

Université de Montréal

**La datation du site Mailhot-Curran**  
**Application de la luminescence optique sur des poteries**  
**iroquoiennes du Saint-Laurent**

par

Laurence Forget Brisson

Département d'anthropologie

Faculté des Arts et des Sciences

Mémoire présenté à la Faculté des Arts et des Sciences  
en vue de l'obtention du grade de M.Sc  
en anthropologie

Juin, 2016

© Laurence Forget Brisson, 2016

## Résumé

La luminescence optique (OSL) a été mesurée sur dix-sept fragments de poterie collectés à Mailhot-Curran (BgFn-2), un site archéologique du Sylvicole supérieur tardif localisé dans le sud-ouest du Québec. Le but principal de ce projet était de dater ce site qui est considéré jusqu'à maintenant comme le plus récent site préhistorique de la concentration de Saint-Anicet, afin de poser un jalon dans la chronologie des sites de cette région. L'OSL a été utilisée conjointement à la datation par radiocarbone ( $^{14}\text{C}$ ) et la sériation du matériel archéologique. L'hypothèse archéologique propose que le village aurait été occupé pendant les années 1518 à 1530 de notre ère (Chapdelaine 2015a). Les résultats que nous proposons dans ce présent mémoire appuient cette proposition. Nous avons obtenu un âge de  $490 \pm 49$  ans (année de référence : 2013), correspondant à l'année 1523 de notre ère avec une probabilité d'occupation du site Mailhot-Curran entre les années 1474 et 1572.

Le programme de datation par luminescence optique a été réalisé sur des fragments de poterie domestique composés d'argile de la Mer de Champlain datant de la période du Quaternaire récent. La datation par stimulation infrarouge (IRSL) a été préférentiellement utilisée sur des aliquotes de grains fins polyminéraliques. Pour la détermination des doses équivalentes, un protocole SAR (Murray et Wintle 2000) modifié pour la mesure des feldspaths et incluant un lessivage optique a été utilisé (Lamothe et al. 2004). Les valeurs  $g$  ont été mesurées en suivant le protocole proposé par Auclair et al. (2003). La correction de Huntley et Lamothe (2001) a été utilisée afin de corriger les doses équivalentes mesurées pour la décroissance anormale du signal feldspathique. Les doses annuelles ont pour leur part été déterminées par des mesures réalisées *in situ* et en laboratoire.

Les résultats que nous présentons dans ce mémoire sont affectés par une dispersion assez large. Cette variabilité a été prise en compte par des méthodes statistiques pour la détermination de l'âge probable de l'occupation du site Mailhot-Curran.

**Mots clés :** Archéologie du Nord-Est nord-américain, datation par luminescence, datation des céramiques, IRSL, Iroquoiens du Saint-Laurent, Sylvicole supérieur, Vallée du Saint-Laurent.

## Abstract

Optically stimulated luminescence (OSL) has been measured on 17 ceramic sherds collected at the Mailhot-Curran site (BgFn-2), a Late Woodland archaeological site located in south west Quebec. The main goal of this project was to date the youngest prehistoric village found in the Saint Anicet cluster to establish its position in the chronological framework of the area. OSL was used conjointly with radiocarbon dating ( $^{14}\text{C}$ ) and seriation of the archaeological remains. The archaeological hypothesis proposes an occupation of this village between 1518 and 1530 A.D. (Chapdelaine 2015a). The luminescence results we present in this master's thesis are in agreement with this proposal : we obtained an age of  $490 \pm 49$ , which corresponds to A.D. 1523 with the probability of occupation at the Mailhot-Curran site between A.D. 1474 and 1572.

The luminescence dating program was carried out on local ceramics composed of fired late Quaternary Champlain Sea clays. IRSL (infrared stimulated luminescence) was preferentially used on polymineral fine-grains aliquots. A modified SAR-IRSL protocol including optical bleaching was used to measure the equivalent doses (Murray and Wintle 2000, Lamothe et al. 2004). G values were measured following the protocol proposed by Auclair et al. (2003). The Huntley-Lamothe correction for anomalous fading (Huntley and Lamothe 2001) was used to adjust the equivalent dose. Annual doses were assessed by *in situ* and laboratory measurements.

The results we present here are affected by a large range in the dates. This variability was taken into account by statistical methods in the determination of the age of the Mailhot-Curran site occupation.

**Key words :** Northeast North American archaeology, luminescence dating, ceramic dating, IRSL, St. Lawrence Iroquoians, Late Woodland, St. Lawrence River Valley.

# Table des matières

Résumé.....	i
Abstract.....	ii
Table des matières.....	iii
Liste des figures.....	vi
Liste des tableaux.....	viii
Liste des sigles et des abréviations.....	ix
Remerciements .....	x
Introduction.....	1
<b>1. Les cadres culturel, naturel et géologique .....</b>	<b>3</b>
1.1 Cadre culturel.....	3
1.1.1 Les Iroquoiens.....	3
1.1.2 Les Iroquoiens du Saint-Laurent.....	4
1.1.3 La concentration de Saint-Anicet.....	8
1.1.3.1 Historique des recherches et des découvertes à Saint-Anicet.....	9
1.2 Cadre naturel.....	11
1.2.1 Localisation du site archéologique Mailhot-Curran et description physique de la région .....	11
<b>2. Question de recherche et problématiques.....</b>	<b>15</b>
2.1 Problématiques archéologiques .....	15
2.2 Problématiques liées à l'application de la datation par luminescence .....	16
2.3 Question de recherche.....	17
<b>3. La luminescence .....</b>	<b>18</b>
3.1 Brève historique de la méthode.....	18
3.2 Principes physiques et modèles .....	18
3.2.1 Le modèle des bandes .....	20
3.3 La luminescence en tant que méthode de datation.....	21
3.3.1 L'équation d'âge .....	22

<b>4. Méthodologie .....</b>	<b>24</b>
4.1 Échantillonnage sur le site Mailhot-Curran .....	24
4.2 Protocole de préparation des échantillons.....	26
4.3 Mesures .....	28
4.3.1 Dose annuelle.....	28
4.3.2 Dose équivalente.....	28
4.3.2.1 Le protocole SAR .....	28
4.3.2.1.1 Sélection du signal luminescent des feldspaths potassiques.....	31
4.3.2.1.1.1 Décroissance anormale du signal luminescent des feldspaths.....	32
4.3.2.2 Détermination de la valeur g.....	33
4.3.3 La prédose du quartz.....	34
4.3.4 Appareillage et paramètres de lecture.....	36
<b>5. Résultats.....</b>	<b>37</b>
5.1 Dose annuelle.....	37
5.1.1 Dose interne .....	37
5.1.2 Dose externe.....	37
5.1.2.1 Contribution alpha .....	38
5.1.2.2 Contribution beta .....	39
5.1.2.3 Contribution gamma .....	39
5.1.2.4 Contribution cosmique.....	40
5.1.2.5 Teneur en eau.....	41
5.1.3 Calcul de la dose annuelle et résultats .....	41
5.2 Dose équivalente.....	42
5.2.1 Test du protocole SAR.....	42
5.2.2 Test du signal luminescent.....	44
5.2.3 Mesure de la dose équivalente.....	46
5.3.4 Valeurs g.....	47
5.3 Âges corrigés .....	48
5.3.1 Les modèles statistiques.....	49
5.3.1.1 Modèle de l'âge central.....	49
5.3.1.2 Le modèle de mélange fini.....	52
5.3.1.3 Le mode .....	54
<b>6. Discussion.....</b>	<b>56</b>
6.1 Le contexte chronologique selon les connaissances actuelles .....	56
6.2 Âge probable du site Mailhot-Curran .....	62

6.2.1 L'hypothèse archéologique .....	62
6.2.2 Comparaison de l'hypothèse archéologique avec les résultats issus de la datation par luminescence optique .....	64
<b>Conclusion</b> .....	<b>70</b>
Perspectives de recherche .....	70
L'événement de la remise à zéro initiale des minéraux .....	71
La dose annuelle .....	72
Datation des autres échantillons collectés.....	72
Extension du programme de datation aux autres sites archéologiques de la région de Saint-Anicet.....	73
Pertinence d'utiliser la luminescence dans le contexte du Nord-Est de l'Amérique du Nord..	73
<b>Bibliographie</b> .....	<b>75</b>
<b>Annexe 1</b> : Chronologie culturelle de la vallée du Saint-Laurent .....	<b>88</b>
<b>Annexe 2</b> : Liste des échantillons soumis au laboratoire <i>LUX</i> .....	<b>89</b>
<b>Annexe 3</b> : Plan du site Mailhot-Curran et localisation des échantillons datés .....	<b>91</b>
<b>Annexe 4</b> : Calcul de la dose annuelle - intrants .....	<b>93</b>
<b>Annexe 5</b> : Calcul de la dose annuelle - sortants.....	<b>98</b>
<b>Annexe 6</b> : Tableau récapitulatif des âges.....	<b>101</b>

## Liste des figures

<b>Figure 1.1</b> : Localisation des groupes de langue algonquienne et ceux de langue iroquoise au moment du contact (adapté de Pintal et al. 2015 : 95).....	4
<b>Figure 1.2</b> : Localisation du territoire occupé par les Iroquoiens dans le Nord-Est de l'Amérique du Nord (tiré de Tremblay 2006 : 16) .....	5
<b>Figure 1.3</b> : Distribution territoriale des sites Iroquoiens du Saint-Laurent. (Adaptée de Chapdelaine 2015b : 52-53).....	7
<b>Figure 1.4</b> : Carte topographique de la région de Saint-Anicet localisant les principaux sites archéologiques .....	13
<b>Figure 3.1</b> : Luminescence visible à l'œil nu. Stimulation thermique de CaSO <sub>4</sub> .....	19
<b>Figure 3.2</b> : Schématisation du modèle des bandes .....	21
<b>Figure 4.1</b> : Dépotoir nord-ouest associé à la maison-longue #2 (crédit : Pierre Corbeil) .....	25
<b>Figure 4.2</b> : Tesson de corps (tiré de Woods et al. 2015 : 165).....	26
<b>Figure 4.3</b> : Aliquotes de grains fins (4-11 µm) polyminéraliques.....	27
<b>Figure 4.4</b> : Courbe de croissance de l'échantillon Mc-17, aliquote 10 .....	30
<b>Figure 5.1</b> : Apports radioactifs provenant de la poterie (cer) et du sédiment encaissant (sed) .....	38
<b>Figure 5.2</b> : Résultats des dose recovery test.....	44
<b>Figure 5.3</b> : Intensité lumineuse naturelle de trois aliquotes stimulés à différentes températures lors de la lecture IRSL (50°C, 100°C et 150°C) .....	45
<b>Figure 5.4</b> : Luminescence résiduelle après un lessivage optique (Hönle SOL 2) de 15 minutes .....	46
<b>Figure 5.5</b> : Valeur g de l'échantillon Mc-4 .....	47
<b>Figure 5.6</b> : Présentation dans un graphique radial des âges corrigés des 17 échantillons.....	51
<b>Figure 5.7</b> : Présentation dans un graphique radial des âges corrigés des 152 aliquotes.....	52
<b>Figure 5.8</b> : Âges corrigés des 17 échantillons datés selon le FMM .....	54
<b>Figure 5.9</b> : Histogramme des âges.....	55
<b>Figure 6.1</b> : Variation de la concentration de <sup>14</sup> C dans l'atmosphère au cours du temps (entre 1400 et 1950 de notre ère) (tiré de Hua 2009 : 381).....	61
<b>Figure 6.2</b> : Courbe de calibration pour un échantillon de Mailhot-Curran .....	62

**Figure 6.3** : Distribution de l'âge des dix-sept échantillons datés ..... **66**



## Liste des tableaux

<b>Tableau 4.1</b> : Protocole de mesure SAR modifié .....	<b>31</b>
<b>Tableau 4.2</b> : Protocole de mesure pour la prédose du quartz.....	<b>35</b>
<b>Tableau 5.1</b> : Âges corrigés .....	<b>50</b>
<b>Tableau 6.1</b> : Récapitulatif des résultats issus des datations par $^{14}\text{C}$ .....	<b>64</b>

## Liste des sigles et des abréviations

AA : Avant aujourd'hui (aujourd'hui étant en 1950)

A.D. : De notre ère (*Anno Domini*)

AMS : Spectrométrie de masse par accélération (*accelerator mass spectrometry*)

ANM : Au-dessus du niveau de la mer

BIC : Critère d'information bayésien (*bayesian information criterion*)

CAM : Modèle d'âge central (*central age model*)

Da : Dose annuelle

De : Dose équivalente

DRAC : *Dose Rate and Age Calculator*

FK : Feldspath potassique

Gy : Gray

IRSL : Luminescence par stimulation infrarouge (*infrared stimulated luminescence*)

FMM : Modèle de mélange fini (*finite mixture model*)

OD : Sur-dispersion (*over-dispersion*)

OSL : Luminescence stimulée optiquement (*optically stimulated luminescence*)

P : Paléodose

SAR : Aliquote unique en régénération (*Single aliquot regeneration*)

SI : Système international

TL : Thermoluminescence

## Remerciements

Tout d'abord, un énorme merci à mes directeurs, les professeurs Claude Chapdelaine et Michel Lamothe, pour leur soutien constant, leurs nombreux conseils et leur disponibilité. J'apprécie qu'ils aient eu confiance en moi et je leur en suis très reconnaissante. Ce fut un honneur de réaliser ce projet dans le laboratoire Lux, et je tiens à les remercier de m'avoir donné cette chance.

J'ai développé une passion grandissante pour la luminescence et je dois en majeure partie cet intérêt à Sébastien Huot. Merci d'avoir été si présent dès le départ et pour m'avoir appris tant de choses. Tu as été et tu es encore si présent, dévoué et d'une aide incroyable. C'est une chance que j'ai eu de t'avoir côtoyé.

Je tiens à remercier sincèrement le grand François Hardy qui m'a aidé à aller toujours plus loin. Tes conseils ont été très utiles et ton avis est très cher à mes yeux. Tu m'as accordé beaucoup de temps et je te remercie énormément pour ton aide. J'ai apprécié nos discussions luminescentes... j'aurai vraiment beaucoup de choses à tester dans le futur ! C'est une chance de travailler avec toi.

Merci à Guillaume Thiery et Nathaly Desjardins-Martin, vous avez contribué à rendre mon quotidien au laboratoire très agréable ! Merci aussi à Magali Barré. Je tiens également à remercier Guillaume pour la réalisation de la figure 5.1 ainsi que Michelle Laithier pour la figure 3.2 et l'affiche présentée au LED en 2014.

Je ne peux qu'exprimer la plus grande des gratitudes à ma famille pour leur support. Vous êtes exceptionnels et j'ai tant de chance de vous avoir. Même chose pour toi, Gabrielle Danford Dussault !

## Introduction

Un problème récurrent de l'archéologie du Nord-Est de l'Amérique du Nord est de situer dans le temps l'occupation des différents gisements. Bien que la datation radiocarbone ( $^{14}\text{C}$ ) soit presque systématiquement utilisée depuis de nombreuses années, les résultats issus de cette méthode de datation absolue sont parfois insatisfaisants pour plusieurs raisons. La sériation du matériel archéologique, pour sa part, est une approche de datation relative fortement utile, mais elle ne peut apporter une grande précision concernant la date d'occupation des sites. La luminescence peut donc être utilisée dans l'optique d'apporter une plus grande précision sur cette question temporelle.

Dans le cadre de ce projet de datation du site archéologique Mailhot-Curran (BgFn-2) de la région de Saint-Anicet (vallée du Saint-Laurent, sud-ouest du Québec), la luminescence a été appliquée sur des fragments de poterie trouvés *in situ*. Les mesures ont été réalisées au laboratoire *Lux* de l'Université du Québec à Montréal sous la direction du professeur Michel Lamothe. Cette méthode a été utilisée de manière complémentaire afin d'éventuellement construire, pour les Iroquoiens du Saint-Laurent de Saint-Anicet et pour les Iroquoiens du Saint-Laurent en général, une chronologie des sites fiable et précise.

Ce projet est la seconde tentative d'utilisation de la luminescence sur des fragments de poterie du Nord-Est de l'Amérique du Nord (Pelletier 1996, Lamothe 2004, Forget Brisson et al. 2015a, 2015b). Le premier programme de datation par luminescence (thermoluminescence, ou TL) a été fait sur des tessons de poterie provenant de sites archéologiques du Cap Tourmente et de l'Île Verte. Les résultats étaient cohérents avec ceux proposés par le  $^{14}\text{C}$ , mais tout de même assez peu précis (Pelletier 1996). Réalisés plusieurs années plus tard, les âges présentés dans cette nouvelle étude ont pour leur part bénéficié des nouvelles avancées de la méthode de datation par luminescence stimulée optiquement (OSL), entre autres le développement de protocoles de lecture plus adaptés et plus efficaces, de méthodes de correction pour la décroissance anormale du signal des feldspaths, de modèles statistiques pour l'analyse des données, etc. Il devenait donc pertinent de tester à nouveau l'utilisation de cette méthode dans le contexte particulier qu'est l'archéologie préhistorique du Nord-Est de l'Amérique du Nord.

Ce mémoire vise à détailler le projet de recherche qui a été réalisé, soit la datation du site archéologique Mailhot-Curran par la luminescence optique. Nous avons veillé à poser les fondements contextuels, physiques et méthodologiques afin de faciliter la compréhension générale, mais le lecteur se verra souvent référé à d'autres sources traitant des sujets abordés de manière plus complète et approfondie. Mentionnons entre autre la récente monographie traitant du site archéologique étudié dans ce mémoire, soit « Mailhot-Curran : un village iroquoien du XVIIe siècle » (Chapdelaine 2015d). Nous ferons souvent référence à ce volume réalisé par une équipe multidisciplinaire dirigée par Claude Chapdelaine. Les occupants du site Mailhot-Curran étaient des Iroquoiens du Saint-Laurent, et tout apport qui sera fait dans ce mémoire vise en premier lieu à documenter ce groupe culturel qui reste, malgré tout, encore assez mal connu des archéologues. Ce projet s'insère donc dans un programme de recherche à grande échelle étudiant la variabilité culturelle des Iroquoiens du Saint-Laurent.

Dans le premier chapitre de ce mémoire, nous présenterons les Iroquoiens du Saint-Laurent, ensuite ceux qui vivaient dans la région de Saint-Anicet, et finalement ceux qui occupaient le village même de Mailhot-Curran. L'environnement de la région et du site archéologique seront également décrits. Les problématiques de recherche seront par la suite énoncées dans le second chapitre. Elles sont divisées en deux catégories distinctes, d'une part celles touchant l'archéologie et d'autre part celle touchant la datation absolue des artefacts de Mailhot-Curran par la luminescence optique. Puis, dans le chapitre trois, nous nous attarderons à la méthode de datation qui a été utilisée, soit à tout ce qui a trait à la luminescence. Les grands principes seront présentés, de même qu'un bref historique des avancées scientifiques des dernières années. Nous nous pencherons ensuite sur la méthodologie au quatrième chapitre, notamment sur la méthode d'échantillonnage, la technique de préparation des échantillons et les différents protocoles de mesure pour ensuite présenter les résultats obtenus au chapitre cinq. Le dernier et sixième chapitre fera office de discussion et nous mettrons en perspective les âges obtenus par OSL. Nous les confronterons à ceux issus des autres méthodes de datation utilisées, soit la sériation du matériel céramique et la datation par radiocarbone, afin de situer dans le temps l'occupation du site Mailhot-Curran. Des pistes de recherches seront proposées, principalement dans le but de poursuivre ce projet de datation des sites de la région de Saint-Anicet.

# 1. Les cadres culturel, naturel et géologique

## 1.1 Cadre culturel

### 1.1.1 Les Iroquoiens

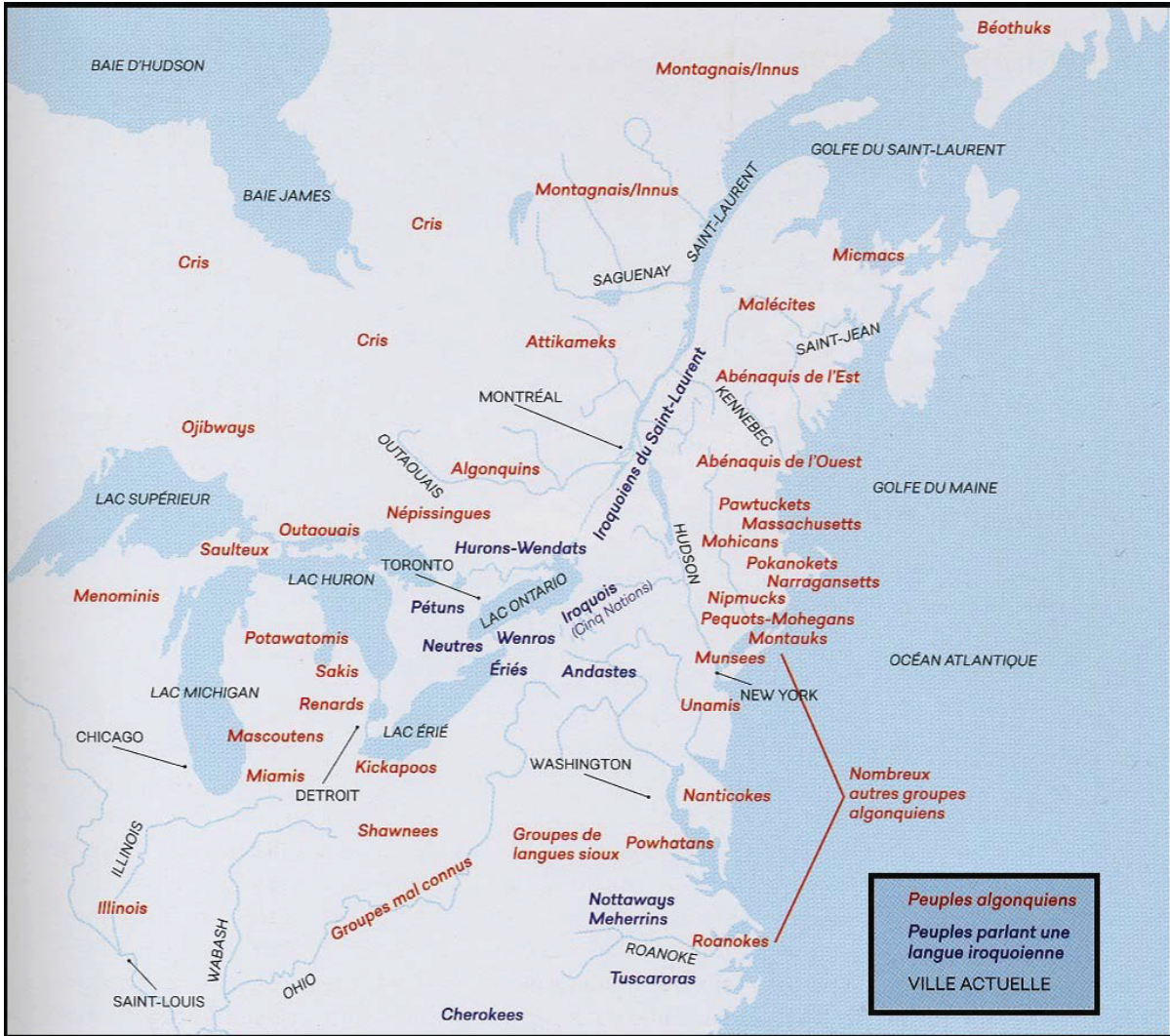
Au moment du contact<sup>1</sup>, le territoire du Nord-Est de l'Amérique du Nord était partagé par deux grands groupes distincts, soit celui de langue algonquienne et celui de langue iroquoise (figure 1.1). Notre intérêt dans cette recherche porte sur le second groupe, et plus particulièrement sur les Iroquoiens du Saint-Laurent que Cartier a rencontré et décrit au cours de son deuxième voyage en Amérique du Nord de 1635 à 1636 (Tremblay 2006). Ce groupe culturel disparu est uniquement connu de ces notes de voyages et des travaux archéologiques qui ont été réalisés depuis des décennies afin de tenter de le comprendre davantage. Ce cadre culturel présente donc brièvement l'état des connaissances jusqu'à ce jour.

En acceptant l'hypothèse d'une origine locale des Iroquoiens (Chapdelaine 1992, 1993 ; Clermont 1996 ; Chapdelaine 2015b), ce groupe culturel émerge au Sylvicole supérieur ancien<sup>2</sup>, mais aurait des origines plus anciennes visibles dans le registre archéologique, soit au Sylvicole moyen (MacNeish 1952), ou même à l'Archaïque (Chapdelaine 2015b : 58). Mis à part la langue, un trait commun aux groupes Iroquoiens, enclavés dans cette mer d'Algonquiens et dispersés dans la vallée du Saint-Laurent, dans la région des Grands Lacs et dans le nord de l'actuel État de New York (figure 1.2), était le mode de vie basé sur la production horticole, soit principalement sur l'exploitation du maïs. Ces groupes avaient également en commun la fabrication de vases en terre cuite, la construction de maisons-longues, l'organisation de la société en fonction des lignages maternels, la vie villageoise, etc. (Tremblay 2006 : 12 ; Chapdelaine 1993 ; Clermont 1980).

---

<sup>1</sup> Le *contact* fait référence à la période où les groupes européens arrivent en Amérique et rencontrent les peuples autochtones. Malgré une présence plus ancienne des pêcheurs Basques dans l'estuaire du Saint-Laurent (Bernier et al. 2007), le moment du contact, au Québec, est souvent associé à la « découverte » de la vallée du Saint-Laurent que l'on attribue à Jacques Cartier en 1534. Bien que le contact soit un événement étendu dans le temps, et asynchrone à l'échelle du territoire, on associera ici la notion de contact à cette date.

<sup>2</sup> Une échelle de temps présentant les différentes périodes de la préhistoire du nord-est de l'Amérique du Nord est présentée à l'annexe 1.

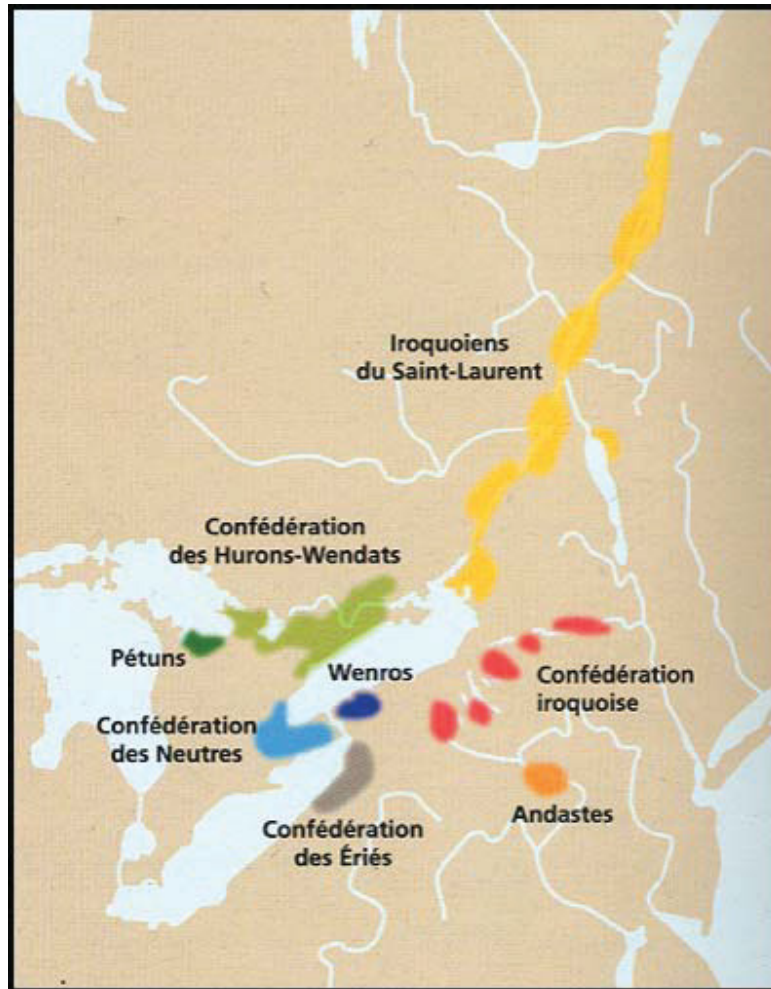


**Figure 1.1 :** Localisation des groupes de langue algonquienne et ceux de langue iroquoise au moment du contact (adapté de Pintal et al. 2015 : 95). Les groupes iroquoiens forment des isolats à l'intérieur du vaste territoire occupé par des groupes algonquiens.

### 1.1.2 Les Iroquoiens du Saint-Laurent

Les individus ayant occupé le site archéologique Mailhot-Curran faisaient partie des Iroquoiens du Saint-Laurent. Ce groupe, dont l'appellation fait référence à un ensemble culturel, a été défini presque uniquement selon des indices archéologiques et très peu sur des données historiques. Les informations écrites faisant référence aux Iroquoiens du Saint-Laurent sont peu nombreuses, contrairement aux autres groupes d'Iroquoiens encore présents au XVII<sup>e</sup> siècle qui ont été abondamment décrits, pour certains, par les premiers Européens (Tremblay 2006 : 33).





**Figure 1.2** : Localisation du territoire occupé par les Iroquoiens dans le Nord-Est de l'Amérique du Nord (tiré de Tremblay 2006 : 16).

Le développement de la culture iroquoise du Saint-Laurent s'est fait au Sylvicole supérieur, c'est-à-dire entre les années 1000 et 1600 de notre ère (Gates St-Pierre et Chapdelaine 2013 : 71). Loin d'être un groupe homogène, les Iroquoiens du Saint-Laurent étaient en fait caractérisés par une grande variabilité interne (Chapdelaine 1980, 1992 ; Tremblay 2006). Dans l'optique de caractériser cette variabilité et de rendre compte de la réalité ethnographique des groupes et des individus, les archéologues ont tenté, au fur et à mesure des découvertes archéologiques, de subdiviser le territoire occupé par ce groupe. Ce territoire correspondait principalement à la vallée du Saint-Laurent, du lac Ontario jusqu'à l'estuaire du Saint-Laurent



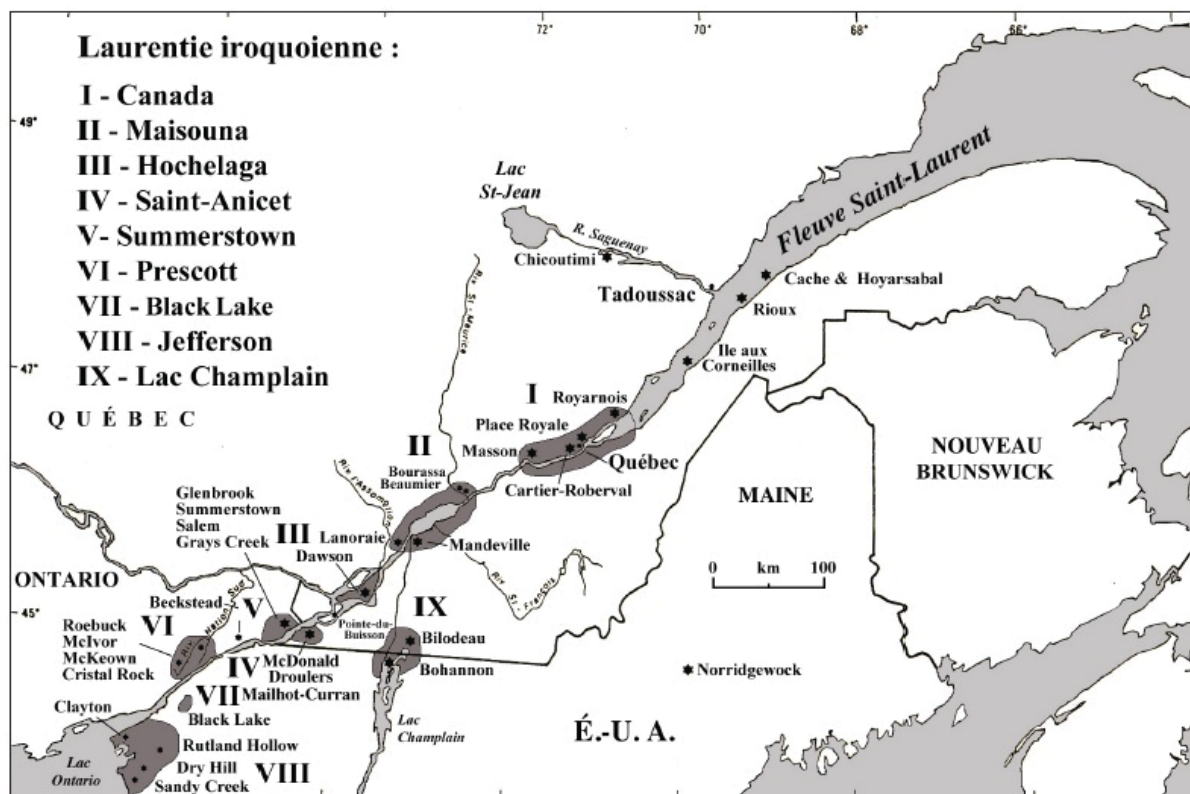
(figures 1.2 et 1.3). Le lecteur peut se référer à Chapdelaine (1989, 1990 et 1995), à Jamieson (1990), à Pendergast (1991 et 1993) ainsi qu'à Tremblay (2006) pour l'approfondissement des connaissances quant aux hypothèses antérieures concernant la division du territoire. Le découpage le plus récent est celui de Chapdelaine (2015b: 51-57), qui propose neuf concentrations (figure 1.3) qui sont brièvement décrites ci-dessous :

1. **Canada** : Cette concentration correspond à la grande région de Québec. Le village de Stadaconé identifié et décrit par Cartier en 1535, s'y trouverait, mais il n'a pas été localisé jusqu'à maintenant (Tremblay 2006 ; Plourde 2008).
2. **Maisouna** : Les sites localisés autour du lac Saint-Pierre font partie de cette concentration. Chapdelaine insiste sur la fragilité des liens entre les sites de cette région. Cette concentration est appelée à être fragmentée par de futures découvertes de part et d'autre du lac Saint-Pierre.
3. **Hochelaga** : Concentration ne comprenant qu'un seul site villageois jusqu'à ce jour (Dawson), mais qui a été définie principalement d'après les écrits historiques de Cartier mentionnant la présence du village iroquoien d'Hochelaga sur l'île de Montréal.
4. **Saint-Anicet** : Les sites archéologiques découverts dans cette région, au sud du lac Saint-François étaient autrefois intégrés à la concentration d'Hochelaga (Tremblay 2006 : 112-113). De par les liens culturels les unissant entre eux et les distinguant des autres sites, ils forment maintenant une concentration régionale distincte.
5. **Summerstown** : Les sites se trouvant au nord du lac Saint-François font partie de cette concentration. Comme pour Saint-Anicet, on y retrouve également une agglomération de sites villageois.
6. **Prescott** : Cette agglomération comprend un ensemble de sites archéologiques liés culturellement, dont ceux de Roebuck et de McIvor. Les concentrations de Prescott et de Summerstown étaient, jusqu'à récemment regroupées en une seule (Tremblay 2006 : 112-113).
7. **Black Lake** : Autrefois considérés comme faisant partie de la concentration de Jefferson, quelques sites archéologiques en retrait des autres et situés dans le comté de St. Lawrence (État de New York) ont été isolés. Chapdelaine mentionne que cette scission a été faite

d'avantage pour rendre compte de la distance entre ces sites et ceux de l'agglomération de Jefferson que pour les différencier culturellement (Chapdelaine 2015b : 55).

