



**Microzonage sismique du territoire de la Ville de Saguenay
et évaluation du risque pour certains bâtiments publics**

par Thomas Foulon

Mémoire présentée à l'Université du Québec à Chicoutimi en vue de l'obtention
du grade de Maître ès sciences appliquées en Maîtrise en géologie et génie géologique

Québec, Canada

© "[Thomas Foulon]" , [2017]

RÉSUMÉ

L'évaluation des risques sismiques nécessite de connaître l'aléa sismique ainsi que la vulnérabilité des infrastructures, lesquels dépendent, entre autres, de la géologie du territoire à l'étude ainsi que de la typologie des bâtiments exposés. À l'aide de ces éléments, il est possible d'effectuer une zonation des dommages auxquels sont potentiellement exposés les bâtiments.

À partir de la base de données développée sur le sous-sol du Saguenay-Lac-Saint-Jean dans le cadre du Programme d'acquisition des connaissances sur les eaux souterraines, des composantes importantes du risque sismique ont été évaluées pour le territoire de la ville de Saguenay. Cette base de données a servi notamment à l'élaboration d'un modèle géologique de la couverture de dépôts meubles sur le territoire de la ville. Des valeurs de vitesse des ondes de cisaillement (V_s), caractéristiques des matériaux géologiques, ont ensuite été estimées pour les divers types de dépôts modélisés. Finalement, la distribution spatiale de la vitesse des ondes de cisaillement et de la période fondamentale de résonance a été déterminée pour définir la susceptibilité des sols aux effets d'amplification sismique des sites. Cette cartographie a ensuite été utilisée pour caractériser la probabilité de dommages de certains bâtiments publics de la ville de Saguenay. En premier lieu, la typologie et le code de design sismique des bâtiments ont été définis. Le niveau de secousse sismique a été calculé pour trois scénarios de magnitude 5, 6 et 7, pour ultimement déterminer les dommages pour ces scénarios pour certains bâtiments publics.

Les résultats de ces travaux indiquent que la ville de Saguenay est particulièrement sensible aux effets d'amplification sismique des sites, particulièrement dans les basses-terres du Saguenay où vit la majorité de la population. Les scénarios sismiques considérés n'indiquent pas un risque élevé pour les bâtiments publics. Ces travaux seront utiles au service de sécurité de la ville de Saguenay pour la mise à jour de leur plan de première urgence lors d'une catastrophe sismique.

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ	ii
TABLE DES MATIÈRES	iii
LISTE DES TABLEAUX	v
LISTE DES FIGURES	vi
LISTE DES SIGLES	viii
REMERCIEMENTS	ix
CHAPITRE 1 INTRODUCTION	1
1.1 PROBLÉMATIQUE GÉNÉRALE	1
1.2 MÉTHODOLOGIES COURAMMENT EMPLOYÉES	2
1.2.1 GÉNÉRALITÉS EN ANALYSE DU RISQUE	2
1.2.2 ALÉA SISMIQUE	3
1.2.3 EFFETS D'AMPLIFICATION SISMIQUE DES SITES	5
1.2.4 VULNÉRABILITÉ	7
1.3 TERRITOIRE D'ÉTUDE	13
1.4 PROBLÉMATIQUE SPÉCIFIQUE ET OBJECTIFS	15
CHAPITRE 2 MÉTHODOLOGIE	17
2.1 SUSCEPTIBILITÉ DES SOLS AUX EFFETS D'AMPLIFICATION DES ONDES SISMQUES	17
2.2 DÉVELOPPEMENT DE CARTES DE SECOUSSES SISMQUES	17
2.3 ANALYSE DÉTERMINISTE DES DOMMAGES POTENTIELS AUXQUELS S'EXPOSENT CERTAINS BÂTIMENTS PUBLICS DE LA VILLE DE SAGUENAY	21
CHAPITRE 3 DISTRIBUTION SPATIALE DE LA VITESSE DES ONDES DE CISAILLEMENT ET DE LA PÉRIODE FONDAMENTALE DE RÉSONNANCE	24
3.1 ABSTRACT	25
3.2 INTRODUCTION	26
3.3 STUDY AREA AND GEOLOGY	28

3.4 CONSTRUCTION OF THE 3D GEOLOGICAL MODEL	31
3.4.1 COLLECTED DATA	32
3.4.2 MODEL BOUNDARIES	34
3.4.3 REGROUPING OF THE GEOLOGIC UNITS	34
3.4.4 MODELLING PROCEDURE	35
3.4.5 3D MODEL	37
3.5 SHEAR WAVE VELOCITY VALUES.....	40
3.6 MAPPING OF V_{s30} AND T_0	44
3.7 DISCUSSION AND CONCLUSION.....	46
3.8 AKNOWLEDGEMENTS.....	48
CHAPITRE 4 ÉVALUATION DES DOMMAGES POUR CERTAINS BÂTIMENTS PUBLICS DE LA VILLE DE SAGUENAY	49
4.1 DÉVELOPPEMENT DES CARTES DE SECOUSSES SISMQUES POUR UN SÉISME DE MAGNITUDE 7,25	49
4.2 DÉTERMINATION DE LA TYPOLOGIE ET DU CODE DE DESIGN SISMQUE DES BÂTIMENTS ...	52
4.3 ÉVALUATION DES DOMMAGES POUR LES BÂTIMENTS PUBLICS.....	54
4.4 BÂTIMENTS PRIORITAIRES	58
CHAPITRE 5 DISCUSSION ET CONCLUSION	60
LISTE DE RÉFÉRENCES	65
ANNEXE A DONNÉES CONCERNANT LES LOIS D'ATTÉNUATIONS (ATKINSON ET AL., 2016)	70
ANNEXE B INTERPRÉTATION DES DONNÉES CPT ET SPT TRANSMISES PAR LE MINISTÈRE DES TRANSPORTS DU QUÉBEC.....	75
ANNEXE C NIVEAU DE SECOUSSES SISMQUES	106
ANNEXE D PROBABILITÉ DE DOMMAGES.....	110

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU 1 : CATÉGORIES D'EMPLACEMENT SELON LE CODE NATIONAL DU BÂTIMENT DU CANADA (TIRÉ DE IRCC, 2015).....	6
TABLEAU 2 : FACTEUR D'ACCÉLÉRATION ASSOCIÉ AUX CLASSES DE SOLS POUR UNE ACCÉLÉRATION SPECTRALE D'UNE PÉRIODE DE 0,2 SECONDE (TIRÉ DE FINN ET WIGHTMAN, 2003).....	7
TABLEAU 3 : TYPOLOGIE D'HAZUS (TIRÉ DE FEMA, 2013).....	9
TABLEAU 4 : ANNÉES DE RÉFÉRENCE POUR LE NIVEAU DE CONCEPTION PARASISMIQUE (TIRÉ DE FEMA, 2013).....	10
TABLEAU 5 : TYPOLOGIE ET CODE DE DESIGN SISMIQUE DES BÂTIMENTS PUBLICS.....	53
TABLEAU 6 : ORDRE DE PRIORITÉ POUR LE SCÉNARIO DE MAGNITUDE 6	58
TABLEAU 7 : ORDRE DE PRIORITÉ POUR LE SCÉNARIO DE MAGNITUDE 7	59

LISTE DES FIGURES

FIGURE 1 : DÉTERMINATION DU NIVEAU DE RISQUE (TIRÉE DE SAEIDI, 2015)	3
FIGURE 2 : COURBE DE VULNÉRABILITÉ (TIRÉE DE SAEIDI, 2015)	11
FIGURE 3 : COURBE DE FRAGILITÉ POUR LE TYPE W1L SELON LA CLASSIFICATION HAZUS (TIRÉE DE ABO EL EZZ, 2013).....	11
FIGURE 4 : CARTE DE L'ALÉA SISMIQUE SIMPLIFIÉ DU CANADA (TIRÉE DE RNC, 2010).....	13
FIGURE 5 : CARTE DES DÉPÔTS MEUBLES DE SURFACE (TIRÉE DE DAIGNEAULT ET AL., 2011).....	14
FIGURE 6 : GMPE POUR UN SÉISME DE MAGNITUDE 7.25 (ATKINSON ET ADAMS, 2013) ...	19
FIGURE 7 : FACTEUR D'AMPLIFICATION (BOORE ET ATKINSON, 2008).....	20
FIGURE 8 : POSITION DES 80 BÂTIMENTS ET DE L'ÉPICENTRE DES SÉISMES CONSIDÉRÉS.....	22
FIGURE 9 : THE CITY OF SAGUENAY AREA, ITS DISTRICTS AND NEIGHBOURHOODS MENTIONED IN THE MANUSCRIPT. THE BACKGROUND CONSISTS OF THE SIMPLIFIED SURFICIAL GEOLOGY MAP (MODIFIED FROM DAIGNEAULT ET AL. 2011).....	29
FIGURE 10 : SPATIAL DISTRIBUTION OF THE BOREHOLE LOGS, CONE PENETRATION TEST (CPT) AND STANDARD PENETRATION TEST (SPT) USED IN THIS STUDY	33
FIGURE 11 : DISTRIBUTION OF THE SURFICIAL DEPOSITS. THE CROSS SECTIONS ARE SHOWN IN FIGURE 13.....	37
FIGURE 12 : THICKNESS OF DEPOSITS.....	38
FIGURE 13 : STRATIGRAPHIC CROSS SECTIONS. THE SCALE IS IN METERS. THE LOCATION OF CROSS SECTIONS IS INDICATED IN FIGURE 11	39
FIGURE 14 : INTERVAL SHEAR WAVE VELOCITY VS DEPTH RELATIONSHIP FOR A) CLAYS, AND B) SANDY SOILS. BOLD LINES INDICATE AVERAGE VALUES; DASHED LINES INDICATE ± 2 STANDARD DEVIATIONS (Σ)	41

FIGURE 15 : AVERAGE SHEAR WAVE VELOCITY VS. DEPTH RELATIONSHIP FOR CLAY AND SANDY SOILS OF NASTEV ET AL. (2016A AND B) AND THE PRESENT STUDY	42
FIGURE 16 : SPATIAL DISTRIBUTION MAPS OF A) V_{SAV} , B) T_0 , C) V_{S30} AND D) SEISMIC SOIL CLASSES ACCORDING TO NBCC 2015.....	45
FIGURE 17 : PGA POUR UN SÉISME DE MAGNITUDE 7,25	50
FIGURE 18 : PGV POUR UN SÉISME DE MAGNITUDE 7,25	50
FIGURE 19 : $S_A^{0.3S}$ POUR UN SÉISME DE MAGNITUDE 7,25.....	51
FIGURE 20 : $S_A^{1.0S}$ POUR UN SÉISME DE MAGNITUDE 7,25.....	51
FIGURE 21 : COURBES DE FRAGILITÉ ET DÉTERMINATION DE LA PROBABILITÉ DE DOMMAGE POUR LE BÂTIMENT #24 POUR UN SCÉNARIO SISMIQUE DE MAGNITUDE 6 (TIRÉE DE ABO EL EZ 2013).....	55
FIGURE 22 : DISTRIBUTION DES PROBABILITÉS DE DOMMAGES POUR LE BÂTIMENT #24	55
FIGURE 23 : FACTEUR MOYEN DE DOMMAGE POUR LES BÂTIMENTS SÉLECTIONNÉS	56

LISTE DES SIGLES

CPT : "*Cone penetration test*", essai de pénétration (statique) au cône

SPT : "*Standard penetration test*", essai au pénétromètre dynamique

T_0 : Période fondamentale de résonnance de la colonne de sols, c'est-à-dire de la surface jusqu'au socle rocheux

V_s : Vitesse des ondes de cisaillement

$V_{s,30}$: Vitesse moyenne des ondes de cisaillement dans les trente premiers mètres en partant de la surface du sol

$V_{s,av}$: Vitesse moyenne des ondes de cisaillement de la colonne de sols, c'est-à-dire de la surface du sol jusqu'au socle rocheux

REMERCIEMENTS

Je remercie le Dr. Ali Saeidi, directeur de ce projet, pour son soutien et l'ensemble de nos conversations concernant l'orientation du projet. Je remercie le Dr. Romain Chesnaux, co-directeur de cette maîtrise, pour m'avoir recommandé ce projet et pour son exigence m'ayant toujours amené à me dépasser. Je remercie le Dr. Miroslav Nastev pour nos nombreuses discussions qui ont étayé mon intérêt dans le domaine de l'analyse du risque sismique et qui m'ont permis d'appréhender mon sujet sous un autre jour. Je remercie également le Dr. Alain Rouleau pour sa précieuse implication dans le projet ainsi que Julien Walter pour ses nombreux conseils lors de la réalisation du modèle géologique.

Je remercie monsieur Alex Smirnoff de la commission géologique du Canada pour avoir reconfiguré le logiciel EvaRisk selon mes besoins. Je remercie toute l'équipe du R2eau pour nos nombreuses réunions qui ont permis de développer mon esprit critique. Je remercie mes collègues de bureau Catherine Lavoie et Sandra Lalancette pour avoir rendu mes journées de travail plus agréables.

Finalement, je remercie mes parents pour leur soutien inconditionnel tout au long de mon cursus scolaire ainsi que ma compagne Marine Delesalle pour m'avoir soutenu, aidé et supporté dans les moments les plus difficiles.

CHAPITRE 1

INTRODUCTION

1.1 PROBLÉMATIQUE GÉNÉRALE

Entre 1900 et 2012, le Canada a connu près de 800 catastrophes naturelles qui peuvent être d'origine géologique ou météorologique. Ces catastrophes ont un fort impact sur l'économie et la sécurité des citoyens. Étudier le risque lié à ces événements peut permettre de réduire l'impact économique et humain et aussi permettre une meilleure réactivité des services de sécurité à la suite d'une catastrophe. L'analyse du risque a pour objectif de quantifier les impacts négatifs de ces catastrophes sous forme de probabilité à l'aide d'une étude de l'aléa, des éléments exposés, qui peuvent être matériels, humains ou économiques, et de la vulnérabilité de ces éléments. Parmi ces catastrophes, les séismes représentent une problématique particulièrement importante. Ces événements peuvent toucher les populations, les services publics et l'économie sur de grands territoires, voire même plusieurs pays, et causer des dégâts suffisamment importants pour que les populations touchées ne puissent se rétablir seules.

L'analyse du risque sismique est une discipline qui s'intéresse à quantifier sous forme de probabilités, les impacts négatifs que peuvent avoir les séismes. Cette analyse nécessite l'utilisation de différentes méthodes pour déterminer l'aléa, la vulnérabilité et les conséquences (enjeu, importance et valeurs des éléments exposés) qui sont les éléments permettant de déterminer le risque. L'analyse du risque étant un domaine probabiliste, les méthodes utilisées doivent être choisies minutieusement, en fonction du territoire d'étude et des données disponibles, pour quantifier le risque et identifier les zones les plus sensibles de la manière la plus précise possible.

Pour évaluer l'aléa sismique, il est important de connaître la probabilité d'occurrence des séismes, mais aussi de prendre en compte les différents effets indirects et induits qui peuvent avoir une forte influence sur les dégâts engendrés par un séisme. Parmi ceux-ci, les effets de site sismiques sont un phénomène d'amplification des ondes sismiques, dû à la stratigraphie, qui peut augmenter de façon notable les dégâts générés sur les territoires contenant des dépôts meubles.

1.2 MÉTHODOLOGIES COURAMMENT EMPLOYÉES

1.2.1 GÉNÉRALITÉS EN ANALYSE DU RISQUE

On définit le risque comme étant une fonction de l'aléa, de la vulnérabilité et des conséquences. L'aléa est la probabilité d'occurrence d'un phénomène naturel sur un territoire donné et une période de temps donnée en fonction de sa magnitude. La vulnérabilité correspond au niveau de dommage probable auquel s'expose un élément soumis au risque. Comme le montre la figure 1, ces trois éléments sont d'une grande importance pour la détermination du niveau de risque (couleur des blocs). Le niveau de probabilité peut être associé à l'aléa, le niveau de gravité à la vulnérabilité combinée aux conséquences et la couleur des blocs au niveau de risque.

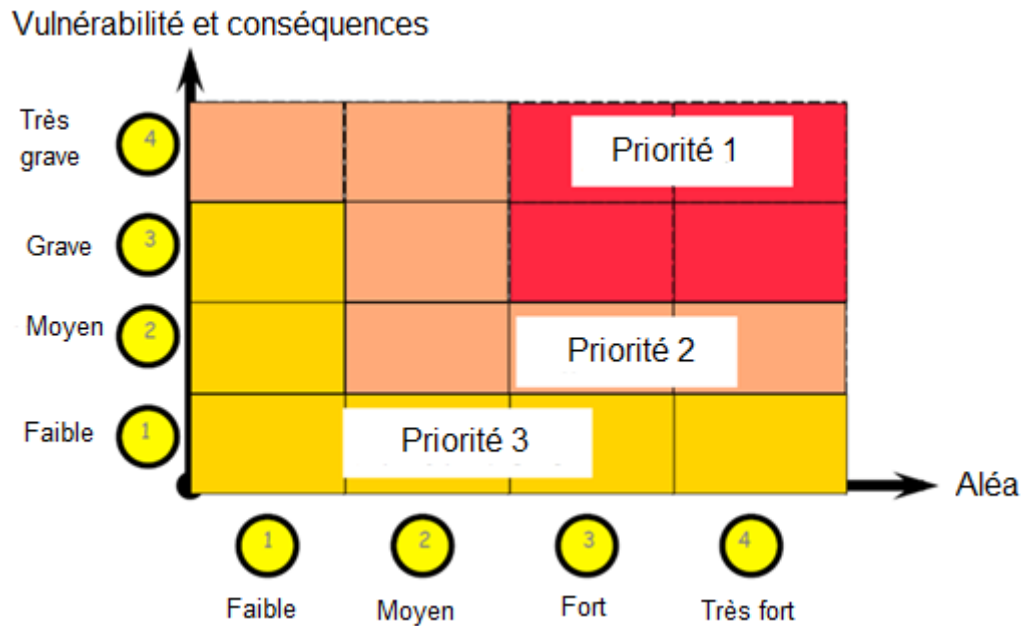


Figure 1 : Détermination du niveau de risque (tirée de Saeidi, 2015)

Dans le cadre d'une analyse de risque sismique, il est très important de traiter l'aléa, la vulnérabilité et les conséquences pour avoir une bonne connaissance du risque auquel est exposé le territoire d'étude.

1.2.2 ALÉA SISMIQUE

L'aléa sismique correspond à la probabilité d'occurrence d'un séisme sur un territoire donné en fonction de son intensité. Pour déterminer l'aléa sismique dans le cadre d'une étude d'analyse de risque, deux approches sont couramment employées. La première approche est déterministe et repose sur la sélection d'un ou plusieurs séismes de références. La seconde approche est probabiliste, et repose sur la connaissance du cycle sismique de la région étudiée. Dans les deux cas, il est important d'avoir un bon inventaire de la sismicité, que ce soit pour déterminer nos séismes de références ou bien pour caractériser la sismicité de la région. L'approche déterministe vise à intégrer l'aléa dans l'étude de risque sous la forme de séismes de référence (Dominique, 1999). Pour ce faire, il faut sélectionner dans l'inventaire de la sismicité du territoire un ou plusieurs séismes de référence, lesquels seront souvent les plus

grands séismes observés ou enregistrés sur le territoire ou les territoires alentour. À partir de ces séismes de référence, il sera nécessaire d'utiliser des lois d'atténuation adaptées à la géologie du territoire pour déterminer l'accélération spectrale associée au site étudié en fonction de la distance épacentrale au séisme. L'approche probabiliste, quant à elle, a pour objectif de réaliser des cartes d'isovaleurs d'un paramètre de mouvement du sol, qui sera dans notre cas l'accélération spectrale, sur une période de temps donnée en tout point du territoire à l'étude. Le code national du bâtiment propose d'intégrer l'aléa pour une probabilité de 2% en 50 ans (IRCC, 2015), ce qui correspond à un séisme ayant un intervalle de récurrence d'environ 2500 ans.

Quant au niveau de secousse sismique, il est possible de le quantifier en termes d'énergie libérée, de dommages occasionnés ou d'accélération du sol. La magnitude est une mesure qui représente l'énergie libérée par le séisme. Les échelles d'intensité, telle que l'échelle de Mercalli modifiée (Wood et Neuhmann, 1931), représentent les dommages occasionnés en surface. Finalement, l'accélération maximale du sol (*PGA, Peak Ground Acceleration*), la vitesse maximale du sol (*PGV, Peak Ground Velocity*) et l'accélération spectrale sont des mesures dépendantes de l'accélération du sol observée lors d'un séisme.

L'accélération spectrale (S_a) est la mesure la plus utilisée pour les calculs liés à l'analyse du risque sismique. Elle est définie comme étant le maximum d'accélération qu'un mouvement du sol pourra transmettre à un oscillateur libre à un degré de liberté ayant une période propre et un taux d'amortissement (Baker et Cornell, 2006). Un oscillateur libre est un système qui subit une force qui le ramène vers une position d'équilibre autour de laquelle il oscille. C'est un modèle valable pour les bâtiments réguliers dont presque toute la masse participe au premier mode de vibration. Le bâtiment est représenté par un plan horizontal à deux dimensions. Cependant, pour l'analyse du mouvement oscillatoire, une seule composante est nécessaire. C'est pour cela que l'on considère le bâtiment comme un oscillateur libre à un degré de liberté. La période propre du bâtiment est la période à laquelle il oscille quand il est en évolution libre.

Cette période dépend de la hauteur du bâtiment; plus il sera haut, plus sa période naturelle sera élevée (règle approximative : période naturelle $[s] = 0,1 \times \text{nombre d'étages}$). Un bâtiment se comporte comme un oscillateur amorti, c'est-à-dire que l'amplitude des oscillations diminue après avoir atteint un maximum. La différence relative d'amplitude entre deux oscillations est appelée taux d'amortissement. Les accélérations spectrales sont données pour un taux d'amortissement de 5 %. L'accélération spectrale et les autres mesures dépendantes de l'accélération du sol s'expriment en $[g]$, soit l'accélération due à la gravité terrestre qui est égale à 9.8065 m/s^2 .

1.2.3 EFFETS D'AMPLIFICATION SISMIQUE DES SITES

Les effets d'amplification des ondes dus à la stratigraphie ont une grande importance dans la détermination de l'aléa sismique. Ils peuvent grandement modifier les caractéristiques des ondes sismiques (vitesse et amplitude) ainsi qu'affecter de vastes zones géographiques selon la géologie régionale. Lorsque l'onde sismique rencontre une interface entre deux matériaux géologiques de caractéristiques différentes, il se produit un phénomène de réfraction de l'onde auquel s'associe un changement de vitesse et d'amplitude de l'onde, et une modification du contenu fréquentiel du signal (Jongmans, 1989). C'est notamment le cas quand le roc est recouvert de dépôts superficiels. Dans ce cas, la vitesse des ondes sismiques est ralentie dans les dépôts superficiels et l'amplitude des ondes augmente, car les dépôts meubles sont plus mous que le roc sur lequel ils reposent. Ce phénomène est particulièrement problématique, du fait que ces dépôts amplifient les ondes qui correspondent aux périodes de résonance des bâtiments. De manière générale, un sédiment fin (argile) amplifie les ondes de petite période et donc augmente les dommages pour les petites structures tandis que les sédiments grossiers (sables, graviers ...) amplifient les ondes de grande période et augmentent les dégâts pour les grandes structures (Guéguen, 2009).

Pour déterminer la susceptibilité d'un site aux effets d'amplification sismique, le Code national du bâtiment du Canada (IRCC, 2015) prévoit de classer les sols selon cinq catégories telles que montrées sur le tableau 1. La sixième catégorie (F) correspond aux sites dont ses sols présentent une des caractéristiques suivantes : potentiel de liquéfaction, d'affaissement, les tourbes, les argiles à forte teneur en matière organique, les argiles ayant une grande plasticité et les argiles raides, dont l'épaisseur dépasse 30 mètres. Le critère déterminant pour définir les catégories d'emplacement ou classes de sol est la vitesse des ondes de cisaillement dans les 30 premiers mètres ($V_{s,30}$). Pour déterminer la vitesse des ondes de cisaillement, plusieurs méthodes peuvent être utilisées dont notamment les méthodes de site spécifiques, qui sont les méthodes les plus précises et qui devraient être utilisées partout où elles sont applicables. En l'absence de mesures de site spécifiques, on peut estimer le profil de V_s à partir de corrélations avec la géologie de surface et de tests de pénétration *in-situ* en considérant que ces méthodes indirectes introduisent une plus grande incertitude. On peut cependant, si aucune valeur de $V_{s,30}$ ne peut être déterminée, utiliser la résistance moyenne à la pénétration standard des 30 premiers mètres \bar{N}_{60} ou la résistance non drainée du sol au cisaillement (s_u).

Tableau 1 : Catégories d'emplacement selon le code national du bâtiment du Canada

(tiré de IRCC, 2015)

Catégories en fonction de la réponse sismique des emplacements Faisant partie intégrante des paragraphes 4.1.8.4. 2) et 3)				
Catégorie d'emplacement	Profil du sol	Propriétés moyennes des 30 premiers mètres d'après l'annexe A.		
		Vitesse moyenne des ondes de cisaillement, \bar{V}_s (m/s)	Résistance moyenne à la pénétration standard, \bar{N}_{60}	Résistance du sol non drainé au cisaillement, s_u
A	Roche dure	$\bar{V}_s > 1500$	s/o	s/o
B	Roche	$760 < \bar{V}_s \leq 1500$	s/o	s/o
C	Sol très dense et roche tendre	$360 < \bar{V}_s < 760$	$\bar{N}_{60} > 50$	$s_u > 100$ kPa
D	Sol consistant	$180 < \bar{V}_s < 360$	$15 \leq \bar{N}_{60} \leq 50$	$50 \text{ kPa} < s_u \leq 100 \text{ kPa}$
		$\bar{V}_s < 180$	$\bar{N}_{60} < 15$	$s_u < 50 \text{ kPa}$
E	Sol meuble	Tout profil de plus de 3 m d'épaisseur et dont le sol a les caractéristiques suivantes : <ul style="list-style-type: none"> • indice de plasticité : $PI > 20$; • teneur en eau : $w \geq 40 \%$; et • résistance du sol non drainé au cisaillement : $s_u < 25$ kPa 		
F	Autres sols ⁽¹⁾	Une évaluation spécifique à l'emplacement est exigée.		

À partir de la classe de sol, il est nécessaire d'utiliser les tableaux créés pour le Code national du bâtiment du Canada (Finn et Wightman, 2003) pour déterminer le facteur d'accélération associé à ces dépôts par rapport à un sol de référence de classe C. Il suffit alors de multiplier ce facteur par l'accélération spectrale attendue à notre site dans un sol de classe C pour obtenir la valeur d'accélération spectrale prenant en compte les effets de site induits par la stratigraphie du territoire. Le tableau 2 donne un exemple pour une accélération spectrale d'une période de 0,2 seconde.

Tableau 2 : Facteur d'accélération associé aux classes de sols pour une accélération spectrale d'une période de 0,2 seconde (tiré de Finn et Wightman, 2003)

Site class	$S_{0.2}$				
	≤ 0.25	0.50	0.75	1.00	≥ 1.25
A	0.7	0.7	0.8	0.8	0.8
B	0.8	0.8	0.9	1.0	1.0
C	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
D	1.3	1.2	1.1	1.1	1.0
E	2.1	1.4	1.1	0.9	0.9
F	— ^a	— ^a	— ^a	— ^a	— ^a

Note: Use straight-line interpolation for intermediate values of $S_{0.2}$.

^aSite-specific geotechnical investigation and dynamic site response analyses should be performed.

1.2.4 VULNÉRABILITÉ

Concernant le risque sismique, les principaux éléments exposés sont les bâtiments. La première étape d'une analyse de vulnérabilité est de préparer l'inventaire des caractéristiques structurales des bâtiments qui composent le site d'étude, dans le but de leurs associer une

typologie de bâtiment. Cette typologie est de préférence sélectionnée à partir des plans du bâtiment. Cependant, cette sélection peut aussi être faite à partir d'une inspection visuelle des éléments qui composent la structure. En Amérique du Nord, la classification la plus communément employée (tableau 3) est celle développée pour le logiciel d'analyse de risque HAZUS (FEMA, 2013). 36 typologies de bâtiments sont considérées en fonction de leurs matériaux de construction, de leurs systèmes porteurs et du nombre d'étages (Perrault, 2013). Parmi ces 36 typologies de bâtiment, 16 systèmes structurels sont définis : W1 et W2 pour les bâtiments ayant une structure de bois, S1 à S5 pour les bâtiments ayant une ossature en acier, C1 à C3 pour les bâtiments en béton, PC1 et PC2 pour les bâtiments composés d'éléments en béton préfabriqué, RM1 et RM2 pour les bâtiments en maçonnerie armée, URM pour les bâtiments en maçonnerie non armée et MH pour la classe particulière des "*mobil-homes*" ou maisons mobiles.

Tableau 3 : Typologie d'HAZUS (tiré de FEMA, 2013)

	No.	Nom		Description	Nombre d'étages
Structure de bois	1	W1	W1	Charpente de bois (<5000pi²)	1 ou 2
	2	W2	W2	Charpente de bois (>5000pi²)	Tous
Ossature en acier	3	S1	S1L	Résistant au moment	1 à 3
	4		S1M		4 à 7
	5		S1H		8+
	6	S2	S2L	Contreventée en acier	1 à 3
	7		S2M		4 à 7
	8		S2H		8+
	9	S3	S3	Légère en acier	Tous
	10	S4	S4L	Avec murs de cisaillement en béton	1 à 3
	11		S4M		4 à 7
	12		S4H		8+
	13	S5	S5L	Avec murs de remplissage en maçonnerie	1 à 3
	14		S5M		4 à 7
	15		S5H		8+
Béton	16	C1	C1L	Ossature en béton résistant aux moments	1 à 3
	17		C1M		4 à 7
	18		C1H		8+
	19	C2	C2L	Murs de béton travaillant en cisaillement	1 à 3
	20		C2M		4 à 7
	21		C2H		8+
	22	C3	C3L	Ossature avec murs de remplissage en maçonnerie	1 à 3
	23		C3M		4 à 7
	24		C3H		8+
	25	PC1	PC1	Murs en béton préfabriqués	Tous
	26	PC2	PC2L	Ossature en béton préfabriquée	1 to 3
	27		PC2M		4 to 7
	28		PC2H		8+
Maçonnerie	29	RM1	RM1L	Murs porteurs en maçonnerie armée avec diaphragmes flexibles	1 to 3
	30		RM1M		4+
	31	RM2	RM2L	Murs porteurs en maçonnerie armée avec diaphragmes rigides	1 to 3
	32		RM2M		4 to 7
	33		RM2H		8+
	34	URM	URML	Maçonnerie non armée	1 to 2
	35		URMM		3+
	36	MH	MH	Maisons mobiles	Tous

Il convient aussi de définir le niveau de conception parasismique ou "*code level*" qui a été appliqué lors de la construction du bâtiment. Ce code est sélectionné en fonction de l'année de construction du bâtiment et de sa structure (tableau 4). Ces années de références doivent être ajustées selon la zone sismique considérée. *Pre Code* correspond aux bâtiments n'ayant aucune conception parasismique, *Low Code* correspond aux bâtiments ayant un faible dimensionnement parasismique, *Moderate Code* correspond aux bâtiments ayant un dimensionnement parasismique modéré et *High Code* correspond aux bâtiments ayant le plus haut niveau de dimensionnement parasismique.

