

Modification Annexe Vol 2-28

Évaluation probabiliste de l'aléa sismique

Titre du document: Évaluation probabiliste de l'aléa sismique pour le terminal maritime Canaport

N° du document: EEX4943-GAL-C-RP-0003-FR

N° de révision: 0

N° de contrat: 4500019968



Golder Associates Ltd.
9200, boul. de l'Acadie, bureau 10
Montréal (Québec)
Canada, H4N 2T2
Tél: +1 (514) 383-0990

N° rév.	Date de révision année-mois-jour	Raison de l'émission	Auteur	Réviseur	Approbation
0	2015-05-25	IFU	AA	<i>AA</i>	<i>XB</i>

Le présent document constitue une traduction de la version originale anglaise et a été préparé pour le bénéfice des lecteurs francophones. En cas de doute sur le sens ou le contenu du document traduit, de même qu'en cas de divergence entre les deux versions, le lecteur est invité à consulter et à se fier d'abord à la version originale qui aura préséance et demeure la seule officielle. Sans égard aux autres conditions et limitations spécifiées dans l'une ou l'autre version de ce document, Golder Associés Ltée (Golder) ne pourra être tenue responsable de quelques dommages que ce soit, résultant d'une quelconque utilisation de la présente traduction par le lecteur.

TABLE DES MATIÈRES

1.0 INTRODUCTION.....	9
1.1 Mise en contexte de l'étude	9
1.2 Mandat	10
1.3 Structure du rapport	10
1.4 Limitations de la présente étude	10
2.0 CONTEXTE SISMOTECTONIQUE ET GÉOLOGIE	11
2.1 Contexte tectonique régional et géologie	11
2.1.1 Contexte physiographique et géologie des dépôts meubles	11
2.1.2 Géologie de l'assise rocheuse et contexte tectonique.....	11
2.1.3 Séismes historiques	12
2.2 Développement du registre des séismes du projet.....	14
2.3 Modèle sismotectonique	14
3.0 ANALYSE DE L'ALÉA SISMIQUE	17
3.1 Analyse probabiliste de l'aléa sismique	17
3.1.1 Méthodologie.....	17
3.1.2 Paramètres utilisés dans l'APAS	18
3.2 Incertitude	18
3.2.1 Désagrégation.....	18
3.3 Équations empiriques de prédiction des mouvements du sol	19
3.4 Arbre logique.....	20
3.5 Conditions de sol du site.....	20
4.0 RÉSULTATS DE L'APAS ET DISCUSSION	21
4.1 Courbes de l'aléa spécifique au site	21
4.2 Spectres de réponse d'égal aléa	21
4.3 Désagrégation de l'aléa selon la magnitude et la distance	23
4.4 Epsilon	24
4.5 Contribution des sources	24
5.0 SOMMAIRE DES MOUVEMENTS DU SOL DE CONCEPTION	26
6.0 CONCLUSIONS.....	29
7.0 MOT DE LA FIN.....	30
8.0 RÉFÉRENCES.....	31

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Épicentres des séismes historiques ($M > 4$), localisés à moins de 300 km environ du terminal maritime Canaport d'Énergie Est, à Saint-Jean, Nouveau-Brunswick, Canada	12
Tableau 2 : Paramètres sismiques sources pour le terminal maritime Canaport d'Énergie Est, Saint-Jean, Nouveau-Brunswick, Canada.....	16
Tableau 3 : Équations de prédiction des mouvements du sol découlant des zones sources pour le terminal maritime Canaport d'Énergie Est, Saint-Jean, Nouveau-Brunswick, Canada	19
Tableau 4 : Spectres de réponse de l'accélération horizontale d'égal aléa, amortie de 5%, spécifique au site, pour des périodes structurales choisies et relatifs à l'emplacement terrestre du terminal maritime Canaport d'Énergie Est, , Saint-Jean, Nouveau-Brunswick, Canada	21
Tableau 5 : Spectres de réponse de l'accélération horizontale d'égal aléa, amortie de 5 %, spécifique au site, pour des périodes structurales choisies et relatifs aux emplacements en mer du terminal maritime Canaport d'Énergie Est, Saint-Jean, Nouveau-Brunswick, Canada	22
Tableau 6 : Désagrégation des accélérations spectrales correspondant à l'AMS, à 0,2 seconde et à 1 seconde pour l'emplacement terrestre ayant une V_{S30} égale à 760 m/s au terminal maritime Canaport d'Énergie Est, Saint-Jean, Nouveau-Brunswick, Canada.....	23
Tableau 7 : Désagrégation des accélérations spectrales correspondant à l'AMS, à 0,2 seconde et à 1 seconde pour l'emplacement en mer ayant une V_{S30} égale à 460 m/s au terminal maritime Canaport d'Énergie Est, Saint-Jean, Nouveau-Brunswick, Canada.....	24
Tableau 8 : Désagrégation des accélérations spectrales correspondant à l'AMS, à 0,2 seconde et à 1 seconde pour l'emplacement en mer ayant une V_{S30} égale à 250 m/s au terminal maritime Canaport d'Énergie Est, Saint-Jean, Nouveau-Brunswick, Canada.....	24
Tableau 9 : Accélérations spectrales correspondant à l'AMS, à 0,2 seconde, à 1 seconde et magnitude médiane pour l'emplacement terrestre ayant une V_{S30} égale à 760 m/s au terminal maritime Canaport d'Énergie Est, Saint-Jean, Nouveau-Brunswick, Canada.....	26
Tableau 10 : Accélérations spectrales correspondant à l'AMS, à 0,2 seconde, à 1 seconde et magnitude médiane pour l'emplacement en mer ayant une V_{S30} égale à 460 m/s au terminal maritime Canaport d'Énergie Est, Saint-Jean, Nouveau-Brunswick, Canada.....	26
Tableau 11 : Accélérations spectrales correspondant à l'AMS, à 0,2 seconde, à 1 seconde et magnitude médiane pour l'emplacement en mer ayant une V_{S30} égale à 250 m/s au terminal maritime Canaport d'Énergie Est, Saint-Jean, Nouveau-Brunswick, Canada.....	27
Tableau 12 : Spectres de réponse de l'accélération horizontale d'égal aléa, amortie de 5 %, pour des périodes structurales choisies, et spécifique au site de l'emplacement terrestre du terminal maritime Canaport d'Énergie Est, Saint-Jean, Nouveau-Brunswick, Canada.....	27
Tableau 13 : Spectres de réponse de l'accélération horizontale d'égal aléa, amortie de 5 %, pour des périodes structurales choisies, et spécifique au site des emplacements en mer du terminal maritime Canaport d'Énergie Est, Saint-Jean, Nouveau-Brunswick, Canada.....	28

LISTE DES FIGURES (après le texte)

Figure 1 :	Distribution de l'épicentre des séismes avoisinant le site du terminal maritime Canaport d'Énergie Est
Figure 2 :	Relevé géologique du modèle source d'aléa sismique H2 2015 du Canada
Figure 3 :	Relevé géologique du modèle source d'aléa sismique R2 2015 du Canada
Figure 4 :	Relevé géologique du modèle source d'aléa sismique HY 2015 du Canada

- Figure 5 : Distribution des séismes par date, magnitude et profondeur, catalogue canadien de sismicité composite
- Figure 6 : Arbre logique utilisé pour la caractérisation de l'incertitude épistémique
- Figure 7 : Courbes de l'aléa médian, spécifique au site, pour des accélérations spectrales choisies à des périodes spectrales choisies (site terrestre $V_{S30} = 760$ m/s)
- Figure 8 : Courbes de l'aléa médian, spécifique au site, pour des accélérations spectrales choisies à des périodes spectrales choisies (site en mer $V_{S30} = 460$ m/s)
- Figure 9 : Courbes de l'aléa médian, spécifique au site, pour des accélérations spectrales choisies à des périodes spectrales choisies (site en mer $V_{S30} = 250$ m/s)
- Figure 10 : Spectre de réponse d'accélération médiane, d'égale probabilité, amortie de 5 %, pour des périodes de retour choisies (site terrestre $V_{S30} = 760$ m/s)
- Figure 11 : Spectre de réponse d'accélération médiane, d'égale probabilité, amortie de 5 %, pour des périodes de retour choisies (site en mer $V_{S30} = 460$ et 250 m/s)
- Figure 12 : Désagrégation de l'aléa selon la magnitude et la distance pour des périodes spectrales choisies et pour une période de retour de 2 475 ans (site terrestre, $V_{S30} = 760$ m/s)
- Figure 13 : Désagrégation de l'aléa selon la magnitude et la distance pour des périodes spectrales choisies et pour une période de retour de 475 ans (site terrestre, $V_{S30} = 760$ m/s)
- Figure 14 : Désagrégation de l'aléa selon la magnitude et la distance pour des périodes spectrales choisies et pour une période de retour de 75 ans (site terrestre, $V_{S30} = 760$ m/s)
- Figure 15 : Désagrégation de l'aléa selon la magnitude et la distance pour des périodes spectrales choisies et pour une période de retour de 2 475 ans (site en mer, $V_{S30} = 460$ m/s)
- Figure 16 : Désagrégation de l'aléa selon la magnitude et la distance pour des périodes spectrales choisies et pour une période de retour de 475 ans (site en mer, $V_{S30} = 460$ m/s)
- Figure 17 : Désagrégation de l'aléa selon la magnitude et la distance pour des périodes spectrales choisies et pour une période de retour de 75 ans (site en mer, $V_{S30} = 460$ m/s)
- Figure 18 : Désagrégation de l'aléa selon la magnitude et la distance pour des périodes spectrales choisies et pour une période de retour de 2 475 ans (site en mer, $V_{S30} = 250$ m/s)
- Figure 19 : Désagrégation de l'aléa selon la magnitude et la distance pour des périodes spectrales choisies et pour une période de retour de 475 ans (site en mer, $V_{S30} = 250$ m/s)
- Figure 20 : Désagrégation de l'aléa selon la magnitude et la distance pour des périodes spectrales choisies et pour une période de retour de 75 ans (site en mer, $V_{S30} = 250$ m/s)
- Figure 21 : Désagrégation de l'aléa selon la valeur epsilon pour des périodes de retour de 2 475, 475 et 75 ans (site terrestre, $V_{S30} = 760$ m/s)
- Figure 22 : Désagrégation de l'aléa selon la valeur epsilon pour des périodes de retour de 2 475, 475 et 75 ans (site en mer, $V_{S30} = 460$ m/s)
- Figure 23 : Désagrégation de l'aléa selon la valeur epsilon pour des périodes de retour de 2 475, 475 et 75 ans (site en mer, $V_{S30} = 250$ m/s)

- Figure 24 : Contribution à l'aléa par les sources sismiques pour des périodes de retour de 2 475, 475 et 75 ans (site terrestre, $V_{S30} = 760$ m/s)
- Figure 25 : Contribution à l'aléa par les sources sismiques pour des périodes de retour de 2 475, 475 et 75 ans (site en mer, $V_{S30} = 460$ m/s)
- Figure 26 : Contribution à l'aléa par les sources sismiques pour des périodes de retour de 2 475, 475 et 75 ans (site en mer, $V_{S30} = 250$ m/s)

Sommaire

Le site du projet de *terminal maritime Canaport* (TMC) est localisé dans une région géologiquement stable de la côte est canadienne. Une analyse géologique indique que cette partie de l'Amérique du Nord est demeurée généralement stable du point de vue tectonique au cours des quelque 200 derniers millions d'années. Les données disponibles sur les séismes historiques indiquent que six séismes d'une magnitude de 4,0 ou plus se sont produits dans un rayon d'environ 100 km du site du TMC et que 161 épencentres sismiques d'une magnitude de 4,0 ou plus ont été identifiés dans un rayon de 500 km du site.

Un modèle source de sismicité régionale a été développé pour le site du TMC à partir du modèle d'aléa sismique national du Canada 2015 (Halchuk et al. 2014). Nous avons assigné un style préféré de faille inverse à chacune des zones sources puisque les mécanismes focaux et les études portant sur l'état des connaissances indiquent que cette partie de la plaque nord-américaine possède généralement des mécanismes focaux de séisme par faille inverse.

Des *analyses probabilistes de l'aléa sismique* (APAS), spécifiques au site, ont été effectuées pour un emplacement terrestre et deux emplacements en mer du site du TMC. L'emplacement des installations terrestres est situé environ à une latitude de 45,218°N et une longitude de 66,002°W. Un emplacement en mer est représentatif du sondage BH11A et le second emplacement en mer est représentatif des sondages BH5, BH7A et SH21. Il a été supposé que l'emplacement terrestre possédait une vitesse moyenne d'onde de cisaillement de 760 m/s sur les 30 m supérieurs du dépôt (V_{S30}). Il a été supposé que les emplacements en mer étaient caractérisés par une V_{S30} égale à 460 et 250 m/s respectivement. Les analyses probabilistes de l'aléa sismique ont fourni les accélérations spectrales horizontales médianes, amorties de 5 %, pour les trois périodes spectrales présentées au tableau S-1 et pour les mouvements de sol associés aux périodes de retour de 75, 475 et 2 475 ans, utilisées lors de la conception. Ces valeurs indiquent un niveau relativement faible d'aléa sismique au site du projet du TMC. Les spectres de réponse d'accélération pour des périodes variant de 0,01 à 10 secondes sont présentés dans le corps du rapport.

Tableau S-1 : Accélérations spectrales horizontales choisies (amorties de 5 %) pour des périodes de retour de 75, 475 et 2 475 ans pour les conditions de référence au site du terminal maritime Canaport d'Énergie Est, Saint-Jean, Nouveau-Brunswick, Canada

Site	V_{S30}	Période (s)	Accélérations spectrales horizontales médianes (g)		
			75 ans	475 ans	2 475 ans
Terrestre	760 m/s	AMS	0,013	0,056	0,137
		0,2	0,028	0,117	0,283
		1	0,006	0,033	0,085
En mer	460 m/s	AMS	0,015	0,068	0,162
		0,2	0,032	0,138	0,337
		1	0,008	0,044	0,113
	250 m/s	AMS	0,020	0,088	0,212
		0,2	0,043	0,182	0,435
		1	0,012	0,061	0,153

Les résultats de la désagrégation indiquent que les principaux contributeurs à l'aléa sismique au site du TMC sont des séismes de magnitude modérée ($6 < M < 7$), situés à grande distance du site (distance médiane variant de 90 à 180 km), pour des périodes de retour de 475 et de 2 475 ans, selon des accélérations spectrales, amorties de 5 %, correspondant à l'*accélération maximale du sol* (AMS), à 0,2 seconde et à 1 seconde. Les principaux contributeurs aux accélérations spectrales

pour une période de retour de 75 ans sont les séismes d'intensité modérée (ayant une magnitude médiane de **M** 6), localisés à grande distance du site du projet (distance médiane d'environ 160 à 170 km), pour les accélérations spectrales de l'AMS et de 0,2 seconde. Pour une accélération spectrale d'une (1) seconde et une période de retour de 75 ans, la distance médiane de désagrégation augmente de plus de 100 km (284 km).

1.0 INTRODUCTION

Ce rapport décrit les résultats d'une *analyse probabiliste de l'aléa sismique* (APAS), spécifique au site, qui a été effectuée pour le *terminal maritime proposé Canaport* (TMC) d'Énergie Est à Saint-Jean, Nouveau-Brunswick, Canada. Les résultats de l'APAS sont présentés pour deux emplacements: un terrestre et l'autre en mer.

1.1 Mise en contexte de l'étude

Le site du projet Canaport est localisé sur la rive ouest de la baie de Fundy, au sud-est de Saint-Jean et au sud de Point Mispec. Il est adjacent au terminal existant Canaport, servant à la réception du pétrole brut pour Irving Oil, et au terminal Canaport de gaz naturel liquéfié.

Golder Associates Ltd. (Golder) a été retenu par Energy East Pipeline Limited Partnership pour effectuer une investigation géotechnique en mer afin de définir les conditions souterraines au site du TMC. Les résultats de l'investigation géotechnique sont fournis dans un rapport distinct.

L'investigation géotechnique de Golder était ciblée sur les structures en mer (terminal maritime). Cependant, de façon à ce que cette APAS puisse être utilisée pour la conception sismique par le futur entrepreneur responsable de l'ingénierie, approvisionnement et construction, les mouvements du sol découlant des séismes sont fournis pour deux emplacements en mer et un emplacement terrestre. Les conditions de sol supposées aux trois emplacements sont discutées à la section 3.5.

Golder comprend qu'il n'existe aucun code canadien qui précise les critères de conception sismique, applicables aux terminaux maritimes pétroliers. Les critères de conception sismique ont été discutés au cours de plusieurs rencontres, tenues entre Moffatt and Nichol et Golder. Il a été convenu qu'une conception sismique à trois niveaux, cohérente avec les recommandations de conception sismique des quais du *Port de Long Beach* (USA) (POLB 2012), est appropriée pour le site du TMC. Les trois niveaux de conception, tels que définis par le Port de Long Beach, sont le séisme de niveau opérationnel, le séisme de niveau contingence et le séisme de niveau de conception selon le Code. Le séisme de niveau opérationnel est défini comme celui qui génère des mouvements du sol associés à une période de retour de 75 ans. Le séisme de niveau contingence est défini comme un séisme qui génère des mouvements du sol relatifs à une période de retour de 475 ans. Le séisme de niveau de conception selon le Code est défini comme celui qui induit des mouvements du sol découlant d'une période de retour de 2 475 ans. Les mouvements du sol de 2 475 ans sont requis pour effectuer la conception selon le code national du bâtiment du Canada (2015). Par souci de simplicité, on référera dans ce rapport aux mouvements du sol relatifs aux niveaux de conception par leur période de retour.

L'usage des périodes de retour de 75 et de 475 ans est en accord avec les recommandations de l'International Navigation Association for the Seismic Design of Port Structures (2001). Un mouvement du sol découlant d'un séisme selon le niveau du code a été ajouté par le Port de Long Beach pour respecter les prescriptions du code local de construction.

1.2 Mandat

Le mandat de Golder quant à la présente évaluation de l'aléa sismique a été défini dans l'offre de services P1414996 révision 1, préparée par Golder en date du 4 décembre 2014. Le mandat de Golder inclut les trois tâches principales, résumées ci-dessous :

- **Tâche 1:** Revoir et évaluer la tectonique régionale, la sismicité historique et les sources sismogéniques (séismes) potentielles.
- **Tâche 2:** Compléter l'EPAS spécifique au site. Ceci inclut:
 - Revoir les données historiques et mesurées portant sur les séismes afin d'évaluer l'exhaustivité du registre historique des séismes, d'en extraire les doublons, les prémices et les répliques, et de développer une échelle uniforme de magnitude.
 - Confirmer la caractérisation des sources sismogéniques, incluant toute faille crustale et zone source situées dans un rayon inférieur à environ 300 km du site du TMC.
 - Évaluer et pondérer les équations appropriées de prédiction des mouvements du sol.
 - Introduire le modèle sismique source, spécifique au site, dans le logiciel EZ-FRISK 7.65 afin de calculer les courbes d'aléa, amorties de 5 %, et les spectres de réponse uniforme de l'aléa pour des périodes de retour de 75, 475 et 2 475 ans, relativement aux sites marins et terrestre du TMC, et en tenant compte des conditions estimées du sol et du roc.
 - Désagréger les mouvements du sol pour des périodes de retour et des périodes spectrales choisies afin de déterminer les scénarios sismiques déterminants.
- **Tâche 3:** Préparer un rapport sur ces sujets.

1.3 Structure du rapport

Ce rapport présente les résultats et les conclusions de l'APAS, spécifique au site, étude effectuée par Golder, et définit les mouvements sismiques du sol, recommandés pour le site du TMC. La section 1 fournit une introduction portant sur l'objectif de l'étude, la nature du mandat, et une discussion générale des méthodes principales d'analyse de l'aléa sismique. La section 2 présente le contexte tectonique actuel, l'évolution géologique régionale, la stratigraphie du socle rocheux, la géologie du site et le registre historique des séismes survenus dans la région avoisinant le site du TMC. Nous décrivons également, dans la section 2, le développement des zones sources de sismicité, sur la base du modèle d'aléa sismique national du Canada 2015, développé par la Commission géologique du Canada. Les intrants au modèle et l'arbre logique (analyse d'incertitude), servant à l'analyse de l'aléa sismique, sont présentés à la section 3. Les résultats de cette APAS, spécifique au site, sont décrits à la section 4. La section 5 résume les conclusions de cette étude alors que la section 6 contient certaines remarques finales. La section 7 dresse la liste des références utilisées dans le cadre de cette APAS.

1.4 Limitations de la présente étude

Golder a préparé ce document de façon conforme, avec le soin et la compétence habituellement apportés par les membres oeuvrant dans les professions du génie et des sciences, opérant actuellement sous des conditions similaires, à l'intérieur de la juridiction dans laquelle les services sont fournis, et soumis aux limites de temps et aux contraintes physiques applicables à ce document. Aucune garantie, expresse ou implicite, n'est faite.

2.0 CONTEXTE SISMOTECTONIQUE ET GÉOLOGIE

Cette section décrit le contexte sismotectonique général de la région entourant le site du TMC, en particulier les éléments tectoniques majeurs qui ont généré les séismes recensés dans le registre historique. Ces éléments sont utilisés pour le développement du modèle sismique source de l'APAS.

2.1 Contexte tectonique régional et géologie

Dans cette section, nous résumons le contexte régional de la géologie et de la tectonique du site du TMC, incluant le relevé des séismes antérieurs survenus à l'intérieur d'une région plus vaste (rayon de 500 km). Le but de l'analyse géologique régionale est d'identifier les structures géologiques majeures, et d'évaluer tout potentiel sismogénique des principales discontinuités crustales bordant le site. L'évaluation du potentiel sismogénique de ces discontinuités est important parce que celles-ci pourraient représenter des sources futures de séismes ayant une importance pour l'ingénierie relative au site. Le sommaire ci-dessous est basé sur la revue par Golder de rapports et de cartes géologiques pertinentes, disponibles et publiées suite à une revue effectuée par des pairs.

2.1.1 Contexte physiographique et géologie des dépôts meubles

Le site du TMC d'Énergie Est est localisé dans la région physiographique des Appalaches au Nouveau-Brunswick (Bostock 1967). Cette région physiographique comprend le terrain ondulé de la vallée de la rivière Saint-Jean et les collines Caledonia Highland (Pronk et Allard 2003). La géomorphologie actuelle est dominée par des formes de relief qui découlent de l'érosion de l'assise rocheuse par la glace et d'une sédimentation glaciaire et postglaciaire. Ces régions ont connu une modification importante du paysage par des processus glaciaires et par les eaux de fonte, actifs au cours d'épisodes successifs d'avancée et de retrait glaciaire lors des périodes du Pléistocène et du début de l'Holocène (depuis nos jours jusqu'à 2,6 Ma¹) (Seaman 2004). Les sédiments glaciaires dans la région du site du TMC ont été cartographiés par Allard et Dickinson (2013). Ils sont décrits comme étant constitués d'une mince couche de till et de sédiments glaciomarins recouvrant une assise rocheuse peu profonde. Les dépôts plus récents du Holocène (derniers 12 000 ans environ) incluent des dépôts marins, tels des sédiments de plage et intertidaux de même que des dépôts organiques terrestres de tourbières et des marécages.

2.1.2 Géologie de l'assise rocheuse et contexte tectonique

Les unités rocheuses cartographiées au voisinage du site du TMC incluent des roches sédimentaires du Triassique (252 à 201 Ma) et de la fin du Carbonifère (307 à 299 Ma), des roches ignées du Protérozoïque moyen à tardif (1600 à 541 Ma), et des roches volcaniques du Néoproterozoïque (2500 à 541 Ma). Cette séquence fait partie du microcontinent archaïque Avalonie (New Brunswick DNR 2000). Le continent Avalonie s'est rattaché à la frange est du continent Laurentie (un prédécesseur de l'Amérique du Nord), similairement à d'autres microcontinents. Cette accréation continentale s'est déroulée lors d'une série d'épisodes de formation de montagnes, s'étendant de l'Eon Protérozoïque (2500 à 541 Ma) jusqu'à la fin de la période de l'Ordovicien (458 à 444 Ma) (Fyffe et al. 2011). Ces microcontinents sont connus comme des terranes géologiques qui constituent maintenant la géologie du socle de cette partie de l'Amérique du Nord.

¹ Ma = million d'années passées

Le site du TMC se trouve dans la terrane Calédonia qui est séparée des terranes avoisinantes par des failles à fort pendage (White et Barr 1996). La Terrane Calédonia est bordée au nord par la faille orientée vers le nord-ouest Calédonia—Clover Hill et au sud par la faille orientée vers le nord-ouest Harvey—Hopewell (Fyffe et al 2011; White et Barr 1996). Bien que certaines de ces failles aient été observées sur des affleurements de terrain, il n'existe pas de valeur systématique qui soit observée concernant l'orientation du pendage ou le décalage stratigraphique. Par conséquent, peu de consensus géologique prévaut quant au type de faille, au sens du glissement et au glissement total de ces failles.

