11ème Colloque ACFAS
Les risques naturels au Québec

Évaluation de la susceptibilité aux effets de sites pour la région des basses terres du Saint-Laurent à l'aide d'un système d'information géographique (SIG)

Azarm FARZAM
Candidate au doctorat

Département de génie de la construction
École de technologie supérieure

12 mai 2016

Sous la direction de :
Prof. Marie-José Nollet, ing., Ph.D.
Prof. Amar Khaled, ing., Ph.D.

Plan de la présentation

1. Introduction
   - Contexte du risque sismique
   - Effets de site
   - Objectifs
2. Méthodologie
3. Résultats
   - Création d'un indice de susceptibilité à l'amplification
   - Mesures de bruits ambiants
4. Conclusions et perspectives

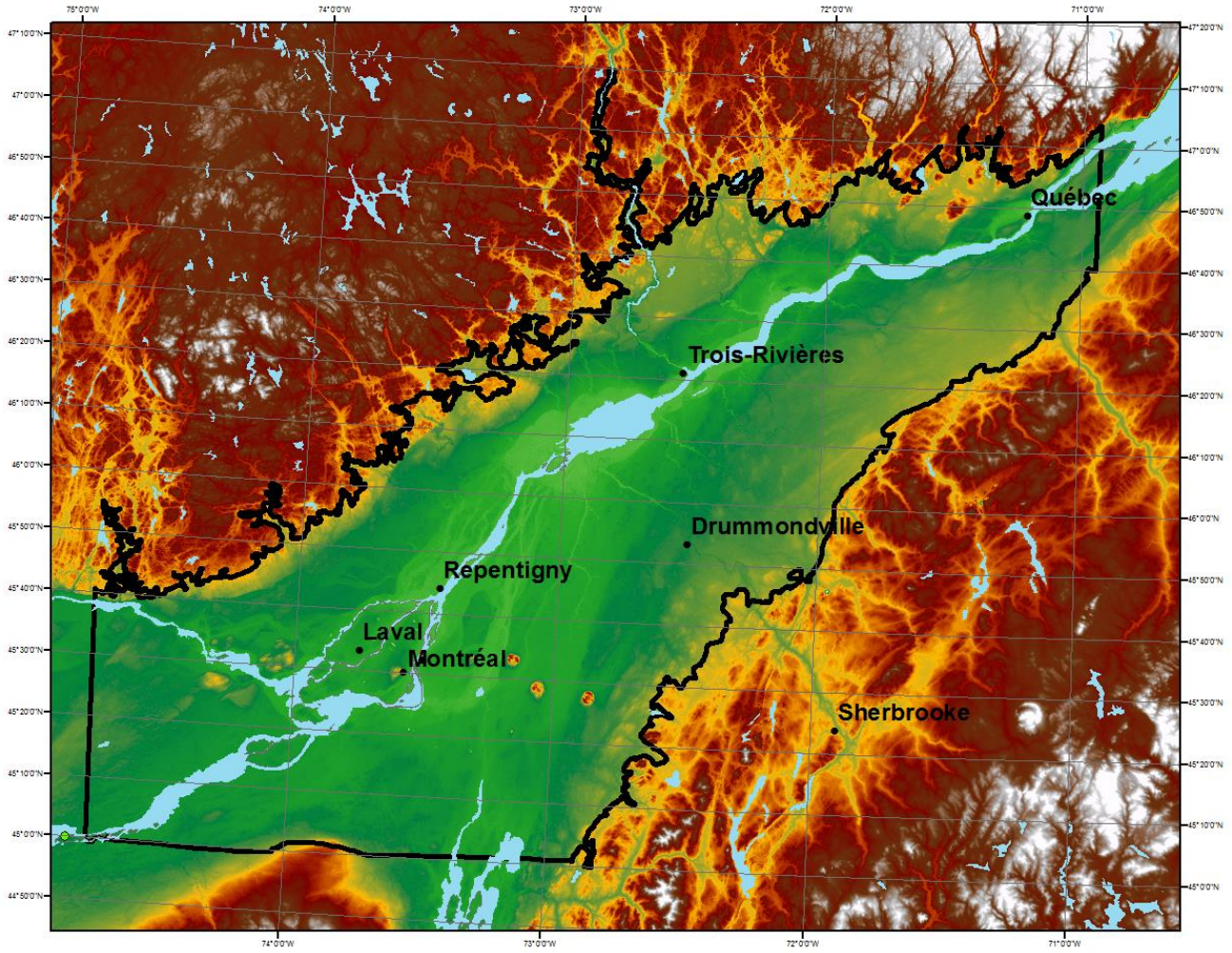
Définition du risque sismique



Le séisme de Val-Des-Bois
le 23 juin 2010
Mw = 5

nce de
sur le
u

OBJECTIFS



Légende

Limite marine. Région d'étude

principales villes

Hydrologie

Rivière et lac

Modèle numérique de terrain.

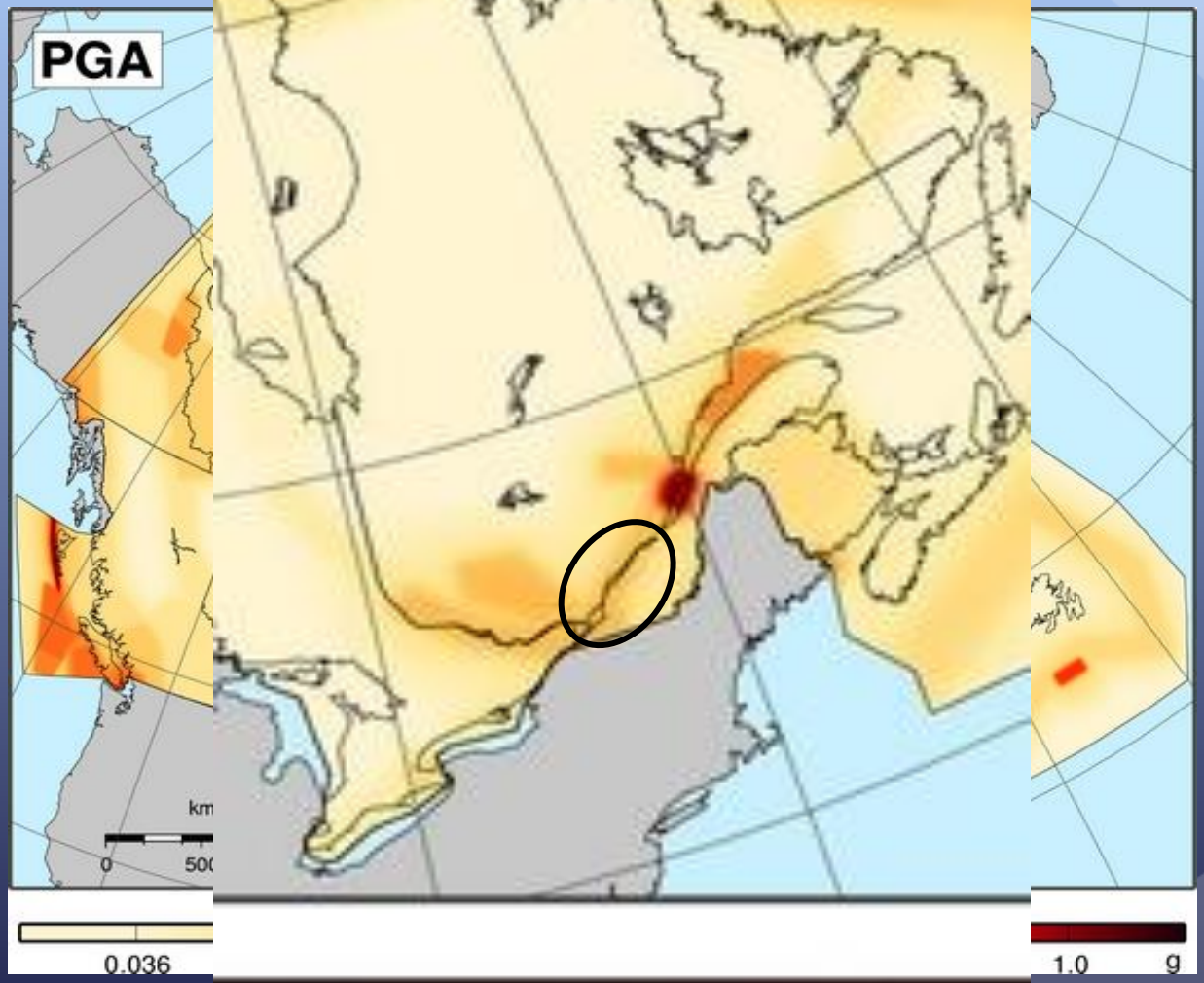
[m]

