



**EHESP**

---

**Ingénieur du génie sanitaire**

Promotion : **2007 - 2008**

Date du Jury : **septembre 2008**

---

**Région Chaudière-Appalaches au**

**Québec :**

**Les puits privés d'alimentation en eau  
potable sont-ils la principale source  
d'exposition chronique à l'arsenic?**

---

**Présenté par :**

Yves Ibanez

**Structure d'accueil :**

Université de Montréal

Département de santé environnementale et santé au travail

**Référent professionnel :**

Michèle Bouchard

**Référent pédagogique :**

Olivier Thomas

---

# Remerciements

---

Difficile de remercier toutes les personnes qui ont de près ou de loin participé à la réalisation de ce mémoire.

Je remercie tout d'abord Michèle Bouchard, ma référente pédagogique à l'Université de Montréal. Sa confiance et son accueil ont été essentiels dans mon travail durant ces quatre mois au département de santé environnementale et de santé au travail. Mais je n'oublie pas pour autant les autres personnes du service : son ancien directeur, Michel Gérin, qui a transmis ma demande de stage, les secrétaires, les professeurs, les agents de recherches, les doctorants et les autres stagiaires avec qui les échanges furent sincères, professionnels et agréables. Un département de recherche accueillant dans un pays où il fait bon vivre !

Merci aussi à Olivier Thomas qui a défendu mon projet devant la commission des stages de l'EHESP. La portée de ce mémoire est bien plus large que le seul intérêt pédagogique d'un mémoire IGS. J'ai vécu une expérience humaine qui m'a marquée pour longtemps.

Je remercie aussi Louise Normandin de l'Institut National de Santé Publique (INSPQ) avec qui j'ai pu avoir des échanges très précieux pour mon mémoire. Ses conseils m'ont permis d'avancer sur certains points qui m'échappaient par moment.

Enfin, je tiens également à remercier Julie Gagné du Ministère des Ressources Naturelles et de la Faune (MRNF), Anabel Carrier du Comité de Bassin de la rivière Chaudière (COBARIC), Charles Lamontagne et Sebastien Moore au Service de l'aménagement et des eaux souterraines du Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs (MDDEP), Donat Bilodeau, expert conseil en hydrogéologie, Michel Lamothe professeur et directeur des programmes avancés en sciences de la Terre à l'Université du Québec à Montréal (UQAM) et Didier Plaat, expert conseil en traitement de l'eau potable qui m'ont fourni des informations primordiales.

---

# Sommaire

---

<b>INTRODUCTION.....</b>	<b>1</b>
<b>1 ETAT DES CONNAISSANCES.....</b>	<b>3</b>
<b>1.1 Généralités sur l'arsenic dans l'environnement.....</b>	<b>3</b>
1.1.1 Propriétés de l'arsenic.....	3
1.1.2 Les différentes formes d'arsenic.....	3
1.1.3 Sources potentielles.....	3
1.1.4 Comportement de l'arsenic dans les eaux.....	6
1.1.5 Lien entre la concentration tellurique et la concentration hydrique.....	6
1.1.6 Effets sur la santé.....	7
<b>1.2 La région de Chaudière-Appalaches caractérisée par une exposition         chronique naturelle à l'arsenic hydrique.....</b>	<b>7</b>
1.2.1 Principales caractéristiques régionales.....	7
1.2.2 Une hydrogéologie marquée par une contamination naturelle à l'arsenic .	9
1.2.3 L'utilisation de puits privés pour l'alimentation en eau potable.....	9
1.2.4 Une contamination à l'arsenic des puits privés connue mais mal évaluée.....	10
<b>1.3 Eléments de réglementation.....</b>	<b>11</b>
1.3.1 Critères de l'OMS.....	11
1.3.2 Recommandations canadiennes.....	11
1.3.3 Normes et recommandations québécoises.....	11
1.3.4 Application des normes au Québec.....	12
1.3.5 La réglementation européenne du risque arsenic dans l'eau potable.....	12
1.3.6 L'application en droit français.....	12
1.3.7 Vers une évolution de la norme québécoise ?.....	13
<b>1.4 Résultats d'évaluations quantitatives des risques connus pour l'As         hydrique.....</b>	<b>13</b>
<b>1.5 La surveillance biologique de l'exposition à l'arsenic.....</b>	<b>14</b>
1.5.1 Les métabolites urinaires : des biomarqueurs de l'exposition récente.....	15
1.5.2 Les ongles et les cheveux : des biomarqueurs de l'exposition passée.....	15
1.5.3 Le 8-hydroxy-2'-déoxyguanosine : un biomarqueur d'effet.....	16
1.5.4 Les lymphocytes : des biomarqueurs d'effet.....	16
<b>2 OBJECTIF DE L'ETUDE.....</b>	<b>17</b>

<b>3</b>	<b>METHODOLOGIE.....</b>	<b>17</b>
3.1	Population cible pour cette pré-étude.....	17
3.2	Recrutement.....	18
3.3	Collecte de données.....	19
3.4	Analyses de laboratoire.....	20
3.4.1	Biomarqueurs choisis pour ce mémoire.....	20
3.5	Analyses statistiques.....	20
3.5.1	Test de sensibilité et spécificité pour les données du MRNF.....	21
3.5.2	Les analyses statistiques des données biologiques.....	21
3.5.3	Estimation de l'apport alimentaire.....	23
3.5.4	Estimation de l'apport hydrique.....	24
<b>4</b>	<b>RESULTATS.....</b>	<b>27</b>
4.1	Analyse descriptive des données.....	27
4.1.1	Taux de participation à l'étude.....	27
4.1.2	Concentrations dans l'eau consommée provenant des puits privés.....	27
4.2	Analyses comparatives.....	27
4.2.1	Caractéristiques sociodémographiques des personnes recrutées et différences des distributions des facteurs explicatifs potentiels selon le groupe de concentration.....	27
4.2.2	Corrélation entre biomarqueurs.....	28
4.2.3	L'eau de consommation comme facteur explicatif des niveaux de biomarqueurs.....	28
4.2.4	L'alimentation comme facteur explicatif des niveaux de biomarqueurs ?.....	30
4.2.5	Les autres facteurs explicatifs potentiels des niveaux de biomarqueurs.....	31
<b>5</b>	<b>DISCUSSION.....</b>	<b>33</b>
5.1	Les apports de l'étude.....	33
5.2	La population échantillon.....	33
5.3	Les biomarqueurs.....	34
5.3.1	Les gros ongles d'orteils comme référence.....	34
5.3.2	Les cheveux : des biomarqueurs délivrant une autre information.....	34
5.3.3	Le 8-OHdG : peu efficace dans cette étude.....	34
5.4	Des interprétations à nuancer.....	35
5.4.1	Taille de l'échantillon.....	35
5.4.2	Un questionnaire difficile à corrélérer aux niveaux de biomarqueurs.....	36

5.4.3	Un nombre élevé de tests pouvant conduire à des faux positifs.....	36
5.4.4	Sous-estimation de la spéciation de l'arsenic .....	36
<b>6</b>	<b>RECOMMANDATIONS ET PROPOSITIONS DE GESTION.....</b>	<b>37</b>
<b>6.1</b>	<b>Recommandations pour l'étude de plus grande envergure .....</b>	<b>37</b>
6.1.1	Les concentrations en arsenic dans les sols comme indice .....	37
6.1.2	Les biomarqueurs à utiliser .....	39
6.1.3	Des prélèvements d'eau toujours indispensables.....	39
6.1.4	Un questionnaire alimentaire à modifier.....	40
<b>6.2</b>	<b>Recommandations pour la prise en charge de la population à risque.....</b>	<b>40</b>
6.2.1	Les éléments existants au Québec.....	40
6.2.2	Le traitement résidentiel de l'eau .....	41
<b>6.3</b>	<b>Les personnes à risque de cette pré-étude.....</b>	<b>44</b>
<b>7</b>	<b>CONCLUSION.....</b>	<b>47</b>
	<b>BIBLIOGRAPHIE.....</b>	<b>49</b>
	<b>LISTE DES ANNEXES .....</b>	<b>58</b>

---

## Liste des sigles utilisés

---

8-OHdG : 8-hydroxy-2'-déoxyguanosine

ACGIH: American Conference of Industrial Hygienists

AMMA : Acide monométhylarsonique

ADMA : Acide diméthylarsinique

AFSSA : Agence Française de Sécurité Sanitaire des Aliments

As: Arsenic

ATSDR: Agency for Toxic Substances and Disease Registry

BRGM : Bureau de Recherches Géologiques et Minières

CAM : Concentration Maximale Acceptable

DMAA : Acide diméthylarsonique

EDCH : Eaux Destinées à la Consommation Humaine

FCEN : Fichier Canadien sur les éléments nutritifs

IARC: International Agency for Research on Cancer

INRA: Institut National de Recherche Agronomique

INSPQ : Institut National de la Santé Publique du Québec

InVS : Institut national de Veille Sanitaire

KW: Kruskal Wallis

LQE : Loi sur la Qualité de l'Environnement

MDDEP : Ministère du développement durable, de l'Environnement et des Parcs

MMAA : Acide monométhylarsonique

MRC : Municipalités régionales de comté

MRNF : Ministère des Ressources Naturelles et de la Faune

MW : Mann Whitney

OMS : Organisation Mondiale de la santé

OR : Odds ratio

Oxodg : 8-hydroxy-2'-déoxyguanosine

TMAO : Oxyde triméthylarsine :

US EPA : Environmental Protection Agency

VTR : Valeur Toxicologique de Référence

WHO : World Health Organization

## Introduction

Des millions de personnes à travers le monde sont exposées chroniquement à l'arsenic (As) dans l'eau de consommation [1], [2], [3]. La contamination de la population observée actuellement au Bangladesh en est l'exemple type [2], [4]. Dans cette région du monde, elle s'explique par une concentration très élevée d'arsenic dans les sols. Environ la moitié des eaux de consommation des districts de cette région est contaminée. Les concentrations relevées vont de 50 à 800 µg/L en moyenne [5] alors que l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) recommande une concentration en arsenic inférieure à 10µg/L [6]. Cela en fait l'une des plus grosses catastrophes de santé publique d'origine naturelle à l'échelle mondiale.

La communauté scientifique a prouvé que le risque cancérigène de l'As est bien établi à fortes concentrations, mais quand il s'agit de concentrations plus faibles, il est nécessaire de passer par des estimations basées sur une extrapolation mathématique linéaire à partir de données d'études écologiques réalisées à Taiwan sur des populations fortement exposées par l'eau de puits [7]. De plus, si la cancérigénicité de l'arsenic est clairement démontrée à hautes doses grâce à des études épidémiologiques, les mécanismes de toxicité de cet élément sont encore largement méconnus [8].

Au Québec, étant donné la nature géologique des sols, l'eau potable de certaines régions telles que la Chaudière-Appalaches, l'Estrie, la Montérégie, le Bas-Saint-Laurent et l'Abitibi-Témiscamingue est propice à des concentrations élevées en arsenic dans l'eau [9]. La distribution des concentrations d'As dans l'eau de consommation provenant de puits privés au Québec est toutefois peu documentée [10]. Ainsi, les rares données disponibles pour la région Chaudière-Appalaches proviennent du Ministère des Ressources Naturelles et de la Faune (MRNF) et datent de 1983. Les concentrations d'As mesurées dans l'eau des puits privés de certaines régions y dépassent parfois la norme québécoise du règlement sur la qualité de l'eau potable actuellement de 25 µg/L. À noter qu'une nouvelle concentration maximale acceptable de 10 µg/L est recommandée depuis mai 2006 par Santé Canada [11]. Dans la région de la Chaudière-Appalaches, l'étude de 1983 démontrait que plus d'une centaine de puits de la région présentaient des concentrations supérieures à 10µg/L. Le MRNF n'avait cependant pas procédé à un échantillonnage de l'ensemble des puits de la région.

Par ailleurs, très peu de données existent sur les niveaux d'exposition biologique à l'As de la population québécoise. Quant aux risques associés à une exposition chronique à de faibles concentrations, ils ont également été peu étudiés. La méthode classique utilisée

pour évaluer le risque cancérigène ne permet pas d'estimer précisément le risque réel en cas d'exposition à faibles doses, la valeur toxicologique de référence étant calculée sur la base du modèle mathématique établi à hautes doses.

L'objectif principal de ce mémoire est de déterminer à partir de mesures de biomarqueurs si l'alimentation en eau potable par les puits privés contribue significativement à l'exposition globale à l'arsenic dans la région Chaudière-Appalaches. Pour cela, une pré-étude a été lancée par l'Université de Montréal et l'Institut National de Santé Publique du Québec (INSPQ) en 2007. Les résultats obtenus serviront à déterminer si une étude de plus grande envergure doit et peut être envisagée. Ils permettront aussi de définir les moyens de gestion à mettre en place pour protéger les personnes les plus exposées.

Ce mémoire propose dans un premier temps de décrire le contexte de la pré-étude. La première partie présentera les caractéristiques de l'arsenic dans l'environnement, celles de la région Chaudière Appalaches, la réglementation sur l'arsenic et les méthodes d'évaluation des risques existantes. Ensuite, il abordera la méthodologie employée pour quantifier l'exposition de la population recrutée lors de cette pré-étude. Enfin, les résultats seront interprétés et donneront place à des propositions de mesures de gestion.

# 1 ETAT DES CONNAISSANCES

## 1.1 Généralités sur l'arsenic dans l'environnement

### 1.1.1 Propriétés de l'arsenic

Cet élément chimique est un métalloïde qui existe sous différentes formes de composés inorganiques et organiques [9], [12], [13], [14]. Son électronégativité étant trop faible pour en faire un métal au sens strict ; il appartient au groupe des métalloïdes. L'arsenic est catalogué dans le groupe Va (annexe 3) de la classification périodique, comme l'azote (N), le phosphore (P), l'antimoine (Sb) et le Bismuth (Bi).

Il existe plus de 200 minéraux contenant de l'arsenic tels que des arsénates, des sulfures et sulfosels, des arsénites ou encore des oxydes [15]. La chimie de cet élément est basée sur les propriétés de ses oxydes et leur capacité à former des sels avec de nombreux cations. Comme l'arsenic est chalcophile, il va s'associer de préférence au soufre plutôt qu'aux silicates ou aux oxydes pour former des minerais tels que le Fe S As (arsénopyrite ou mispickel), les sulfures  $As_4 S_4$  (réalgar) et  $As_4 S_6$  (orpiment). Il peut également établir des liaisons covalentes stables avec l'hydrogène et le carbone. Ceci induit une grande variété de composés organiques de l'arsenic d'origine naturelle ou industrielle [15].

### 1.1.2 Les différentes formes d'arsenic

Il existe 2 formes principales d'arsenic :

- organique,
- inorganique.

Sous la forme inorganique, l'arsenic peut présenter plusieurs états d'oxydation : -III, 0, III, V [9]. Il s'agit de la forme la plus toxique [9], [16], [17]. Sous la forme organique, l'arsenic se présente principalement en deux composés arséniés méthylés que sont l'acide monométhylarsonique (AMMA) et l'acide diméthylarsonique (ADMA). Les formes organiques, moins toxiques, correspondent à l'association entre une molécule d'arsenic et des chaînes carbonées [15]. C'est sous cette forme qu'elles apparaissent dans la chaîne alimentaire [18].

### 1.1.3 Sources potentielles

#### Origine naturelle et transfert sol / eau

Le fond géochimique est : « *la teneur naturelle ou originelle en éléments-traces dans un sol en absence de tout processus d'apport ou d'exportation vers ou hors d'un site considéré* » [19]. Ainsi, le fond géochimique se définit par une valeur moyenne et une

variabilité dépendant de l'échelle spatiale considérée (région donnée, horizon de référence,...).

En surface de l'écorce terrestre, la concentration moyenne en arsenic est évaluée à 2mg/kg [15], [19]. Localement, la concentration peut atteindre 100 à 200 mg/kg dans des dépôts calcaires ou phosphatés ou dans des schistes [20].

Plusieurs mécanismes peuvent redistribuer l'arsenic dans les différents compartiments aquatiques et atmosphériques [9] :

- l'érosion des roches,
- le lessivage des sols,
- les réactions d'oxydo-réduction,
- l'adsorption,
- les précipitations.

Présent dans les roches éruptives et métamorphiques, l'arsenic est transféré dans les terrains sédimentaires par ces processus d'altération et peut être concentré dans les roches argileuses [16], [21]. Il serait piégé dans les alluvions par adsorption sur les oxydes et hydroxydes de fer et les micas mais aussi sous forme de carbonates [16], [22]. De plus, les émissions d'arsenic provenant de phénomènes naturels tels que les feux de forêt et la volatilisation via des micro-organismes peuvent, par l'intermédiaire des précipitations, être redistribuées sur la surface terrestre [22].

Les micro-organismes telluriques sont aussi responsables de la méthylation de l'arsenic retrouvé dans les sols. Dans les eaux, l'origine des composés arséniés méthylés est plus difficile à cibler. Les composés arséniés organiques (acide monométhylarsonique : MMAA, acide diméthylarsinique : DMAA et oxyde triméthylarsine : TMAO) sont présents dans les eaux naturelles (douces ou salines) et dans les sédiments. Ils peuvent provenir de la méthylation de l'arsenic minéral par les algues ou par la dégradation microbienne des composés organiques complexés [15], [20].

Tous ces éléments ainsi que la spéciation de l'arsenic rendent alors difficile sa modélisation [19].

### Origine anthropique

L'activité humaine est une source d'arsenic. De nombreuses applications industrielles de l'arsenic et de ses composés sont répertoriées [15], [20]:

- fonderie,
- combustion du charbon,
- extraction et exploitation de minerais,
- traitement du bois,
- batteries électriques,

- décolorant dans l'industrie du verre,
- pigments de peinture en association avec du cuivre,
- fabrication de plomb de chasse,
- alliage avec le cuivre, le plomb, l'or,
- pesticides (arséniate de plomb).

La région de Chaudière-Appalaches possède un potentiel minéral en diverses substances métalliques, en minéraux industriels et en pierre. Elle exploite l'or, le cuivre, l'amiante et le talc au Québec [23]. Cette activité minière peut représenter une source importante d'arsenic dans l'environnement par le lessivage des haldes (déblais stériles d'exploitation minière) et l'infiltration des eaux [22].

### Alimentation

Les aliments sont considérés comme la source principale d'exposition à l'arsenic, sauf pour les populations qui résident près d'une source ponctuelle (eau contaminée à l'arsenic, industries polluantes, etc.) [18]. Les poissons, la viande, les coquillages et les algues marines accumulent le métalloïde ce qui en fait une source d'arsenic importante [9], [18].

Selon un document de l'INRA, les poissons, les mollusques, les crustacés et les fruits sont les vecteurs contribuant le plus à l'exposition à l'arsenic à des hauteurs respectives de 49-50%, 8-13%, 15-17% [24]. De plus, une étude réalisée au Québec sur la consommation de mollusques contenant de l'arsenic a permis d'établir que celui-ci représentait un risque potentiel pour la santé des consommateurs. Cependant, il faut préciser que cette étude portait sur une population vivant sur les côtes du Saint-Laurent dont la cueillette de mollusques est *a priori* plus importante par rapport au reste de la population québécoise. Ainsi, selon le scénario le moins critique établi par les auteurs, le niveau de risque calculé pour une personne consommant 410 g de mollusques par repas à raison de 15 repas par an (c'est-à-dire 6.2 kg/an ou 17 g/j) est de  $3,75 \cdot 10^{-5}$  [25]. Ce niveau de risque est supérieur à  $1 \cdot 10^{-5}$ , le niveau acceptable fixé par l'OMS. Dans ce cas, l'apport hydrique en arsenic constituerait une source secondaire d'exposition.

Une étude en Inde a fait un constat quasiment similaire en indiquant qu'aux endroits où les concentrations en arsenic dans l'eau sont faibles, l'apport alimentaire serait la source d'arsenic majoritaire [26].

Les légumes sont considérés comme une autre source possible [16]. Une étude a démontré que le riz irrigué avec de l'eau contaminée par de l'arsenic pouvait contribuer à plus de 30% de l'apport d'arsenic en Inde ; ce qui suggère que l'autoconsommation de légumes peut constituer une source très importante [26]. Mais l'arsenic alimentaire est sous forme organique et rapidement excrété [18], sa toxicité est donc moindre.

### 1.1.4 Comportement de l'arsenic dans les eaux

#### Des formes arséniées différentes selon les conditions d'oxydo-réduction

Dans les eaux, les formes trivalentes et pentavalentes sont les plus communes. Les conditions rédox gouvernent la spéciation de l'arsenic [21]. En fonction du type d'eau, on retrouve des composés minéraux différents qui sont combinés avec de l'oxygène. Par exemple, dans une eau de surface, les formes inorganiques arsénates (V) sont privilégiées alors que dans les eaux souterraines, les formes inorganiques arsénites (III) sont majoritaires [27]. Mais la présence d'arsénites ou d'arsénates ne semble pas être uniquement dictée par les données thermodynamiques et les constantes cinétiques des réactions d'oxydo-réduction. Ainsi, on peut retrouver des arsénites (As (III)) dans de l'eau oxydante [22].

Les principales espèces chimiques de l'arsenic présentes dans les eaux sont des oxyanions ou des composés neutres inorganiques.

A pH 4-8, les espèces aqueuses les plus stables sont :

- Pour As (III) : - espèce inorganique neutre  $\text{H}_3\text{AsO}_3$
- Pour As(V) : - espèces inorganiques  $\text{H}_2\text{AsO}_4^{4-}$  et  $\text{HAsO}_4^{2-}$   
- espèces organiques méthylées ( $\text{CH}_3$ ),  
 $\text{AsO}(\text{OH})$  et  $(\text{CH}_3)_2\text{AsO}^{2-}$

La solubilité des composés de l'arsenic est très variable. Les dérivés pentavalents sont dans l'ensemble plus solubles que les dérivés trivalents [22]. Cette variabilité chimique cause des problèmes de quantification en laboratoire car les méthodes d'extraction sont plus ou moins efficaces en fonction des formes d'arsenic en jeu. La concentration finale en arsenic peut être sous-estimée par rapport à la réalité [18].

### 1.1.5 Lien entre la concentration tellurique et la concentration hydrique

La présence des espèces arséniées dans les eaux résulte de la mobilisation de l'arsenic des sols. Le drainage des sols par les eaux douces ou celles des sédiments conditionnent la concentration en arsenic [22]. Les facteurs physico-chimiques tels que : le pH, le potentiel d'oxydo-réduction, le taux de phosphate, le fer, le sulfure, la température, affectent la capacité d'adsorption de l'arsenic sur les sédiments [21]. Les concentrations d'arsenic dans l'eau ne sont pas toujours uniformes dans l'aquifère. Elles peuvent être élevées localement, probablement influencées par la situation hydrogéologique [22]. L'activité microbiologique est aussi responsable de la dissolution de certains hydroxydes. L'arsenic des sédiments est ainsi relargué dans l'eau. Les microorganismes sont alors responsables des réactions d'oxydoréduction de l'arsenic inorganique.

Il semble exister une relation linéaire entre la concentration d'arsenic retrouvée dans les sols et la concentration d'arsenic retrouvé dans l'eau d'un même lieu géographique [28], [29]. Des études menées en Abitibi-Témiscamingue au Québec ont même permis de

conclure à un lien associatif entre la présence d'arsenic dans l'eau des puits et la présence de roche sédimentaire archéenne à moins de deux kilomètres du puits. De plus, cette association était aussi particulièrement forte lorsque les puits se trouvaient à proximité d'une zone de faille géologique fortement minéralisée [30].

Selon le Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM), ce sont principalement dans les aquifères de socle et les aquifères sédimentaires, où existent des filons sulfurés, que les eaux souterraines sont susceptibles de présenter des concentrations naturelles élevées en arsenic [31]. Grâce aux données géologiques, il serait possible d'établir une cartographie des régions favorables aux concentrations anormales en arsenic [28]. Au Cambodge, il a été démontré que les niveaux élevés en arsenic étaient associés aux alluvions de l'Holocène [27].

En France, le BRGM est allé au-delà de ce principe. Il a établi une règle qui permet de prévoir globalement la concentration en arsenic dans les eaux à l'aide de la concentration obtenue dans les sols [29] :

- Si [As] sol < 60 µg/g, alors [As] eau < 10 µg/L
- Si [As] sol < 300 µg/g, alors [As] eau < 50 µg/L

#### **1.1.6 Effets sur la santé**

L'arsenic est cancérigène pour l'homme et classé 1 selon l'IARC et A selon US EPA. Les effets de cet élément chimique sont très connus. L'annexe 4 reprend les informations détaillées des effets sur la santé sous forme d'une fiche toxicologique qui a été réalisée lors de ce mémoire. Pour résumer, les effets aigus de l'ingestion d'arsenic sont essentiellement gastro-intestinaux [5]. Les effets chroniques liés à l'arsenic sont induits par les dérivés inorganiques et sont associés à des manifestations cutanées, à du diabète, des maladies cardiovasculaires et des cancers de différents organes [2], [3], [7]. Des effets hématologiques, des effets endocriniens, des atteintes du système nerveux et une diminution des capacités intellectuelles chez les enfants sont également répertoriés lors d'une exposition chronique.

## **1.2 La région de Chaudière-Appalaches caractérisée par une exposition chronique naturelle à l'arsenic hydrique**

### **1.2.1 Principales caractéristiques régionales**

#### Données géographiques :

La région administrative de la Chaudière-Appalaches (région 12) s'étend sur 15 216 km<sup>2</sup> et regroupe 5,3% de la population du Québec [10]. Elle est délimitée (annexe 1) au nord-est par la région du Bas-Saint-Laurent, au nord-ouest par le fleuve Saint-Laurent au sud-

ouest par les régions du Centre-du-Québec et de l'Estrie et au sud-est par la frontière internationale avec les États-Unis d'Amérique (État du Maine).

La région se subdivise principalement en trois grandes unités géographiques que sont le littoral, la vallée de la rivière Chaudière et l'ensemble des plateaux appalachiens. Cette dernière unité recouvre la plus grande partie du territoire régional. L'axe nord-sud est aussi caractérisé par deux importantes vallées : la Chaudière et l'Etchemin.

Seule une petite zone au coin nord-ouest de la région Chaudière-Appalaches appartient à la Plate-forme du Saint-Laurent (annexe 2). Celle-ci se compose essentiellement de grès, de calcaire, de dolomie et de shale (roches sédimentaires). Le tout repose sur un socle métamorphique grenvillien. La Province des Appalaches est essentiellement formée de roches sédimentaires et volcaniques déposées sur le socle grenvillien [23].

### Données socio-économiques

La population régionale s'élève à plus de 390 000 habitants et a connu une augmentation de 25 % de 1971 à 2001. Cette croissance est due au fort accroissement du pôle régional de Lévis [11].

Voici la répartition de la population régionale par type de municipalités régionales de comté (MRC) :

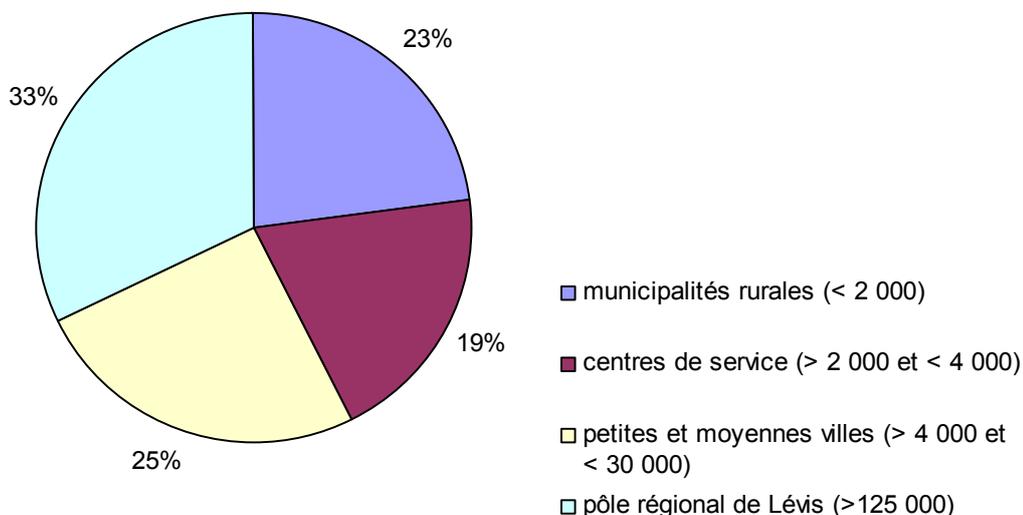


Figure 1 : la répartition de la population régionale par types de municipalités régionales de comté (MRC)

A Chaudière-Appalaches, la population rurale est proportionnellement plus importante que dans le reste du Québec. En 2001, elle compte pour 42 % de la population totale (contre 20 % au Québec) [32]. La densité de population sur l'ensemble de la région est donc relativement faible.

## **1.2.2 Une hydrogéologie marquée par une contamination naturelle à l'arsenic**

### Eaux de surface

Deux zones hydrographiques constituent cette région [33]:

- La zone nord où les eaux s'écoulent vers le fleuve Saint-Laurent
- La zone sud où les eaux s'écoulent vers la rivière Saint-Jean

La ligne de partage des eaux se situe au sommet des Appalaches. Il est intéressant de constater que la géologie et la géomorphologie du territoire ne permettent pas la constitution d'un système hydrographique caractérisé par la présence de lacs nombreux et étendus à l'inverse du reste du Québec.

### Eaux souterraines

La ressource en eau souterraine est omniprésente dans la région. Les aquifères (sables et graviers divers) se retrouvent essentiellement à 150m d'altitude entre le fleuve Saint-Laurent et les crêtes montagneuses des Appalaches [33]. La couche sédimentaire des Basses-Terres du Saint-Laurent et celles des Appalaches possèdent également un certain potentiel aquifère. Un très grand nombre de municipalités et de familles s'alimentent à partir de puits aménagés dans ces roches même si le débit de ces puits excède très rarement 10 m<sup>3</sup>/h [33]. Cela est dû à la faible densité de population ainsi qu'à la présence ubiquiste de l'eau en Chaudière-Appalaches.

Les dépôts de till glaciaire, les silts et d'argiles d'origine marine représentent les complexes aquitards (dépôts sédimentaires imperméables) de la région. Dans certaines zones, ces dépôts peuvent toutefois permettre l'alimentation en eau d'une famille [33].

### Caractéristiques moyennes de l'eau souterraine

La majorité de l'eau est de type bicarbonaté calcique. Le pH est en moyenne légèrement alcalin. Dans plusieurs secteurs de la région, le fer dépasse régulièrement la concentration de 0,3 ppm et la dureté totale dépasse les 180 ppm [33]. L'arsenic, le baryum et le fluor sont également localement signalés à des concentrations qui dépassent les normes.

## **1.2.3 L'utilisation de puits privés pour l'alimentation en eau potable**

### Portrait de la distribution en eau de la Chaudière-Appalaches

Avec l'arrivée du nouveau règlement sur la qualité de l'eau potable de 2001, plusieurs nouveaux réseaux d'aqueduc ont été identifiés dans la région. La Chaudière-Appalaches compte 382 réseaux d'aqueduc desservant environ 300 650 personnes. Les réseaux sont répartis comme suit [10], [33]:

- 132 réseaux municipaux,

- 35 réseaux institutionnels (surtout des écoles),
- 51 réseaux privés (surtout des petits réseaux),
- 127 réseaux saisonniers (surtout touristiques : campings, camps d'été, clubs de golf, clubs de chasse et pêche, etc.),
- 37 autres réseaux.

La direction de santé publique et d'évaluation de la Chaudière-Appalaches (DSPE) estime qu'environ 25 000 puits privés desservent 93 000 habitants non raccordés à un réseau d'aqueduc [10].

Selon l'INSPQ, un peu plus de 100 000 personnes (26 % de la population régionale) se procurent leur eau domestique à partir de puits individuels. Et environ 185 000 (64 %) sont desservies par un réseau d'eau potable prélevant des eaux de surface [9].

La proportion de la population de Chaudière-Appalaches, qui est approvisionnée en eau potable par des puits individuels, se situe donc autour de 25 % alors que la moyenne québécoise est de 10 %. Elle varie fortement d'une municipalité à l'autre [10].

#### **1.2.4 Une contamination à l'arsenic des puits privés connue mais mal évaluée**

Les concentrations dans les puits privés sont habituellement faibles mais des teneurs de plus de 100 µg/L peuvent être mesurées dans certains puits. Ceux de certaines résidences peuvent contenir de l'arsenic en fortes concentrations si la nappe phréatique est en contact avec des gisements qui en contiennent. Ceci est surtout vrai pour les puits artésiens [18].

Dans certains puits privés des régions québécoises de Chaudière-Appalaches, du Centre-du-Québec, de l'Abitibi-Témiscamingue et de l'Estrie, des concentrations élevées ont été relevées [9]. De plus, dans un même secteur, les teneurs peuvent varier d'un puits à l'autre [9].

Dans la région de Chaudière-Appalaches, une étude réalisée en 1983 par le MRNF montrait que :

- 35 puits présentaient des concentrations variant entre 25 et 50 µg/l,
- 120 puits présentaient des concentrations entre 10 et 25 µg/l,
- plusieurs puits avaient des concentrations dépassant les 50 µg/l dont quelques-uns dépassaient les 100 µg/l.

Cependant, l'échantillonnage ne portait pas sur l'ensemble des puits de la région.

Plus de 11 200 puits ont fait l'objet d'un rapport de forage et sont enregistrés dans le système d'informations hydrogéologiques (S.I.H.) du ministère de l'Environnement pour le territoire. À ce nombre, il faut ajouter quelques milliers de puits de surface ainsi que tous les puits qui n'ont pas fait l'objet d'un rapport de forage [33].

Parallèlement, depuis la fin des années 1970, on relève dans le réseau d'aqueduc de Saint-Gédéon des concentrations moyennes d'arsenic d'environ 20 µg/L. Cette présence d'arsenic dans l'eau potable de Saint-Gédéon est d'origine naturelle. Elle s'explique par la simple dissolution de minéraux contenant de l'arsenic dans les roches souterraines [10].

Finalement, malgré l'existence de quelques études, le profil de la qualité de l'eau des puits individuels et des réseaux desservant moins de 20 personnes est plutôt mal connu. Cette méconnaissance de l'alimentation en eau d'un quart de la population de la Chaudière-Appalaches constitue donc un problème de santé publique.

### **1.3 Éléments de réglementation**

La réglementation encadrant l'arsenic n'est pas appliquée de la même manière à travers le monde. La comparaison entre la France et le Québec montre que même si les pays tendent vers le même but, les critères de l'OMS, ils ne sont pas tous rendus au même stade.

#### **1.3.1 Critères de l'OMS**

L'OMS a proposé une valeur guide provisoire de 10µg/L d'arsenic en 2003 [6]. Cette valeur se base sur 4 critères :

- l'arsenic inorganique est documenté comme étant cancérigène pour l'homme,
- la détection de l'arsenic dans les concentrations comprises entre 1 et 10µg/L est difficile,
- l'évaluation du risque associée à cette teneur en arsenic contient déjà des incertitudes scientifiques,
- des difficultés existent pour réduire l'arsenic dans l'eau potable à des concentrations inférieures à 10µg/L.

Au Bangladesh, où la situation est très préoccupante, la norme en vigueur est de 50µg/L et donc très au dessus de la valeur guide de l'OMS [3].

#### **1.3.2 Recommandations canadiennes**

Santé Canada préconise une concentration maximale acceptable (CAM) de 10µg/L. Cette recommandation est basée sur la faisabilité des techniques de traitement aux échelles municipales et résidentielles [11].