8. **Jefferson** : Concentration se situant à l'est du lac Ontario, dans l'actuel État de New York et regroupant des sites faisant probablement partie de la même séquence de relocalisation de quelques communautés au cours du temps.
9. **Lac Champlain** : Cette concentration est encore mal définie, mais la poterie indique une présence des Iroquoiens du Saint-Laurent à cet endroit, au nord du lac Champlain.

Sur la figure 1.3 sont illustrées ces concentrations, de même que les sites archéologiques qu'elles regroupent (Chapdelaine 2015b : 51-57).



**Figure 1.3** : Distribution territoriale des sites Iroquoiens du Saint-Laurent. (Adaptée de Chapdelaine 2015b : 52-53).

### 1.1.3 La concentration de Saint-Anicet

En acceptant l'hypothèse d'un développement *in situ* des Iroquoiens (Chapdelaine 1992, 1993 ; Clermont 1996 ; Chapdelaine 2015b), les Iroquoiens du Saint-Laurent présents à Saint-Anicet seraient les descendants de groupes qui auraient occupé le territoire des basses terres du Saint-Laurent depuis au moins 1500 ans et probablement 2000 à 4000 ans (Chapdelaine 2015b : 57-58). Considérant que la présence de groupes à la Pointe-du-Buisson (Figure 1.3) est l'indicateur principal d'une occupation à proximité de Saint-Anicet depuis au moins 4000 ans (Gates-St-Pierre 2006), il est tentant de voir des liens entre ces derniers et ceux qui ont peuplé la région de Saint-Anicet. Gagné (1998) voit d'ailleurs une correspondance entre la culture matérielle de la Pointe-du-Buisson et celle du site McDonald (BgFo-18), considéré comme étant le plus ancien village du groupement de Saint-Anicet. Son occupation remonterait au XIV<sup>e</sup> siècle (Gagné 1998 : 63). Par ailleurs, Chapdelaine soutient qu'étant donné qu'aucun bouleversement ne se fait ressentir dans le registre archéologique des plus anciens sites de Saint-Anicet, il est probable que les premiers à s'installer de manière plus sédentaire à cet endroit avaient une provenance locale et connaissaient le territoire et ses particularités (Chapdelaine 2015b : 59). L'occupation iroquoise de la région de Saint-Anicet s'intensifie donc à partir du XIV<sup>e</sup> siècle avec l'apparition du premier site villageois dans le registre archéologique (McDonald). Cette présence se maintiendra jusqu'à la fin du Sylvicole supérieur, avec les occupations des villages de Droulers (BgFn-1) et de Mailhot-Curran. L'ensemble des sites trouvés dans le secteur fait partie de ce que les archéologues ont nommé le complexe de sites de Saint-Anicet (Chapdelaine 2010 : 9). Plus d'une dizaine de sites archéologiques font partie de ce complexe. Outre ces trois villages, on y trouve plusieurs sites encore peu décrits tels que Berry, McPhearson, Angus, Staveley, Higgins, Irving et Leblanc (Pendergast 1966 ; Gagné 1992, 1993, 1995, 1996, 1997, 1999, 2000).

Des sites de la région de Saint-Anicet émerge une identité culturelle assez forte et le style régional de Saint-Anicet est reconnu auprès des archéologues. Bien que les communautés des villages de McDonald, de Droulers et de Mailhot-Curran se distinguent entre elles sur plusieurs plans, elles forment un ensemble culturel cohérent et nous pouvons voir une continuité culturelle entre ces établissements villageois. La région aurait ainsi été occupée par

un même groupe au cours des XIV<sup>e</sup>, XV<sup>e</sup> et possiblement XVI<sup>e</sup> siècles. Cette idée proposée par Gagné (1995 : 30) a d'ailleurs été appuyée par les récents travaux réalisés dans le cadre de projets de maîtrise ayant pour sujet le groupe culturel des Iroquoiens du Saint-Laurent de la région de Saint-Anicet. Effectivement, Woods (2012) relève, après une analyse morpho-stylistique de la poterie de Mailhot-Curran, plusieurs tendances régionales typiques de Saint-Anicet. Ceci lui permet d'affirmer que la communauté qui a vécu dans ce village était distincte de celles vivant dans les villages contemporains des autres concentrations régionales. Perreault (2014) en arrive à la même conclusion avec l'analyse de la poterie du site Droulers. Ces recherches ont montré que les communautés de ces villages formaient une entité culturelle distincte, mais participaient toutefois à un réseau d'interaction complexe à plus grande échelle sur le territoire occupé par les Iroquoiens du Saint-Laurent.

### **1.1.3.1 Historique des recherches et des découvertes à Saint-Anicet**

Guidé par un texte ancien (Sellar 1888) relatant la présence de témoins archéologiques au sommet d'une crête se trouvant sur le lot 39, dans la région de Saint-Anicet, l'archéologue de la MRC du Haut Saint-Laurent Michel Gagné entreprit en 1991 un projet de reconnaissance sur les crêtes morainiques de ce secteur (Gagné 1992, Clermont et Gagné 2004). Il reconnaissait un schéma d'établissement particulier et assez typique pour les sites de la région de Saint-Anicet : les gisements sont localisés sur des crêtes morainiques à proximité d'un cours d'eau, la plupart du temps d'envergure modeste et se jetant dans la rivière La Guerre (Gagné 1995 : 10-11). De nombreux sites furent identifiés dans le cadre de ce projet, notamment les trois sites villageois de la région de Saint-Anicet, soit les sites archéologiques McDonald en 1992 (Gagné 1993), Droulers en 1994 (Gagné 1995) et Mailhot-Curran en 1995 (Gagné 1996). Plus précisément, ce fut la partie ouest de ce dernier site qui fut découverte en 1995. Ce secteur était très perturbé et fut nommé le site Curran. La partie est du site fut pour sa part découverte en 1999 (Gagné 2000). Le site archéologique garda le même code Borden<sup>3</sup>, mais fut renommé Mailhot-Curran. L'état du secteur était pratiquement intacte et c'est dans

---

<sup>3</sup> Le code Borden (BgFn-2 pour Mailhot-Curran) est un système d'enregistrement des sites archéologiques faisant référence à sa position géographique.

cette zone que se concentrèrent les recherches archéologiques en 2000 et 2001 par l'équipe de Michel Gagné (2001, 2002), et ensuite de 2012 à 2014 par l'école de fouilles préhistoriques de l'Université de Montréal dirigée par Claude Chapdelaine (2013a, 2014a, 2014b).

Une première maison-longue fut découverte en 2001 sur la terrasse sud. Elle comportait trois aires de combustion incluant un petit foyer au centre (Gagné 2002). Une seconde structure d'habitation fut trouvée sur la terrasse centrale par l'École de fouilles préhistoriques de l'Université de Montréal en 2012 (Chapdelaine 2013a). Au cours des années 2013 et 2014, le nombre de maisons-longues localisées à Mailhot-Curran passa à six et la quantité de matériel trouvé atteignit des quantités importantes, augmentant ainsi considérablement la portée statistique des analyses effectuées (Chapdelaine 2014a, 2014b). Un total de 462 m<sup>2</sup> fut fouillé, correspondant à 10% de la superficie totale du site. L'énergie fut surtout déployée à l'intérieur des maisons-longues afin de documenter de manière exhaustive ces structures d'habitation (Chapdelaine 2015d : 33).

Suite à la découverte du site archéologique Mailhot-Curran et à l'analyse préliminaire du matériel qui y fut trouvé, Gagné proposa l'hypothèse qu'à cet endroit était érigé un hameau ou peut être un village ayant été occupé en même temps ou peu après le village de Droulers (Gagné 1996 : 30). Suite aux excavations et avec l'augmentation de la quantité de matériel analysable, surtout la poterie, Gagné s'était fait une idée plus claire et affirma que Mailhot-Curran était un village sédentaire semi-permanent occupé par un nombre limité d'individus qui daterait du XVI<sup>e</sup> siècle (Gagné 2000). L'aspect particulier du site, principalement en lien avec son emplacement, soit sur un terrain parsemé de terrasses entrecoupées entre elles par des pentes plus ou moins prononcées et sans la présence d'un cours d'eau notable à proximité, a toutefois poussé l'archéologue à mettre Mailhot-Curran dans une catégorie à part. Effectivement, ce site est quelque peu unique, considérant l'ensemble des sites villageois associés à la présence des Iroquoiens du Saint-Laurent (Gagné 2001).

Mis à part la monographie sur le site Mailhot-Curran présentées plus haut (Chapdelaine 2015d), plusieurs études ont été réalisées sur le matériel provenant de ce gisement. Il y a notamment les analyses de Tremblay (2001) sur les pipes, de Gates St-Pierre (2001) ainsi que Gates St-Pierre et Boisvert (2015) sur les outils en os ainsi que ceux de Woods (2012 et 2013)

sur la poterie. Le mémoire de Woods, tout comme ce présent document, fait partie d'une série de projets de maîtrise ayant pour objet les sites de la région de Saint-Anicet. Ceux de Perreault (2014) sur la poterie et de Trottier (2014) sur les cultigènes sont pour leur part en lien avec le village de Droulers. Plusieurs mémoires sont encore à venir, et les conclusions qu'ils apporteront seront également très importantes pour la compréhension générale du contexte archéologique de Saint-Anicet.

## **1.2 Cadre naturel**

### **1.2.1 Localisation du site archéologique Mailhot-Curran et description physique de la région**

Le village préhistorique de Mailhot-Curran se trouve dans la région de Saint-Anicet, dans l'actuelle Montérégie, dans le sud-ouest du Québec. Il est situé au sud du lac Saint-François, le premier élargissement du fleuve Saint-Laurent, et fait partie des Basses Terres du Saint-Laurent (figure 1.4). Cette unité physiographique correspond à la vallée du fleuve Saint-Laurent. Les Basses Terres sont ainsi bordées par le plateau laurentien au nord, par la chaîne de montagne des Appalaches au sud-est et par le massif des Adirondacks au sud. La géomorphologie du secteur dans lequel se trouve le site à l'étude est caractérisée par un relief plat entrecoupé par des crêtes parallèles au fleuve Saint-Laurent. Le paysage que nous observons en ce moment dans ce secteur a été modelé par la plus récente glaciation (wisconsinienne), et par les événements subséquents à la déglaciation. Au cours de l'épisode glaciaire, une couche de till a été mise en place, formant par endroit des crêtes. Celles-ci se sont vraisemblablement développées sous le glacier et forment des drumlins et des drumlinoïdes. L'orientation de ces buttes indiquerait notamment un écoulement du glacier vers le SW (Tremblay 2008). Les crêtes émergent des plaines recouvertes de dépôts d'origine marine et lacustre déposés après le retrait des glaces. L'élévation de cette plaine argileuse varie de 40 à 55 m ANM (au-dessus du niveau de la mer) (Tremblay 2008 : 2) de laquelle émergent des buttes de till dont l'élévation peut être supérieure à 80 m ANM (Delage 1997 : 11) (figure 1.4). Ces dépôts reposent sur des formations rocheuses d'origine sédimentaire de la

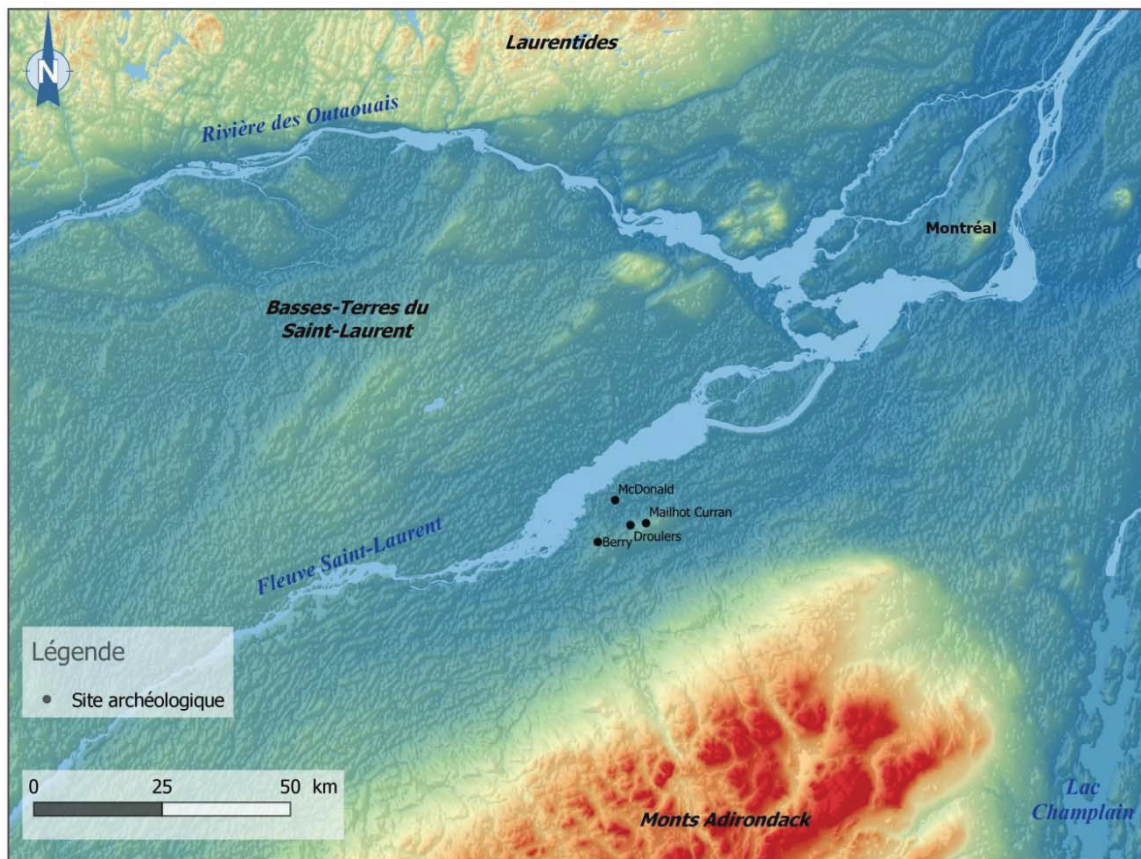
partie inférieure de la séquence cambro-ordovicienne, principalement des dolomies du groupe Beekmantown (Globensky 1987 : 3). Le lecteur pourra se référer au mémoire de Tremblay (2008) qui relate en détail le contexte géologique quaternaire de la région, ainsi qu'au deuxième chapitre de la monographie sur Mailhot-Curran (Chapdelaine 2015c) où le cadre naturel du site à l'étude et de la région est suffisamment détaillé pour obtenir une vision plus complète de la région.

La présence de ces crêtes est un trait très important vu que c'est sur ces reliefs que se sont systématiquement établis les Iroquoiens du Saint-Laurent de Saint-Anicet. Il est par ailleurs à noter que les villages de Mailhot-Curran et de Droulers sont situés sur la même crête, l'*Irish Ridge*, et séparés par une distance de 2,5 km (Gagné 1996). Plusieurs hypothèses ont été proposées pour expliquer ce choix de localisation et une des plus plausibles est en lien avec la qualité du drainage qui est nettement supérieure à celle des plaines adjacentes, où l'environnement est plutôt marécageux. Une autre explication fréquemment fournie propose que l'emplacement ait plutôt été choisi par rapport à l'altitude, celle-ci permettant entre autres une meilleure vision des environs (Gagné 1995 : 10-11). Par contre, étant donné le couvert végétal dense qui devait caractériser la région au moment où le site Mailhot-Curran était occupé, la vision au loin devait être réduite. L'hypothèse de l'emplacement défensif a donc moins de poids comparé à celui du drainage. Il est par ailleurs à noter que par la suite, c'est également sur ces crêtes que se sont établis préférentiellement les premiers colons d'origine européenne. Pour ces derniers, la raison de l'efficacité du drainage est clairement établie (Daviau et al. 2012).

Les groupes de la région de Saint-Anicet se sont préférentiellement établis à proximité d'un des tributaires de la rivière La Guerre, mais en retrait des grandes voies navigables. La situation est toutefois assez différente à Mailhot-Curran où on remarque un accès difficile à l'eau. Aucune source notable ne se trouve à proximité hormis un étang, situé à un peu moins d'un kilomètre du site, d'où s'écoule un petit ruisseau de très faible envergure et souvent asséché, rejoignant le ruisseau Foran qui lui-même se jette dans la rivière La Guerre (Chapdelaine 2015c : 39-40).



La crête sur laquelle le village de Mailhot-Curran est localisé constitue la limite entre le bassin versant de la rivière La Guerre et celui de la rivière Châteauguay. Dans ce sens, il semblerait que les habitants de ce site aient été davantage tournés vers l'arrière-pays que vers le fleuve Saint-Laurent duquel il est éloigné de plus de 8 km à vol d'oiseau. Ceci est probablement en lien avec l'éloignement progressif des sites par rapport au fleuve Saint-Laurent à travers le temps. Les occupants des sites auraient pu délaisser le fleuve petit à petit au profit de la rivière La Guerre et de ses tributaires pour ensuite se tourner vers le bassin versant de la rivière Châteauguay (Gagné 2001 : 36). La carte topographique de la région de Saint-Anicet localisant les principaux sites archéologiques est insérée ici (figure 1.4) afin de permettre de bien visualiser la distribution spatiale des sites, ainsi que pour montrer ce retrait progressif au cours du temps de ceux-ci par rapport au fleuve Saint-Laurent.



**Figure 1.4 :** Carte topographique de la région de Saint-Anicet localisant les principaux sites archéologiques.



L'emplacement du village Mailhot-Curran est plutôt inhabituel par rapport au schème d'établissement typique des Iroquoiens du Saint-Laurent, et a suscité beaucoup de questionnement de la part des archéologues depuis la découverte du gisement. Effectivement, le cœur villageois se trouve sur le flanc nord d'une crête de till et celle-ci est étagée en cinq terrasses bien délimitées par des pentes plus ou moins abruptes entre elles (Chapdelaine 2015c : 38). Le site se situe à une altitude moyenne de 86 m au-dessus du niveau marin moyen. Le bourrelet de till dolomitique sur lequel est établi le site est recouvert de terreau qui a été associé à la série de Saint-Bernard. Il s'agit d'un limon argileux-graveleux avec une densité de cailloux (pierrosité) importante (figure 4.1) (Chapdelaine 2015c : 39 ; Mailloux et Godbout 1954 : 171).

La région de Saint-Anicet se trouve dans le domaine de l'érablière à caryer cordiforme (Richard et Grondin 2009). Pour ce qu'il est de la végétation et de la faune qui caractérisait le secteur durant l'occupation du village Mailhot-Curran, les recherches indiquent que l'environnement devait être sensiblement le même qu'aujourd'hui vu qu'aucun changement notable au niveau du climat n'aurait eu lieu depuis 5000 ans (Richard 1977, Muller et Richard 2001, Muller et al. 2003). La faune devait donc être variable et abondante, tout comme le confirme le registre archéologique (St-Germain et Courtemanche 2015) et le secteur devait être majoritairement sous couvert forestier (Chapdelaine 2015c : 35).

## 2. Question de recherche et problématiques

### 2.1 Problématiques archéologiques

La problématique archéologique principale sur laquelle se penchent les travaux de recherche présentés dans ce mémoire concerne les limites et contraintes du contexte chronologique actuel. En obtenant un âge d'occupation pour le plus récent site du complexe de Saint-Anicet, nous participerons à poser un jalon d'une séquence temporelle permettant de situer dans le temps l'occupation des sites archéologiques de la région. Situer l'occupation d'un gisement est une problématique complexe à laquelle il est ardu de répondre, et ce même en combinant plusieurs méthodes. Notre contribution, avec ce projet, sera de tenter d'affiner la chronologie des sites de la région de Saint-Anicet actuellement définie par la sériation du matériel archéologique et par la datation au radiocarbone ( $^{14}\text{C}$ ). Nous comparerons les différents résultats issus de ces méthodes afin de proposer un âge probable pour l'occupation du site Mailhot-Curran. Par le fait même, cet âge contribuera à documenter le phénomène de la disparition des Iroquoiens du Saint-Laurent de la région de Saint-Anicet étant donné que Mailhot-Curran serait, selon les connaissances actuelles, un village du XVI<sup>e</sup> potentiellement contemporain des voyages de Jacques Cartier et peut être le dernier site occupé dans le secteur.

Le projet de datation de Mailhot-Curran est aussi lié à la problématique plus large de la compréhension générale de la variabilité culturelle des Iroquoiens du Saint-Laurent. Les buts visés par les fouilles archéologiques menées par l'École de fouilles préhistoriques de l'Université de Montréal (Chapdelaine 2013a, 2014a, 2014b, 2015d) et ceux du présent projet de maîtrise sont intimement liés. Il s'agissait, par les recherches à Mailhot-Curran, de comprendre la nature même du site et éventuellement la nature du complexe de Saint-Anicet. De façon plus globale, les objectifs généraux des études archéologiques en cours visaient à comprendre l'organisation sociale, les schèmes d'établissement ainsi que l'évolution globale des communautés iroquoiennes du Saint-Laurent par l'unité d'analyse que constitue la maison-longue.

## 2.2 Problématiques liées à l'application de la datation par luminescence

Notre projet s'attarde également à plusieurs problématiques liées à la méthode. Ces-dernières découlent toutes de l'application de la luminescence dans un contexte très peu propice. Ces problématiques se déclinent en plusieurs points et sont liées aux deux principales composantes à déterminer pour obtenir un âge, soit la dose annuelle (Da) et la dose équivalente (De) (voir chapitre 3) :

### 1. Évaluation de la dose annuelle :

#### a) Environnement d'enfouissement non-homogène :

- i) Les fragments de poterie récoltés sont enfouis très près de la surface, en moyenne à une dizaine de centimètres, tandis que la profondeur idéale d'enfouissement est, au minimum, de 20 cm (Aitken 1985 : 264-265).
- ii) Le sol encaissant les échantillons n'est pas homogène en raison du nombre considérable de pierres et de racines qui s'y trouvent.

#### b) La radioactivité des pièces de poteries est ardue à mesurer vu la très petite quantité de matériel disponible. Le fait que les échantillons soient petits est dû au taux de fragmentation élevé des artefacts. Cette situation est caractéristique du Nord-Est de l'Amérique du Nord en raison des cycles de gel et de dégel qui entraînent un mouvement dans le sol favorisant cette fragmentation.

### 2. Évaluation de la dose équivalente :

- a) La quantité de matériel datable est très limitée, conséquemment, le nombre de mesures réalisables est restreint.
- b) L'âge potentiel du site est jeune, du point de vue de la méthode de datation. Le signal luminescent naturel des grains est donc particulièrement faible et difficile à distinguer du bruit de fond de l'appareil utilisé.

- c) Les tessons de poterie étant constitués d'argile<sup>4</sup>, les grains fins polyminéraliques ont été utilisés pour la datation. Le signal luminescent des feldspaths a été utilisé et celui-ci nécessite une correction pour la décroissance anormale de son signal.

Bien que ces problématiques puissent paraître difficiles à surmonter, les avancées technologiques récentes de la méthode ont le potentiel de nous affranchir de ces difficultés reliées au contexte.

### 2.3 Question de recherche

Les deux questions de recherche au cœur de ce projet sont les suivantes :

1. À quel moment le site Mailhot-Curran a-t-il été occupé ?
2. La luminescence nous permettra-t-elle de dater avec précision ce site archéologique ?

L'hypothèse principale qui est confrontée ici postule que le site auquel on s'intéresse serait un village occupé au Sylvicole supérieur tardif, soit au XVI<sup>e</sup> siècle, c'est-à-dire il y a environ 500 ans. Ceci en ferait donc le site archéologique le plus tardivement occupé du secteur, et possiblement le dernier village occupé avant le départ des Iroquoiens du Saint-Laurent de la région de Saint-Anicet.

---

<sup>4</sup> L'argile qui a été datée dans le cadre de ce projet provient de la Mer de Champlain. Il s'agit d'une farine de roche qui est le produit de l'érosion glaciaire. Bien que nommée argile, il s'agit en fait d'un mélange de silt fin et d'argile dont la granulométrie est comprise entre 1 et 10  $\mu\text{m}$ . Elle est constituée principalement de quartz et de feldspaths, mais contient également d'autres minéraux composant le substratum rocheux érodé (carbonates, micas, pyroxènes, etc.) (Tremblay 2008 : 69-71).

### **3. La luminescence**

#### **3.1 Brève historique de la méthode**

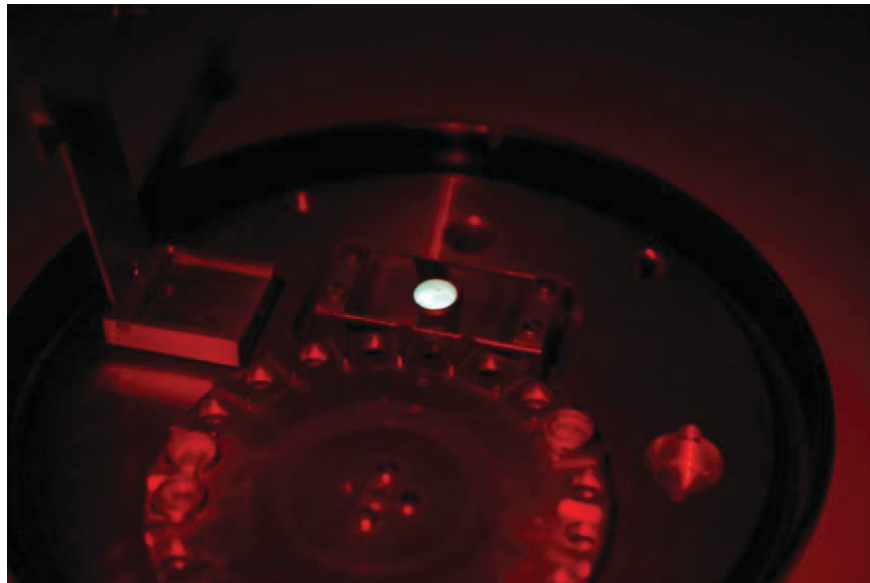
La luminescence en tant que méthode de datation a été développée au cours des années 1960 (Aitken 1964) pour la datation de matériel chauffé, principalement la céramique, par la thermoluminescence (TL). C'est à compter de 1985 que se développe la luminescence optique (Huntley et al. 1985; Hütt et *al.* 1988) avec la découverte d'un signal luminescent beaucoup plus facilement remis à zéro que celui exploité par la TL, donc beaucoup plus sensible à la datation d'événements sédimentaires (Wintle 2008). Les progrès depuis ce temps sont considérables, notamment avec le développement de la SAR (aliquote unique en régénération) (Murray et Wintle 2000) et de la correction pour la décroissance anormale du signal des feldspaths (Huntley et Lamothe 2001), deux concepts qui ont été privilégiés dans le cadre de ce projet de datation des fragments de poterie de Mailhot-Curran.

La luminescence optique et la thermoluminescence ont été utilisées à plusieurs reprises en contextes archéologiques dans le Nord-Est américain sur plusieurs matériaux, soit les poteries (Pelletier 1996), les pierres chauffées (Bertrand 1992) et les sédiments (Lamothe 1994, 2007). Une revue de ces datations a notamment été réalisée par Lamothe (2004) et le lecteur peut s'y référer pour les détails et résultats de ces projets de datation. C'est donc dans la continuité de ces travaux que s'inscrit ce projet de maîtrise qui vise à appliquer la méthode dans un contexte archéologique complexe, c'est-à-dire la datation d'un site iroquoien.

#### **3.2 Principes physiques et modèles**

La luminescence est une méthode de datation qui exploite une propriété physique qu'ont certains minéraux d'émettre des photons lorsqu'ils sont stimulés soit thermiquement (thermoluminescence), ou optiquement (luminescence optique). Excités par l'énergie ionisante provenant de la décroissance radioactive de certains isotopes naturels (principalement l'uranium, le thorium et le potassium) ainsi que par les rayons cosmiques, des électrons sont piégés dans des défauts de la maille cristalline des minéraux enfouis dans le sol. Ces pièges à

électrons sont en fait des défauts ou impuretés (substitutions, lacunes ou dislocations) dans la structure cristalline interne des minéraux. Lorsque les minéraux sont stimulés, les électrons accumulés dans les pièges sont évacués et en s'associant à des centres de recombinaison (trous), des photons sont émis, d'où la luminescence (Aitken 1985 : 44 ; Duller 2008 : 6). Les pièges sont ainsi vidés des électrons accumulés au cours du dernier temps d'enfouissement. L'intensité de la luminescence est proportionnelle à la quantité d'électrons piégés, et cette dernière est également proportionnelle à la dose radioactive à laquelle l'échantillon a été exposé au cours du temps d'enfouissement. Sauf exception, par exemple lors de la stimulation de dosimètres synthétiques très sensibles ( $\text{CaSO}_4$ ) (figure 3.1), la luminescence émise par les grains est beaucoup trop faible pour être vue à l'œil nu. Elle est donc détectée et enregistrée par des appareils très sensibles comprenant un tube photomultiplicateur dans lequel le spectre lumineux est filtré pour permettre la transmission d'une partie réduite des ondes lumineuses (Duller 2008). Ainsi, des minéraux ubiquistes dans l'environnement tels que les quartz et les feldspaths agissent en tant que dosimètres et enregistrent dans leur structure cristalline interne la quantité de radiation à laquelle ils ont été exposés au cours du temps.



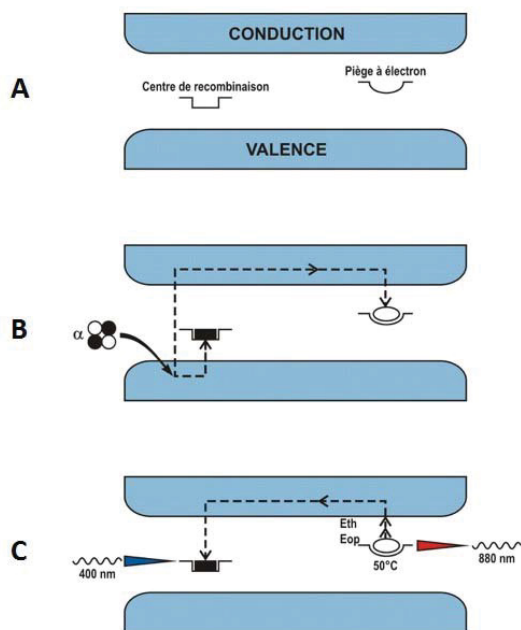
**Figure 3.1** : Luminescence visible à l'œil nu. Stimulation thermique de  $\text{CaSO}_4$  (crédit : François Hardy, Lux).

### 3.2.1 Le modèle des bandes

L'explication du phénomène de la luminescence est basée sur le modèle des bandes (Aitken 1985 : 43-44). Les pièges dans lesquels s'accumulent les électrons de même que les centres de recombinaison sont situés dans la bande dite « interdite », entre les bandes de valence et de conduction du cristal (figure 3.2). Avant l'irradiation, les électrons se trouvent dans la bande de valence. S'ils sont ionisés par l'énergie environnementale (la radioactivité naturelle), ils se déplacent vers la bande de conduction sous l'effet de cette excitation. Les électrons retournent ensuite vers leur lieu d'origine lorsqu'ils n'ont plus l'énergie nécessaire pour rester dans la bande de conduction. Lors du retour, ils peuvent être retenus dans un piège (un défaut cristallin, décrit dans la section précédente). Sous l'effet d'une stimulation optique ou thermique, dans la nature ou en laboratoire, les électrons sont expulsés des pièges et s'associent à des centres de recombinaison. L'énergie excédante est alors dégagée sous la forme de photons et la luminescence est ainsi émise.

Le modèle présenté ci-haut est simplifié. Il existe en fait plusieurs types de pièges et de centres de recombinaison à des niveaux d'énergie (ou profondeurs) variables entre les bandes de valence et de conduction. Tout dépendant de leur profondeur, les pièges se remplissent d'électrons à des taux différents et se vident selon des stimulations plus ou moins intenses.

Lors de la datation par TL, l'existence de ces différents pièges est visible par l'existence de pics de luminescence correspondant à des températures de stimulations précises. Dans le cas de l'OSL, il n'y a pas de structure claire du signal, donc des approches combinant des stimulations thermiques et optiques doivent être appliquées.



**Figure 3.2 :** Schématisation du modèle des bandes (A). Durant l’irradiation du minéral, en nature ou en laboratoire, les électrons dans la bande de valence sont propulsés vers la bande de conduction par l’apport d’énergie, laissant ainsi des trous dans la bande de valence. Lors de leur désexcitation, les électrons s’accumulent dans des pièges situés à différentes profondeurs entre les deux bandes. Les électrons restent piégés durant un certain temps en fonction de la stabilité du piège (B). Lors d’une stimulation optique ou thermique, l’électron s’associe avec un trou dans un centre de recombinaison et émet un photon (C).

