



Natural Resources  
Canada

Ressources naturelles  
Canada

# Un système national d'alerte sismique précoce (ASP) pour le Canada

David McCormack, Henry Seywerd et Stephen Crane

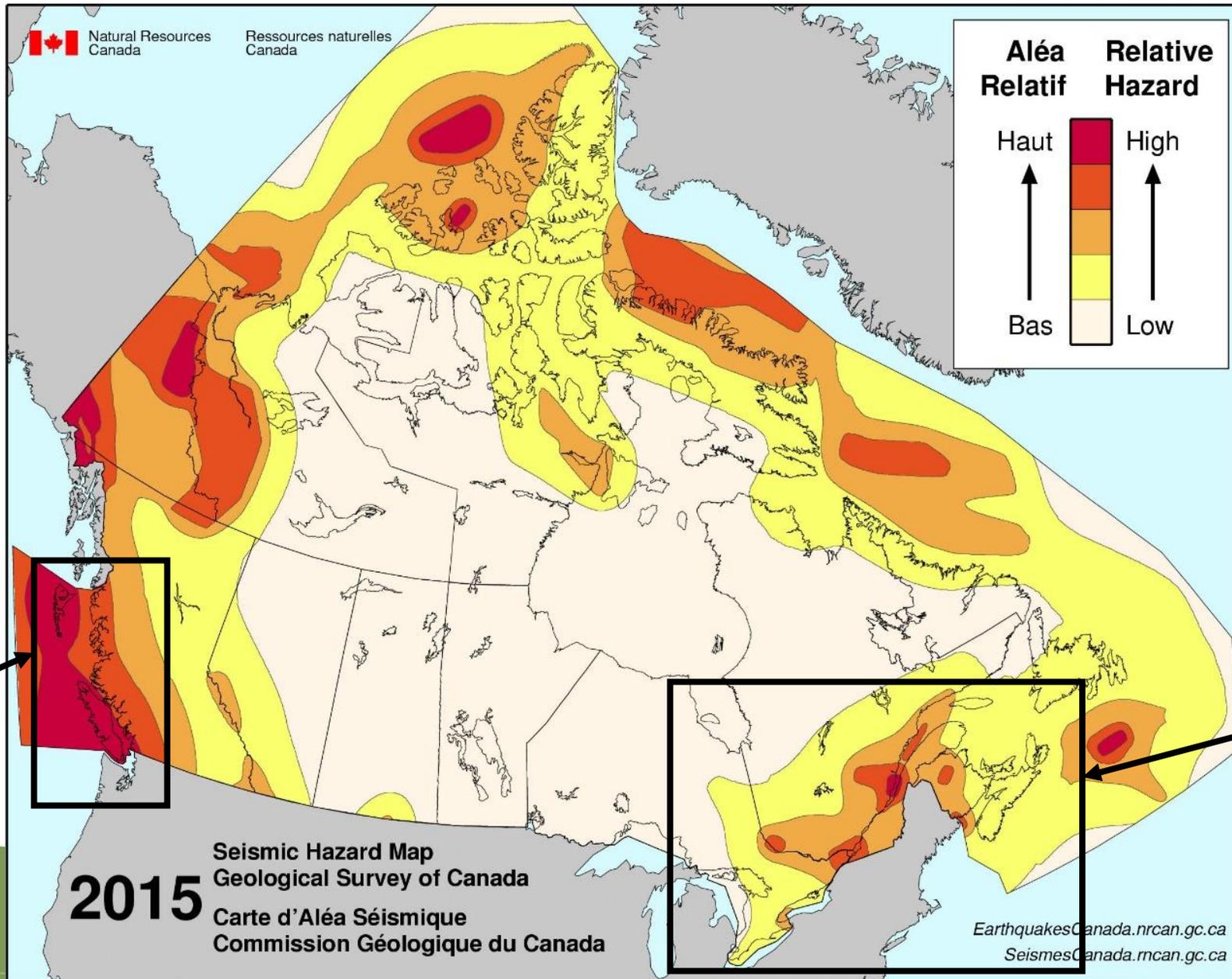
Canada

# Aperçu

- Récapitulation : aléas et risques sismiques au Canada
- Pourquoi une ASP?
- Capteurs et emplacements
- Modélisation des délais d'avertissement
- Traitement
- Communication des alertes
- Possibilités