#### **1.3.3 Normes et recommandations québécoises**

Au Québec, le Ministère du Développement Durable, de l'Environnement et des Parcs (MDDEP) collabore avec Santé Canada pour déterminer les concentrations maximales acceptables de différents paramètres chimiques, physiques, microbiologiques ou

radiologiques [34]. Ces normes sont répertoriées dans le règlement sur la qualité de l'eau potable et sont consultables à l'adresse suivante :

[http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/water-eau/drink-potab/guide/index\\_f.html](http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/water-eau/drink-potab/guide/index_f.html).

La concentration maximale d'arsenic permise est fixée à 25 µg/L (annexe 1 du règlement sur la qualité de l'eau potable) [9].

#### **1.3.4 Application des normes au Québec**

La Loi sur la qualité de l'environnement (L.Q.E.) fournit le cadre légal nécessaire pour protéger et améliorer la qualité du milieu et en prévenir sa dégradation. Elle accorde au ministre du Développement Durable, de l'Environnement et des Parcs des pouvoirs d'autorisation et de surveillance [35].

La protection des nappes d'eau souterraine est confiée aux municipalités locales et régionales de comté. Ces dernières assurent l'application des dispositions du règlement sur le captage des eaux souterraines datant du 15 juin 2002. Celui-ci traite de l'aménagement des ouvrages individuels de captage d'eau souterraine. A cet effet, les municipalités doivent statuer sur les demandes de permis soumises et délivrer le permis requis en vertu de l'article 3 du règlement [35].

Selon lui, le propriétaire d'un ouvrage de captage doit, entre le deuxième et le trentième jour suivant la mise en marche de l'équipement de pompage, faire prélever des échantillons d'eau souterraine et les faire analyser par un laboratoire accrédité par le MDDEP.

L'analyse doit porter sur certains paramètres bactériologiques, physiques et chimiques dont l'arsenic fait partie. Pour les paramètres autres que bactériologiques, le laboratoire dispose de 60 jours pour remettre ces analyses au propriétaire et au MDDEP [35].

#### **1.3.5 La réglementation européenne du risque arsenic dans l'eau potable**

La Directive du Conseil de l'Union européenne n° 98/83/CE du 3 novembre 1998 relative à la qualité des eaux destinées à la consommation humaine reprend la valeur 10µg/L proposée par l'OMS. Elle a été retranscrite en droit français par le décret n°2001-1220 du 20 décembre 2001 relatif aux eaux destinées à la consommation humaine, à l'exclusion des eaux minérales naturelles [22].

#### **1.3.6 L'application en droit français**

La France applique le décret n°2001-1220 depuis le 25 décembre 2003. La limite de qualité est passée de 25 µg/L à 10 µg/L [36] pour l'arsenic dans les Eaux Destinées à la Consommation Humaine (EDCH).

La mise en place de cette norme est basée sur une évaluation du risque de cancer cutané réalisée à partir de l'étude taïwanaise de Tseng *et al.* de 1968. Elle a aussi servi à

élaborer les valeurs toxicologiques de référence (VTR) à seuil et sans seuil de l'US EPA [12].

Cette décision a entraîné une évaluation des risques sanitaires liés aux situations de dépassement des limites et références de qualité des EDCH réalisée par l'agence française de sécurité sanitaire des aliments (AFSSA) en 2004. Suite à cet abaissement de la limite de qualité, de nouvelles questions de gestion sont apparues. En cas de dépassement de la nouvelle limite de qualité, des dérogations de distribution d'eau sont possibles [16].

Le décret n° 89-3 du 3 janvier 1989 définit le programme réglementaire du contrôle sanitaire. Ce décret prévoit la réalisation d'analyses du paramètre arsenic au point de puisage avant traitement pour les eaux superficielles (2 à 12 fois par an) et après traitement pour les eaux souterraines et superficielles (de 1 fois par an à 1 fois tous les 5 ans).

Pour les ressources et les installations de production dont le débit journalier est inférieur à 100 m<sup>3</sup>/jour, aucune fréquence annuelle d'analyse n'est fixée [16].

Toujours selon le décret n°2001-1220, la teneur limite en arsenic dans l'eau brute avant traitement à la consommation humaine est fixée à 100 µg/L [37].

### **1.3.7 Vers une évolution de la norme québécoise ?**

On se rend compte qu'au Québec la décision de baisser la limite de qualité n'a pas encore été prise. Mais elle devrait très prochainement s'aligner sur celle recommandée par Santé Canada [34]. L'INSPQ recommande même de réduire la concentration en arsenic dans les eaux potables au niveau le plus bas possible, soit à des niveaux bien inférieurs à 10 µg/L. Cette révision future de la limite de qualité a donc eu des répercussions sur la méthodologie employée lors de ce mémoire.

## **1.4 Résultats d'évaluations quantitatives des risques connus pour l'As hydrique**

La démarche utilisée en évaluation des risques sanitaires comprend 4 étapes:

- l'identification des dangers,
- la détermination des relations doses-réponses,
- l'évaluation des expositions,
- la caractérisation des risques.

Nous l'avons vu, une évaluation des risques a déjà été réalisée en France par l'AFSSA en cas de dépassement de la limite de qualité fixée à 10 µg/L. Cette étude montre qu'à une concentration égale à 10µg/L pour un adulte exposé pendant une vie entière (2L, 70 kg, 70 ans), le niveau de risque est de  $6,4 \cdot 10^{-4}$  [16], [38]. Celui-ci est supérieur au risque

acceptable de  $1.10^{-5}$  adopté par l'OMS. Cependant, cette valeur est tolérée par la Commission Européenne [38].

Ces résultats permettent aussi de se rendre compte que même à des concentrations 10 fois inférieures ( $1\mu\text{g/L}$ ), le niveau de risque est toujours supérieur à la limite acceptable. Il est en effet de  $6,4.10^{-5}$ .

Deux autres études françaises ont également traité de l'exposition chronique à l'arsenic hydrique. La première date de 2002 et a été réalisée par l'Institut national de veille sanitaire (InVS) en Auvergne et portait sur l'exposition chronique à l'arsenic hydrique et les risques pour la santé. La deuxième a été réalisée par la Direction régionale des affaires sanitaires et sociales de Provence Alpes Côtes d'Azur (DRASS PACA) en 2003 et portait sur la présence d'arsenic dans l'eau de distribution de la commune de Touet-de-l'Escarène [39].

Pour ces 2 études, une évaluation des risques portant sur les effets cancérogènes et non cancérogènes a été réalisée. Les niveaux d'arsenic dans les eaux étaient supérieurs à  $10\mu\text{g/L}$ . Quelque soit le scénario d'exposition considéré, elles concluent toutes les deux à un excès de risque supérieur à  $1.10^{-5}$ .

Pour ce mémoire, il n'a pas semblé utile de refaire une évaluation des risques. Cela n'aurait pas eu d'intérêt pour la prise de décision. Cependant, les différentes étapes de cette démarche donnent des informations relatives aux effets sanitaires, à la toxicologie, à la toxicocinétique et à la toxicodynamie. Celles-ci sont importantes pour interpréter et comprendre certains résultats statistiques observés dans ce mémoire. Ces données sont accessibles dans la fiche toxicologique de l'arsenic et complète les généralités sur l'arsenic dans l'environnement (annexe 4).

## **1.5 La surveillance biologique de l'exposition à l'arsenic**

Pour évaluer l'exposition à l'arsenic, on a souvent recours à la mesure de biomarqueurs. Pour l'évaluation des risques, leur emploi comporte certains avantages par rapport à l'utilisation des concentrations externes.

En effet, la surveillance biologique peut :

- intégrer toutes les voies d'exposition,
- permettre de s'affranchir du temps d'exposition,
- appuyer des contrôles d'exposition dans l'environnement,
- déceler une exposition autre qu'environnementale.

A cause de la variabilité des analyses biologiques sur le vivant, l'interprétation des résultats est un point délicat de cette méthode. En effet, la cinétique d'absorption d'un contaminant est fortement soumise à la variabilité individuelle.

L'avantage de la mesure de la dose interne est de permettre un diagnostic individuel. Celle-ci paraît plus proche de la réalité d'exposition et d'effet pour les individus.

Enfin, à des doses très faibles, il est probable qu'une évaluation basée uniquement sur une valeur externe fasse passer au second plan d'autres sources d'exposition telle que l'alimentation. Le sang, l'urine, les cheveux et les ongles sont des biomarqueurs utilisés comme indices biologiques de l'exposition à l'arsenic [17], [40], [41].

#### **1.5.1 Les métabolites urinaires : des biomarqueurs de l'exposition récente**

Les métabolites urinaires sont souvent utilisés comme biomarqueurs d'exposition à l'arsenic [42] [43]. Ce sont des indicateurs de l'exposition récente à l'arsenic inorganique contenu dans l'eau de consommation. On observe ainsi une augmentation des espèces arséniées (organiques et inorganiques) dans les urines en fonction de la concentration en arsenic dans les eaux de consommation [43], [44].

L'ingestion d'aliments tels que les algues et les mollusques peut fortement augmenter de façon transitoire la teneur en métabolites. Cela fausse l'interprétation des résultats pour une exposition chronique à l'arsenic [9]. Les teneurs en arsenic retrouvées normalement dans les urines sont très variables en fonction des sources bibliographiques. Selon l'ATSDR, le niveau moyen d'arsenic total retrouvé dans les urines est inférieur à 50µg/L [42]. Une autre étude indique que ce niveau peut varier de 5 à 50µg/L [17]. D'autre part, la conférence américaine des hygiénistes industriels gouvernementaux propose un indice biologique d'exposition de 35µg/L d'As inorganique et de métabolites méthylés dans les urines pour une exposition au travail [45]. Enfin, selon le National Research Council, cette valeur est de 10µg/L [9].

#### **1.5.2 Les ongles et les cheveux : des biomarqueurs de l'exposition passée**

La concentration totale d'As dans les ongles et les cheveux est utilisée comme mesure intégratrice de l'exposition passée [42]. Les ongles sont considérés comme une meilleure matrice d'exposition [46] à l'As puisqu'ils sont moins sujets à la contamination externe, en particulier les ongles d'orteils [41]. Des corrélations ont été observées entre ces biomarqueurs (As dans les cheveux, les ongles et l'urine) et les concentrations d'As dans l'eau potable. Une étude de reconnaissance au Vietnam (dans le delta du Mekong) a permis de déterminer que la population de 2 villages était exposée chroniquement à l'arsenic hydrique. Cette étude s'est appuyée sur la recherche en arsenic dans les cheveux [27].

Etant donné le taux de croissance normal d'un ongle d'orteil, les bouts d'ongles coupés lors d'un prélèvement correspondraient à une période d'exposition d'une période de 12 à 18 mois [41].

Le niveau d'arsenic moyen retrouvé dans les cheveux est inférieur à 1µg/g [9]. Dans les ongles, ce niveau varie de <1.5µg/g à 7.7µg/g [17]. Il est admis que les ongles et les cheveux sont des biomarqueurs peu invasifs pour les personnes échantillonnées. On pourrait même aller plus loin en admettant que les ongles ne sont pratiquement pas invasifs.

### **1.5.3 Le 8-hydroxy-2'-déoxyguanosine : un biomarqueur d'effet**

A des concentrations très faibles d'arsenic, le 8-hydroxy-2'-déoxyguanosine (8-OHdG) contenu dans l'urine est quant à lui reconnu comme étant un biomarqueur d'effet [8], [47], [48], [49]. Il permet de mesurer les dommages oxydatifs liés à la cancérogénicité de l'arsenic grâce à la quantification de la concentration de ce sous-produit métabolique du stress oxydatif [47], [50]. C'est à partir d'une étude de cohorte de 97 femmes réalisée en 2003 au Bangladesh, que cette association entre l'exposition à l'arsenic et le stress oxydatif a été investiguée [8].

Une étude récente indique que le 8-OHdG, bien qu'étant un biomarqueur stable, n'est pas suffisamment spécifique car il existe une grande variabilité intra spécifique. D'après les auteurs de cette étude, le moyen de réduire cette variabilité, serait de réaliser 3 prélèvements sur 3 jours consécutifs pour estimer plus précisément le niveau individuel réel. De plus, cette étude tend à démontrer que la variabilité génétique des personnes prélevées peut aussi avoir une incidence sur les niveaux de biomarqueurs mesurés. Ainsi, la variabilité génétique intra spécifique expliquerait des différences de concentrations de biomarqueurs d'effet retrouvés faussant ainsi certaines interprétations [8].

### **1.5.4 Les lymphocytes : des biomarqueurs d'effet**

Les lymphocytes contenus dans le sang sont considérés comme étant les meilleurs biomarqueurs d'effet cancérogène à l'état précancéreux. La fréquence des aberrations chromosomiques observées est utilisée en évaluation des risques lors du test des micronoyaux sur lymphocytes. Une étude de cohorte scandinave a démontré qu'il y a une association entre l'augmentation d'aberrations chromosomiques et le niveau de risque individuel pour les personnes exposées à des polluants environnementaux [2].

Le test des comètes sur lymphocytes isolés permet de mesurer la capacité de réparation de l'ADN. Celle-ci peut être évaluée en détectant les bris à l'ADN des lymphocytes sanguins qui ont été endommagés *in vitro* par des substances génotoxiques. Ce test peut également être utilisé pour détecter le dommage oxydatif à l'ADN induit lors d'une exposition à l'As à de très faibles doses [48].

## 2 OBJECTIF DE L'ETUDE

L'objectif général de cette étude est d'estimer, au sein de la population de la région de Chaudière-Appalaches, l'exposition à l'As présent dans l'eau potable des puits privés, à partir de mesures dans l'eau et de biomarqueurs d'exposition et à titre exploratoire d'évaluer un biomarqueur d'effet génotoxique précoce.

## 3 METHODOLOGIE

C'est à partir des valeurs MRNF datant de 1983 sur les puits privés que l'idée de refaire une pré-étude sur la base de ces données est née. L'objectif pour l'Université de Montréal et l'INSPQ était de reprendre ces données pour lancer une nouvelle campagne de mesures.

La méthode de travail s'appuie sur le protocole de recherche qui a été mis en place au Département de Santé Environnementale et de Santé au Travail de l'Université de Montréal. Celle-ci a consisté à quantifier l'exposition à l'As sur un échantillon de 110 personnes à l'aide de biomarqueurs. Les métabolites urinaires, le sang, les ongles, les cheveux et le 8-hydroxy-2'-déoxyguanosine (8-OHdG) ont été utilisés dans l'étude complète. Mais seuls ces trois derniers ont été analysés pour ce mémoire. Le travail personnel réalisé lors de ce mémoire a porté essentiellement sur l'analyse des données, leur interprétation et les propositions de moyens de gestion en lien avec les résultats obtenus.

Dans le temps imparti, seules les analyses dont les données étaient disponibles ont été faites pour évaluer les risques.

### 3.1 Population cible pour cette pré-étude

La population cible recrutée pour cette pré-étude présente les caractéristiques suivantes :

- résidente de la région de Chaudière-Appalaches,
- possède un puits privé,
- consomme de l'eau potable provenant de ce puits.

Pour cette étude pilote, 3 groupes d'environ 30 à 35 individus, présentant des caractéristiques démographiques plutôt similaires, ont été identifiés *a priori* à partir des concentrations mesurées par le MRNF en 1983 :

Tableau 1 : Répartition des 3 groupes de résidents recrutés *a priori*

	Nombre de résidents	Teneur en arsenic dans le puits (selon MRNF)
<b>Groupe 0</b>	30	>25µg/L
<b>Groupe 1</b>	30	<10µg/L demeurant dans un périmètre de 1 km des >25 µg/L
<b>Groupe 2</b>	30	Résident demeurant dans des villages alimentés en puits privés

Plus précisément, le premier groupe a été constitué de façon systématique de 30 résidents s'alimentant en eau de puits dont la concentration en As a déjà été identifiée par le MRNF comme supérieure à 25 µg/l (soit environ 50 résidences). Le second groupe, sélectionné aléatoirement, a été composé de 30 individus habitant des maisons alimentées en eau de puits dont la concentration en As a été identifiée par le MRNF comme inférieure à 10 µg/l. De plus, les résidences ciblées dans ce second groupe étaient situées à l'intérieur d'un rayon de 1 km des résidences connues dont les concentrations en eau de puits sont supérieures à 25 µg/l. Quant au troisième groupe, également sélectionné aléatoirement, il a été formé de 30 individus qui demeurent dans des villages exclusivement approvisionnés en eau de puits.

Mais les résultats des concentrations d'arsenic dans l'eau n'étaient pas systématiquement compatibles avec le classement établi *a priori* à partir des concentrations mesurées en 1983. Les classes de concentration ont aussi été modifiées. Un classement *a posteriori* en trois groupes a donc été établi comme suit :

Tableau 2 : Répartition des 3 groupes de résidents recrutés *a posteriori*

	Nombre de résidents	Teneur en arsenic dans le puits mesurée dans la présente étude
<b>Groupe 2</b>	21	>10µg/L
<b>Groupe 1</b>	35	> 1µg/L et <10µg/L
<b>Groupe 0</b>	54	<1µg/L

Le groupe 0 a été considéré comme un groupe témoin. En effet, à des concentrations aussi faibles le niveau de risque est fortement diminué et les effets sur la santé sont beaucoup plus faibles. Il s'agit donc du groupe référence pour l'étude. Un total de 110 personnes a donc fait parti de la population de cette étude

L'abaissement de la limite supérieure a été motivé par le futur changement de la réglementation québécoise.

### 3.2 Recrutement

Le recrutement des participants des deux premiers groupes a été effectué par contact téléphonique à partir des données fournies par le MRNF. Ces renseignements étaient disponibles sous forme d'une liste de coordonnées cartésiennes (latitude, longitude) indiquant la localisation géographique des puits privés échantillonnés et leurs concentrations en As. Par géocodage, à l'aide du logiciel Géocoder, les adresses civiques correspondantes aux coordonnées cartésiennes ont été obtenues. La correspondance a ensuite été établie entre les adresses civiques obtenues par Géocoder et une liste d'adresses obtenue soit à l'aide de Canada411.ca ou Canada411.com ou soit par contact téléphonique avec les différentes municipalités visées. Les noms des résidents et

numéros téléphoniques ont été obtenus de la même façon. Le recrutement des individus du troisième groupe a été effectué à partir d'une liste d'adresses ou de noms fournies par les municipalités visées. Les numéros de téléphones (et les noms, si non fournis) ont ensuite été obtenus à l'aide de Canada 411.ca.

Lors du contact téléphonique pour recruter les participants, le projet a été expliqué à chaque individu. Celui-ci pouvait accepter ou refuser d'y participer. Les individus (maximum un individu par famille) spontanément intéressés à participer ont été invités à répondre à un questionnaire téléphonique portant sur les informations sociodémographiques et sur les critères d'admissibilité. Parmi ces critères : l'approvisionnement en eau potable de la résidence à partir d'un puits domestique et la consommation régulière d'eau du robinet. Des adultes âgés de 18 ans à 65 ans, des deux sexes, ont été recrutés. Les individus non admissibles pour l'étude présentaient les caractéristiques suivantes :

- les résidences possédaient un système de traitement pour filtrer l'eau du puits,
- les individus étaient exposés en milieu de travail,
- les individus étaient des fumeurs,
- les femmes étaient enceintes,
- les individus avaient consommé des médicaments homéopathiques ou des suppléments alimentaires à base d'herbes contenant de l'As,
- les individus étaient atteints de pathologies hépatiques ou rénales aiguës ou chroniques ou atteints d'un cancer

### **3.3 Collecte de données**

Les individus ayant accepté de participer ont été invités à fournir les échantillons suivants:

- eau du robinet,
- toutes les mictions urinaires à partir de 18 heures le soir jusqu'à la première urine complète au lever le lendemain matin (analyse As et métabolites urinaires et 8-OHdG),
- ongles de différents orteils (analyse As total),
- mèche de cheveux prélevée à partir de la racine (analyse As total),
- sang (analyse des dommages oxydatifs et de la réparation de l'ADN des lymphocytes sanguins),

Lors d'une visite à domicile, l'infirmière a prélevé environ 75 ml d'eau de robinet dans des contenants de polypropylène Nalgène de 125 ml. Le robinet le plus utilisé dans la maison a été utilisé pour l'échantillonnage. Un prélèvement de quelques ml de sang et d'une mèche de cheveux à partir de la racine a été effectué par l'infirmière. La mèche de cheveux a été agrafée sur un carton puis déposée dans un sac plastique pré-identifié.

Les participants ont du fournir dès le lendemain soir de la visite des infirmières, un échantillon d'urine. Toutes les mictions urinées entre 18 h le soir et le lendemain matin, incluant la première urine au lever, ont été collectées dans un contenant de polypropylène Nalgène de 1.5 L. Les participants ont reçu la consigne d'uriner dans les pots à 18 h juste avant la collecte et de recueillir toute miction subséquente jusqu'au lendemain matin dans le contenant fourni. Les participants ont du fournir leurs ongles d'orteils. Un coupe ongle et deux sacs pré-identifiés ont été remis à cet effet. Le gros ongle d'orteil a du être déposé dans un sac différent des autres ongles.

Chaque participant a dû remplir un questionnaire alimentaire auto administré (annexe 5). Celui-ci portait sur l'alimentation ingérée le jour précédant le prélèvement urinaire ainsi que le jour de la collecte. Ces questionnaires ont servi à renseigner les sources potentielles d'arsenic alimentaire : consommation d'eau de puits ou de boissons à partir d'eau de puits, aliments pouvant contenir de l'As. Un second questionnaire a été rempli (annexe 6). Il visait à documenter :

- l'information sur leur puits et leur consommation habituelle de cette eau au cours de la dernière année,
- leurs habitudes de vie au cours des deux derniers jours précédant la collecte d'urine (alcool, tabagisme passif, teinture de cheveux, manipulation de matériel à base d'As).

La liste des variables documentées est résumée à l'annexe 7.

### **3.4 Analyses de laboratoire**

Les différentes formes d'As inorganique ( $As^{3+}$ ,  $As^{5+}$ ) et de ses métabolites (AMMA, AMMA, ADMA) ainsi que l'arsénobétaïne ont été analysées dans l'urine par chromatographie anionique couplée à la spectrométrie de masse à plasma induite (ICP-MS). L'As total a été mesuré dans les échantillons d'eau potable, d'ongles et pour les premier et deuxième centimètres de cheveux combinés par activation neutronique.

Le 8-OHdG urinaire a été déterminé par la méthode ELISA développée par le Japan Institute for the Control of Aging. Le test des comètes a été effectué afin d'évaluer les dommages oxydatifs à l'ADN et la réparation de l'ADN lymphocytaire.

#### **3.4.1 Biomarqueurs choisis pour ce mémoire**

Durant le mémoire, seuls le 8 OHdG, les ongles d'orteil et les cheveux ont été utilisés car les analyses d'urine et de sang n'étaient pas encore disponibles.

### **3.5 Analyses statistiques**

Toutes les analyses statistiques ont été réalisées à l'aide du logiciel statistique SPSS.

### 3.5.1 Test de sensibilité et spécificité pour les données du MRNF

Pour évaluer la fiabilité de l'utilisation des données MRNF, une étude de la sensibilité et de la spécificité pouvait être réalisée.

Ce test devait permettre de savoir s'il est possible de se fier aux données du MRNF ou si une nouvelle campagne de mesures de plus grande envergure devait être effectuée.

Sur 110 adresses, une seule correspondait aux données cartésiennes de l'étude de 1983.

Ceci est dû à plusieurs facteurs :

- Les adresses données par géocoder n'existaient pas,
- Les personnes contactées n'étaient pas admissibles,
- Les personnes contactées refusaient de participer à l'étude.

Pour cette raison, il a été inutile de faire une étude de sensibilité / spécificité. Malgré tout, une carte des puits de 1983 et une des puits mesurés lors de l'étude ont été réalisées. Elles sont consultables en annexe 10.

### 3.5.2 Les analyses statistiques des données biologiques

Les analyses portant sur les données biologiques se sont déroulées en 6 étapes :

#### Etape I :

Pour chacun des trois groupes établis *a posteriori* et pour les trois groupes ensemble, l'évaluation de la normalité de la distribution des niveaux biologiques et des concentrations dans l'eau a été réalisé par les tests de Shapiro Wilk (si  $n < 50$  i.e. les 3 groupes séparés) ou Kolmogorov-Smirnov (si  $n > 50$  i.e. les 3 groupes ensemble). Le test de normalité a été effectué pour :

- Les concentrations dans l'eau ( $\mu\text{g/L}$ ) ;
- Les concentrations d'arsenic total dans les ongles ( $\mu\text{g/g}$  ou ppm; gros ongles et autres orteils séparés) ;
- Les concentrations d'arsenic total dans les cheveux ( $\mu\text{g/g}$  ou ppm)
- Les concentrations de 8-OHdG ( $\mu\text{g/L}$ ).

Si la concentration de biomarqueur ou d'arsenic était inférieure à la limite de détection, la moitié de la valeur du seuil de détection analytique était attribuée (ex : concentration en arsenic dans les eaux).

Les tests de normalité (Shapiro et Kolmogorov-Smirnov) ont montré que pour l'ensemble des paramètres **la distribution pour l'ensemble des échantillons n'est ni normale ni log-normale** (annexe 11). Seule la concentration en arsenic dans les cheveux semble être log-normale ( $p \text{ value} > 0.005$  pour le test de Kolmogorov-Smirnov et celui de Shapiro-Wilk). Etant donné qu'il s'agit du seul paramètre dont la distribution est log-normale, **des tests non-paramétriques ont été effectués** pour les analyses comparatives.

### Étape II :

Pour comparer les moyennes des niveaux biologiques d'arsenic entre les trois groupes (*i.e.* les trois niveaux de concentrations d'arsenic dans l'eau), il a fallu utiliser le test de Kruskal-Wallis. Le recours à ce test est justifié car l'effectif est <30 dans un des groupes (groupe 1) et la distribution n'est ni normale ni log-normale pour l'ensemble des données. Ce test a servi à déterminer si les niveaux de biomarqueurs étaient statistiquement différents ou similaires dans les 3 groupes.

### Étape III :

Pour chacun des trois groupes d'exposition et pour les trois groupes ensemble, des corrélations de Spearman ont été effectuées.

Tous les paramètres suivants ont été testés deux à deux :

- teneur en arsenic dans les gros ongles,
- teneur en arsenic dans les autres ongles,
- teneur en arsenic dans les cheveux,
- teneur en arsenic dans les eaux,
- quantité d'arsenic ingéré dans l'alimentation,
- niveau de 8-OHdG.

A noter qu'une corrélation n'est pas forcément une relation de cause à effet. Elles mesurent simplement la relation linéaire entre 2 variables. Cela permet de donner une indication sur le biomarqueur qui semble le plus représentatif de l'exposition.

### Étape IV :

Cette étape consiste à évaluer si la distribution des variables documentées par questionnaires varie selon le groupe. Même si les distributions au sein de chaque groupe sont distinctes (normales ou non), il faut appliquer le même test à chacun des groupes.

Ainsi, les différences relevées entre les trois groupes pour les variables dépendantes quantitatives ont été calculées à l'aide du seul test de Kruskal-Wallis.

Pour les variables dépendantes catégoriques, des tests de Chi carré (si  $n > 5$  dans chaque groupe) et de Fisher Exact (si  $n < 5$  dans un des groupes) ont été réalisés.

Ces tests ont permis de voir si la distribution de certaines variables est significativement différente et si elles permettent d'expliquer les niveaux de biomarqueurs rencontrés dans chaque groupe.

### Étape V :

Pour chacun des trois groupes d'exposition et pour les trois groupes ensemble, les associations entre les variables documentées par questionnaires et les concentrations de

biomarqueurs ont également été vérifiées par des analyses bivariées. Les variables quantitatives ont été redéfinies en variables à catégories. Des tests non paramétriques ont été effectués pour les analyses comparatives. On a utilisé le test de Mann-Whitney pour vérifier l'influence des variables dichotomiques sur les niveaux de biomarqueurs. Pour les variables à plus de deux catégories, le test de Kruskal-Wallis a été utilisé.

#### Etape VI :

Pour tester les associations entre les variables quantitatives et les concentrations de biomarqueurs pour chacun des trois groupes d'exposition et pour les trois groupes ensemble, des tests de corrélation de Spearman ont été effectués.

### **3.5.3 Estimation de l'apport alimentaire en arsenic**

Pour réaliser certaines étapes statistiques, une estimation de l'apport alimentaire en arsenic a été calculée sur la base du questionnaire documenté. L'idée de calculer une estimation de l'apport alimentaire résulte de plusieurs constats :

- il est difficile de faire une corrélation entre des niveaux de biomarqueurs et un nombre de portions alimentaires,
- les portions renseignées ne sont pas forcément représentatives d'une consommation moyenne pendant une année complète,
- les données récoltées lors de l'enquête alimentaire sont proches de la réalité mais il est difficile d'en déduire une équivalence en  $\mu\text{g}$  d'As par jour ingéré.

L'estimation de l'apport alimentaire s'est faite en plusieurs étapes. Grâce aux questionnaires alimentaires auto-administrés, le nombre de portions d'aliments mangés les 2 jours précédents la collecte étaient renseignés. Il fallait connaître les teneurs moyennes en arsenic de tous ces aliments. Les informations relatives à ces teneurs ont été trouvées dans deux études : celle de Dabeka *et al.* datant de 1993 [51] et celle de Uneyama *et al.* datant de 2007 [52].

La première est une étude canadienne où des valeurs moyennes en arsenic dans les aliments de différentes villes du Canada dont Montréal sont renseignées. La deuxième est une étude japonaise qui reprend les valeurs moyennes en arsenic données dans des articles de différents pays.

Pour réaliser l'estimation alimentaire, nous avons sélectionné toutes les valeurs disponibles de l'étude canadienne et les valeurs américaines et canadiennes de l'étude japonaise. Ce choix devait permettre d'avoir les valeurs se rapprochant le plus de celles de l'alimentation des participants. Il ne faut pas oublier qu'il s'agit d'une estimation. Elle permet avant tout d'avoir un ordre de grandeur des concentrations moyennes en arsenic de différents aliments.

Pour avoir l'estimation de l'apport alimentaire, il a fallu multiplier les teneurs ainsi obtenues par le nombre de portions renseignées. Celles-ci correspondaient parfois à des équivalences en poids mais pas toutes. Pour compléter les équivalences manquantes, le site internet de Santé Canada sur la nutrition a été utilisé. Le fichier canadien sur les éléments nutritifs, consultable en ligne, permet d'y trouver ces équivalences. L'ensemble des données sont résumées dans le tableau de l'annexe 8.

Une fois les équivalences trouvées, il suffisait de faire la somme par participant des quantités d'arsenic ingérées dans l'alimentation pendant les 2 journées précédant la collecte et de diviser par 2 pour avoir une moyenne quotidienne.

Comme ce mémoire n'a utilisé que les valeurs venant des biomarqueurs reflétant une exposition passée, on a pu émettre l'hypothèse que cette consommation contribuait à 100% de l'exposition. Il n'y a donc pas eu d'ajustement des valeurs en fonction de la durée de demi-vie de l'arsenic.

C'est à partir de cette valeur estimée moyenne quotidienne que des tests statistiques ont ensuite été réalisés.

#### **3.5.4 Estimation de l'apport hydrique en arsenic**

Comme pour l'estimation de l'apport alimentaire, l'apport hydrique en arsenic a été calculé pour la réalisation de certaines étapes statistiques. La volonté de calculer cette estimation découle d'un constat simple. Même si une personne a une concentration élevée en arsenic dans son puits, on peut supposer qu'elle n'est pas obligatoirement exposée si elle n'en consomme pas ou très peu. Ainsi, cette estimation se rapproche plus de la réalité d'exposition.

L'estimation en apport hydrique a été réalisée de la même manière que pour l'apport alimentaire. Il suffisait de multiplier le nombre de verres d'eau consommés de 250ml venant du puits (renseignés dans le questionnaire auto administré) par la concentration d'As mesurée dans le puits pour avoir l'apport hydrique. Ensuite, il a fallu calculer la totalité de l'estimation sur les 2 jours et diviser le tout par 2 pour avoir l'apport moyen quotidien.

Pour s'assurer que cette estimation soit proche de la réalité d'exposition, il a été demandé si celle-ci était comparable à la consommation quotidienne habituelle. Voici leur réponse :

Tableau 3: Répartition des réponses à la question : Est-ce que la quantité d'eau consommée du puits le jour précédent la collecte était ou non comparable à l'habituel ?

Groupe	non	oui	Total
0 (<1µg/L)	5	48	53
1(1-10µg/L)	3	31	34
2 (>10µg/L)	7	14	21
Total	15	93	108

Tableau 4: Répartition des réponses à la question : Est-ce que la quantité d'eau consommée du puits le jour de la collecte était ou non comparable à l'habituel ?

Groupe	non	oui	Total
0 (<1µg/L)	8	47	55
1 (1-10µg/L)	7	24	31
2 (>10µg/L)	5	16	21
Total	20	87	107

Sur l'ensemble des 2 jours, on peut donc considérer que cette consommation est représentative de la consommation habituelle.



## 4 RESULTATS

### 4.1 Analyse descriptive des données

#### 4.1.1 Taux de participation à l'étude

Le taux de participation à l'étude était de 16,69%. Sur 659 personnes contactées, 110 ont accepté de participer à l'étude et étaient admissibles.

#### 4.1.2 Concentrations dans l'eau consommée provenant des puits privés

Les concentrations en arsenic des puits enquêtés allaient de 0,01 µg/L (limite de détection de l'arsenic total dans les eaux à 0,02 µg/L) à 140 µg/L. Le tableau 5 résume les valeurs par groupes :

Tableau 5 : Distribution des concentrations en arsenic dans l'eau de consommation

Groupes	Médiane	Min-Max	95e percentile
< 1 µg/l	0.13	0.010 – 0.88	0.73
> 1 et < 10 µg/l	2.7	1.0 – 9.8	9.5
> 10 µg/l	36	11 – 140	99

### 4.2 Analyses comparatives

#### 4.2.1 Caractéristiques sociodémographiques des personnes recrutées et différences des distributions des facteurs explicatifs potentiels selon le groupe de concentration

Les caractéristiques sociodémographiques des participants et les facteurs explicatifs potentiels documentés par questionnaire montrant une différence significative entre les groupes sont résumés dans le tableau de l'annexe 9.

Il a été observé que les distributions des caractéristiques sociodémographiques et des autres facteurs sont statistiquement identiques dans les différents groupes d'exposition ( $p$  value >0,05) sauf pour 2 variables : le type de puits et le temps de résidence.

Le test du Chi carré a permis de démontrer que les 3 groupes sont significativement différents au niveau de la répartition des types de puits. Cette observation est très intéressante car on remarque facilement que le groupe de concentration le plus élevé (>10 µg/L) ne possède que des puits tubulaires (ou artésiens), autrement dit des puits d'eau souterraine.

Le premier groupe (<1µg/L) possède autant de puits tubulaires que de puits de surface (27) et une pointe filtrante ; le deuxième (1 à 10 µg/L) groupe possède 27 puits tubulaires et 5 puits de surface. Le test de Kruskal-Wallis a permis par ailleurs de démontrer que le temps de résidence est statistiquement plus élevé pour le groupe 2 (>10µg/L) par rapport aux autres groupes de concentration.

#### **4.2.2 Corrélation entre biomarqueurs**

Des tests de corrélation de Spearman entre les différents biomarqueurs (étape 3) ont été réalisés pour l'ensemble des 3 groupes et pour chaque groupe. Ces tests devaient permettre d'observer ou non l'existence d'une relation entre tous les biomarqueurs utilisés (gros ongles, autres ongles, cheveux). Tous les tableaux sont consultables en annexe 12 et 13.