### 3.3 La luminescence en tant que méthode de datation

En considérant que :

1. Certains minéraux accumulent des charges dans leurs structures cristallines internes sous l’effet de la radioactivité environnementale naturelle à un taux constant à travers le temps ;
2. Certains évènements impliquant une stimulation optique ou thermique peuvent engendrer l’expulsion instantanée des charges retenues, c’est-à-dire la remise à zéro des minéraux ;
3. La stimulation optique ou thermique de ces minéraux résulte en une émission de photons ;
4. La luminescence émise est proportionnelle à l’énergie accumulée.



Deux valeurs doivent être déterminées afin de connaître le temps qui s'est écoulé depuis la dernière remise à zéro :

1. La quantité totale d'électrons accumulés, soit la dose totale reçue (dose équivalente).
2. La dose de radiation annuelle que reçoit l'échantillon (dose annuelle).

La première valeur peut être déterminée en laboratoire en mesurant le signal luminescent naturel de l'échantillon et en comparant celui-ci avec des doses de radiation induites. La luminescence naturelle observée est projetée sur une courbe de croissance construite à l'aide de doses radioactives connues afin de déterminer la dose équivalente à celle reçue par l'échantillon pour obtenir la luminescence naturelle (voir chapitre 4).

La dose de radiation reçue annuellement peut quant à elle être déterminée en mesurant la radioactivité naturelle de l'environnement dans lequel se trouve l'échantillon qu'on veut dater. Plusieurs méthodes peuvent être utilisées, dont la spectrométrie gamma, les comptages alpha et beta, la détermination des concentrations d'éléments radioactifs par activité neutronique, etc.

### 3.3.1 L'équation d'âge

Ainsi, en mesurant à la fois la luminescence émise par ces minéraux et la dose qu'ils reçoivent annuellement en étant enfouis dans le sol, il est possible de connaître leur période d'enfouissement (leur âge). Ceci peut être exprimé par cette équation simple :

$$\text{Âge (année)} = \frac{\text{Dose équivalente (mGy)}}{\text{Dose annuelle (mGy/année)}}$$

Où :

- L'âge qui est obtenu par cette méthode correspond au moment de l'enfouissement de la poterie dans le sol, c'est-à-dire au moment où l'objet commence à accumuler la dose de radiation environnementale. Vu la relativement courte période d'utilisation des vases (à

l'intérieur des marges d'erreur de l'âge obtenu par la méthode), l'événement de la « remise à zéro » (la cuisson de la poterie) et l'enfouissement ne sont pas distingués. La remise à zéro correspond au moment où la population d'électrons piégés dans la structure cristalline des minéraux, « la dose géologique », est libérée. La remise à zéro peut être provoquée soit par la chauffe à une température se situant entre 200 et 400°C (Rhodes 2011) ou bien par l'exposition à la lumière.

- L'âge est exprimé en années depuis le retrait de l'échantillon de son milieu d'enfouissement<sup>5</sup>.
- La dose équivalente (De) est la dose d'irradiation artificielle (induite en laboratoire) qui équivaut à la dose naturelle mesurée. La De correspond donc à la dose radioactive nécessaire pour refléter l'intensité de la luminescence naturelle.
- La dose annuelle (Da) correspond à la quantité d'électrons accumulés chaque année sous l'effet de la radiation naturelle de l'environnement.
- 1 Gray (Gy) est l'unité SI (système international) de l'absorption de radiation et correspond à  $1 \text{ J.kg}^{-1}$   
(Aitken 1985; Duller 2008).

---

<sup>5</sup> Dans ce cadre de ce projet, l'année de référence est 2013.

## 4. Méthodologie

### 4.1 Échantillonnage sur le site Mailhot-Curran

Au cours de la campagne de l'été 2013 de l'École de fouilles préhistoriques de l'Université de Montréal dirigée par Claude Chapdelaine, dix-sept fragments de poterie (figure 4.2) ont été récoltés sur le site Mailhot-Curran en vue de les dater par luminescence. Un dix-huitième fragment a été collecté l'été suivant, de même que quatre échantillons de terre rubéfiée et un échantillon de cendre provenant de foyers (annexe 2). La poterie est faite à partir de minéraux et ceux-ci sont remis à zéro lors de la cuisson des vases. Étant donnée la courte durée de vie de ces contenants, nous pouvons supposer que la datation des fragments de vases retrouvés sur le site archéologique réfère au moment de l'occupation du site. Les cendres et les sédiments rubéfiés sont eux aussi remis à zéro par une exposition à des hautes températures. Leur âge reflète donc aussi le moment où le site était occupé et ce foyer en activité. Les dix-sept fragments de poterie collectés en 2013 ont été datés et les âges obtenus sont présentés dans ce présent document. Les autres échantillons collectés en 2014 n'ont pas été mesurés en raison d'un bris d'appareil.

Les fouilles réalisées sur le site Mailhot-Curran de 2012 à 2014 avaient tous en commun l'objectif de documenter la vie villageoise de ce gisement du Sylvicole supérieur tardif en privilégiant l'unité d'analyse de la maison-longue iroquoise. Les fouilles ont donc principalement été concentrées à l'intérieur des structures d'habitation identifiées et des efforts notables ont aussi été affectés pour la localisation de maisons-longues supplémentaires. La plupart des échantillons ont donc été collectés à l'intérieur des structures d'habitation ou dans un dépotoir associé.

Les échantillons Mc-3, Mc-5, Mc-6, Mc-7, Mc-9, Mc-13, Mc-14, Mc-15, Mc-16 et Mc-17 proviennent du dépotoir nord-ouest associé à la maison-longue #2. Cette structure d'habitation est localisée sur la terrasse III, tandis que le dépotoir qui lui est associé se trouve dans la rupture de pente menant à la terrasse IV, au nord-ouest de la maison-longue (figure 4.1). Les autres échantillons proviennent de la maison-longue #3. Les pièces Mc-1, Mc-10, Mc-11 et Mc-12 ont été associés à la fosse #38, tandis que Mc-2 et Mc-8 ont été ramassés dans la fosse

#29. Finalement, Mc-4 provient de la fosse #32. Les fosses mentionnées ont toutes été creusées à même le plancher de la maison-longue #3. Celle-ci est localisée sur la terrasse IV, également dans la moitié est du site archéologique. Une carte du site à l'étude avec la localisation des échantillons datés a été insérée en fin de document (annexe 3).



**Figure 4.1** : Dépotoir nord-ouest associé à la maison-longue #2. On peut remarquer la pierrosité élevée du sol de Mailhot-Curran dans cette photographie (crédit : Pierre Corbeil).

Le sol du site archéologique Mailhot-Curran est composé de deux horizons : le Ah, une couche de 8 à 12 cm d'épaisseur riche en artefacts, ainsi que le B, la couche minérale sous-jacente qui est habituellement stérile (Chapdelaine 2015d : 14). Cette caractéristique est constante à l'échelle du site, sauf où se trouvent les fosses et les dépotoirs. À ces endroits, le Ah est beaucoup plus épais et sélectionner des fragments de poterie dans ces structures nous rapproche quelque peu du minimum de 20 cm de profondeur par rapport à la surface prescrit par Aitken (1985 : 264-265). Par ailleurs, la vitesse d'ensevelissement dans les dépotoirs ou de remplissage des fosses est susceptible d'avoir été beaucoup plus rapide qu'ailleurs en surface.

Nous avons donc privilégié l'échantillonnage dans ces structures vu que ces conditions étaient celles se rapprochant le plus de ce qui est habituellement requis en luminescence, c'est-à-dire une profondeur d'enfouissement d'au moins 20 cm dans une matrice homogène et exempte d'obstacle dans un rayon de 30 cm (Aitken 1985 : 264-265). Or, nous pouvons bien considérer que celles sur Mailhot-Curran étaient loin d'être optimales. Ces conditions nous ont effectivement plongé dans une problématique très intéressante concernant la mesure de la dose annuelle.



**Figure 4.2 :** Tesson de corps (tiré de Woods et al. 2015 : 165). Fragment de poterie semblable à ceux qui ont été datés dans le cadre de ce projet (largeur maximale de 3.9 cm).

## 4.2 Protocole de préparation des échantillons

Le protocole classique en chambre noire d'Aitken (1985) a été suivi pour la préparation des céramiques. La première étape a été de retirer la couche externe des fragments de poterie. Les céramiques du Nord-Est américain ne sont pas caractérisées par un degré élevé de vitrification<sup>6</sup> de la pâte, donc cette couche externe (les deux premiers millimètres) a pu être enlevée en grattant délicatement avec une lame. Cette étape vise à retirer d'une part tout matériel qui aurait pu être contaminé par une exposition à la lumière lors de l'échantillonnage, et d'autre part la portion affectée par les rayonnements alpha et beta provenant du sédiment

---

<sup>6</sup> Changement de phase des minéraux lors de la cuisson à une température élevée engendrant un durcissement de la pâte (Velde et Druc 1999).

dans lequel l'artefact était enfoui. La fraction de sédiment ainsi récupérée a été utilisée pour les mesures de spectrométrie gamma afin d'évaluer la radioactivité (dose annuelle) provenant de la poterie elle-même. Cette portion a donc été insérée dans des tubes de polypropylène de 2 ml et ceux-ci ont été scellés avec de la cire. Les mesures en spectrométrie gamma ont été réalisées après une attente d'au moins 21 jours<sup>7</sup> ou plus afin de rétablir l'équilibre séculaire post-radon (Gilmore 2008).

L'étape suivante consistait à broyer délicatement les pièces de poterie avec un pilon et un mortier en agate pour libérer les grains composant la pièce. Le sédiment a ensuite été tamisé à l'eau pour retirer les particules de taille supérieure à 41 µm et il s'en est suivit une série de décantations, suivant la loi de Stokes<sup>8</sup> qui régit la vitesse de sédimentation, afin d'isoler la fraction des grains se trouvant entre 4 et 11 µm. Une attaque à l'acide chlorhydrique a par la suite été faite pour dissoudre les carbonates de la portion des grains qui serviront à la datation.



**Figure 4.3 :** Aliquotes de grains fins (4 à 11 µm) polyminéraliques.

La dernière étape de la préparation visait à disposer les grains sur des disques en aluminium d'environ 9,7 mm de diamètre et d'une épaisseur de 1 mm (figure 4.3). Les grains fins préalablement séchés ont été mis en suspension dans du méthanol et une quantité uniforme a

---

<sup>7</sup> Une période de 21 jours est équivalente 5 demi-vies pour le radon. Un élément instable est considéré comme étant éteint après 5 demi-vies.

<sup>8</sup> Cette loi prescrit la vitesse de sédimentation selon la formule suivante :  $T = H/1500 \cdot A \cdot d^2$ , où T est le temps de décantation, H est la hauteur de la colonne d'eau dans laquelle le sédiment est en suspension,  $d^2$  est le diamètre au carré des particules à isoler (mm) et A est une constante tenant compte de la température et de la densité du matériel.

été pipetée dans des tubes de verre où un disque était placé au fond. Avec l'évaporation de l'alcool, les grains se collent au disque. Vu la quantité restreinte de matériel disponible, un nombre réduit d'aliquotes a été réalisé pour chacun des fragments de poterie, soit environ 24 par échantillon.

## **4.3 Mesures**

### **4.3.1 Dose annuelle**

La radioactivité naturelle d'un artefact ou des sédiments est principalement issue de la désintégration de radio-isotopes naturellement présents dans l'environnement, soit l'uranium ( $^{238}\text{U}$ ), le thorium ( $^{234}\text{Th}$ ) et le potassium ( $^{40}\text{K}$ ), et dans une moindre mesure le rubidium ( $^{87}\text{Rb}$ ) et les rayons cosmiques. En mesurant les abondances en U, Th et K de la portion externe de chacun des échantillons, de même que celles du sédiment encaissant chaque pièce au cours de son enfouissement, il est possible de calculer la dose de radiation que reçoivent annuellement les échantillons. Ces abondances ont été mesurées à l'aide d'un spectromètre gamma à haute résolution (Murray et al. 1987).

### **4.3.2 Dose équivalente**

#### **4.3.2.1 Le protocole SAR**

La SAR (Murray et Wintle 2000) est une méthode de détermination de la dose équivalente dont le développement a, d'une certaine manière, marqué l'histoire de la luminescence. Son principal apport a été d'ajouter une certaine fiabilité aux mesures, tout d'abord :

- en permettant de suivre le comportement luminescent de chaque aliquote tout au long du cycle de mesure utilisant une « dose test » ;
- en intégrant des tests de qualité dans chacun des cycles de mesure ;
- en interpolant le signal naturel sur une courbe de croissance plutôt qu'en l'extrapolant ;



- en mesurant l'âge de chacune des aliquotes de l'échantillon de manière indépendante.

La SAR est généralement composée de quatre à huit cycles de mesure, eux-mêmes comprenant la lecture de la luminescence générée par une dose ( $L_n$  pour la dose naturelle et  $L_x$  pour les doses régénérées) et ensuite par une dose test ( $T_n$  et  $T_x$ ). Le rapport de  $L_n$  sur  $T_n$  ou de  $L_x$  sur  $T_x$  correspond au signal luminescent normalisé, c'est-à-dire qu'il tient compte de tous les changements de sensibilité des grains pouvant survenir au cours des mesures. Ainsi, nous pouvons dire que  $L_n/T_n$  et  $L_x/T_x$  correspondent à la luminescence corrigée pour la sensibilité.

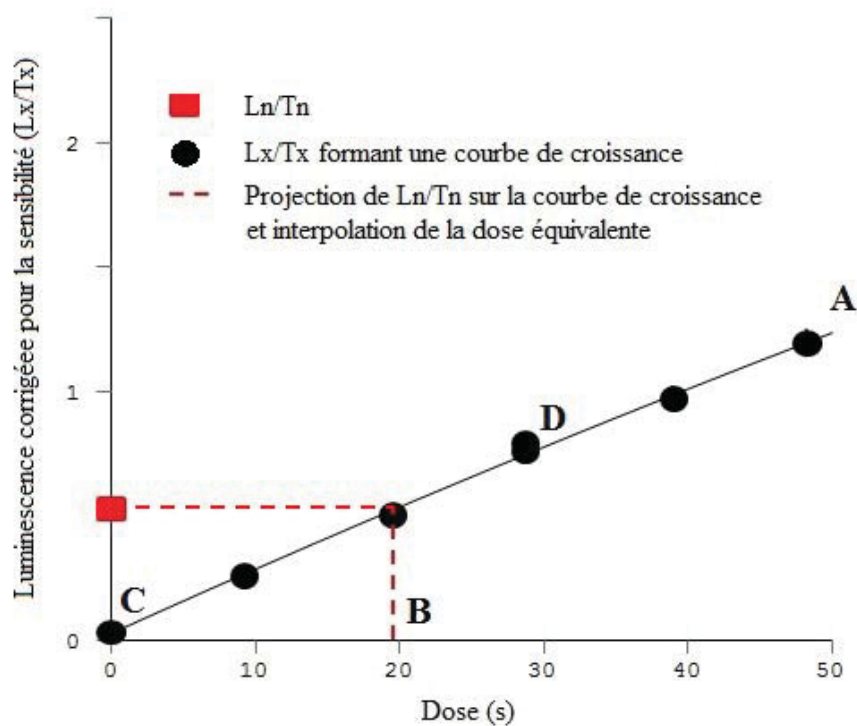
1. Le premier cycle de la SAR comprend la lecture de la dose naturelle et sa normalisation ( $L_n/T_n$ ).
2. Des cycles de mesures sont ensuite répétés en administrant des doses de radiation croissantes en laboratoire ( $L_x/T_x$ ).
3. Pour chacune des aliquotes, les rapports  $L_x/T_x$  pour chaque dose de radiation donnée sont ensuite rapportés sur un graphique mettant en relation la dose de radiation (axe  $x$ ) et le signal luminescent (axe  $y$ ) afin de construire une courbe de croissance (figure 4.4 A).
4. Sur cette courbe, le signal luminescent naturel, ou archéologique ( $L_n/T_n$ ) est interpolé de manière à pouvoir déterminer la dose de radiation induite en laboratoire qui correspond au signal naturel mesuré (figure 4.4 B).

Deux tests permettent de vérifier la validité des paramètres du protocole SAR (Murray et Wintle 2000) :

- Récupération : le signal IRSL est mesuré sans avoir préalablement donné de dose de radiation (figure 4.4 C). Pour ce test, une valeur du rapport  $L_x/T_x$  de dose 0 sur  $L_n/T_n$  nulle est recherchée, mais la limite de l'acceptabilité a été établie à  $< 10\%$  (Murray et Wintle 2003).
- Recyclage : le signal luminescent d'une dose égale à la première dose induite est mesuré à la fin des cycles de mesure (figure 4.4 D). Ce test vise à vérifier si la dose test corrige correctement le changement de sensibilité des grains. On espère ainsi un signal qui sera égal à celui correspondant à la dose répétée et un écart de 5 % est accepté (Murray et Wintle 2003).



Si une aliquote ne satisfait pas les exigences des précédents tests, son résultat devrait être exclu du lot (Murray et Wintle 2003 ; Duller 2008). Ces tests ont à l'origine été mis en place pour le quartz étant donné que leur comportement luminescent est moins reproductible que celui des feldspaths. Mais vu que ces tests sont intrinsèques au protocole SAR, ils sont également utilisés pour les feldspaths.



**Figure 4.4 :** Courbe de croissance de l'échantillon Mc-17, aliquote 10. Ici, 7 cycles de mesures ont été réalisés afin de bien caractériser la courbe de croissance<sup>9</sup>.

Dans le cadre de ce projet, nous avons utilisé une SAR modifiée pour la datation de feldspaths (Huot et Lamothe 2003, Lamothe 2004, Forget Brisson et al. 2015a, 2015b) incluant un lessivage optique du signal résiduel après chacune des lectures IRSL (tableau 4.1). La sélection de ce protocole a été faite selon les résultats de plusieurs tests qui seront présentés

<sup>9</sup> La courbe de croissance générique est exponentielle. Les résultats de nos échantillons se trouvent dans la partie linéaire de la courbe vu leur jeune âge.

dans le chapitre 5. Le lecteur est redirigé vers Murray et Wintle (2000, 2003) pour approfondir sa compréhension de la SAR et pour en observer le protocole original pour la datation des quartz.

**Tableau 4.1 – Protocole de mesure SAR modifié**

Étapes	Description	Observé
1	Dose (naturelle ou régénérée)	
2	Préchauffe : 250°C pour 60s	
3	IRSL : 50°C pour 100s	$L_x$
4	Lessivage optique (120s - lampe interne du Daybreak ou 900s - Hönle SOL 2)	
5	Dose test ~ 4 Gy	
6	Préchauffe : 250°C pour 60s	
7	IRSL : 50°C pour 100s	$T_x$
8	Lessivage optique	
9	Retour à l'étape 1	

#### 4.3.2.1.1 Sélection du signal luminescent des feldspaths potassiques

Dans la présente étude, les feldspaths potassiques ont été préférés au quartz pour plusieurs raisons pratiques :

- L'expertise développée au laboratoire *Lux* de l'UQAM est surtout tournée vers la datation des feldspaths et sur l'avancement de la méthode en ce qui concerne la décroissance anormale du signal et les différentes corrections possibles du signal (Lamothe et al. 1994 ; Lamothe et Auclair 1999 ; Lamothe et Auclair 2000 ; Lamothe et al. 2003 ; Lamothe 2004 ; Lamothe et al. 2012, Auclair et al. 2003, Huot et Lamothe 2003 ; Barré et Lamothe 2010). Ce projet s'insérait donc très bien dans cette recherche à long terme menée au laboratoire.

- La luminescence émise par les feldspaths est beaucoup plus intense que celle des quartz (Duller 2008) et ceci permet de dater des événements plus jeunes pour lesquels le signal serait trop faible pour les quartz. Ceci était particulièrement important dans le cadre de notre projet vu que les échantillons à dater étaient très jeunes par rapport aux critères de la méthode utilisée.
- Le signal luminescent des feldspaths peut être sélectionné dans un échantillon non-séparé minéralogiquement, car ils répondent à la stimulation infrarouge et pas les autres minéraux (Aitken 1998). Cette particularité était également très pertinente dans le cadre de ce projet, car il a ainsi été possible de sélectionner uniquement la luminescence des feldspaths dans nos échantillons de grains fins polyminéraliques.

#### 4.3.2.1.1 Décroissance anormale du signal luminescent des feldspaths

Les feldspaths sont affectés par la décroissance anormale du signal luminescent (*anomalous fading*, Wintle 1973 ; Aitken 1985, 1998 ; Spooner 1994) et ceci se manifeste par le fait que les électrons piégés, au lieu de rester dans les pièges, s'évadent et contredisent ainsi les modèles cinétiques sur la stabilité des électrons contenus dans les défauts de la maille cristalline à travers le temps. Ceci engendre donc une surestimation du signal luminescent régénéré, donc une sous-estimation de l'âge de l'échantillon. Ce phénomène affecte certains minéraux dont les feldspaths potassiques, les minéraux d'intérêt dans le cadre de ce projet de datation (Aitken 1985 ; 47-60).

La stabilité thermique des pièges, ou la probabilité d'échappement des électrons par seconde, est prédite par l'équation suivante (Aitken 1985 : 48-53) :

$$\tau = s^{-1} \exp (E/kT)$$

Où :

- $\tau$  est le temps de demi-vie de rétention de l'électron dans un piège (a) ;

- $s^{-1}$  est la fréquence de libération ;
- E est la profondeur du piège (eV) ;
- T est la température (°C) ;
- k est la constante de Boltzmann  $((1.38053 + 0.00006) \times 10^{-16} \text{ erg deg}^{-1})$  (Clark 1966).

Selon cette équation, les électrons retenus dans les pièges devraient y rester pour des temps géologiques, soit pour des millions d'années. Par contre, le modèle précédant se complexifie pour les feldspaths et d'autres minéraux où on observe une perte d'électrons alors qu'ils seraient supposés être stables, on parle ici de décroissance anormale du signal. L'hypothèse principale pour expliquer ce phénomène est l'effet tunnel (*quantum mechanical tunneling*) (Visocekas et al. 1994 ; Aitken 1998).

À partir des observations réalisées en laboratoire, des prédictions théoriques ont été faites afin de prévoir et quantifier cette décroissance sur des temps géologiques (Huntley et Lamothe 2001 ; Lamothe et al. 2003 ; Auclair et al. 2003). Ainsi, en mesurant le taux de décroissance anormale du signal de l'échantillon (valeur g), nous pouvons appliquer une correction sur la dose équivalente et obtenir l'âge réel de l'événement à dater.

#### 4.3.2.2 Détermination de la valeur g

Il est impératif de quantifier cette perte du signal et de corriger les doses équivalentes afin de pouvoir déterminer l'âge réel de l'événement d'intérêt. Des mesures supplémentaires sont ainsi réalisées pour déterminer la valeur g, soit le taux selon lequel le signal décroît avec le temps.

Le taux de décroissance anormal du signal a été déterminé selon le protocole de mesure proposé par Auclair et al. (2003). Plusieurs cycles de mesure<sup>10</sup> ont été réalisés. Le délai entre la préchauffe de l'échantillon dosé et la lecture  $L_x$  est changé au cours de ces cycles répétés. Des mesures  $L_x$  ont été faites après des délais d'attente très courts (de l'ordre de quelques minutes), tandis que d'autres ont été faites après des délais plus longs (de l'ordre de plusieurs

---

<sup>10</sup> Un cycle de mesure implique la réalisation des 8 premières étapes du protocole SAR présenté dans le tableau 4.1. Ceci permet d'obtenir le rapport  $L_x/T_x$ .

jours à quelques semaines). La préchauffe a été effectuée avant la période d'attente. La mise en relation du signal luminescent en fonction du logarithme du temps depuis l'irradiation nous donne une pente dont l'inclinaison correspond au taux de décroissance anormale du signal, soit à la valeur  $g$ .

La méthode de correction Huntley-Lamothe (Huntley et Lamothe (2001) a été appliquée à nos résultats. Cette méthode permet de corriger l'âge des échantillons jeunes dont la dose équivalente se trouve sur la portion linéaire de la courbe de croissance du signal luminescent.

### 4.3.3 La prédose du quartz

Une méthode de détermination de la dose équivalente incluse dans la thermoluminescence a également été testée. La TL exploite l'émission de photons à des pics de températures fixes. La « mémoire » du pic de TL à 110°C du quartz peut être utilisée afin de déterminer l'âge d'un échantillon (Flemming 1973). Le pic d'intérêt dans la méthode de la prédose du quartz est hautement sensible et c'est cette particularité qui rend la détermination de la paléodose<sup>11</sup> possible. La mémoire du pic est déverrouillée par une activation thermique, soit la chauffe de l'échantillon à 500°C. Le changement dans la réponse luminescente à une dose test donnée avant et après la chauffe à 500°C est observé. L'augmentation du signal luminescent entre les deux mesures est proportionnelle à la dose de radiation totale reçue par l'échantillon depuis sa dernière remise à zéro. Le protocole à suivre est indiqué dans le tableau suivant (Tableau 4.2).

Étant donné que  $(S_n - S_0)$  est proportionnel à la paléodose ( $P$ ) et que l'augmentation du signal entre les étapes 5 et 9 est proportionnelle à la dose de radiation donnée en 6, la paléodose peut être déterminée par cette équation :

$$P = \frac{S_n - S_0}{(S_n + S_\beta) - S_n} \beta$$

---

<sup>11</sup> La paléodose correspond à la dose totale de radiation reçue au cours du temps. Elle diffère de la dose équivalente par le fait qu'elle ne doit pas être corrigée pour la décroissance anormale du signal luminescent étant donné que les quartz ne sont pas affectés par ce phénomène, contrairement aux feldspaths.

Où :

- P est la paléodose ;
- $S_n$  est la réponse du pic TL de 110°C après une dose standard, reflétant la paléodose.
- $S_0$  est la réponse du pic TL de 110°C après une dose test.
- $S_n + S_\beta$  est la réponse du pic TL de 110°C suivant une TL à 500°C et une dose test.
- $\beta$  est la dose de radiation donnée.

**Tableau 4.2 – Protocole de mesure par la prédose du quartz**

Étapes		Observé
1	Irradiation ~0.5 Gy	
2	Mesure de la réponse du pic TL de 110°C : TL à 200°C	$S_0$
3	Chauffe : TL à 500°C	
4	Irradiation ~0.5 Gy	
5	Mesure de la réponse du pic TL de 110°C : TL à 200°C	$S_n$
6	Irradiation ~2.5 Gy	
7	Chauffe : TL à 500°C	
8	Irradiation ~0.5 Gy	
9	Mesure de la réponse du pic TL de 110°C : TL à 200°C	$S_n + S_\beta$

Par contre, l'utilisation de cette méthode est très limitée et permet seulement de dater des échantillons de moins de 1000-2000 ans vu que la saturation se fait à quelques Gy à peine (Aitken 1985). Bien que l'événement à dater soit bien en-dessous de l'âge maximal indiqué par Aitken, il s'est avéré que cette méthode était tout de même inutilisable pour notre projet. Ceci pourrait d'une part être expliqué par une sensibilité trop ténue des quartz de notre échantillon, ou d'autre part par le fait que les minéraux aient atteint un état de saturation. Cette dernière éventualité pourrait s'expliquer par la dose environnementale relativement élevée à laquelle les poteries ont été exposées durant leur période d'enfouissement (annexes 4 et 5).

#### 4.3.4 Appareillage et paramètres de lecture

Les mesures pour la détermination de la dose équivalente ont été réalisées sur un Daybreak 2200. Cet appareil a été sélectionné à cause de son bruit de fond très bas qui nous permettait de mieux rendre compte du faible signal luminescent de nos échantillons.

Tous les échantillons ont été irradiés avec la source beta interne de cet appareil ( $^{90}\text{Sr}$ ), sauf trois échantillons qui eux ont été irradiés dans des sources gamma externes ( $^{137}\text{Cs}$ : Mc-14 et Mc-15;  $^{60}\text{Co}$ : Mc-4) pour des raisons pratiques.

Une dose test assez élevée ( $\sim 4\text{Gy}$ ) a été choisie. Elle est comparable à la dose équivalente de nos échantillons, tandis qu'elle devrait correspondre à la moitié. Vue la faible intensité luminescente des aliquotes, ce choix a été fait dans le but d'obtenir un signal luminescent mesurable.

Des paramètres de lecture pour les feldspaths utilisés de manière routinière au laboratoire Lux ont été employés (Lamothe 2004), c'est-à-dire une préchauffe de 60s à  $250^\circ\text{C}$  suivie d'une lecture IRSL de 100s à  $50^\circ\text{C}$  dans une atmosphère d'azote. La luminescence a été détectée dans la partie bleue du spectre lumineux avec une combinaison des filtres Schott BG39 et Corning 7/59.

Étant donné la faible intensité des échantillons, le signal utilisé est celui des 20 premières secondes de la stimulation optique (IRSL). Une si grande intégration a été utilisée afin de maximiser les données dans ce contexte particulier. Le signal des 20 dernières secondes de stimulation a pour sa part été utilisé pour la mesure du bruit de fond, dont la valeur est soustraite au signal luminescent.

Les mesures de détermination de la valeur g ont été faites dans un Lexsyg Research. La dose administrée était de  $\sim 21\text{ Gy}$  et la dose test de  $\sim 5\text{ Gy}$ . Dans cet appareil, toutes les chauffes sont réalisées dans une atmosphère d'hélium (Huot, 2007).

## 5. Résultats

### 5.1 Dose annuelle

Quatre types de radiations contribuent à former la dose totale que reçoit annuellement l'échantillon enfoui, c'est-à-dire les particules alpha ( $\alpha$ ) et beta ( $\beta$ ) ainsi que les rayonnements gamma ( $\gamma$ ) et cosmiques. Les trois premiers types sont émis lors de la décroissance radioactive de certains isotopes présents naturellement dans le sol, tandis que le dernier est lié à l'emplacement géographique de l'échantillon. Dans le contexte à l'étude, il y a trois apports radioactifs à considérer lors de l'estimation de la dose annuelle, soit la dose interne au minéral et les doses externes provenant d'une part de la poterie elle-même, et d'autre part du sédiment dans lequel la poterie a été enfouie.

#### 5.1.1 Dose interne

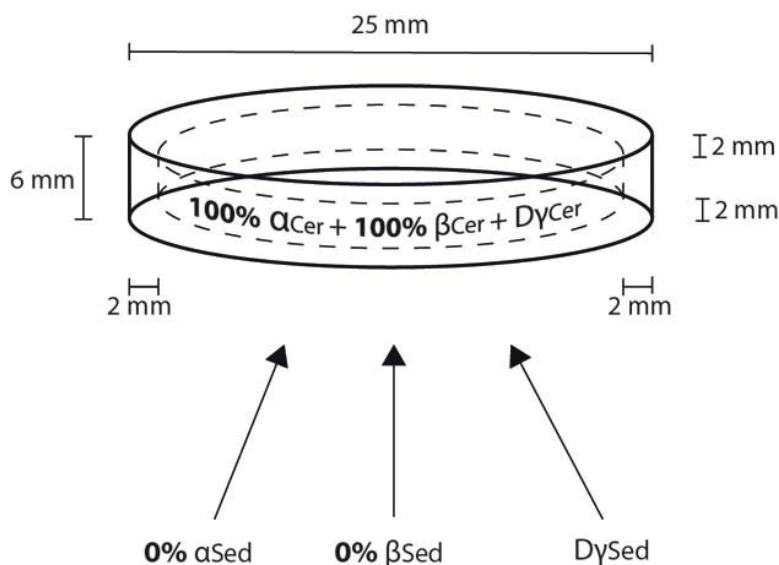
La dose interne comprend des émissions alpha et beta dues à la présence et à la décroissance radioactive de l' $^{238}\text{U}$ , du  $^{234}\text{Th}$ , du  $^{40}\text{K}$  et du  $^{87}\text{Rb}$  dans la maille cristalline des minéraux. Si cette dose peut être négligeable pour le quartz, elle ne l'est pas pour les feldspaths potassiques que nous avons datés, vue la présence notable de potassium interne responsable de l'émission de particules beta. Cette valeur de potassium interne a été établie à  $12.5 \pm 0.5 \%$  (Huntley et Baril 1997). La quantité de rubidium interne a quant à elle été fixée à  $400 \pm 100$  ppm (Huntley et Hancock 2001). La dose interne est toutefois négligeable pour la taille granulométrique de nos échantillons (4 à 11  $\mu\text{m}$ ) et le calcul de la dose annuelle en tient compte.

#### 5.1.2 Dose externe

Deux composantes sont à tenir en compte pour l'estimation de la dose externe au minéral. Il y a d'une part la dose provenant de la poterie, et d'autre part celle provenant du sédiment encaissant la pièce dans le sol. Puisque les différents types de radiation n'interagissent pas



tous de la même manière avec la matière, il est nécessaire de décortiquer l'apport de chacun pour calculer justement la dose annuelle totale (figure 5.1).



**Figure 5.1 :** Apports radioactifs provenant de la poterie (cer) et du sédiment encaissant (sed). Les différentes composantes de cette partie de la dose reçue annuellement sont décomposées. La valeur totale des doses ( $100\% \alpha_{Cer}$ ) et beta ( $100\% \beta_{Cer}$ ) provient de la poterie, tandis que la dose gamma totale provient à la fois de la poterie et du sédiment dans des proportions dépendant du contexte à l'étude ( $D\gamma_{Cer} + D\gamma_{Sed} = 100\% \gamma$ ).

### 5.1.2.1 Contribution alpha

Les particules alpha proviennent de la désintégration radioactive de l'uranium et du thorium et sont hautement ionisantes, mais sur une distance très courte (de l'ordre de 0.01 à 0.05 mm dans une poterie). Le pouvoir ionisant des particules alpha est tel que les pièges luminescents dans la zone affectée par ce type de radiation se saturent beaucoup plus rapidement que par l'effet des particules beta ou des rayons gamma et cosmiques. Ainsi, la luminescence émise par gray est moindre pour les radiations alpha que pour les autres types (Aitken 1985 : 11). En l'absence d'une mesure directe de la contribution alpha interne, un facteur d'efficacité alpha

(ou valeur  $a$ ) est appliqué (Aitken et Bowman 1975). Il s'agit d'un coefficient d'absorption et d'atténuation de l'énergie provenant des particules beta émises lors de la désintégration de U, Th et K. Cette valeur correspond en fait au rapport de la luminescence par unité de longueur de pénétration alpha sur la luminescence par unité de dose beta absorbée (Aitken 1985). Cette valeur  $a$  a été fixée à  $0.086 \pm 0.004$  pour la poterie qui est constituée principalement de grains fins (Rees-Jones 1995), et à  $0.10 \pm 0.02$  pour les sédiments (Olley et al. 1998). Le facteur d'atténuation alpha tenant compte de la taille granulométrique de Bell (1980) a été utilisé.