# Aléa sismique

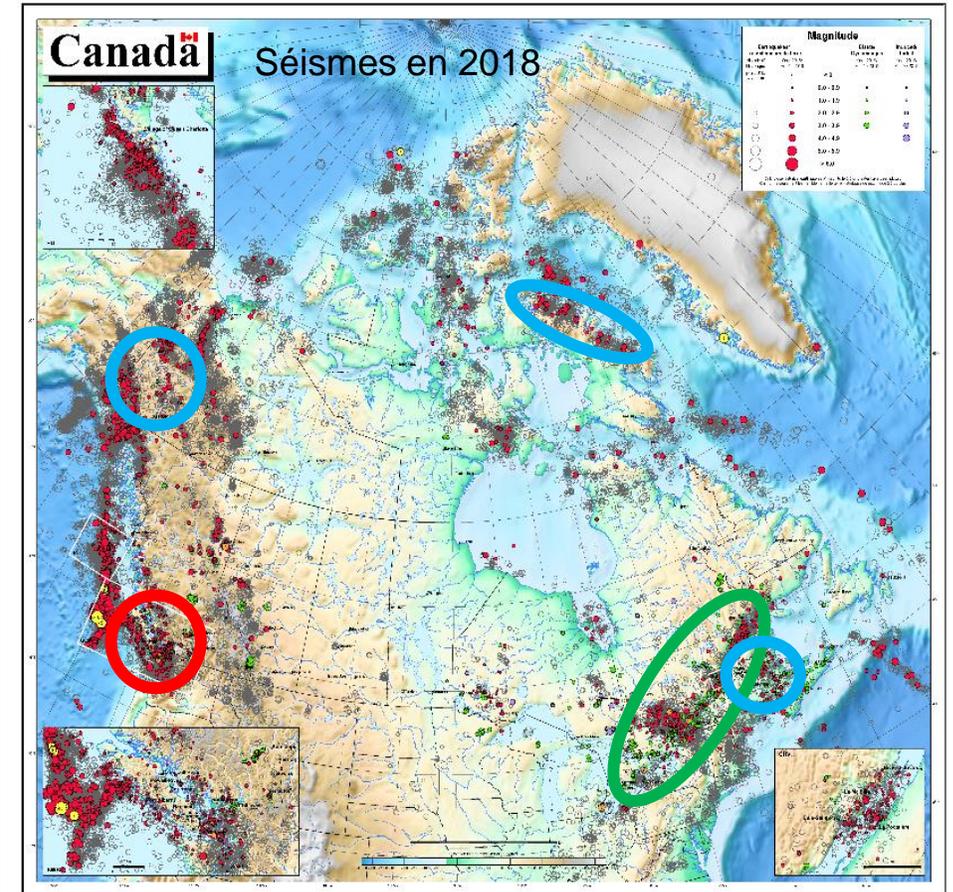


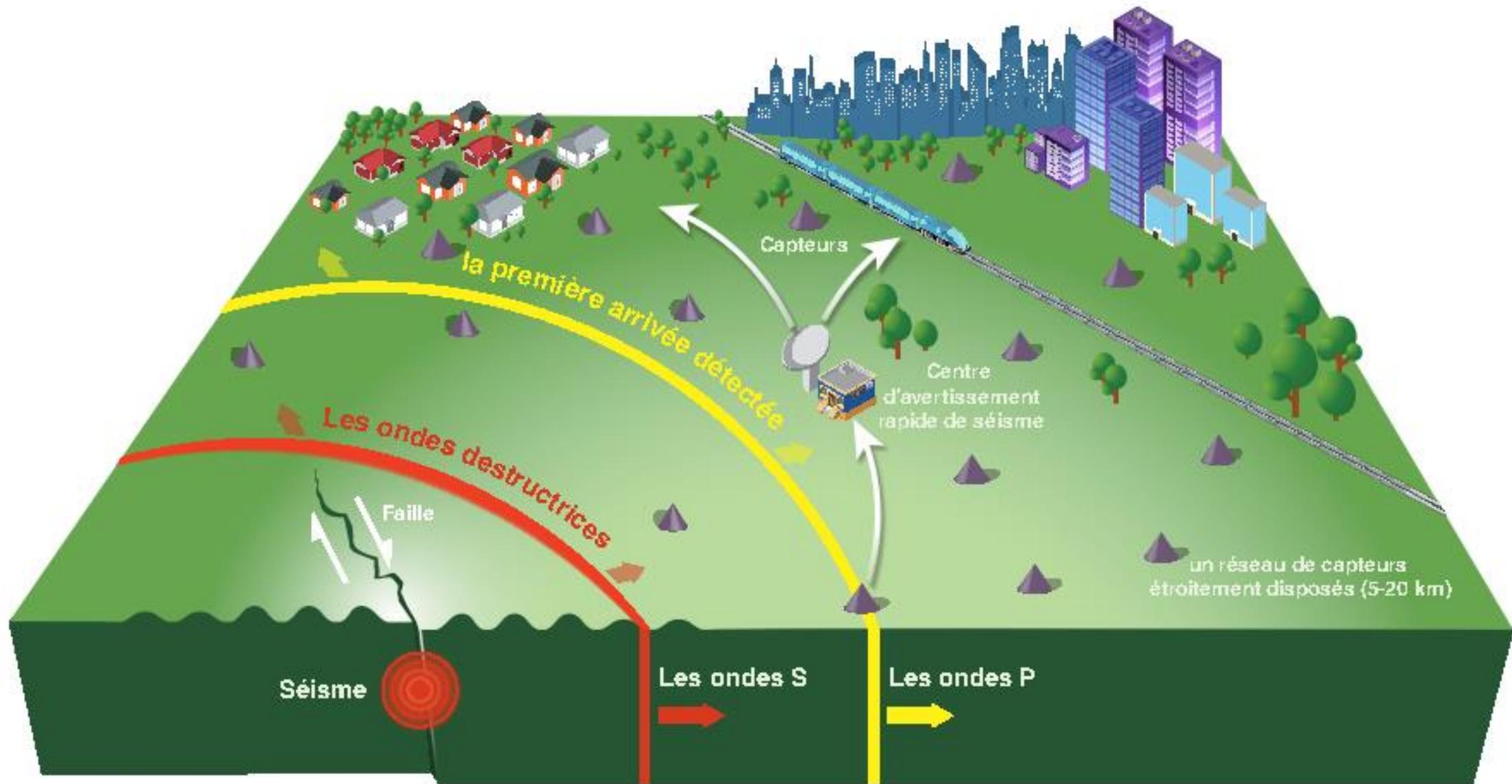
Ouest du Canada

Est du Canada

# Pourquoi une ASP?

- Les modèles d'aléas sismiques et le Code national du bâtiment du Canada sont bien établis, et les codes ont été bien appliqués.
- Néanmoins, des régions du Canada habitées par des populations importantes demeurent exposées à un risque élevé de tremblement de terre.
  - Étude réalisée par AIR Worldwide : 75 milliards de dollars dans l'Ouest et 60 milliards de dollars dans l'Est.
- Le système d'ASP peut fournir des avertissements des secondes à des dizaines de seconde avant l'arrivée de fortes secousses pour permettre la prise de mesures de protection et la réduction des répercussions d'un incident.
- Des projets d'ASP sont réalisés dans d'autres pays qui présentent des risques élevés de tremblement de terre : Japon, Taïwan, Chine, États-Unis...
- Le Canada possède actuellement un système de surveillance des séismes, mais il n'a pas de système d'alerte.





# Réponses automatiques

Centres de données : abritent les disques durs



Avertissement public : Baisse-toi, trouve-toi un abri et tiens bon



Suspend le trafic routier sur les ponts et dans les tunnels



Ouvre automatique les portes



Déroute les aéronefs



Ferme les vannes, éteint les sources de chauffage

Ralentit/arrête les trains

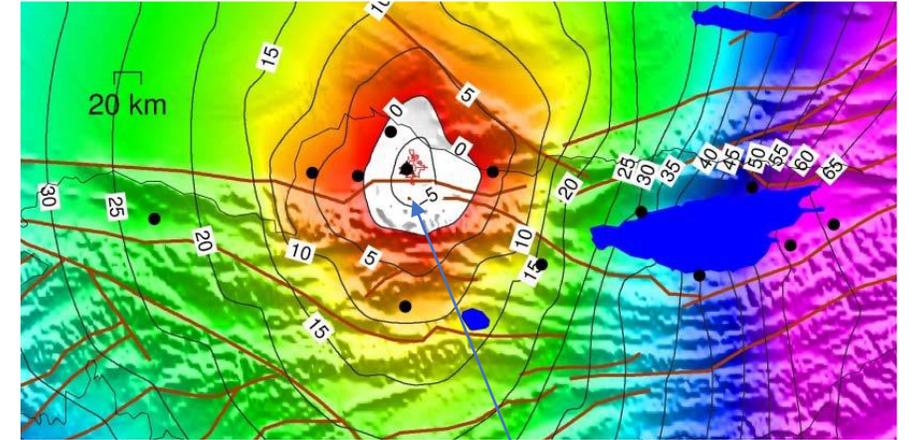


- Les systèmes raccordés au dispositif d'ASP peuvent automatiquement prendre des mesures de protection.
- Systèmes raccordés au dispositif d'ASP – occasion de tirer parti de services à valeur ajoutée.
- Évaluation des dommages, reprise des activités.



# Limites du système d'ASP

- Le système est incapable de prédire un tremblement de terre.
- Le délai d'avertissement est court.
- Zone sans alerte : très peu sinon aucun délai d'avertissement à proximité de l'épicentre.
- Les alertes sont déclenchées uniquement pour les séismes dévastateurs – perte de confiance des utilisateurs à l'égard du système.
- Bon nombre des régions à risque peuvent subir des dommages à la suite d'un tremblement de terre survenu aux États-Unis – interopérabilité transfrontalière essentielle.
- Le système en soi ne protège pas, ce sont les récipiendaires d'un message d'ASP qui doivent agir.



Zone sans alerte

S. Parolai et coll. *Frontiers in Earth Science*, 5, 74. (2017)



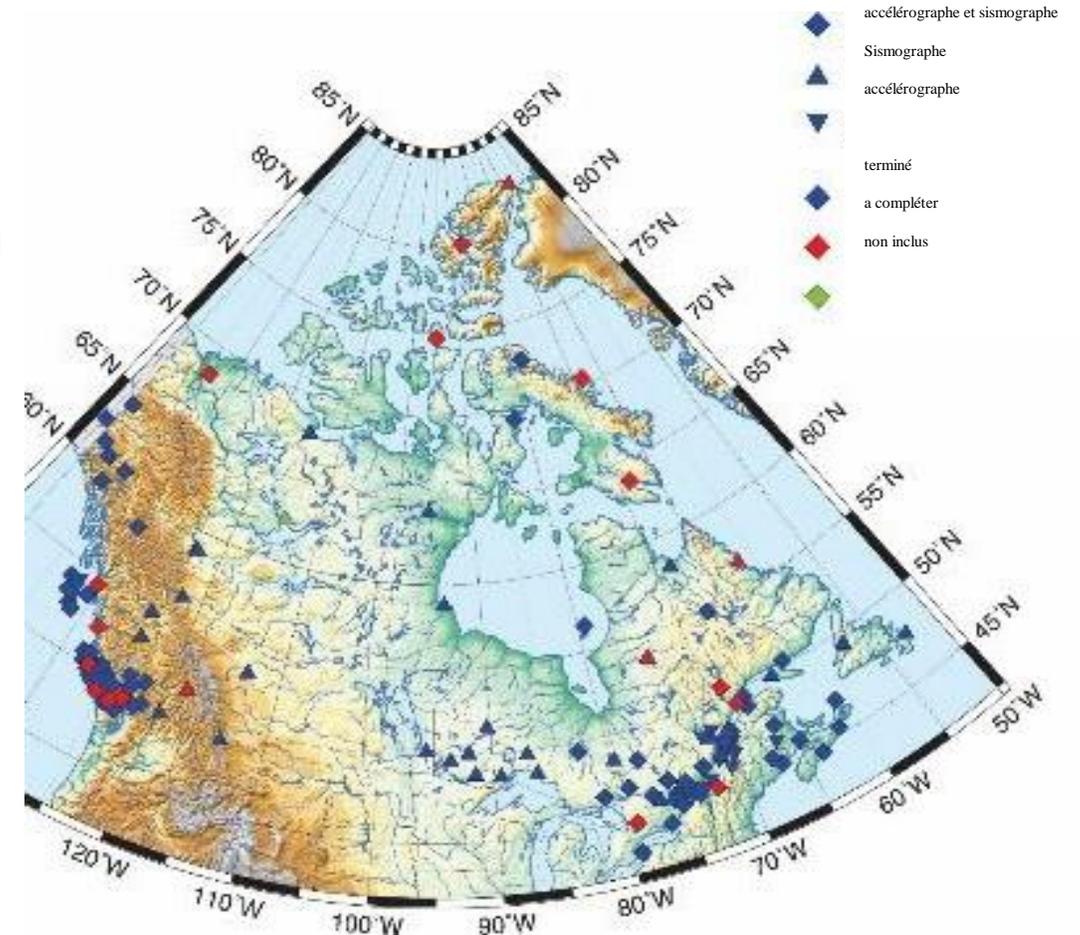
# Programme d'ASP du Canada

- Le budget fédéral 2019 a prévu un financement pour la priorité « Veiller à une meilleure préparation et intervention pour la gestion des catastrophes », notamment pour un dispositif d'ASP.
- La phase de mise en œuvre du programme d'ASP se déploie de 2019 à 2024.
- Elle sera suivie d'une phase de mise en fonction et de soutien.
- Principales composantes :
  - réseaux de capteurs;
  - traitement – interopérabilité transfrontalière et échange des données avec les États-Unis grâce à l'utilisation du logiciel d'ASP de la USGS (Commission géologique des États-Unis);
  - diffusion des alertes
    - dans la population;
    - auprès des utilisateurs techniques (exploitants d'infrastructures essentielles) pour déclencher les réponses automatiques.