Pour les 3 groupes ensemble, il existe une très forte corrélation entre les niveaux de biomarqueurs des gros ongles et des autres ongles (coefficient de corrélation de 0,853\*\*). Cette corrélation est moins forte entre les gros ongles et les cheveux (coefficient de corrélation de 0,525\*\*) ainsi qu'entre les autres ongles et les cheveux (coefficient de corrélation de 0,529\*\*).

Si on fait le test pour chaque groupe, la seule association que l'on rencontre est celle entre les gros ongles et les autres ongles (groupe 0 : coef = 0,810\*\* ; groupe 1 : coef = 0,635\*\* ; groupe 2 : coef = 0,747\*\*). Ceci suppose la similitude d'information donnée par ces 2 biomarqueurs.

#### **4.2.3 L'eau de consommation comme facteur explicatif des niveaux de biomarqueurs**

##### Comparaison des niveaux de biomarqueurs selon le groupe de concentration d'arsenic dans l'eau

La comparaison des niveaux de biomarqueurs selon le groupe de concentration a permis de vérifier si on avait une augmentation des niveaux de biomarqueurs en fonction de la concentration de l'eau dans les puits. Des différences significatives sont observées entre les 3 groupes de concentration pour l'As total dans les gros ongles, les autres ongles et les cheveux (tableau 6). On peut voir que les niveaux de biomarqueurs augmentent bien en fonction de la teneur en arsenic dans les eaux de consommation. On peut donc supposer une relation positive entre les niveaux de biomarqueurs (pour les gros ongles, les autres ongles et les cheveux) et les niveaux dans l'eau.

Tableau 6: Distribution des concentrations en arsenic dans les ongles d'orteil, dans les cheveux et en 8-OHdG

	Groupes	Médianes	Min-Max	95e percentile	P value
<b>Gros ongles d'orteils</b>	< 1 µg/l	0.049	0.0080 – 0.54	0.18	<0.001
	> 1 et < 10 µg/l	0.074	0.028 – 0.13	0.12	
	> 10 µg/l	0.15	0.094 – 1.4	0.96	
<b>Autres ongles d'orteils</b>	< 1 µg/l	0.065	0.018 – 0.69	0.27	<0.001
	> 1 et < 10 µg/l	0.086	0.041 – 0.21	0.17	
	> 10 µg/l	0.24	0.071 – 1.8	1.8	
<b>Cheveux</b>	< 1 µg/l	0.018	-0.0090 – 0.16	0.049	<0.001
	> 1 et < 10 µg/l	0.034	-0.017 – 0.14	0.10	
	> 10 µg/l	0.15	0.012 – 1.0	0.44	
<b>8-OHdG</b>	< 1 µg/l	243.8	139.8 – 569.1	349.4	0.292
	> 1 et < 10 µg/l	233.1	98.76 – 353.0	307.9	
	> 10 µg/l	227.9	144.3 – 2190	323.6	

En revanche, il n'y a pas de différence de niveau de 8-OHdG pour les 3 groupes de concentrations ( $p$  value > 0.05). Cela suppose que le 8-OHdG ne varie pas en fonction des concentrations en arsenic dans les puits.

Corrélations quantitatives entre les concentrations dans l'eau et les niveaux de biomarqueurs :

Les résultats obtenus avec les corrélations de Spearman ont aussi permis de vérifier si les différences de niveaux de biomarqueurs sont attribuables à l'eau de consommation. On pouvait ainsi connaître le lien quantitatif entre les niveaux d'arsenic dans l'eau et les niveaux de biomarqueurs.

Pour l'ensemble des groupes, l'association la plus forte entre l'eau et un biomarqueur est observée avec les gros ongles (coefficient de corrélation de 0,612\*\*). On observe également des associations significatives entre l'eau et les autres ongles (0,585\*\*) et les cheveux (0,522\*\*).

Pour chaque groupe d'exposition, une association entre les gros ongles, les autres ongles et la concentration en arsenic dans l'eau n'est observée que pour le groupe 2 (>10µg/L). Si on part du principe que ces 2 biomarqueurs délivrent le même type d'information, il semblerait que pour les concentrations inférieures à 10µg/L, l'eau ne soit pas la source principale d'arsenic.

#### Corrélations quantitatives entre l'apport hydrique en As et les niveaux de biomarqueurs :

Les résultats (annexe 12) montrent clairement qu'il existe une corrélation entre l'estimation de l'apport en As hydrique et les niveaux des différents biomarqueurs.

De plus, on observe une très forte corrélation entre l'estimation en As hydrique et les niveaux d'As dans l'eau des puits (coefficient de corrélation de 0.608\*\*). On peut donc supposer que la concentration dans l'eau de puits est un bon indicateur de l'exposition à l'arsenic hydrique.

#### **4.2.4 L'alimentation comme facteur explicatif des niveaux de biomarqueurs ?**

La corrélation entre l'apport en As alimentaire et les niveaux de biomarqueurs a été réalisée à l'aide de l'estimation d'apport alimentaire (étape 3) mais aussi du nombre de portions de chaque aliment renseignées dans le questionnaire alimentaire (étape 6).

#### Variation des niveaux de biomarqueurs en fonction du nombre de portions alimentaires renseignées :

Le nombre de portions alimentaires n'est pas corrélé aux niveaux de biomarqueurs. L'ensemble des tableaux de corrélations entre le nombre de portions par aliment et les niveaux de biomarqueurs pas été incorporé au rapport car les données sont trop volumineuses et n'apportent pas d'informations supplémentaires.

#### Variation des niveaux de biomarqueurs en fonction de l'estimation d'apport en As alimentaire :

Les résultats montrent qu'il n'existe pas non plus de corrélation entre les niveaux des différents biomarqueurs et l'estimation de l'apport en As alimentaire par questionnaire.

#### Différence entre les groupes de concentration dans la distribution des portions alimentaires documentés par questionnaire

L'étape 4 du protocole d'analyse statistique consistait à réaliser des tests de Kruskal Wallis ou de Chi Carré. Ceux-ci permettaient d'observer ou non des différences significatives entre les 3 groupes dans les facteurs documentés par questionnaire (liste des variables du questionnaire annexe 7) et de comprendre les différences observées pour les niveaux de biomarqueurs. Le résultat pour l'estimation en apport alimentaire montre que celle-ci est identique pour les 3 groupes. On peut donc conclure que l'apport alimentaire n'explique pas les différences dans les niveaux de biomarqueurs entre les groupes.

#### 4.2.5 Les autres facteurs explicatifs potentiels des niveaux de biomarqueurs

##### Les variables quantitatives pouvant expliquer les variations de biomarqueurs :

Pour l'ensemble des groupes, la seule association significative et vraisemblable entre les autres variables quantitatives documentées par questionnaires (annexe 7) et les niveaux d'As dans l'eau est celle obtenue avec les gros ongles, les autres ongles et le nombre d'année de résidence des participants.

Tableau 7 : Corrélations entre les niveaux de biomarqueurs et le nombre d'années de résidence des participants (pour l'ensemble des groupes)

		Niveau d'arsenic dans l'eau de puits (As_eau_ppm)	Niveau d'arsenic dans les gros ongles (As_gros_ongles_ppm)	Niveau d'arsenic dans les autres ongles (As_autres_ongles_Ppm)	Niveau d'arsenic dans les cheveux (As_cheveux_ppm)	Niveau de 8-OHdG (oxodG)
Nombre_années_résidence	Coefficient de corrélation	,254**	,329**	,409**	,172	-,324**

\*\* . Corrélations significatives au niveau 0.01 (test bilatéral)

##### Les variables qualitatives pouvant expliquer les variations de biomarqueurs :

Les résultats correspondant à ce paragraphe sont essentiellement ceux de l'étape 5 (annexe 14 et 15). Celle-ci consistait à évaluer si les associations entre les variables qualitatives documentées par questionnaires et l'excrétion des biomarqueurs à l'aide des tests de Mann Whitney (annexe 14) pour les variables dépendantes à 2 catégories et à l'aide du test de Kruskal Wallis (annexe 15) pour les variables dépendantes à plusieurs catégories.

Pour les variables à 2 catégories, on observe des associations avec tous les groupes de concentration entre les niveaux d'arsenic dans les cheveux et le sexe des participants. Les hommes auraient une concentration d'arsenic plus élevée que les femmes dans les cheveux. De plus, les personnes dont les cheveux ne sont pas colorés auraient des concentrations en arsenic plus élevées que les personnes dont les cheveux sont colorés. Pour les analyses par groupe de concentrations, on obtient le même résultat, à savoir que le niveau d'arsenic dans les cheveux est plus élevé pour les hommes que pour les femmes et que le niveau d'arsenic dans les cheveux est plus élevé pour les personnes qui n'ont pas les cheveux colorés que pour les personnes qui ont les cheveux colorés mais seulement pour le groupe < 1 µg/L et le groupe entre 1 et 10 µg/L. Pour le groupe > 10 µg/L, on observe que le niveau d'arsenic dans les cheveux est plus élevé pour les personnes qui n'ont pas les cheveux colorés que pour les personnes qui ont les cheveux colorés mais également que le niveau dans les gros ongles, dans les autres ongles et

dans les cheveux sont plus élevés pour les personnes qui n'ont pas analysées l'eau de leur puits au cours de la dernière année.

Pour les variables à plusieurs catégories, on observe que le niveau de biomarqueur est différent en fonction du type de puits. Ainsi, les niveaux d'arsenic dans les gros ongles, dans les autres ongles et dans les cheveux sont plus élevés pour les personnes qui possèdent un puits tubulaire par rapport aux personnes qui possèdent un puits de surface.

## 5 DISCUSSION

### 5.1 Les apports de l'étude

Cette a montré que la concentration d'As dans l'eau de puits contribuent à augmenter significativement la dose absorbée d'As à partir des mesures de biomarqueurs. Plus précisément, les individus exposés à des concentrations d'arsenic dans l'eau dépassant la recommandation de Santé Canada de 10 µg/L, montraient des niveaux de biomarqueurs plus élevés que les groupes exposés entre 1 et 10 µg/L et < 1 µg/L. Ces résultats correspondent à ceux obtenus dans d'autres études publiées [17], [41], [46].

Une autre chose semble relativement sûre ; l'As dans l'eau à des concentrations <10µg/L ne contribue pas significativement à l'augmentation des niveaux de biomarqueurs d'exposition.

Cette pré-étude est une des premières au Québec à fournir de l'information sur l'importance de l'exposition à l'As à partir des biomarqueurs reconnus de l'exposition passée (ongles, cheveux).

### 5.2 La population échantillon

La population recrutée pour l'échantillon présente des caractéristiques intéressantes pour une étude statistique. Selon nos résultats, il y a peu de facteurs de confusion. Les données alimentaires et sociodémographiques semblent être identiques pour les 3 groupes de concentration.

En revanche, pour l'ensemble des groupes, on a pu remarquer que les niveaux d'As étaient plus élevés chez les hommes par rapport aux femmes et que les cheveux colorés contenaient moins d'As que les cheveux non colorés. Il peut donc s'agir de facteurs explicatifs ou au contraire de facteurs de confusion. Pour le groupe > 10 µg/L, les niveaux des biomarqueurs de l'exposition passée étaient plus élevés pour les personnes qui n'avaient pas analysées l'eau de leur puits durant la dernière année. On pourrait penser que les personnes qui ont analysées l'eau de leur puits ont été plus vigilantes, ce qui explique leur niveau de biomarqueur d'exposition passée plus faible. Ces éléments représentent donc des pistes à creuser pour l'étude de plus grande envergure.

La répartition du nombre de participants dans chaque groupe était aussi inégale : seulement 21 personnes dans le groupe 2 (>10µg/L) contre 55 dans le groupe 0 (<1µg/L) et 34 dans le groupe 1 (entre 1 et 10 µg/L). Le recrutement des personnes en fonction des critères d'admission, de leur envie de participer à l'étude et des adresses obtenues a certainement eu un impact sur la typologie de l'échantillon.

## **5.3 Les biomarqueurs**

### **5.3.1 Les gros ongles d'orteils comme référence**

Le choix de biomarqueurs pour l'étude et pour ce mémoire a été conditionné par la disponibilité des résultats. Des biomarqueurs de l'exposition passée (ongles, cheveux) et de l'exposition récente ont été sélectionnés pour l'étude. Seuls ces premiers sont présentés dans ce mémoire puisque les résultats urinaires n'étaient pas encore disponibles.

Si on se réfère à nos résultats de l'étape 3, il apparaît que les gros ongles d'orteils sont très bien corrélés aux concentrations dans l'eau des puits et à l'estimation de l'apport hydrique. Il semblerait qu'ils soient les meilleurs indicateurs de l'exposition passée à l'arsenic. L'information livrée par les autres ongles serait de même nature que celle livrée par les gros ongles étant donné que le coefficient de corrélation est très élevé entre les 2 biomarqueurs. Mais la corrélation avec les concentrations dans l'eau est légèrement moins forte avec ces biomarqueurs. Il paraît donc inutile d'utiliser ces 2 biomarqueurs dans une même étude ou alors il serait intéressant de réunir les deux pour réaliser une seule analyse comme cela est fait dans d'autres études [41], [46].

### **5.3.2 Les cheveux : des biomarqueurs délivrant une autre information**

Les cheveux sont aussi très bien corrélés aux concentrations mesurées dans l'eau mais à un niveau légèrement moins élevé. Ils délivreraient une information différente que les ongles d'orteils. Une étude indique que les cheveux n'accumulent pas l'arsénobétaïne issue des produits de la mer [17].

Si on reprend les informations obtenues lors de l'étape 5, on peut observer que les niveaux en arsenic dans les cheveux colorés sont moins élevés que dans les cheveux non colorés. On peut donc supposer que les cheveux sont plus sensibles aux contaminations extérieures. Il est donc moins intéressant d'utiliser les cheveux comme biomarqueurs d'exposition. Une étude a également fait ce constat en indiquant qu'il était impossible de distinguer les dérivés externes et internes d'arsenic dans les cheveux [17].

### **5.3.3 Le 8-OHdG : peu efficace dans cette étude**

Le 8-OHdG ne donne pas de résultats intéressants. On ne trouve que peu de corrélations entre le niveau d'As dans l'eau de puits et le niveau de biomarqueur d'effet. Et quand elles existent, on trouve des relations négatives Ceci concorde avec les résultats d'une étude au Cambodge [47]. Les auteurs expliquent ce résultat par le temps de latence d'un cancer. Il faudrait entre 30 et 50 ans d'exposition chronique pour développer un cancer. Les niveaux de 8-OHdG mesurés sont aussi identiques entre les 3 groupes. Le 8-OHdG

semble peu spécifique et difficile à utiliser en routine du moins avec un relativement faible nombre d'échantillons sans risquer de faire des erreurs d'interprétation.

## **5.4 Des interprétations à nuancer**

Les incertitudes analytiques et les incertitudes d'échantillonnage peuvent influencer les résultats d'une étude en général. Pour ce projet, les éléments qui limitent l'interprétation des résultats sont expliqués dans les sections suivantes.

### **5.4.1 Taille de l'échantillon**

L'échantillon d'étude était relativement petit. Les résultats ont donc été obtenus à l'aide de tests non paramétriques. En effet, les raisons qui conduisent à l'utilisation de tests non paramétriques sont essentiellement :

- un nombre d'échantillons insuffisant,
- une distribution des données qui n'est pas normale.

Ces tests sont reconnus comme étant moins puissants que les tests paramétriques.

Il a donc été impossible de réaliser des modèles multivariés permettant d'associer plusieurs variables explicatives. Ce genre de modèles aurait permis d'aller plus loin dans l'analyse. Nos effectifs dans chacun des groupes de concentration ne permettaient peut être pas non plus de démontrer des associations ou des différences à des niveaux dans l'eau < 10 µg/L.

Pour tester notre hypothèse, nous avons voulu voir si nos résultats changeaient en augmentant les effectifs de nos groupes de concentration. Pour cela, nous avons réalisé une nouvelle distribution en 2 groupes : groupe 0 (< 10 µg/L) et groupe 1 (> 10 µg/L) au lieu de 3 groupes.

Avec cette nouvelle distribution, pour des niveaux dans l'eau < 10 µg/L, on observe alors des corrélations entre les niveaux d'As dans l'eau de puits et les niveaux de biomarqueurs d'exposition. On remarque une corrélation entre les niveaux dans l'eau et les gros ongles de 0,361\*\*, celle entre les niveaux dans l'eau et ceux des autres ongles est de 0,341\*\* et celle entre les niveaux dans l'eau et ceux dans les cheveux de 0,297\*\*. On observe également des corrélations entre les niveaux de biomarqueurs d'exposition. Celle entre les gros ongles et les autres ongles est de 0,788\*\*, celle entre les gros ongles et les cheveux est de 0,296\*\* et celle entre les autres ongles et les cheveux est de 0,294\*\*. Cela laisse supposer que l'eau des puits contribue aussi à l'exposition à de faibles concentrations (< 10 µg/L) mais à des niveaux moins élevés malgré tout qu'à des concentrations > 10 µg/L.

En revanche, pour les autres tests statistiques, on n'observe pas de différences avec les résultats obtenus pour les 3 groupes de concentrations.

#### **5.4.2 Un questionnaire difficile à corrélérer aux niveaux de biomarqueurs**

A très faibles concentrations (<10 µg/L), il est difficile d'identifier les cause de variations des niveaux de biomarqueurs. Le faible nombre de corrélations obtenu avec le nombre de portions alimentaires renseignées dans le questionnaire (supposées représentatives d'une exposition moyenne) peut s'expliquer par le fait que l'on essaie de trouver des associations entre un questionnaire alimentaire renseigné sur 2 jours et des niveaux de biomarqueurs qui intègrent une exposition sur plusieurs mois. Cette hypothèse pourra être vérifiée lors de l'analyse des métabolites urinaires qui mesurent une exposition récente (2 à 3 jours).

On pouvait penser que l'apport alimentaire expliquerait mieux les niveaux de biomarqueurs à faibles concentrations mais aucun résultat significatif n'a été observé. Peut être que l'estimation de l'apport en As alimentaire (équivalence des portions, concentrations moyennes en As dans les aliments) ont conduit à des valeurs lointaines de la réalité. Les variations dans l'absorption, la distribution et l'excrétion de l'arsenic sont peut être également plus importantes que les variations dans l'apport alimentaire [53].

#### **5.4.3 Un nombre élevé de tests pouvant conduire à des faux positifs**

Il est possible d'obtenir 5% de résultats significatifs avec un risque alpha de se tromper égal à 5%. Ceci signifie qu'un test statistique positif sera associé dans 5% des cas à une absence de différence réelle. Plus le nombre de tests est élevé, plus les possibilités de rencontrer des faux positifs sont importantes.

#### **5.4.4 Sous-estimation de la spéciation de l'arsenic**

Un retour d'expérience en Abitibi Témiscamingue indique que le dosage de l'arsenic total ne permet pas de déterminer à quelles formes d'arsenic les personnes sont réellement exposées. On peut donc être amené à surestimer l'importance du problème relié à l'eau potable.

Dans cette région, une famille fortement exposée à l'arsenic dans l'eau de son puits (3 000 ppb) depuis vraisemblablement près de 20 ans a pu être étudiée. Bien que les taux urinaires et dans les cheveux montrent une imprégnation importante (plus de 40 fois la limite supérieure à la normale), les quatre membres de cette famille ne semblaient souffrir d'aucun symptôme associable à une intoxication à l'arsenic. Des dosages supplémentaires ont permis d'établir que l'exposition de cette famille provenait surtout d'arsenic inorganique pentavalent [30].

Il sera donc extrêmement important de confirmer ou non nos résultats avec ceux qui seront trouvés à l'aide des urines. En effet, les différentes formes d'arsenic ont été recherchées pour l'urine alors que pour les cheveux et les ongles seul l'As total a été mesuré.

## 6 RECOMMANDATIONS ET PROPOSITIONS DE GESTION

### 6.1 Recommandations pour l'étude de plus grande envergure

#### 6.1.1 Les concentrations en arsenic dans les sols comme indice

Comme nous avons pu le voir dans la partie bibliographique, il existe une corrélation entre les niveaux d'arsenic telluriques et les niveaux d'arsenic hydrique. Cette hypothèse peut permettre de mieux cibler les secteurs où les puits sont susceptibles de poser problème. Comme les données de 1983 ne couvrent pas tous les puits de la région, ce principe pourra être utilisé lors de l'étude de plus grande envergure pour localiser les puits à problème. Voici quelques outils qui pourraient permettre d'affiner les connaissances sur les secteurs potentiellement à risque.

#### *E-sigéom*

Le MRNF met à disposition un logiciel en ligne : E-sigéom qui permet de consulter les analyses de sols réalisées dans tout le Québec.

Pour obtenir les analyses qui nous intéressent, il faut se rendre à l'adresse suivante : [http://www.mrnf.gouv.qc.ca/mines/index.jsp\\*](http://www.mrnf.gouv.qc.ca/mines/index.jsp)

Puis il faut sélectionner dans l'ordre:

- e-sigeom à la carte
- géochimie
- échantillon de roche ou échantillon de sédiments
- choisir le numéro de feuillet « SNRC » 21L et l'élément chimique As.

Il est ensuite possible de choisir le niveau d'As dans le sol qui nous intéresse. D'après la relation établit par le BRGM, il faudrait cibler les échantillons dont les teneurs sont supérieures à 60µg/g.

Selon le logiciel, il y a 50 échantillons de roche et 262 échantillons de sédiments dans la base de données qui correspondent à des teneurs supérieures à 60µg/g. Ces échantillons sont relativement bien localisés selon un axe Nord-est / Sud-ouest. Si on enlève de la requête de recherche la teneur supérieure à 60µg/g, on obtient 419 échantillons de roche qui sont eux même localisés selon le même axe.

Les 3 cartes obtenues avec ces critères de recherche sont consultables en annexe 16. En théorie, des couches géologiques sont favorables aux teneurs élevées en arsenic mais après une brève comparaison avec la carte géologique de la Chaudière Appalaches, il a été impossible de déterminer une (ou des) couche(s) géologique(s) en particulier.

### *Le système d'informations hydrogéologiques (SIH)*

Le système d'informations hydrogéologiques (SIH) du MDDEP permet aussi d'avoir des données sur les puits tubulaires au Québec. Son utilisation nécessite des données cartésiennes ou le nom de la municipalité ciblée. Les informations délivrées concernent les paramètres suivants :

- étiquette du puits,
- niveau statique,
- niveau dynamique,
- débit,
- diamètre du puits,
- profondeur du puits,
- description des lithologies,
- méthode de forage,
- matériau de cuvelage,
- longueur de cuvelage,
- numéro de bassin versant,
- numéro de carte,
- numéro de puisatier,
- numéro de pompage,
- durée du pompage,
- date du pompage,

Il est donc possible d'avoir des informations sur les couches géologiques mais pas sur les teneurs en arsenic.

### *Atlas des eaux souterraines du bassin versant de la rivière Chaudière*

Le comité de bassin versant de la rivière Chaudière a participé à la réalisation de l'atlas des eaux souterraines. Dans ce dernier, on peut lire des informations intéressantes à propos de l'arsenic. Suite à un échantillonnage qu'ils ont réalisé en 2007, 3 valeurs dépassaient les 10µg/L que les auteurs décrivent comme la future norme québécoise. Ces 3 échantillons d'eau (localisés sur la carte en annexe 17) ont été décelés le long d'une ligne Nord-est / Sud-ouest qui passe près de St-Georges-de-Beauce. Ils étaient associés à des roches volcaniques contenant des sulfures de métaux tels que le cuivre, le plomb et le zinc [34]. Tous ces dépassements ont été observés dans des puits artésiens. D'après le MDDEP, on ne dispose pas d'un échantillonnage suffisant pour affirmer avec certitude quelle formation géologique contient l'arsenic. Cependant, il semble que ce soit la formation de St-Victor [54] et peut être les bandes de tuf felsique qui contiennent de

l'arsenic. Malgré tout, il faudrait plus d'analyses avant de pouvoir affirmer avec certitude qu'une seule formation soit responsable des fortes concentrations en arsenic.

#### *Les puisatiers et l'association des puits et pompes du Québec*

Les puisatiers (professionnels qui s'occupent des forages et de l'installation des pompes des puits) ont aussi été joints pour obtenir de l'information sur les secteurs possiblement sensibles. Les puisatiers sont tous enregistrés dans le registre de la régie du bâtiment du Québec [35]. Un annuaire est donc disponible avec les adresses, numéros de téléphone et courriels. Quatorze d'entre eux ont été contactés par courriel. Seuls deux ont répondu et ne pouvaient pas confirmer ces hypothèses.

L'association des puits et pompes du Québec a aussi été contactée et n'a pas pu donner d'information supplémentaire.

M. Donat Bilodeau, un expert conseil, a été approché. À sa connaissance, seule la municipalité de St-Gédéon présente des valeurs en arsenic sont proches de la valeur maximale recommandée. L'exploitation d'une nappe granulaire captive sous plus de 40 m d'argile, en contact avec le roc pourrait expliquer ces teneurs. Même si celui-ci n'a pas été foré (Siluro-dévonien : grès, siltite, ardoise, calcaire impur, conglomérat d'après une étude hydrogéologique de la Chaudière de 1982), Mr Bilodeau estime que l'arsenic proviendrait de la formation rocheuse en profondeur.

Globalement, on peut supposer que les teneurs élevées sont réparties selon l'axe Nord-est / Sud-ouest mais il n'est pas possible de confirmer qu'une couche en particulier est responsable du relargage de l'arsenic dans les eaux souterraines. Malgré tout, on peut admettre que cet axe est à explorer en priorité.

#### **6.1.2 Les biomarqueurs à utiliser**

D'après les résultats de cette pré-étude, les biomarqueurs les plus pertinents sont les ongles des gros orteils. Il est donc inutile de continuer à utiliser les cheveux et le 8-OHdG. Les autres ongles ne sont pas nécessaires mais il peut être envisagé de réaliser une analyse avec tous les ongles d'orteils. D'autant plus qu'en général une personne coupera tous les ongles d'orteils si elle doit être prélevée. L'avantage de ce prélèvement est qu'il très peu invasif et très facile à réaliser car il ne nécessite pas l'intervention d'une infirmière.

#### **6.1.3 Des prélèvements d'eau toujours indispensables**

Les niveaux de biomarqueurs ne sont pas nécessairement supérieurs au niveau moyen dans la population. De plus, la mesure des niveaux d'As dans les ongles et les cheveux ne nous renseigne pas toujours sur la spéciation de l'arsenic. Il est donc préférable

d'associer les prélèvements d'ongles aux prélèvements d'eau dans les puits ne serait-ce que pour confirmer ou non des résultats obtenus par les biomarqueurs (élimination de valeurs aberrantes ou questionnement si les niveaux dans les puits sont très faibles). Les analyses de biomarqueurs réalisées en parallèle permettront ainsi de prioriser les actions de gestion.

#### **6.1.4 Un questionnaire alimentaire à modifier**

Si, pour une raison expérimentale, on désire affiner les connaissances sur les apports alimentaires des personnes qui seront intégrées à l'étude de plus grande envergure ; il faudra modifier certaines questions du questionnaire alimentaire.

Voici des éléments qu'ils seraient intéressants de changer :

- Etablir un questionnaire alimentaire sur 1 semaine et pas uniquement sur 2 jours pour avoir des données plus représentatives d'une consommation moyenne à l'année,
- Indiquer clairement les équivalences en poids des portions à renseigner pour faciliter le calcul des apports en As alimentaire,
- Demander si la consommation renseignée sur la semaine est comparable à l'habituelle. Si ce n'est pas le cas, demander à la personne dans quelle mesure ces aliments sont surestimés,
- Renseigner la consommation de légumes produits *in situ* dans le questionnaire car il est prouvé qu'ils peuvent absorber l'arsenic du sol [29]. La dose d'arsenic ingérée est alors plus élevée.

La réalisation d'un tel questionnaire lors d'une étude de grande envergure peut être très lourde à renseigner pour les participants mais aussi pour le traitement des données. Il faut donc se demander si ce travail est nécessaire au vu des résultats obtenus lors de ce mémoire.

## **6.2 Recommandations pour la prise en charge de la population à risque**

### **6.2.1 Les éléments existants au Québec**

Santé Canada, l'INSPQ et le MDDEP ont produit des documents aidant à la prise en charge des situations décrites dans ce mémoire.

Le document du MDDEP intitulé *Le puits* [35] reprend les éléments techniques, réglementaires et juridiques essentiels. On y trouve également le nom et les contacts des personnes ressources. Cependant, il est centré sur le puits en général mais pas sur l'arsenic dans les puits. Il s'agit donc d'un document intéressant à distribuer aux propriétaires de puits dont les teneurs en arsenic sont trop élevées.

Santé Canada a produit un document technique sur l'arsenic. Un chapitre complet est dédié au traitement de l'eau à l'échelle résidentielle. Les principaux éléments seront repris dans la section suivante.

Enfin, l'INSPQ a produit deux documents :

- une fiche arsenic [9],
- un supplément à l'usage exclusif des Directions de santé publique [55].

La fiche arsenic est une synthèse des éléments essentiels à connaître sur l'arsenic (réglementation, sources environnementales, effets sur la santé). Le supplément est un guide pour l'intervention de santé publique. Il ne présente pas la politique officielle du gouvernement du Québec car il n'a pas été soumis à l'approbation du Ministère de la Santé et des Services Sociaux et du Ministère de l'Environnement du Québec [55]. Malgré tout, des éléments de gestion y sont décrits. Dans ce document, on peut lire qu'un puits dépassant la concentration de 10µg/L en As peut présenter un risque et nécessite une intervention. Cette intervention se décline en 6 actions principales :

- recommandation de non-consommation de l'eau contaminée (consommation d'eau embouteillée),
- information des personnes exposées des effets à long terme de l'arsenic grâce à la diffusion de la fiche arsenic,
- installation d'un système de traitement de l'eau,
- approvisionnement à partir d'une source non contaminée,
- recommandation de la mise en place d'un suivi de la qualité de l'eau du puits (pour évaluer les variations de concentration en arsenic),
- diffusion auprès des médecins d'une zone contaminée de la fiche arsenic et du supplément pour faciliter l'intervention.

La diffusion conjointe du document du MDDEP et de la fiche arsenic de l'INSPQ pour informer les populations à risque ou exposées est vivement recommandée dès à présent mais aussi pour la suite de l'étude.

Par rapport à la configuration de l'approvisionnement en eau de la région, il est difficile de trouver une autre source de consommation non contaminée qui soit proche des habitations car il s'agit souvent d'habitations isolées. Au final, les solutions les plus évidentes sont la consommation d'eau embouteillée ou l'installation du système de traitement de l'eau pour éliminer l'arsenic.

### **6.2.2 Le traitement résidentiel de l'eau**

D'après Santé Canada, lorsqu'un ménage tire son eau potable d'un puits privé, un dispositif de traitement de l'eau potable résidentiel privé permet de réduire les concentrations d'arsenic dans l'eau potable. Les dispositifs de traitement résidentiels

peuvent réduire les concentrations d'arsenic dans l'eau potable à des niveaux inférieurs à 0,010 mg/L [11].

Les procédés de dépollution des eaux sont basés sur 4 mécanismes principaux [56]:

- la précipitation qui piège l'arsenic en formant un précipité insoluble,
- l'oxydoréduction qui change la spéciation de l'arsenic pour modifier sa capacité de précipitation ou de sorption mais également sa toxicité,
- la sorption qui piège l'arsenic à l'aide d'un matériau sorbant,
- la filtration qui sépare physiquement les phases contenant de l'arsenic.

L'élimination de l'arsenic à l'échelle résidentiel comporte des avantages et des inconvénients. Il y a peu de bénéficiaires mais l'avantage réside dans l'exclusivité de la maintenance car un petit système individuel reste plus facile à entretenir qu'un gros système collectif [57].

Quelque soit le traitement à mettre en place, il est recommandé de réaliser un prétraitement par oxydation [58] pour convertir l'arsenic trivalent (dissous) en arsenic pentavalent (filtrable). L'oxydation peut être réalisée à l'aide d'un oxydant fort tel que le chlore, le permanganate de potassium, l'hypochlorite ou l'ozone par exemple [15].

De nombreux traitements d'élimination de l'arsenic existent (tableau 8).

Tableau 8 Traitement pour l'élimination de l'arsenic [11], [37], [56].

Méthode	Exemple de traitement
Oxydation	Utilisation de peroxyde d'hydrogène (H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ), d'hypochlorite de sodium (NaOCl), de permanganate de potassium (KMnO <sub>4</sub> ), de chlorure de fer (FeCl <sub>3</sub> ), de dioxyde de manganèse (MnO <sub>2</sub> ) ou de dichlore (Cl <sub>2</sub> ).
Précipitation	Adoucissement à la chaux
	Coagulation, floculation avec des sels de fer (III) ou d'aluminium (III)
Adsorption/échange ionique	Alumine activée
	Oxydes de fer ou de manganèse
	Résine échangeuse d'ions
	Charbon actif
Technique membranaire	Nanofiltration
	Osmose inverse
	Filtration membranaire après filtration
	Electrodialyse
Evaporation	Distillation

Pour des raisons de faisabilité technique, les dispositifs de traitement de l'eau potable résidentiel privé disponibles utilisent seulement l'osmose inverse, la distillation à vapeur, l'adsorption et la filtration [11]. De nombreux filtres individuels et osmoseurs pour le traitement des eaux domestiques existent dans le commerce. Les filtres à cartouche par exemple éliminent les métaux lourds à plus de 98 % [59].

L'osmose inverse individuelle peut quant à elle en éliminer jusqu'à 85 %.

#### *L'adsorption/échange ionique*

Cette technique est facile et simple d'utilisation, le système se régénère très facilement (Santé Canada, 2006). Elle se répandrait de plus en plus dans les petits systèmes de traitement de l'eau.

Selon Didier Plaat, un expert conseil canadien sur le traitement de l'eau potable, les prix d'acquisition pour les systèmes au charbon activé sont modestes. Il faut compter environ 300\$ à 400\$ pour une installation au point d'utilisation. Pour une installation au point d'entrée, selon que l'on opte pour un système à grandes cartouches ou bien en cylindre avec média lavable, les prix varient entre 1000\$ à 1800\$. Un traitement au point d'entrée a l'avantage de fournir une eau conforme dans toute la résidence. Le remplacement de cartouches ou de média n'est en général nécessaire qu'une fois par an mais cela dépend du nombre de personnes à desservir par résidence. Il en coûte environ 50\$ par filtre. Selon une autre source, les filtres sur robinet coûtent entre 20 \$ et 60 \$. Les carafes filtrantes sont généralement les moins onéreuses : elles se vendent moins de 25 \$ [60].

#### *L'osmose inverse*

Cette technique, en plus d'être efficace, est très répandue, abordable et facile à entretenir. Premier bémol, elle nécessite un volume conséquent pour produire de l'eau potable en quantité suffisante car elle rejette beaucoup d'eau. Il faudrait environ 7 litres d'eau brute pour produire 1 litre d'eau potable. De plus, pour allonger la durée de vie du système et éviter un encrassement trop précoce, l'utilisateur devra prétraiter son eau d'arrivée [11]. Par cette technique, 98% des autres minéraux dissous sont éliminés, les suspensions colloïdales fines et les matières grossières en suspension aussi. Cela veut donc dire que les minéraux bénéfiques pour la santé (calcium, magnésium) sont aussi éliminés. Une reminéralisation ou une alimentation très équilibrée peut compenser cette perte minérale [11].