Tableau 4 : Années de référence pour le niveau de conception parasismique (tiré de FEMA, 2013)

Guidelines for Selection of Seismic Design Levels for Typical Buildings Based on Year of Construction and Building Type					
	Year Built				
Building Type	2005-Onward	1990-2004	1970-1989	1941-1969	Pre-1941
Wood, Steel, or Concrete		HS (Special High-Code)	MS (Special Moderate-Code)	LS (Special Low-Code)	
Masonry, Mobile, Others		HC (High-Code)	MC (Moderate-Code)	LC (Low-Code)	
All Building Types	HS (Special High-Code)				PC (Pre-Code)

Cette étude est souvent complétée avec un inventaire d'utilisations des bâtiments (maison privée, bureau de travail, usine, bâtiment public, services de sécurité ...) qui permet notamment de déterminer les risques associés aux personnes qui les utilisent.

Une fois l'inventaire réalisé, il faut associer des fonctions de vulnérabilité à chacun des types de bâtiments que l'on retrouve sur le site à l'étude. Il existe deux types de fonctions, les courbes de vulnérabilité et les courbes de fragilité.

Les courbes de vulnérabilité représentent la moyenne de dommages (μD) pour un type de bâtiment en fonction de l'intensité du séisme (figure 2).

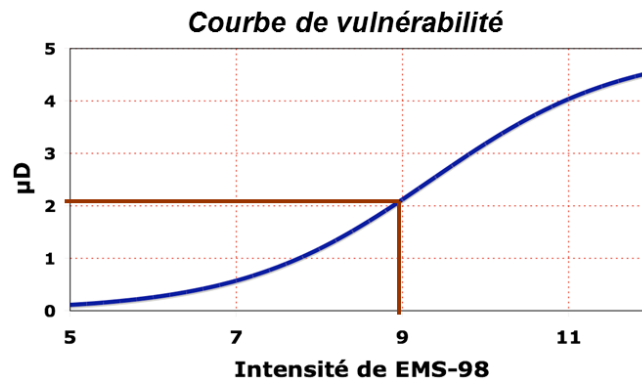


Figure 2 : Courbe de vulnérabilité (tirée de Saeidi, 2015)

Les courbes de fragilité représentent la probabilité d'atteindre ou de dépasser une classe de dommages pour un type de bâtiment en fonction de l'intensité du séisme (figure 3).

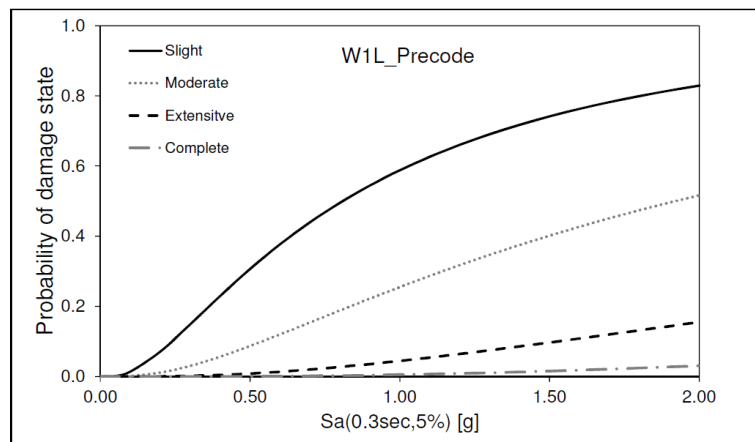


Figure 3 : Courbe de fragilité pour le type W1L selon la classification HAZUS (tirée de Abo El Ezz, 2013)

Le niveau de dommage probable auquel est exposé chaque un bâtiment dans notre site d'étude peut alors être obtenu en appliquant une intensité de mesure de l'aléa sur la courbe concernée par ce type de bâtiment. Dans la méthodologie d'HAZUS (FEMA, 2013), quatre niveaux de dommage sont considérés : légers (*Slight*), modérés (*Moderate*), importants (*Extensive*) et complets (*Complete*). Les niveaux de dommages sont définis pour les 16 systèmes structurels de la typologie d'HAZUS. Par exemple, pour la typologie C2 correspondant aux bâtiments en béton armé, les niveaux de dommages sont définis de la façon suivante (Perrault, 2013).

- Niveau de dommage léger : apparition de fines fissures près des liaisons ou au sein des liaisons.
- Niveau de dommage modéré : la plupart des murs présentent des fissures diagonales, certains murs présentent également des fissures plus grandes avec effritement du béton aux extrémités, indiquant que la limite élastique a été atteinte.
- Niveau de dommage important : pour la plupart des murs, la limite d'élasticité a été atteinte ; certains murs ont dépassé leur capacité ultime, présentant de larges fissures transversales et un effritement important le long des fissures. Un effondrement partiel peut se produire en raison de la défaillance des colonnes non ductiles qui ne sont pas conçues pour résister à des charges latérales.
- Niveau de dommage complet : la structure s'est effondrée, ou est sur le point de s'effondrer à cause de la défaillance de la plupart des murs et de la défaillance de certaines poutres ou colonnes critiques. Plus généralement, le niveau de dommage complet est atteint lorsque le coût de réparation est devenu supérieur au coût de reconstruction.

1.3 TERRITOIRE D'ÉTUDE

Le projet se situe le territoire de la Ville de Saguenay. Ce territoire a une superficie de 1,136 km², sa population est de 147,100 habitants et est composé de trois arrondissements : Chicoutimi, Jonquière et La Baie. La Ville de Saguenay est située dans une zone d'aléa sismique modéré (figure 4). On observe aussi sa proximité avec la zone sismique de Charlevoix. De plus, le territoire de la ville de Saguenay a connu un séisme de magnitude 5,9 en 1988.

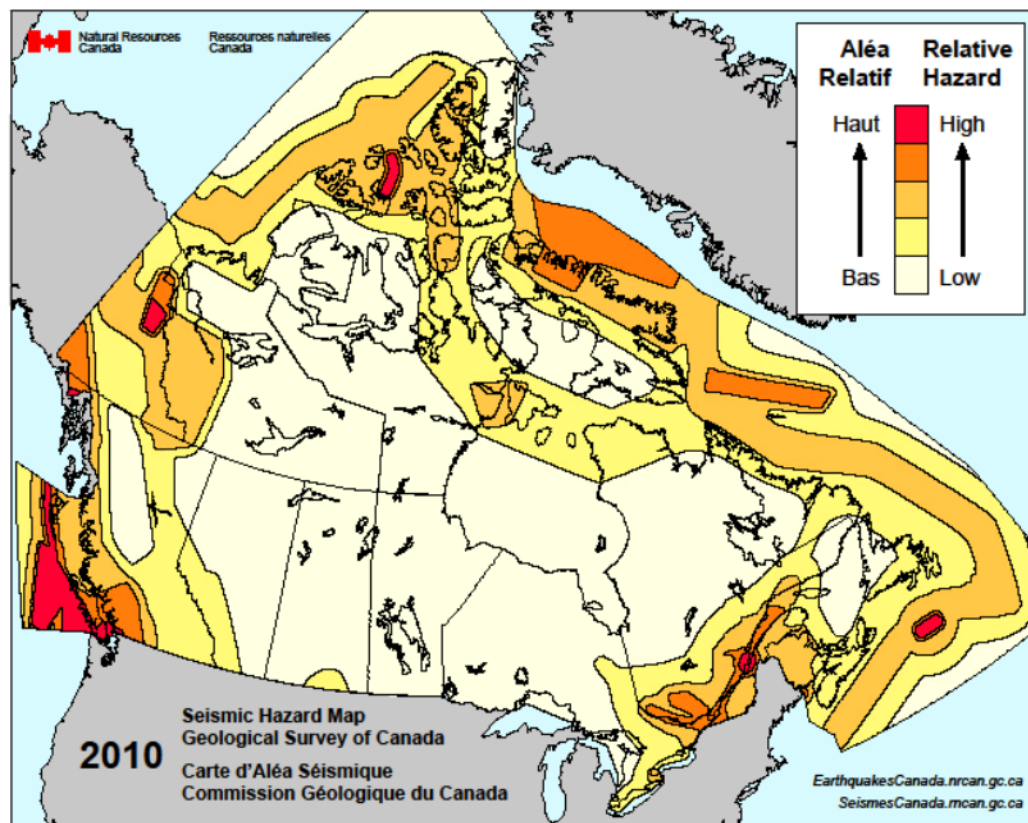


Figure 4 : Carte de l'aléa sismique simplifié du Canada (tirée de RNC, 2010)

La carte géologique de la figure 5 représente la répartition des dépôts meubles de surface sur le territoire de la Ville de Saguenay. La majeure partie des dépôts présents sont d'origine glaciaire et glacio-marine. On observe aussi des dépôts de versant ainsi que des

sédiments organiques et alluviaux en plus faible quantité. On remarque également que le roc est affleurant de manière ponctuelle. De Jonquière jusqu'à la Baie, on observe la présence d'un grand dépôt d'argile correspondant à des sédiments fins d'eau profonde. On remarque un grand dépôt de till glaciaire dans la partie sud du territoire de la ville de Saguenay. On note aussi la présence de sable ainsi que de sable et graviers dans la partie nord et la partie sud du territoire de la ville de Saguenay.

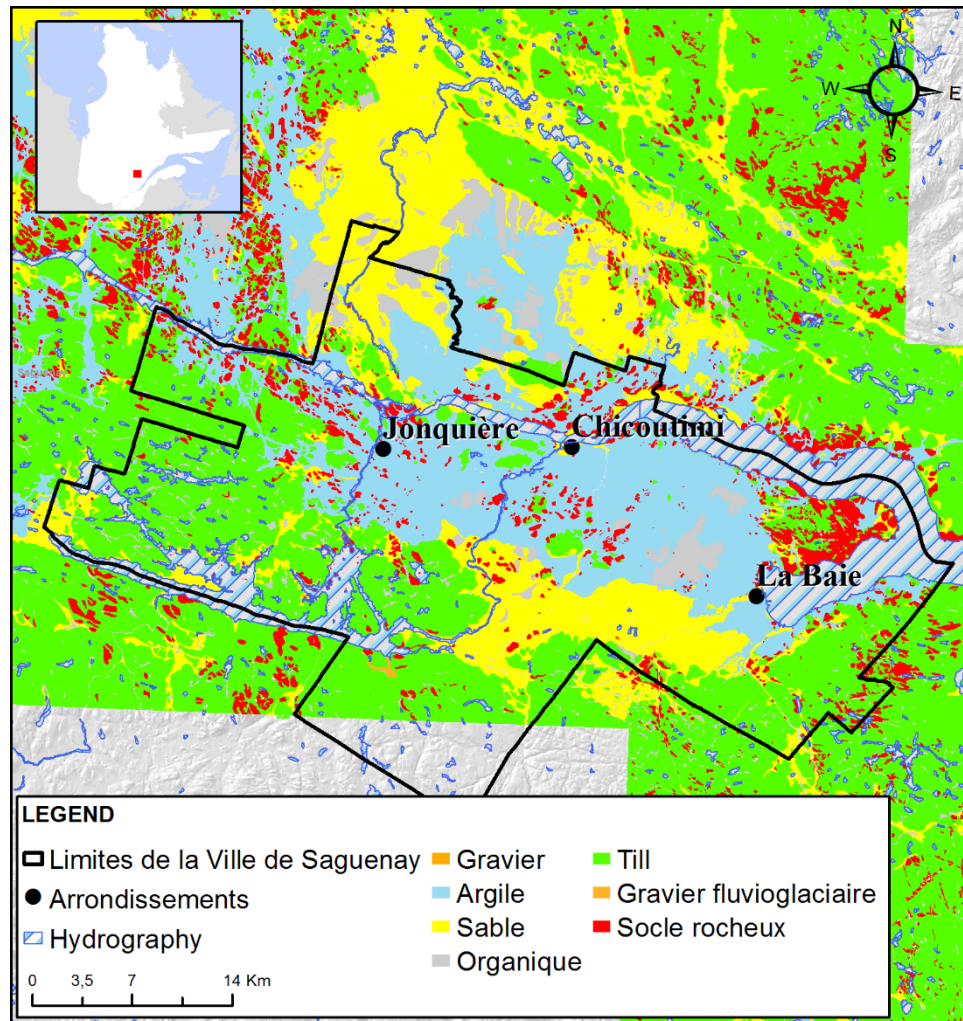


Figure 5 : Carte des dépôts meubles de surface (tirée de Daigneault et al., 2011)

1.4 PROBLÉMATIQUE SPÉCIFIQUE ET OBJECTIFS

Le territoire de la Ville de Saguenay est donc soumis à un aléa sismique qui a déjà été révélé par le séisme de 1988. De plus, une couverture de dépôts meubles est présente sur le territoire, avec notamment une couverture d'argile sur les basses terres. Ces dépôts, et plus particulièrement les argiles, représentent un terrain propice à la formation d'effets d'amplification des ondes sismiques, qui peuvent augmenter de manière significative les dégâts observés à la suite d'un séisme. Finalement, ce territoire comprend une population suffisamment élevée pour supposer qu'un nombre significatif d'éléments sont exposés à l'aléa sismique. Le territoire de la ville de Saguenay représente donc un candidat idéal à la réalisation d'une étude d'analyse de risque sismique qui devrait comprendre notamment la détermination de la susceptibilité des sols aux effets d'amplification des ondes sismiques.

Trois objectifs ont été établis pour répondre à la problématique du présent projet, consistant en l'élaboration d'une méthodologie d'analyse du risque sismique sur un territoire propice aux effets de site. Le premier objectif est de définir la géologie des dépôts meubles en tant que prérequis à l'étude des effets d'amplification des ondes sismiques. Le second objectif est de déterminer l'importance de ces effets. Finalement, le troisième objectif est d'appliquer les résultats de cette étude pour déterminer la probabilité de dommages à laquelle sont exposés les bâtiments publics du territoire d'étude.

Afin d'atteindre les objectifs généraux du projet, sept objectifs spécifiques devront être réalisés.

- Créer un modèle en trois dimensions représentant la répartition spatiale du type et de l'épaisseur des différentes strates présentes sur le territoire d'étude.
- Déterminer la vitesse moyenne des ondes de cisaillement dans les différentes strates

- Définir la distribution spatiale de $V_{s,av}$, T_0 , $V_{s,30}$ et des classes de sol selon le Code national du bâtiment du Canada (IRCC, 2015)
- Déterminer les facteurs d'accélération spécifiques aux sites.
- Calculer l'aléa sismique pour certains scénarios déterministes à partir des facteurs d'accélération précédemment calculés.
- Déterminer la typologie, le niveau de conception parasismique et les fonctions de vulnérabilité associées à certains bâtiments publics de la Ville de Saguenay.
- Déterminer les probabilités de dommages attendus pour ces bâtiments, pour les valeurs d'aléa sismique précédemment calculées.

CHAPITRE 2

MÉTHODOLOGIE

2.1 SUSCEPTIBILITÉ DES SOLS AUX EFFETS D'AMPLIFICATION DES ONDES SISMQUES

La méthodologie utilisée pour déterminer la distribution spatiale des valeurs de $V_{s,av}$, T_0 , $V_{s,30}$ et des classes de sol selon le Code national du bâtiment du Canada (IRCC, 2015) comporte trois étapes majeures. Premièrement, un modèle en trois dimensions de la géologie des dépôts meubles du territoire de la ville de Saguenay a été réalisé pour définir la répartition du type et de l'épaisseur des dépôts. Deuxièmement, des valeurs représentatives de V_s ont été définies pour chacune des unités géologiques majeures du modèle. Finalement, les valeurs de $V_{s,av}$, T_0 et $V_{s,30}$ ont été calculées selon une grille régulière de 250x250 mètres dans le but d'obtenir une carte de leur distribution spatiale. Les méthodologies utilisées pour la réalisation du modèle géologique, la détermination des valeurs représentatives de V_s , et la définition de la distribution spatiale de $V_{s,av}$, T_0 , $V_{s,30}$ et des classes de sol sont décrites dans le Chapitre 3.

2.2 DÉVELOPPEMENT DE CARTES DE SECOUSSES SISMQUES

Les cartes de secousses sismiques sont des cartes représentant le niveau de secousses sismiques pour un séisme donné ou un scénario sismique.

Dans cette étude, quatre scénarios ont été considérés. Le premier scénario, est un séisme de magnitude 7,25 dont l'épicentre est localisé à 30 km au sud du centre-ville de l'arrondissement Chicoutimi pour lequel les paramètres *PGA* (accélération maximale au sol),

PGV (vitesse maximale au sol), $Sa^{0.3s}$ (accélération spectrale pour une période de 0.3s) et $Sa^{1.0s}$ (accélération spectrale pour une période de 1.0s) ont été calculés selon une grille régulière de 250x250 mètres, un scénario communément admis pour les études de l'est Canadien. Le choix de la position de l'épicentre du séisme repose sur l'hypothèse que la plupart des structures géologiques sismogènes au Saguenay sont présentes dans les hautes terres du Saguenay à proximité du mur du Graben. Les scénarios suivants sont trois séismes de magnitude 5, 6 et 7 dont l'épicentre correspond à celui du séisme de 1988 et pour lesquels $Sa^{0.3s}$ et $Sa^{1.0s}$ ont été calculés pour la position des différents bâtiments publics.

La méthodologie utilisée pour le calcul de PGA , de PGV , de $Sa^{0.3s}$ et de $Sa^{1.0s}$ est inspirée de la méthodologie de réalisation de "*Shakemap*" décrite dans l'article de Ghofrani et al. (2015). Cette méthodologie comprend d'une part, la détermination du niveau de secousses sismiques pour un sol de référence à partir de lois d'atténuation, et d'autre part la détermination du facteur d'accélération du site en fonction du niveau de secousse sismiques et du $V_{s,30}$ du sol.

Premièrement, les valeurs de PGA , de PGV , de $Sa^{0.3s}$ et de $Sa^{1.0s}$ d'un sol de référence ayant un $V_{s,30}$ de 780 m/s vont être déterminées à partir des lois d'atténuation (figure 6), communément appelées "*Ground motion prediction equation (GMPE)*", pour le nord-est américain de Atkinson & Adams (2013). Le niveau de secousses sismiques est constant dans les dix premiers kilomètres puis décroît exponentiellement avec la distance épacentrale. De plus, l'accélération spectrale est plus élevée pour les petites périodes (ici 0,3 seconde) que pour les grandes périodes (ici 1 seconde). Les données concernant les lois d'atténuation ont été extraites à partir du site "*SeisToolbox*" (Atkinson et al., 2016) sous la forme d'un tableau (Annexe A) indiquant la valeur d'accélération spectrale pour différentes fréquences ainsi que la valeur de PGA et de PGV en fonction de la magnitude du séisme et de la distance épacentrale du site. Dans ce tableau, la profondeur du séisme considérée est de 10 mètres et une source ponctuelle a été considérée pour représenter la faille. Cette approximation est justifiée compte

18

tenu de la distance épacentrale du centre-ville de Chicoutimi (30 km) et des relativement faibles magnitudes par rapport à la distance épacentrale. Par souci de présentation, les valeurs d'accélération spectrale pour différentes fréquences ainsi que les valeurs de PGA et de PGV en $[cm.s^{-2}]$ ont été convertis en g, l'accélération de la pesanteur à la surface de la Terre ($g = 9.81 m.s^{-2}$) et les fréquences en périodes pour la réalisation des cartes de secousses sismiques.

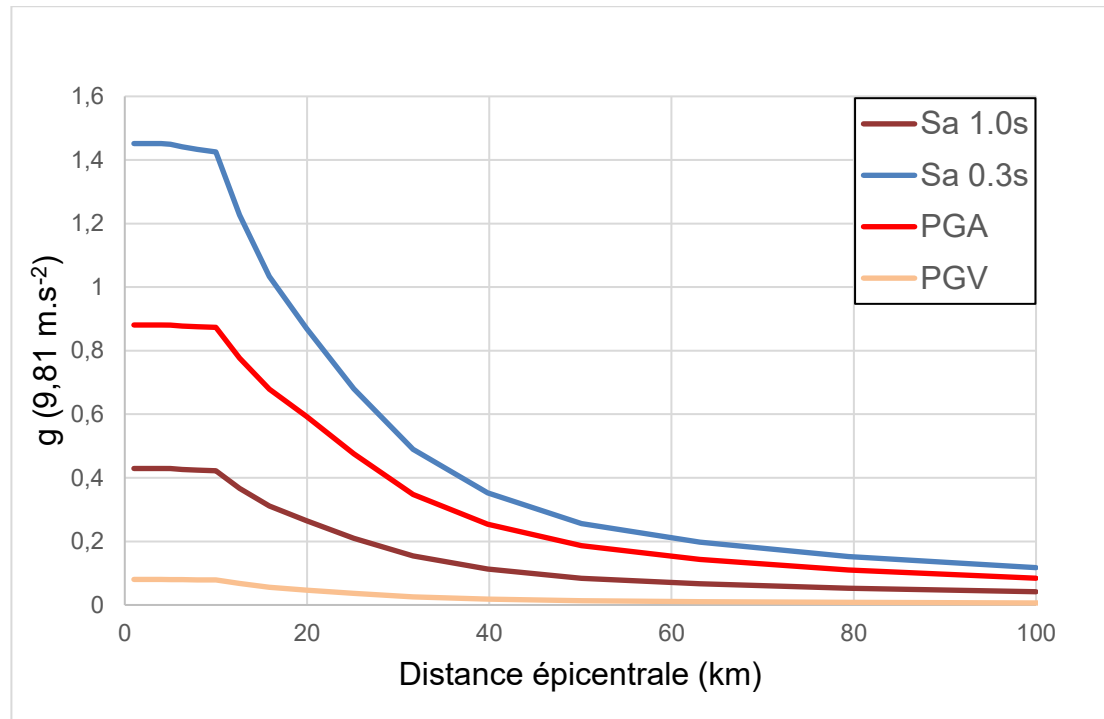


Figure 6 : GMPE pour un séisme de magnitude 7.25 (Atkinson et Adams, 2013)

Ensuite, le facteur d'amplification correspondant va être défini à partir des courbes de Boore et Atkinson (2008) en fonction du $V_{s,30}$ du site et du niveau des secousses sismiques (figure 7). Pour chacun des paramètres, plus le site a un $V_{s,30}$ faible, plus l'amplification sera sensible à l'intensité des secousses sismiques avec une diminution de l'amplification avec l'augmentation du niveau de secousses. L'amplification des ondes sismiques est plus élevée pour les paramètres $Sa^{1.0s}$ et PGV . Ce choix a été considéré pour être à la fois cohérent avec les *GMPE* utilisées et à la fois obtenir des valeurs plus précises du facteur d'accélération que celles définies dans le Code national du bâtiment (2015). En effet, les valeurs du facteur

d'amplification du Code national du bâtiment tirées des travaux de Finn et Wightman (2004) ne sont que des valeurs moyennes pour les classes de sol du Code national du bâtiment du Canada qui comprennent chacune un large éventail de valeurs de $V_{s,30}$.

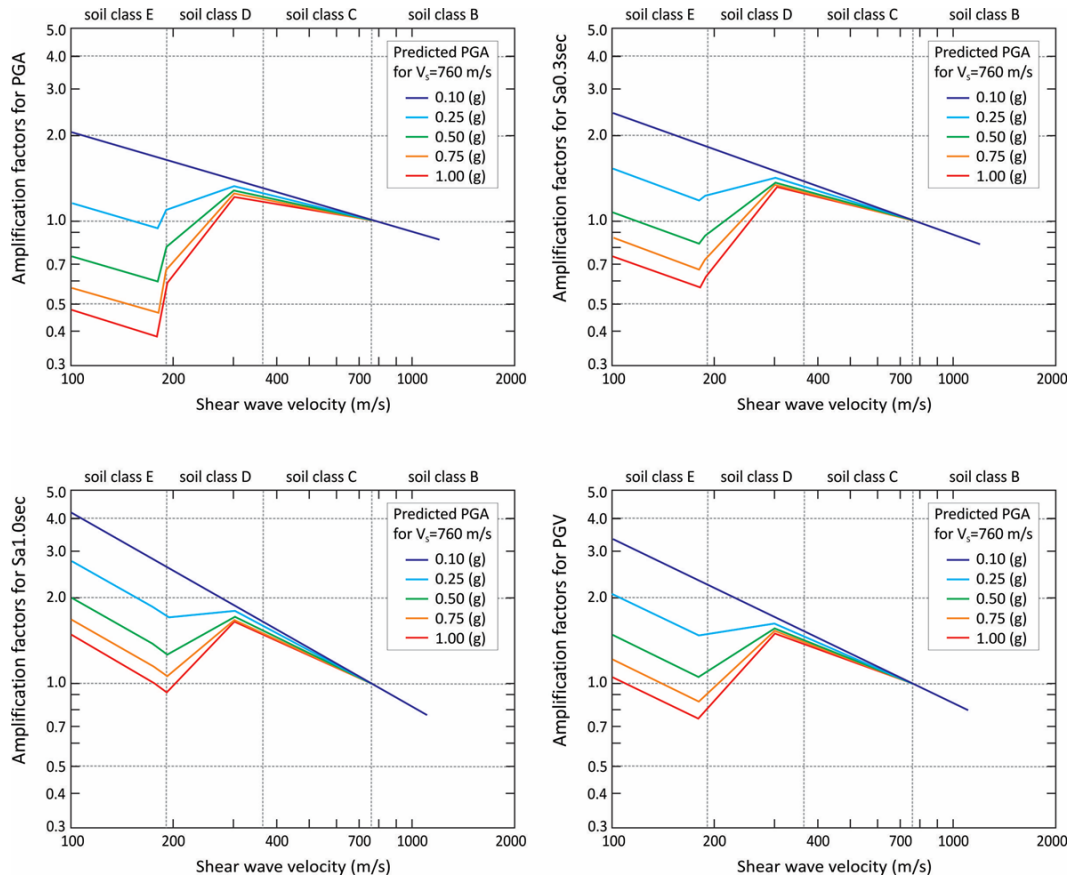


Figure 7 : Facteur d'amplification (Boore et Atkinson, 2008)

Finalement, les valeurs de PGA , de PGV , de $Sa^{0.3s}$ et de $Sa^{1.0s}$ vont être calculées en multipliant les valeurs de PGA , de PGV , de $Sa^{0.3s}$ et de $Sa^{1.0s}$ pour un sol de référence ayant un $V_{s,30}$ de 760 m/s par le facteur d'amplification du site donné par les relations de la figure 7.

2.3 ANALYSE DÉTERMINISTE DES DOMMAGES POTENTIELS AUXQUELS S'EXPOSENT CERTAINS BÂTIMENTS PUBLICS DE LA VILLE DE SAGUENAY

Une liste de quatre-vingt bâtiments publics essentiels a été élaborée en concertation avec les responsables de la sécurité de la Ville de Saguenay. Pour ces bâtiments, les probabilités de dommages pour 3 scénarios sismiques de magnitude 5, 6 et 7 selon l'épicentre du séisme de 1988 vont être déterminées (figure 8). Cette liste comprend entre autres les postes de police, les casernes de pompier, les usines de filtration et d'épuration d'eau, les hôpitaux et les infrastructures liées à l'éducation. La plupart des bâtiments sont situés à proximité des trois arrondissements de la ville de Saguenay à savoir Jonquière, Chicoutimi et La Baie (figure 8). Pour respecter la confidentialité des résultats de cette analyse, le nom des infrastructures et des bâtiments sera remplacé par un numéro de bâtiment.

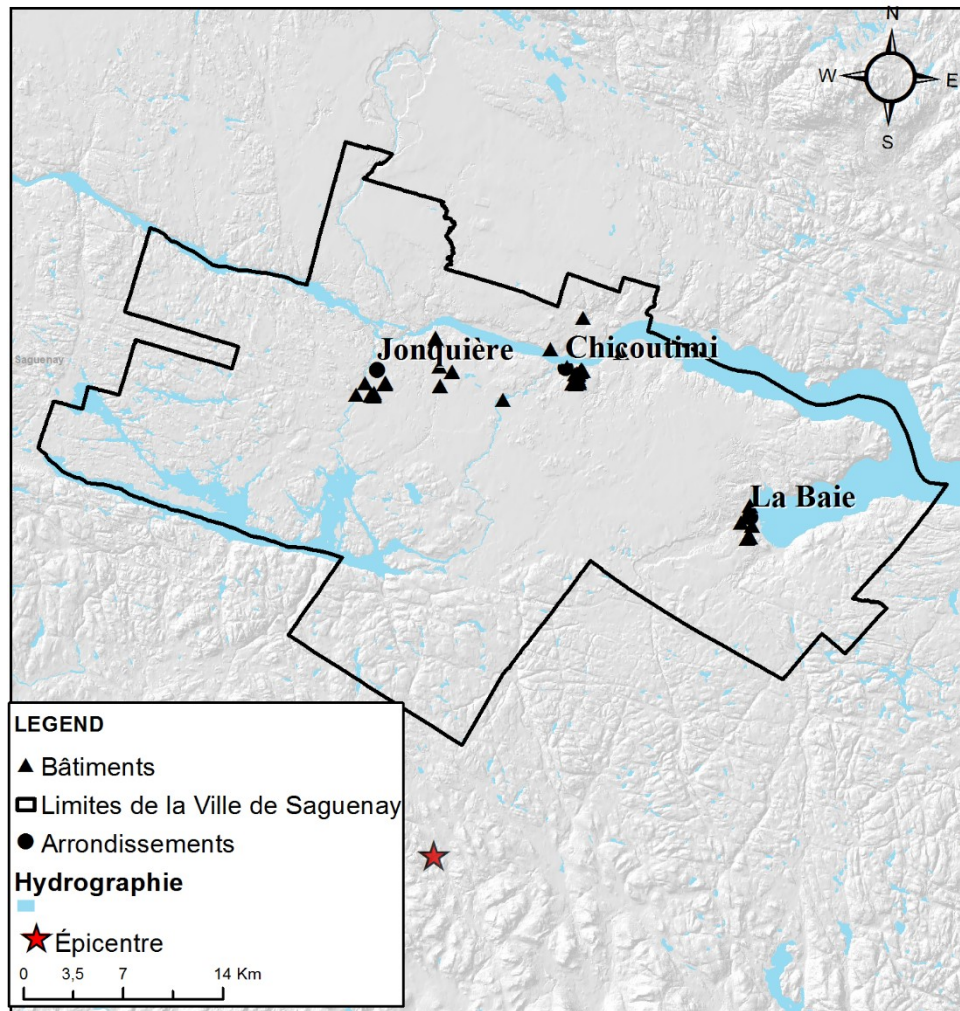


Figure 8 : Position des 80 bâtiments et de l'épicentre des séismes considérés

L'étudiant stagiaire en génie civil Simon Clément a réalisé un inventaire des caractéristiques structurales des bâtiments publics lors de l'été 2015 sous la supervision du professeur Ali Saeidi. Cet inventaire est le résultat d'une inspection visuelle des bâtiments, associée à une analyse des plans structuraux lorsque ceux-ci étaient disponibles. Suite à cet inventaire, le stagiaire a déterminé la typologie ainsi que le niveau de conception parasismique correspondant à chacun des bâtiments selon la typologie d'HAZUS (FEMA, 2013). Cette typologie a été validée par le professeur Ali Saeidi et la professeure Marie-Josée Nollet de l'École Technologie Supérieur.

