Webinaire technique

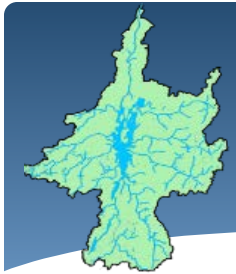
Développement d'indicateurs pour les dommages aux bâtiments et leur utilisation dans les analyses économiques

Bernard Doyon, ing., Ph.D., Garde côtière canadienne
Pr. Pier-André Bouchard St-Amant, Ph.D. (econ), École nationale d'administration publique

24 novembre 2020

Présentation du contenu

- Contexte
- Élaboration des fonctions d’endommagement
  - Acquisition des données
  - Paramétrisation des fonctions
  - Validation et résultats du modèle

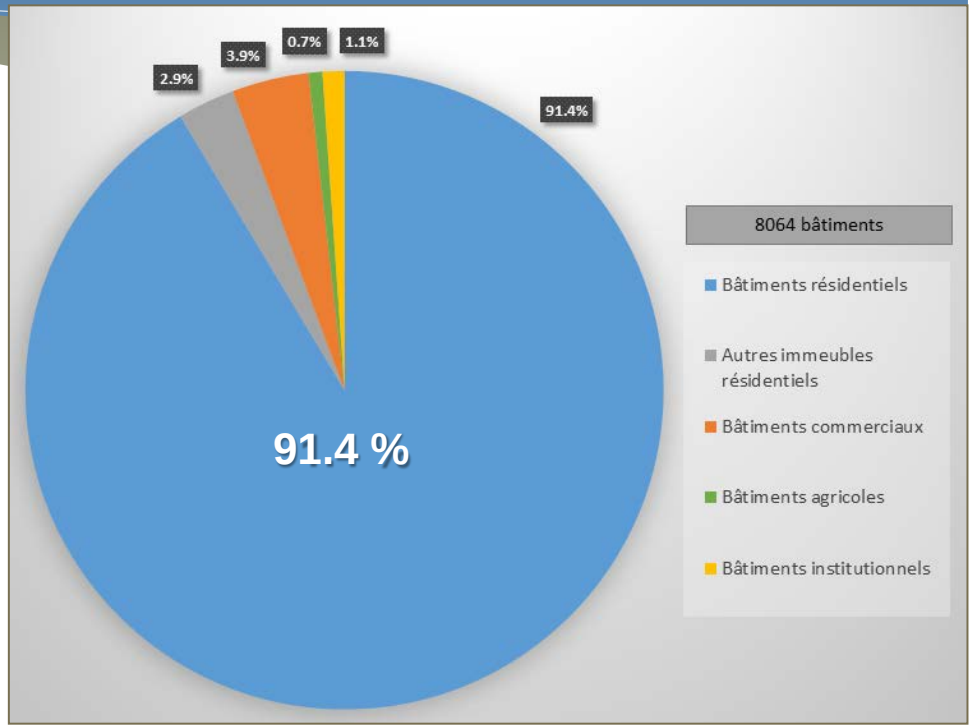


Contexte

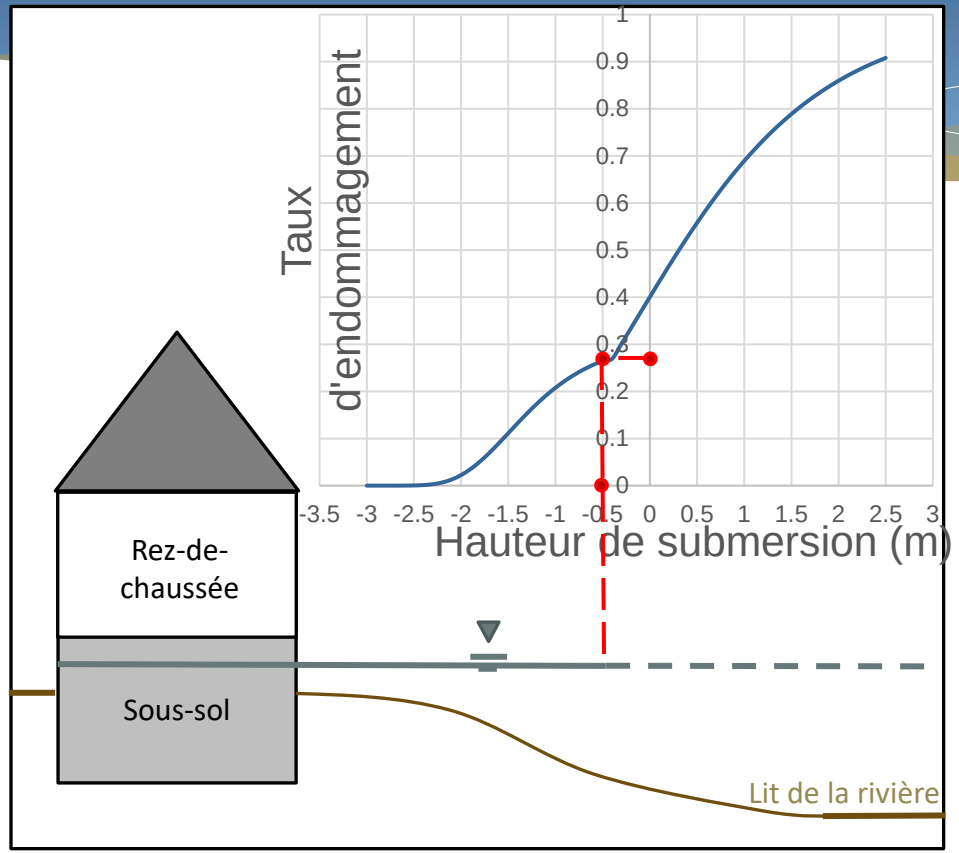
Mesures d'atténuation

Faisabilité ?

Indicateurs



Fonctions d'endommagement



Acquisition des données

Construction de courbes d'endommagement

- Caractéristiques des maisons:
  - Élévation du 1er plancher et de la plus basse ouverture
  - Nombre d'étages
  - Présence ou non d'un sous-sol
  - Sous-sol fini ou non
  - Empreinte au sol
  - Évaluation municipale
- Niveaux d'eau maximaux atteints
- Valeur des dommages

Acquisition des données

Construction de courbes d'endommagement

- Caractéristiques des maisons:
  - Élévation du 1er plancher et de la plus basse ouverture
  - Nombre d'étages
  - Présence ou non d'un sous-sol
  - Sous-sol fini ou non
  - Empreinte au sol
  - Évaluation municipale
- Niveaux d'eau maximaux atteints
- Valeur des dommages

Ministère de la Sécurité publique

Acquisition des données

Construction de courbes d'endommagement

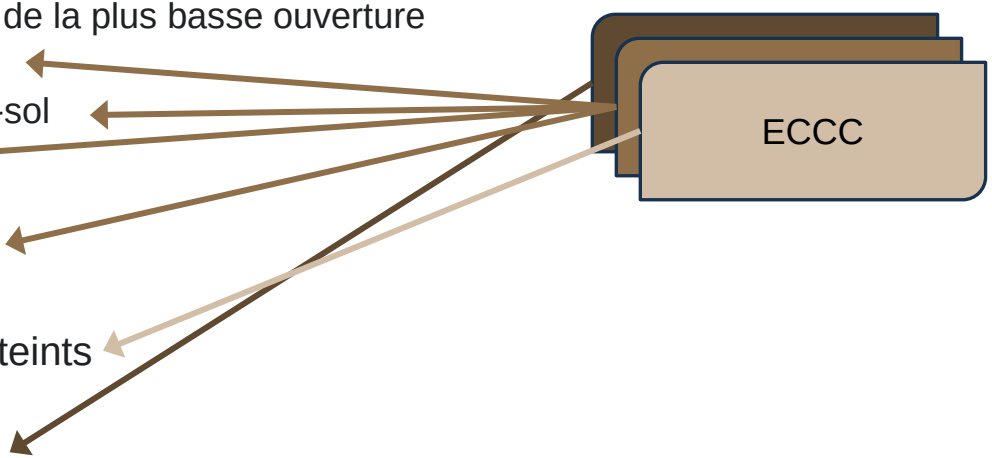
- Caractéristiques des maisons:
  - Élévation du 1er plancher et de la plus basse ouverture
  - Nombre d'étages
  - Présence ou non d'un sous-sol
  - Sous-sol fini ou non
  - Empreinte au sol
  - Évaluation municipale
- Niveaux d'eau maximaux atteints
- Valeur des dommages