Selon Didier Plaat, les systèmes d'osmose inverse au point d'utilisation varient entre 800\$ à 1 000\$, selon qu'ils arborent ou non la certification National Sanitation Foundation (NSF) et selon le type de robinet de comptoir. Les frais d'entretien et de remplacement de filtres et membranes varient selon les vendeurs et la main d'oeuvre. Il faut compter environ 50\$ pour les filtres 1 fois par an et 150\$ pour la membrane tous les 2 ans. Pour une installation pour la maison entière (au point d'entrée) les prix sont très variables. Cela peut aller jusqu'à une dizaine de milliers de dollars.

### *La distillation à vapeur*

Ce système est plus complexe que l'osmose inverse mais très efficace. Il est cependant moins répandu et comme l'osmose inverse, il déminéralise complètement l'eau.

A noter qu'avant toute mise en place d'un système de traitement, il est important de réaliser une analyse complète de l'eau de consommation afin de connaître la présence ou non d'ions en compétition (ex : fluorure, fer, sulfate, silicate) et de matières organiques dans l'eau qui pourraient diminuer le rendement du traitement. Le pH de l'eau joue aussi un rôle essentiel sur la distribution des formes arséniées dans l'eau car la dissociation des arsénites et des arséniates est pH dépendante. Ainsi, un changement de pH entraîne un changement de forme de l'arsenic. Il faut donc travailler avec un pH stable.

Enfin, il est fortement recommandé d'utiliser des appareillages certifiés par la National NSF car ces derniers sont reconnus pour respecter des critères de qualité [35]. De plus, pour vérifier l'efficacité du dispositif de traitement, des analyses doivent être effectuées périodiquement auprès d'un laboratoire accrédité et porter aussi bien sur l'eau qui entre dans le dispositif que sur celle qu'il produit [11].

### **6.3 Les personnes à risque de cette pré-étude**

On estime qu'il existe un risque à des concentrations supérieures à 10 µg/L. il donc est préférable d'agir sur les puits dont cette valeur est dépassée car :

- les analyses de laboratoires comportent des incertitudes analytiques,
- la spéciation de l'arsenic joue un rôle primordial sur la cancérogénicité de l'élément chimique mais on ne connaît pas cette spéciation,
- les personnes potentiellement à risque seraient celles qui possèdent des puits artésiens dont les concentrations dépassent 10 µg/L,
- les prélèvements peuvent être accompagnés d'erreur d'échantillonnage.

De plus, les résultats statistiques issus de cette étude vont dans le même sens que la limite de qualité de 10µg/L recommandée par l'OMS, car les corrélations obtenues sont plus fortes et plus nombreuses au dessus de cette valeur. Cela signifie qu'au dessus de cette valeur le risque d'effets est plus marqué.

Comme on a pu le voir dans la partie méthodologie, le niveau d'arsenic moyen retrouvé dans les cheveux est inférieur à 1 µg/g [9]. Dans les ongles, ce niveau varie de < 1.5 µg/g à 7.7 µg/g [17].

Chez les participants, aucun ne présente de concentrations dans les ongles supérieures à la normale et seulement 3 personnes présentent une concentration totale dans tous les ongles supérieure à 1,5µg/g. Et pour les concentrations dans les cheveux, une seule personne possède une concentration à peine supérieure aux valeurs moyennes.

Bien que le retour d'expérience en Abitibi Témiscamingue [18] indique que les effets de l'arsenic sur la santé ne sont pas forcément corrélés au dépassement des niveaux moyens de biomarqueurs dans les ongles et les cheveux, il peut être intéressant de s'aider des résultats obtenus pour prioriser les actions.

A partir de ces observations voici les 4 participants dont la situation semblerait la plus urgente :

Tableau 9 : Numéros des 4 participants dont les niveaux de biomarqueurs sont supérieurs ou égale à la normale

N° participant	Concentration dans le puits (µg/L)	Arsenic total Gros ongles ppm (µg/g)	Arsenic total Autres ongles ppm (µg/g)	Arsenic total Cheveux ppm (µg/g)	Nombre d'année d'habitation à la résidence
16	<b>36</b>	0,427	0,660	<b>1,028</b>	<b>17</b>
40	<b>99</b>	0,958	<b>1,497</b>	0,294	6
46	<b>40</b>	0,314	<b>1,759</b>	0,129	11
93	<b>140</b>	1,426	<b>1,817</b>	0,437	<b>18</b>

Pour ces 4 personnes, il faudrait leur distribuer la fiche arsenic ainsi que le document sur le puits du MDDEP afin qu'ils réalisent l'importance de mettre en place un système de traitement de l'eau.

Les 17 autres participants présentant un risque correspondent aux personnes dont la concentration du puits dépasse les 10µg/L. Une campagne de prévention devra aussi être menée auprès de ces participants.

Au delà des personnes directement impliquées par cette étude, il faudrait dès aujourd'hui lancer une campagne de prévention à l'échelle régionale. Cette campagne pourrait sensibiliser les propriétaires de puits et les inciter à faire analyser leur eau.

La méconnaissance du profil de la qualité de l'eau des puits privés dans cette région nécessite donc une responsabilisation de sa population pour aider les services de santé à localiser les puits à problème.

## 7 Conclusion

L'étude effectuée à l'Université de Montréal, et en partenariat avec l'INSPQ, visait à réaliser une évaluation de l'exposition et des risques potentiels pour la population possédant des puits privés d'alimentation en eau potable dans la région Chaudière-Appalaches. Celle-ci s'est faite à l'aide de biomarqueurs d'exposition et d'effet. L'identification des personnes possédant des puits contenant de l'arsenic a été réalisée à partir des données fournies par le MRNF. Au final, un seul puits correspondait aux données de 1983. L'étude a donc porté sur de nouveaux puits.

Les données récoltées lors des prélèvements ont fait l'objet d'une analyse statistique qui a révélé plusieurs éléments très intéressants :

- parmi les 3 biomarqueurs de l'exposition passée utilisés dans cette étude, le gros ongle d'orteil semble être le plus fiable,
- le 8-OHdG ne s'est pas montré intéressant comme biomarqueur d'effet,
- les niveaux de biomarqueurs d'exposition augmentent bien en fonction de la concentration en As dans le puits,
- l'alimentation ne semble pas expliquer les variations de biomarqueurs à des concentrations en As inférieures à 10µg/L,
- l'eau est bien le facteur principal documenté expliquant les variations des niveaux de biomarqueurs à des concentrations supérieures à 10µg/L.

L'abaissement de la limite de qualité à 10 µg/L prévu au Québec serait donc justifié sur la base de ces principaux résultats.

Les résultats de cette étude montrent également que 21 personnes possèdent des puits dont les concentrations sont supérieures à 10µg/L. Sur ces 21 personnes, seules 5 présentent des niveaux de biomarqueurs supérieures ou égales aux valeurs moyennes retrouvées dans la population générale. Pour ces 5 personnes, une intervention prioritaire est nécessaire.

Les recommandations de mesures de gestion se résument très souvent à quelques actions telles que la non-consommation de l'eau contaminée, l'information des personnes exposées des effets à long terme de l'arsenic, l'installation d'un système de traitement de l'eau, l'approvisionnement à partir d'une source non contaminée.

Au niveau résidentiel, des systèmes de traitement existent. Les techniques employées sont l'osmose inverse, l'adsorption/filtration et la distillation à vapeur. Elles ont prouvé leur efficacité mais nécessitent quelques explications d'entretien. L'osmose inverse et la filtration sur charbon actif restent les 2 procédés recommandés.

Il ne faut pas oublier que ce projet n'est qu'une pré-étude qui donnera suite à une étude plus vaste. Malgré le faible échantillon, des résultats significatifs sont ressortis. De ces derniers découlent des orientations pour la prochaine étude :

- ne pas utiliser les cheveux et le 8-OHdG comme biomarqueurs ;
- n'utiliser que le gros ongle d'orteil ou alors faire un mélange de tous les ongles d'orteils pour la mesure biologique ;
- faire des mesures systématiques des valeurs dans les puits,
- ne pas chercher à retrouver les puits mesurés lors de l'étude de 1983 mais repartir sur une nouvelle base de données,
- identifier les secteurs potentiellement à risque à l'aide des concentrations dans les sols,
- modifier le questionnaire alimentaire afin qu'il corresponde plus à la réalité d'exposition.

Cette étude permettra de confirmer ou non les observations faites en s'appuyant sur des tests paramétriques. Des modèles multivariés pourront alors être réalisés ce qui permettra d'aller beaucoup plus loin dans l'interprétation.

Globalement, l'utilisation de la surveillance biologique a permis de mesurer de manière individuelle l'exposition. Par rapport à une évaluation quantitative des risques, la surveillance biologique permet de prioriser et cibler les actions de gestion. En effet, on peut voir que toutes les personnes ne réagissent pas de la même manière d'un point de vue métabolique face au danger que représente l'arsenic. La variabilité individuelle est donc réellement prise en compte. L'un des principaux inconvénients de l'analyse de l'As total, est qu'il peut conduire à surestimer le risque. Il sera donc nécessaire de confirmer ces résultats avec ceux qui seront trouvés avec l'urine. En effet, la spéciation de l'arsenic y aura été analysée.

Et pour répondre au titre de ce mémoire, on peut dire qu'à des concentrations  $>10\mu\text{g/L}$  dans les puits, l'eau qu'ils contiennent contribue significativement à la dose absorbée d'arsenic chez les personnes exposées. En revanche, à des teneurs plus faibles, il est moins évident de faire ce lien.

---

## BIBLIOGRAPHIE

---

- [1] MAZUMDER GUHA D. N. et al., 2007. Effect of Drinking Arsenic Contaminated Water in Children. *Indian pediatrics*. Volume 44. December 17. pp. 925-927
- [2] CHAUDHURI S. et al., 2007. Arsenic-induced health effects and genetic damage in keratotic individuals: Involvement of p53 arginine variant and chromosomal aberrations in arsenic susceptibility, *Mutat. Res.: Rev. Mutat. Res.* (2008). doi:10.1016/j.mrrev.2007.11.008
- [3] HABIBUL A. et al., 2006. Arsenic Exposure from Drinking Water and Risk of Premalignant Skin Lesions in Bangladesh: Baseline Results from the Health Effects of Arsenic Longitudinal Study. *Am J Epidemiol* 2006;163. pp.1138–1148
- [4] SMITH A. et al., 2000. Contamination of drinking-water by arsenic in Bangladesh: a public health emergency. *Bulletin of the World Health Organization*, 2000, 78. pp. 1093-1103
- [5] BISWAS et al., 2008. Mechanism of erythrocyte death in human population exposed to arsenic through drinking water, *Toxicology and Applied Pharmacology* (2008), doi: 10.1016/j.taap.2008.02.003
- [6] WHO, 2003. Arsenic, Drinking-water and Health Risk Substitution in Arsenic Mitigation : Discussion Paper. A report prepared for the Arsenic Policy Support Unit, Local Government Division, Government of Bangladesh. 54p
- [7] SMITH A. et al. 1992. Cancer Risks from Arsenic in Drinking Water. *Environmental Health Perspectives*. Vol. 97, pp. 259-267
- [8] BRETON. et al., 2007. *GSTM1* and *APE1* genotypes affect arsenic-induced oxidative stress: a repeated measures study. *Environmental Health* 2007. pp.6:39
- [9] INSPQ, Groupe scientifique sur l'eau, 2006. Fiche arsenic, dans fiches synthèses sur l'eau potable et la santé humaine. Institut National de Santé Publique. 9p : [visité le 10.04.2008]. Disponible sur Internet : <http://www.inspq.qc.ca/pdf/publications/198-CartableEau/Arsenic.pdf>

[10] TURCOTTE E., 2006. Profil de la santé environnementale de la région Chaudière-Appalaches 1998-2005. Agence de la santé et des services sociaux de la région Chaudière-Appalaches. Direction de la santé publique et de l'évaluation. 180p [visité le 10.04.2008]. Disponible sur Internet :

<http://www.rrsss12.gouv.qc.ca/documents/DSPE-TurEri.ProfilDesanteenv.pdf>

[11] SANTE CANADA, 2006. L'arsenic. Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada : document technique. 37p : [visité le 10.03.2008]. Disponible sur Internet :

[http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/alt\\_formats/hecs-sesc/pdf/pubs/water-eau/arsenic/arsenic\\_f.pdf](http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/alt_formats/hecs-sesc/pdf/pubs/water-eau/arsenic/arsenic_f.pdf)

[12] INVS, 2002. Exposition chronique à l'arsenic hydrique et risques pour la santé. Bilan épidémiologiques. Evaluation quantitative des risques sanitaires en Auvergne. 105p : [visité le 19.03.2008]. Disponible sur Internet :

[http://www.invs.sante.fr/publications/2003/arsenic/rapport\\_arsenic.pdf](http://www.invs.sante.fr/publications/2003/arsenic/rapport_arsenic.pdf)

[13] ATSDR, 2006. Arsenic. ToxFAQs: Chemical Agent Briefing Sheet (CABS) ToxFAQs. Division of Toxicology and Environmental Medicine (DTEM). 7p : [visité le 14.04.2008]. Disponible sur Internet :

[http://www.atsdr.cdc.gov/cabs/arsenic/arsenic\\_cabs.pdf](http://www.atsdr.cdc.gov/cabs/arsenic/arsenic_cabs.pdf)

[14] WHO, 2001. Arsenic in drinking water. Fact sheet n°210. [visité le 10.04.2008]. Disponible sur Internet : <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs210/en/>

[15] LAPERCHE V. et al., 2003. Guide méthodologique de l'arsenic appliqué à la gestion des sites et sols pollués. BRGM/RP-52066-FR. 91p : [visité le 10.04.2008]. Disponible sur Internet : [www.brgm.fr/Rapport?code=RP-52066-FR.pdf](http://www.brgm.fr/Rapport?code=RP-52066-FR.pdf)

[16] AFSSA, 2004. Evaluation des risques sanitaires liés aux situations de dépassement des limites et références de qualité des eaux destinées à la consommation humaine. 96p.

[17] HUGUES F.M., 2006. Biomarkers of exposure : a case study with inorganic arsenic. Environmental Health Perspectives. Volume 114. Number 11. pp1790-1796

[18] GAGNE D., 1998. L'arsenic et la santé humaine : la littérature et le vécu. Comité de santé environnementale du Conseil des directeurs de santé publique du Québec. Bulletin

d'information en santé environnementale. Volume 9. N°1, janvier-février 1998. 8p. [visité le 14.04.2008]. Disponible sur Internet :

[http://www.inspq.qc.ca/bulletin/bise/1998/bise\\_9\\_1.asp](http://www.inspq.qc.ca/bulletin/bise/1998/bise_9_1.asp)

[19] BURNOL, 2004. Recommandations pour la modélisation des transferts métalliques dans les eaux souterraines. Rapport final. BRGM/RP-52910-FR. 73p : [visité le 10.04.2008]. Disponible sur Internet : [www.brgm.fr/Rapport?code=RP-52910-FR.pdf](http://www.brgm.fr/Rapport?code=RP-52910-FR.pdf)

[20] PICHARD A., 2006. INERIS. Arsenic et ses dérivés organiques. 78p : [visité le 24.03.2008]. Disponible sur Internet :

<http://www.ineris.fr/index.php?module=doc&action=getFile&id=136>

[21] MATTHESS G., 1982. The Properties of Groundwater. A Wiley Interscience Publication. John Wiley & Sons. Printed in the United States of America.

[22] LENOBLE V., 2003. Elimination de l'arsenic pour la production d'eau potable : oxydation chimique et adsorption sur des substrats solides innovants. Thèse pour obtenir le grade de docteur en chimie et microbiologie de l'eau. Université de Limoges. 151p : [visité le 10.04.2008]. Disponible sur Internet :

<http://www.unilim.fr/theses/2003/sciences/2003limo0011/lenoble.pdf>

[23] Site du Ministère des ressources naturelles :

<http://www.mrnf.gouv.qc.ca> [site consulté le 04.06.2008]

[24] INRA, 2004. Etude de l'alimentation totale française. Mycotoxines, minéraux et éléments traces. 68p : [visité le 10.04.2008]. Disponible sur Internet : [http://www.nord-nature.org/info\\_veille/2004/200409062.pdf](http://www.nord-nature.org/info_veille/2004/200409062.pdf)

[25] GAGNON F., 2004. Comité de santé environnementale du Conseil des directeurs de santé publique du Québec. Etude sur les risques associés à la contamination chimique des mollusques. Bulletin d'information en santé environnementale. Volume 15. N°3-4, mai-août 2004. 7p . [visité le 14.04.2008]. Disponible sur Internet : <http://www.inspq.qc.ca/pdf/bulletins/bise/BISE-15-3-4.pdf>

[26] UCHINO T. et al, 2005. intake of arsenic from water, food composites and excretion through urine, hair from a studied population in west Bengal, India. Food and chemical toxicology. Volume 44. pp 455-461

[27] BUSCHMANN J. et al, 2007. Contamination of drinking water resources in the Mekong delta floodplains: Arsenic and other trace metals pose serious health risks to population, *Environ Int* (2008), doi:10.1016/j.envint.2007.12.025

[28] KURTTIO P. et al, 1999. Arsenic concentrations in well water and risk of bladder and kidney cancer in Finland. *Environmental Health Perspectives*. Volume 107. Number 9. pp 705-710

[29] BOULANGER H., 2005. Pertinence de la mise en place d'une étude d'imprégnation à l'arsenic d'origine tellurique de la population lorraine. Mémoire de l'Ecole Nationale de Santé Publique. Rennes. 43p

[30] GAGNE D. Direction de la santé publique Abitibi-Témiscamingue. Disponible sur Internet :

<http://www.bape.gouv.qc.ca/sections/archives/eau/docdeposes/lesdocumdeposes/pota8.pdf>

[31] BRGM, 2007. L'eau souterraine est-elle toujours potable à l'état naturel ?. *Géosciences* n°. Mars 2007. [visité le 14.07.2008]. Disponible sur Internet : <http://www.brgm.fr/dcenewsFile?ID=313>

[32] Conférence régionale des élus de la Chaudière-Appalaches, 2005. Profil socio économique de la Chaudière-Appalaches. Faits saillants et statistiques régionales. 329p : [visité le 14.04.2008]. Disponible sur Internet :

[http://www.chaudiere-appalaches.qc.ca/upload/chaudiere-appalaches/editor/asset/CRE\\_CA%20Profil%20ECO%20-%206.pdf](http://www.chaudiere-appalaches.qc.ca/upload/chaudiere-appalaches/editor/asset/CRE_CA%20Profil%20ECO%20-%206.pdf)

[33] MDDEP, 1999. Portrait régional de l'eau. Chaudière-Appalaches, région administrative 12. 39p

[34] COBARIC, 2008. Atlas des eaux souterraines de la rivière Chaudière. Comité de bassin versant de la rivière Chaudière. Secteurs de la Basse-Chaudière et de la Moyenne-Chaudière. CD-Rom

[35] MDDEP, 2003. Le puits. Ouvrages de captage individuel. Bibliothèque Nationale du Québec. ISBN 2-550-409-80-9. envirodoq ENV/2003/0256. 52p. [visité le 15.06.2008]. Disponible sur Internet : [http://www.mddep.gouv.qc.ca/eau/souterraines/puits/le\\_puits.pdf](http://www.mddep.gouv.qc.ca/eau/souterraines/puits/le_puits.pdf)

[36] DGS, 2004. Circulaire n° DGS/SD7A/2004/602 du 15 décembre 2004 relative à la gestion du risque sanitaire en cas de dépassement des limites de qualité des eaux destinées à la consommation humaine pour les paramètres antimoine, arsenic, fluor, plomb et sélénium en application de l'article R. 1321-26 à R. 1321-36 du Code de la Santé Publique. DGS, sous direction de la gestion des risques des milieux. Bureau des eaux. 7p

[37] BLARD S., 2005. Les techniques de traitement des eaux chargées en arsenic, fluor et plomb. ENGREF Centre de Montpellier. Ministère de l'agriculture et de la pêche. 21p : [visité le 24.03.2008]. Disponible sur Internet : <http://www.agroparistech.fr/IMG/pdf/blard.pdf>

[38] INERIS, 2006. Eléments sur l'origine et le mode de l'élaboration des valeurs réglementaires de l'eau, l'air et des denrées alimentaires applicables en France pour les substances chimiques. Rapport d'étude n°INERIS-DRC-06-75999/DESP-R1b. 163p : [visité le 10.05.2008]. Disponible sur Internet : [www.ineris.fr/index.php?module=doc&action=getFile&id=2971](http://www.ineris.fr/index.php?module=doc&action=getFile&id=2971)

[39] DRASS PACA, 2003. Présence d'arsenic dans l'eau de distribution de la commune de Touet-de-l'Escarène. Evaluation quantitative des risques sanitaires. 17p

[41] ATSDR, 2007. Toxicological profile for arsenic. U.S. Department of Health and Human Services. Public Health Service Agency for Toxic Substances and Disease Registry. 559p : [visité le 10.04.2008]. Disponible sur Internet : <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp2.pdf>

[41] SLOTNICK M. J. et al, 2007. Toenail as a biomarker of inorganic arsenic intake from drinking water and foods. Journal of toxicology and environmental health. Part A. Volume 70. pp 148-158

[42] JOYCE S. TSUJI et al., 2005. Evaluation of exposure to arsenic in residential soil. Environmental Health and perspectives. Volume 113. Numbre 12. pp1735-1740

[43] VALENZUELA O. et al., 2005. Urinary trivalent methylated arsenic species in a population chronically exposed to Inorganic Arsenic. Environmental Health Research. Volume 113. Number 3. pp 250-254

[44] CALDERON R. et al, 1999. Excretion of arsenic in urine as a function of exposure to arsenic in drinking water. *Environmental Health Perspectives*. Volume 107. Number 8. pp 663-667

[45] ACGIH, 2001. TLVs and BEIs based on the documentations of the Threshold Limit Values for chemical substances and physical agents and Biological Exposure Indices. ACGIH, Cincinnati.

[46] SLOTNICK M. J. et al, 2006. Validity of human nails as a biomarker of arsenic and selenium exposure : a review. *Environmental research* 102. pp125-139

[47] KUBOTA R. et al., 2005. Urinary 8-hydroxy-2'-deoxyguanosine in inhabitants chronically exposed to arsenic in groundwater in Cambodia. *Journal of Environmental Monitoring*. Royal Society of Chemistry. Volume 8. pp 293-299

[48] SCHWERDTLE T. et al., 2003. Induction of oxidative DNA damage by arsenite and its trivalent and pentavalent methylated metabolites in cultures human cells and isolated DNA. *Carcinogenesis*. Volume 24. Number 5. pp.967-974

[49] KITCHIN K., 2001. Recent advances in arsenic carcinogenesis : mode of action, animal model systems, and methylated arsenic metabolites. *Toxicology and applied pharmacology*. Volume 175. pp249-261

[50] ANDREW A. et al., 2005. Arsenic exposure is associated with decreased DNA repair *in vitro* and in individuals exposed to drinking water arsenic. *Environmental Research Perspectives*. Volume 114. Number 8. pp1193-1198

[51] DABEKA et al., 1993. Survey of arsenic in total diet food composites and estimation of the dietary intake of arsenic by canadian adults and children. *Journal of AOAC International*. Vol. 76, n°1. pp14-25

[52] UNEYAMA et al., 2007. Arsenic in various food : cumulative data. Taylor and francis. pp 447-534

[53] BOUCHARD M *et al.*, 2008. Surveillance biologique de l'exposition aux hydrocarbures aromatiques polycycliques d'origine industrielle à Baie-Comeau. INSPQ. Agence de la Santé et des services sociaux de la côte nord. 181p

[54] SLIVITZKY A. et St JULIEN P., 1987. Compilation géologique de la région de l'Estrie-Beauce. MM 85-04. Bibliothèque nationale du Québec. Gouvernement du Québec. 51p

[55] INSPQ, Groupe scientifique sur l'eau, 2006. Arsenic, supplément à l'usage exclusif des directions de santé publique. Institut National de Santé Publique. 6p

[56] BARANGER, 2004. Synthèse des travaux de R&D en France (1999-2004) sur la thématique arsenic. Rapport final. BRGM/RP-53252-FR. 130p : [visité le 14.04.2008]. Disponible sur Internet :

<http://www2.brgm.fr/Arsenic/fichiers/Synth%C3%A8se%20ARSENIC%20RP%2053252.pdf>

[57] RICHARD J, 2001. WHO. United Nations Synthesis Report on Arsenic in Drinking Water. Chapter 6. Final Draft. Chapter 6: Safe Water Technology., [visité le 12.07.2008]. Disponible sur Internet : [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/dwq/arsenicun6.pdf](http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/arsenicun6.pdf)

[58] US EPA, 2002. Arsenic mitigation strategies : [visité le 16.07.2008]. Disponible sur Internet :

[http://www.epa.gov/safewater/arsenic/pdfs/arsenic\\_training\\_2002/train5-mitigation.pdf](http://www.epa.gov/safewater/arsenic/pdfs/arsenic_training_2002/train5-mitigation.pdf)

[59] Judo France :

[http://www.judo-online.de/judo/PROSPEKTE/FR/Ref\\_1931005\\_CEFI.pdf](http://www.judo-online.de/judo/PROSPEKTE/FR/Ref_1931005_CEFI.pdf)

[60] Société canadienne d'hypothèque et de logement : [http://www.cmhc-schl.gc.ca/fr/co/enlo/eaeaus/eaeaus\\_004.cfm](http://www.cmhc-schl.gc.ca/fr/co/enlo/eaeaus/eaeaus_004.cfm)

[61] INRS, 2006. Arsenic et composés minéraux. Fiche toxicologique. 6p : [visité le 19.03.2008]. Disponible sur Internet : [http://www.inrs.fr/inrs-pub/inrs01.nsf/intranetobject-accesparreference/ft%20192/\\$file/ft192.pdf](http://www.inrs.fr/inrs-pub/inrs01.nsf/intranetobject-accesparreference/ft%20192/$file/ft192.pdf)

[62] SUN et al., 2007. Urinary arsenic metabolites in children and adults exposed to arsenic in drinking water in Inner Mongolia, China. Environmental Health Research. Volume 115. number 4. pp.648-652

[63] WANG S.-X., 2007. Arsenic and fluoride exposure in drinking water: Children's IQ and growth in Shanyin County, Shanxi Province, China. Environmental Health Perspectives. Volume 115. Number 4. April 2007. pp 643-647

[64] Mc CARTHY, 2007. Arsenic methylation, GSTT1, GSTM1, GSTP1 Polymorphisms, and skin lesions. Environmental Health Perspectives. Volume 115. Number 3. pp 341-345

[65] LINDBERG, A.-L., et al., 2007. The risk of arsenic induced skin lesions in Bangladeshi men and women is affected by arsenic metabolism and the age at first exposure. Toxicol. Appl. Pharmacol. (2008). 8p

[66] NILANJANA B. et al., 2007 Arsenic-induced mitochondrial instability leading to programmed cell death in the exposed individuals. Toxicology 246 (2008). pp. 101–111

**Sites internet consultés:**

La qualité de l'eau potable au Québec:

<http://www.mddep.gouv.qc.ca/eau/potable/brochure/index.htm> [site consulté le 16.04.2008]

Portrait régional de l'eau. Chaudière-Appalaches. :

<http://www.mddep.gouv.qc.ca/eau/regions/region12/12-chaudiere.htm#2> [site consulté le 16.04.2008]

Profil socio économique de la Chaudière-Appalaches :

<http://www.chaudiere-appalaches.qc.ca/site.asp?page=element&nIDElement=504> [site consulté le 13.04.2008]

Santé Canada : Fichier Canadien sur les éléments nutritifs (FCEN) : <http://www.hc-sc.gc.ca/fn-an/nutrition/fiche-nutri-data/index-fra.php>

---

## Tableaux et figures

---

### Liste des figures :

Figure 1 : la répartition de la population régionale par types de municipalités régionales de comté (MRC) .....	8
---	---

### Liste des tableaux :

Tableau 1 : Répartition des 3 groupes de résidents recrutés <i>a priori</i> .....	17
Tableau 2 : Répartition des 3 groupes de résidents recrutés <i>a posteriori</i> .....	18
Tableau 3: Répartition des réponses à la question : Est-ce que la quantité d'eau consommée du puits le jour précédent la collecte était ou non comparable à l'habituel ?	25
Tableau 4: Répartition des réponses à la question : Est-ce que la quantité d'eau consommée du puits le jour de la collecte était ou non comparable à l'habituel ? .....	25
Tableau 5 Distribution des concentrations en arsenic dans l'eau de consommation .....	27
Tableau 6: Distribution des concentrations en arsenic dans les ongles d'orteil, dans les cheveux et en 8-OHdG .....	29
Tableau 7 : Corrélation entre les niveaux de biomarqueurs et le nombre d'années de résidence des participants (pour l'ensemble des groupes) .....	31
Tableau 8 Traitement pour l'élimination de l'arsenic [11], [37], [56]. .....	42
Tableau 9 : Numéros des participants dont les niveaux de biomarqueurs sont supérieurs ou égale à la normale .....	45

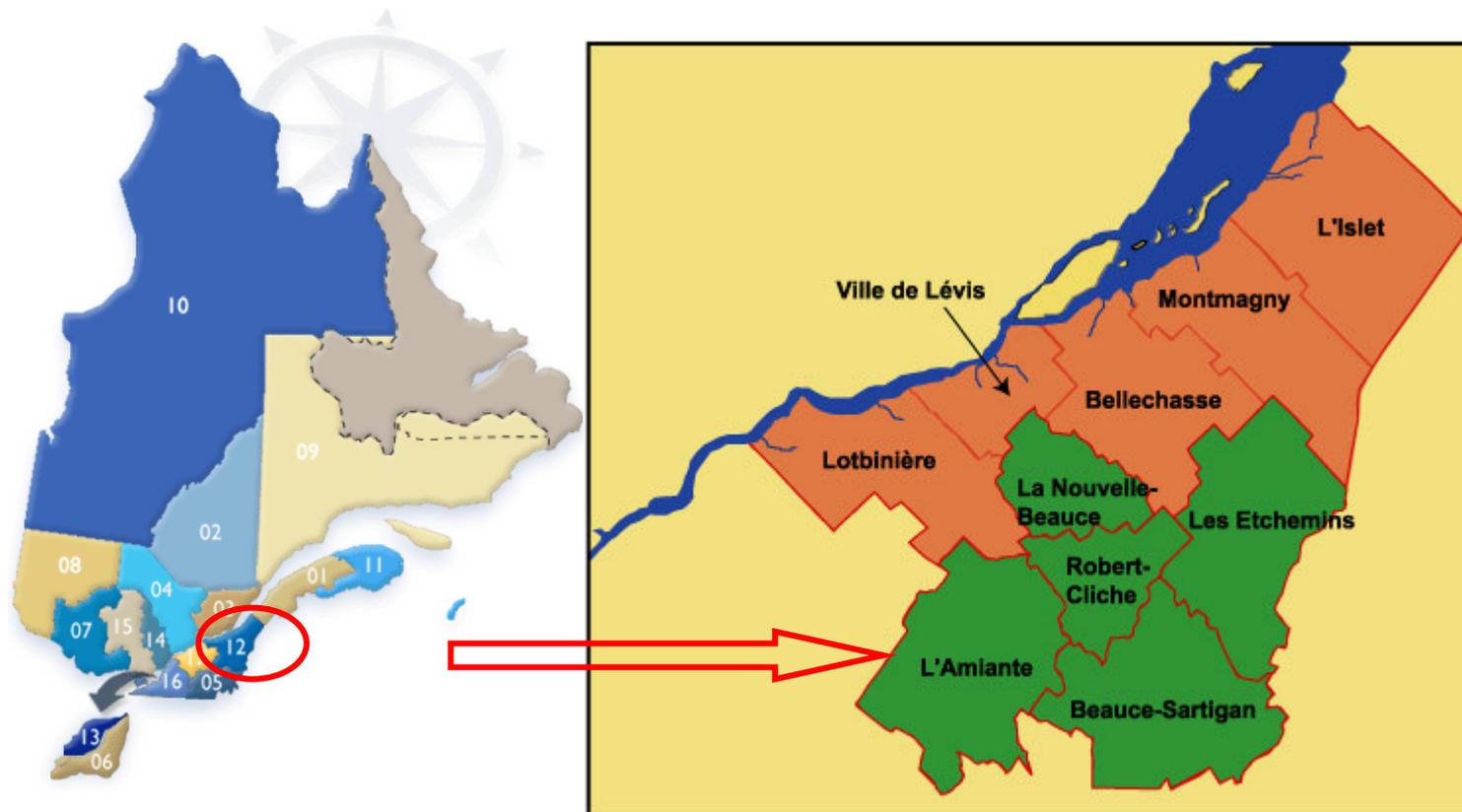
---

## LISTE DES ANNEXES

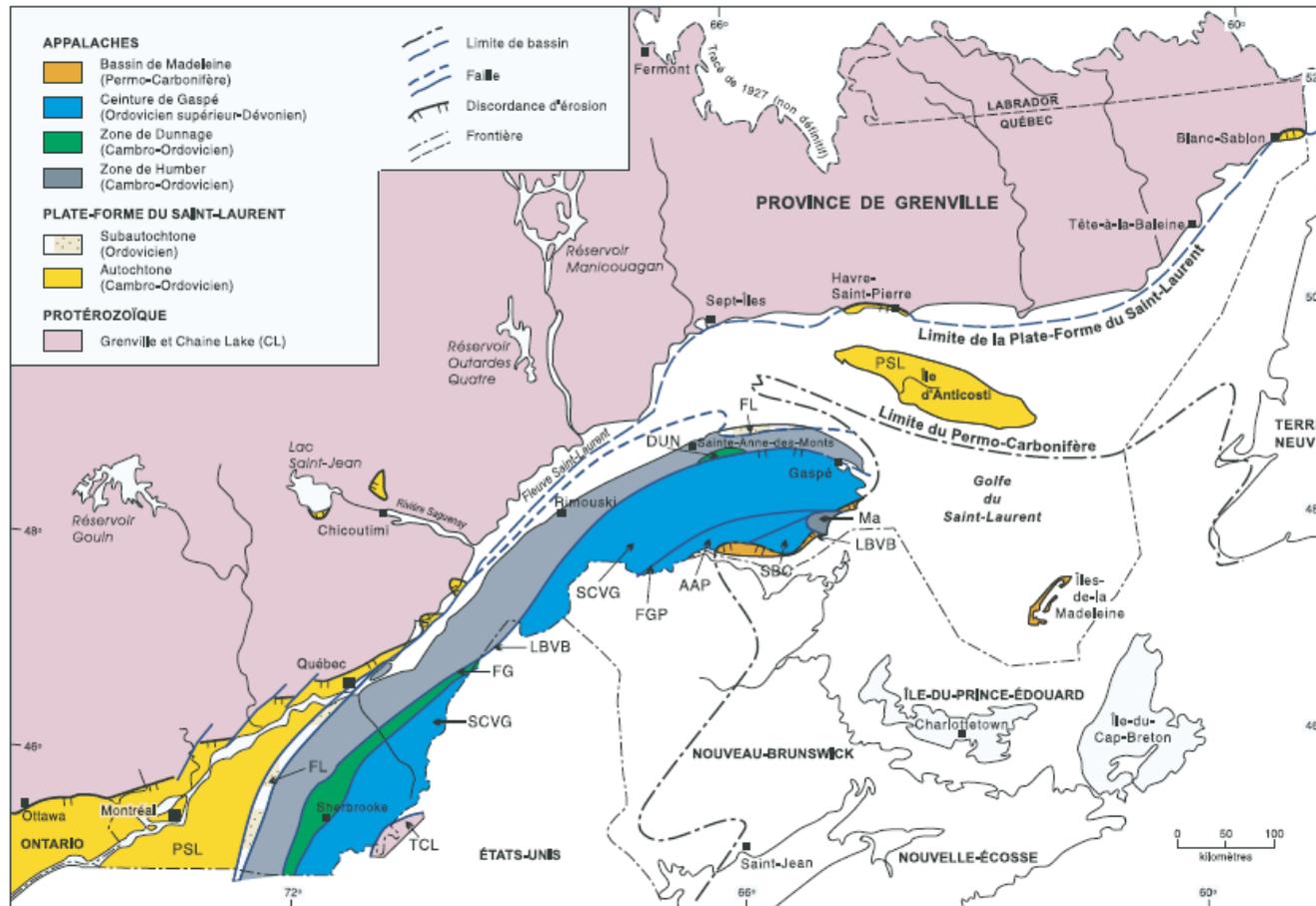
---

Annexe 1 : Situation géographique de la région Chaudière-Appalaches.....	59
Annexe 2 : Cartes géologiques de la région Chaudière-Appalaches.....	60
Annexe 3 : Tableau périodique.....	62
Annexe 4 : Fiche toxicologique de l'arsenic.....	63
Annexe 5 : Questionnaire alimentaire.....	70
Annexe 6 : Questionnaire habitudes de vie .....	89
Annexe 7 : Liste des variables du questionnaire .....	95
Annexe 8 : Estimation de l'apport alimentaire (en µg/g) .....	99
Annexe 9 : Caractéristiques sociodémographiques des participants et facteurs documentés par questionnaire montrant une différence de distribution selon le groupe de concentration .....	101
Annexe 10 : Carte des puits mesurés lors de l'étude .....	102
Annexe 11 : Test de normalité.....	115
Annexe 12 : Corrélations de Spearman pour l'ensemble des 3 groupes de concentration .....	117
Annexe 13 : Corrélations de Spearman pour chacun des 3 groupes de concentration .....	118
Annexe 14 : Résultats des analyses statistiques significatives de l'étape 5 (Mann Whitney) .....	121
Annexe 15 : Résultats des analyses statistiques significatives de l'étape 5 (Kruskal Wallis).....	123
Annexe 16 : Cartes de localisation des échantillons contenant de l'arsenic .....	125
Annexe 17 : Localisation d'échantillons dépassant la concentration de 10µg/L .....	129