# Capteurs – Surveillance sismique au Canada

- Ressources naturelles Canada (RNCCan) exploite le réseau national sismologique canadien (RNSC) par l'intermédiaire du Service d'information sur les dangers naturels au Canada (SIDNC).
- Réseau existant comptant plus de 150 stations.
- Le réseau n'est pas conçu pour l'alerte précoce.
  - Densité des stations insuffisante
  - Non optimisé pour assurer la latence
  - Qualité (et coût) des instruments supérieure à ce qui est requis pour l'ASP

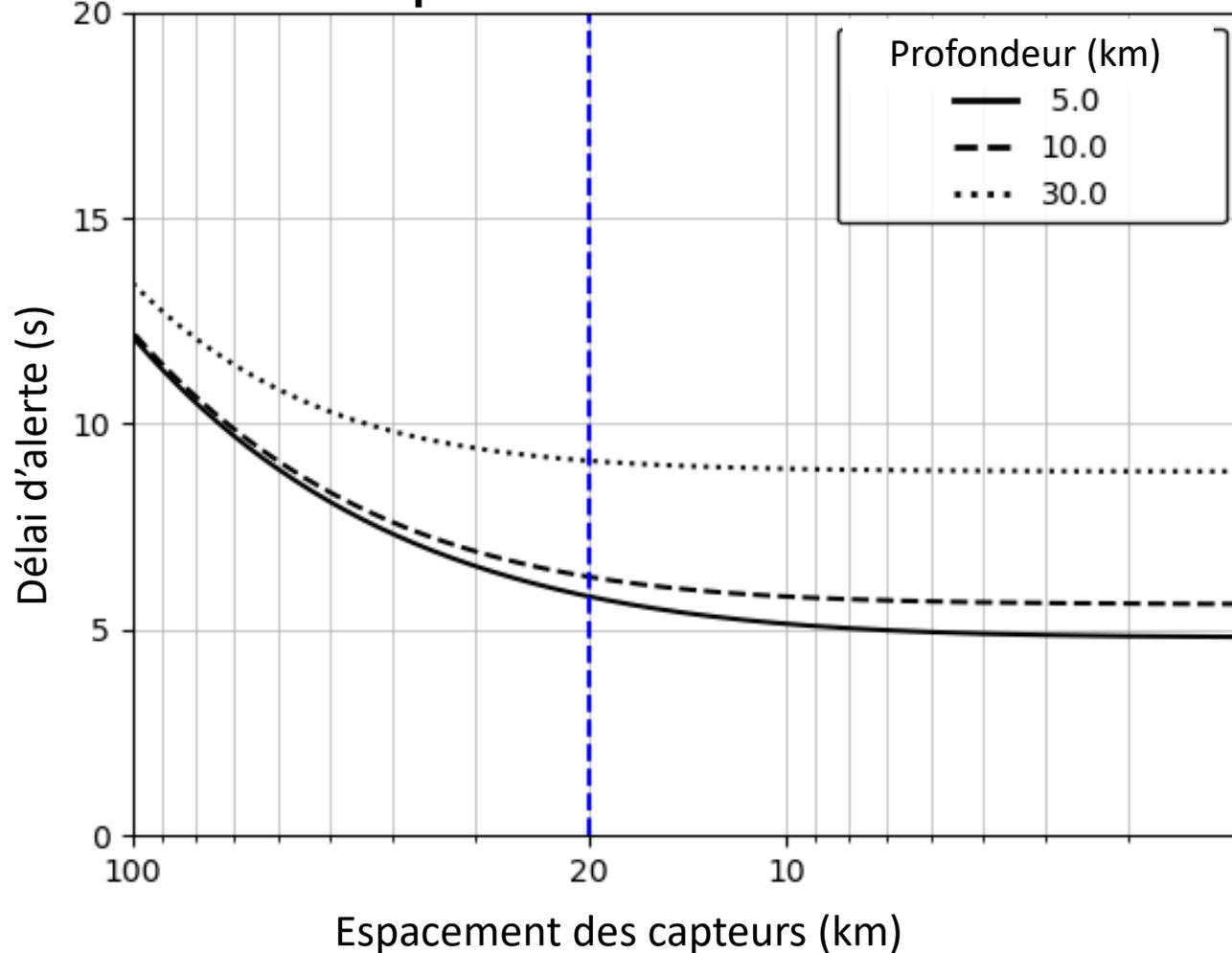


# Réseaux de capteurs : plan d'ensemble d'une station

- Nécessite un espace dans un sous-sol ou un local au niveau du sol.
- Superficie requise : environ un mètre carré (1 m<sup>2</sup>).
- Boîtiers des stations verrouillés afin d'éviter toute altération.
- Capteur et numériseur (une seule unité).
- Gestionnaire d'alimentation.
  - Prise standard 120 volts en courant alternatif (Vca), moins de 20 watts (W) et 30 \$ par année.
- Le système ne produit aucun effet nuisible, aucun bruit et dégage une chaleur minime.
- Visites d'entretien : moins d'une fois par année.



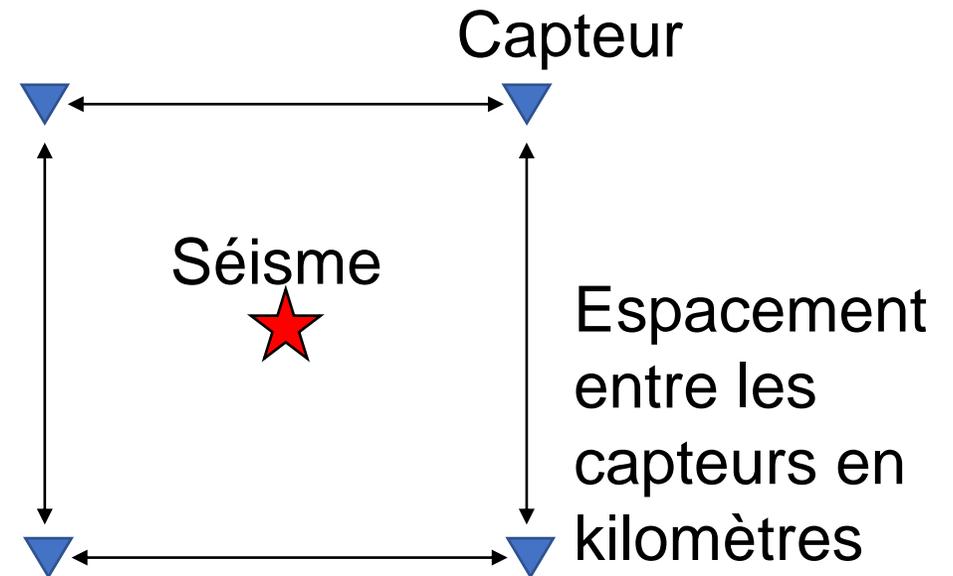
# Délai d'alerte selon l'espacement entre les capteurs



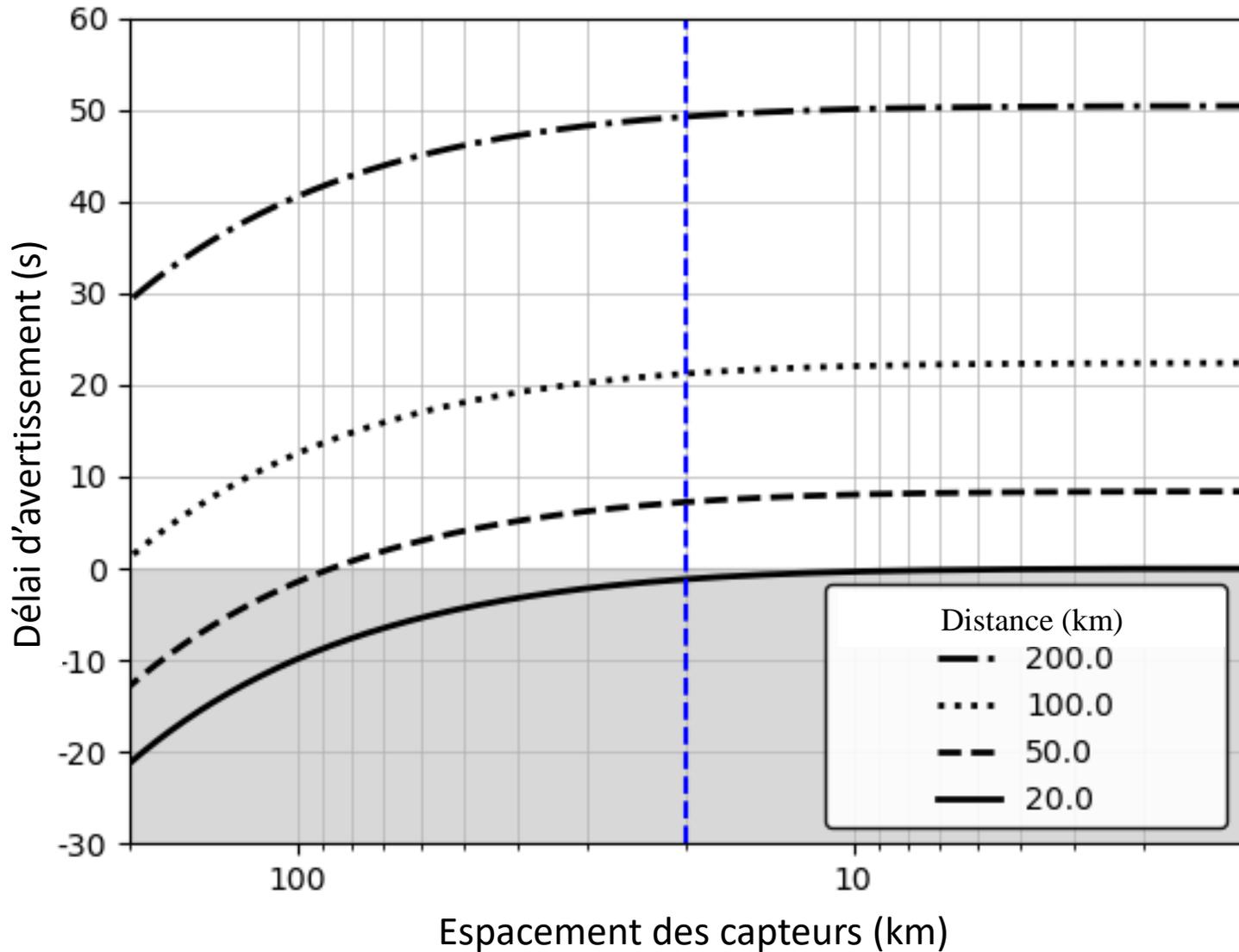
Le **délai d'alerte** désigne le temps qu'il faut pour émettre une alerte :