MERN, MRC et municipalités

Acquisition des données

Construction de courbes d'endommagement

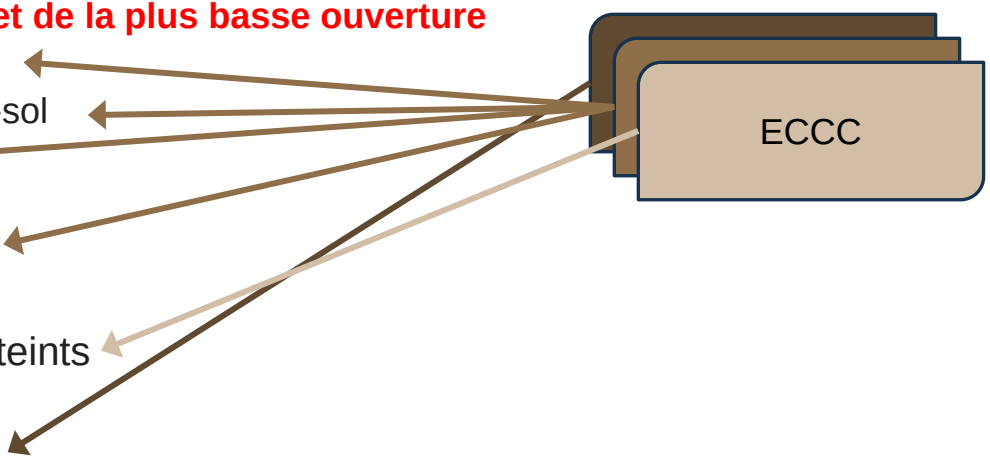
- Caractéristiques des maisons:
  - Élévation du 1er plancher et de la plus basse ouverture
  - Nombre d'étages
  - Présence ou non d'un sous-sol
  - Sous-sol fini ou non
  - Empreinte au sol
  - Évaluation municipale
- Niveaux d'eau maximaux atteints
- Valeur des dommages

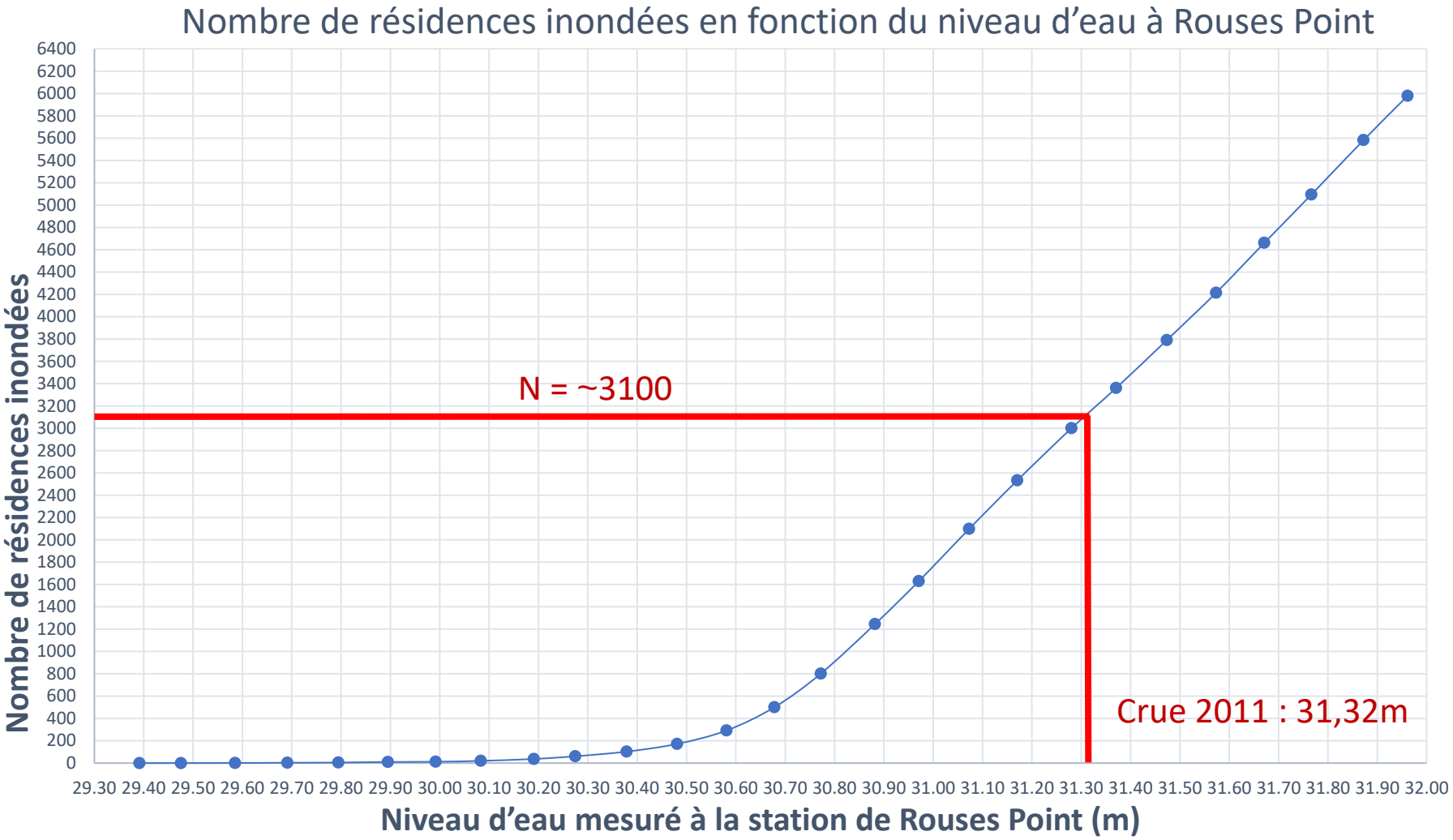


Acquisition des données

Construction de courbes d'endommagement

- Caractéristiques des maisons:
  - **Élévation du 1er plancher et de la plus basse ouverture**
  - Nombre d'étages
  - Présence ou non d'un sous-sol
  - Sous-sol fini ou non
  - **Empreinte au sol**
  - Évaluation municipale
- Niveaux d'eau maximaux atteints
- Valeur des dommages



