

L'analyse économique
au service d'une
meilleure adaptation
aux changements
climatiques dans les
zones inondables du
Québec

Crédits: CMM, 2017



Annabelle Lamy, Caroline Simard
17 juin 2021, Rendez-vous des OBV



Plan de la présentation

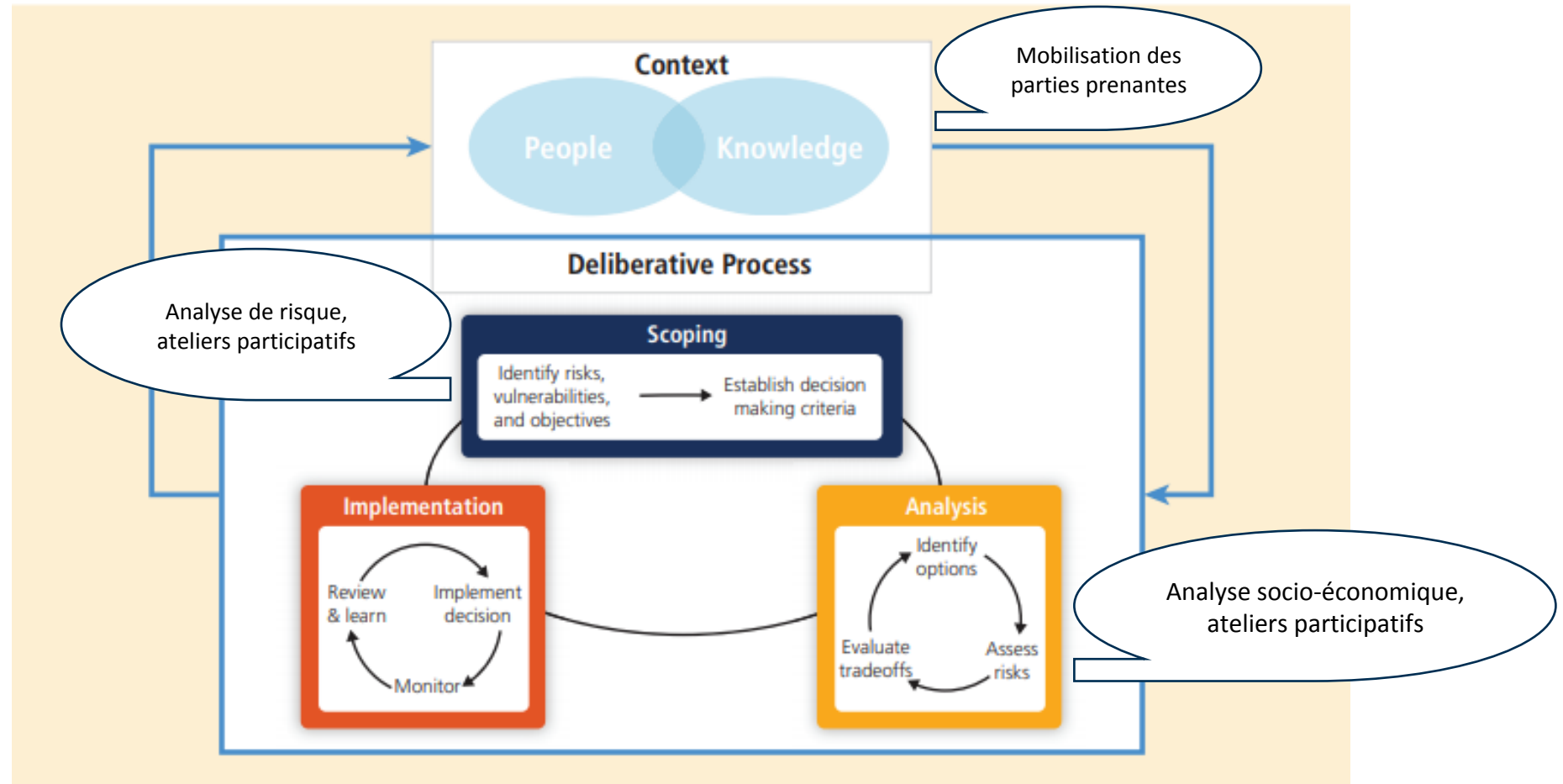
- 1. Pourquoi l'analyse économique?**
- 2. Comment procéder ?**
- 3. Exemple de monétisation**

POURQUOI utiliser
l'analyse économique
dans la gestion des
zones inondables?



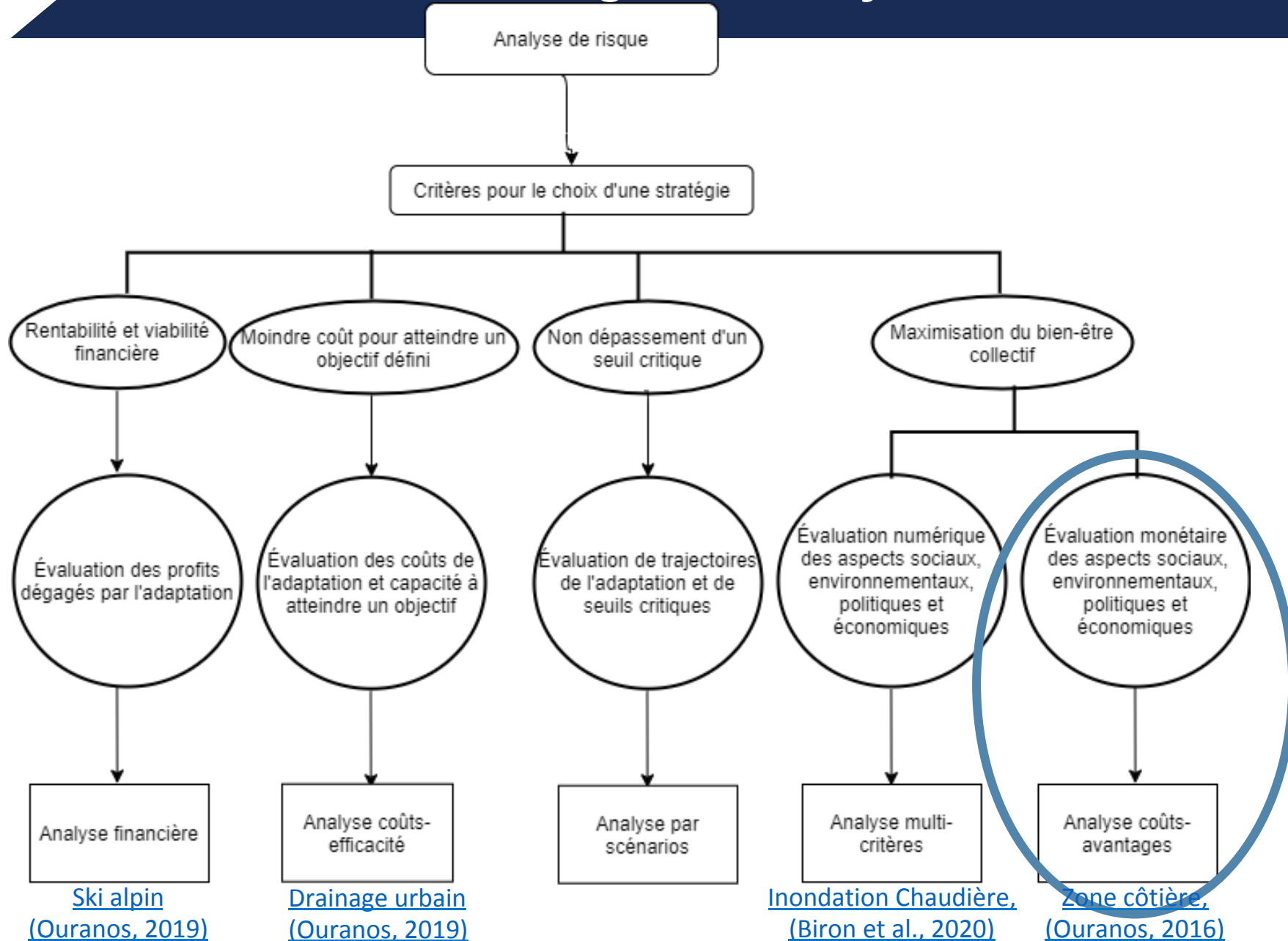
L'analyse économique, pourquoi ?