La variabilité observée sur les caractéristiques des failles et le manque de toute expression évidente en surface suggère qu'aucune rupture de surface ne s'est produite le long de ces failles depuis la déglaciation, il y a plus de 10 000 ans. Pour effectuer l'évaluation initiale de l'aléa concernant une rupture de faille en surface au site du TMC ou à proximité de celui-ci, nous avons parcouru la littérature publiée disponible, les cartes géologiques/géomorphologiques et l'imagerie Google Earth™. La revue sur papier de l'imagerie et de la littérature n'a identifié aucune évidence quant à la rupture de failles en surface, pouvant indiquer que des failles principales, situées à moins de 20 km environ du site du TMC, aient été réactivées depuis la déglaciation. On note cependant que l'interprétation de photographies aériennes stéréoscopiques à plus grande résolution et d'imagerie LiDAR serait requise afin de confirmer complètement l'absence d'aléa de rupture en surface en ce qui concerne le site.

2.1.3 Séismes historiques

Les données portant sur les séismes historiques indiquent que le site du TMC est localisé dans une région d'activité sismique modérée. Le *catalogue des données sismiques du Canada* (CCSC) a été revu afin d'identifier des données historiques et mesurées, pertinentes à la présente étude. Le CCSC Est (Fereidoni et al. 2012) recense 161 épencentres de séismes de M^2 4,0 ou plus, localisés à moins de 500 km du site (figure 1). Il existe 17 épencentres localisés à moins d'environ 300 km du site, et six séismes enregistrés à moins d'environ 100 km du site du TMC. Le tableau 1 identifie les paramètres à la source des séismes ayant une magnitude supérieure à 4,0 et les épencentres à moins de 300 km du site du TMC, incluant le type de magnitude. M_L correspond à la magnitude locale ou de Richter et M_N est la Magnitude de Nuttli. La magnitude de Nuttli est la plus fréquemment utilisée pour l'enregistrement des séismes dans l'est du Canada (Sonley et Atkinson 2005). Aucun des séismes répertoriés au tableau 1 n'est connu comme ayant été associé à une rupture de faille en surface.

Tableau 1 : Épencentres des séismes historiques ($M > 4$), localisés à moins de 300 km environ du terminal maritime Canaport d'Énergie Est, à Saint-Jean, Nouveau-Brunswick, Canada

Année	Mois	Jour	Latitude (°N)	Longitude (°W)	Profondeur (km) ¹	Magnitude	Type ² de magnitude	Distance du site (km) ³
1764	9	30	45,3	66	0	4,4	M_L	11
1817	5	22	45	67,2	0	4,7	M_N	96
1855	2	8	46	64,5	0	5,2	M_N	147
1868	1	15	45,15	67,2	0	4,5	M_N	94
1869	10	22	45	67,2	0	5,7	M_N	96
1904	3	21	45	67,2	0	5,9	M_N	96
1930	1	4	46,73	65,83	0	4,6	M_L	170
1937	9	30	46,5	65,5	18	4,9	M_N	150
1937	9	30	47,8	65,43	5	4,5	M_N	292

² M est utilisé ici comme l'échelle générique de magnitude des séismes. Le tableau 1 indique l'échelle de magnitude telle que spécifiée dans le registre source.

Année	Mois	Jour	Latitude (°N)	Longitude (°W)	Profondeur (km) ¹	Magnitude	Type ² de magnitude	Distance du site (km) ³
1943	1	14	45,16	69,33	0	4,2	M _W	260
1945	7	15	44,9	67	0	4,6	M _L	85
1977	2	6	46,88	66,73	18	4,5	M _N	195
1982	1	9	47	66,6	5	5,5	M _W	205
1982	1	9	47	66,6	5	4,6	M _W	205
1982	1	11	47	66,6	5	5,2	M _W	205
1982	3	31	47	66,6	5	4,2	M _W	205
1982	6	16	47,01	66,95	8	4,2	M _W	214

Notes:

1. La profondeur des séismes (hypocentre) est uniquement approximative; une valeur nulle est assignée lorsqu'aucune donnée n'est disponible.
2. M_L réfère à la magnitude locale; M_N (a.k.a. M_{b,lg}) réfère à la magnitude de Nuttli; M_W réfère à la magnitude de moment.
3. Les distances sont évaluées par rapport à l'emplacement du site du projet à 45,20°N, 66,01°W.
4. Tous les emplacements et paramètres sources proviennent du catalogue des données sismiques du Canada (CCSC Est) de Fereidoni et al. (2012).

La figure 1 montre un important regroupement de séismes historiques et mesurés, incluant un séisme d'une magnitude de moment (M_W), d'une valeur inférée égale à 7. Ce séisme est survenu en février 1663 dans la région sismique de Charlevoix (CSZ) de la vallée du St-Laurent au Québec, soit à environ 400 km au nord-ouest du site du TMC. En plus des séismes historiques importants, survenus en 1663, 1791, 1860, 1870, et 1925, la région sismique de Charlevoix possède un taux relativement élevé d'occurrence de séismes secondaires, avec 200 événements enregistrés à chaque année. La plupart des séismes enregistrés possèdent une magnitudes inférieure à 3,0 sur l'échelle de Nuttli (M_N), avec des hypocentres localisés entre 7 et 15 km de profondeur, bien que certains se produisent aussi profondément que 30 km (Baird et al. 2010). La modélisation de la région sismique de Charlevoix par Baird et al. (2010) suggère que le taux élevé d'activité sismique mesurée dans cette région est probablement causé par la réactivation des anciennes failles du rift du St-Laurent (actives il y a plus de 500 Ma) et de failles annulaires, associées à la structure d'impact de la météorite de Charlevoix. Ces failles du socle sont orientées favorablement pour l'activité en cours, dans la direction des contraintes principales nord-est/sud-ouest de cette partie de l'est nord-américain. Les conditions sismotectoniques dans la région sismique de Charlevoix sont uniques et on ne s'attend pas à ce qu'elles affectent la région entourant le site du TMC.

Bien que situé à environ 750 km à l'est-sud-est du site du TMC, le séisme du 18 novembre 1929 de Grand Banks (Doxsee 1948) est le séisme historique le plus significatif pour cette partie de la côte est canadienne. Il possède une magnitude inférée d'onde de surface (M_S) de 7,2 (Bent 1995), et il a produit un tsunami local qui a causé la mort de 27 personnes sur la péninsule de Burin, à Terre-Neuve. Ce séisme est remarquable du fait que le tremblement est considéré avoir causé de nombreuses ruptures superficielles de pentes sous des profondeurs d'eau de plus de 650 m environ. Ces glissements sous-marins ont généré un courant de turbidité majeur, en direction est, et un tsunami local sur la péninsule de Burin, tel que décrit par Piper et al. (1999) et les références de cet article. Des séismes de cette magnitude ne sont pas connus dans les 500 km autour du site du TMC, mais de futurs événements sismiques similaires pourraient se produire et générer des ruptures de pentes sous-marines et des tsunamis locaux. Cependant, la localisation du site du TMC le long de la rive ouest de la baie de Fundy, avec absence d'exposition directe à l'océan Atlantique, limitera probablement l'impact de la remontée de la vague de tout tsunami.

2.2 Développement du registre des séismes du projet

Le développement d'une APAS spécifique au site requiert une compréhension d'ensemble de la distribution spatiale et temporelle des séismes historiques pour la région entourant le site du TMC. En développant le modèle 2015 d'aléa sismique pour le Canada, la Commission géologique du Canada a mis sur pied le CCSC sur la base de la compilation des données des séismes ressentis et mesurés et ce, à partir de huit catalogues sources. Fereidoni et al. (2012) ont compilé le CCSC principalement à partir du relevé d'épicentre d'aléa sismique (SHEEF), établi par Halchuk (2009) pour le développement des cartes d'aléa national du Canada en 2005. Ce catalogue contient les données de séismes ressentis et mesurés pour la période s'étendant de 1600 à 2008. De plus anciens séismes ont également été compilés à partir du relevé canadien d'épicentre des séismes de la Commission géologique du Canada qui prolonge les données de l'est du Canada jusqu'en 1550.

Le CCSC recense tous les séismes connus au Canada et dans la zone limitrophe des États-Unis jusqu'à la fin 2010. Les échelles variées de magnitude ont été converties en échelle de magnitude de moment (**M**), en utilisant la méthode de Macias-Carrasco et al. (2010). La figure 5 montre la distribution temporelle, la magnitude et la profondeur des séismes pour la région entourant le site du TMC, pour des latitudes comprises entre 35°N et 55°N et des longitudes variant de 76°W à 56°W. Ces catalogues contiennent des données précédant l'ère d'utilisation des sismographes. Ces données s'appuient sur les impressions ressenties par les résidents et qui ont été consignées dans des rapports écrits. La qualité et la quantité des premiers enregistrements de séismes varie en fonction de l'emplacement des premiers établissements.

En conséquence, le relevé des séismes est incomplet et variable en terme de qualité. Cependant, en raison de la rareté relative des grands séismes dans l'est du Canada et des patrons de peuplement, il est probable que le relevé des séismes plus intenses ($M > 5$), survenus depuis environ 1600 au milieu des années 1960, soit complet, bien que l'estimation précise de l'emplacement et de la magnitude relative aux événements antérieurs au 20^{ème} siècle ne soit pas disponible. L'augmentation apparente de la fréquence des séismes vers 1965, visible à la figure 5, résulte vraisemblablement du déploiement, après 1964 environ, de l'instrumentation et de réseaux sismiques modernes. En conséquence, des taux beaucoup plus élevés d'activité sismique sont apparents seulement parce que la capacité de les détecter a augmenté.

2.3 Modèle sismotectonique

Dans les études d'aléa sismique, un modèle sismique source est développé afin de représenter les régions sismotectoniques spécifiques, capables de produire des séismes modérés à élevés ayant une influence sur les tremblements du sol attendus au(x) site(s) d'intérêt. Un modèle sismique source définit toutes les sources sismiques, actives et potentiellement actives connues, qui peuvent contribuer aux mouvements du sol aux site(s). Le modèle sismique source est défini en termes de paramètres incluant: l'emplacement de la source, sa géométrie, les mécanismes de failles, les magnitudes maximales des séismes, la probabilité d'existence, et les modèles de récurrence des séismes.

Dans cette étude, nous avons adopté les zones sources à partir du modèle 2015 d'aléa sismique national du Canada, développé par Halchuk et al. (2014) pour la cinquième génération de cartes d'aléa sismique du Canada et pour le code national du bâtiment du Canada 2015. Halchuk et al. (2014) ont développé trois séries de zones sources pour le Canada: un modèle basé sur la sismicité historique (modèle H2), un modèle basé sur la géologie régionale (modèle R2), et un modèle

hybride (modèle HY). Ce dernier modèle comprend trois sous-modèles: H2 pondéré à 0,4, hybride(HY) pondéré à 0,4 et R2 pondéré à 0,2. Les paramètres sismiques sources, incluant le modèle de récurrence du séisme, la magnitude maximale et la profondeur sismogénique, ont été extraits directement de ce modèle 2015 d'aléa sismique. Les paramètres sismiques sources sont résumés au tableau 2.

Les zones sources requièrent un processus connu ou supposé à la source des séismes afin de calculer les dimensions des ruptures et l'atténuation des tremblements du séisme. Pour la présente étude, les processus sources préférés des séismes, pour chacune des zones sources, sont les failles inverses, génératrices de séismes. Cette hypothèse est basée sur les analyses sismotectoniques et le mécanisme focal sismique qui montrent, qu'en général, cette partie de la plaque nord-américaine est sujette à des contraintes différentielles horizontales élevées, avec la contrainte horizontale principale orientée dans l'axe nord-est/sud-ouest (e.g. Du et al. 2003).

Le modèle sismique source pour le site du TMC consiste en six zones sources issues du modèle de zone source R2, cinq du modèle H2 et sept du modèle HY de Halchuk et al. (2014). La figure 2 montre les zones sources du modèle H2, la figure 3 illustre celles du modèle R2 et la figure 4 présente le modèle HY. Selon la procédure établie par Halchuk et al. (2014), les modèles sources sont considérés séparément, puis ils sont combinés en utilisant une pondération de 0,2, 0,4 et 0,4 pour les modèles R2, H2 et HY respectivement.

Tableau 2 : Paramètres sismiques sources pour le terminal maritime Canaport d'Énergie Est, Saint-Jean, Nouveau-Brunswick, Canada

Modèle	Nom ¹ de la source	Magnitude ² minimale (Mmin)	Magnitude ³ maximale			Valeur ⁴ b			Taux d'activité (M≥Mmin) ⁴			Profondeur (km)		
			Meil-leur (0,6)	Plus bas (0,3)	Plus élevé (0,1)	Meil-leur (0,68)	Plus bas (0,16)	Plus élevé (0,16)	Meil-leur (0,68)	Plus bas (0,16)	Plus élevé (0,16)	Meill eur (0,5)	Plus bas (0,25)	Plus élevé (0,25)
R2	Fond marin atlantique (AOB2)	4,8	7,8	7,4	8	0,912	1,213	0,611	0,0036	0,0006	0,0230	10	20	5
	Fundy côtière principale(CMF2)	4,8	7,8	7,4	8	0,952	1,205	0,699	0,0079	0,0019	0,0324	10	20	5
	Marge continentale est (ECM)	4,8	7,8	7,4	8	0,660	0,751	0,573	0,2536	0,1644	0,3693	10	20	5
	Fond du rift Iapetien (IRB2)	4,8	7,3	7	7,6	1,097	1,262	0,933	0,0064	0,0023	0,0180	10	20	5
	Intérieur du nord des Appalaches (NAI2)	4,8	7,3	7	7,6	0,839	0,949	0,729	0,0231	0,0113	0,0476	5	20	5
	Noyau cratonique stable partie est du golfe du St-Laurent PEI (SCCERGSP)	4,8	7	6,8	7,2	0,869	0,982	0,734	0,0012	0,0008	0,0020	10	20	5
H2	Fond marin atlantique (AOBH)	4,8	7,8	7,4	8	0,912	1,137	0,687	0,0089	0,0022	0,0349	10	20	5
	Miramichi (MIR)	4,8	7,3	7	7,6	1,029	1,330	0,729	0,0109	0,0021	0,0572	10	20	5
	Nord des Appalaches (NAN)	4,8	7,3	7	7,6	0,912	1,137	0,687	0,0142	0,0036	0,0566	5	20	5
	Baie de Passamaquoddy (PMQ)	4,8	7,3	7	7,6	0,696	1,004	0,389	0,0052	0,0008	0,0392	10	20	5
	Fond du sud-est du Canada (SEB)	4,8	7,3	7	7,6	0,912	1,137	0,687	0,0095	0,0024	0,0399	10	20	5
HY	Fond marin atlantique (AOBH)	4,8	6,8	6,8	6,8	0,912	1,137	0,687	0,0089	0,0022	0,0349	10	20	5
	Appalaches (APL)	6,8	7,3	7	7,6	0,595	0,691	0,495	0,0030	0,0017	0,0083	10	20	5
	Marge continentale est (ECM)	6,8	7,8	7,4	8	0,660	0,751	0,573	0,0121	0,0052	0,0264	10	20	5
	Miramichi (MIR)	4,8	6,8	6,8	6,8	1,029	1,330	0,729	0,0109	0,0021	0,0572	10	20	5
	Bassin à rifts du Mésozoïque (MRB)	6,8	7,8	7,4	8	0,595	0,691	0,495	0,0018	0,0010	0,0050	5	20	10
	Nord des Appalaches (NAN)	4,8	6,8	6,8	6,8	0,912	1,137	0,687	0,0142	0,0036	0,0566	5	20	5
	Baie de Passamaquoddy (PMQ)	4,8	6,8	6,8	6,8	0,696	1,004	0,389	0,0052	0,0008	0,0392	10	20	5

Notes:

1. Toutes les sources listées dans le tableau ci-dessus sont des zones sources situées dans un rayon de 300 km du site du TMC d'Énergie Est.
2. Cette colonne indique la magnitude minimale du séisme (en magnitude de moment), considérée pour chaque zone source. À noter qu'une magnitude minimale de M 6,8 a été assignée à certaines zones sources du modèle HY.
3. La magnitude maximale du séisme est la magnitude de moment.
4. La valeur b et le taux d'activité ont été définis dans la cinquième génération du modèle d'aléa sismique (Halchuk et al. 2014).
5. Le site du TMC d'Énergie Est est localisé dans les zones sources du fond marin atlantique (AOB2 et AOBH) et se trouve très près de la zone source du nord des Appalaches (NAN). Le site du projet se trouve à environ 70 à 100 km à l'ouest de la zone source de la Baie de Passamaquoddy (PMQ).

3.0 ANALYSE DE L'ALÉA SISMIQUE

Cette section présente le contexte de l'APAS pour le site du projet du TMC. Une analyse déterministe de l'aléa sismique n'a pas été entreprise car, en raison de l'absence de failles sources bien définies, une analyse déterministe ne peut pas être bien définie.

3.1 Analyse probabiliste de l'aléa sismique

Une APAS estime la vraisemblance que des mouvements du sol spécifiés, découlant d'un séisme, soient dépassés lors d'une période de temps spécifiée (période de retour). La vraisemblance d'un dépassement est déterminée sur la base de la probabilité d'occurrence de séismes à des emplacements aléatoires situés à l'intérieur de chaque source sismique, et du taux auquel les mouvements du sol s'atténuent en s'éloignant de l'emplacement du séisme.

3.1.1 Méthodologie

La technique de l'APAS utilisée pour cette étude applique les procédures publiées par Cornell (1968) et McGuire (1976, 2004). Les calculs de l'APAS ont été effectués à l'aide du logiciel EZ-FRISK v. 7.65 (2015), commercialement disponible auprès de Risk Engineering Inc. La méthodologie de l'APAS implique le calcul du nombre de fois où un taux spécifié de mouvement du sol est dépassé au site. De façon spécifique, le taux annuel est calculé pour les événements qui génèrent le paramètre $S_A(T)$ de mouvement du sol en excès d'un niveau spécifié $S_a(T)$ au site. L'inverse du taux annuel est la période de retour.

L'aléa standard s'écrit comme suit:

$$v(S_A(T) > S_a(T)) = N_m(M_{min}) \int \int \int P[S_A(T) > S_a(T) | m, d, \varepsilon] f_M(m) f_D(d) f_\varepsilon(\varepsilon) dm dd d\varepsilon$$

où d est la distance entre le site et la source et m , la magnitude du séisme; ε décrit le nombre de déviations logarithmiques standard par lesquelles le mouvement du sol logarithmique dévie de la médiane; T est la période spectrale en secondes; $N_m(M_{min})$ est le taux annuel de séismes ayant une magnitude supérieure ou égale à M_{min} . Les valeurs $f_M(m)$, $f_D(d)$, $f_\varepsilon(\varepsilon)$ sont des fonctions de densité de probabilité pour la magnitude, la distance et epsilon. Ces fonctions de densité de probabilité décrivent le taux relatif de différents scénarios de séismes.

La variabilité des mouvements du sol est contenue dans le terme $P(S_A(T) > S_a(T) | m, d, \varepsilon)$, où:

$$P(S_A(T) > S_a(T) | m, d, \varepsilon) = \int_{S_a}^{\infty} f_{S_a}(S_a, m, d, \varepsilon) dS_a$$

où $f_{S_a}(S_a, m, d, \varepsilon)$ est la fonction de densité de probabilité pour le mouvement du sol. La fonction de densité de probabilité est définie par les équations appropriées de prédiction des mouvements du sol (GMPE).

Pour des sources sismiques multiples, le taux annuel de séismes générant des mouvements du sol qui dépasse $S_a(T)$ est la somme du taux annuel d'événements des sources individuelles. Ce calcul suppose que les sources sont indépendantes. Pour convertir le taux annuel de séismes en probabilité de dépassement au moins une fois au cours d'une période d'années t , un modèle de probabilité de récurrence des séismes de Poisson est généralement considéré. Pour un processus de Poisson,

$$P(S_A(T) > Sa(T)|t) = 1 - e^{-(v(S_A(Tn) > Sa(Tn))t)}$$

La probabilité annuelle est celle pour $t = 1$.

Le niveau d'aléa s'exprime généralement en termes de probabilité de dépassement au cours d'un nombre d'années t . Pour un modèle de Poisson, le taux annuel équivalent est fourni par:

$$v(S_A(T) > Sa(T)) = \frac{-\ln(1 - P(S_A(T) > Sa(T)|t))}{t}$$

Pour une chance de dépassement de 10 % en 50 ans, $t = 50$ ans et $P = 0,1$. Sous ces conditions, le taux annuel d'événement est égal à 0,0021/an. L'inverse (période de retour) de ce taux est de 475 années.

3.1.2 Paramètres utilisés dans l'APAS

Un sommaire des paramètres sources utilisés dans l'APAS et des incertitudes qui leur sont associées est présenté au tableau 2. Les paramètres sources de l'APAS incluent:

- Le type de faille (source)
- La probabilité d'activité
- Le modèle de séisme (exponentiel ou caractéristique)
- Le taux d'activité
- La magnitude maximale
- La *valeur b* (pente de la courbe d'aléa)
- La profondeur focale
- Les conditions de sol sur le site

3.2 Incertitude

L'APAS estime la vraisemblance que des mouvements du sol spécifiés, découlant de séismes, soient dépassés au cours d'une période de temps spécifiée. L'APAS tient compte à la fois de la variabilité aléatoire et de l'incertitude épistémique. La variabilité aléatoire décrit « la variabilité naturelle découlant du hasard à l'intérieur même d'un processus », tel que les effets dynamiques de propagation de la rupture, le hasard intervenant dans le dégagement d'énergie, la dispersion des ondes sismiques, etc. L'incertitude épistémique est celle qui porte sur la connaissance d'un processus naturel, habituellement en raison de données limitées. L'incertitude aléatoire est prise en compte dans l'APAS par la déviation standard s'appliquant aux diverses fonctions de densité de probabilité. L'incertitude épistémique est quant à elle considérée dans l'APAS par l'utilisation d'un arbre logique.

Un des avantages principaux de l'APAS est qu'il peut incorporer et quantifier globalement les incertitudes épistémiques grâce à l'arbre logique.

3.2.1 Désagrégation

Une APAS fait la somme des combinaisons des distances, des magnitudes et des déviations standard des GMPE qui génèrent un mouvement du sol en excès de celui atteignant un niveau

donné et à l'intérieur d'une période de temps spécifiée. Lors de la désagrégation de l'aléa, la contribution fractionnelle de différents groupes de scénarios (p. ex., magnitude et distance) envers l'aléa total est calculée. La désagrégation identifie donc les sources sismiques qui contribuent à l'aléa au site (Abrahamson 2006, 2009).

De plus, la quantification du paramètre epsilon (ϵ) pourrait également être obtenue par l'analyse de désagrégation.

Le paramètre epsilon décrit le nombre de déviations logarithmiques standard par lequel le mouvement logarithmique du sol dévie de la médiane (McGuire 2004), tel que donné par l'équation prédictive du mouvement du sol. Ce paramètre, en conjonction avec la magnitude et la distance des séismes, sont des paramètres utiles pour la sélection et la mise à l'échelle des mouvements du sol existants de séismes pour une analyse dynamique (Baker et Cornell 2005, 2006).

Dans ce rapport, les résultats de la désagrégation sont présentés sous une forme bidimensionnelle de casiers de magnitude et de distance. Les casiers définissent la plage sur laquelle la contribution à l'aléa est calculée. Par exemple, dans une dimension, un casier de magnitude variant de 5,9 à 6,0 correspond à la contribution à l'aléa résultant des séismes qui ont une magnitude comprise entre 5,9 et 6. Exprimé en deux dimensions, cela deviendrait la contribution à l'aléa résultant des séismes qui ont une magnitude comprise entre 5,9 et 6 et qui sont localisés à une distance comprise entre 0 et 5 km du site.

3.3 Équations empiriques de prédiction des mouvements du sol

La sélection des GMPE appropriées représente une composante clé de l'analyse de l'aléa sismique. Les GMPE fournissent des estimations sur les mouvements du sol des séismes (e.g., AMS et ordonnées de réponse spectrale) en fonction du style des failles sismiques, de la magnitude des séismes, de la distance entre le site et la source et/ou des conditions de sol du site. Le tableau 3 dresse la liste des GMPE des zones sources et leur poids relatif, utilisés dans l'APAS.

Les sept GMPE du tableau 3 et la pondération qui leur est associée ont été utilisés dans le modèle national d'aléa 2008 des États-Unis, développé par le US Geologic Survey (USGS) (Petersen et al. 2008). Nous avons évalué les GMPE qui sont utilisées dans le modèle d'aléa sismique 2015 du Canada. Les GMPE développées pour l'est du Canada sont cependant applicables pour une seule classe de sol au site. Nous avons choisi les équations utilisées dans le modèle USGS parce qu'elles ont été développées pour l'est des États-Unis qui partage un historique géologique similaire à celui de l'est canadien. Les sept GMPE, comparées à celles utilisées pour le modèle d'aléa sismique 2015 du Canada, fournissent des estimations relativement prudentes des mouvements du sol.

