-destructive determination of aluminum in biological reference samples using neutron activation analysis. J. Radioanal. Nucl. Chem., (137)6, 443-454.

LERY, J. P. (1982). Qualité et surveillance des eaux potables. Techniques et Sciences Municipales, 77(6), 275-281.

LETTERMAN, R. D. , DRISCOLL, D. T. (1988). Survey of residual aluminum in filtered water. Journal American Water Work Association, 154-158.

LINDEGARD, B. (1989). Lancet, 267-275.

LIONE, A. (1983). The prophylactic reduction of aluminum intake. Food. Chem. Toxicol., 21, 103-109.

LITENAU, C. (1980). Statistical theory and methodology of trace analysis. Elsiver science publishers,41-59.

MASHIMO, K. , SUZUKI, H . (1973). Iodine metabolism and thyroid function. , 125-129.

MAFF, A. (1985). MINISTRY OF AGRICULTURE, FISHERIES AND FOOD. Food Surveillance paper No 15, London, HMSO.

MARLEAU, Guy. (1997). DRAGON Calculations for the commissioning of the LEU fueled SLOWPOKE-2 reactor at École Polytechnique. IGN-222 École Polytechnique de Montréal. Institut de génie nucléaire .

MCLAUGHLIN, D. L. (1985). Air pollution, Acid Rain and Forestry a canadian perspective. Proceedings of the international symposium of air pollution effects on forest and water ecosystems, Helsinki, Finland, April 23 1985, 115-126.

MILLER, R. G. et Al. (1984). The occurrence of aluminum in drinking water. Journal American Water Works Association, (76) 84-91.

MOORE, J. W. (1991). Inorganic contaminants of surface water. , 251-263.

NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES. (1989). Recommended dietary allowances, 10<sup>th</sup> edition. National Academy Press, Washington, DC.

MORRISON, M. C., et al. (1993). An epithermal technique to resolve activation interferences. J. Radioanal. Nucl. Chem. ,167 (1), 45-54.

NATIONAL RADIOLOGICAL PROTECTION BOARD and Commissariat à l'Énergie Atomique. (1979). Methodology for Evaluating the Radiological Consequences of Radioactive Effluents Released in Normal Operations.

NIELSEN, F. (1990). Ultratrace minerals. Contemporary Nutrition. Minneapolis, General Mills Inc. 15(7), 10-15.

NIELSEN, J.P. (1982). Acidification in southern Norway : seasonal variation of aluminium in lake waters., Hydrobiologia, 94, 217-221.

NIKDEL, S., BARROS, S. M. (1984). Automated fast sequentiel multielement spectrometer combined with inductively coupled argon plasma atomic emission spectrometry. Proc. Fla. State. Hortic. Soc, 97 , 195-199.

PARKINSON, I. S. et Al. (1982). A method for the routine determination of aluminum in serum and water by flameless atomic absorption spectrometry. Clin. Chim. Acta, (125) 125-133.

PARSAD, et Al. (1976). Essential and toxic elements. Trace Elements in Human Health and Disease, 151-161.

PENNINGTON, J. A. T. (1981). Food additives and contaminants., (5), 161.

PENNINGTON, J. A. T., et Al. (1990). Mineral content of foods and total diets. The selected minerals in food survey., J. Am. Diet. Assoc.,(86), 876.

PENNINGTON, J. A. T., et Al. (1987). Molybdenum, nickel, cobalt, vanadium and strontium in total diets. J. Am. Diet. Assoc.,(87), 1644.

PENNINGTON, J. A. T. (1988). Aluminum content of foods and diets. Food additives and contaminants., 5 (2), 166-232.

PERL, D. P. , BRODY, A. R. (1979). Detection of focal accumulations of aluminum and silicon within neurofibrillary tangle bearing neurons of Alzheimer's disease. J. Neuropathol. Exp. Neurol. , (38) 335-339.

PRESSE CANADIENNE. (1996). Corrélation entre la maladie d'Alzheimer et l'aluminium dans l'eau potable. La Presse, 20 février 1996, Page A-6.

ROBERTSON, W. G. (1988). Chemistry and biochemistry of calcium. Calcium in human biology., Edited by B. E. C. NORDIN., International life sciences institute., Springer-Verlag., 13-23.

