

UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

ANALYSE PAR ACTIVATION NEUTRONIQUE DE LA CHARPIE DE SÈCHEUSES

JANA ENE-PARENT
DÉPARTEMENT DE GÉNIE MÉCANIQUE
ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL

MÉMOIRE PRÉSENTÉ EN VUE DE L'OBTENTION
DU DIPLÔME DE MAÎTRISE ÈS SCIENCES APPLIQUÉES
(GÉNIE ÉNERGETIQUE)
MARS 2000



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.

0-612-53573-8

Canada

UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL

Ce mémoire intitulé:

ANALYSE PAR ACTIVATION NEUTRONIQUE DE LA CHARPIE DE SÈCHEUSES

présenté par: ENE-PARENT Jana

en vue de l'obtention du diplôme de: Maîtrise ès sciences appliquées

a été dûment accepté par le jury d'examen constitué de:

M. KOCLAS Jean, Ph. D., président

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

M. TAPUCU Altan, D.Sc.A., membre

À mes parents, Ion et Irina Ene.

REMERCIEMENTS

Un merci spécial à mon directeur de recherche Dr Lubomir Zikovsky pour ses conseils judicieux, pour son intérêt dans la réussite du projet et son support compétent pour la résolution des problèmes.

Remerciements au personnel de l'Institut de génie nucléaire qui ont apporté les échantillons de charpie de sécheuses:

- Dr Lubomir Zikovsky
- Jean Saint-Pierre
- Manon Rioux
- Benoît Forget
- Dr Alberto Teyssedou
- Dr Gregory Kennedy
- Siamak Kaveh
- Peter Tye
- John Gaspo

Remerciements à Monsieur Jean Saint-Pierre pour sa précieuse aide dans la réalisation des essais et pour ses conseils pratiques très avisés.

Remerciements au Dr Gregory Kennedy qui m'a communiqué les résultats de ses recherches avant leur publication.

Remerciements à Madame Manon Rioux pour tout son support et ses conseils pendant mes études.

RÉSUMÉ

Une méthode originale pour étudier la pollution ambiante est le dosage des éléments chimiques dans la charpie des sècheuses domestiques. Comme indicateur de pollution environnementale, la charpie de sècheuse a l'avantage de mieux montrer le niveau de pollution dans le milieu domestique, mais est fortement dépendant des phénomènes suivants :

- la structure matricelle complexe de la charpie (fibres de coton, cheveux, autres matériaux présents ou utilisés dans les milieux domestiques) ;
- des habitudes personnelles différentes pour chaque résidence (façon de faire le lavage, détergents et produits chimiques et cosmétiques utilisés).

Le travail réalisé essaie d'établir, pour la première fois, le niveau de fond pour la charpie de sècheuses en utilisant la méthode d'activation neutronique. Dix échantillons recueillis ont été irradiés dans un réacteur de type SLOWPOKE, par la suite, les spectres de rayonnement gamma ont été recueillis à l'aide d'un détecteur au germanium et ont été analysés à l'aide d'un programme informatique. Finalement, les concentrations des éléments ont été calculées et comparées avec leurs concentrations moyennes dans la croûte terrestre et dans d'autres matrices environnementales.

Vingt-deux éléments ont été identifiés et quantifiés en terme de concentration: Al, Sb, Ag, Au, Br, Ca, Cl, Cr, Co, Cu, Fe, I, Mg, Mn, K, Sc, Se, Na, Ti, U, V, Zn, dans la charpie de sècheuses domestiques provenant de la région montréalaise, en utilisant la méthode absolue d'analyse par activation neutronique. Après une comparaison effectuée avec la teneur dans la croûte terrestre et dans d'autres matrices environnementales, on a trouvé dans la charpie de sècheuses des concentrations au niveau du bruit de fond naturel pour les éléments suivants: Ti, Al, Cr, Co, Cu, Zn, Ca, Fe, U, Mn, Na, K, V, I, Cl, Br et des valeurs significativement élevées pour Sb, Se, Ag, Au .

ABSTRACT

An original method to study ambient pollution is to measure the chemical element concentrations in the dryer lint. As an environmental pollution indicator, the dryer lint has the advantage to show better the pollution level in house area, but it is dependant on the following phenomena:

- The matrix structure is complex (cotton fibres, hairs, others materials present or used in the house area) ;
- The different personal habits in each house (kind of washing, detergents and chemical and cosmetical products used).

Work carried out has the purpose to establish, for the first time, the background level on the dryer lint, analysis using the neutron activation method. Ten samples have been irradiated in a SLOWPOKE reactor; thus, the gamma ray spectra have been recorded by a germanium detector and analysed with the help of a computer program. Finally, the concentrations of elements were calculated and compared with their average concentrations in the Earth's crust and in other environment's matrices.

We have identified and quantified, by neutron activation analysis, 22 elements: Al, Sb, Ag, Au, Br, Ca, Cl, Cr, Co, Cu, Fe, I, Mg, Mn, K, Sc, Se, Na, Ti, U, V, Zn in the dryer lint sampled from houses in the Montreal area. After a comparison with the concentrations in the Earth's crust and in the other environmental matrices, the concentration in dryer lint was found in the background level for the following elements : Ti, Al, Cr, Co, Cu, Zn, Ca, Fe, U, Mn, Na, K, V, I, Cl, Br and with significantly high levels for: Sb, Se, Ag, Au .

TABLE DES MATIÈRES

DÉDICACE.....	iv
REMERCIEMENTS.....	v
RÉSUMÉ.....	vi
ABSTRACT.....	vii
TABLE DES MATIÈRES.....	viii
LISTE DES ANNEXES.....	x
LISTE DES TABLEAUX.....	xi
LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS.....	xii
 INTRODUCTION.....	 1
 CHAPITRE I PRINCIPES FONDAMENTAUX DE LA MÉTHODE.....	 3
1.1 Aspects théoriques	4
1.1.1 Développement de la méthode.....	4
1.1.2 La réaction nucléaire (n,γ).....	4
1.1.3 Analyses par activation basées sur l'activité induite.....	7
1.1.4 Méthode absolue	9
1.2 Technique expérimentale utilisée en analyse par activation.....	10
1.2.1 Échantillons et standards.....	10
1.2.2 Irradiation.....	11
1.2.3 Détection.....	12
1.2.4 Analyseur multicanal.....	14
1.3 Limites de détection.....	16
1.4 Sensibilité	18
1.5 Précision de l'analyse par activation.....	19
1.6 Statistique des résultats	19

CHAPITRE II PARTIE EXPÉRIMENTALE.....	22
2.1 Programme utilisé pour l'analyse des spectres.....	22
2.1.1 Introduction des données (Input).....	23
2.1.2 Résultats du programme (Output).....	23
2.2 Conditions de travail.....	23
2.2.1 Échantillons et standards.....	23
2.2.2 Irradiation et comptage.....	24
2.3 Validation de la méthode.....	26
2.3.1 Le standard.....	26
2.3.2 Discussions sur la méthode utilisée.....	28
2.4 Choix de l'énergie et du radio-isotope (interférences spectrales possibles).....	29
2.4.1 Énergies des radio-isotopes bien détachés.....	29
2.4.2 Énergies des radio-isotopes avec interférences spectrales possibles.....	30
2.5 Interférences nucléaires.....	32
CHAPITRE III RÉSULTATS ET DISCUSSIONS.....	34
3.1 Résultats expérimentaux.....	34
3.2 Comparaison des résultats avec les données publiées.....	36
3.2.1 Éléments avec un facteur d'enrichissement sous-unitaire.....	42
3.2.2 Éléments avec un facteur d'enrichissement $1 < R < 10$	42
3.2.3 Éléments avec un facteur d'enrichissement $R > 10$	43
CONCLUSION.....	45
RÉFÉRENCES.....	46
ANNEXES.....	50

LISTE DES ANNEXES

ANNEXE I	PROGRAMME ANA.....	50
ANNEXE II	IDENTIFICATION D'UN SPECTRE	54
ANNEXE III	INTERFÉRENCES SPECTRALES POSSIBLES.....	55
ANNEXE IV	CALCUL DES TENEURS ET D'INTERFÉRENCES NUCLÉAIRES.....	57
ANNEXE V	RAPPORTS R CALCULÉS ENTRE LA TENEUR DANS LA CHARPIE DE SÈCHEUSES DOMESTIQUES ET LA TENEUR MOYENNE DANS LA CROÛTE TERRESTRE.....	84
ANNEXE VI	ÉLÉMENTS AVEC UN FACTEUR D'ENRICHISSEMENT SOUS-UNITAIRE.....	85
ANNEXE VII	ÉLÉMENTS AVEC UN FACTEUR D'ENRICHISSEMENT $1 < R < 10$	94
ANNEXE VIII	ÉLÉMENTS AVEC UN FACTEUR D'ENRICHISSEMENT $R > 10$	98

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1.1	Caractéristiques techniques du détecteur utilisé.....	14
Tableau 1.2	Sources d'erreurs dans l'analyse par activation.....	21
Tableau 2.1	Conditions de travail.....	25
Tableau 2.2	Teneur d'éléments dans le Standard Reference Material 1570	27
Tableau 2.3	Énergies des radio-isotopes avec très faibles interférences spectrales	30
Tableau 2.4	Énergies des radio-isotopes avec d'interférences spectrales possibles	31
Tableau 2.5	Facteurs d'interférence pour les réactions (n,p) et (n, α).....	33
Tableau 3.1	Teneur (en ppm) et écart type d'éléments identifiés dans la charpie de sècheuses domestiques dans la région de Montréal.....	37
Tableau 3.2	Comparaison entre la teneur (ppm) d'éléments présents dans l'environnement.....	40

LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS

A	activité
a	an
AAN	analyse par activation neutronique
ANA	activation neutronique absolue
ATSDR	Agency for Toxic Substance and Disease Registry
b	barn ($1\text{E}-24\text{ cm}^2$)
C	concentration
$^{\circ}\text{C}$	degré Celsius
c	coup, comptage
Can.	Canada
cm	centimètre
cpm	coup par minute
cps	coup par seconde
Correct.	valeur correcte avec rapport valeur expérimentale/standard
dpm	désintégration par minute
dps	désintégration par seconde
DT	temps mort
DTC	constante expérimentale
DTD	constante expérimentale
E	énergie
E.U.	États-Unis
EPA	Environmental Protection Agency
eV	électron-volt
F	flux, facteurs
f	fréquence
FI	facteur d'interférence

FWHM	largeur du pic mesuré à mi-hauteur de l'amplitude maximale
Hz	hertz
I	intégrale de résonance
i	irradiation
interf.	interférence
j	jour
k	kilo (1E+3)
LC	limite de décision
LD	limite de détection
M	masse atomique
m	masse, minute
n	neutron
N	nombre
N _A	nombre d'Avogado (6.023×10^{23} atomes / mole)
NCRP	National Council on Radiation Protection and Measurements
NNA	Neutron Activation Analysis
ns	nano seconde (10^{-9} s)
OSHA	Occupational Safety and Health Administration
p	proton
ppb	partie par billion (1E-9)
ppm	partie par million (1E-6)
pps	particules par seconde
R	taux de réaction, rapport, largeur du pic, facteur d'enrichissement
rap.	rapport
S	facteur de saturation
s	standard, seconde, écart type
SA	somme du produit entre le nombre de canal et son contenu (nombre de coups)
SM	nombre total de coups dans le spectre

t	temps
$T_{1/2}$	demi-vie
TC	temps de comptage
TD	temps de décroissance
TI	temps d'irradiation
v	vitesse
W_b	écart type du bruit de fond
Z	numéro atomique
φ	flux
ε	efficacité du détecteur
μ	micro (1E-6)
γ	gamma, constante de calibration
Δ	delta
α	alpha
β	bêta
λ	constante de désintégration
σ	section efficace

INTRODUCTION

L'objectif visé par le présent ouvrage, est de déterminer, en utilisant la méthode d'activation neutronique, la teneur en éléments chimiques dans la charpie de sécheuses domestiques provenant de différentes personnes de la région de Montréal et d'étudier les relations qui pourraient exister entre ces teneurs et leur provenance.

L'industrialisation d'un pays a souvent des effets négatifs sur l'environnement. On sait que les usines contribuent à la pollution du milieu. Pendant les deux dernières décennies un effort scientifique considérable a été consacré à l'étude de la chimie environnementale, spécialement dans le domaine de la toxicologie des métaux lourds (i.e. plomb) qui sont de plus en plus pressentis dans les milieux domestiques (Shy, 1990). Les travailleurs adultes peuvent transporter des quantités substantielles de contaminants industriels chez eux, en exposant aux risques (associés aux contaminants) leurs enfants ou leurs femmes enceintes.

Une méthode originale qu'on peut utiliser pour étudier la pollution ambiante est le dosage des éléments chimiques dans la charpie provenant des sécheuses. Il a été démontré récemment (Mahaffy et al, 1998) que la charpie de sécheuses de personnes qui travaillent dans un milieu contaminé par le plomb, contient une concentration accrue de cet élément. Pour déterminer la teneur en plomb pour les milieux domestiques, Mahaffy et ses collaborateurs (1998), ont utilisés la spectrométrie d'absorption atomique (à 217 nm) dans la flamme (avec mélange air-acétylène) et la microscopie laser (en utilisant Bio-Rad MRC-600 Confocal Laser Scanning Microscope).

Parmi ces premières mesures, les niveaux de plomb trouvés dans la charpie domestique des travailleurs en milieux contaminés sont de 10-20 fois plus élevés que ceux de

provenance urbaine (Mahaffy et al, 1998). Ainsi en mesurant la concentration de ce polluant dans la charpie, on obtient des indicateurs sur la pollution ambiante par ce métal toxique.

Comme nouvel indicateur de la pollution environnementale, la charpie de sècheuse a l'avantage de mieux montrer le niveau de pollution dans les milieu domestiques, mais présente une hétérogénéité élevée à cause de la structure des constituants (vêtements, cheveux et des différents autres matériaux). De plus, on s'attend qu'après le lavage et le séchage il reste seulement les composants peu solubles, peu volatiles ou encore les éléments se liant chimiquement aux molécules organiques de la matrice.

Par conséquent, dans le présent travail, on a appliqué une approche innovatrice: c'est à dire d'étudier l'indicateur de la pollution environnementale, la charpie de sècheuses, par une méthode d'analyse qui permet la détermination des autres éléments dangereux présents dans le milieu domestique, l'activation neutronique, et d'établir pour la première fois un niveau de fond pour ces composants.

Les échantillons ont été recueillis par plusieurs personnes (10) qui travaillent à l'Institute de Génie Nucléaire de l'École Polytechnique de Montréal, mais qui demeurent dans la région montréalaise. Une tentative d'avoir des échantillons provenant de milieux contaminés par les industries a été faite en envoyant des lettres de demande à plusieurs syndicats du Québec. Cette tentative s'est soldée par un échec. Dans l'avenir, des autres analyses pourront être faites pour étudier la teneur d'éléments dans la charpie provenant des foyers appartenant aux travailleurs en milieux industriels contaminés.

CHAPITRE I

PRINCIPES FONDAMENTAUX DE LA MÉTHODE

L'Analyse par Activation Neutronique (AAN) est une méthode analytique qui permet de déterminer les concentrations d'éléments chimiques dans une grande variété de matériaux, indépendamment de leur état d'oxydation ou de l'emplacement physique. La AAN permet de détecter beaucoup d'éléments aux concentrations extrêmement faibles.

L'échantillon est d'abord rendu radioactif par bombardement avec des projectiles nucléaires, puis les isotopes radioactifs créés sont identifiés et leurs concentrations élémentaires sont déterminées par l'analyse de spectre de rayons gamma qu'ils émettent.

On mesure donc à l'aide d'un détecteur semi-conducteur au germanium le spectre de rayons gamma émis lors de la désexcitation du noyau final. On choisit la mesure pour chaque élément un pic photoélectrique, le plus intense, et le plus dégagé des chevauchements correspondant à l'absorption d'un rayon γ par le détecteur. L'aire sous ce pic est une mesure de l'abondance de l'élément initial.

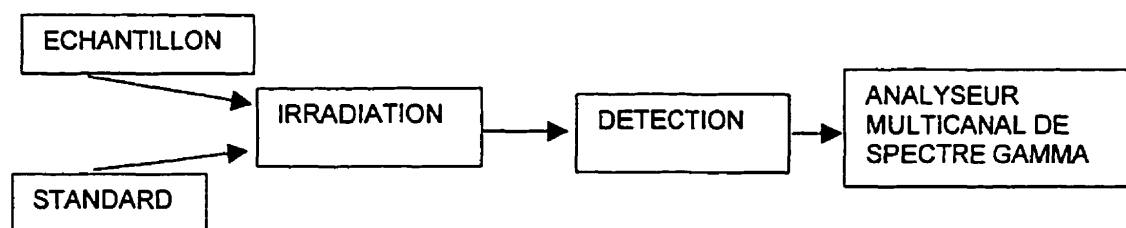


Figure 1 Principe de la méthode

1.1 Aspects théoriques

1.1.1 Développement de la méthode

Le principe de la méthode d'Analyse par Activation Neutronique remonte à la découverte de la radioactivité artificielle par Frédéric et Irène Joliot-Curie en 1934 et à l'études de Ambrosino à Paris en 1967.

Mais la méthode n'a pris son essor pratique dans les applications à la géochimie et à l'archéologie que vers le milieu des années 60 avec le développement des semi-conducteurs. La mise au point de détecteurs de rayons gamma au germanium ont apporté un progrès considérable dans la résolution des spectres et le développement d'analyseurs muticanaux et de l'électronique à bas bruit de fond. Aussi, vers la même époque, le développement de l'informatique a permis de traiter d'énormes quantités de données et, entre autre, à corriger les temps de décroissance radioactive et à résoudre les cas de chevauchement de pics dans les spectres.

Les publications sur la méthode AAN sont nombreuses et dispersées dans différents livres et revues. Entre les années 1935 et 1970, le nombre de publications sur ce sujet a doublé à chaque 3 ans (Zikovsky, 1999). Cette croissance rapide a diminué un peu ces dernières années.

1.1.2 La réaction nucléaire (n,γ)

Le taux R de réaction (n,γ) par cible (s^{-1}), après l'irradiation, dans un échantillon où l'atténuation est négligeable est :

$$R = \int_0^{\infty} n(v)v\sigma(v)dv = \int_0^{\infty} \sigma(v)\varphi'(v)dv = \int_0^{\infty} \sigma(E)\varphi'(E)dE \quad 1.1.1$$

Avec : $n(v)dv$ = la densité neutronique pour les neutrons qui ont la vitesse comprise entre v et $v+dv$;

$\sigma(v)$ = la section efficace pour la réaction (n,γ) , en cm^2 , et pour la vitesse neutronique v ;

$\sigma(E)$ = la section efficace pour la réaction (n,γ) , en cm^2 , et pour l'énergie E ;

$\varphi'(v)$ = le flux neutronique pour les neutrons qui ont la vitesse comprise entre v et $v+dv$;

$\varphi'(E)$ = le flux neutronique pour les neutrons qui ont l'énergie comprise entre E et $E+dE$;

En considérant seulement les neutrons thermiques (De Soete et al., 1972), on trouve que:

$$\sigma(1/v) = \sigma_0 v_0 / v \quad 1.1.2$$

où $v_0 = 2200 \text{ m/s}$ (vitesse la plus probable des neutrons thermiques ayant l'énergie de 0.025 eV pour une distribution de type Maxwell);

σ_0 = la section efficace pour v_0 .

Donc, l'équation 1.1.1 devient :

$$R = \sigma_0 v_0 \int_0^{\infty} n(v)dv = n \sigma_0 v_0 \quad 1.1.3$$

Où $n = \int_0^{\infty} n(v)dv$ = la densité de neutrons thermiques

La contribution des neutrons de fission à la réaction (n,γ) est faible, ils ont donc été négligés dans l'équation (1.1.3). Par la suite,

$$R = n \sigma_0 v_0 = \varphi_0 \sigma_0 \quad 1.1.4$$

Où : φ_0 = le flux thermique.

Si la courbe $\sigma(v)$ présente des pics importants de résonance, l'équation 1.1.3 doit être complétée avec la contribution des neutrons épithermiques.

$$R = n_{th} \sigma_0 v_0 + \varphi_e I \quad 1.1.5$$

Hogdahl (1962) a proposé que le spectre neutronique provenant d'un réacteur nucléaire puisse être décrit comme une somme des neutrons thermiques, n_{th} (qui sont absorbés par un filtre de cadmium) et des neutrons épithermiques φ_e (qui ne sont pas absorbés par un filtre de cadmium) :

$$n_{th} = \int_0^{v_1} n(v) dv \quad 1.1.6$$

v_1 correspond à l'énergie de coupure du Cadmium $E_{Cd} = 0.55$ eV. La densité de flux neutronique intermédiaire (De Soete et al., 1972) est donnée par :

$$\varphi_{int} = \int_{E_1}^{E_2} \varphi(E) dE = \varphi_e \int_{E_1}^{E_2} dE/E = \varphi_e \ln(E_2/E_1) \quad 1.1.7$$

I = l'intégrale de résonance

$$I = \int_{E_{Cd}}^{1 \text{ MeV}} \frac{(\sigma(E) dE)}{E} \quad 1.1.8$$

En remplaçant $\sigma_0 = \sigma_{réacteur}$, où :

$$\sigma_{réacteur} = \sigma_0 + \varphi_e I / n_{th} v_0 = \sigma_0 + \varphi_e I / \varphi_{th} \quad 1.1.9$$

La forme de l'équation 1.1.3 peut être modifiée en (De Soete et al., 1972) :

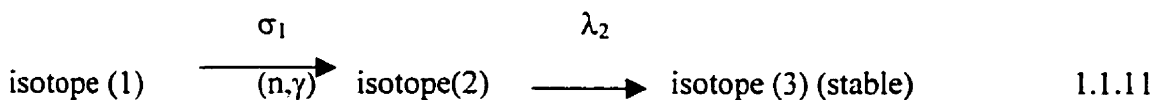
$$R = n_{th} v_0 \sigma_{réacteur} = \varphi_{th} \sigma_{réacteur} \quad 1.1.10$$

Cette équation a des applications pratiques, car elle permet des calculs de taux de réaction, si le rapport ϕ_e / ϕ_0 est connu pour le réacteur. Les valeurs pour σ_0 et I sont publiées dans la littérature.