Tableau 3 : Équations de prédiction des mouvements du sol découlant des zones sources pour le terminal maritime Canaport d'Énergie Est, Saint-Jean, Nouveau-Brunswick, Canada

Équation de prédiction des mouvements du sol	Pondération
Atkinson-Boore (2006) ENA - 140 bars	0,1
Atkinson-Boore (2006) ENA - 200 bars	0,1
Campbell (2003)	0,1
Frankel et al. (1996)	0,1
Silva et al. (2002)	0,1
Somerville et al. (2001)	0,2

Équation de prédiction des mouvements du sol	Pondération
Tavakoli-Pezeshk (2005) ENA	0,1
Toro (1999) centre du continent	0,2

3.4 Arbre logique

Tel que discuté ci-dessus, un arbre logique d'analyse a été effectué pour prendre en compte les incertitudes épistémiques. La figure 6 montre l'arbre logique et la pondération utilisée des paramètres dans cette étude. Il s'agit des mêmes arbre logique et pondérations que ceux utilisés dans le modèle d'aléa sismique 2015 du Canada.

3.5 Conditions de sol du site

Les résultats de l'APAS sont présentés pour trois emplacements, soit un emplacement terrestre et deux emplacements en mer. Les conditions des sites sont caractérisées par la vitesse moyenne des ondes de cisaillement dans les 30 m supérieurs de la colonne de sol (V_{S30}). Nous avons supposé que l'emplacement terrestre repose directement sur le roc et qu'il est caractérisé par un V_{S30} égal à 760 m/s.

Pour la zone en mer, les journaux de sondage indiquent deux conditions génériques de site. La première condition de site consiste en approximativement 8 m d'un matériau constitué de till glaciaire recouvrant le roc. Cette condition est applicable au sondage BH11A. Sur la base des données de forage, la valeur de V_{S30} estimée est de 460 m/s à cet emplacement. Le V_{S30} a été estimé en calculant un indice de battage moyen lors de l'essai de pénétration standard (SPT) afin d'évaluer la classe de sol au site, sur la base du CNB 2015. Le CNB 2015 fournit une gamme de valeurs SPT et de vitesses d'ondes de cisaillement pour chaque classe de sol d'un site. La vitesse moyenne des ondes de cisaillement a été calculée en supposant une variation linéaire de vitesse des ondes de cisaillement à l'intérieur de cette gamme. Les résultats de l'APAS pour l'emplacement en mer avec V_{S30} égal à 460 m/s peuvent également être utilisés aux emplacements ayant moins de 2 m de sédiments marins.

Le second emplacement en mer est caractérisé par environ 6 m de sédiments marins surmontant un matériau de till glaciaire. Cette condition est applicable aux sondages BH5A, BH7A et SH21. Sur la base des données de forage, la valeur estimée de V_{S30} est de 250 m/s. Les résultats de l'APAS pour l'emplacement en mer, ayant un V_{S30} égal à 250 m/s, peuvent également être utilisés aux emplacements qui ont plus de 2 m de sédiments marins.

Les modèles de sol décrits ci-dessus ne sont pas applicables aux 3 à 6 m de sols très mous, rencontrés dans les forages BH1 et BH6. Il est plus approprié d'effectuer, lors de la conception finale, une analyse de réponse de site pour ces emplacements. Puisque ces sols sont sableux (liquéfiables), ils feraient en sorte que le site serait classifié comme étant de classe F selon le CNB 2015. Une évaluation spécifique au site est requise pour les sites ayant des sols de classe F.

La zone d'applicabilité de chaque condition de site analysée dans cette étude devrait être déterminée lors de la conception finale et après que des investigations additionnelles de site aient été complétées.

4.0 RÉSULTATS DE L'APAS ET DISCUSSION

Les analyses de l'APAS ont été réalisées à l'aide du logiciel EZ-FRISK 7.65 (2015). Les résultats de l'APAS, spécifique au site, sont présentés ci-dessous.

4.1 Courbes de l'aléa spécifique au site

Les figures 7 à 9 illustrent les courbes de l'aléa médian, spécifique au site, développées pour des accélérations spectrales correspondant à l'AMS, à 0,2, 1, 2, 5, et 10 secondes à l'emplacement terrestre et aux deux emplacements en mer. L'interpolation des courbes montrées à la figure 7 indique que les valeurs de l'AMS pour le site terrestre sont d'environ 0,137 g, 0,056 g et 0,013 g pour des périodes de retour de 2 475, 475 et 75 ans respectivement. Les valeurs de l'AMS sont approximativement de 0,162 g, 0,068 g et 0,015 g pour l'emplacement en mer avec une V_{S30} égale à 250 m/s et d'environ 0,212 g, 0,088 g et 0,020 g pour l'emplacement en mer selon une V_{S30} égale à 460 m/s, pour des périodes de retour de 2 475, 475 et 75 ans respectivement.

4.2 Spectres de réponse d'égal aléa

La figure 10 fournit les spectres de réponse de l'accélération horizontale d'égal aléa, amortie de 5 %, pour les mouvements du sol selon des périodes de retour de 75, 475 et 2 475 ans pour l'emplacement terrestre en fonction d'une période structurale comprise entre 0,01 et 10 secondes. La figure 11 fournit les spectres de réponse de l'accélération horizontale d'égal aléa, amortie de 5 %, pour les emplacements en mer ayant une V_{S30} égale à 250 et 460 m/s. Le terme "d'égal aléa" est utilisé parce qu'il existe une égale probabilité d'excéder les mouvements du sol pour toute période spectrale (Abrahamson 2006, 2009). Les figures 10 et 11 illustrent que la réponse spectrale de pointe se produit généralement à une période spectrale d'environ 0,1 seconde pour les trois valeurs de V_{S30} utilisées dans cette étude.

Les tableaux 4 et 5 dressent la liste des accélérations spectrales pour des périodes de retour 75, 475, et 2 475 ans à l'emplacement terrestre et aux deux emplacements en mer.

Tableau 4 : Spectres de réponse de l'accélération horizontale d'égal aléa, amortie de 5%, spécifique au site, pour des périodes structurales choisies et relatifs à l'emplacement terrestre du terminal maritime Canaport d'Énergie Est, , Saint-Jean, Nouveau-Brunswick, Canada

Spectres de réponse médiane probabiliste de l'accélération horizontale, amortie de 5 % (g) pour $V_{S30} = 760$ m/s			
Période (s)	75 années	475 années	2 475 années
AMS ¹	0,013	0,056	0,137
0,02	0,016	0,076	0,187
0,03	0,020	0,091	0,225
0,05	0,023	0,110	0,271
0,075	0,026	0,117	0,290
0,1	0,028	0,124	0,308
0,15	0,028	0,120	0,293
0,2	0,028	0,117	0,283
0,25	0,025	0,108	0,260
0,3	0,024	0,103	0,249
0,4	0,018	0,079	0,192
0,5	0,014	0,063	0,154

Spectres de réponse médiane probabiliste de l'accélération horizontale, amortie de 5 % (g) pour $V_{S30} = 760$ m/s			
Période (s)	75 années	475 années	2 475 années
0,75	0,008	0,043	0,108
1	0,006	0,033	0,085
1,5	0,003	0,022	0,059
2	0,002	0,015	0,043
3	0,0013	0,009	0,027
4	0,0012	0,009	0,028
5	0,0010	0,006	0,022
7,5	0,0004	0,003	0,010
10	0,0002	0,002	0,005

Note:

- AMS: Accélération horizontale de pointe du sol. L'accélération spectrale selon une période de 0,01 seconde correspond essentiellement à l'AMS.

Tableau 5 : Spectres de réponse de l'accélération horizontale d'égal aléa, amortie de 5 %, spécifique au site, pour des périodes structurales choisies et relatifs aux emplacements en mer du terminal maritime Canaport d'Énergie Est, Saint-Jean, Nouveau-Brunswick, Canada

Spectres de réponse médiane probabiliste de l'accélération horizontale, amortie de 5 % (g)						
Période (s)	$V_{S30} = 460$ m/s			$V_{S30} = 250$ m/s		
	75 années	475 années	2 475 années	75 années	475 années	2 475 années
AMS ¹	0,015	0,068	0,162	0,020	0,088	0,212
0,02	0,020	0,089	0,220	0,025	0,115	0,282
0,03	0,023	0,107	0,263	0,029	0,136	0,336
0,05	0,027	0,127	0,315	0,035	0,165	0,404
0,075	0,030	0,139	0,343	0,039	0,181	0,440
0,1	0,032	0,147	0,365	0,042	0,194	0,469
0,15	0,032	0,142	0,347	0,043	0,187	0,448
0,2	0,032	0,138	0,337	0,043	0,182	0,435
0,25	0,030	0,128	0,311	0,039	0,167	0,404
0,3	0,028	0,122	0,298	0,036	0,159	0,388
0,4	0,021	0,095	0,230	0,027	0,123	0,303
0,5	0,017	0,077	0,188	0,022	0,103	0,250
0,75	0,011	0,056	0,138	0,015	0,076	0,189
1	0,008	0,044	0,113	0,012	0,061	0,153
1,5	0,004	0,028	0,076	0,006	0,038	0,103
2	0,003	0,021	0,058	0,004	0,028	0,078
3	0,0018	0,013	0,036	0,0024	0,018	0,050
4	0,0013	0,009	0,027	0,0017	0,013	0,036
5	0,0011	0,007	0,022	0,0014	0,010	0,028
7,5	0,0004	0,003	0,010	0,0006	0,004	0,013
10	0,0002	0,002	0,005	0,0003	0,002	0,007

Note:

- AMS: Accélération horizontale de pointe du sol. L'accélération spectrale selon une période de 0,01 seconde correspond essentiellement à l'AMS.

4.3 Désagrégation de l'aléa selon la magnitude et la distance

Les désagrégations de l'aléa selon la magnitude et la distance sont montrées aux figures 12 à 20 pour l'emplacement terrestre et pour les deux emplacements en mer, selon des accélérations spectrales, amorties de 5 %, correspondant à l'AMS, à 0,2 seconde et à 1 seconde, et des mouvements du sol selon des périodes de retour de 2 475, 475 et 75 ans. Les tableaux 6 à 8 dressent la liste des résultats de la désagrégation pour ces mêmes périodes de retour à l'emplacement terrestre et aux deux emplacements en mer.

Les résultats de la désagrégation indiquent que les principaux contributeurs à l'aléa sismique au site du TMC sont des séismes de magnitude modérée ($6 < M < 7$), situés à grande distance du site (distance médiane variant de 90 à 180 km), pour des périodes de retour de 475 et de 2 475 ans, et selon des accélérations spectrales, amorties de 5 %, correspondant à l'accélération maximale du sol (AMS), à 0,2 seconde et 1 seconde.

Les principaux contributeurs aux accélérations spectrales pour une période de retour de 75 ans sont les séismes d'intensité modérée (ayant une magnitude médiane de M 6), localisés à grande distance du site du projet (distance médiane d'environ 160 à 170 km) pour les accélérations spectrales correspondant à l'AMS et à 0,2 seconde. Pour une accélération spectrale d'une (1) seconde et une période de retour de 75 ans, la distance médiane du site du TMC augmente à 284 km, mais la magnitude demeure autour de M 6.

Les figures 12 à 20 et les tableaux 6 à 8 montrent que la magnitude du séisme et la distance entre le site et la source augmentent alors que la période spectrale augmente. Lorsque la période de retour augmente, la distance médiane entre le site et la source diminue et la magnitude médiane du séisme augmente. Le scénario modal de magnitude du séisme et de distance entre le site et la source correspond à des séismes se produisant à l'intérieur de la zone sismique source PMQ (Baie de Passamaquoddy).

Tableau 6 : Désagrégation des accélérations spectrales correspondant à l'AMS, à 0,2 seconde et à 1 seconde pour l'emplacement terrestre ayant une V_{S30} égale à 760 m/s au terminal maritime Canaport d'Énergie Est, Saint-Jean, Nouveau-Brunswick, Canada

Période de retour (an)	Période structurale (s)	Accélération (g)	Magnitude (M)		Distance (km)		Epsilon	
			Médiane	Mode	Médiane	Mode	Médiane	Mode
2 475	AMS	0,137	6,5	6,7	87	85	0,63	0,9
	0,2	0,283	6,6	6,7	94	85	0,75	0,9
	1	0,085	6,9	6,7	147	85	0,81	0,9
475	AMS	0,056	6,3	6,3	112	85	0,17	0,5
	0,2	0,117	6,3	6,5	119	85	0,27	0,3
	1	0,033	6,6	6,7	191	85	0,22	0,3
75	AMS	0,013	5,9	5,1	166	85	-0,66	-2,1
	0,2	0,028	5,9	5,1	170	85	-0,53	-2,1
	1	0,006	6,1	6,9	284	495	-0,67	-2,1

Tableau 7 : Désagrégation des accélérations spectrales correspondant à l'AMS, à 0,2 seconde et à 1 seconde pour l'emplacement en mer ayant une V_{S30} égale à 460 m/s au terminal maritime Canaport d'Énergie Est, Saint-Jean, Nouveau-Brunswick, Canada

Période de retour (an)	Période structurale (s)	Accélération (g)	Magnitude (M)		Distance (km)		Epsilon	
			Médiane	Mode	Médiane	Mode	Médiane	Mode
2 475	AMS	0,162	6,5	6,7	88	85	0,66	0,7
	0,2	0,336	6,6	6,7	94	85	0,77	0,9
	1	0,113	6,9	6,7	147	85	0,82	0,7
475	AMS	0,068	6,3	6,3	111	85	0,18	0,3
	0,2	0,138	6,3	6,5	119	85	0,27	0,3
	1	0,044	6,7	6,7	192	85	0,22	0,3
75	AMS	0,015	5,9	5,1	166	95	-0,66	-2,1
	0,2	0,032	5,9	5,1	171	95	-0,54	-2,1
	1	0,008	6,2	6,9	280	495	-0,64	-2,1

Tableau 8 : Désagrégation des accélérations spectrales correspondant à l'AMS, à 0,2 seconde et à 1 seconde pour l'emplacement en mer ayant une V_{S30} égale à 250 m/s au terminal maritime Canaport d'Énergie Est, Saint-Jean, Nouveau-Brunswick, Canada

Période de retour (an)	Période structurale (s)	Accélération (g)	Magnitude (M)		Distance (km)		Epsilon	
			Médiane	Mode	Médiane	Mode	Médiane	Mode
2 475	AMS	0,212	6,5	6,7	88	85	0,73	0,9
	0,2	0,435	6,6	6,7	95	85	0,81	0,9
	1	0,152	6,9	6,7	150	85	0,85	0,9
475	AMS	0,088	6,3	6,3	111	85	0,19	0,3
	0,2	0,182	6,3	6,5	119	85	0,29	0,3
	1	0,061	6,7	6,7	193	85	0,24	0,1
75	AMS	0,020	5,9	5,1	165	85	-0,64	-2,1
	0,2	0,043	5,9	5,1	170	85	-0,53	-2,1
	1	0,012	6,2	6,9	281	495	-0,62	-2,1

4.4 Epsilon

Les figures 21 à 23 illustrent la densité de probabilité d'épsilon pour les mouvements du sol associés à des périodes de retour de 2 475, 475, et 75 ans à l'emplacement terrestre et aux deux emplacements en mer et ce, pour des accélérations spectrales correspondant à l'AMS, à 0,2 seconde et à 1 seconde. Ces figures montrent que les valeurs d'accélération spectrale, amorties de 5 %, et correspondant à l'AMS, à 0,2 seconde et à 1 seconde et à des périodes de retour de 475 et de 2 475 ans, sont en général légèrement plus grandes que les mouvements médians du sol, évalués à partir des GMPE ($\epsilon > 0$). Les tableaux 6 à 8 résument les valeurs médianes et les valeurs modales d'épsilon.

4.5 Contribution des sources

La contribution des différentes sources sismiques envers les courbes d'aléa de l'emplacement terrestre est montrée à la figure 24 pour des accélérations spectrales correspondant à l'AMS, à 0,2 seconde et à 1 seconde et pour des périodes de retour de 2 475, 475 et 75 ans. La figure 25 montre les contributions sources pour l'emplacement en mer ayant une V_{S30} égale à 460 m/s, alors

que la figure 26 montre celles pour l'emplacement en mer possédant une V_{S30} égale à 250 m/s. Ces figures indiquent que le plus important contributeur à l'aléa sismique au site Canaport est la zone sismique source PMQ (Baie de Passamaquoddy). Ceci constitue un résultat attendu puisque le taux d'activité de la zone source PMQ est d'environ un ordre de grandeur plus élevé que celui des zones sources NAN ou AOBH, après correction pour la taille relative des zones sources.

5.0 SOMMAIRE DES MOUVEMENTS DU SOL DE CONCEPTION

Le tableau 9 résume l'AMS, les accélérations spectrales et la magnitude du séisme médian en fonction de trois périodes de retour pour la conception de l'emplacement terrestre. Les tableaux 10 et 11 en font de même pour l'emplacement en mer ayant une V_{S30} égale à 460 m/s et à 250 m/s respectivement.

Tableau 9 : Accélérations spectrales correspondant à l'AMS, à 0,2 seconde, à 1 seconde et magnitude médiane pour l'emplacement terrestre ayant une V_{S30} égale à 760 m/s au terminal maritime Canaport d'Énergie Est, Saint-Jean, Nouveau-Brunswick, Canada

Période de retour (an)	Période structurale (s)	Accélération (g)	Magnitude médiane (M)
2 475	AMS	0,137	6,5
	0,2	0,283	6,6
	1	0,085	6,9
475	AMS	0,056	6,3
	0,2	0,117	6,3
	1	0,033	6,6
75	AMS	0,013	5,9
	0,2	0,028	5,9
	1	0,006	6,1

Tableau 10 : Accélérations spectrales correspondant à l'AMS, à 0,2 seconde, à 1 seconde et magnitude médiane pour l'emplacement en mer ayant une V_{S30} égale à 460 m/s au terminal maritime Canaport d'Énergie Est, Saint-Jean, Nouveau-Brunswick, Canada

Période de retour (an)	Période structurale (s)	Accélération (g)	Magnitude médiane (M)
2 475	AMS	0,162	6,5
	0,2	0,336	6,6
	1	0,113	6,9
475	AMS	0,068	6,3
	0,2	0,138	6,3
	1	0,044	6,7
75	AMS	0,015	5,9
	0,2	0,032	5,9
	1	0,008	6,2

Tableau 11 : Accélérations spectrales correspondant à l'AMS, à 0,2 seconde, à 1 seconde et magnitude médiane pour l'emplacement en mer ayant une V_{S30} égale à 250 m/s au terminal maritime Canaport d'Énergie Est, Saint-Jean, Nouveau-Brunswick, Canada

Période de retour (an)	Période structurale (s)	Accélération (g)	Magnitude (M) médiane
2 475	AMS	0,212	6,5
	0,2	0,435	6,6
	1	0,152	6,9
475	AMS	0,088	6,3
	0,2	0,182	6,3
	1	0,061	6,7
75	AMS	0,020	5,9
	0,2	0,043	5,9
	1	0,012	6,2

Le tableau 12 résume les spectres de réponse de l'accélération en fonction de trois périodes de retour pour la conception de l'emplacement terrestre. Le tableau 13 en fait de même pour les emplacements en mer ayant des V_{S30} égales à 460 m/s et à 250 m/s.

Tableau 12 : Spectres de réponse de l'accélération horizontale d'égal aléa, amortie de 5 %, pour des périodes structurales choisies, et spécifique au site de l'emplacement terrestre du terminal maritime Canaport d'Énergie Est, Saint-Jean, Nouveau-Brunswick, Canada

Spectres de réponse probabiliste des accélérations horizontales médianes, amorties de 5 % (g)			
$V_{S30} = 760$ m/s			
Période (s)	75 années	475 années	2 475 années
PGA ¹	0,013	0,056	0,137
0,02	0,016	0,076	0,187
0,03	0,020	0,091	0,225
0,05	0,023	0,110	0,271
0,075	0,026	0,117	0,290
0,1	0,028	0,124	0,308
0,15	0,028	0,120	0,293
0,2	0,028	0,117	0,283
0,25	0,025	0,108	0,260
0,3	0,024	0,103	0,249
0,4	0,018	0,079	0,192
0,5	0,014	0,063	0,154
0,75	0,008	0,043	0,108
1	0,006	0,033	0,085
1,5	0,003	0,022	0,059
2	0,002	0,015	0,043
3	0,0013	0,009	0,027
4	0,0012	0,009	0,028
5	0,0010	0,006	0,022
7,5	0,0004	0,003	0,010
10	0,0002	0,002	0,005

Note:

1. AMS: Accélération horizontale de pointe du sol. L'accélération spectrale selon une période de 0,01 seconde correspond essentiellement à l'AMS.

Tableau 13 : Spectres de réponse de l'accélération horizontale d'égal aléa, amortie de 5 %, pour des périodes structurales choisies, et spécifique au site des emplacements en mer du terminal maritime Canaport d'Énergie Est, Saint-Jean, Nouveau-Brunswick, Canada

Spectres de réponse probabiliste des accélérations horizontales médianes, amorties de 5 % (g)						
Période (s)	V _{S30} = 460 m/s			V _{S30} = 250 m/s		
	75 années	475 années	2 475 années	75 années	475 années	2 475 années
PGA ¹	0,015	0,068	0,162	0,020	0,088	0,212
0,02	0,020	0,089	0,220	0,025	0,115	0,282
0,03	0,023	0,107	0,263	0,029	0,136	0,336
0,05	0,027	0,127	0,315	0,035	0,165	0,404
0,075	0,030	0,139	0,343	0,039	0,181	0,440
0,1	0,032	0,147	0,365	0,042	0,194	0,469
0,15	0,032	0,142	0,347	0,043	0,187	0,448
0,2	0,032	0,138	0,337	0,043	0,182	0,435
0,25	0,030	0,128	0,311	0,039	0,167	0,404
0,3	0,028	0,122	0,298	0,036	0,159	0,388
0,4	0,021	0,095	0,230	0,027	0,123	0,303
0,5	0,017	0,077	0,188	0,022	0,103	0,250
0,75	0,011	0,056	0,138	0,015	0,076	0,189
1	0,008	0,044	0,113	0,012	0,061	0,153
1,5	0,004	0,028	0,076	0,006	0,038	0,103
2	0,003	0,021	0,058	0,004	0,028	0,078
3	0,0018	0,013	0,036	0,0024	0,018	0,050
4	0,0013	0,009	0,027	0,0017	0,013	0,036
5	0,0011	0,007	0,022	0,0014	0,010	0,028
7,5	0,0004	0,003	0,010	0,0006	0,004	0,013
10	0,0002	0,002	0,005	0,0003	0,002	0,007

Note:

1. AMS: Accélération horizontale de pointe du sol. L'accélération spectrale selon une période de 0,01 seconde correspond essentiellement à l'AMS.

6.0 CONCLUSIONS

Sur la base des résultats de l'APAS, les conclusions suivantes sont établies:

- Le site du projet du TMC est localisé dans une zone de faible sismicité. Les données historiques disponibles concernant les séismes indiquent que six séismes d'une magnitude de 4,0 ou plus se sont produits à l'intérieur d'un rayon d'environ 100 km du site du TMC.
- Un modèle source de sismicité régionale a été développé pour le site du TMC en utilisant six (6) zones sources du modèle R2, cinq (5) zones sources du modèle H2 et sept (7) zones sources du modèle HY, développés par Halchuk et al. (2014). L'analyse de la contribution des sources indique que le plus grand contributeur envers l'aléa sismique au site du TMC est la zone sismique source PMQ des modèles H2 et HY.
- L'AMS correspondant à une période de retour de 2 475 ans varie de 0,137 g pour le site terrestre ($V_{S30} = 760$ m/s) à 0,162 g pour l'emplacement en mer ayant une $V_{S30} = 460$ m/s (emplacements comportant moins de 2 m de silt marin) et à 0,212 g pour l'emplacement en mer ayant une $V_{S30} = 250$ m/s (emplacements comportant plus de 2 m de silt marin). L'amplification par le sol des mouvements découlant des séismes varie de 18 % à 55 %, dépendant de la valeur de V_{S30} . Des valeurs similaires d'amplification par le sol ont été observées pour les accélérations spectrales inférieures à 1 seconde.
- Aux périodes longues (accélérations spectrales supérieures à 1 seconde), l'amplification par le sol peut atteindre jusqu'à 100 % (voir les tableaux 4 et 5).
- La désagrégation de l'APAS (tableaux 6, 7 et 8) indique que celle-ci est indépendante des conditions de sol du site.
- Pour des périodes de retour de 475 et 2 475 ans, les résultats de la désagrégation indiquent que les principaux contributeurs envers l'aléa sismique au site du TMC sont les séismes de magnitude modérée ($6 < M < 7$), provenant de grandes distances (distance médiane comprise entre 90 et 180 km du site du TMC).
- Pour une période de retour de 75 ans, les résultats de la désagrégation indiquent que les principaux contributeurs envers l'aléa sismique au site du TMC sont les séismes de magnitude modérée ($M 6$), provenant de grandes distances (distance médiane comprise entre 160 à 170 km du site du TMC).