Haut : 1090

Bas : -32768

Contexte

Aléa relatif de



Canada

2% en 50 ans

(EarthquakesCanada.nrcan.gc.ca)

Conséquence des effets de site

Séisme de Saguenay, Québec 5 novembre 1988 M_w= 5.9

Hôtel de ville de Montréal Est



(Mitchell, Tinawi et Law, 1990)

Caractéristique du site:

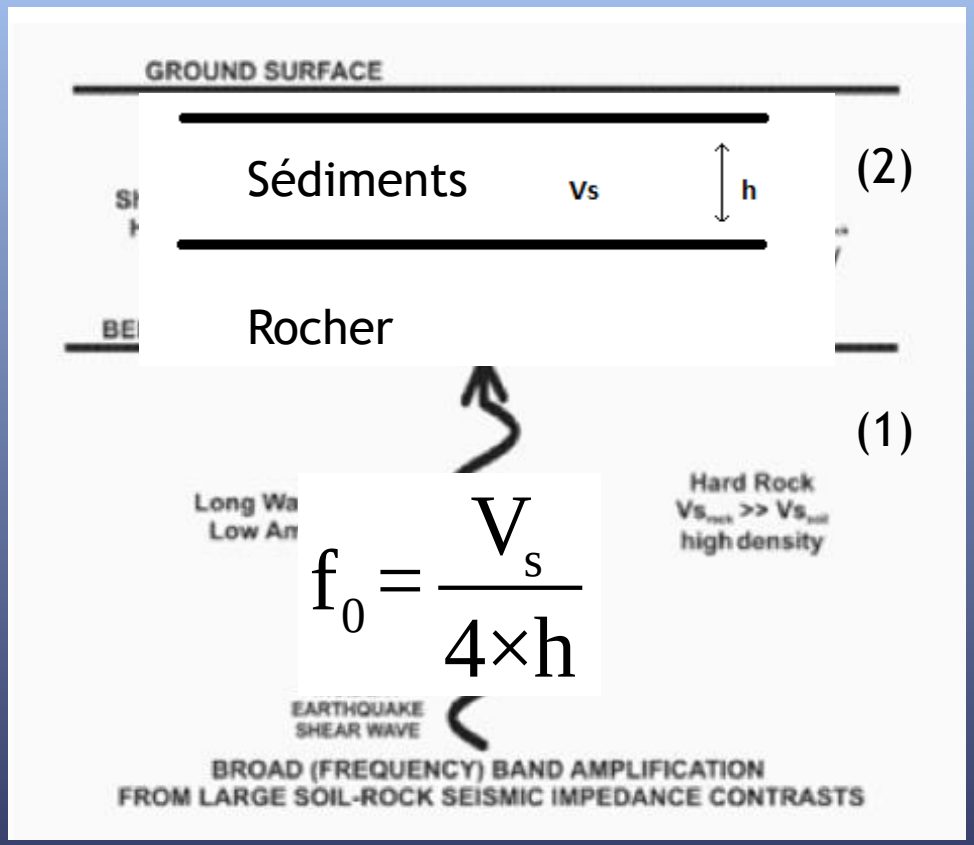
Amplification due à 17 mètres d'argiles

Conséquences:

- Phénomène d'amplification: Dommages observés jusqu'à 350 km de l'épicentre (Montréal)
- Jusqu'à 200 km Liquéfaction, glissements de terrains, chutes de bloc.

ALÉA : AMPLIFICATION

FRÉQUENCE DE RÉSONANCE



Cette amplification dépend du contraste d'impédance selon:

$$\kappa = \frac{(\rho_1 \cdot V_{s1})}{(\rho_2 \cdot V_{s2})}$$

Si la vitesse de l'onde de cisaillement diminue

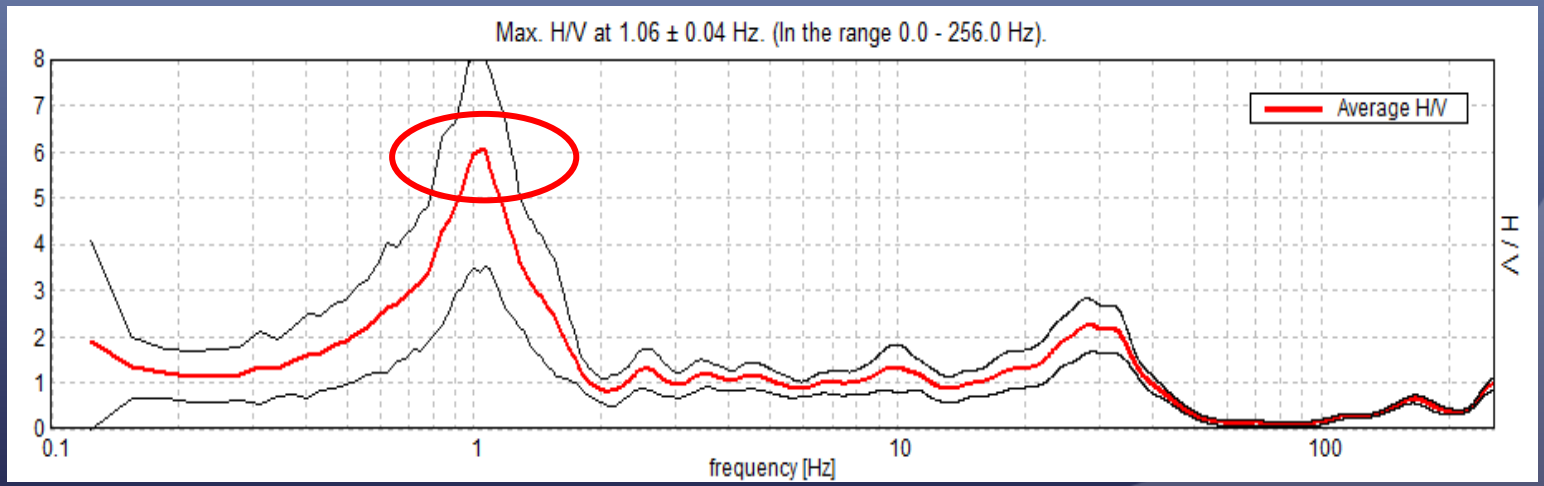
L' amplification augmente.