1.1.3 Analyses par activation basées sur l'activité induite

L'AAN met à profit le fait que les neutrons ne soient pas arrêtés par les barrières de potentiel atomique qui arrêtent les particules chargées très près de la surface d'un matériau. Après la capture d'un neutron, le noyau cible passe dans un état excité, due au gain en énergie (l'énergie de liaison du neutron plus l'énergie cinétique du noyau lui-même). La vie d'un état excité est longue ($\approx 10^{-14}$ - 10^{-15} s) comparativement au temps nécessaire pour traverser le noyau par le neutron ($\approx 10^{-19}$ s) (De Soete et al., 1972). Les possibilités de désexcitation pour le noyau sont multiples, mais le plus souvent, l'émission d'un rayon γ (en général γ de haute énergie) est enregistrée.

L'activité induite est l'activité (voir isotope 2 ci-dessous) provenant des radio-isotopes formés, tandis que l'activité immédiate est due à la radiation résultante (γ) d'une réaction nucléaire. L'activité induite est partiellement cumulative, tandis que l'activité immédiate ne l'est pas.



Pendant l'irradiation, d'isotope stable (1) a été activé par la capture neutronique (la section efficace σ_1) et est devenu radioisotope (2), avec une constante de désintégration λ_2 . L'accroissement dN_2 / dt_i (t_i = le temps d'irradiation) est:

$$dN_2 / dt_i = \phi \sigma_1 N_1^0 - \lambda_2 N_2 \quad 1.1.12$$

Cette équation est vraie en supposant que pendant l'irradiation, le nombre d'atomes N_1 reste constant $N_1 = N_1^0$ (le burn-up est négligeable).

Après l'intégration de 1.1.12 entre $t = 0$ et $t = t_i$ on obtient :

$$N_2(t_i) = \frac{\varphi \sigma_1 N_1^0}{\lambda_2} (1 - \exp(-\lambda_2 t_i)) \quad 1.1.13$$

Donc l'activité $A_2(t_i)$ est :

$$A_2(t_i) = \lambda_2 N_2(t_i) = \varphi \sigma_1 N_1^0 (1 - \exp(-\lambda_2 t_i)) \quad 1.1.14$$

Le facteur $1 - \exp(-\lambda_2 t_i)$ est appelé le facteur de saturation S .

Lorsque :

$$t_i \gg (T_{1/2})_2, \exp(-\lambda_2 t_i) \rightarrow 0 \text{ et } S \rightarrow 1$$

$$t_i \ll (T_{1/2})_2, \exp(-\lambda_2 t_i) \rightarrow (1 - \lambda_2 t_i) \text{ et } S \rightarrow \lambda_2 t_i$$

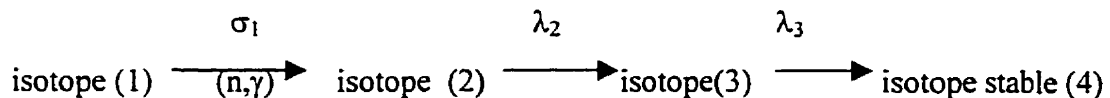
Les taux de désintégration, après le temps d'irradiation t_i et le temps de décroissance (désactivation) t_d , peuvent être calculés avec l'équation 1.1.14 substituée dans l'équation générale de décroissance radioactive avec $t_0 = t_i$:

$$A(t) = A^0 \exp(-\lambda t) \quad 1.1.15$$

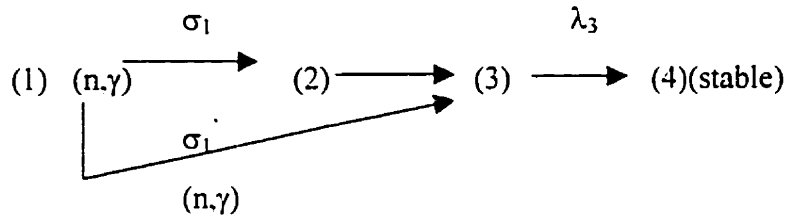
Donc,

$$A_2(t_i, t_d) = A_2(t_i) \exp(-\lambda_2 t_d) = \varphi \sigma_1 N_1^0 (1 - \exp(-\lambda_2 t_i)) \exp(-\lambda_2 t_d) \quad 1.1.16$$

La situation devient plus complexe quand le noyau (3) de la relation 1.1.11 n'est pas stable, mais radioactif.



Il existe aussi un cas spécial de l'activation à branchement dans laquelle le noyau (3) est formé par activation d' isotope (1) et par une transformation isomérique d' isotope (2).



1.1.4 Méthode absolue

La méthode absolue est la méthode dans laquelle on emploie une relation directe entre le taux de comptage et la masse d'éléments dans un échantillon. Elle n'est pas souvent (Bergerioux et al, 1979) utilisée à cause de la connaissance imparfaite du flux neutronique et de sa fluctuation dans l'espace et dans le temps. La mesure absolue de l'activité est également difficile. Si la mesure de l'activité est réalisée en t_d secondes après la fin d'irradiation, sa désintégration radioactive doit être considérée, et on obtient :

$$A = 0.6 m I \varphi \sigma (1 - \exp(-\lambda t_i)) \exp(-\lambda t_d) / M \quad 1.1.17$$

Où on a introduit à la place de N_1^0 , dans l'équation 1.1.16, le poids m de l'échantillon, la masse atomique M de l'isotope et son abondance I isotopique. Le nombre de photons N_c d'une fréquence f enregistrée au cours du comptage d'une durée t_c avec un détecteur d'une efficacité E (l'efficacité absolue pour une énergie gamma donnée) est:

$$N_c = \frac{0.6 m I \varphi \sigma E f (1 - \exp(-\lambda t_i)) \exp(-\lambda t_d) (1 - \exp(-\lambda t_c))}{\lambda M} \quad 1.1.18$$

Donc, on calcule la concentration W d'un élément à partir de la surface d'un pic gamma caractéristique P (St-Pierre et Zikovsky, 1982):

$$W = \frac{\lambda M P}{N_A I \phi \sigma E f (1 - \exp(-\lambda t_i)) \exp(-\lambda t_d) (1 - \exp(-\lambda t_c))} \quad 1.1.19$$

Où N_A = le nombre d'Avogadro et λ , M , N_A , I , ϕ , σ , f sont des constantes nucléaires déjà définies.

1.2 Technique expérimentale utilisée en analyse par activation

1.2.1 Échantillons et standards

1.2.1.1 Préparation

Avant l'activation, on minimise les traitements par crainte de contaminer l'échantillon (standard) en le mettant en contact avec les réactifs qui peuvent contenir des traces d'éléments à doser. Mais, si l'échantillon est trop volumineux, hétérogène ou s'il contient des composants dont l'irradiation peut produire une activité trop élevée, un traitement chimique s'impose.

Les échantillons (standard) contenant de l'eau sont séchés à poids constant. Le séchage doit se faire à une basse température (50 à 80 °C) afin de minimiser les pertes par volatilisation. Une lyophilisation (séchage à 25°C sous vide) peut minimiser la contamination pendant cette opération, mais c'est un procédé très lent.

Pour obtenir des conditions aussi proches que possible entre les échantillons et les standards on donnera aux échantillons une forme aussi identique que possible, par broyage et pastillage dans des conditions identiques. On prend le plus grand soin d'éviter les contaminations d'éléments stables.

1.2.1.2 Manipulation

Il y a deux effets de matrice qui peuvent produire de faibles résultats. Si un échantillon a une concentration accrue d'un élément avec une section efficace élevée, des neutrons peuvent être absorbés près de la surface de l'échantillon rendant l'échantillon moins radioactif qu'il devrait théoriquement être. Le deuxième effet est la densité. Si un échantillon a une densité relative élevée, les rayons gamma peuvent être autoabsorbés dans la matrice. Des corrections peuvent être faites pour ces deux problèmes.

Chaque échantillon est pesé et enfermé dans un tube de plastique pour l'isoler de l'air et pour ne pas contaminer les canaux de réacteur.

1.2.2 Irradiation

Les manœuvres d'irradiation des conteneurs sont effectuées par des techniciens spécialisés à l'aide d'un système pneumatique dans des canaux du réacteur nucléaire SLOWPOKE. Les échantillons irradiés sont manipulés avec des gants pour la protection de l'opérateur.

Le réacteur nucléaire SLOWPOKE de l'École Polytechnique de Montréal sert pour l'enseignement et la recherche. Le cœur du réacteur, d'un volume de 9 litres se trouve au fond d'une piscine, sous 4 m d'eau. À puissance maximale de 20 kW il produit un flux neutronique maximum de $10^{12} \text{ n} \times \text{cm}^{-2} \times \text{s}^{-1}$.

Le réacteur SLOWPOKE est une source neutronique qui donne des flux très stables à cause de deux facteurs:

- le cœur du réacteur reste inchangé pendant plusieurs années (10 ans), seul l'épaisseur du réflecteur (Be) est majorée chaque année pour compenser la diminution de la réactivité due au burn-up de ^{235}U et à l'empoisonnement avec le ^{149}Sm ;

- la mesure du flux neutronique est faite par un détecteur de neutrons avec Cd (“self-powered”) contrôlé par un système électronique qui maintient la puissance à la valeur préétablie à $\pm 1\%$.

Les paramètres déjà mesurés pour le réacteur SLOWPOKE de l'École Polytechnique de Montréal (Kennedy et al., 1999) sont (inner irradiation site) :

- le rapport: flux de neutrons thermique / flux de neutrons épithermique = 19.8 ± 0.4 ;
- le rapport: flux de neutrons thermiques/ flux de neutrons rapides = 4.0 ± 0.1 .

1.2.3 Détection

La détection se fait à l'aide d'un cristal de germanium (hyper-pur) semi-conducteur. Une fraction des rayons gamma émis par l'échantillon placé devant le détecteur, frappent celui-ci et transmettent leur énergie à un électron dans le cristal de germanium, qui lui-même excite d'autres électrons, en provoquant une avalanche des électrons secondaires. De cette façon, l'énergie d'électron primaire est utilisée pour la production d'une paire électron-trou qui est par la suite collectée. Cette énergie est convertie en courant électrique dont l'amplitude est proportionnelle à l'énergie du rayon incident.

Le détecteur utilisé est un produit de EG&G Ortec de type : GEM Séries HPGe (High-Purity Germanium) Coaxial Detector System, modèle GEM 25185-P, série 30-TPIOS99A. Ses caractéristiques techniques sont présentées dans le Tableau 1.1. Aujourd'hui, les monocristaux hyper-purs sont disponibles pour la fabrication des détecteurs de haute qualité qui n'ont pas besoin de compensation des capteurs résiduels associés à la présence d'éventuelles impurités. Comme la mobilité des atomes dans le réseau cristalin n'est pas négligeable à la température ambiante, il faut garder les détecteurs (de ce type) à une température cryogénique pendant toute leur vie.

1.3.2.1 Résolution en énergie

Les facteurs affectant la largeur expérimentale d'un pic (NCRP Report No. 58, 1978) sont:

- la variance sur le nombre de paires électron-trou créés dans le détecteur ;
- problème de collection de charge ou des fuites du courant dans le détecteur;
- le bruit de fond électronique associé au système de l'amplificateur d'impulsions;
- la performance du circuit électronique de mise en forme des impulsions;
- les performances du convertisseur analogue-digital utilisé pour mesurer l'amplitude des impulsions générées par le détecteur;
- la stabilité du système électronique.

Généralement, la résolution expérimentale d'un détecteur (NCRP Report No. 58, 1978) est :

$$R = 2.355 (FE_{\gamma} E_p)^{1/2} \quad 1.2.1$$

Où R = la largeur du pic mesuré (en keV) à mi-hauteur de l'amplitude maximale (FWHM); E_{γ} = l'énergie de rayon gamma (en keV); E_p = l'énergie moyenne nécessaire pour la production d'une paire électron-trou; F = facteur fractionnel appliqué sur la quantité totale d'énergie absorbée qui produit des paires.

1.2.3.2 L'efficacité du détecteur

L'efficacité du détecteur (NCRP Report No. 58, 1978) ϵ_p est la probabilité que le rayon gamma d'énergie E_{γ} , émis par une source, va être présent dans un pic de spectre gamma. Il est difficile de calculer directement ϵ_p , à cause de la complexité du processus impliqué, mais on peut utiliser la relation suivante :

$$\varepsilon_p = \varepsilon_t P$$

1.2.2

où : ε_t est la probabilité qu'une fraction des rayons gamma émis par une source va interagir avec le détecteur; P est la fraction du nombre total d'événements associés à un spectre gamma et qui sont présents dans le pic. L'efficacité du détecteur est mesurée expérimentalement en utilisant des sources gamma bien connues.

Tableau 1.1 Caractéristiques techniques du détecteur utilisé

Cristal	Diamètre		55.4 mm
	Longueur		60.0 mm
	Couche absorbante	Aluminium	1.27 mm
		Germanium (inactif)	0.7 mm
Voltage de travail	2000 V		
Résolution à (FWHM)	1.33 MeV (⁶⁰ Co)	1.68 keV*	
	122 keV (⁵⁷ Co)	733 eV*	
Rapport : Pic / Compton	67.8		
Constante de temps d'amplificateur	6 µs*		
Efficacité relative à 1.33 MeV(⁶⁰ Co)	29% *		

* Les mesures sont prises à un taux de comptage de 1000 coups / s.

1.2.4 Analyseur multicanal

Les signaux produits par les rayons gamma sont accumulés dans la mémoire d'un analyseur multicanal (PCA) pour former un spectre (nombre de rayons gamma détectés

versus leur énergie). Plus spécifiquement, l'analyseur multicanal mesure le maximum d'amplitude de l'impulsion électrique reçue et l'enregistre dans la mémoire. Un pic est obtenu à l'énergie correspondant à l'élément présent et la surface du pic est proportionnelle à la quantité de cet élément.

Les caractéristiques techniques de l'analyseur multicanal (PCA) utilisé sont :

Mémoire : 4096 canaux; optionnel 1024 et 2048;

Capacité : maximum 16 777 215 coups / canal;

Base de temps : contrôlée par un cristal de 1 MHz. Possibilité de sélectionner les temps d'acquisition réels et ajustables;

Linéarité : intégrale ± 0.1 % sur 98 % de la plage;

Différentiel ± 1 % sur 98 % de la plage;

Stabilité thermique: gain ± 0.01 % / C;

Niveau de zéro: ± 0.01 % / C.

Les spectres enregistrés (sous forme binaire) par l'analyseur multicanal (PCA) sont traités par un programme d'ordinateur ANA décrit dans la Section 2.1 de cet ouvrage.

1.2.4.1 Calibration en énergie

La calibration en énergie du système se fait à l'aide de sources gamma d'énergies bien connues (Co 60 avec 1332.5 keV et Co 57 avec 122 keV).

1.2.4.2. Rapport des paramètres caractéristiques de pics

L'analyseur multicanal peut aussi traiter un spectre (si nécessaire). Il calcule et montre automatiquement :

- position en énergie du canal central;
- surface nette de pic ;

- bruit de fond;
- taux de comptage (per seconde);
- erreur statistique (%) pour tous les pics.

1.2.4.3. Le temps mort

Le temps mort est défini comme la période pendant laquelle les impulsions qui arrivent ne sont pas mesurées à cause du blocage du système dû aux autres opérations en déroulement (i.e. analyse d'autres impulsions déjà arrivées, stockage dans mémoire. ...). On peut faire des corrections de temps morts en utilisant différentes approches (voir Section 2.1).

1.3 Limites de détection

Une limite de détection (LD) indique la concentration ou la masse W_D d'un élément la plus faible qu'on peut détecter dans un échantillon donné (De Soete et al., 1972).

$$W_D = \gamma LD \quad 1.3.1$$

Où : LD = le taux de comptage et γ = la constante de calibration (g / coups par seconde).

Normalement le signal analytique est "mêlé" avec le bruit de fond et la limite de détection quantifie la "détectabilité" du signal. Parce que la définition d'une limite de détection varie considérablement, pour éviter la confusion, on définit (Zikovsky, 1999):

- une limite de décision (LC) comme le niveau net du signal observé au-dessus duquel le signal recueilli peut être reconnu comme "détectable" :

$$LC = K W_b \quad 1.3.2$$

- la limite de détection (LD) est le signal net suffisant pour une identification quantitative.

$$LD = K^2 + 2K W_b \quad 1.3.3$$

Avec :

K = l'abscisse de la distribution normale qui décrit la variabilité du bruit de fond et du signal; W_b = l'écart type du bruit de fond pour différents niveaux de confiance (NC).

Pour un niveau de confiance de 95%, $K = 1.645$ et donc LC et LD deviennent (Zikovsky, 1999):

$$LC = 1.645 W_b \quad 1.3.4$$

$$LD = 2.71 + 3.29 W_b \quad 1.3.5$$

On constate que LC et LD dépendent du bruit de fond qui est produit en majeure partie par l'activation des autres composants de l'échantillon.

La composition de l'échantillon et la résolution du détecteur ont une grande influence sur la LD, mais il est difficile d'incorporer ces facteurs dans l'expression 1.3.5.

Les limites de détection changent d'un élément à un autre et dépendent de plusieurs facteurs. Quelques éléments deviennent très radioactifs après irradiation, mais ce n'est pas le cas pour tous les éléments. Il y a 90 éléments naturels et environ 70 deviennent radioactifs (en utilisant les neutrons thermiques).

Dans certains cas, il est possible " de pousser " la limite de détection par de plus longues irradiations. Si un échantillon est irradié deux fois aussi longtemps, il devient deux fois plus radioactif, donc la limite de détection est améliorée. Un inconvénient de cette approche est le coût associé au réacteur nucléaire en marche.

Doubler le temps de comptage peut également améliorer la limite de détection. Cependant, le bruit de fond de l'environnement limite cette approche. Doubler le temps de comptage n'aidera pas si ceci double le niveau de bruit de fond.

Habituellement, la limite de détection dépend des "autres" éléments présents dans l'échantillon - la matrice, et amplifie le bruit de fond. Ce bruit ne produit pas des résultats faux, mais les limites de détection passent à des valeurs élevées.

Le taux signal / bruit s'améliorera avec le temps de décroissance, si l'élément d'intérêt a une longue demi-vie comparée à l'élément(s) produisant le bruit de fond. L'inconvénient à ceci est le délai de l'attente que le bruit de fond diminue assez pour prendre seulement le signal d'intérêt (ce délai pourrait durer plusieurs semaines).

Des séparations radiochimiques peuvent être utilisées quand un ou plusieurs éléments dans l'échantillon deviennent tellement fortement radioactifs qu'ils "gênent" la détection de l'élément(s) d'intérêt. Cette interférence produit habituellement des limites de détection élevées pour que l'élément(s) soit déterminé. Pour améliorer la détection, l'élément(s) d'intérêt est chimiquement séparé de la matrice après l'irradiation, mais avant l'étape de comptage mentionnée ci-dessus.

1.4 Sensibilité

La sensibilité de l'analyse est définie comme le signal (le taux de comptage) obtenu par unité de masse ou de concentration (i.e. cps / g, cps / ppm) (Zikovsky, 1999) .

Les facteurs qui peuvent influencer la sensibilité d'analyse sont:

- Concentration de l'élément qui nous intéresse;
- Conditions concernant l'échantillon (masse, l'abondance isotopique, les sections efficaces de la réaction nucléaire d'intérêt);

- Conditions d'irradiation (flux, temps d'irradiation, autoabsorption);
- Propriétés nucléaires du radio-isotope produit (λ , fréquence, énergie de la radiation émise);
- Conditions de comptage (efficacité absolue du détecteur, temps de comptage);
- Traitement après irradiation (temps de décroissance, rendement de la séparation chimique).

1.5 Précision de l'analyse par activation

La précision de l'analyse par activation est limitée par des erreurs systématiques et aléatoires (De Soete et al., 1972). Les erreurs systématiques sont causées par les caractéristiques intrinsèques de la méthode (interférences de réactions nucléaires, absorption interne des neutrons de résonance, variation de flux et d'énergie des neutrons, variation en composition isotopique) et on peut difficilement les réduire; tandis que les erreurs aléatoires sont dues aux variations des conditions d'analyse (erreurs d'opération, de comptage, de séparation radiochimique) et elles peuvent être minimisées.

La précision (St-Pierre et Zikovsky, 1982) de la méthode absolue est un peu plus faible que celle pour les méthodes semi-absolue et relative à cause de l'effet de coïncidence de quelques rayons gammas. Un autre facteur qui affecte la précision de la méthode absolue est l'erreur dans la pente de la courbe de calibration.