7.0 MOT DE LA FIN

Ce rapport fournit les résultats d'une analyse probabiliste de l'aléa sismique, spécifique au site du TMC d'Énergie Est à Saint-Jean, Nouveau-Brunswick, Canada. Les résultats de l'évaluation indiquent que le site est localisé dans une région où l'aléa sismique est relativement faible. Si vous avez des questions concernant ce rapport, veuillez alors, s'il vous plaît, contacter le soussigné.

Ce rapport a été préparé par Anthony Augello, PhD, PE, ingénieur senior et Alan Hull, PhD, CEG, associé principal, responsable de l'étude de l'aléa sismique, de Golder Associates Inc. Il a été revu par Ken Been, P.Eng.

GOLDER ASSOCIATES LTD.

Original signé par

Ken Been, Ph.D., P.Eng.
Associé principal

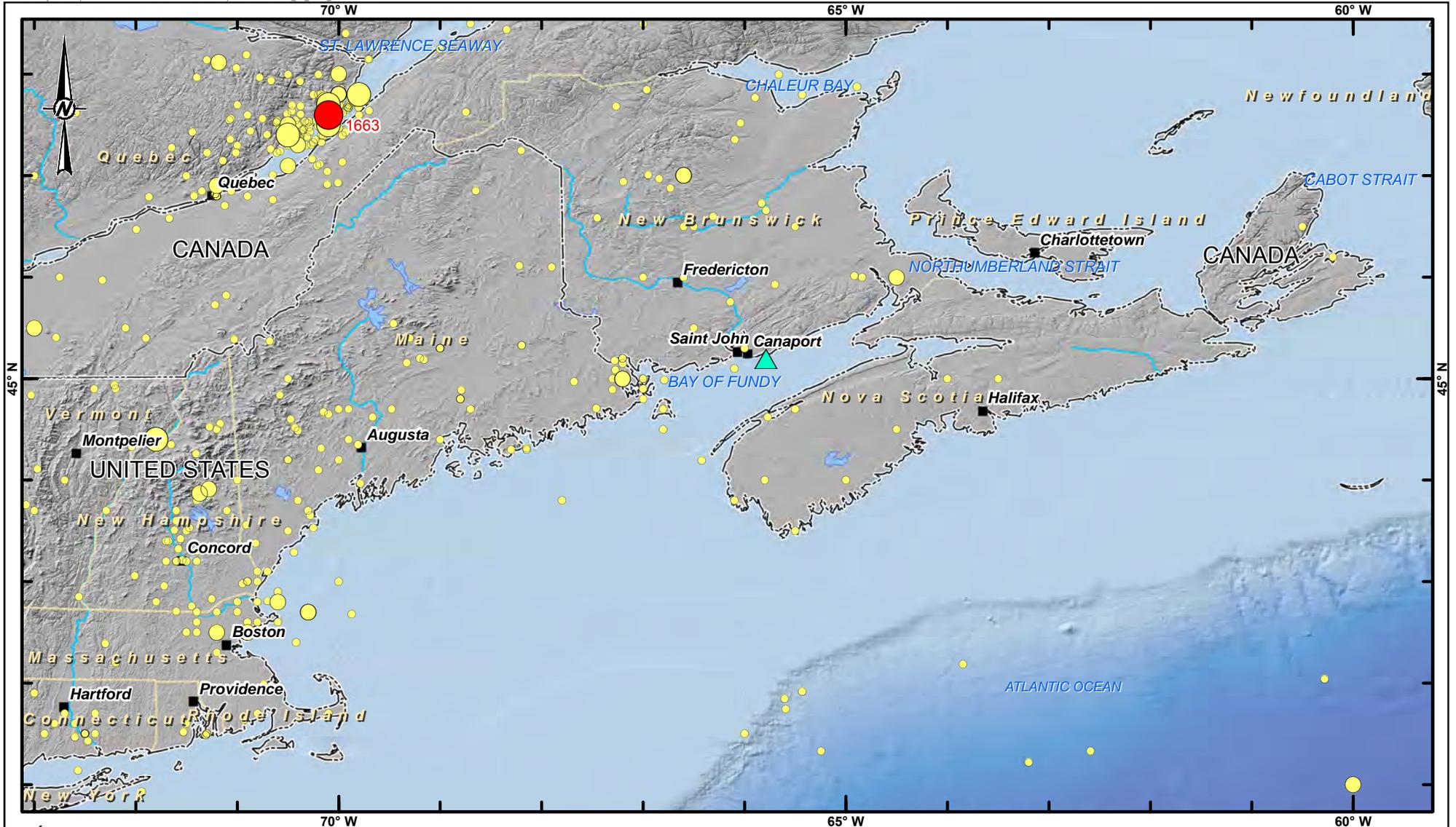
8.0 RÉFÉRENCES

- Abrahamson NA. 2006. Seismic Hazard Assessment: Problems with Current Practice and Future Developments, First European Conference on Earthquake Engineering and Seismology, a joint event of the 13th ECEE & 30th General Assembly of the ESC, Geneva, Switzerland, September.
- Abrahamson NA. 2009. The State of the Practice of Seismic Hazard Analysis: From the Good to the Bad. EERI Distinguished Lecture. EERI Chapter, University of British Columbia.
- Allard S, and Dickinson PJ. 2013. Surficial geology of the Musquash area (NTS 21 G/01), Charlotte, Saint John, and Kings counties, New Brunswick Department of Energy and Mines, Plate 2013-19
- Atkinson GM. 2012. White paper on proposed ground-motion prediction equations (GMPEs) for 2015 National Seismic Hazard Maps. Available from http://www.seismotoolbox.ca/GMPEtables2012/r12_GMPEs9b.pdf, accessed on 03/16/2015.
- Atkinson GM, and Adams J. 2013. Ground motion prediction equations for application to the 2015 Canadian national seismic hazard maps. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 40(10), 988-998.
- Atkinson G, and Boore D. 2006. Earthquake Ground Motion Prediction Equations for Eastern North America. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 96: 2181–2205.
- Baker JW, and Cornell CA. 2005. "A Vector-Valued Ground Motion Intensity Measure Consisting of Spectral Acceleration and Epsilon," *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 34 (10), 1193-1217.
- Baker JW, and Cornell CA. 2006. "Which Spectral Acceleration Are You Using?" *Earthquake Spectra*, 22 (2) 293-312.
- Bent A. 1995. A Complex Double-Couple Source Mechanism for the MS 7.2 1929 Grand Banks Earthquake. *Bulletin of the Seismological Society of America* 85: 1003-1020
- Bostock 1967 Map. Physiographic Regions of Canada. 1254A. Scale 1:5M compiled by H.S. Bostock. 1967. Geological Survey of Canada
- Campbell KW. 2003. Prediction of strong ground motion using the hybrid empirical method and its use in the development of ground-motion (attenuation) relations in eastern North America: *Bulletin of the Seismological Society of America*, 93: 1012–1033.
- Cornell C. 1968. Engineering Seismic Risk Analysis, *Bulletin of Seismological Society of America*, 58, pp 1583-1606.
- Doxsee W. 1948. The Grand Banks Earthquake of November 18, 1929. Publication of the Dominion Observatory, Ottawa 7: 323-335.
- Du, W.-X., W.-Y. Kim, and L. R. Sykes (2003), Earthquake source parameters and state of stress for the northeastern United States and southeastern Canada from analysis of regional seismograms, *Bulletin of the Seismological Society of America* 93, 1633–1648, doi:10.1785/0120020217.

- Fereidoni Z, Atkinson G, Macias M, and Goda K. 2012. CCSC: A Composite Seismicity Catalog for Earthquake Hazard Assessment in Major Canadian Cities. *Seismological Research Letters*, 83(1):179-189.
- Frankel A, Mueller C, Barnhard T, Perkins D, Leyendecker EV, Dickman N, Hanson S, and Hopper M. 1996. National seismic hazard maps—Documentation June 1996: U.S. Geological Survey Open-File Report 96-532, 110 p.
- Fyffe LR, Johnson SC, and Van Staal CR. 2011. A review of Proterozoic to Early Paleozoic lithotectonic terranes in the northeastern Appalachian orogeny of New Brunswick, Canada, and their tectonic evolution during Penobscot, Taconic, Salinic, and Acadian orogenesis: *Atlantic Geology* V. 47, p 211-248.
- Halchuk S. 2009. Seismic Hazard Earthquake Epicentre File (SHEEF) used in the fourth generation seismic hazard maps of Canada. Geological Survey of Canada, Open File 6208, 15.
- Halchuk S, Allen TI, Adams J, and Rogers GC. 2014. Fifth generation seismic hazard model input files as proposed to produce values for the 2015 National Building Code of Canada. Geological Survey of Canada Open File 7576. doi: 10.4095/293907.
- International Navigation Association, 2001. Seismic Design of Port Structures, Report of Working Group No. 34 of the Maritime Navigation Commission.
- Macias-Carrasco M, Fereydouni A, Goda K, and Atkinson G. 2010. Documentation for the 2009 Canadian Composite Seismicity Catalogue (CCSC09).
- McGuire R. 1976. Fortran Computer Program for Seismic Risk Analysis, Open-File Report 76-67, U.S. Geological Survey.
- McGuire R. 2004. Seismic Hazard and Risk Analysis, Earthquake Engineering Research Institute, MNO-10.
- New Brunswick Department of Natural Resources and Energy, 2000. Bedrock Geology of New Brunswick. Minerals and Energy Division. Map NR-1 (2000 Edition), Scale 1:500.000.
- Petersen M, Frankel A, Harmsen S, Mueller C, Haller K, Wheeler R, Wesson R, Zeng Y, Boyd O, Perkins D, Luco N, Field E, Wills C, and Rukstales K. 2008. Documentation for the 2008 Update of the United States National Seismic Hazard Maps: U.S. Geological Survey Open-File Report 2008-1128. 61 p.
- Piper D, Cochonot P, and Morrison M. 1999. The sequence of events around the epicenter of the 1929 Grand Banks Earthquake: initiation of debris flows and turbidly current inferred from sidescan sonar. *Sedimentology* 46: 79-97.
- Port of Long Beach, 2012. Port of Long Beach Wharf Design Criteria, POLB WDC Version 3.0, February.
- Pronk, A.G. and Allard, S. 2003. Landscape map of New Brunswick. New Brunswick Department of Natural Resources and Energy; Minerals, Policy and Planning Division, Map NR-9. (scale 1 : 770 000)
- Risk Engineering, Inc. 2015. EZ-FRISK version 7.65, Software for Earthquake Ground Motion Estimation, Denver, Colorado.

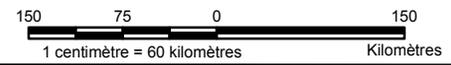
- Seaman, A.A. 2004, Late Pleistocene history of New Brunswick, Canada in Ehlers, J., and Gibbard, P.L. eds., Quaternary Glaciations – Extent and Chronology Part II: North America, v. 2, Part B, p. 151-167
- Silva W, Gregor N, and Darragh R. 2002. Development of hard rock attenuation relations for central and eastern North America, internal report from Pacific Engineering, November 1, 2002, http://www.pacificengineering.org/CEUS/Development%20of%20Regional%20Hard_ABC.pdf.
- Somerville P, Collins N, Abrahamson N, Graves R, and Saikia C. 2001. Ground motion attenuation relations for the Central and Eastern United States—Final report, June 30, 2001: Technical report to U.S. Geological Survey, Reston, Virginia, under Contract 99HQGR0098, 38 p.
- Sonley E, and Atkinson GM. 2005. Empirical Relationship between Moment Magnitude and Nuttli Magnitude for Small-magnitude Earthquake in Southeastern Canada, Seismologic Research Letters, Vol 76., No. 6, November/December.
- Toro G, Abrahamson N, and Schneider J. 1997. Model of Strong Ground Motions from Earthquakes in Central and Eastern North America: Best Estimates and Uncertainties, Seismological Research Letters, 68(1): 41-57.
- Tavakoli B, and Pezeshk S. 2005. Empirical-stochastic ground-motion prediction for eastern North America: Bulletin of the Seismological Society of America, 95: 2283–2296.
- White CE, and Barr SM. 1996. Geology of the Brookville terrane, southern New Brunswick: Geological Society of America, Special Paper 304, p. 133-147

FIGURES



LÉGENDE

-  TERMINAL MARITIME CANAPORT D'ÉNERGIE EST
 -  VILLE
- ÉPICENTRE**
- MAGNITUDE**
-  3.0 - 4.9
 -  5.0 - 5.9
 -  6.0 - 6.9
 -  > 7.0



CLIENT
ÉNERGIE EST
 SAINT-JEAN, NOUVEAU-BRUNSWICK, CANADA

CONSULTANT



AAAA-MM-JJ	2015-05-20
PROJETÉE	TH
SIG	TH
VÉRIFIÉE	FL
APPROUVÉE	AH

PROJET
TERMINAL MARITIME CANAPORT D'ÉNERGIE EST, SAINT-JEAN, NOUVEAU-BRUNSWICK, CANADA

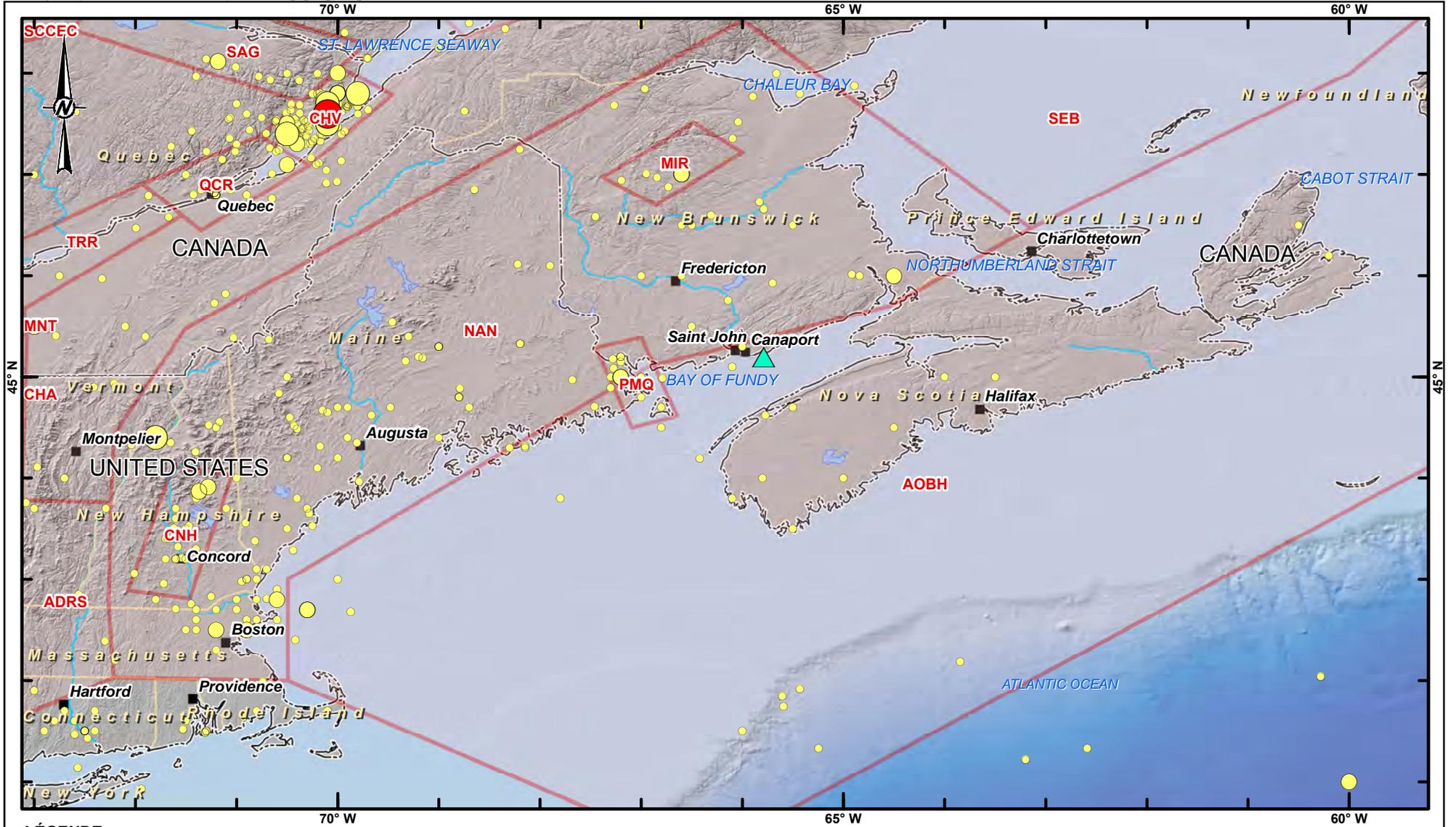
TITRE

DISTRIBUTION DE L'ÉPICENTRE DES SÉISMES AVOISINANT LE SITE DU TERMINAL MARITIME CANAPORT D'ÉNERGIE EST

N° PROJET
1403463

Rev.
 0

FIGURE
1



LÉGENDE

-  TERMINAL MARITIME CANAPORT D'ÉNERGIE EST
-  VILLE
-  MODÈLE H2 2015

ÉPICENTRE

MAGNITUDE

-  3.0 - 4.9
-  5.0 - 5.9
-  6.0 - 6.9
-  > 7.0

CLIENT
ÉNERGIE EST
 SAINT-JEAN, NOUVEAU-BRUNSWICK, CANADA

CONSULTANT



AAAA-MM-JJ	2015-05-20
PROJETÉE	TH
SIG	TH
VÉRIFIÉE	FL
APPROUVÉE	AH

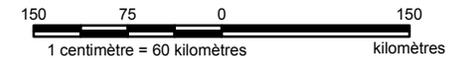
PROJET
TERMINAL MARITIME CANAPORT D'ÉNERGIE EST, SAINT-JEAN, NOUVEAU-BRUNSWICK, CANADA

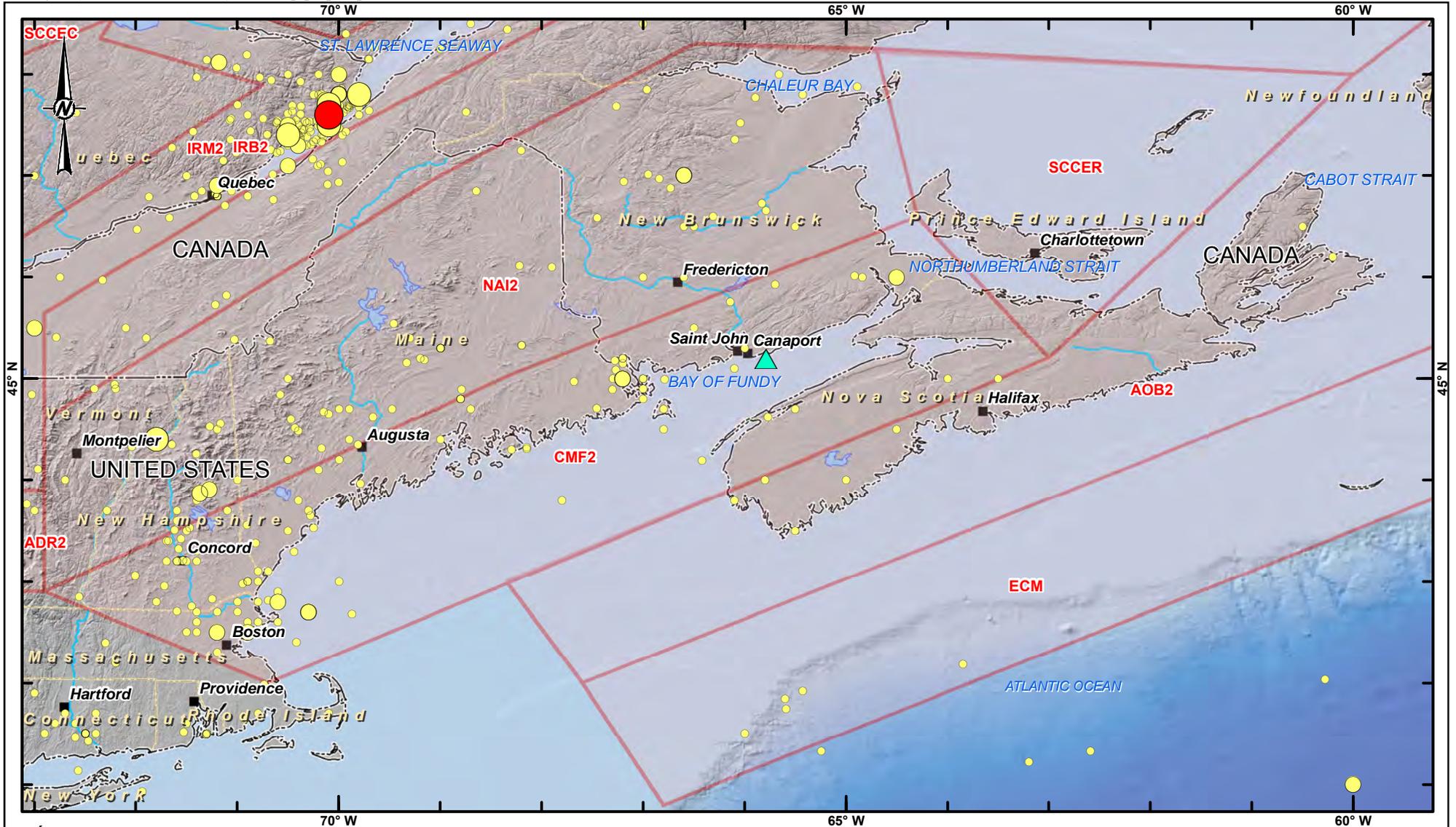
TITRE
RELEVÉ GÉOLOGIQUE DU MODÈLE SOURCE D'ALÉA SISMIQUE H2 2015 DU CANADA

N° PROJET
 1403463

Rev.
 0

FIGURE
2





LÉGENDE

-  TERMINAL MARITIME CANAPORT D'ÉNERGIE EST
 -  VILLE
 -  MODÈLE R2 2015
-
- ÉPICENTRE**
- MAGNITUDE**
-  3.0 - 4.9
 -  5.0 - 5.9
 -  6.0 - 6.9
 -  > 7.0

CLIENT
ÉNERGIE EST
 SAINT-JEAN, NOUVEAU-BRUNSWICK, CANADA

CONSULTANT



AAAA-MM-JJ	2015-05-20
PROJETÉE	TH
SIG	TH
VÉRIFIÉE	FL
APPROUVÉE	AH

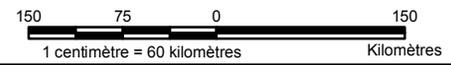
PROJET
**TERMINAL MARITIME CANAPORT D'ÉNERGIE EST, SAINT-JEAN,
 NOUVEAU-BRUNSWICK, CANADA**