Finalement, les dommages probables auxquels sont exposés les bâtiments considérés dans cette étude vont être déterminés pour les scénarios sismiques de magnitude 5, 6 et 7 à partir du logiciel ÉvaRisk (Abo El Ezz et al., 2013; Smirnof et al., 2015). Ce logiciel a pour principal avantage d'utiliser les paramètres de capacité et de fragilité du logiciel HAZUS (FEMA, 2013) pour précalculer les probabilités de dommage, tout en diminuant de manière significative le temps de calcul. Le logiciel ÉvaRisk a été exploité pour déterminer les dommages probables à partir des mesures d'intensité de $S_a^{0.3s}$ et de $S_a^{1.0s}$ calculées selon la méthodologie présentée dans la partie 2.2, ainsi qu'à partir de la typologie et du niveau de conception parasismique.

CHAPITRE 3

DISTRIBUTION SPATIALE DE LA VITESSE DES ONDES DE CISAILLEMENT ET DE LA PÉRIODE FONDAMENTALE DE RÉSONNANCE

Ce chapitre contient un article intitulé « *Spatial distribution of soil shear wave velocity and fundamental period of vibration – A case study of the Saguenay region, Canada* » présentant la méthodologie utilisée et les résultats de la cartographie de $V_{s,av}$, T_0 , $V_{s,30}$, et des classes de sol selon le Code national du bâtiment du Canada. Il a été soumis en date du 5 mars 2017 à la revue *Georisk : Assessment and Management of Risk for Engineered Systems and Geohazards*.

Spatial distribution of soil shear wave velocity and fundamental period of vibration – A case study of the Saguenay region, Canada

Thomas Foulon^a, Ali Saeidi^a, Romain Chesnaux^a, Miroslav Nastev^b, Alain Rouleau^a

^aCentre d'études sur les ressources minérales, Université du Québec à Chicoutimi, Saguenay, Canada ; ^bGeological Survey of Canada, Natural Resources Canada, Québec City, Canada

3.1 ABSTRACT

In order to realize a seismic risk analysis in the Saguenay territory, the spatial distribution of soil shear wave velocity and fundamental period of vibration was determined to define the potential of seismic site effects. The methodology used in this study is composed of three important steps. First, a 3D geological model of the surficial deposits was built considering their type, their spatial distribution, and their thickness. Secondly, representative average V_s values were determined for each of the major soil units. Finally, the average shear wave velocity from ground surface to the bedrock (V_s), the shear wave velocity of the top 30 meters (V_{s30}), and the fundamental site resonance period (T_0), was calculated over a regular grid for the study area. The results include the spatial distribution of the fundamental site resonance period (T_0), the average shear wave velocity in the first 30 meters and the spatial distribution map of the seismic soil classes from the National Building Code of Canada in the Saguenay territory.

Dans l'objectif de réaliser une analyse du risque sismique sur le territoire de la ville de Saguenay, la distribution spatiale de la vitesse des ondes de cisaillement et de la période fondamentale de résonance a été déterminée pour définir la susceptibilité des sols aux effets de site sismiques. La méthodologie utilisée dans cette étude est composée de trois étapes importantes. Premièrement, un modèle géologique en 3 dimensions des dépôts superficiels a

été construit considérant leurs types, leurs distributions spatiales et leurs épaisseurs. Deuxièmement, des valeurs représentatives de la vitesse des ondes de cisaillement ont été déterminées pour chacune des unités majeures de sols. Finalement, la vitesse moyenne des ondes de cisaillement de la surface jusqu'au socle rocheux, la vitesse moyenne des ondes de cisaillement dans les 30 premiers mètres et la période fondamentale de résonnance ont été estimées selon une grille régulière pour le territoire étudié. Les résultats incluent la distribution spatiale de la période fondamentale de résonnance, la vitesse moyenne des ondes de cisaillement dans les 30 premiers mètres et des classes de sols selon le code national du bâtiment du Canada dans le territoire de la ville de Saguenay.

3.2 INTRODUCTION

Local geological conditions have a major control on the intensity and frequency content of the ground shaking and on the spatial distribution of the damage during strong earthquakes (Bard et al., 1988). Surficial soil deposits, characterized with lower shear wave velocities than the bedrock, often tend to amplify and extend the duration of the earthquake motion. This can be explained by the fact that the seismic waves, which carry a specific amount of energy, slow down when low velocity soil medium is encountered. To compensate for the reduced propagation velocity and to conserve the amount of energy at the same time, the amplitude of the seismic waves increases. The potential for soil -amplification of the seismic energy is commonly referred to seismic site effect. The National Building Code of Canada - NBCD (IRCC, 2015) addresses this issue considering a standard seismic soil classification system and respective amplification factors calculated according to Finn and Wightman (2003). The seismic soil class is determined by the value of the average shear wave velocity (V_s) of the top 30 m (V_{s30}).

Despite the fact that V_{s30} is a useful parameter for engineers, its use as the only indicator variable to characterize the site response is still controversial. It is not always well correlated with the observed seismic amplification and in certain cases it can be a poor proxy for the estimation of the seismic site effects (Castellaro et al., 2008; Ghofrani et al., 2013). The fundamental period of resonance, T_0 , is therefore used as a complement parameter to understand this complex phenomenon from both theoretical and practical perspectives (Braganza et al., 2016; Ghofrani et al., 2013). Field data confirm that T_0 is equivalent to four times the shear-wave travel time from the bedrock to the ground surface in the vertical direction (Towhata, 2014). The highest seismic amplification can be expected in the T_0 range, whereas lower amplification peaks occur at subsequent periods of resonance (harmonics).

Several urban scale studies of the spatial distribution of V_{s30} and/or T_0 have been conducted recently in Canada (Benjumea et al., 2008; Motazedian and Hunter, 2008; Hunter et al., 2010; Leboeuf et al., 2013; Rosset et al., 2015). The common approach is to rely on relatively dense sets of field geophysical (noninvasive surface seismic reflexion and refraction techniques, downhole seismic surveys, landstreamer shear wave reflection profiling, etc.), geotechnical (standard penetration test, cone penetration tests) and geological (surficial geology, borehole logs) data to delineate zones most susceptible to seismic site effects. For regions with clustered or an insufficient number of V_{s30} and T_0 data, however, it may be inadequate to rely on sparse field data only. In such cases, geological and geomorphological information are used as ancillary data to increase the confidence in the results. To this end, a simplified geological model is built and typical values of shear wave velocities are assigned to assess the seismic soil class (Wills and Clahan, 2006; Benjumea et al. 2008; Nastev et al. 2016a and b). The purpose of the geological model is to define the type and the thickness of the shallow soil layers for a site. In particular, in a case of a complex geology, an accurate geological model is required to represent at best the observed spatial heterogeneity to improve the mapping of V_{s30} and T_0 .

The main objective of this paper is to describe the methodology applied for the generation of the V_{s30} and T_0 spatial distributions for the Saguenay region in eastern Canada. These maps were obtained using a combination of a 3D geological model and typical V_s values assigned to the major soil units. The major sources of data were provided by the database developed for the mapping project conducted in the Saguenay–Lac-Saint-Jean region as part of the «Groundwater Knowledge Acquisition Program» of Quebec (CERM-PACES, 2013; Chesnaux et al., 2011), and the standard and cone penetration test data acquired by personal communication with the Quebec Ministry of Transport. This first evaluation of V_{s30} and T_0 represents a valid starting point for seismic scenarios and risk assessments in the study region.

3.3 STUDY AREA AND GEOLOGY

The City of Saguenay, located in the Saguenay–Lac-Saint-Jean region in eastern Canada, covers a broad area of 1,136 km² and has a population of 147,100 inhabitants (Figure 9). The city is divided in three main districts, Chicoutimi, Jonquière and La Baie, and includes several neighbourhoods such as Shipshaw, Laterrière and Bagotville (Figure 9). It is located in the southern part of the east-west trending Saguenay graben (Hebert and Lacoste, 1998). Two physiographical units are encountered: the highlands of the Canadian Shield mainly located to the south and west of the territory, and the Saguenay lowlands present in the central and the northern part of the study area (Dion, 1986). The range of elevations for the highlands is between 200 and 400 m, whereas it is between 90 and 160 m for the lowlands.

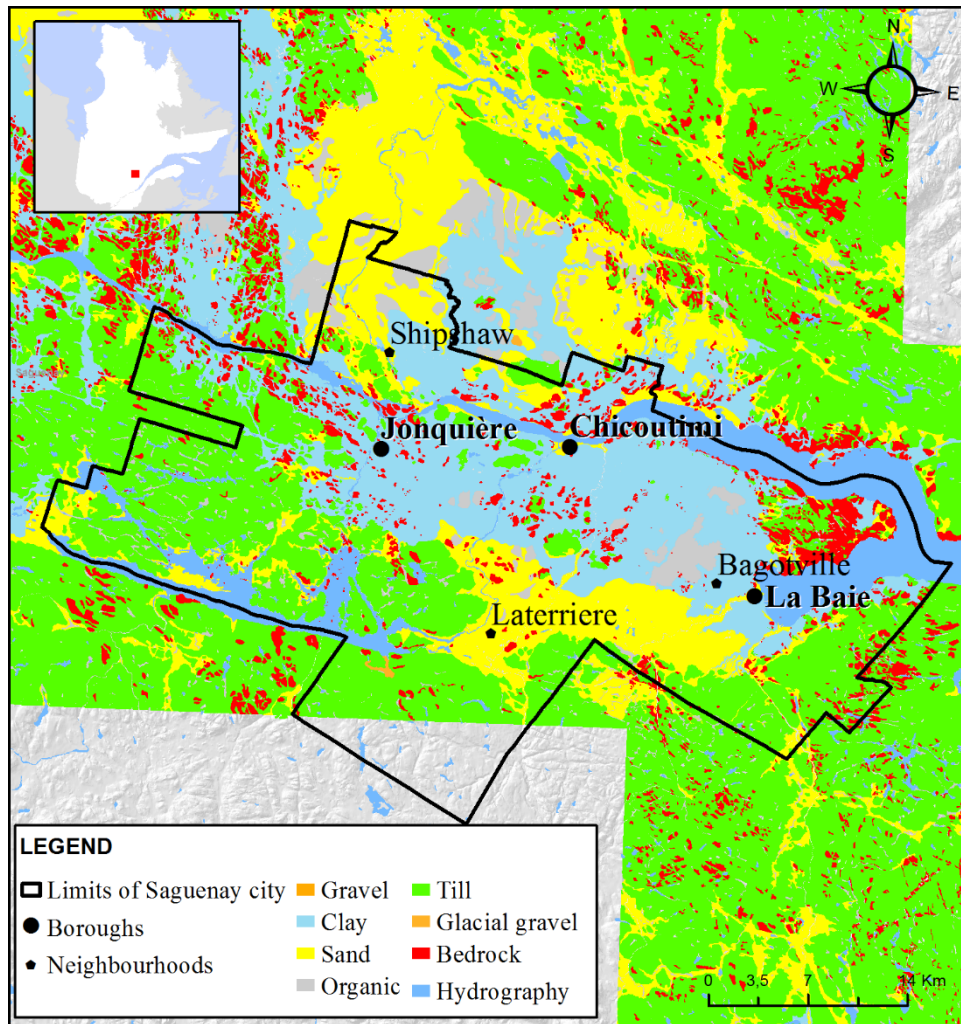


Figure 9 : The City of Saguenay area, its districts and neighbourhoods mentioned in the manuscript. The background consists of the simplified surficial geology map (modified from Daigneault et al. 2011)

The City of Saguenay is located in the Grenville geological province (Davidson, 1998) of the Canadian Shield. Most of the bedrock is composed of crystalline Precambrian rock consisting of three broad units: gneissic units, plutonic rocks with pyroxene, and granitic rocks. In the north-eastern part, remnants of Ordovician limestone units are preserved on top of the crystalline bedrock.

The stratigraphy of the unconsolidated Quaternary deposits has been studied by several authors, e.g., Lasalle and Tremblay (1978), Dion (1986), Paradis et al. (1998). More recently, Daigneault et al. (2011) created a detailed surficial geology map of the study region (Figure 9). The surficial stratigraphy is characterised by a succession of continental and marine units deposited in the late Quaternary, at the end of the Wisconsinian glacial episode and the following early Holocene (Lasalle and Tremblay, 1978). Quaternary sediments can be grouped into five major stratigraphic units (from bedrock to surface): till, glaciofluvial sand and gravel, fine post-glacial sediments (clay and silt), coarse post-glacial sediments (sand and gravel), and various post-glacial floodplain, organic and landslide sediments. The spatial distribution of these units is strongly affected by the bedrock topography (Daigneault et al. 2011).

- Till covers the major part of the bedrock in the study region. In the lowlands, the till is overlain by the post-glacial clayey unit. It is continuous, grey, compact, calcareous with a predominant content of sand (50-80%) and have a varying thickness between a few meters to a little more than 10 meters, in particular along the main rivers. In the high-lands, the till unit is generally discontinuous, with sand matrix and average thickness of about 1 meter.
- Glaciofluvial gravel was deposited by the glacial meltwater. These sediments are present along the escarpment separating the high-lands from the low-lands the so-called Laterrière-Bagotville corridor (along the axis connecting Laterrière to Bagotville). Here, the buried bedrock valley is filled with glaciofluvial gravel material composed of stratified sand and gravel with numerous blocks. Its thickness may reach 35 meters.
- Fine post-glacial sediments (clay and silt) are related to the invasion of the Laflamme Sea that covered the low-lands of the Saguenay–Lac-Saint-Jean region between 13,100 and 10,600 years before present (Bouchard et al., 1983). This is the thickest and the most widespread stratigraphic unit in the Saguenay graben and can be found mainly at

elevations below 168.5 meters (Daigneault et al., 2011). Clayed deposits can be present in two facies: massive clay and stratified clay and sand.

- Coarse post-glacial sediments consist of sand and gravel that are also related to the invasion of the Laflamme Sea. They were deposited mainly in the low-lands of the Saguenay. These deposits are shallow water sediments resulting from reworking of the sediments in place and consisting of deltaic sand, reworked till, reworked glacio-fluvial sediments and coastal cordon sediments (Lasalle and Tremblay, 1978).
- In addition of these four main units, the most representative of the Quaternary stratigraphy, other sediments of limited extent can also be found in the Saguenay–Lac-Saint-Jean region, such as floodplain sediments, bog sediments and landslide deposits. The floodplain sediments are generally composed of silt, sand and gravel deposited in the valleys of the current rivers with a maximum thickness of 3.5 meters (Daigneault et al., 2011). The bog sediments, composed by fibrous peats, extend at the proximity of La Baie, Chicoutimi, Laterrière and the north-eastern part of the study area (Dion, 1986). The landslide deposits are composed of reworked sand and reworked post-glacial clay. These deposits are principally present in the Shipshaw area, where a major landslide occurred in 1971 (Lasalle and Tremblay, 1978).

3.4 CONSTRUCTION OF THE 3D GEOLOGICAL MODEL

The methodology used to map the spatial distribution of V_{s30} and T_0 comprises three main steps. First, a 3D geological model of the surficial deposits was built considering their type, their spatial distribution, and their thickness. Secondly, representative average Vs values were determined for each of the major units. The V_{s30} and the T_0 values were then calculated over a regular grid to obtain the spatial distribution maps of these parameters.

3.4.1 COLLECTED DATA

The database developed by the PACES (CERM-PACES, 2013; Chesnaux et al., 2011) contains 3,342 borehole logs distributed over the Saguenay territory which originates from various sources and are of unequal quality (Figure 10). The application of a procedure based on the degree of reliability (CERM-PACES, 2013) has allowed to select 2,487 of these logs to be considered in this study. A pre-processing step has included a reinterpretation of the available textural description into geological information. In addition, 26 stratigraphic cross-sections were available from the recently completed hydrogeological study in the region (CERM-PACES, 2013).

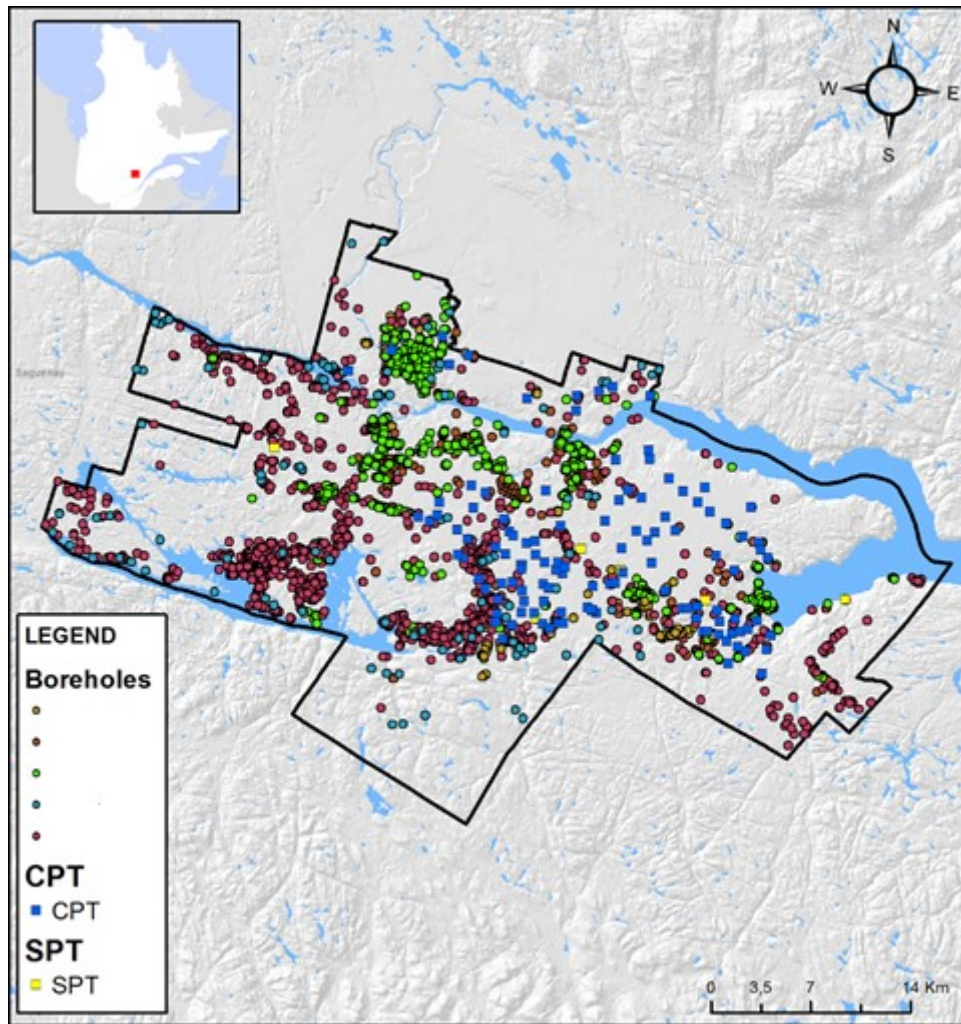


Figure 10 : Spatial distribution of the borehole logs, cone penetration test (CPT) and standard penetration test (SPT) used in this study

The collected data are more concentrated along roads and in residential areas (Figure 2). Cluster of data is also observed in areas exposed to landslide. Elsewhere, data is sparse or inexistent requiring interpretation of geological knowledge as proxy to actual field measurements.

The stratigraphic information has been complemented, in particular on the low borehole density sectors, by using the surficial geology map from Daigneault et al. (2011) and a recent

model of the bedrock topography (CERM-PACES, 2013; Chesnaux et al., 2017). The surficial geology map provided high quality information to constrain the top of the geological model and was particularly useful to represent the limits between the layers on the surface as well as to model the glacial till in the highlands based on the stratigraphic descriptions. The bedrock topography was generated following a rigorous protocol that includes testing different interpolation methods using a portion of the available field data, augmented by virtual boreholes equally spaced (500 m) along each stratigraphic cross-sections and that incorporate geological knowledge of the region. The other part of field data was used to validate the tested interpolation method (CERM-PACES, 2013; Chesnaux et al., 2017).

3.4.2 MODEL BOUNDARIES

The terrain topography defines the top boundary of the model. A digital elevation model (DEM scale 1:20,000) was extracted from the Quebec topographic database of the Ministry of Energy and Natural Resources (MERN, 2017). It hypsometric precision is more or less 2 meters.

The bottom boundary of the model corresponds to the topography of the bedrock, which may be locally complex in the study area (Hebert and Lacoste, 1998). This problem has been solved by using the model of the bedrock surface (CERM-PACES, 2013; Chesnaux et al., 2017) described above.

3.4.3 REGROUPING OF THE GEOLOGIC UNITS

All of the lithologic descriptions present in the database have been grouped into five geologic units, namely from the bottom up, till, glaciofluvial gravel, post-glacial clay, sand and gravel. Each of these main units covers a large portion of the study area and follows a known sequence of geological events. The glaciofluvial gravel was considered separately from the

other coarse sediments because of its lower position in the vertical stratigraphy (higher compaction) and the particular deposition processes preceding the invasion of the Laflamme Sea. The upper unit of sand and gravel in the model is composed of different types of gravel: the gravel of the Laflamme Sea, the floodplain gravel, but also the part of the glaciofluvial gravels that is outcropping at the ground surface. The modelled clay considers all the post-glacial sediments with dominantly fine matrix (silt and clay), whereas sand unit represents the sand of the Laflamme Sea, the floodplain sand and the reworked sand.

3.4.4 MODELLING PROCEDURE

Leapfrog Geo (ARANZ Geo Limited, 2014) is the software used for the modelling of the stratigraphy. This software uses implicit modelling method that reduces data manipulation applying polylines, which are segments that define the sedimentary interfaces, and polygons representing the sedimentary interfaces interpolated from the polylines. It applies the projection of the user-provided digital elevation model imposing the use of only one projection system over the entire model. Therefore, the coordinates of all the data used for the modelling were first unified in the North American 1983 (NAD 83) Transverse Mercator projection system. Polygons that represent the sedimentary interfaces were interpolated from the information obtained from field and virtual (knowledge driven) data integrated into the model. In both cases, this information was input either as point (boreholes) or polyline (cross-sections, maps). The modelled interfaces were corrected by manually drawing polylines and adding additional virtual data to further constrain the model. The model was run again with this reinterpreted information to refine the polygons. Once the sedimentary interfaces were obtained with a satisfying accuracy, the software automatically generated *GeoVolumes*, 3D features representing volumes of each stratigraphic layer.

A number of assumptions and approximations are required in order to develop a stratigraphy that represents the geological history of the region and to model sectors with low

data density. The modelling process started with the determination of the top boundary (DEM combined with the map of the surficial sediments) and the bottom boundary (bedrock surface). Next, the upper and the lower surfaces of the clay unit were modelled as this is the major unit in the low-lands, an area known for its complex stratigraphy. The till unit was simulated as a continuous layer between the clay unit and the bedrock, with a maximum thickness of 10 meters in the low-lands (Dion, 1986). In the high-lands, where the coverage with field data is practically inexistent, the till layer was modelled as discontinuous with an average thickness of 1 meter (Daigneault et al., 2011). The gravel layer was distributed locally on top of the clay unit. Likewise, the sand layer was placed on top of the clay or the gravel unit. In both cases, the surficial map was used to limit the extent of these coarse units.

The glaciofluvial gravel has represented a major modelling challenge since its boundaries are poorly known and the number of boreholes that intercept this unit is insufficient to allow a good characterisation (CERM-PACES, 2013). In the Laterrière-Bagotville corridor, this unit is assumed to be located between the till and the clay layers. The limits of this unit were defined using several borehole data, the simplified contours established by Lasalle and Tremblay (1978), the limits of the buried valley as observed from the bedrock topography in the Laterrière-Bagotville corridor, and most importantly the expert knowledge on the deposition of the glaciofluvial deposits.

Another challenge was the sector of Shipshaw, which presents a complex stratigraphy due to the presence of sediments reworked by landslides. Two cross sections constructed by Lasalle and Tremblay (1978) show a sequence of interchanging clayey and sandy sediments. Under such conditions, it became obvious that a realistic stratigraphy of the ancient landslide site seem too complex to be integrated in the present model. Therefore, thin sequences of about few meters of thickness were ignored whereas the others were regrouped into the two dominant units, clay at the bottom and sand on top.

3.4.5 3D MODEL

The top of the 3D geological model, the thickness of deposits and two major cross-sections are presented in Figures 11, 12 and 13 respectively.

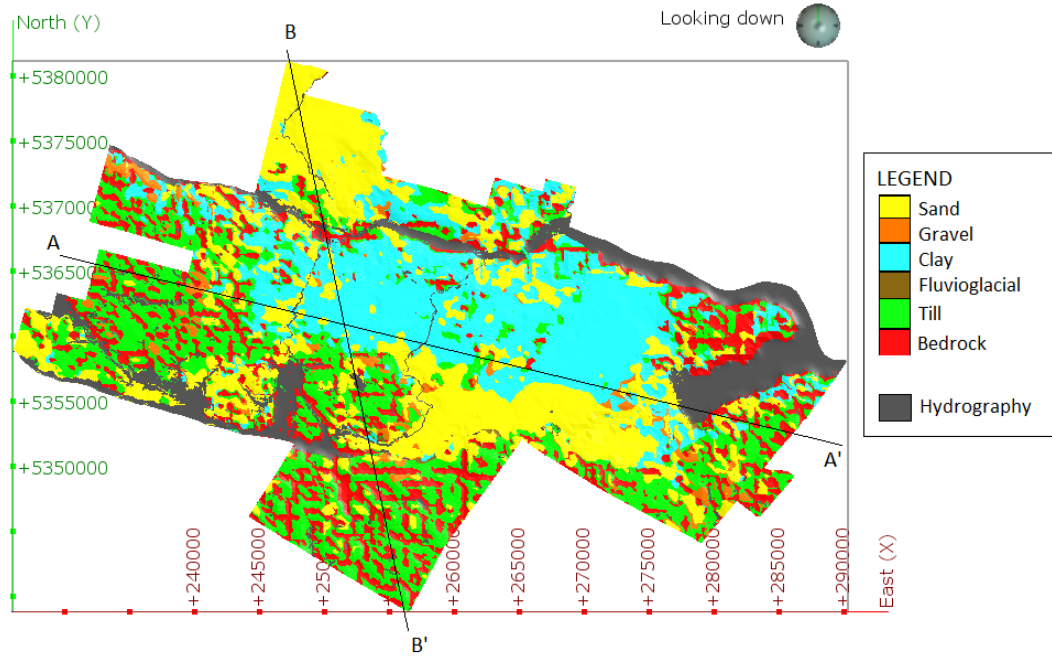


Figure 11 : Distribution of the surficial deposits. The cross sections are shown in

Figure 13

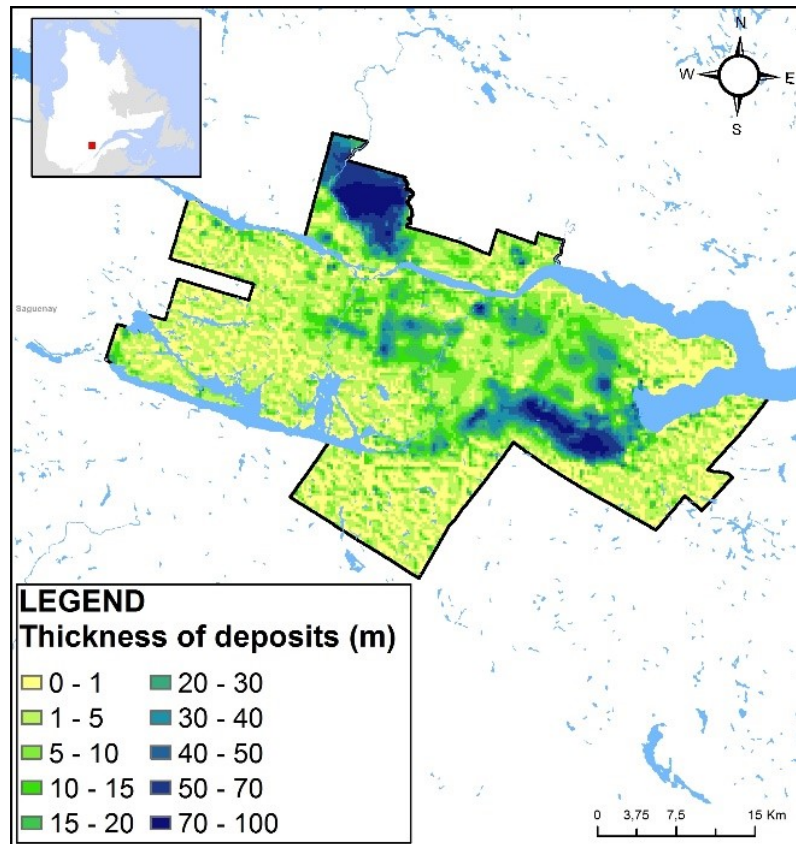


Figure 12 : Thickness of deposits

A major characteristic of the model is the presence of a discontinuous thin till layer alternating with rock outcrops in the highlands. Above this layer, some discontinuous fluvioglacial gravel and sand deposits can be observed over part of the area (Figure 11 and 12). The thickness of the sediments varies up to 3 meters. The thickest deposits are observed in the Shipshaw area, the Laterrière-Bagotville corridor and locally in the central portion of the lowlands. The clay layer is dominant in the stratigraphic sequence with a thickness up to 80 meters, in the lowlands, where only a few bedrock outcrops can be observed. Coarse sediments (sand and gravel) are present to the north and to the south where vast 10-20 meters-thick blankets of these sediments are observed along the escarpment separating the lowlands from the highlands. The fluvioglacial deposits layer, situated along the Laterrière-Bagotville corridor, has a thickness that varies between 10 and 35 meters.