1.6 Statistique des résultats

Lorsqu'on veut résumer une série numérique (de résultats expérimentaux), on utilise la moyenne arithmétique définie comme :

$$x = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} x_i}{n} \quad 1.6.1$$

La dispersion des valeurs x_i de la série autour de leur moyenne est donnée par l'écart type :

$$s = \left[\frac{\sum_{i=1}^{i=n} (x_i - \bar{x})^2}{n-1} \right]^{1/2} \quad 1.6.2$$

L'évaluation statistique des résultats expérimentaux est très importante parce qu'elle donne l'information sur le niveau de confiance de la méthode utilisée. Comme les méthodes statistiques impliquent une infinité de valeurs (inaccessibles par expérience), donc on doit travailler avec un intervalle $\bar{x} \pm \Delta x$. Arbitrairement, on choisit Δx très petit. En pratique, on l'exprime en termes d'écart type (s)

$$\Delta x = u s \quad 1.6.3$$

où u prend différentes valeurs en fonction du niveau de confiance (NC) choisit. Pour une distribution normale des résultats, l'intervale $\bar{x} \pm s$ correspond à un NC = 0.683 ou 68.3%, tandis que $\bar{x} \pm 3s$ correspond au niveau maximal de confiance de 99.7% (Zikovsky, 1999).

Les sources d'erreurs (De Soete et al., 1972) pour une analyse par activation sont associées avec la manipulation de l'échantillon, soit pendant le processus analytique (Tableau 1.2).

Tableau 1.2 Sources d'erreurs dans l'analyse par activation

	Sources d'erreurs
Échantillon	-poids -homogénéité
Irradiation	-variations de flux neutronique -temps du transport par système pneumatique
Séparations radiochimiques	-non utilisée dans cet ouvrage
Comptage	-facteur géométrique -dérive électronique -corrections de temps mort -erreur statistique de comptage

CHAPITRE II

PARTIE EXPÉRIMENTALE

2.1 Programme utilisé pour l'analyse des spectres

Le programme ANA "Activation Neutronique Absolue" a été conçu en 1979 (Zikovsky et al.) et il a été modifié à plusieurs reprises depuis (Zikovsky, Bergerioux et St-Pierre, 1979 et 1982). Ce programme lit un spectre de rayons gamma écrit par un logiciel PCA sur une disquette, il localise les pics, identifie les radio-isotopes présents et calcule les concentrations des éléments correspondants (équation 1.1.18). Le programme réalise la correction pour le temps mort à l'aide de l'équation suivante :

$$DT = TC / (TC - SM \times DTC - SA \times DTD) \quad 2.1.1$$

Avec: SM = nombre total de coups dans le spectre; SA = somme du produit entre le nombre de canal et son contenu (nombre de coups); DTC et DTD sont des constantes expérimentales (16 μ s / coups et 14 ns / coups / canal).

La méthode d'identification des pics est une variante modifiée (Zikovsky, 1979) de la technique de la première dérivée (Weigel, 1974 et Yule, 1973). La surface du pic est calculée avec la méthode de pic total avec une ligne droite comme ligne de base (Bergerioux et al, 1979). Les pics sont identifiés par leur énergie, puis l'énergie du pic est comparée avec les valeurs énergétiques caractéristiques aux différents radio-isotopes stockés dans la bibliothèque. Si la différence est moins qu'une valeur pré-spécifiée (i.e. 4 keV), le pic est identifié avec cette énergie.

Les limites de détections sont calculées à l'aide de l'équation 1.3.5 pour la surface totale du pic. Pour le calcul des sections efficaces (σ) on utilise l'équation 1.1.9 .

2.1.1 Introduction des données (Input)

Pour utiliser le programme ANA, il faut d'abord introduire les données dans le fichier ANA.I. Une description des données d'entrée est fournie à l'ANNEXE I.

2.1.2 Résultats du programme (Output)

Le programme ANA génère le fichier ANA.O qui contient les résultats détaillés, le fichier ANA.OC qui contient les résultats simplifiés et ANA.OS et ANA.S qui contiennent les spectres traités. Une description du fichier ANA.O est fournie à l'ANNEXE I.

2.2 Conditions de travail

2.2.1 Échantillons et standards

Les 10 échantillons analysés ont été recueillis en automne (septembre –novembre) 1999 par des personnes qui ne travaillent pas de façon permanente avec des contaminants industriels. Ces échantillons, de petites quantités de charpie de sècheuses domestiques, emballés dans des sacs en plastique fermés hermétiquement, ont été apportés par des personnes travaillant à l'Institut de Génie Nucléaire de l'École Polytechnique de Montréal. Ces personnes demeurent dans la région de Montréal et de ses environs.

Ainsi, le présent travail est axé sur l'évaluation du niveau de base de concentration pour des composants de charpie de sècheuses provenant des milieux résidentiels d'une grande ville industrielle telle que Montréal. Une tentative d'avoir des échantillons provenant des personnes travaillant dans des milieux contaminés industriels a été faite en envoyant des lettres de demande à plusieurs syndicats du Québec. Cette tentative s'est soldée par un échec. Des futurs travaux de recherche pourraient être orientés vers l'analyse

d'échantillons provenant des milieux contaminés et en utilisant une nouvelle approche pour faire la collecte des échantillons.

Les échantillons et le standard ont subi le même traitement. Ils ont été fractionnés dans une hotte propre afin de minimiser le danger de contamination. Pour avoir de meilleures statistiques des résultats, chaque échantillon identifié avec des lettres (i.e. a, b, g....), a été fractionné en trois autres échantillons, identifiés avec des lettres et des chiffres (i.e. a1, a2, a3, b1...), puis chacun de ceux-ci a été séparé en une autre série de trois échantillons. Finalement, il en est résulté 9 échantillons à irradier (avec différents temps d'irradiation) pour chacun des 10 échantillons (voir l'ANNEXE II).

Chaque échantillon a été pesé avec une balance Mettler PE 160 et encapsulé dans de petites (1ml) capsules en polyéthylène fermées hermétiquement. Le poids de chacun a varié entre 0.020 et 0.2 g .

2.2.2 Irradiation et comptage

L'irradiation a été faite dans le réacteur SLOWPOKE de l'École Polytechnique de Montréal à une valeur moyenne de flux neutronique de 5×10^{11} neutrons $\times \text{cm}^{-2} \times \text{s}^{-1}$. Des corrections ont été apportées pour chaque échantillon, pour tenir compte de la variation du flux dans les différentes positions d'irradiations.

Les caractéristiques de flux neutronique mesurées, déjà présentées, montrent (Kennedy et al., 1999) un rapport de flux de neutrons thermiques / flux de neutrons épithermiques = 19.8 ± 0.4 .

Chaque échantillon a subi une seule irradiation caractérisée par le temps d'irradiation T_I , et identifié au niveau du deuxième chiffre (i.e. pour $T_I = 30\text{s}$: a11, a21, a31...; pour $T_I = 300\text{s}$: a12, a22, a32...; pour $T_I = 3000\text{s}$: a13, a23, a33...). Les conditions de travail sont

présentées dans la Tableau 2.1. Le choix de TI, TD et TC est très important pratiquement, car il permet de minimiser les interférences possibles. On peut calculer le temps optimum pour des systèmes binaires (Zikovsky, 1999), mais pour des systèmes complexes comme ceux organiques ou on vise à la détermination d'un large éventail d'éléments, cette approche n'est pas suffisante.

Tableau 2.1 Conditions de travail

Temps d'irradiation (s)	Temps de décroissance (s)	Temps de comptage (s)
30	30	30
	150	100
	300	200
	600	350
300	300	200
	1800	400
	3600	1200
	1jour	2000
3000	1jour	1000- 2000
	3jours	2000-5000
	>30 jours	>60000

La détection est faite à l'aide d'un détecteur au germanium hyper-pur (les caractéristiques techniques sont déjà présentés dans le Tableau 1.1); les spectres sont enregistrés avec un analyseur multicanal type PCA (déjà présenté dans la Section 1.2.4).

Dans la salle de comptage, il faut avoir un faible bruit de fond. Pour cette raison, le détecteur est placé dans un château de plomb à basse teneur en matériaux radioactifs naturels qui le protège contre l'influence des autres échantillons à compter ou déjà

comptés. Aussi il ne faut pas laisser, dans la salle, des sources radioactives sans blindage de plomb. Un support à échantillons garantit un positionnement reproductible par rapport au détecteur et une horloge permet l'enregistrement des temps pour les corrections de décroissance radioactive.

Finalement, pour chaque irradiation, on a enregistré 3-4 spectres. Les valeurs de temps de décroissance TD et de temps de comptage TC utilisées sont présentées au Tableau 2.1. L'explication de l'identification d'un spectre enregistré est présentée à l'ANNEXE II.

On a étudié 10 échantillons de base et on a enregistré 328 spectres. Chaque spectre a été analysé par le programme ANA (présenté dans la Section 2.1), donc il en a résulté une quantité appréciable des données expérimentales. Pour trier et interpréter ces données, on a fait une validation de la méthode et des choix des radio-isotopes et d'énergies d'analyse.

2.3 Validation de la méthode

2.3.1 Le standard

Pour valider la méthode analytique utilisée, idéalement on doit analyser un standard avec les caractéristiques les plus proches possibles de la matrice des échantillons qu'on a l'intention d'étudier. Mais, comme la charpie de sécheuses est nouvelle comme indicateur de la pollution environnementale, il n'existe pas de standards spécifiques. On a dû choisir un standard avec une composition organique qui a déjà été bien caractérisé par plusieurs autres méthodes analytiques.

Donc, on a choisi un standard d'épinard, « Standard Reference Material 1570 », recommandé par le « National Bureau of Standards (NBS) » pour la calibration d'instruments ou l'évaluation des méthodes analytiques destinées aux analyses

d'échantillons agricoles ou botaniques (National Bureau of Standards, 1976). Les valeurs certifiées de ce standard (présentées dans le Tableau 2.2) sont mesurées par deux méthodes indépendantes, standardisés ou avec une précision bien déterminée. Les méthodes analytiques utilisées par le NBS sont :

- spectrométrie d'absorption atomique;
- spectrométrie de masse;
- l'activation neutronique;
- technique "nuclear track";
- spectrométrie d'émission optique;
- spectrophotométrie;
- polarographie.

Tableau 2.2 Teneur d'éléments dans le Standard Reference Material 1570

Élément	Présent ouvrage			Valeurs certifiées	Rapport: Cet ouvrage / Valeurs certifiées
	Radio- isotope	Énergie (keV)	Concentration		
K	$_{19}^{42}\text{K}$	1524	4.7±0.3 %	3.56 ±0.03 %	1.32
Ca	$_{20}^{49}\text{Ca}$	3084	1.08±0.04 %	1.35±0.03 %	0.8
Al	$_{13}^{28}\text{Al}$	1779	987.7±24.3 ppm	870±50 ppm	1.13
Fe	$_{26}^{59}\text{Fe}$	1099	1075±25 ppm	550±20 ppm	1.95
Mn	$_{25}^{56}\text{Mn}$	1811	181.2±39.3 ppm	165±6 ppm	1.1
Rb	$_{37}^{86}\text{Rb}$	1079	20.8 ppm (± 26%)	12.1±0.2 ppm	1.7
Cr	$_{24}^{51}\text{Cr}$	320	6.25 ppm (± 17%)	4.6±0.3 ppm	1.36
Br	$_{35}^{82}\text{Br}$	776	49.8±9.6 ppm	54 ppm*	0.92
Co	$_{27}^{60}\text{Co}$	1332	1.83 ppm (± 11%)	1.5 ppm*	1.22
Sc	$_{21}^{46}\text{Sc}$	1120	0.134±0.002 ppm	0.16 ppm*	0.83

* valeurs non-certifiées, mais spécifiées dans le Certificat ;

(%) indique l'erreur statistique du comptage.

2.3.2 Discussions sur la méthode utilisée

Dans le présent ouvrage, le standard a subi le même traitement que tous les échantillons, déjà présenté dans la Section 2.2. Les résultats d'analyse sont présentés dans le Tableau 2.2. On a fait des corrections pour les interférences nucléaires (présentes dans la Section 2.5). Comme la mesure du phosphore par analyse par activation neutronique est seulement accessible par comptage β , car le ^{32}P résultant de la réaction $^{31}\text{P} (n,\gamma) ^{32}\text{P}$ n'émet pas de rayonnement γ , on a utilisé les valeurs certifiées pour P dans Certificat d'analyse pour les calculs d'interférences.

On a obtenu une surévaluation dans un rapport moyen de 1.23; ce qui signifie que dans notre approche on a fait une erreur systématique de 23% par rapport aux valeurs certifiées.

Chaque paramètre qui est utilisé dans la méthode absolue apporte une erreur associée (De Soete et al., 1972). Par exemple :

- les valeurs de flux de neutrons (Kennedy et al., 1999) thermiques et épithermiques: $\pm 2\%$;
- le temps (Cali et al., 1966) d'irradiation : $\pm 3\%$;
- la demi-vie (Cali et al., 1966) :
 - $\pm 2\%$ si $0.5 \text{ jours} < T_{1/2} < 10 \text{ jours}$;
 - $\pm 3\%$ si $15 \text{ jours} < T_{1/2} < 60 \text{ jours}$;
 - $\pm 11\%$ si $0.5 \text{ ans} < T_{1/2} < 4 \text{ ans}$ (exception $^{60}\text{Co} \pm 0.7\%$);
- les chaînes (Cali et al., 1966) radioactives : $\pm (2\% - 50\%)$;
- les Sections efficaces (Cali et al., 1966) : $\pm (5\% - 30\%)$;
- la calibration du compteur (Cali et al., 1966) : $\pm (1.5\% - 4.5\%)$.

À ces erreurs, on devrait ajouter les sources expérimentales d'erreur, déjà présentées dans le Tableau 1.2.

De plus, le Certificat recommande d'analyser une quantité minimale de 300 mg du standard. À cause de la capacité limitée des capsules d'irradiation on a été obligé d'utiliser seulement 200 mg par analyse.

Donc, on peut conclure, de façon générale, que la méthode est adéquate pour l'analyse des échantillons de charpie, puisqu'une surestimation de 23% est généralement observée dans les analyses faites précédemment.

2.4 Choix de l'énergie et du radio-isotopes (interférences spectrales possibles)

Dû au volume important de données expérimentales, on a choisi seulement les radio-isotopes identifiés avec une ou plusieurs énergies caractéristiques. L'énergie du pic choisi pour chaque élément est généralement la plus intense ou la plus détachée des autres pics voisins. On discute de chaque radio-isotope trouvé dans la charpie de sécheuse avec ses interférences spectrales possibles pour un choix d'énergie caractéristique.

2.4.1 Énergies des radio-isotopes bien détachés

Pour les radio-isotopes présentés dans le Tableau 2.3, les pics sont bien détachés (dans l'intervale de ± 4 keV autour de l'énergie d'intérêt) et donc, on a conclu que les interférences spectrales ne sont pas présentés.

Tableau 2.3 Énergies des radio-isotopes avec de très faibles interférences spectrales

Radio-isotope	Demi-vie (*)	Énergie d'intérêt (keV) (*)	Abondance isotopique (*)
$_{11}^{24}\text{Na}$	14.9 h	2753.99	99
$_{12}^{27}\text{Mg}$	9.5 m	1014.4	28
$_{13}^{28}\text{Al}$	2.24 m	1778.8	100
$_{17}^{38}\text{Cl}$	37.24 m	1642.4	33
$_{19}^{42}\text{K}$	12.4 h	1524.58	17
$_{20}^{49}\text{Ca}$	8.72 m	3084.54	91
$_{23}^{52}\text{V}$	3.75 m	1434.08	100
$_{25}^{56}\text{Mn}$	2.6 h	1810.77	30
$_{27}^{60}\text{Co}$	5.27 a	1332.5	100
$_{29}^{66}\text{Cu}$	5.1 m	1039.35	9
$_{51}^{124}\text{Sb}$	60.2 j	1691	50

(*) Blaaw, 1996.

2.4.2 Énergies des radio-isotopes avec interférences spectrales possibles

Les radio-isotopes présentés dans le Tableau 2.4 ont passablement des interférences spectrales mais à cause d'une abondance isotopique faible ou encore parce que le pic caractéristique le plus intense possible (mentionné dans la dernière colonne du Tableau 2.4) n'est pas présent dans le spectre, on a conclu qu'il n'y a pas d'interférence spectrale considérable et on a utilisé le pic (énergie d'intérêt) pour les calculs de concentration. Les détails sur les radio-isotopes possibles interférants sont fournis à l'ANNEXE III.

Tableau 2.4 Énergies des radio-isotopes avec d'interférences spectrales possibles

Radio-isotope	Demi-vie (*)	Énergie d'intérêt (keV)	Abondance isotopique (*)	Énergies (pics) caractéristiques (keV) (*)	Interférences spectrales possibles
$_{53}^{128}\text{I}$	24.99 m	442.92	16.8	442.92	^{163}Er , ^{233}Th , ^{180}Hf , ^{149}Nd , ^{137}Ce
$_{92}^{239}\text{U}$	23.47 m	74.7	59	277.6	$^{188\text{m}}\text{Re}$, $^{191\text{m}}\text{Os}$, ^{197}Pt , ^{149}Nd , $^{131\text{m}}\text{Ba}$, $^{113\text{m}}\text{Sn}$
$_{24}^{51}\text{Cr}$	27.7 j	320	9	-	^{149}Nd , ^{192}Ir , ^{103}Pd , $^{177\text{m}}\text{Lu}$
$_{22}^{51}\text{Ti}$	5.76m	320	95	-	^{192}Ir
$_{79}^{198}\text{Au}$	2.7 j	411.8	95	-	^{191}Pt
$_{30}^{65}\text{Zn}$	244.1 j	1115.5	49	-	^{159}Eu , ^{46}Sc
$_{34}^{75}\text{Se}$	119.7 j	135.9	58	265	$^{177\text{m}}\text{Lu}$, ^{181}W , ^{159}Dy , ^{99}Mo
$_{47}^{110\text{m}}\text{Ag}$	249.76j	657.7	94	937	$^{127\text{m}}\text{Te}$
$_{35}^{82}\text{Br}$	1.47 j	776	83	554	^{99}Mo , ^{187}W
$_{26}^{59}\text{Fe}$	44.49 j	1099.3	56	1291.6	$^{121\text{m}}\text{Te}$
$_{21}^{46}\text{Sc}$	83.83 j	1120.51	100	889.25	^{182}Ta

(*) Blaaw, 1996.

Ici, deux cas sont à discuter :

-les radio-isotopes $_{24}^{51}\text{Cr}$ et $_{22}^{51}\text{Ti}$ ont les pics caractéristiques les plus intenses pour la même énergie de 320 keV mais on peut faire l'analyse de cette énergie pour les deux isotopes concernés à cause des demi-vies très différentes.

-les radio-isotopes de longue demi-vie, $_{21}^{46}\text{Sc}$ et $_{30}^{65}\text{Zn}$, ont des pics caractéristiques plus intensés dans la même région énergétique (autour de 1115.5 - 1120.5 keV), mais la différence entre les deux est assez grande (5 keV) pour que le PCA montre deux pics différents et que les calculs de concentration ne soient pas affectés.

2.5 Interférences nucléaires

Une autre interférence possible sur les résultats est due à la présence de neutrons rapides dans le flux neutronique dans un réacteur nucléaire, déjà présenté dans la Section 1.2.2. Les réactions (n,p) et (n, α) induites par des neutrons rapides produisent les mêmes radio-isotopes que ceux utilisés lors de la détermination des éléments, par la réaction (n, γ). Elles affectent la concentration réelle.

Pour corriger ce problème, on a mesuré les facteurs d'interférence associés (Kennedy et al., 1986) pour le réacteur SLOWPOKE, définis comme la concentration d'un élément qui interfère (en ppm) et qui génère le même signal que 1 ppm de l'élément dosé. À noter que le rapport (mesuré): flux neutrons thermiques / flux neutrons rapides n'a pas beaucoup changé: de 4.0 ± 0.1 (le nouveau cœur, après 1997) comparativement à 4.4 ± 0.1 (le vieux cœur) (Kennedy et al., 1999). Donc, dans le présent ouvrage, on a utilisé les facteurs d'interférences nucléaires mesurés pour le vieux cœur du réacteur présentés dans le Tableau 2.5.

Tableau 2.5 Facteurs d'interférence pour les réactions (n,p) et (n, α)

Élément d'intérêt	Élément interférent	Réaction d'interférence	Facteur d'interférence (mesuré)*
Na	Mg	$^{24}\text{Mg}(\text{n,p})^{24}\text{Na}$	2330 ± 120
Na	Al	$^{27}\text{Al}(\text{n},\alpha)^{24}\text{Na}$	3770 ± 400
Mg	Al	$^{27}\text{Al}(\text{n,p})^{27}\text{Mg}$	5.8 ± 0.3
Al	P	$^{31}\text{P}(\text{n},\alpha)^{28}\text{Al}$	690 ± 40
Sc	Ti	$^{46}\text{Ti}(\text{n,p})^{46}\text{Sc}$	$138 \times 10^3 \pm 8 \times 10^3$
Ti	V	$^{51}\text{V}(\text{n,p})^{51}\text{Ti}$	84 ± 10
Ti	Cr	$^{54}\text{Cr}(\text{n},\alpha)^{51}\text{Ti}$	>12000
V	Cr	$^{52}\text{Cr}(\text{n,p})^{52}\text{V}$	$30 \times 10^3 \pm 2 \times 10^3$
Cr	Fe	$^{54}\text{Fe}(\text{n},\alpha)^{51}\text{Cr}$	$47 \times 10^3 \pm 8 \times 10^3$
Mn	Fe	$^{56}\text{Fe}(\text{n,p})^{56}\text{Mn}$	$68 \times 10^3 \pm 4 \times 10^3$
Mn	Co	$^{59}\text{Co}(\text{n},\alpha)^{56}\text{Mn}$	$\geq 82 \times 10^3$
Cu	Zn	$^{66}\text{Zn}(\text{n,p})^{66}\text{Cu}$	$13.1 \times 10^3 \pm 1.7 \times 10^3$

* Kennedy et al., 1986

CHAPITRE III

RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

3.1 Résultats expérimentaux

Les matrices les plus utilisées pour les études de la pollution ambiante, à l'aide du dosage des éléments traces sont: le sol, l'eau, l'air et la nourriture. Il y a beaucoup d'ouvrages sur ces sujets, et, de plus, chaque pays a établi des valeurs limites pour les concentrations des éléments considérés dangereux.