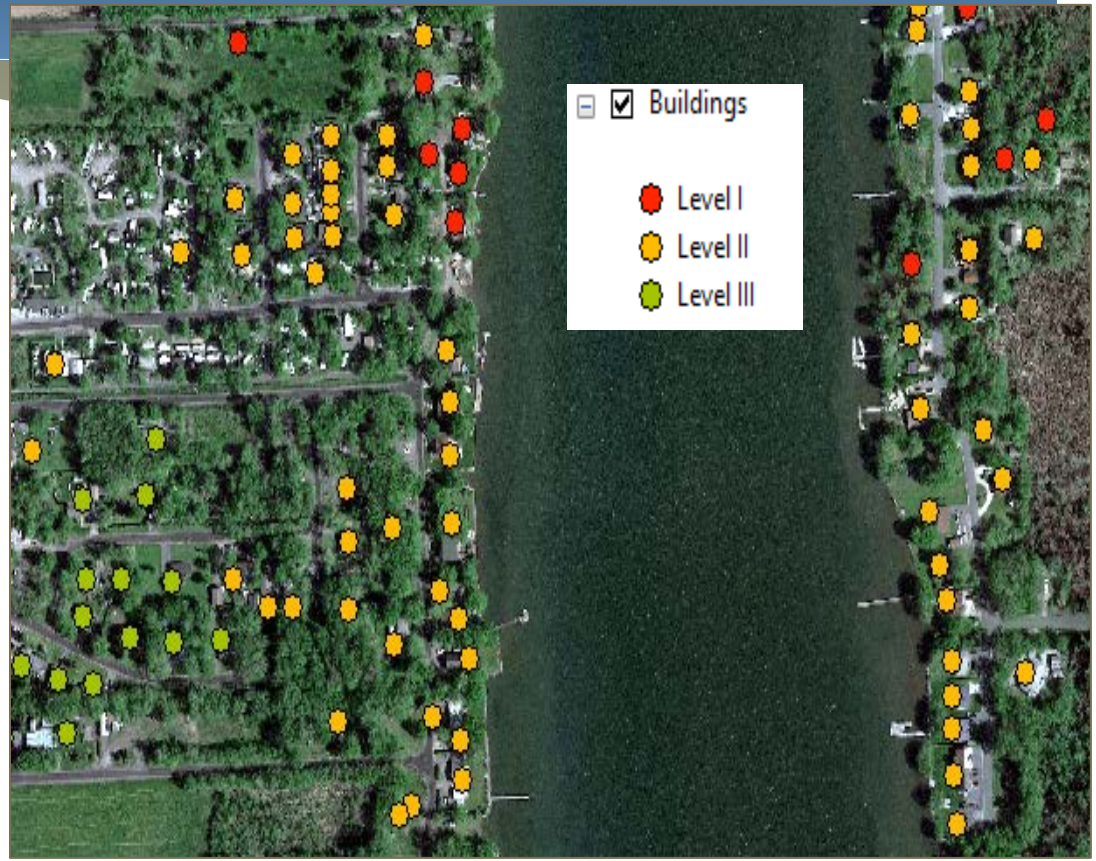

Nombre de résidences inondées en fonction du niveau d'eau à Rouses Point
Nombre de résidences inondées
Niveau d'eau mesuré à la station de Rouses Point (m)
N = ~3100
Crue 2011 : 31,32m
0
200
400
600
800
1000
1200
1400
1600
1800
2000
2200
2400
2600
2800
3000
3200
3400
3600
3800
4000
4200
4400
4600
4800
5000
5200
5400
5600
5800
6000
6200
6400
29.30 29.40 29.50 29.60 29.70 29.80 29.90 30.00 30.10 30.20 30.30 30.40 30.50 30.60 30.70 30.80 30.90 31.00 31.10 31.20 31.30 31.40 31.50 31.60 31.70 31.80 31.90 32.00

Acquisition des données

NIVEAU I : relevé d'arpentage traditionnel

NIVEAU II : télémètre laser

NIVEAU III : empreintes au sol et LiDAR



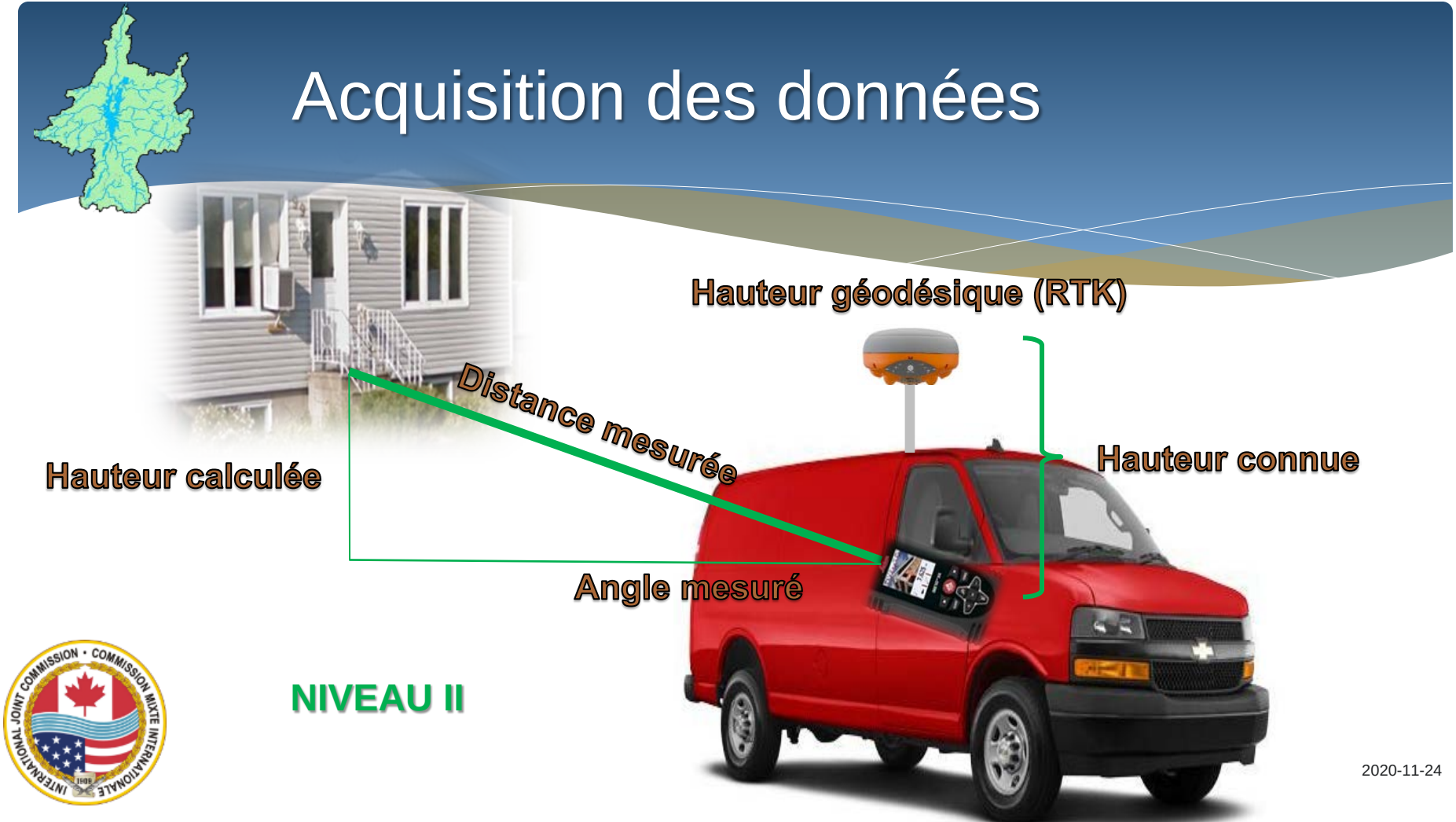
Acquisition des données

NIVEAU I

Ordre des
ARPENTEURS-GÉOMÈTRES
du Québec

- **Grande précision (< 8cm)**
- **500 maisons**
- **Coût : 50 $ / maison**

Acquisition des données

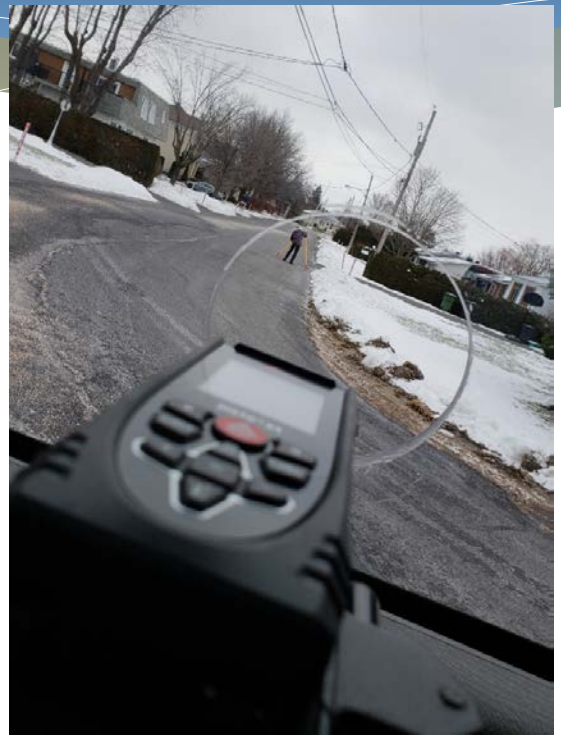


NIVEAU II

Acquisition des données

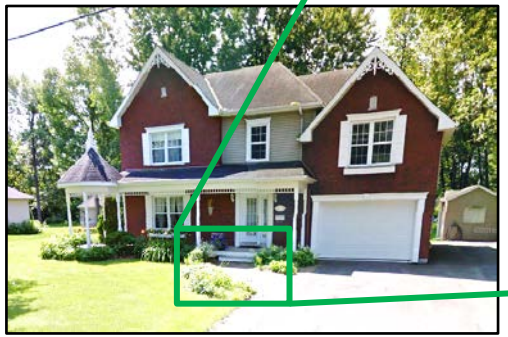
NIVEAU II

- **Génie hydraulique (GCC)**
- **Bonne précision (≈ 5cm à 30m)**
- **1100 maisons**
- **Coût : 11 $ / maison**