ROSSITTO, F., TERRANI, M., TERRANI,S. (1972). Choice of neutron filters in activation analysis. Nuclear Instruments and Methods., (103), 77-83.

SHERLOCK, J. C. (1989). Aluminium in Foods and the Diet . Aluminium in Food and the Environment. , Edited by Massey and Talor. , 324-329.

SHERRINGTON, K. B., et Al. (1990). " The Science of Food. " , third Edition.

SINGH, K. (1989). New approch for management of Alzheimer disease issue., Edwin M. Meyer and James. W. Simpkins, New-York Press, 225-236.

SLAVIN, W. (1986). An overview of recent development in the determination of aluminum in serum by furnace atomic absorption spectrometry. J. Anal. Atomic Spectros. , (1) 281-285.

SOLIMAN, K. (1992). Dosage d'aluminium par activation neutronique dans les jus entreposés dans différents conteneurs. Mémoire de maîtrise, École Polytechnique de Montréal, Canada, 89-92.

SOLIMAN, K. , ZIKOVSKY, L. , DALLAIRE, C. (1993). Determination of Al, P, and Si in fruit juices stored in glass and aluminized containers. Can. J. Chem. , (71), 769-771.

SORENSEN, J. R. et Al. (1974). Aluminum in the environment and human health. Environ. Health Perspect. , (8) 13-95.

STATISTIQUE CANADA. (1994). Consommation apparente des aliments par personne au Canada. Statistique Canada Division de l'agriculture, unité de l'horticulture, partie I et II.

TERAOKA, H. et Al. (1981)., J. Japanese. Soc. of Food and Nutrition, 34(3), 222-229.

TRAPP, G. A. and CANNON, J. B. (1981). Aluminum pots as source of dietary aluminum., N. ENGL. J. MED.,304 (3), 172-173.

TRAPP, G. A. et Al. (1978). Aluminum levels in brain in Alzheimer's disease.  
Biol. Psychol. , (13) 709-718.

TSOULFANIDIS, N. (1983). Measurement and Detection of Radiation. McGraw-Hill, 370-372.

ULRICH, B. (1983). Soil Acidity and It's Relations to Acid Deposition In Effects of Accumulation of Air Pollutants in Forest Ecosystems. Edited by Ulrich and Pankrath, D. Publishing Co. , Dordrecht, Netherlands.

UNDERWOOD, E.J. et Al (1977). Trace Elements in Human and Animal Nutrition. Academic Press, New-York, 130-152.

U.S Department of Agriculture. (1982). Composition of Food, Agriculture Handbook No 8-8 and No 8-9, Human Nutrition Information Service, Washington, DC.

U.S Department of Agriculture. (1986). Composition of Food, Agriculture Hanbook No 8, Human Nutrition Information Service, Washington, DC.

U.S Department of Health and Human Services. (1988). The Surgeon General's Report on Nutrition and Health, Public Health Services, Publication No 80-50210.

U.S. FOOD and NUTRITION BOARD. (1980). Recommended Dietary Allowances. 9<sup>th</sup> .Ed, National Academy of Sciences.

VAN DALSEM, D.J. et Al. (1995). A novel approach to aluminum determination in biological tissues using a pair of pneumatic tube irradiation facilities. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, 192 (1), 131-138.

VENTSEL, H. (1977). Théorie des Probabilités. Edition MIR, Moscow, 362-367.

WHITMIRE, Susan J. (1996). Krause's food, nutrition and diet therapy., edited by Mahan, Kathleen L., Escott-Stump, MA., W.B. Saunders Company, 159-160.

WILLIAMS, D. R. (1983). Historical Outline of the Biological Importance of Trace Metals. Trace Metals and Inherited Metabolic Disease, Edited by ADDISON, G. M., 182-183.

WILLS, M. R. et Al. (1990). Effects of aluminium maltol on brain tissue in vivo and in vitro. Trace elements in health and disease., Edited by Antero Aitio, Royal society of chemistry, 227-233.

WOOD, M. and COOPER, J. E. (1988). Acidity, Aluminum and Multiplication of Rhizobium Trifolii possible Mechanisms of Aluminum Toxicity. Soil Biology and Biochemistry, (20) 95-99.