## Annexe 1 : Situation géographique de la région Chaudière-Appalaches

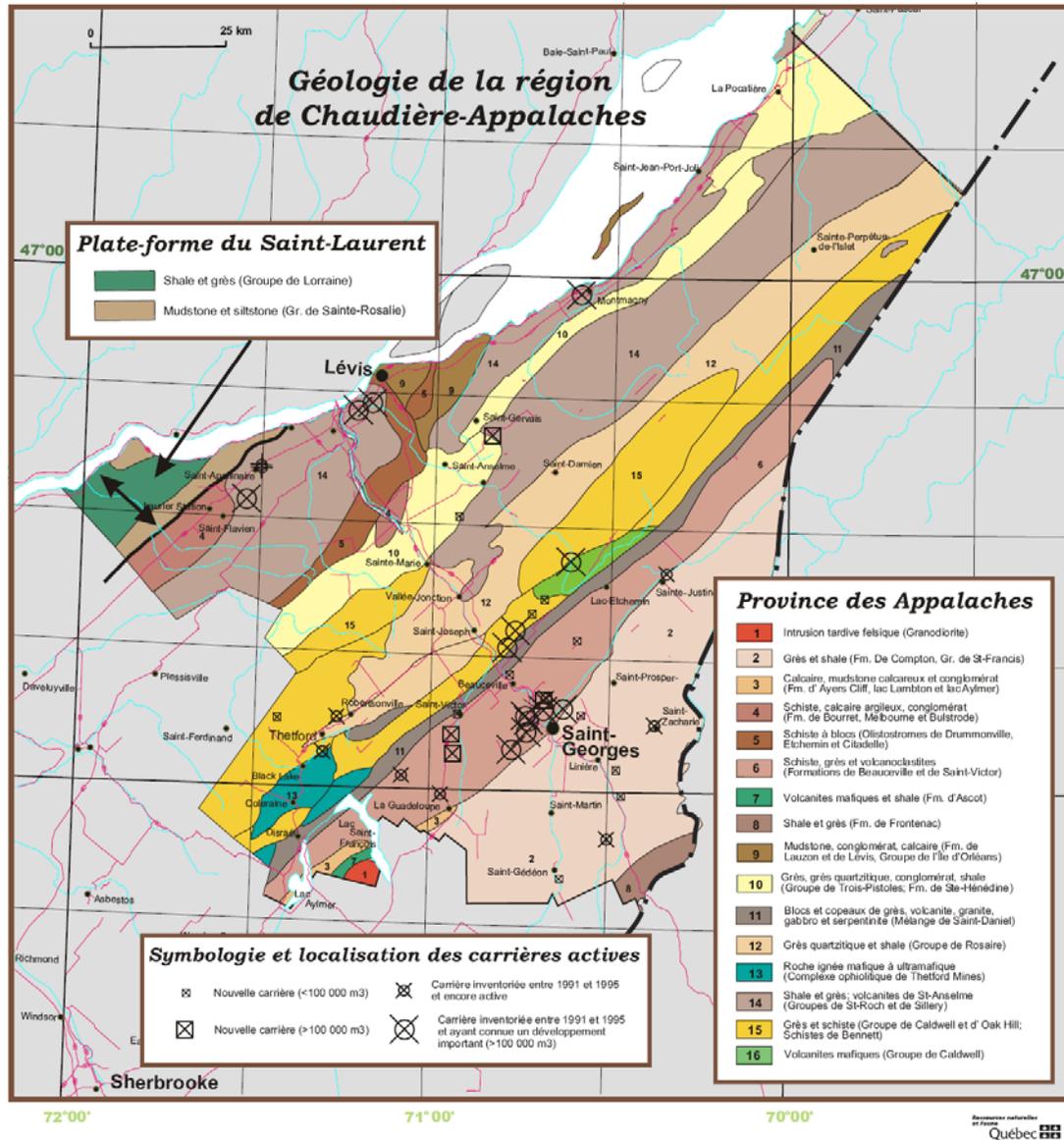


## Annexe 2 : Cartes géologiques de la région Chaudière-Appalaches



*Abréviations : AAP : anticlinorium d'Aroostook-Percé; DUN : zone de Dunnage; FGP : faille du Grand Pabos; FL : faille de Logan; FG : faille de la Guadeloupe; LBVB : ligne Baie Verte-Brompton; Ma : boutonnière de Maquereau-Mictaw; PSL : plate-forme du Saint-Laurent; SBC : synclinorium de la Baie des Chaleurs; SCVG : synclinorium de Connecticut Valley-Gaspé; TCL : terrain de Chain Lakes.*

Ressources naturelles  
et Faune  
Québec



## Annexe 3 : Tableau périodique

Couche	Période	I	II	Eléments de transition										III	IV	V	VI	VII	VIII
K	1	${}^1_1H$ Hydrogène 1,01																	${}^4_2He$ Hélium
L	2	${}^3_3Li$ Lithium 6,94	${}^4_4Be$ Béryllium 9,01											${}^{11}_5B$ Bore 10,8	${}^{12}_6C$ Carbone 12,0	${}^{14}_7N$ Azote 14,0	${}^{16}_8O$ Oxygène 16,0	${}^{19}_9F$ Fluor 19,0	${}^{20}_{10}Ne$ Néon 20,2
M	3	${}^{23}_{11}Na$ Sodium 23,0	${}^{24}_{12}Mg$ Magnésium 24,3											${}^{27}_{13}Al$ Aluminium 27,0	${}^{28}_{14}Si$ Silicium 28,1	${}^{31}_{15}P$ Phosphore 31,0	${}^{32}_{16}S$ Soufre 32,1	${}^{35}_{17}Cl$ Chlore 35,5	${}^{40}_{18}Ar$ Argon 39,9
N	4	${}^{39}_{19}K$ Potassium 39,1	${}^{40}_{20}Ca$ Calcium 40,1	${}^{45}_{21}Sc$ Scandium 45,0	${}^{48}_{22}Ti$ Titane 47,9	${}^{51}_{23}V$ Vanadium 50,9	${}^{52}_{24}Cr$ Chrome 52,0	${}^{55}_{25}Mn$ Manganèse 54,9	${}^{56}_{26}Fe$ Fer 55,8	${}^{59}_{27}Co$ Cobalt 58,9	${}^{58}_{28}Ni$ Nickel 58,7	${}^{63}_{29}Cu$ Cuivre 63,5	${}^{64}_{30}Zn$ Zinc 65,4	${}^{69}_{31}Ga$ Gallium 69,7	${}^{74}_{32}Ge$ Germanium 72,6	${}^{75}_{33}As$ Arsenic 74,9	${}^{80}_{34}Se$ Sélénium 79,0	${}^{79}_{35}Br$ Brome 79,9	${}^{84}_{36}Kr$ Krypton 83,6
O	5	${}^{85}_{37}Rb$ Rubidium 85,5	${}^{88}_{38}Sr$ Strontium 87,5	${}^{89}_{39}Y$ Yttrium 88,9	${}^{90}_{40}Zr$ Zirconium 91,2	${}^{93}_{41}Nb$ Niobium 92,9	${}^{98}_{42}Mo$ Molybdène 95,9	${}^{98}_{43}Tc$ Technétium 99,0	${}^{102}_{44}Ru$ Ruthénium 101,1	${}^{103}_{45}Rh$ Rhodium 102,9	${}^{106}_{46}Pd$ Palladium 106,4	${}^{107}_{47}Ag$ Argent 107,9	${}^{114}_{48}Cd$ Cadmium 112,4	${}^{115}_{49}In$ Indium 114,8	${}^{120}_{50}Sn$ Etain 118,7	${}^{121}_{51}Sb$ Antimoine 121,6	${}^{128}_{52}Te$ Tellure 127,5	${}^{127}_{53}I$ Iode 126,9	${}^{129}_{54}Xe$ Xénon 131,3
P	6	${}^{133}_{55}Cs$ Césium 132,9	${}^{138}_{56}Ba$ Baryum 137,3	57 à 71 lanthanides	${}^{180}_{72}Hf$ Hafnium 178,5	${}^{181}_{73}Ta$ Tantale 180,9	${}^{184}_{74}W$ Tungstène 183,9	${}^{185}_{75}Re$ Rhénium 186,2	${}^{192}_{76}Os$ Osmium 190,2	${}^{193}_{77}Ir$ Iridium 192,2	${}^{195}_{78}Pt$ Platine 195,1	${}^{197}_{79}Au$ Or 197,0	${}^{202}_{80}Hg$ Mercure 200,6	${}^{203}_{81}Tl$ Thallium 204,4	${}^{208}_{82}Pb$ Plomb 207,2	${}^{209}_{83}Bi$ Bismuth 209,9	${}^{210}_{84}Po$ Polonium 210	${}^{218}_{85}At$ Astate 210	${}^{222}_{86}Rn$ Radon 222
Q	7	${}^{223}_{87}Fr$ Francium 223	${}^{226}_{88}Ra$ Radium 226,1	89 à 103 actinides															

lanthanides	${}^{139}_{57}La$ Lanthane 138,9	${}^{140}_{58}Ce$ Cérium 140,1	${}^{141}_{59}Pr$ Praseodyme 140,9	${}^{144}_{60}Nd$ Neodyme 144,2	${}^{147}_{61}Pm$ Prométhium 145	${}^{152}_{62}Sm$ Samarium 150,4	${}^{153}_{63}Eu$ Europium 152,0	${}^{158}_{64}Gd$ Gadolinium 157,3	${}^{159}_{65}Tb$ Terbium 158,9	${}^{162}_{66}Dy$ Dysprosium 162,5	${}^{165}_{67}Ho$ Holmium 164,9	${}^{166}_{68}Er$ Erbium 167,8	${}^{169}_{69}Tm$ Thulium 168,9	${}^{174}_{70}Yb$ Ytterbium 173,0	${}^{175}_{71}Lu$ Lutétium 176,0
actinides	${}^{227}_{89}Ac$ Actinium 227	${}^{232}_{90}Th$ Thorium 232,0	${}^{231}_{91}Pa$ Protactinium 231	${}^{238}_{92}U$ Uranium 238,0	${}^{237}_{93}Np$ Neptunium 237	${}^{239}_{94}Pu$ Plutonium 242	${}^{243}_{95}Am$ Américium 243	${}^{247}_{96}Cm$ Curium 247	${}^{247}_{97}Bk$ Berkélium 247	${}^{249}_{98}Cf$ Californium 249	${}^{254}_{99}Es$ Einsteinium 254	${}^{255}_{100}Fm$ fermium 255	${}^{256}_{101}Md$ Mendélévium 256	${}^{254}_{102}No$ Nobelium 254	${}^{257}_{103}Lw$ Lawrencium 257

## Annexe 4 : Fiche toxicologique de l'arsenic

	ARSENIC As CASRN : 7440-38-2	
--	------------------------------------	--

<b>Forme physique</b>	Solide cristallisé (structure hexagonale ou rhombique)
<b>Numéro atomique</b>	33
<b>Masse molaire (g/mol)</b>	74,92
<b>Point de sublimation (°C)</b>	613 °C
<b>Densité</b>	5,727
<b>Configuration électronique</b>	[Ar] 3d <sup>10</sup> 4s <sup>2</sup> 4p <sup>3</sup>
<b>Solubilité</b>	Insoluble
<b>Coefficient de partage sol-eau : Kd (L/Kg)</b>	As III : de 1,0 à 8,3 As V : de 1,9 - 1500

### 1. Evaluation de l'exposition

#### Absorption

Les 3 voies d'absorption possibles sont :

- le contact cutané,
- l'Inhalation,
- l'ingestion.

Cette dernière voie est privilégiée. L'absorption cutanée quant à elle est faible.

L'absorption par voie gastro-intestinale est quasi-totale avec 90% à 95 % de l'As III et de l'As V absorbés [12], [20]. Mais cette proportion est à nuancer car le taux d'absorption diminue si la solubilité du composé arsénié diminue. Le type de substrat influence aussi ce taux d'absorption (aliments, sols, eau). Dans l'eau de consommation, la seule voie significative d'absorption est l'ingestion [9].

A noter que l'arsenic inorganique passe facilement la barrière placentaire [9], [12].

#### ▪ Effets cancérigènes

La classification de l'arsenic s'applique à l'ensemble du groupe mais pas nécessairement à chacun des agents.

Tableau a : Classement de l'arsenic par l'IARC et l'EPA

	IARC, 1987	EPA, 1998
Classe	1 : cancérigène pour l'homme	A : cancérigène pour l'homme

### ▪ **Etudes chez l'homme**

Des cancers de la peau liés à l'exposition à l'eau de boisson sont associés principalement à l'augmentation de risque de cancers de la peau mais à haute dose (plus de 1mg/L).

Une étude épidémiologique en Belgique n'a démontré aucun lien entre les niveaux d'exposition faible (entre 20 et 50 µg/L) et la mortalité par cancer du poumon, des reins et de la vessie. En revanche, des études épidémiologiques ont établi une association entre la mortalité causée par diverses formes de cancer et la consommation d'eau contaminée par l'arsenic. Une autre étude, a établi une association entre la mortalité causée par trois types de cancers et la durée de l'exposition [20].

### ▪ **Toxicologie aiguë**

Les effets aigus de l'ingestion d'arsenic sont essentiellement gastro-intestinaux [5] avec des symptômes tels que les nausées, les vomissements, les douleurs abdominales et les diarrhées. Les autres symptômes sont :

- la diminution de la pression artérielle,
- l'apparition de fièvre,
- l'apparition d'une encéphalite aiguë avec confusion,
- des convulsions,
- le coma avec détresse respiratoire, œdème pulmonaire,
- l'hépatite,
- la rhabdomyolyse,
- l'anémie hémolytique,
- l'insuffisance rénale.

D'autres symptômes d'origine neuropsychiques ont aussi été décrits en période sub-aiguë: céphalées, confusion, perte de mémoire, irritabilité, modification de la personnalité, hallucinations, délires et convulsions.

Des lésions cutanées sont aussi rapportées après une intoxication aiguë. Elles sont de différents types : rash maculeux diffus et prurigineux, alopecie en plaques, desquamation non prurigineuse et brunâtre, dermite exfoliative [20].

La dose létale pour l'homme adulte est estimée entre 1 à 3 mg/kg/j d'arsenic ou entre 2 à 21mg [20].

### ▪ **Toxicologie chronique**

La grande majorité des effets liés à l'arsenic sont induits par les dérivés inorganiques et sont associés à des manifestations cutanées, de diabète, de maladies cardiovasculaires et de cancers de différents organes [2], [3], [7], [27], [61], [62].

La peau est un organe cible des dérivés inorganiques de l'arsenic. Des lésions d'hyperkératose sont décrites au niveau des mains, des pieds mais aussi au niveau de la face, du cou et du dos lors d'exposition à de très faibles doses dans de l'eau de boisson [1]. L'apparition de ces effets cutanés peut se faire à des niveaux d'exposition allant de 0,1mg/kg/j à 0,01mg/kg/j. Ces hyperkératoses peuvent être à l'origine de lésions cancéreuses [20]. Une étude réalisée au Bangladesh indique que les lésions cutanées apparaissent à des concentrations dans l'eau de consommation inférieures à 50 µg/L [3]. Cette même étude démontre qu'il y a un effet dose/réponse entre l'exposition à l'arsenic dans l'eau de consommation et le risque de lésions cutanées.

Tableau b : Odds ratio (OR) obtenus pour les lésions cutanées en fonction des niveaux d'exposition à l'arsenic provenant d'une étude longitudinale réalisée au Bangladesh entre octobre 2000 et mai 2002 [3]

<b>Concentrations en arsenic dans l'eau de consommation</b>	<b>OR et intervalle de confiance à 95%</b>
>8,1 µg/L et <40,0µg/L	1,91 (IC : 1,26 ; 2,89)
>40,1µg/L et <91,0 µg/L	3,03 (IC : 2,05 ; 4,50)
>91,1 µg/L et <175,0 µg/L	3,71 (IC : 2,53 ; 5,44)
>175,1 µg/L et < 864 µg/L	5,39 (IC : 3,69 ; 7,86)

Les auteurs concluent sur l'influence de facteurs tels que le sexe, l'âge, et l'indice de masse corporel sur le niveau de risque des individus.

Dans la région de Taïwan, la maladie des pieds noirs s'est développée. Cette maladie se caractérise par une altération progressive de la circulation sanguine périphérique dans les pieds avec sensation de froid et d'engourdissement, suivie d'ulcérations et d'une coloration noire des téguments. Elle évolue vers une gangrène sèche. Cette maladie serait associée à la malnutrition ou à des co-expositions qui jouent un rôle dans l'apparition de cette maladie dans cette région et pas dans une autre [1], [20].

Globalement, on peut affirmer que l'arsenic a des effets sur le système vasculaire périphérique avec la mise en évidence d'un épaissement des petites et moyennes artères du corps et l'apparition du syndrome de Raynaud [20].

Des effets hématologiques sont aussi rapportés. Ce sont principalement des anémies et des leucopénies après ingestion de dérivés inorganiques de l'arsenic.

Des atteintes du système nerveux ont aussi été constatées. Les expositions chroniques ou subaiguës à de faibles doses (entre 0,019 et 0,5 mg As/kg/j) induisent des

neuropathies périphériques symétriques. Ces paresthésies peuvent être douloureuses et conduire à une incapacité due à des douleurs musculaires et une fatigabilité importante. Il a aussi été observé que l'exposition chronique à l'arsenic hydrique conduisait à des conjonctivites persistantes et à des maladies respiratoires [2].

Des effets neurologiques peuvent aussi apparaître mais jamais à des doses inférieures à 0,01 mg/kg/j.

Une autre étude indique que l'exposition à l'arsenic dans l'eau de consommation est associée à la diminution des capacités intellectuelles chez les enfants [1], [62], [63].

Des effets hépatiques ont aussi été répertoriés après ingestion de composés arséniés inorganiques. Les effets se résument à des hépatomégalies et des complications de la fibrose portale. L'apparition du diabète sucré semble aussi être corrélée à une exposition à l'arsenic [20]. Le diabète peut alors affecter le système rénal et perturber la méthylation de l'arsenic [64].

D'autre part, l'âge de la première exposition contribue à l'augmentation du risque de développer un cancer de la peau plus tard dans la vie. En d'autre terme, plus la personne est exposée jeune à l'arsenic hydrique et plus elle risque de développer un cancer de la peau dans les années suivantes [65].

Une étude américaine a aussi observé une augmentation des lésions de la peau associée à l'augmentation du taux de méthylation primaire, c'est-à-dire du passage à l'As III au composé méthylé MMA III [64].

#### • **Toxicocinétique de l'arsenic**

##### Distribution, métabolisme et élimination

Lors de l'absorption par voie orale, l'arsenic inorganique est diffusé rapidement dans la circulation sanguine où il se fixe aux protéines et à des composés de faibles poids moléculaires renferment des groupes sulfhydryles [9]. Sa demi-vie sanguine est d'une heure environ [12]. L'arsenic organique est aussi rapidement éliminé du sang. Ensuite, il se distribue dans tous les organes (reins, foie, poumons, rate, peau, phanères) mais il s'accumule principalement dans la peau, les os et les muscles [2], [9]; [12], [20].

Le métabolisme de l'arsenic consiste essentiellement en une méthylation [48], [49], [62]. Ce processus rend l'arsenic moins réactif et plus facile à éliminer.



Avec As (V) : arsenate

As (III) : arsenite

AMMA (V) : acide monométhylarsonique

AMMA (III) : acide monométhylarsineux

ADMA (V) : acide diméthylarsonique

ASMA (III) : acide diméthylarsineux

L'arsenic pentavalent et l'arsenic organique sont rapidement éliminés par les reins [9], [12], [20]. L'arsenic trivalent est éliminé selon 2 processus :

1/ Excrétion urinaire rapide de l'arsenic non méthylé sous les formes trivalente et pentavalente

2/ méthylation séquentielle de l'As(III) dans le foie en AMMA(V), AMMA(III), ADMA(V), ADMA(III)

La capacité de méthylation de l'arsenic est progressivement saturée lorsque l'apport quotidien dépasse 0,5mg mais ne semble pas saturer complètement même avec un apport de 1mg par jour [9], [11]. Les voies d'élimination secondaire de l'arsenic sont la peau, les cheveux et les ongles [9], [11].

La répartition entre les différentes formes excrétées dépend des populations étudiées, en fonction de facteurs génétiques, de l'espèce chimique d'As inorganique absorbé, des caractéristiques d'exposition, de facteurs nutritionnels ou de diverses maladies [12].

Une étude sur le ratio de formes métabolisées excrétées montre que les enfants auraient une capacité de métabolisation de l'arsenic plus élevée que les adultes lorsqu'ils sont exposés à une même concentration d'arsenic hydrique [62]. Cela implique que les adultes accumulent plus l'arsenic dans leur corps.

#### ▪ **Toxicodynamie de l'arsenic**

Les mécanismes d'action ainsi que la toxicologie de l'arsenic sur l'homme ont été privilégiés car le métabolisme chez l'homme et chez l'animal sont différents [12].

Le mécanisme toxique de l'arsenic inorganique diffère en fonction de sa forme. La forme trivalente inhibe [20]:

- le complexe pyruvate déshydrogénase. L'As(III) se lie aux groupements sulfhydriques de la lipoamide qui est le co-facteur nécessaire à la conversion du pyruvate en acétyl co-enzyme A. Il en résulte une diminution de l'adénosine triphosphate (ATP) en lien avec la réduction de l'activité du cycle de l'acide citrique [20].
- l'activité de la pyruvate carboxylase ce qui altère la néoglucogénèse
- la glutathion synthétase, la glucose-6-phosphate, déshydrogénase et la glutathion réductase

Ainsi, l'As(III) qui a une affinité particulière pour les composés sulfhydriques constitutifs de nombreuses protéines et enzymes peut inhiber l'activité de certaines enzymes [12], [27].

L'arsenic joue aussi un double rôle comme la plupart des métaux c'est à dire qu'il peut induire l'apoptose des cellules et aussi contribuer à la carcinogénèse [66].

## 2. Identification des valeurs toxicologiques de référence (VTR)

### • Valeurs toxicologiques pour les effets à seuil

Tableau c: récapitulatif des valeurs toxicologiques pour les effets non cancérogènes [12], [16], [20]

Organisme	Année	Etudes	Voie d'exposition	Valeur toxicologique de référence ( $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{j}$ )	Remarques
ATSDR	2000	Mizuta et al., 1956	Orale	5	Oedèmes de la face et symptômes gastro-intestinaux LOAEL = 0,05 mg/kg/j Facteur d'incertitude de 10
US EPA	1993	Tseng, 1977 ; Tseng et al. 1968	Orale	0.3	Maladie des pieds noirs NOAEL = 0,0008 mg/kg/j Facteur d'incertitude de 3
RIVM	2001	Baars et al., 2001)	Orale (chronique)	1	Valeur = TDI issue de la dose tolérable hebdomadaire de 15 $\mu\text{g}/\text{kg}$ de l'OMS qui est elle-même issu de la LOAEL chez l'homme de 100 $\mu\text{g}/\text{L}$ d'eau avec une consommation de 1,5 L/j Facteur d'incertitude de 2 (incertitude des études épidémiologiques) Calcul : 100 $\mu\text{g}/\text{L}$ x 1,5 L/j x 1/70 kg x $\frac{1}{2}$ = 1 $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{j}$
OEHHA	2002	Nagymajtényi et al., 19983	Orale (chronique)	0.3	Valeur égale à celle de l'US EPA Facteur d'incertitude de 3 pour la variabilité intraspécifique

### • Valeurs toxicologiques pour les effets sans seuil

Tableau d: récapitulatif des valeurs toxicologiques pour les effets cancérogènes [12], [16], [20]

Organismes	Année	Etudes	Voie d'exposition	Valeur toxicologique de référence ( $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{j}$ )	Effets
EPA	1998	Tseng, 1977 ; Tseng et al. 1968	Orale	1,5.10 <sup>-3</sup>	Effet critique retenu : cancer cutané Modèle utilisé : Modèle multi-étapes de type linéaire et quadratique basé sur la prédiction de l'apparition des cancers cutanés en fonction de la dose et de l'âge
OEHHA	2002	US EPA 1998	Orale	1.5.10 <sup>-3</sup>	Valeur égale à celle de l'US EPA
Health Canada	1992	Tseng, 1977 ; Tseng et al. 1968	Orale (chronique)	18	Effet critique retenu : cancer cutané La teneur en arsenic dans l'eau susceptible d'induire une augmentation de 5% l'incidence des cancers cutanés sont estimés à environ 840 $\mu\text{g}/\text{L}$ . La dose correspondante est de 18 $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{j}$ selon le calcul suivant : 840 $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{j}$ x 1,5 L/j x 1/70 kg

La valeur traditionnellement retenue en évaluation des risques pour les effets non cancérogènes est celle de l'US EPA qui est de 0.3 µg/kg/j [12], [16], [29]. Pour les effets cancérogènes (cancer cutané), il s'agit aussi de la valeur de l'US EPA qui est de 1.5 10<sup>-3</sup> µg/kg/j [12], [16], [29].

Cependant, l'OMS a précisé qu'il existait de nombreuses incertitudes sur les risques à de faibles concentrations et que le modèle linéaire utilisé pour l'extrapolation à faible dose de la VTR pour les effets à seuil n'est pas indiscutable [29].

Sites internet consultés pour rédiger cette fiche:

- ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry) : <http://www.cdc.gov/search.do?action=search&subset=atsdr&queryText=+arsenic&+.x=0&+.y=0>
- INERIS (Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques) : [www.ineris.fr/](http://www.ineris.fr/)
- Health Canada : [http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/pubs/water-eau/arsenic/index\\_f.html](http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/pubs/water-eau/arsenic/index_f.html)
- US-EPA IRIS : <http://toxnet.nlm.nih.gov/cgi-bin/sis/search/f?./temp/~jijy58Q:1>
- IARC, International Agency for Research on Cancer : <http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol84/volume84.pdf>
- OEHHA, Office of Environmental Health Hazard Assessment : [http://www.oehha.ca.gov/air/chronic\\_rels/pdf/arsenics.pdf](http://www.oehha.ca.gov/air/chronic_rels/pdf/arsenics.pdf)
- OMS, Organisation Mondiale de la Santé : [http://www.euro.who.int/document/aig/6\\_1\\_arsenic.pdf](http://www.euro.who.int/document/aig/6_1_arsenic.pdf)
- RIVM : <http://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/711701025.pdf>

## Annexe 5 : Questionnaire alimentaire

Numéro du participant : \_\_\_\_\_

### **SURVEILLANCE BIOLOGIQUE DE L'EXPOSITION A L'ARSENIC DANS L'EAU POTABLE PROVENANT DE PUIITS PRIVES**

Questionnaire alimentaire

**Ce questionnaire accompagne votre collecte d'urine. Il est important pour nous de connaître votre alimentation durant les jours précédant la collecte de votre urine. Ainsi, ce questionnaire est divisé en deux parties, la première pour le jour qui précède la collecte de votre urine et la seconde pour le jour de la collecte de votre urine.**

**Pour plus d'information, n'hésitez pas à nous téléphoner au 514  
864-1600, poste 3242**

**Merci de votre collaboration!**

**NOUS VOUS REMERCIONS D'AVOIR ACCEPTE DE PARTICIPER A CETTE ETUDE.**

**DIRECTIVES :**

**AFIN QUE NOUS PUISSIONS ETRE EN MESURE DE BIEN INTERPRETER LES RESULTATS DES ANALYSES DE VOS URINES, IL IMPORTE QUE VOUS REPONDIEZ LE PLUS HONNETEMENT POSSIBLE A CE QUESTIONNAIRE.**

**IL FAUT PREVOIR ENVIRON 15 MINUTES POUR LE REMPLIR. AUSSI, NOUS VOUS SUGGERONS DE REMPLIR CE QUESTIONNAIRE LE PLUS TOT POSSIBLE APRES LA COLLECTE D'URINE. IL EST IMPORTANT DE REPENDRE A TOUTES LES QUESTIONS.**

## COLLECTE URINAIRE

*Afin d'interpréter de façon adéquate vos résultats d'analyse d'urine, il est important pour nous de connaître l'heure à laquelle vous avez uriné la dernière fois avant le début de la collecte de votre urine, l'heure du début ainsi que l'heure de la fin de votre collecte d'urine.*

1. À quelle heure avez-vous uriné la dernière fois avant la collecte de votre urine?  
\_\_\_\_\_
2. À quelle heure avez-vous commencé à collecter votre urine? \_\_\_\_\_
3. À quelle heure avez-vous terminé de collecter votre urine? \_\_\_\_\_

## Jour précédant la collecte d'urine

 Journée de la semaine : \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

Date : \_\_\_\_\_

### ALIMENTATION

Dans le questionnaire alimentaire, nous sommes intéressés à certains aliments que vous avez consommés lors de **la journée précédant votre collecte d'urine**, et qui peuvent interférer avec les analyses urinaires. Votre consommation de ces aliments sera évaluée. À l'aide du tableau ci-dessous, indiquez-nous le nombre de portions que vous avez consommé lors de cette journée. Si vous n'avez pas consommé ce type d'aliment, inscrivez que vous avez consommé « 0 » (zéro) portion. Pour évaluer le nombre de portions consommées, utilisez la colonne de droite du tableau comme référence.

ALIMENTS	NOMBRE DE PORTIONS	TAILLE DES PORTIONS
Riz		1 tasse de céréales cuites
Céréales de riz		1 tasse
Autres céréales (orge, couscous,...) cuites avec de l'eau de votre puits		1 tasse
Pâtes alimentaires cuites avec de l'eau de votre puits		1 tasse
Champignons		1 tasse de champignons crus ou ½ tasse de champignons cuits
Palourde/Chaudrée de poisson		1 bol
Poulet		1 gros morceau ou 2 petits morceaux
Poisson en conserve (thon)		½ boîte
Poisson – frais ou congelé : a. Morue b. Aiglefin c. Saumon d. Tilapia e. Turbot f. Sole g. Truite h. Thon i. Autre (précisez) : _____	_____ _____ _____ _____ _____ _____ _____ _____	4 oz (113 g) ou 1 sandwich
Sushi		2 rouleaux
Algues		2 algues
Mollusques et crustacés a. Crevettes	_____ _____	8 crevettes

<ul style="list-style-type: none"> <li>b. Palourdes</li> <li>c. Huîtres</li> <li>d. Pétoncles</li> <li>e. Moules</li> <li>f. Crabes</li> <li>g. Homards</li> <li>h. Autres (précisez) : _____</li> </ul>	<p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>8 palourdes</li> <li>8 huîtres</li> <li>8 pétoncles</li> <li>8 moules</li> <li>3 crabes</li> <li>1 homard</li> </ul>
--	---	---

### Jour précédant la collecte d'urine

Journée de la semaine : \_\_\_\_\_

Date : \_\_\_\_\_

#### CONSOMMATION D'EAU POTABLE PROVENANT DE VOTRE PUIITS

*La présente étude porte sur votre exposition à l'arsenic dans l'eau provenant de votre puits. Pour cette raison, nous avons besoin de connaître les quantités d'eau potable provenant de votre puits, incluant l'eau utilisée lors de la préparation d'aliments que vous avez consommés lors de **la journée précédant la collecte de votre urine**.*

Veillez indiquer ci-dessous, le nombre de verres d'eau, de tasses de café, de tasses de thé ou la quantité d'autres boissons préparées à partir de l'eau provenant de votre puits que vous avez consommé **le jour précédant la collecte de votre urine**. Si vous n'avez pas consommé les boissons listées, indiquez que vous avez consommé « 0 » (zéro) portion. Pour évaluer le nombre de portions consommées, utilisez la colonne de droite du tableau comme référence.

BOISSONS	NOMBRE DE PORTIONS	TAILLE DES PORTIONS
Eau provenant de votre puits		Verre de 8 oz ou de 250 ml
<b>Boisson froide</b> préparée à partir de l'eau provenant de votre puits (ex. : thé glacé, limonade, jus fait à base de concentré)		Verre de 8 oz ou de 250 ml
<b>Café</b> préparé à partir de l'eau provenant de votre puits		1 tasse
<b>Thé chaud</b> préparé à partir de l'eau provenant de votre puits		1 tasse
<b>Autres boissons chaudes</b> préparées à partir de l'eau provenant de votre puits		1 tasse

Jugez-vous que les quantités d'eau consommées, que vous avez indiquées dans le tableau précédent, sont représentatives de votre consommation habituelle d'eau de votre puits?

- Oui  
 Non

Veillez indiquer ci-dessous le nombre de portions d'eau provenant de votre puits que vous avez utilisé pour la cuisson d'aliments au cours de **la journée précédant la collecte de votre urine**. Si vous n'avez pas employé l'eau provenant de votre puits pour la cuisson d'aliments, indiquez que vous avez consommé « 0 » (zéro) portion. Pour évaluer

le nombre de portions consommées, utilisez la colonne de droite du tableau comme référence.