Acquisition des données

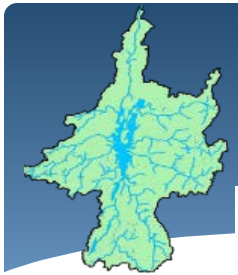
NIVEAU II



Acquisition des données

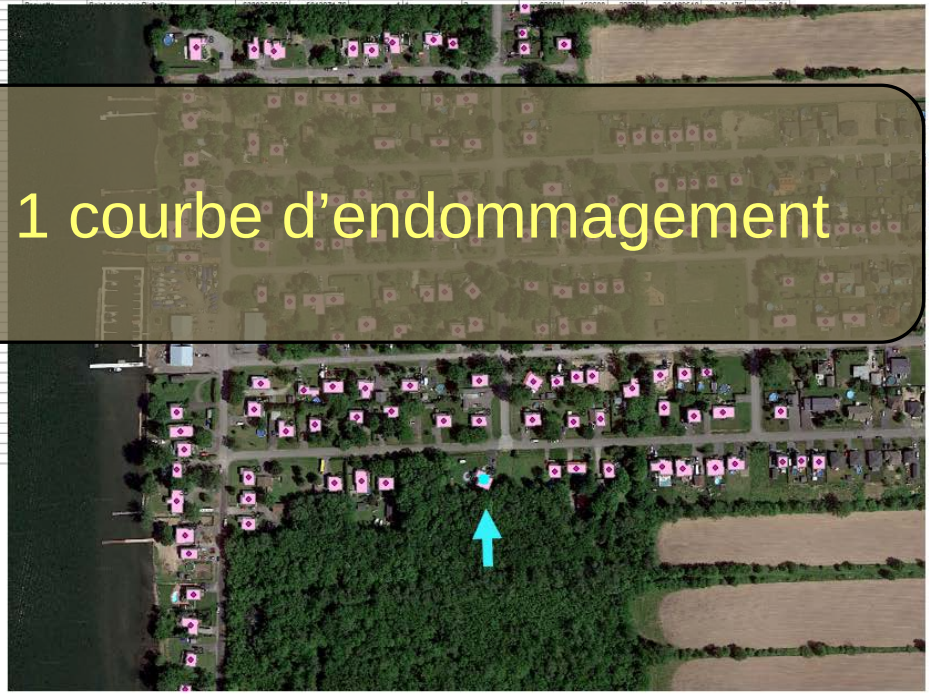
NIVEAU III

- **Génie hydraulique (GCC)**
- **Précision répondant au besoin**
- **~5400 maisons**
- **Coût : 2.25 $ / maison**



Géodatabase

K INDEX	K IDP ROLE	K IDA MB	K ID POL	LOC NO CIV	LOC APT	LOC ROUTE	LOC MUN	LOC X	LOC Y	B NB ETAG	B SOUS SOL	B CARAC SS	B V TER	B V BAT	B V IM	H MNT MIN	H RDC	H BO
2334	5608325145082550000000		4307	66		Paquette	Saint-Jean-sur-Richelieu	638452,8354	5014029,7049	1			86100	250600	336700	31,237672	32,079969	31,237672
3616	5608325134944760000000		4308	50		Joseph-Albert-Mo	Saint-Jean-sur-Richelieu	638316,1202	5013948,9452	2			51000	280200	331200	30,731169	32,063874	31,082169
3488	5608325134914300000000		4309	43		Joseph-Albert-Mo	Saint-Jean-sur-Richelieu	638289,47	5013906,5899	2			93500	346100	439600	30,350663	32,017176	31,038568
654	5608325133979150000000		4310	39		Joseph-Albert-Mo	Saint-Jean-sur-Richelieu	638243,732	5013904,0227	1	1	2	72000	89900	161900	30,364297	31,892	30,861
835	5608325133939750000000		4311	36		Joseph-Albert-Mo	Saint-Jean-sur-Richelieu	638213,8024	5013944,3328	1	3		50700	127200	177900	30,368	31,055	31,055
4256	5608325143047070000000		4312	27		Paquette	Saint-Jean-sur-Richelieu	638216,2624	5013981,7544	1			44800	162800	44800	30,546552	31,585313	31,072002
1159	5608325143062070000000		4313	29		Paquette	Saint-Jean-sur-Richelieu	638229,8472	5013981,8804	1	3	3	44800	162000	44800	30,699528	31,925672	31,078116
2762	5608325143007060000000		4314	1558		Petit	Saint-Jean-sur-Richelieu	638179,8414	5013977,4613	1	1	1	49200	158400	207600	30,570337	31,40336	31,052599
4142	5608325133909750000000		4315	32		Joseph-Albert-Mo	Saint-Jean-sur-Richelieu	638178,9774	5013946,0049	1			50700	119900	170600	30,82248	31,335725	31,033494
836	5608325132957290000000		4316	29		Joseph-Albert-Mo	Saint-Jean-sur-Richelieu	638137,3853	5013896,1928	1	1	2	55600	169200	224800	30,599269	32,041	31,317
4130	5608325142062120000000		4317	1557		Petit	Saint-Jean-sur-Richelieu	638133,8521	5013978,5448	1			46800	120700	167500	30,518672	31,453247	31,156561
183	5608325132963810000000		4318	28		Joseph-Albert-Mo	Saint-Jean-sur-Richelieu	638133,4397	5013944,9239	1			62600	134700	197300	30,729139	31,395225	31,088169
3406	5608325132922740000000		4319	20		Joseph-Albert-Mo	Saint-Jean-sur-Richelieu	638103,2956	5013944,6355	1	1	1	70200	164300	234500	30,431158	32,131158	30,531158
1409	5608325142006040000000		4320	15		Paquette	Saint-Jean-sur-Richelieu	638074,4751	5013974,1955	1			61200	125600	186800	30,799338	31,479684	31,191258
813	5608325141071040000000		4321	11														
140	5608325131957730000000		4322	12														
185	5608325141019030000000		4323	7														
4122	5608325130969770000000		4324	26														
4140	5608325130909720000000		4325	27														
141	5608325130909560000000		4326	29														
313	5608325130908380000000		4327	33														
3913	5608325130907140000000		4328	35														
3964	5608325135882770000000		4329	45														
3966	5608325135882770000000		4330	45														
3967	5608325135882770000000		4331	45														
2972	5608325130708520000000		4332	53														
3907	5608325130706550000000		4333	55														
815	5608325141711520000000		4334	57														
1561	5608325144019080000000		4335	37														
2772	5608325143038380000000		4336	39														
4128	5608325143017150000000		4337	30														
2332	5608325143017150000000		4338	30														
1536	5608325143017150000000		4339	32														
2733	5608325142016150000000		4340	41														
2333	5608325142016150000000		4341	41														
3323	5608325140152760000000		4342	7														
4142	5608325140152760000000		4343	7														
1154	5608325140121760000000		4346	9														
2186	5608325144136480000000		4347	71														
3174	5608325130204120000000		4348	73														
3174	5608325130545220000000		4349	202														
3458	5608325130439890000000		4350	204														
3920	5608324139156020000000		4351	8														
3919	5608324139156020000000		4352	8														
3927	5608324139053350000000		4353	28														
787	5606024129935420000000		4355	48														
1408	5606024129993290000000		4356	51														
2302	5606024129831850000000		4357	64														
1479	5606024129875530000000		4358	73														
2734	5606024129938820000000		4359	38														
895	5606024129936590000000		4360	44														
4116	5606024129829230000000		4361	88														
486	5606024129729780000000		4362	88														
899	5606024129732630000000		4363	92														
2745	5606024129729460000000		4364	96														
4081	5606024129729260000000		4365	100														
1143	5606024129728090000000		4366	104														