$$t_a = \max(t_{loc}, t_{mag})$$

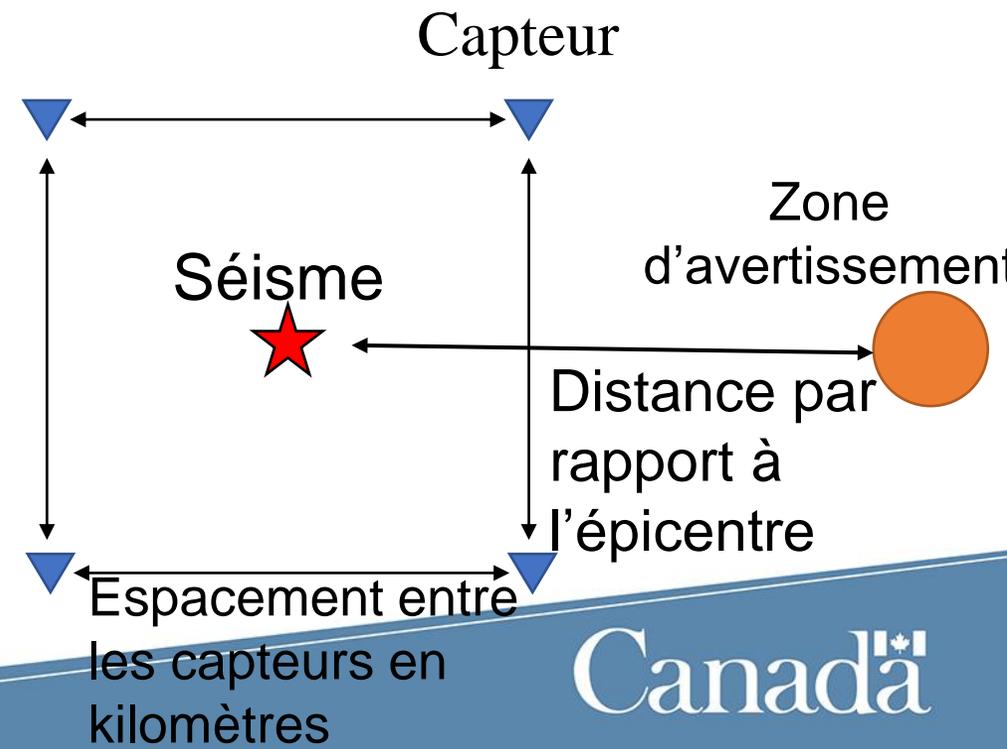
Modélisé au moyen d'une grille carrée de capteurs.



# Délai d'avertissement selon l'espacement entre les capteurs



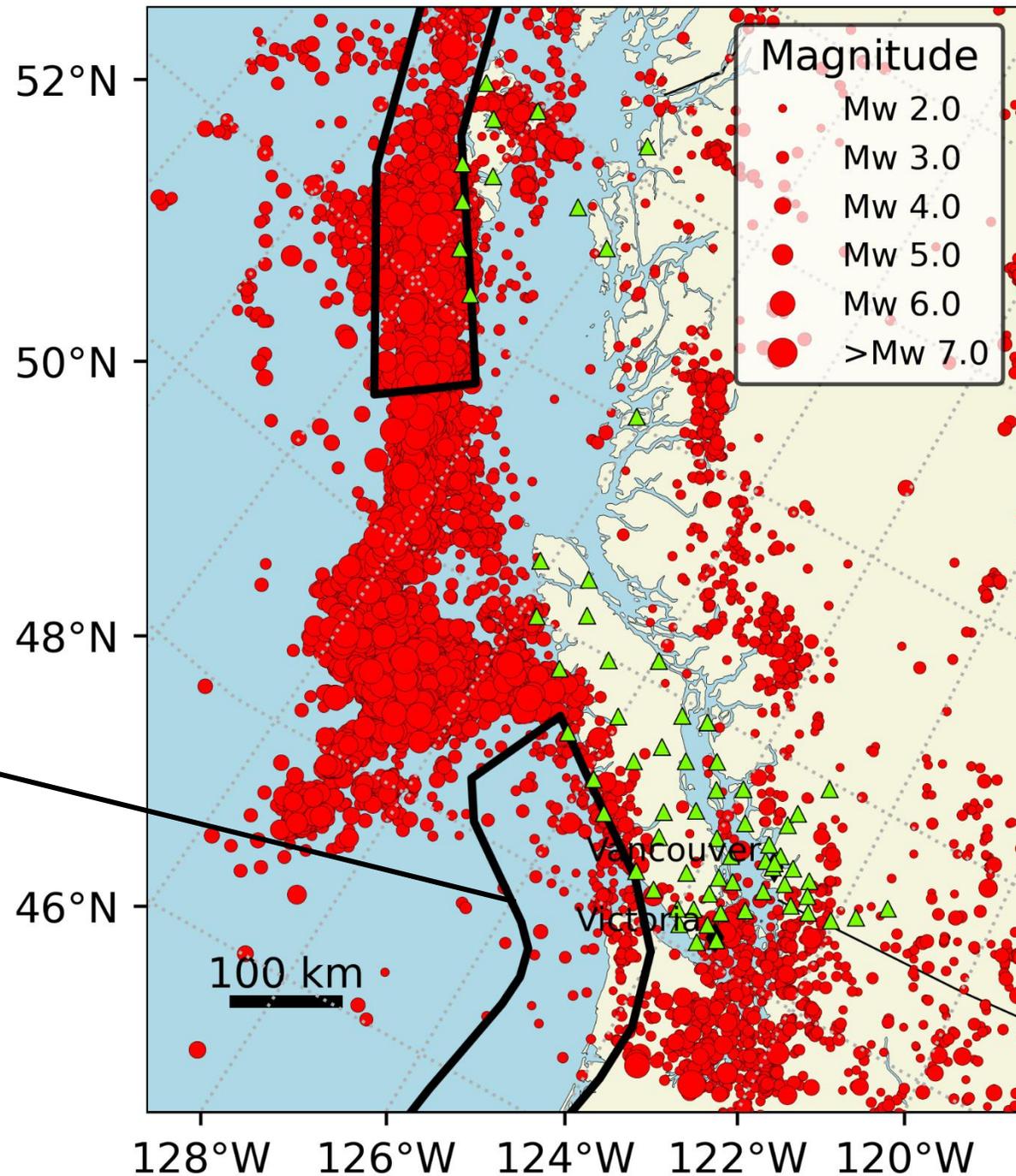
$$t_w = t_s - t_a$$



# Zones de sismicité dans l'ouest du Canada

Zone de subduction de Cascadia : source possible d'un séisme de magnitude 9

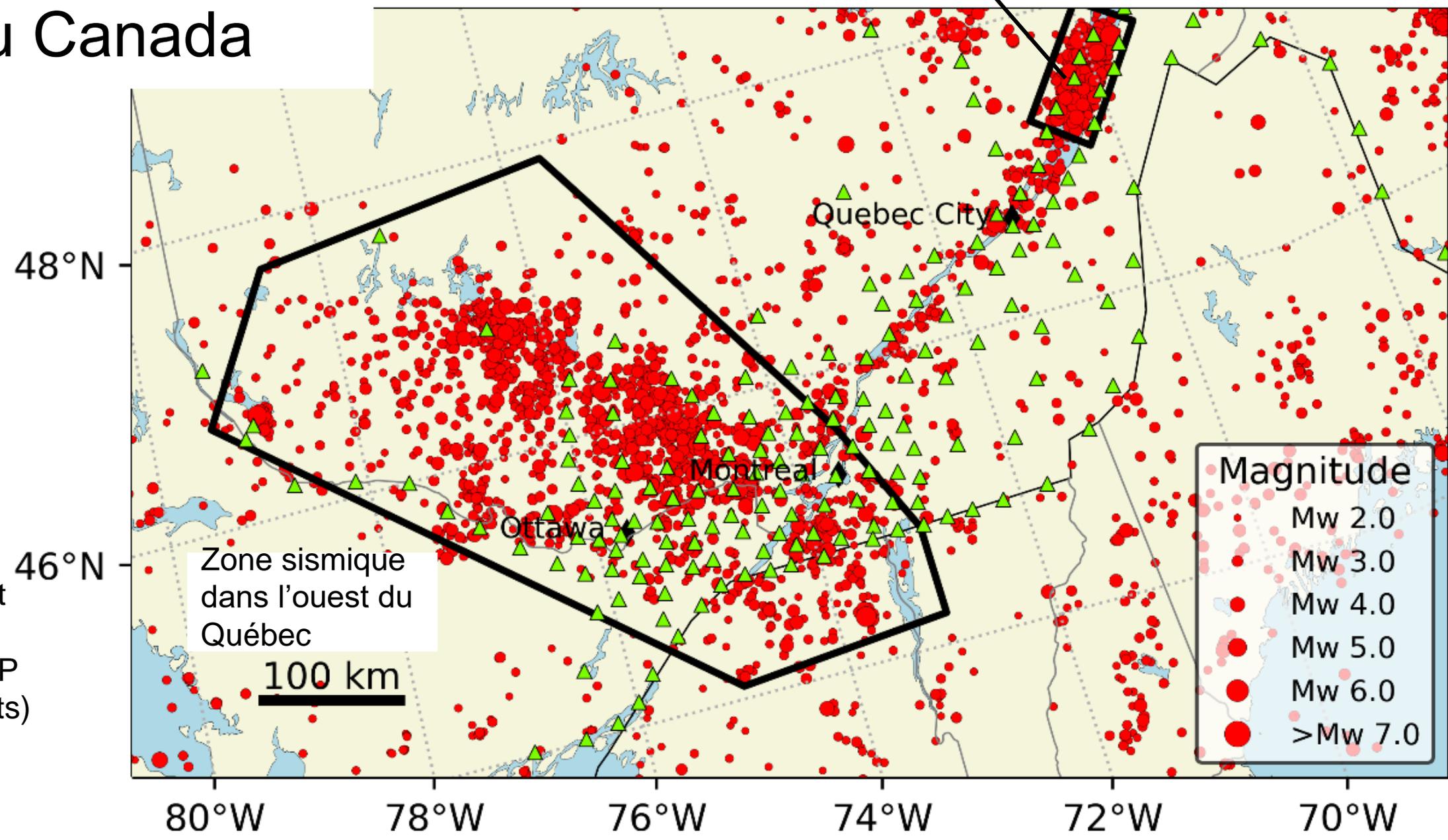
Emplacement nominal des stations d'ASP (triangles verts)