YAMAGUCHI, T. et Al. (1980). Approach to simultaneous determination of trace elements in human eye tissues with non-destructive neutron activation analysis. J. Radioanal. Chem. ,(57)1, 169-183.

ZIEF, M. , MITCHELL, J. W. (1976). Contamination Control in Trace Element Analysis. John Wiley and Sons, 52-54.

ZIKOVSKY, L. , GALINIER, J. L. (1981). Calculation of primary nuclear interferences occurring in neutron activation analysis with a SLOWPOKE reactor. Journal of Radioanalytical Chemistry, 67 (1), 193-203.

**ANNEXE I**

**Liste des échantillons analysés**

<u>Aliment</u>	<u>Spectre</u>	<u>Masse (mg)</u>
Agneau cuit	Agn167	562
Agneau cuit	Agn168	522
Agneau cuit	Agn169	393
Agneau cuit	Agn170	713
Agneau cuit	Agn171	402
Amandes	Am1	878
Amandes	Am2	254
Amandes	Am3	584
Amandes	Am4	769
Amandes	Am5	785
Arachides	Ara137	537
Arachides	Ara138	553
Arachides	Ara139	750
Arachides	Ara140	606
Arachides	Ara141	739
Asperge	ASP273	562
Asperge	ASP274	680
Asperge	ASP275	640
Banane A	A439	961
Banane A	A440	910
Banane A	A441	1308
Banane B	BAN339	1205
Banane B	BAN340	1298
Banane B	BAN341	1202
Betterave	BET369	999
Betterave	BET370	871
Betterave	BET371	817
Beurre	Beu177	482
Beurre	Beu178	423
Beurre	Beu179	359
Beurre	Beu180	459
Beurre	Beu181	414
Beurre d'arachides	Bar142	1229
Beurre d'arachides	Bar143	1140
Beurre d'arachides	Bar144	1239
Beurre d'arachides	Bar145	1206
Beurre d'arachides	Bar146	1448
Biscuits Christie	Bis122	524
Biscuits Christie	Bis123	445
Biscuits Christie	Bis124	438
Biscuits Christie	Bis125	455
Biscuits Christie	Bis126	449

Bœuf haché	BOE300	937
Bœuf haché	BOE301	926
Bœuf haché	BOE302	908
Brocolis	Bro1	858
Brocolis	Bro2	658
Brocolis	Bro3	584
Café testers choice	C1	278
Café testers choice	C2	265
Café testers choice	C3	274
Café testers choice	C4	254
Carotte A	A436	988
Carotte A	A437	894
Carotte A	A438	1129
Carotte B	CAR342	793
Carotte B	CAR343	714
Carotte B	CAR344	727
Céleri	SEL270	732
Céleri	SEL271	508
Céleri	SEL272	1003
Céréale All-Bran	BRN330	372
Céréale All-Bran	BRN331	358
Céréale All-Bran	BRN332	463
Céréale Muslix	MUS351	491
Céréale Muslix	MUS352	426
Céréale Muslix	MUS353	381
Champignons	Cha222	566
Champignons	Cha223	680
Champignons	Cha224	559
Champignons	Cha225	483
Champignons	Cha226	933
Chocolat B	Cho162	445
Chocolat B	Cho163	590
Chocolat B	Cho164	950
Chocolat B	Cho165	886
Chocolat B	Cho166	785
Chou a	CHU372	1101
Chou a	CHU373	892
Chou a	CHU374	1338
Choux	Ch 232	389
Choux	Ch 233	533
Choux	Ch 234	679
Choux	Ch 235	354
Choux	Ch 236	538
Citron A	CIT387	932