<b>VERRES D'EAU POUR LA CUISSON D'ALIMENTS</b>	<b>NOMBRE DE PORTIONS</b>	<b>TAILLE DES PORTIONS</b>
<b>Soupe</b> préparée à partir de l'eau provenant de votre puits		Verre de 8 oz ou de 250 ml

## Jour précédant la collecte d'urine

Journée de la semaine : \_\_\_\_\_

Date : \_\_\_\_\_

### CONSOMMATION D'EAU EMBOUTEILLÉE ET D'EAU POTABLE NE PROVENANT PAS DE VOTRE PUIITS

*Il est également important de connaître le nombre de verres d'eau embouteillée et d'eau potable ne provenant pas de votre puits que vous avez consommé lors de la journée précédant la collecte de votre urine.*

Veillez indiquer ci-dessous le nombre de verres d'eau, de tasses de café, de tasses de thé ou la quantité d'autres boissons préparées à partir d'eau **ne provenant pas** de votre puits que vous avez consommé **le jour précédant la collecte de votre urine**. Si vous n'avez pas consommé les boissons listées, indiquez que vous avez consommé « 0 » (zéro) portion. Pour évaluer le nombre de portions consommées, utilisez la colonne de droite du tableau comme référence.

BOISSONS	NOMBRE DE PORTIONS	TAILLE DES PORTIONS
<b>Eau ne provenant pas</b> de votre puits		Verre de 8 oz ou 250 ml
<b>Boisson froide</b> préparée à partir d'eau <b>ne provenant pas</b> de votre puits (ex. : thé glacé, limonade, jus fait à base de concentré)		Verre de 8 oz ou 250 ml
<b>Café</b> préparé à partir d'eau <b>ne provenant pas</b> de votre puits		1 tasse
<b>Thé chaud</b> préparé à partir d'eau <b>ne provenant pas</b> de votre puits		1 tasse
<b>Autres boissons chaudes</b> préparées à partir d'eau <b>ne provenant pas</b> de votre puits		1 tasse

Jugez-vous que les quantités d'eau consommées, que vous avez indiquées dans le tableau précédent, sont représentatives de votre consommation habituelle d'eau ne provenant pas de votre puits?

- Oui  
 Non

Veillez indiquer ci-dessous le nombre de portions d'eau **ne provenant pas** de votre puits que vous avez utilisé pour la cuisson d'aliments au cours de **la journée précédant la collecte de votre urine**. Si vous n'avez pas employé d'eau **ne provenant pas** de votre puits, indiquez que vous avez consommé « 0 » (zéro) portion. Pour évaluer le nombre de portions consommées, utilisez la colonne de droite du tableau comme référence.

VERRES D'EAU POUR LA CUISSON D'ALIMENTS	NOMBRE DE PORTIONS	TAILLE DES PORTIONS
Soupe préparée à partir d'eau <b>ne provenant pas</b> de votre puits		Verre de 8 oz ou 250 ml

**Jour précédant la collecte d'urine**

Journée de la semaine : \_\_\_\_\_

Date : \_\_\_\_\_

**SUPPLÉMENTS VITAMINIQUES ET MÉDICAMENTS HOMÉOPATHIQUES**

*Certains suppléments vitaminiques ou certains produits homéopathiques à base d'herbes peuvent contenir de l'arsenic. Ces produits pourraient influencer les résultats des analyses d'urine.*

Veillez indiquer ci-dessous les suppléments vitaminiques et les produits homéopathiques à base d'herbes que vous avez consommés au cours de **la journée précédant la collecte de votre urine**. Si vous n'avez pas ingéré ces substances, inscrivez « 0 » (zéro) dans la colonne « nombre de comprimés ».

SUPPLÉMENTS VITAMINIQUES	NOMBRE DE COMPRIMÉS	MARQUE DE COMMERCE
<b>Multivitamines</b>		
<b>Vitamines, minéraux et suppléments à base d'herbes</b>		
Fer	_____	_____
Sélénium	_____	_____
Zinc	_____	_____
Vitamine E	_____	_____
Vitamine C	_____	_____
Calcium	_____	_____
Autres (précisez) :	_____	_____
_____	_____	_____
_____	_____	_____
_____	_____	_____
_____	_____	_____

En cas de doute, référez-vous au tableau suivant.

**Liste des médicaments homéopathiques et des suppléments alimentaires à base d'herbes contenant de l'arsenic**

Arsenicum album 3ch-30ch granules

Arsenicum drops d3-c1000
Arsenicum iodatum 3ch-30ch
Cat complex dps
Icelandic kelp ( <i>Limnaria digitata</i> )
Boules d'herbes traditionnelles chinoises importées
Sin Lak, médicaments antiasthmatiques à base d'herbes

## Jour de la collecte d'urine

Journée de la semaine : \_\_\_\_\_

Date : \_\_\_\_\_

### ALIMENTATION

Dans le questionnaire alimentaire, nous sommes intéressés à certains aliments que vous avez consommés lors de la **journée de votre collecte d'urine**, et qui peuvent interférer avec les analyses urinaires. Votre consommation de ces aliments sera évaluée. À l'aide du tableau ci-dessous, indiquez-nous le nombre de portions que vous avez consommé lors de cette journée. Si vous n'avez pas consommé ce type d'aliment, inscrivez que vous avez consommé « 0 » (zéro) portion. Pour évaluer le nombre de portions consommées, utilisez la colonne de droite du tableau comme référence.

ALIMENTS	NOMBRE DE PORTIONS	TAILLE DES PORTIONS
Riz		1 tasse de céréales cuites
Céréales de riz		1 tasse
Autres céréales (orge, couscous,...) cuites avec de l'eau de votre puits		1 tasse
Pâtes alimentaires cuites avec de l'eau de votre puits		1 tasse
Champignons		1 tasse de champignons crus ou ½ tasse de champignons cuits
Palourde/Chaudrée de poisson		1 bol
Poulet		1 gros morceau ou 2 petits morceaux
Poisson en conserve (thon)		½ boîte
Poisson – frais ou congelé :		4 oz (113 g) ou un sandwich
a. Morue	_____	
b. Aiglefin	_____	
c. Saumon	_____	
d. Tilapia	_____	
e. Turbot	_____	
f. Sole	_____	
g. Truite	_____	
h. Thon	_____	
i. Autres (précisez) : _____	_____	
Sushi		2 rouleaux
Algues		2 algues
Mollusques et crustacés		
a. Crevettes	_____	8 crevettes
b. Palourdes	_____	8 palourdes
c. Huîtres	_____	8 huîtres

d. Pétoncles e. Moules f. Crabes g. Homards h. Autres (précisez) : _____	_____ _____ _____ _____ _____	8 pétoncles 8 moules 3 crabes 1 homard
---	---	---

## Jour de la collecte d'urine

Journée de la semaine : \_\_\_\_\_

Date : \_\_\_\_\_

### CONSOMMATION D'EAU POTABLE PROVENANT DE VOTRE PUIITS

*La présente étude porte sur votre exposition à l'arsenic dans l'eau provenant de votre puits. Pour cette raison, nous avons besoin de connaître les quantités d'eau potable provenant de votre puits, incluant l'eau utilisée dans la préparation d'aliments que vous avez consommés lors de la **journée de collecte de votre urine**.*

Veillez indiquer ci-dessous le nombre de verres d'eau, de tasses de café, de tasses de thé ou la quantité d'autres boissons préparées à partir de l'eau provenant de votre puits que vous avez consommé **le jour de la collecte de votre urine**. Si vous n'avez pas consommé les boissons listées, indiquez que vous avez consommé "0" (zéro) portion. Pour évaluer le nombre de portions consommées, utilisez la colonne de droite du tableau comme référence.

BOISSONS	NOMBRE DE PORTIONS	TAILLE DES PORTIONS
<b>Eau</b> provenant de votre puits		Verre de 8 oz ou 250 ml
<b>Boisson froide</b> préparée à partir de l'eau provenant de votre puits (ex. : thé glacé, limonade, jus fait à base de concentré)		Verre de 8 oz ou 250 ml
<b>Café</b> préparé à partir de l'eau provenant de votre puits		1 tasse
<b>Thé chaud</b> préparé à partir de l'eau provenant de votre puits		1 tasse
<b>Autres boissons chaudes</b> préparées à partir de l'eau provenant de votre puits		1 tasse

Jugez-vous que les quantités d'eau consommées, que vous avez indiquées dans le tableau précédent, sont représentatives de votre consommation habituelle d'eau de votre puits?

- Oui  
 Non

Veillez indiquer ci-dessous le nombre de portions d'eau provenant de votre puits que vous avez utilisé pour la cuisson d'aliments **le jour de la collecte de votre urine**. Si vous n'avez pas utilisé l'eau provenant de votre puits pour la cuisson d'aliments, indiquez que vous avez consommé « 0 » (zéro) portion. Pour évaluer le nombre de portions consommées, utilisez la colonne de droite du tableau comme référence.

<b>VERRES D'EAU POUR LA CUISSON D'ALIMENTS</b>	<b>NOMBRE DE PORTIONS</b>	<b>TAILLE DES PORTIONS</b>
<b>Soupe</b> préparée à partir de l'eau provenant de votre puits		Verre de 8 oz ou 250 ml

## Jour de la collecte d'urine

Journée de la semaine : \_\_\_\_\_

Date : \_\_\_\_\_

### CONSOMMATION D'EAU EMBOUTEILLÉE ET D'EAU POTABLE NE PROVENANT PAS DE VOTRE PUIITS

*Il est également important de connaître le nombre de verres d'eau embouteillée et d'eau potable ne provenant pas de votre puits que vous avez ingéré lors de la **journée de collecte de votre urine**.*

Veillez indiquer ci-dessous, le nombre de verres d'eau, de tasses de café, de thé ou la quantité d'autres boissons préparées à partir d'eau **ne provenant pas** de votre puits, que vous avez consommé **le jour de la collecte de votre urine**. Si vous n'avez pas consommé les boissons listées, indiquez que vous avez consommé « 0 » (zéro) portion. Pour évaluer le nombre de portions consommées, utilisez la colonne de droite du tableau comme référence.

BOISSONS	NOMBRE DE PORTIONS	TAILLE DES PORTIONS
<b>Eau ne provenant pas</b> de votre puits		Verre de 8 oz ou 250 ml
<b>Boisson froide</b> préparée à partir d'eau <b>ne provenant pas</b> de votre puits (ex. : thé glacé, limonade, jus fait à base de concentré)		Verre de 8 oz ou 250 ml
<b>Café</b> préparé à partir d'eau <b>ne provenant pas</b> de votre puits		1 tasse
<b>Thé chaud</b> préparé à partir d'eau <b>ne provenant pas</b> de votre puits		1 tasse
<b>Autres boissons chaudes</b> préparées à partir d'eau <b>ne provenant pas</b> de votre puits		1 tasse

Jugez-vous que les quantités d'eau consommées, que vous avez indiquées dans le tableau précédent, sont représentatives de votre consommation habituelle d'eau ne provenant pas de votre puits?

- Oui  
 Non

Veillez indiquer ci-dessous, le nombre de portions d'eau **ne provenant pas** de votre puits que vous avez utilisé pour la cuisson d'aliments **le jour de la collecte de votre urine**. Si vous n'avez pas employé d'eau **ne provenant pas** de votre puits, indiquez que vous avez consommé « 0 » (zéro) portion. Pour évaluer le nombre de portions consommées, utilisez la colonne de droite du tableau comme référence.

VERRES D'EAU POUR LA CUISSON D'ALIMENTS	NOMBRE DE PORTIONS	TAILLE DES PORTIONS
<b>Soupe</b> préparée à partir d'eau <b>ne provenant pas</b> de votre puits		Verre de 8 oz ou 250 ml

<b>Jour de la collecte d'urine</b>	
Journée de la semaine : _____	Date : _____

**SUPPLÉMENTS VITAMINIQUES ET MÉDICAMENTS HOMÉOPATHIQUES**

*Certains suppléments vitaminiques ou produits homéopathiques à base d'herbes peuvent contenir de l'arsenic. Ces produits pourraient influencer les résultats des analyses d'urine.*

Veillez indiquer ci-dessous les suppléments vitaminiques et les produits homéopathiques à base d'herbes que vous avez consommés **le jour de la collecte de votre urine**. Si vous n'avez pas ingéré ces substances, inscrivez « 0 » (zéro) dans la colonne « nombre de comprimés ».

SUPPLÉMENTS VITAMINIQUES	NOMBRE DE COMPRIMÉS	MARQUE DE COMMERCE
<b>Multivitamines</b>		
<b>Vitamines, minéraux et suppléments à base d'herbes</b>		
Fer	_____	_____
Sélénium	_____	_____
Zinc	_____	_____
Vitamine E	_____	_____
Vitamine C	_____	_____
Calcium	_____	_____
Autres (précisez) :	_____	_____
_____	_____	_____
_____	_____	_____
_____	_____	_____
_____	_____	_____

En cas de doute, référez-vous au tableau suivant.

**Liste des médicaments homéopathiques et des suppléments alimentaires à base d'herbes contenant de l'arsenic**

Arsenicum album 3ch-30ch granules
Arsenicum drops d3-c1000
Arsenicum iodatum 3ch-30ch
Cat complex dps
Icelandic kelp ( <i>Limnaria digitata</i> )
Boules d'herbes traditionnelles chinoises importées

**MERCI D'AVOIR REMPLI CE QUESTIONNAIRE ET DE COLLABORER À CE  
PROJET.**

**S'IL-VOUS-PLAIT REMETTEZ CE QUESTIONNAIRE ACCOMPAGNÉ DE  
VOTRE ÉCHANTILLON D'URINE ET D'ONGLES À NOTRE AIDE TECHNIQUE.**

## Annexe 6 : Questionnaire habitudes de vie

Numéro du participant : \_\_\_\_\_

**SURVEILLANCE BIOLOGIQUE DE L'EXPOSITION A  
L'ARSENIC  
DANS L'EAU POTABLE PROVENANT DE PUIITS PRIVES**

Information sur votre puits et vos habitudes de vie

**Ce questionnaire complète le questionnaire alimentaire. Il est important pour nous de connaître certains renseignements sur votre puits et sur certaines de vos habitudes de vie qui peuvent modifier les analyses de vos échantillons.**

**Pour plus d'information, n'hésitez pas à nous téléphoner au 514  
864-1600, poste 3242**

**Merci de votre collaboration!**

**NOUS VOUS REMERCIONS D'AVOIR ACCEPTE DE PARTICIPER A CETTE ETUDE.**

**DIRECTIVES :**

**AFIN QUE NOUS PUISSIONS ETRE EN MESURE DE BIEN INTERPRETER LES RESULTATS DES ANALYSES DE VOS PRELEVEMENTS D'ECHANTILLONS BIOLOGIQUES, IL EST IMPORTANT QUE VOUS REPONDIEZ LE PLUS HONNETEMENT POSSIBLE A CE QUESTIONNAIRE.**

**IL FAUT PREVOIR ENVIRON 10 MINUTES POUR LE REMPLIR. AUSSI, NOUS VOUS SUGGERONS DE REMPLIR CE QUESTIONNAIRE LE PLUS TOT POSSIBLE APRES LA COLLECTE D'URINE. MERCI DE REPENDRE A TOUTES LES QUESTIONS.**

## RENSEIGNEMENTS SUR VOTRE PUIT ET VOTRE CONSOMMATION HABITUELLE D'EAU DE CE PUIT

### RENSEIGNEMENTS SUR VOTRE PUIT

**1. Quel type de puits possédez-vous pour desservir votre résidence en eau potable?**

- Puits tubulaire      Appelé aussi puits artésien, ce type de puits a généralement un petit diamètre, soit de 15 cm et une profondeur d'environ 45 m en moyenne.
- Puits de surface      Ce type de puits a un diamètre intérieur généralement supérieur à 60 cm et une profondeur d'au plus 9 m à partir de la surface du sol.
- Pointe filtrante      À titre d'information, une pointe filtrante utilise un tubage dont le diamètre intérieur est de 8 cm au maximum.
- Captage de source      Ce type de puits capte l'eau qui remonte naturellement à la surface du sol.

**2. Au cours de la dernière année, avez-vous fait analyser l'eau de votre puits?**

- Oui
- Non      → Si vous avez répondu non à cette question, passez directement à la question 4.

**3. Lors de cette analyse, avez-vous demandé de mesurer le contenu en arsenic de votre eau?**

- Oui      Pouvez-vous nous indiquer le résultat? \_\_\_\_\_
- Non

## VOTRE CONSOMMATION HABITUELLE D'EAU DE VOTRE PUIITS

*Il est important pour nous de valider si votre consommation d'eau pendant les jours précédant votre collecte d'urine est comparable à votre consommation habituelle.*

4. Dans le tableau suivant, pouvez-vous nous indiquer, **en moyenne, au cours de la dernière année, combien vous avez consommé, par jour, de verres d'eau ou d'autres boissons préparées à partir de l'eau provenant de votre puits?**

Pour évaluer le nombre de portions consommées par jour, utilisez la colonne de droite du tableau comme référence.

BOISSONS	NOMBRE DE PORTIONS PAR JOUR	TAILLE DES PORTIONS
Eau provenant de votre puits		Verre de 8 oz ou de 250 ml ou 1 tasse
Boissons froides ou chaudes préparées à partir de l'eau provenant de votre puits (ex. : café, thé, thé glacé, limonade, jus fait à base de concentré)		Verre de 8 oz ou de 250 ml ou 1 tasse

## HABITUDES DE VIE ET ACTIVITÉS

### TABAGISME

*Certaines cigarettes provenant d'autres pays que le Canada contiennent des traces d'arsenic. La prochaine question servira à évaluer votre exposition à la fumée de tabac.*

5. Au cours des deux jours qui ont précédé la collecte de votre urine, avez-vous respiré de la fumée de tabac pendant **au moins deux heures** dans les endroits suivants :
- |                             |                              |                              |
|-----------------------------|------------------------------|------------------------------|
| a. à la maison?             | <input type="checkbox"/> Oui | <input type="checkbox"/> Non |
| b. au travail?              | <input type="checkbox"/> Oui | <input type="checkbox"/> Non |
| c. dans tout autre endroit? | <input type="checkbox"/> Oui | <input type="checkbox"/> Non |

## ALCOOL

*La consommation d'alcool pourrait influencer la quantité de produits que nous allons mesurer dans votre urine.*

6. **Au cours des deux jours qui ont précédé la collecte de votre urine, combien de portions de boissons alcoolisées avez-vous consommées? Si vous n'avez pas consommé ces boissons, indiquez que vous avez consommé « 0 » (zéro) portion. Pour évaluer le nombre de portions consommées, utilisez la colonne de droite du tableau comme référence.**

BOISSONS ALCOOLISEES	NOMBRE DE PORTIONS	TAILLE DES PORTIONS
Bière		1 bière (12 oz ou 350 ml)
Vin		1 verre (4 à 5 oz ou 120 à 150 ml)
Autres boissons alcoolisées		1 consommation = 1 oz

## TRAITEMENTS DES CHEVEUX

*Certains traitements pour vos cheveux pourraient influencer les résultats de leurs analyses.*

7. **Vos cheveux sont-ils permanentés?**

Oui

Non

8. **Vos cheveux sont-ils colorés?**

Oui

Non

## AUTRES ACTIVITÉS

*Différentes activités entraînent une exposition à l'arsenic qui pourrait influencer les résultats des analyses de vos prélèvements d'échantillons biologiques.*

9. Au cours des deux jours qui ont précédé la collecte de votre urine, avez-vous :

Questions	Oui	Non
a. manipulé ou réparé du bois traité à l'arséniate de cuivre chromaté	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
b. fait de la taxidermie	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
c. utilisé des pesticides à base d'arsenic	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
d. effectué d'autres activités qui, à votre connaissance, impliquent une exposition à l'arsenic	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

**MERCI D'AVOIR PRIS LE TEMPS DE REMPLIR CE QUESTIONNAIRE!**

**S'IL-VOUS-PLAÎT, REMETTEZ-LE À L'AIDE TECHNIQUE.**

**VOTRE COLLABORATION À CE PROJET EST GRANDEMENT APPRÉCIÉE.**

**SI VOUS AVEZ DES COMMENTAIRES, VOUS POUVEZ LES INDIQUER CI-DESSOUS.**

## Annexe 7 : Liste des variables du questionnaire

### Facteurs explicatifs potentiels à deux catégories

- Fait analyser l'eau de votre puits (Analyse\_eau)
- Demandé de mesurer le contenu en arsenic de votre eau (Analyse\_As)
- Respiré de la fumée de tabac à la maison (Tabagisme\_maison\_durant\_2j\_avantcollecte)
- Respiré de la fumée de tabac au travail (Tabagisme\_travail\_durant\_2j\_avantcollecte)
- Respiré de la fumée de tabac dans tout autre endroit (Tabagisme\_autres\_endroits\_durant\_2j\_avantcollecte)
- Cheveux permanentés (Traitement\_cheveux\_permanentes)
- Cheveux colorés (Traitement\_cheveux\_colores)
- Manipulé ou réparé du bois traité à l'arséniate de cuivre chromaté (Utilisation\_ACC)
- Fait de la taxidermie (Taxidermie)
- Utilisation des pesticides à base d'arsenic (Utilisation\_de\_pesticides)
- Effectué d'autres activités impliquant une exposition à l'arsenic (Autres\_expositions\_a\_arsenic)
- Quantité d'eau consommée le jour précédant la collecte d'urine est représentative de la consommation habituelle d'eau de votre puits (Nbre\_portions\_de250ml\_eau\_puits\_consomm\_habituelle)
- Quantité d'eau consommée le jour précédant la collecte d'urine est représentative de la consommation habituelle d'eau ne provenant pas de votre puits (Quantité\_eau\_consommée\_j\_precedent\_comparable\_consom\_habituelle)
- Quantité d'eau consommée le jour de la collecte d'urine est représentative de la consommation habituelle d'eau de votre puits (Quantité\_eau\_consommée\_j\_collecte\_comparable\_consom\_habituelle)
- Quantité d'eau consommée le jour de la collecte d'urine est représentative de la consommation habituelle d'eau ne provenant pas de votre puits (Qtité\_eau\_consom\_pas\_du\_puits\_j\_collecte\_comparable\_consom\_habit)

### Facteurs explicatifs potentiels à plusieurs catégories

- Type de puits qui dessert la résidence en eau potable (Type\_de\_puits)

### Facteurs explicatifs potentiels quantitatifs

- Nombre de portions d'eau provenant de votre puits consommées quotidiennement en moyenne au cours de la dernière année (Nbre\_portions\_de250ml\_eau\_puits\_consomm\_habituelle)
- Nombre de portions de boissons froides ou chaudes préparées à partir de l'eau provenant de votre puits consommées quotidiennement en moyenne au cours de la dernière année (Nbre\_portions\_250ml\_prep\_boissons\_eau\_puits\_consomm\_habituelle)
- Unité de consommation de bière (Nbre\_portions\_350ml\_bières\_durant\_2j\_avantcollecte)
- Unité de consommation de vin (Nbre\_verres\_vins\_durant\_2j\_avantcollecte)

- Unité de consommation d'autres boissons alcoolisées  
(Nbre\_portions\_1oz\_autres\_boissons\_alcool\_durant\_2j\_avantcollecte)
- Estimé d'apport alimentaire en As
- Estimé d'apport hydrique en As
- Nombre de portions consommées d'eau provenant de votre puits le jour précédant la collecte d'urine (Nbre\_verres\_de250ml\_eau\_puits\_j\_precedent)
- Nombre de portions consommées de boisson froide préparée à partir de l'eau provenant de votre puits le jour précédant la collecte d'urine (Nbre\_verres\_boisson\_froide\_avec\_eau\_pas\_du\_puits\_j\_precedent)
- Nombre de portions consommées de café préparé à partir de l'eau provenant de votre puits le jour précédant la collecte d'urine (Nbre\_tasses\_cafe\_avec\_eau\_pas\_du\_puits\_j\_precedent)
- Nombre de portions consommées de thé chaud préparé à partir de l'eau provenant de votre puits le jour précédant la collecte d'urine (Nbre\_tasses\_the\_chaud\_avec\_eau\_pas\_du\_puits\_j\_precedent)
- Nombre de portions consommées d'autres boissons chaudes préparées à partir de l'eau provenant de votre puits le jour précédant la collecte d'urine ( )
- Nombre de portions de soupe consommées à partir de l'eau provenant de votre puits le jour précédant la collecte d'urine (Nbre\_tasses\_autres\_boissons\_chaudes\_eau\_pas\_du\_puits\_j\_precedent)
- Nombre de portions consommées d'eau ne provenant pas de votre puits le jour précédant la collecte d'urine (Nbre\_verres\_250ml\_eau\_ne\_provenant\_pas\_du\_puits\_j\_precedent)
- Nombre de portions consommées de boisson froide préparée à partir d'eau ne provenant pas de votre puits le jour précédant la collecte d'urine (Nbre\_verres\_boisson\_froide\_avec\_eau\_pas\_du\_puits\_j\_precedent)
- Nombre de portions consommées de café préparé à partir d'eau ne provenant pas de votre puits le jour précédant la collecte d'urine (Nbre\_tasses\_cafe\_avec\_eau\_pas\_du\_puits\_j\_precedent)
- Nombre de portions consommées de thé chaud préparé à partir de l'eau ne provenant pas de votre puits le jour précédant la collecte d'urine (Nbre\_tasses\_the\_chaud\_avec\_eau\_pas\_du\_puits\_j\_precedent)
- Nombre de portions consommées d'autres boissons chaudes préparées à partir d'eau ne provenant pas de votre puits le jour précédant la collecte d'urine (Nbre\_tasses\_autres\_boissons\_chaudes\_eau\_pas\_du\_puits\_j\_precedent)
- Nombre de portions de soupe consommées à partir d'eau ne provenant pas de votre puits le jour précédant la collecte d'urine (Nbre\_verres\_250ml\_soupe\_prepare\_avec\_eau\_pas\_du\_puits\_j\_precedent)
- Nombre de comprimés de multivitamines consommés le jour précédant la collecte d'urine (Nbre\_comprimés\_multivitamines\_j\_precedent)
- Nombre de comprimés de vitamines, minéraux et suppléments à base d'herbes consommés le jour précédant la collecte d'urine
  
- Nombre de portions consommées d'eau provenant de votre puits le jour de la collecte d'urine (Nbre\_verres\_de250ml\_eau\_puits\_j\_collecte)
- Nombre de portions consommées de boisson froide préparée à partir de l'eau provenant de votre puits le jour de la collecte d'urine (Nbre\_verres\_de250ml\_boisson\_froide\_venant\_eau\_puits\_j\_collecte)
- Nombre de portions consommées de café préparé à partir de l'eau provenant de votre puits le jour de la collecte d'urine (Nbre\_tasses\_cafe\_venant\_eau\_puits\_j\_collecte)
- Nombre de portions consommées de thé chaud préparé à partir de l'eau provenant de votre puits le jour de la collecte d'urine (Nbre\_tasses\_the\_chaud\_venant\_eau\_puits\_j\_collecte)

- Nombre de portions consommées d'autres boissons chaudes préparé à partir de l'eau provenant de votre puits le jour de la collecte  
d'urine(Nbre\_tasses\_autres\_boissons\_chaudes\_venant\_eau\_puits\_j\_collecte)
- Nombre de portions de soupe consommées à partir de l'eau provenant de votre puits le jour de la collecte  
d'urine(Nbre\_verres\_250ml\_soupe\_prepare\_avec\_eau\_puits\_j\_collecte)
- Nombre de portions consommées d'eau ne provenant pas de votre puits le jour de la collecte  
d'urine(Nbre\_verres\_250ml\_eau\_ne\_provenant\_pas\_du\_puits\_j\_collecte)
- Nombre de portions consommées de boisson froide préparée à partir d'eau ne provenant pas de votre puits le jour de la collecte  
d'urine(Nbre\_verres\_boisson\_froide\_avec\_eau\_pas\_du\_puits\_j\_collecte)
- Nombre de portions consommées de café préparé à partir d'eau ne provenant pas de votre puits le jour de la collecte  
d'urine(Nbre\_tasses\_cafe\_avec\_eau\_pas\_du\_puits\_j\_collecte)
- Nombre de portions consommées de thé chaud préparé à partir de d'eau ne provenant pas de votre puits le jour de la collecte  
d'urine(Nbre\_tasses\_the\_chaud\_avec\_eau\_pas\_du\_puits\_j\_collecte)
- Nombre de portions consommées d'autres boissons chaudes préparées à partir d'eau ne provenant pas de votre puits le jour de la collecte  
d'urine(Nbre\_tasses\_autres\_boissons\_chaudes\_eau\_pas\_du\_puits\_j\_collecte)
- Nombre de portions de soupe consommées à partir d'eau ne provenant pas de votre puits le jour de la collecte  
d'urine(Nbre\_verres\_250ml\_soupe\_prepare\_avec\_eau\_pas\_du\_puits\_j\_collecte)
- Nombre de comprimés de multivitamines consommés le jour de la collecte  
d'urine(Nbre\_comprimés\_Mutivitamines\_j\_collecte)
- Nombre de comprimés de vitamines, minéraux et suppléments à base d'herbes consommés le jour de la collecte d'urine



## Annexe 8 : Estimation de l'apport alimentaire (en µg/g)

Aliment	Truite	Thon	Maquereau	Goberge	Perchaude	Crevettes	Palourdes	Huitres	Pétoncles	Moules	Crabes	Homard
	0,45	5,115	4,6135	3,27	0,214	21,435	10	26,35	45,4	45,8	39,75	28,385
	0,214	1	2,85	3,14	0,257	0,08	0,36		0,81	16,6	0,71	0,022
	0,257	3,27	3,27	2,92	0,285	25	1,705				6,1	
	0,285	3,14	3,14	4,83	0,431	11					11,5	
	0,431	2,92	2,92	1,85	1,06	0,53						
	1,06	4,83	4,83	2,36	0,411	0,79						
	0,411	1,85	1,85	2,97	0,181							
	0,181	2,36	2,36	2,57	0,275							
	0,275	2,97	2,97	2,36	0,294							
	0,294	2,57	2,57	2,49	0,077							
	0,077	2,36	2,36	3,03	0,341							
	0,341	2,49	2,49	1,5	1,35							
	1,35	3,03	3,03	2,85	0,603							
	0,603	1,5	1,5									
		2,85	2,85									
<b>Moyenne As estimée</b>	0,445	2,817	2,907	2,780	0,445	9,806	4,022	26,35	23,105	31,200	6,103	14,204
<b>Equivalence</b>	1 portion = 113g	1 portion = 113g	1 portion = 113g	1 portion = 113g	1 portion = 113g	8 crevettes = 165g	8 palourdes = 75g	8 huitres = 185g	8 pétoncles = 190g	8 moules = 130g	1 crabe = 165g	1 homard = 155g
	soit 0,05 mg par portion	soit 0,3 mg par portion	soit 0,3 mg par portion	soit 0,3 mg par portion	soit 0,05 mg par portion	soit 1,6 mg par portion de 8	soit 0,3 mg par portion de 8	soit 4,87 mg par portion de 8	soit 4,4 mg par portion de 8	soit 4 mg par portion de 8	soit 1 mg par crabe	soit 2,2 mg par homard

Aliment	Riz	Champignons	Pates	Poulet	Thon (conserves)	Chaudrée de poisson / Palourdes	Morue	Aiglefin	Saumon	Tilapia	Turbot	Sole
	1,8	0,0221	0,0035	0,1	1,17	10	13,995	2,6	2,6	3,27	3,27	5,2
	2,9		0,0032	0,062	0,913	0,36	2,2	3,27	0,366	3,14	3,14	36,5
	0,34		0,0007	0,02	1,37	1,705	0,6	3,14	3,27	2,92	2,92	3,27
	0,28		0,013	0,018	1,34		8,17	2,92	3,14	4,83	4,83	3,14
	0,16		0,0045	0,025	1,37		2,2	4,83	2,92	1,85	1,85	2,92
	0,21		0,0039	0,057	0,996		7,2	1,85	4,83	2,36	2,36	4,83
	0,3		0,0029	0,022	1,25		3,27	2,36	1,85	2,97	2,97	1,85
	0,28						3,14	2,97	2,36	2,57	2,57	2,36
	0,114						2,92	2,57	2,97	2,36	2,36	2,97
	0,086						4,83	2,36	2,57	2,49	2,49	2,57
	0,075						1,85	2,49	2,36	3,03	3,03	2,36
	0,121						2,36	3,03	2,49	1,5	1,5	2,49
	0,078						2,97	1,5	3,03	2,85	2,85	3,03
	0,114						2,57	2,85	1,5			1,5
	0,089						2,36		2,85			2,85
	0,237						2,49					
	0,277						3,03					
	0,23						1,5					
	0,287						2,85					
	0,286											
	0,307											
	0,365											
<b>Moyenne As estimée</b>	<b>0,406</b>	<b>0,0221</b>	<b>0,005</b>	<b>0,043</b>	<b>1,201</b>	<b>4,022</b>	<b>3,711</b>	<b>2,767</b>	<b>2,607</b>	<b>2,780</b>	<b>2,780</b>	<b>5,189</b>
<b>Equivalence</b>	1 tasse = 210g	1 tasse champignon = 190g	1 tasse pâtes = 150g	1 gros morceau = 150g	1 boîte = 170g	8 palourdes = 75g	1 portion = 113g					
	soit 0,08 mg par tasse	soit 0,004 mg par tasse	soit 0,0007 mg par tasse	soit 0,006 mg par tasse	soit 0,2 mg par boîte	soit 0,3 mg par portion de 8	soit 0,4 mg par portion	soit 0,3 mg par portion	soit 0,6 mg par portion			