Du fait que, dans la littérature, le seul ouvrage, Mahaffy et al., 1998, sur la charpie de sècheuses donne des niveaux de concentration de base pour un seul élément (plomb: 100 ppm), on a essayé d'analyser plus en détail ce nouveau type possible d'indicateur de la pollution environnementale et d'établir pour la première fois des niveaux de référence pour la concentration de base pour plusieurs éléments.

En utilisant la méthode absolue de l'analyse par activation neutronique pour 10 échantillons de charpie de sècheuses provenant du milieu domestique de la région montréalaise on a identifié et quantifié jusqu'à 22 éléments (Tableau 3.1). Les énergies et les radio-isotopes utilisés dans cette analyse ont déjà été présentés aux Tableaux 2.4.1. et 2.4.2.

On a fait les corrections pour interférences nucléaires avec les facteurs mesurés pour le réacteur utilisé (présentés dans le Tableau 2.5) à l'aide de la formule suivante :

$$C_i = C_{i \text{ exp}} - C^{\text{itfr}} / FI_i \quad 3.1.1$$

Où : C_i = la concentration de l'élément d'intérêt i (en ppm) ;

$C_{i \text{ exp}}$ = la concentration expérimentale de l'élément d'intérêt i (en ppm);

C^{ifr} = la concentration de l'élément interférant (en ppm);

FI_i = facteur d'interférence .

Toutes les valeurs expérimentales sont normalisées par rapport aux valeurs certifiées du standard étudié (épinard) présentées à la Section 2.3, pour les éléments qui ne sont pas trouvés dans le standard, on a utilisé dans la normalisation, le rapport moyen des données expérimentales et certifiées. Tous les résultats bruts et détaillés de calculs effectués sont présentés à l'ANNEXE IV .

Les résultats finaux (valeurs moyennes en ppm) et les écarts types pour chaque échantillon étudié sont listés dans le Tableau 3.1. On a identifié 22 éléments : Ag, Al, Au, Sb, Br, Ca, Cl, Co, Cu, Fe, I, Mg, Mn, K, Sc, Se, Na, Ti, U, V, Zn avec des teneurs moyennes comprises dans le domaine de 0.025 - 6000 ppm. Donc, une première classification qu'on peut faire est en fonction de la teneur moyenne de chaque élément :

- < 1ppm : U, Sc, Au;
- 1-50 ppm: Cr, Br, Sb, Se, Mn, Ag, Fe, V, Co;
- 50-4 000 ppm : Ca, Mg, Al, Cl, Fe, Na, Ti, K, Zn, Cu.

Un écart type acceptable caractérisent les valeurs expérimentales moyennes d'éléments d'intérêt dans un échantillon donné. Mais le domaine des valeurs moyennes est large pour l'ensemble des 10 échantillons et montre une grande hétérogénéité des matrices étudiées.

Ceci n'est pas surprenant, parce que :

- généralement, les analyses des échantillons provenant d'environnement (sol, nourriture, etc.) sont dispersées, les chercheurs publient plutôt des domaines possibles que des valeurs moyennes;

- la structure complexe de la charpie (fibres de coton, cheveux, autres matériaux présents ou utilisés dans les milieu domestiques) se reflétant normalement dans les résultats d'analyse (Mahaffy et al., 1998);
- les différences entre les échantillons reflétant aussi des habitudes personnelles dans chaque résidence (méthode de lavage, détergents et produits chimiques et cosmétiques utilisés).

3.2 Comparaison des résultats avec les données publiées

Tel que mentionné précédemment, la teneur des éléments dans la charpie de sècheuses dépend de :

- sa composition : mélange de fibres textiles, de cheveux, impuretés, éléments salissants, des habitudes de vie des personnes concernées, etc. ;
- traitement subi pendant lavage et séchage : détergent utilisé, la qualité de l'eau, la solubilité et la volatilité des composants présents.

Comme la littérature présente toute une gamme de valeurs expérimentales, on compare les teneurs trouvées dans la charpie de sècheuses (Tableau 3.2) avec la composition chimique des différentes matrices environnementales (concentration de base naturelle). À première vue, le Tableau 3.2 montre que la teneur d'éléments dans la charpie est différente des autres matrices environnementales présentées : croûte terrestre, sol, cheveux, coton, eau de rivière. Donc, la comparaison n'est pas facile à réaliser et en plus on manque de données sur le niveau de bruit de fond dans la charpie, ce qui est le but de cet ouvrage. On a donc, décidé de comparer premièrement la teneur de charpie avec la teneur d'éléments présents dans la croûte terrestre.

Tableau 3.1 Teneur (en ppm) et écart type d'éléments identifiés dans la charpie de sècheuses domestiques dans la région de Montréal

Élément/ Échantillon	y	t	a	b	z	d	g	j	m	s	Valeur moyenne
Aluminium	883 ±53	85.8 ±9	427 ±64	1675 ±204	1270 ±141	900 ±66	307 ±183	2172 ±359	810 ±393	1132 ±267	966 ±633
Antimoine	6 ±2	43 ±14	4.6 ±1	7.8 ±4	12.7 ±0.7	19.1 ±1.4	20.3 ±7.7	13.1 ±12.7	5.9 ±1.2	8.8 ±1.5	14 ±14
Argent	1.32 ±0.02	3.7 ±0.1	1.4 ±0.2	2.66 (13%)	1.95 ±1	2.90 ±0.5	2.5 ±0.2	1.5 (22%)	3.1 (12%)	3.3 ±0.25	2.4 ±0.9
Brome	15 ±4	34 ±14	13 ±6	32 ±4	7.6 ±0.4	41 ±4	8 ±1	6 ±1	7.7 ±1	24 ±6	19 ±13
Calcium	4483 ±448	2876 ±475	4063 ±320	5708 ±604	2836 ±200	4127 ±772	2758 ±406	1768 ±314	3310 ±533	5320 ±866	3725 ±1262
Chlore	544 ±49	550 ±82	417 ±30	470 ±8	570 ±36	842 ±284	828 ±37	490 ±93	402 ±86	544 ±107	566 ±153
Chrome	13 ±2.5	45 ±7	57 ±12	8 ±0.8	11 ±3	28 ±2.5	16.5 ±0.9	12.1 ±1.4	52 ±40	28 ±10	27 ±18
Cobalt	0.42 ±0.05	0.84 (27%)	0.64 ±0.06	1.4 ±0.8	0.55 ±0.05	1.41 ±0.3	1.6 ±0.7	1.00 (23%)	1.3 ±0.1	0.93 ±0.09	1.00 ±0.4
Cuivre	77 ±12	44 (27%)	57 ±11	96 ±37	19 (10%)	109 ±66	20 ±7	100 (22%)	58 ±12	40 ±16	62 ±32
Fer	399 ±240	573 (26%)	293 (7%)	-	-	-	-	-	701 (28%)	391 ±138	471 ±146
Or	0.036 ±0.02	0.23 (24%)	0.18 ±0.07	0.12 ±0.05	0.042 ±0.008	0.22 ±0.07	0.095 ±0.02	-	0.06 ±0.04	0.15 ±0.2	0.125 ±0.07

Tableau 3.1 Teneur (en ppm) et écart type d'éléments identifiés dans la charpie de sècheuses domestiques dans la région de Montréal (suite)

Élément/ Échantillon	y	t	a	b	z	d	g	j	m	s	Valeur moyenne
Iode	0.87 (26%) ±451	-	0.54 ±0.13	2.26 ±0.03	0.59 ±0.14	-	3.21 (27%) ±20	0.97 (19%) ±568	0.85 ±0.07	-	1.3 ±1
Magnésium	1189 ±451	1302 ±309	685 ±120	1069 ±169	502 ±103	549 ±101	434 ±20	1226 ±568	1585 ±637	1278 343	1102 ±384
Manganèse	3.9 ±0.2	5.9 ±0.5	4 ±0.5	6 ±1	6.4 ±0.7	4.7 ±0.5	4.7 ±0.1	2.6 ±0.4	9.1 ±0.7	10 ±2	5.7 ±2
Potassium	172 ±64	250 ±51	171 ±44	240 ±54	-	175 ±37	172 ±56	240 ±61	158 ±17	406 ±108	221 ±78
Scandium	0.025 ±0.001	-	0.03 ±0.002	-	0.034 ±0.005	0.084 (8%)	-	-	-	0.17 ±0.04	0.07 ±0.06
Sélénium	13.4 ±2	-	8 ±2	14 ±2	1.9 ±0.2	14 ±2	-	-	7.4 ±0.6	3.03 (20%)	8.8 ±5
Sodium	297 ±22	224.3 ±24	170 ±3	318 ±31	492 ±23	262 ±15	146 ±16	843 ±40	349 ±8	684 ±53	432.5 ±216
Titane	172 ±55	363 ±70	118 ±14	403 ±104	336 ±18	287 ±76	193 ±31	515 ±202	174 ±88	345 ±129	291 ±125
Uranium	0.27 ±0.03	0.61 ±0.13	0.13 ±0.04	0.47 (24%)	0.38 ±0.16	0.61 ±0.1	0.41 ±0.06	0.41 ±0.2	1.34 ±0.7	0.2 ±0.1	0.5 ±0.3
Vanadium	0.95 ±0.3	1.9 ±0.6	0.6 ±0.1	2.2 ±0.2	0.39 ±0.1	0.54 ±0.08	0.6 ±0.5	-	1.1 ±0.8	1.1 ±0.5	1.05 ±0.6
Zinc	60 ±13	39.44 ±0.05	44 ±7	490 ±69	21 ±2	30 ±3	41 ±36	75 (24%)	50 (12%)	47 ±9	90 ±141

(%) = l'erreur statistique du comptage

La croûte terrestre est la source primordiale de tous les éléments naturels trouvés dans l'environnement (systèmes géologiques, biologiques ou maritimes). L'altération naturelle de la croûte terrestre est relativement lente, mais l'activité humaine peut changer de façon dramatique cet équilibre. Donc, pour la distribution environnementale des éléments chimiques, le processus clé est la dissolution et la dispersion des composants de terres ou de roches dans tous les facteurs d'intérêt.

Pour comparer la teneur (charpie) obtenues C_{ic} avec un possible impact environnemental, on a calculé le rapport R des valeurs à la concentration moyenne du même élément dans la croûte terrestre C_{ix} .

$$R = C_{ic} / C_{ix} \quad 3.2.1$$

Les valeurs du facteur d'enrichissement, R , obtenues pour chaque échantillon sont présentées dans l'ANNEXE V. On peut associer les valeurs élevées de R à des niveaux plus élevés que normalement présents dans l'environnement, donc une possibilité d'avoir un polluant présent dans la charpie de sécheuses, provenant de milieux domestiques.

On constate qu'on peut classer arbitrairement les éléments trouvés dans la charpie de sécheuses domestiques dans trois catégories selon le facteur d'enrichissement R :

- $R < 1$ pour Al, Ca, Cr, Co, Fe, K, Mn, Mg, Na, Sc, Ti, U, V;
- $1 \leq R < 10$ pour Br, Cl, Cu, I, Zn;
- $R > 10$ pour Se, Sb, Ag, Au.

Mais, pour avoir des conclusions pertinentes, on compare élément par élément trouvé dans la charpie de sécheuses (voir les ANNEXES VI, VII et VIII).

Tableau 3.2 Comparaison entre la teneur (ppm) d'éléments présents dans l'environnement

Élément	Range © Charpie	Moyenne © Charpie	Croûte Terrestre *	Sol ** E.U. de l'est	Sol (b) Résident. Critère Can.	Sol (b) Fond Critère Can.	Eau Rivière (d) (ppb)	Cheveux ***	Coton (a)
Aluminium	86-2172	966 ± 633	82 300	33 000	-	-	50	3.7-4.6	-
Antimoine	6-43	14 ± 14	0.2	0.52	-	-	0.3	-	-
Argent	1.3-3.7	2.4 ± 0.9	0.07	-	20	2	-	2-0.4	-
Brome	6-41	19 ± 13	2.5	0.62	-	-	20	1.1-0.17	-
Calcium	1768-5708	3725 ± 1262	41500	3 400	-	-	-	158-135	400-1200
Chlore	402-842	566 ± 152	130	-	-	-	-	-	-
Chrome	8-57	27 ± 18	100	33	8 (Cr ⁺⁶)	2.5 (Cr ⁺⁶)	1	5.9-0.65	-
Cobalt	0.4-1.6	1 ± 0.4	25	5.9	50	10	0.2	0.34-0.24	-
Cuivre	19-109	62 ± 32	55	13	100	30	5	8.7-16.2	1-10
Fer	293-701	471 ± 146	56 300	14 000	-	-	40	12-2.7	30-90
Iode	0.5-3.2	1.3 ± 1	0.5	0.68	-	-	10	0.14-0.03	-
Magnésium	434-1585	1102 ± 384	23 300	2 100	-	-	-	14.5-16.4	400-1200
Manganèse	2.6-9.8	5.7 ± 2	950	260	-	-	7	1.8-1.7	1-10
Or	0.04-0.23	0.12 ± 0.07	0.004	-	-	-	-	-	-

Tableau 3.2 Comparaison entre la teneur (ppm) d'éléments présents dans l'environnement (suite)

Élément	Range © Charpie	Moyenne Charpie ©	Croûte Terrestre*	Sol ** E.U. (est)	Sol (b) Résident. Critère Can.	Sol (b) Fond Critère Can.	Eau Rivière (d) (ppb)	Cheveux ***	Coton (a)
Potassium	158-406	221 ± 78	20 900	12 000	-	-	-	225.6-72.6	2 000-6 500
Scandium	0.025-0.17	0.07 ± 0.06	16	6.5	-	-	-	-	-
Sélénium	2-14	8.8 ± 5	0.05	0.3	3	1	0.2	-	-
Sodium	146-843	432 ± 216	23 600	2 500	-	-	-	516.4-1205	100-300
Titane	118-515	291 ± 125	5 700	2 800	-	-	10	24-3.9	-
Uranium	0.13-1.34	0.5 ± 0.3	2.7	2.1	-	-	-	-	-
Vanadium	0.4-2.2	1 ± 0.6	135	43	-	-	1	-	-
Zinc	21-490	90 ± 142	70	40	500	60	20	181-246	1-10

* Roesler et Lange, 1972;

** Shacklette et Boergen, 1984;

*** Valcovic, 1977;

(a) Menachem et Pearce, 1998;

(b) Aloway et Ayres, 1993.

© Présent ouvrage

(d) Warn, 1995.

3.2.1 Éléments avec un facteur d'enrichissement sous-unitaire ($R < 1$)

Alors que pour un facteur d'enrichissement inférieure à 1, on conclut que la teneur des éléments: Al, Ca, Cr, Co, Fe, K, Mn, Mg, Na, Sc, Ti, U, V trouvés dans la charpie de sèches sont situées dans la plage des concentrations naturellement présentes dans l'environnement (croûte terrestre). Pour plus de détails voir l'ANNEXE VI.

Tel que mentionné plus tôt, il est possible que ces éléments ne peuvent s'accrocher ou n'ont aucune affinité avec la matrice qu'est la charpie. Aussi, on ne peut pas déterminer si oui ou non ces éléments sont une source de pollution domestique.

3.2.2 Éléments avec un facteur d'enrichissement $1 \leq R < 10$

Dans le domaine $1 \leq R < 10$, on a trouvé les éléments suivants : Br, Cl, Cu, I, Zn.

Il est surprenant de voir que les éléments halogènes (Br, Cl, I) ayant une forte volatilité sont encore présents dans la charpie après le lavage et le séchage. Leurs facteurs d'enrichissement sont un peu plus élevés que ceux de source naturelle. Le cuivre et le zinc ont été trouvés dans la plage réglementée pour le sol résidentiel canadien (Aloway et Ayres, 1993). Une discussion plus approfondie, pour chacun des éléments, se trouve à l'ANNEXE VII.

On peut conclure, de façon générale, que malgré que les concentrations soient supérieures à celles que l'on trouve dans la croûte terrestre ($R \leq 10$), elles ne sont pas assez élevées pour déterminer de façon sans équivoque qu'ils sont des sources de pollution domestique.

3.2.3 Éléments avec un facteur d'enrichissement $R > 10$

Les valeurs d'enrichissement élevées de R , supérieures à 10, sont associées aux niveaux plus élevés que normalement présents dans l'environnement (croûte terrestre), et peuvent, donc, être considérés comme une source possible de pollution présente dans la charpie de sècheuses domestiques. On a identifié les éléments suivants avec un facteur $R > 10$: Se, Sb, Ag, Au. Une discussion plus approfondie, pour chacun de ces éléments, se trouve à l'ANNEXE VIII.

Pour l'Ag (R moyen de 35) la teneur dans la charpie est élevée mais dans la plage réglementée pour le sol résidentiel canadien (Aloway et Ayres, 1993) et pour les cheveux humains (Valcovic, 1977). On peut suggérer comme possibles sources de Ag dans la charpie de sècheuses domestiques : cheveux, coutellerie, bijoux, monnaie, peinture pour céramique, inhibiteur statique pour les tapis et matériaux en laine, antiseptiques (Encyclopedia of Occupational Health, 1998). Par contre, pour l'Or (R moyenne 30) des données manquent dans la littérature et pour ses teneur élevées on peut suggérer une seule source possible : les bijoux.

En utilisant la méthode de l'analyse par activation neutronique, on a trouvé de fortes teneurs de Sb (R moyenne 70) plus fortes que celles présentes dans la croûte terrestre. On peut suggérer comme possibles sources de Sb dans la charpie : additifs dans les alliages, pigments et colorants, additifs dans les textiles et plastiques, tabac, additifs dans le caoutchouc, combustion des combustibles fossiles (Encyclopedia of Occupational Health, 1998 et ATSDR, 1992).

La teneur en Se trouvée dans la charpie de sècheuses domestiques est très élevée relativement aux autres matrices environnementales (croûte terrestre, R moyenne = 177). Les sources de Se les plus probables dans la charpie sont: shampoo, combustion des combustibles fossiles, tabac, cheveux. On a suspecté les papiers mouchoirs oubliés dans

les vêtements, mais ceci n'a pas été validé par l'analyse directe.

CONCLUSION

Dans cet ouvrage on a identifié et quantifié pour la première fois 22 éléments: Al, Sb, Ag, Au, Br, Ca, Cl, Cr, Co, Cu, Fe, I, Mg, Mn, K, Sc, Se, Na, Ti, U, V, Zn, dans la charpie de sècheuses domestiques provenant de la région montréalaise, en utilisant la méthode absolue d'analyse par activation neutronique.

Cet indicateur de la pollution environnementale, la charpie de sècheuse, a l'avantage de mieux montrer le niveau de la pollution dans le milieu domestiques. Les 10 échantillons montrent une grande hétérogénéité de la matrice étudiée qui peut être associée à :

- la variabilité déjà constatée dans les analyses des échantillons provenant d'environnement (sol, nourriture, eau, etc.)
- la structure complexe de la charpie (fibres de coton, cheveux, autres matériaux présents ou utilisés dans les milieux domestiques)
- les différences entre les habitudes personnelles dans chaque résidence (façon de faire le lavage, détergents et produits chimiques et cosmétiques utilisés).

Les teneurs trouvées dans la charpie de sècheuses sont au niveau de base naturel pour les éléments suivants : Ti, Al, Cr, Co, Cu, Zn, Ca, Fe, U, Mn, Na, K, V, I, Cl, Br et plus élevées pour : Ag, Au, Sb, Se.

Par conséquent, dans le présent travail, on a établi le niveau de fond pour les 22 éléments trouvés dans la charpie de sècheuses. Dans l'avenir, d'autres ouvrages pourront être faits pour étudier la teneur d'éléments dans la charpie provenant des foyers appartenant à des personnes travaillant en milieux industriels contaminés.

RÉFÉRENCES

Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR) (1989, 1992, 1993, 1994, 1996), U.S. Department of Health and Human Services, Atlanta.

ALOWAY, B.J., AYRES, D.C. (1993). Chemical principles of environmental pollution, Blackie Academic & Professional Press, 55 , 160.

BERGERIOUX, C., KENNEDY, G., ZIKOVSKY, L. (1979). Use of semi-absolute method in neutron activation analysis, J. Radioanal. Chem. 50, 229.

BLAAW, M. (1996). The k_0 -consistent IRI Gamma-ray Catalogue for INAA, Interfacultair Reactor Institut van Technische Universiteit, Delft.

BLANC, D. et AMBROSINO, G. (1967). Éléments de physique nucléaire, Paris.