Vu le faible pouvoir de pénétration des particules alpha, la zone affectée par ce type de radiation provenant des sédiments encaissants a été éliminée de la poterie par l'action de retirer les deux premiers millimètres de la couche externe. La dose alpha totale provient donc essentiellement de la poterie ( $D_{\alpha_{Cer}}$ ).

#### **5.1.2.2 Contribution beta**

Les particules beta sont issues de la désintégration radioactive d'U, Th, et K. L'efficacité des particules beta se limite à un rayon d'environ deux millimètres (Aitken 1985). En retirant la couche externe des pièces de poterie, nous enlevons donc la partie affectée par les particules beta provenant du sédiment encaissant. Les grains qui seront datés auront ainsi nécessairement reçu leur dose beta totale de la part de la poterie elle-même. Le facteur d'atténuation beta de Mejdahl (1979) a été utilisé pour l'ajustement de la dose en fonction de la taille des grains qui ont été datés (4-11  $\mu\text{m}$ ).

#### **5.1.2.3 Contribution gamma**

Les rayons gamma ont un fort pouvoir de pénétration, soit de l'ordre de trente centimètres. Les grains constituant la poterie sont donc irradiés par un rayonnement gamma provenant à la fois de l'échantillon lui-même et du sédiment dans lequel il a été enfoui. L'apport relatif des deux précédents a été calculé à partir de la formule suivante proposée par Aitken (1985 : 70) :

$$D\gamma_{\text{Totale}} = \gamma_{\text{Sed}} + \frac{P}{100} (\gamma_{\text{Cer}} - \gamma_{\text{Sed}})$$

Où :

- $P = 100 (1 - e^{-(0.06 - 0.07t)})$
- $t$  correspond à l'épaisseur de la pièce en cm

Les apports relatifs de la poterie et du sédiment à la dose totale gamma dépendent du contexte à l'étude. La formule ci-haut tient compte de l'épaisseur de l'artefact pour déterminer la contribution des deux. Une épaisseur moyenne des fragments de poterie de 6 mm a été employée pour ce calcul.

Les échantillons enfouis en surface (à moins de 30 cm de profondeur) se trouvent dans un environnement non-homogène du point de vue de la radiation. Une correction a donc été appliquée à la dose gamma afin de tenir compte de l'anisotropie de la distribution de ce type d'énergie dans le sol (Aitken 1985).

#### **5.1.2.4 Contribution cosmique**

L'ionisation cosmique se traduit par l'absorption d'électrons dans le sol jusqu'à une profondeur de 50 cm, et l'absorption de muons encore plus profondément. La dose cosmique est calculée en fonction de plusieurs éléments, notamment la latitude (45.05°N), la longitude (74.17°W), l'altitude (86m), la profondeur d'enfouissement des échantillons et la densité des sédiments ( $1.6 \pm 0.1 \text{ g/cm}^3$ ). La contribution cosmique a été calculée selon Prescott et Hutton (1988, 1994).

### 5.1.2.5 Teneur en eau

L'eau se trouvant autour des grains a pour effet d'atténuer l'irradiation de ces derniers. La teneur en eau est une valeur difficile à estimer parce que le niveau d'humidité du sédiment au moment de l'échantillonnage n'est peut-être pas représentatif de la réalité à travers le temps d'enfouissement. Considérant que les échantillons ont été récoltés très près de la surface, dans un horizon contenant beaucoup de matière organique, la teneur en eau des sédiments a été établie à  $25 \pm 5 \%$ . Celle des poteries a été fixée à  $3 \pm 2 \%$ .

### 5.1.3 Calcul de la dose annuelle et résultats

Ainsi, la dose annuelle totale correspond à la somme des doses alpha et beta provenant essentiellement de la poterie, de la dose gamma provenant à la fois de la poterie et du sédiment encaissant et du rayonnement cosmique :

$$\text{Dose annuelle} = D\alpha_{\text{Cer}} + D\beta_{\text{Cer}} + D\gamma_{\text{Totale}} + D_c$$

Où :

- $D\alpha_{\text{Cer}}$  est la dose alpha dont l'entièreté provient de la poterie ;
- $D\beta_{\text{Cer}}$  est la dose beta provenant entièrement de la poterie ;
- $D\gamma_{\text{Totale}}$  est la dose gamma provenant de la poterie ainsi que du sédiment encaissant ;
- $D_c$  est la dose cosmique.

Les doses annuelles ont été calculées en utilisant le DRAC (Dose Rate and Age Calculator) de Durcan et al. (2015). L'utilisation de ce programme a été préférée aux calculs manuels par souci de normalisation avec les autres laboratoires de luminescence (Durcan et al. 2015 : 55). Les doses annuelles sont présentées dans le tableau 5.1, tandis que les résultats détaillés sont exposés dans les annexes 4 et 5.

Comme il été mentionné ailleurs (Forget Brisson 2015 : 4), les abondances en U, Th et K des sédiments en association avec les poteries récoltées sont très homogènes. Ces abondances sont

par ailleurs beaucoup plus élevées et très variables pour les pièces elles-mêmes. L'homogénéité des abondances des sédiments à l'échelle du site est attendue, mais la non-homogénéité des abondances des poteries est surprenante et pourrait être expliquée par au moins deux facteurs :

1. Il y aurait plusieurs sources d'argile exploitées pour la confection des vases ;
2. Les vases sont possiblement faits avec un mélange de plusieurs argiles et dégraissants présentant des caractéristiques plastiques différentes, mais selon une recette non-fixe (Velde et Druc 1999).

## **5.2 Dose équivalente**

### **5.2.1 Test du protocole SAR**

Une étape primordiale préalable à la mesure de la dose équivalente est de tester le protocole qui sera suivi. En luminescence, ce contrôle se nomme le *dose recovery test* (Murray et Wintle 2003) et consiste à retirer tout signal d'un échantillon naturel, lui appliquer une dose d'irradiation connue et ensuite réaliser toutes les étapes du protocole de mesure (tableau 4.1) pour vérifier s'il est possible, et avec quelle précision, de déterminer la dose appliquée précédemment. Plusieurs protocoles différents ont été testés pour déterminer celui qui serait le plus adapté pour les échantillons à l'étude. L'objectif était en fait de trouver celui qui nous affranchirait du signal résiduel et qui nous permettrait de déterminer le plus justement la dose équivalente des poteries à dater dans le cadre de ce projet. Le signal résiduel est la luminescence qui persiste après la lecture IRSL et qui s'accumule, contribuant ainsi à construire une courbe de croissance erronée sur laquelle une mauvaise dose équivalente serait interpolée.

Le lessivage optique préalable au test a été fait à l'aide d'une lampe solaire externe (Hönle SOL2) pendant une durée de 15 minutes. Une dose de 4 Gy a été appliquée suite au lessivage optique. Les tests ont été réalisés sur trois aliquotes.

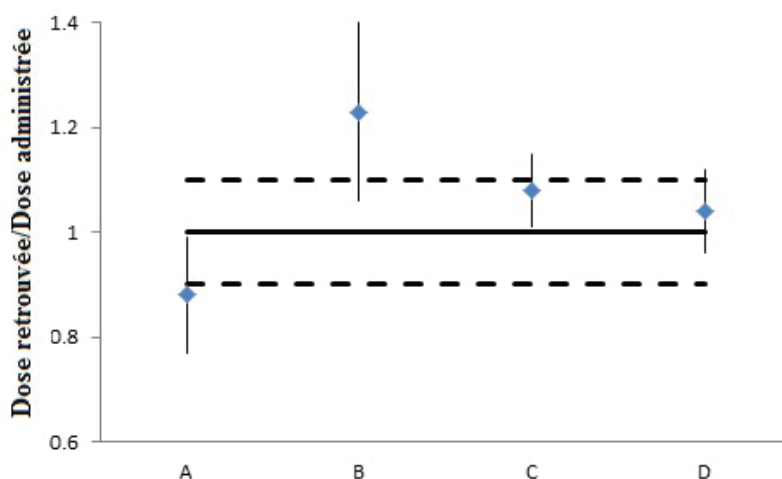
Le premier test a été fait en suivant le protocole original proposé par Murray et Wintle (2000), mais adapté pour les feldspaths : Dose – préchauffe – IRSL – dose test – préchauffe – IRSL. Le résultat du *dose recovery test* lui-même était en dehors des limites de tolérance fixées à 10 % avec une moyenne pondérée de  $0.88 \pm 0.11$  (figure 5.2 A). De plus, chacune des trois aliquotes mesurées ont clairement échoué au contrôle de la récupération (5 %), tandis que deux ont échoué à celui du recyclage (10 %). Les récupérations anormalement élevées ( $0.18 \pm 0.02$ ,  $0.25 \pm 0.05$  et  $0.23 \pm 0.04$ ) indiquent toutefois que le problème majeur de ce protocole se situe au niveau du signal résiduel. Il semble que ces échantillons ont une composante IRSL résistante qui nécessite un lessivage supplémentaire après la stimulation optique pour s’assurer d’une remise à zéro complète du signal après chaque cycle de mesure.

Le second test visait à vérifier l’utilisation d’un lessivage thermique après chaque cycle de mesure. Considérant le fait que le traitement à l’origine de la remise à zéro initiale des grains à dater était thermique (correspondant à l’événement de la cuisson du vase), l’application d’un traitement similaire aurait pu être adéquat et donner des résultats satisfaisants. L’utilisation d’un lessivage thermique est par ailleurs réalisée de manière routinière au laboratoire *Lux* de l’UQAM et présente des résultats et avantages très satisfaisants pour des types de sédiments variés. Le protocole de mesure testé ici incluait donc un lessivage thermique à la fin du cycle de mesure : Dose – préchauffe – IRSL – dose test – préchauffe – IRSL – TL (400°C). Les trois aliquotes ont livré des résultats très décevants et échoué les contrôles implicites de la SAR. Pour ce test, le problème ne se situe pas au niveau du signal résiduel, mais plutôt par rapport au recyclage, où les réponses lumineuses aux doses répétées sont étonnamment très différentes, ceci indiquant une piètre reproductibilité des mesures. Les résultats des trois aliquotes au test montrent une différence d’en moyenne 20 % entre la dose de radiation induite et celle retrouvée (figure 5.2 B).

Pour le troisième test, une lampe solaire externe (Hönle SOL2) a été utilisée pour faire un lessivage optique de 15 minutes après chaque lecture IRSL : Dose – préchauffe – IRSL – lessivage optique – dose test – préchauffe – IRSL – lessivage optique. Les trois aliquotes ont montrés des résultats très satisfaisants pour le recyclage (moyenne pondérée de  $1.03 \pm 0.08$ ) et la récupération (moyenne pondérée de  $0.03 \pm 0.01$ ). La moyenne pondérée des trois rapports de la dose obtenue sur celle induite est de  $1.08 \pm 0.07$  (figure 5.2 C), soit à l’intérieur du 10%

d'écart toléré (Murray et Wintle 2003). Ce protocole a été utilisé pour la mesure des échantillons Mc-4, Mc-14 et Mc-15.

Pour des raisons pratiques, le protocole précédent a été modifié au cours du programme de datation. La lampe solaire externe a été changée pour la lampe solaire interne au Daybreak 2200. Une durée de lessivage de 120s était suffisante pour retirer complètement le signal résiduel après les stimulations IRSL. Due à la faible quantité de matériel disponible, ce *dose recovery test* a été réalisé sur un seul disque. Le signal résiduel est très faible et le résultat de du test donne un rapport de  $1.04 \pm 0.08$  (figure 5.2 D). Ce protocole a été suivi pour les mesures des 14 autres échantillons.



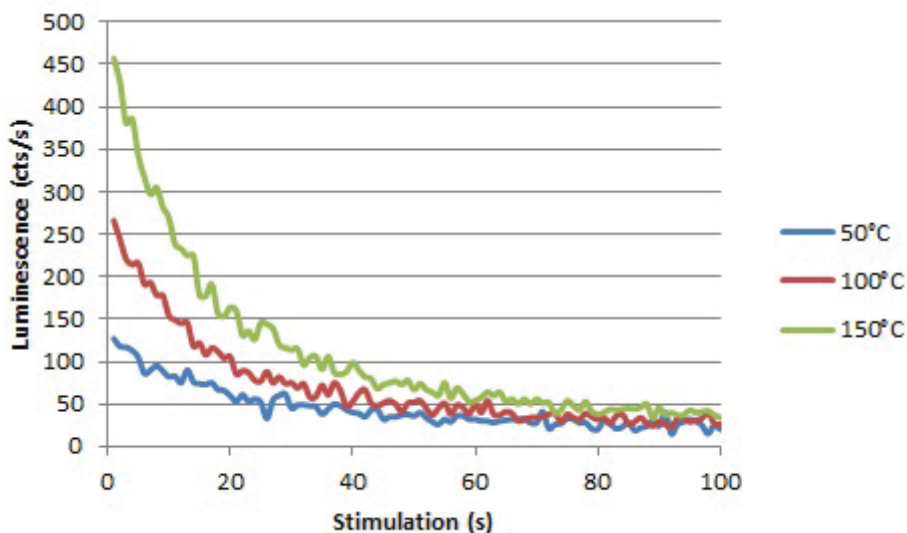
**Figure 5.2 :** Résultats des *dose recovery test* (losanges bleus). La ligne horizontale pleine représente la valeur optimale du rapport de la dose retrouvée sur la dose donnée. Les lignes pointillées indiquent les limites acceptées pour cette valeur. A : protocole SAR original adapté pour les feldspaths. B : lessivage thermique à la fin du cycle de mesure. C : lessivage optique avec lampe solaire externe après la dose et la dose test. D : lessivage optique avec lampe solaire interne au Daybreak 2200 après la dose et la dose test.

### 5.2.2 Test du signal luminescent

Outre la stimulation IRSL, l'intensité de la luminescence émise par les feldspaths est liée à la température de lecture (Duller and Wintle, 1991). Étant donné que les échantillons à l'étude

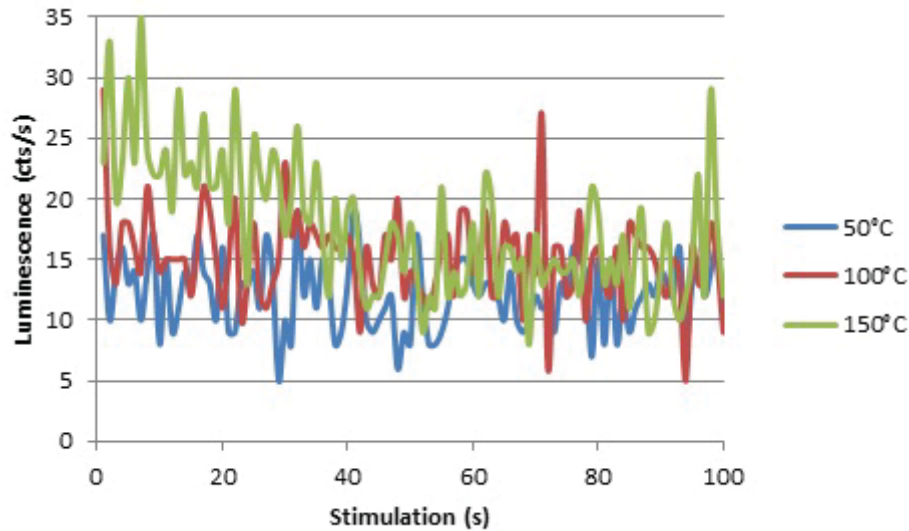
sont caractérisés par une faible luminescence, nous avons testé différentes températures de lecture en vue de déterminer les conditions optimales de lecture. Évidemment, la quantité de photons émise par seconde de stimulation (optique et thermique) croît avec l'augmentation du traitement thermique appliqué, soit 50°C, 100°C et 150°C (figure 5.3). Par contre, le signal résiduel (transfert thermique) augmente dans le même sens (figure 5.4).

La température de lecture a été maintenue à 50°C parce qu'un signal luminescent plus fort n'a pas été jugé suffisant pour compenser à l'incertitude engendrée par le transfert thermique. Une luminescence acceptable sans signal résiduel discernable a ici été préférée pour être cohérent avec le protocole standard pour la détermination de la dose équivalente des feldspaths potassiques (Lamothe 2004).



**Figure 5.3 :** Intensité lumineuse naturelle de trois aliquotes stimulés à différentes températures lors de la lecture IRSL (50°C, 100°C et 150°C). Ce graphique met en relation la durée de la stimulation (axe x) avec la luminescence émise par seconde (axe y).





**Figure 5.4 :** Luminescence résiduelle après un lessivage optique (Hönle SOL 2) de 15 minutes. La lecture à des températures plus élevées induit un transfert thermique. La durée de la stimulation est représentée sur l'axe  $x$ , tandis que la luminescence émise par seconde est sur l'axe  $y$ .

### 5.2.3 Mesure de la dose équivalente

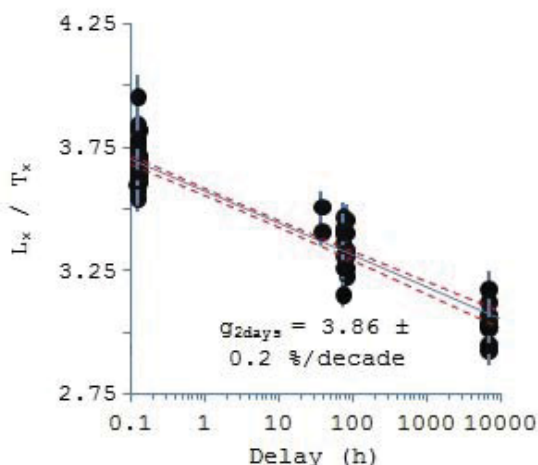
Des courbes de croissance ont été construites pour chacune des aliquotes datées et les résultats sont exposés dans le tableau récapitulatif des âges (annexe 6). Considérant les faibles signaux luminescents des échantillons (figure 5.3), les résultats obtenus sont satisfaisants. Quelques disques ont toutefois été exclus en raison de leur comportement luminescent erratique ou bien de problèmes avec les mesures. Ces informations sont également disponibles dans le tableau présenté à l'annexe 6.

Une variabilité est par contre visible entre les résultats des différents échantillons. Les données sont toutefois assez groupées si nous comparons les résultats des aliquotes d'un même échantillon. Ceci est attendu puisque l'utilisation des grains fins génère des résultats assez homogènes vu l'effet de moyenne qui se fait inévitablement à l'échelle des innombrables grains se trouvant sur le disque.

### 5.3.4 Valeurs g

Pour ce qui est de la correction pour la décroissance anormale du signal affectant les feldspaths, la valeur g a été mesurée et calculée pour corriger les doses équivalentes obtenues. Des cycles de mesures ( $L_x/T_x$ ) sont dupliqués, certains avec des délais très courts (*prompts*) et d'autres séparés par des périodes plus longues (*délais*).

Les valeurs g mesurées pour chaque aliquote étaient assez dispersées et c'est pourquoi l'option de combiner les mesures (prompts et délais) des aliquotes de chaque échantillon pour obtenir une seule valeur g a été appliquée afin d'augmenter la valeur statistique de ces mesures (figure 5.5).



**Figure 5.5 :** Valeur g de l'échantillon Mc-4. Les  $L_x/T_x$  mesurés pour tous les aliquotes ont été utilisés pour la détermination d'une seule valeur g par échantillon. Une décroissance anormale du signal luminescent de  $3.86 \pm 0.20$  % par décade a été déterminée pour cet échantillon.

Comme il a été exposé ailleurs (Forget Brisson 2015 : 4), malgré la répétition de cycles de mesure sur les aliquotes, les rapports  $L_x/T_x$  sont demeurés stables au cours des mesures. Ceci

est notamment visible par l'absence de changement de sensibilité des minéraux, ce qui indique la reproductibilité des résultats.

### 5.3 Âges corrigés

Les âges corrigés de chacun des échantillons sont présentés dans le tableau 5.1. Il est également très pertinent de considérer l'âge corrigé de tous les aliquotes, et ceux-ci sont inclus dans le tableau récapitulatif des âges à l'annexe 6. Il est à noter que les résultats que nous présentons dans ce présent mémoire diffèrent quelque peu de ce qui a été présenté ailleurs dans le cadre du même projet (Forget Brisson 2015a, 2015b). Cette situation est bien normale puisque les articles qui sont parus avant la fin de ce projet de datation étaient préliminaires, donc toujours susceptibles de changer. Plusieurs raisons sont à l'origine de cette situation :

- Dans ce présent document, les résultats de 7 échantillons sont ajoutés au lot déjà présenté, correspondant à plus de 40% du nombre total de fragments de poterie datés.
- L'utilisation de méthodes de statistique telles que le modèle d'âge central ou le modèle de mélange fini (section 5.3.1) utilisent des moyennes pondérées. L'augmentation du nombre de résultats a pour effet de réduire la marge d'erreur sur cette moyenne pondérée (Taylor 1997). C'est principalement dans le but de réduire la marge d'erreur sur l'âge final que nous avons décidé de dater un nombre plus élevé d'échantillons.
- Un ajustement dans les contributions gamma de la céramique et du sol a été fait entre la parution des articles et la présentation des résultats finaux. Les doses annuelles ont donc été légèrement modifiées.
- Un paramètre (intégration du signal luminescent) a été ajusté depuis les publications afin de permettre une meilleure comparaison entre les doses équivalentes mesurées sur le Daybreak et les valeurs g mesurées sur le Lexsyg Research. Il s'est avéré que les valeurs g étaient surestimées, surestimant ainsi l'âge des échantillons.

### 5.3.1 Les modèles statistiques

#### 5.3.1.1 Modèle de l'âge central

Le modèle d'âge central (*central age model*, CAM) de Galbraith et al. (1999) est couramment employé en luminescence afin de déterminer l'âge d'un échantillon à distribution normale et bien remis à zéro. Ce modèle statistique permet d'obtenir une moyenne pondérée par l'incertitude sur chacune des valeurs mesurées.

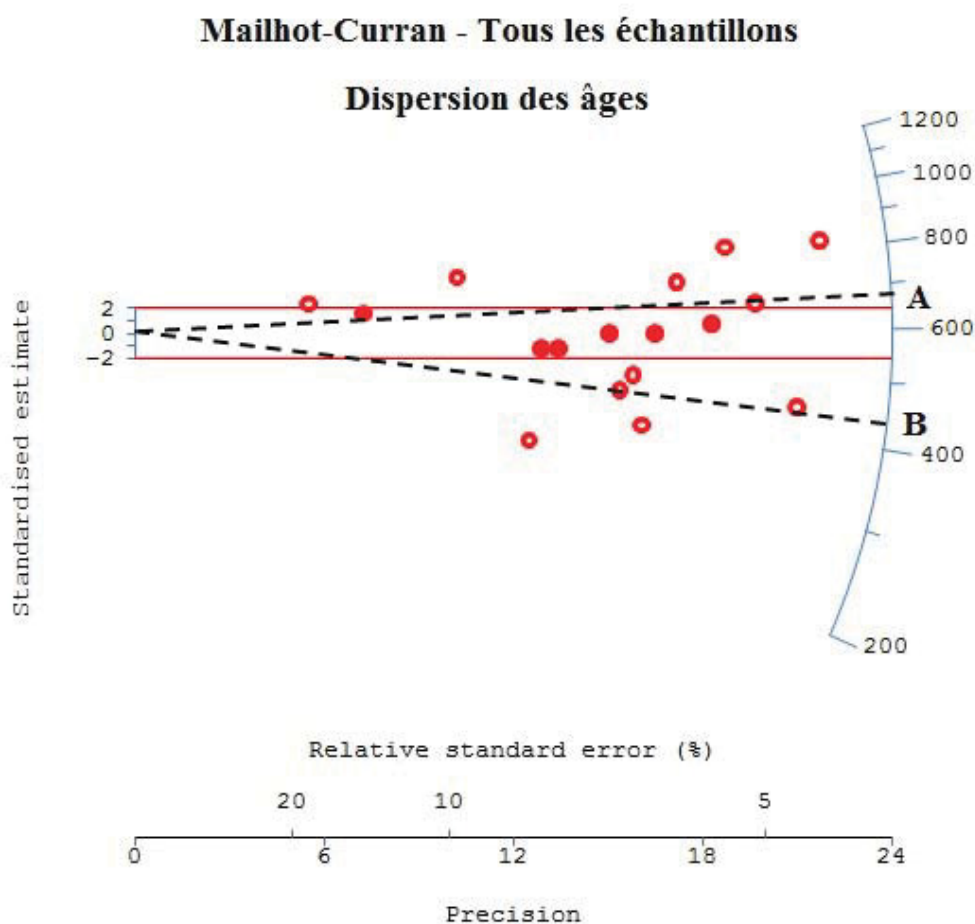
Le CAM des résultats de tous les échantillons ( $n = 17$ ) donne un âge de  $590 \pm 44$  ans. Considérant que chacune des poteries collectées dans le cadre de ce projet réfèrent au même événement archéologique, nous avons, par extension, considéré tous les résultats individuels obtenus en tant qu'aliquotes pour le site Mailhot-Curran. Dans un tel cas, le CAM de ces résultats ( $n = 152$ ) donne un âge de  $578 \pm 15$  ans. Ces deux valeurs sont pareilles considérant l'incertitude, mais une différence majeure existe cependant au niveau des marges d'erreurs, passant d'une erreur relative de 7 % dans le premier cas à 3 % dans le second. Le modèle de l'âge central permet de s'affranchir des erreurs aléatoires répétées à chaque mesure. La multiplication des mesures dans des conditions similaires permet ainsi de diminuer considérablement ce type d'incertitude (Taylor 1997). L'interprétation statistique des résultats des 152 aliquotes est ainsi privilégiée.

Tableau 5.1 - Âges corrigés

Échantillons	De non corrigée (s)	Valeur g (%/décade)	De corrigée (s)	De corrigée (Gy)	Dose annuelle (Gy/ka)	Âge corrigé (année)
<b>Mc-1</b>	25.2 ± 0.8	3.4 ± 0.1	32 ± 1	3.5 ± 0.2	5.7 ± 0.4	615 ± 34
<b>Mc-2</b>	59.1 ± 1.0	1.5 ± 0.1	66 ± 10	7.2 ± 1.1	7.9 ± 2.3	906 ± 164
<b>Mc-3</b>	20.0 ± 0.3	2.9 ± 0.1	24 ± 1	2.6 ± 0.1	5.9 ± 0.5	447 ± 21
<b>Mc-4</b>	1578.9 ± 44.8	3.9 ± 0.2	2095 ± 83	4.7 ± 0.2	5.7 ± 0.4	828 ± 38
<b>Mc-5</b>	30.9 ± 0.8	4.6 ± 0.3	44 ± 2	4.7 ± 0.2	5.5 ± 0.4	851 ± 46
<b>Mc-6</b>	33.5 ± 0.8	3.4 ± 0.1	43 ± 2	4.6 ± 0.2	7.0 ± 0.5	667 ± 34
<b>Mc-7</b>	13.0 ± 0.2	3.3 ± 0.1	16 ± 1	1.8 ± 0.1	5.9 ± 0.8	300 ± 24
<b>Mc-8</b>	22.0 ± 0.4	2.2 ± 0.2	26 ± 1	2.8 ± 0.1	5.8 ± 0.5	480 ± 30
<b>Mc-9</b>	22.6 ± 0.5	3.4 ± 0.2	29 ± 1	3.1 ± 0.1	5.3 ± 0.4	590 ± 36
<b>Mc-10</b>	40.3 ± 2.3	3.3 ± 0.4	51 ± 4	5.5 ± 0.4	6.0 ± 0.6	912 ± 89
<b>Mc-11</b>	35.4 ± 1.1	2.3 ± 0.2	42 ± 2	4.5 ± 0.2	6.0 ± 0.4	749 ± 44
<b>Mc-12</b>	26.0 ± 1.2	3.1 ± 0.2	32 ± 2	3.5 ± 0.2	6.4 ± 0.7	542 ± 40
<b>Mc-13</b>	26.4 ± 0.9	3.6 ± 0.2	34 ± 4	3.7 ± 0.4	5.1 ± 0.9	736 ± 102
<b>Mc-14</b>	82.9 ± 3.7	4.4 ± 0.3	111 ± 6	3.3 ± 0.2	5.5 ± 0.4	591 ± 39
<b>Mc-15</b>	53.3 ± 2.3	3.7 ± 0.4	69 ± 4	2.1 ± 0.1	5.5 ± 0.3	376 ± 23
<b>Mc-16</b>	27.0 ± 0.6	2.8 ± 0.1	33 ± 2	3.6 ± 0.2	6.6 ± 0.8	539 ± 42
<b>Mc-17</b>	19.7 ± 0.4	3.5 ± 0.2	25 ± 1	2.7 ± 0.1	6.1 ± 0.7	442 ± 29

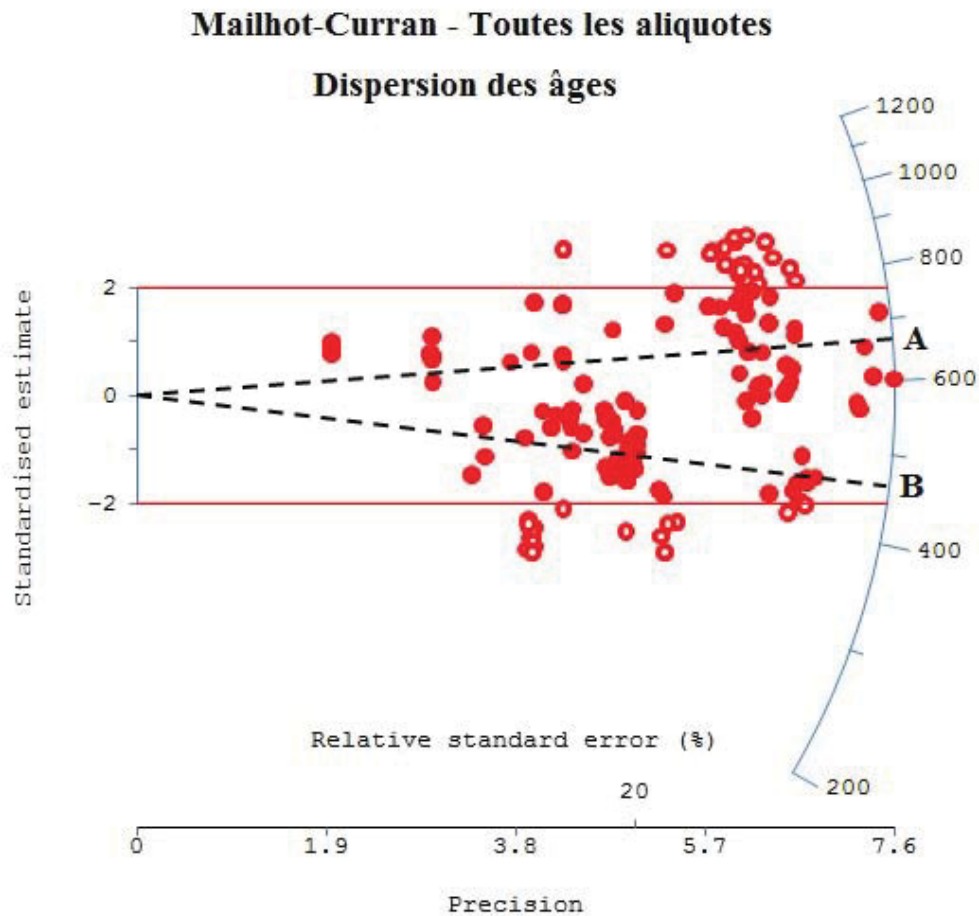
Tous ont été irradiés avec la source interne du Daybreak 90Sr, sauf trois échantillons qui eux ont été irradiés dans des sources gamma externes (<sup>137</sup>Cs: Mc-14 et Mc-15; <sup>60</sup>Co: Mc-4).

La disposition des résultats dans un graphique radial<sup>12</sup> (Galbraith 1990) permet de visualiser la valeur en même temps que la précision de celle-ci. Il est aussi possible de constater la variabilité des résultats obtenus, tant pour les échantillons (figure 5.6) que pour les aliquotes (figure 5.7).



**Figure 5.6 :** Présentation dans un graphique radial des âges corrigés des 17 échantillons. Deux principales populations se distinguent selon le FMM (A =  $678 \pm 71$  ans, B =  $426 \pm 77$  ans).

<sup>12</sup> Pour déterminer un âge (cercle) dans un graphique radial, lier le 0,0 (0 estimation standard et 0 précision) à un point, de manière à intercepter ensuite l'axe radial contenant les âges. Cette intersection donne l'âge du cercle. La précision peut être définie en tirant un trait vertical entre le cercle et l'axe de précision horizontal. La localisation du point vers la droite ou la gauche du graphique indique donc le degré de précision du résultat.



**Figure 5.7 :** Présentation dans un graphique radial des âges corrigés des 152 aliquotes. Deux principales populations se distinguent selon le FMM (A =  $660 \pm 55$  ans, B =  $490 \pm 49$  ans).