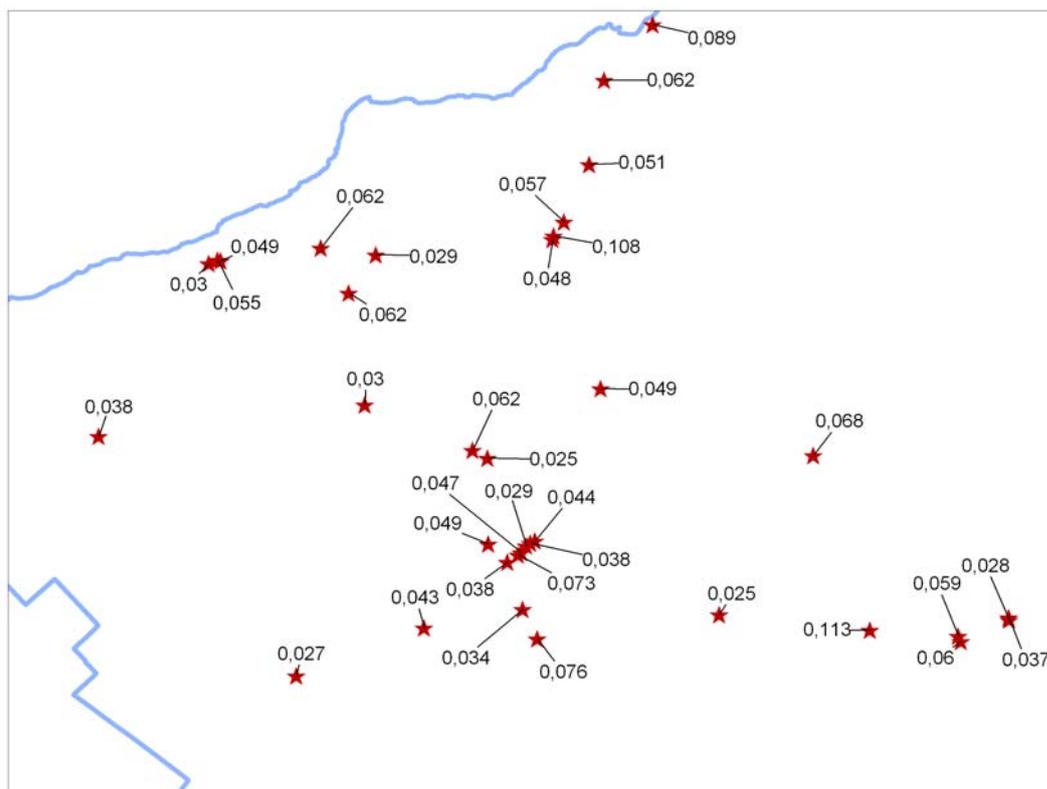
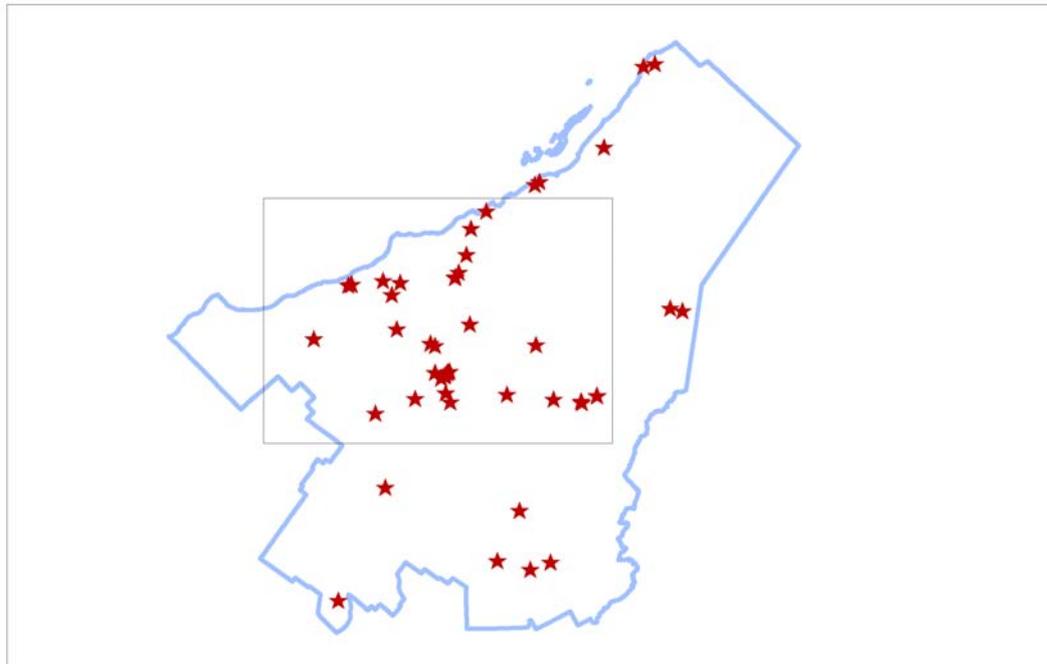
**Annexe 9 : Caractéristiques  
sociodémographiques des participants et  
facteurs documentés par questionnaire montrant  
une différence de distribution selon le groupe de  
concentration**

Caractéristiques des participants	Groupes			P value
	< 1 µg/l	< 1 and >10 µg/l	> 10 µg/l	
<b>N</b>	<b>55</b>	<b>34</b>	<b>21</b>	
<b>Sexe : n (%)</b>				
Homme	23 (42)	14 (41)	9 (43)	0.992 <sup>a</sup>
Femme	32 (58)	20 (59)	12 (57)	
<b>Age: années (moyenne +/- écart type)</b>	43.9 +/-11.0	45.6 +/- 9.8	47.0 +/- 10.8	0.456 <sup>b</sup>
<b>Niveau d'éducation: n (%)</b>				
Primaire	0 (0)	1 (3)	0 (0)	0.834 <sup>a</sup>
Secondaire	23 (42)	11 (32)	7 (33)	
Collégial	16 (29)	11 (32)	7 (33)	
Universitaire	15 (27)	11 (32)	7 (33)	
Refus	1 (2)	0 (0)	0 (0)	
<b>Statut professionnel: n (%)</b>				
Employé	43 (78)	26 (76)	15 (71)	0.825 <sup>a</sup>
Non employé	12 (22)	8 (24)	6 (29)	
<b>Type de travail: n (%)</b>				
Direction	2 (5)	2 (8)	0 (0)	0.648 <sup>a</sup>
Professionel	14 (35)	7 (27)	5 (33)	
Technicien	3 (8)	5 (19)	1 (7)	
Col blanc	5 (13)	0 (0)	2 (13)	
Col bleu	7 (18)	2 (8)	2 (13)	
Vendeur / commerce de detail / service aux consommateurs	2 (5)	2 (8)	1 (7)	
Autres	7 (18)	8 (31)	4 (27)	
<b>Type de puits: n (%)</b>				
Puits artésien	27 (49)	28 (85)	21 (100)	< 0.001 <sup>a</sup>
Puits de surface	27 (49)	5 (15)	0 (0)	
Pointe filtrante	1 (2)	0 (0)	0 (0)	
<b>Temps de résidence: années (moyenne +/- écart type)</b>	14.3 +/- 11.4	19.2 +/- 10.5	22.2 +/- 10.5	0.008 <sup>b</sup>

<sup>a</sup> Chi-carré

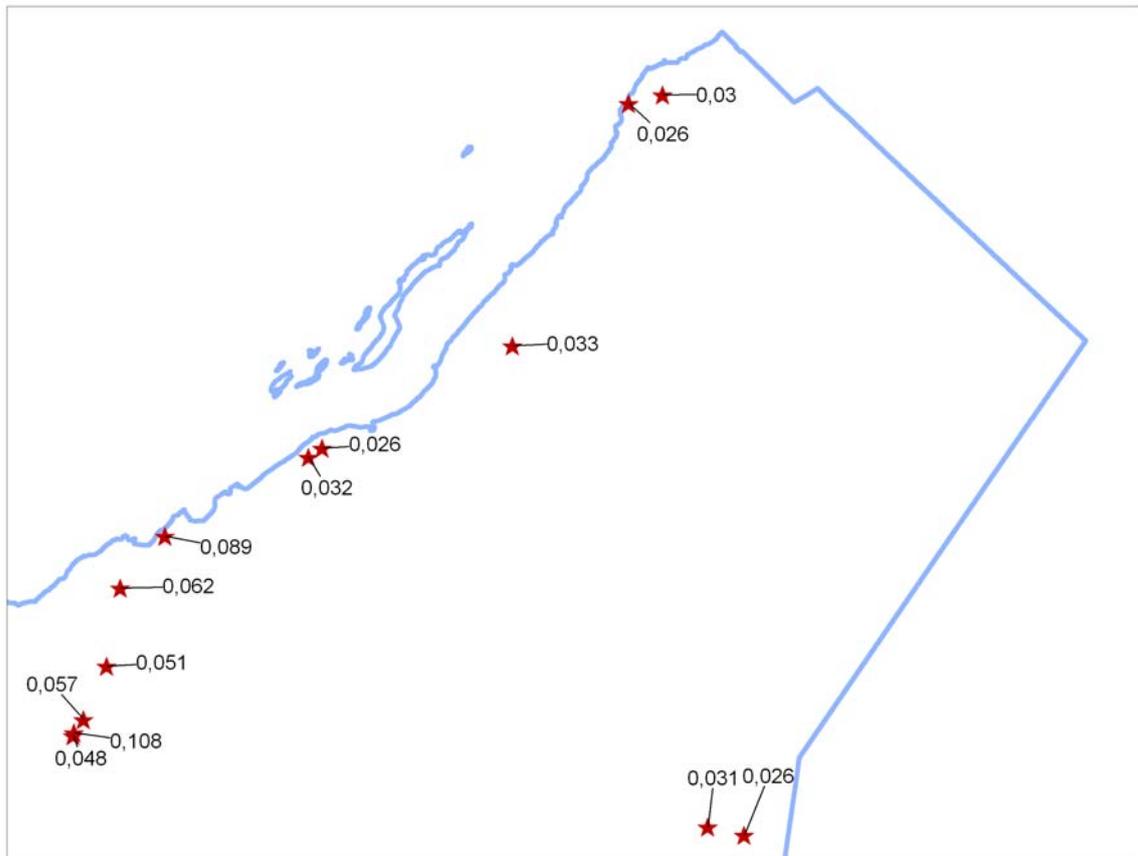
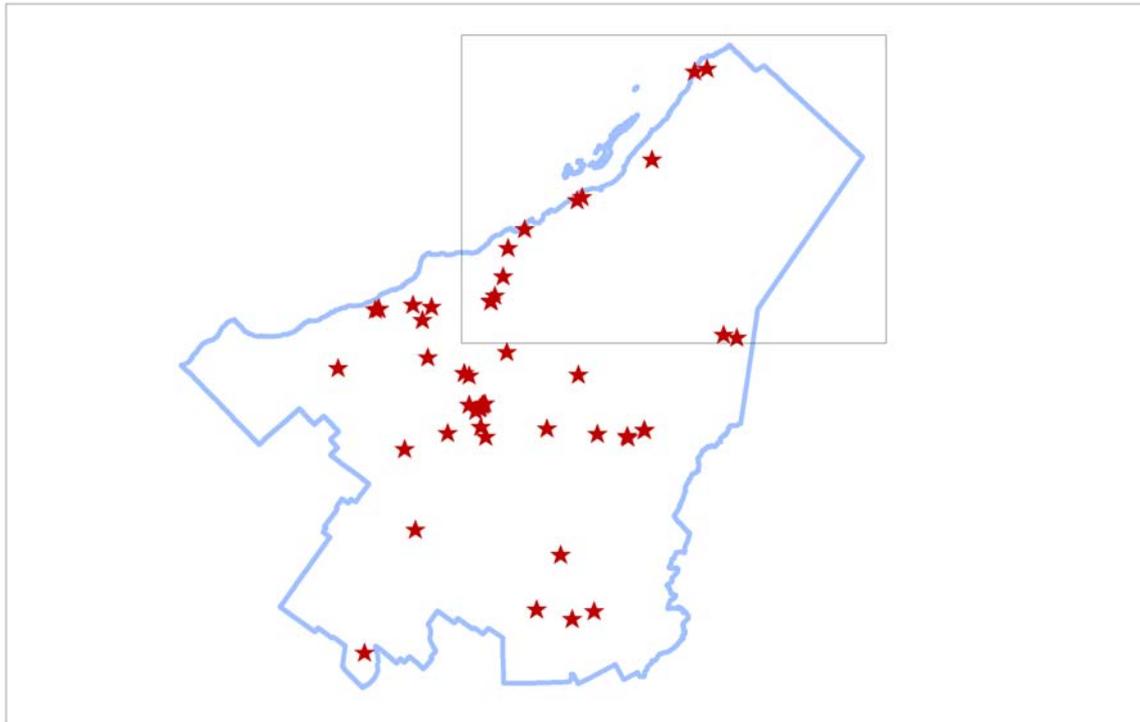
<sup>b</sup> Kruskal-Wallis

## Annexe 10 : Carte des puits mesurés lors de l'étude



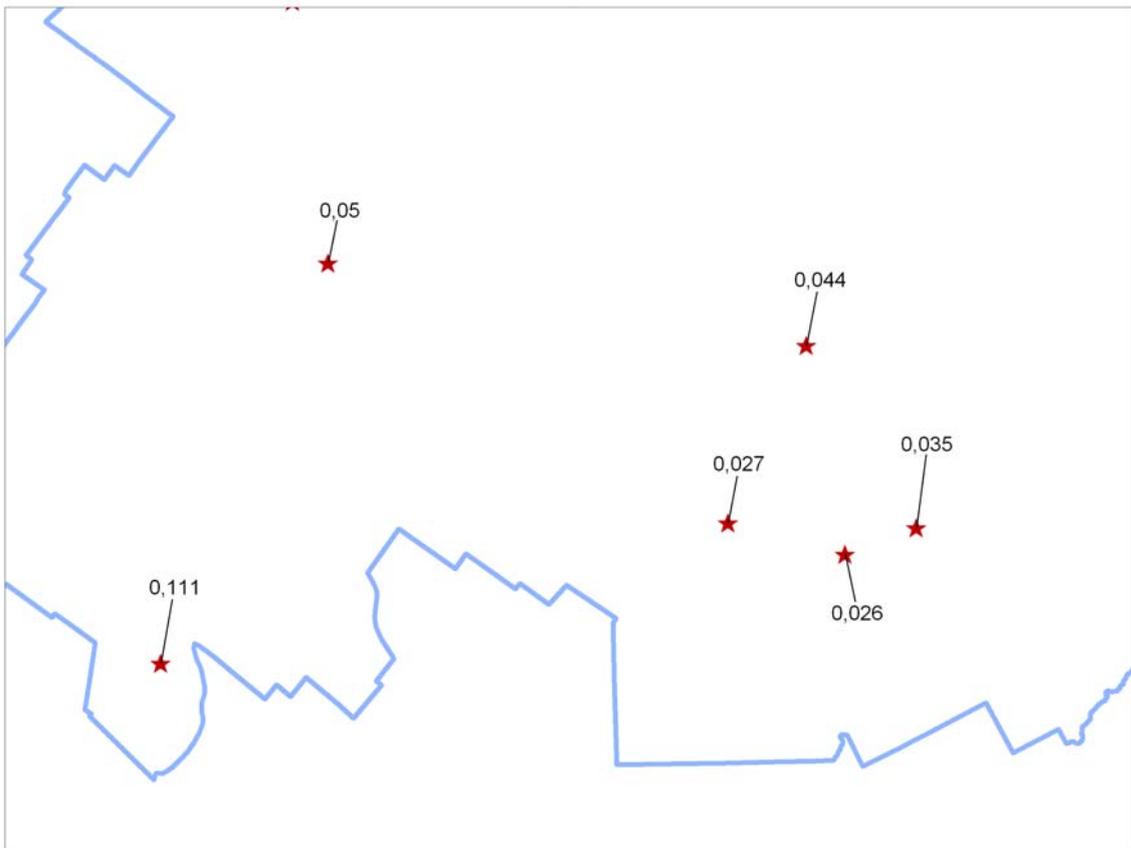
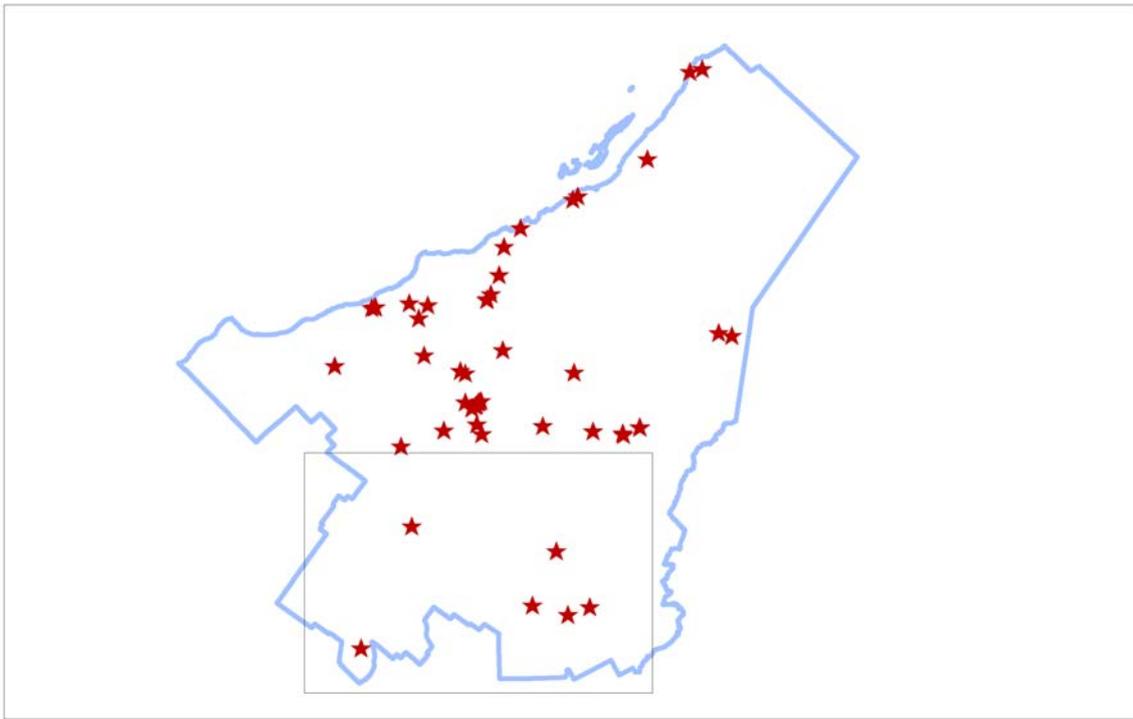
\* les valeurs indiquées sont en mg/L

Carte (centre) des puits des participants admissibles à partir des données de 1983 établies *a priori* (Source : INSPQ, 2008)



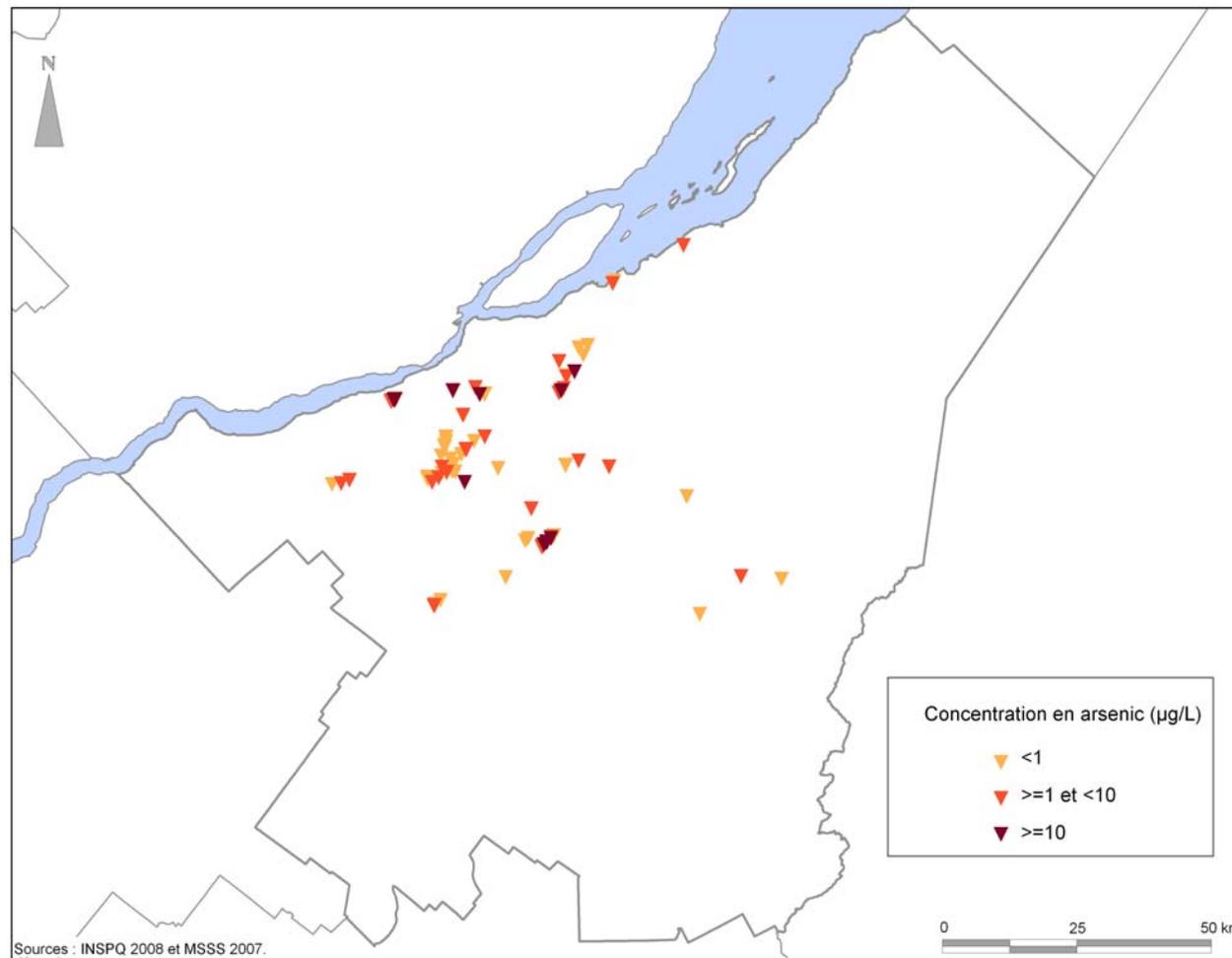
\* les valeurs indiquées sont en mg/L

Carte (nord) des puits des participants admissibles à partir des données de 1983 établie a priori (Source : INSPQ, 2008)

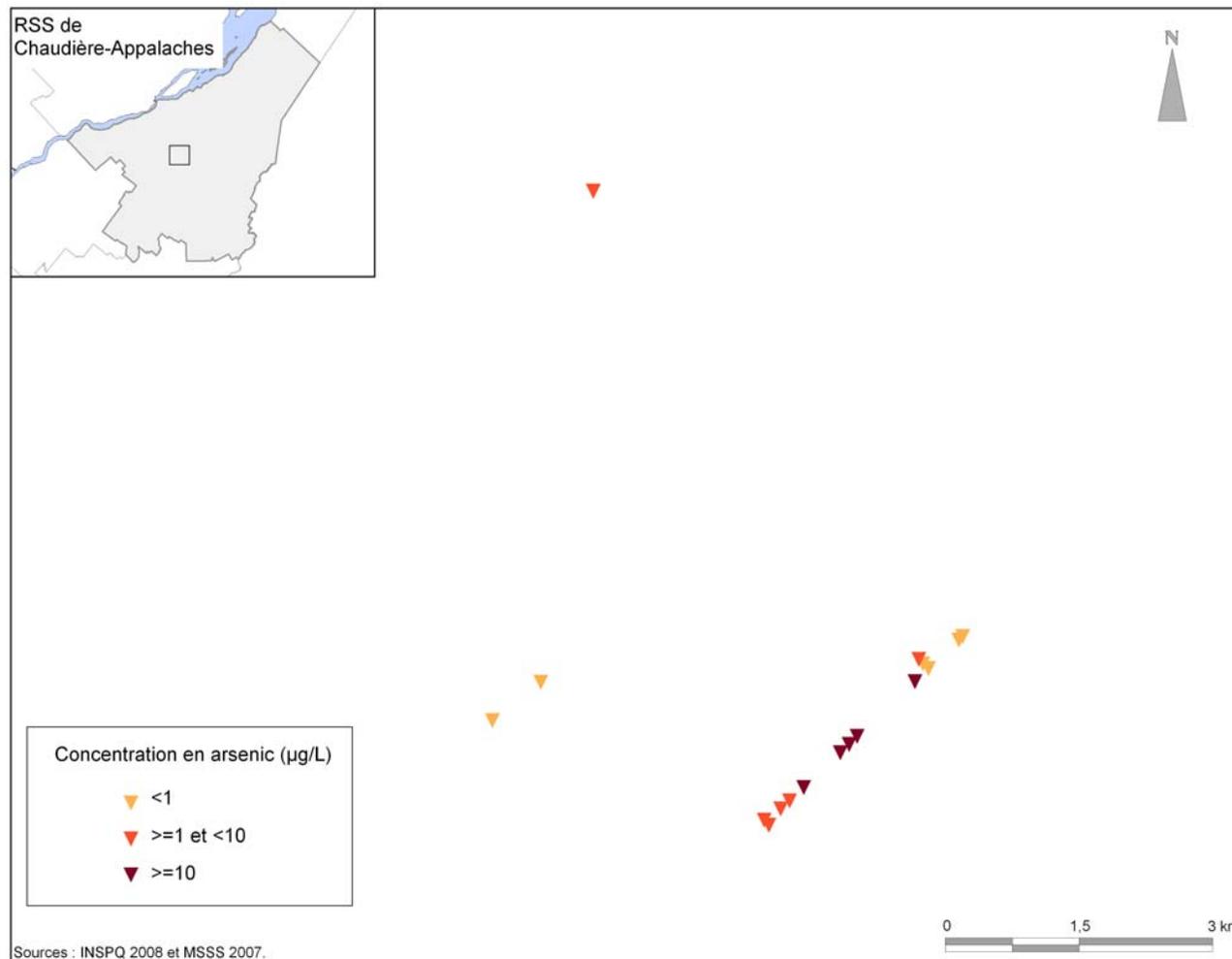


\* les valeurs indiquées sont en mg/L

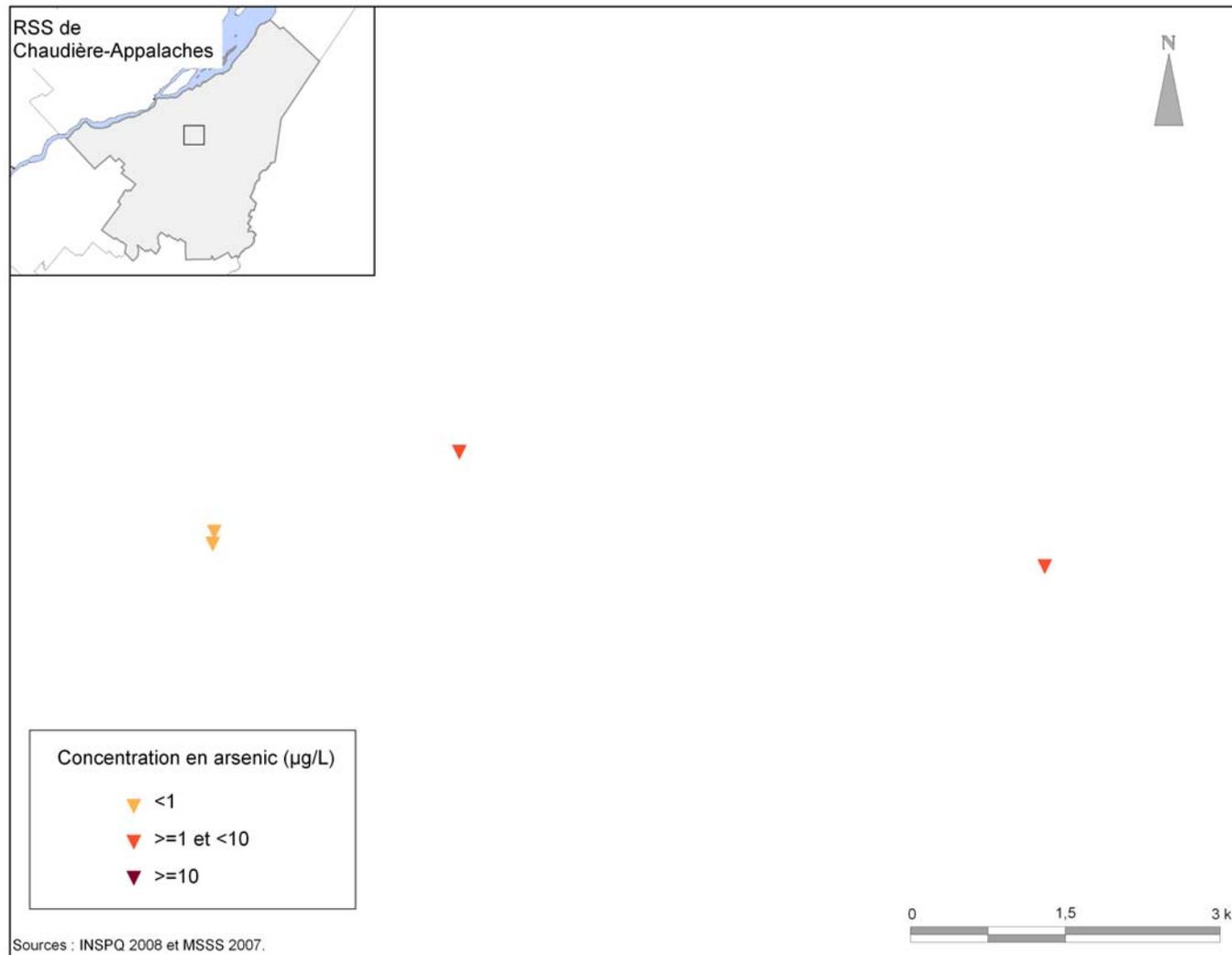
Carte (sud) des puits des participants admissibles à partir des données de 1983 établie a priori (Source : INSPQ, 2008)



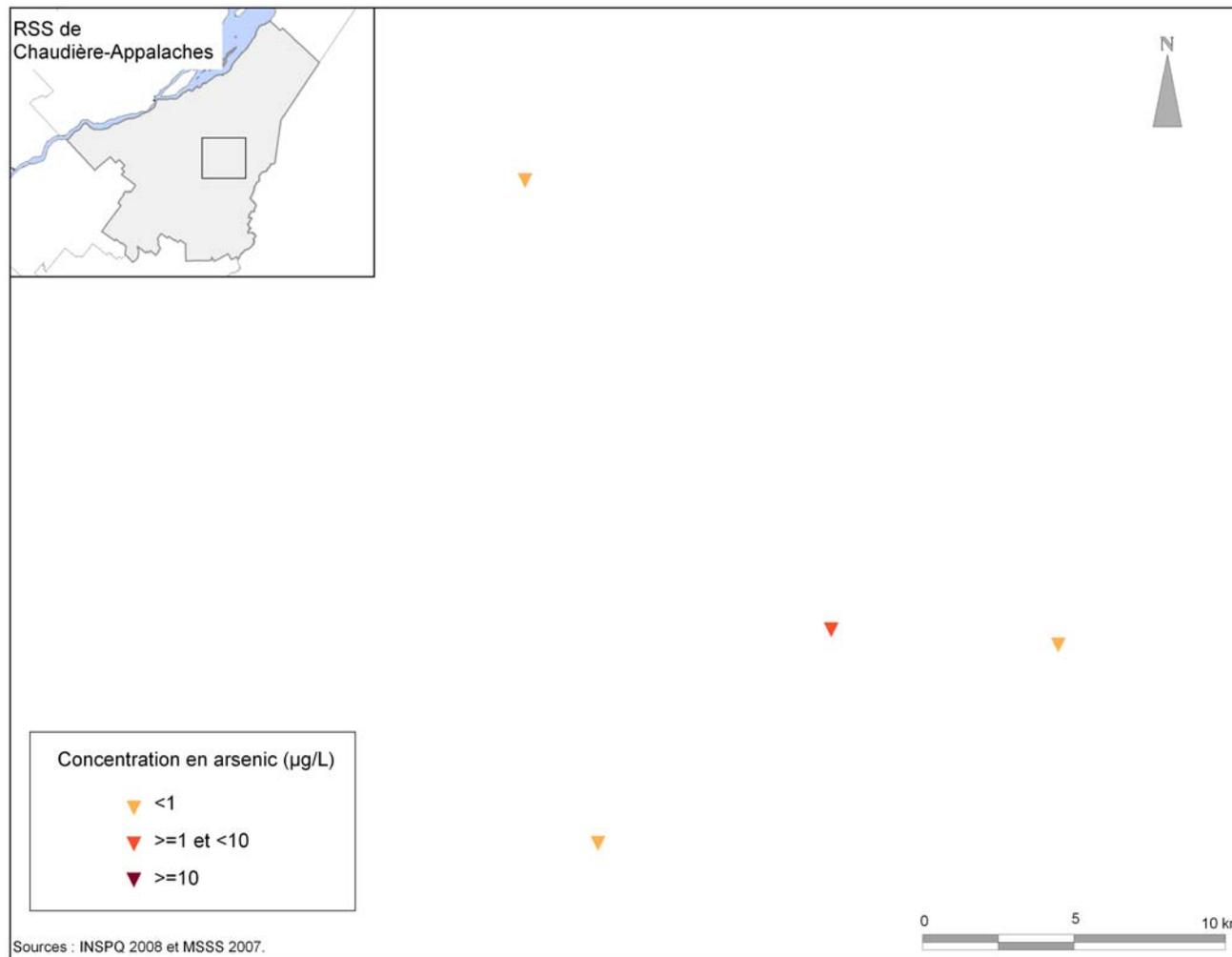
Carte générale des puits des participants admissibles établie *a posteriori* (source : INSPQ 2008)



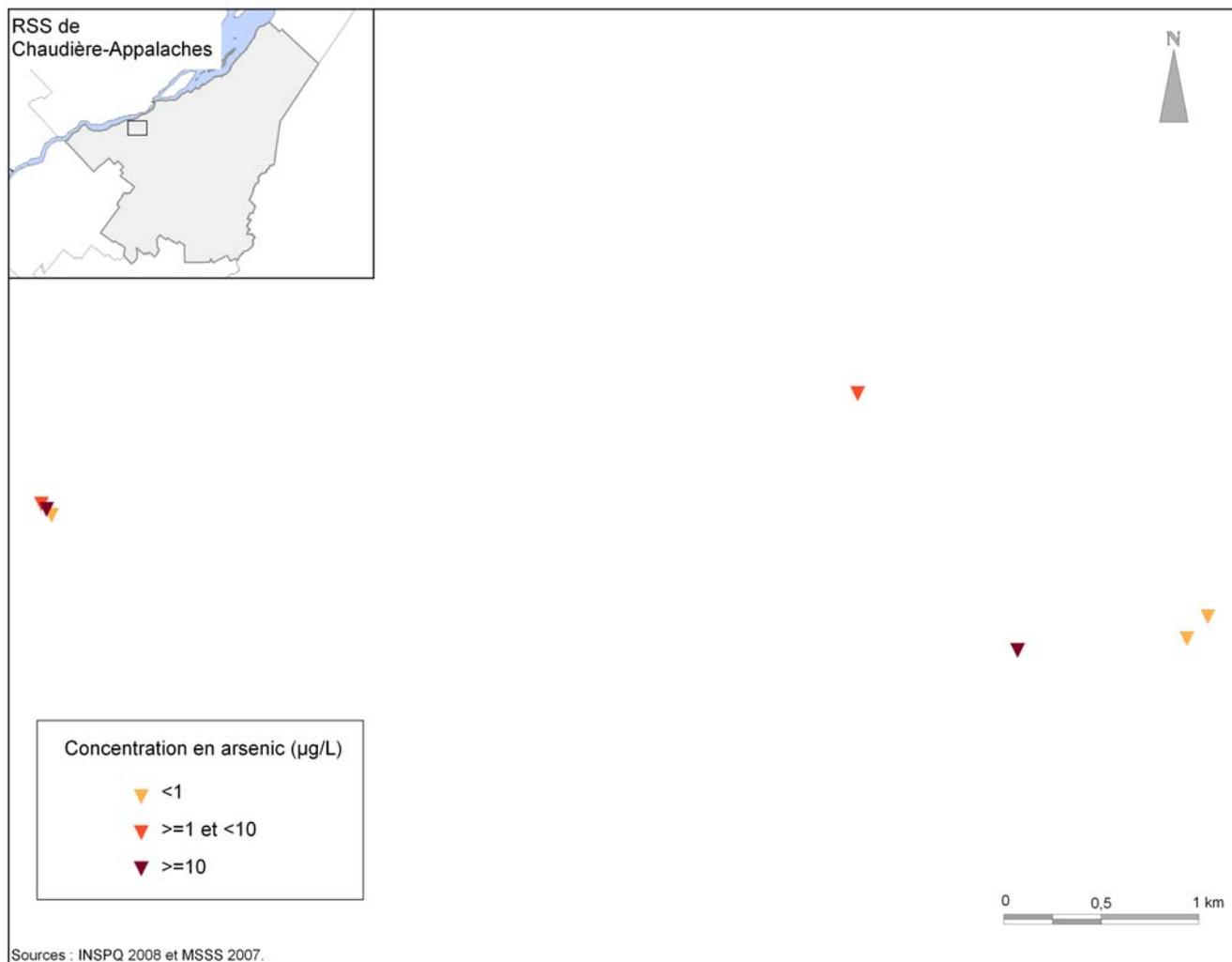
Carte (centre 1) des puits des participants admissibles établie *a posteriori* (source : INSPQ 2008)