Citron A	CIT388	1000
Citron A	CIT389	1106
Citron B	CIT390	750
Citron B	CIT391	572
Citron B	CIT392	780
Concombre	A421	1078
Concombre	A422	756
Concombre	A423	434
Confiture aux fraises	Con242	1399
Confiture aux fraises	Con243	750
Confiture aux fraises	Con244	835
Confiture aux fraises	Con245	1244
Confiture aux fraises	Con246	1297
Couscous Riviera	Cou212	785
Couscous Riviera	Cou213	861
Couscous Riviera	Cou214	800
Couscous Riviera	Cou215	656
Couscous Riviera	Cou216	879
Crème 10%	AA401	1043
Crème 10%	AA402	1185
Crème 10%	AA403	1188
Crème 10%	AA404	1182
Crème 10%	AA405	1188
Creme de ble Nino	Cr107	881
Creme de ble Nino	Cr108	901
Creme de ble Nino	Cr109	929
Creme de ble Nino	Cr110	1091
Creme de ble Nino	Cr111	973
Datte	DAT321	898
Datte	DAT322	1144
Datte	DAT323	296
Dinde	DIN363	928
Dinde	DIN364	743
Dinde	DIN365	737
Épinard	EPI276	380
Épinard	EPI277	666
Épinard	EPI278	459
Farine blanche B	Far73	667
Farine blanche B	Far74	775
Farine blanche B	Far75	651
Farine blanche B	Far76	653
Farine blanche B	Far77	624
Farine blanche Robin Hood	Far68	715
Farine blanche Robin Hood	Far69	812

Farine blanche Robin Hood	Far70	602
Farine blanche Robin Hood	Far71	737
Farine blanche Robin Hood	Far72	731
Farine de riz Michilo	Far78	795
Farine de riz Michilo	Far79	724
Farine de riz Michilo	Far80	675
Farine de riz Michilo	Far81	667
Farine de sigle	Far47	554
Farine de sigle	Far48	678
Farine de sigle	Far49	454
Farine de sigle	Far50	437
Farine de sigle	Far51	560
Farine de sigle naturel	Far58	563
Farine de sigle naturel	Far59	569
Farine de sigle naturel	Far60	450
Farine de sigle naturel	Far61	509
Farine de sigle naturel	Far62	513
Farine de soya	Far63	442
Farine de soya	Far64	510
Farine de soya	Far65	512
Farine de soya	Far66	506
Farine de soya	Far67	516
Farine five roses	Far52	338
Farine five roses	Far53	357
Farine five roses	Far54	452
Farine five roses	Far55	603
Farine five roses	Far56	700
Farine five roses	Far57	701
Figue	FIG327	1220
Figue	FIG328	1087
Figue	FIG329	1740
Fromage	FRO309	907
Fromage	FRO310	851
Fromage	FRO311	1146
Fromage de chèvre (Qué.)	FRO306	909
Fromage de chèvre (Qué.)	FRO307	1277
Fromage de chèvre (Qué.)	FRO308	839
Gruau Quabers	Gru396	398
Gruau Quabers	Gru397	364
Gruau Quabers	Gru398	368
Gruau Quabers	Gru399	346
Gruau Quabers	Gru400	379
Gruau vieux moulin	Gr202	320
Gruau vieux moulin	Gr203	263

Gruau vieux moulin	Gr204	228
Gruau vieux moulin	Gr205	294
Gruau vieux moulin	Gr206	244
Haricot blanc	Har117	581
Haricot blanc	Har118	652
Haricot blanc	Har119	741
Haricot blanc	Har120	682
Haricot blanc	Har121	538
Haricot vert	Har227	858
Haricot vert	Har228	784
Haricot vert	Har229	656
Haricot vert	Har230	681
Haricot vert	Har231	529
Huile d'olive	OIL315	863
Huile d'olive	OIL316	730
Huile d'olive	OIL317	803
Huile végétale	OIL318	983
Huile végétale	OIL319	1063
Huile végétale	OIL320	1101
Jambon	JAM294	1055
Jambon	JAM295	1267
Jambon	JAM296	795
Lait 2% Canada	AA396	1327
Lait 2% Canada	AA397	1136
Lait 2% Canada	AA398	1140
Lait 2% Canada	AA399	999
Lait 2% Canada	AA400	1178
Lait en poudre	A393	367
Lait en poudre	A394	313
Lait en poudre	A395	391
lait homogenisé	A396	362
lait homogenisé	A397	414
lait homogenisé	A398	422
lait homogenisé	A390	424
Laitue	SAL333	496
Laitue	SAL334	828
Laitue	SAL335	856
Laitue A	LAI360	710
Laitue A	LAI361	668
Laitue A	LAI362	829
Maïs	A442	1118
Maïs	A443	1194
Maïs	A444	1216
Mais à éclater	M112	726