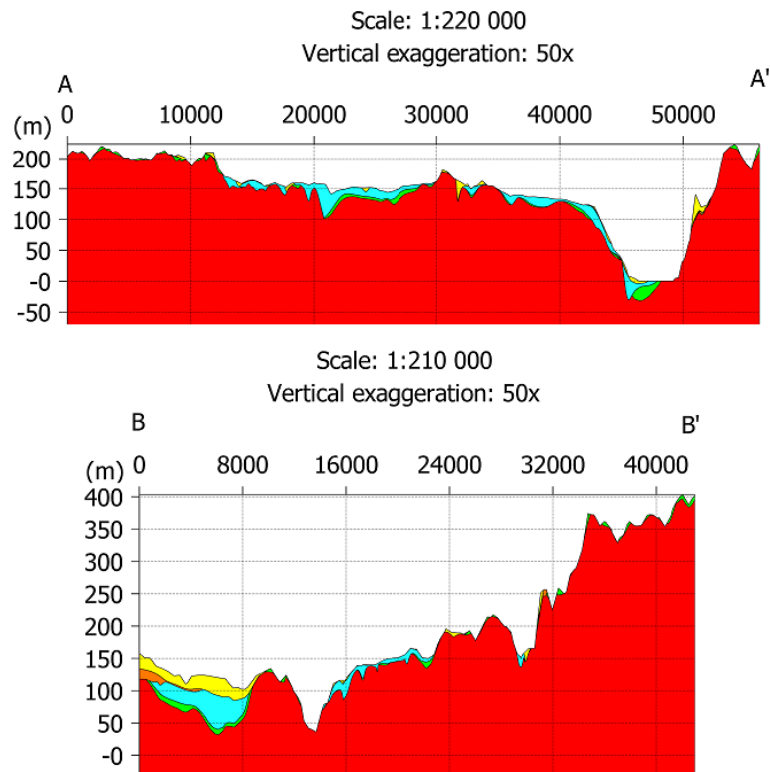


Figure 13 : Stratigraphic cross sections. The scale is in meters. The location of cross sections is indicated in Figure 11

The A-A' cross-section (Figure 13), orienting W-NW/E-SE, overlaps the highlands of Saguenay at its two extremities and crosses the lowlands in its middle. A thin discontinuous till layer of one meter is observed in the highlands. The lowlands are characterised by an important thickness of clay in the bedrock depressions. The B-B' cross section, orienting N-NW/S-SE, crosses the lowlands in its 30 km to the NW and then the highlands to the SE. The first 9 kms, in the Shipshaw area, present an important thickness of sand and clay. In the middle of the cross-section, the thickness of clay is dependant of the bedrock topography. The high-lands of Saguenay presents a thin discontinuous till layer, locally covered by fluvioglacial granular sediments (gravel and sand).

3.5 SHEAR WAVE VELOCITY VALUES

After defining the spatial distribution of the type and the thickness of the deposits, representative average values of V_s were assessed and assigned to each stratigraphic unit in order to define the spatial distribution of V_{s30} and T_0 . The results of 64 standard penetration tests and 122 cone penetration tests were obtained for this study from the Quebec Ministry of Transport. Several empirical relationships have been proposed in the literature to estimate the shear wave velocities from these tests (Hegazy and Mayne, 1995; Mayne and Rix, 1995; Ohta and Goto, 1978; Robertson, 2009).

An analysis of the sediment type, deposition mechanism and origin was conducted in order to determine the most appropriate empirical relationship. For the cone penetration test data, a pre-treatment was done to remove the intervals that are not associated with the clay. Then the empirical relationships of Mayne and Rix (1995) was selected for the estimation of the V_s (Annexe B) as it was established from Canadian sites with clays deposited under glaciomarine conditions, as this is the case in the study area.

It can be observed in Figure 14a that the V_s values decrease considerably in the first 5 meters from the surface. This phenomenon is a result of the desiccation and freeze-thaw processes in the surficial layer, or due to the artificial overconsolidation along roads as preferred location for testing (Hunter et al., 2010). Below 5 meters, the V_s values increase with depth. The average range of V_s values is between 80 and 250 m/s.

For the standard penetration test, the empirical relationship for medium sand by Ohta & Goto (1978) was selected (Annexe B), as the medium-size sand is dominant in the study area (Dion, 1986). The profile of shear wave velocity interpreted for the sand (Figure 14b) shows that V_s increases from 80 m/s to 260 m/s with depth.

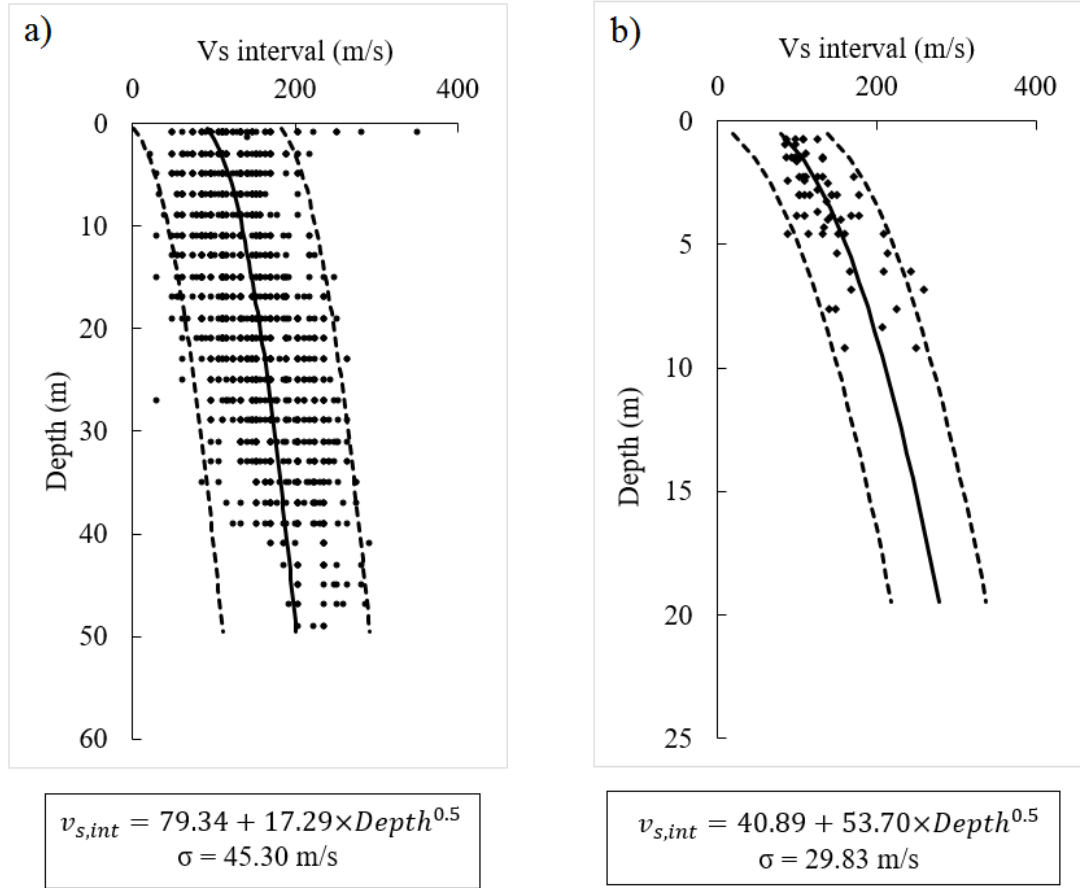


Figure 14 : Interval shear wave velocity vs depth relationship for a) clays, and b) sandy soils. Bold lines indicate average values; dashed lines indicate ± 2 standard deviations

(σ)

Typical V_s -depth relationship were determined applying a simple regression analysis; the regression equations are presented in Figure 14a and b. As expected, the sandy soils display higher V_s than clays (Figure 14a and b). Both units present a significant scatter in the shear wave velocity values. This scatter can be the result of either the variability of the grain-size distribution and of the compaction, or the greater uncertainties introduced by the geotechnical data. A comparison can be made of V_s -depth relationships for the same soil types in the St. Lawrence Lowlands (Figure 15) using results presented by Nastev et al. (2016a and b). The relationships for the clay have a similar shape in both areas, but with average values

about 10 m/s lower in the present study for equal depths. The similar shape is consistent considering the same origins and glaciomarine deposition mechanisms in both cases. It seems, however, that the erosional processes in Saguenay, where in average 10 to 15 meters of sediments were eroded (Dion, 1986), were less active than in the St. Lawrence Lowlands. The difference in the erosional processes results in lower overburden pressures and less compacted clays in the Saguenay and explains the lower value of V_s (Dobry and Vucetic, 1987). The V_s -depth relationships for sandy soils, on the other hand, have a similar shape as well but the V_s values of the present study are considerably lower, 50 m/s in average for equal depth. However, this difference, for the sand layer, is lower than the standard deviation (σ) of the V_s (52.4 m/s for Nastev et al. and 29.83 m/s for the present study). This difference between the relationships can be the results of a specific characteristic of the sand in the present study.

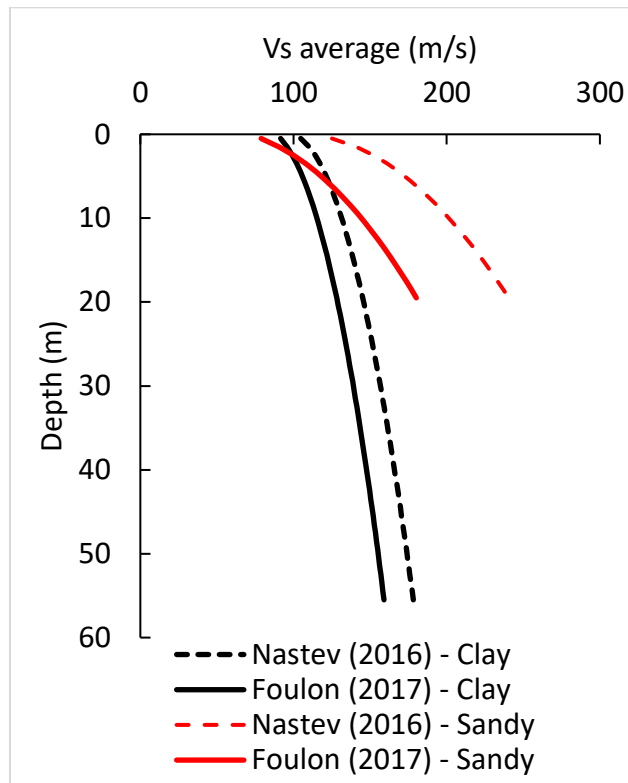


Figure 15 : Average shear wave velocity vs. depth relationship for clay and sandy soils of Nastev et al. (2016a and b) and the present study

The V_s -depth relationship of the sand layer was considered to be a good approximation of the average V_s for the granular sediments (sand and gravel). This consideration assumes that the gravel layer has a similar or higher V_s than the sand layer, and that the gravel layer covers a much smaller area than the sand layer.

Concerning the till unit and the bedrock, no V_s data can be obtained for the study area. Therefore, representative values proposed by Nastev et al (2016a and b) were considered: 385 m/s for till and of 2500 m/s for the bedrock.

3.6 MAPPING OF V_{s30} AND T_0

The mapping of V_{s30} and T_0 was made using the 3D geological model of surficial deposits and the typical values of shear wave velocity assigned to each unit. First, the type of deposits, as well as values of thickness and depth were extracted from the 3D geological model for each cell of the raster (250 x 250 m). Then the average V_s of each geological unit in the cell was determined using the representative values assumed in this study. The V_{s30} value for each cell was computed using the following equation,

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum \frac{d_n}{V_{sn}}} \quad (1)$$

where, d_n is the thickness of the n^{th} geological unit in the first 30 meters of soils, and V_{sn} is the V_s value of the respective interval.

Likewise, the average V_s from the surface to bedrock (V_{sav}) was obtained applying,

$$V_{sav} = \frac{d}{\sum \frac{d_n}{V_{sn}}} \quad (2)$$

where, d is the total deposit thickness, d_n is the thickness of the n^{th} sedimentary layer, and V_{sn} is the V_s value in the n^{th} sedimentary unit in the cell. This allows the computation of T_0 as follows:

$$T_0 = \frac{4d}{V_{sav}} \quad (3)$$

The spatial distribution of V_{sav} , T_0 , V_{s30} and of the seismic soil classes generated in this study are presented in Figure 16.

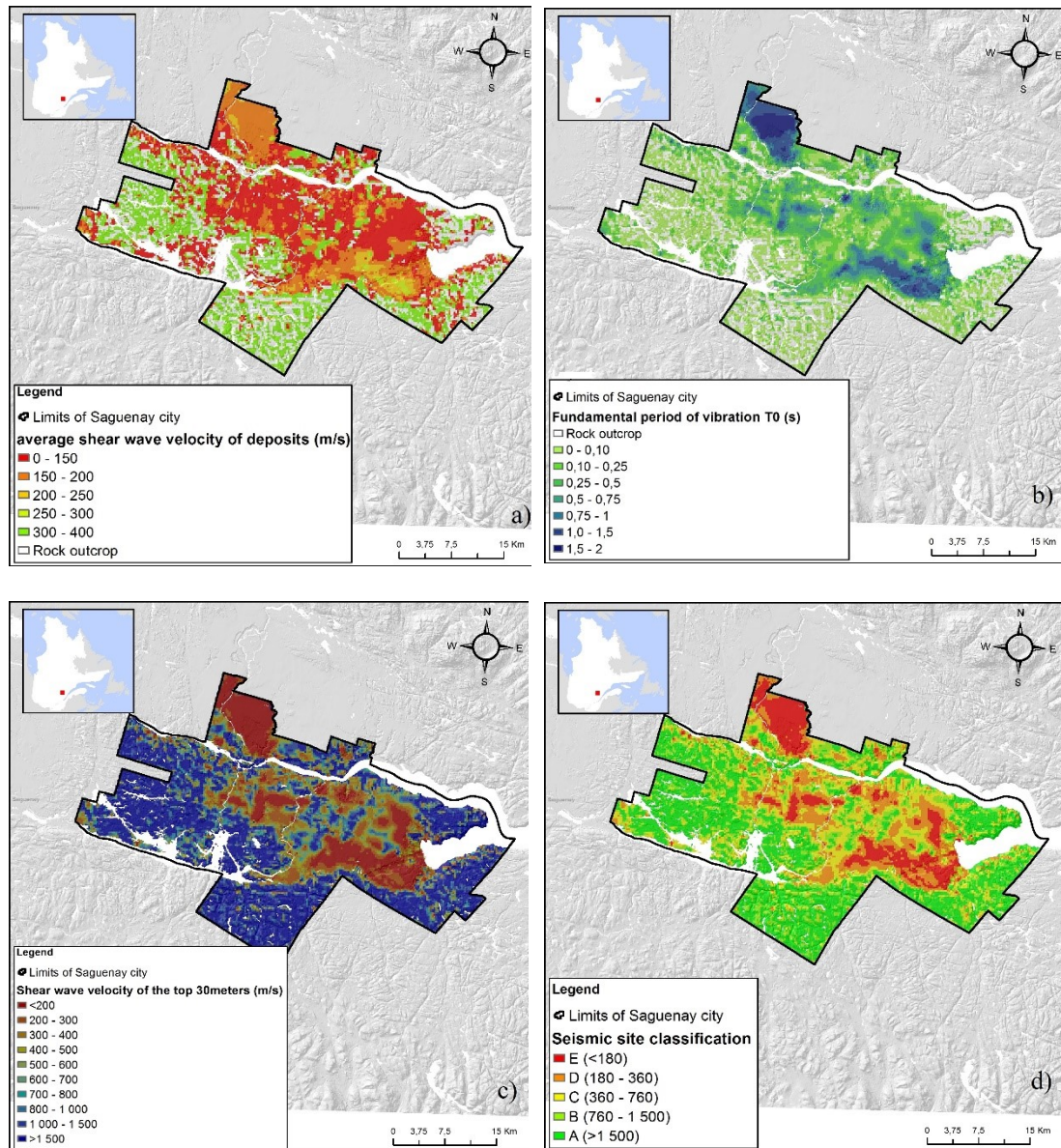


Figure 16 : Spatial distribution maps of a) V_{sav} , b) T_0 , c) V_{s30} and d) seismic soil classes according to NBCC 2015

It can be observed in Figure 16a, b, c and d that the lowest V_s values and the longest T_0 are characteristic of the thickest deposits found in the low-lands of Saguenay, particularly in the Shipshaw area, in the Laterrière-Bagotville corridor, and locally in the proximity Jonquière and Chicoutimi). The highest V_s and shortest T_0 values, on the other hand, are associated to the shallow till layer and rock outcrops located in the highlands. Accordingly, thicker soil

deposits with longer fundamental periods of vibrations are more sensitive to distant earthquakes which have their high frequency content filtered out; thinner deposits will rather intensify closer earthquakes bringing significant energy at lower periods. As well, transitional V_{s30} zones can be observed between the low V_s sedimentary basin and high V_s rock outcrops that are present in the Shipshaw area and along the escarpment separating the low-lands from the high-lands. These zones can be particularly affected by other seismic site effects such as the basin edge effect or the seismic wave focusing influenced by the shape of the basins and by the gradual pinching of the surficial sediment.

3.7 DISCUSSION AND CONCLUSION

The combination of the spatial distribution of V_{s30} and that of T_0 developed in this study provides a good understanding of the potential seismic site effects in the territory of the city of Saguenay. The methodology applied in this study consisted of three major steps. First, a 3D geological model of the surficial deposits was built considering their type, their spatial distribution, and their thickness. This model was used to provide ancillary data to complement the relatively sparse shear wave velocity measurements. Secondly, representative average V_s values were determined for each of the major soil units. Finally, the average shear wave velocity from ground surface to the bedrock (V_s), the shear wave velocity of the top 30 meters (V_{s30}), and the fundamental site resonance period (T_0) were calculated over a regular grid of 250x250 meters to obtain a map of their spatial distribution.

The development of the 3D geological model and the relationships of the shear wave velocity versus depth, were based on a relatively rich database of field measurements. However, the quality, the reliability and the distribution of these data across the study area are variable. Improving the geological model, would require an increase in data density and a better spatial distribution. Sectors of former landslides constitute a major limit of this model. The stratigraphy in these sectors can be locally very complex due to sediment reworking. The 3D

geological model represents a simplification of the stratigraphy of the former landslides; however, the total thickness of deposits and the thickness of the till layer are not impacted by this simplification. The representative values of V_s were determined either from the interpretation of penetration test data (clay layer and granular sediments layer) or from relationships published in the literature (till and bedrock). The utilization of penetration test data to determine V_s may introduce high uncertainties. Most appropriate methods of determination of the V_s must be implemented for the sand layer, in order to determine whether the discrepancies of V_s values between this study and that of Nastev et al. (2016a and b) are a result of particular field conditions or inappropriate methods of investigation. The representativeness of V_s values for the till layer and the bedrock, would be improved by actual field data of this parameter from these geological units. Finally, the cell size of the raster was chosen following expert opinion, whereby the cell size would be consistent with the definition of the 3D geological model and with the complexity of the geology. A statistical determination of the most appropriate cell size should be conducted.

These spatial distributions were defined according to a rigorous approach combining geological interpretations and a reliable database of geological surveys and penetration test results. This approach results in a 3D geological model that represents the complex stratigraphy in the Saguenay territory. This representativeness contributes to the good resolution of the spatial distribution maps. The combination of the spatial distribution of both V_{s30} and T_0 developed in the Saguenay territory provides a better understanding of the potential seismic site effects than a spatial distribution of V_{s30} alone.

The spatial distributions of V_{s30} and T_0 that were achieved provide a useful assessment of the sectors that are the most sensitive to seismic site effects in the Saguenay territory. They also incorporate the current understanding and the available geotechnical data about the deposits of the study area. The spatial distribution of V_s , of V_{s30} and of T_0 presented in this paper constitute an important first step for the realization of ground motion maps for typical

seismic scenarios. These maps are currently being developed to conduct a seismic risk analysis of critical buildings in the study area.

3.8 AKNOWLEDGEMENTS

The authors thank the Geological Survey of Canada, the city of Saguenay, the Natural Sciences and Engineering Research Council of Canada and the *Fondation de l'UQAC* for the financial support for the study. Gratitude goes to the team of the PACES project at UQAC for the access to the database, particularly Julien Walter for useful discussions and precious help in the development of the 3D geological model.

CHAPITRE 4

ÉVALUATION DES DOMMAGES POUR CERTAINS BÂTIMENTS PUBLICS DE LA VILLE DE SAGUENAY

Dans l'objectif d'évaluer la probabilité de dommages de certains bâtiments publics de la Ville de Saguenay pour trois scénarios sismiques de magnitude 5, 6 et 7, le niveau des secousses sismique pour chacun des scénarios a été déterminé à partir de loi d'atténuations et de la carte de $V_{s,30}$ développée dans cette étude. La typologie et le code de design sismique ont été déterminés pour 80 bâtiments public de la Ville de Saguenay. Finalement, la probabilité de dommage des bâtiments a été déterminée à l'aide du logiciel *EvaRisk* (Abo El Ezz et al., 2013; Smirnoff et al., 2015).

4.1 DÉVELOPPEMENT DES CARTES DE SECOUSSES SISMQUES POUR UN SÉISME DE MAGNITUDE 7,25

Les figures 17, 18, 19 et 20 présentent respectivement les valeurs de PGA (accélération maximale au sol), PGV (vitesse maximale au sol), $S_a^{0.3s}$ (accélération spectrale pour une période de 0.3 seconde) et $S_a^{1.0s}$ (accélération spectrale pour une période de 1.0 seconde) pour le scénario d'un séisme de magnitude 7,25 localisé à 30 km au sud du centre-ville de Chicoutimi. Ces paramètres ont été estimés à partir des lois d'atténuation (*GMPE*) de Atkinson et Adams (2013), de la distribution spatiale du $V_{s,30}$ développée dans cette étude et des facteurs d'amplification de Boore et Atkinson (2008).

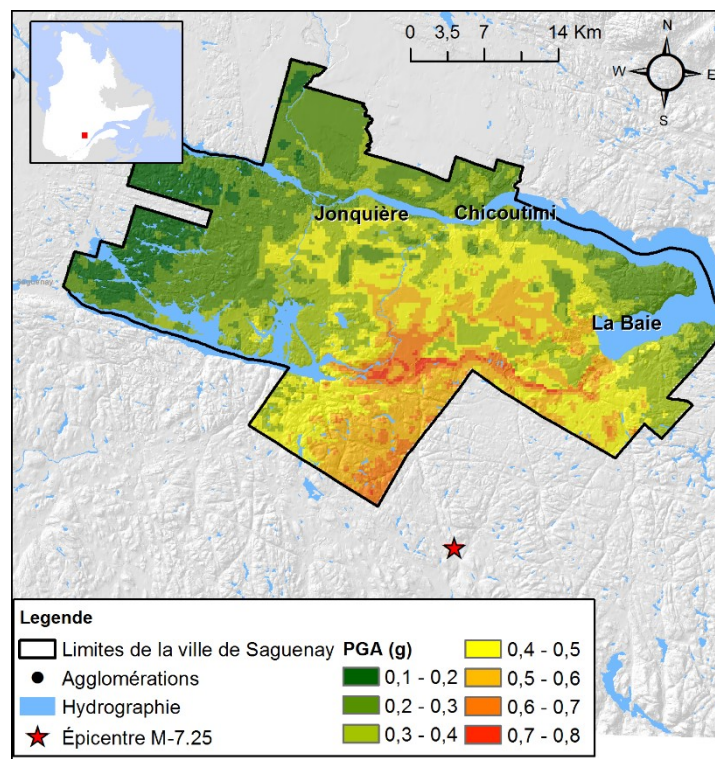


Figure 17 : PGA pour un séisme de magnitude 7,25

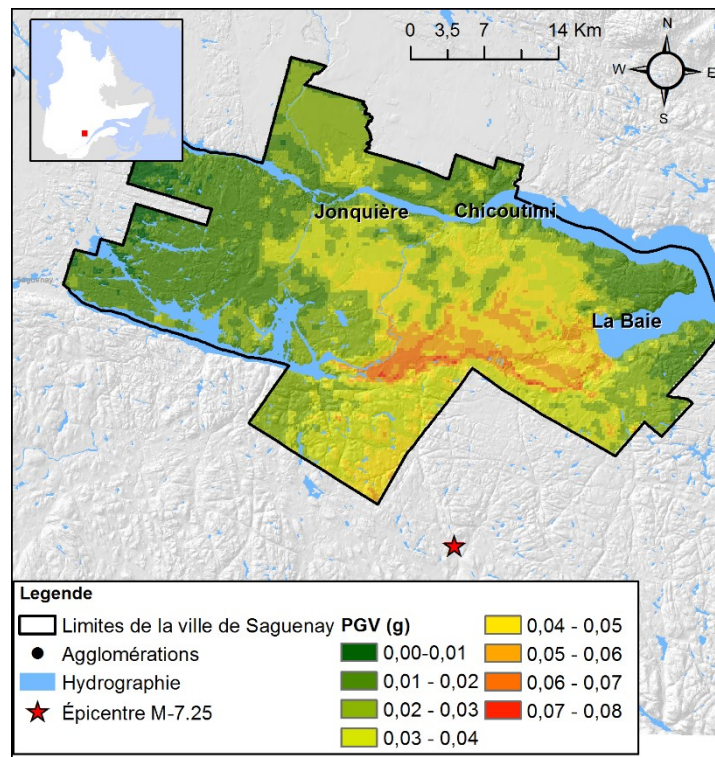


Figure 18 : PGV pour un séisme de magnitude 7,25

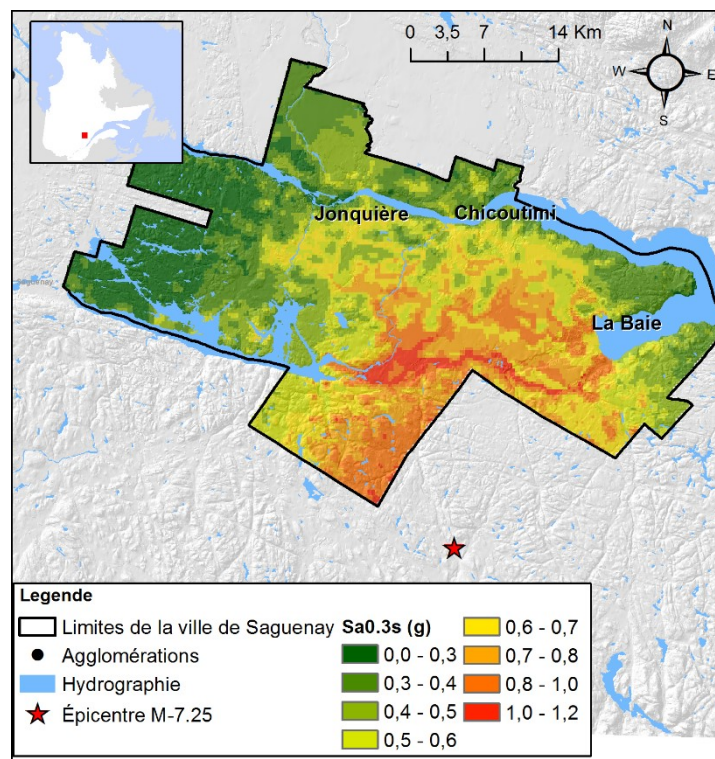


Figure 19 : $S_a^{0.3s}$ pour un séisme de magnitude 7,25

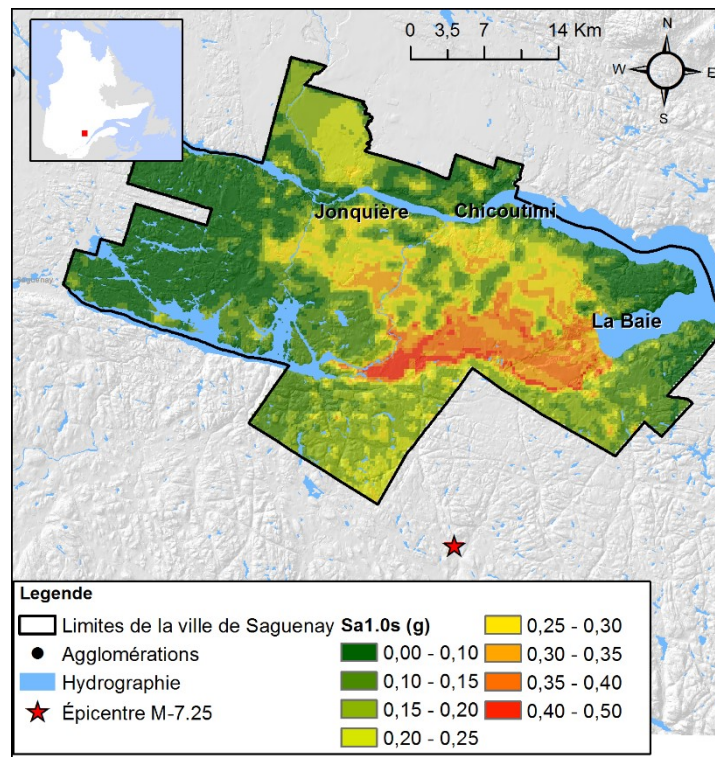


Figure 20 : $S_a^{1.0s}$ pour un séisme de magnitude 7,25

Dans les hautes terres du Saguenay, les valeurs de PGA , PGV , $S_a^{0.3s}$ et $S_a^{1.0s}$ sont relativement faibles, à l'exception des secteurs proches de l'épicentre du séisme. Dans les basses terres du Saguenay, d'importantes amplifications des ondes sismiques sont observées dans les secteurs de faibles valeurs de $V_{s,30}$. Ces derniers correspondent aux zones où l'épaisseur des dépôts granulaires et argileux est importante. Les valeurs de PGA , PGV , $S_a^{0.3s}$ et $S_a^{1.0s}$ semblent alors être plus contrôlées par la valeur de $V_{s,30}$, c'est-à-dire les effets d'amplification des ondes sismiques, que par la distance séparant l'épicentre du séisme du secteur considéré. Les valeurs les plus élevées sont observées à proximité du corridor de Laterrière-Bagotville et localement à proximité de Jonquière, Chicoutimi et La Baie. Malgré la distance le séparant de l'épicentre, le secteur de Shipshaw présente des valeurs de $S_a^{1.0s}$ relativement fortes.

Les valeurs de $S_a^{0.3s}$ et $S_a^{1.0s}$ pour les scénarios sismiques de magnitude 5, 6 et 7 considérés dans la détermination de la probabilité de dommages des bâtiments publics sont présentées dans l'annexe C. La distance épacentrale des bâtiments étant systématiquement comprise entre 30 et 36 kms, les valeurs de $S_a^{0.3s}$ et $S_a^{1.0s}$ sont contrôlées par la valeur de $V_{s,30}$. Les plus fortes valeurs étant reliées aux $V_{s,30}$ les plus faibles. Comme attendu, les valeurs de $S_a^{0.3s}$ et $S_a^{1.0s}$ augmentent avec la magnitude du séisme considéré.

4.2 DÉTERMINATION DE LA TYPOLOGIE ET DU CODE DE DESIGN SISMIQUE DES BÂTIMENTS

Comme mentionné précédemment, la typologie et le niveau de conception parasismique ont été déterminés pour certains bâtiments publics de la ville de Saguenay (tableau 5) selon la classification du logiciel HAZUS (FEMA, 2013), décrite dans la section 1.2.4.