CALI, J.P., et al. (1966). Modern Trends in Activation Analysis, Proceedings of 1965 Internat. Conf.,pg.253, Colege Station, Texas.

De SOETE, D., GIJBELS, R., HOSTE, J.(1972). Chemical Analysis , Editors P. J. Elving, I.M. Kolthoff, Vol. 34, Wiley Interscience.

Encyclopedia of Occupational Health and Safety, (1998). Editeur Jeanne Mager Stellman, 4-th edition , vol 3, 63.3.

Environmental Analytical Chemistry (1995). Editeurs FIFIELD F.W. and HAINES P.J, Blackie Academic & Professional Press, 323.

HOGDAHL, O.T.(1962). Neutron Absorption in Pile Neutron Activation Analysis, MMPP-226-1.

JOLIOT, F. et CURIE, I. (1935). Radioactivité artificielle, Paris, Herman.

KENNEDY, G., GALINIER, J.L., ZIKOVSKY L. (1986). Measurement of some primary nuclear interferences in neutron activation analysis with a SLOWPOKE reactor, Can. J. Chem. 64, 790.

KENNEDY, G., ST-PIERRE, J., WANG, K., ZHANG, Y., PRESTON, J., GRANT, C., VUTCHKOV, M. (1999). Activation constants for SLOWPOKE and MNS reactors calculated from the neutron spectrum and k_0 and Q_0 values, École Polytechnique, P.O.Box 6079, Montréal, Quebec, H3C 3A7, Canada.

MAHAFFY, P., MARTIN, N., NEWMAN, K., HORN, B., MIKULA, R., MUNOZ, V. (1998). Laundry Dryer Lint : A Novel Matrix for Nonintrusive Environmental Lead Screening, Environ. Sci. Technol., 32, 2467-2473.

MENACHEM, L., PEARCE, E.M. (1998). Handbook of Fiber Chemistry, Second Edition, Marcel Dekker Inc.

National Bureau of Standards (1976). Certificate of Analysis . Standard Reference Material 1570, Trace Elements in Spinach, Washington, DC 20234.

NCRP REPORT No. 58, (1978). A handbook of radioactivity measurements procedures, 7810 Woodmont Ave, WASHINGTON, D.C. 20014.

ROSENFELD, I., BEATH, O.A. (1964). Selenium, Accademic Press, New York.

RÖSLER, H. J., LANGE, H. (1972). Geochemical Tables, Elsevier Publishing Company, Table 92.

SHACKLETTE, H.T., BOERGEN, J.G. (1984). Element concentrations in soils and other surficial materials of the conterminous United States. U.S. Geological Survey Professional Paper 1270, Washington, DC: U.S. Government Printing Office.

SHY, C.M. (1990). World Health Stat. Q., 43(3), 168-176.

St-PIERRE, J., ZIKOVSKY, L. (1982). Use of the absolute method in neutron activation analysis: application to National Bureau of Standards coal and spinach. Can. J. Chem. 60. 2278.

VALKOVIC, V. (1977). Trace elements in Human Hair, Garland STPM Press. 46.

WARD, N.I. (1995). Environmental Analytical Chemistry, Edited by F. W Fifield and P.J. Haines. Blackie Academic & Profesional. 32.

WEIGEL, H., DAUK, J. (1974). J. Radioanal.Chem., 23, 171.

WEST, P.W, CIMERMAN, Ch. (1964). Microdetermination of Se with 3,3-diaminobenzide by the ring oven technique and its application to air pollution studies, Anal. Chem. 36, 2013.

YULE, H. (1973). J. Radioanal. Chem., 15, 695.

ZIKOVSKY, L. (1999). Analyse par activation, Cours ENE 6106, École Polytechnique de Montréal.

ZIKOVSKY, L., ST-PIERRE, J. (1979). Computer Program for Neutron Activation Analysis with the SLOWPOKE Reactor, J. Radioanal. Nucl. Chem. 54 (1-2) 391-4.

ANNEXE I

PROGRAMME ANA

I-1 Introduction des données (Input)

Pour utiliser ANA, il faut d'abord introduire les données dans le fichier ANA.I .

Les plus importants paramètres sont décrits ci-dessous.

Les 4 premières lignes contiennent les pics du bruit de fond .

Le ligne 6 contient les paramètres fixés d'avance :

ERA = erreur maximale absolue acceptable pour un pic (valeur suggérée : 0.3 ou 30%);

DEN = delta d'énergie qui est la différence maximale entre l'énergie mesurée du pic et l'énergie indiquée dans la bibliothèque ANA.L (valeur suggérée : 2);

TV = valeur d'essai d'acceptation d'un radio-isotope (valeur suggérée : 0.4);

Le ligne 8 contient le paramètre AM qui empêche l'impression des résultats pour les pics "secondaires", il combine l'abondance des gammas et l'efficacité du détecteur (valeur suggérée : 10);

Le ligne 10 fournit la calibration en énergie du détecteur au Ge. On spécifie d'abord :

- le nombre de pics utilisé pour la calibration,
- le numéro de canal du premier pic et son énergie en keV,
- le numéro du deuxième pic et son énergie,
- etc.

Les lignes 11 à 17 contiennent des données utilisées dans une routine de calibration automatique, qui entre en fonction si on spécifie 0 comme à 15 ième valeur sur la ligne 22.

Les lignes 18 à 21 contiennent les titres affichés dans la sortie (output) du programme (ANA.O) et les titres qui identifient les paramètres dans ANA.I.

Le ligne 22 spécifie :

- le lecteur et le nom du fichier qui contient le spectre de rayons gamma,
- le temps d'irradiation TI en secondes,
- la date de la fin d'irradiation (mois, jour, heure, minute),
- le temps de comptage TC en secondes,
- le flux FX en 10^{11} neutrons $\text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$,
- le poids de l'échantillon W en mg,
- la hauteur (en cm) à laquelle se trouve l'échantillon au-dessus du détecteur pendant comptage.
- la date du début de comptage (mois, jour, heure, minute),
- le nombre de pics de calibration spécifique pour le spectre en discussion (on utilise le même format comme la ligne 10),
- un zéro et un commentaire.

Les lignes suivantes (de même format que le ligne 22) sont attribuées pour d'autres spectres et ils sont tous traités d'un seul coup. Il y a une ligne de données pour chaque spectre.

Un "e" indique la fin de données d'entrée (input).

On sauvegarde le fichier ANA.I modifié et on démarre le programme en écrivant ANA.

I-2 Résultats du programme (Output)

Le programme ANA génère le fichier ANA.O qui contient les résultats détaillés, le fichier ANA.OC qui contient les résultats simplifiés et ANA.OS et ANA.S qui contiennent les spectres traités.

Dans ANA.O, les 11 premières lignes concernent le programme lui-même et les 12 et 13 ième lignes identifient les spectres et les paramètres utilisés (temps d'irradiation TI, temps de désactivation TD et temps de comptage TC) dans les calculs de concentrations obtenues. Exemple:

SPECTRUM	TITRE	TD-S	TI-S	TC-S	TCA-S	DT	FX	W-MG	GF	DEN	DEN1
B:as123	charpie	10	30	200	200	0.7	5	232	1.0	4.0	...

Abréviations:

TCA = temps de comptage écrit par PCA sur la disquette; DT = temps mort; GF = géométrie de comptage.

Les lignes suivantes identifient les isotopes qui ont été trouvés et leurs concentrations en ppm. Exemple:

ISOTOPE	TV	IE	I	N	J	LD	DETECT	MIN	BEST	MEAN	D.S.
11Na 24	1.0	3	2	0	0.936e+02	.20					
concentration			erreur		énergie (keV)						
.385E+02			.331E+00		1368						

Abréviations:

IE = nombre total de pics dans la bibliothèque;

I = nombres de pics trouvés;

LD = limite de détection (en ppm);

DETECT = détectabilité;

MIN = la concentration minimale;

BEST = la "meilleure" concentration;

MEAN = la concentration moyenne;

D.S. = la déviation standard;

b = la méthode semi-absolue;

k = la méthode k_0 ;

= la méthode absolue.

Après les concentrations, suit une liste de tous les pics, les énergies et les identifications de radio-isotopes. Exemple :

EN-KEV	CANA	PIC-COUPS	BASE-CO	ER	LA	NY	F	Q	
63.0	65.5	2297	3346	13	16	23	2	3	In61P Pd111 Sb122m

Abréviations :

EN = l'énergie en keV;

CANA = canal central du pic;

ER = erreur statistique %;

LA = largeur du pic (canaux);

NY = la différence entre le nombre de coups dans un canal à gauche et à droite du pic;

F = nombre de fluctuations;

Q = nombre des radio-isotopes associés avec ce pic (max.)

ANNEXE II

IDENTIFICATION D'UN SPECTRE

L'explication de l'identification d'un spectre enregistré est :

j132

- la lettre indique le nom d'un des 10 échantillons recueils (i.e. j....);
- le premier chiffre indique le nom de l'échantillon résulté par division en trois (i.e. j1. j2. j3....) de chacun des 10 échantillons étudiés;
- le second chiffre indique le temps d'irradiation que l'échantillon a subit (i.e. a11. a12, a13....)
- Le chiffre 1 indique TI=30s
- Le chiffre 2 indique TI=300s
- Le chiffre 3 indique TI=3000s
- le dernier chiffre indique le nombre de spectre enregistré appartenant à la même série d'irradiation (i.e. j131. j132. j133....).

ANNEXE III

INTERFÉRENCES SPECTRALES POSSIBLES

Radio-isotope	Demi-vie *	Énergie d'intérêt (keV)*	Abondance isotopique*	Énergies (pics) caractéristique (keV) *
$_{53}^{128}\text{I}$	24.99 m	442.92	16.8	442.92
$_{68}^{163}\text{Er}$	75 m	440	0	-
$_{90}^{233}\text{Th}$	22.2 m	441	16	459.32, 669.9
$_{72}^{180}\text{Hf}$	5.5 h	443.1	80	332.3
$_{60}^{149}\text{Nd}$	1.73 h	443.6	1	211.6, 240.2
$_{58}^{137}\text{Ce}$	9 h	447.0	2	-
$_{92}^{239}\text{U}$	23.47 m	74.7	59	277.6
$_{75}^{188\text{m}}\text{Re}$	18.6 m	71.2	2	155
$_{76}^{191\text{m}}\text{Os}$	13 h	71.3	16	129.43
$_{78}^{197}\text{Pt}$	94 m	75.7 77.8	7 1	191.36
$_{60}^{149}\text{Nd}$	1.73 h	76.8	2	211.3
$_{56}^{131\text{m}}\text{Ba}$	14.6 m	78.0	1	496
$_{50}^{113\text{m}}\text{Sn}$	20 m	79.3	0	255
$_{24}^{51}\text{Cr}$	27.7 j	320	9	-
$_{60}^{149}\text{Nd}$	1.73 h	319.4	2	211.3
$_{77}^{192}\text{Ir}$	74.2 j	320 316.5	1 85	468
$_{46}^{103}\text{Pd}$	17 j	318.0	0	-
$_{71}^{177\text{m}}\text{Lu}$	6.71 j	319.0	10	-

Radio-isotope	Demi-vie *	Énergie d'intérêt (keV)*	Abondance isotopique*	Énergies (pics) caractéristique (keV) *
$^{51}_{22}\text{Ti}$	5.76m	320	95	-
$^{192}_{77}\text{Ir}$	74.2 j	317.0	0	468
$^{198}_{79}\text{Au}$	2.7 j	411.8	95	-
$^{191}_{78}\text{Pt}$	2.8 j	409.4	7	359, 409
$^{65}_{30}\text{Zn}$	244.1 j	1115.5	49	-
$^{159}_{63}\text{Eu}$	18m	1112.1	16	-
$^{46}_{21}\text{Sc}$	83.83 j	1120.5	100	889, 1120.5
$^{75}_{34}\text{Se}$	119.7 j	135.9	58	265
$^{177\text{m}}_{71}\text{Lu}$	161 j	136.7	2	121
$^{181}_{74}\text{W}$	121 j	136.3	0	152
$^{159}_{66}\text{Dy}$	144 j	138.0	0	515
$^{99}_{42}\text{Mo}$	66 j	140.6	90	739.5
$^{110\text{m}}_{47}\text{Ag}$	249.76j	657.7	94	937
$^{127\text{m}}_{52}\text{Te}$	109 j	658.9	0	-
$^{82}_{35}\text{Br}$	1.47 j	776	83	554
$^{99}_{42}\text{Mo}$	66 j	778.2	4	739.5
$^{187}_{74}\text{W}$	23.9 j	772.8	5	685.7
$^{59}_{26}\text{Fe}$	44.49 j	1099.3	56	1291.6
$^{121\text{m}}_{52}\text{Te}$	17 j	1102.1	2	573
$^{46}_{21}\text{Sc}$	83.83 j	1120.51	100	889.25
$^{182}_{73}\text{Ta}$	115 j	1121.2	37	222, 1180.8

Les radio-isotopes d'intérêt sont spécifiés en caractère gras. Les radio-isotopes possibles interférents sont spécifiés en caractère normal.* Blaaw, 1996.

ANNEXE IV CALCUL DES TENEURS ET D'INTERFÉRENCES NUCLÉAIRES

Sc 46 $T_{1/2} = 83.83$ j; Énergie : 1120.5 keV moyenne : 0.068 ± 0.057 ppm

	Épinard	Standard
33-20j	0.135	0.16
34-41j	0.131	
32-13j	0.135	

Moyenne 0.134

Rapport 1.197

(standard / épinard)

	y		a		z		s
333-34j	0.0235	333-45j	0.0242	234-1j	0.0346	333-38j	0.0963
233-34j		233-35j	0.028	333-20j	0.0349	233-35j	0.142
133-30j	0.0215	133-32j	0.0247	133-25j	0.0239	133-27j	0.193

Moyenne 0.023 0.026 0.031 0.144

interf. 0.021 0.025 0.029 0.141

Correct. 0.025 0.030 0.034 0.169

écart type 0.001 0.002 0.006 0.047

	d
233-30j	0.0725

Moyenne 0.073

interf. 0.070

Correct. 0.084

Erreur 8%(*)

(*) erreur statistique du comptage

INTERFÉRENCES Ti46(n,p)Sc46

Épinard	non Ti		
y	0.00124626	d	0.00208
t	0.00262946	g	0.0014
a	0.00085666	j	0.00373
b	0.00292099	m	0.00126
z	0.00243829	s	0.0025

Au 198 $T_{1/2} = 2.69j$; Énergie : 411.8 keV moyenne : 0.12 ± 0.07 ppm
Rapport moyen : 0.8089

y		t		a		b	
131-1j	0.0228	324-1j	0.28	224-1j	0.238	332-5j	0.106
231-1j	0.0413			324-1j	0.204	232-5j	0.127
132-3j	0.0263			332-4j	0.334	132-5j	0.138
232-3j	0.0498			232-4j	0.201	124-1j	0.0917
332-3j	0.0518			132-4j	0.162	131-1j	0.254
331-1j	0.0731			124-1j	0.197	231-1j	0.172
				131-1j	0.122		
				231-1j	0.223		
				331-1j	0.332		
Moyenne	0.044		0.280		0.224		0.148
Correct	0.036		0.226		0.181		0.120
écart type	0.014		24%(*)		0.054		0.043

d		g		m		s	
324-1j	0.339	224-1j	0.1	131-1j	0.146	131-1j	0.181
131-1j	0.204	324-1j	0.135	332-7j	0.0427	231-1j	0.0429
				232-7j	0.0332	331-1j	0.0812
				132-7j	0.0816	332-5j	0.0899
Moyenne	0.272		0.118		0.076		0.099
Correct	0.220		0.095		0.061		0.080
écart type	0.055		0.014		0.036		0.041

(*) erreur statistique du comptage

z	
332-7j	0.0477
132-12j	0.0629
131-4j	0.0443

Moyenne 0.052

Correct 0.042

écart type 0.007

Al 28 $T_{1/2} = 2.24$ m; Énergie : 1778.99keV moyenne : 966 ± 633 ppm

	Épinard	Standard
13-5m	978	850
11-30s	979	
12-3,3m	1030	

Moyenne 995.667

Interf. 987.696

Rapport 0.86059

(standard / épinard)

y		t		a		b	
121-5m	954	121-5m	125	221-5,5m	518	321-5m	1720
321-5m	991	111-36s	90.8	321-5m	491	213-5m	1750
221-5m	1040	113-5m	94	113-5m	443	221-5m	1760
213-5m	1030	212-3m	100	121-5m	476	214-10m	1580
113-5m	1100	112-2m	101	213-5m	458	212-2m	1820
212-2,5m	1050	312-2m	97.1	313-6m	578	312-2m	2090
312-2,5m	1030	211-1m	94.5	111-30s	466	313-5m	2080
114-10m	1020	213-9m	90.6	112-2,5m	464	121-5m	1760
314-11m	960	311-30s	95.9	114-10m	407	111-45s	2280
313-5m	987	321-5m	99.5	211-30s	481	112-2m	2200
214-10m	947	114-10m	108	212-2,5m	463	113-5m	2200
311-30s	1000	313-5m	99.4	214-12m	408	114-10m	2050
111-38s	1110			311-30s	614	211-30s	1860
112-2m	1120			312-2,5m	591	311-30s	2090
211-30s	1050			314-10m	583	314-10m	1950
moyenne	1025.9		99.7		496.1		1946.0
Correct.	882.9		85.8		426.9		1674.7
écart	45.5		7.7		55.0		175.9

d		g		j		m	
111-30s	1080	221-5m	217	321-5m	2100	111-30s	1670
112-2m	1100	321-5m	219	213-5m	2260	121-5m	672
113-5m	1050	121-5m	479	221-5m	2150	321-5m	675
114-10m	995	212-2m	169	313-6m	2800	113-5m	1550
211-42s	981	113-5m	339	112-4m	3250	114-10m	1510
212-2m	966	213-5m	186	121-6m	2450	112-2m	1630
213-5m	931	312-2m	649	211-30s	2220	211-35s	724
311-30s	1130	313-5m	663	212-2,5m	2240	212-2m	724
312-2m	1080	111-30s	346	214-10m	2170	213-5m	693
313-5m	1060	112-2m	345	311-43s	2740	214-10m	678
314-10m	1040	114-10m	340	312-2,5m	2750	311-34s	769
121-5m	1100	211-30s	173	314-10m	2640	312-2,5m	735
221-5m	1160	214-10m	189	113-10m	3040	313-5m	729
321-5m	963	311-36s	684			314-10m	672
						221-5m	687
moyenne	1045.4		357.0		2523.8		941.2
correct	899.7		307.2		2172.0		810.0
écart	57.2		157.2		308.8		338.6

Interf.	P31(n, α)Al28	Standard	7.971
---------	-----------------------	----------	-------

s		z	
312-2,5m	1640	321-3m	1290
313-5m	1610	211-42s	1700
213-5m	1260	212-7m	1540
221-5m	1170	213-14,5m	1510
121-5m	1630	121-4m	1250
113-5m	932	311-1m	1510
311-30s	1620	312-3,5m	1500
314-10m	1570	313-9,5m	1434
111-30s	940	221-1m	1250
112-1,7m	924	1-1m	1490
211-30s	1280	2-4m	1640
212-2m	1310	3-7m	1600
214-11m	1210		

moyenne 1315.1 1476.2

correct. 1131.7 1270.4

écart 229.7 121.2

Co 60 $T_{1/2} = 5.21$ a; Énergie : 1332 keV moyenne : 1.01 ± 0.4 ppm

Épinard		Standard
34-41j	1.83	1.5

Rapport
(stand/épinard) **0.8197**

y		t		a		b	
333-34j	0.559	333-23j		333-45j	0.819	333-27j	2.49
233-34j		133-30j		233-35j	0.839	233-27j	0.835
133-30j	0.46	233-30j	1.03	133-32j	0.693	133-26j	

moyenne 0.510 1.030 0.784 1.663

Correct. 0.418 0.844 0.642 1.363

écart type 0.041 27%(*) 0.053 0.678

d		g		j		m	
333-30j		333-35j	1.08	333-27j		134-33j	1.52
233-30j	1.43	233-32j	2.9	233-26j		133-15j	1.72
133-30j	2	133-34j	1.95	134-40j	1.22		
moyenne	1.715		1.977		1.220		1.620
Correct.	1.406		1.620		1.000		1.328
écart type	0.234		0.609		23%(*)		0.082

z		s	
333-20j	0.713	333-38j	1.03
233-30j		233-35j	1.13
133-25j	0.623	133-27j	1.25
moyenne	0.668		1.137
correct	0.548		0.932
écart type	0.037		0.074

interférence

Ni-60(n,p)Co-60 No Ni

(*) erreur statistique du comptage

V 52 $T_{1/2} = 3.75$ m; Énergie : 1434.08 keV moyenne : 1.05 ± 0.6 ppm

Rapport moyenne : 0.8089

y		t		a		b	
121-5m	0.799	121-5m	1.9	221-5,5m	0.988		
321-5m	1.35	113-5m	1.66	321-5m	0.73	213-5m	2.93
221-5m	0.67	313-5m	2.17	113-5m	0.619	221-5m	2.55
213-5m	1.25	212-3m	3	121-5m	0.799	214-10m	2.9
113-5m	0.842	112-2m	1.22			212-2m	2.56
212-2,5m	1.49	312-2m	2.4				
312-2,5m	1.53	211-1m	3.01				
114-10m	1.19	213-9m	2.62				
314-11m	1.45	314-10m	2.83				
moyenne	1.175		2.312		0.784		2.735
Interf.	1.174		2.311		0.782		2.735
Correct.	0.950		1.869		0.633		2.212
écart type	0.248		0.478		0.109		0.146

d		g		m		s	
		221-5m	0.344	221-5m	0.836	312-2,5m	1.14
		321-5m	0.308	121-5m	0.457	313-5m	2.15
121-5m	0.568	121-5m	1.54	321-5m	0.889	314-10m	1.77
221-5m	0.67	212-2m	0.915	112-2m	2.7	221-5m	0.703
321-5m	0.77			113-5m	2.42	121-5m	2.02
				114-10m	2.23	112-1,7m	1.01
				213-5m	0.962	113-5m	1.34
				313-5m	0.844	114-10m	1.27
						213-5m	1.13
moyenne	0.669		0.777		1.417		1.393
Interf.	0.668		0.776		1.416		1.392
Correct.	0.541		0.628		1.145		1.126
écart type	0.067		0.406		0.664		0.370

z	
121-4m	0.341
2-4m	0.623

Moyenne 0.482
 Interf. 0.482
 Correct. 0.390
 écart 0.114

Interférence		Cr-52(n.p)V-52	
y	0.00043075	D	0.00093
t	0.0015056	G	0.00055
a	0.00189492	J	0.0004
b	0.0002716	M	0.00174
z	0.00038037	S	0.00092