# Zones de sismicité dans l'est du Canada

Zone sismique de Charlevoix

Emplacement nominal des stations d'ASP (triangles verts)



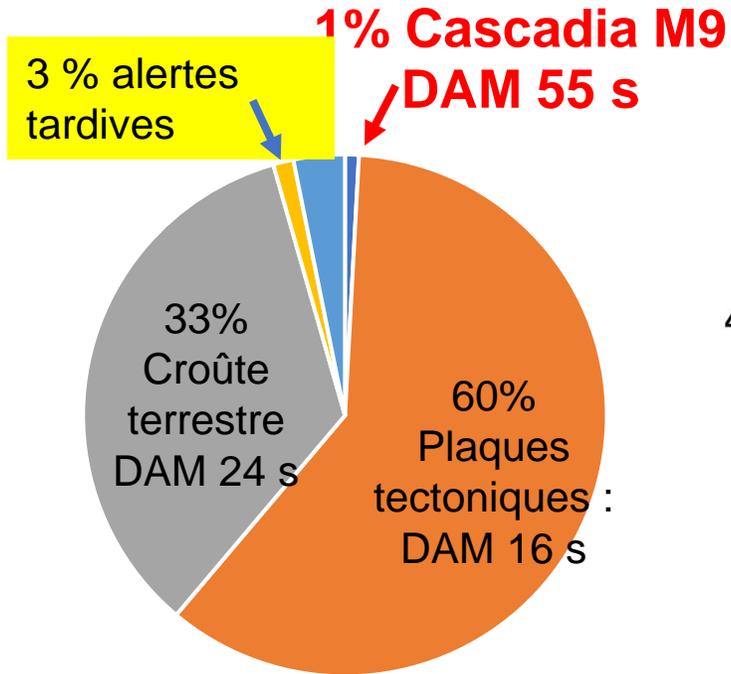
# Rendement du système de modélisation

- Les données historiques sont incomplètes.
- Nous employons un catalogue de mouvements sismiques synthétiques afin de représenter 10 000 ans de sismicité.
- Ce catalogue représente les événements sismiques possibles en plus de ceux qui sont survenus au cours des 100 dernières années.



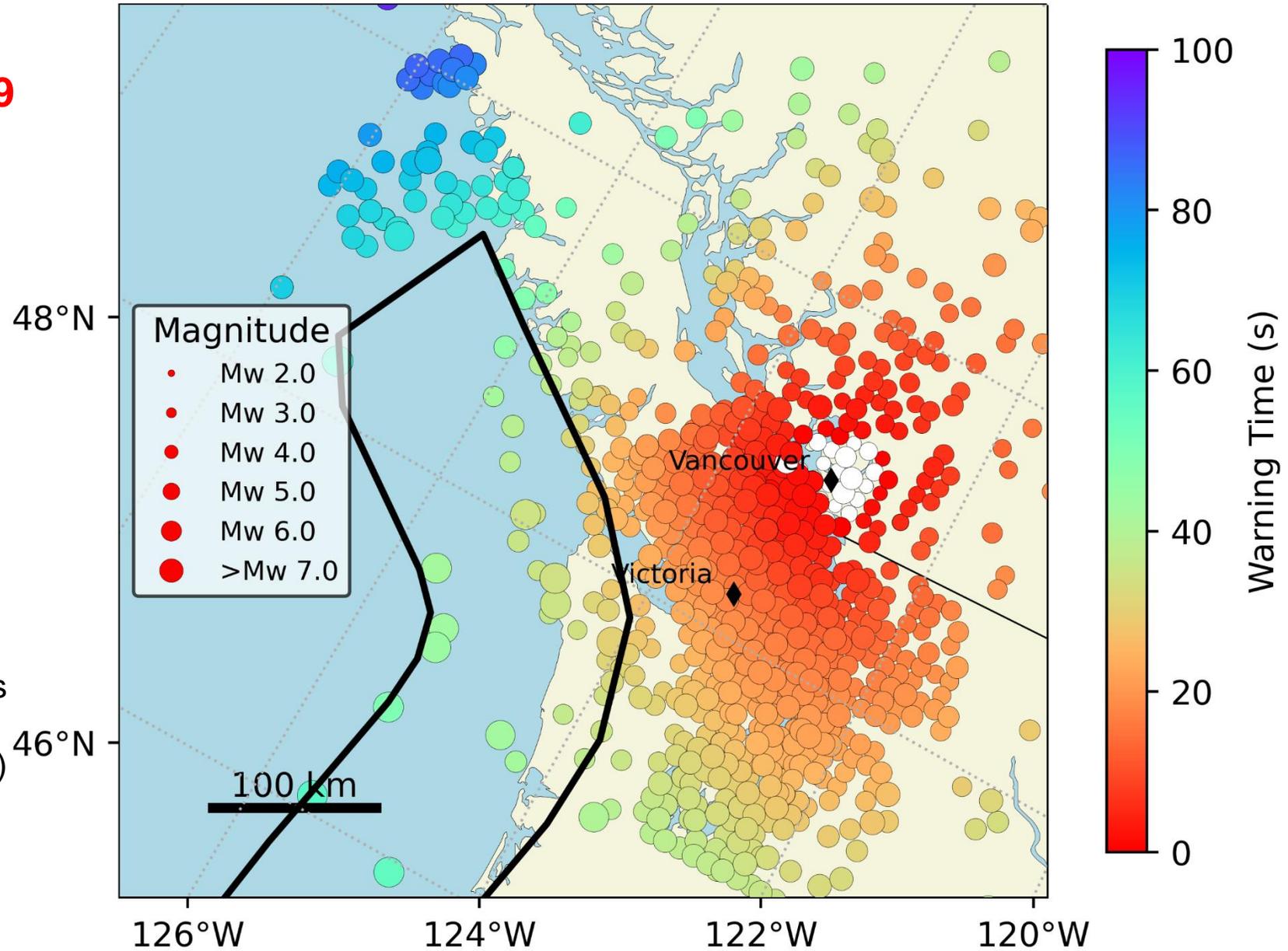
# Avertissements à Vancouver pour des tremblements de terre éventuels ressentis à grande échelle (MMI IV+ prévu)