ALÉA : AMPLIFICATION
MESURES DE BRUITS AMBIANTS

- Méthode Nakamura :

$$\frac{\sqrt{H_{NS} \times H_{EW}}}{V}$$

- Identification de la fréquence de résonance:



DONNÉES GÉOTECHNIQUES POUR DÉTERMINER L'AMPLIFICATION *(Approche du CNBC)*

LÉGENDE

Catégorie d'emplacement	Nature du matériau Profil du sol	Propriétés géotechnique: Vitesse moyenne des
A	Roche dure	$\overline{V}s \geq 1500$ m/s
B	Roche	760 m/s ≤ $\overline{V}s$ < 1500 m/s
C	Roche tendre ou sol très dense	360 m/s ≤ $\overline{V}s$ < 760 m/s
D[1]	Sol consistant	180 m/s ≤ $\overline{V}s$ < 360 m/s
E[2]	Sol meuble	$\overline{V}s \leq 180$ m/s
F	Autres sols	Site nécessitant une analyse géotechni consolidés susceptibles d'affaissement o sismique. b) Tourbe ou argile très organi supérieure à 8m et d'indice de plasticité >

Tableau établi d'après la division B, section 4.1.8.4, du Code national du bâtiment du Canada, 2005.

NOTE : [1] Dans certains secteurs de la Ville de Québec, la catégorie d'emplacement D peut inclure des sols de catégorie F, notamment des sables potentiellement liquéfiables. Les méthodes d'investigation utilisées lors de l'établissement de cette carte ne permettent pas d'identifier les secteurs de catégorie F avec une fiabilité acceptable.

[2] La catégorie d'emplacement E n'a pas été documentée sur le territoire de la Ville de Québec. Des investigations spécifiques pourraient cependant identifier des secteurs de catégorie E.

Facteurs d'amplification Fa et Fv:

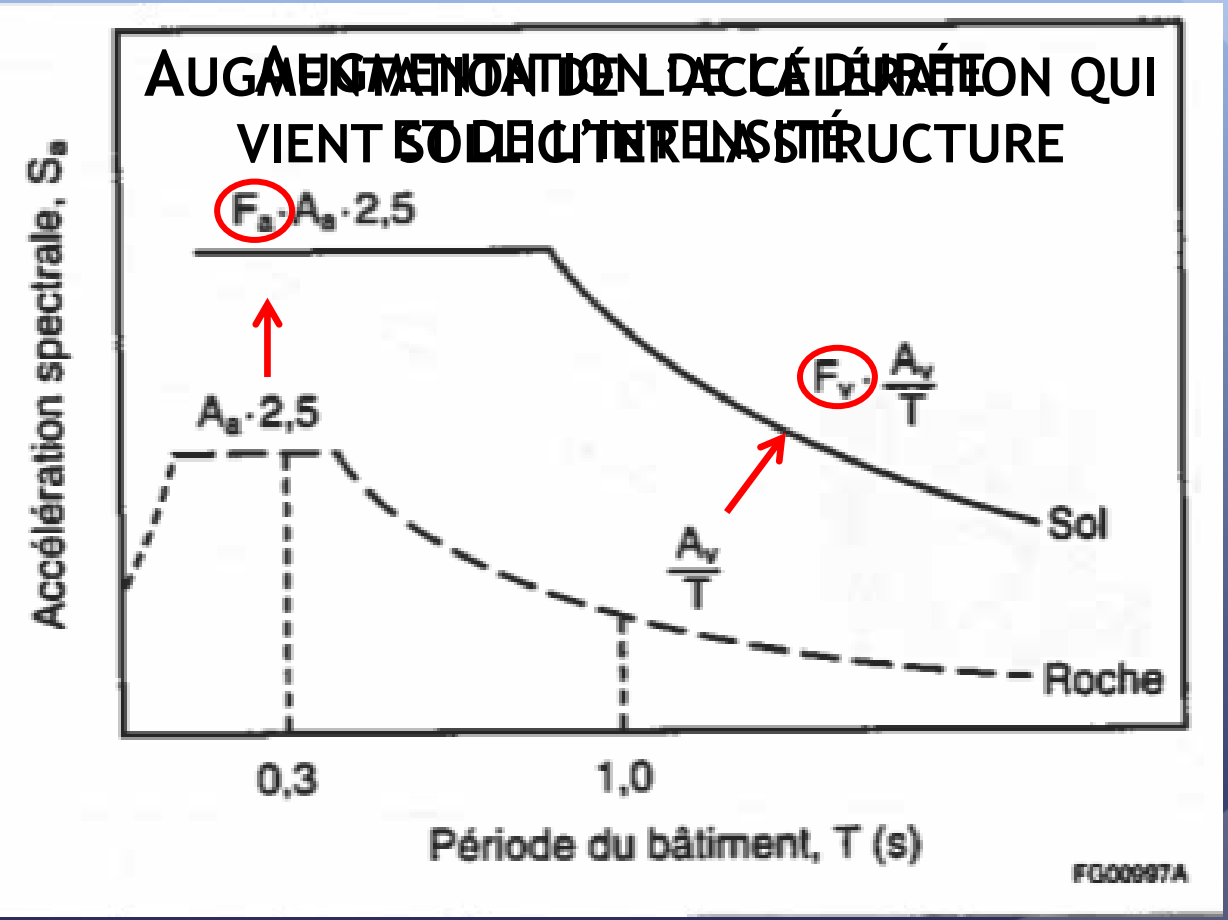
Classe A: $0,7 \leq Fa \leq 0,8$
$0,5 \leq Fv \leq 0,6$

Classe C: Référence $F_a = 1$

$F_v = 1$

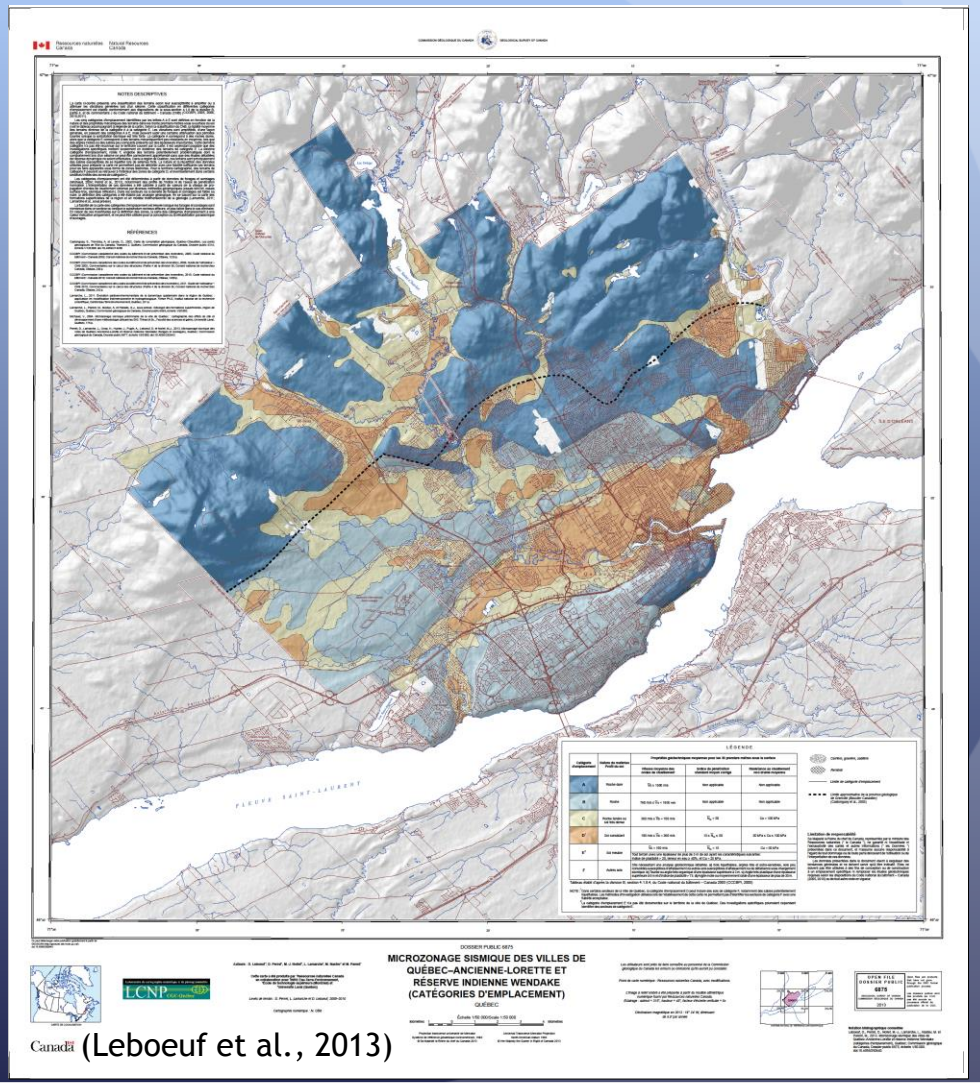
Classe E: $0,9 \leq Fa \leq 2,1$
$1,7 \leq Fv \leq 2,1$