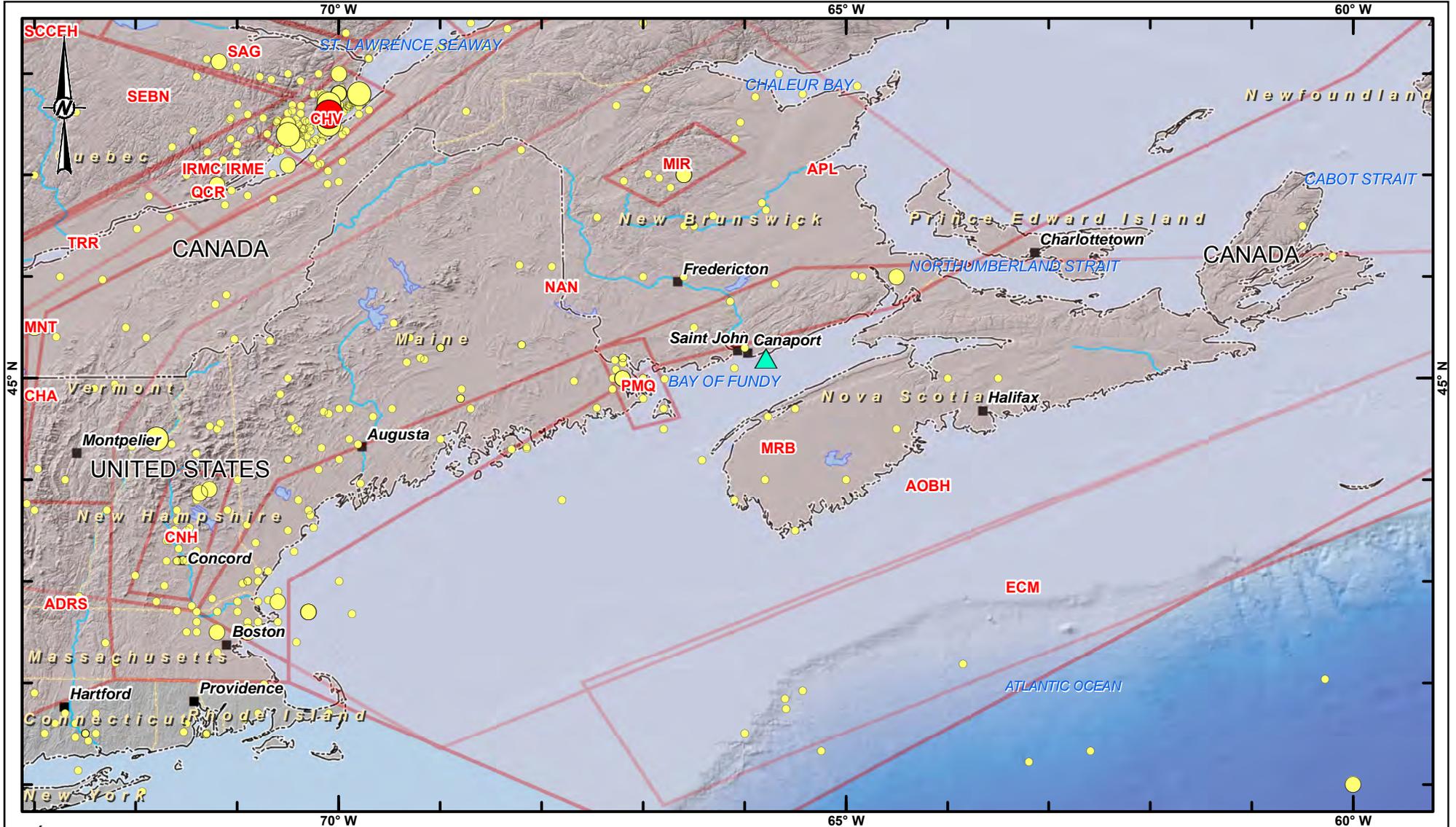
TITRE
**RELEVÉ GÉOLOGIQUE DU MODÈLE SOURCE D'ALÉA SISMIQUE
 R2 2015 DU CANADA**

N° PROJET
 1403463

Rev.
 0

FIGURE
3





LÉGENDE

-  TERMINAL MARITIME CANAPORT D'ÉNERGIE EST
-  VILLE
-  MODÈLE HY 2015

- ÉPICENTRE**
- MAGNITUDE**
-  3.0 - 4.9
 -  5.0 - 5.9
 -  6.0 - 6.9
 -  > 7.0

CLIENT
ÉNERGIE EST
 SAINT-JEAN, NOUVEAU-BRUNSWICK, CANADA

CONSULTANT



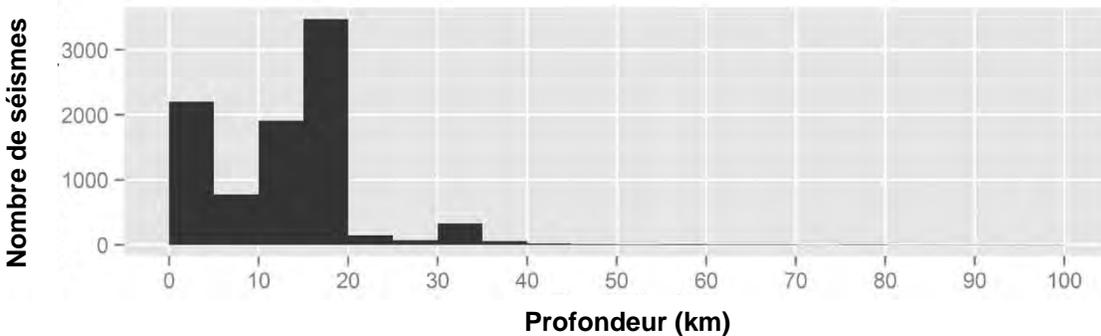
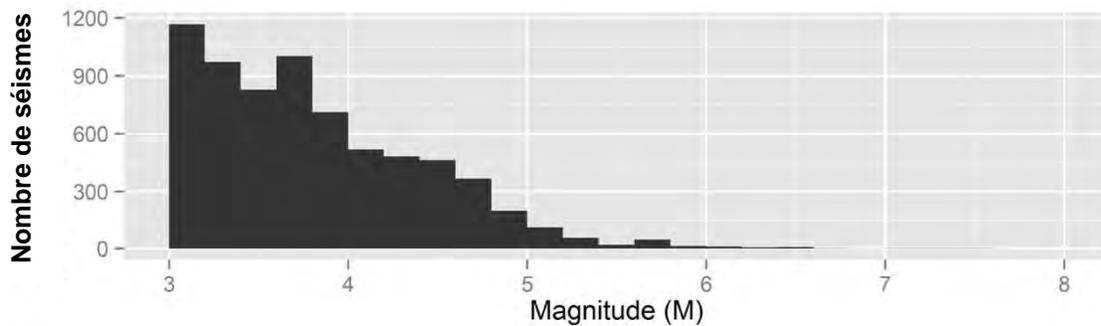
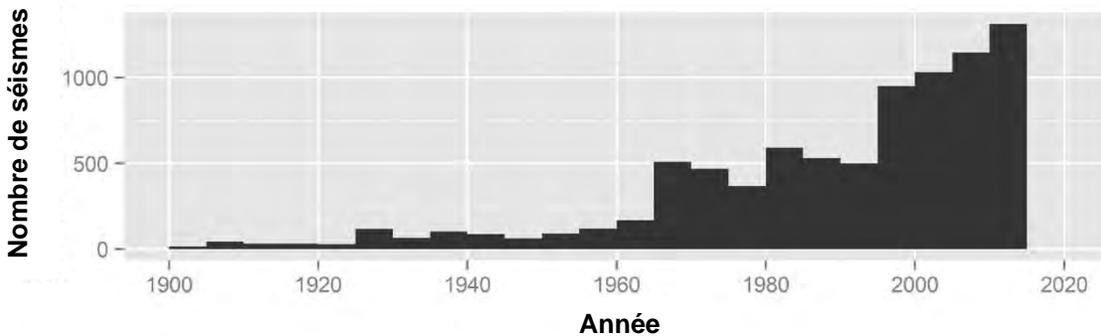
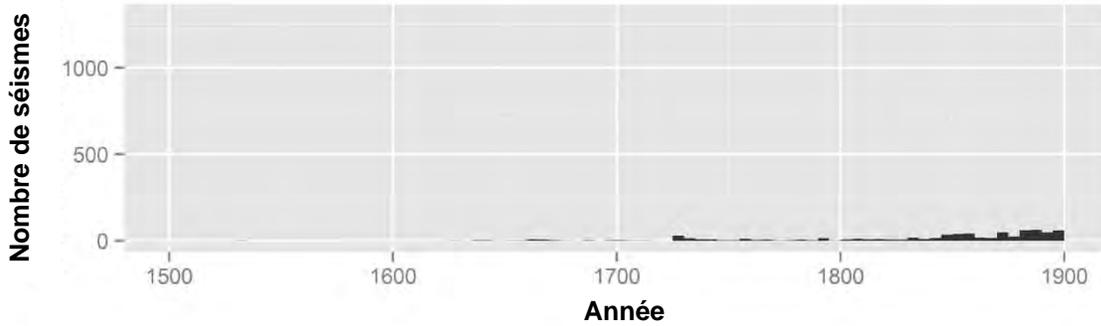
AAAA-MM-JJ	2015-05-20
PROJETÉE	TH
SIG	TH
VÉRIFIÉE	FL
APPROUVÉE	AH

PROJET
TERMINAL MARITIME CANAPORT D'ÉNERGIE EST, SAINT-JEAN, NOUVEAU-BRUNSWICK, CANADA

TITRE
RELEVÉ GÉOLOGIQUE DU MODÈLE SOURCE D'ALÉA SISMIQUE HY 2015 DU CANADA

N° PROJET	1403463	Rev.	0	FIGURE	4
-----------	---------	------	---	--------	---





CLIENT

ÉNERGIE EST, SAINT-JEAN, NOUVEAU-BRUNSWICK, CANADA

CONSULTANT



AAAA-MM-JJ 2015-03-16

Préparé par A. PARKIN

Dessiné par FL

Révisé par AA

Approuvé par AH

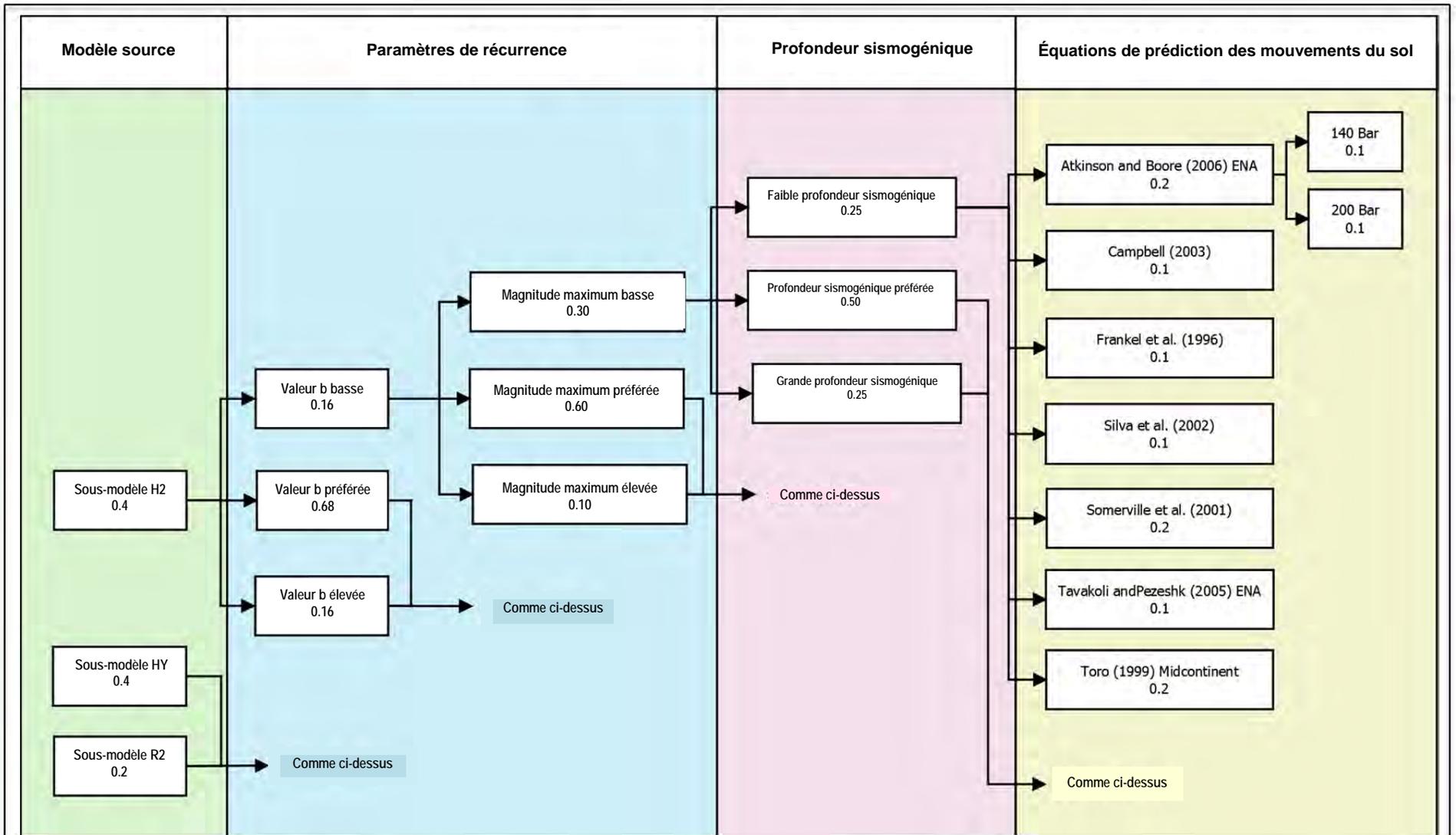
PROJET

TERMINAL MARITIME CANAPORT D'ÉNERGIE EST, SAINT-JEAN, NOUVEAU-BRUNSWICK, CANADA

TITRE

DISTRIBUTION DES SEISMES PAR DATE, MAGNITUDE ET PROFONDEUR, CATALOGUE CANADIEN DE SISMICITE COMPOSITE

PROJET NO	PHASE	Rév.	FIGURE
1403463	9.0	0	5



CLIENT
ÉNERGIE EST, SAINT-JEAN, NOUVEAU-BRUNSWICK, CANADA

PROJET
**TERMINAL MARITIME CANAPORT D'ÉNERGIE EST, SAINT-JEAN,
 NOUVEAU-BRUNSWICK, CANADA**

CONSULTANT



AAAA-MM-JJ 2015-03-16
 Préparé par A.PARKIN
 Dessiné par FL
 Révisé par AA
 Approuvé par AH

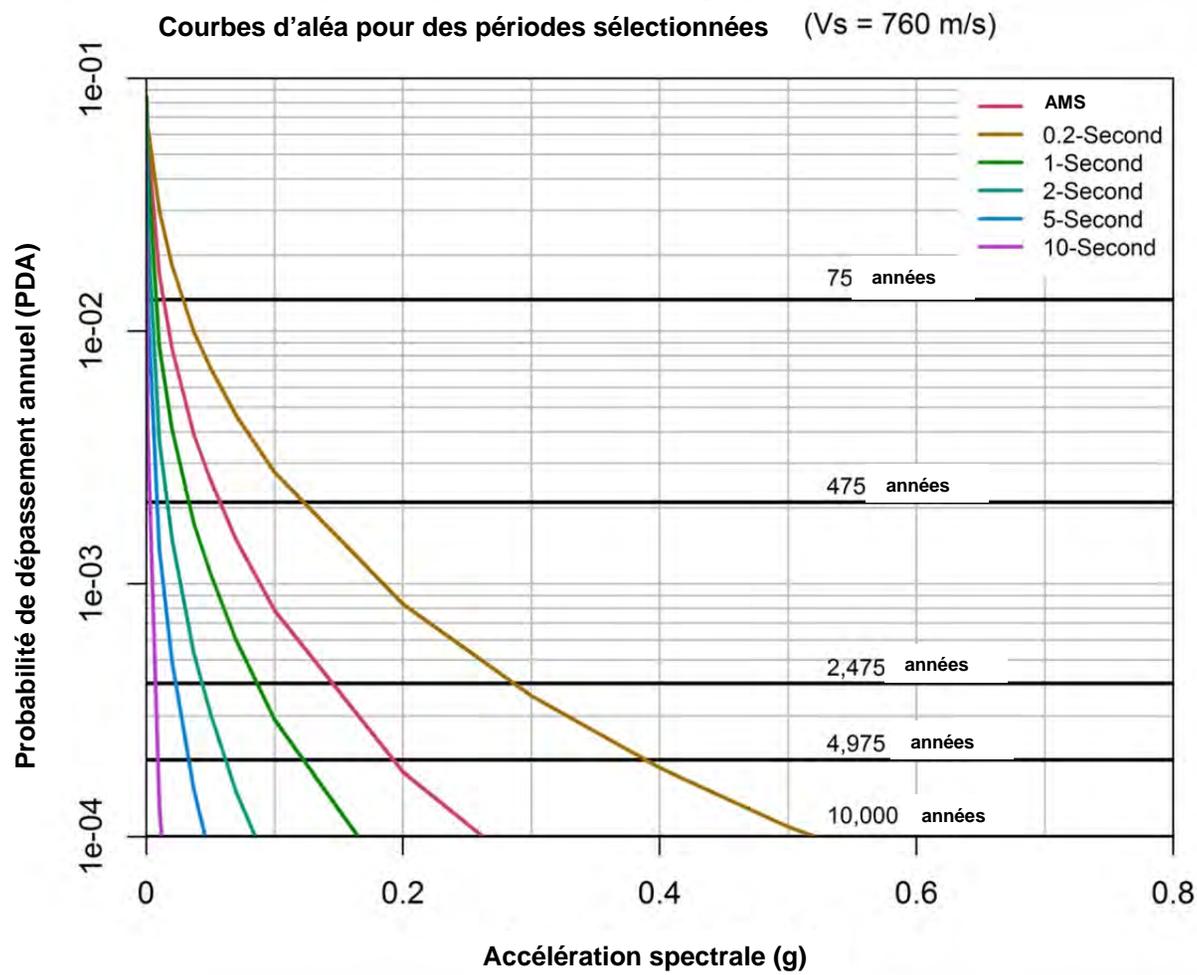
TITRE
**ARBRE LOGIQUE UTILISE POUR LA CARACTERISATION DE
 L'INCERTITUDE EPIS TEMIQUE**

PROJET NO
1403463

PHASE
9.0

Rév.
0

FIGURE
6



CLIENT
ÉNERGIE EST, SAINT-JEAN, NOUVEAU-BRUNSWICK, CANADA

PROJET
TERMINAL MARITIME CANAPORT D'ÉNERGIE EST, SAINT-JEAN, NOUVEAU-BRUNSWICK, CANADA

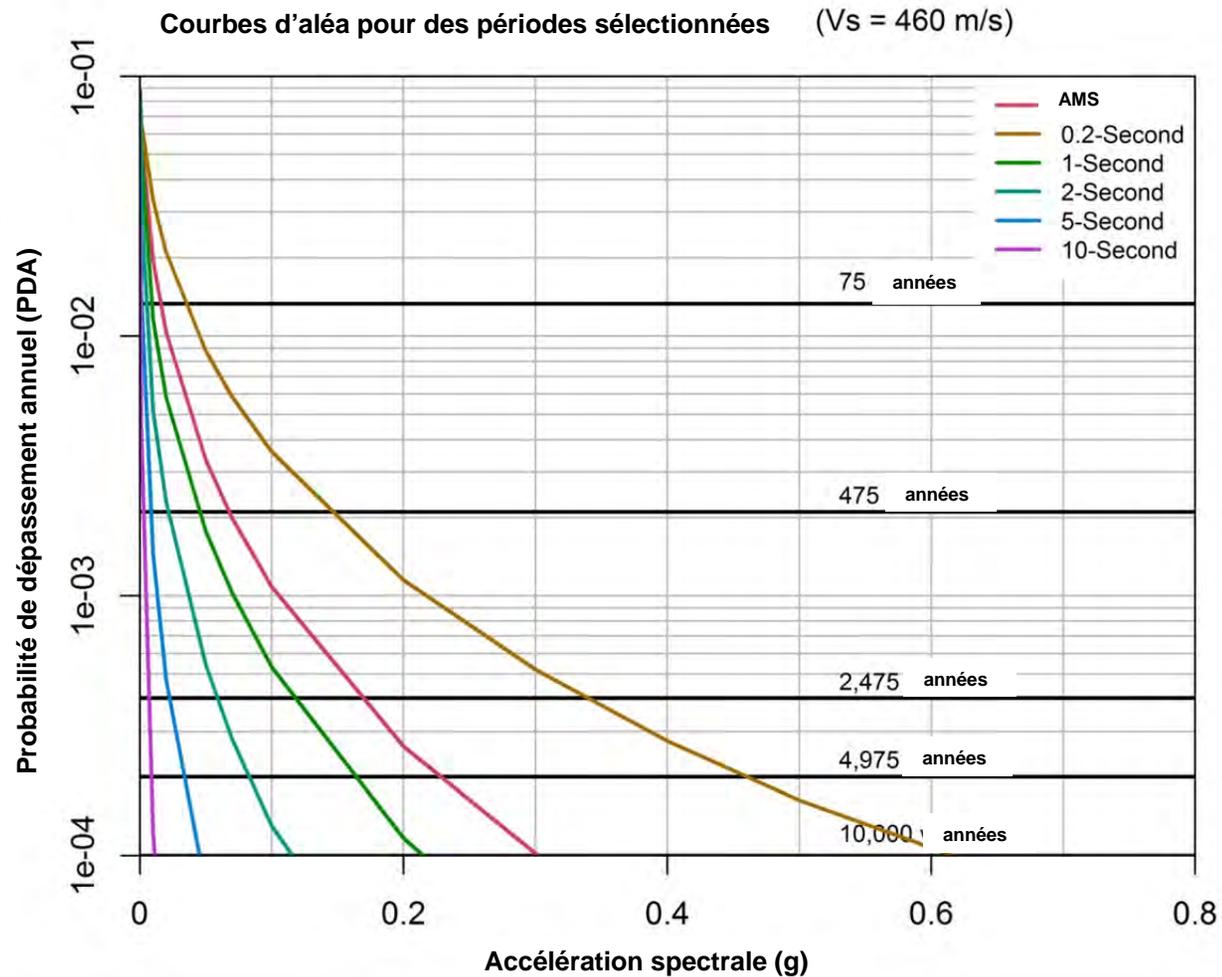
CONSULTANT

 **Golder Associates**

AAAA-MM-JJ	2015-03-16
Préparé par	A.PARKIN
Dessiné par	FL
Révisé par	AA
Approuvé par	AH

TITRE
COURBES DE L'ALEA MEDIAN, SPECIFIQUE AU SITE, POUR DES ACCELERATIONS SPEC TRALES CHOISIES A DES PERIODES SPEC TRALES CHOISIES (SITE TERRESTRE, V_{s30} = 760 M/S)

PROJET NO	PHASE	Rév.	FIGURE
1403463	9.0	0	7



CLIENT
ÉNERGIE EST, SAINT-JEAN, NOUVEAU-BRUNSWICK, CANADA

PROJET
TERMINAL MARITIME CANAPORT D'ÉNERGIE EST, SAINT-JEAN, NOUVEAU-BRUNSWICK, CANADA

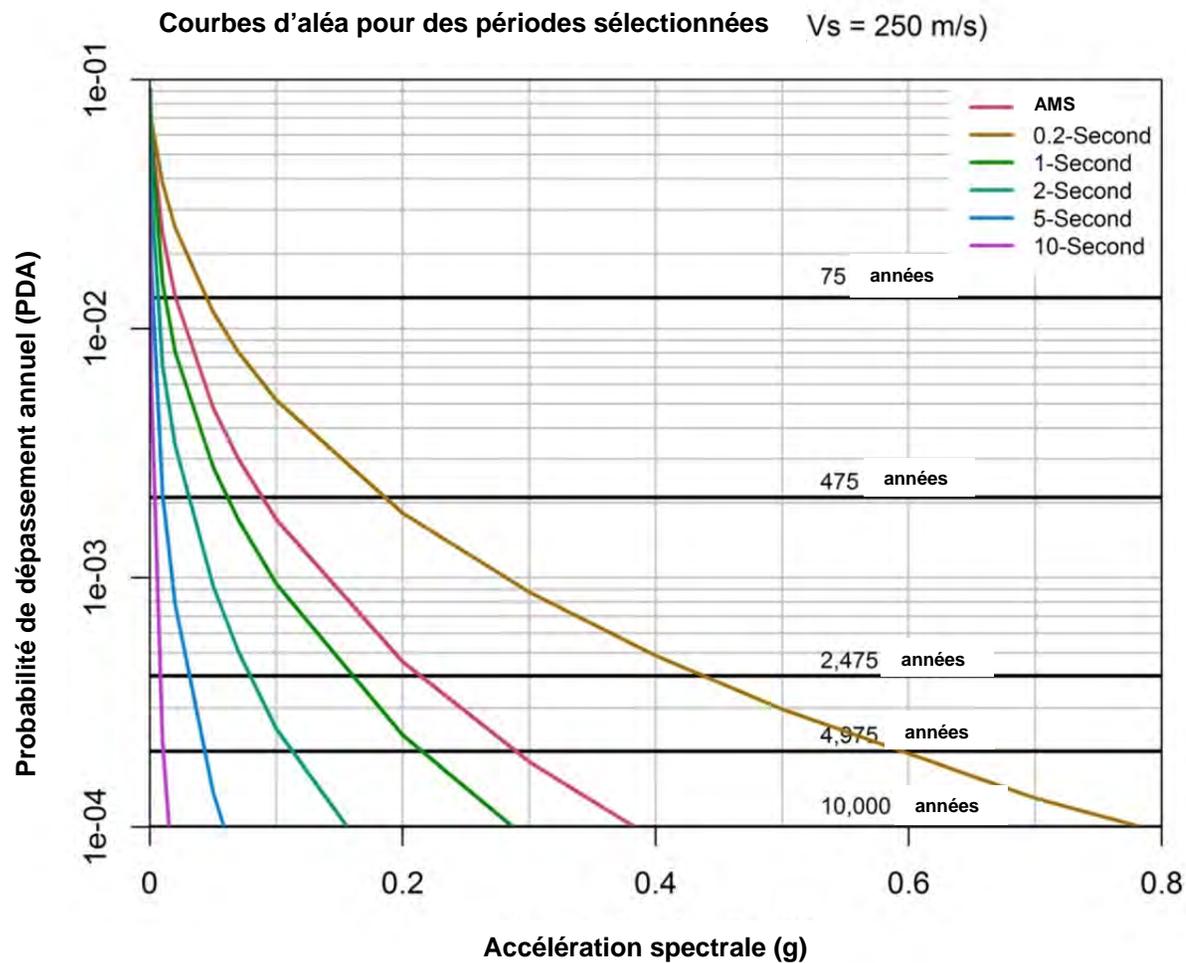
CONSULTANT



AAAA-MM-JJ	2015-03-16
Préparé par	A.PARKIN
Dessiné par	FL
Révisé par	AA
Approuvé par	AH