### 5.3.1.2 Le modèle de mélange fini

Le modèle de mélange fini (*finite mixture model*, FMM) de Roberts et al. (2000) permet pour sa part d'identifier de manière objective les différentes tendances dans les résultats, ou du moins de soutenir ces observations par une méthode statistique. Malgré le fait que cette méthode soit destinée à être utilisée pour les résultats issus de la datation par grains individuels (Arnold et Roberts 2009; Arnold et al. 2012), nous avons tenté de l'employer dans

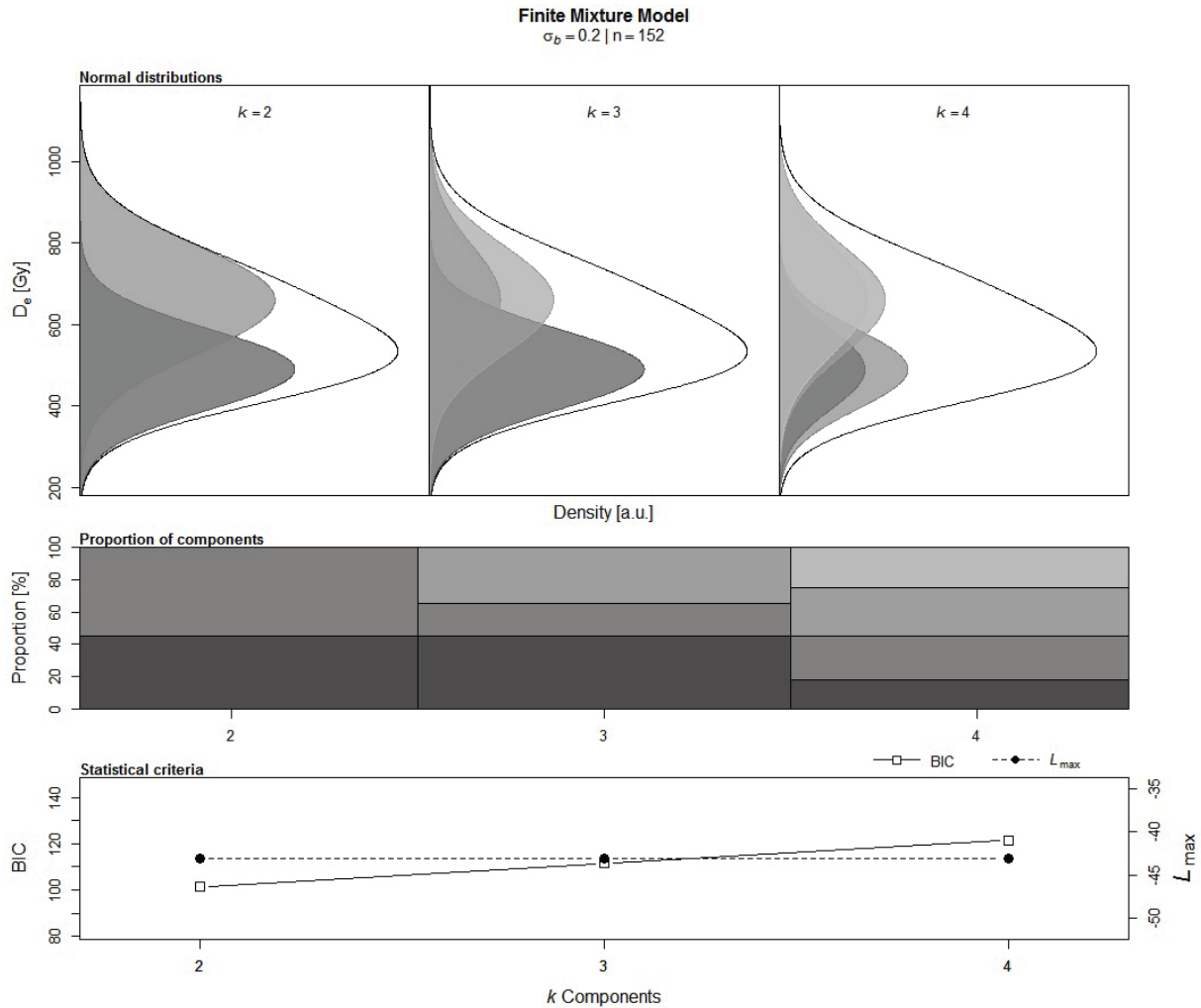
ce projet afin de vérifier si nos résultats comportaient des sous-populations. Les auteurs précédents indiquent que si la méthode est utilisée dans un contexte autre que les grains individuels, des populations « fantômes » peuvent apparaître et indiquer des résultats erronés. Nous pouvons en effet remarquer ce genre de situation à partir de la division en trois sous-populations ou plus (figure 5.8).

Le FMM a été appliqué en considérant les résultats de toutes les aliquotes ( $n = 152$ ) afin d'avoir la plus grande valeur statistique possible. Le modèle nous permet de considérer la population comme un seul groupe ou divisée en deux sous-groupes. Selon cette approche, si la population est considérée comme un seul groupe, le mode est  $580 \pm 15$  ans (ce qui correspond au CAM de la section précédente). La division en deux sous-groupes montrent deux pics bien distincts dont les modes sont à  $490 \pm 49$  ans et à  $660 \pm 55$  ans. Le premier sous-groupe comprend 45% de la population totale et le second 55%.

Le critère d'information bayésien (BIC) est un contrôle de vraisemblance statistique tenant compte du nombre de paramètres utilisés dans le modèle ainsi que du nombre de données utilisées. Plus faible est sa valeur, plus la probabilité de vraisemblance est grande. Dans le présent cas, nous pouvons constater que le BIC indique que la séparation en deux sous-populations, soit  $490 \pm 49$  ans et à  $660 \pm 55$  ans, est la plus vraisemblable (figure 5.8).

La division des populations de résultats en plusieurs sous-groupes met l'emphase sur une variabilité importante dans les âges obtenus. Ceci vient mettre en lumière une particularité qui est la présence d'âges trop vieux pour les attentes archéologiques dans notre corpus. Une compréhension approfondie du comportement des échantillons et du contexte à l'étude sont nécessaires afin de déterminer l'implication de ces valeurs pour la détermination de l'âge de l'occupation du site Mailhot-Curran. Ce point sera discuté dans le chapitre suivant.



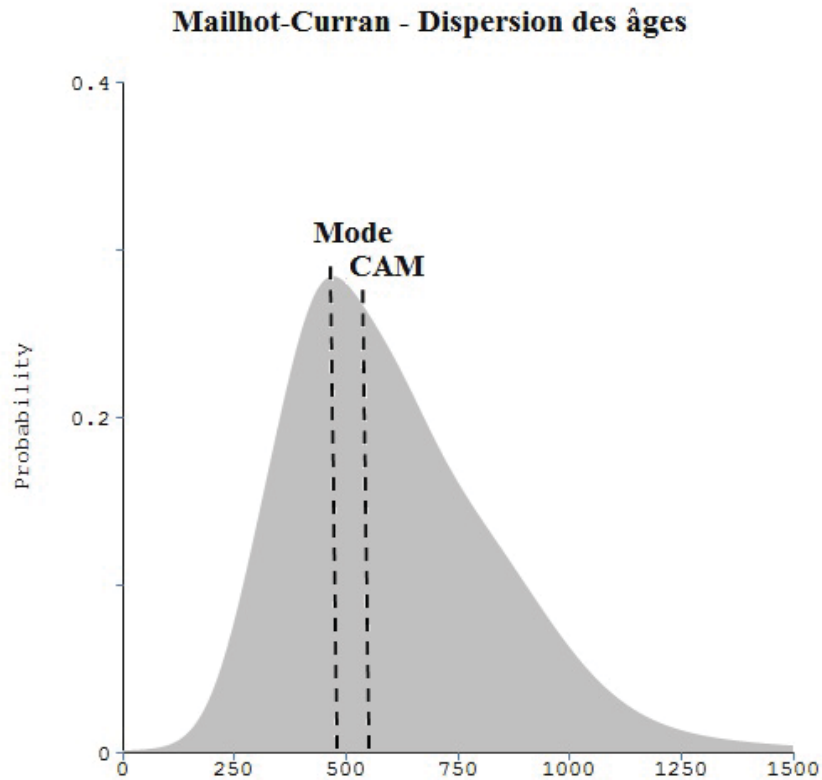


**Figure 5.8 :** Distribution des âges corrigés des 152 aliquotes datés selon le FMM. Cette méthode permet de considérer les résultats en un ou deux sous-groupes. On peut remarquer la création d’une population fantôme à partir de la division en trois sous-populations. Le BIC indique une probabilité plus forte pour la présence de deux modes.

### 5.3.1.3 Le mode

L’observation de la distribution des âges obtenus nous permet de constater que le principal mode de la population n’est pas équivalent au CAM des résultats. Ceci impliquerait que la distribution ne suivrait pas une courbe normale, donc serait influencée par au moins un facteur. Des hypothèses pouvant expliquer cette situation seront discutées à la section 6.2.2.

En effet, malgré l'utilisation d'une moyenne pondérée par les erreurs, cette valeur est affectée par la présence d'âges « plus vieux ». Ceci a pour effet de vieillir la moyenne. Cette dernière ne serait donc pas représentative de moment d'occupation du site archéologique Mailhot-Curran.



**Figure 5.9 :** Histogramme des âges (n = 152). Le mode (480 ans) de la population est distinct de la moyenne pondérée (CAM = 578 ans), étant donné l'asymétrie de la distribution.

Cette asymétrie dans la population permet de favoriser l'approche du FMM où deux sous-groupes sont distingués, aux dépens du CAM qui serait affecté par la présence d'échantillons dont l'âge est trop vieux et non cohérent avec le contexte à l'étude.

## 6. Discussion

### 6.1 Le contexte chronologique selon les connaissances actuelles

La problématique principale à laquelle s'attarde ce projet de maîtrise est l'établissement d'une chronologie plus précise et plus complète pour situer dans le temps l'occupation des sites archéologiques de la région de Saint-Anicet. L'apport de ce mémoire consiste en la datation du plus jeune village de la concentration de sites dans ce secteur selon les connaissances actuelles, c'est-à-dire Mailhot-Curran. Les hypothèses actuelles concernant l'âge de ce site proviennent principalement de l'observation du matériel archéologique et du schéma d'établissement, ainsi que des âges issus de la datation par <sup>14</sup>C.

Les conclusions préliminaires dans le rapport de Gagné mentionnant la découverte de ce gisement (1996 : 30) proposaient déjà que l'occupation de Mailhot-Curran se serait faite au Sylvicole supérieur et qu'elle aurait pu être contemporaine ou même postérieure à celle du site Droulers, situé à proximité. Gagné a modifié l'hypothèse par la suite en repoussant toujours la période probable d'occupation de Mailhot-Curran : au début ou au milieu du XVIe (Gagné 2000 : 40), et enfin au milieu ou à la fin du XVIe siècle (Gagné 2001 : 3). Woods, confirma l'hypothèse de l'occupation de Mailhot-Curran au cours du XVIe siècle, ou du moins le fait que l'occupation de ce site serait postérieure à celle du site Droulers (Woods 2012 : 109-111). Pour sa part, Chapdelaine (2015a : 349-350) propose l'hypothèse voulant que le site ait été occupé entre les années 1518 et 1530. Cette supposition est fondée sur plusieurs indices et faits dont nous discuterons plus bas.

La sériation de la poterie étudie le changement dans le temps des tendances morpho-stylistiques des vases. Cette méthode a été utilisée abondamment lors de l'analyse des artefacts depuis les débuts des recherches archéologiques en lien avec les Iroquoiens du Saint-Laurent (Pendergast 1975 ; Jamieson 1982 ; Chapdelaine 1989). Pour la sériation du matériel des sites de la région de Saint-Anicet, les archéologues en sont venus à la conclusion que les marqueurs temporels utilisés plus globalement dans le monde iroquoien établis par MacNeish (1952) ne pouvaient pas être appliqués pour ces villages préhistoriques (Woods 2012 ; Perreault 2014 ; Chapdelaine 2015a : 341) : les attributs ayant des valeurs temporelles ne sont pas

nécessairement constants d'un groupe à l'autre et c'est pourquoi une certaine tendance ne peut pas être utilisée de manière universelle comme marqueur temporel. L'insertion des sites Droulers et Mailhot-Curran dans la chronologie régionale ne semblait pas pouvoir se faire sur la base des critères déjà établis. Dans ce sens, Woods (2012 : 109-111), suite à l'analyse morpho-stylistique de la poterie provenant du site Mailhot-Curran, a déterminé que le conservatisme dans les décors choisis par les potières de ce village rendait la comparaison temporelle difficile avec les sites Iroquoiens du Saint-Laurent des autres régions, notamment celui de Mandeville qui serait potentiellement contemporain à Mailhot-Curran (Chapdelaine 1989). C'est également à cette conclusion qu'en arrive Perreault après son travail d'analyse de la poterie du site Droulers. L'auteure note l'utilisation de tendances qui indiquent ailleurs l'ancienneté des sites mais qui, à Droulers, agiraient en tant que traits distinctifs culturels (Perreault 2014 : i). Or, leurs travaux ont tout de même permis de situer l'occupation de ces sites archéologiques dans le temps. Perreault (2014) propose une occupation à la fin du XVe siècle pour Droulers, tandis qu'une occupation au début du XVIe siècle est suggérée pour le site Mailhot-Curran (Woods 2012, 2013 ; Chapdelaine et Woods 2015 : 371).

L'observation du schème d'établissement d'un site archéologique peut également aider à situer le moment de son occupation dans le temps. Effectivement, au moment de sa découverte, plusieurs indices ont a priori permis d'associer Mailhot-Curran au XVIe siècle. Il y a notamment l'emplacement du site en retrait du fleuve Saint-Laurent et sa position à l'intérieur des terres (Gagné 1996, 2000, 2001). Avec les campagnes de fouilles subséquentes, mis à part l'observation des artefacts, d'autres caractéristiques ont pu soutenir cette hypothèse. Nous pourrions entre autres mentionner la taille du gisement, la présence de plusieurs maisons-longues et l'aspect villageois du site, l'exploitation horticole, etc. Ces indices ont permis de considérer Mailhot-Curran comme un village sédentaire semi-permanent typique du Sylvicole supérieur récent de la vallée du Saint-Laurent (Chapdelaine 2013a, 2014a, 2014b).

Ces indices archéologiques, au même titre que les données issues de la sériation du matériel céramique, permettent la datation relative des sites archéologiques en utilisant des marqueurs temporels valables localement ou à une échelle plus régionale, ceci étant à déterminer par l'archéologue (Woods 2012, 2013 ; Perreault 2014 ; Chapdelaine 2013b ; Chapdelaine et Woods 2015). Bien que ces méthodes ne permettent pas de déterminer l'âge précis d'un

gisement, leurs incertitudes assez larges peuvent être utilisées en tant que balises pour les résultats issus des méthodes de datation absolue qui peuvent, tout dépendant du contexte à l'étude, donner des âges parfois aberrants (Chapdelaine 2013b, 2015a). Ce que nous retenons des travaux d'analyse du matériel présentés ci-haut est que le site Mailhot-Curran (aussi bien que le site Droulers) présente une quantité notable de caractéristiques témoignant d'une occupation au XV<sup>e</sup> siècle qu'une occupation plus tardive au XVI<sup>e</sup> siècle. Bien que les archéologues aient statué pour une occupation plus probable au XVI<sup>e</sup>, la probabilité que le site soit plus ancien est bien présente. D'autres méthodes de datation ont donc dû être utilisées afin de déterminer avec plus de précision le moment où le village préhistorique Mailhot-Curran aurait été occupé.

La datation par radiocarbone est également utilisée dans la plupart des projets archéologiques, bien que les résultats ne soient parfois pas satisfaisants pour le contexte auquel on s'intéresse. Chapdelaine (2013a : 6) mentionne dans ce sens la « déception généralisée des archéologues face aux datations radiométriques » sur des échantillons provenant de sites préhistoriques récents du Nord-Est de l'Amérique du Nord (Clermont et al. 1983 ; Chapdelaine 1989 ; Wright 1985 ; Pendergast 1993; Chapdelaine 2013b, 2013b, 2014a, 2014b; Gagné 1995, 1997, 1998). Plus spécifiquement, la problématique se trouve au niveau de l'incertitude sur les résultats qui peut parfois être très importante. Ces résultats imprécis sont donc peu utiles pour dater des occupations qui auraient duré 15 ou 20 ans (Chapdelaine 2013b : 6).

Plusieurs facteurs sont en lien avec ces résultats souvent erratiques. Tout d'abord, il y a la sélection d'un échantillon ne référant pas au moment de l'occupation qu'on veut situer dans le temps, la contamination des échantillons soumis et les problèmes en laboratoire qui pourraient être à l'origine de l'inexactitude et parfois même de l'aberrance des âges <sup>14</sup>C obtenus. Ceci est visible notamment par l'incohérence des résultats bruts (non calibrés). Par contre, les précautions prises dans ce sens sur le terrain font que ces facteurs sont au second plan dans cette problématique.

Dans le cas de Mailhot-Curran, par la sélection de grains de maïs comme échantillon à dater, le problème lié à l'effet « vieux bois » est écarté (Chapdelaine 2013b). Effectivement, l'utilisation de ces grains comme support pour les datations radiocarbones permet de référer

directement au moment de l'occupation. Ce n'est pas le cas avec l'utilisation du charbon de bois, qui lui peut provenir de bois mort depuis longtemps. Par ailleurs, des efforts notables ont été réalisés pour réduire la contamination des échantillons. À Mailhot-Curran, l'échantillonnage est fait en sélectionnant les grains de maïs dans des emplacements jugés comme étant moins à risques (enfouissement loin de la surface dans des fosses, des foyers ou des dépotoirs) et à l'aide de l'outillage recommandé (pinces en métal, papier d'aluminium) toujours dans l'optique de minimiser la contamination (voir Chapdelaine 2013a, 2013b, 2014a, 2014b, 2015a). Les problèmes qui peuvent survenir en laboratoire sont par contre hors de contrôle pour l'archéologue et sont rarement rapportés dans les rapports par les laboratoires de datation.

Le principal problème affectant les résultats issus de la datation par radiocarbone provient de la calibration des résultats bruts. Avec l'utilisation de la méthode AMS (spectrométrie de masse par accélération) l'incertitude sur la valeur mesurée en laboratoire est faible (de l'ordre d'une trentaine d'années). La calibration des résultats ajoute cependant une erreur considérable sur l'âge mesuré (Guilderson et al. 2005).

Le  $^{14}\text{C}$  est produit continuellement dans l'atmosphère par l'interaction de la radiation cosmique avec le  $^{14}\text{N}$  (azote) atmosphérique ( $^{14}\text{N} + n$  (neutron)  $\rightarrow$   $^{14}\text{C} + p$  (proton)). Le  $^{14}\text{C}$  s'oxyde ensuite et forme la molécule  $^{14}\text{CO}_2$ . Le  $^{14}\text{C}$  est introduit dans l'atmosphère et dans les océans par la photosynthèse et par les échanges de  $\text{CO}_2$  entre l'air et la mer. L'intégration du  $^{14}\text{C}$  dans la chaîne alimentaire entraîne la diffusion de ce type de carbone dans les organismes vivants. Le  $^{14}\text{C}$  étant un isotope instable, il décroît à l'intérieur de ces organismes selon le principe de la demi-vie. Cependant, l'apport en  $^{14}\text{C}$  qui se fait tout au cours de la période vivante des organismes compense cette décroissance. L'organisme est donc en équilibre avec l'atmosphère. Au moment de sa mort, l'apport en  $^{14}\text{C}$  est coupé et l'équilibre est brisé. La concentration en  $^{14}\text{C}$  dans l'organisme décroît ensuite, toujours selon le principe de la demi-vie (Hua 2009 : 378-379).

La mesure du temps écoulé depuis la mort de l'organisme (t) se fait donc en fonction de cette équation :

$$t = (T_{1/2}/\ln 2) * \ln(N(t)/N_0)$$

Où :

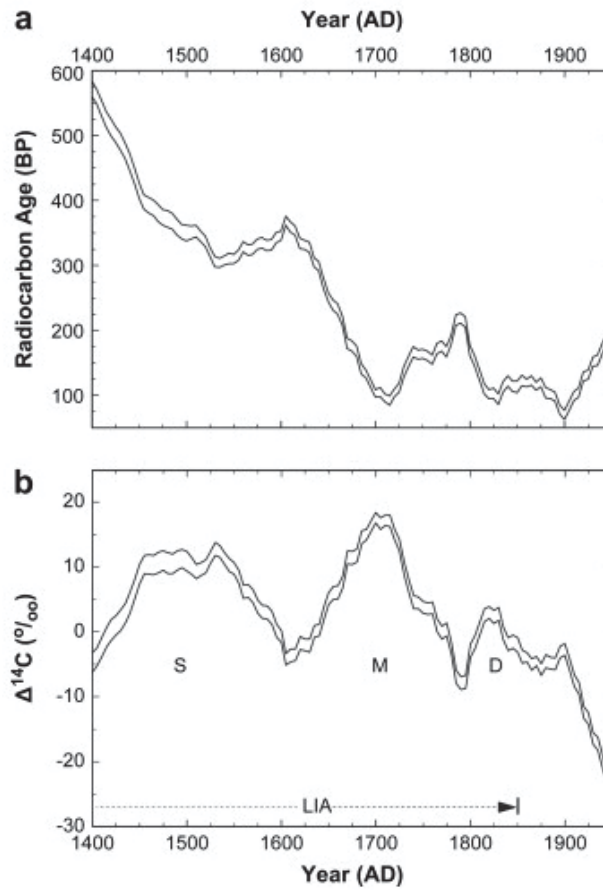
- $T_{1/2}$  est la demi-vie de Libby<sup>13</sup> ;
- $N_0$  est la concentration initiale de  $^{14}\text{C}$  dans l'organisme ;
- $N(t)$  est la concentration résiduelle de  $^{14}\text{C}$  au temps (t).

Dans cette équation, on assume que la production de  $^{14}\text{C}$  dans l'atmosphère a été constante au cours du temps, permettant ainsi de fixer la valeur de  $N_0$ . Or, la concentration de cet isotope instable est très variable temporellement et c'est pourquoi il est nécessaire de calibrer les valeurs obtenues, bien qu'il soit tentant de vouloir retirer cette incertitude supplémentaire sur l'âge (Chapdelaine 2013b, 2015a). Ces variations de concentration de  $^{14}\text{C}$  dans l'atmosphère sont dues à plusieurs facteurs, dont les changements dans le champ magnétique terrestre, les variations dans l'activité solaire (changements climatiques cycliques) ainsi que par des changements dans le cycle de carbone. Pour une explication plus complète des effets de ces phénomènes sur la production de  $^{14}\text{C}$  dans l'atmosphère et des impacts de ceci sur la courbe de calibration pour le passé récent, le lecteur peut se référer à Hua (2009 : 379-380). Mentionnons simplement que pour la période qui nous intéresse dans le cadre de ce projet, soit le milieu du XV<sup>e</sup> et le début du XVI<sup>e</sup> siècle, nous pouvons remarquer un plateau significatif<sup>14</sup> dans la courbe de calibration du  $^{14}\text{C}$ , correspondant au minimum de Spörer (figure 6.1). Il en résulte donc que pour un même âge radiocarbone brut, l'intercepte du résultat obtenu sur la courbe de calibration se fera à plusieurs endroits, rehaussant ainsi considérablement l'incertitude du résultat final (figure 6.2).

---

<sup>13</sup> La demi-vie du  $^{14}\text{C}$  déterminée par Libby (5568 ans) est toujours utilisée bien que la valeur soit erronée. La correction pour la valeur réelle de  $5730 \pm 40$  (Godwin 1962) se fait au moment de la calibration en laboratoire.

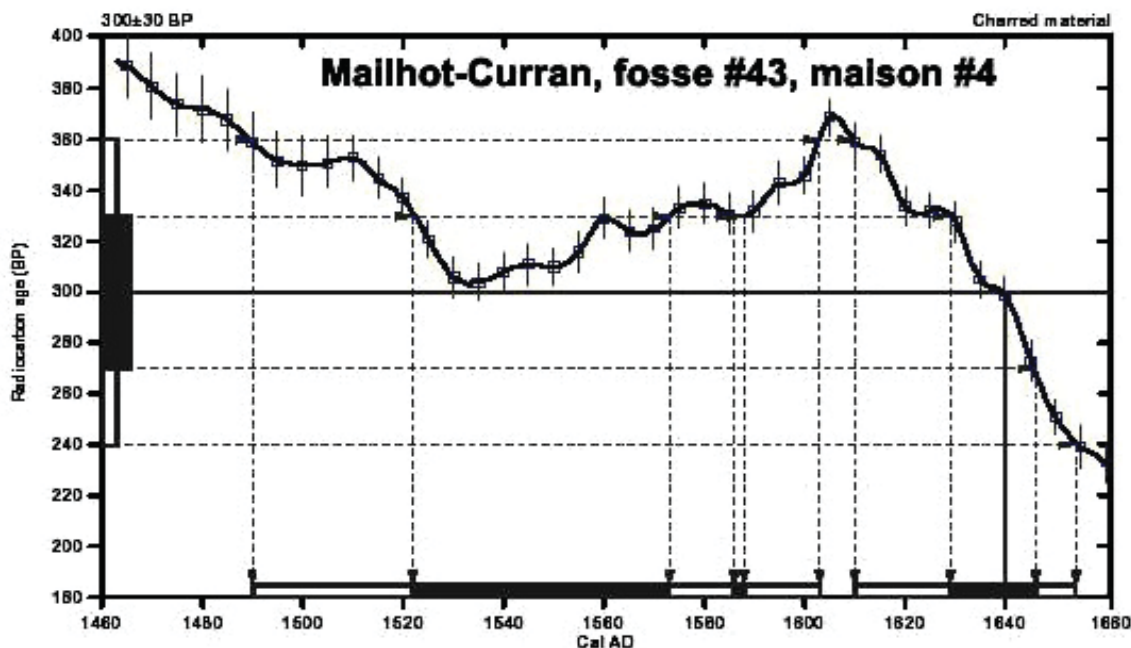
<sup>14</sup> Un plateau peut être observé lorsqu'un âge  $^{14}\text{C}$  peut correspondre à plusieurs âges calibrés sur une période de temps variable.



**Figure 6.1 :** Variation de la concentration de  $^{14}\text{C}$  dans l'atmosphère au cours du temps (entre 1400 et 1950 de notre ère). (a) Courbe de calibration produite par IntCal04 (Reimer et al. 2004) à  $1\sigma$ . (b)  $\Delta^{14}\text{C}$  atmosphérique dérivé des données de la courbe de calibration en (a). Le  $\Delta^{14}\text{C}$  correspond à l'écart de l'âge calibré et corrigé par rapport à la valeur hypothétique du  $^{14}\text{C}$  en 1950. LIA = Petit Âge Glaciaire ; S = Minimum de Spörer ; M = Minimum de Munder ; D = Minimum de Dalton. Les minimums font référence à des périodes d'activité solaire réduites (tiré de Hua 2009 : 381).



## CALIBRATION OF RADIOCARBON AGE TO CALENDAR YEARS



**Figure 6.2 :** Courbe de calibration pour un échantillon de Mailhot-Curran. Grain(s) de maïs datés à  $300 \pm 30$  AA. De nombreux interceptes sur la courbe de calibration induisent une augmentation notable de l'incertitude sur l'âge corrigé :  $1570 \pm 80$  de notre ère (adapté de Chapdelaine 2013a).

## 6.2 Âge probable du site Mailhot-Curran

### 6.2.1 L'hypothèse archéologique

Selon la sériation du matériel, l'observation du contexte général du site archéologique et les datations en  $^{14}\text{C}$ , Chapdelaine propose que le village préhistorique de Mailhot-Curran aurait été occupé entre les années 1518 et 1530 de notre ère. Quatre éléments soutiennent cette hypothèse (Chapdelaine 2015a : 349-350):

1. Cette période est cohérente avec les données radiométriques. La limite inférieure de la période proposée (1518) correspond à la limite de deux des intervalles d'âge  $^{14}\text{C}$  sur dix.

2. Une occupation du site au XVII<sup>e</sup> siècle est exclue étant donné que selon les écrits de Samuel de Champlain, les Iroquoiens du Saint-Laurent seraient disparus de la vallée du Saint-Laurent en 1603.
3. Une occupation postérieure à 1550 est exclue vu l'absence d'objet européen dans le registre archéologique de Mailhot-Curran.
4. Une occupation entre 1530 et 1550 est improbable vu le fait que la présence européenne ne se fait pas sentir archéologiquement.

Comme l'archéologue le mentionne, cette hypothèse est limitée par plusieurs éléments. Le point 2 est uniquement valable si les données historiques sont prises à la lettre. Étant donné qu'aucune recension exhaustive de la vallée du Saint-Laurent en amont de Montréal n'a été réalisée en 1603, cet écrit ne pourra jamais être réellement confirmé. Concernant le point 3, l'absence d'objet européen à Mailhot-Curran ne sera plus valable si une telle découverte est faite dans le futur. Par ailleurs, le point 4 pourrait aussi être expliqué par la situation en retrait de Mailhot-Curran dans la vallée du Saint-Laurent. Les Iroquoiens de Mailhot-Curran n'auraient peut-être pas participé au réseau d'interaction et d'échanges dans lequel les objets d'origine européenne circulaient (Chapdelaine 2015a : 349-350). Nous ajouterons aussi que le point 1, ou du moins le fait de fixer la limite inférieure de l'occupation du village préhistorique à l'année 1518 repose sur des bases ténues. En effet, six des âges <sup>14</sup>C supporteraient une occupation plus ancienne de Mailhot-Curran (Chapdelaine 2015a : 350). La limite proposée est tout de même en accord avec les méthodes de datation relative présentées plus haut qui placent l'occupation de Mailhot-Curran postérieure à celle de Droulers dans la séquence chronologique de la région de Saint-Anicet.

**Tableau 6.1 – Résultats issus des datations en 14C**

Année	Échantillon	Âge 14C (BP)	Calibration (2 sigmas)		Date 14C
2012	Beta-335641	260 ± 30	1520	1560	1595 ± 75
			1630	1670	
			1780	1800	
			1950	1950	
	Beta-335642	390 ± 30	1440	1520	1535 ± 95
			1570	1590	
	Beta-335643	250 ± 30	1530	1550	1600 ± 70
			1630	1670	
	Beta-335644	460 ± 30	1420	1450	1435 ± 15
	2013	Beta-365708	270 ± 30	1522	1573
1586				1588	
1629				1666	
1784				1795	
Beta-365709		300 ± 30	1490	1600	1570 ± 80
			1610	1650	
Beta-365710		280 ± 30	1518	1593	1556 ± 80
			1618	1664	
2014	Beta-391963	340 ± 30	1455	1645	1550 ± 95
	Beta-391964	330 ± 30	1465	1645	1555 ± 90
	Beta-391965	320 ± 30	1470	1650	1560 ± 90

Les intervalles d'âge en gris ont été rejetés. Le lecteur est invité à consulter Chapdelaine (2013b : 124-126, 2014b : 143-145, 2014a : 131-133) pour visualiser les graphiques produits par le laboratoire de datation radiocarbone *Beta Analytic*. Le graphique de l'échantillon Beta-335643 n'est par contre pas disponible et ces résultats ont été pris directement du tableau récapitulatif des dates radiométriques du site Mailhot-Curran (Chapdelaine 2015a : 343).

### 6.2.2 Comparaison de l'hypothèse archéologique avec les résultats issus de la datation par luminescence optique

Les âges obtenus par la datation OSL dans le cadre de ce projet indiquent une occupation qui est compatible avec l'hypothèse archéologique. Le résultat que nous proposons ici, soit 490 ± 49 ans, provient du FMM et correspond au plus jeune pic d'une division de la population des

résultats en deux sous-groupes. Cet âge correspond à 1523 de notre ère, avec une probabilité d'occupation du site villageois entre les années 1474 et 1572.

La détermination de cet âge est motivée par plusieurs raisons :

- La distribution asymétrique des résultats<sup>15</sup> fait en sorte que le CAM ne correspond pas au mode principal. Cette moyenne pondérée serait affectée par la présence d'âges trop anciens qui sont incohérents avec le contexte à l'étude. Ainsi, de par la distribution non-normale des résultats (figure 6.3), le CAM ne correspondrait pas à l'âge de l'événement d'intérêt ici, et ne devrait donc pas être utilisé dans le cadre de ce projet.
- La probabilité que les résultats issus du FMM et du mode principal correspondent à l'occupation du site archéologique Mailhot-Curran est plus élevée dans une situation où la distribution est asymétrique.
- Les informations disponibles en lien avec le contexte archéologique nous permettent de prioriser l'hypothèse d'une occupation du site Mailhot-Curran entre les années 1473 et 1573 de notre ère. Cette hypothèse est pour sa part issue d'un traitement statistique des résultats.

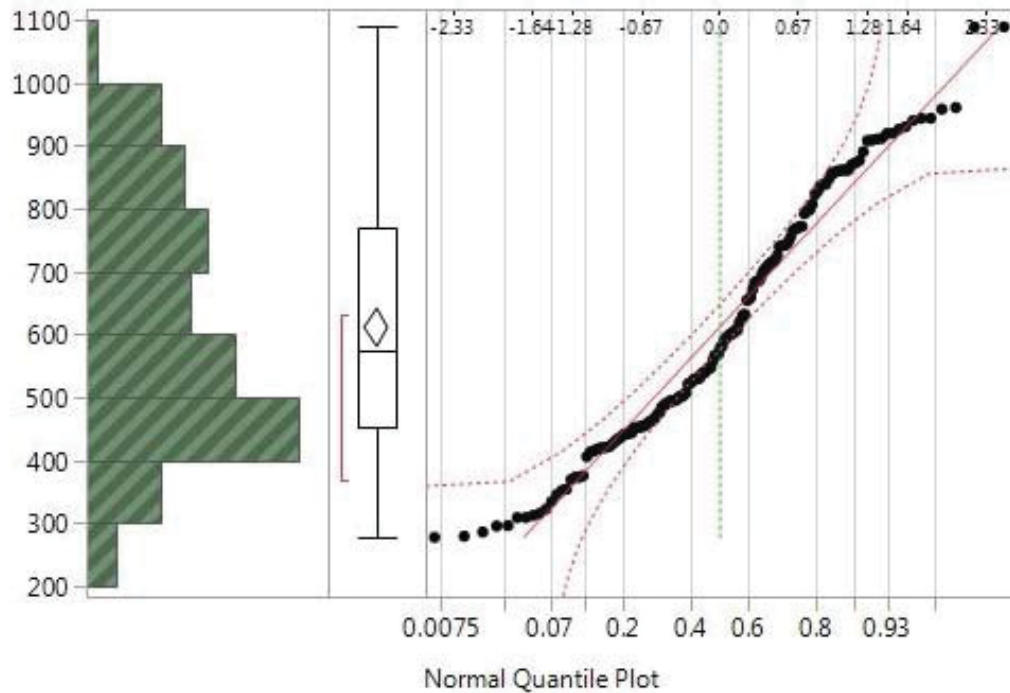
Deux hypothèses principales peuvent être proposées pour expliquer la dispersion observée dans les résultats obtenus et la non-normalité de la distribution de ceux-ci :

1. Étant donné que les âges des aliquotes d'un échantillon sont cohérents entre eux (annexe 6), l'âge des fragments de poterie feraient réellement référence au moment de leur cuisson. Ceci indiquerait une occupation du site à plusieurs moments au cours de la préhistoire ou sur une période prolongée.
2. Cette dispersion serait due à la méthode de datation utilisée ou à une particularité liée aux échantillons et au contexte à l'étude.
  - a. Les problématiques liées à la luminescence énoncées plus tôt engendrent une variabilité dans les résultats.