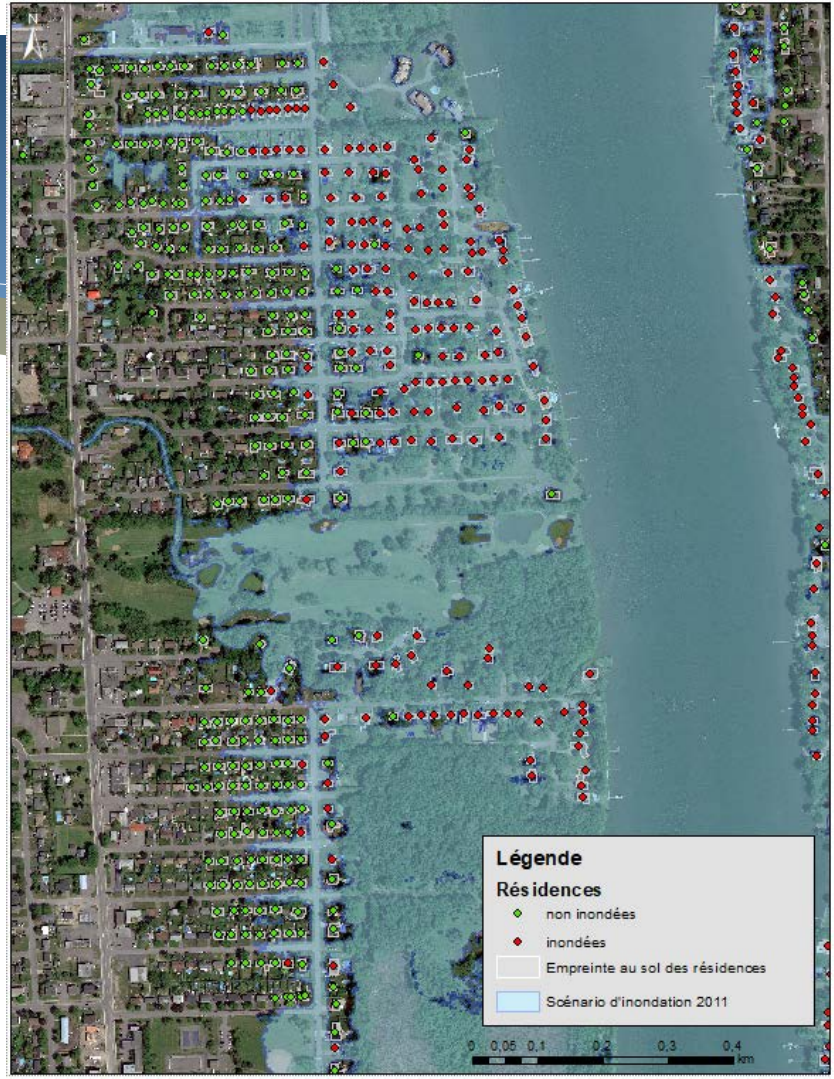


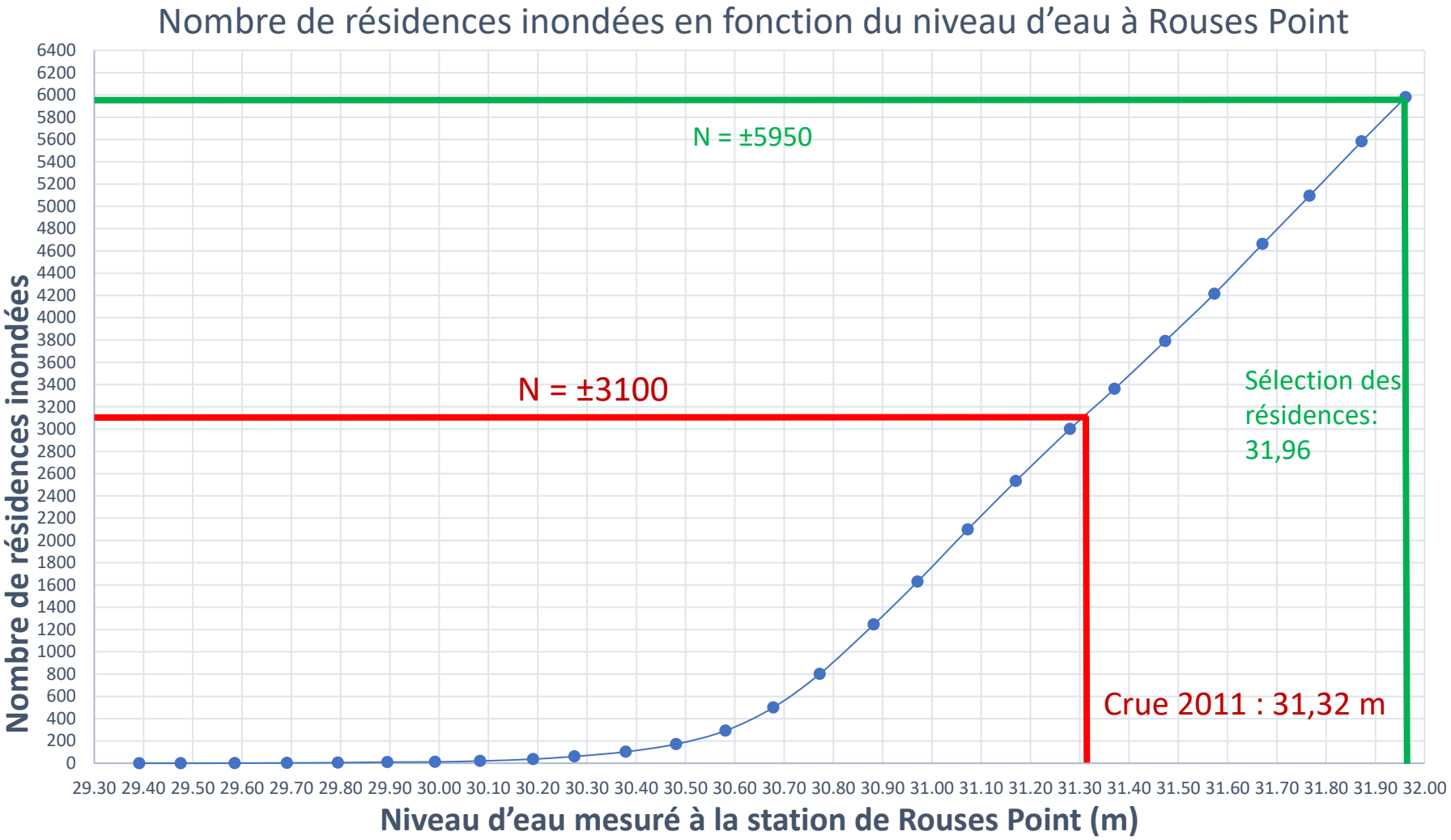
1 maison = 1 courbe d’endommagement

Géodatabase

Domaine d'étude ?