TITRE
COURBES DE L'ALEA MEDIAN, SPECIFIQUE AU SITE, POUR DES ACCELERATIONS SPEC TRALES CHOISIES A DES PERIODES SPEC TRALES CHOISIES (SITE EN MER, V_{S30} = 460 M/S)

PROJET NO 1403463	PHASE 9.0	Rév. 0	FIGURE 8
-----------------------------	---------------------	------------------	--------------------



CLIENT
ÉNERGIE EST, SAINT-JEAN, NOUVEAU-BRUNSWICK, CANADA

PROJET
TERMINAL MARITIME CANAPORT D'ÉNERGIE EST, SAINT-JEAN, NOUVEAU-BRUNSWICK, CANADA

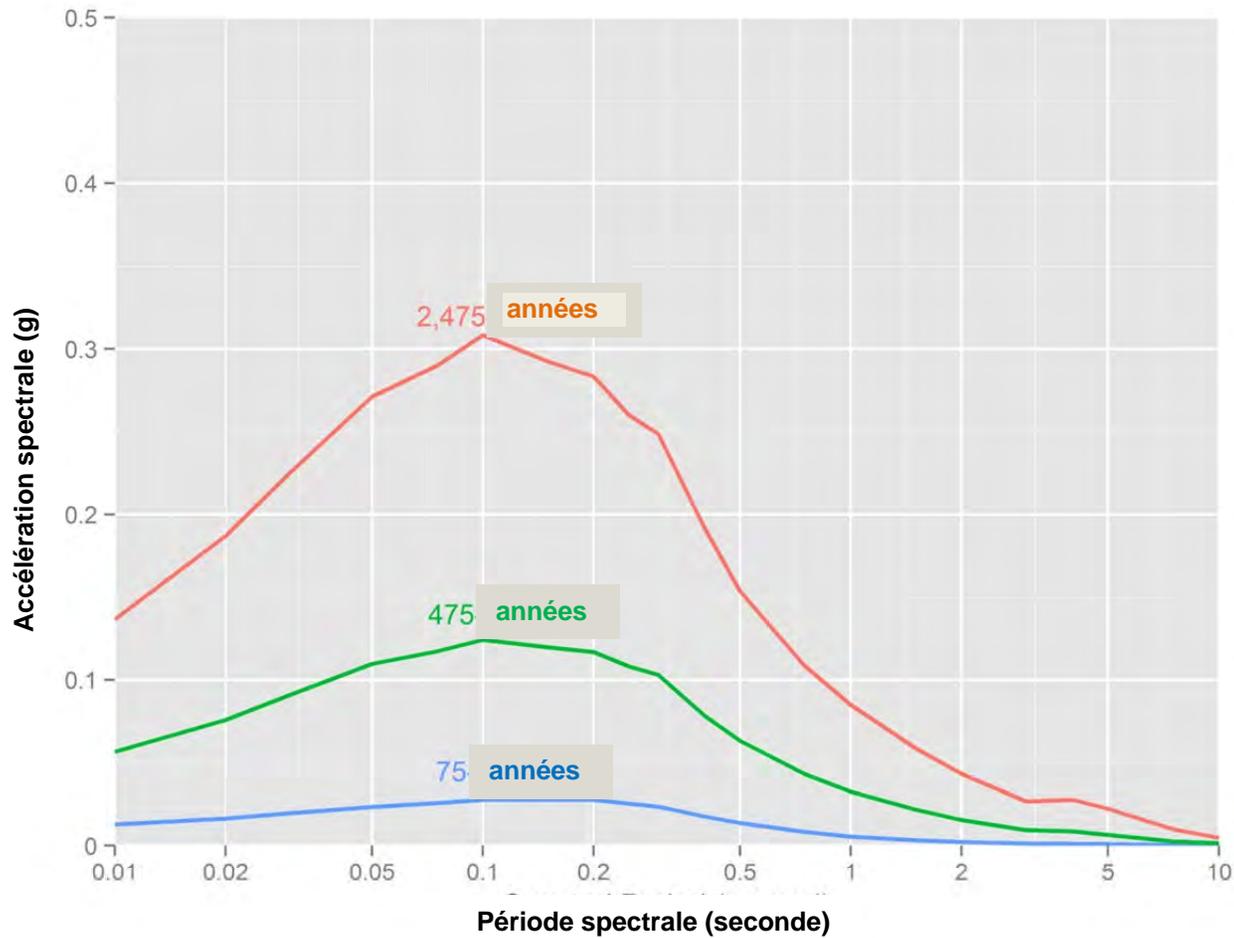
CONSULTANT



AAAA-MM-JJ	2015-03-16
Préparé par	A.PARKIN
Dessiné par	FL
Révisé par	AA
Approuvé par	AH

TITRE
COURBES DE L'ALEA MEDIAN, SPECIFIQUE AU SITE, POUR DES ACCELERATIONS SPEC TRALES CHOISIES A DES PERIODES SPEC TRALES CHOISIES (SITE EN MER , $V_{s30} = 250$ M/S)

PROJET NO 1403463	PHASE 9.0	Rév. 0	FIGURE 9
-----------------------------	---------------------	------------------	--------------------



Site terrestre — Vs30 = 760 m/s

CLIENT
ÉNERGIE EST, SAINT-JEAN, NOUVEAU-BRUNSWICK, CANADA

PROJET
TERMINAL MARITIME CANAPORT D'ÉNERGIE EST, SAINT-JEAN, NOUVEAU-BRUNSWICK, CANADA

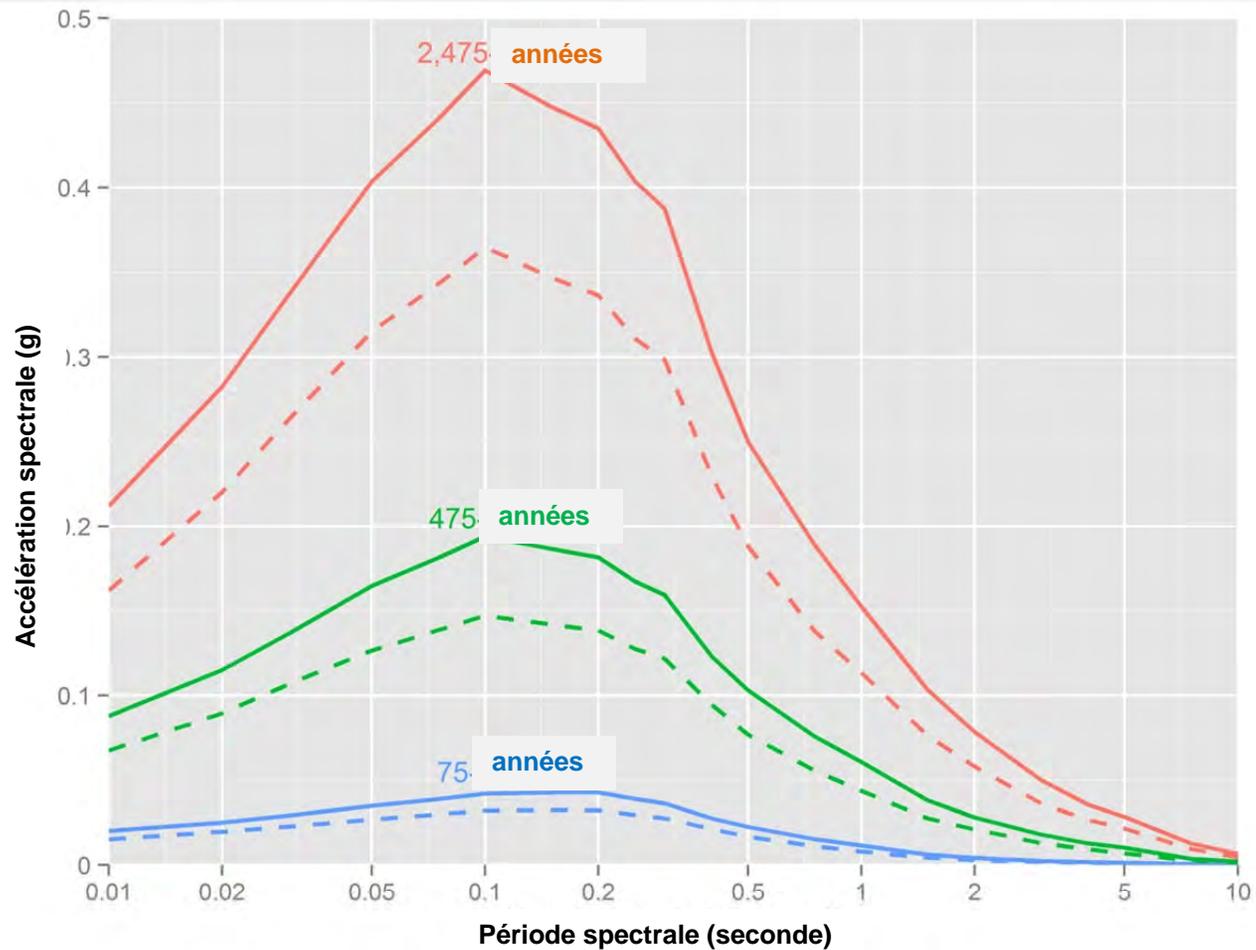
CONSULTANT



AAAA-MM-JJ	2015-03-16
Préparé par	A.PARKIN
Dessiné par	FL
Révisé par	AA
Approuvé par	AH

TITRE
SPECTRE DE REPONSE D'ACCELERATION MEDIANE, D'EGALE PROBABILITE, AMORTIE DE 5 %, POUR DES PERIODES DE RETOUR CHOISIES (SITE TERRESTRE, V_{S30} = 760 M/S)

PROJET NO 1403463	PHASE 9.0	Rév. 0	FIGURE 10
-----------------------------	---------------------	------------------	---------------------



Site en mer - - Vs30 = 460 m/s — Vs30 = 250 m/s

CLIENT
ÉNERGIE EST, SAINT-JEAN, NOUVEAU-BRUNSWICK, CANADA

PROJET
TERMINAL MARITIME CANAPORT D'ÉNERGIE EST, SAINT-JEAN, NOUVEAU-BRUNSWICK, CANADA

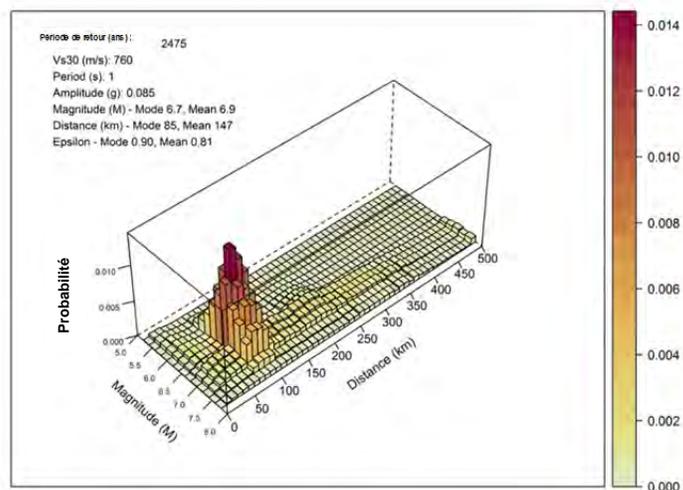
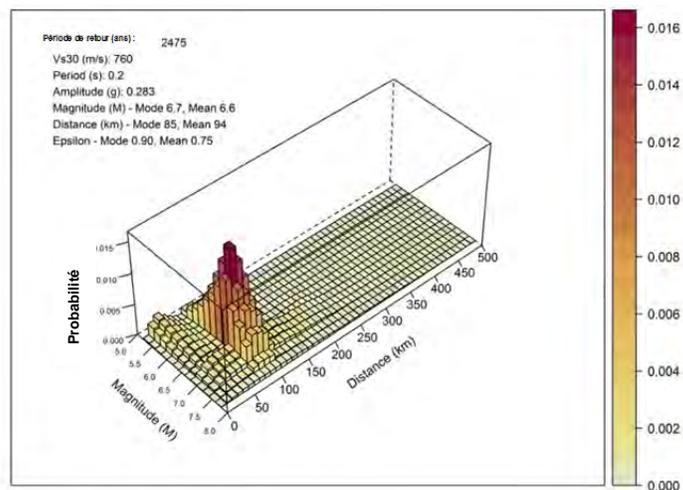
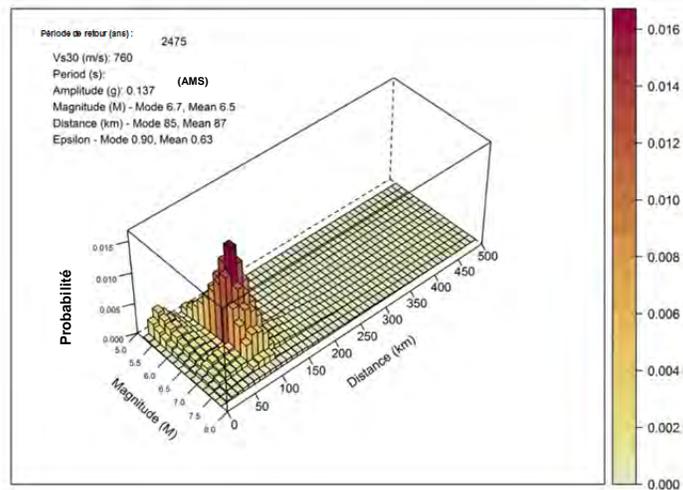
CONSULTANT



AAAA-MM-JJ	2015-03-16
Préparé par	A.PARKIN
Dessiné par	FL
Révisé par	AA
Approuvé par	AH

TITRE
SPECTRE DE REPONSE D'ACCELERATION MEDIANE, D'EGALE PROBABILITE, AMORTIE DE 5%, POUR DES PERIODES DE RETOUR CHOISIES (SITE EN MER, $V_{s30} = 460$ et 250 M/S)

PROJET NO 1403463	PHASE 9.0	Rév. 0	FIGURE 11
-----------------------------	---------------------	------------------	---------------------



CLIENT

ÉNERGIE EST, SAINT-JEAN, NOUVEAU-BRUNSWICK, CANADA

CONSULTANT



AAAA-MM-JJ 2015-03-17

Préparé par A. PARKIN

Dessiné par FL

Révisé par AA

Approuvé par AH

PROJET

TERMINAL MARITIME CANAPORT D'ÉNERGIE EST, SAINT-JEAN, NOUVEAU-BRUNSWICK, CANADA

TITRE

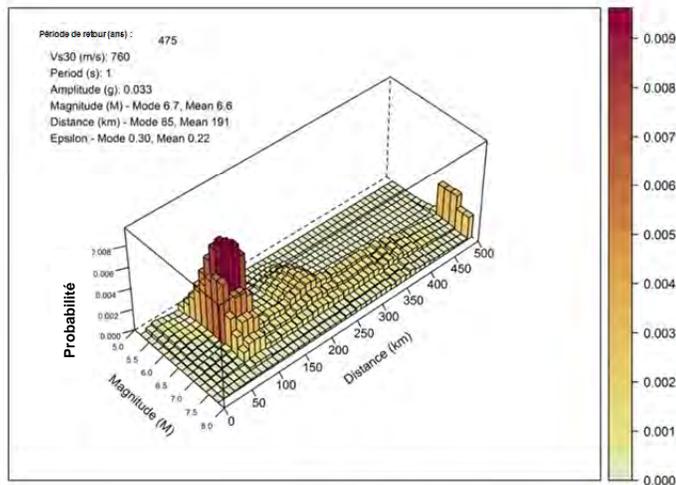
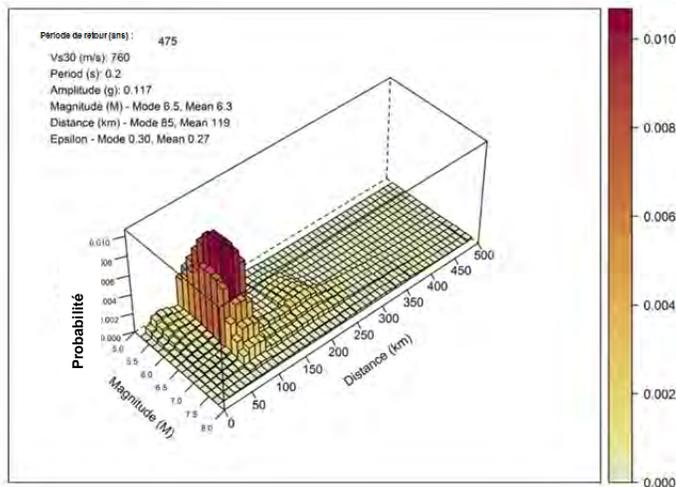
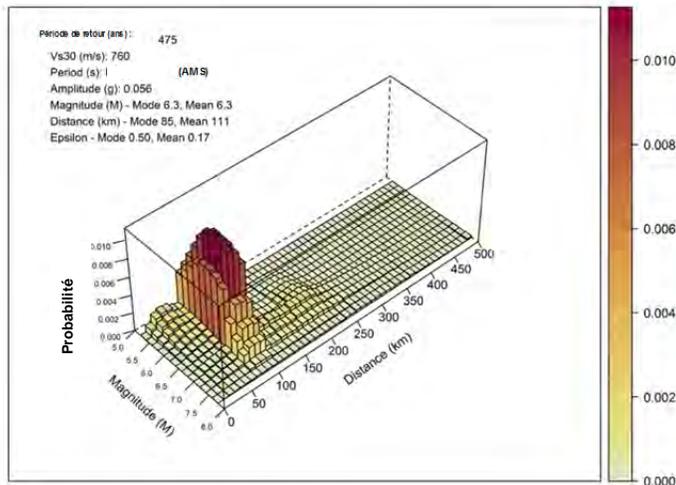
DESAGREGATION DE L'ALEA SELON LA MAGNITUDE ET LA DISTANCE POUR DES PERIODES SPECTRALES CHOISIES ET POUR UNE PERIODE DE RETOUR DE 2 475 ANS(SITE TERRESTRE, Vs30 = 760 M/S)

PROJET NO
1403463

PHASE
9.0

Rév.
0

FIGURE
12



CLIENT

ÉNERGIE EST, SAINT-JEAN, NOUVEAU-BRUNSWICK, CANADA

CONSULTANT



AAAA-MM-JJ 2015-03-17

Préparé par A.PARKIN

Dessiné par FL

Révisé par AA

Approuvé par AH

PROJET

TERMINAL MARITIME CANAPORT D'ÉNERGIE EST, SAINT-JEAN, NOUVEAU-BRUNSWICK, CANADA

TITRE

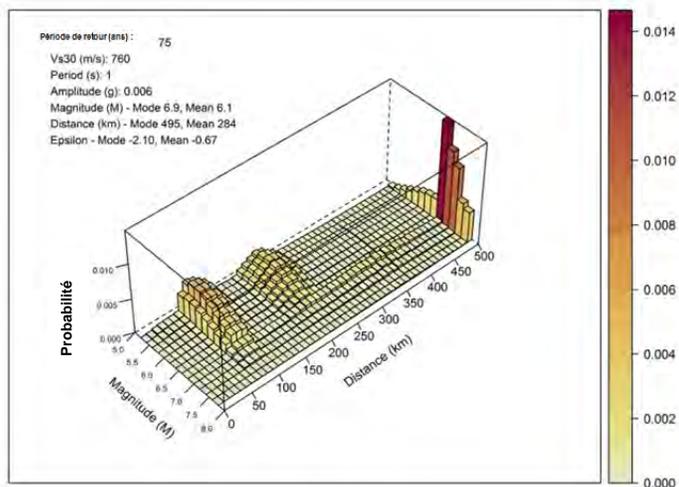
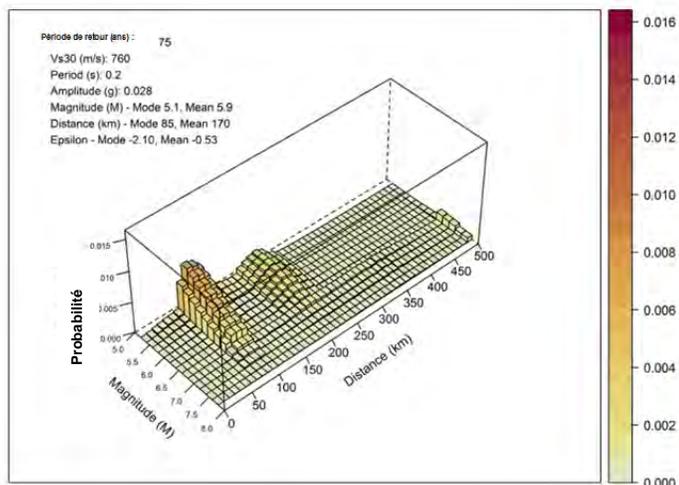
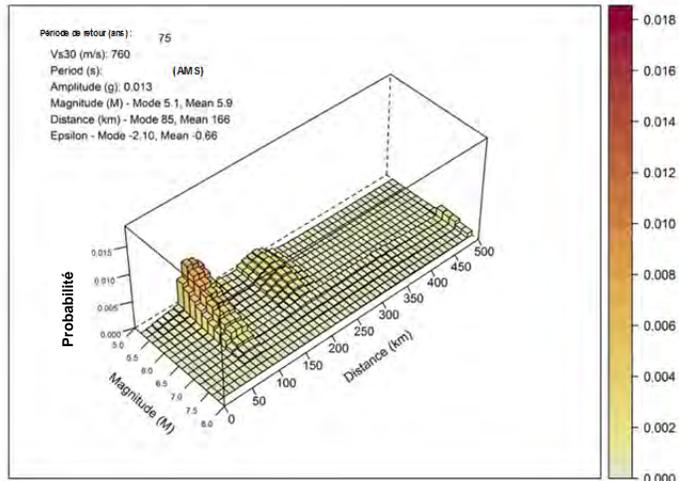
DESAGREGATION DE L'ALEA SELON LA MAGNITUDE ET LA DISTANCE POUR DES PERIODES SPECTRALES CHOISIES ET POUR UNE PERIODE DE RETOUR DE 475 ANS (SITE TERRESTRE, $V_{S30} = 760$ M/S)

PROJET NO
1403463

PHASE
9.0

Rév.
0

FIGURE
13



CLIENT
**ÉNERGIE EST, SAINT-JEAN, NOUVEAU-BRUNSWICK,
 CANADA**

CONSULTANT



AAAA-MM-JJ 2015-03-17

Préparé par A.PARKIN

Dessiné par FL

Révisé par AA

Approuvé par AH

PROJET
**TERMINAL MARITIME CANAPORT D'ÉNERGIE EST, SAINT-
 JEAN, NOUVEAU-BRUNSWICK, CANADA**

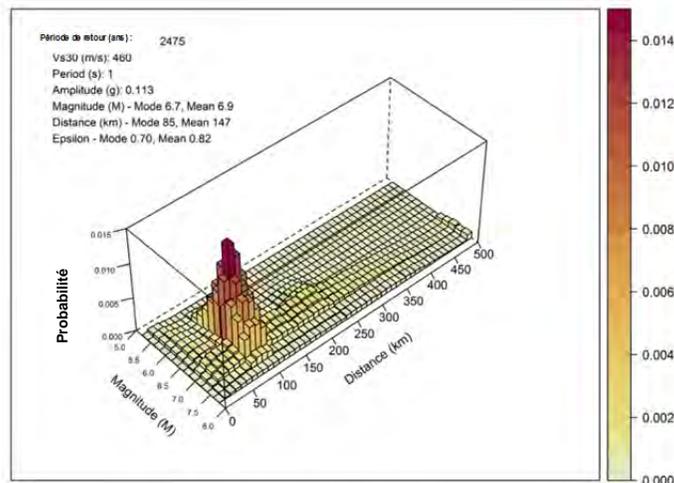
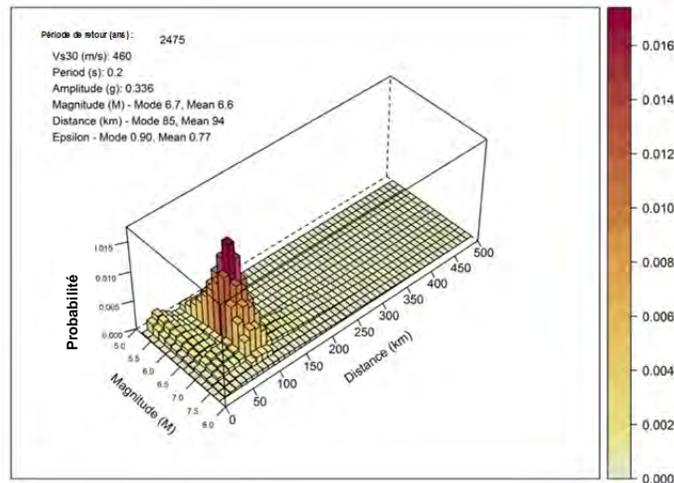
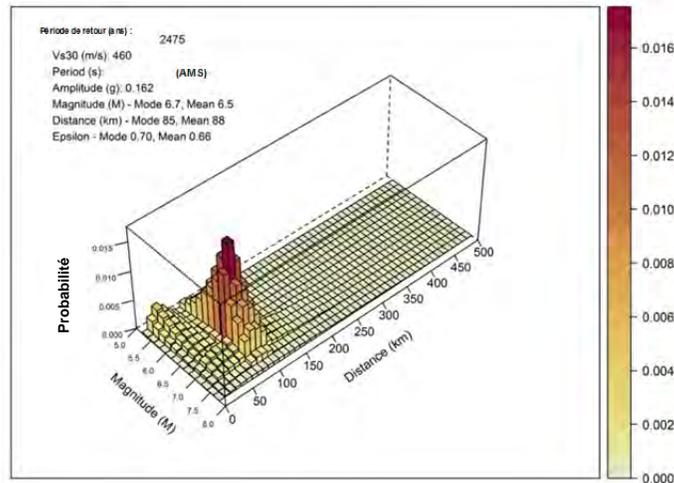
TITRE
**DESAGREGATION DE L'ALEA SELON LA MAGNITUDE ET
 LA DISTANCE POUR DES PERIODES SPEC TRALES
 CHOISIES ET POUR UNE PERIODE DE RETOUR DE 75 ANS
 (SITE TERRESTRE, $V_{s30} = 760$ M/S)**