Mais à éclater	M113	913
Mais à éclater	M114	754
Mais à éclater	M115	627
Mais à éclater	M116	814
Mandarine	MAN282	798
Mandarine	MAN283	761
Mandarine	MAN284	1109
Margarine 1	Marg11	425
Margarine 2	Marg12	325
Margarine A	Marg13	269
Margarine A	Marg14	369
Margarinne B	Marg15	342
Margarinne B	Marg16	298
Miel Doyon Canada	Mil237	1040
Miel Doyon Canada	Mil238	847
Miel Doyon Canada	Mil239	701
Miel Doyon Canada	Mil240	788
Miel Doyon Canada	Mil241	575
Noix mélangé	Noi1	584
Noix mélangé	Noi2	658
Noix mélangé	Noi3	623
Noix mélangé	Noi4	621
Noix mélangé	Noi5	589
Oeufs bouillis	OEU303	1139
Oeufs bouillis	OEU304	1367
Oeufs bouillis	OEU305	869
Oie	OIE366	493
Oie	OIE367	695
Oie	OIE368	533
Oignons A	ONI279	988
Oignons A	ONI280	707
Oignons A	ONI281	987
Oignons B	ONI304	1087
Oignons B	ONI305	874
Oignons B	ONI306	599
Oignons C	A424	456
Oignons C	A425	626
Oignons C	A426	648
Orange Sunkist	ORG336	1036
Orange Sunkist	ORG337	1165
Orange Sunkist	ORG338	1164
Pain blanc Renaud	Pan191	361
Pain blanc Renaud	Pan192	552
Pain blanc Renaud	Pan193	295

Pain blanc Renaud	Pan194	471
Pain blanc Renaud	Pan195	512
Pain brun Pom	Pa1	249
Pain brun Pom	Pa2	364
Pain brun Pom	Pa3	285
Pain brun Pom	Pa4	391
Pain brun Pom	Pa5	275
Pain brun Pom	Pa6	405
Pain brun Pom	Pa7	255
Pain brun Pom	Pa8	366
Pain brun Pom	Pa9	398
Patates I	POT375	1259
Patates I	POT376	1053
Patates I	POT377	1077
Patates II	POT378	512
Patates II	POT379	889
Patates II	POT380	1064
Pâte au blé	P4	555
Pâte au blé	P5	563
Pâte au blé	P6	704
Pâte au blé	P7	653
Pâte au blé	P8	648
Pâte aux œufs et épinards	Pate93	615
Pâte aux œufs et épinards	Pate94	451
Pâte aux œufs et épinards	Pate95	583
Pâte aux œufs et épinards	Pate96	685
Pâte aux œufs et épinards	Pate97	534
Pâte campion	P1	328
Pâte campion	P2	452
Pâte campion	P3	378
Pâte de semoule de ble	Pate98	653
Pâte de semoule de ble	Pate99	531
Pâte de semoule de ble	Pate100	617
Pâte de semoule de ble	Pate101	582
Persil	A430	423
Persil	A431	630
Persil	A432	400
Piment vert	A427	798
Piment vert	A428	453
Piment vert	A429	835
Pistaches	Pis247	709
Pistaches	Pis248	727
Pistaches	Pis249	646
Pistaches	Pis250	462