- 1) Les ressources sont limitées et les problèmes illimités**
 - 2) Les enjeux et les acteurs sont multiples**
 - 3) Nous devons faire des choix**
- **Optimisation du bien-être collectif sous contraintes**

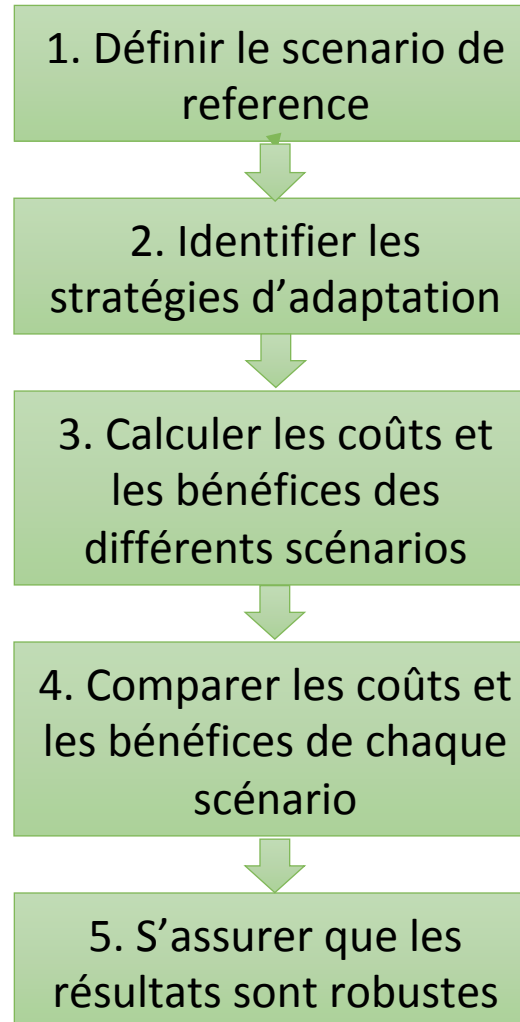


Iterative risk management (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2014; chap.17)

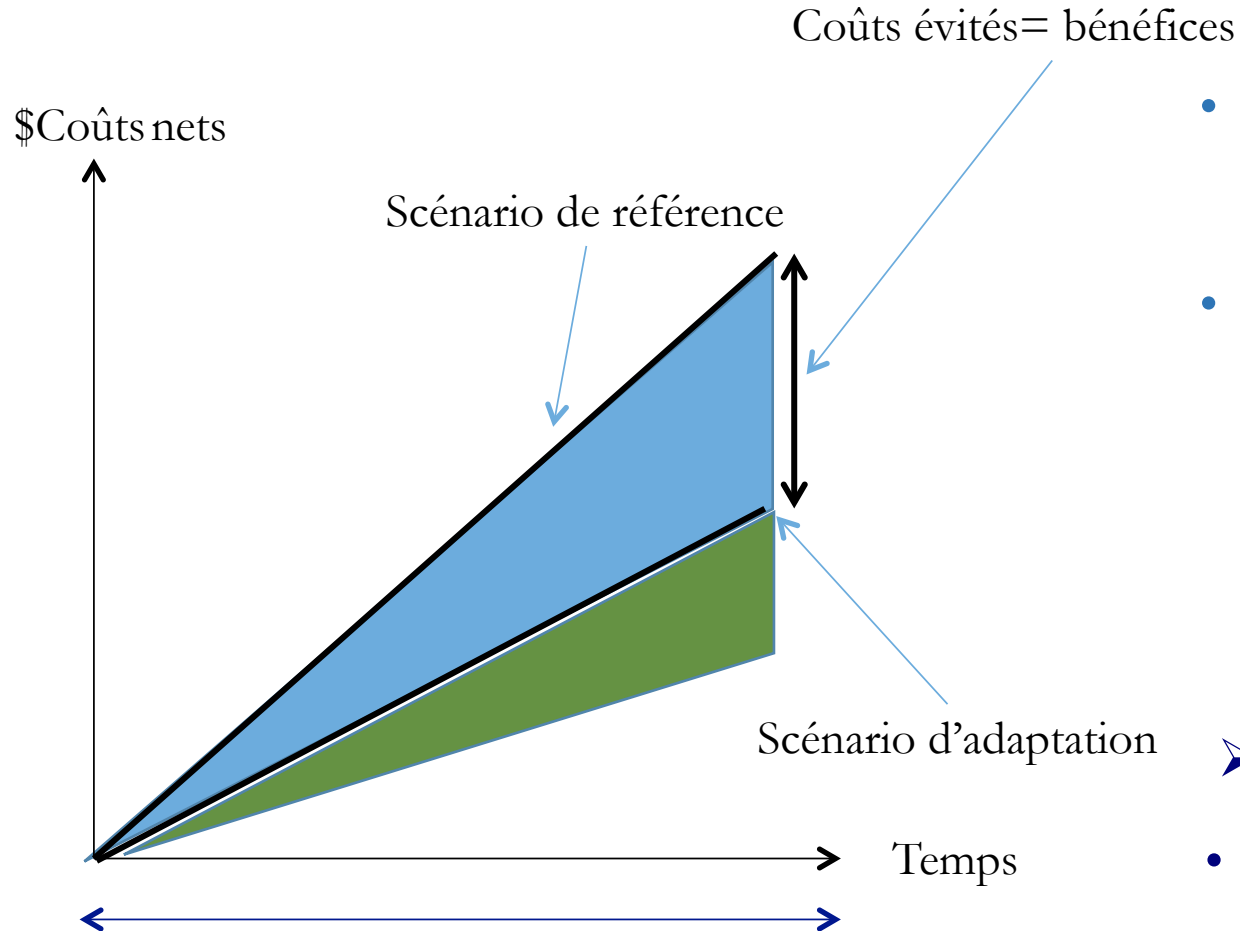
Critères et stratégies d'analyse



COMMENT procéder
à une analyse coûts-
avantages de la gestion
des zones inondables?