---

<sup>15</sup> La distribution déviée vers des valeurs d'âge plus ancien pourrait s'expliquer par la combinaison de plus d'un regroupement statistique dans les données. L'utilisation du FMM permet de constater que deux populations d'âge seraient présentes parmi les 152 aliquotes. La population la plus jeune issue de l'analyse par le FMM, de l'ordre de 490 ans, correspond d'ailleurs au mode principal de l'ensemble de ces aliquotes. Une seconde population affiche un âge de 660 ans.

- b. Les résultats contiennent des erreurs non décelées.
- c. Une ou plusieurs variables externes ne sont pas prises en compte dans la compréhension du contexte ou des échantillons à l'étude.



**Figure 6.3 :** Distribution de l'âge des 152 aliquotes datées. L'histogramme (section de gauche) présente les fréquences par tranches d'âge. Les écart-types sont indiqués sur l'axe du haut, tandis que les quantiles sont sur l'axe du bas du graphique de distribution normale (section de droite).

Concernant la première hypothèse, il serait très étonnant que cette réoccupation du site archéologique Mailhot-Curran n'ait pas été remarquée archéologiquement. Cependant, il est à noter que l'observation du matériel céramique a permis une distinction entre les artefacts des maisons-longues 1 et 2 et ceux des structures d'habitation 3 et 4. Chapdelaine et Woods (2015 : 356) considèrent par contre ces différences comme étant d'ordre culturel et non temporel. Nous ne voyons pas non plus de distinctions entre les âges des poteries provenant du dépotoir associé à la maison-longue #2 et ceux provenant des fosses de la maison-longue #3. Ainsi, nous ne pensons pas que cette hypothèse pourrait être à l'origine de la dispersion des

données observées. Par contre, si les recherches ultérieures venaient à indiquer une réoccupation du site à plusieurs périodes au cours de la préhistoire, l'interprétation des résultats de ce présent mémoire serait certainement à revoir. Par ailleurs, le fait que des poteries fabriquées antérieurement à l'occupation du site villageois Mailhot-Curran pourraient être datées ne pourrait pas expliquer la présence d'âges plus vieux dans notre corpus de données. L'écart entre l'occupation probable et l'âge de la population trop ancienne est trop élevé, c'est-à-dire de l'ordre de centaines d'années si on considère le mode à 660 ans du FMM (section 5.3.1.2). Il semble donc plus probable que la deuxième hypothèse soit celle à privilégier. Cette dernière nous ramène directement aux problématiques en lien avec la luminescence qui ont été mentionnées au deuxième chapitre.

Les problématiques liées à la méthode de datation par luminescence optique dans lesquelles notre projet était impliqué (2a) étaient divisées en deux catégories distinctes, soit liées à la détermination d'une part de la dose annuelle, et d'autre part de la dose équivalente. Tout d'abord, nous avons évoqué que l'environnement dans lequel les échantillons étaient enfouis n'était pas idéal. L'enfouissement des fragments de poterie près de la surface et dans une matrice caractérisée par un taux de pierrosité élevé ainsi que par la présence d'une grande quantité de racines compliquaient la détermination de la quantité de radiation précise à laquelle étaient soumis les échantillons sur une base annuelle. Par contre, l'utilisation conjointe des mesures dosimétriques en laboratoire (spectrométrie gamma) et sur le terrain (dosimètres) ont considérablement contribué à diminuer cette incertitude sur cette valeur de la dose annuelle. En effet, les doses absorbées par les dosimètres (alumine) laissés pour une année complète dans le sol du site Mailhot-Curran étaient cohérentes avec les doses  $\gamma$  mesurées en laboratoire (Lahaye 2015, communication personnelle).

La seconde problématique liée à la détermination de la dose annuelle concernait la quantité réduite de matériel à notre disposition pour la mesure de la radioactivité provenant du tesson de poterie lui-même. Comme il a déjà été mentionné, la portion du matériel correspondant aux deux premiers millimètres de la couche externe des pièces a été utilisée pour cette mesure. Bien que cette quantité fût minimale pour réaliser les mesures, la forte radioactivité des pièces de poterie a eu pour effet de compenser pour ceci. Les incertitudes sur ces mesures sont

considérées comme étant normales, sauf pour les échantillons Mc-2 et Mc-3 pour lesquels la quantité de matériel était infime.

La première problématique en lien avec la détermination de la dose équivalente était également rattachée à la faible quantité de matériel à notre disposition. Une quantité limitée d'aliquote a pu être réalisée pour chacun des échantillons. Toutefois, le développement de la méthode de mesure SAR (Murray et Wintle 2000) permet l'obtention d'une date à partir d'une seule aliquote et de cette manière, un projet de datation peut donc être réalisé avec très peu de matériel. Dans le cadre de ce projet, nous avons compensé pour le peu d'aliquotes par la datation d'une quantité élevée d'échantillons (n=17).

Ensuite, une limite possible au projet se trouvait au niveau de la faible luminescence émise par nos échantillons. Un appareil sensible et avec un bruit de fond très bas a été utilisé pour les mesures de dose équivalente. Nous avons donc pu mesurer ces échantillons malgré leur faible signal.

Et finalement, la troisième problématique de la deuxième catégorie était en lien avec la nécessité de corriger la dose équivalente mesurée pour la décroissance anormale du signal luminescent des feldspaths. Or, l'utilisation du signal feldspathique a été corrigée avec succès par le modèle de Huntley et Lamothe (2001).

Il semble donc que les problématiques liées à luminescence ne soit pas nécessairement à l'origine de cette dispersion observée dans les résultats. La présence d'erreur dans les mesures (2b) est également une hypothèse qui peut être soulevée, mais qui est assez improbable vue la quantité de fragments de poterie datés. Le meilleur moyen de vérifier si un résultat est dû à une erreur est certainement de répéter les mesures. Déjà le projet préliminaire de Bondetti (2013) sur trois fragments de poterie provenant du même site archéologique montrait des résultats allant dans la même direction : des âges de  $570 \pm 70$ ,  $700 \pm 60$  et  $440 \pm 40$  ans avaient été obtenus pour des mesures effectuées dans des conditions similaires à celles en vigueur dans ce présent projet. Nous pouvons donc conclure, après la datation de 17 échantillons supplémentaires que cette dispersion dans les âges obtenus persiste et qu'elle n'est pas due à une erreur dans les mesures ou dans l'analyse des résultats, mais qu'elle serait plutôt liée à une particularité de notre échantillon. L'hypothèse la plus probable qui pourrait



expliquer cette situation est donc que la variabilité est dépendante des échantillons eux-mêmes (2c).

Une hypothèse que nous pourrions envisager serait que les doses équivalente et annuelle des échantillons auraient été mesurées justement en laboratoire, mais que la radioactivité environnementale actuelle ne serait pas représentative de celle en vigueur durant la période d'enfouissement des fragments de poterie. Ceci impliquerait que des changements seraient survenus dans le contexte environnemental au cours de la période d'enfouissement. Nous pourrions entre autres mentionner la bioturbation, la cryoturbation, la variation dans la teneur en eau du sédiment encaissant les poteries ainsi que l'érosion.

L'installation de dosimètres dans le sol du site Mailhot-Curran durant une période d'un an a permis de confirmer que malgré la présence notable de pierres et de racines dans la matrice, la dose gamma absorbée par les minéraux était bien estimée par les mesures en laboratoire. Cette dose est représentative de la situation actuelle, mais peut-être pas de celle qui a prévalu durant la période d'enfouissement. Un travail de modélisation du contexte à l'étude pourrait être réalisé afin de considérer l'impact de certains éléments sur la dose reçue annuellement provenant de l'environnement externe ( $\gamma_{\text{sed}}$ ). Il serait intéressant de vérifier l'impact sur la dose de radiation reçue qu'on des éléments tels que la quantité de racines et de pierre ainsi que le mouvement de ceux-ci dans le sol. Dans cette optique, nous pourrions utiliser *Dosivox*, un logiciel de simulation dosimétrique qui permet la modélisation des contextes environnementaux complexes dans le but de calculer la dose annuelle d'un échantillon (Martin et al. 2015).

Ainsi, en considérant le contexte archéologique décrit par Chapdelaine (2015a), le groupement le plus jeune identifié par l'analyse du FMM, soit  $490 \pm 49$  ans apparaît comme étant l'âge le plus cohérent pour l'occupation du site de Mailhot-Curran.



## **Conclusion**

Dans ce mémoire, la luminescence optique a été utilisée sur des fragments de poterie afin de situer l'occupation du village préhistorique de Mailhot-Curran dans le temps. La datation par IRSL a été réalisée sur des grains fins polyminéraliques de taille silto-argileuse utilisés pour la fabrication des poteries. L'utilisation de la méthode sur ce matériau permet la détermination de la période nous séparant de la cuisson de ces objets, puisque la cuisson des vases, par la stimulation thermique, permet la remise à zéro des minéraux. La dose équivalente ainsi que la dose annuelle ont été déterminées avec succès malgré l'application de la méthode dans un contexte plutôt loin de ce qui est considéré comme idéal en luminescence. Une SAR IRSL modifiée incluant un lessivage optique après la lecture de la dose et de la dose test a été utilisée. La valeur  $g$  a été déterminée selon le protocole proposé par Auclair et al. (2003) et la correction de Huntley et Lamothe (2001) a été utilisée pour tenir compte de la décroissance anormale du signal feldspathique. La datation de 17 échantillons nous a permis d'obtenir l'âge de  $490 \pm 49$  ans avant aujourd'hui, c'est-à-dire une occupation qui aurait eu lieu vers 1523 de notre ère, avec une incertitude impliquant une possibilité d'occupation au cours de la période allant de 1474 à 1572 de notre ère. Ce résultat final est en accord avec l'hypothèse archéologique situant l'occupation du site Mailhot-Curran dans la première moitié du XVI<sup>e</sup> siècle. Ce résultat vient donc confirmer le fait que selon les connaissances actuelles, Mailhot-Curran serait le village préhistorique le plus tardivement occupé de la région de Saint-Anicet. Le lien avec la disparition des Iroquoiens du Saint-Laurent vient également se fortifier.

## **Perspectives de recherche**

Ce projet de maîtrise a principalement été réalisé dans le but de tester l'applicabilité de la luminescence optique dans des contextes complexes. L'application de cette méthode de datation absolue au site Mailhot-Curran a permis de confirmer la pertinence et l'utilité de l'OSL en livrant des résultats grandement satisfaisants. Du point de vue de la recherche fondamentale, le contexte à l'étude demeure très intéressant pour le développement de la

luminescence et son efficacité dans des contextes moins idéaux tels que celui présenté dans ce document. Dans ce sens, plusieurs éléments pourront faire l'objet de recherches futures.

### **L'événement de la remise à zéro initiale des minéraux**

La luminescence permet de dater le moment de la dernière remise à zéro des minéraux. Dans le cas de la poterie, on assume que cette dernière remise à zéro correspond à l'événement de la cuisson du vase, c'est-à-dire au moment où l'objet est chauffé dans un feu à ciel ouvert qui atteint des températures amplement nécessaires<sup>16</sup> pour la libération des électrons des pièges dans lesquels ils étaient retenus depuis des temps géologiques.

Étant donné la présence de nombreux fragments de poterie livrant un âge trop vieux pour l'occupation du site Mailhot-Curran (par exemple Mc-2 et Mc-10), nous pourrions soulever l'hypothèse que les vases qu'ils représentent étaient peut-être partiellement remis à zéro. L'intérieur de la pâte n'a peut-être pas reçu une stimulation thermique adéquate pour relâcher complètement les charges accumulées dans la structure cristalline interne des minéraux. Ces vases auraient cependant été fonctionnels, car les échantillons trop vieux ne proviennent pas systématiquement du dépotoir nord-ouest, mais sont plutôt répandus à l'échelle du site. Ceci aurait pu indiquer le rejet des vases mal-cuits ou brisés lors du processus de cuisson.

Il serait possible de tester la remise à zéro de cette argile dont le vase est formé par un projet expérimental. La construction de vases dans des conditions similaires à celles du Sylvicole supérieur récent pourrait nous informer sur l'état de la remise à zéro lors de la cuisson de ceux-ci, c'est-à-dire si elle est complète ou bien partielle.

Par ailleurs, ce projet pourrait aussi être utile dans le but de vérifier le protocole utilisé pour les mesures visant à déterminer la dose équivalente. Un *dose recovery test* pourrait être effectué sur des grains vidés de leur signal géologique durant un événement comparable à celui à dater. Le résultat de ce test aurait plus de valeur scientifique que ceux réalisés au chapitre 5 vu que la remise à zéro artificielle des grains en laboratoire par l'utilisation d'une

---

<sup>16</sup> Dans un feu à ciel ouvert, la température peut atteindre ~1000°C (Velde et Druc 1999). La température nécessaire pour remettre les minéraux à zéro est de 200-400°C (Rhodes 2011).

lampe solaire est une étape ajoutée qui nous éloigne de ce qui s'est réellement passé dans la nature. La possibilité que ce lessivage optique initial modifie le comportement des grains est présente. Si une telle modification survient à la première étape du *dose recovery test*, les résultats que nous obtenons ne se comparent qu'avec certaines appréhensions au grains « naturels » sur lesquels nous mesurons cette dose équivalente. Ainsi, l'utilisation de grains remis vidés de leur signal dans les conditions identiques ou presque à l'événement à dater nous donnerait un résultat plus juste avec lequel nous serions plus confiants.

### **La dose annuelle**

En considérant la variation dans les âges des échantillons datés, il est possible que le débit de dose de radiation ( $\gamma$ ) auquel ont été soumis les fragments de poterie enfouis ait été variable au cours du temps. Dans cette optique, nous pourrions utiliser la modélisation pour simuler les différents scénarios qui auraient pu survenir et affecter cette variable que nous devons considérer comme une constante. Le logiciel Dosivox (Martin et al. 2015) pourrait être utilisé afin de modéliser le site à l'étude.

### **Datation des autres échantillons collectés**

Au cours de la campagne de fouilles de l'été 2014, des échantillons de terre rubéfiée ont été collectés dans des foyers (annexe 2). Il serait pertinent de dater ces échantillons qui ont été exposés à répétition à des températures élevées au cours du temps de l'occupation du site archéologique auquel nous nous intéressons dans ce présent mémoire. Dans ce sédiment, les quartz et les feldspaths pourraient être extraits afin de comparer leur résultats. Bien que l'estimation de la décroissance anormale du signal n'ait pas été problématique dans le cadre de ce projet, l'utilisation d'un signal qui n'est pas affecté par ceci pourrait être intéressante pour la recherche.

## **Extension du programme de datation aux autres sites archéologiques de la région de Saint-Anicet**

Dans le but d'établir une séquence d'occupation des sites de la concentration de Saint-Anicet, un programme étendu de datation par luminescence optique pourrait être développé. Les protocoles utilisés devraient être les mêmes afin de permettre une meilleure comparaison des données. La multiplication des mesures pourrait également diminuer l'impact des erreurs aléatoires (Taylor 1997). De plus, l'utilisation du FMM sur les données issues de la datation des sites d'intérêt pourrait nous permettre de distinguer le moment des différentes occupations. Le souhait d'utiliser la datation OSL sur ces sites avait par ailleurs été énoncé par Chapdelaine (2013a : 10).

## **Pertinence d'utiliser la luminescence dans le contexte du Nord-Est de l'Amérique du Nord**

Dans ce mémoire, nous avons démontré qu'un âge fiable avec une incertitude raisonnable a pu être obtenu malgré l'utilisation de la méthode dans un contexte complexe et non-idéal. En effet, les récentes avancées scientifiques en luminescence optique ont permis de surmonter les difficultés reliées à ce contexte particulier (voir chapitres 2, 5 et 6). Nous pouvons donc en conclure que l'application de l'OSL a été bénéfique pour situer au XVI<sup>e</sup> siècle l'occupation du village préhistorique de Mailhot-Curran.

La datation des sites archéologiques est une problématique de taille dans le Nord-Est de l'Amérique du Nord et c'est pourquoi nous proposons une utilisation plus répandue de la datation par luminescence optique dans ce contexte. Cette méthode comporte de nombreux avantages pour son utilisation en contexte archéologiques :

- L'âge obtenu réfère directement au moment de l'occupation du site archéologique.
- Différents supports peuvent être utilisés pour la datation, notamment les sédiments contenant les artefacts, les objets composés de minéraux et qui ont été chauffés (poterie, pierres chauffées), les sédiments provenant d'un foyer, la cendre, etc.

- La méthode s'utilise sur les minéraux qui sont ubiquistes dans l'environnement (feldspaths et quartz).
- Une très petite quantité de matériel est nécessaire pour la datation d'un site archéologique.

De plus, étant donné les problèmes reliés à l'utilisation de la datation par  $^{14}\text{C}$  pour les sites préhistoriques du nord-est de l'Amérique du Nord, la luminescence est une solution pour la détermination du contexte chronologique.

## Bibliographie

- Aitken, Martin J., Michael S. Tite et J. Reid. 1964. « Thermoluminescence dating of ancient ceramics ». *Nature* 202 : 1032-1033.
- Aitken, Martin J. et S.G.E. Bowman. 1975. « Thermoluminescent dating : assessment of alpha particle contribution ». *Archaeometry* 17 : 132-138.
- Aitken, Martin J. 1985. *Thermoluminescence dating*. Academic Press, (Londres).
- Aitken, Martin J. 1998. *An introduction to optical dating*. Oxford University Press (Oxford).
- Arnold, Lee J. et Richard G. Roberts. 2009. « Stochastic modelling of multi-grain equivalent dose (De) distributions : Implications for OSL dating of sediment mixtures ». *Quaternary Geochronology* 4 : 204-230.
- Arnold, Lee J., Martina Demuro et Navazo M. Ruiz. 2012. « Empirical insights into multi-grain averaging effects from ‘pseudo’ single-grain OSL measurements », *Radiation Measurements* 47 : 652-658.
- Auclair, Marie, Michel Lamothe et Sébastien Huot. 2003. « Measurement of anomalous fading for feldspar IRSL using SAR », *Radiation Measurements* 37 : 487-492.
- Barré, Magali et Michel Lamothe. 2010. « Luminescence dating of archaeosediments : A comparison of K-feldspar and plagioclase IRSL ages ». *Quaternary Geochronology* 5 : 324-328.
- Bell, W.T.1980. « Alpha dose attenuation in Quartz grains for thermoluminescence dating ». *Ancient TL* 12 : 4-8.
- Bertrand, Karen F. 1992. *Datation par luminescence de roches chauffées dans un foyer préhistorique de Blanc Sablon*, Mémoire de maîtrise (Université du Québec à Montréal).

- Bondetti, Manon. 2013. Datation de poteries amérindiennes du site Droulers-Tsiionhiakwatha<sup>17</sup> par la méthode de luminescence stimulée optiquement (OSL). Rapport de stage, Département des sciences de la Terre et de l'atmosphère, Université du Québec à Montréal.
- Chapdelaine, Claude. 1980. « L'Ascendance Culturelle des Iroquoiens du Saint-Laurent », *Recherches Amérindiennes au Québec* 10 (3) : 145-152.
- Chapdelaine, Claude. 1989. *Le site Mandeville à Tracy : variabilité culturelle des Iroquoiens du Saint-Laurent*. Recherches amérindiennes au Québec (Montréal).
- Chapdelaine, Claude. 1990. « The Mandeville Site and the Definition of New Regional Group within the Saint Lawrence Iroquoian World », *Man in the Northeast* 39 : 53-63.
- Chapdelaine, Claude. 1992. « L'origine des Iroquoiens dans le Nord-Est: Remise en question de l'Hypothèse in situ », *Recherches Amérindiennes au Québec* 22 (4) : 3-4.
- Chapdelaine, Claude. 1993. « The sedentarization of the Prehistoric Iroquoians : A Slow or Rapid Transformation ». *Journal of Anthropological Archaeology* 12 : 173-209.
- Chapdelaine, Claude. 1995 « Les Iroquoiens de l'est de la vallée du Saint-Laurent », *Archéologies québécoises*. Paléo-Québec 23 : 161-184.
- Chapdelaine, Claude. 2010. *Le site Droulers/Tsiionhiakwatha : fouille de la maison-longue No.1, juillet-août 2010*. Rapport soumis au Ministère de la Culture et des Communications et la M.R.C du Haut Saint-Laurent.
- Chapdelaine, Claude. 2013a. *Le site Mailhot-Curran (BgFn-2) : première campagne de fouilles, Août 2012*. Rapport soumis au Ministère de la Culture et des Communications, Québec.
- Chapdelaine, Claude. 2013b. « Quelle est la position chronologique du site iroquoien Droulers-Tsiionhiakwatha? ». *Archéologiques* 26 : 1-24.

---

<sup>17</sup> Les poteries ont été collectées sur le site Mailhot-Curran et non Droulers.

- Chapdelaine, Claude. 2014a. *Le site Mailhot-Curran (BgFn-2) : troisième campagne de fouilles, Août 2014*. Rapport soumis au Ministère de la Culture et des Communications, Québec.
- Chapdelaine, Claude. 2014b. *Le site Mailhot-Curran (BgFn-2) : deuxième campagne de fouilles, Août 2013*. Rapport soumis au Ministère de la Culture et des Communications, Québec.
- Chapdelaine, Claude. 2015a. « La datation radiométrique du site Mailhot-Curran ». Dans Claude Chapdelaine (dir.) *Mailhot-Curran : un village iroquoien du XVI<sup>e</sup> siècle*, Paléo-Québec 35, Recherches amérindiennes au Québec (Montréal) : 49-68.
- Chapdelaine, Claude. 2015b. « Le cadre culturel ». Dans Claude Chapdelaine (dir.) *Mailhot-Curran : un village iroquoien du XVI<sup>e</sup> siècle*, Paléo-Québec 35, Recherches amérindiennes au Québec (Montréal) : 49-68.
- Chapdelaine, Claude. 2015c. « Le cadre naturel ». Dans Claude Chapdelaine (dir.) *Mailhot-Curran : un village iroquoien du XVI<sup>e</sup> siècle*, Paléo-Québec 35, Recherches amérindiennes au Québec (Montréal) : 35-48.
- Chapdelaine, Claude (Éd.). 2015d. *Mailhot-Curran : un village iroquoien du XVI<sup>e</sup> siècle*. Paléo-Québec 35, Recherches amérindiennes au Québec (Montréal).
- Chapdelaine, Claude et Audrey Woods. 2015. « La position culturelle du site Mailhot-Curran ». Dans Claude Chapdelaine (dir.) *Mailhot-Curran : un village iroquoien du XVI<sup>e</sup> siècle*, Paléo-Québec 35, Recherches amérindiennes au Québec (Montréal) : 355-373.
- Clermont, Norman. 1980. « L'identité culturelle iroquoise », *Recherches Amérindiennes au Québec* 10 (3) : 139-143.
- Clark, Sydney P. 1966. *Handbook of Physical Constants*. The Geological society of America (New Haven).



- Clermont, Norman, Claude Chapdelaine et Georges Barré. 1983. *Le site iroquoien de Lanoraie : témoignage d'une maison-longue*. Signes des Amériques 3. Recherches amérindiennes au Québec (Montréal).
- Clermont, Norman. 1996. « The Origin of the Iroquoians ». *The Review of Archaeology* 17 (1) : 59-62.
- Clermont, Norman et Michel Gagné. 2004. « People of the Drumlins ». Dans J. V. Wright et J.-L. Pilon (Dir.), *A Passion for the Past: Papers in Honour of James F. Pendergast*, Mercury Series, Archaeology Paper 164. Canadian Museum of Civilization (Gatineau) : 77-86.
- Daviau, Sébastien, Philippe Decloître, Marc Delage, Michel Gagné et Édith Prigent. 2012. *Saint-Anicet : d'hier à aujourd'hui*. Ouvrage collectif sous l'égide de la société historique de Saint-Anicet, Éditions Québec Histoire (Montréal).
- Delage, Marc. 1997. *Façonnement et métamorphose du modelé drumlinoïde par deux écoulements glaciaires successifs dans la région de Huntingdon (sud du Québec)*. Thèse de doctorat (Université de Montréal).
- Duller, Geoff A. T. 2008. *Luminescence Dating : Guidelines on using luminescence dating in archaeology*, English Heritage, (Swindon).
- Duller, Geoff A.T. et Ann G. Wintle. 1991. « On infrared stimulated luminescence at elevated temperatures ». *Nuclear Tracks and Radiation Measurements* 18 : 379-384.
- Durcan, Julie A., Georgina E. King et Geoffrey A.T. Duller. 2015. « DRAC : Dose Rate and Age Calculator for trapped charge dating ». *Quaternary Geochronology* 28 : 54-61.
- Flemming, Stuart J. 1973. *Thermoluminescence techniques in archaeology*, The Clarendon press, (Oxford).
- Forget Brisson, Laurence, Michel Lamothe, Sébastien Huot, François Hardy et Claude Chapdelaine. 2015a. « La datation par luminescence optique (IRSL) de l'occupation du site Mailhot-Curran, Saint-Anicet (Québec) ». Dans Claude Chapdelaine (dir.)

- Mailhot-Curran : un village iroquoien du XVI<sup>e</sup> siècle*, Paléo-Québec 35, Recherches amérindiennes au Québec (Montréal) : 375-388.
- Forget Brisson, Laurence, Michel Lamothe, Sébastien Huot, François Hardy et Claude Chapdelaine. 2015b. « Optical dating of St. Lawrence Iroquoian ceramics from the Mailhot-Curran site, southern Quebec ». *Quaternary Geochronology*, Sous presse : 1-6.
- Gagné, Michel. 1992. *Inventaire dans le Haut-Saint-Laurent : Indian Point, Pointe Frappier et le lot 39, Saint-Anicet*. Rapport déposé au Ministère des Affaires culturelles et à la Corporation des amis de la Pointe du Buisson.
- Gagné, Michel. 1993. *Expertise archéologique dans les régions de Saint-Anicet et Cazaville, M.R.C du Haut Saint-Laurent : à la poursuite des Iroquoiens du Saint-Laurent au sud du lac Saint-François*. Ministère de la Culture et des Communications et M.R.C du Haut Saint-Laurent.
- Gagné, Michel. 1995. *L'occupation villageoise iroquoise au sud du lac Saint-François : inventaire archéologique dans la région de Saint-Anicet (BgFn-1; BgFo-21) et fouille du site BgFo-18*. Ministère de la Culture et des Communications et M.R.C du Haut Saint-Laurent.
- Gagné, Michel. 1996. *L'occupation villageoise iroquoise au sud du lac Saint-François : inventaire archéologique dans la région de Saint-Anicet (BgFn-2) et fouille des sites BgFo- 18 et BgFn-1; programme d'animation culturelle sur le site Droulers (BgFn-1)*. Ministère de la Culture et des Communications et M.R.C du Haut Saint-Laurent.
- Gagné, Michel. 1997. *L'occupation villageoise iroquoise dans la région de Saint-Anicet M.R.C. du Haut Saint-Laurent (1996) : inventaire régional, fouille du site BgFn-1 et programme d'animation culturelle sur le site Droulers (BgFn-1)*, Ministère de la Culture et des Communications et M.R.C du Haut Saint-Laurent.
- Gagné, Michel. 1998. *L'occupation villageoise iroquoise dans la région de Saint-Anicet M.R.C. du Haut Saint-Laurent (1997) : inventaire régional, fouille archéologique et*

- programme d'animation culturelle sur le site Droulers (BgFn-1)*, Ministère de la Culture et des Communications et M.R.C du Haut Saint-Laurent.
- Gagné, Michel. 1999. *L'occupation villageoise iroquoise dans la région de Saint-Anicet M.R.C. du Haut Saint-Laurent (1998) : inventaire régional, fouille archéologique et programme d'animation culturelle sur le site Droulers (BgFn-1)*, Ministère de la Culture et des Communications et M.R.C. du Haut Saint-Laurent.
- Gagné, Michel. 2000. *L'occupation villageoise iroquoise dans la région de Saint-Anicet M.R.C. du Haut Saint-Laurent (1999) : Inventaire régional et fouille du site BgFn-1*. Ministère de la Culture et des Communications et M.R.C du Haut Saint-Laurent.
- Gagné, Michel. 2001. *L'occupation villageoise iroquoise dans la région de Saint-Anicet M.R.C. du Haut Saint-Laurent (2000) : fouille du site Mailhot-Curran (BgFn-2)*. Ministère de la Culture et des Communications et M.R.C du Haut Saint-Laurent.
- Gagné, Michel. 2002. *L'occupation villageoise iroquoise dans la région de Saint-Anicet M.R.C. du Haut Saint-Laurent (2001) : fouille du site Mailhot-Curran (BgFn-2)*. Ministère de la Culture et des Communications et M.R.C du Haut Saint-Laurent.
- Galbraith, Rex F. 1990. « The radial plot : Graphical assessment of spread in ages ». *Nuclear Tracks and Radiation Measurements* 17 (3) : 207-214.
- Galbraith, Rex F., Richard G. Roberts, Geoff M. LANMett, Hiroyuki Yoshida et Jon M. Olley. 1999. « Optical dating of single and multiple grains of quartz from Jinnium rock shelter, northern Australia: part I, experimental design and statistical models », *Archaeometry* 41 : 339-364.
- Gates St-Pierre, Christian. 2001. «Variations sur un même thème : les objets en os des Iroquoiens du Haut-Saint-Laurent», *Archéologiques* 15 : 35-54.
- Gates St-Pierre, Christian. 2006. *Potières du Buisson : la céramique de tradition Melocheville sur le site Hector-Trudel*. Société du Musée canadien des civilisations, Collection Mercure Archéologie (Musée Canadien des civilisations) 168 (Gatineau).

- Gates St-Pierre, Christian et Claude Chapdelaine. 2013. « After Hopewell in Southern Quebec », *Archaeology of Eastern North America* 41 : 69-89.
- Gates St-Pierre, Christian et Marie-Ève Boisvert. 2015. « L'industrie osseuse ». Dans Claude Chapdelaine (dir.) *Mailhot-Curran : un village iroquoien du XVI<sup>e</sup> siècle*, Paléo-Québec 35, Recherches amérindiennes au Québec (Montréal) : 261-290.
- Gilmore, Gavin K. 2008. *Practical gamma-ray spectrometry*. 2nd ed. John Wiley & Sons, Ltd (Wiley).
- Globensky, Yvon. 1987. Géologie des Basses-Terres du Saint-Laurent. Ministère de l'énergie et des ressources, Direction générale de l'exploration géologique et minérale (Québec).
- Godwin, Harry. 1962. « Half-life of radiocarbon ». *Nature* 195 : 984.
- Grenier, Robert, Marc-André Bernier et Stevens Willis (Dir.). 2007. *L'archéologie subaquatique de Red Bay : la construction navale et la pêche de la baleine basque au XVI<sup>e</sup> siècle*. Parcs Canada (Ottawa).
- Guilderson, Tom. P., Paula J. Reimer et Tom A. Brown. 2005. « The boon and bane of radiocarbon dating ». *Science*, New Series 307 : 362-364.
- Hua, Quan. 2009. « Radiocarbon : A chronological tool for the recent past ». *Quaternary Geochronology* 4 : 378-390.
- Huntley, David J., Dorothy I. Godfrey-Smith et M.L.W. Thewalt. 1985. « Optical dating of sediments », *Nature* 313 : 105-107.
- Huntley, David J et M.R. Baril. 1997. « The K content of the K-feldspars being measured in optical dating or in thermoluminescence dating ». *Ancient TL* 15 : 11-13.
- Huntley, David J. et Michel Lamothe. 2001. « Ubiquity of anomalous fading in K-feldspars and the measurement and correction for it in optical dating ». *Canadian Journal of Earth Sciences* 38 : 1093-1106.

- Huntley, David J. et R.G.V. Hancock. 2001. « The Rb contents of the K-feldspar grains being measured in optical dating ». *Ancient TL* 19 (2) : 43-46.
- Huot, Sébastien. 2007. *Investigations of alternate and innovative ways of performing luminescence dating in an attempt to extend the age range*. Thèse de doctorat (Aarhus Universitet).
- Huot, Sébastien et Michel Lamothe. 2003. « Variability of infrared stimulated luminescence properties from fractured feldspar grains », *Radiation Measurements* 37 : 499-503.
- Hütt, Galina, Ivar Jaek et J. Tchonka. 1988. « Optical dating : K-feldspars optical response stimulation spectra », *Quaternary Science Reviews* 7 : 381-385.
- Jamieson, Bruce J. 1982. *The Steward Site: A Study in St. Lawrence Iroquoian Chronology*. Mémoire de maîtrise (McGill University).
- Jamieson, Bruce J. 1990. « The Archaeology of the Saint Lawrence Iroquoians ». Dans C. J. Ellis et N. Ferris (Dir.), *The Archaeology of Southern Ontario to A.D. 1650*, Occasional Publications of the London Chapter. Ontario Archaeological Society 5 : 385-404.
- Kortekaas, Marloes et Andrew S. Murray. 2005. « A method for the removal of mica from quartz separates ». *Ancient TL* 23 (2) : 43-46.
- Lamothe, Michel. 1994. « Apport de la thermoluminescence optique dans la datation du site Plano de Rimouski », dans Claude Chapdelaine (Dir.) *Il y a 8000 ans à Rimouski : Paléoécologie et archéologie d'un site de la culture Plano*, Paléo-Québec 22, Recherches amérindiennes au Québec (Montréal) : 115-124.
- Lamothe, Michel, Sanda Balescu et Marie Auclair. 1994. « Natural IRSL Intensities and Apparent Luminescence Ages of Single Feldspar Grains Extracted from Partially Bleached Sediments ». *Radiation Measurements* 23 (2) : 555-561.