Conséquence des effets de site: Amplification et spectre d'accélération



DONNÉES GÉOTECHNIQUES POUR DÉTERMINER L'AMPLIFICATION *(Approche du CNBC)*

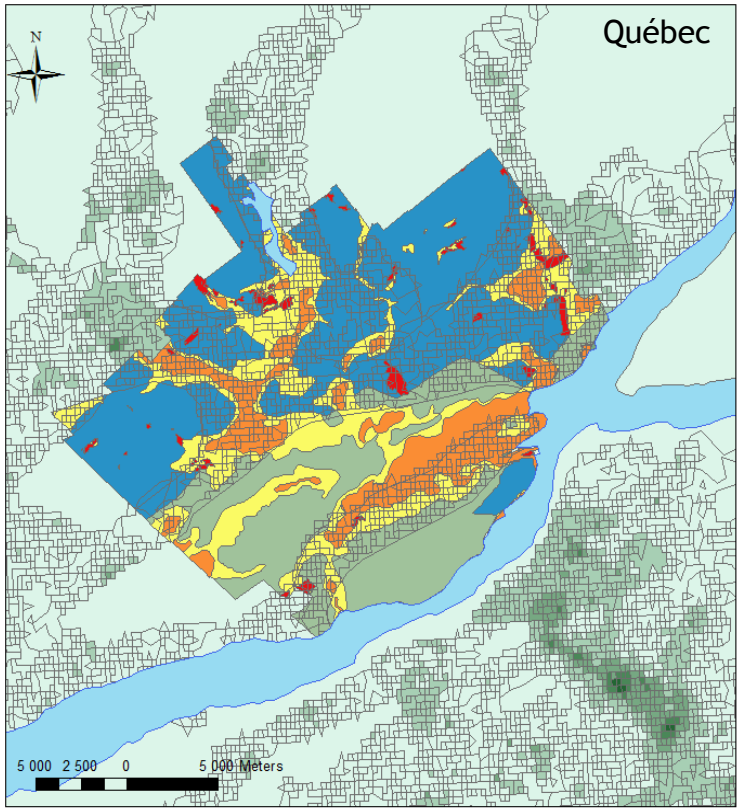
- Mesures des vitesses en forages
- Mesures de fréquences de résonance
- Carte finale de microzonage



(Leboeuf et al., 2013)

ALÉA : AMPLIFICATION

État des lieux: Microzonage ville de Québec



Produit à partir des données de (Leboeuf et al., 2013)

2 500 forages détaillés

Mesures sur le terrain:

- scissomètre de chantier,
- pressiomètre et piézocône

Mesures en laboratoire:

- scissomètre de laboratoire,
- masse volumique du sol, limite liquide

Mesures de bruits ambiants

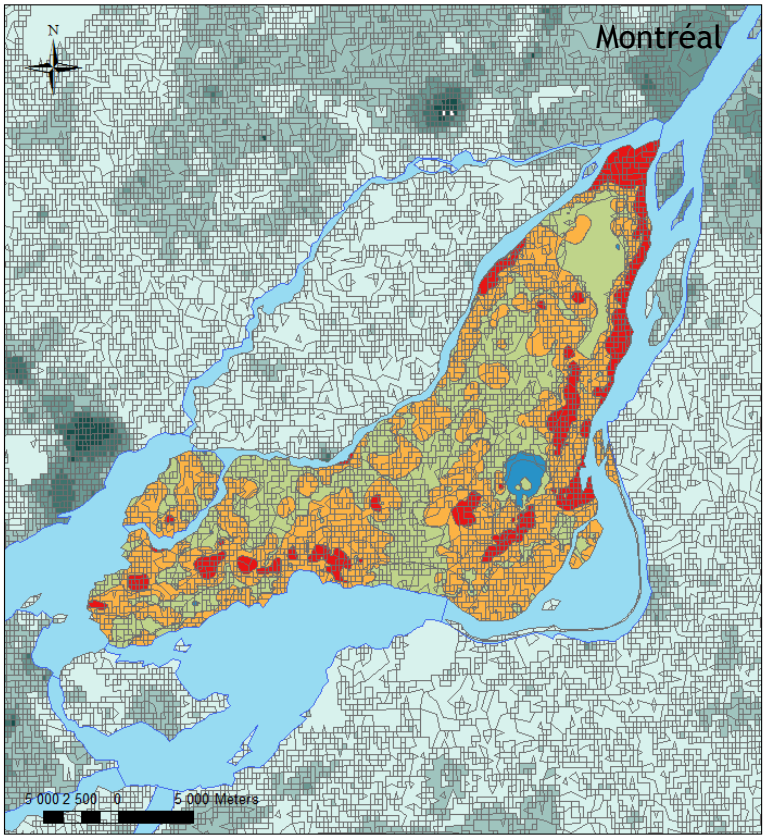
MASW (mesures d'ondes de surface multicanaux)

Sismique réflexion

Interpolation type polygone de Voronoï

Ajustement manuel en fonction de la topographie

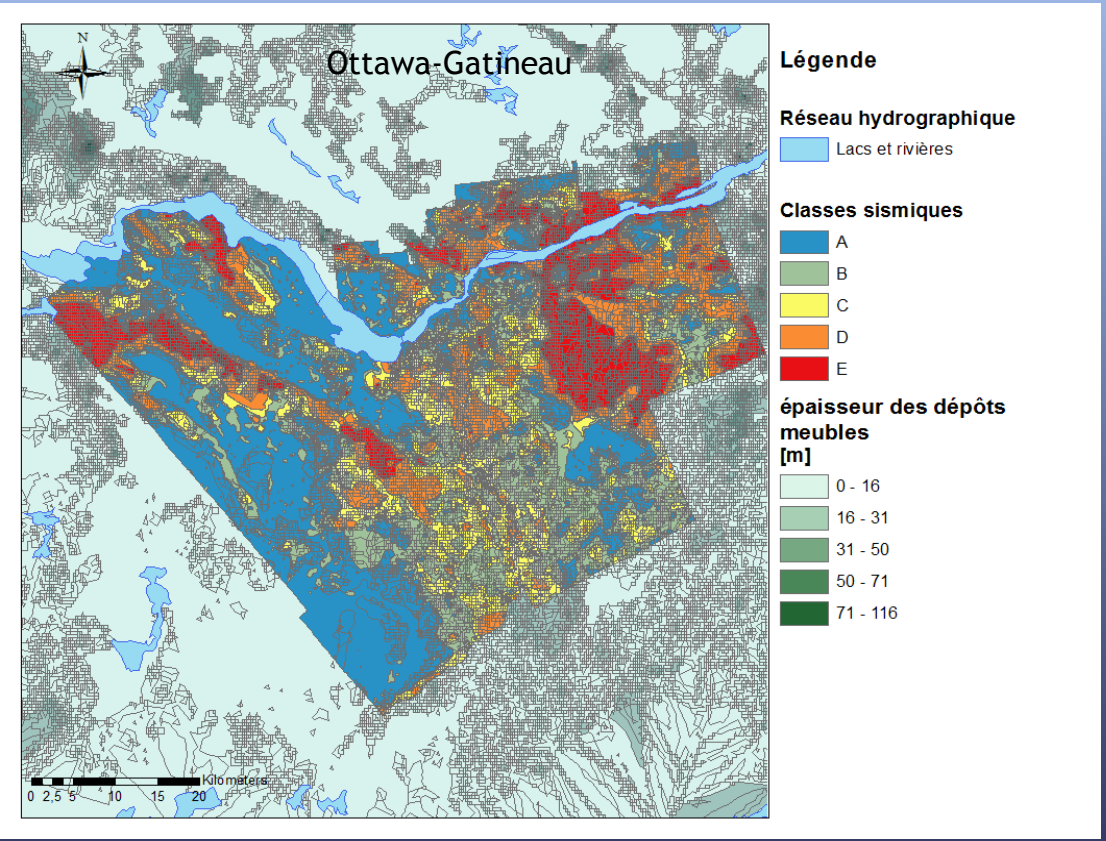
ALÉA : AMPLIFICATION
État des lieux: Microzonage ville de Montréal