1. Définir le scénario de référence



Horizon de l'étude: 20, 25, 30, 50 ans?

Dollars constants (2018, 2019 ?) ou courants ?

Taux d'actualisation: 2 %, 4 % ?

- **La non-intervention** : ne poursuivre aucune mesure et permettre la détérioration des actifs
- **L'intervention minimale ou statu quo** : le minimum d'action pour conserver certains mécanismes de défense ou ouvrages de protection et se conformer à la législation.

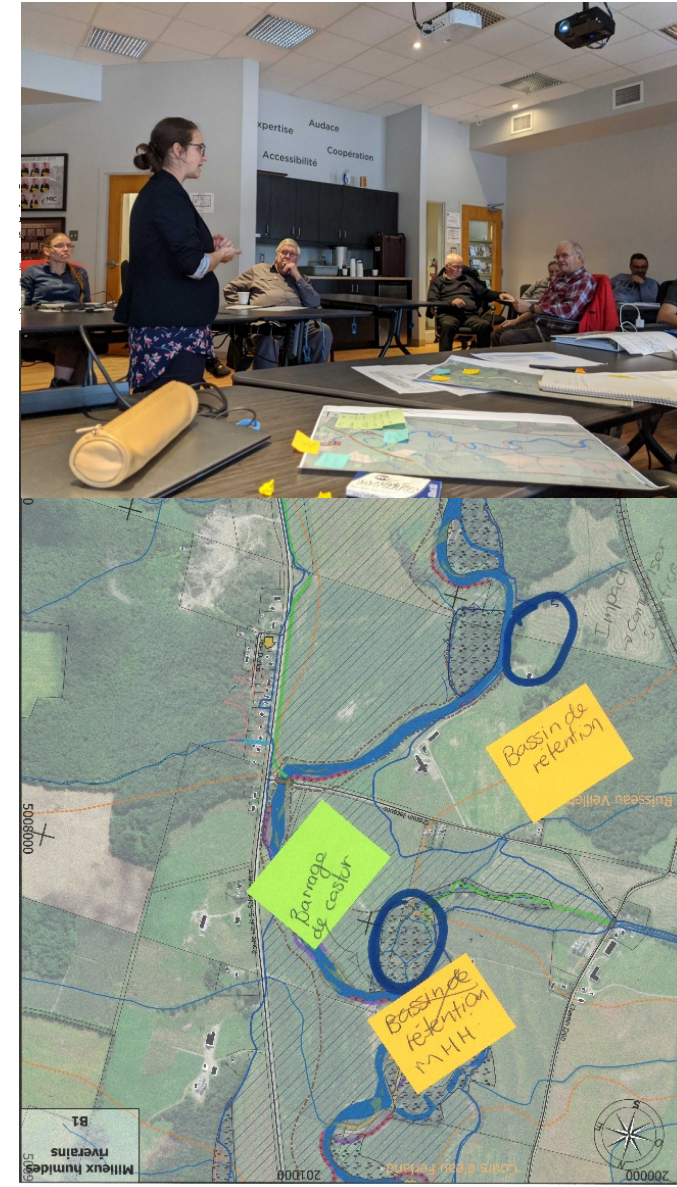
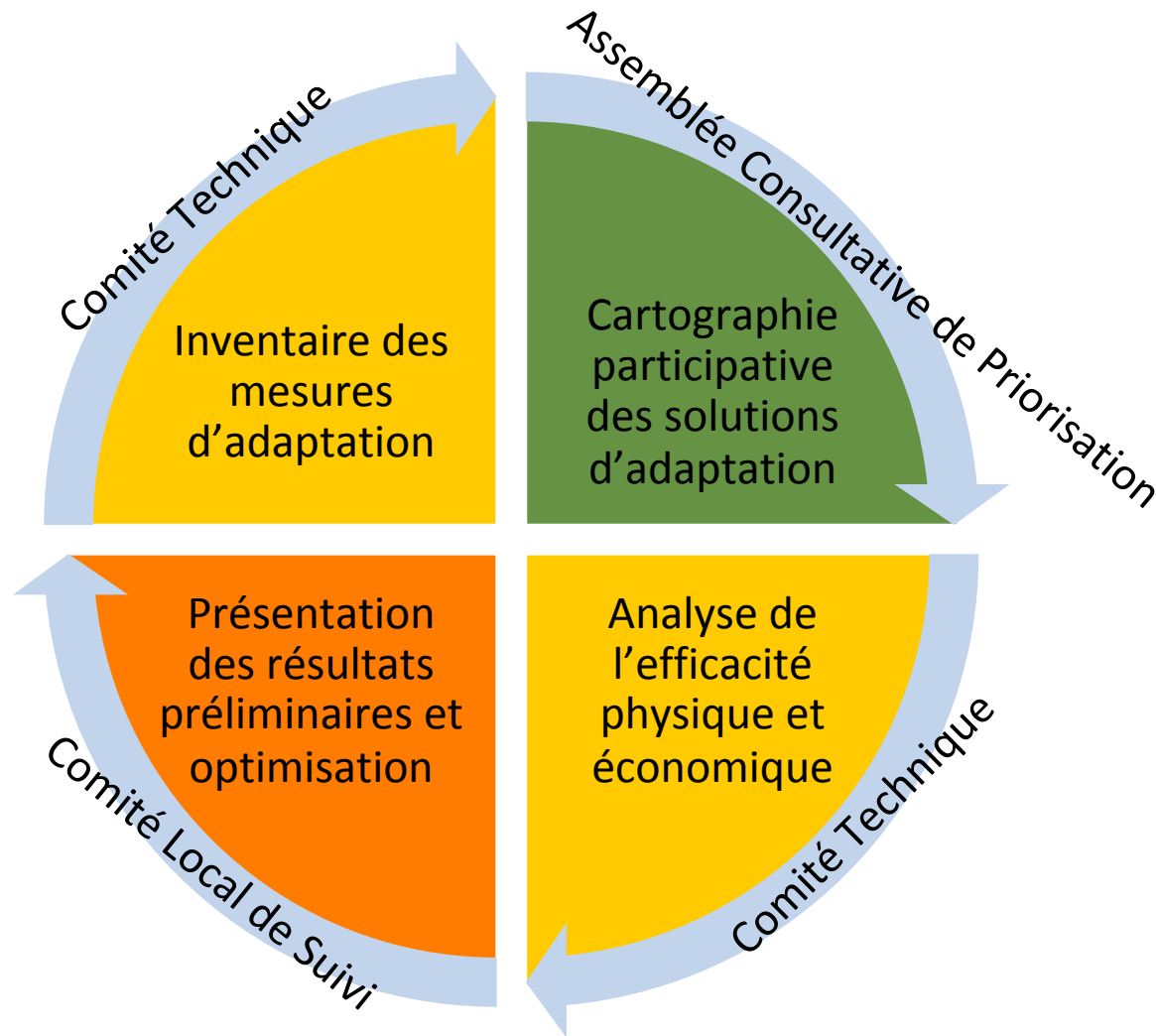
➤ Évaluation des coûts évités