Tableau 5 : Typologie et code de design sismique des bâtiments publics

Bâtiment	Typologie	Niveau de conception	Bâtiment	Typologie	Niveau de conception
#1	C1L	LS	#36	C3L	LS
#2	S2L	MS	#37	C3M	LS
#3	S2L	MS	#38	C3L	LS
#4	C1L	LS	#39	C3L	LS
#5	C3L	PC	#40	C3L	LS
#6	C3L	PC	#41	C3L	LS
#7	C1L	MS	#42	C3H	LS
#8	S2L	MS	#43	C1L	LS
#9	S2L	MS	#44	C1L	LS
#10	S2L	MS	#45	S2L	HS
#11	S2L	MS	#46	S2L	HS
#12	S2L	HS	#47	C2H	HS
#13	S2L	HS	#48	W2	HS
#14	W1	MS	#49	C1M	MS
#15	S1L	MS	#50	W2	HS
#16	S1L	MS	#51	S2L	HS
#17	C3M	PC	#52	S2L	MS
#18	C3M	PC	#53	W2	HS
#19	C3M	PC	#54	W1	HS
#20	S2L	HS	#55	W1	HS
#21	S2L	HS	#56	C1H	LS
#22	URMM	PC	#57	C1L	LS
#23	URMM	PC	#58	C1L	LS
#24	URMM	PC	#59	C1L	LS
#25	C1L	MS	#60	C1L	LS
#26	S5M	LS	#61	C1L	LS
#27	URMM	PC	#62	C1L	LS
#28	S2L	HS	#63	C1H	LS
#29	S5M	LS	#64	C1H	LS
#30	S5H	LS	#65	C3M	PC
#31	S5L	LS	#66	C1L	LS
#32	S5L	LS	#67	C3M	LS
#33	C3H	LS	#68	C3L	PC
#34	C3L	LS	#69	C3L	PC
#35	C3M	LS	##70	C3L	PC

Bâtiment	Typologie	Niveau de conception	Bâtiment	Typologie	Niveau de conception
#71	C3M	PC	#76	C1L	LS
#72	C1L	LS	#77	C1L	LS
#73	C1M	LS	#78	C1L	LS
#74	C1M	LS	#79	S2M	LS
#75	C1L	LS	#80	S5M	LS

La plupart des bâtiments sélectionnés ont une structure en ossature en béton résistant aux moments (C1), en ossature en béton avec murs de remplissage en maçonnerie (C3) et en ossature contreventée en acier (S2). Quatre bâtiments ont des murs porteurs en maçonnerie non-armée (URM), une typologie particulièrement sensible au risque sismique. La plupart des bâtiments étant construits avant 1970, près de 49 % des bâtiments ont été construits selon le code faible spécial (LS) et près de 18% sont pré-code (PC). Ceci laisse présager que ces bâtiments seront plus sensibles aux séismes.

4.3 ÉVALUATION DES DOMMAGES POUR LES BÂTIMENTS PUBLICS

L'annexe D présente les résultats complets de la distribution de dommage pour les bâtiments sélectionnés sous la forme de probabilités pour les niveaux de dommages : aucun dommage, dommages légers, dommages modérés, dommages étendus, dommages complets (voir section 1.2.4). Par exemple, pour le bâtiment #24 dans le cas d'un scénario sismique de magnitude 6, la probabilité d'atteindre chaque niveau de dommages a été déterminée par le logiciel *EvaRisk* à partir de données de fragilité pour les bâtiments en maçonnerie non armée et de la valeur de $S_a^{0.3s}$ du site, calculée dans la section 4.1 (figures 21 et 22).

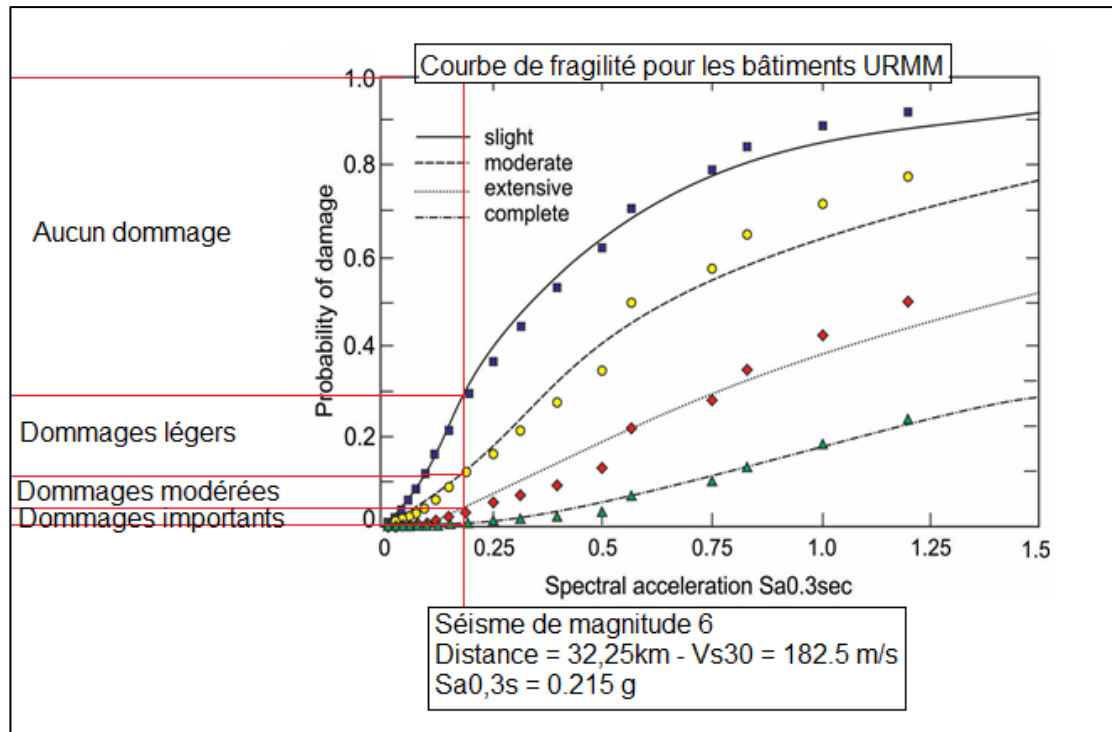


Figure 21 : Courbes de fragilité et détermination de la probabilité de dommage pour le bâtiment #24 pour un scénario sismique de magnitude 6 (tirée de Abo El Ez 2013)

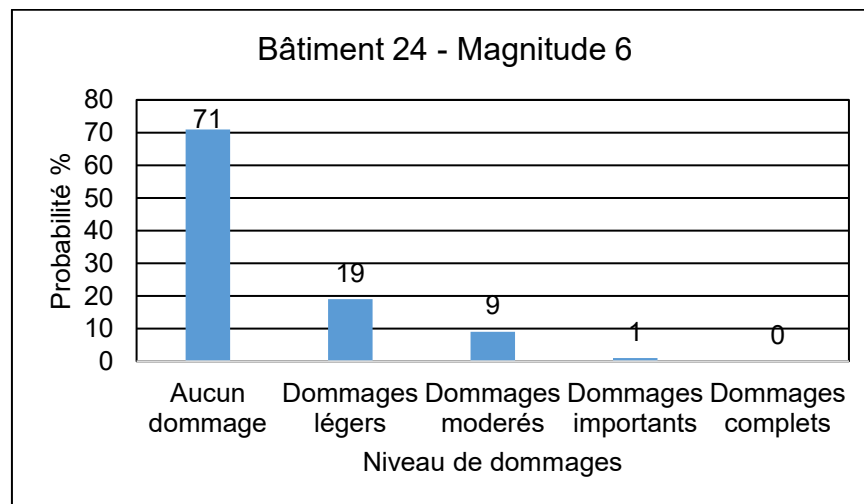


Figure 22 : Distribution des probabilités de dommages pour le bâtiment #24

Pour le cas d'un scénario de magnitude 6 (figure 22), le bâtiment #24 a une forte probabilité (71%), de n'avoir aucun dommage. Cependant, il ne faut pas sous-estimer le fait

que le bâtiment #24 a une probabilité de 19% d'avoir des dommages légers et de 9% d'avoir des dommages modérés. Le facteur moyen de dommage pour ce bâtiment peut être déterminée à partir de l'équation 4 :

$$F_{\mu}D = \sum P(D_i) * D_i \quad (4)$$

avec $F_{\mu}D$ facteur moyen de dommage, $P(D_i)$ probabilité de la classe de dommages i et D_i valeur associée à la classe de dommage soit : 0 pour aucun dommage, 1 pour dommages légers, 2 pour dommages modérés, 3 pour dommages importants et 4 pour dommages complets. Le facteur maximal de dommages étant 4, correspondant à une probabilité de 100% d'avoir des dommages complets. Dans le cas du bâtiment 24, la moyenne de dommage est de 0,4, ce qui correspond à de très faibles dommages.

Seule le facteur moyen de dommage pour le reste des bâtiments et des scénarios sera présentée dans cette section. L'analyse du risque sismique étant un domaine probabiliste où de nombreuses incertitudes sont admises, les probabilités de dommages seront présentées au pourcent près et la moyenne de dommage au 0.1 près. La figure 23 présente le facteur moyen de dommage pour les scénarios de magnitude 5, 6 et 7.

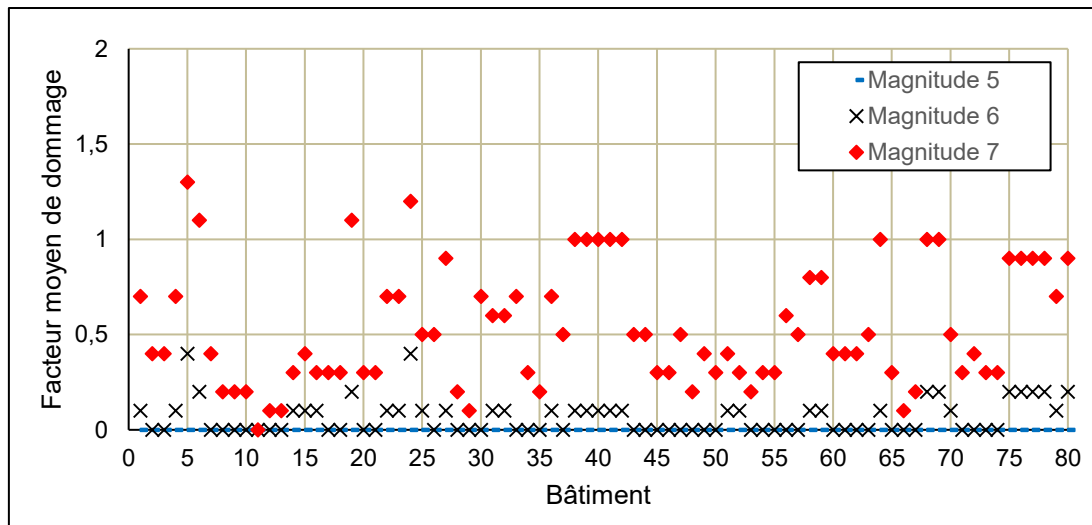


Figure 23 : Facteur moyen de dommage pour les bâtiments sélectionnés

Une augmentation du facteur moyen de dommage pour un bâtiment est observée lorsque la magnitude du séisme augmente. Comme attendu pour un scénario de magnitude 5 à plus de 30 kms de distance épacentrale, le scénario de magnitude 5 présente un facteur moyen de dommage de 0, correspondant à aucun dommage, pour tous les bâtiments. Dans le cas du scénario de magnitude 6, la totalité des bâtiments présente aucun dommage ou de très faibles dommages (facteur moyen de dommage inférieurs à 0,5). Les bâtiments #5 et #24 seraient les plus touchés avec de très faibles dommages (facteur moyen de dommage de 0,4) certainement dû à l'absence de législation parasismique lors de leur construction et à leurs structures composées de maçonnerie non-armées. De plus, ce scénario étant très proche du séisme de 1988 (magnitude 5,9 avec le même épicentre), il semble normal d'obtenir de très faibles dommages concernant les bâtiments, ces derniers n'ayant pas subi de dommages majeurs lors du séisme de 1988. Concernant le scénario de magnitude 7, le facteur moyen de dommage est variable selon les bâtiments. Une première moitié, principalement les bâtiments les plus récents (bâtiments #2, 3, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 20, 21, 25, 26, 28, 29, 34, 35, 37, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 57, 60, 61, 62, 63, 65, 66, 67, 70, 71, 72, 73 et 74), présente de très faibles dommages (facteur moyen de dommage inférieure ou égale à 0,5). Le reste des bâtiments, étant plus anciens et ayant des structures plus sensibles aux séismes, a un facteur moyen de dommage plus élevée, allant de très faibles dommages à dommages légers (entre 0,5 et 1,3). Huit bâtiments présentent une moyenne de dommages de 1 (bâtiments #38, 39, 40, 41, 42, 64, 68 et 69) correspondant à de légers dommages. Les bâtiments #5, #24, #4 et #19 seraient les plus touchés avec respectivement une moyenne de dommages de 1,3, 1,2, 1,1 et 1,1 les classant encore une fois avec de légers dommages. Cependant, le facteur moyen de dommage reste faible pour tous les bâtiments et tous les scénarios.

4.4 BÂTIMENTS PRIORITAIRES

Bien que la moyenne des dommages reste faible pour tous les bâtiments et tous les scénarios, certains bâtiments présentent une probabilité non négligeable d'atteindre un niveau de dommages importants ou complets; notamment pour le scénario de magnitude 7. Comme mentionné dans la section 1.2.4, à partir du niveau de dommages importants, certains éléments de la structure peuvent s'effondrer, ce qui représente un danger pour les personnes. Ces niveaux de dommages peuvent donc nécessiter une évacuation des personnes ainsi qu'une fermeture du bâtiment jusqu'à son inspection.

La somme des probabilités d'atteindre un niveau de dommages importants et complets a été calculée afin de définir les bâtiments pouvant nécessiter une intervention prioritaire lors d'un scénario sismique de magnitude 6 et 7 (tableau 6 et 7).

Tableau 6 : Ordre de priorité pour le scénario de magnitude 6

Ordre de priorité	Probabilité d'atteindre ou d'excéder le niveau de dommages importants	Bâtiments
1	2 %	#5
2	1 %	#24
3	0 %	Tous les autres

Tableau 7 : Ordre de priorité pour le scénario de magnitude 7

Ordre de priorité	Probabilité d'atteindre ou d'excéder le niveau de dommages importants	Bâtiments
1	18 %	#5
2	13 %	#6
3	10 %	#24, #68, #69
4	9 %	#38, #39, #40, #41
5	8 %	#19, #64
6	6 %	#42, #75, #76, #77, #78
7	5 %	#27, #36, #80
8	4 %	#1, #4, #30, #33, #56, #58, #59, #79
9	3 %	#31, #32, #63, #70
10	2 %	#22, #23, #25
11	1 % et 0 %	Tous les autres

Pour le scénario de magnitude 6, seuls les bâtiments 5 et 24 pourraient nécessiter un traitement prioritaire. Cependant, la probabilité d'obtenir des dommages supérieurs ou égaux à importants reste très faible. Pour le scénario de magnitude 7, le bâtiment #5 présente une probabilité non négligeable (18%) d'avoir des dommages importants. Il devrait donc faire l'objet d'une attention particulière si un tel scénario sismique arrivait. De même, les bâtiments #6, #24, #68 et #69 possèdent une probabilité relativement élevée d'avoir des dommages importants lors d'un scénario sismique de magnitude 7. Pour un tel scénario, plus de 30 bâtiments publics pourraient subir des dommages importants à complets nécessitant une intervention rapide et efficace des secours. Il faut donc remarquer l'importance de déterminer la probabilité des dommages pour permettre aux services de sécurité de la Ville de Saguenay de se préparer à de tels scénarios.

CHAPITRE 5

DISCUSSION ET CONCLUSION

La méthodologie appliquée dans cette étude pour déterminer la susceptibilité des sites aux effets d'amplification des ondes sismiques est divisée en 3 étapes. En premier, un modèle géologique 3D des dépôts de surface a été réalisé considérant leur type, leur distribution spatiale et leur épaisseur. Ce modèle a été utilisé pour l'acquisition de données complémentaires dans le but de compléter les mesures éparées de V_s . Deuxièmement, des valeurs moyennes représentatives de V_s ont été déterminées pour chaque unité majeure de sol. Finalement, la vitesse moyenne des ondes de cisaillement de la surface au socle rocheux, la vitesse des ondes de cisaillements des 30 premiers mètres, et la période de résonance fondamentale d'un site ont été calculées à partir d'une grille régulière de 250mx250m pour obtenir une carte de leur distribution spatiale. La carte de la vitesse des ondes de cisaillements des 30 premiers mètres a été utilisée pour réaliser une carte du niveau de secousse sismique pour un scénario sismique de magnitude 7.25 à partir des lois d'atténuation de Atkinson et Adams (2013) et des facteurs d'amplification de Boore et Atkinson (2008). Cette méthodologie a été répétée pour déterminer le niveau de secousses sismiques sur les sites d'une liste de 80 bâtiments sélectionnés sur le territoire de la Ville de Saguenay pour trois scénarios de magnitude 5, 6 et 7. La typologie et le niveau de conception parasismique des bâtiments ont été préalablement déterminés selon la classification du logiciel *HAZUS* (FEMA, 2013), pour finalement déterminer les dommages probables pour chacun des scénarios à partir du logiciel *Evarisk* (Abo El Ezz et al., 2013; Smirnoff et al., 2015).

Un large éventail de données a été utilisé pour la réalisation du modèle géologique 3D du territoire de la Ville de Saguenay dont notamment des données de forages, une carte des formations superficielles, des descriptions géologiques des couches sédimentaires et un modèle de la topographie du roc. Ce modèle est le premier modèle spécifique au territoire de

la Ville de Saguenay et constitue certainement le modèle le plus représentatif et le plus actualisé de sa stratigraphie. Une nouvelle caractérisation de la géométrie du dépôt fluvioglaciaire qui s'étend le long de l'axe reliant Laterrière à Bagotville a été réalisée. Ce modèle pourrait avoir de nombreuses applications, dont notamment pour d'autres aléas (glissements de terrain) et pour la réalisation de modèles hydrogéologiques.

Le développement du modèle géologique 3D et des relations de V_s en fonction de la profondeur repose sur une base de données relativement riche en mesure de terrain. Cependant, la qualité, la fiabilité et la distribution de ces données au travers de la zone d'étude sont variables. Pour améliorer ce modèle géologique, il serait nécessaire d'augmenter la densité des données et d'avoir une meilleure distribution spatiale de celles-ci. Les secteurs d'anciens glissements de terrain constituent une limite majeure de ce modèle. La stratigraphie dans ces secteurs peut-être localement très complexes à cause du remaniement des sédiments. Le modèle géologique 3D représente alors une simplification de la stratigraphie des anciens glissements de terrain. Cependant, l'épaisseur totale des dépôts et l'épaisseur de la couche de till ne sont pas impactées par cette simplification.

Les valeurs représentatives de V_s ont été déterminées soit à partir de l'interprétation des données des essais de pénétration (couche d'argile et couche de sédiments granulaires), soit à partir de relations publiées dans la littérature (till et socle rocheux). Le profil de V_s en fonction de la profondeur pour l'argile semble cohérent avec ceux observés dans d'autres régions du Québec; une telle similitude conforte la justesse et la précision du profil utilisé pour la Ville de Saguenay. Ces profils pourraient être utiles pour d'autres études au Saguenay, mais aussi dans la région du Saguenay–Lac-Saint-Jean dans son ensemble, où les dépôts ont la même origine (glaciaire et glacio-marine). De plus, ajouter des données de V_s à ces profils permettrait simplement d'affiner la représentativité de ceux-ci. Concernant le profil de V_s en fonction de la profondeur pour le sable, celui-ci présente une forme semblable avec ceux observés dans d'autres régions du Québec, avec toutefois des valeurs de V_s inférieur d'environ

55 m/s. Cependant, les valeurs de V_s interprétées à partir des essais SPT correspondent aux valeurs les plus faibles observées dans ces autres régions du Québec. Ceci pourrait être expliqué par le caractère grossier et bien trié du sable, ainsi qu'un sable particulièrement lâche en surface (Dion, 1986) sur le territoire de la Ville de Saguenay. Ces deux éléments favorisant de faibles valeurs de V_s et de $V_{s,30}$ pour l'unité de sable. Il faut toutefois retenir que l'utilisation de données de tests de pénétration pour déterminer V_s peut introduire de grandes incertitudes. Des méthodes plus appropriées pour la détermination de V_s devraient être appliquées pour la couche de sable, dans le but de déterminer si les écarts de valeurs de V_s entre cette étude et celles de Nastev et al. (2016a et b) sont le résultat de conditions de terrain particulières ou s'ils sont dus à des méthodes d'investigation inappropriées. La représentativité des valeurs de V_s pour la couche de till et du socle rocheux pourrait être améliorée par des données de terrain.

La combinaison de la distribution spatiale de $V_{s,30}$ et celle de T_0 développées dans cette étude permet une bonne compréhension des effets de site sismiques potentiels sur le territoire de la Ville de Saguenay. Ces cartes constituent une première évaluation de la susceptibilité des sols aux effets de sites sur le territoire de la Ville de Saguenay. Elles pourront être utilisées à l'avenir pour d'autres analyses du risque sismique, ou pour le développement d'un modèle de déplacement des ondes sismiques.

Les cartes de secousses sismiques réalisées dans cette étude reposent sur une méthodologie efficace et rapide à mettre en œuvre (quelques heures par scénario). L'importance de considérer les effets de site sismiques dans la ville de Saguenay en tant qu'élément prépondérant dans la détermination du niveau de secousses sismiques a été soulignée. Plus particulièrement, les basses terres du Saguenay peuvent présenter par endroits d'importantes amplifications des ondes sismiques en fonction de la répartition du type et de l'épaisseur des dépôts meubles.

Les dommages anticipés ont été calculés pour certains bâtiments publics de la Ville de Saguenay en considérant plusieurs scénarios de séisme. Les résultats obtenus semblent cohérents avec l'historique sismique de la région. Dans l'ensemble des scénarios sismiques considérés (séismes de magnitude 5, 6 et 7 selon l'épicentre du séisme de 1988), aucun dommage ou de légers dommages sont à prévoir pour les bâtiments publics de la Ville de Saguenay. Même pour un séisme de magnitude 7, un scénario peu probable, seulement de légers dommages sont à prévoir. Un ordre de priorité pour les bâtiments sélectionnés a été défini. Les bâtiments 5, 6, 24, 68 et 69 semblent être les plus vulnérables au risque sismique dû, d'une part, à la présence d'une importante épaisseur de dépôts meubles, et d'autres par à l'absence de dimensionnement parasismique lors de leur construction. Il serait essentiel de considérer d'autres scénarios lors d'une prochaine étude, dont notamment de petits séismes peu profonds à proximité des trois arrondissements de la Ville de Saguenay, par exemple un séisme de magnitude 6 à 10 km de Chicoutimi. Il serait de plus nécessaire de jouer sur la position de l'épicentre des séismes.

Les retombées du projet sont.

- Un modèle en trois dimensions des dépôts meubles qui pourra être utilisé pour analyser d'autres aléas comme les glissements de terrain et qui de plus serait utile pour affiner les connaissances relatives aux effets de site par un traitement bidimensionnel (effets de bassin) de ceux-ci.
- La connaissance des classes de sol en tant que composante essentielle de toute analyse du risque sismique, qui sera alors utile pour d'autres analyses du risque sismique sur les bâtiments de la ville de Saguenay. La cartographie permet également de mettre en évidence les secteurs les plus sensibles aux effets de site. Cette carte sera alors utile au service d'urbanisme de la Ville de Saguenay pour réglementer l'accès au territoire.
- L'analyse du risque sismique réalisée sur les bâtiments publics qui sera utile au service de sécurité de la Ville de Saguenay pour la prise en considération du risque sismique

lors des décisions liées à la sécurité des citoyens. Notamment, l'ordre de priorité défini dans cette étude permettrait de mettre en place un plan d'action si un tel scénario sismique venait à arriver.

Certains points du projet mériteraient d'être approfondis dont notamment.

- La cartographie de $V_{s,30}$ par un ajout de données tirées d'essais *in-situ* (géophysique, « *seismic cone penetration test* »).
- La détermination de V_s par le développement de relations empiriques spécifiques aux sédiments glaciomarins de la ville de Saguenay, permettant de déterminer V_s à partir des essais *CPT* et *SPT*.
- La compréhension des effets de site sismiques par la mise en place d'un modèle bidimensionnel de déplacement des ondes sismiques à partir de la cartographie de $V_{s,30}$ qui permettrait une analyse plus fine des effets de site et de tester différents mécanismes de rupture des structures sismogènes.
- La base de données typologique des bâtiments publics et privés de la ville de Saguenay par un enrichissement de celle-ci avec notamment les industries à risque (ALCAN) et les habitations privées.
- La détermination de la probabilité de dommages par la détermination des dommages pour d'autres scénarios sismiques.

LISTE DE RÉFÉRENCES

- Abo El Ezz, A., 2013. Probabilistic seismic vulnerability and risk assessment of stone masonry structures. Thèse de doctorat. École de technologie supérieure, université du Québec. Montréal. 174p.
- Abo El Ezz, A., Nollet, M.-J., et Nastev, M., 2013. A methodology for rapid earthquake damage assessment of existing buildings. Commission géologique du Canada. Dossier public OF7450. 34p.
- ARANZ Geo Limited, 2014. User manual for Leapfrog Geo version 2.1. Manuel d'utilisateur. New-Zealand. 373p.
- Atkinson, G. M. et Adams, J., 2013. Ground motion prediction equations for application to the 2015 Canadian national seismic hazard maps. Canadian Journal of Civil Engineering. Volume 40. 988–998pp.
- Atkinson, G. M., Assarourians, K., et Dunn, B., 2016. Seismotoolbox. GMPET_ENA_med.dat. Consulté le 20 Juin 2016. Disponible sous : <http://www.seismotoolbox.ca/2012GMPEs.html>.
- Baker, J.W., et Cornell, C.A., 2006. Which spectral acceleration are you using?. Earthquake Spectra. Volume 22. No.2. 293–312pp.
- Bard, P.-Y., Campillo, M., Cha´vez-Garcia F.J., et Sa´nchez-Sesma F., 1988. The Mexico Earthquake of September 19, 1985 — A theoretical investigation of large- and small-scale amplification effects in the Mexico City valley. Earthquake Spectra. Volume 4. No.3. 609–633pp.
- Benjumea, B., Hunter, J.A., Pullan, S.E., Brooks, G.R., Pyne, M., et Aylsworth, J.M., 2008. $V_{s,30}$ and fundamental site period estimates in soft sediments of the Ottawa valley from near-surface geophysical measurements. Journal of Environmental & Engineering Geophysics. Volume 13. No.4. 313–323pp.
- Boore, D.M., et Atkinson, G.M., 2008. Ground-motion prediction equations for the average horizontal component of PGA, PGV, and 5%-damped PSA at spectral periods between 0.01s and 10.0s. Earthquake Spectra. Volume 24. No.1. 99–138pp.
- Bouchard, R., Dion, D.J., et Tavenas, F., 1983. Origine de la préconsolidation des argiles du Saguenay, Québec. Canadian Geotechnical Journal. Volume 20. 315–328pp.
- Braganza, S., Atkinson, G.M., Ghofrani, H., Hassani, B., Chouinard, L., Rosset, P., Motazedian, D., et Hunter, J., 2016. Modeling site amplification in eastern Canada on a regional scale. Seismological Research Letters, Eastern Section. Volume 87. No.4. 1008–1021pp.

- Castellaro, S., Mulargia F., et Rossi P.L., 2008. $V_{s,30}$: proxy for seismic amplification?. *Seismological Research Letters*. Volume 79. No.4. 540–543pp.
- CERM-PACES, 2013. Résultats du programme d'acquisition de connaissances sur les eaux souterraines de la région Saguenay-Lac-Saint-Jean. Centre d'études sur les ressources minérales, Université du Québec à Chicoutimi. 308p.
- Chesnaux, R., Lambert, M., Walter, J., Fillastre, U., Hay, M., Rouleau, A., Daigneault, R., Moisan, A., et Germaneau, D., 2011. Building a geodatabase for mapping hydrogeological features and 3D modeling of groundwater systems : application to the Saguenay-Lac-St.-Jean region, Canada. *Computers and Geosciences*. Volume 37. No.11. 1870–1882pp.
- Chesnaux, R., Lambert, M., Walter, J., Dugrain, V., Rouleau, A., et Daigneault, R., 2017. A simplified geographical information systems (GIS)-based methodology for modeling the topography of bedrock: illustration using the Canadian shield. *Applied Geomatics*. DOI 10.1007/s12518-017-0183-1. 18p.
- Daigneault, R.A., Cousineau, P.A., Leduc, E., Beaudoin, G., Milette, S., Horth, N., Roy, D.W., Lamothe, M., et Allard, G., 2011. Cartographie des formations superficielles réalisée dans le territoire municipalité du Saguenay–Lac-Saint-Jean (Québec) entre 2009 et 2011. Rapport final. Ministère des Ressources naturelles. GM 65970. 44p.
- Davidson, A., 1998. Carte géologique de la province de Grenville : Canada et parties adjacentes des Etats-Unis d'Amérique. Commission géologique du Canada. Carte 1947A. Echelle 1/2000000.
- Dion, D.J., 1986. Levé géotechnique de la région de Jonquière-Chicoutimi-La Baie. Ministère de l'Energie et des Ressources. Direction générale de l'exploration géologique et minérale. MB 86-51. 136p.
- Dobry, R., et Vucetic, M., 1987. Dynamic properties and seismic response of soft clay deposits. *International Symposium on Geotechnical Engineering of Soft Soils*. Mexico City. 51–87pp.
- Dominique, P., 1999. Evaluation probabiliste de l'aléa sismique : état de l'art. BRGM. R 39010. 73p.
- FEMA, 2013. Hazus®-MH 2.1, technical manual, multi-hazard loss estimation methodology, earthquake model. Department of Homeland Security. Federal Emergency Management Agency. Mitigation Division. Washington, D.C..
- Finn, W.D.L., et Wightman, A., 2003. Ground motion amplification factors for the proposed 2005 edition of the National Building Code of Canada. *Canadian Journal of Civil Engineering*. Volume 30. 272–278pp.
- Ghofrani, H., Atkinson, G.M., et Goda. K., 2013. Implications of the 2011 M9.0 Tohoku Japan earthquake for the treatment of site effects in large earthquakes. *Bulletin of Earthquake Engineering*. Volume 11. No 1. 171–203pp.