→ Zone inondée par crue 2011 et +




Nombre de résidences inondées en fonction du niveau d'eau à Rouses Point
N = ±5950
N = ±3100
Sélection des résidences: 31,96
Crue 2011 : 31,32 m
Nombre de résidences inondées
Niveau d'eau mesuré à la station de Rouses Point (m)
0
200
400
600
800
1000
1200
1400
1600
1800
2000
2200
2400
2600
2800
3000
3200
3400
3600
3800
4000
4200
4400
4600
4800
5000
5200
5400
5600
5800
6000
6200
6400
29.30 29.40 29.50 29.60 29.70 29.80 29.90 30.00 30.10 30.20 30.30 30.40 30.50 30.60 30.70 30.80 30.90 31.00 31.10 31.20 31.30 31.40 31.50 31.60 31.70 31.80 31.90 32.00

Paramétrisation des courbes

1. **Taux d'endommagement** =

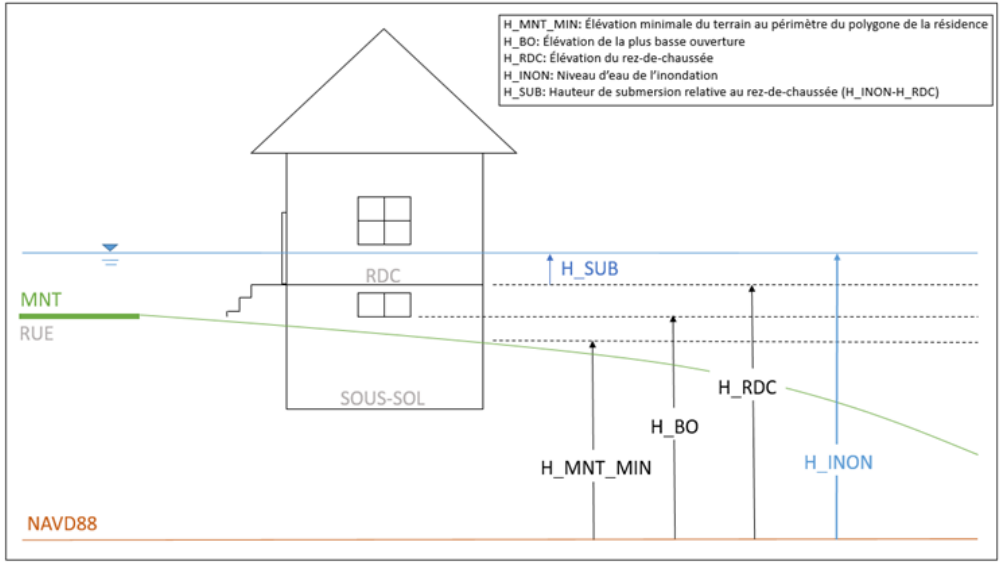
$$\frac{\text{Coût des dommages (Indemnisations/80\%)}}{\text{Valeur des biens immeubles essentiels}}$$

2. **Caractéristiques des résidences :**

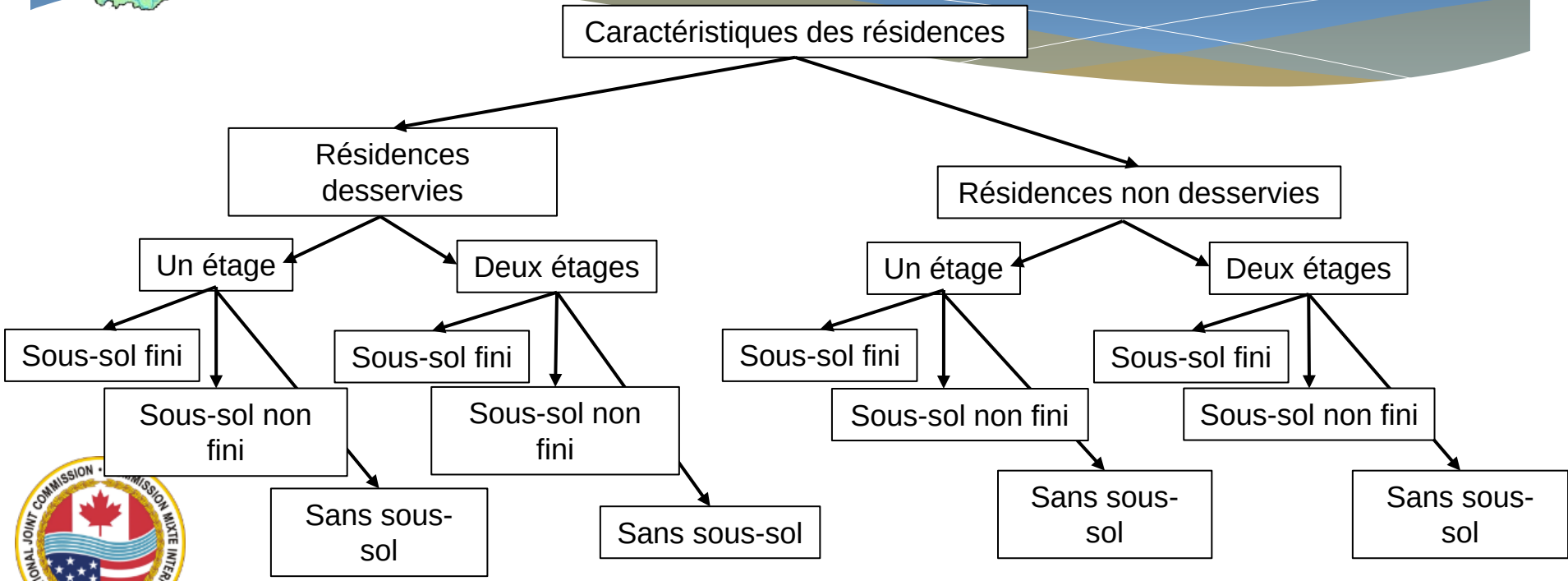
   Nombre d'étages, présence ou non d'un sous-sol, sous-sol fini ou non, élévation du RDC, résidence desservie ou non par les réseaux municipaux, valeur des biens immeubles essentiels,…)

3. **Hauteur de submersion**

   H_SUB = H_INON – H_RDC



Paramétrisation des courbes



Paramétrisation des courbes

Partition de l'échantillon (1630 résidences indemnisées) en 12 catégories de résidences :

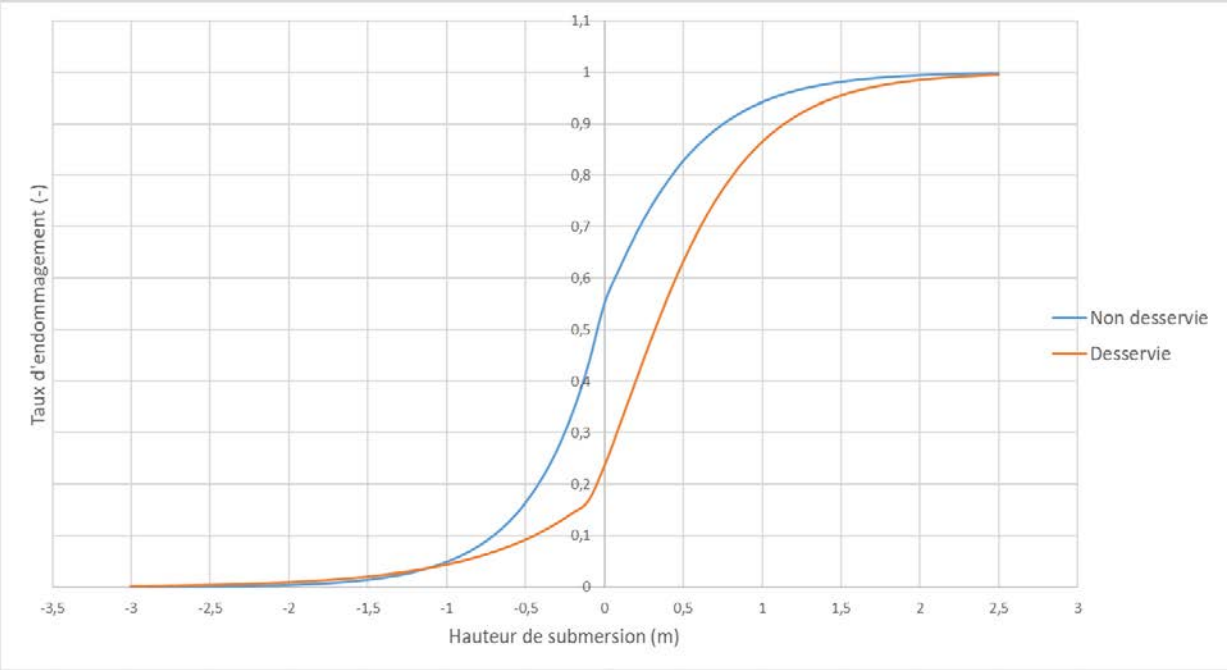
- Résidence desservie à un étage avec un sous-sol fini
- Résidence desservie à un étage avec un sous-sol non fini
- Résidence desservie à un étage sans sous-sol
- Résidence desservie à deux étages avec un sous-sol fini
- Résidence desservie à deux étages avec un sous-sol non fini
- Résidence desservie à deux étages sans sous-sol
- Résidence non desservie à un étage avec un sous-sol fini
- Résidence non desservie à un étage avec un sous-sol non fini
- Résidence non desservie à un étage sans sous-sol
- Résidence non desservie à deux étages avec un sous-sol fini
- Résidence non desservie à deux étages avec un sous-sol non fini
- Résidence non desservie à deux étages sans sous-sol