- 26 600 forages dont 2500 détaillés.
- 3 mesures d'ondes S et P en forage
- 2600 mesures de bruits ambiants
- 29 mesures MASW
- 7,5 km de lignes sismiques hautes résolutions

Produit à partir des données de (Chouinard and Rosset, 2012)

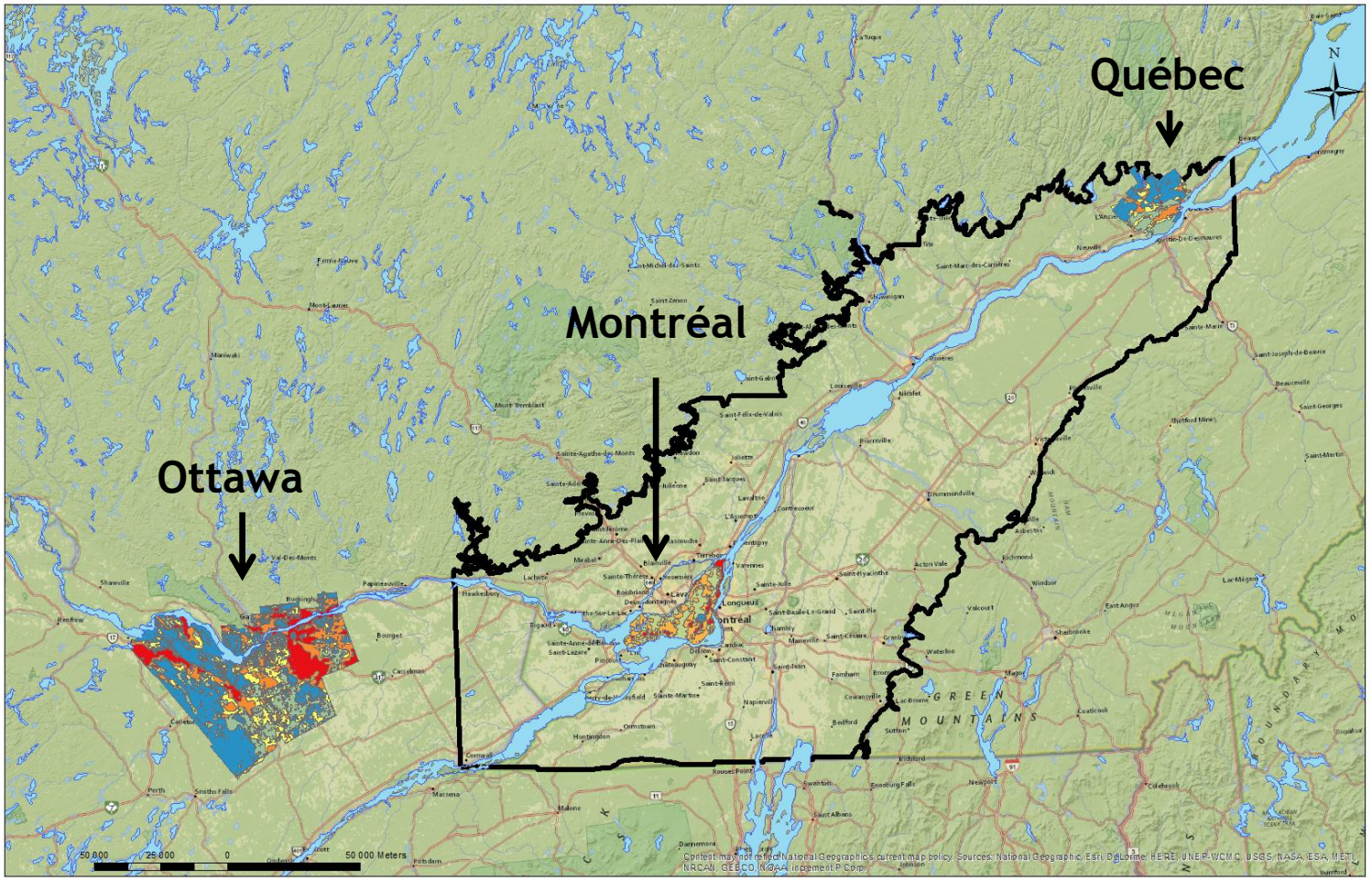
ALÉA : AMPLIFICATION
État des lieux:
Microzonage ville de Ottawa-Gatineau



- 21 900 forages
- 15 mesures d'ondes S et P en forage
- 400 mesures de bruits ambiants
- 33 mesures MASW
- 685 sites de sismiques réflexion réfraction
- 25 km de lignes sismiques hautes résolutions

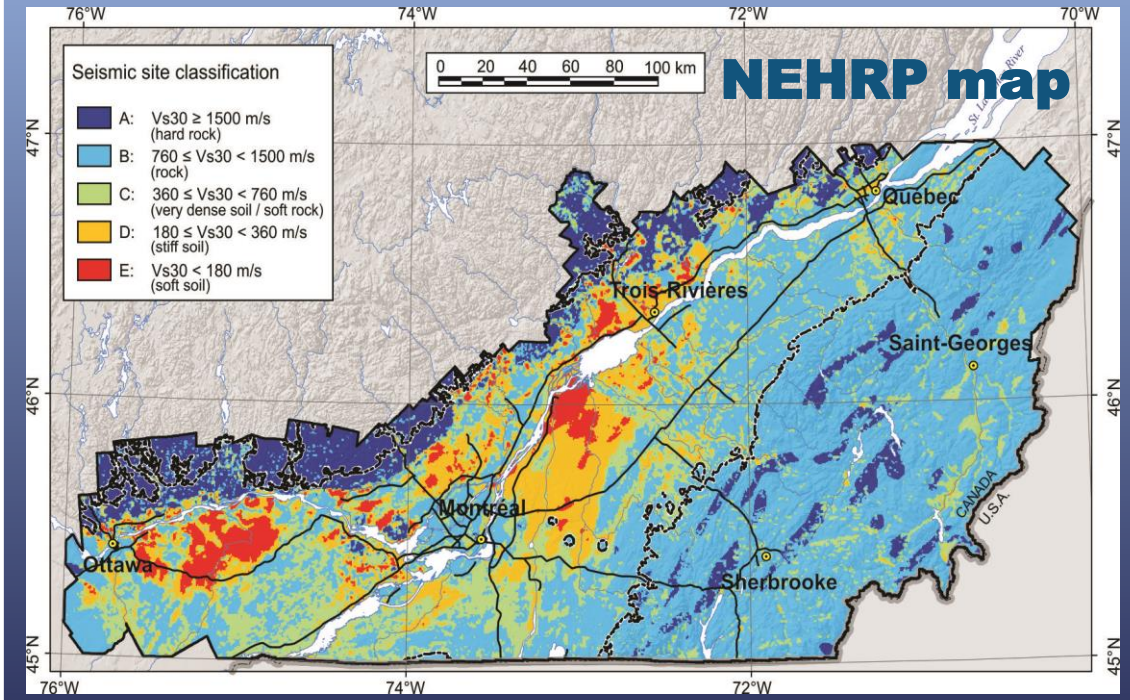
Produit à partir des données de (Motazedian et al., 2011)