Ti 51 $T_{1/2} = 5.76$ m; Énergie : 320 keV moyenne : 290.7 ± 125 ppm

Rapport moyenne : 0.8089

y	t	a	b
121-5m 185	121-5m 533	221-5.5m 138	321-5m 443
321-5m 155	113-5m 421	321-5m 129	213-5m 373
221-5m 169	113-5m 302	113-5m 151	221-5m 676
213-5m 251	212-3m 479	121-5m 147	214-10m 550
113-5m 170	112-2m 500	213-5m 138	212-2m 419
212-2,5m 311	312-2m 504	313--6m 174	113-5m 616
312-2,5m 323	211-1m 388		313-5m 522
114-10m 183	213-9m 513		121-5m 388
314-11m 200	314-10m 368		
313-5m 215	321-5m 421		
214-10m 177	114-10m 506		

moyenne	212.6	448.6	146.2	498.4
Interf.	212.6	448.6	146.2	498.3
Correct.	172.0	362.9	118.2	403.1
écart type	44.6	56.9	11.6	83.8

d	g	j	m
213-5m 364	221-5m 214	321-5m 404	
313-5m 290	321-5m 186	213-5m 904	121-5m 112
121-5m 491	121-5m 271	221-5m 450	321-5m 148
221-5m 257	212-2m 278	313-6m 839	113-5m 329
321-5m 339	113-5m 274	112-4m 466	114-10m 270
112-2m 392	213-5m 215	121-6m 758	
312-2m 349	312-2m 244		
	313-5m 232		

Moyenne	354.6	239.3	636.8	214.8
Interf.	354.6	239.2	636.8	214.7
Correct.	286.8	193.5	515.1	173.7
écart type	61.8	25.3	163.5	71.3

s		z	
312-2,5m	457	121-4m	387
313-5m	497	2-4m	427
213-5m	442	312-3,5m	434
221-5m	313	3-7m	416
121-5m	627		
113-5m	225		

Moyenne	426.8	416.0
Interf.	426.8	416.0
Correct.	345.2	336.5
écart	104.3	14.5

Interférence

Cr-52(n,alfa)Ti-51

V-51(n,p)Ti-51

y	0.001	d	0.002
t	0.004	g	0.001
a	0.005	j	0.001
b	0.001	m	0.004
z	0.001	s	0.002

y	0.011	d	0.006
t	0.022	g	0.007
a	0.008	j	0.000
b	0.026	m	0.014
z	0.005	s	0.013

total interference

y	0.012	d	0.009
t	0.026	g	0.009
a	0.012	j	0.001
b	0.027	m	0.018
z	0.006	s	0.016

Cl 38 $T_{1/2} = 37.24$ m; Énergie : 1642.59 keV moyenne : 566 ± 153 ppm

Rapport moyenne : 0.8089

y		t		a		b	
121-5m	721			222-30m	570	322-30m	575
321-5m	767			223-50m	544	323-50m	572
221-5m	646	123-50m	871	322-30m	476	122-30m	580
213-5m	590	221-5m	744	323-50m	496	123-1h	598
113-5m	663	222-30m	689	214-12m	566		
122-30m	593	223-50m	712	314-10m	481		
114-10m	746	321-5m	607	122-30m	479		
214-10m	621	322-30m	571	123-1h	515		
222-30m	686	323-1h	563				
322-30m	735						
212-2.5m	617						
123-1h	588						
223-1h	706						
323-1h	730						
Moyenne	672.1		679.6		515.9		581.3
Correct	543.6		549.7		417.3		470.2
écart	49.3		82.4		29.7		8.2

d		g		j		m	
213-5m	714	222-30m	992	322-32m	410	222-30m	393
314-10m	760	223-1h	1000	222-30m	685	223-1h	364
122-30m	1590	322-30m	1060	314-10m	693	122-30m	467
123-1h	1470	323-1h	1100	223-1h	636	123-1h	486
222-30m	856	122-32m	983			322-30m	625
223-1h	856	123-1h	972			323-46m	645
		214-10m	1060				
Moyenne	1041		1023.9		606		496.7
Correct.	842.0		828.2		490.2		401.7
écart	284.0		36.6		93.2		86.0

s		z	
322-30m	527	322-30m	680
323-1h	551	323-1h	679
222-30m	601	213-12m	638
223-1h	653	122-42m	769
122-30m	842	222-30m	743
123-1h	861	223-46m	722

Moyenne 672,5 705,2

correct. 544,0 570,4

Écart 107,4 35,6

Ca 49 $T_{1/2} = 8.72$ m; Énergie : 3084.54 keV moyenne : 3725 ± 1262 ppm

épinard		standard
13-5m	10400	13500
12-3.3m	11200	

moyenne 10800

Rapport 1.25

(standard/épinard)

y		t		a		b	
121-5m	3510	121-5,5m	2330	221-5,5m	3320	321-5m	4090
321-5m	3270	122-30m	3110	222-30m	3150	322-30m	4260
221-5m	3440	221-5m	1840	321-5m	2950	113-5m	4430
213-5m	3260	222-30m	2410	322-30m	3570	114-10m	4540
113-5m	3640	321-5m	1680	113-5m	2840	213-5m	5100
122-30m	3980	322-30m	2030	114-10m	3490	214-10m	5360
114-10m	4310	113-5m	2410	213-6m	3070	313-5m	3940
214-10m	3120	114-10m	2430	214-12m	3130	314-10m	4930
222-30m	3970	213-9m	2210	313-6m	3630	121-5m	3820
322-30m	3240	313-5m	2560	314-10m	3210	122-30m	4720
314-11m	3710			121-5m	3050	221-5m	4400
				122-30m	3600	222-30m	5210

Moyenne 3586,4 2301 3250,8 4566,7

Correct. 4483,0 2876,3 4063,5 5708,3

Écart 448,4 474,8 320,4 604,0

d		g		j		m	
114-10m	2510	321-5m	2030	321-5m	1020	213-5m	2230
213-5m	3090	322-30m	2060	322-32m	1710	214-10m	2230
214-10m	4470	121-5m	1930	214-10m	1750	313-5m	2060
313-5m	3370	113-5m	2260	221-5m	1150	314-10m	3150
314-10m	4080	122-30m	2190	313-6m	1320	221-5m	2540
121-5m	2790	114-10m	2490	314-10m	1460	222-30m	3450
221-5m	2950	213-5m	1800	113-10m	1490	121-5m	2750
321-5m	3150	314-10m	2890			321-5m	2620
						322-30m	2800
Moyenne	3301,3		2206,3		1414,3		2647,8
Correct.	4126,6		2757,8		1767,9		3309,7
Écart	772,5		406,2		314,2		533,0

s		z	
313-5m	4260	321-3m	2190
314-10m	5900	322-30m	2140
221-5m	3720	212-7m	2270
222-30m	4280	121-4m	2040
121-5m	3910	312-3,5m	2270
122-30m	4220	313-9,5m	2560
114-10m	3410	3-7m	2410
213-5m	4350		
214-11m	4530		
Moyenne	4256,3		2268,6
Correct.	5320,3		2835,7
Écart	865,6		200,4

Mn 56 $T_{1/2} = 2.58$ m; Énergie : 1810.77 keV moyenne : 5.7 ± 2.2 ppm

épinard		standard
13-5m	169	165
11-30s	143	
12-3,3m	166	
23-1,5h	247	

moyenne 181,25

interf 181,242

rap(standard/épinard) 0,910

y		t		a		b	
122-30m	4,15	122-30m	6,61	222-30m	3,35	322-30m	5,23
123-1h	3,9	123-50m	5,54	223-50m	3,94	323-50m	4,82
222-30m	4,48	222-30m	6,56	322-30m	4,91	122-30m	7,9
223-1h	4,54	223-50m	7,13	323-50m	4,74	123-1h	8,17
322-30m	4,62	322-30m	6,74	122-30m	4,78	222-30m	6,4
323-1h	4,22			123-1h	4,42	223-50m	6,86
moyenne	4,32		6,52		4,36		6,56
Interf.	4,31		6,51		4,35		6,56
Correct.	3,93		5,92		3,96		5,98
écart	0,23		0,48		0,50		1,13

d		g		j		m	
122-30m	5,43	222-30m	5,35	322-32m	2,56	222-30m	10,8
123-1h	4,37	223-1h	4,98	323-1h	2,34	223-1h	10,2
322-31m	5,79	322-30m	5,21	222-30m	2,68	122-30m	9,65
323-1h	5,29	323-1h	4,95	123-1h	3,23	123-1h	9,2
				223-1h	3,7	322-30m	10,9
						323-46m	9,09
Moyenne	5,22		5,12		2,90		9,97
Interf.	5,22		5,12		2,90		9,96
Correct.	4,75		4,66		2,64		9,07
écart type	0,48		0,15		0,45		0,65

s		z	
322-30,5m	9,68	322-30m	7,26
323-1h	11,1	323-1h	5,53
222-30m	8,62	122-42m	7,45
223-1h	6,93	222-30m	7,56
122-30,5m	14,7	223-46,5m	7,15
123-1h	13,9		
Moyenne	10,82		6,99
Interf.	10,82		6,99
Correct	9,85		6,36
écart	2,52		0,68

interf Fe59(n,p)Mn56				Co59(n,alpha)		Mn56	
y	0,005864912	d	0	y	5,0854E-06	d	1,7567E-05
t	0,008426813	g	0	t	1,0293E-05	g	1,9756E-05
a	0,004303694	j	0	a	7,8049E-06	j	1,2195E-05
b	0	m	0,010307797	b	1,6585E-05	m	1,622E-05
z	0	s	0,005752051	z	6,6768E-06	s	1,1341E-05
épinard	0,008088235			épinard	1,8293E-05		

interf. totale

y	0,005869997	d	1,75671E-05
t	0,008437106	g	1,97561E-05
a	0,004311499	j	1,21951E-05
b	1,65854E-05	m	0,010324017
z	6,67683E-06	s	0,005763393
épinard	0,008106528		

Br 82 $T_{1/2} = 1.47$ j Énergie : 776 keV moyenne : 19 ± 13 ppm

	Épinard	Standard
23-1,5h	53,5	54
24-3h	59,3	
25-1j	36,7	

moyenne 49,833

rap(standard/épinard) 1,084

y		t		a		b	
131-1j	8,01	223-1h	24,7	224-1j	26,1	132-5j	26,1
231-1j	16	324-1j	32,8	324-1j	10,5	223-50m	36,4
124-1j	12,1	131-1j	30,8	124-1j	9,86	232-5j	25,5
324-1j	16,8	231-1j	21	131-1j	8,47	124-1j	26,1
223-1j	14,6	132-5j	34,7	231-1j	8,65	224-1j	33
332-3j	20,5	232-4j	21,8	332-4j	14,4	131-1j	26,8
331-1j	19,3	332-4j	14,1	232-4j	9,05	231-1j	27
132-3j	8,85	123-50m	48	132-4j	7,66	324-1j	32
232-3j	13,5	124-1j	61			123-1h	32,6
224-1j	13,6	224-1j	26,1				
323-1h	9,99	323-1h	32,8				
moyenne	13,9		31,6		11,8		29,5
Correct.	15,1		34,3		12,8		32,0
écart type	4,2		13,6		6,2		4,1

s		z	
324-1j	14	324-1j	6,9
124-1j	26,1	332-7j	6,26
131-1j	14,8	232-7j	7,17
132-5j	14,8	132-12j	7,4
231-1j	18,2	224-1j	7,28
232-5j	18,2	122-42m	6,93
331-1j	26	123-1j	7.03
332-5j	26,5		
223-1h	29,5		
123-1h	29,6		

Moyenne 21,8

7.0

Correct. 23,6

7.6

écart 6.5

0.4

d		g		j		m	
122-30m	32,3	124-1j	6,95	224-1j	7,9	132-7j	7,94
123-1h	37,1	224-1j	6,81	232-4j	3,99	232-7j	7,08
124-1j	35,6	323-1h	9,66	132-4j	5,12	332-7j	6,6
223-1h	42,6	324-1j	9,91	231-1j	5,38	224-1j	8,45
224-1j	31,5	131-1j	5,97			124-1j	8,05
323-1h	39,4	231-1j	6,75			324-1j	6,86
324-1j	36,4	331-1j	6,3			331-1j	7,62
131-1j	42,7	232-3j	6,79			231-1j	5,34
132-3j	38,8	332-3j	6,41			131-1j	5,72
231-1j	39,5						
232-3j	36,6						
332-3j	35,8						
331-1j	40,1						

moyenne 37,6

7.3

5,6

7,1

Correct. 40,7

7,9

6,1

7,7

écart type 3,6

1,5

1,5

1,1

Cu 66 $T_{1/2} = 5.1$ m Énergie : 1039.35 keV moyenne : 62 ± 32 ppm

Rapport moyenne : 0.8089

y		t		a		b	
121-5m	102	121-5m	54,4	221-5,5m	65,7	321-5m	124
321-5m	99,9			321-5m	52,4	213-5m	178
221-5m	75,5			113-5m	79,3	121-5m	80,5
213-5m	108			213-6m	66,5	221-5m	94,4
313-5m	85			313-6m	97,1	314-10m	139
113-5m	108			121-5m	66,6		
212-2,5m	86,6			212-2,5m	64,2		
312-2,5m	81,9			312-2,5m	75,4		
112-2m	106			114-10m	64,3		
114-10m	105			314-10m	74,6		

moyenne	95,8	54,4	70,6	119,2
interf	95,8	54,4	70,6	119,2
Correct.	77,5	44,0	57,1	96,4
écart type	9,4	27%(*)	9,2	30,2

(*) erreur statistique du comptage

d		g		j		m	
213-5m	177	221-5m	34	314-10m	124	221-5m	88,8
313-5m	257	321-5m	24,2			121-5m	66,1
121-5m	96	121-5m	17,5			321-5m	60,9
221-5m	64,1						
321-5m	78,5						

Moyenne	134,5	25,2	124,0	71,9
Interf	134,5	25,2	124,0	71,9
Correct.	108,8	20,4	100,3	58,2
écart type	53,2	5,5	10%(*)	9,8

s		z	
221-5m	33,3	221-1m	23,8
121-5m	64,8		

Moyenne	49,1	23,8
Interf.	49,0	23,8
Correct.	39,7	19,3
Écart	12,7	10%(*)

Interférence		Zn-66(n,p)	Cu-66
y	0,00456	d	0,00226
t	0,00301	g	0,00311
a	0,00336	j	0,00572
b	0,03740	m	0,00380
z	0,00157	s	0,00356

Mg 27 $T_{1/2} = 9.46 \text{ m}$ Énergie : 1014 keV moyenne : $1102 \pm 384 \text{ ppm}$

Rapport moyenne : 0.8089

y		t		a		b	
121-5m	1250	221-5m	1830	221-5,5m	830	321-5m	1370
321-5m	945	222-30m	1660	113-5m	903	314-10m	1880
221-5m	1370	321-5m	1000	121-5m	718	221-5m	1580
213-5m	1610	314-10m	2010	213-5m	1230		
113-5m	1210			313--6m	1150		
122-30m	2910			114-10m	932		
114-10m	1210			212-2,5m	867		
314-11m	1890			214-12m	970		
214-10m	2250			322-30m	1120		
222-30m	1580			314-10m	971		
322-30m	1070						
212-2,5m	2170						
moyenne	1622,08		1625		920,25		1610
Interf.	1469,86		1610,21		846,645		1321,26
Correct	1188,9		1302,4		684,8		1068,7
écart	451,1		308,6		120,6		169,3

g		j		m		s	
221-5m	623	332-32m	2220	113-5m	3010	322-30m	1940
321-5m	564	212-2,5m	1730	221-5m	1090	313-5m	2390
121-5m	580	214-10m	1380	123-1h	2200	221-5m	1120
		221-5m	1430			222-30m	1630
		222-30m	1080			121-5m	1450
		314-10m	2760			114-10m	2120
		113-10m	3170				
		121-6m	1350				

moyenne	589	1890	2100	1775
Interf.	536,0	1515,5	1960,3	1579,9
Correct	433,6	1225,8	1585,7	1277,9
écart	20.2	568,3	636,6	343.2

z		d	
321-3m	753	121-5m	734
121-4m	746	221-5m	758
3-7m	1020	321-5m	1010

Moyenne	839,667	834
Interf.	620,637	678,9
Correct	502,0	549,1
Écart	103,2	101,0

Interf Al27(n,p)Mg27

y	152,2	d	155,1
t	14,8	g	53,0
a	73,6	j	374,5
b	288,7	m	139,7
z	219,0	s	195,1

Na 24

 $T_{1/2} = 14.9 \text{ h}$ Énergie : 2753.99 keVmoyenne : $432 \pm 216 \text{ ppm}$

Rapport moyen : 0.8089

y		t		a		b	
123-1h	391	123-50m	312	224-1j	216	323-50m	352
223-1h	375	124-1j	292	324-1j	213	324-1j	351
323-1h	371	223-50m	313	124-1j	203	123-1h	405
131-1j	299	224-1d	309	223-50m	210	124-1j	386
231-1j	386	323-1h	248	323-50m	215	223-50m	441
124-1j	398	324-1j	236	231-1j	212	224-1j	436
224-1j	364	131-1j	265	331-1j	210	131-1j	379
324-1j	377	231-1j	248	123-1h	206	231-1j	449
331-1j	353					331-1j	349

Moyenne	368,2	277,9	210,6	394,2
Interf.	367,5	277,3	210,2	393,3
Correct.	297,2	224,3	170,0	318,1
écart	22,4	24,4	3,3	30,8

d		g		j		m	
123-1h	305	124-1j	205	324-1j	1000	223-1h	444
124-1j	301	223-1h	174	323-1h	964	224-1j	438
323-1h	328	224-1j	151	224-1j	1030	123-1h	416
324-1j	318	323-1h	184	223-1h	1000	124-1j	430
131-1j	360	324-1j	182	124-1j	1080	323-46m	433
231-1j	337	123-1h	212	131-1j	1080	324-1j	421
331-1j	318	331-1j	161	231-1j	1120	131-1j	446
				123-1h	1070		

moyenne	323,9	181,3	1043,0	432,6
Interf.	323,4	181,0	1041,9	431,7
Correct.	261,6	146,4	842,8	349,2
écart	15,1	16,5	39,9	8,4

s		z	
324-1j	770	324-1j	614
323-1h	801	323-1h	602
124-1j	845	331-1j	659
331-1j	964	224-1j	570
123-1h	854	223-46m	597

Moyenne	846,8	608,4
Interf.	846,0	607,8
Correct.	684,3	491,7
Écart	53,4	23,5

Interf				Mg24(n, p)Na24			
Al27(n,alpha)Na24							
y	0,234	d	0,239	y	0,510	d	0,236
t	0,023	g	0,081	t	0,559	g	0,186
A	0,113	j	0,576	a	0,294	j	0,526
b	0,444	m	0,215	b	0,459	m	0,681
z	0,337	s	0,300	z	0,215	s	0,548

total	Interf		
y	0,744	d	0,474
t	0,582	g	0,268
a	0,407	j	1,102
b	0,903	m	0,895
z	0,552	s	0,849

K 42 $T_{1/2} = 12.36 \text{ h}$ Énergie : 1524.58 keV moyenne : $221 \pm 78 \text{ ppm}$

épinard		Standard
31-3j	48500	35600
25-1j	50300	

moyenne 49400
Rapport 0,72065
(standard/épinard)

y		t		a		b	
131-lj	129	223-lh	452	224-lj	367	323-50m	281
231-lj	151	324-lj	373	324-lj	186	324-lj	345
124-lj	204	131-lj	274	124-lj	214	123-lh	490
324-lj	195	231-lj	291	223-50m	280	124-lj	244
223-lj	271			323-50m	254	224-lj	309
323-lh	371			131-lj	164	231-lj	369
331-lj	353			231-lj	185	331-lj	292
				331-lj	247		
moyenne	239,1		347,5		237,1		332,9
correct	172,3		250,4		170,9		239,9
écart	63,6		51,2		44,4		53,8

d		g		j		m	
124-lj	208	124-lj	169	232-lh	264	324-lj	211
324-lj	322	224-lj	156	223-lh	399	331-lj	256
131-lj	281	323-lh	275	131-lj	436	231-lj	220
231-lj	216	123-lh	226	231-lj	236	131-lj	191
331-lj	186	231-lj	371				
moyenne	242,6		239,4		333,75		219,5
Correct.	174,8		172,5		240,5		158,2
écart	36,6		56,4		61,5		17,0

s	
324-lj	744
323-lh	548
124-lj	487
131-lj	304
231-lj	669
331-lj	427
223-lh	556
123-lh	772
Moyenne	563,4
Correct.	406,0
Écart	107,9