- Lamothe, Michel et Marie Auclair. 1999. « A solution to anomalous fading and age shortfalls in optical dating of feldspar minerals ». *Earth and Planetary Science Letters* 171 (3) : 319-323.
- Lamothe, Michel et Marie Auclair. 2000. « The *fadia* method : a new approach in luminescence dating using the analysis of single feldspar grains ». *Radiation Measurements* 32 : 433-438.
- Lamothe, Michel, Marie Auclair, Chérif Hamzaoui et Sébastien Huot. 2003. « Towards a prediction of long-term anomalous fading of feldspar IRSL ». *Radiation Measurements* 37 : 493-498.
- Lamothe, Michel. 2004. « Optical dating of pottery, burnt stones, and sediments from selected Quebec archaeological sites ». *Canadian Journal of Earth Sciences* 41 : 659-667.
- Lamothe, Michel. 2007. « La chronologie par luminescence optique (IRSL) des feldspaths du Cliche-Rancourt », dans Claude Chapdelaine (Dir.) *Entre lacs et montagnes au Méganticois : 12 000 ans d'histoire amérindienne*, Paléo-Québec 32, Recherches amérindiennes au Québec (Montréal) : 121-127.
- Lamothe, Michel, Magali Barré, Sébastien Huot et Stéphanie Ouimet. 2012. « Natural luminescence and anomalous fading in K-feldspar ». *Radiation Measurements* 47 : 682-687.
- Muller, Serge D. et Pierre J.H. Richard. 2001. « Post-glacial vegetation migration in conterminous Montréal Lowlands, southern Québec ». *Journal of Biogeography* 28 (10) : 1169-1193.
- Muller, Serge D, Pierre J.H. Richard, Joël Guiot, Jacques-Louis de Beaulieu et David Fortin. 2003. « Post-glacial climate in the St. Lawrence lowlands, southern Québec : pollen and lake-level evidence ». *Palaeogeography, Paleoclimatology, Palaeoecology* 193 (1) : 51-72.
- Olley, Jon M., Gary G. Caitcheon et Andrew S. Murray. 1998. « The distribution of apparent dose as determined by optically stimulated luminescence in small aliquots of fluvial

- quartz : implication for dating young sediments ». *Quaternary Science Reviews (Quaternary Geochronology)* 17 : 1033-1040.
- MacNeish, Richard S. 1952. *Iroquois Pottery Types: a technique for the study of Iroquois prehistory*. National Museum of Canada, Bulletin no. 124 (Ottawa).
- Mailloux, A et G. Godbout. 1954. Étude pédologique des sols des comtés de Huntingdon et Beauharnois. Division des sols, École supérieure d'Agriculture, Ste-Anne-de-la-Pocatière. Bulletin technique no 4, Ministère de l'Agriculture, Province de Québec.
- Martin, Loic, Sébastien Incerti et Norbert Mercier. 2015. « Dosivox : Implementing Geant 4-based software for dosimetry simulation relevant to luminescence and ESR dating techniques ». *Ancient TL*, Vol 33-1.
- Mejdahl, Vagn. 1979. « Thermoluminescence dating : Beta-Dose Attenuation in Quartz Grains ». *Archaeometry* 21 : 61-72.
- Murray, Andrew S., R. Marten, R. Johnston et P. Martin. 1987. « Analysis for naturally occurring radionuclides at environmental concentrations by gamma spectrometry », *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry* 115 : 263-288.
- Murray, Andrew S. et Ann G. Wintle. 2000. « Luminescence dating of quartz using an improved single-aliquot regenerative-dose protocol », *Radiation Measurements* 32 : 57-73.
- Murray, Andrew S. et Ann G. Wintle. 2003. « The single aliquot regenerative dose protocol : potential for improvements in reliability ». *Radiation Measurements* 37 : 377-381.
- Pelletier, Chantal. 1996. *Datation par thermoluminescence de poteries amérindiennes provenant des sites de Cap Tourmante et de l'Île Verte*. Mémoire de maîtrise (Université du Québec à Montréal).
- Pendergast, James F. 1966. *The Berry site*. National Museum of Canada, Bulletin no. 206 (Ottawa).

- Pendergast, James F. 1975. « An in situ Hypothesis to explain the Origin of the St-Lawrence Iroquoians ». *Ontario Archaeology* 25: 47-55.
- Pendergast, James F. 1991. « The St. Lawrence Iroquoians : Their Past, Present and Immediate Future », *New York State Archaeological Association Bulletin* 102: 47-74.
- Pendergast, James F. 1993. « More on When and Why the Saint Lawrence Iroquoian Disappeared ». In J.F. Pendergast et C. Chapdelaine (Dir.), *Essays in St. Lawrence Iroquoian Archaeology, Occasional Papers in Northeastern Archaeology* 8, Copetown Press (Dundas) : 9-47.
- Perreault, Christine. 2014. *Conservatisme et innovation chez les potières iroquoiennes du site Droulers-Tsiionhiakwatha*, Mémoire de maîtrise, Département d'anthropologie, Université de Montréal.
- Pintal, Jean-Yves, Jean Provencher et Gisèle Piédalue. 2015. *Air, Territoire et peuplement*. Les Éditions de l'Homme (Montréal).
- Prescott, John R. et John T. HUTTON. 1994. « Cosmic ray contributions to dose rates for luminescence and ESR dating: Large depths and long-term time variations », *Radiation Measurements* 23 : 497-500.
- Prescott, John R. et John T. HUTTON. 1988. « Cosmic ray and gamma ray dosimetry for TL and ESR », *Nuclear Tracks and Radiation Measurements* 14 : 223-227.
- Rees-Jones, J. 1995. « Optical dating of young sediments using fine-grained quartz ». *Ancient TL* 13 : 9-14.
- Reimer, Paula J., Mike G.L. Baillie, Edouard Bard, Bayliss, A., J.W. Beck, C.J.H. Bertrand, P.G. Blackwell, C.E. Buck, G.S. Burr, K.B. Cutler, P.E. Damon, R.L. Edwards, R.G. Fairbanks, M. Friedrich, T.P. Guilderson, A.G. Hogg, K.A. Hughen, B. Kromer, F.G. McCormac, S. Manning, C. Bronk Ramsey, R.W. Reimer, S. Remmele, J.R. Southon, M. Stuiver, S. Talamo, F.W. Taylor, J. van der Plicht et C.E. Weyhenmeyer. 2004. « IntCal04 terrestrial radiocarbon age calibration, 0–26 cal kyr BP ». *Radiocarbon* 46 : 1029–1058.

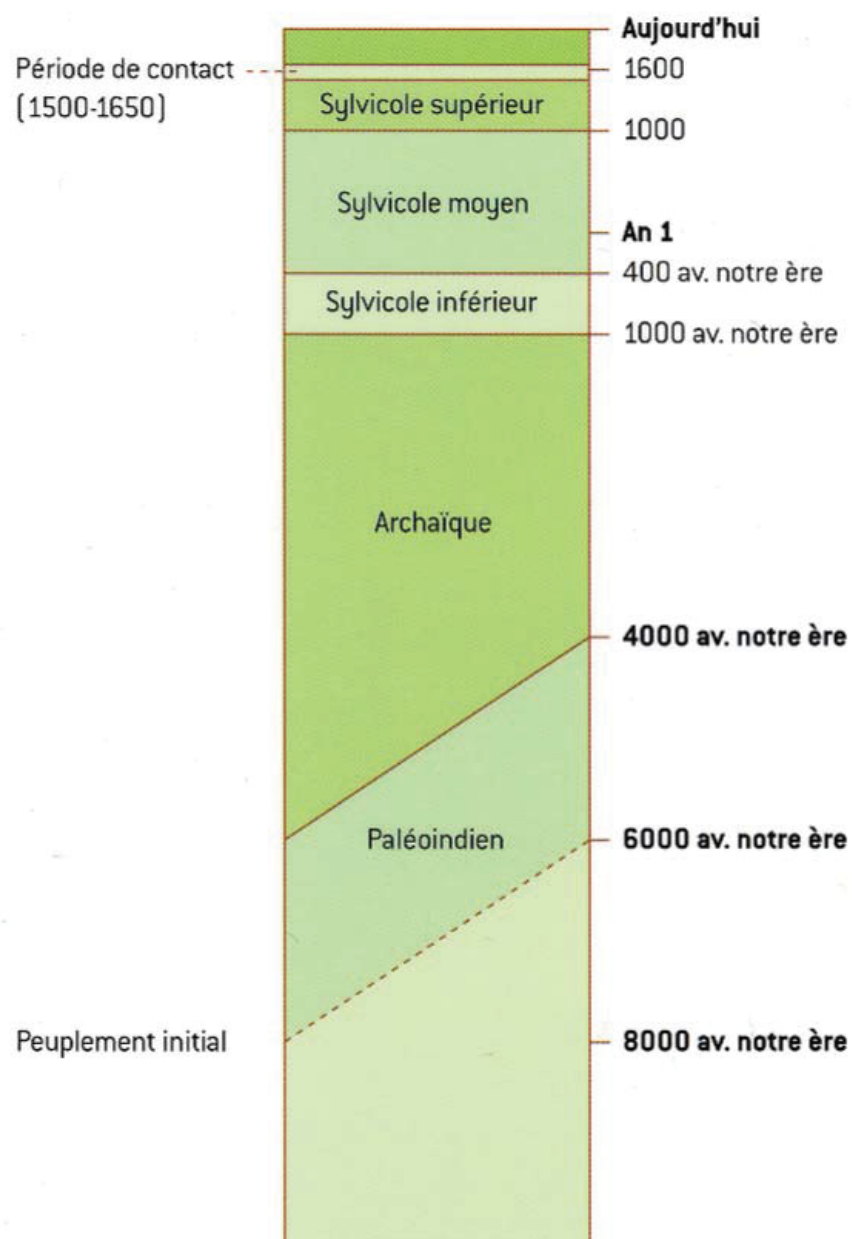


- Rhodes, Edward J. 2011. « Optically stimulated luminescence dating of sediments over the past 200,000 years ». *Annual Review of Earth and Planetary Sciences* 39 : 461-488.
- Richard, Pierre. 1977. *Histoire post-wisconsinienne de la végétation du Québec méridional par l'analyse pollinique*. Service de la recherche, Direction générale des forêts, Ministère des terres et Forêts du Québec, Publication et rapports divers, Tome 1 et 2.
- Richard, Pierre J.H. et Pierre Grondin. 2009. « Histoire postglaciaire de la végétation ». Dans *Ordre des ingénieurs forestiers du Québec, Manuel de foresterie*. 2<sup>e</sup> édition, ouvrage collectif, Éditions MultiMondes (Québec) : 170-176.
- Roberts, Richard G., Zenobia Jacobs, Bo Li, Nathan R. Jankowski, Alastair C. Cunningham et Anatoly B. Rosenfeld. 2015. « Optical dating in archaeology : thirty years in retrospect and grand challenges for the futur ». *Journal of Archaeological Science* 56 : 41-60.
- Sellar, Robert. 1888. *The History of the Country of Huntingdon and the Seignories of Beauharnois and Chateauguay*. Huntingdon Gleaner (réédité 1975) (Québec).
- Spooner, Nigel A. 1994. « The anomalous fading of infrared-stimulated luminescence from feldspars ». *Radiation Measurements* 23 : 625-632.
- St-Germain, Claire et Michelle Courtemanche. 2015. « Les témoins de l'exploitation animale ». Dans Claude Chapdelaine (dir.) *Mailhot-Curran : un village iroquoien du XVI<sup>e</sup> siècle*, Paléo-Québec 35, Recherches amérindiennes au Québec (Montréal) : 291-317.
- Taylor, John R. 1997. *An Introduction to Error Analysis : The Study of Uncertainties in Physical Measurements*, University Science Book (Sausalito).
- Tremblay, Roland. 2001. « Il y a peu de fumée sans trompettes : les pipes iroquoiennes de la région de Saint-Anicet », *Archéologiques* 15 : 16-34.
- Tremblay, Roland. 2006. *Les Iroquoiens du Saint-Laurent : Peuple du maïs*. Montréal : Les Éditions de l'Homme.

- Tremblay, Tommy. 2008. *Hydrostratigraphie et géologie du Quaternaire dans le bassin versant de la rivière Chateauguay, Québec*. Mémoire de maîtrise (Université du Québec à Montréal).
- Trottier, Stéphanie. 2014. *Étude des macrorestes végétaux du site Droulers*. Mémoire de maîtrise (Université de Montréal).
- Velde, Bruce et Isabelle C. Druc. 1999. *Archaeological Ceramic Materials : Origin and Utilization*, Springer, Heidelberg.
- Visocekas, Raphaël, Nigel A. Spooner, Antoine Zink et P. Blanc. 1994. « Tunnel afterglow, fading and infrared emission in thermoluminescence of feldspar ». *Radiation Measurements* 23 : 377-385.
- Woods, Audrey. 2012. *Les Iroquoiens du Saint-Laurent, Saint-Anicet*, Mémoire de maîtrise (Université de Montréal).
- Woods, Audrey. 2013. « Le village iroquoien de Mailhot-Curran, Saint-Anicet », *Archéologiques* 26 : 25- 55
- Wintle, Ann G. 1973. « Anomalous fading of thermoluminescence in mineral samples ». *Nature* 245 : 143-144.
- Wintle, Ann G. 2008. « Fifty years of luminescence dating », *Archaeometry* 50 (2) : 276-312.
- Wright, James V. 1985. « The Comparative Radiocarbon Dating of Two Prehistoric Ontario Iroquoian Villages ». *Journal canadien d'archéologie* 9 (1): 57-68.

## Annexe 1

### Chronologie culturelle de la vallée du Saint-Laurent



Séquence chronologique tirée de Tremblay (2006 : troisième de couverture).

## Annexe 2

### Liste des échantillons soumis au laboratoire *Lux*, UQAM provenant du site Mailhot-Curran (BgFn-2)

2013

Échantillon	Puits	Structure	Type	Profondeur (cm)
Mc-1	107N 91W	STR 38	Poterie	19
Mc-2	107N 90W	STR 27	Poterie	23
Mc-3	93N 109W	Dépotoir nord-ouest	Poterie	15
Mc-4	106N 91W	STR32	Poterie	16
Mc-5	94N 106W	Dépotoir nord-ouest	Poterie	8
Mc-6	94N 106W	Dépotoir nord-ouest	Poterie	8
Mc-7	94N 106W	Dépotoir nord-ouest	Poterie	8
Mc-8	107N 90W	STR 27	Poterie	20
Mc-9	94N 106W	Dépotoir nord-ouest	Poterie	10,5
Mc-10	106N 91W	STR 38	Poterie	13
Mc-11	107N 91W	STR 38	Poterie	21
Mc-12	107N 91W	STR 38	Poterie	25
Mc-13	92N 108W	Dépotoir nord-ouest	Poterie	15
Mc-14	92N 106W	Dépotoir nord-ouest	Poterie	14
Mc-15	92N 106W	Dépotoir nord-ouest	Poterie	13
Mc-16	92N 108W	Dépotoir nord-ouest	Poterie	16
Mc-17	92N 106W	Dépotoir nord-ouest	Poterie	9

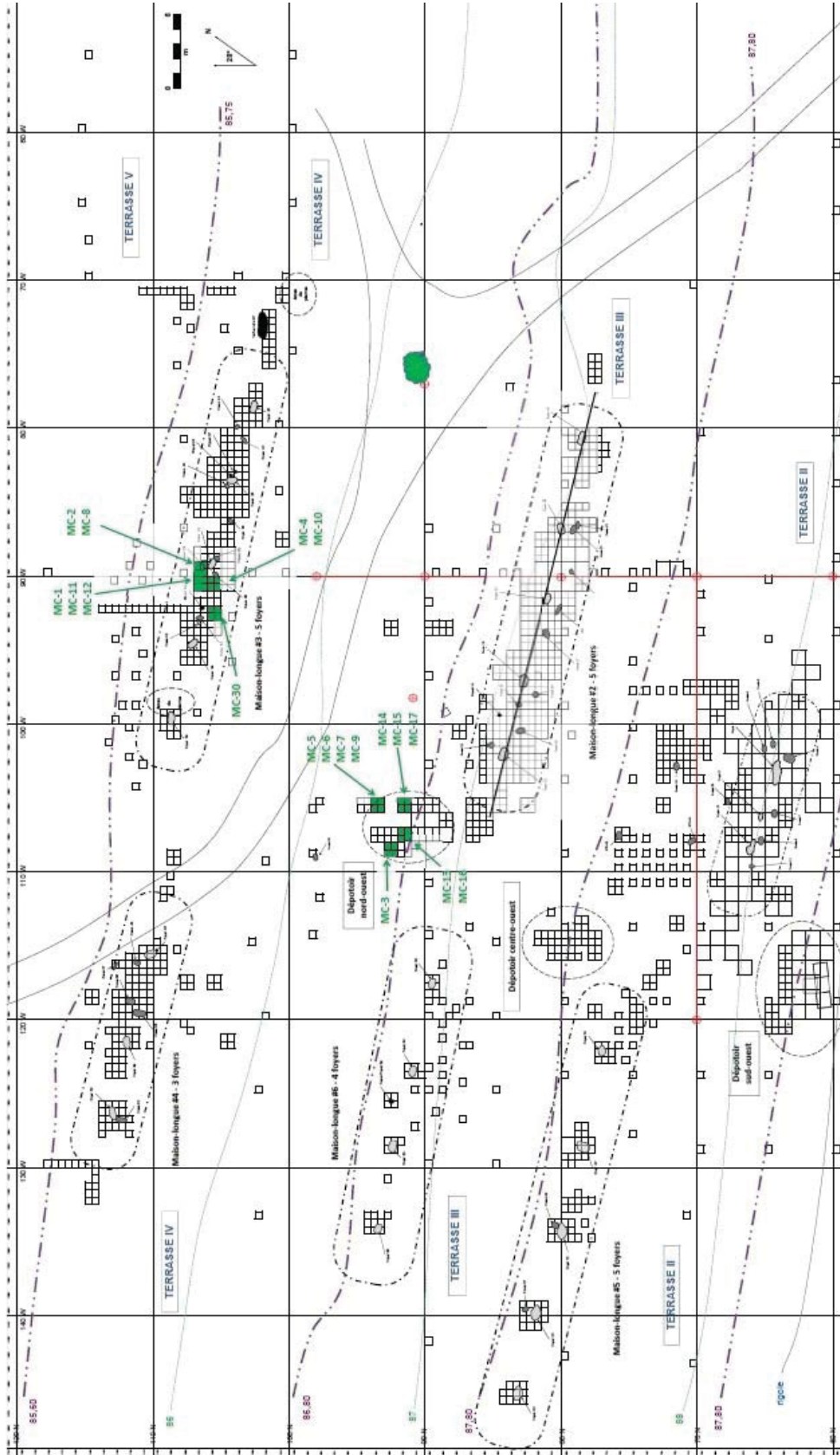
2014

<b>Échantillon</b>	<b>Puits</b>	<b>Structure</b>	<b>Type</b>	<b>Profondeur (cm)</b>
Mc-Ru 1	112N 121W	STR 49 Coupe NE, Mur S	Sol rubéfié (tube)	18
Mc-Ce 1	112N 121W	STR 49 Coupe NE, Mur S	Cendre	18
Mc-Ru 2	112N 122W	STR 49 Coupe SW, Mur N	Sol rubéfié (tube)	17
Mc-Ru 3	113N 127W	STR 50 Coupe SW, Mur W	Sol rubéfié (tube)	20
Mc-Ru 4	81N 135W	STR 51 Coupe SE, Mur W	Sol rubéfié (tube)	18
Mc-30	106N 93W	STR 52	Poterie	22
Mc-tamis	-	-	Terre de tamisage	-

## **Annexe 3**

Plan du site Mailhot-Curran et localisation des échantillons datés

(Crédit : C. Chapdelaine et P. Corbeil)



## **Annexe 4**

**Calcul de la dose annuelle – DRAC (Durcan et al. 2015)**

**Intrants**



DMAC Inputs

Project ID	Sample ID	Mineral	Conversion factors	Ti:5 External U (ppm)	Ti:6 External U (ppm)	Ti:7 External Th (ppm)	Ti:8 errExternal Th (ppm)	Ti:9 External Th (%)	Ti:10 errExternal K (%)	Ti:11 External Rb (ppm)	Ti:12 errExternal Rb (ppm)	Ti:13 Calculate external Rb from K conc?	Ti:14 Internal U (ppm)	Ti:15 errInternal U (ppm)	Ti:16 Internal Th (ppm)	Ti:17 errInternal Th (ppm)	Ti:18 Internal K (%)	Ti:19 errInternal K (%)	Ti:20 Rb (ppm)	Ti:21 errRb (ppm)
Mc-1CER	Polyminal	PM	AdamicAItken1998	2.8831	0.3043	9.4885	0.7778	3.3125	0.1695	0	0	Y	X	X	X	X	12.5	0.5	400	100
Mc-2CER	Polyminal	PM	AdamicAItken1998	4.3013	1.1713	11.7454	15.6314	5.27	0.5489	0	0	Y	X	X	X	X	12.5	0.5	400	100
Mc-3CER	Polyminal	PM	AdamicAItken1998	3.758	0.3428	12.4196	1.3677	2.7468	0.197	0	0	Y	X	X	X	X	12.5	0.5	400	100
Mc-4CER	Polyminal	PM	AdamicAItken1998	2.5555	0.2433	7.6581	1.1639	3.5328	0.1455	0	0	Y	X	X	X	X	12.5	0.5	400	100
Mc-5CER	Polyminal	PM	AdamicAItken1998	2.5074	0.3749	10.1789	0.9122	3.4265	0.2038	0	0	Y	X	X	X	X	12.5	0.5	400	100
Mc-6CER	Polyminal	PM	AdamicAItken1998	4.7521	0.5095	17.4772	1.2126	3.4434	0.2573	0	0	Y	X	X	X	X	12.5	0.5	400	100
Mc-7CER	Polyminal	PM	AdamicAItken1998	3.176	0.8249	5.0078	2.3693	4.1466	0.4546	0	0	Y	X	X	X	X	12.5	0.5	400	100
Mc-8CER	Polyminal	PM	AdamicAItken1998	1.9659	0.3708	13.6766	2.2245	3.4303	0.2026	0	0	Y	X	X	X	X	12.5	0.5	400	100
Mc-9CER	Polyminal	PM	AdamicAItken1998	2.23	0.4181	12.0481	0.988	3.0553	0.2055	0	0	Y	X	X	X	X	12.5	0.5	400	100
Mc-10CER	Polyminal	PM	AdamicAItken1998	3.2238	0.6015	13.0921	1.529	3.1007	0.3216	0	0	Y	X	X	X	X	12.5	0.5	400	100
Mc-11CER	Polyminal	PM	AdamicAItken1998	3.2895	0.3148	13.5421	0.7622	3.1589	0.1647	0	0	Y	X	X	X	X	12.5	0.5	400	100
Mc-12CER	Polyminal	PM	AdamicAItken1998	3.5082	0.4144	12.9826	3.07	3.669	0.2761	0	0	Y	X	X	X	X	12.5	0.5	400	100
Mc-13CER	Polyminal	PM	AdamicAItken1998	2.0508	0.7778	12.372	4.0963	2.7508	0.4489	0	0	Y	X	X	X	X	12.5	0.5	400	100
Mc-14CER	Polyminal	PM	AdamicAItken1998	2.1393	0.2563	9.7578	0.8149	3.2216	0.1487	0	0	Y	X	X	X	X	12.5	0.5	400	100
Mc-15CER	Polyminal	PM	AdamicAItken1998	1.747	0.2137	7.6011	0.4255	3.5829	0.1064	0	0	Y	X	X	X	X	12.5	0.5	400	100
Mc-16CER	Polyminal	PM	AdamicAItken1998	4.1631	0.8693	13.7701	2.2799	3.6353	0.4333	0	0	Y	X	X	X	X	12.5	0.5	400	100
Mc-17CER	Polyminal	PM	AdamicAItken1998	2.9113	0.6283	8.6201	1.7318	3.7447	0.3452	0	0	Y	X	X	X	X	12.5	0.5	400	100
Mc-18ED	Polyminal	PM	AdamicAItken1998	2.1848	0.1301	6.4744	0.3433	3.0966	0.0735	0	0	Y	X	X	X	X	12.5	0.5	400	100
Mc-23ED	Polyminal	PM	AdamicAItken1998	2.1401	0.2378	5.5091	0.4057	3.3404	0.0757	0	0	Y	X	X	X	X	12.5	0.5	400	100
Mc-35ED	Polyminal	PM	AdamicAItken1998	1.9498	0.1419	7.0779	0.3673	3.6281	0.0936	0	0	Y	X	X	X	X	12.5	0.5	400	100
Mc-45ED	Polyminal	PM	AdamicAItken1998	2.5165	0.141	6.4543	0.2851	3.5712	0.0775	0	0	Y	X	X	X	X	12.5	0.5	400	100
Mc-55ED	Polyminal	PM	AdamicAItken1998	1.529	0.1046	5.1564	0.326	2.6245	0.0637	0	0	Y	X	X	X	X	12.5	0.5	400	100
Mc-65ED	Polyminal	PM	AdamicAItken1998	1.529	0.1046	5.1564	0.326	2.6245	0.0637	0	0	Y	X	X	X	X	12.5	0.5	400	100
Mc-75ED	Polyminal	PM	AdamicAItken1998	1.529	0.1046	5.1564	0.326	2.6245	0.0637	0	0	Y	X	X	X	X	12.5	0.5	400	100
Mc-85ED	Polyminal	PM	AdamicAItken1998	2.1401	0.2378	5.5091	0.4057	3.3404	0.0767	0	0	Y	X	X	X	X	12.5	0.5	400	100
Mc-95ED	Polyminal	PM	AdamicAItken1998	1.529	0.1046	5.1564	0.326	2.6245	0.0637	0	0	Y	X	X	X	X	12.5	0.5	400	100
Mc-105ED	Polyminal	PM	AdamicAItken1998	1.9498	0.1419	7.0779	0.3673	3.6281	0.0936	0	0	Y	X	X	X	X	12.5	0.5	400	100
Mc-115ED	Polyminal	PM	AdamicAItken1998	2.1848	0.1301	6.4744	0.3433	3.0966	0.0735	0	0	Y	X	X	X	X	12.5	0.5	400	100
Mc-125ED	Polyminal	PM	AdamicAItken1998	2.1848	0.1301	6.4744	0.3433	3.0966	0.0735	0	0	Y	X	X	X	X	12.5	0.5	400	100
Mc-135ED	Polyminal	PM	AdamicAItken1998	1.7267	0.1234	5.4685	0.3408	2.85	0.0758	0	0	Y	X	X	X	X	12.5	0.5	400	100
Mc-145ED	Polyminal	PM	AdamicAItken1998	2.3944	0.1589	5.4155	0.8583	4.2224	0.1031	0	0	Y	X	X	X	X	12.5	0.5	400	100
Mc-155ED	Polyminal	PM	AdamicAItken1998	2.3944	0.1589	5.4155	0.8583	4.2224	0.1031	0	0	Y	X	X	X	X	12.5	0.5	400	100
Mc-165ED	Polyminal	PM	AdamicAItken1998	1.7267	0.1234	5.4685	0.3408	2.85	0.0758	0	0	Y	X	X	X	X	12.5	0.5	400	100
Mc-175ED	Polyminal	PM	AdamicAItken1998	2.3944	0.1589	5.4155	0.8583	4.2224	0.1031	0	0	Y	X	X	X	X	12.5	0.5	400	100

DRAC Inputs		TI:1	TI:22	TI:23	TI:24	TI:25	TI:26	TI:27	TI:28	TI:29	TI:30	TI:31	TI:32	TI:33
Project ID	Calculate internal Rd from K conc?	User external alphadose rate (Gy.ka-1)	errUser external alphadose rate (Gy.ka-1)	User external betadose rate (Gy.ka-1)	errUser external betadose rate (Gy.ka-1)	User external gammadose rate (Gy.ka-1)	errUser external gammadose rate (Gy.ka-1)	User internal doserate (Gy.ka-1)	errUser internal doserate (Gy.ka-1)	Scale gammadose rate at shallow depths?	Grain size min (microns)	Grain size max (microns)		
Mc-1CEER	N	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	Y	4	11
Mc-2CEER	N	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	Y	4	11
Mc-3CEER	N	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	Y	4	11
Mc-4CEER	N	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	Y	4	11
Mc-5CEER	N	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	Y	4	11
Mc-6CEER	N	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	Y	4	11
Mc-7CEER	N	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	Y	4	11
Mc-8CEER	N	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	Y	4	11
Mc-9CEER	N	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	Y	4	11
Mc-10CEER	N	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	Y	4	11
Mc-11CEER	N	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	Y	4	11
Mc-12CEER	N	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	Y	4	11
Mc-13CEER	N	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	Y	4	11
Mc-14CEER	N	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	Y	4	11
Mc-15CEER	N	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	Y	4	11
Mc-16CEER	N	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	Y	4	11
Mc-17CEER	N	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	Y	4	11
Mc-18ED	N	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	Y	1	1000
Mc-2SED	N	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	Y	1	1000
Mc-3SED	N	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	Y	1	1000
Mc-4SED	N	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	Y	1	1000
Mc-5SED	N	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	Y	1	1000
Mc-6SED	N	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	Y	1	1000
Mc-7SED	N	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	Y	1	1000
Mc-8SED	N	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	Y	1	1000
Mc-9SED	N	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	Y	1	1000
Mc-10SED	N	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	Y	1	1000
Mc-11SED	N	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	Y	1	1000
Mc-12SED	N	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	Y	1	1000
Mc-13SED	N	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	Y	1	1000
Mc-14SED	N	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	Y	1	1000
Mc-15SED	N	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	Y	1	1000
Mc-16SED	N	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	Y	1	1000
Mc-17SED	N	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	Y	1	1000



DRAC Inputs						
TI:1	TI:50	TI:51	TI:52	TI:53	TI:54	TI:55
Project ID	User cosmicdose rate (Gy/ka-1)	errUser cosmicdose rate (Gy/ka-1)	De (Gy)	errDe (Gy)	De (Gy)	errDe (Gy)
Mc-1CER	X	X	X	X	X	X
Mc-2CER	X	X	X	X	X	X
Mc-3CER	X	X	X	X	X	X
Mc-4CER	X	X	X	X	X	X
Mc-5CER	X	X	X	X	X	X
Mc-6CER	X	X	X	X	X	X
Mc-7CER	X	X	X	X	X	X
Mc-8CER	X	X	X	X	X	X
Mc-9CER	X	X	X	X	X	X
Mc-10CER	X	X	X	X	X	X
Mc-11CER	X	X	X	X	X	X
Mc-12CER	X	X	X	X	X	X
Mc-13CER	X	X	X	X	X	X
Mc-14CER	X	X	X	X	X	X
Mc-15CER	X	X	X	X	X	X
Mc-16CER	X	X	X	X	X	X
Mc-17CER	X	X	X	X	X	X
Mc-18ED	X	X	X	X	X	X
Mc-28ED	X	X	X	X	X	X
Mc-38ED	X	X	X	X	X	X
Mc-48ED	X	X	X	X	X	X
Mc-58ED	X	X	X	X	X	X
Mc-68ED	X	X	X	X	X	X
Mc-78ED	X	X	X	X	X	X
Mc-88ED	X	X	X	X	X	X
Mc-98ED	X	X	X	X	X	X
Mc-108ED	X	X	X	X	X	X
Mc-118ED	X	X	X	X	X	X
Mc-128ED	X	X	X	X	X	X
Mc-138ED	X	X	X	X	X	X
Mc-148ED	X	X	X	X	X	X
Mc-158ED	X	X	X	X	X	X
Mc-168ED	X	X	X	X	X	X
Mc-178ED	X	X	X	X	X	X