ALÉA : AMPLIFICATION
État des lieux : Zone d'étude



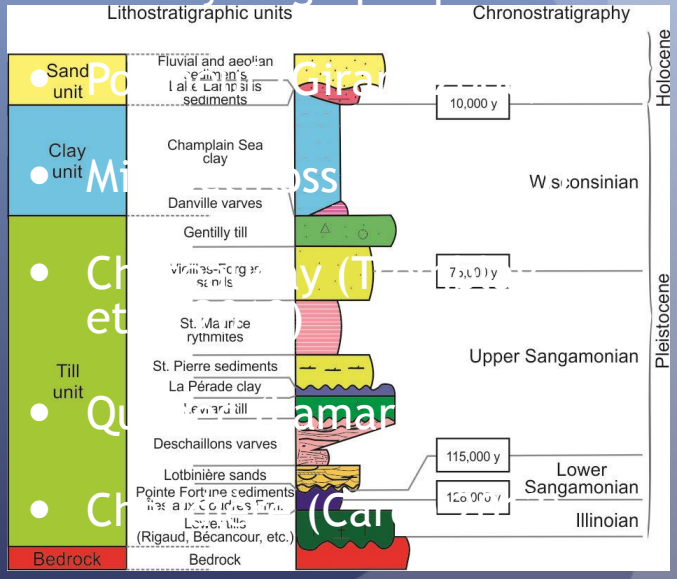
ALÉA : AMPLIFICATION

État des lieux: Microzonage de la commission géologique sur la base d'un modèle en 3D



(Nastev et al., 2014)

Modèle 3D construit selon études hydrographiques:



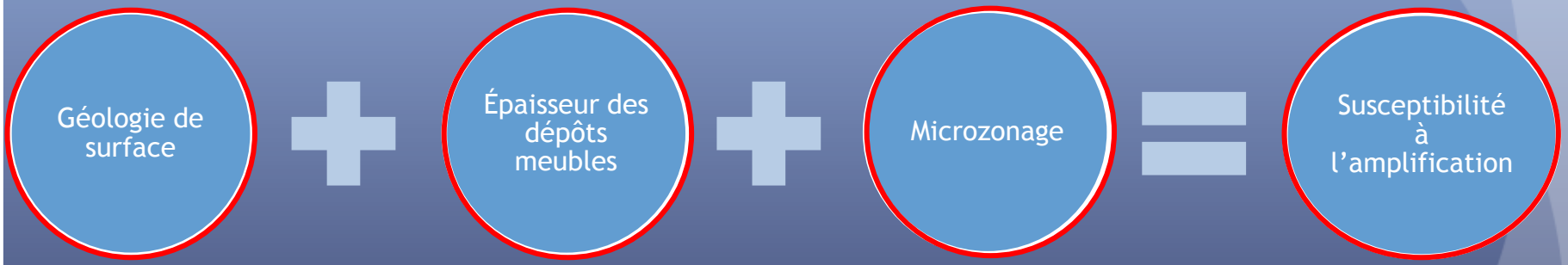
- gw-info.net

SUSCEPTIBILITÉ À L'AMPLIFICATION

- Extrapoler des V_{s30} et catégories sismiques à partir:
  - Géologie de surface et l'épaisseur des dépôts meubles
  - Affiner le modèle selon des mesures de bruits ambiants

PHASE 1

Établir une relation entre la géologie de surface, l'épaisseur des dépôts meubles et les catégories sismiques



PHASE 2

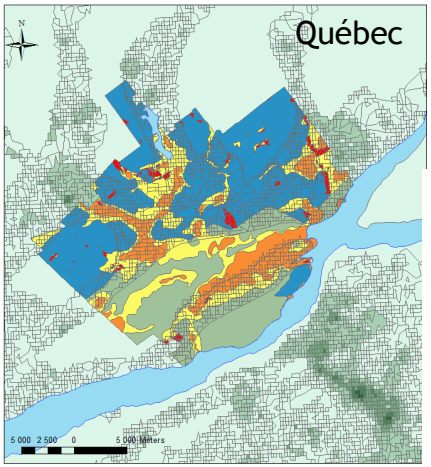
Confirmer ou ajuster les résultats grâce à des mesures de bruits ambiants

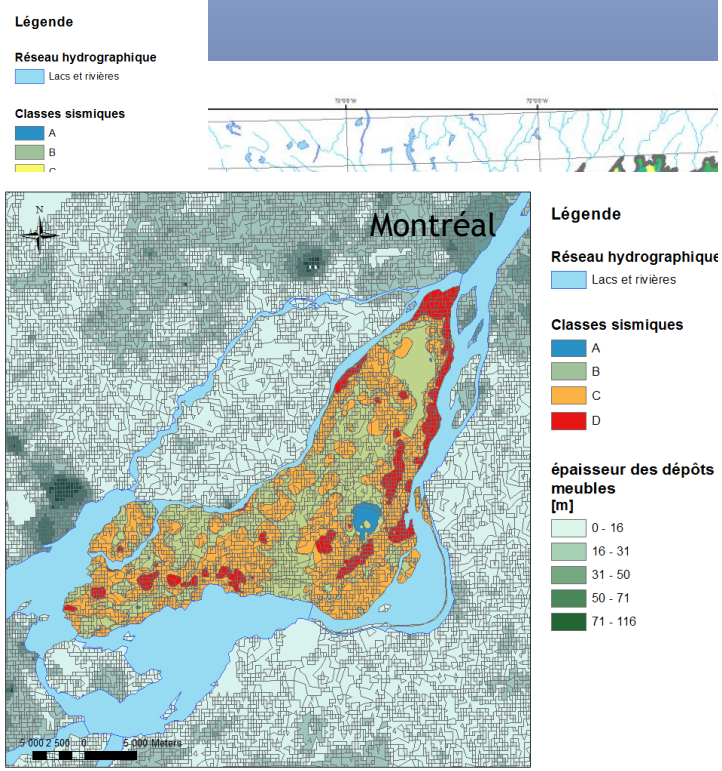
Mesures de bruits ambiants et détermination de f + Épaisseur des dépôts meubles + Géologie de surface = Susceptibilité à l'amplification