- Ghofrani, H., Atkinson, G.M., Chouinard, L., Rosset, P., et Tiampo, K.F., 2015. Scenario shakemaps for Montreal. *Canadian Journal of Civil Engineering*. Volume 42. No 7. 463–476pp.
- Guéguen, P., 2009. Effets de site. Institut des Sciences de la Terre - Grenoble. Fiche informative. 2p.
- Hébert, C., et Lacoste, P., 1998. Géologie de la région de Jonquière-Chicoutimi (SNRC 22D/06). *Géologie Québec*. RG 96-08. 24p.
- Hegazy, Y.A., et Mayne, P.W., 1995. Statistical correlations between V_s and cone penetration data for different soil types. *International Symposium on Cone Penetration Testing*. Linköping, Sweden. 173–178pp.
- Hunter, J.A., Crow, H.L., Brooks, G.R., Pyne, M., Motazedian, D., Lamontagne, M., Pugin, A. J.-M., Pullan, S.E., Cartwright, T., Douma, M., Burns, R.A., Good, R.L., Kaheshi-Banab, K., Caron, R., Kolaj, M., Folahan, I., Dixon, L., Dion, K., Duxbury, A., Landriault, A., Ter-Emmanuel, V., Jones, A., Plastow, G., et Muir, D., 2010. Seismic site classification and site period mapping in the Ottawa area using geophysical methods. Geological Survey of Canada. Open File 6273. 1 DVD.
- IRCC, Institut de Recherche en Construction au Canada. 2015. Code national du bâtiment - Canada 2015. Commission canadienne des codes du bâtiment et de prévention des incendies - Conseil national de recherches du Canada. 14e édition. Ottawa, Ontario.
- Jongmans, D., 1989. Les phénomènes d'amplification d'ondes sismiques dus à des structures géologiques. *Annales de la Société Géologique de Belgique*. Tome 112. Fascicule 2. 369–379pp.
- Lasalle, P., et Tremblay, G., 1978. Dépôts meubles du Saguenay–Lac-Saint-Jean. Ministère des Ressources Naturelles, Québec. Direction générale de la recherche géologique et minérale. 61p.
- Leboeuf, D., Perret, D., Nollet, M.-J., Lamarche, L., Nastev, M., et Parent, M., 2013. Microzonage sismique des villes de Québec-Ancienne-Lorette et réserve indienne Wendake (catégories d'emplacement). Commission géologique du Canada. Québec. Dossier public 6875. Echelle 1/50000.
- Mayne, P.W., et Rix G.J., 1995. Correlations between shear wave velocity and cone tip resistance in natural clays. *Japanese Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering*. Volume 35. No. 2. 107–110pp.
- MERN, 2017. Base de données topographiques du Québec. Ministère des Energies et Ressources Naturelles. BDTQ 20k. Echelle 1/20000. Disponible sous : <http://geoboutique.mern.gouv.qc.ca/>.
- Motazedian, D., et Hunter J., 2008. Development of an NEHRP map for the Orleans suburb of Ottawa, Ontario. *Canadian Geotechnical Journal*. Volume 45. No. 8. 1180–1188pp.

- Motazedian, D., Hunter, J.A., Belvaux, M., Sivathayalan, S., Pugun, A., Chouinard, L., Khaheshi Banab, K., Crow, H., Tremblay, M., Perret, D., et Rosset, Ph., 2010. Seismic microzonation of Montreal and Ottawa, Canada. 10th Canadian & 9th US National Conference on Earthquake Engineering. Toronto. 10p.
- Nastev, M., Parent, M., Benoit, N., Ross, M., et Howlett, D., 2016a. Regional $V_{s,30}$ model for the St. Lawrence Lowlands, Eastern Canada. *Georisk*. Volume 10. No. 3. 13p.
- Nastev, M., Parent, M., Ross, M., Howlett, D., et Benoit, N., 2016b. Geospatial modelling of shear-wave velocity and fundamental site period of Quaternary marine and glacial sediments in the Ottawa and St. Lawrence Valleys, Canada. Volume 85. No. 3. 103–116pp.
- Ohta, Y., et Goto, N., 1978. Empirical shear wave velocity equations in terms of characteristic soil indexes. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*. Volume 6. 167–187pp.
- Paradis, S.J., Parent, M., Perret, D., et Bégin, C., 1998. Géologie des formations superficielles, Saint-Fulgence et La Baie, Québec. Commission géologique du Canada. Document public 3710. Carte avec notes marginales. Echelle 1/20000. 2 feuillets.
- Perrault, M., 2013. Evaluation de la vulnérabilité sismique de bâtiments à partir de mesures in situ. Sciences de la Terre. Université de Grenoble. Disponible sous : <http://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00934454>. 186p.
- RNC, 2010. Carte simplifiée de l'aléa sismique. Commission Géologique du Canada. Ressources Naturelles Canada. Disponible sous : <http://www.seismescanada.rncan.gc.ca/hazard-alea/simphaz-fra.php>.
- Robertson, P.K., 2009. Interpretation of cone penetration tests – a unified approach. *Canadian Geotechnical Journal*. Volume 46. No. 11. 1337–1355pp.
- Rosset, P., Bour-Belvaux, M., et Chouinard, L., 2015. Microzonation models for Montreal with respect to $V_{s,30}$. *Bulletin of Earthquake Engineering*. Volume 13. No. 8. 2225-2239pp.
- Saeidi, A., 2015. 8MIG861 : Analyse des risques en génie civil. Notes de cours. Université du Québec à Chicoutimi.
- Smirnoff, A., Abo El Ezz, A., Nolle, M.-J., et Nastev, M., 2015. Towards a rapid seismic risk assessment tool for Canada. Travaux de la 11^{ème} conférence canadienne sur le génie parasismique. Papier 94260. 21-24 Juillet. Victoria, B.C., Canada.
- Towhata, I. 2014. *Geotechnical Earthquake Engineering*. Springer Series. Geomechanics and Geoengineering. 684p.
- Wills, C.J., et Clahan, K.B., 2006. Developing a map of geologically defined site-condition categories for California. *Bulletin of the Seismological Society of America*. Volume 96. No. 4A. 1483–1501pp.

Wood, H.O., et Neumann, F., 1931. Modified Mercalli intensity scale of 1931. Bulletin of the Seismological Society of America. Volume 21. 277–283pp.

ANNEXE A

DONNÉES CONCERNANT LES LOIS D'ATTÉNUATIONS

(ATKINSON ET AL., 2016)

Données concernant les lois d'atténuations de Atkinson et Adams (2013) pour un séisme de magnitude 5 (tirées de Atkinson et al., 2016)

Magnitude	Distance épacentrale (km)	Accélération spectrale pour la fréquence ... (cm/s ²)		PGA (cm/s ²)	PGV (cm/s ²)
		1,000 hz	3,330 hz		
5	1	2,79E+01	2,22E+02	2,54E+02	9,02E+00
5	1,26	2,74E+01	2,19E+02	2,51E+02	8,85E+00
5	1,58	2,70E+01	2,16E+02	2,48E+02	8,69E+00
5	2	2,66E+01	2,12E+02	2,45E+02	8,53E+00
5	2,51	2,53E+01	2,02E+02	2,35E+02	8,07E+00
5	3,16	2,37E+01	1,90E+02	2,22E+02	7,46E+00
5	3,98	2,21E+01	1,77E+02	2,09E+02	6,90E+00
5	5,01	2,04E+01	1,63E+02	1,93E+02	6,27E+00
5	6,31	1,78E+01	1,43E+02	1,69E+02	5,38E+00
5	7,94	1,56E+01	1,25E+02	1,48E+02	4,62E+00
5	10	1,37E+01	1,10E+02	1,30E+02	3,97E+00
5	12,59	1,11E+01	8,87E+01	1,04E+02	3,13E+00
5	15,85	8,86E+00	7,09E+01	8,16E+01	2,44E+00
5	19,95	7,10E+00	5,66E+01	6,43E+01	1,90E+00
5	25,12	5,52E+00	4,37E+01	4,86E+01	1,43E+00
5	31,62	4,15E+00	3,26E+01	3,52E+01	1,04E+00
5	39,81	3,13E+00	2,43E+01	2,55E+01	7,54E-01
5	50,12	2,36E+00	1,81E+01	1,86E+01	5,51E-01
5	63,1	1,86E+00	1,40E+01	1,39E+01	4,19E-01
5	79,43	1,47E+00	1,08E+01	1,04E+01	3,19E-01
5	100	1,15E+00	8,33E+00	7,82E+00	2,43E-01

Données concernant les lois d'atténuations de Atkinson et Adams (2013) pour un séisme de magnitude 6 (tirées de Atkinson et al., 2016)

Magnitude	Distance épacentrale (km)	Accélération spectrale pour la fréquence ... (cm/s ²)		PGA (cm/s ²)	PGV (cm/s ²)
		1,000 hz	3,330 hz		
6	1	1,26E+02	6,07E+02	4,74E+02	2,67E+01
6	1,26	1,26E+02	6,07E+02	4,74E+02	2,67E+01
6	1,58	1,26E+02	6,07E+02	4,74E+02	2,67E+01
6	2	1,26E+02	6,07E+02	4,74E+02	2,67E+01
6	2,51	1,24E+02	5,94E+02	4,68E+02	2,60E+01
6	3,16	1,19E+02	5,74E+02	4,57E+02	2,50E+01
6	3,98	1,15E+02	5,54E+02	4,46E+02	2,41E+01
6	5,01	1,09E+02	5,24E+02	4,27E+02	2,26E+01
6	6,31	9,69E+01	4,64E+02	3,84E+02	1,97E+01
6	7,94	8,60E+01	4,11E+02	3,45E+02	1,72E+01
6	10	7,63E+01	3,63E+02	3,10E+02	1,50E+01
6	12,59	6,30E+01	2,99E+02	2,55E+02	1,21E+01
6	15,85	5,14E+01	2,43E+02	2,06E+02	9,64E+00
6	19,95	4,20E+01	1,97E+02	1,67E+02	7,68E+00
6	25,12	3,34E+01	1,56E+02	1,31E+02	5,96E+00
6	31,62	2,60E+01	1,20E+02	9,87E+01	4,50E+00
6	39,81	2,02E+01	9,16E+01	7,45E+01	3,40E+00
6	50,12	1,57E+01	7,05E+01	5,64E+01	2,58E+00
6	63,1	1,28E+01	5,59E+01	4,38E+01	2,04E+00
6	79,43	1,04E+01	4,44E+01	3,41E+01	1,61E+00
6	100	8,42E+00	3,52E+01	2,65E+01	1,27E+00

Données concernant les lois d'atténuations de Atkinson et Adams (2013) pour un séisme de magnitude 7 (tirées de Atkinson et al., 2016)

Magnitude	Distance épacentrale (km)	Accélération spectrale pour la fréquence ... (cm/s ²)		PGA (cm/s ²)	PGV (cm/s ²)
		1,000 hz	3,330 hz		
7	1	3,61E+02	1,27E+03	7,91E+02	6,56E+01
7	1,26	3,61E+02	1,27E+03	7,91E+02	6,56E+01
7	1,58	3,61E+02	1,27E+03	7,91E+02	6,56E+01
7	2	3,61E+02	1,27E+03	7,91E+02	6,56E+01
7	2,51	3,61E+02	1,27E+03	7,91E+02	6,56E+01
7	3,16	3,61E+02	1,27E+03	7,91E+02	6,56E+01
7	3,98	3,61E+02	1,27E+03	7,91E+02	6,56E+01
7	5,01	3,60E+02	1,26E+03	7,90E+02	6,54E+01
7	6,31	3,56E+02	1,25E+03	7,85E+02	6,46E+01
7	7,94	3,52E+02	1,23E+03	7,81E+02	6,38E+01
7	10	3,48E+02	1,22E+03	7,77E+02	6,31E+01
7	12,59	2,84E+02	9,84E+02	6,50E+02	5,03E+01
7	15,85	2,25E+02	7,70E+02	5,29E+02	3,87E+01
7	19,95	1,78E+02	6,02E+02	4,30E+02	2,98E+01
7	25,12	1,38E+02	4,62E+02	3,37E+02	2,26E+01
7	31,62	1,05E+02	3,47E+02	2,53E+02	1,68E+01
7	39,81	8,02E+01	2,60E+02	1,89E+02	1,25E+01
7	50,12	6,15E+01	1,96E+02	1,43E+02	9,35E+00
7	63,1	4,95E+01	1,54E+02	1,11E+02	7,36E+00
7	79,43	3,99E+01	1,21E+02	8,61E+01	5,80E+00
7	100	3,21E+01	9,47E+01	6,69E+01	4,57E+00

Données concernant les lois d'atténuations de Atkinson et Adams (2013) pour un séisme de magnitude 7,25 (tirées de Atkinson et al., 2016)

Magnitude	Distance épacentrale (km)	Accélération spectrale pour la fréquence ... (cm/s ²)		PGA (cm/s ²)	PGV (cm/s ²)
		1,000 hz	3,330 hz		
7,25	1	4,21E+02	1,42E+03	8,64E+02	7,88E+01
7,25	1,26	4,21E+02	1,42E+03	8,64E+02	7,88E+01
7,25	1,58	4,21E+02	1,42E+03	8,64E+02	7,88E+01
7,25	2	4,21E+02	1,42E+03	8,64E+02	7,88E+01
7,25	2,51	4,21E+02	1,42E+03	8,64E+02	7,88E+01
7,25	3,16	4,21E+02	1,42E+03	8,64E+02	7,88E+01
7,25	3,98	4,21E+02	1,42E+03	8,64E+02	7,88E+01
7,25	5,01	4,21E+02	1,42E+03	8,63E+02	7,87E+01
7,25	6,31	4,18E+02	1,41E+03	8,61E+02	7,82E+01
7,25	7,94	4,16E+02	1,41E+03	8,59E+02	7,77E+01
7,25	10	4,14E+02	1,40E+03	8,56E+02	7,73E+01
7,25	12,59	3,60E+02	1,20E+03	7,62E+02	6,60E+01
7,25	15,85	3,06E+02	1,01E+03	6,66E+02	5,50E+01
7,25	19,95	2,60E+02	8,54E+02	5,82E+02	4,58E+01
7,25	25,12	2,06E+02	6,67E+02	4,67E+02	3,55E+01
7,25	31,62	1,51E+02	4,81E+02	3,41E+02	2,53E+01
7,25	39,81	1,11E+02	3,46E+02	2,50E+02	1,81E+01
7,25	50,12	8,22E+01	2,51E+02	1,83E+02	1,30E+01
7,25	63,1	6,51E+01	1,94E+02	1,41E+02	1,01E+01
7,25	79,43	5,16E+01	1,49E+02	1,08E+02	7,84E+00
7,25	100	4,09E+01	1,15E+02	8,26E+01	6,09E+00

ANNEXE B

INTERPRÉTATION DES DONNÉES CPT ET SPT TRANSMISES PAR LE
MINISTÈRE DES TRANSPORTS DU QUÉBEC

Interprétation des données SPT

ID	Profondeur (m)	N	Vs (m/s)	ID	Profondeur (m)	N	Vs (m/s)
SPT-001	1,34	10	110,8	SPT-008	4,55	12	152,7
SPT-001	2,47	15	139,4	SPT-008	5,35	9	148,8
SPT-001	3	14	143,6	SPT-008	6,1	13	166,3
SPT-001	3,79	22	167,3	SPT-008	6,85	12	167,8
SPT-002	0,94	8	97,2	SPT-008	7,6	6	147,6
SPT-002	1,59	4	94,2	SPT-009	0,75	16	107,5
SPT-002	2,45	5	109,3	SPT-009	1,5	19	130,9
SPT-002	3,05	4	109,4	SPT-009	2,3	12	130,6
SPT-002	3,69	6	125,0	SPT-009	3,05	3	102,7
SPT-002	4,36	7	134,3	SPT-009	3,8	2	98,8
SPT-003	0,94	4	83,5	SPT-009	4,55	3	112,6
SPT-003	1,64	5	99,6	SPT-010	0,76	32	125,6
SPT-003	2,77	8	124,6	SPT-010	1,52	19	131,3
SPT-003	3,22	10	135,5	SPT-010	2,29	41	170,9
SPT-003	3,99	14	153,3	SPT-010	3,05	35	176,3
SPT-003	4,59	14	158,3	SPT-010	3,81	29	178,0
SPT-004	0,75	10	96,9	SPT-010	4,57	51	210,2
SPT-004	1,5	4	92,9	SPT-010	5,33	47	213,9
SPT-004	2,3	4	102,5	SPT-010	6,1	.	243,1
SPT-005	0,75	6	86,6	SPT-010	6,86	86	258,9
SPT-005	1,5	3	87,2	SPT-010	7,63	40	224,2
SPT-005	2,3	10	125,4	SPT-010	8,38	25	206,6
SPT-006	0,75	16	107,5	SPT-010	9,14	7	159,3
SPT-006	1,5	5	97,6	SPT-011	3,04	14	144,0
SPT-006	2,3	5	107,7	SPT-011	6,09	37	209,2
SPT-007	1,5	7	105,1	SPT-011	7,62	5	141,8
SPT-007	2,3	6	112,1	SPT-011	9,14	55	250,7
SPT-007	3,05	3	102,7	SPT-012	1,52	5	97,9
SPT-007	3,8	3	108,0	SPT-012	2,43	2	89,1
SPT-007	4,55	1	88,4	SPT-012	3,04	5	114,8
SPT-008	3,05	17	150,4	SPT-012	3,96	9	138,9
SPT-008	3,8	11	143,8	SPT-012	4,57	6	131,3

Interprétation des données CPT

ID	De (m)	À (m)	Qc moyen (kPa)	Fs moyen (kPa)	Vs (m/s)
CPT-001	0	2	1100	31	141,3
CPT-001	2	4	1300	29	156,8
CPT-001	4	6	950	27	128,8
CPT-001	6	8	950	30	128,8
CPT-001	8	10	950	35	128,8
CPT-001	10	12	1700	71	185,6
CPT-001	12	14	2300	91	224,3
CPT-001	14	16	2700	111	248,0
CPT-001	16	18	1700	90	185,6
CPT-001	18	20	2000	60	205,5
CPT-001	20	22	2300	62	224,3
CPT-003	0	2	800	50	115,7
CPT-003	2	4	700	25	106,4
CPT-003	4	6	650	12	101,6
CPT-003	6	8	500	12	86,2
CPT-003	8	10	450	12	80,6
CPT-003	10	12	400	12	74,9
CPT-003	12	14	400	12	74,9
CPT-003	14	16	450	12	80,6
CPT-003	16	18	500	20	86,2
CPT-003	18	20	510	28	87,2
CPT-003	20	22	750	28	111,1
CPT-003	22	24	800	28	115,7
CPT-003	24	26	800	28	115,7
CPT-003	26	28	800	28	115,7
CPT-003	28	30	900	28	124,6
CPT-003	30	32	1000	28	133,1
CPT-003	32	34	1300	28	156,8
CPT-003	34	36	1500	28	171,6
CPT-003	36	38	1250	28	153,0
CPT-003	38	40	1250	28	153,0
CPT-004	0	2	600	51	96,6
CPT-004	2	4	700	48	106,4
CPT-004	4	6	100	28	31,4
CPT-005	0	2	1500	55	171,6
CPT-005	2	4	1250	35	153,0
CPT-005	4	6	1100	25	141,3

ID	De (m)	À (m)	Qc moyen (kPa)	Fs moyen (kPa)	Vs (m/s)
CPT-007	0	2	900	70	124,6
CPT-007	2	4	400	20	74,9
CPT-007	4	6	400	20	74,9
CPT-007	6	8	600	28	96,6
CPT-008	1,2	2	1100	30	141,3
CPT-008	2	3,2	1300	30	156,8
CPT-009	0	2	950	20	128,8
CPT-009	2	4	800	20	115,7
CPT-009	4	6	1000	42	133,1
CPT-009	6	8	1300	30	156,8
CPT-009	8	10	750	18	111,1
CPT-009	10	12	600	20	96,6
CPT-009	12	14	600	12	96,6
CPT-009	14	16	800	12	115,7
CPT-009	16	18	900	25	124,6
CPT-009	18	20	1350	25	160,6
CPT-009	20	22	1350	16	160,6
CPT-009	22	24	1400	16	164,3
CPT-009	24	26	1500	16	171,6
CPT-009	26	28	1550	18	175,1
CPT-009	28	30	1600	30	178,7
CPT-009	30	32	1600	20	178,7
CPT-009	32	34	1800	20	192,4
CPT-009	34	36	2000	30	205,5
CPT-009	36	38	2350	50	227,4
CPT-009	38	40	2500	55	236,3
CPT-010	8	10	2000	45	205,5
CPT-010	10	12	1500	40	171,6
CPT-010	12	14	1400	20	164,3
CPT-010	14	16	1800	20	192,4
CPT-010	16	18	2100	20	211,9
CPT-010	18	20	1800	40	192,4
CPT-010	20	22	1500	40	171,6
CPT-010	22	24	2000	21	205,5
CPT-010	24	26	1800	21	192,4
CPT-010	26	28	2100	25	211,9
CPT-010	28	30	2000	25	205,5
CPT-010	30	32	2300	25	224,3
CPT-010	32	34	2300	25	224,3

ID	De (m)	À (m)	Qc moyen (kPa)	Fs moyen (kPa)	Vs (m/s)
CPT-010	34	36	2300	35	224,3
CPT-011	0	2	600	25	96,6
CPT-011	2	4	800	25	115,7
CPT-011	4	6	800	25	115,7
CPT-011	6	8	800	12	115,7
CPT-011	8	10	800	20	115,7
CPT-011	10	12	800	20	115,7
CPT-011	12	14	800	20	115,7
CPT-011	14	16	1000	25	133,1
CPT-012	0	2	200	30	48,5
CPT-012	2	4	350	20	68,9
CPT-012	4	6	600	20	96,6
CPT-012	6	8	600	20	96,6
CPT-012	8	10	600	20	96,6
CPT-012	10	12	750	25	111,1
CPT-012	12	14	750	30	111,1
CPT-012	14	16	900	30	124,6
CPT-012	16	18	1000	35	133,1
CPT-012	18	20	1200	20	149,2
CPT-012	20	22	1200	35	149,2
CPT-012	22	24	1500	25	171,6
CPT-012	24	26	1700	30	185,6
CPT-012	26	28	1800	35	192,4
CPT-012	28	30	1900	50	199,0
CPT-012	30	32	2000	25	205,5
CPT-012	32	34	2000	25	205,5
CPT-012	34	36	1900	30	199,0
CPT-012	36	38	2100	30	211,9
CPT-012	38	40	2400	50	230,4
CPT-013	0	2	400	30	74,9
CPT-013	2	4	320	12	65,1
CPT-013	4	6	250	12	55,8
CPT-013	6	8	250	12	55,8
CPT-013	8	10	150	12	40,5
CPT-013	10	12	100	12	31,4
CPT-013	12	14	250	12	55,8
CPT-013	14	16	250	12	55,8
CPT-013	16	18	270	12	58,5
CPT-013	18	20	350	12	68,9

ID	De (m)	À (m)	Qc moyen (kPa)	Fs moyen (kPa)	Vs (m/s)
CPT-013	20	22	450	25	80,6
CPT-013	22	24	500	25	86,2
CPT-013	24	26	600	25	96,6
CPT-013	26	28	600	30	96,6
CPT-013	28	30	600	30	96,6
CPT-013	30	32	700	30	106,4
CPT-013	32	34	700	30	106,4
CPT-013	34	36	700	35	106,4
CPT-013	36	38	800	40	115,7
CPT-013	38	40	900	40	124,6
CPT-014	0	2	200	11	48,5
CPT-014	2	4	400	11	74,9
CPT-014	4	6	400	11	74,9
CPT-014	6	8	400	11	74,9
CPT-014	8	10	500	11	86,2
CPT-014	10	12	550	15	91,5
CPT-014	12	14	650	20	101,6
CPT-014	14	16	750	20	111,1
CPT-014	16	18	750	20	111,1
CPT-014	18	20	750	25	111,1
CPT-014	20	22	750	30	111,1
CPT-014	22	24	900	30	124,6
CPT-014	24	26	900	30	124,6
CPT-014	26	28	900	40	124,6
CPT-014	28	30	1000	40	133,1
CPT-014	30	32	1000	40	133,1
CPT-014	32	34	1000	40	133,1
CPT-014	34	36	1250	45	153,0
CPT-014	36	38	1500	51	171,6
CPT-014	38	40	1500	51	171,6
CPT-014	40	42	1700	51	185,6
CPT-014	42	44	2000	65	205,5
CPT-014	44	46	2000	75	205,5
CPT-014	46	48	1800	75	192,4
CPT-014	48	50	2250	110	221,2
CPT-016	0	2	1200	25	149,2
CPT-016	2	4	300	12	62,5
CPT-016	4	6	300	12	62,5
CPT-016	6	8	300	12	62,5

ID	De (m)	À (m)	Qc moyen (kPa)	Fs moyen (kPa)	Vs (m/s)
CPT-016	8	10	300	12	62,5
CPT-016	10	12	300	12	62,5
CPT-016	12	14	300	12	62,5
CPT-016	14	16	300	12	62,5
CPT-016	16	18	400	18	74,9
CPT-016	18	20	500	18	86,2
CPT-016	20	22	500	18	86,2
CPT-016	22	24	600	18	96,6
CPT-016	24	26	1000	22	133,1
CPT-016	26	28	1000	25	133,1
CPT-016	28	30	1000	25	133,1
CPT-016	30	32	1000	30	133,1
CPT-016	32	34	1100	40	141,3
CPT-016	34	36	1400	40	164,3
CPT-016	36	38	1500	50	171,6
CPT-016	38	40	2000	70	205,5
CPT-016	40	42	1500	51	171,6
CPT-017	0	2	750	500	111,1
CPT-017	2	4	200	10	48,5
CPT-017	4	6	400	10	74,9
CPT-017	6	8	500	20	86,2
CPT-017	8	10	600	25	96,6
CPT-017	10	12	600	30	96,6
CPT-017	12	14	600	35	96,6
CPT-017	14	16	1000	35	133,1
CPT-017	16	18	1200	40	149,2
CPT-017	18	20	1250	40	153,0
CPT-017	20	22	1250	40	153,0
CPT-017	22	24	1250	55	153,0
CPT-017	24	26	1400	55	164,3
CPT-017	26	28	1600	55	178,7
CPT-017	28	30	1800	50	192,4
CPT-017	30	32	2000	50	205,5
CPT-017	32	34	2000	50	205,5
CPT-017	34	36	2000	70	205,5
CPT-018	0	2	1000	50	133,1
CPT-018	2	4	2200	50	218,1
CPT-018	4	6	1000	40	133,1
CPT-018	6	8	1200	30	149,2

ID	De (m)	À (m)	Qc moyen (kPa)	Fs moyen (kPa)	Vs (m/s)
CPT-018	8	10	1200	25	149,2
CPT-018	10	12	1000	40	133,1
CPT-018	12	14	750	20	111,1
CPT-018	14	16	750	25	111,1
CPT-018	16	18	1000	25	133,1
CPT-018	18	20	800	25	115,7
CPT-018	20	22	800	25	115,7
CPT-019	0	2	750	60	111,1
CPT-019	2	4	1400	45	164,3
CPT-019	4	6	1400	25	164,3
CPT-019	6	8	900	25	124,6
CPT-019	8	10	900	35	124,6
CPT-019	10	12	900	43	124,6
CPT-019	12	14	1250	45	153,0
CPT-019	14	16	1300	45	156,8
CPT-019	16	18	1600	48	178,7
CPT-019	18	20	2000	65	205,5
CPT-019	20	22	2000	75	205,5
CPT-019	22	24	2000	65	205,5
CPT-019	24	26	2250	65	221,2
CPT-019	26	28	2700	65	248,0
CPT-019	28	30	3000	70	265,0
CPT-019	30	32	3000	70	265,0
CPT-019	32	34	2600	65	242,2
CPT-020	0	2	700	50	106,4
CPT-020	2	4	600	11	96,6
CPT-020	4	6	1100	11	141,3
CPT-020	6	8	1400	40	164,3
CPT-020	8	10	750	18	111,1
CPT-020	10	12	750	10	111,1
CPT-020	12	14	750	10	111,1
CPT-020	14	16	750	10	111,1
CPT-020	16	18	750	10	111,1
CPT-020	18	20	1700	35	185,6
CPT-020	20	22	1750	35	189,0
CPT-020	22	24	1750	35	189,0
CPT-020	24	26	2000	35	205,5
CPT-020	26	28	2300	35	224,3
CPT-020	28	30	2300	45	224,3

ID	De (m)	À (m)	Qc moyen (kPa)	Fs moyen (kPa)	Vs (m/s)
CPT-020	30	32	2500	50	236,3
CPT-020	32	34	2500	50	236,3
CPT-020	34	36	2800	50	253,8
CPT-020	36	38	2900	65	259,4
CPT-020	38	40	3000	75	265,0
CPT-021	0	2	700	35	106,4
CPT-021	2	4	500	18	86,2
CPT-021	4	6	300	10	62,5
CPT-021	6	8	300	9	62,5
CPT-021	8	10	300	10	62,5
CPT-021	10	12	300	10	62,5
CPT-021	12	14	300	10	62,5
CPT-021	14	16	300	10	62,5
CPT-021	16	18	300	10	62,5
CPT-021	18	20	300	10	62,5
CPT-021	20	22	500	20	86,2
CPT-021	22	24	700	14	106,4
CPT-021	24	26	700	20	106,4
CPT-021	26	28	850	40	120,2
CPT-021	28	30	1000	40	133,1
CPT-021	30	32	1000	30	133,1
CPT-021	32	34	1400	40	164,3
CPT-021	34	36	1400	40	164,3
CPT-021	36	38	1600	30	178,7
CPT-021	38	40	1750	50	189,0
CPT-022	0	2	500	50	86,2
CPT-022	2	4	200	12	48,5
CPT-022	4	6	200	12	48,5
CPT-022	6	8	300	12	62,5
CPT-022	8	10	500	12	86,2
CPT-022	10	12	600	12	96,6
CPT-022	12	14	600	12	96,6
CPT-022	14	16	600	25	96,6
CPT-022	16	18	700	25	106,4
CPT-022	18	20	800	25	115,7
CPT-022	20	22	1000	25	133,1
CPT-022	22	24	1000	25	133,1
CPT-022	24	26	1000	25	133,1
CPT-022	26	28	1200	25	149,2

ID	De (m)	À (m)	Qc moyen (kPa)	Fs moyen (kPa)	Vs (m/s)
CPT-022	28	30	1250	35	153,0
CPT-022	30	32	1250	35	153,0
CPT-022	32	34	1500	35	171,6
CPT-022	34	36	1650	35	182,1
CPT-022	36	38	1750	40	189,0
CPT-022	38	40	1900	45	199,0
CPT-023	0	2	750	35	111,1
CPT-023	2	4	800	25	115,7
CPT-023	4	6	1000	25	133,1
CPT-023	6	8	1100	25	141,3
CPT-023	8	10	1200	25	149,2
CPT-023	10	12	1300	25	156,8
CPT-023	12	14	1400	25	164,3
CPT-023	14	16	1500	35	171,6
CPT-023	16	18	1700	45	185,6
CPT-023	18	20	2200	45	218,1
CPT-023	20	22	2100	45	211,9
CPT-023	22	24	2500	45	236,3
CPT-023	24	26	2650	45	245,1
CPT-023	26	27,2	2500	25	236,3
CPT-024	0	2	600	35	96,6
CPT-024	2	4	60	25	22,8
CPT-024	4	6	750	25	111,1
CPT-024	6	8	750	25	111,1
CPT-024	8	10	1200	25	149,2
CPT-025	0	2	3300	70	281,3
CPT-025	2	4	1500	25	171,6
CPT-025	4	6	1000	25	133,1
CPT-025	6	8	500	20	86,2
CPT-025	8	10	500	20	86,2
CPT-025	10	12	500	20	86,2
CPT-025	12	14	500	23	86,2
CPT-025	14	16	500	25	86,2
CPT-025	16	18	1200	25	149,2
CPT-025	18	20	1000	25	133,1
CPT-025	20	22	1000	25	133,1
CPT-025	22	24	1000	40	133,1
CPT-025	24	26	1100	40	141,3
CPT-025	26	28	1200	40	149,2