## Avertissements prévus à Vancouver

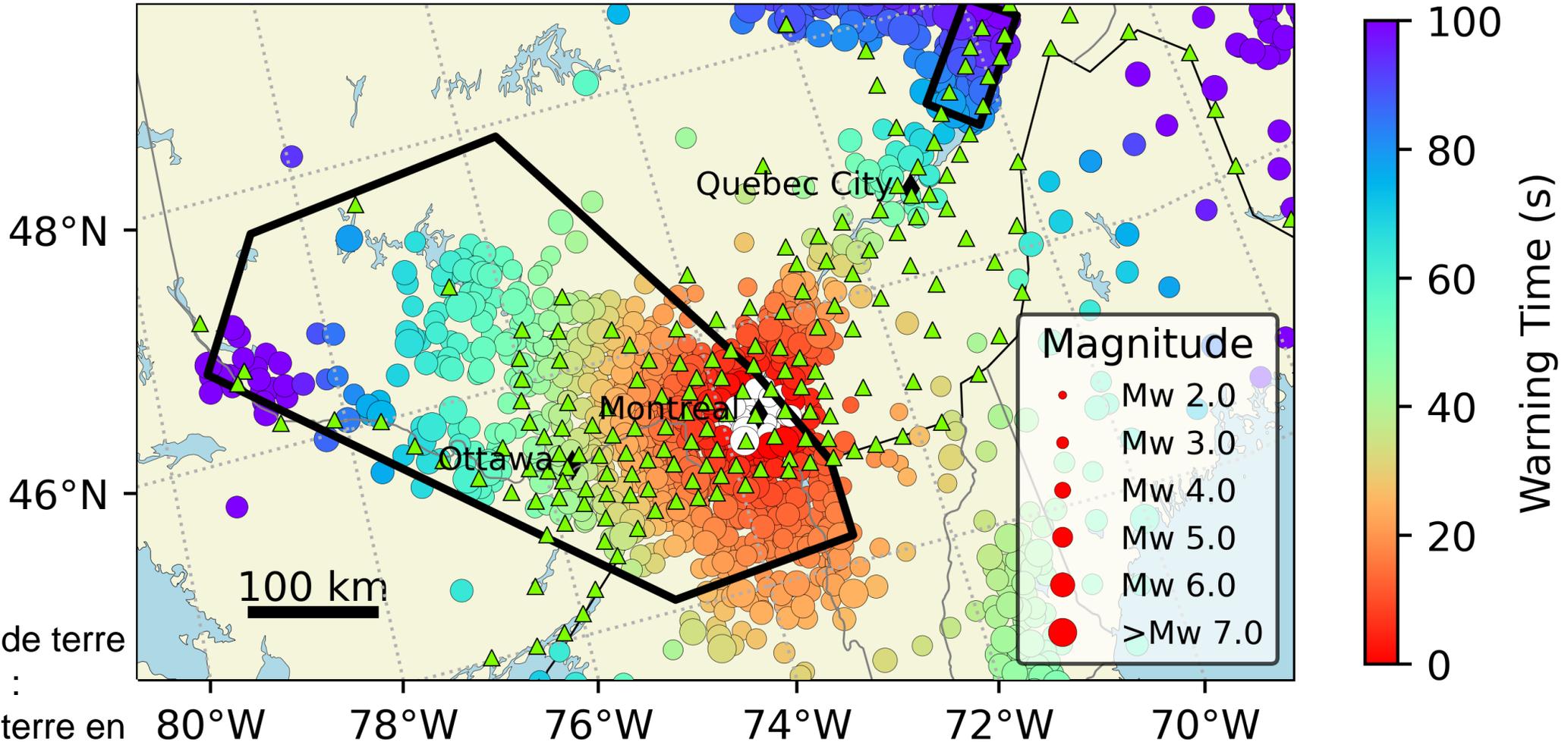


en 10 000 ans  
 environ 2 000 avertissements → 1 par 5 ans  
 63 manqués → 1 par 160 ans  
 (31 avertissements par événement manqué)

\*DAM = Délai d'avertissement moyen



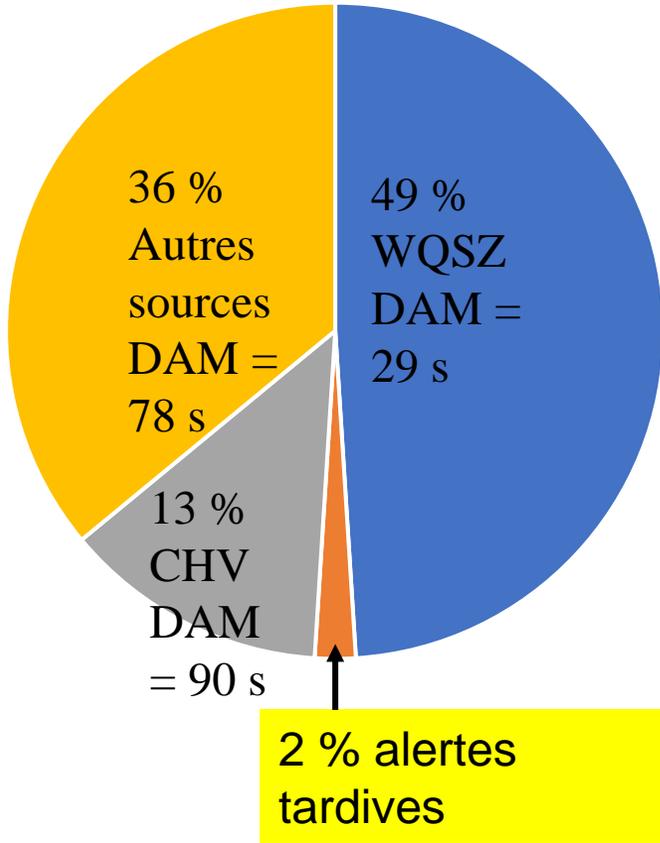
# Avertissements à Montréal pour des tremblements de terre éventuels ressentis à grande échelle (MMI IV+ prévu)



WQSZ :  
 1 083 trembleme  
 terre en 10 000 a  
 Délai d'avertisse  
 moyen :  
 29 secondes

Total : environ  
 2 200 tremblements de terre  
 Zone d'alerte tardive :  
 69 tremblements de terre en  
 10 000 ans

# Avertissements prévus à Montréal

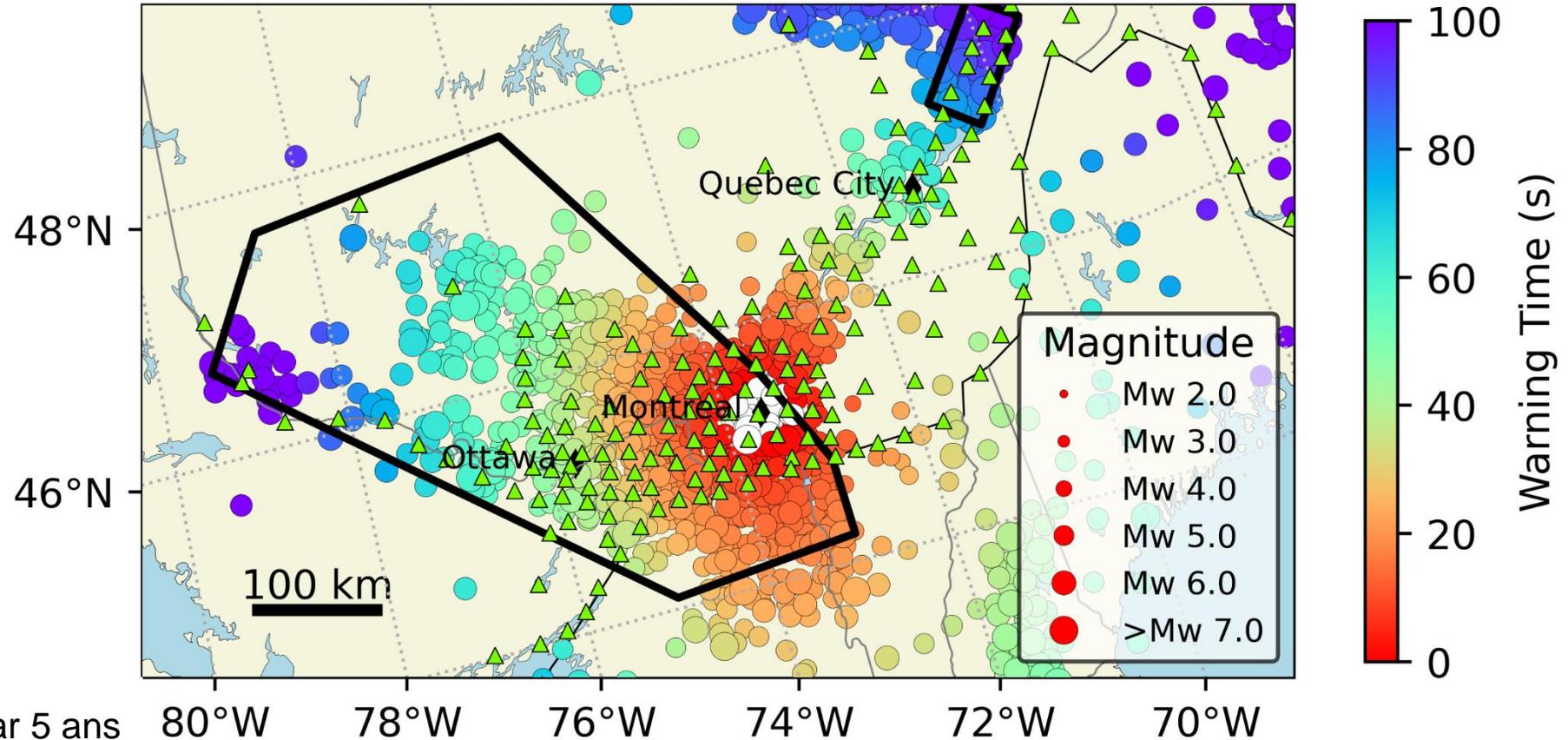


en 10 000 ans

environ 2 200 avertissements → 1 par 5 ans  
 49 manqués → 1 par 200 ans  
 (44 avertissements par événement manqué)