## **Annexe 5**

**Calcul de la dose annuelle – DRAC (Durcan et al. 2015)**

**Sortants**

DRAC Highlights		TI:1	TI:2	TI:3	TO:FQ	TO:FR	TO:FS	TO:FT	TO:FU	TO:FV	TO:FW	TO:FX
Project ID	Sample ID	Mineral	Water corrected alphanadose rate (Gy.ka-1)	Water corrected erralphadose rate (Gy.ka-1)	Water corrected betadose rate (Gy.ka-1)	Water corrected errbetadose rate (Gy.ka-1)	Water corrected gammadose rate (Gy.ka-1)	Water corrected errgammadose rate (Gy.ka-1)	Water corrected gammaadose rate (Gy.ka-1)	Water corrected errgammaadose rate (Gy.ka-1)	Internal Dry alphanadose rate (Gy.ka-1)	Internal Dry erralphadose rate (Gy.ka-1)
Mc-1CER	Polyminer	PM	1.139	0.097	3.172	0.158	1.53	0.073	0	0	0	0
Mc-2CER	Polyminer	PM	1.564	0.914	4.923	0.609	2.249	0.744	0	0	0	0
Mc-3CER	Polyminer	PM	1.487	0.13	2.935	0.176	1.628	0.095	0	0	0	0
Mc-4CER	Polyminer	PM	0.967	0.097	3.248	0.144	1.462	0.078	0	0	0	0
Mc-5CER	Polyminer	PM	1.098	0.109	3.225	0.183	1.548	0.085	0	0	0	0
Mc-6CER	Polyminer	PM	1.98	0.162	3.734	0.229	2.133	0.111	0	0	0	0
Mc-7CER	Polyminer	PM	0.949	0.225	3.736	0.377	1.552	0.182	0	0	0	0
Mc-8CER	Polyminer	PM	1.181	0.159	3.242	0.189	1.65	0.126	0	0	0	0
Mc-9CER	Polyminer	PM	1.145	0.118	2.95	0.183	1.516	0.087	0	0	0	0
Mc-10CER	Polyminer	PM	1.413	0.169	3.149	0.271	1.683	0.129	0	0	0	0
Mc-11CER	Polyminer	PM	1.452	0.108	3.214	0.156	1.725	0.075	0	0	0	0
Mc-12CER	Polyminer	PM	1.466	0.207	3.62	0.247	1.843	0.168	0	0	0	0
Mc-13CER	Polyminer	PM	1.125	0.288	2.701	0.376	1.44	0.235	0	0	0	0
Mc-14CER	Polyminer	PM	0.997	0.087	3.006	0.141	1.44	0.068	0	0	0	0
Mc-15CER	Polyminer	PM	0.794	0.065	3.173	0.118	1.383	0.052	0	0	0	0
Mc-16CER	Polyminer	PM	1.648	0.238	3.705	0.364	1.943	0.18	0	0	0	0
Mc-17CER	Polyminer	PM	1.096	0.173	3.484	0.291	1.595	0.138	0	0	0	0
Mc-1SED	Polyminer	PM	0.399	0.274	1.848	0.33	1.018	0.051	0	0	0	0
Mc-2SED	Polyminer	PM	0.369	0.257	1.951	0.355	1.024	0.056	0	0	0	0
Mc-3SED	Polyminer	PM	0.392	0.267	2.104	0.385	1.12	0.057	0	0	0	0
Mc-4SED	Polyminer	PM	0.433	0.3	2.115	0.38	1.136	0.056	0	0	0	0
Mc-5SED	Polyminer	PM	0.296	0.202	1.532	0.279	0.822	0.042	0	0	0	0
Mc-6SED	Polyminer	PM	0.296	0.202	1.532	0.279	0.822	0.042	0	0	0	0
Mc-7SED	Polyminer	PM	0.369	0.257	1.951	0.355	1.024	0.056	0	0	0	0
Mc-8SED	Polyminer	PM	0.296	0.202	1.532	0.279	0.822	0.042	0	0	0	0
Mc-9SED	Polyminer	PM	0.392	0.267	2.104	0.385	1.12	0.057	0	0	0	0
Mc-10SED	Polyminer	PM	0.399	0.274	1.848	0.33	1.018	0.051	0	0	0	0
Mc-11SED	Polyminer	PM	0.399	0.274	1.848	0.33	1.018	0.051	0	0	0	0
Mc-12SED	Polyminer	PM	0.399	0.274	1.848	0.33	1.018	0.051	0	0	0	0
Mc-13SED	Polyminer	PM	0.325	0.223	1.668	0.303	0.893	0.046	0	0	0	0
Mc-14SED	Polyminer	PM	0.392	0.277	2.414	0.447	1.21	0.069	0	0	0	0
Mc-15SED	Polyminer	PM	0.392	0.277	2.414	0.447	1.21	0.069	0	0	0	0
Mc-16SED	Polyminer	PM	0.325	0.223	1.668	0.303	0.893	0.046	0	0	0	0
Mc-17SED	Polyminer	PM	0.392	0.277	2.414	0.447	1.21	0.069	0	0	0	0



DRAC Highlights

Project ID	TO:FY		TO:G		TO:GJ		TO:GK		TO:GL		TO:GM		TO:GN	
	Internal Dry betadose rate (Gy.ka-1)	errbetadose rate (Gy.ka-1)	Internal dose rate (Gy.ka-1)	errInternal dose rate (Gy.ka-1)	External dose rate (Gy.ka-1)	errExternal dose rate (Gy.ka-1)	Internal dose rate (Gy.ka-1)	errInternal dose rate (Gy.ka-1)	Internal dose rate (Gy.ka-1)	errInternal dose rate (Gy.ka-1)	Environmental Dose Rate (Gy.ka-1)	errEnvironmental Dose Rate (Gy.ka-1)	Environmental Dose Rate (Gy.ka-1)	errEnvironmental Dose Rate (Gy.ka-1)
Mc-1CER	0.035	0.012	0.235	0.024	6.076	0.2	0.035	0.012	0.012	0.012	6.111	0.111	0.201	0.201
Mc-2CER	0.035	0.012	0.228	0.023	8.964	1.327	0.035	0.035	0.012	0.012	8.999	1.327	1.327	1.327
Mc-3CER	0.035	0.012	0.243	0.024	6.293	0.239	0.035	0.035	0.012	0.012	6.329	0.24	0.24	0.24
Mc-4CER	0.035	0.012	0.241	0.024	5.918	0.192	0.035	0.035	0.012	0.012	5.954	0.192	0.192	0.192
Mc-5CER	0.035	0.012	0.263	0.026	6.134	0.231	0.035	0.035	0.012	0.012	6.169	0.231	0.231	0.231
Mc-6CER	0.035	0.012	0.263	0.026	8.11	0.302	0.035	0.035	0.012	0.012	8.146	0.302	0.302	0.302
Mc-7CER	0.035	0.012	0.263	0.026	6.5	0.476	0.035	0.035	0.012	0.012	6.535	0.476	0.476	0.476
Mc-8CER	0.035	0.012	0.233	0.023	6.306	0.279	0.035	0.035	0.012	0.012	6.341	0.279	0.279	0.279
Mc-9CER	0.035	0.012	0.255	0.026	5.866	0.236	0.035	0.035	0.012	0.012	5.901	0.236	0.236	0.236
Mc-10CER	0.035	0.012	0.248	0.025	6.493	0.345	0.035	0.035	0.012	0.012	6.528	0.345	0.345	0.345
Mc-11CER	0.035	0.012	0.232	0.023	6.622	0.205	0.035	0.035	0.012	0.012	6.657	0.205	0.205	0.205
Mc-12CER	0.035	0.012	0.225	0.023	7.155	0.364	0.035	0.035	0.012	0.012	7.19	0.364	0.364	0.364
Mc-13CER	0.035	0.012	0.243	0.024	5.509	0.529	0.035	0.035	0.012	0.012	5.545	0.529	0.529	0.529
Mc-14CER	0.035	0.012	0.246	0.025	5.689	0.181	0.035	0.035	0.012	0.012	5.724	0.181	0.181	0.181
Mc-15CER	0.035	0.012	0.248	0.025	5.598	0.146	0.035	0.035	0.012	0.012	5.633	0.146	0.146	0.146
Mc-16CER	0.035	0.012	0.241	0.024	7.537	0.472	0.035	0.035	0.012	0.012	7.573	0.472	0.472	0.472
Mc-17CER	0.035	0.012	0.26	0.026	6.434	0.367	0.035	0.035	0.012	0.012	6.47	0.367	0.367	0.367
Mc-18SED	1.721	1.646	0.25	0.025	3.516	0.433	1.721	1.721	1.646	1.646	5.237	5.237	1.702	1.702
Mc-2SED	1.721	1.646	0.244	0.024	3.588	0.442	1.721	1.721	1.646	1.646	5.309	5.309	1.705	1.705
Mc-3SED	1.721	1.646	0.258	0.026	3.873	0.473	1.721	1.721	1.646	1.646	5.594	5.594	1.713	1.713
Mc-4SED	1.721	1.646	0.256	0.026	3.94	0.488	1.721	1.721	1.646	1.646	5.661	5.661	1.717	1.717
Mc-5SED	1.721	1.646	0.274	0.027	2.924	0.348	1.721	1.721	1.646	1.646	4.645	4.645	1.683	1.683
Mc-6SED	1.721	1.646	0.274	0.027	2.924	0.348	1.721	1.721	1.646	1.646	4.645	4.645	1.683	1.683
Mc-7SED	1.721	1.646	0.274	0.027	2.924	0.348	1.721	1.721	1.646	1.646	4.645	4.645	1.683	1.683
Mc-8SED	1.721	1.646	0.249	0.025	3.592	0.442	1.721	1.721	1.646	1.646	5.313	5.313	1.705	1.705
Mc-9SED	1.721	1.646	0.267	0.027	2.918	0.348	1.721	1.721	1.646	1.646	4.639	4.639	1.683	1.683
Mc-10SED	1.721	1.646	0.262	0.026	3.877	0.473	1.721	1.721	1.646	1.646	5.598	5.598	1.713	1.713
Mc-11SED	1.721	1.646	0.247	0.025	3.512	0.433	1.721	1.721	1.646	1.646	5.233	5.233	1.702	1.702
Mc-12SED	1.721	1.646	0.241	0.024	3.506	0.433	1.721	1.721	1.646	1.646	5.227	5.227	1.702	1.702
Mc-13SED	1.721	1.646	0.258	0.026	3.144	0.38	1.721	1.721	1.646	1.646	4.865	4.865	1.689	1.689
Mc-14SED	1.721	1.646	0.26	0.026	4.276	0.531	1.721	1.721	1.646	1.646	5.997	5.997	1.73	1.73
Mc-15SED	1.721	1.646	0.262	0.026	4.278	0.531	1.721	1.721	1.646	1.646	5.999	5.999	1.73	1.73
Mc-16SED	1.721	1.646	0.256	0.026	3.142	0.38	1.721	1.721	1.646	1.646	4.863	4.863	1.689	1.689
Mc-17SED	1.721	1.646	0.271	0.027	4.287	0.531	1.721	1.721	1.646	1.646	6.008	6.008	1.73	1.73

## **Annexe 6**

### **Tableau récapitulatif des âges**



Échantillons	Aliquotes	De non corrigées (s)	Recyclage	Récupération	Commentaires	Statut	CAM De non corrigée (s)	Sur-dispersion (%)	Valeur g (%/décade)	Dose annuelle (Gy/ka)	De corrigée (s)	De corrigée (Gy)	CAM De corrigée (Gy)	Âge (années)	Erreur relative	CAM Âge	Erreur relative	Erreur relative
Me-1	1	36±1	0.93±0.03	0.06±0.01	Courbes de la naturelle problématiques (température de lecture ?)	Exclu	25.2±0.8	6±3	3.42±0.10	5.65±0.38	32±4	3.43±0.38	3.48±0.16	607±62	14	616±34	14	5
	2	34±1	0.93±0.04	0.06±0.01		Exclu												
	3	46±2	0.95±0.04	0.05±0.01		Exclu												
	4	25±1	0.99±0.04	0.05±0.01		Exclu												
	5	25±1	1.04±0.06	0.03±0.02		Retenue												
	6	27±1	0.89±0.05	0.04±0.01		Retenue												
	7	29±1	1.02±0.06	0.04±0.01		Retenue												
	8	25±1	0.99±0.04	0.06±0.01		Retenue												
	9	23±1	0.93±0.07	0.06±0.01		Retenue												
	10	23±1	0.94±0.06	0.03±0.02		Retenue												
Me-2	1	56±2	1.09±0.06	0.05±0.01	Recyclage très élevé	Retenue	59.1±1.0	Nulle	1.47±0.08	7.90±2.30	64±27	6.77±2.81	6.57±4.38	857±438	51			
	2	59±3	1.15±0.06	0.03±0.01		Retenue												
	3	61±4	1.10±0.06	0.01±0.01		Retenue												
	4	60±4	1.04±0.05	0.04±0.01		Retenue												
	5	60±3	1.06±0.05	0.03±0.01		Retenue												
	6	63±4	0.95±0.05	0.04±0.01		Retenue												
	7	61±3	1.08±0.05	0.03±0.01		Exclu												
	8	59±2	1.04±0.05	0.04±0.01		Exclu												
	9	75±5	1.10±0.06	0.03±0.01		Exclu												
	10	61±3	1.07±0.05	0.03±0.01		Exclu												
	11	57±2	0.98±0.05	0.04±0.01		Retenue												
	12	62±3	0.99±0.05	0.03±0.01		Retenue												
Me-3	1	19±1	0.93±0.04	0.05±0.01	Recyclage élevé	Retenue	20.0±0.3	Nulle	2.85±0.11	5.87±0.45	23±3	2.53±0.30	4.31±65	15				
	2	21±1	1.04±0.04	0.04±0.01		Retenue												
	3	19±1	0.97±0.04	0.03±0.01		Retenue												
	4	20±1	1.11±0.05	0.04±0.01		Retenue												
	5	20±1	0.95±0.04	0.04±0.01		Retenue												
	6	19±1	0.98±0.04	0.05±0.01		Retenue												
	7	18±1	1.03±0.04	0.07±0.01		Retenue												
	8	20±1	1.01±0.04	0.04±0.01		Retenue												
	9	20±1	0.99±0.04	0.05±0.01		Retenue												
	10	22±1	1.04±0.04	0.04±0.01		Retenue												
Me-4	1	1671±352	-	0.01±0.03	Problème avec la première dose	Exclu	1578.9±44.8	Nulle	3.86±0.20	5.66±0.42	2346±336	5.24±0.75	926±154	17				
	2	1772±187	0.67±0.11	0.04±0.02		Retenue												
	3	1694±316	1.22±0.15	0.05±0.02		Exclu												
	4	1315±137	0.84±0.11	0.02±0.03		Exclu												
	5	1832±251	1.01±0.13	0.03±0.02		Retenue												
	6	1548±149	0.91±0.11	0.01±0.03		Retenue												
	7	1370±125	0.86±0.11	0.06±0.03		Retenue												
	8	1424±197	1.13±0.15	0.04±0.03		Retenue												
	9	1376±184	1.02±0.14	0.04±0.02		Retenue												
	10	1376±126	1.06±0.14	0.06±0.03		Retenue												
	11	1480±194	0.93±0.11	0.01±0.02		Retenue												
	12	1649±148	1.02±0.12	0.04±0.02		Retenue												
	13	1738±161	1.07±0.14	0.02±0.02		Retenue												
	14	1603±156	1.04±0.13	0.06±0.03		Retenue												
	15	1577±210	1.05±0.13	0.02±0.02		Retenue												
	16	1642±172	1.10±0.15	0.01±0.03		Retenue												

Échantillons	Aliquotes	De non corrigées (s)	Recyclage	Récupération	Commentaires	Statut	CAM De non corrigée (s)	Sur-dispersion (%)	Valeur g (%/décade)	Dose annuelle (Sylka)	De corrigée (s)	De corrigée (Gy)	CAM De corrigée (Gy)	Âge relatif (année)	Erreur relative	CAM Âge	Erreur relative	
																		Erreurs
Me-5	1	33±1	1.11±0.12	0.04±0.03		Retenu					47±7	5.07±0.72		919±163	17			
	2	31±2	0.98±0.08	0.04±0.01		Retenu					44±6	4.74±0.62		860±141	16			
	3	34±2	1.06±0.10	0.03±0.02		Retenu					48±6	5.20±0.70		943±157	17			
	4	31±2	0.94±0.09	0.03±0.03		Retenu					45±6	4.81±0.66		872±148	17			
	5	33±3	0.98±0.09	0.05±0.03		Retenu					47±7	5.03±0.72		911±153	17			
	6	28±2	0.92±0.08	0.05±0.03		Retenu					39±5	4.22±0.59	4.70±0.20		764±131	17	851±46	5
	7	26±2	1.13±0.09	0.07±0.02	Recyclage et récupération élevés	Retenu	30.3±0.8		4±4	4.56±0.26	5.52±0.42	37±5	3.96±0.54		717±122	17		
	8	30±2	0.98±0.08	0.08±0.02	Récupération élevée	Retenu					43±6	4.63±0.61			839±139	17		
	9	28±2	1.14±0.10	0.07±0.02	Recyclage et récupération élevés	Retenu					39±6	4.28±0.61			772±135	17		
	10	30±2	0.84±0.08	0.04±0.02	Recyclage très élevé	Exclu					--	--			--			
	12	35±3	1.02±0.09	0.03±0.02		Retenu					48±6	5.18±0.67			340±154	16		
	Me-6	1	33±2	1.17±0.07	0.05±0.01	Recyclage très élevé	Exclu					--	--		--			
2		32±2	0.90±0.05	0.04±0.01	Recyclage élevé	Retenu					41±5	4.40±0.54			632±97	15		
3		30±1	1.07±0.06	0.07±0.01	Recyclage élevé	Retenu					39±5	4.20±0.51			602±92	15		
4		40±2	0.92±0.05	0.01±0.01		Retenu					52±6	5.56±0.67			798±121	15		
5		41±2	0.86±0.05	0.03±0.01	Recyclage élevé	Retenu	33.5±1.3		11±3	3.42±0.19	6.97±0.55	53±7	5.77±0.70	4.65±0.19	827±126	15	667±34	5
6		35±1	1.08±0.06	0.03±0.01		Retenu					45±5	4.87±0.59			699±106	15		
7		31±1	0.99±0.06	0.04±0.01		Retenu					40±5	4.35±0.53			623±95	15		
8		29±1	0.98±0.06	0.08±0.01	Récupération élevée	Retenu					38±5	4.05±0.50			582±90	15		
9		34±1	1.03±0.06	0.05±0.01		Retenu					44±5	4.77±0.58			684±104	15		
10		30±1	0.90±0.05	0.05±0.01		Retenu					38±5	4.14±0.51			593±91	15		
1		13±1	0.88±0.03	0.06±0.01		Retenu					16±3	1.75±0.36			237±75	25		
Me-7		2	12±1	0.93±0.04	0.05±0.01		Retenu				16±3	1.68±0.34			266±72	25		
	3	12±1	0.92±0.03	0.04±0.01		Retenu				15±3	1.65±0.34			260±71	26			
	4	13±1	0.94±0.04	0.05±0.01		Retenu				17±3	1.82±0.38			309±79	25			
	5	13±1	0.94±0.04	0.08±0.01	Récupération élevée	Retenu	13.0±0.2		Null	3.28±0.10	5.88±0.83	16±3	1.74±0.36	1.77±0.12	296±75	25	300±24	8
	6	14±1	1.02±0.04	0.03±0.01		Retenu					17±3	1.84±0.38			313±79	25		
	7	13±1	1.04±0.04	0.05±0.01		Retenu					17±3	1.82±0.37			309±78	25		
	8	14±1	0.94±0.04	0.06±0.01		Retenu					18±4	1.90±0.40			323±82	25		
	9	14±1	0.96±0.04	0.02±0.01		Retenu					17±4	1.86±0.39			316±80	25		
	10	12±1	0.95±0.04	0.05±0.01		Retenu					15±3	1.64±0.34			278±70	25		
	1	23±1	1.06±0.05	0.02±0.01		Retenu					27±4	2.90±0.40			502±100	20		
	Me-8	2	25±1	0.96±0.04	0.01±0.01		Retenu				29±4	3.17±0.43			548±109	20		
		3	22±1	0.94±0.04	0.01±0.01		Retenu				26±4	2.80±0.38			484±96	20		
4		21±1	1.00±0.06	0.01±0.02		Retenu				24±3	2.61±0.36			452±91	20			
5		22±1	1.02±0.06	0.03±0.02		Retenu				25±4	2.75±0.39			475±96	20			
6		23±1	1.00±0.05	0.01±0.01		Retenu				27±4	2.89±0.40			499±100	20			
7		23±1	0.98±0.05	0.01±0.01		Retenu	22.0±0.4		5±2	2.25±0.25	5.78±0.44	26±4	2.66±0.39	2.77±0.12	494±99	20	480±30	6
8		20±1	0.97±0.05	0.02±0.02		Retenu					24±3	2.57±0.36			444±89	20		
9		20±1	0.98±0.05	0.04±0.02		Retenu					24±3	2.55±0.35			442±88	20		
10		21±1	1.03±0.05	0.02±0.01		Retenu					25±3	2.70±0.37			467±93	20		
1		23±1	0.99±0.05	0.06±0.01	Récupération élevée	Retenu					29±4	3.17±0.40			600±95	16		
Me-9		2	25±1	1.00±0.05	0.05±0.01	Récupération élevée	Retenu				32±4	3.46±0.44			656±104	16		
		3	22±1	0.94±0.05	0.05±0.01		Retenu				28±4	3.06±0.38			579±92	16		
	4	21±1	0.96±0.05	0.05±0.01		Retenu	22.6±0.5		3±2	3.40±0.15	5.28±0.44	26±4	2.85±0.37	3.11±0.15	541±87	16	590±36	6
	5	22±1	1.07±0.05	0.06±0.01	Récupération élevée	Retenu					26±4	3.00±0.39			568±93	16		
	6	23±1	0.94±0.05	0.07±0.01	Recupération élevée	Retenu					29±4	3.15±0.40			697±96	16		
	7	23±1	1.07±0.06	0.06±0.02	Récupération élevée	Retenu					29±4	3.12±0.40			591±95	16		

Échantillons	Aliquotes	De non corrigées (s)	Recyclage	Récupération	Commentaires	Statut	CAM De non corrigée (s)	Sur-dispersion (%)	Valeur g (%/décade)	Dose annuelle (Sylka)	De corrigée (s)	De corrigée (Gy)	CAM De corrigée (Gy)	Âge (année)	Erreur relative	CAM Âge	Erreur relative
Mc-10	1	32 ± 5	1,08 ± 0,18	0,09 ± 0,10	Recyclage et récupération très élevés	Exclu											
	2	31 ± 4	1,08 ± 0,19	0,08 ± 0,07	Récupération élevée	Retenu	40,3 ± 2,3	10 ± 6	3,28 ± 0,37	6,02 ± 0,52	39 ± 8	4,26 ± 0,85		707 ± 179	-		
	3	39 ± 5	0,96 ± 0,17	0,05 ± 0,05	Récupération élevée	Retenu					50 ± 10	5,36 ± 1,06	5,52 ± 0,41	890 ± 223	25		
	4	47 ± 4	0,93 ± 0,13	0,05 ± 0,03		Retenu					61 ± 11	6,55 ± 1,15		1088 ± 254	23	912 ± 89	10
	5	38 ± 3	0,92 ± 0,12	0,01 ± 0,03		Retenu					48 ± 8	5,19 ± 0,91		861 ± 202	23		
	6	47 ± 4	0,93 ± 0,13	0,05 ± 0,03		Retenu					61 ± 11	6,55 ± 1,15		1088 ± 254	23		
Mc-11	7	38 ± 3	0,92 ± 0,12	0,01 ± 0,03	Recyclage très élevé	Retenu				48 ± 8	5,19 ± 0,91		861 ± 202	23			
	1	38 ± 2	1,17 ± 0,10	0,01 ± 0,02		Exclu					43 ± 5	4,62 ± 0,52		767 ± 166	16		
	2	36 ± 2	0,97 ± 0,08	0,04 ± 0,02		Retenu					43 ± 5	4,63 ± 0,54		765 ± 128	17		
	3	36 ± 2	0,94 ± 0,08	0,04 ± 0,02		Retenu											
	4	42 ± 3	1,22 ± 0,12	0,01 ± 0,02	Recyclage très élevé	Exclu											
	5	29 ± 2	0,92 ± 0,08	0,04 ± 0,02		Retenu	35,4 ± 1,1	6 ± 3	2,30 ± 0,22	6,02 ± 0,39	35 ± 4	3,72 ± 0,43	4,52 ± 0,18	618 ± 102	17	749 ± 44	6
	6	38 ± 2	1,04 ± 0,09	0,05 ± 0,02		Retenu					45 ± 5	4,81 ± 0,55		798 ± 131	16		
	7	35 ± 2	0,97 ± 0,08	0,03 ± 0,02		Retenu					41 ± 5	4,46 ± 0,50		741 ± 121	16		
	8	40 ± 3	0,88 ± 0,08	0,02 ± 0,02	Recyclage élevé	Retenu					47 ± 5	5,10 ± 0,58		847 ± 140	17		
	9	32 ± 2	1,09 ± 0,10	0,02 ± 0,02		Retenu					38 ± 4	4,13 ± 0,48		685 ± 113	17		
Mc-12	10	37 ± 2	1,04 ± 0,08	0,01 ± 0,02		Retenu				44 ± 5	4,77 ± 0,52		732 ± 128	16			
	1	26 ± 2	1,05 ± 0,11	0,06 ± 0,03	Récupération élevée	Retenu	26,0 ± 1,2	10 ± 4	3,09 ± 0,22	6,45 ± 0,66	32 ± 5	3,46 ± 0,58	3,50 ± 0,21	537 ± 114	21		
	2	22 ± 2	0,84 ± 0,08	0,01 ± 0,03	Recyclage très élevé	Exclu					29 ± 5	3,17 ± 0,53		432 ± 104	21		
	3	24 ± 2	1,08 ± 0,09	0,03 ± 0,03		Retenu					31 ± 5	3,39 ± 0,57		525 ± 111	21		
	4	26 ± 2	1,04 ± 0,10	0,02 ± 0,03	Recyclage très élevé	Retenu					31 ± 5	3,37 ± 0,56		522 ± 109	21	542 ± 40	7
	5	26 ± 2	0,97 ± 0,09	0,01 ± 0,03		Retenu											
	6	26 ± 2	1,15 ± 0,10	0,07 ± 0,03	Recyclage et récupération élevés	Exclu					33 ± 6	3,53 ± 0,60		547 ± 117	21		
	7	26 ± 2	0,90 ± 0,08	0,07 ± 0,03	Récupération élevée	Retenu					45 ± 7	4,81 ± 0,79		746 ± 156	21		
	8	36 ± 3	1,10 ± 0,10	0,07 ± 0,02	Récupération élevée	Retenu					30 ± 5	3,20 ± 0,53		496 ± 104	21		
	9	24 ± 2	0,89 ± 0,08	0,06 ± 0,03	Recyclage élevé	Retenu					30 ± 5	3,28 ± 0,54		508 ± 106	21		
Mc-13	10	24 ± 2	1,02 ± 0,08	0,01 ± 0,02		Retenu				35 ± 10	3,75 ± 1,03		742 ± 251	34			
	1	27 ± 2	1,06 ± 0,09	0,01 ± 0,02		Retenu				30 ± 8	3,19 ± 0,87		631 ± 213	34			
	2	23 ± 1	0,99 ± 0,08	0,03 ± 0,03		Retenu				39 ± 11	4,24 ± 1,16		838 ± 283	34			
	3	30 ± 2	1,07 ± 0,09	0,01 ± 0,02		Retenu	26,4 ± 0,9	5 ± 4	3,56 ± 0,23	5,05 ± 0,34	35 ± 9	3,73 ± 1,02	3,72 ± 0,42	739 ± 250	34	737 ± 102	14
	4	27 ± 2	0,91 ± 0,08	0,04 ± 0,03		Retenu					34 ± 9	3,67 ± 1,00		725 ± 245	34		
	5	26 ± 2	0,89 ± 0,07	0,03 ± 0,02	Recyclage élevé	Retenu					35 ± 10	3,81 ± 1,05		754 ± 256	34		
Mc-14	6	27 ± 2	0,99 ± 0,09	0,03 ± 0,03		Retenu				123 ± 27	3,80 ± 0,60		685 ± 162	23			
	1	32 ± 17	0,92 ± 0,04	0,04 ± 0,02		Retenu					92 ± 18	2,79 ± 0,54		495 ± 110	22		
	2	166 ± 19	0,90 ± 0,04	0,03 ± 0,01	Valeur aberrante	Exclu					100 ± 22	2,97 ± 0,66		539 ± 132	25		
	3	67 ± 11	0,93 ± 0,04	0,03 ± 0,02	Recyclage très élevé	Retenu					113 ± 22	3,35 ± 0,66		607 ± 135	22		
	4	73 ± 14	1,01 ± 0,04	0,07 ± 0,02	Récupération élevée	Retenu					105 ± 18	3,13 ± 0,55	3,31 ± 0,19	567 ± 116	20	591 ± 33	7
	5	81 ± 14	0,99 ± 0,05	0,08 ± 0,02	Récupération élevée	Retenu					78 ± 21	2,31 ± 0,62		418 ± 120	29		
	6	76 ± 11	1,02 ± 0,05	0,05 ± 0,02		Retenu	82,9 ± 3,7	3 ± 12	4,41 ± 0,34	5,52 ± 0,36	127 ± 31	3,76 ± 0,93		682 ± 182	27		
	7	57 ± 14	1,08 ± 0,05	0,06 ± 0,02	Récupération élevée	Retenu					88 ± 21	2,61 ± 0,61		473 ± 121	26		
	8	91 ± 21	1,09 ± 0,05	0,04 ± 0,01		Retenu					92 ± 25	2,73 ± 0,73		495 ± 142	29		
	9	64 ± 14	1,14 ± 0,05	0,05 ± 0,02	Recyclage élevé	Retenu					131 ± 17	3,88 ± 0,51		703 ± 117	17		
	10	67 ± 17	1,14 ± 0,05	0,07 ± 0,02	Recyclage élevé	Retenu					123 ± 16	3,64 ± 0,46		660 ± 105	16		
	11	94 ± 8	1,04 ± 0,05	0,02 ± 0,02		Retenu											
12	88 ± 7	1,04 ± 0,04	0,07 ± 0,02	Récupération élevée	Retenu												

Echantillons	Aliquotes	De non corrigées (s)	Recyclage	Récupération	Commentaires	Statut	CAM De non corrigée (s)	Sur-dispersion (%)	Valeur g (%/décade)	Dose annuelle (Gy/ka)	De corrigée (s)	De corrigée (Gy)	CAM De corrigée (Gy)	Âge (année)	Erreur relative	CAM Âge	Erreur relative
Mc-15	1	45 ± 7	-	0.17 ± 0.04	Problème avec la première dose	Exclu											
	2	49 ± 7	1.02 ± 0.06	0.16 ± 0.04	Récupération très élevée	Retenu					64 ± 11	1.89 ± 0.32		346 ± 70	20		
	3	53 ± 14	1.06 ± 0.06	0.13 ± 0.04	Récupération très élevée	Retenu					69 ± 19	2.05 ± 0.56		373 ± 111	30		
	4	58 ± 7	1.00 ± 0.06	0.10 ± 0.04	Récupération très élevée	Retenu					75 ± 11	2.23 ± 0.34		406 ± 77	19		
	5	59 ± 7	0.95 ± 0.05	0.11 ± 0.04	Récupération très élevée	Retenu					76 ± 12	2.27 ± 0.35		414 ± 79	19		
	6	53 ± 11	0.99 ± 0.05	0.12 ± 0.04	Récupération très élevée	Retenu					69 ± 15	2.05 ± 0.44		373 ± 92	25		
	7	65 ± 12	0.94 ± 0.05	0.15 ± 0.03	Récupération très élevée	Retenu	53.3 ± 2.3	5.48 ± 0.31	3.71 ± 0.36		84 ± 17	2.51 ± 0.50	2.06 ± 0.10	457 ± 105	23	376 ± 23	6
	8	53 ± 6	0.94 ± 0.05	0.09 ± 0.04	Récupération très élevée	Retenu					69 ± 10	2.06 ± 0.30		376 ± 69	18		
	9	48 ± 6	1.03 ± 0.05	0.19 ± 0.04	Récupération très élevée	Retenu					62 ± 9	1.83 ± 0.28		335 ± 63	19		
	10	53 ± 6	0.98 ± 0.05	0.10 ± 0.04	Récupération très élevée	Retenu					68 ± 10	2.03 ± 0.30		370 ± 69	19		
	11	50 ± 6	0.99 ± 0.05	0.12 ± 0.04	Récupération très élevée	Retenu					65 ± 10	1.93 ± 0.29		352 ± 67	19		
	12	50 ± 9	0.98 ± 0.05	0.19 ± 0.04	Récupération très élevée	Retenu					65 ± 13	1.94 ± 0.40		355 ± 63	23		
Mc-16	1	26 ± 2	1.05 ± 0.07	0.01 ± 0.02		Retenu					32 ± 6	3.46 ± 0.65		522 ± 120	23		
	2	27 ± 2	1.01 ± 0.07	0.03 ± 0.02		Retenu					32 ± 6	3.50 ± 0.65		529 ± 121	23		
	3	27 ± 2	1.01 ± 0.07	0.04 ± 0.02		Retenu					33 ± 6	3.61 ± 0.67		545 ± 125	23		
	4	34 ± 2	0.81 ± 0.06	0.04 ± 0.02	Recyclage très élevé	Retenu					41 ± 8	4.45 ± 0.85		672 ± 157	23		
	5	27 ± 2	0.87 ± 0.06	0.02 ± 0.02	Recyclage élevé	Retenu	27.0 ± 0.6	6.63 ± 0.82	2.83 ± 0.12		33 ± 6	3.51 ± 0.66	3.57 ± 0.23	530 ± 123	23	539 ± 42	8
	6	18 ± 2	1.27 ± 0.09	0.05 ± 0.02	Recyclage très élevé	Exclu											
	7	27 ± 2	1.01 ± 0.08	0.04 ± 0.02		Retenu					33 ± 6	3.52 ± 0.69		530 ± 126	24		
	8	25 ± 1	1.00 ± 0.07	0.01 ± 0.02		Retenu					31 ± 6	3.35 ± 0.62		505 ± 116	23		
	9	25 ± 2	0.92 ± 0.06	0.05 ± 0.02		Retenu					31 ± 6	3.33 ± 0.66		502 ± 121	24		
	10	27 ± 2	1.11 ± 0.06	0.02 ± 0.02	Recyclage élevé	Retenu					32 ± 6	3.52 ± 0.66		531 ± 123	23		
Mc-17	1	22 ± 1	1.04 ± 0.06	0.06 ± 0.02	Récupération élevée	Retenu					28 ± 4	2.98 ± 0.48		487 ± 99	20		
	2	19 ± 1	1.04 ± 0.06	0.05 ± 0.02	Récupération élevée	Retenu					24 ± 4	2.57 ± 0.42		420 ± 85	20		
	3	20 ± 1	0.95 ± 0.06	0.04 ± 0.02		Retenu					28 ± 4	2.78 ± 0.45		454 ± 52	20		
	4	19 ± 1	0.99 ± 0.05	0.08 ± 0.02	Récupération élevée	Retenu					24 ± 4	2.58 ± 0.42		421 ± 86	20		
	5	21 ± 1	1.00 ± 0.05	0.05 ± 0.02		Retenu					26 ± 4	2.84 ± 0.46		484 ± 94	20		
	6	19 ± 2	1.06 ± 0.03	0.02 ± 0.04		Retenu	18.7 ± 0.4	6.12 ± 0.66	3.45 ± 0.18		25 ± 4	2.68 ± 0.47	2.71 ± 0.14	437 ± 93	21	442 ± 23	6
	7	20 ± 1	1.03 ± 0.07	0.03 ± 0.02		Retenu					25 ± 4	2.72 ± 0.45		444 ± 91	21		
	8	20 ± 1	0.91 ± 0.06	0.01 ± 0.03		Retenu					26 ± 4	2.77 ± 0.45		452 ± 94	21		
	9	19 ± 1	0.94 ± 0.05	0.03 ± 0.02		Retenu					24 ± 4	2.59 ± 0.42		423 ± 86	20		
	10	19 ± 1	1.04 ± 0.08	0.06 ± 0.03	Récupération élevée	Retenu					24 ± 4	2.57 ± 0.44		420 ± 88	21		