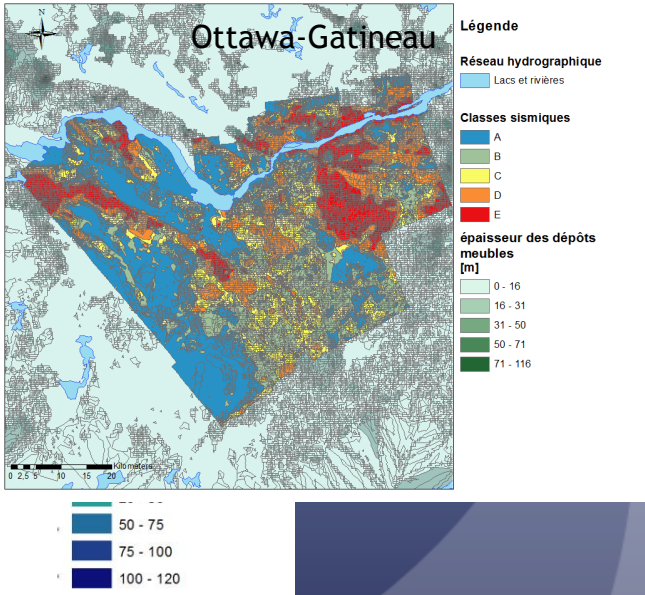
$$f_0 = \frac{V_s}{4 \times h}$$

AMPLIFICATION (PHASE 1):

Géologie de surface + Épaisseur des dépôts meubles + Microzonage = Susceptibilité à l'amplification







SUSCEPTIBILITÉ À L'AMPLIFICATION

Dépôts marins

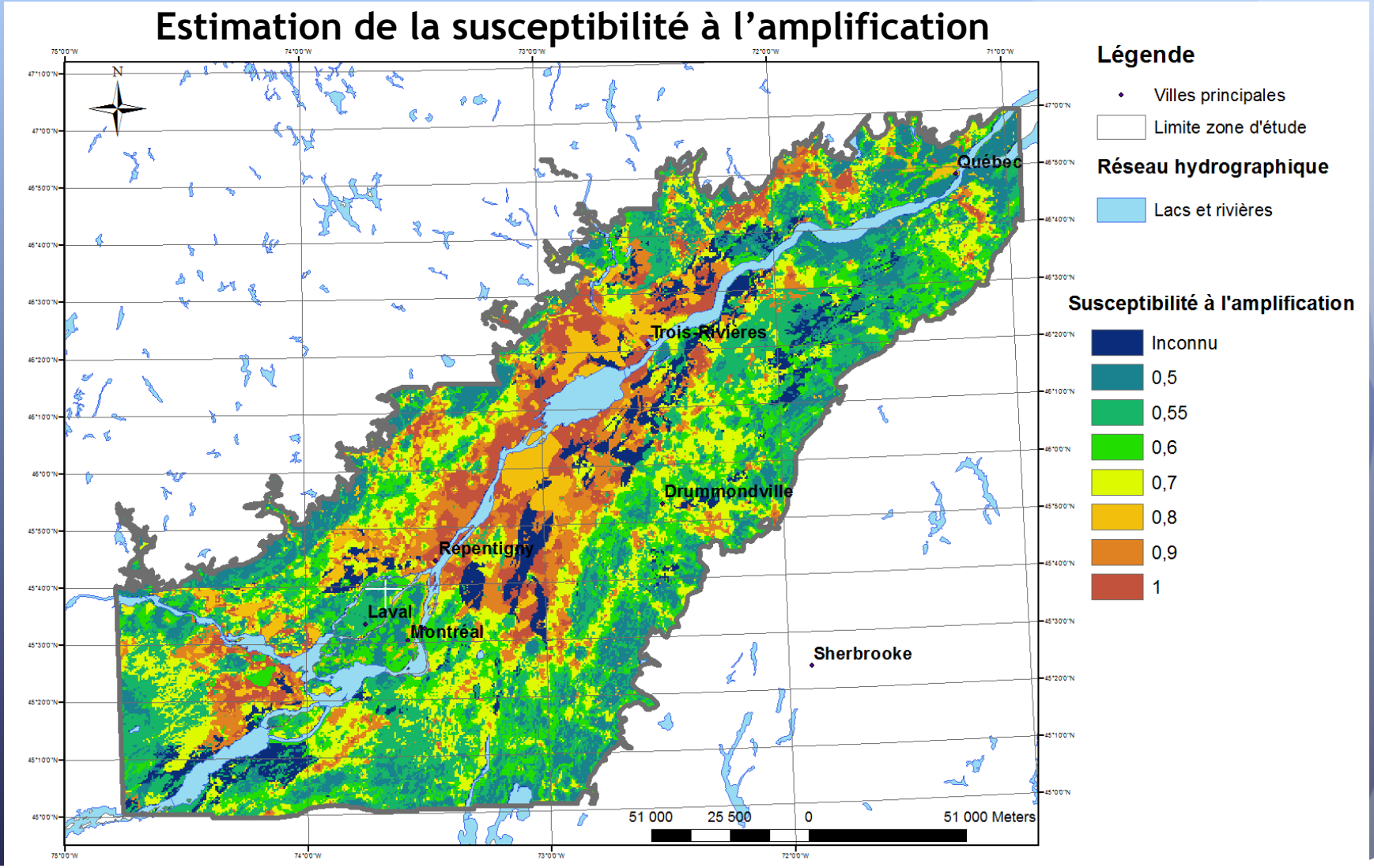
Classe sismique\ Épaisseur [m]	0 à 5	5 à 10	10 à 20	20 à 30	>30
A, B	60%	38%	24%	4%	1%
C	26%	37%	33%	19%	3%
D	11%	20%	34%	39%	14%
E	4%	6%	9%	38%	81%

Créer un indice de susceptibilité à l'amplification

Classe de sol sismique	Indice (I_{sa})
A and B	0.5
	0.55
C	0.6
	0.7
D	0.8
	0.9
E	1

Épaisseur [m]	0 à 5	5 à 10	10 à 20	20 à 30	>30
Indice de susceptibilité à l'amplification	0.55	0.6	0.7	0.9	1

SUSCEPTIBILITÉ À L'AMPLIFICATION



AMPLIFICATION (PHASE 2):

COUVERTURE DES SOLS POUR LA ZONE D'ÉTUDE

Mesures de bruits ambiants

Dépôts superficiels	0 à 5 [m]	5 à 10 [m]	10 à 20 [m]	20 à 30 [m]	>30 [m]
Dépôts alluviaux	1.19%	1.40%	2.43%	2.24%	4.17%
Dépôts de versant	0.04%	0.03%	0.06%	0.12%	0.24%
Dépôts éoliens	0.16%	0.48%	0.39%	0.11%	0.02%
Dépôts Glaciofluviaux	0.17%	0.13%	0.16%	0.04%	0.13%
Dépôts Glaciolacustres	0.01%	0.02%	0.01%	0.01%	0.02%
Dépôts anthropiques	0.02%	0.04%	0.06%	0.01%	0.00%
Dépôts lacustres	0.24%	0.59%	1.47%	1.76%	1.70%
Dépôts marins	**7.39%**	**10.52%**	**16.20%**	**7.81%**	**4.70%**
Dépôts organiques	0.94%	1.50%	1.49%	0.46%	0.64%
Till	8.03%	7.75%	6.45%	1.23%	0.35%
Dépôts indifferentiés	0.02%	0.04%	0.02%	0.01%	0.00%



INDICE DE SUSCEPTIBILITÉ À L'AMPLIFICATION

Profondeur du socle	0 to 5 [m]	5 to 10 [m]	10 to 20 [m]	20 to 30 [m]	>30 [m]
Sédiments alluviaux	0.6 à 0.7	0.6 à 0.7	0.7	0.9	1
Dépôts de versants	0.9	0.9	0.9	1	1
Sédiments éoliens	Aucun	0.6	0.6	Aucun	Aucun
Sédiments glaciofluviaux ou Sédiments glaciolacustres	0.5	0.6	0.6	0.6	0.6
Dépôts anthropogènes	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
Sédiments lacustres	0.55	0.55	0.7	0.9	1
Sédiments marins	0.55	0.6	0.7	0.9	1
Dépôts organiques	0.5	0.5	0.55	0.9	1
Till	0.5	0.55	0.55	0.55 à 0.7	0.7
Dépôts indifférenciés	0.5	0.6	0.6	0.7	Aucun

RISQUE = ALÉA × VULNÉRABILITÉ × VALEUR

Outils d'évaluation: Méthodes indicielles qui évaluent de manière qualitative le risque sismique relié aux ouvrages d'art.