Ag 110m $T_{1/2} = 249 \text{ j}$ Énergie : 658 keV moyenne : $2.43 \pm 0.9 \text{ ppm}$

Rapport moyen : 0.8089

y		t		a		z	
333-34j	1,66	333-23j	4,72	333-45j	1,93	234-1j	2,37
				233-35j	1,72	233-30j	3,78
133-30j	1,61	233-30j	4,47	133-32j	1,43	133-25j	1,09
Moyenne	1,64		4,60		1,69		2,41
Correct.	1,32		3,72		1,37		1,95
Écart	0,02		0,10		0,17		0,89

d		g		j		s	
333-30j	3,21	333-35j	3,34	333-27j	1,84		
233-30j	3,27	233-32j	2,9			233-35j	4,36
133-30j	4,27					133-27j	3,87
Moyenne	3,58		3,12		1,84		4,12
Correct.	2,90		2,52		1,49		3,33
Écart	0,39		0,18		22%(*)		0,20

b		m	
233-27j	3,29	134-33j	3,79
Moyenne	3,29		3,79
Correct.	2,66		3,066
	13%(*)		12%(*)

(*) erreur statistique du comptage

Se 75 $T_{1/2} = 119.77 \text{ j}$ Énergie : 136 keV moyenne : $8.8 \pm 5 \text{ ppm}$

Rapport moyen : 0.8089

a		b		z		m	
333-45j	7,83	333-27j	16,1			134-33j	9,36
233-35j	12,4	233-27j	20,4	333-20j	2,5	3331-20j	9,67
133-32j	9,96	133-26j	15,7	133-25j	2,19	333-20j	8,27
Moyenne	10,1		17,4		2,3		9,1
Correct	8,1		14,1		1,9		7,4
Écart	1,5		1,7		0,1		0,5

(*) erreur statistique du comptage

y		d		s	
333-34j	19	333-30j	15,6		
233-34j	13	233-30j	20,6		
133-30j	17,5	133-30j	15,6	133-27j	3,75
moyenne	16,5		17,3		3,75
Correct.	13,3		14,0		3,03
écart	2,1		1,9		20%(*)

Sb 124 $T_{1/2} = 60.2 \text{ j}$ Énergie : 1690.97 keV moyenne : $14 \pm 14 \text{ ppm}$

Rapport moyen : 0.8089

y		t		a		b	
333-34j	10,1	333-23j		333-45j	6,75	333-27j	15,4
233-34j	7,8	133-30j	39,2	233-35j	6,33	233-27j	7,26
133-30j	4,87	233-30j	66,8	133-32j	4,13	133-26j	6,32
moyenne	7,6		53		5,7		9,7
Correct.	6,1		42,9		4,6		7,8
écart	1,7		11,2		0,9		3,3

j		m		s		z	
333-27j	37,7	134-33j	6,28	333-38j	12,8	234-1j	15,5
233-26j	13	133-15j	6,08	233-35j	10,7	333-20j	15,2
134-40j	8,51	333-20j	9,14	133-27j	9,06	133-25j	15,1
133-25j	5,5	3331-20j	7,45			233-30j	16,9
Moyenne	16,2		7,2		10,9		15,7
Correct.	13,1		5,9		8,8		12,7
écart	10,3		1,0		1,2		0,6

d		g	
333-30j	25,6	333-35j	16,4
233-30j	22,8	233-32j	35,1
133-30j	22,6	133-34j	23,7
moyenne	23,7		25,1
Correct.	19,1		20,3
écart	1,1		6,2

(*) erreur statistique du comptage

U 239 $T_{1/2} = 23.47$ m Énergie : 75 keV moyenne : 0.5 ± 0.3 ppm

Rapport moyen : 0.8089

y		t		a		b	
221-5m	0,372	121-5m	0,855	222-30m	0,15	321-5m	0,582
222-30m	0,291	122-30m	0,821	323-50m	0,1		
		221-5m	0,641	321-5m	0,219		
		222-30m	0,501				
		321-5m	0,947				
moyenne	0,33		0,75		0,16		0,58
Correct.	0,27		0,61		0,13		0,47
écart	0,03		0,13		0,04		24%(*)

d		g		j		m	
322-31m	0,698			321-5m	0,824	114-10m	1,66
221-5m	0,5	321-5m	0,341	323-1h	0,347	113-5m	3,31
321-5m	0,817	121-5m	0,501	222-30m	0,194		
Moyenne	0,76		0,50		0,51		1,66
Correct.	0,61		0,41		0,41		1,34
Écart	0,11		0,06		0,22		0,67

z		s	
122-42m	0,296	222-30m	0,24
121-4m	0,374	123-1h	0,542
221-1m	0,742		
Moyenne	0,47		0,24
Correct.	0,38		0,19
Écart	0,16		0,12

(*) erreur statistique du comptage

I 128 $T_{1/2} = 24.99$ m Énergie : 442.92 keV moyenne : 1.33 ± 1 ppm

Rapport moyen : 0.8089

a		b		z		m	
321-5m	0,68	123-1h	2,75	122-42m	0,606	221-5m	1,14
322-30m	0,625	223-50m	2,83	121-4m	0,591	222-30m	0,927
323-50m	0,507			223-46m	0,98	322-30m	1,09
121-5,5m	0,82					323-46m	0,974
122-30m	0,446						
123-1h	0,929						
Moyenne	0,67		2,79		0,73		1,057
Correct.	0,54		2,26		0,59		0,855
Écart	0,14		0,03		0,15		0,069

y		g		j	
322-30m	1,08	214-10m	3,97	223-1h	1,2
Moyenne	1,08		3,97		1,2
Correct.	0,87		3,21		0,97
écart	26%(*)		19%(*)		27%(*)

(*) erreur statistique du comptage

Cr 51 $T_{1/2} = 27.7$ j Énergie : 320 keV moyenne : 27 ± 18 ppm

épinard		Standard	
333	20j	6,25	4,6

interf 6,238

rap(stand/épinard) 0,737

y		t		a		b	
333-34j	18,4	333-23j	51,2	333-45j	85,5		
233-34j	20,1	133-30j	65,6	233-35j	85,7	233-27j	10,2
133-30j	14,1	233-30j	67	133-32j	60,1	133-26j	11,9
moyenne	17,53		61,27		77,10		11,05
Interf.	17,52		61,25		77,09		
Correct.	12,92		45,17		56,85		8,15
écart	1,86		5,27		8,86		0,63

j		m		s		z	
333-27j	14,6	333-20j	113	333-38j	47,4	333-20j	13,4
233-26j	16,7	233-21j	34,2	233-35j	42	233-30j	20,6
134-40j	18,1	133-15j	69,9	133-27j	23,1	133-25j	12,4
		134-33j	6,41			132-12j	15,5
		3331-20j	107				
		132-7j	80,2				
		232-7j	33,4				
		332-7j	123				
Moyenne	16,5		70,9		37,50		15,48
Interf.			70,9		37,49		
Correct.	12,1		52,3		27,65		11,41
écart	1,1		29,5		7,68		2,33

d		g	
333-30j	36,1	333-35j	23,2
233-30j	36,1		
133-30j	41,4	133-34j	21,5
moyenne	37,9		22,4
Correct.	27,9		16,5
écart	1,8		0,6

interférence

Fe-54(n,gamma)Cr-51

standard	0,0117
y	0,0085
t	0,0122
a	0,0062
m	0,0149
s	0,0083

(*) erreur statistique du comptage

Fe 59 $T_{1/2} = 44,5$ j Énergie : 1099 keV moyenne : 471 ± 146 ppm

	Épinard	Standard
333-20j	1050	550
34-41j	1100	

moyenne 1075

rap(stand/épinard) 0,5116

y		t		a		s		m	
333-34j	539			333-45j	572	333-38j	902	134-33j	1370
233-34j	1020					233-35j	627		
133-30j		233-30j	1120						
moyenne	779,5		1120		572		764,5		1370
Correct.	398,8		573,0		292,7		391,1		700,9
écart	123,0		26%(*)		7%(*)		70,3		28%(*)

Zn 65 $T_{1/2} = 244.1$ j Énergie : 1115 keV moyenne : 90 ± 141 ppm

Épinard		Standard
333-20j	68,9	50
34-41j	88,1	
32-13j	71,4	

moyenne 76,13
rap(stand/épinard) 0.6567

y		t		a		b	
333-34j	94,3	333-23j	60	333-45j	75,2		
233-34j	105			233-35j	68,4	233-27j	815
133-30j	73,3	233-30j	60,1	133-32j	57,7	133-26j	677
moyenne	90,9		60,05		67,1		746
Correct.	59,7		39,44		44,1		489,9
écart	8,6		0,03		4,7		45,3

(*) erreur statistique du comptage

d		g		j		b	
333-30j	47,8	333-35j	98,6				
233-30j	41,6						
133-30j	46,1	133-34j	25,6	134-40j	114	134-33j	75,8
moyenne	45,2		62,1		114		75,8
Correct.	29,7		40,8		74,9		49,8
écart	1,7		24,0		24%(*)		12%(*)

z		s	
333-20j	30,2	333-38j	62
233-30j	35,2	233-35j	80,1
133-25j	29,7		
234-1j	30,5		
Moyenne	31,4		71,05
Correct.	20,6		46,7
écart	1,5		5,9

ANNEXE V

RAPPORTS R CALCULÉS ENTRE LA TENEUR DANS LA CHARPIE DE
SÈCHEUSES DOMESTIQUES POUR CHAQUE ÉCHANTILLON ET LA
TENEUR MOYENNE DANS LA CROÛTE TERRESTRE

Élément	Croûte terrestre (ppm)*	y	t	a	b	z	d	g	j	m	s	moyenne
Al	82300	0.1	0.001	0.005	0.02	0.01	0.01	0.004	0.03	0.01	0.014	0.012
Ag	0.07	19	53	20	38	28	41	36	21	44	48	35
Br	2.5	6	14	5	13	3	16	3	2	3	9	7.5
Ca	41500	0.1	0.07	0.1	0.1	0.07	0.1	0.07	0.04	0.008	0.13	0.09
Cl	130	4.2	4.2	3.2	3.6	4.4	6.5	6.4	3.8	3.1	4.2	4.3
Cr	100	0.1	0.4	0.6	0.08	0.1	0.3	0.2	0.1	0.5	0.3	0.3
Co	25	0.02	0.04	0.03	0.05	0.02	0.06	0.06	0.04	0.05	0.04	0.04
Cu	55	1.4	0.8	1	1.75	0.35	2	0.4	1.8	1	0.72	1.13
Fe	56300	0.007	0.01	0.005	-	-	-	-	-	0.012	0.007	0.008
I	0.5	1.74	-	1	4.6	1.2	-	6.4	1.94	1.71	-	2.7
Mg	23300	0.05	0.05	0.03	0.05	0.02	0.02	0.02	0.04	0.015	0.03	0.02
Mn	950	0.004	0.006	0.004	0.006	0.006	0.005	0.005	0.003	0.01	0.01	0.006
Au	0.004	10	57.5	45	30	10.5	55	24	-	15	37.5	30
K	20900	0.008	0.01	0.008	0.1	-	0.008	0.008	0.01	0.007	0.02	0.1
Sb	0.2	31	215	23	39	63.5	96	101	65	30	44	71
Sc	16	0.001	-	0.002	-	0.002	0.005	-	-	-	0.01	0.004
Se	0.05	267	-	163	281	38	280	-	-	148	61	177
Na	23600	0.003	0.009	0.007	0.01	0.02	0.01	0.006	0.03	0.015	0.03	0.02
Ti	5700	0.03	0.06	0.02	0.07	0.06	0.05	0.03	0.09	0.03	0.06	0.05
U	2.7	0.1	0.2	0.05	0.17	0.14	0.22	0.15	0.15	0.05	0.07	0.18
V	135	0.007	0.01	0.005	0.01	0.003	0.004	0.005	-	0.008	0.008	0.008
Zn	70	0.85	0.56	0.63	7	0.3	0.4	0.6	1	0.7	0.7	1.3

* Rösler et Lange, 1972

ANNEXE VI

ÉLÉMENTS AVEC UN FACTEUR D'ENRICHISSEMENT SOUS-UNITAIRE

VI-1 Titane

La teneur de Ti dans la charpie de sécheuses domestiques 118-515 ppm (moyenne 291 $\pm$ 125 ppm) est en-dessous de concentration de base retrouvée dans la croûte terrestre : 5700 ppm (Röesler et Lange, 1972) ou dans le sol : 2800 ppm (Shacklette et Boergen, 1984), mais plus grandes que celle dans les cheveux: 3.9-24 ppm (Valcovic, 1977).

Les facteurs d'enrichissement R (pour Ti) varient de 0.02-0.09 avec une moyenne de 0.05 fois celle de la croûte terrestre. Malheureusement, on n'a pas trouvé de limites pour le Ti dans le sol, et donc on ne peut pas faire de comparaison dans cette direction.

En utilisant la méthode de l'analyse par activation neutronique, on a trouvé la teneur de Ti au niveau de bruit de fond naturel et on ne peut pas déterminer s'il y a une possible pollution avec le Ti dans la charpie de sécheuses domestiques analysées.

VI-2 Aluminium

La teneur de l'Al dans la charpie de sécheuses domestiques 86-2172 ppm (moyenne 966 $\pm$ 633 ppm) est en-dessous de concentration de base dans la croûte terrestre: 82 300 ppm (Röesler et Lange, 1972) ou dans le sol E.U.: 33 000 ppm (Shacklette et Boergen, 1984), mais plus élevée que celle dans les cheveux : 3.7-4.6 ppm (Valcovic, 1977).

Les facteurs d'enrichissement R (pour Al) varient de 0.001-0.1 avec une moyenne de 0.012 fois celle de la croûte terrestre. Malheureusement on n'a pas trouvé de limites pour le sol canadien (Al) pour des fins de comparaison.

On ne peut pas faire une comparaison avec les limites établies pour l'eau ou pour air (0.2 ppm Al pour l'eau potable EPA ; 15 mg Al/m³ air, pour 8h /jour plus de 40h /semaine, Occupational Safety and Health Administration (ATSDR, 1992).

Généralement, on peut dire (ATSDR, 1992) que les ustensiles et le papier d'aluminium, les déodorants, antiacides ou autres produits sont sécuritaires pour la santé humaine. Probablement, le seul véritable danger avec une possible pollution avec Al peut être identifiée dans les pesticides.

En utilisant la méthode de l'analyse par activation neutronique on a trouvé des teneurs de Al au niveau de bruit de fond naturel et on ne peut pas déterminer s'il y a une possible pollution avec le Al dans la charpie de sècheuses domestiques analysées.

VI-3 Chrome

La teneur de Cr dans la charpie de sècheuses domestiques, 8-57 ppm (moyenne : 27 ± 18 ppm), est en-dessous de la concentration dans la croûte terrestre : 100 ppm (Röesler et Lange, 1972), mais ressemble bien à celle dans le sol : 2.5 ppm (Cr +6) dans le sol, Critère canadien (Aloway et Ayres, 1993), et est plus grande que celle dans les cheveux : 0.65-5.9 ppm (Valcovic, 1977).

Les facteurs d'enrichissement R varient de 0.08-0.6 avec une moyenne de 0.3 fois celle de la croûte terrestre. Malheureusement, l'analyse par activation neutronique ne donne pas d'information sur l'état d'oxydation de l'élément identifié.

On ne peut pas comparer les valeurs trouvées pour le chrome dans la charpie (8-57 ppm) avec les valeurs indiquées par Canadien Council of Ministers of the Environment (Aloway et Ayres 1993) pour les sols résidentiels: 8 ppm Cr (+6) pour le fond naturel 2.5 ppm Cr(+6) dans le sol. Aussi, une comparaison directe avec d'autres limites établies n'est pas concluante :

- 500 $\mu\text{g Cr/m}^3$ air (pour 8h /jour, 40h /semaine), OSHA (ATSDR, 1993);
- 1000 $\mu\text{g Cr/m}^3$ l'eau (Cr métallique et sels insolubles) OSHA (ATSDR, 1993);
- 100 ppb Cr dans l'eau potable, EPA (ATSDR, 1993);
- ingestion de 500-200 $\mu\text{g (Cr+3)}/\text{jour}$, aide l'insuline pour faire la régulation du glucose sanguin, NRC (ATSDR, 1993);

En utilisant la méthode de l'analyse par activation neutronique on a trouvé des teneurs de Cr au niveau de bruit de fond naturel et on ne peut pas déterminer s'il y a une possible pollution avec le Cr dans la charpie de sécheuses domestiques analysées.

VI-4 Cobalt

La teneur de Co dans la charpie de sécheuses domestiques 0.4-1.6 ppm (moyenne 1 ± 0.4 ppm) est en-dessous de concentration 25 ppm Co dans la croûte terrestre (Röesler et Lange, 1972) ou 5.9 ppm Co dans le sol E.U.(Shacklette et Boergen ,1984), mais ressemble à 0.24-0.34 ppm dans les cheveux (Valcovic, 1977).

Les facteurs d'enrichissement R (pour Co) varient de 0.02-0.06 avec une moyenne de 0.04 fois celle de la croûte terrestre.

Comparativement aux valeurs indiquées par Canadien Council of Ministers of the Environment (Aloway et Ayres 1993) pour les sols résidentiels : 50 ppm Co ou pour le fond naturel 10 ppm Co dans le sol, les teneurs de Co trouvées dans la charpie de

sécheuses sont inférieures. Aussi une comparaison directe avec d'autres limites établies n'est pas concluante (ATSDR, 1992) :

-0.1 mg Co/m³ air (pour 8 h / jour, 40h /semaine) OSHA ; .

-0.02 mg Co/m³ air (pour 8 h / jour, 40 h / semaine) American Conference of Governmental and Industrial Hygienists;

VI-5 Calcium

La teneur de Ca dans la charpie de sécheuses domestiques 1768-5708 ppm (moyenne 3725 ± 1262 ppm) est très basse par rapport à la concentration dans la croûte terrestre : 41 500 ppm (Röesler et Lange, 1972), et plus proche de celle présente dans le sol : 3 400 ppm E.U.(Shacklette et Boergen, 1984), ou 400-1200 ppm Ca dans coton (Menachem et Pearce, 1998) ou 135-158 ppm Ca dans les cheveux (Valcovic, 1977).

Les facteurs d'enrichissement R (pour Ca) varient de 0.04- 0.13 et une moyenne de 0.09 fois relativement au croûte terrestre , malheureusement on n'a pas trouvé de limites pour le sol canadien pour une comparaison.

En utilisant la méthode de l'analyse par activation neutronique on a trouvé des teneurs de Ca au niveau de bruit de fond naturel et on ne peut pas déterminer s'il y a une possible pollution avec le Ca dans la charpie de sécheuses domestiques analysées.

VI-6 Fer

La teneur de Fe dans la charpie de sécheuses domestiques 293-701 ppm est inférieure à la concentration dans la croûte terrestre : 56 300 ppm Fe (Röesler et Lange, 1972), ou 14 000 ppm Fe dans le sol E.U. (Shacklette et Boergen, 1984) et plus grandes que 2.7-12 ppm Fe dans les cheveux (Valcovic, 1977), ou bien 30-90 ppm Fe dans coton (Menachem

et Pearce, 1998). Les concentrations varient passablement autour de leurs valeurs moyennes (471 ± 146 ppm) et le Fe a été identifié seulement dans 5 de 10 échantillons.

Les facteurs d'enrichissement R (pour Fe) varient de 0.005-0.01 et une moyenne de 0.008 fois celle de la croûte terrestre, malheureusement on n'a pas trouvé de limites pour le sol canadien pour comparaison.

En utilisant la méthode de l'analyse par activation neutronique on a trouvé des teneurs de Fe au niveau de bruit de fond naturel et on ne peut pas déterminer s'il y a une possible pollution avec le Fe dans la charpie de sècheuses domestiques analysées.

VI-7 Magnésium

La teneur de Mg dans la charpie de sècheuses domestiques 434-1585 ppm (moyenne 1102 ± 384 ppm) est en-dessous de la concentration dans la croûte terrestre : 23 300 ppm (Röesler et Lange, 1972) ou 2 100 ppm Mg dans le sol E.U. (Shacklette et Boergen, 1984). Elle est plus élevée que celle dans les cheveux: 14.5 - 16.4 ppm (Valcovic, 1977), et elle se ressemble beaucoup aux valeurs typiques dans le coton : 400 – 1200 ppm (Menachem et Pearce, 1998).

Les facteurs d'enrichissement R (pour Mg) varient de 0.015 – 0.05 avec une moyenne de 0.02 fois celle de la croûte terrestre, malheureusement on n'a pas trouvé de limites pour le sol canadien pour une comparaison.

En utilisant la méthode de l'analyse par activation neutronique on a trouvé des teneurs de Mg au niveau de bruit de fond naturel (celui-ci est normalement présent dans les fibres) et on ne peut pas déterminer s'il y a une possible pollution avec le Mg dans la charpie de sècheuses domestiques analysées.