- **État de référence de l'environnement**

➤ Évaluation des bénéfices environnementaux

1. Définir le scénario de référence

2. Identifier les stratégies d'adaptation



Poste à quantifier

1. Définir le scénario de référence

2. Identifier les stratégies d'adaptation

3. Calculer les coûts et les bénéfices des scénarios



COÛTS LIÉS AUX ALÉAS



COÛT DES MESURES



**IMPACTS
ENVIRONNEMENTAUX**

Matrice d'impacts par mesure

Impacts \ mesures	ROC: Enrochement léger	DRA: Dragage	BAS: Bassins de rétention	BAS+: Bassin de rétention surdimensionné	DIG: Endiguement	IMMb: Immunitisation des bâtiments individuels	RELOC: Relocalisation des résidences	MHH: Restauration de MHH	BR: Bandes riveraines	EMOB: Espace de mobilité	PRA: Adaptation des pratiques agricoles	CULT: Restriction des cultures permises
Coût de la mesure												
Conception et réalisation												
Entretien												
Coûts d'opportunité												
Coûts liés à la submersion												
Gestion des urgences												
Nettoyage des débris résid.												
Nettoyage des débris agric.												
Relocalisation												
...												
Secteur résidentiel												
Dommages aux bâtiments												
Secteur agricole												
Dommages aux cultures												
Impacts psychosociaux												
Stress et détresse, blessures, pertes de salaires												
Secteur public et du transport, Secteur commercial et industriel												
...												
Coûts liés à l'érosion des berges												
...												
Bénéfices environnementaux et connexes												
Habitat faunique												
Qualité de l'eau												
Séquestration du Carbone												
Activités récréatives/touris.												









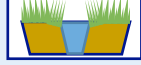



Légende	
Effet positif important	
Effet positif léger	
Effet incertain	
Effet nul	
Effet négatif léger	
Effet négatif important	



1. Définir le scénario de référence

2. Identifier les stratégies d'adaptation

3. Calculer les coûts et les bénéfices des scénarios

Scénarios \ impacts		Agricole	Commercial et industriel	Résidentiel	Psycho-social	Municipal	Économique	Environnement
Étude de cas de la rivière Chaudière		+ ou -	+		+ ou -	+	+	++
		-	+	+ ou -		+	+	+++
		+	+	+	+ ou -	+	+	-
		+ ou -	+++	+++	+++	++	+	++
		++	+++	+++	+++	++	+	++
Étude de cas de la rivière Coaticook		+	+	+	+	+	+	-
		+ et -	+	+	+	+	+	-
		+	+	+	+	+ et -	+	-
		-	-	-	-	+ et -	aucun	-
		+ et -	-	-	-	+	+ et -	+
		-	-	-	-	+	aucun	+
		+ et -	-	-	-	+	+ et -	+

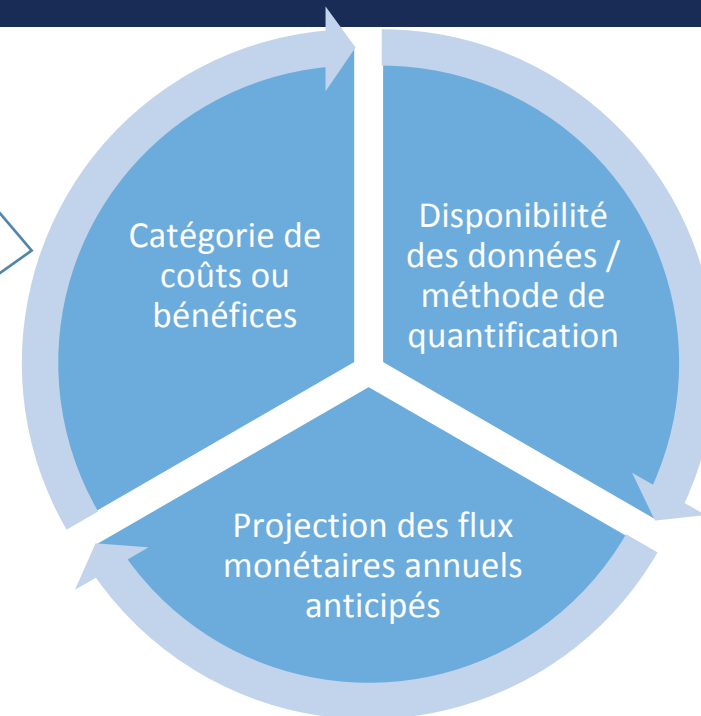
Mécanisme générale de la monétisation

1. Définir le scénario de référence

2. Identifier les stratégies d'adaptation

3. Calculer les coûts et les bénéfices des scénarios

- **Coûts liés aux aléas**
 - Dommages par catégorie d'impacts
- **Services écosystémiques**
 - Séquestration du carbone
 - Rétention de nutriments, sédiments
 - Récolte des bandes riveraines
 - Retombées récréotouristiques
- **Coûts des mesures**
 - Coût de conception, réalisation
 - Entretien
 - Coût d'opportunité*



Scénarios d'adaptation

Scénarios de référence

Année	Coût liés aux aléas	Bénéfices env.	Coût des mesures	Total
0	\$	\$	0	\$
1	\$	\$	0	\$
2	\$	\$	0	\$
...
50	\$	\$	0	\$

*Coût de renonciation à un usage imposé par une mesure

1. Définir le scénario de référence

2. Identifier les stratégies d'adaptation

3. Calculer les coûts et les bénéfices des scénarios

4. Comparer les coûts et les bénéfices des scénarios

Scénarios d'adaptation

Année (t)	Valeur totale
0	-131 876 \$
1	-101 876 \$
2	-101 876 \$
...	...
50	-105 659 \$

Scénarios de référence

Année (t)	Valeur totale
0	-101 964 \$
1	-101 964 \$
2	-101 964 \$
...	...
50	-106 003 \$