- ✓ **Caractéristiques structurales** d'un ouvrage d'art qui définissent sa vulnérabilité « structurale » face aux séismes.
- ✓ **Aléa et certains effets de sites** peuvent être considérés

Exemples:

- MTQ1995: $IVS_{MTQ1995} = 100 - (RS \times FF \times FA \times \sum_{i=1}^{8} w_i \times C_i)$
- VdQ: $IVS_{VdQ2007} = [10 - (A_S \times V_S \times V_F \times V_G \times V_T \times V_A \times V_E)] \times I_p$
- MTQ2013: $IVS_{MTQ2013} = (F_{aléa} \times F_{site}) \times V_{vulnérabilité}$

RISQUE = ALÉA × VULNÉRABILITÉ × VALEUR

Faute d'information à tous les sites, la prise en compte des effets de site, dont l'amplification, est approximative ou trop conservatrice.

En exploitant les SIG on peut prendre en compte à la fois l'aspect vulnérabilité structurale des ouvrages d'art, à la fois les effets de site tel que l'amplification dans l'évaluation qualitative du risque.

Méthode du ministère des transports du Québec :

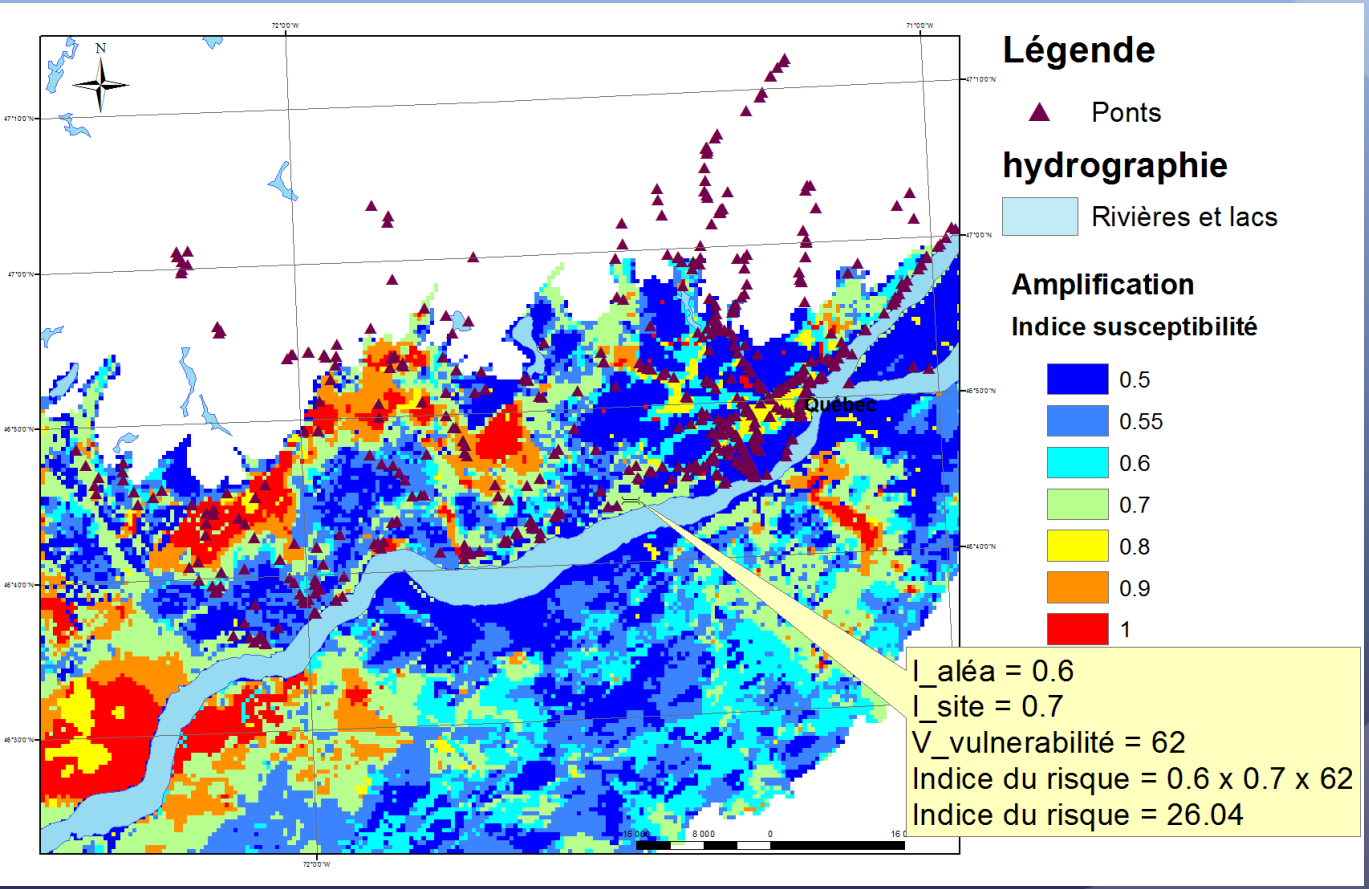
$$IRSS_{MTQ2016} = ((F_{aléa} \times F_{site}) \times V_{vulnérabilité}$$

AMPLIFICATION

MOUVEMENTS GRAVITAIRES

LIQUÉFACTION

INDICE DE SUSCEPTIBILITÉ À L'AMPLIFICATION: APPLICATION À LA MÉTHODE D'ÉVALUATION DU RISQUE SISMIQUE DU MTQ



Conclusions

- L'utilisation de la plateforme SIG permet de réunir des informations de différentes natures.
- Une évaluation de la susceptibilité à l'amplification peut-être estimée grâce aux croisements entre plusieurs types de données. Notamment les vitesses de cisaillement, la géologie de surface et l'épaisseur des dépôts meubles.
- Un indice de susceptibilité à l'amplification est défini selon la géologie de surface, l'épaisseur des dépôts meubles et la probabilité d'appartenir à une classe sismique selon trois villes (Montréal, Ottawa, Québec) où des données de microzonage ont déjà été investiguées.
- La qualité et la résolution des données utilisées auront une grande influence sur la qualité des cartes produites.

Conclusions

- Afin d'estimer la validité de la méthodologie de l'évaluation de la susceptibilité à l'amplification et d'affiner le modèle, une campagne de mesures de 50 sites de bruits ambiants a été effectuée (mesure de fréquence du sol).
- Les résultats de la campagne de mesures confirment dans la majorité des cas, les résultats obtenus précédemment.
- L'indice de susceptibilité à l'amplification est intégré à une méthode indicielle d'estimation du risque sismique des ouvrages d'art pour la région des Basses Terres du Saint-Laurent.

Perspectives

- Une approche similaire sur SIG est appliquée aux effets induits présents dans la région d'étude, soit la liquéfaction, les glissements de terrain et les chutes de blocs.
- Une évaluation de l'inter-connectivité entre les ouvrages d'art et les infrastructures prioritaires est également programmée pour mesurer l'importance d'un ouvrage sur le réseau et ainsi traiter des trois aspects du risque.

Merci