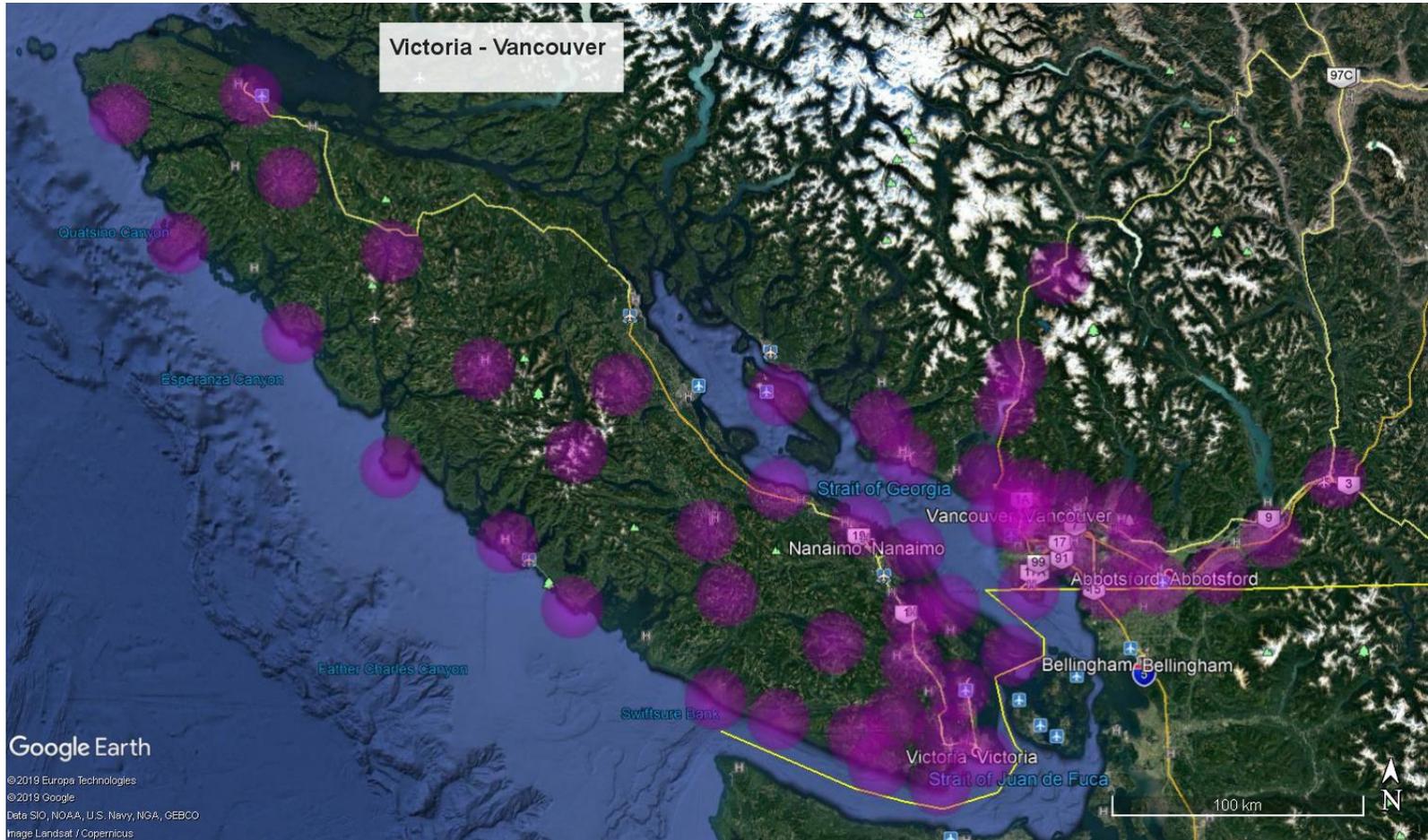
\*DAM = Délai d'avertissement moyen

# Avertissements à Vancouver pour des tremblements de terre éventuels ressentis à grande échelle (MMI IV+ prévu)



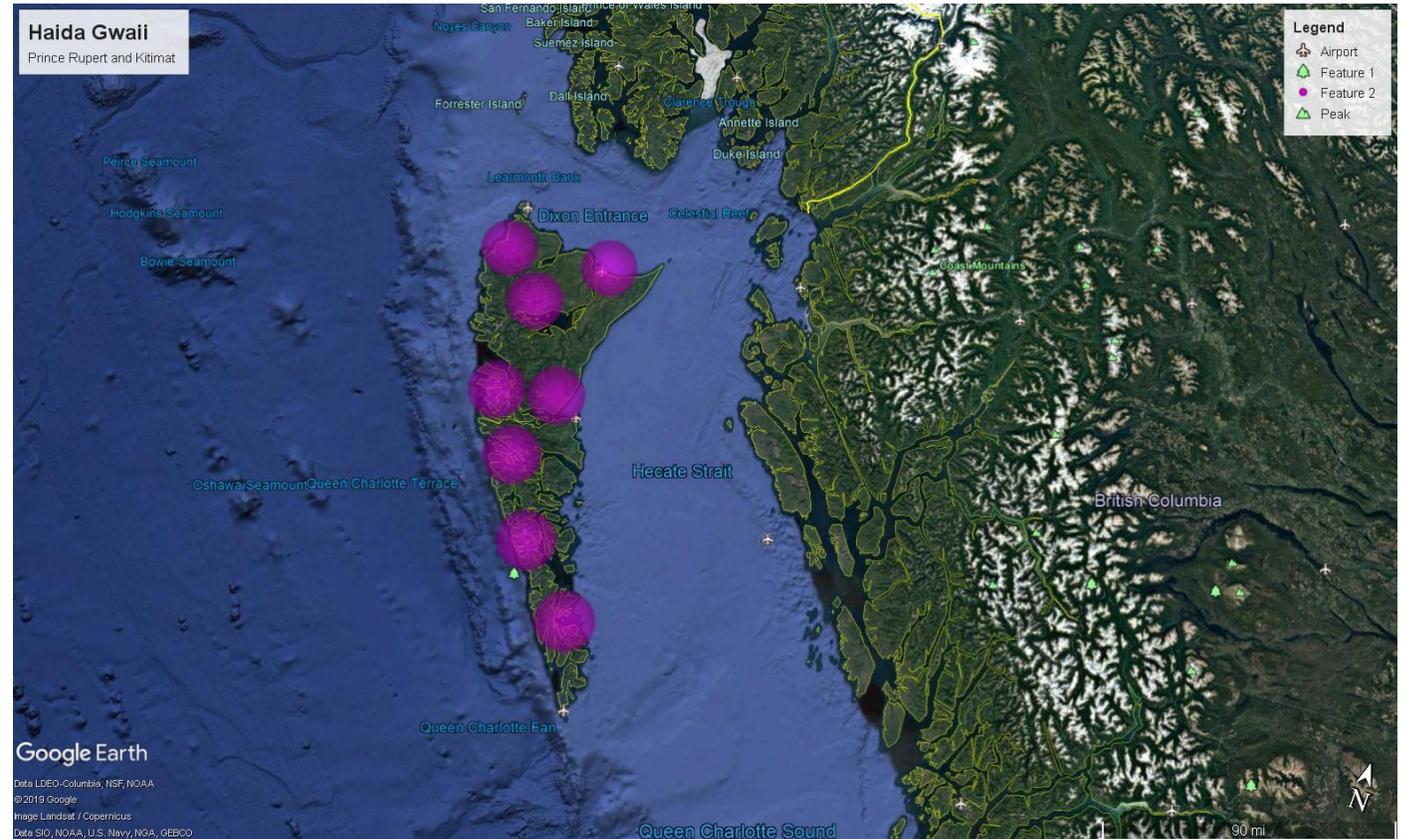
# Plan d'ensemble des capteurs : Victoria-Vancouver

- But : avertissements pour Vancouver, Victoria et les collectivités du sud de l'île
- Menace : tremblements de terre dans la zone de subduction de Cascadia, MAIS AUSSI dans les plaques profondes; tremblements de terre dans la croûte terrestre et dans l'État de Washington
- 35 capteurs dans le sud de l'île de Vancouver et dans les terres continentales adjacentes à un espacement d'environ 20 km
- + 15 capteurs dans le nord de l'île de Vancouver
- Stations additionnelles requises pour assurer la redondance
- Partage des données avec les réseaux de capteurs transfrontaliers



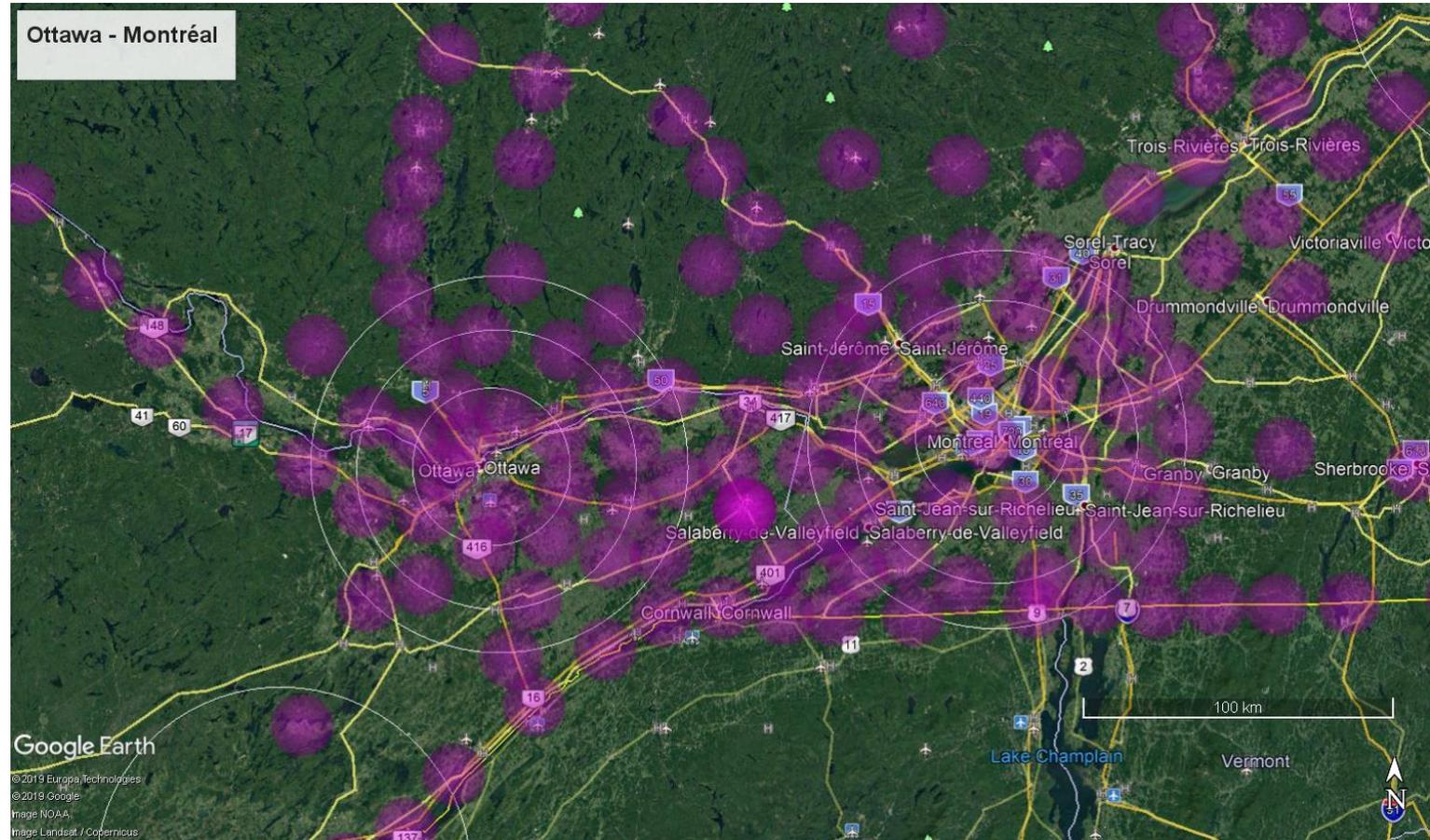
# Plan d'ensemble des capteurs : Haida Gwaii, Prince Rupert