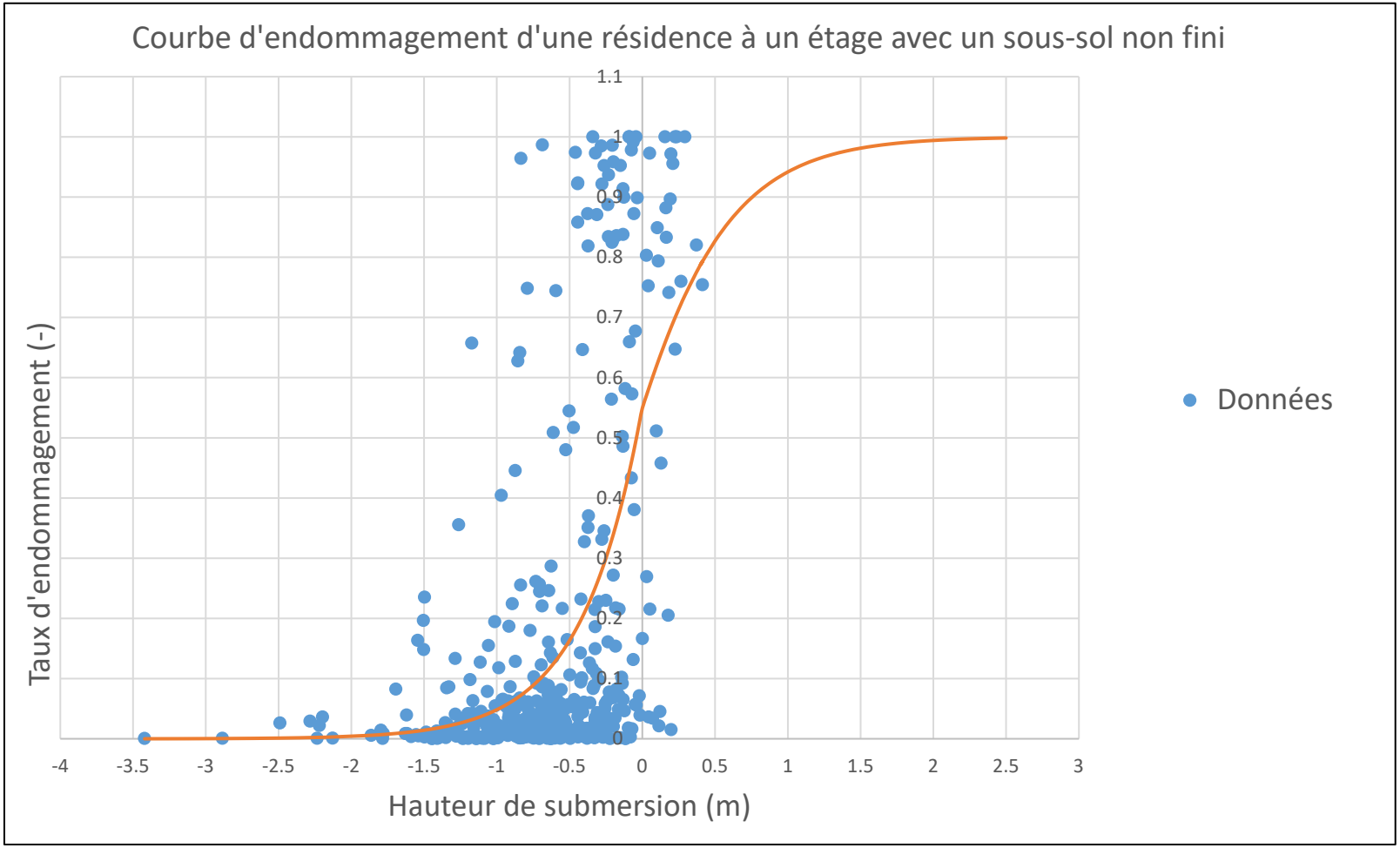
12 courbes d'endommagement

Résultats de la paramétrisation

Exemple de courbes d'endommagement

Résidence à un étage avec un sous-sol non fini




Courbe d'endommagement d'une résidence à un étage avec un sous-sol non fini
Taux d'endommagement (-)
1.1
1
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0
-4
-3.5
-3
-2.5
-2
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
2
2.5
3
Hauteur de submersion (m)
Données

Ajustement du modèle

Seuil d’inondation des résidences

But :

Établir le seuil d’inondation permettant de déclencher le calcul des dommages pour une résidence:

- Une résidence commence à être inondée lorsque l’eau intersecte au moins 15% du périmètre de la résidence avec une profondeur d’eau qui dépasse la précision verticale du MNT (~0,1 m).

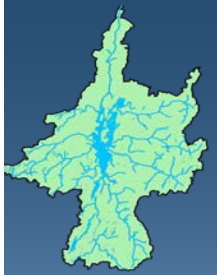
Validation du modèle et résultats

Nombre de résidences principales inondées (valeur cible: 2 535 pour le scénario de 2011 et la géodatabase 2011) et montant total des dommages (valeur cible: 63 M$ CA 2011, résidences principales seulement)

Résidences secondaires	Nombre de résidences inondées	Dommages simulés (M$CA 2011)
Non	2535	57.8
Oui	3113	69.6

Merci Bernard et Myriam!

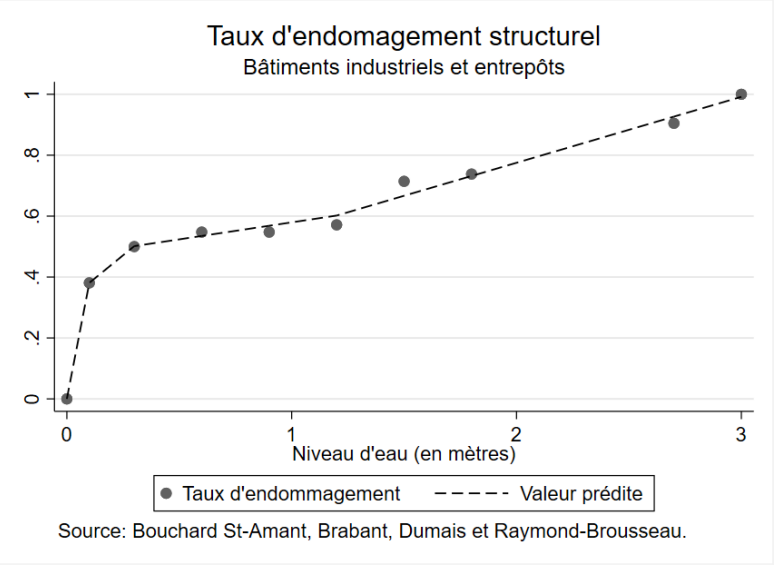
- Bref survol d’autres indicateurs.
- Vol d’oiseau: comment intégrer l’analyse coûts bénéfices?



Indicateurs commerciaux et autres

Taux d’endommagement commercial

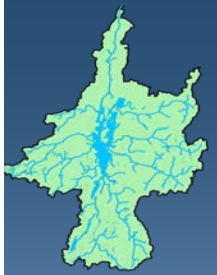
- Nous identifions d’abord la relation entre la hauteur de submersion et le taux d’endommagement d’un bâtiment.
  - Un taux par catégorie de bâtiment et par type de biens (structure et contenu).
- Estimation des courbes de submersion-dommages.
  - Estimation non linéaire d’une forme fonctionnelle
  - Agencement des courbes par code d’usage au rôle foncier du MAMH.