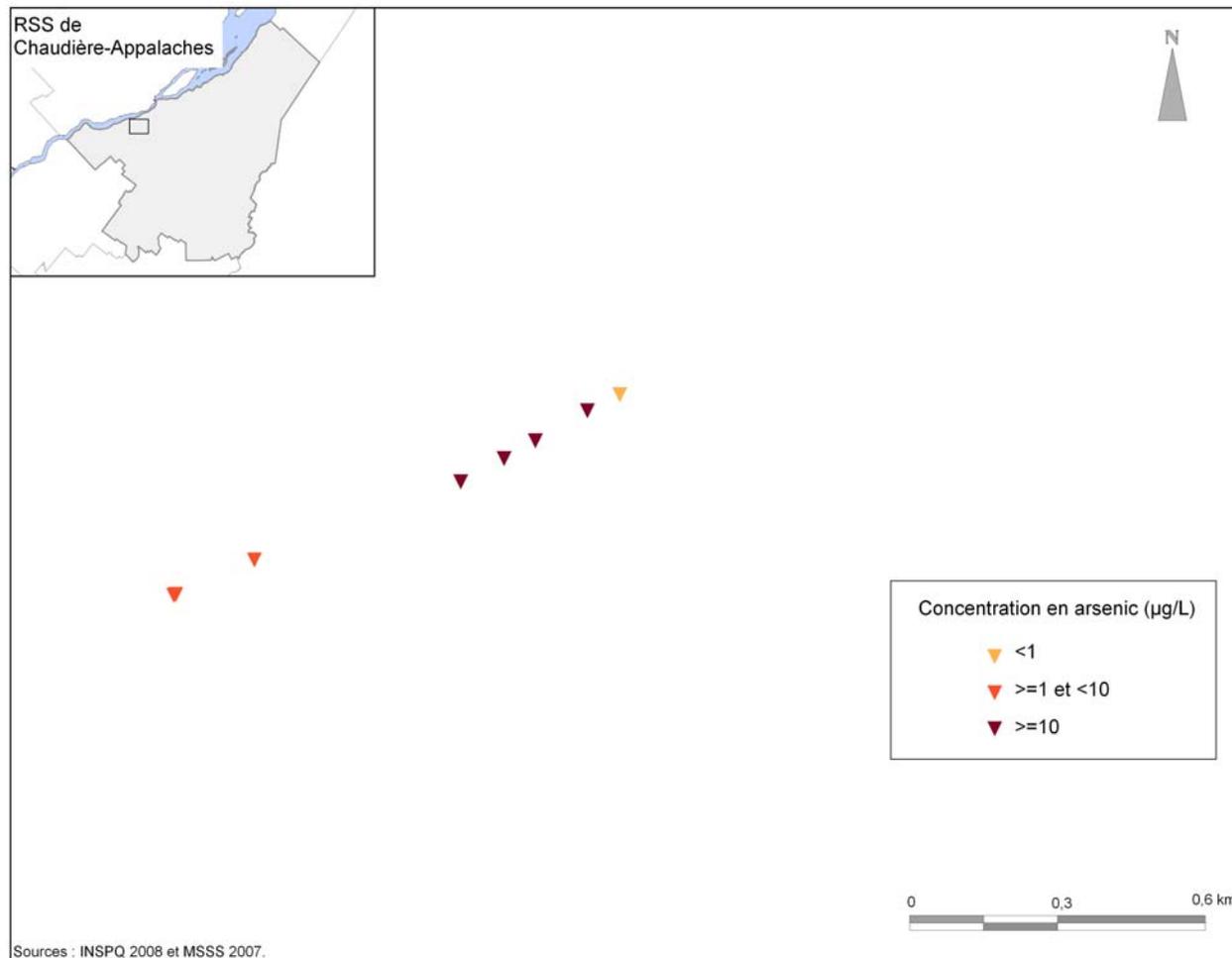
Carte (centre 2) des puits des participants admissibles établie *a posteriori* (source : INSPQ 2008)



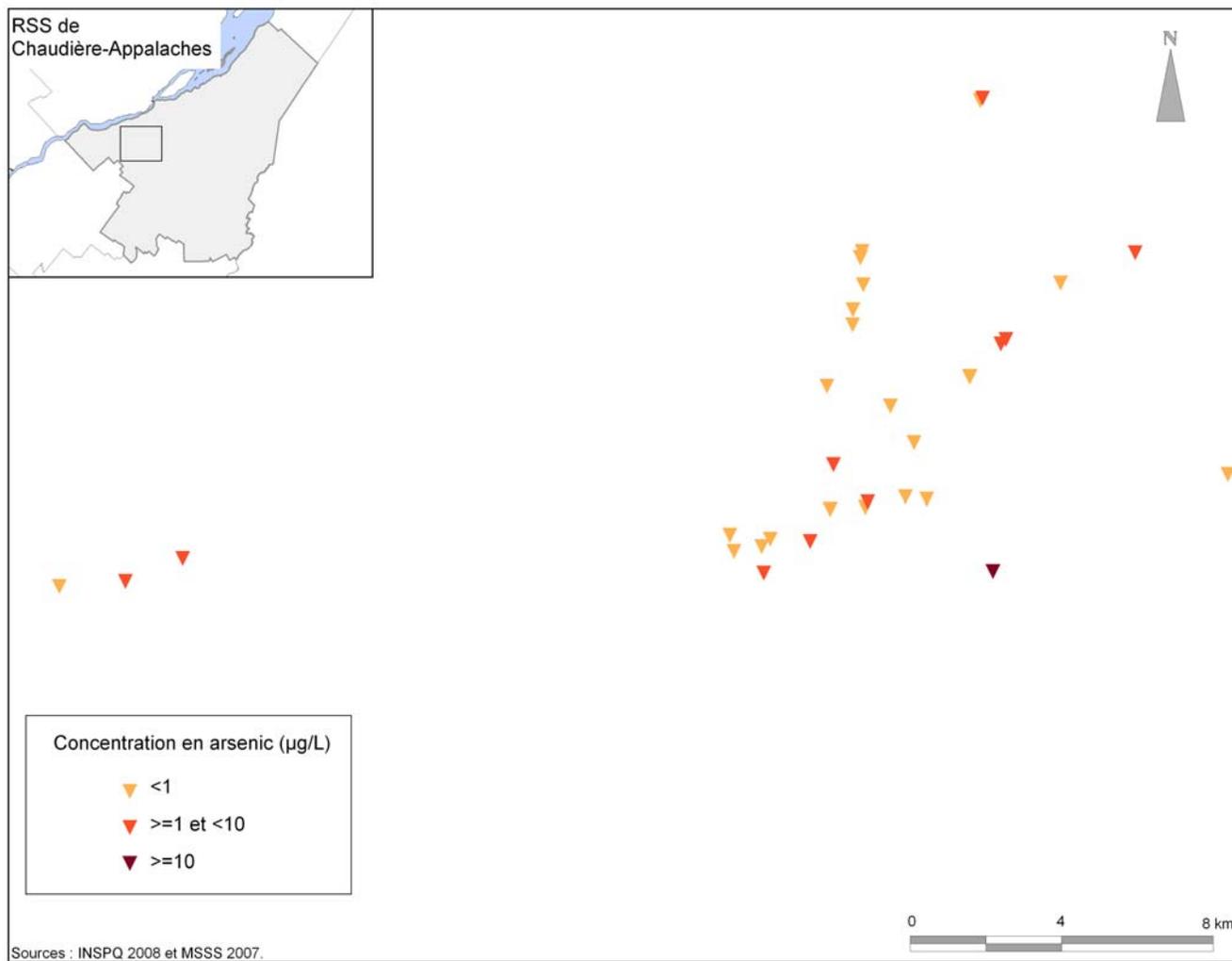
Carte (centre 3) des puits des participants admissibles établie *a posteriori* (source : INSPQ 2008)



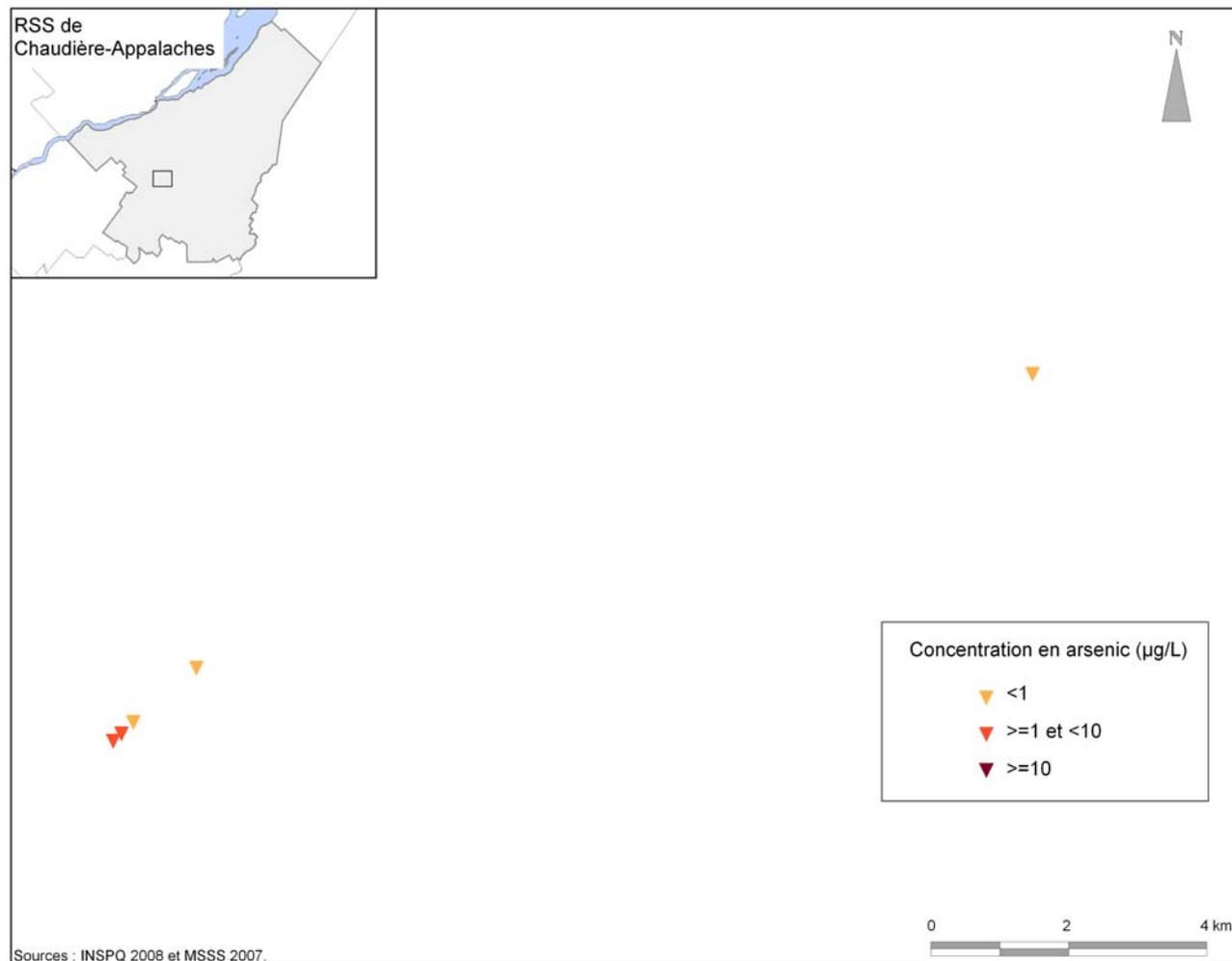
Carte (nord ouest 1) des puits des participants admissibles établie *a posteriori* (source : INSPQ 2008)



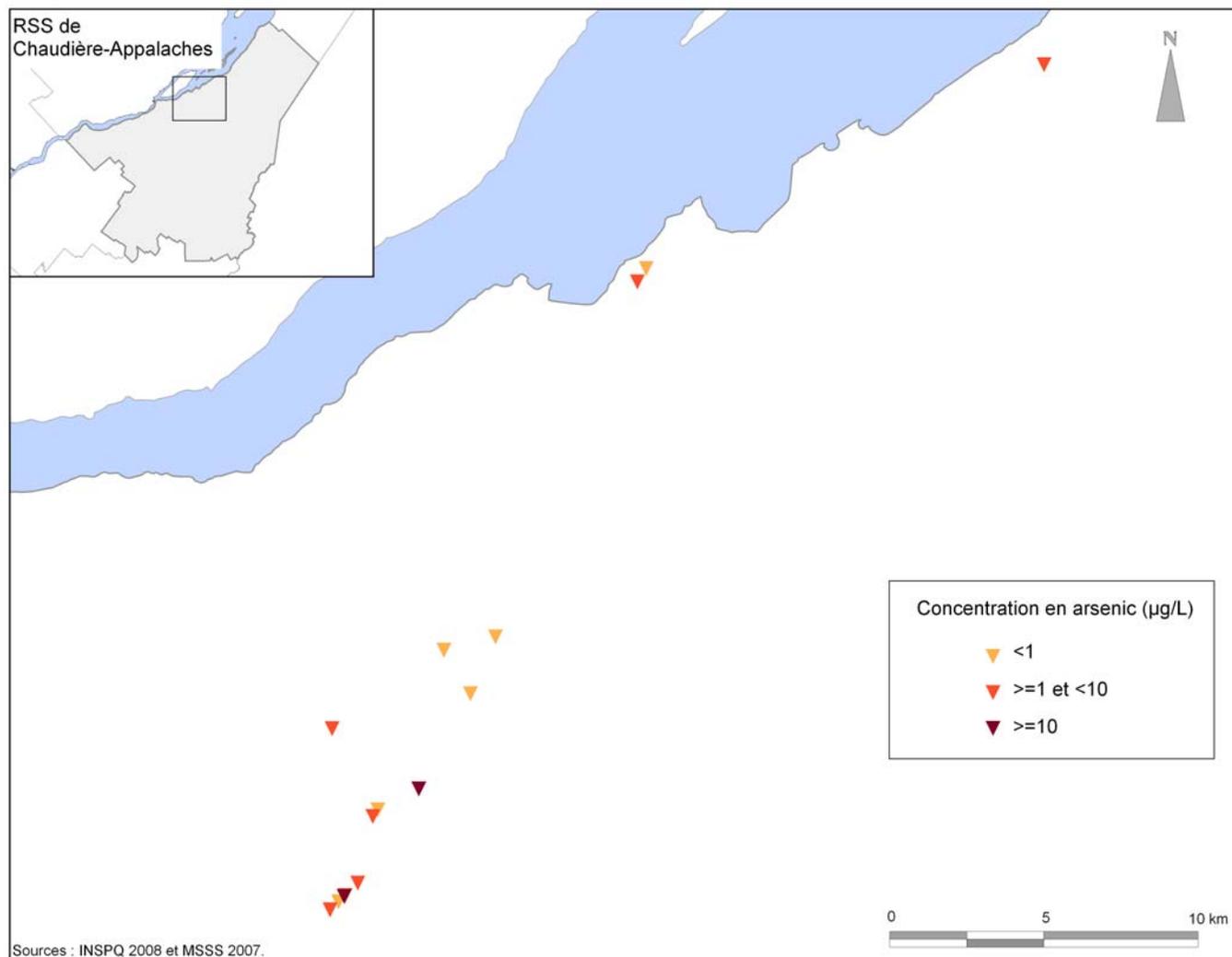
Carte (nord ouest 2) des puits des participants admissibles établie *a posteriori* (source : INSPQ 2008)



Carte (nord ouest 3) des puits des participants admissibles établie *a posteriori* (source : INSPQ 2008)



Carte (ouest 1) des puits des participants admissibles établie *a posteriori* (source : INSPQ 2008)



Carte (nord) des puits des participants admissibles établie *a posteriori* (source : INSPQ 2008)



## Annexe 11 : Test de normalité

Tableau : Test de normalité

	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	Statistic	dl	P value	Statistic	dl	P value
Concentration en As dans l'eau en $\mu\text{g/L}$ (As_eau_ppm)	,327	105	,000	,508	105	,000
Concentration en As dans les gros ongles en $\mu\text{g/g}$ (As_gros_ongles_ppm)	,330	105	,000	,469	105	,000
Concentration en As dans les autres ongles en $\mu\text{g/g}$ (As_autres_ongles_ppm)	,358	105	,000	,468	105	,000
Concentration en As dans les cheveux en $\mu\text{g/g}$ (As_cheveux_ppm)	,308	105	,000	,452	105	,000
Niveau de 8-OHdG en $\mu\text{g/g}$ (oxodG)	,322	105	,000	,278	105	,000
Ln_As_eau_ppm	,080	105	,098	,958	105	,002
LnAs_gros_ongles	,127	105	,000	,938	105	,000
LnAs_autres_ongles_ppm	,133	105	,000	,898	105	,000
LnnoxodG	,132	105	,000	,771	105	,000
LnAs_cheveux	,083	105	,073	,981	105	,139



## Annexe 12 : Corrélations de Spearman pour l'ensemble des 3 groupes de concentration

		As_eau_ppm	As_gros_ongles_ppm	As_autres_ongles_ppm	As_cheveux_ppm	oxodG	Apport_As_alimentation	Apport_as_eau
As_eau_ppm	Correlation Coefficient	1,000	<b>,612**</b>	<b>,585**</b>	<b>,522**</b>	-,147	,033	<b>,608</b>
	Sig. (2-tailed)	.	,000	,000	,000	,125	,734	,000
	N	110	109	108	109	110	110	110
As_gros_ongles_ppm	Correlation Coefficient	<b>,612**</b>	1,000	<b>,853**</b>	<b>,525**</b>	-,123	,019	<b>,564**</b>
	Sig. (2-tailed)	,000	.	,000	,000	,203	,841	,000
	N	109	109	108	108	109	109	109
As_autres_ongles_ppm	Correlation Coefficient	<b>,585**</b>	<b>,853**</b>	1,000	<b>,529**</b>	-,128	,072	<b>,509**</b>
	Sig. (2-tailed)	,000	,000	.	,000	,186	,460	,000
	N	108	108	108	107	108	108	108
As_cheveux_ppm	Correlation Coefficient	<b>,522**</b>	<b>,525**</b>	<b>,529**</b>	1,000	-,099	,014	<b>,567**</b>
	Sig. (2-tailed)	,000	,000	,000	.	,308	,883	,000
	N	109	108	107	109	109	109	109
oxodG	Correlation Coefficient	-,147	-,123	-,128	-,099	1,000	,028	-,171
	Sig. (2-tailed)	,125	,203	,186	,308	.	,774	,074
	N	110	109	108	109	110	110	110
Apport_As_alimentation	Correlation Coefficient	,033	,019	,072	,014	,028	1,000	,012
	Sig. (2-tailed)	,734	,841	,460	,883	,774	.	,900
	N	110	109	108	109	110	110	110
Apport_as_eau	Correlation Coefficient	<b>,608</b>	<b>,564**</b>	<b>,509**</b>	<b>,567**</b>	-,171	,012	1,000
	Sig. (2-tailed)	,000	,000	,000	,000	,074	,900	.
	N	110	109	108	109	110	110	110

\*\* . Correlation significative au niveau 0.01 (test bilatéral)

## Annexe 13 : Corrélation de Spearman pour chacun des 3 groupes de concentration

### Groupe 0 (<1µg/L)

		As_eau_ppm	As_gros_ongles_ppm	As_autres_ongles_ppm	As_cheveux_ppm	oxodG	Apport_As_alimentation	Apport_as_eau
As_eau_ppm	Correlation Coefficient	1,000	,189	,227	,055	-,232	-,031	,053
	Sig. (2-tailed)	.	,167	,095	,690	,089	,820	,700
	N	55	55	55	54	55	55	55
As_gros_ongles_ppm	Correlation Coefficient	,189	1,000	,810*	,301*	-,164	,031	,319*
	Sig. (2-tailed)	,167	.	,000	,027	,232	,820	,018
	N	55	55	55	54	55	55	55
As_autres_ongles_ppm	Correlation Coefficient	,227	,810*	1,000	,327*	-,146	,128	,171
	Sig. (2-tailed)	,095	,000	.	,016	,288	,353	,212
	N	55	55	55	54	55	55	55
As_cheveux_ppm	Correlation Coefficient	,055	,301*	,327*	1,000	-,036	,080	,439*
	Sig. (2-tailed)	,690	,027	,016	.	,793	,567	,001
	N	54	54	54	54	54	54	54
oxodG	Correlation Coefficient	-,232	-,164	-,146	-,036	1,000	,029	-,141
	Sig. (2-tailed)	,089	,232	,288	,793	.	,835	,303
	N	55	55	55	54	55	55	55
Apport_As_alimentation	Correlation Coefficient	-,031	,031	,128	,080	,029	1,000	,061
	Sig. (2-tailed)	,820	,820	,353	,567	,835	.	,656
	N	55	55	55	54	55	55	55
Apport_as_eau	Correlation Coefficient	,053	,319*	,171	,439*	-,141	,061	1,000
	Sig. (2-tailed)	,700	,018	,212	,001	,303	,656	.
	N	55	55	55	54	55	55	55

\*\* . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

\* . Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

**Groupe 1 (1 à 10 µg/L)**

		As_eau_ppm	As_gros_ongles_ppm	As_autres_ongles_ppm	As_cheveux_ppm	oxodG	Apport_As_alimentation	Apport_as_eau
As_eau_ppm	Correlation Coefficient	1,000	,146	,008	-,001	,030	-,216	,255
	Sig. (2-tailed)	.	,417	,963	,995	,867	,220	,146
	N	34	33	33	34	34	34	34
As_gros_ongles_ppm	Correlation Coefficient	,146	1,000	<b>,635**</b>	,058	,025	-,277	,141
	Sig. (2-tailed)	,417	.	,000	,747	,888	,119	,434
	N	33	33	33	33	33	33	33
As_autres_ongles_ppm	Correlation Coefficient	,008	<b>,635**</b>	1,000	,038	-,014	-,072	,276
	Sig. (2-tailed)	,963	,000	.	,835	,940	,689	,120
	N	33	33	33	33	33	33	33
As_cheveux_ppm	Correlation Coefficient	-,001	,058	,038	1,000	-,024	-,175	,201
	Sig. (2-tailed)	,995	,747	,835	.	,895	,322	,255
	N	34	33	33	34	34	34	34
oxodG	Correlation Coefficient	,030	,025	-,014	-,024	1,000	,001	-,224
	Sig. (2-tailed)	,867	,888	,940	,895	.	,994	,203
	N	34	33	33	34	34	34	34
Apport_As_alimentation	Correlation Coefficient	-,216	-,277	-,072	-,175	,001	1,000	-,189
	Sig. (2-tailed)	,220	,119	,689	,322	,994	.	,284
	N	34	33	33	34	34	34	34
Apport_as_eau	Correlation Coefficient	,255	,141	,276	,201	-,224	-,189	1,000
	Sig. (2-tailed)	,146	,434	,120	,255	,203	,284	.
	N	34	33	33	34	34	34	34

\*\* . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

**Groupe 2 (>10 µg/L)**

		As_eau_ppm	As_gros_ongles_ppm	As_autres_ongles_ppm	As_cheveux_ppm	oxodG	Apport_As_alimentation	Apport_as_eau
As_eau_ppm	Correlation Coefficient	1,000	,723**	,743**	,359	,065	-,079	,655**
	Sig. (2-tailed)	.	,000	,000	,110	,779	,732	,001
	N	21	21	20	21	21	21	21
As_gros_ongles_ppm	Correlation Coefficient	,723**	1,000	,747**	,692**	-,131	,148	,666**
	Sig. (2-tailed)	,000	.	,000	,001	,573	,523	,001
	N	21	21	20	21	21	21	21
As_autres_ongles_ppm	Correlation Coefficient	,743**	,747**	1,000	,543**	-,195	,055	,562**
	Sig. (2-tailed)	,000	,000	.	,013	,409	,818	,010
	N	20	20	20	20	20	20	20
As_cheveux_ppm	Correlation Coefficient	,359	,692**	,543**	1,000	-,291	-,133	,466**
	Sig. (2-tailed)	,110	,001	,013	.	,201	,565	,033
	N	21	21	20	21	21	21	21
oxodG	Correlation Coefficient	,065	-,131	-,195	-,291	1,000	,231	-,319
	Sig. (2-tailed)	,779	,573	,409	,201	.	,314	,159
	N	21	21	20	21	21	21	21
Apport_As_alimentation	Correlation Coefficient	-,079	,148	,055	-,133	,231	1,000	-,057
	Sig. (2-tailed)	,732	,523	,818	,565	,314	.	,808
	N	21	21	20	21	21	21	21
Apport_as_eau	Correlation Coefficient	,655**	,666**	,562**	,466**	-,319	-,057	1,000
	Sig. (2-tailed)	,001	,001	,010	,033	,159	,808	.
	N	21	21	20	21	21	21	21

\*\* . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

\* . Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

## Annexe 14 : Résultats des analyses statistiques significatives de l'étape 5 (Mann Whitney)

Tableau a: résultat des tests de Mann Whitney sur l'ensemble des groupes de concentration

Biomarqueurs considérés	Variables considérées		N	Moyenne des rangs	Somme des rangs	P value
As_cheveux_ppm	Sexe	Femme	64	44,30	2835,00	<0,001
		Homme	45	70,22	3160,00	
As_cheveux_ppm	Coloration des cheveux	Non	64	67,23	4303,00	<0,001
		Oui	45	37,60	1692,00	

Tableau b: résultat des tests de Mann Whitney pour le groupe 0 (<1µg/L)

Biomarqueurs considérés	Variables considérées		N	Moyenne des rangs	Somme des rangs	P value
As_cheveux_ppm	Sexe	Femme	32	21,14	676,50	<0,001
		Homme	22	36,75	808,50	
As_cheveux_ppm	Coloration des cheveux	Non	33	34,41	1135,50	<0,001
		Oui	21	16,64	349,50	

Tableau c: résultat des tests de Mann Whitney pour le groupe 1 (entre 1µg/L et 10µg/L)

Biomarqueurs considérés	Variables considérées		N	Moyenne des rangs	Somme des rangs	P value
As_cheveux_ppm	Sexe	Femme	20	13,45	269,00	0,005
		Homme	14	23,29	326,00	
As_cheveux_ppm	Coloration des cheveux	Non	18	22,72	409,00	0,001
		Oui	16	11,62	186,00	

Tableau d: résultat des tests de Mann Whitney pour le groupe 2 (> 10µg/L)

Biomarqueurs considérés	Variables considérées		N	Moyenne des rangs	Somme des rangs	P value
As_gros_ongles_ppm	Analyse de l'eau du puits dans la dernière année	Non	18	9,61	173,00	0,012
		Oui	3	19,33	58,00	
As_autres_ongles_ppm	Analyse de l'eau du puits dans la dernière année	Non	17	9,29	158,00	0,030
		Oui	3	17,33	52,00	
As_cheveux_ppm	Analyse de l'eau du puits dans la dernière année	Non	18	9,67	174,00	0,016
		Oui	3	19,00	57,00	
As_cheveux_ppm	Coloration des cheveux	Non	13	13,46	175,00	0,020
		Oui	8	7,00	56,00	

## Annexe 15 : Résultats des analyses statistiques significatives de l'étape 5 (Kruskal Wallis)

Tableau a: résultat des tests de Kruskal Wallis sur l'ensemble des groupes de concentration

Biomarqueurs considérés	Variables considérées		N	Moyenne des rangs	P value
As_cheveux_ppm	Type de puits	Puits artésien	74	59,41	0,023
		Puits de surface	32	41,36	
		Pointe filtrante	1	58,00	
As_cheveux_ppm	Type de puits	Puits artésien	73	59,19	0,006
		Puits de surface	32	39,47	
		Pointe filtrante	1	87,00	
As_cheveux_ppm	Type de puits	Puits artésien	74	60,35	0,004
		Puits de surface	32	40,64	
		Pointe filtrante	1	11,50	



## Annexe 16 : Cartes de localisation des échantillons contenant de l'arsenic

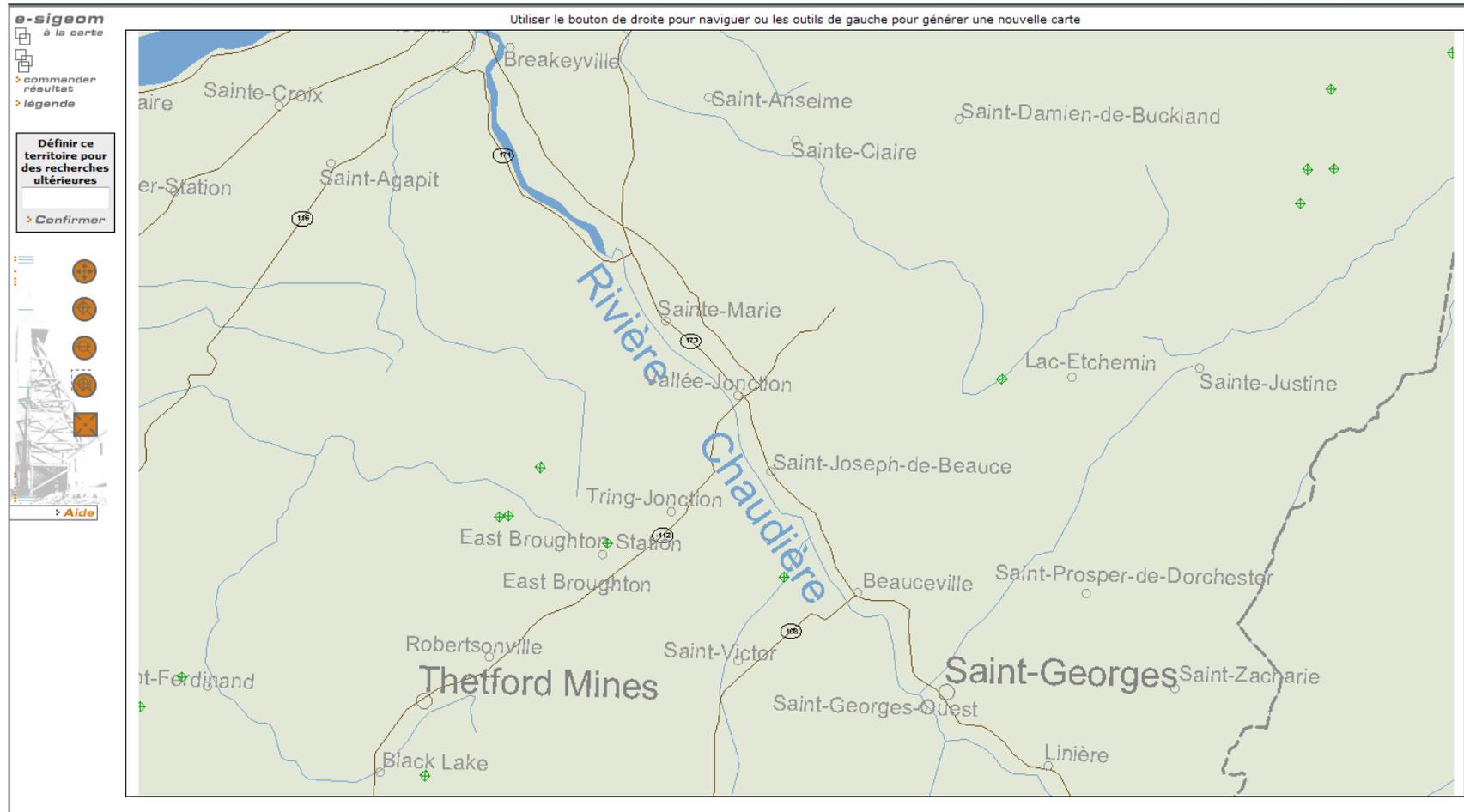


Figure a : Carte des échantillons de roches contenant des teneurs en As dans les sols >60µg/g [23].



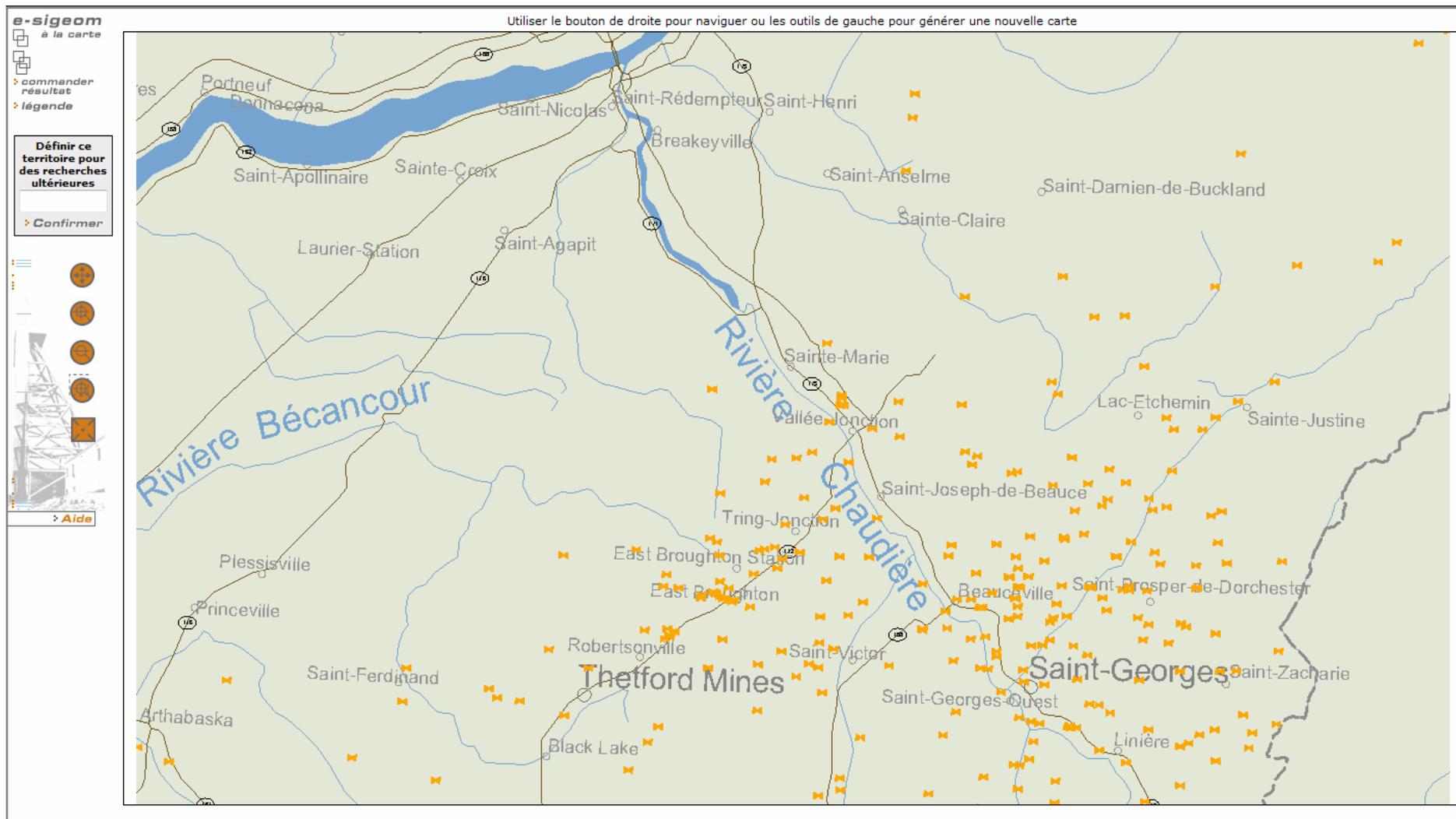


Figure c : Carte des échantillons de sédiments contenant teneurs d'arsenic >60µg/g [23].