PROJET NO
1403463

PHASE
9.0

Rév.
0

FIGURE
14



CLIENT
**ÉNERGIE EST, SAINT-JEAN, NOUVEAU-BRUNSWICK,
 CANADA**

CONSULTANT



AAAA-MM-JJ 2015-03-17

Préparé par A.PARKIN

Dessiné par FL

Révisé par AA

Approuvé par AH

PROJET

TERMINAL MARITIME CANAPORT D'ÉNERGIE EST, SAINT-JEAN, NOUVEAU-BRUNSWICK, CANADA

TITRE

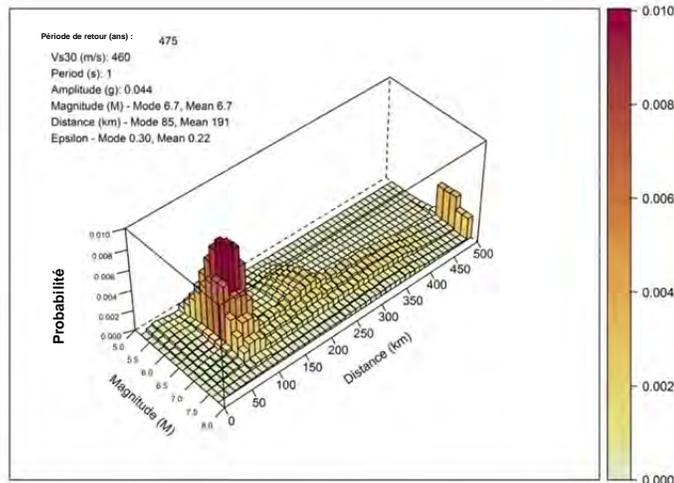
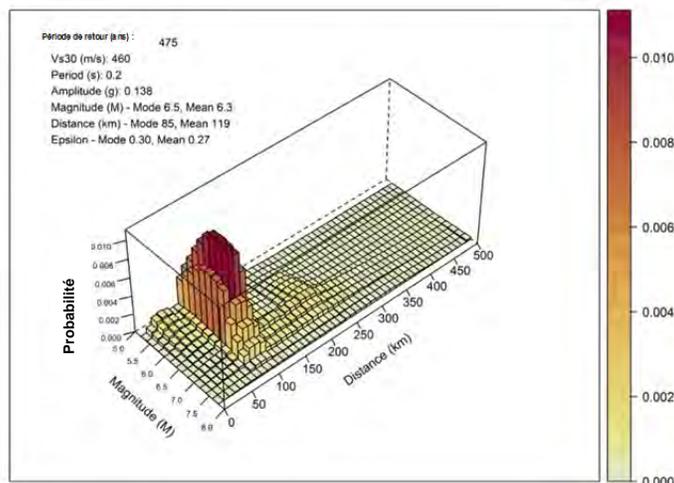
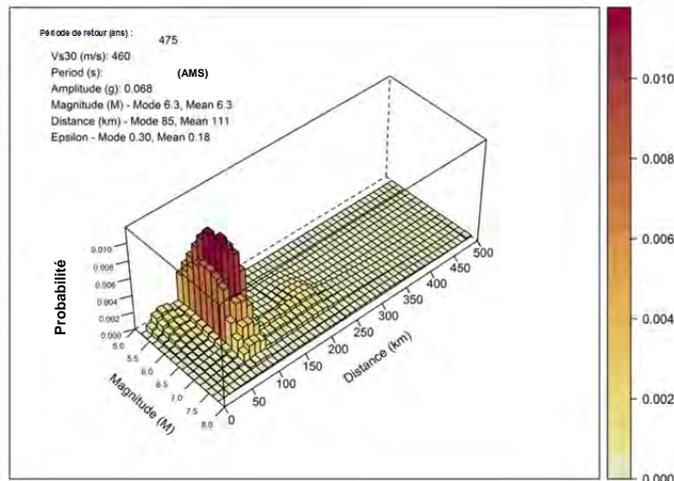
DESAGREGATION DE L'ALEA SELON LA MAGNITUDE ET LA DISTANCE POUR DES PERIODES SPECTRALES CHOISIES ET POUR UNE PERIODE DE RETOUR DE 2 475 ANS(SITE EN MER, $V_{S30} = 460$ M/S)

PROJET NO
1403463

PHASE
9.0

Rév.
0

FIGURE
15



CLIENT
**ÉNERGIE EST, SAINT-JEAN, NOUVEAU-BRUNSWICK,
 CANADA**

CONSULTANT



AAAA-MM-JJ 2015-03-17

Préparé par A.PARKIN

Dessiné par FL

Révisé par AA

Approuvé par AH

PROJET

TERMINAL MARITIME CANAPORT D'ÉNERGIE EST, SAINT-JEAN, NOUVEAU-BRUNSWICK, CANADA

TITRE

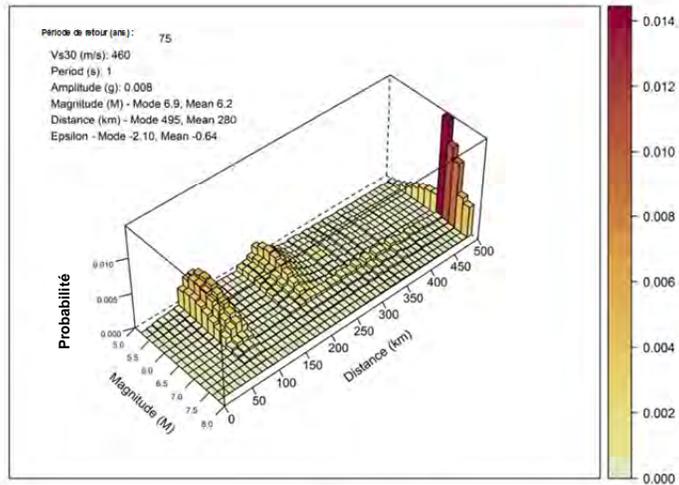
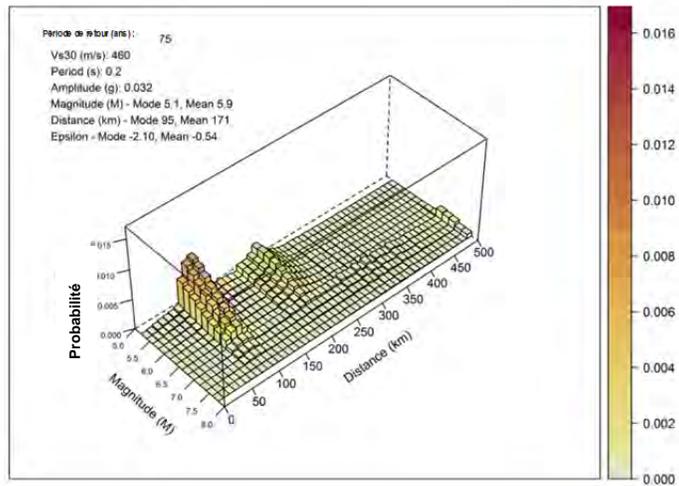
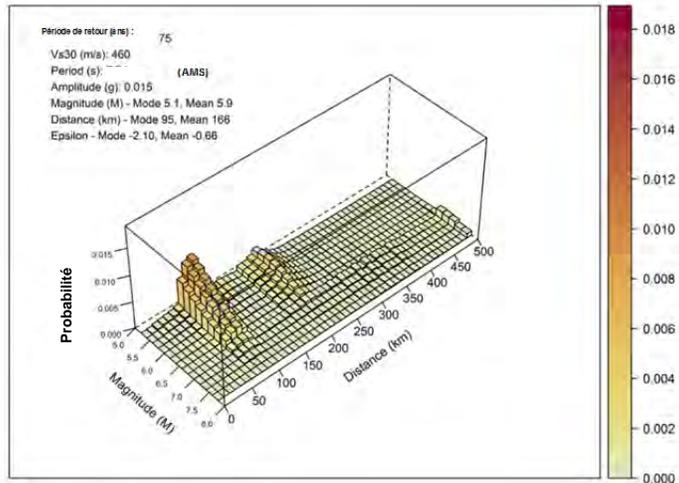
DESAGREGATION DE L'ALEA SELON LA MAGNITUDE ET LA DISTANCE POUR DES PERIODES SPECTRALES CHOISIES ET POUR UNE PERIODE DE RETOUR DE 475 ANS (SITE EN MER, $V_{s30} = 460$ M/S)

PROJET NO
1403463

PHASE
9.0

Rév.
0

FIGURE
16



CLIENT
**ÉNERGIE EST, SAINT-JEAN, NOUVEAU-BRUNSWICK,
 CANADA**

CONSULTANT



AAAA-MM-JJ 2015-03-17

Préparé par A.PARKIN

Dessiné par FL

Révisé par AA

Approuvé par AH

PROJET
**TERMINAL MARITIME CANAPORT D'ÉNERGIE EST, SAINT-
 JEAN, NOUVEAU-BRUNSWICK, CANADA**

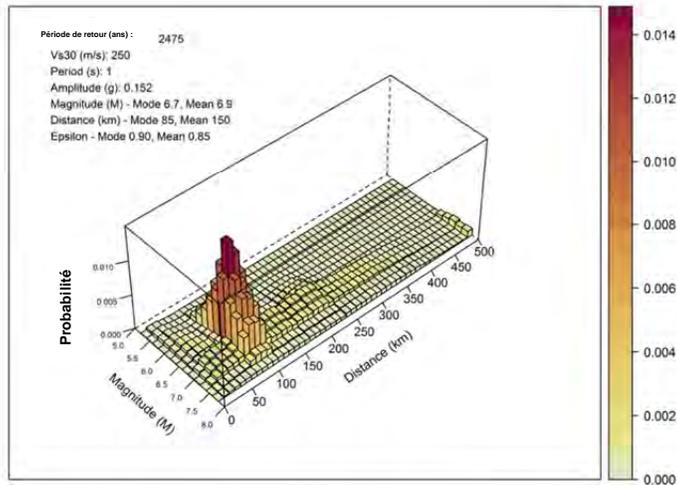
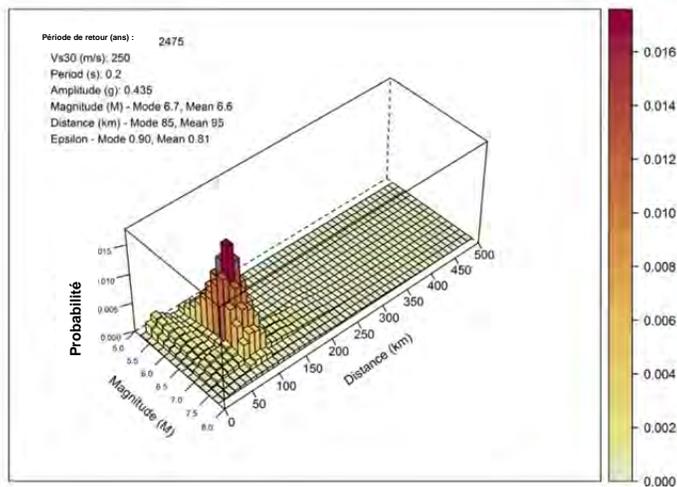
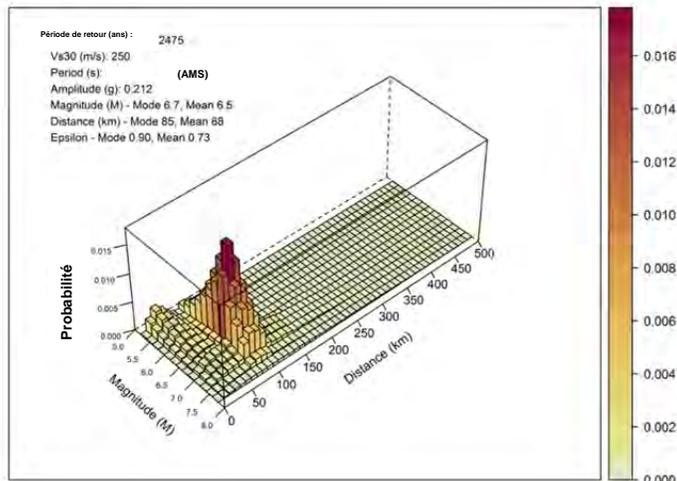
TITRE
**DESAGREGATION DE L'ALEA SELON LA MAGNITUDE ET
 LA DISTANCE POUR DES PERIODES SPEC TRALES
 CHOISIES ET POUR UNE PERIODE DE RETOUR DE 75 ANS
 (SITE EN MER, $V_{s30} = 460$ M/S)**

PROJET NO
1403463

PHASE
9.0

Rév.
0

FIGURE
17



CLIENT

ÉNERGIE EST, SAINT-JEAN, NOUVEAU-BRUNSWICK, CANADA

CONSULTANT



AAAA-MM-JJ 2015-03-17

Préparé par A.PARKIN

Dessiné par FL

Révisé par AA

Approuvé par AH

PROJET

TERMINAL MARITIME CANAPORT D'ÉNERGIE EST, SAINT-JEAN, NOUVEAU-BRUNSWICK, CANADA

TITRE

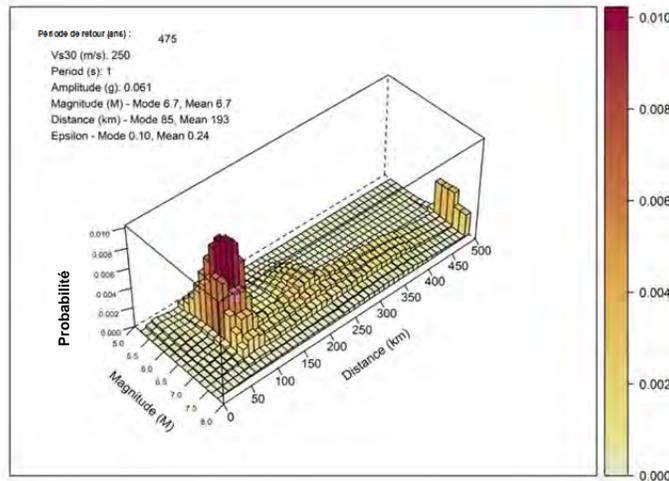
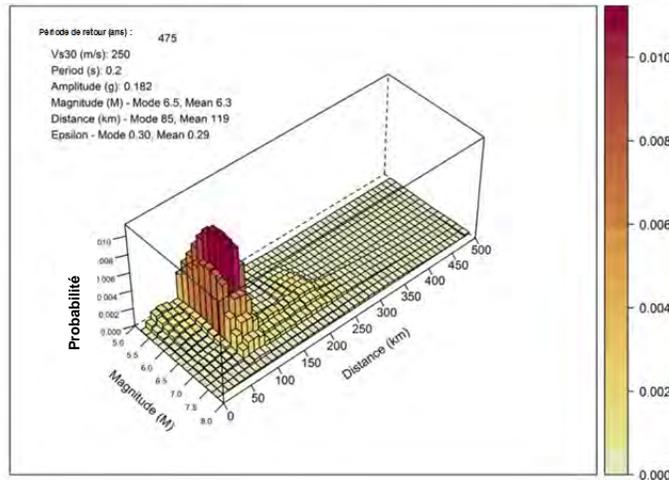
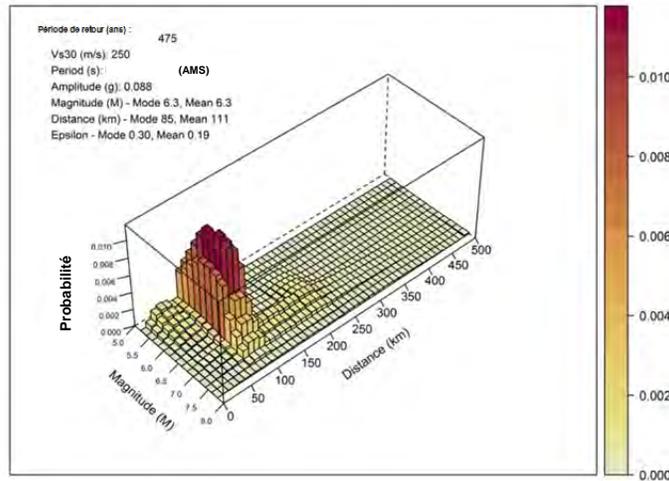
DESAGREGATION DE L'ALEA SELON LA MAGNITUDE ET LA DISTANCE POUR DES PERIODES SPECTRALES CHOISIES ET POUR UNE PERIODE DE RETOUR DE 2 475 ANS (SITE EN MER, $V_{S30} = 250$ M/S)

PROJET NO
1403463

PHASE
9.0

Rév.
0

FIGURE
18



CLIENT
**ÉNERGIE EST, SAINT-JEAN, NOUVEAU-BRUNSWICK,
 CANADA**

CONSULTANT



AAAA-MM-JJ 2015-03-17

Préparé par A.PARKIN

Dessiné par FL

Révisé par AA

Approuvé par AH

PROJET

**TERMINAL MARITIME CANAPORT D'ÉNERGIE EST, SAINT-
 JEAN, NOUVEAU-BRUNSWICK, CANADA**

TITRE

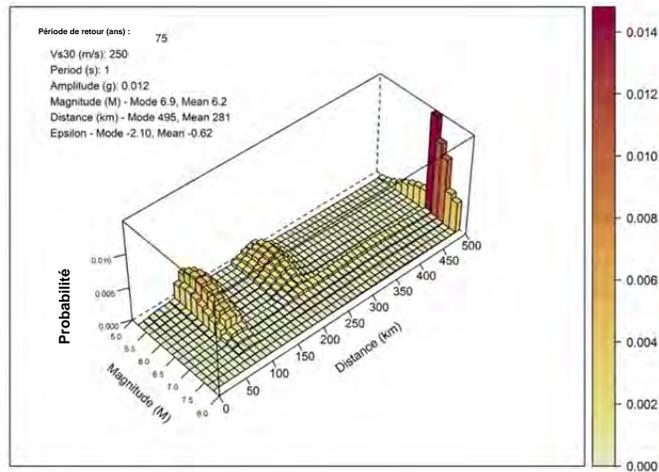
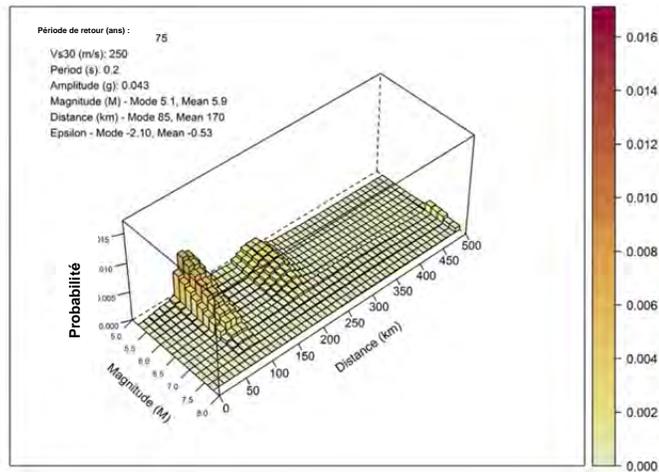
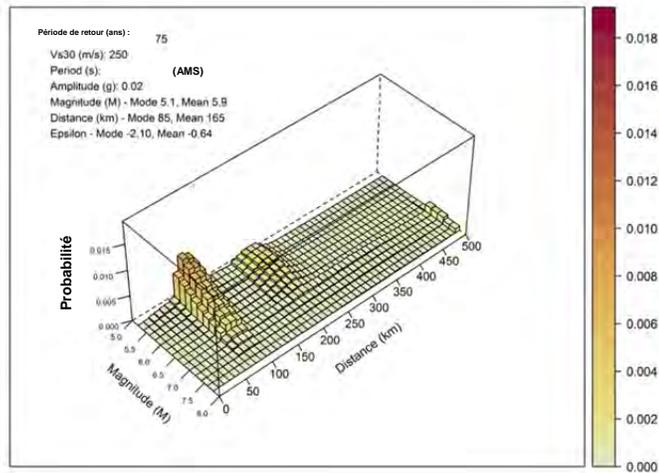
**DESAGREGATION DE L'ALEA SELON LA MAGNITUDE ET
 LA DISTANCE POUR DES PERIODES SPEC TRALES
 CHOISIES ET POUR UNE PERIODE DE RETOUR DE 475
 ANS (SITE EN MER, $V_{S30} = 250$ M/S)**

PROJET NO
1403463

PHASE
9.0

Rév.
0

FIGURE
19



CLIENT
**ÉNERGIE EST, SAINT-JEAN, NOUVEAU-BRUNSWICK,
 CANADA**

CONSULTANT



AAAA-MM-JJ 2015-03-17

Préparé par A.PARKIN

Dessiné par FL

Révisé par AA

Approuvé par AH

PROJET
**TERMINAL MARITIME CANAPORT D'ÉNERGIE EST, SAINT-
 JEAN, NOUVEAU-BRUNSWICK, CANADA**

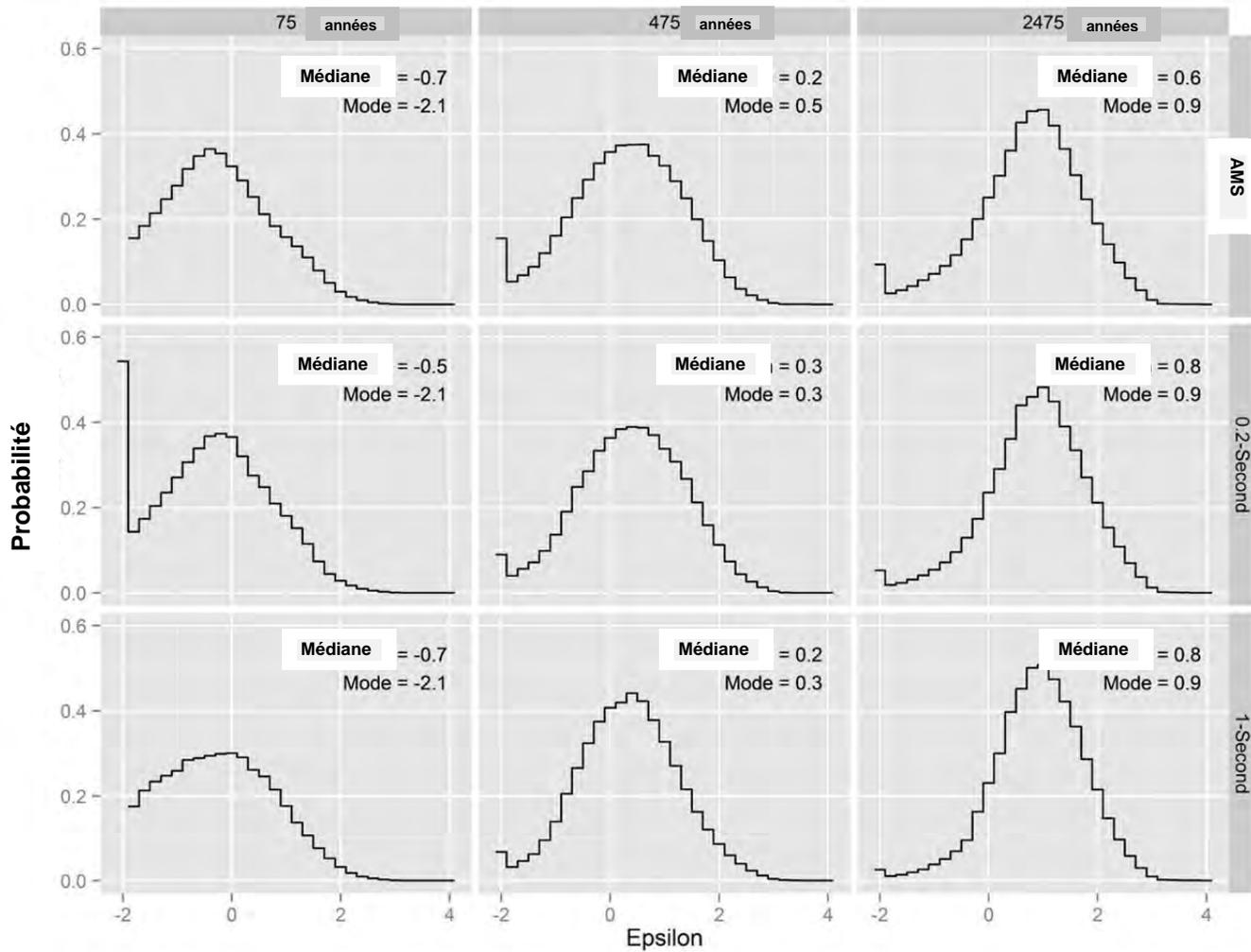
TITRE
**DESAGREGATION DE L'ALEA SELON LA MAGNITUDE ET
 LA DISTANCE POUR DES PERIODES SPEC TRALES
 CHOISIES ET POUR UNE PERIODE DE RETOUR DE
 75 ANS (SITE EN MER, $V_{S30} = 250$ M/S)**