ID	De (m)	À (m)	Qc moyen (kPa)	Fs moyen (kPa)	Vs (m/s)
CPT-025	28	30	1200	40	149,2
CPT-026	0	2	500	30	86,2
CPT-026	2	4	750	30	111,1
CPT-026	4	6	900	30	124,6
CPT-026	6	8	1000	30	133,1
CPT-026	8	10	1200	30	149,2
CPT-026	10	12	1300	30	156,8
CPT-026	12	14	1500	30	171,6
CPT-026	14	16	1700	40	185,6
CPT-026	16	18	1700	50	185,6
CPT-026	18	20	2000	50	205,5
CPT-026	20	22	2500	50	236,3
CPT-026	22	24	2500	45	236,3
CPT-026	24	26	2500	35	236,3
CPT-026	26	28	2300	35	224,3
CPT-027	0	2	500	40	86,2
CPT-027	2	4	750	25	111,1
CPT-027	4	6	750	25	111,1
CPT-027	6	8	500	20	86,2
CPT-027	8	10	500	20	86,2
CPT-027	10	12	500	20	86,2
CPT-027	12	14	750	25	111,1
CPT-027	14	16	750	25	111,1
CPT-027	16	18	1000	25	133,1
CPT-027	18	20	1000	35	133,1
CPT-028	0	2	400	40	74,9
CPT-028	2	4	1000	30	133,1
CPT-028	4	6	1000	20	133,1
CPT-028	6	8	1000	25	133,1
CPT-028	8	10	1100	25	141,3
CPT-028	10	12	1200	25	149,2
CPT-028	12	14	1750	25	189,0
CPT-028	14	16	1750	25	189,0
CPT-028	16	18	1750	25	189,0
CPT-028	18	20	1750	35	189,0
CPT-028	20	22	2200	35	218,1
CPT-028	22	24	2200	55	218,1
CPT-028	24	26	2200	70	218,1
CPT-028	26	28	2500	65	236,3

ID	De (m)	À (m)	Qc moyen (kPa)	Fs moyen (kPa)	Vs (m/s)
CPT-028	28	30	2600	70	242,2
CPT-028	30	32	2800	105	253,8
CPT-028	32	34	3000	105	265,0
CPT-028	34	36	3200	115	275,9
CPT-028	36	38	3200	120	275,9
CPT-029	0	2	2750	125	250,9
CPT-029	2	4	1750	60	189,0
CPT-029	4	6	1250	25	153,0
CPT-029	6	8	1250	20	153,0
CPT-029	8	10	1300	20	156,8
CPT-029	10	12	1800	30	192,4
CPT-030	0	2	750	25	111,1
CPT-030	2	4	750	25	111,1
CPT-030	4	6	750	10	111,1
CPT-030	6	8	750	10	111,1
CPT-030	8	10	750	15	111,1
CPT-030	10	12	750	25	111,1
CPT-030	12	14	750	25	111,1
CPT-030	14	16	750	25	111,1
CPT-030	16	18	1000	25	133,1
CPT-030	18	20	1050	25	137,2
CPT-030	20	22	1100	25	141,3
CPT-030	22	24	1100	25	141,3
CPT-030	24	26	1500	25	171,6
CPT-030	26	28	1500	50	171,6
CPT-030	28	30	1500	50	171,6
CPT-030	30	32	2000	50	205,5
CPT-030	32	34	2000	50	205,5
CPT-030	34	36	2000	50	205,5
CPT-030	36	38	2000	70	205,5
CPT-031	0	2	900	50	124,6
CPT-031	2	4	1250	50	153,0
CPT-031	4	6	1500	35	171,6
CPT-031	6	8	1200	20	149,2
CPT-031	8	10	1000	15	133,1
CPT-031	10	12	900	15	124,6
CPT-031	12	14	750	25	111,1
CPT-031	14	16	1000	15	133,1
CPT-031	16	18	1000	15	133,1

ID	De (m)	À (m)	Qc moyen (kPa)	Fs moyen (kPa)	Vs (m/s)
CPT-031	18	20	1100	30	141,3
CPT-031	20	22	1200	30	149,2
CPT-031	22	24	1200	30	149,2
CPT-031	24	26	1500	30	171,6
CPT-031	26	28	1500	30	171,6
CPT-032	0	2	1500	70	171,6
CPT-032	2	4	1000	25	133,1
CPT-032	4	6	1250	25	153,0
CPT-032	6	8	1250	25	153,0
CPT-032	8	10	1250	40	153,0
CPT-032	10	12	1400	40	164,3
CPT-032	12	14	1600	40	178,7
CPT-032	14	16	1400	30	164,3
CPT-032	16	18	1400	30	164,3
CPT-032	18	20	1600	30	178,7
CPT-032	20	22	1750	30	189,0
CPT-032	22	24	1750	30	189,0
CPT-032	24	26	1750	30	189,0
CPT-035	0	2	2000	50	205,5
CPT-035	2	4	1500	25	171,6
CPT-035	4	6	1100	25	141,3
CPT-035	6	8	1000	25	133,1
CPT-035	8	10	750	12	111,1
CPT-035	10	12	750	12	111,1
CPT-035	12	14	500	12	86,2
CPT-035	14	16	500	12	86,2
CPT-035	16	18	500	12	86,2
CPT-035	18	20	750	12	111,1
CPT-035	20	22	750	25	111,1
CPT-042	12	14	750	25	111,1
CPT-042	14	16	750	25	111,1
CPT-042	16	18	500	25	86,2
CPT-042	18	20	500	25	86,2
CPT-042	20	22	600	25	96,6
CPT-042	22	24	700	25	106,4
CPT-042	24	26	700	25	106,4
CPT-042	26	28	800	25	115,7
CPT-042	28	30	750	25	111,1
CPT-042	30	32	1250	30	153,0

ID	De (m)	À (m)	Qc moyen (kPa)	Fs moyen (kPa)	Vs (m/s)
CPT-042	32	34	1250	35	153,0
CPT-042	34	36	1250	35	153,0
CPT-042	36	38	1250	35	153,0
CPT-042	38	40	1250	35	153,0
CPT-042	40	42	1900	40	199,0
CPT-042	46	48	2000	65	205,5
CPT-042	48	50	2000	65	205,5
CPT-043	12	14	600	15	96,6
CPT-043	14	16	400	15	74,9
CPT-043	16	18	750	30	111,1
CPT-043	18	20	750	30	111,1
CPT-043	20	22	750	35	111,1
CPT-043	22	24	750	40	111,1
CPT-043	24	26	1250	70	153,0
CPT-043	26	28	1250	80	153,0
CPT-043	28	30	1250	115	153,0
CPT-043	30	32	2000	80	205,5
CPT-043	32	34	2000	120	205,5
CPT-043	34	36	2000	110	205,5
CPT-043	36	38	2250	70	221,2
CPT-043	38	40	2500	180	236,3
CPT-044	0	2	400	25	74,9
CPT-044	2	4	500	25	86,2
CPT-044	4	6	500	25	86,2
CPT-044	6	8	500	25	86,2
CPT-044	8	10	500	25	86,2
CPT-044	10	12	750	25	111,1
CPT-044	12	14	1000	40	133,1
CPT-044	14	16	1000	40	133,1
CPT-044	16	18	1250	45	153,0
CPT-044	18	20	1250	51	153,0
CPT-044	20	22	1400	51	164,3
CPT-044	22	24	1500	51	171,6
CPT-044	24	26	1500	51	171,6
CPT-044	26	28	1500	65	171,6
CPT-044	28	30	2000	65	205,5
CPT-044	30	32	2000	72	205,5
CPT-044	32	34	2000	80	205,5
CPT-044	34	36	2250	80	221,2

ID	De (m)	À (m)	Qc moyen (kPa)	Fs moyen (kPa)	Vs (m/s)
CPT-044	36	38	2250	70	221,2
CPT-044	38	40	2250	60	221,2
CPT-044	40	42	2500	80	236,3
CPT-044	42	44	2500	90	236,3
CPT-045	0	2	1000	40	133,1
CPT-045	2	4	750	25	111,1
CPT-045	4	6	750	25	111,1
CPT-045	6	8	750	10	111,1
CPT-045	8	10	500	25	86,2
CPT-045	10	12	750	25	111,1
CPT-046	0	2	1400	20	164,3
CPT-046	2	4	300	20	62,5
CPT-046	4	6	300	20	62,5
CPT-046	6	8	400	12	74,9
CPT-046	8	10	500	12	86,2
CPT-046	10	12	650	12	101,6
CPT-046	12	14	750	12	111,1
CPT-046	14	16	500	12	86,2
CPT-046	16	18	500	12	86,2
CPT-046	18	20	500	12	86,2
CPT-046	20	22	750	12	111,1
CPT-046	22	24	1500	12	171,6
CPT-046	24	26	1500	25	171,6
CPT-046	26	28	1500	25	171,6
CPT-046	28	30	1500	25	171,6
CPT-046	30	32	2100	60	211,9
CPT-046	32	34	2200	80	218,1
CPT-046	42	44	2500	40	236,3
CPT-046	44	46	2500	40	236,3
CPT-046	46	48	2500	25	236,3
CPT-046	48	50	2500	25	236,3
CPT-047	18	20	2000	40	205,5
CPT-047	20	22	2000	40	205,5
CPT-047	22	24	1250	40	153,0
CPT-047	24	26	1250	40	153,0
CPT-047	26	28	1250	40	153,0
CPT-047	28	30	1250	40	153,0
CPT-047	30	32	1750	40	189,0
CPT-048	0	2	1500	65	171,6

ID	De (m)	À (m)	Qc moyen (kPa)	Fs moyen (kPa)	Vs (m/s)
CPT-048	2	4	1500	50	171,6
CPT-048	4	6	1000	12	133,1
CPT-048	6	8	1000	12	133,1
CPT-048	8	10	600	12	96,6
CPT-048	10	12	600	12	96,6
CPT-048	12	14	600	12	96,6
CPT-048	14	16	600	12	96,6
CPT-048	16	18	600	12	96,6
CPT-048	18	20	700	12	106,4
CPT-048	20	22	700	12	106,4
CPT-048	22	24	700	25	106,4
CPT-048	24	26	1000	40	133,1
CPT-048	26	28	100	50	31,4
CPT-048	28	30	1150	50	145,2
CPT-048	30	32	1250	50	153,0
CPT-048	32	34	1250	50	153,0
CPT-048	34	36	1250	80	153,0
CPT-048	36	38	1500	80	171,6
CPT-048	38	40	1700	80	185,6
CPT-048	40	42	1700	90	185,6
CPT-048	42	44	1700	110	185,6
CPT-048	44	46	2000	120	205,5
CPT-048	46	48	2000	120	205,5
CPT-048	48	50	2500	140	236,3
CPT-049	0	2	700	40	106,4
CPT-049	2	4	1000	40	133,1
CPT-049	4	6	1000	40	133,1
CPT-049	6	8	1000	25	133,1
CPT-049	8	10	1000	25	133,1
CPT-049	10	12	1000	40	133,1
CPT-050	0	2	1000	40	133,1
CPT-050	2	4	600	12	96,6
CPT-050	4	6	600	12	96,6
CPT-050	6	8	600	25	96,6
CPT-050	8	10	750	45	111,1
CPT-050	10	12	1500	55	171,6
CPT-050	12	14	1500	65	171,6
CPT-050	18	20	2300	80	224,3
CPT-050	20	22	2300	80	224,3

ID	De (m)	À (m)	Qc moyen (kPa)	Fs moyen (kPa)	Vs (m/s)
CPT-050	22	24	2300	80	224,3
CPT-050	24	26	2300	80	224,3
CPT-050	26	28	2800	80	253,8
CPT-050	28	30	2800	80	253,8
CPT-052	0	2	1200	65	149,2
CPT-052	2	4	1000	65	133,1
CPT-052	4	6	1250	55	153,0
CPT-052	6	8	1250	65	153,0
CPT-052	8	10	1250	65	153,0
CPT-052	10	12	1250	70	153,0
CPT-052	12	14	1500	55	171,6
CPT-053	0	2	200	10	48,5
CPT-053	2	4	200	10	48,5
CPT-053	4	6	200	10	48,5
CPT-053	6	8	300	10	62,5
CPT-053	8	10	300	20	62,5
CPT-053	10	12	300	20	62,5
CPT-053	12	14	300	20	62,5
CPT-053	14	16	900	40	124,6
CPT-053	20	22	1750	50	189,0
CPT-053	22	24	1750	80	189,0
CPT-053	24	26	1750	50	189,0
CPT-053	26	28	1750	100	189,0
CPT-053	28	30	2000	100	205,5
CPT-056	0	2	1250	25	153,0
CPT-056	2	4	1200	25	149,2
CPT-056	4	6	1300	60	156,8
CPT-056	6	8	1300	60	156,8
CPT-056	8	10	1600	60	178,7
CPT-056	10	12	2200	60	218,1
CPT-056	12	14	2200	60	218,1
CPT-056	14	16	2200	85	218,1
CPT-056	16	18	2500	85	236,3
CPT-056	18	20	2500	110	236,3
CPT-056	20	22	2500	110	236,3
CPT-056	22	24	2500	110	236,3
CPT-057	0	2	1000	32	133,1
CPT-057	2	4	1000	32	133,1
CPT-057	4	6	1150	25	145,2

ID	De (m)	À (m)	Qc moyen (kPa)	Fs moyen (kPa)	Vs (m/s)
CPT-057	6	8	1300	25	156,8
CPT-057	8	10	1300	25	156,8
CPT-057	10	12	1300	25	156,8
CPT-057	12	14	1300	25	156,8
CPT-057	14	16	1600	25	178,7
CPT-057	16	18	1600	25	178,7
CPT-057	18	20	1600	35	178,7
CPT-057	20	22	1750	42	189,0
CPT-057	22	24	1750	42	189,0
CPT-057	24	26	1750	42	189,0
CPT-057	26	28	2000	42	205,5
CPT-057	28	30	2000	48	205,5
CPT-057	30	32	2000	48	205,5
CPT-057	32	34	2000	65	205,5
CPT-057	34	36	2200	65	218,1
CPT-057	36	38	2500	65	236,3
CPT-057	38	40	2800	100	253,8
CPT-058	0	2	800	12	115,7
CPT-058	2	4	800	12	115,7
CPT-058	4	6	1000	20	133,1
CPT-058	6	8	1250	25	153,0
CPT-058	8	10	1250	25	153,0
CPT-058	10	12	1250	25	153,0
CPT-058	12	14	1250	25	153,0
CPT-058	14	16	1250	25	153,0
CPT-058	16	18	1500	35	171,6
CPT-058	18	20	1500	40	171,6
CPT-058	20	22	1500	40	171,6
CPT-058	22	24	1650	45	182,1
CPT-058	24	26	1750	50	189,0
CPT-059	0	2	800	40	115,7
CPT-059	2	4	700	25	106,4
CPT-059	4	6	600	10	96,6
CPT-059	6	8	1000	10	133,1
CPT-059	8	10	1000	20	133,1
CPT-059	10	12	1000	25	133,1
CPT-059	12	14	900	25	124,6
CPT-059	14	16	800	25	115,7
CPT-059	16	18	800	25	115,7

ID	De (m)	À (m)	Qc moyen (kPa)	Fs moyen (kPa)	Vs (m/s)
CPT-059	18	20	800	25	115,7
CPT-059	20	22	800	25	115,7
CPT-059	22	24	800	25	115,7
CPT-059	24	26	900	40	124,6
CPT-059	26	28	1000	40	133,1
CPT-059	28	30	1100	40	141,3
CPT-059	30	32	1250	20	153,0
CPT-059	32	34	1250	40	153,0
CPT-059	34	36	1250	40	153,0
CPT-059	36	38	1250	40	153,0
CPT-059	38	40	1500	40	171,6
CPT-060	6	8	1000	25	133,1
CPT-060	8	10	750	18	111,1
CPT-060	10	12	750	10	111,1
CPT-060	12	14	750	18	111,1
CPT-060	14	16	750	18	111,1
CPT-060	16	18	750	18	111,1
CPT-060	18	20	750	18	111,1
CPT-060	20	22	750	18	111,1
CPT-060	22	24	900	25	124,6
CPT-060	24	26	900	25	124,6
CPT-060	26	28	1000	30	133,1
CPT-060	28	30	1000	30	133,1
CPT-060	30	32	1200	35	149,2
CPT-060	32	34	1200	50	149,2
CPT-060	34	36	1400	70	164,3
CPT-060	36	38	1400	70	164,3
CPT-060	38	40	1400	80	164,3
CPT-061	0	2	2750	70	250,9
CPT-061	12	14	750	10	111,1
CPT-061	14	16	750	25	111,1
CPT-061	16	18	750	30	111,1
CPT-061	18	20	750	40	111,1
CPT-061	20	22	1000	40	133,1
CPT-061	22	24	1150	50	145,2
CPT-061	24	26	1300	65	156,8
CPT-061	26	28	1300	80	156,8
CPT-061	28	30	1500	80	171,6
CPT-061	30	32	1700	90	185,6

ID	De (m)	À (m)	Qc moyen (kPa)	Fs moyen (kPa)	Vs (m/s)
CPT-061	32	34	1700	90	185,6
CPT-061	34	36	1800	100	192,4
CPT-061	36	38	2000	75	205,5
CPT-061	38	40	2000	75	205,5
CPT-062	0	2	750	25	111,1
CPT-062	2	4	400	20	74,9
CPT-062	4	6	500	10	86,2
CPT-062	6	8	500	10	86,2
CPT-062	8	10	450	10	80,6
CPT-062	10	12	450	10	80,6
CPT-062	12	14	500	10	86,2
CPT-062	14	16	500	10	86,2
CPT-063	0	2	1000	40	133,1
CPT-063	2	4	1000	15	133,1
CPT-063	4	6	1000	25	133,1
CPT-069	0	2	1400	80	164,3
CPT-069	2	4	750	25	111,1
CPT-069	4	6	750	25	111,1
CPT-069	6	8	650	25	101,6
CPT-069	8	10	450	25	80,6
CPT-069	10	12	400	25	74,9
CPT-069	12	14	400	25	74,9
CPT-069	14	16	500	25	86,2
CPT-069	16	18	500	25	86,2
CPT-069	18	20	500	25	86,2
CPT-069	20	22	550	25	91,5
CPT-069	22	24	600	25	96,6
CPT-069	24	26	600	25	96,6
CPT-069	26	28	750	40	111,1
CPT-069	28	30	750	40	111,1
CPT-069	30	32	1000	40	133,1
CPT-069	32	34	1000	50	133,1
CPT-069	34	36	1500	50	171,6
CPT-069	36	38	1500	50	171,6
CPT-069	38	40	2000	70	205,5
CPT-069	40	42	1500	80	171,6
CPT-069	42	44	2000	90	205,5
CPT-069	44	46	3000	100	265,0
CPT-070	0	2	1500	70	171,6

ID	De (m)	À (m)	Qc moyen (kPa)	Fs moyen (kPa)	Vs (m/s)
CPT-070	2	4	1250	35	153,0
CPT-070	4	6	1100	25	141,3
CPT-070	6	8	110	25	33,3
CPT-070	8	10	750	25	111,1
CPT-070	10	12	500	25	86,2
CPT-070	12	14	500	25	86,2
CPT-070	14	16	500	25	86,2
CPT-070	16	18	500	25	86,2
CPT-070	18	20	600	25	96,6
CPT-070	20	22	600	25	96,6
CPT-070	22	24	600	27	96,6
CPT-070	24	26	600	30	96,6
CPT-070	26	28	600	30	96,6
CPT-070	28	30	600	30	96,6
CPT-070	30	32	1100	30	141,3
CPT-071	0	2	800	40	115,7
CPT-071	2	4	800	15	115,7
CPT-071	4	6	800	15	115,7
CPT-071	6	8	800	15	115,7
CPT-071	8	10	800	15	115,7
CPT-071	10	12	800	22	115,7
CPT-071	12	14	800	30	115,7
CPT-071	14	16	800	30	115,7
CPT-071	16	18	800	30	115,7
CPT-071	18	20	800	30	115,7
CPT-071	20	22	800	30	115,7
CPT-071	22	24	900	50	124,6
CPT-071	24	26	900	50	124,6
CPT-071	26	28	900	50	124,6
CPT-071	28	30	1200	60	149,2
CPT-071	30	32	1500	70	171,6
CPT-071	32	34	1500	75	171,6
CPT-071	34	36	1750	80	189,0
CPT-071	36	38	2000	80	205,5
CPT-071	38	40	2000	80	205,5
CPT-072	0	2	2250	70	221,2
CPT-072	2	4	1750	40	189,0
CPT-072	4	6	1200	25	149,2
CPT-072	6	8	1200	40	149,2

ID	De (m)	À (m)	Qc moyen (kPa)	Fs moyen (kPa)	Vs (m/s)
CPT-073	0	2	2000	60	205,5
CPT-073	2	4	1750	60	189,0
CPT-073	4	6	1500	45	171,6
CPT-073	6	8	1000	25	133,1
CPT-073	8	10	1000	25	133,1
CPT-073	10	12	1000	25	133,1
CPT-073	12	14	1000	25	133,1
CPT-073	14	16	1000	25	133,1
CPT-073	16	18	1000	25	133,1
CPT-073	18	20	1000	40	133,1
CPT-073	20	22	1000	40	133,1
CPT-073	22	24	1250	40	153,0
CPT-073	24	26	1250	40	153,0
CPT-073	26	28	1600	50	178,7
CPT-073	28	30	1750	50	189,0
CPT-073	30	32	1900	50	199,0
CPT-073	32	34	2000	50	205,5
CPT-073	34	36	2000	50	205,5
CPT-073	36	38	2000	50	205,5
CPT-073	38	40	2000	50	205,5
CPT-073	42	44	2000	40	205,5
CPT-073	44	46	2000	40	205,5
CPT-075	0	2	2000	30	205,5
CPT-075	2	4	2000	30	205,5
CPT-075	4	6	2000	30	205,5
CPT-075	6	8	1200	10	149,2
CPT-075	8	10	1200	10	149,2
CPT-075	10	12	1250	50	153,0
CPT-075	12	14	1250	50	153,0
CPT-075	14	16	1250	35	153,0
CPT-075	16	18	1500	40	171,6
CPT-075	18	20	1500	50	171,6
CPT-075	20	22	1800	60	192,4
CPT-075	22	24	2100	70	211,9
CPT-075	24	26	2100	80	211,9
CPT-075	26	28	2100	90	211,9
CPT-075	28	30	2100	90	211,9
CPT-075	30	32	2600	120	242,2
CPT-075	32	34	2600	135	242,2

ID	De (m)	À (m)	Qc moyen (kPa)	Fs moyen (kPa)	Vs (m/s)
CPT-075	34	36	2600	115	242,2
CPT-076	0	2	1200	50	149,2
CPT-076	2	4	1100	25	141,3
CPT-076	4	6	1000	25	133,1
CPT-076	6	8	1000	25	133,1
CPT-076	8	10	1000	25	133,1
CPT-076	10	12	1000	25	133,1
CPT-076	12	14	1000	25	133,1
CPT-076	14	16	1000	25	133,1
CPT-076	16	18	1200	28	149,2
CPT-076	18	20	1200	40	149,2
CPT-076	20	22	1350	50	160,6
CPT-076	22	24	1500	50	171,6
CPT-076	24	26	1500	50	171,6
CPT-076	26	28	1500	50	171,6
CPT-076	28	30	1750	80	189,0
CPT-076	30	32	2000	80	205,5
CPT-076	32	34	2000	80	205,5
CPT-076	34	36	2150	80	215,0
CPT-076	36	38	2300	100	224,3
CPT-076	38	40	2300	120	224,3
CPT-076	40	42	2500	170	236,3
CPT-076	42	44	2500	140	236,3
CPT-077	0	2	750	40	111,1
CPT-077	2	4	1000	25	133,1
CPT-077	4	6	500	12	86,2
CPT-077	6	8	500	30	86,2
CPT-077	8	10	500	40	86,2
CPT-077	10	12	500	40	86,2
CPT-077	12	14	750	40	111,1
CPT-077	14	16	750	40	111,1
CPT-077	16	18	1000	60	133,1
CPT-077	18	20	1200	60	149,2
CPT-079	0	2	2000	40	205,5
CPT-079	2	4	1500	25	171,6
CPT-080	0	2	750	40	111,1
CPT-080	2	4	600	15	96,6
CPT-080	4	6	600	15	96,6
CPT-080	6	8	600	20	96,6

ID	De (m)	À (m)	Qc moyen (kPa)	Fs moyen (kPa)	Vs (m/s)
CPT-080	8	10	600	20	96,6
CPT-080	10	12	600	20	96,6
CPT-080	12	14	600	25	96,6
CPT-080	14	16	600	25	96,6
CPT-080	16	18	750	35	111,1
CPT-080	18	20	750	35	111,1
CPT-080	20	22	1100	35	141,3
CPT-080	22	24	1100	35	141,3
CPT-081	0	2	750	35	111,1
CPT-081	2	4	1000	40	133,1
CPT-082	0	2	600	13	96,6
CPT-082	2	4	750	13	111,1
CPT-082	4	6	200	8	48,5
CPT-082	14	16	1300	25	156,8
CPT-082	16	18	2500	50	236,3
CPT-082	18	20	1300	30	156,8
CPT-082	20	22	1300	35	156,8
CPT-082	22	24	1500	40	171,6
CPT-082	24	26	2000	50	205,5
CPT-082	26	28	2000	70	205,5
CPT-082	28	30	2200	80	218,1
CPT-082	30	32	2200	80	218,1
CPT-082	32	34	2300	80	224,3
CPT-082	34	36	2400	80	230,4
CPT-082	36	38	2400	80	230,4
CPT-083	0	2	4700	80	351,1
CPT-083	2	4	2000	50	205,5
CPT-083	4	6	500	20	86,2
CPT-083	6	8	250	15	55,8
CPT-083	8	10	250	15	55,8
CPT-083	10	12	250	15	55,8
CPT-083	12	14	250	15	55,8
CPT-083	14	16	500	15	86,2
CPT-083	16	18	250	25	55,8
CPT-083	18	20	500	25	86,2
CPT-083	20	22	750	25	111,1
CPT-083	22	24	750	25	111,1
CPT-085	0	2	1200	40	149,2
CPT-085	2	4	1000	25	133,1

ID	De (m)	À (m)	Qc moyen (kPa)	Fs moyen (kPa)	Vs (m/s)
CPT-085	4	6	1200	25	149,2
CPT-085	6	8	1200	25	149,2
CPT-085	8	10	1000	25	133,1
CPT-085	10	12	1300	25	156,8
CPT-085	12	14	1500	50	171,6
CPT-085	14	16	1700	50	185,6
CPT-085	16	18	2200	60	218,1
CPT-085	18	20	2500	65	236,3
CPT-085	20	22	2500	80	236,3
CPT-085	22	24	3000	80	265,0
CPT-086	0	2	2750	70	250,9
CPT-086	2	4	1750	30	189,0
CPT-086	4	6	1500	25	171,6
CPT-086	6	8	1000	10	133,1
CPT-086	8	10	1000	10	133,1
CPT-086	10	12	1500	10	171,6
CPT-086	12	14	1250	10	153,0
CPT-088	0	2	750	25	111,1
CPT-088	2	4	1100	25	141,3
CPT-088	4	6	2000	25	205,5
CPT-088	8	10	1000	40	133,1
CPT-088	10	12	1300	25	156,8
CPT-088	12	14	1500	40	171,6
CPT-089	0	2	1000	50	133,1
CPT-089	2	4	1400	40	164,3
CPT-089	4	6	1750	40	189,0
CPT-089	6	8	2000	25	205,5
CPT-089	8	10	1300	25	156,8
CPT-089	10	12	1300	15	156,8
CPT-089	12	14	1500	20	171,6
CPT-089	14	16	1750	25	189,0
CPT-089	16	18	1750	25	189,0
CPT-089	18	20	2000	25	205,5
CPT-089	20	22	2000	40	205,5
CPT-089	22	24	2000	40	205,5
CPT-090	0	2	550	20	91,5
CPT-090	2	4	500	25	86,2
CPT-090	4	6	1250	15	153,0
CPT-090	6	8	300	15	62,5

ID	De (m)	À (m)	Qc moyen (kPa)	Fs moyen (kPa)	Vs (m/s)
CPT-090	8	10	250	15	55,8
CPT-090	10	12	200	15	48,5
CPT-090	12	14	200	15	48,5
CPT-090	14	16	100	15	31,4
CPT-090	16	18	200	20	48,5
CPT-090	18	20	200	25	48,5
CPT-090	20	22	300	40	62,5
CPT-090	22	24	300	40	62,5
CPT-090	24	26	300	40	62,5
CPT-090	26	28	600	40	96,6
CPT-090	28	30	600	40	96,6
CPT-090	30	32	600	50	96,6
CPT-090	32	34	600	50	96,6
CPT-090	34	36	500	50	86,2
CPT-090	36	38	1000	40	133,1
CPT-090	38	40	1000	50	133,1
CPT-091	0	2	1000	80	133,1
CPT-091	2	4	500	80	86,2
CPT-091	4	6	600	20	96,6
CPT-091	6	8	750	20	111,1
CPT-091	8	10	1000	20	133,1
CPT-091	10	12	1000	20	133,1
CPT-091	12	14	1000	20	133,1
CPT-091	14	16	1500	30	171,6
CPT-091	16	18	1750	30	189,0
CPT-091	18	20	2750	50	250,9
CPT-091	20	22	2300	50	224,3
CPT-091	22	24	3000	50	265,0
CPT-091	24	26	2500	50	236,3
CPT-091	26	28	2300	50	224,3
CPT-091	28	30	2300	90	224,3
CPT-091	30	32	2300	90	224,3
CPT-091	32	34	2300	40	224,3
CPT-091	34	36	2300	40	224,3
CPT-091	36	38	2000	50	205,5
CPT-091	38	40	1500	50	171,6
CPT-091	40	42	2500	50	236,3
CPT-091	42	44	2750	50	250,9
CPT-091	44	46	2750	80	250,9