Delta

Année (t)	Valeur delta	Facteur d'actualisation	Valeur actualisée
0	-29 912 \$	1,00	-29 912 \$
1	88 \$	0,96	85 \$
2	88 \$	0,92	82 \$
...
50	344 \$	0,37	128 \$
VAN:			-23 527 \$

- Facteur d'actualisation = $1 / (1 + r)^t$ où r = taux d'actualisation
- Valeur actuelle nette (VAN) = $\sum_{t=0}^{T=50} Montant_t * 1 / (1 + r)^t > 0$
- % de coûts évités = $VAN(\text{delta coûts liés aux aléas}) / VAN(\text{coûts liés aux aléas réf.}) > 0$
- Ratio avantages-coûts = $VAN(\text{avantages}) / VAN(\text{coûts}) > 1$

1. Définir le scénario de référence

2. Identifier les stratégies d'adaptation

3. Calculer les coûts et les bénéfices des scénarios

4. Comparer les coûts et les bénéfices des scénarios

5. S'assurer que les résultats sont robustes

- **Analyse de sensibilité:**
 - Taux d'actualisation
 - Coûts des mesures d'adaptation
 - Autres variables pouvant affectées de manière importante les résultats
- **Analyse de redistribution:**
 - Calcul d'un poids représentatif de la part des coûts/ avantages supportée par chaque catégorie d'acteurs.
- **Analyse des risques et enjeux résiduels:**
 - Analyse qualitative de l'impact des scénarios sur les aléas résiduels

Exemple de monétisation

1. Définir le scenario de reference

2. Identifier les stratégies d'adaptation

3. Calculer les coûts et les bénéfiques des différents scénarios

4. Comparer les coûts et les bénéfiques de chaque scénario

5. S'assurer que les résultats sont robustes

• Coûts des mesures

- Coût de conception, réalisation
- Entretien
- Coût d'opportunité

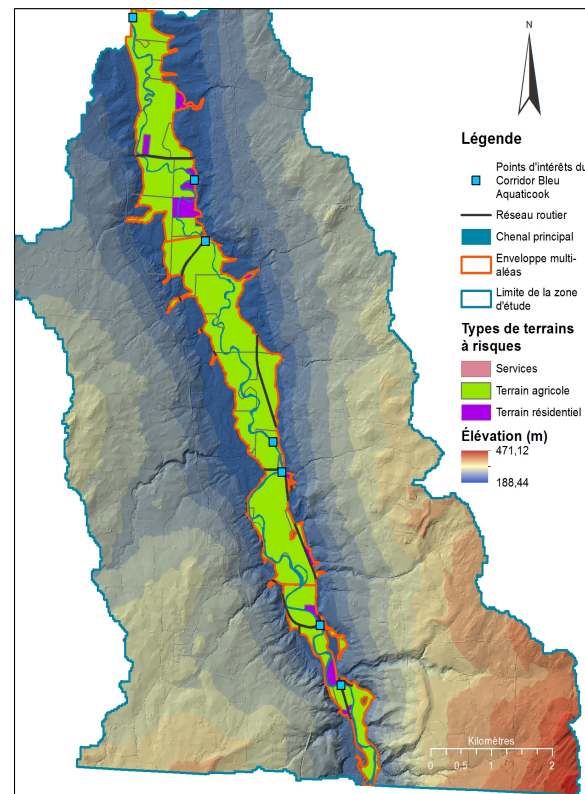
• Coûts liés aux aléas

- Dommages par catégorie d'impacts

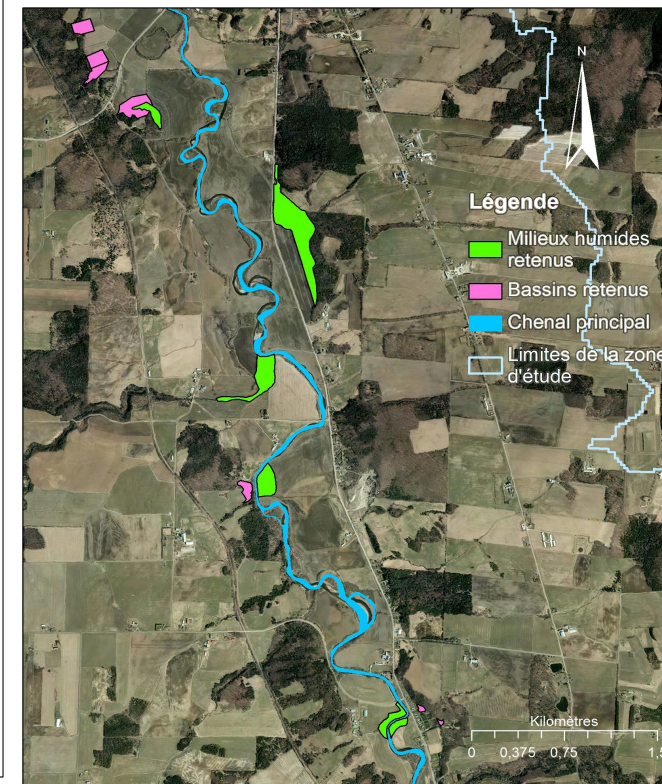
• Services écosystémiques

- Séquestration du carbone
- Rétention de nutriments, sédiments
- Qualité de l'habitat
- Récolte des bandes riveraines
- Retombées récréotouristiques

Scénarios de référence



Scénarios d'adaptation





Mesures	Coûts unitaires des mesures (CM)	Coûts d'opportunité (CO)	Source et commentaires
Enrochement avec végétalisation : total 8,4 km, dont un ajout de 1,5 km	Implantation : 500 \$/m.l. Conception : 20 % de l'impl. Entretien : moyenne 3 % /année	-	Biron et al., 2013
Dragage : 3 sites totalisant 6700 m ³	Implantation : 107 \$/m ³ Conception : 10 % de l'impl. Entretien : 100 % aux 7 ans	-	Rieussec (2008) Valeur des dépôts fait l'objet d'une analyse de sensibilité
Restauration de milieux humides et hydriques : 6,5 ha à restaurer	Conception : 10 374 \$/ha Implantation : 13 832\$/ha Entretien : 3458 \$/ha aux 10 ans	Perte d'usage des terres agricoles : 11 660 \$/ha X 26,6 ha	MELCC (2020) et experts du milieu Valeur à 25 000 \$ fait l'objet d'une analyse de sensibilité.
Bassins de rétention 7 bassin x 5000 m ³ = 35 000 m ³	Conception et implantation : 76 \$/m ³ Entretien : 10 % de l'impl. /an Durée de vie : 15 ans	Perte d'usage des terres agricoles : 11 660 \$/ha S2 : x 4,23 ha	Desjarlais et Larrivée (2011) FADQ (2019) Valeur à 25 000 \$ fait l'objet d'une analyse de sensibilité.