PROJET NO
1403463

PHASE
9.0

Rév.
0

FIGURE
20



CLIENT
ÉNERGIE EST, SAINT-JEAN, NOUVEAU-BRUNSWICK, CANADA

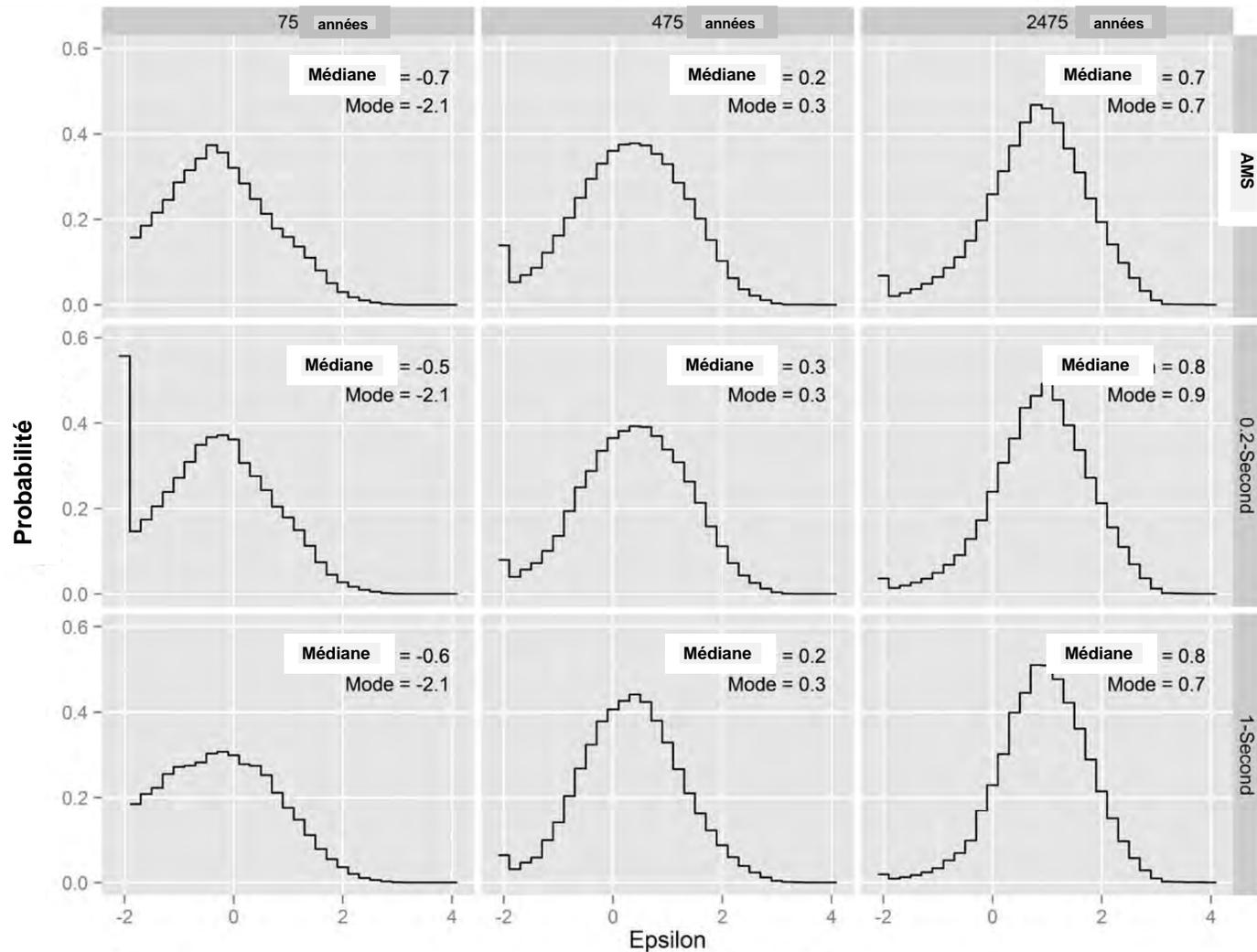
PROJET
TERMINAL MARITIME CANAPORT D'ÉNERGIE EST, SAINT-JEAN, NOUVEAU-BRUNSWICK, CANADA

CONSULTANT


AAAA-MM-JJ	2015-03-17
Préparé par	A.PARKIN
Dessiné par	FL
Révisé par	AA
Approuvé par	AH

TITRE
DESAGREGATION DE L'ALEA SELON LA VALEUR EPSILON POUR DES PERIODES DE RETOUR DE 2 475, 475 ET 75 ANS (SITE TERRESTRE, V_{S30} = 760 M/S)

PROJET NO	PHASE	Rév.	FIGURE
1403463	9.0	0	21



CLIENT
ÉNERGIE EST, SAINT-JEAN, NOUVEAU-BRUNSWICK, CANADA

PROJET
TERMINAL MARITIME CANAPORT D'ÉNERGIE EST, SAINT-JEAN, NOUVEAU-BRUNSWICK, CANADA

CONSULTANT



AAAA-MM-JJ 2015-03-17

Préparé par A.PARKIN

Dessiné par FL

Révisé par AA

Approuvé par AH

TITRE

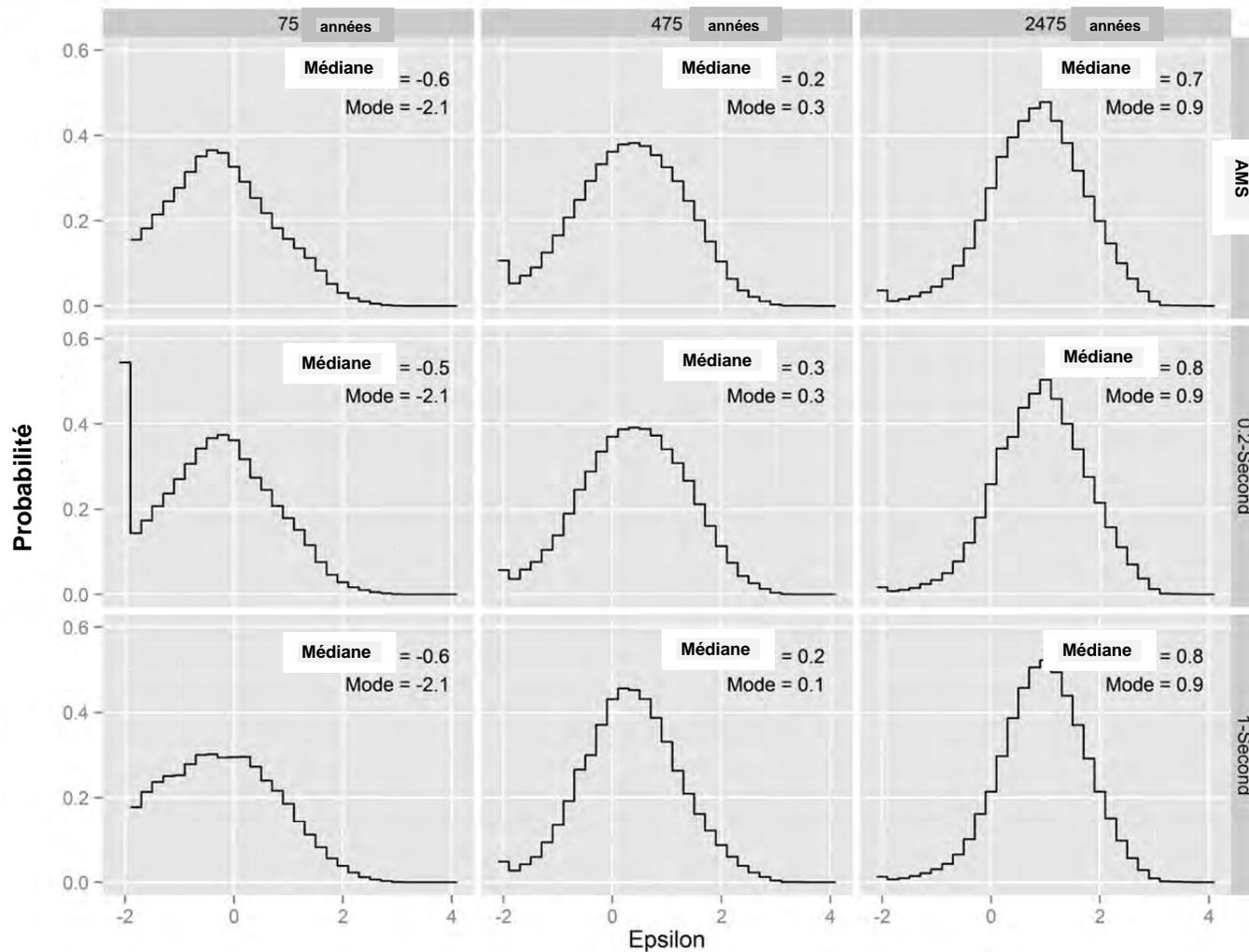
DESAGREGATION DE L'ALEA SELON LA VALEUR EPSILON POUR DES PERIODES DE RETOUR DE 2 475, 475 ET 75 ANS (SITE EN MER, $V_{S30} = 460$ M/S)

PROJET NO
1403463

PHASE
9.0

Rév.
0

FIGURE
22



CLIENT
ÉNERGIE EST, SAINT-JEAN, NOUVEAU-BRUNSWICK, CANADA

PROJET
TERMINAL MARITIME CANAPORT D'ÉNERGIE EST, SAINT-JEAN, NOUVEAU-BRUNSWICK, CANADA

CONSULTANT



AAAA-MM-JJ 2015-03-17

Préparé par A.PARKIN

Dessiné par FL

Révisé par AA

Approuvé par AH

TITRE

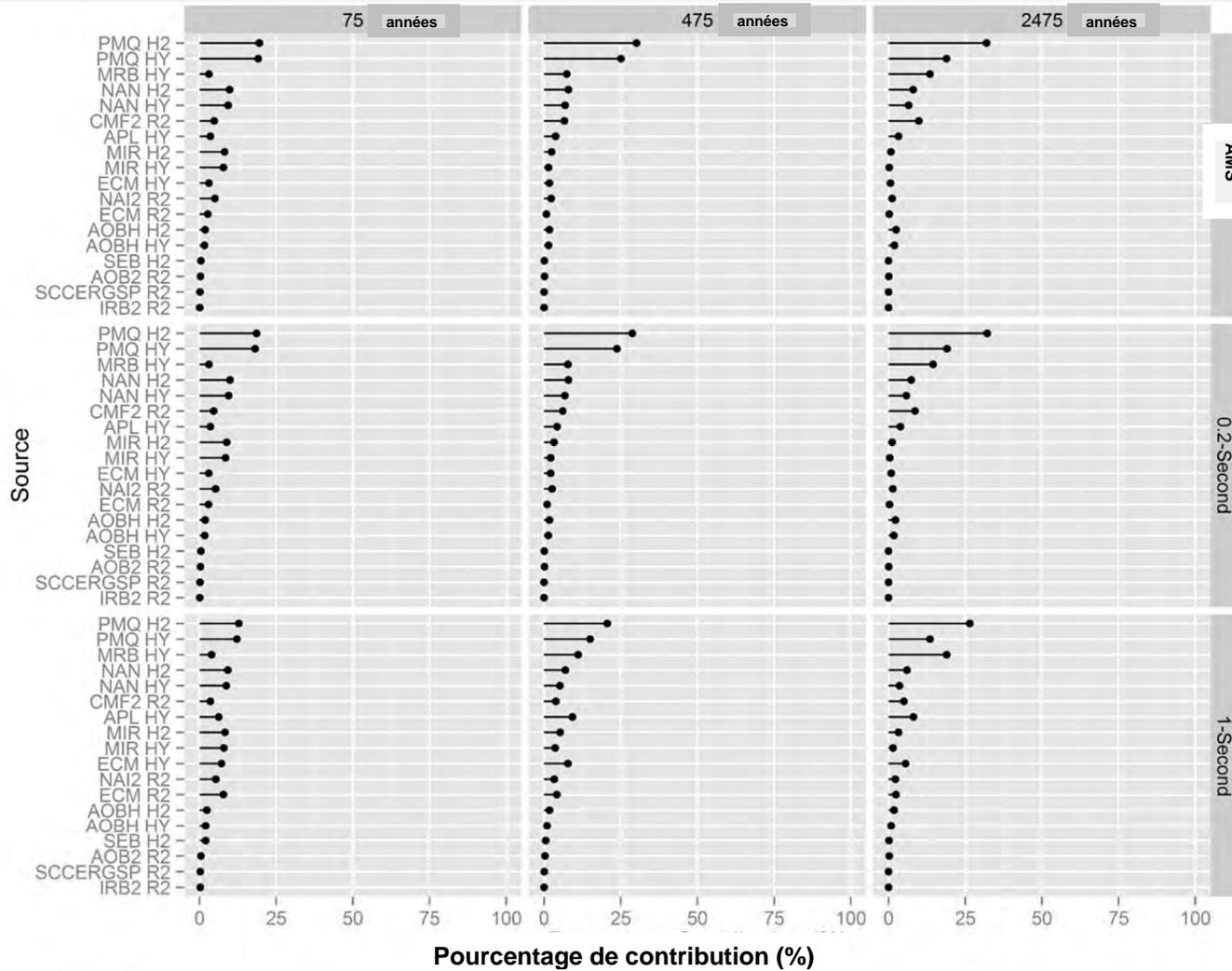
DESAGREGATION DE L'ALEA SELON LA VALEUR EPSILON POUR DES PERIODES DE RETOUR DE 2 475, 475 ET 75 ANS (SITE EN MER, $V_{S30} = 250$ M/S)

PROJET NO
1403463

PHASE
9.0

Rév.
0

FIGURE
23



CLIENT
ÉNERGIE EST, SAINT-JEAN, NOUVEAU-BRUNSWICK, CANADA

PROJET
TERMINAL MARITIME CANAPORT D'ÉNERGIE EST, SAINT-JEAN, NOUVEAU-BRUNSWICK, CANADA

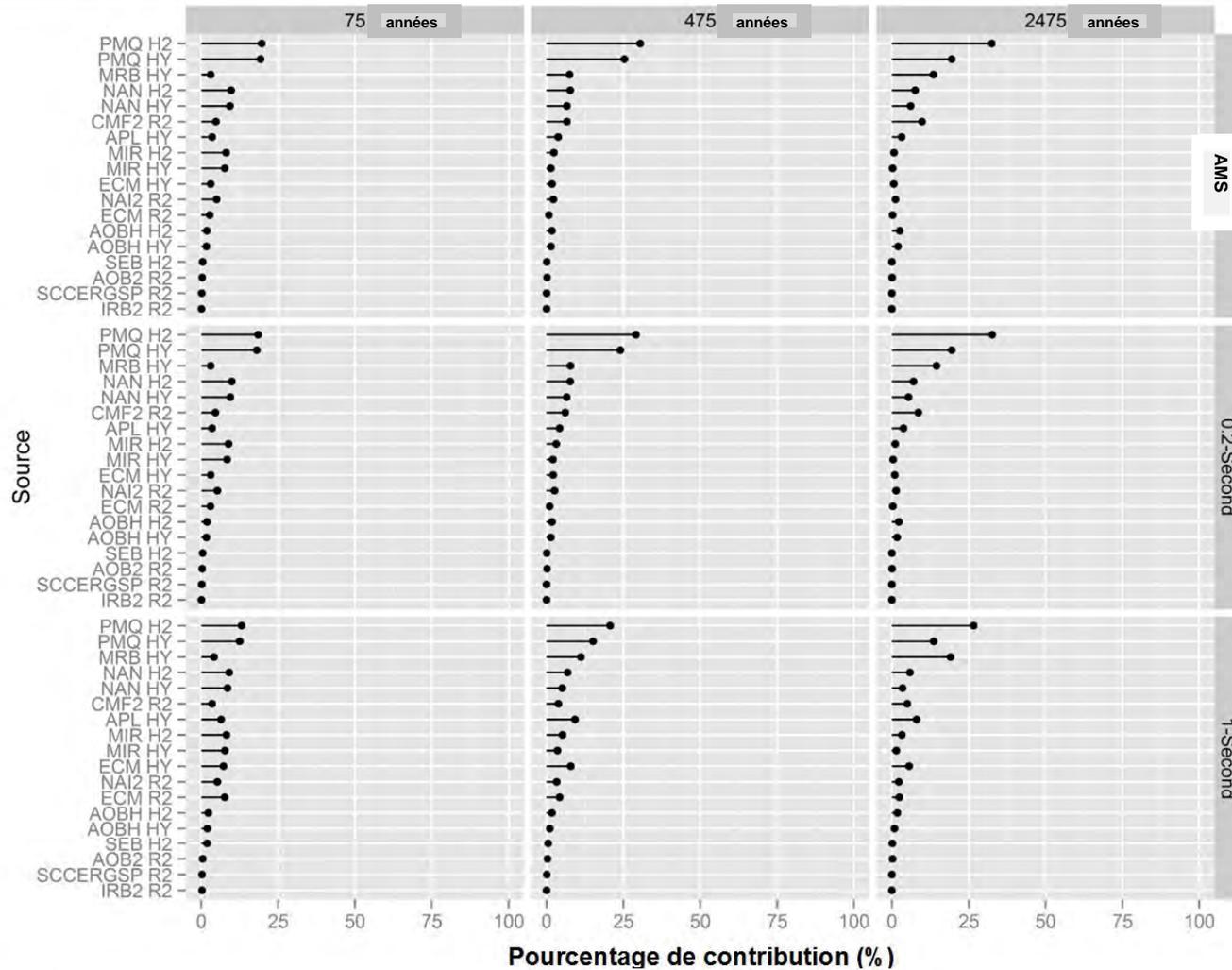
CONSULTANT



AAAA-MM-JJ 2015-03-17
 Préparé par A.PARKIN
 Dessiné par FL
 Révisé par AA
 Approuvé par AH

TITRE
CONTRIBUTION A L'ALEA PAR LES SOURCES SISMIQUES POUR DES PERIODES DE RETOUR DE 2 475, 475 ET 75 ANS (SITE TERRESTRE, $V_{S30} = 760$ M/S)

PROJET NO 1403463	PHASE 9.0	Rév. 0	FIGURE 24
-----------------------------	---------------------	------------------	---------------------



CLIENT
ÉNERGIE EST, SAINT-JEAN, NOUVEAU-BRUNSWICK, CANADA

PROJET
TERMINAL MARITIME CANAPORT D'ÉNERGIE EST, SAINT-JEAN, NOUVEAU-BRUNSWICK, CANADA

CONSULTANT



AAAA-MM-JJ 2015-03-17

Préparé par A.PARKIN

Dessiné par FL

Révisé par AA

Approuvé par AH

TITRE

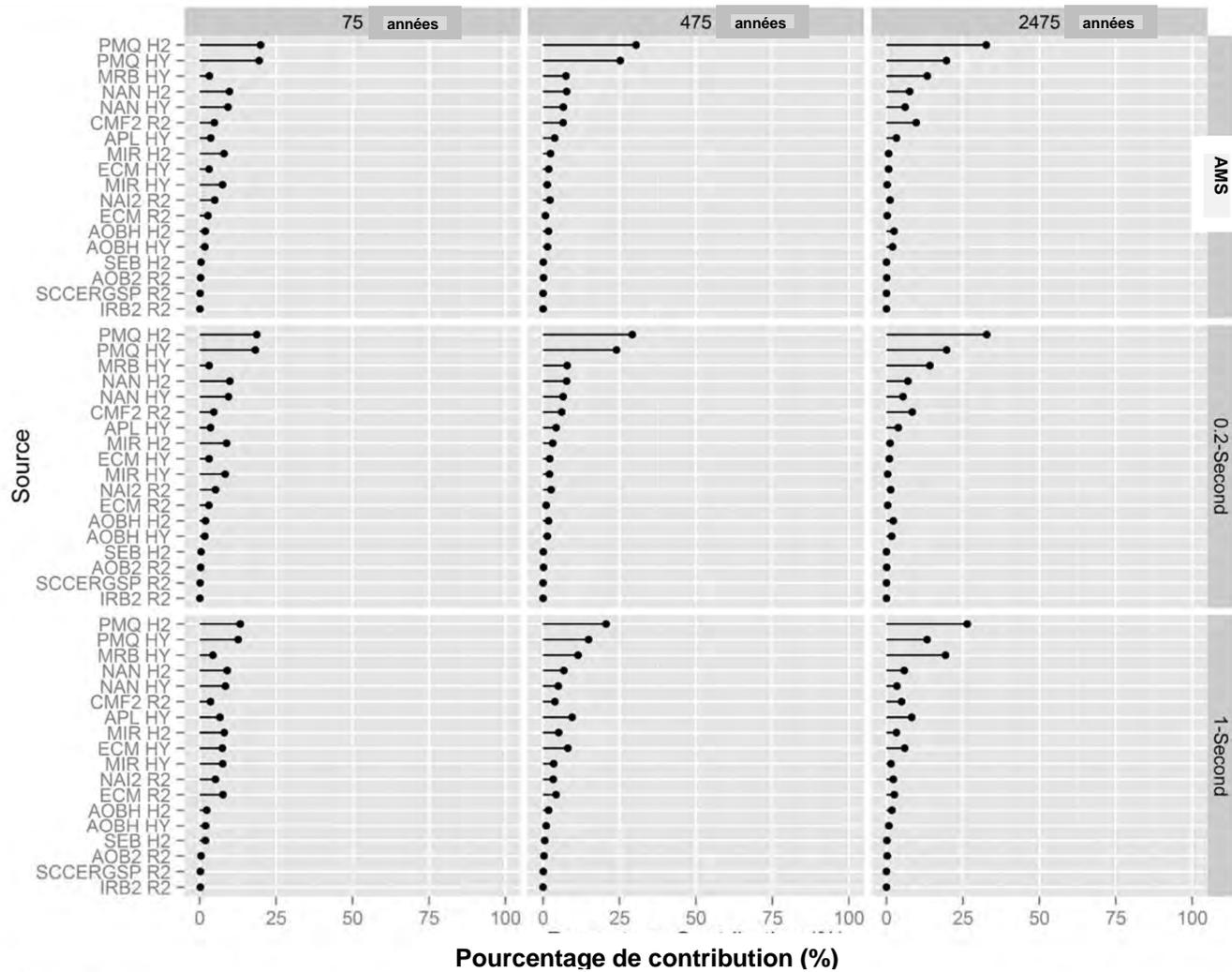
CONTRIBUTION A L'ALEA PAR LES SOURCES SISMIQUES POUR DES PERIODES DE RETOUR DE 2 475, 475 ET 75 ANS (SITE EN MER, $V_{S30} = 460$ M/S)

PROJET NO
1403463

PHASE
9.0

Rév.
0

FIGURE
25



CLIENT
ÉNERGIE EST, SAINT-JEAN, NOUVEAU-BRUNSWICK, CANADA

PROJET
TERMINAL MARITIME CANAPORT D'ÉNERGIE EST, SAINT-JEAN, NOUVEAU-BRUNSWICK, CANADA

CONSULTANT



AAAA-MM-JJ 2015-03-17
 Préparé par A.PARKIN
 Dessiné par FL
 Révisé par AA
 Approuvé par AH

TITRE

CONTRIBUTION A L'ALEA PAR LES SOURCES SISMIQUES POUR DES PERIODES DE RETOUR DE 2 475, 475 ET 75 ANS(SITE EN MER, $V_{S30} = 250$ M/S)

PROJET NO
1403463

PHASE
9.0

Rév.
0

FIGURE
26

Propriété de ses employés et forte d'une expérience de plus de 50 ans, Golder Associés, une organisation d'envergure mondiale, a pour raison d'être de contribuer au développement de la Terre tout en préservant son intégrité. Nous fournissons à nos clients des solutions durables comprenant une gamme étendue de services spécialisés en consultation, conception et construction dans les domaines des sciences de la Terre, de l'environnement et de l'énergie.

Pour en savoir plus, visitez golder.com

Afrique	+ 27 11 254 4800
Asie	+ 86 21 6258 5522
Océanie	+ 61 3 8862 3500
Europe	+ 44 1628 851851
Amérique du Nord	+ 1 800 275 3281
Amérique du Sud	+ 56 2 2616 2000

solutions@golder.com
www.golder.com

Golder Associés Ltée
9200, boul. de l'Acadie, bureau 10
Montréal (Québec) H4N 2T2
Canada
T: +1 (514) 383 0990