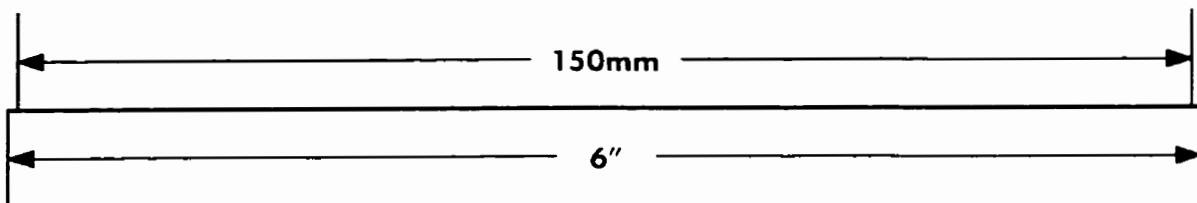
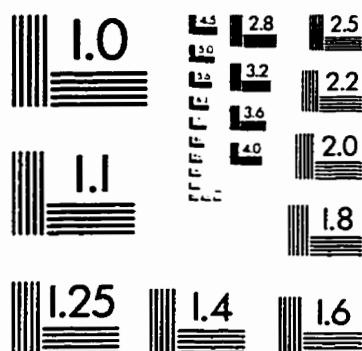
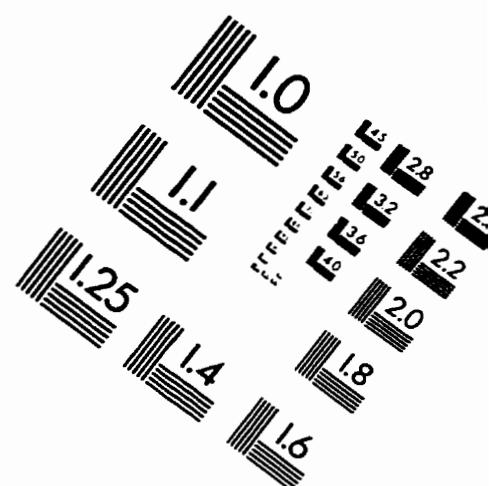
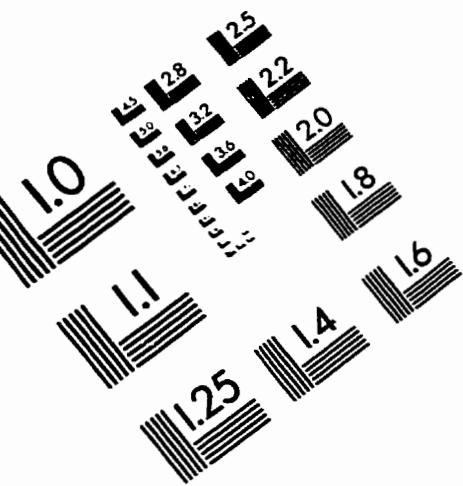
Pistaches	Pis251	628
Poires	POR345	665
Poires	POR346	1026
Poires	POR347	1153
Petits Pois jaunes	A391	1050
Petits Pois jaunes	A392	846
Petits Pois jaunes	A393	799
Petits Pois jaunes	A394	922
Petits Pois jaunes	A395	1063
Pois verts	A448	491
Pois verts	A449	789
Pois verts	A450	816
Pois verts	A451	525
Pois verts	A452	478
Poisson: truite	A433	926
Poisson: truite	A434	882
Poisson: truite	A435	971
Pommes de terre A	Pat252	863
Pommes de terre A	Pat253	857
Pommes de terre A	Pat254	761
Pommes de terre A	Pat255	899
Pommes de terre A	Pat256	753
Pommes de terre B	Pat257	756
Pommes de terre B	Pat258	659
Pommes de terre B	Pat259	562
Pommes de terre B	Pat260	661
Pommes de terre B	Pat261	983
Pommes de terre C	Pat262	926
Pommes de terre C	Pat263	1102
Pommes de terre C	Pat264	843
Pommes de terre C	Pat265	979
Pommes de terre C	Pat266	711
Pommes gramy smith	Pom 1	733
Pommes gramy smith	Pom 2	927
Pommes gramy smith	Pom 3	648
Pommes gramy smith	Pom 4	999
Pommes gramy smith	Pom 5	626
Pommes rouges	POM348	1027
Pommes rouges	POM349	990
Pommes rouges	POM350	916
Porc cuit	POR291	893
Porc cuit	POR292	892
Porc cuit	POR293	1315
Poulet de grain	AA406	1337