Calcul du coût des mesures



Année	Facteur d'actualisation	Enrochement	Dragage	Restauration MHH	Coûts totaux	Coûts actualisés
0	1,00	(325 709) \$	(799 301) \$	(233 129) \$	(1 385 139) \$	(1 385 139) \$
1	0,96	(325 709) \$			(325 709) \$	(313 182) \$
2	0,92	(316 985) \$			(316 985) \$	(293 071) \$
3	0,89	(13 087) \$			(13 087) \$	(11 634) \$
4	0,85	(8 724) \$			(8 724) \$	(7 458) \$
5	0,82	- \$			- \$	- \$
6	0,79	- \$			- \$	- \$
7	0,76	- \$			- \$	- \$
8	0,73	- \$	(726 637) \$		(726 637) \$	(530 947) \$
9	0,70	- \$			- \$	- \$
10	0,68	(448 545) \$			(448 545) \$	(303 021) \$
11	0,65	- \$		(22 477) \$	(22 477) \$	(14 601) \$
12	0,62	- \$			- \$	- \$
13	0,60	- \$			- \$	- \$
14	0,58	- \$			- \$	- \$
15	0,56	- \$			- \$	- \$
16	0,53	- \$	(726 637) \$		(726 637) \$	(387 957) \$
17	0,51	- \$			- \$	- \$
18	0,49	- \$			- \$	- \$
19	0,47	- \$			- \$	- \$
20	0,46	(448 545) \$			(448 545) \$	(204 710) \$
21	0,66	- \$			- \$	- \$
22	0,65	- \$		(22 477) \$	(22 477) \$	(14 539) \$
23	0,63	- \$			- \$	- \$
24	0,62	- \$	(726 637) \$		(726 637) \$	(451 766) \$
25	0,61	- \$			- \$	- \$

Coûts totaux actualisés:
- 3,891 M \$

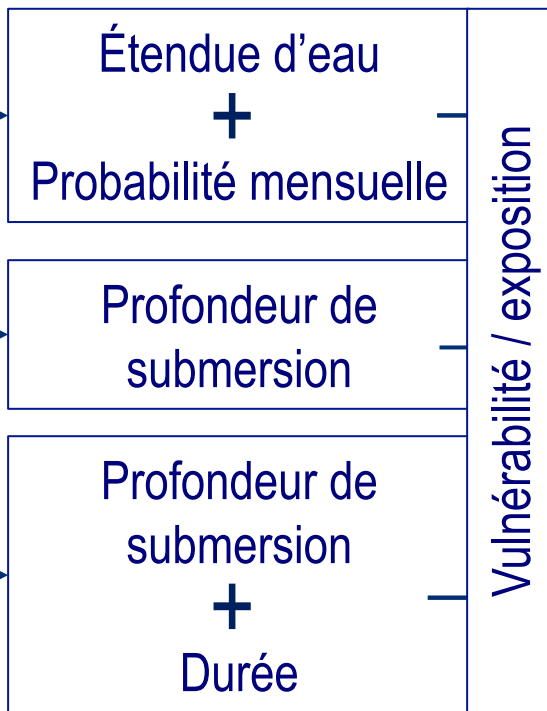


Carte d'inondation par récurrence

50%, 20%, 10%, 5%, 2%, 1%, 0,35%



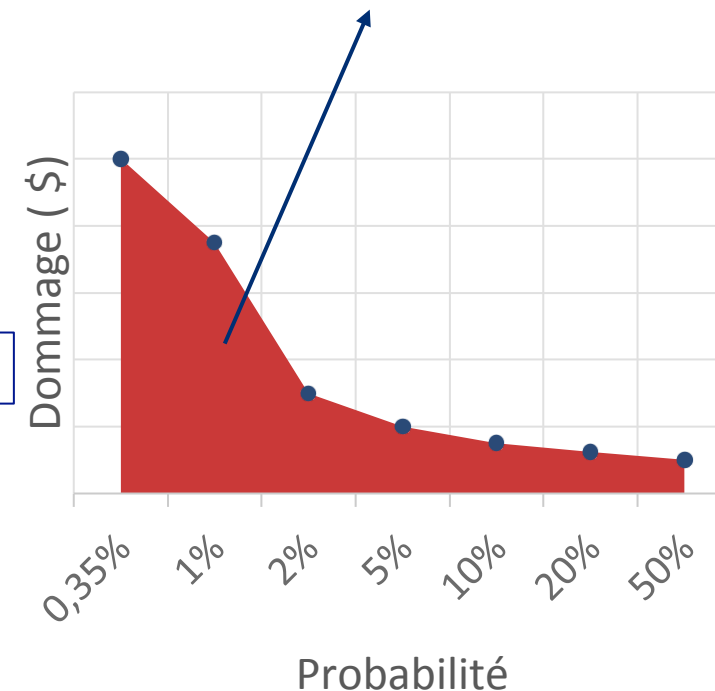
Facteur de risque



Coûts par évènements

- Dommages agricoles
- Pertes récréotouristiques
- Dommages aux bâtiments
- Coût de gestion des urgences*
- Coûts psycho-sociaux
- Interruption routière
- Coûts évacuations