- But : avertissements pour Prince Rupert et Kitimat
- Menace : tremblements de terre dans la région d'Haida Gwaii
- Huit capteurs sur les îles afin de détecter les tremblements de terre extracôtiers aux limites des plaques des îles de la Reine-Charlotte, tirant parti des installations existantes – ajouter des instruments d'ASP
- Peut donner un certain avertissement aux insulaires
- Sites très limités par la géographie physique



# Plan d'ensemble des capteurs : Ottawa - Montréal

- But : avertissements pour Ottawa et Montréal
- Menace : tremblements de terre dans la croûte terrestre, de l'ouest du Québec et des États-Unis
- Environ **100** capteurs
  - Espacement de près de 20 km
  - En plus de capteurs se prolongeant vers des sources plus éloignées
  - Limités par la géographie
  - Capteurs le long de la frontière américaine (présentement aucun capteur d'ASP dans l'est des États-Unis)
  - Stations additionnelles requises pour assurer la redondance



# Traitement

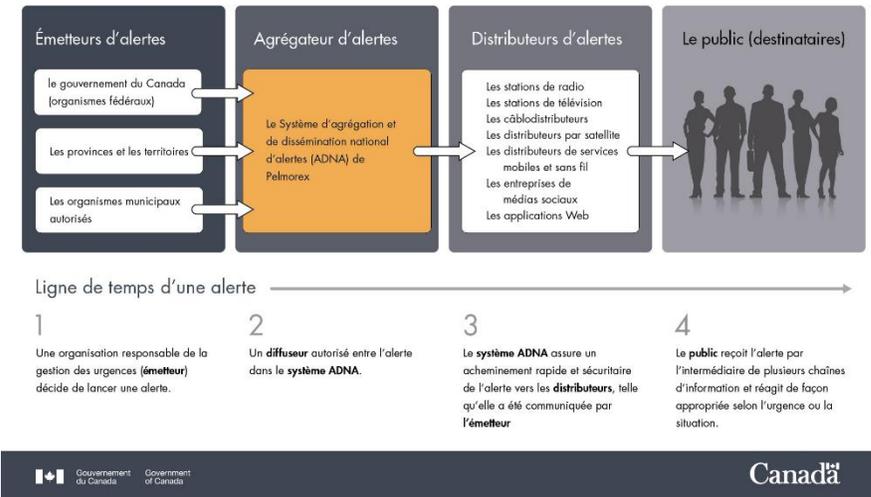
- Logiciel d'ASP de la USGS – investissement de 50 M\$
- Instances dans au moins deux centres de données redondantes, probablement un à l'est et un à l'ouest pour assurer la latence
  - Examen des options en cours pour une solution en nuage
  - Sécurité par opposition à la latence
- Connecté à des instances américaines, mais seules les instances canadiennes pourraient déclencher les systèmes canadiens
- Cybersécurité et intégrité des chaînes d'approvisionnement



# Diffusion des alertes à la population

- Système national d'alertes au public (SNAP) – déjà employé pour les conditions météorologiques extrêmes.
- Diffusion par la radio, la télévision, le Web, les réseaux sociaux, la téléphonie cellulaire
- Les lieux d'ASP nécessitent beaucoup moins de latence par rapport à l'usage courant.
- Défi – seuil et fréquence des alertes
  - Un seuil trop bas irrite la population.
  - Un seuil trop élevé – est-il efficace?
  - Fréquence – comment former la population?

Système national d'alertes au public (SNAP)

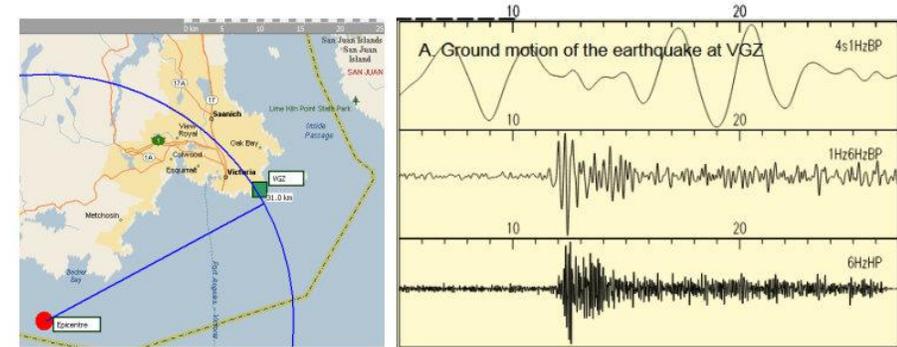


# Diffusion des alertes aux exploitants d'infrastructures essentielles

- Aux exploitants d'infrastructures essentielles
  - Alertes personnalisées en fonction des utilisateurs particuliers
  - Potentiel de services à valeur ajoutée offerts par une tierce partie
  - Données d'alerte émises en format .xml pour des mesures d'atténuation automatiques entre machines
- Aux centres d'opérations fédéraux, provinciaux et territoriaux (FPT)

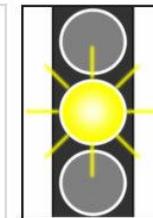
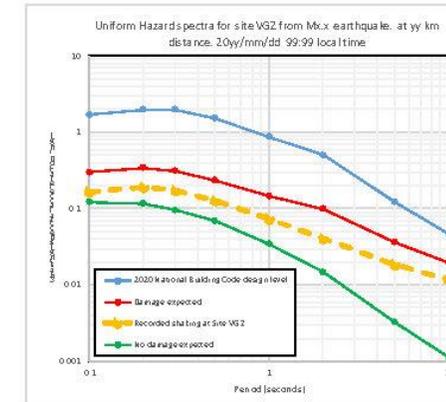
## Shaking Alert Report for Station VGZ

Earthquake with an estimated magnitude of x.x  
 Located 31 km WSW of station VGZ  
 Epicentre 48.26N 123.66W, 31 km WSW of VGZ  
 Origin Time 20yy/mm/dd 88:88 local time (20yy/mm/dd 77:77 UT)



Uniform Hazard Spectra - shaking levels recorded at VGZ from earthquake on 20yy/mm/dd at 88:88 local time

Sa(0.1)	Sa(0.2)	Sa(0.3)	Sa(0.5)	Sa(1.0)	Sa(2.0)	Sa(5.0)	Sa(10.0)	PGA
0.16	0.19	0.17	0.13	0.07	0.04	0.02	0.01	0.09



Client should exercise caution, perform necessary checks, etc.

# Échéancier du programme

Année	Activités
2019-2020	Développement des spécifications, approvisionnement, conception du réseau, développement du logiciel, mobilisation des intervenants.
2020-2021	Livraison du matériel, installation du réseau principal, demande de propositions (DDP) pour trouver des partenaires du réseau, installation du réseau complémentaire, développement du logiciel, développement du réseau de diffusion des alertes.
2021-2022	Livraison du matériel, installation du réseau principal et complémentaire, développement du logiciel, développement du réseau de diffusion des alertes, mise à l'essai.
2022-2023	Installation du réseau principal et complémentaire, développement du logiciel, développement du réseau de diffusion des alertes, mise à l'essai.
2023-2024	Installation du réseau principal et complémentaire, développement du logiciel, développement du réseau de diffusion des alertes, mise à l'essai, émission d'alertes provisoires.
Après 2024	Fonctionnement provisoire, prêt à donner l'alerte.



# Où en sommes-nous maintenant?

- **Projet**
  - Équipe constituée
  - Conseil de projet pour le volet de la C.-B. avec une participation provinciale
  - **Conseil consultatif des sciences**

## ● Capteurs

- Conception du réseau et des instruments – terminée
- Demande de renseignements – terminée
- DDP affichée

## ● Traitement

- Logiciel d'ASP de la USGS exploité par les serveurs de RNCan
- **Consultations sur la configuration et la cybersécurité des centres de données**

## • Alertes

- Exposés aux CSRSC (cadres supérieurs responsables de la sécurité civile)
- Ateliers pour les autres ministères du gouvernement
- Essai initial avec Pelmorex
- **Discussions avec les compagnies de télécommunications**
- **Engagement en continu avec les exploitants d'infrastructures essentielles**



# Possibilités!!!

- D'élargir la couverture du réseau de capteurs
- D'améliorer les techniques d'ASP
  - Doivent être interexploitables
- Connexion d'autres capteurs à l'infrastructure d'ASP



# Résumé

- L'alerte sismique précoce affiche le pouvoir de mieux atténuer l'incidence des tremblements de terre majeurs au Canada.
- En complément au réseau national de surveillance en place.
- Programme d'une durée de cinq ans de RNCan en vue de construire ce système qui devrait être fonctionnel à partir de 2024 ou peu après.
- Intégration transfrontalière étroite avec les systèmes en fonction aux États-Unis.



# Canada

2020



Natural Resources  
Canada

Ressources naturelles  
Canada

Canada