Poulet de grain	AA407	1042
Poulet de grain	AA408	1076
Poulet de grain	AA409	1433
Poulet de grain	AA410	1264
Poulet de grain	AA411	1291
Poulet frais	POU285	1467
Poulet frais	POU286	1049
Poulet frais	POU287	922
Pruneaux	Pru152	1260
Pruneaux	Pru153	1110
Pruneaux	Pru154	1322
Pruneaux	Pru155	1415
Pruneaux	Pru156	789
Radis	Rad187	636
Radis	Rad188	524
Radis	Rad189	654
Radis	Rad190	689
Raisin rouge A	RAI267	1113
Raisin rouge A	RAI268	906
Raisin rouge A	RAI269	859
Raisin rouge B	A451	1006
Raisin rouge B	A452	1117
Raisin rouge B	A453	1245
Rib Steak	RIB381	1075
Rib Steak	RIB382	1179
Rib Steak	RIB383	1282
Riz au Jasmin	Riz 88	875
Riz au Jasmin	Riz 89	999
Riz au Jasmin	Riz 90	966
Riz au Jasmin	Riz 91	948
Riz au Jasmin	Riz 92	964
Riz Basmati brun	Riz 82	832
Riz Basmati brun	Riz 83	687
Riz Basmati brun	Riz 84	940
Riz Basmati brun	Riz 85	836
Riz Basmati brun	Riz 86	880
Riz Basmati brun	Riz 87	785
Riz oncle Bob	Riz182	816
Riz oncle Bob	Riz183	808
Riz oncle Bob	Riz184	836
Riz oncle Bob	Riz185	857
Riz oncle Bob	Riz186	803
Saucisse A	SAU297	1387
Saucisse A	SAU298	1081

Saucisse A	SAU299	1297
Saucisse B	SAU1	958
Saucisse B	SAU2	869
Saucisse B	SAU3	999
Saucisse B	SAU4	1015
Saucisse B	SAU5	985
Saumon frais	Sau217	554
Saumon frais	Sau218	852
Saumon frais	Sau219	1222
Saumon frais	Sau220	1333
Saumon frais	Sau221	1454
Saumon de l'atlantique	Sau172	712
Saumon de l'atlantique	Sau173	411
Saumon de l'atlantique	Sau174	296
Saumon de l'atlantique	Sau175	586
Saumon de l'atlantique	Sau176	895
Semoule de blé	Sem147	886
Semoule de blé	Sem148	854
Semoule de blé	Sem149	943
Semoule de blé	Sem150	812
Semoule de blé	Sem151	817
Shortening Crisco	CRI312	630
Shortening Crisco	CRI313	613
Shortening Crisco	CRI314	646
Son d'avoine	Sona 207	231
Son d'avoine	Sona 208	203
Son d'avoine	Sona 209	182
Son d'avoine	Sona 210	141
Son d'avoine	Sona 211	148
Son de blé Quaker	Son 197	253
Son de blé Quaker	Son 198	206
Son de blé Quaker	Son 199	178
Son de blé Quaker	Son 200	206
Son de blé Quaker	Son 201	221
Steak haché cuit	SHC288	1364
Steak haché cuit	SHC289	1025
Steak haché cuit	SHC290	1099
Sucré à glacer Lantic	Suc 132	398
Sucré à glacer Lantic	Suc 133	471
Sucré à glacer Lantic	Suc 134	449
Sucré à glacer Lantic	Suc 135	483
Sucré à glacer Lantic	Suc 136	510
Sucré blanc Lantic	Suc 127	1049
Sucré blanc Lantic	Suc 128	1081

Sucre blanc Lantic	Suc 129	1091
Sucre blanc Lantic	Suc 130	1184
Sucre blanc Lantic	Suc 131	1220
Sucre brun lantic	Suc1	295
Sucre brun lantic	Suc2	330
Sucre brun lantic	Suc3	553
Thé Tetley	THE354	471
Thé Tetley	THE355	553
Thé Tetley	THE356	542
Tomates fraîche A	A412	1137
Tomates fraîche A	A413	999
Tomates fraîche A	A414	1289
Tomates fraîche A	A415	1275
Tomates fraîche B	A445	1185
Tomates fraîche B	A446	1155
Tomates fraîche B	A447	1205
Tomates séchée	TOM357	916
Tomates séchée	TOM358	1020
Tomates séchée	TOM359	902
Truite fraiches	TRU1	758
Truite fraiches	TRU2	658
Truite fraiches	TRU3	589
Truite fraiches	TRU4	625
Yogourt 2% écrémé	AA416	1219
Yogourt 2% écrémé	AA417	1307
Yogourt 2% écrémé	AA418	1109
Yogourt 2% écrémé	AA419	1271
Yogourt 2% écrémé	AA420	1130

# IMAGE EVALUATION TEST TARGET (QA-3)



APPLIED IMAGE, Inc  
1653 East Main Street  
Rochester, NY 14609 USA  
Phone: 716/482-0300  
Fax: 716/288-5989

© 1993, Applied Image, Inc., All Rights Reserved