VI-8 Manganèse

La teneur de Mn dans la charpie de sècheuses domestiques 2.6-9.8 ppm (moyenne 5.7 ± 2 ppm) est en-dessous de la concentration dans la croûte terrestre: 950 ppm (Röesler et Lange, 1972) ou 260 ppm Mn dans le sol E.U. (Shacklette et Boergen, 1984) et est plus élevé que celle dans les cheveux : 1.7-1.8 ppm (Valcovic, 1977) et ressemble beaucoup aux valeurs typiques dans le coton : 1-10 ppm Mn (Menachem et Pearce, 1998).

Les facteurs d'enrichissement R (pour Mn) varient de 0.003 – 0.01 avec une moyenne de 0.006 fois celle de la croûte terrestre, malheureusement on n'a pas trouvé de limites pour le sol canadien pour une comparaison.

En utilisant la méthode de l'analyse par activation neutronique on a trouvé des teneurs de Mn au niveau de bruit de fond naturel (celui-ci est normalement présent dans les fibres) et on ne peut pas déterminer s'il y a une possible pollution avec le Mn dans la charpie de sècheuses domestiques analysées.

VI-9 Potassium

La teneur de K dans la charpie de sècheuses domestiques 158-406 ppm (moyenne 221 ± 78 ppm) est en-dessous de la concentration dans la croûte terrestre : 20 900 ppm (Röesler et Lange, 1972) ou 12 00 ppm K dans le sol E.U.(Shacklette et Boergen, 1984) ou coton : 2 000- 6 500 ppm K (Menachem et Pearce, 1998) et plus grande que celle dans les cheveux 72.6- 225.6 ppm (Valcovic, 1977);

Les facteurs d'enrichissement R (pour K) varient de 0.007 – 0.1 avec une moyenne de 0.009 fois celle de la croûte terrestre, malheureusement on n'a pas trouvé de limites pour le sol canadien pour comparaison.

En utilisant la méthode de l'analyse par activation neutronique on a trouvé des teneurs de K au niveau de bruit de fond naturel (celui-ci est normalement présent dans les cheveux) et on ne peut pas déterminer s'il y a une possible pollution avec le K dans la charpie de sécheuses domestiques analysées.

VI-10 Scandium

La teneur de Sc dans la charpie de sécheuses domestiques 0.025-0.17 ppm (moyenne 0.071 ± 0.06 ppm) est en-dessous de la concentration dans la croûte terrestre : 16 ppm (Röesler et Lange, 1972) ou 6.5 ppm Sc dans le sol E.U. (Shacklette et Boergen, 1984) .

Les facteurs d'enrichissement R (pour Sc) varient de 0.002 – 0.01 avec une moyenne de 0.004 fois celle de la croûte terrestre, malheureusement on n'a pas trouvé de limites pour le sol canadien pour comparaison.

En utilisant la méthode de l'analyse par activation neutronique on a trouvé des teneurs de Sc au niveau de bruit de fond et on ne peut pas déterminer s'il y a une possible pollution avec le Sc dans la charpie de sécheuses domestiques analysées.

VI-11 Sodium

La teneur de Na dans la charpie de sécheuses domestiques 146-843 ppm (moyenne 432 ± 216 ppm) est en-dessous de la concentration dans la croûte terrestre : 23 600 ppm (Röesler et Lange, 1972) ou 2 500 ppm Na dans le sol E.U. (Shacklette et Boergen, 1984) probablement à cause de la solubilité des composés chimiques de Na. Les concentrations de Na trouvés dans la charpie sont plus proches des celles dans les cheveux : 516-1205 ppm (Valcovic, 1977) ou 100-300 ppm Na dans le coton (Menachem et Pearce, 1998).

Les facteurs d'enrichissement R (pour Na) varient de 0.003 – 0.03 avec une moyenne de 0.02 fois celle de la croûte terrestre, malheureusement on n'a pas trouvé de limites pour le sol canadien pour comparaison.

En utilisant la méthode de l'analyse par activation neutronique on a trouvé des teneurs de Na au niveau de bruit de fond naturel (celui-ci est normalement présent dans les cheveux ou les fibres textiles) et on ne peut pas déterminer s'il y a une possible pollution avec le Na dans la charpie de sècheuses domestiques analysées.

VI-12 Uranium

La teneur de U dans la charpie de sècheuses domestiques 0.13-1.34 ppm (moyenne 0.5 ± 0.3 ppm) est en-dessous de la concentration dans la croûte terrestre : 2.7 ppm (Röesler et Lange, 1972) ou 2.1 ppm U dans le sol E.U. (Shacklette et Boergen, 1984).

Les facteurs d'enrichissement R (pour U) varient de 0.05 – 0.22 avec une moyenne de 0.18 fois celle de la croûte terrestre, malheureusement on n'a pas trouvé de limites pour le sol canadien pour comparaison.

En utilisant la méthode de l'analyse par activation neutronique on a trouvé des teneurs de U au niveau de bruit de fond naturel et on ne peut pas déterminer s'il y a une possible pollution avec le U dans la charpie de sècheuses domestiques analysées.

VI-13 Vanadium

La teneur de V dans la charpie de sècheuses domestiques 0.4-2.2 ppm (moyenne 1 ± 0.6 ppm) est en-dessous de la concentration dans la croûte terrestre : 135 ppm (Röesler et Lange, 1972) ou 43 ppm V dans le sol E.U.(Shacklette et Boergen, 1984).

Les facteurs d'enrichissement R (pour V) varient de 0.003 – 0.01 avec une moyenne de 0.008 fois celle de la croûte terrestre, malheureusement on n'a pas trouvé de limites pour le sol canadien pour comparaison.

En utilisant la méthode de l'analyse par activation neutronique on a trouvé des teneurs de V au niveau de bruit de fond naturel et on ne peut pas déterminer s'il y a une possible pollution avec le V dans la charpie de sècheuses domestiques analysées.

ANNEXE VII

ÉLÉMENTS AVEC UN FACTEUR D'ENRICHISSEMENT $1 \leq R < 10$

VII-1 Cuivre

La teneur de Cu dans la charpie de sécheuses domestiques 19-109 ppm (moyenne 62 ± 32 ppm) est légèrement plus grandes que la concentration dans croûte terrestre 55 ppm (Röesler et Lange, 1972), mais plus grandes que celle dans le sol : 13 ppm E.U. (Shacklette et Boergen, 1984) ou 30 ppm Cu, fond pour le sol Canada (Aloway et Ayres, 1993) ou 1-10 ppm Cu dans coton (Menachem et Pearce, 1998) et 8.7-16.2 ppm Cu dans les cheveux (Valcovic, 1977).

Les facteurs d'enrichissement R (pour Cu) sont de 0.35-1.75 avec une moyenne de 1.13 fois celle de la croûte terrestre. Comparativement aux valeurs indiquées par Canadien Council of Ministers of the Environment (Aloway et Ayres, 1993) pour les sols résidentiels : 100 ppm Cu ou pour le fond naturel 30 ppm Cu dans le sol, la teneur de Cu trouvé dans la charpie de sécheuses est dans cette plage.

En utilisant la méthode de l'analyse par activation neutronique on a trouvé des teneurs de Cu au niveau de bruit de fond naturel et on ne peut pas déterminer s'il y a une possible pollution avec le Cu dans la charpie de sécheuses domestiques analysées.

VII-2 Zinc

La teneur de Zn dans la charpie de sécheuses domestiques 21-490 ppm (moyenne 90 ± 142 ppm) est légèrement plus grandes que la concentration de 70 ppm Zn dans la croûte terrestre (Röesler et Lange, 1972), de 40 pmm Zn dans le sol E.U. (Shacklette et Boergen,

1984), 60 ppm Zn, fond pour le sol Canada (Aloway et Ayres, 1993), 1-10 ppm Zn dans coton (Menachem et Pearce, 1998), 181-246 ppm Zn dans les cheveux (Valcovic, 1977).

Les facteurs d'enrichissement R (pour Zn) sont de 3-7 avec une moyenne de 1.3 fois celle de la croûte terrestre. Comparativement aux valeurs indiquées par Canadian Council of Ministers of the Environment (Aloway et Ayres, 1993), pour les sols résidentiels : 500 ppm Zn ou pour le fond naturel 60 ppm Zn, la teneur de Zn trouvé dans la charpie de sécheuses est plus élevée que le fond mais dans la range pour le sol résidentiel canadien. Aussi une comparaison directe avec d'autres limites établis n'est pas concluante (ATSDR, 1994):

-5 ppm Zn dans l'eau potable, EPA ;

-1 mg Zn /m³ air (pour 8h/jour, 40 h /semaine) OSHA .

En utilisant la méthode de l'analyse par activation neutronique on a trouvé des teneurs de Zn au niveau de bruit de fond naturel et on ne peut pas déterminer s'il y a une possible pollution avec le Zn dans la charpie de sécheuses domestiques analysées.

VII-3 Iode

L' iode est très volatile, donc après le lavage et le séchage il est entendu qu'il ne reste que seulement l'iode immobilisée dans les fibres et dans d'autres matériaux présents dans la charpie de sécheuses. Il est surprenant que la teneur de I dans la charpie de sécheuses domestiques, 0.5-3.2 ppm (moyenne 1.3 ± 1 ppm) soit légèrement supérieure à la concentration dans la croûte terrestre : 0.5 ppm (Röesler et Lange, 1972), 0.68 ppm I dans le sol E.U.(Shacklette et Boergen, 1984) ou 0.03-0.14 ppm I dans les cheveux (Valcovic, 1977);

Les facteurs d'enrichissement R (pour I) varient de 1-6.4 avec une moyenne de 2.7 fois celle de la croûte terrestre, malheureusement on n'a pas trouvé de limites pour le sol canadien pour comparaison.

En utilisant la méthode de l'analyse par activation neutronique on a trouvé des teneurs de I au niveau de bruit de fond naturel (un peu plus grande concentration que celles naturellement présentes, mais non significative) et on ne peut pas déterminer s'il y a une possible pollution avec le I dans la charpie de sècheuses domestiques analysées.

VII-4 Chlore

Le chlore est très volatile, donc après le lavage et séchage il ne reste que seulement le chlore immobilisé dans les fibres à d'autres matériaux présents dans la charpie de sècheuses. Il est surprenant que la teneur trouvée expérimentalement, 402-842 ppm (moyenne 566 ± 152 ppm), soit plus grande que celle dans la croûte terrestre : 130 ppm (Roesler et Lange, 1972).

Les facteurs d'enrichissement R (pour Cl) varient de 3.1-6.5 et une moyenne de 4.3 celle de la croûte terrestre, malheureusement on n'a pas trouvé de limites pour le sol canadien pour comparaison.

En utilisant la méthode de l'analyse par activation neutronique on a trouvé des teneurs de Cl au niveau de bruit de fond naturel (un peu plus grande que celles naturellement présentes, mais non significative) et on ne peut pas déterminer s'il y a une possible pollution avec le Cl dans la charpie de sècheuses domestiques analysées.

VII-5 Brome

Le brome est très volatile, donc après le lavage et séchage il ne reste seulement que le brome immobilisé dans les fibres et relié à d'autres matériaux présents dans la charpie de sécheuses.

Il est surprenant que la teneur de Br dans la charpie de sécheuses domestiques 6-41ppm (moyenne 19 ± 13 ppm) soit élevée par rapport à la concentration dans la croûte terrestre : 2.5 ppm (Röesler et Lange, 1972) ou 0.62 ppm Br dans le sol E.U. (Shacklette et Boergen, 1984) ou 0.17 - 1.1 ppm Br dans les cheveux (Valcovic, 1977).

Les facteurs d'enrichissement R (pour Br) varient de 2-16 et une moyenne de 7.5 fois celle de la croûte terrestre, malheureusement on n'a pas trouvé de limites pour le sol canadien pour comparaison.

En utilisant la méthode de l'analyse par activation neutronique on a trouvé des teneurs de Br au niveau de bruit de fond naturel (un peu plus élevées que celles naturellement présentes, mais non significatives) et on ne peut pas déterminer s'il y a une possible pollution avec le Br dans la charpie de sécheuses domestiques analysées.

ANNEXE VIII

ÉLÉMENTS AVEC UN FACTEUR D'ENRICHISSEMENT $R > 10$

VIII-1 Argent

La teneur de Ag dans la charpie de sècheuses domestiques 1.3-3.7 ppm (moyenne 2.4 ± 0.9 ppm) est très élevés par rapport à toutes concentrations dans la croûte terrestre 0.07 ppm (Röesler et Lange, 1972), 0.3 ppm Ag dans le sol E.U.(Shacklette et Boergen, 1984), 2 ppm Ag fond pour le sol Canada (Aloway et Ayres, 1993) et 0.4 – 2 ppm Ag dans les cheveux (Valcovic, 1977).

Les facteurs d'enrichissement R (pour Ag) varient de 19-53 avec une moyenne de 35 fois celle de la croûte terrestre, donc on peut conclure que ces valeurs, étant très hautes, peuvent indiquer une possible source de pollution avec Ag dans les domaines domestiques.

L'intoxication la plus connue avec Ag, " Argyria " est une maladie caractérisée par la précipitation de Ag métallique dans des tissus, état généralisé de cette maladie provient de l'inspiration de l'air avec 0.01 mg Ag / m^3 ou l'accumulation d'une dose totale de 3.8 g Ag (Encyclopedia of occupational health 1998).

Mais, les valeurs identifiées dans la charpie de sècheuses sont inférieures aux limites établies pour le sol résidentiel canadien et approximativement dans le niveau de fond naturel pour le sol canadien (Aloway et Ayres, 1993)et approximativement celles des cheveux humains (Valcovic, 1977).

En utilisant la méthode de l'analyse par activation neutronique on a trouvé des teneurs de Ag plus grandes que celles présentes naturellement, mais dans la plage des teneurs réglementées pour le sol canadien.

On peut suggérer comme possible sources de Ag dans la charpie de sécheuses domestiques: cheveux, coutellerie, bijoux, monnaie, peinture pour céramique, inhibiteur statique pour les tapis et matériaux en laine, désinfectant de l'eau potable, antiseptique (Encyclopedia of occupational health, 1998).

VIII-2 Or

La teneur de Au dans la charpie de sécheuses domestiques 0.04-0.23 ppm (moyenne 0.12 ± 0.07 ppm) est très élevée par rapport à la concentration dans la croûte terrestre : 0.004 ppm (Röesler et Lange, 1972). Comme les concentrations ne varient pas beaucoup autour de leurs valeurs on ne peut pas associer ce facteur avec des analyses ou des possibles singularités présentes dans l'ensemble des échantillons.

Les facteurs d'enrichissement R (pour Au) varient de 10-57.5 et une moyenne de 30 fois celle de la croûte terrestre, malheureusement on n'a pas trouvé de limites pour le sol canadien pour comparaison.

En utilisant la méthode de l'analyse par activation neutronique on a trouvé des teneurs de Au plus grandes que celles présentes naturellement. On peut suggérer les bijoux comme possible sources de Au dans la charpie de sécheuses domestiques.

VIII-3 Antimoine (Sb)

La teneur de Sb dans la charpie de sècheuses domestiques 6-43 ppm (moyenne 14 ± 14 ppm) est très élevée par rapport à la concentration dans la croûte terrestre : 0.2 ppm (Röesler et Lange, 1972) ou 0.52 ppm Sb dans le sol E.U. (Shacklette et Boergen, 1984).

Malheureusement, les limites de Sb établies sont pour :

-0.006 ppm Sb l'eau potable, EPA (ATSDR, 1992);

-0.5 mg Sb/m³ air (pour 8h/jour, 40 h /semaine) OSHA (ATSDR, 1992)

donc une comparaison avec les niveaux réglementés n'est pas possible .

Les concentrations expérimentales de Sb varient beaucoup autour de leurs valeurs moyennes (14 ± 14 ppm), mais avec des facteurs d'enrichissement R (pour Sb) varient de 23-215 et une moyenne de plus 70 fois que dans la croûte terrestre, on peut conclure qu'il y a une possible source de pollution dans la charpie de sècheuses.

L'ingestion, l'inhalation ou l'absorption par la peau de large quantité d'antimoine peut causer des pneumoconioses, dermatites, rhinitis, gastrites, conjonctivites, affections du cœur, éruptions cutanées. Sb inhibe l'activité des certaines enzymes et perturbe la production de glycogène dans le foie. Il est suspecté d'être cancérigène (Encyclopedia of Occupational Health, 1998), mais ce n'est pas sûr (ATSDR, 1992). L'Encyclopedia of Occupational Health (1998) indique les doses létales de 10-11.2 mg Sb /100g.

En utilisant la méthode de l'analyse par activation neutronique on a trouvé des teneurs de Sb beaucoup plus élevées que celles présentes naturellement. On peut suggérer comme possibles sources de Sb dans la charpie de sècheuses domestiques : additifs dans les alliages, composants électriques, pigments et colorants, additifs dans les textiles et

plastiques, tabac, allumettes, additifs dans le caoutchouc, combustion de combustibles fossiles (Encyclopedia of Occupational Health, 1998 et ATSDR, 1992).

Comme l'analyse par activation neutronique ne donne pas de détails sur la nature chimique de Sb trouvé on ne peut pas prédire une source de pollution privilégiée par rapport aux autres.

VIII-4 Sélénium

La teneur de Se dans la charpie de sécheuses domestiques 2-14 ppm (moyenne 8.8 ± 5 ppm) est très élevée par rapport à la concentration dans la croûte terrestre : 0.05 ppm (Röesler et Lange, 1972) ou 0.3 ppm Se dans le sol E.U. (Shacklette et Boergen, 1984). Le Se a été identifié dans 7 de 10 échantillons et des teneurs sont plus grandes de 3 ppm pour 5 de les 7 échantillons, donc, on suspecte des possibles singularités présentes dans l'ensemble des échantillons.

Une comparaison directe avec des limites établis pour (ATSDR, 1996) :

- 50 ppb Se dans l'eau potable, EPA ,
- 0.2 mg Se /m³ air (pour 8h/ jour, 40 h /semaine) OSHA ,
- n'est pas concluante .

Les limites établies pour le sol (fond Canada) : 1 ppm (Aloway et Ayres, 1993) sont plus basses que toutes les valeurs trouvées dans la charpie de sécheuses domestiques.

Les concentrations expérimentales varient beaucoup autour de leurs valeurs moyennes (8.8 ± 5 ppm), mais avec des facteurs d'enrichissement R (pour Se) varient de 23-215 et une moyenne de plus 177 fois que la croûte terrestre, on peut conclure premièrement qu'il y a une source de pollution avec Se dans la charpie de sécheuses.

Les facteurs d'enrichissements sont calculés en rapport aux teneurs dans la croûte terrestre (qui est très faible), le plus réaliste est de comparer ce cas aux limites pour le sol résidentiel canadien (3 ppm Alloway et Ayres, 1993) le facteur d'enrichissement baisse à 3 fois. Donc, déjà on peut discuter d'une pollution.

Le sélénium est un métal essentiel pour la vie. De petites quantités : 50-150 µg Se /jour (ATSDR, 1989) sont nécessaires dans la diète (il prend davantage d'oxygène sur les tissus, vitamine E). L'ingestion de quantité élevée de Se peut conduire à la perte de cheveux, déformations des ongles et perturbation de contrôle des mains et pieds, œdème pulmonaire, bronchites. On suspecte que le sulfate de sélénium est cancérogène, mais les études montrent que sur la peau il est sécuritaire, donc l'utilisation des shampoos avec le sulfate de sélénium n'est pas associé à un danger (ATSDR, 1996). La respiration de l'air avec 2.7 ppm de Se conduit à la mort (dans 4h) de porcs (ATSDR, 1989).

De plus, on considère les aspects suivants :

- la charpie de sécheuses contient des fibres de cheveux, sauf que l'on ne peut déterminer la teneur de Se qui provient des cheveux spécifiquement, on sait (ATSDR ,1989) que le Se a une tendance de s'accumuler dans les cheveux;
- West et Cimerman (1964) ont rapporté des valeurs de Se très élevées dans les papiers filtrants. En essayant de trouver la cause de cette pollution, on a trouvé dans la littérature que les plantes ont une capacité élevée d'extraction cumulative de Se présent dans l'environnement. (Rosenfeld et Beath, 1964) trouvent que *astragalus bisulcatus* qui grandit dans des sols contenant 10ppm Se, contiennent 6 000- 8 000 ppm de Se. La confirmation de ces conclusions est le cas de San Joaquin Valley (E.U.) où certains poissons contiennent 50-370 ppm de Se, à cause de l'eau de surface qui contient du Se provenant d'une surface agricole adjacente (ATSDR, 1989).

- On a pensé que la charpie de sècheuses peut contenir des mouchoirs de papier (oubliés dans les poches) et donc, qui pourrait expliquer la présence de quantités très élevées de Se. Mais en analysant un échantillon de papier mouchoir par l'analyse par activation neutronique on n'a pas détecté de Se. Ainsi, le Se trouvé dans la charpie proviendrait d'autres sources.

Donc la provenance du Se dans la charpie n'est pas facile à trouver, mais il est sûr que la teneur dans la charpie est plus élevée que celle présente naturellement dans le sol et que la valeur maximale recommandée par le Council of Ministers of the environment of Canada (Aloway et Ayres, 1993). Les sources, les plus probables, de Se trouvées dans la charpie sont : shampoo, combustion des combustibles fossiles, tabac, cheveux. On a suspecté, de plus, les papiers présents dans les vêtements lors du lavage, mais ce fait n'a pas été validé.