Domage annuel moyen

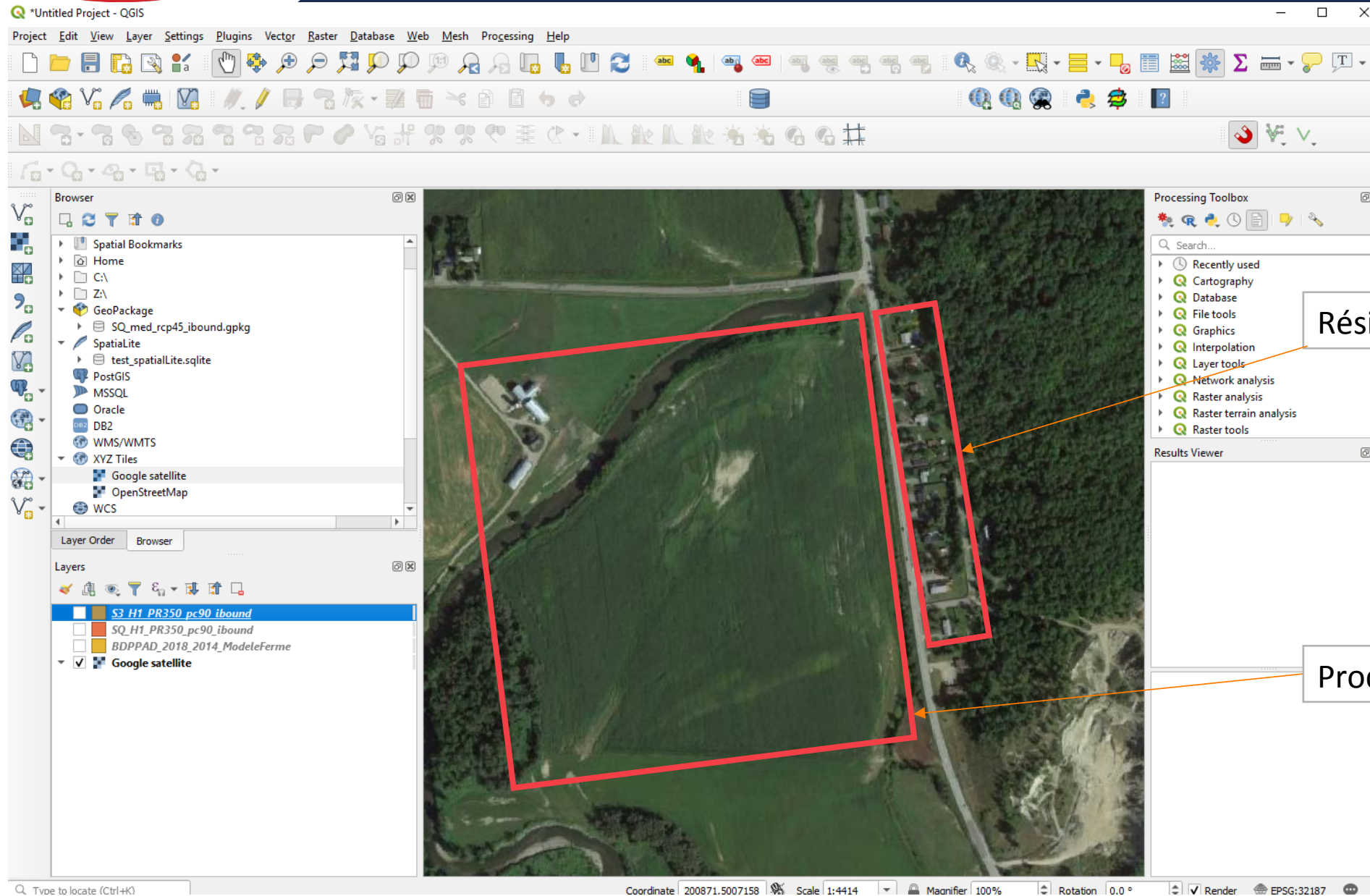


Zone d'érosion et d'encrochement

Efforts d'encrochement futurs

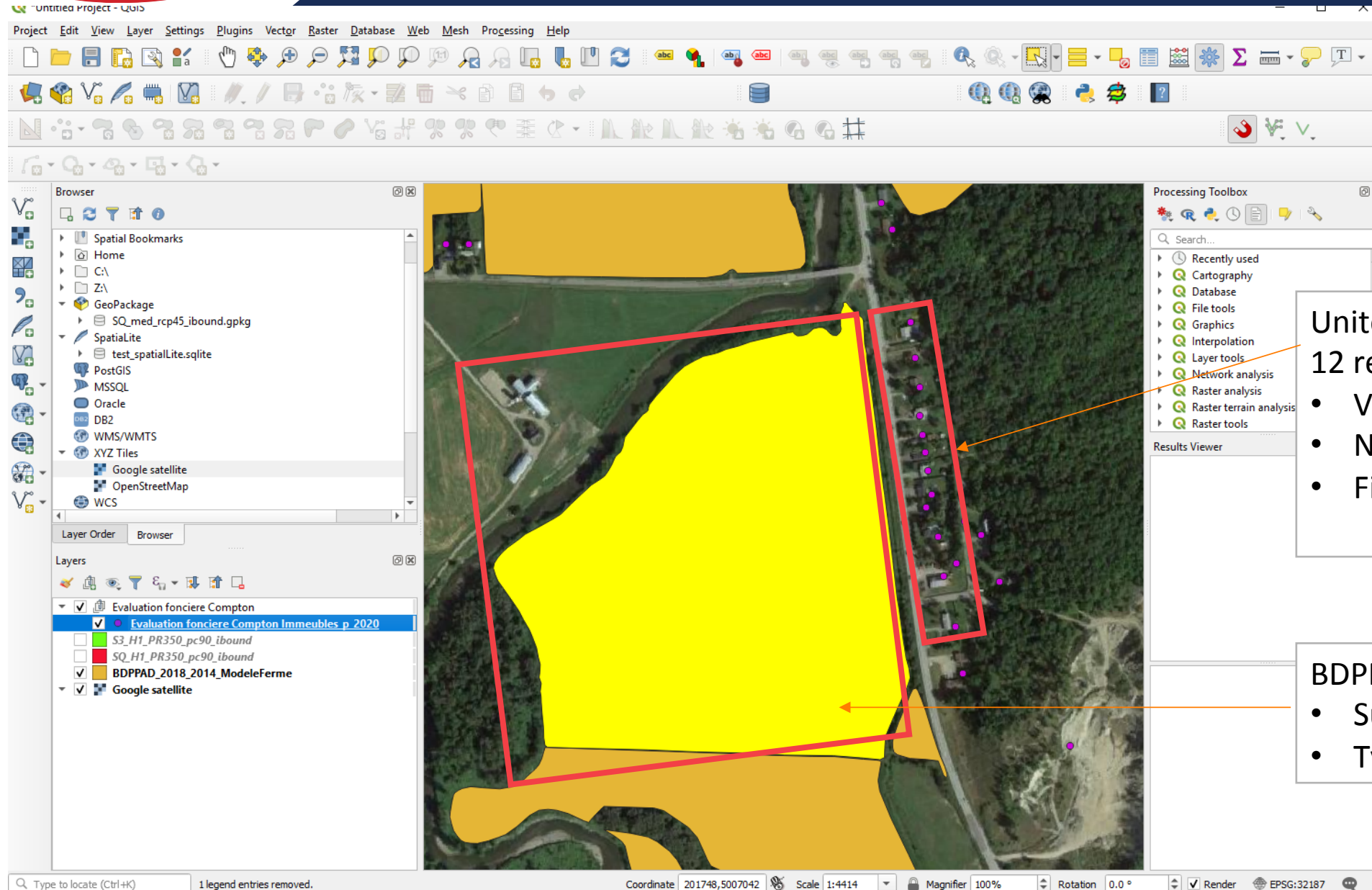
- Pertes de terres par érosion des berges