ID	De (m)	À (m)	Qc moyen (kPa)	Fs moyen (kPa)	Vs (m/s)
CPT-091	46	48	2750	65	250,9
CPT-092	0	2	400	12	74,9
CPT-092	2	4	400	12	74,9
CPT-092	4	6	400	12	74,9
CPT-092	6	8	400	12	74,9
CPT-092	8	10	400	12	74,9
CPT-092	10	12	500	12	86,2
CPT-092	12	14	500	12	86,2
CPT-092	14	16	500	15	86,2
CPT-092	16	18	750	20	111,1
CPT-092	18	20	750	20	111,1
CPT-092	20	22	750	25	111,1
CPT-092	22	24	1100	25	141,3
CPT-092	24	26	1100	25	141,3
CPT-095	0	2	750	35	111,1
CPT-095	2	4	1000	35	133,1
CPT-095	4	6	600	35	96,6
CPT-095	6	8	600	35	96,6
CPT-095	8	10	600	35	96,6
CPT-095	10	12	1000	35	133,1
CPT-095	12	14	750	40	111,1
CPT-095	14	16	900	40	124,6
CPT-095	16	18	900	40	124,6
CPT-095	18	20	1200	40	149,2
CPT-095	20	22	1200	50	149,2
CPT-095	22	24	1500	50	171,6
CPT-095	24	26	1500	50	171,6
CPT-096	0	2	750	40	111,1
CPT-096	2	4	1000	20	133,1
CPT-096	4	6	1000	20	133,1
CPT-096	6	8	1000	20	133,1
CPT-096	8	10	1000	12	133,1
CPT-096	10	12	1000	12	133,1
CPT-096	12	14	1000	12	133,1
CPT-098	8	10	600	25	96,6
CPT-098	10	12	600	20	96,6
CPT-098	12	14	750	15	111,1
CPT-098	14	16	750	20	111,1
CPT-098	16	18	1200	40	149,2

ID	De (m)	À (m)	Qc moyen (kPa)	Fs moyen (kPa)	Vs (m/s)
CPT-098	18	20	1200	50	149,2
CPT-101	0	2	300	12	62,5
CPT-101	2	4	550	12	91,5
CPT-101	4	6	550	12	91,5
CPT-101	6	8	550	12	91,5
CPT-101	8	10	550	12	91,5
CPT-101	10	12	550	12	91,5
CPT-101	12	14	750	12	111,1
CPT-101	14	16	750	12	111,1
CPT-101	16	18	900	12	124,6
CPT-101	18	20	900	25	124,6
CPT-101	20	22	900	25	124,6
CPT-101	22	24	900	25	124,6
CPT-101	24	26	900	25	124,6
CPT-101	26	28	900	25	124,6
CPT-101	28	30	1300	25	156,8
CPT-101	30	32	1500	40	171,6
CPT-101	32	34	2000	40	205,5
CPT-101	34	36	2250	45	221,2
CPT-101	36	38	2000	50	205,5
CPT-101	38	40	2500	50	236,3
CPT-101	40	42	2500	50	236,3
CPT-101	42	44	2500	50	236,3
CPT-101	44	46	2700	70	248,0
CPT-101	46	48	2900	90	259,4
CPT-102	0	2	600	25	96,6
CPT-102	2	4	600	10	96,6
CPT-102	4	6	700	10	106,4
CPT-102	6	8	700	10	106,4
CPT-102	8	10	700	10	106,4
CPT-102	10	12	750	10	111,1
CPT-102	12	14	750	10	111,1
CPT-102	14	16	750	10	111,1
CPT-102	16	18	750	20	111,1
CPT-102	18	20	750	20	111,1
CPT-102	20	22	1000	20	133,1
CPT-102	22	24	1000	20	133,1
CPT-102	24	26	1250	25	153,0
CPT-102	26	28	1400	40	164,3

ID	De (m)	À (m)	Qc moyen (kPa)	Fs moyen (kPa)	Vs (m/s)
CPT-102	28	30	1400	40	164,3
CPT-102	30	32	1500	40	171,6
CPT-102	32	34	1500	40	171,6
CPT-102	34	36	1500	40	171,6
CPT-102	36	38	1500	40	171,6
CPT-106	14	16	750	20	111,1
CPT-106	16	18	1250	20	153,0
CPT-106	18	20	1250	20	153,0
CPT-106	20	22	1250	25	153,0
CPT-106	22	24	1250	25	153,0
CPT-106	24	26	1250	40	153,0
CPT-106	26	28	1250	40	153,0
CPT-106	28	30	1500	40	171,6
CPT-106	30	32	1500	50	171,6
CPT-106	32	34	1500	50	171,6
CPT-106	34	36	2500	70	236,3
CPT-106	36	38	2500	90	236,3
CPT-106	38	40	2500	130	236,3
CPT-106	40	42	3500	160	291,9
CPT-106	42	44	3300	190	281,3
CPT-106	44	46	3300	190	281,3
CPT-106	46	48	3400	190	286,6
CPT-107	14	16	1000	25	133,1
CPT-107	16	18	750	25	111,1
CPT-107	18	20	750	25	111,1
CPT-107	20	22	1200	25	149,2
CPT-107	22	24	1200	25	149,2
CPT-107	24	26	1200	25	149,2
CPT-107	26	28	1500	25	171,6
CPT-107	28	30	1500	40	171,6
CPT-107	30	32	1500	40	171,6
CPT-107	32	34	1500	40	171,6
CPT-108	8	10	1200	12	149,2
CPT-108	10	12	750	12	111,1
CPT-108	12	14	750	12	111,1
CPT-108	14	16	750	12	111,1
CPT-108	16	18	750	12	111,1
CPT-108	18	20	1200	12	149,2
CPT-108	20	22	1200	25	149,2

ID	De (m)	À (m)	Qc moyen (kPa)	Fs moyen (kPa)	Vs (m/s)
CPT-108	22	24	1200	25	149,2
CPT-108	24	26	1200	25	149,2
CPT-108	26	28	1200	25	149,2
CPT-108	28	30	1200	40	149,2
CPT-108	30	32	1000	40	133,1
CPT-109	14	16	1500	40	171,6
CPT-109	16	18	2000	75	205,5
CPT-109	18	20	1500	75	171,6
CPT-109	20	22	1500	75	171,6
CPT-109	22	24	1500	70	171,6
CPT-109	24	26	2000	90	205,5
CPT-109	26	28	2000	95	205,5
CPT-109	28	30	2500	95	236,3
CPT-109	30	32	2500	95	236,3
CPT-109	32	34	2500	105	236,3
CPT-109	34	36	2500	105	236,3
CPT-109	36	38	2500	110	236,3
CPT-109	38	40	2500	125	236,3
CPT-114	8	10	1000	15	133,1
CPT-114	10	12	1000	15	133,1
CPT-114	12	14	1000	17	133,1
CPT-114	14	16	1200	20	149,2
CPT-114	16	18	1400	75	164,3
CPT-114	18	20	1400	30	164,3
CPT-114	20	22	1500	30	171,6
CPT-115	4	6	2000	25	205,5
CPT-115	6	8	1000	20	133,1
CPT-115	8	10	1000	20	133,1
CPT-115	10	12	1000	20	133,1
CPT-115	12	14	1200	20	149,2
CPT-115	14	16	1300	25	156,8
CPT-115	16	18	1300	25	156,8
CPT-116	0	2	1000	15	133,1
CPT-116	2	4	1500	25	171,6
CPT-116	4	6	1300	25	156,8
CPT-116	6	8	1300	25	156,8
CPT-116	8	10	1500	25	171,6
CPT-116	10	12	2200	70	218,1
CPT-116	12	14	2200	70	218,1

ID	De (m)	À (m)	Qc moyen (kPa)	Fs moyen (kPa)	Vs (m/s)
CPT-116	14	16	2500	90	236,3
CPT-116	16	18	2500	120	236,3
CPT-116	18	20	2500	120	236,3
CPT-118	14	16	1500	25	171,6
CPT-118	16	18	1750	50	189,0
CPT-118	18	20	2000	65	205,5
CPT-118	20	22	2000	65	205,5
CPT-118	22	24	2000	50	205,5
CPT-118	24	26	2300	80	224,3
CPT-118	26	28	2500	90	236,3
CPT-118	28	30	2500	85	236,3
CPT-118	30	32	2700	80	248,0
CPT-118	32	34	2700	90	248,0
CPT-119	16	18	1600	25	178,7
CPT-119	18	20	1600	25	178,7
CPT-119	20	22	2000	50	205,5
CPT-119	22	24	2100	70	211,9
CPT-119	24	26	2100	70	211,9
CPT-119	26	28	2500	90	236,3
CPT-119	28	30	2500	90	236,3
CPT-119	30	32	2750	105	250,9
CPT-119	32	34	3000	105	265,0
CPT-119	34	36	3200	120	275,9
CPT-120	6	8	750	15	111,1
CPT-120	8	10	1000	15	133,1
CPT-120	10	12	1000	15	133,1
CPT-120	12	14	1200	20	149,2
CPT-120	14	16	1300	20	156,8
CPT-120	16	18	1200	30	149,2
CPT-120	18	20	1500	30	171,6

ANNEXE C

NIVEAU DE SECOUSSES SISMQUES

Bâtiment	Distance épicentrale (km)	$V_{s,30}$ (m/s)	Magnitude 5		Magnitude 6		Magnitude 7	
			$S_a^{0,3s}$ (g)	$S_a^{1,0s}$ (g)	$S_a^{0,3s}$ (g)	$S_a^{1,0s}$ (g)	$S_a^{0,3s}$ (g)	$S_a^{1,0s}$ (g)
#1	34,4	258,7	4,65E-02	8,12E-03	1,73E-01	5,13E-02	3,95E-01	1,67E-01
#2	34,6	289,2	4,41E-02	7,46E-03	1,64E-01	4,72E-02	4,06E-01	1,68E-01
#3	34,6	289,2	4,41E-02	7,46E-03	1,64E-01	4,72E-02	4,06E-01	1,68E-01
#4	32,9	269,2	4,85E-02	8,35E-03	1,79E-01	5,24E-02	4,23E-01	1,77E-01
#5	32,4	193,7	5,67E-02	1,07E-02	2,09E-01	6,71E-02	3,91E-01	1,74E-01
#6	34,1	396,5	3,94E-02	6,10E-03	1,46E-01	3,85E-02	3,87E-01	1,48E-01
#7	34,1	396,5	3,94E-02	6,09E-03	1,46E-01	3,85E-02	3,86E-01	1,48E-01
#8	36,3	473,2	3,37E-02	4,98E-03	1,26E-01	3,17E-02	3,40E-01	1,23E-01
#9	36,3	473,2	3,38E-02	4,99E-03	1,26E-01	3,18E-02	3,40E-01	1,23E-01
#10	36,4	473,2	3,37E-02	4,97E-03	1,26E-01	3,17E-02	3,39E-01	1,23E-01
#11	36,5	2500,0	1,66E-02	1,54E-03	6,22E-02	9,81E-03	1,78E-01	3,93E-02
#12	37,8	935,5	2,41E-02	2,94E-03	9,04E-02	1,88E-02	2,57E-01	7,52E-02
#13	37,7	935,5	2,41E-02	2,94E-03	9,04E-02	1,88E-02	2,57E-01	7,52E-02
#14	31,9	181,3	5,96E-02	1,15E-02	2,19E-01	7,16E-02	3,92E-01	1,77E-01
#15	31,9	181,3	5,96E-02	1,15E-02	2,19E-01	7,16E-02	3,92E-01	1,77E-01
#16	31,9	181,3	5,95E-02	1,14E-02	2,19E-01	7,15E-02	3,91E-01	1,76E-01
#17	35,7	935,5	2,59E-02	3,16E-03	9,65E-02	2,00E-02	2,76E-01	8,04E-02
#18	35,7	935,5	2,59E-02	3,16E-03	9,65E-02	2,00E-02	2,76E-01	8,04E-02
#19	33,6	263,5	4,76E-02	8,25E-03	1,76E-01	5,20E-02	4,09E-01	1,72E-01
#20	33,1	339,9	4,37E-02	7,05E-03	1,61E-01	4,43E-02	4,19E-01	1,69E-01
#21	33,1	339,9	4,36E-02	7,04E-03	1,61E-01	4,43E-02	4,19E-01	1,69E-01
#22	36,6	604,9	3,01E-02	4,15E-03	1,13E-01	2,65E-02	3,14E-01	1,04E-01
#23	36,6	604,9	3,01E-02	4,15E-03	1,13E-01	2,65E-02	3,14E-01	1,04E-01
#24	32,3	182,5	5,85E-02	1,12E-02	2,16E-01	7,04E-02	3,87E-01	1,74E-01
#25	32,2	182,5	5,86E-02	1,12E-02	2,16E-01	7,04E-02	3,87E-01	1,74E-01
#26	35,8	428,6	3,58E-02	5,44E-03	1,34E-01	3,46E-02	3,56E-01	1,33E-01
#27	35,8	428,6	3,58E-02	5,44E-03	1,34E-01	3,46E-02	3,56E-01	1,33E-01
#28	35,7	428,6	3,58E-02	5,44E-03	1,34E-01	3,46E-02	3,56E-01	1,33E-01
#29	35,3	1613,6	2,08E-02	2,18E-03	7,76E-02	1,38E-02	2,22E-01	5,55E-02
#30	35,6	433,9	3,58E-02	5,41E-03	1,34E-01	3,44E-02	3,56E-01	1,33E-01
#31	35,6	433,9	3,58E-02	5,41E-03	1,34E-01	3,44E-02	3,56E-01	1,33E-01
#32	35,6	433,9	3,58E-02	5,41E-03	1,34E-01	3,44E-02	3,56E-01	1,33E-01
#33	35,6	433,9	3,58E-02	5,42E-03	1,34E-01	3,44E-02	3,57E-01	1,33E-01
#34	35,6	1030,5	2,49E-02	2,96E-03	9,29E-02	1,88E-02	2,66E-01	7,53E-02
#35	35,6	1030,5	2,49E-02	2,96E-03	9,29E-02	1,88E-02	2,66E-01	7,53E-02
#36	35,6	433,9	3,59E-02	5,42E-03	1,34E-01	3,44E-02	3,57E-01	1,33E-01
#37	35,7	433,9	3,57E-02	5,40E-03	1,33E-01	3,43E-02	3,55E-01	1,32E-01
#38	33,5	333,3	4,33E-02	7,03E-03	1,60E-01	4,43E-02	4,15E-01	1,69E-01

Bâtiment	Distance épicentrale (km)	$V_{s,30}$ (m/s)	Magnitude 5		Magnitude 6		Magnitude 7	
			$S_a^{0,3s}$ (g)	$S_a^{1,0s}$ (g)	$S_a^{0,3s}$ (g)	$S_a^{1,0s}$ (g)	$S_a^{0,3s}$ (g)	$S_a^{1,0s}$ (g)
#39	33,4	333,3	4,34E-02	7,05E-03	1,61E-01	4,44E-02	4,16E-01	1,69E-01
#40	33,4	333,3	4,35E-02	7,06E-03	1,61E-01	4,44E-02	4,16E-01	1,69E-01
#41	33,3	333,3	4,36E-02	7,07E-03	1,61E-01	4,45E-02	4,17E-01	1,70E-01
#42	33,3	333,3	4,35E-02	7,07E-03	1,61E-01	4,45E-02	4,17E-01	1,70E-01
#43	33,2	498,8	3,70E-02	5,36E-03	1,37E-01	3,37E-02	3,74E-01	1,32E-01
#44	33,2	498,8	3,70E-02	5,36E-03	1,37E-01	3,37E-02	3,74E-01	1,32E-01
#45	34,9	181,5	5,32E-02	1,03E-02	1,98E-01	6,49E-02	3,51E-01	1,59E-01
#46	34,9	206,4	5,03E-02	9,36E-03	1,87E-01	5,93E-02	3,64E-01	1,61E-01
#47	35,0	248,7	4,64E-02	8,19E-03	1,73E-01	5,19E-02	3,83E-01	1,64E-01
#48	34,8	181,5	5,32E-02	1,03E-02	1,98E-01	6,50E-02	3,51E-01	1,59E-01
#49	34,9	248,7	4,64E-02	8,19E-03	1,73E-01	5,19E-02	3,83E-01	1,64E-01
#50	34,7	155,1	5,72E-02	1,15E-02	2,13E-01	7,30E-02	3,64E-01	1,76E-01
#51	34,7	155,1	5,72E-02	1,15E-02	2,13E-01	7,29E-02	3,63E-01	1,76E-01
#52	34,9	181,5	5,30E-02	1,02E-02	1,97E-01	6,48E-02	3,50E-01	1,59E-01
#53	35,1	248,7	4,61E-02	8,15E-03	1,72E-01	5,17E-02	3,82E-01	1,63E-01
#54	35,1	248,7	4,61E-02	8,14E-03	1,72E-01	5,16E-02	3,81E-01	1,63E-01
#55	35,1	248,7	4,62E-02	8,15E-03	1,72E-01	5,17E-02	3,82E-01	1,63E-01
#56	32,8	499,9	3,75E-02	5,43E-03	1,38E-01	3,41E-02	3,80E-01	1,34E-01
#57	32,7	499,9	3,76E-02	5,44E-03	1,39E-01	3,42E-02	3,80E-01	1,34E-01
#58	32,7	269,2	4,89E-02	8,43E-03	1,81E-01	5,29E-02	4,27E-01	1,79E-01
#59	32,7	269,2	4,89E-02	8,42E-03	1,80E-01	5,28E-02	4,27E-01	1,78E-01
#60	32,8	584,1	3,51E-02	4,86E-03	1,29E-01	3,05E-02	3,63E-01	1,21E-01
#61	32,8	584,1	3,51E-02	4,87E-03	1,30E-01	3,06E-02	3,63E-01	1,21E-01
#62	32,7	584,1	3,52E-02	4,88E-03	1,30E-01	3,06E-02	3,64E-01	1,22E-01
#63	32,7	584,1	3,53E-02	4,89E-03	1,30E-01	3,07E-02	3,65E-01	1,22E-01
#64	32,5	274,6	4,87E-02	8,34E-03	1,80E-01	5,23E-02	4,31E-01	1,80E-01
#65	35,4	1030,5	2,51E-02	2,98E-03	9,35E-02	1,89E-02	2,68E-01	7,58E-02
#66	35,4	1030,5	2,51E-02	2,98E-03	9,35E-02	1,89E-02	2,68E-01	7,58E-02
#67	35,4	1030,5	2,51E-02	2,98E-03	9,35E-02	1,89E-02	2,68E-01	7,58E-02
#68	35,4	456,2	3,54E-02	5,27E-03	1,32E-01	3,35E-02	3,54E-01	1,30E-01
#69	35,4	456,2	3,54E-02	5,28E-03	1,32E-01	3,35E-02	3,55E-01	1,30E-01
#70	35,4	1030,5	2,51E-02	2,98E-03	9,35E-02	1,89E-02	2,68E-01	7,58E-02
#71	35,4	1030,5	2,51E-02	2,97E-03	9,34E-02	1,89E-02	2,67E-01	7,57E-02
#72	35,3	456,2	3,54E-02	5,28E-03	1,32E-01	3,35E-02	3,55E-01	1,30E-01
#73	35,3	456,2	3,55E-02	5,29E-03	1,32E-01	3,35E-02	3,55E-01	1,30E-01
#74	35,3	503,6	3,40E-02	4,93E-03	1,27E-01	3,13E-02	3,45E-01	1,22E-01
#75	31,6	147,6	6,57E-02	1,34E-02	2,41E-01	8,35E-02	4,18E-01	2,04E-01
#76	31,6	150,4	6,52E-02	1,32E-02	2,40E-01	8,25E-02	4,14E-01	2,01E-01

Bâtiment	Distance épicentrale (km)	$V_{s,30}$ (m/s)	Magnitude 5		Magnitude 6		Magnitude 7	
			$S_a^{0,3s}$ (g)	$S_a^{1,0s}$ (g)	$S_a^{0,3s}$ (g)	$S_a^{1,0s}$ (g)	$S_a^{0,3s}$ (g)	$S_a^{1,0s}$ (g)
#77	31,5	150,4	6,54E-02	1,32E-02	2,40E-01	8,26E-02	4,15E-01	2,01E-01
#78	31,5	150,4	6,56E-02	1,33E-02	2,41E-01	8,29E-02	4,17E-01	2,02E-01
#79	31,4	150,4	6,58E-02	1,33E-02	2,42E-01	8,31E-02	4,18E-01	2,03E-01
#80	31,4	150,4	6,58E-02	1,33E-02	2,42E-01	8,32E-02	4,18E-01	2,03E-01

ANNEXE D

PROBABILITÉ DE DOMMAGES

Magnitude 5

Bâtiments	Aucun dommage	Dommmages légers	Dommmages modérés	Dommmages importants	Dommmages complets	Moyenne des dommmages
#1	100	0	0	0	0	0,0
#2	100	0	0	0	0	0,0
#3	100	0	0	0	0	0,0
#4	100	0	0	0	0	0,0
#5	98	2	0	0	0	0,0
#6	100	0	0	0	0	0,0
#7	100	0	0	0	0	0,0
#8	100	0	0	0	0	0,0
#9	100	0	0	0	0	0,0
#10	100	0	0	0	0	0,0
#11	100	0	0	0	0	0,0
#12	100	0	0	0	0	0,0
#13	100	0	0	0	0	0,0
#14	100	0	0	0	0	0,0
#15	100	0	0	0	0	0,0
#16	100	0	0	0	0	0,0
#17	100	0	0	0	0	0,0
#18	100	0	0	0	0	0,0
#19	100	0	0	0	0	0,0
#20	100	0	0	0	0	0,0
#21	100	0	0	0	0	0,0
#22	100	0	0	0	0	0,0
#23	100	0	0	0	0	0,0
#24	99	1	0	0	0	0,0
#25	100	0	0	0	0	0,0
#26	100	0	0	0	0	0,0
#27	100	0	0	0	0	0,0
#28	100	0	0	0	0	0,0
#29	100	0	0	0	0	0,0
#30	100	0	0	0	0	0,0
#31	100	0	0	0	0	0,0
#32	100	0	0	0	0	0,0
#33	100	0	0	0	0	0,0
#34	100	0	0	0	0	0,0
#35	100	0	0	0	0	0,0
#36	100	0	0	0	0	0,0
#37	100	0	0	0	0	0,0

Bâtiments	Aucun dommage	Dommmages légers	Dommmages modérés	Dommmages importants	Dommmages complets	Moyenne des dommmages
#38	100	0	0	0	0	0,0
#39	100	0	0	0	0	0,0
#40	100	0	0	0	0	0,0
#41	100	0	0	0	0	0,0
#42	100	0	0	0	0	0,0
#43	100	0	0	0	0	0,0
#44	100	0	0	0	0	0,0
#45	100	0	0	0	0	0,0
#46	100	0	0	0	0	0,0
#47	100	0	0	0	0	0,0
#48	100	0	0	0	0	0,0
#49	100	0	0	0	0	0,0
#50	100	0	0	0	0	0,0
#51	100	0	0	0	0	0,0
#52	100	0	0	0	0	0,0
#53	100	0	0	0	0	0,0
#54	100	0	0	0	0	0,0
#55	100	0	0	0	0	0,0
#56	100	0	0	0	0	0,0
#57	100	0	0	0	0	0,0
#58	100	0	0	0	0	0,0
#59	100	0	0	0	0	0,0
#60	100	0	0	0	0	0,0
#61	100	0	0	0	0	0,0
#62	100	0	0	0	0	0,0
#63	100	0	0	0	0	0,0
#64	100	0	0	0	0	0,0
#65	100	0	0	0	0	0,0
#66	100	0	0	0	0	0,0
#67	100	0	0	0	0	0,0
#68	100	0	0	0	0	0,0
#69	100	0	0	0	0	0,0
#70	100	0	0	0	0	0,0
#71	100	0	0	0	0	0,0
#72	100	0	0	0	0	0,0
#73	100	0	0	0	0	0,0
#74	100	0	0	0	0	0,0
#75	100	0	0	0	0	0,0

Bâtiments	Aucun dommage	Dommages légers	Dommages modérés	Dommages importants	Dommages complets	Moyenne des dommages
#76	100	0	0	0	0	0,0
#77	100	0	0	0	0	0,0
#78	100	0	0	0	0	0,0
#79	100	0	0	0	0	0,0
#80	100	0	0	0	0	0,0

Magnitude 6

Bâtiment	Aucun dommage	Dommmages légers	Dommmages modérés	Dommmages importants	Dommmages complets	Moyenne des dommmages
#1	95	4	1	0	0	0,1
#2	97	2	1	0	0	0
#3	97	2	1	0	0	0
#4	95	4	1	0	0	0,1
#5	72	17	9	2	0	0,4
#6	86	10	4	0	0	0,2
#7	98	2	0	0	0	0
#8	99	1	0	0	0	0
#9	99	1	0	0	0	0
#10	99	1	0	0	0	0
#11	100	0	0	0	0	0
#12	100	0	0	0	0	0
#13	100	0	0	0	0	0
#14	89	10	1	0	0	0,1
#15	95	4	1	0	0	0,1
#16	95	4	1	0	0	0,1
#17	99	1	0	0	0	0
#18	99	1	0	0	0	0
#19	87	11	2	0	0	0,2
#20	99	1	0	0	0	0
#21	99	1	0	0	0	0
#22	94	5	1	0	0	0,1
#23	94	5	1	0	0	0,1
#24	71	19	9	1	0	0,4
#25	93	5	2	0	0	0,1
#26	98	2	0	0	0	0
#27	90	8	2	0	0	0,1
#28	100	0	0	0	0	0
#29	100	0	0	0	0	0
#30	98	2	0	0	0	0
#31	94	5	1	0	0	0,1
#32	94	5	1	0	0	0,1
#33	97	3	0	0	0	0
#34	98	2	0	0	0	0
#35	100	0	0	0	0	0
#36	93	5	2	0	0	0,1
#37	97	3	0	0	0	0

Bâtiment	Aucun dommage	Dommmages légers	Dommmages modérés	Dommmages importants	Dommmages complets	Moyenne des dommmages
#38	89	8	3	0	0	0,1
#39	89	8	3	0	0	0,1
#40	89	8	3	0	0	0,1
#41	89	8	3	0	0	0,1
#42	94	5	1	0	0	0,1
#43	98	2	0	0	0	0
#44	98	2	0	0	0	0
#45	97	2	1	0	0	0
#46	97	2	1	0	0	0
#47	96	4	0	0	0	0
#48	97	3	0	0	0	0
#49	98	2	0	0	0	0
#50	96	4	0	0	0	0
#51	95	4	1	0	0	0,1
#52	95	4	1	0	0	0,1
#53	98	2	0	0	0	0
#54	96	4	0	0	0	0
#55	95	5	0	0	0	0
#56	98	1	1	0	0	0
#57	98	2	0	0	0	0
#58	95	4	1	0	0	0,1
#59	95	4	1	0	0	0,1
#60	99	1	0	0	0	0
#61	99	1	0	0	0	0
#62	99	1	0	0	0	0
#63	99	1	0	0	0	0
#64	95	3	2	0	0	0,1
#65	99	1	0	0	0	0
#66	100	0	0	0	0	0
#67	100	0	0	0	0	0
#68	88	8	4	0	0	0,2
#69	88	8	4	0	0	0,2
#70	95	4	1	0	0	0,1
#71	99	1	0	0	0	0
#72	98	2	0	0	0	0
#73	100	0	0	0	0	0
#74	100	0	0	0	0	0
#75	87	9	4	0	0	0,2
#76	87	8	5	0	0	0,2

Bâtiment	Aucun dommage	Dommmages légers	Dommmages modérés	Dommmages importants	Dommmages complets	Moyenne des dommmages
#77	87	8	5	0	0	0,2
#78	87	8	5	0	0	0,2
#79	92	6	2	0	0	0,1
#80	85	12	3	0	0	0,2

Magnitude 7

Bâtiment	Aucun dommages	Dommages légers	Dommages modérés	Dommages importants	Dommages complets	Moyenne des dommages
#1	58	18	20	3	1	0,7
#2	74	15	10	1	0	0,4
#3	74	15	10	1	0	0,4
#4	55	19	22	3	1	0,7
#5	32	23	27	16	2	1,3
#6	40	23	24	12	1	1,1
#7	73	16	10	1	0	0,4
#8	84	11	5	0	0	0,2
#9	84	11	5	0	0	0,2
#10	84	11	5	0	0	0,2
#11	98	2	0	0	0	0
#12	95	4	1	0	0	0,1
#13	95	4	1	0	0	0,1
#14	72	23	5	0	0	0,3
#15	74	18	7	1	0	0,4
#16	74	18	7	1	0	0,3
#17	73	19	7	1	0	0,3
#18	73	19	7	1	0	0,3
#19	35	31	26	7	1	1,1
#20	74	17	8	1	0	0,3
#21	74	17	8	1	0	0,3
#22	56	25	17	2	0	0,7
#23	56	25	17	2	0	0,7
#24	31	28	31	9	1	1,2
#25	66	18	14	2	0	0,5
#26	65	25	9	1	0	0,5
#27	45	27	23	5	0	0,9
#28	83	12	5	0	0	0,2
#29	93	6	1	0	0	0,1
#30	52	32	12	3	1	0,7
#31	60	22	15	3	0	0,6
#32	60	22	15	3	0	0,6
#33	51	32	13	3	1	0,7
#34	78	14	7	1	0	0,3
#35	85	12	3	0	0	0,2
#36	56	23	16	5	0	0,7
#37	63	25	11	1	0	0,5

Bâtiment	Aucun dommages	Dommmages légers	Dommmages modérés	Dommmages importants	Dommmages complets	Moyenne des dommages
#38	44	25	22	8	1	1
#39	44	25	22	8	1	1
#40	44	25	22	8	1	1
#41	44	25	22	8	1	1
#42	37	36	21	5	1	1
#43	70	16	13	1	0	0,5
#44	70	16	13	1	0	0,5
#45	77	15	7	1	0	0,3
#46	76	16	7	1	0	0,3
#47	55	39	6	0	0	0,5
#48	79	19	2	0	0	0,2
#49	69	21	10	0	0	0,4
#50	75	22	3	0	0	0,3
#51	73	18	8	1	0	0,4
#52	76	14	9	1	0	0,3
#53	77	20	3	0	0	0,2
#54	75	23	2	0	0	0,3
#55	75	23	2	0	0	0,3
#56	62	18	16	3	1	0,6
#57	70	16	13	1	0	0,5
#58	55	19	22	3	1	0,8
#59	55	19	22	3	1	0,8
#60	74	14	11	1	0	0,4
#61	74	14	11	1	0	0,4
#62	74	14	11	1	0	0,4
#63	67	16	14	3	0	0,5
#64	43	23	26	7	1	1
#65	75	18	6	1	0	0,3
#66	89	7	4	0	0	0,1
#67	85	12	3	0	0	0,2
#68	46	23	21	9	1	1
#69	46	23	21	9	1	1
#70	68	18	11	3	0	0,5
#71	75	18	6	1	0	0,3
#72	71	15	13	1	0	0,4
#73	77	14	8	1	0	0,3
#74	80	12	7	1	0	0,3
#75	47	20	27	5	1	0,9
#76	48	20	26	5	1	0,9

Bâtiment	Aucun dommages	Dommages légers	Dommages modérés	Dommages importants	Dommages complets	Moyenne des dommages
#77	48	20	26	5	1	0,9
#78	48	20	26	5	1	0,9
#79	55	23	18	3	1	0,7
#80	40	33	22	4	1	0,9