Pertes de revenus

Cas particulier: les entreprises touristiques:

- Pour estimer les pertes en tourisme, nous utilisons l'enquête sur les voyages des résidents du Canada de Statistique Canada.
  - Achalandage mensuel moyen (au Québec).
  - Nous évaluons un panier de dépenses par type de voyage.
    - Activités, transport, nourriture, etc.
- L'achalandage est ajusté en fonction de la taille de la plaine inondable.
- Les montants dépensés par visites sont ajustés avec les marges de profits tirés des comptes Entrées-Sorties.



Analyses économiques

Analyse Coûts-Bénéfices

- L'analyse coûts-bénéfices (ACB) est un outil aidant à la prise de décision permettant d'évaluer un projet.
  - Est-ce que les bénéfices espérés sont plus grands que les coûts du projet?
- Dans l'évaluation d'un projet d'intervention visant à prévenir les inondations, on compare les dommages avec ou sans la mise en place du projet.
- Les bénéfices du projet correspondent principalement aux dommages sauvés.

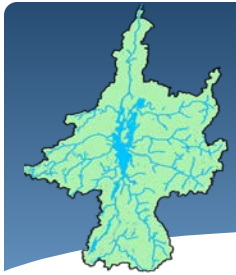
Fondements méthodologiques

Quatre éléments fondamentaux sont centraux pour fin d’évaluation:

- La comptabilisation des bénéfices pendant chaque événement (e.g.: temps normal, inondation).
- La probabilité d'occurrence de chaque événement.
- Les coûts de réalisation du projet.
- Le taux d’actualisation des bénéfices dégagés.

Actualisation des bénéfices

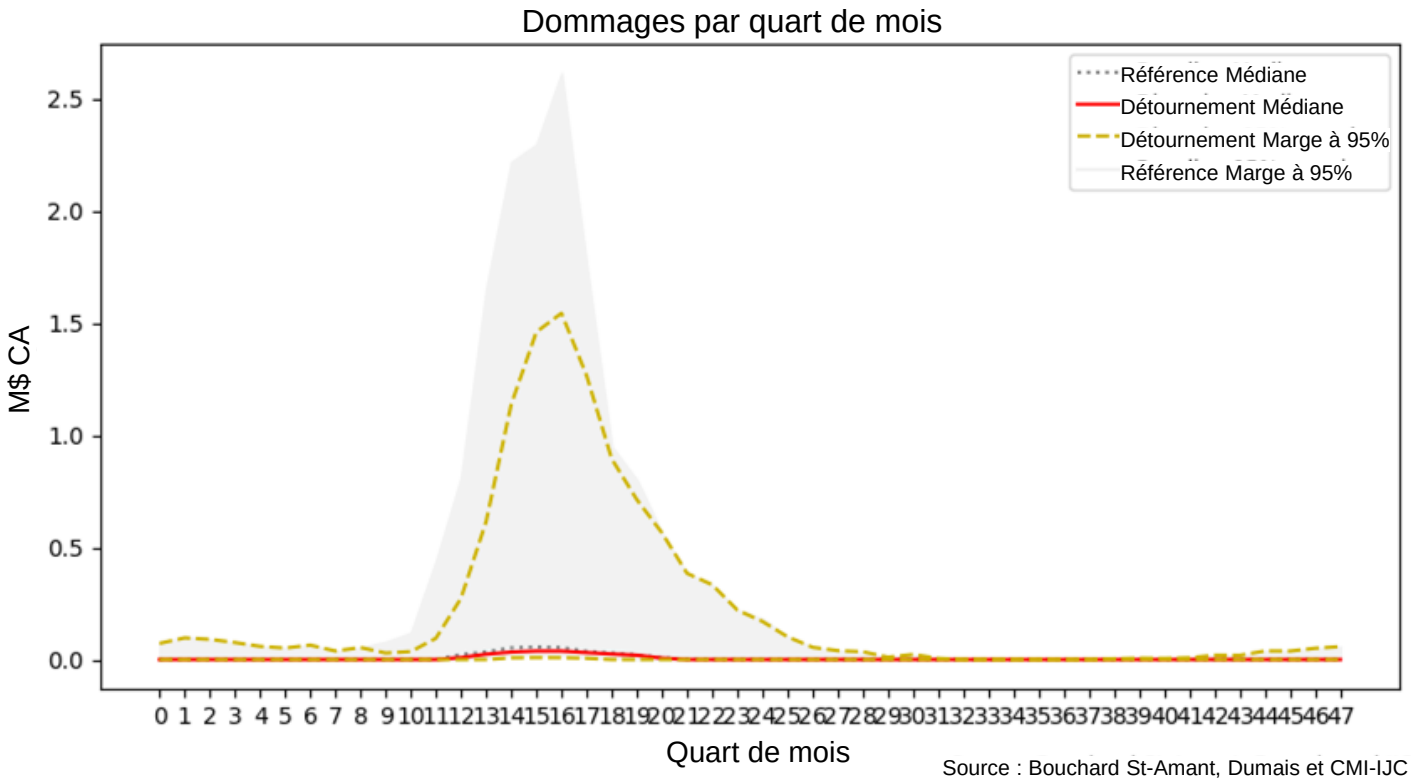
- L’impact économique des inondations dure plus qu’une année.
- Les dommages de nature physique (structure, contenu, etc.) sont comptabilisés au moment de l’événement.
- Les pertes de revenus sont cumulatives et calculées à partir de la durée de fermeture.
  - La perte annuelle totale est la somme des pertes mensuelles.
- Sur une longue période d’évaluation, les montants sont actualisés en dollars d’aujourd’hui.



Probabilité d’inondation

1. On estime la probabilité d’inondations à chaque quart de mois (+/- une semaine).
2. Pour chaque bâtiment et chaque période, un niveau d’eau est estimé par un modèle hydrologique (ISEE).
3. Pour une année type, des niveaux d’eau sont projetés en utilisant des techniques d’inférence statistique (régression, *bootstrapping*).
4. Les impacts économiques sont pondérés par les probabilités estimées en utilisant les niveaux d’eau projetés.

Résidentiel : Effets de la diversion



Source : Bouchard St-Amant, Dumais et CMI-IJC (2020).

Liste d’indicateurs employés

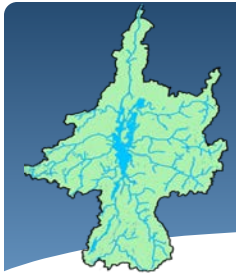
- Dommages structurels et matériels aux résidences.
- Dommages structurels et matériels aux commerces, infrastructures publiques et aux industries.
- Dommages sociaux et humains (eg.: stress, santé).
- Pertes agricoles.
- Les coûts directs du projet (e.g.: construction).
- Les coûts indirects du projet (e.g.: fermetures causées par la construction).

Analyse de significativité/sensibilité

- Une évaluation coûts-bénéfices requiert des estimations.
- Ces estimations sont bien sûr tirées de données probantes.
- L’analyse de sensibilité vise à évaluer à quel point les résultats changent avec l’usage d’estimations différentes.
- L’analyse de significativité examine plutôt à quel point il faut changer différentes composantes de l’analyse pour changer les conclusions.

Messages clé

- L’estimation des courbes de submersion résidentielle est une analyse terrain faite avec des données réelles. C’est une première dans les études de la CMI!
- Les fonctions de dommages commerciaux évaluent les dommages structurels et les pertes d’activité. Une attention particulière est portée au tourisme et à l’agriculture.
- En évaluant la différence de dommages avec ou sans la mise en oeuvre d’un projet, on peut déduire les bénéfices du projet.
- En comparant ces bénéfices au coût, on peut fournir un outil d’aide à la décision.



Merci!

- Cela termine notre présentation.
- Questions? Commentaires?

Bernard Doyon: bernard.doyon@dfo-mpo.gc.ca

Pier-André Bouchard St-Amant: pier-andre.bouchardst-amant@enap.ca