*<https://www.ouranos.ca/wp-content/uploads/RapportMorse2018.pdf>



Résidences

Production agricole



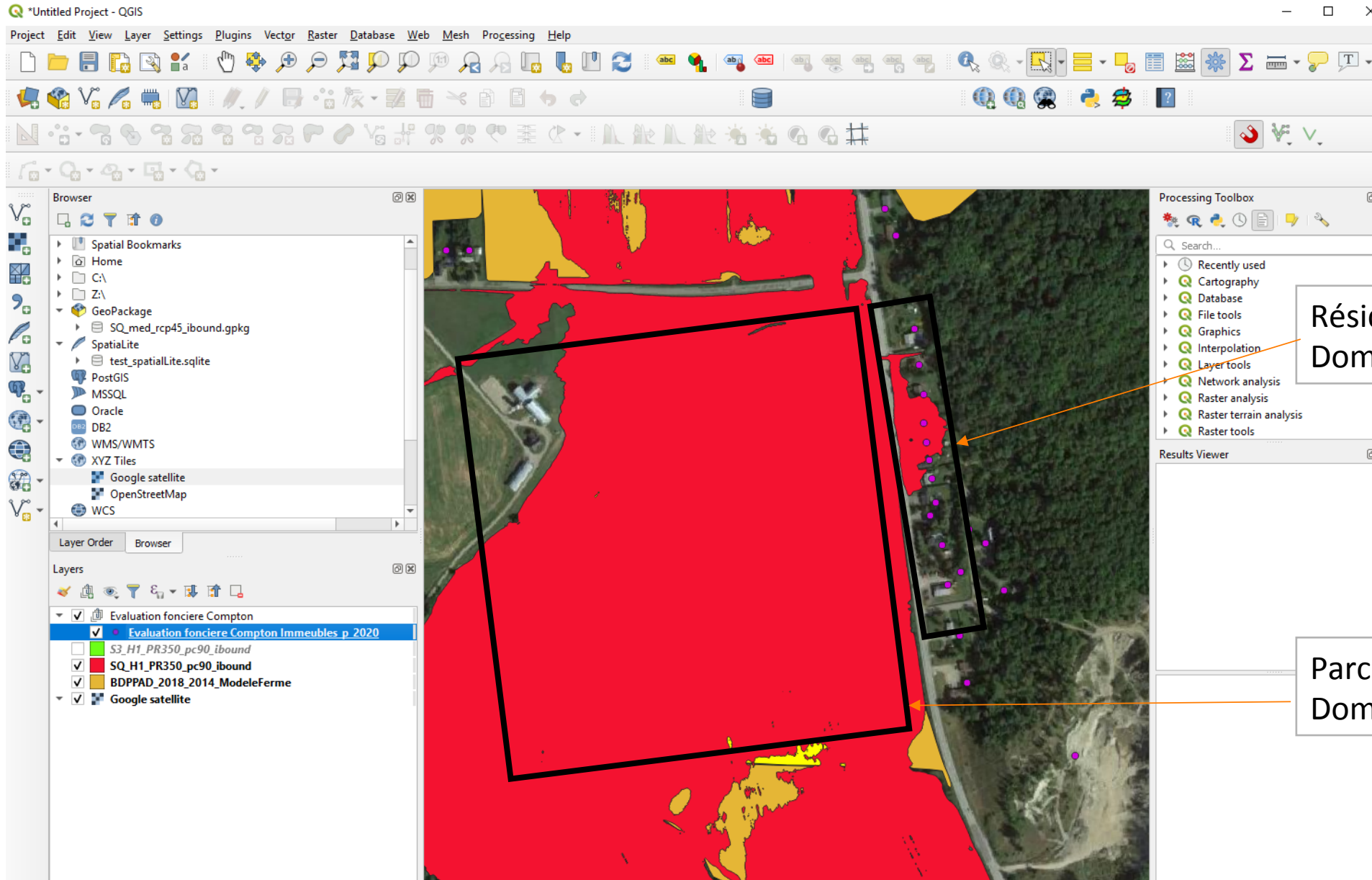
Unité d'évaluation foncière:

12 résidences:

- Valeur foncière
- Nombre d'étage
- Finition du sous-sol*

BDPPAD:

- Superficie
- Type de cultures

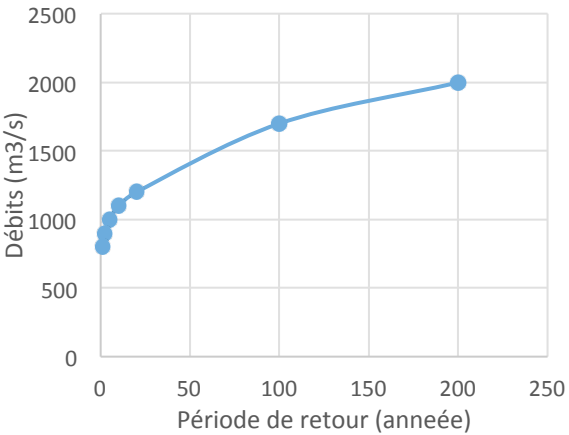


Résidences inondées:
Dommages = ? \$

Parcelle inondée:
Dommages = ? \$



Perte de revenus agricoles



Source : MEDD

Mois de l'année :	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Perte pondérée
Probabilité d'inondation (%), source : modélisation hydrologique													
Horizon, RCP	0%	2%	0%	6%	58%	9%	5%	3%	3%	8%	6%	0%	-
Pertes de rendement (%), source : adapté de Penning-RowSELL (2013)													
Céréales	0	0	0	30	55	80	10	10	50	0	0	0	50%
Foin	0	0	0	10	55	40	6	4	0	0	0	0	37%
Pâturage	0	0	0	9	7	5	5	4	0	0	0	0	5%

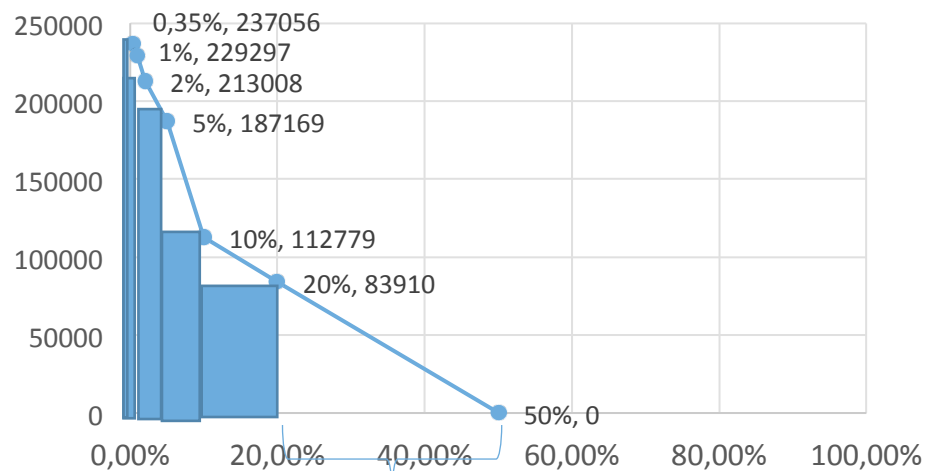
Période de retour	Probabilité	Superficie inondée	Domage
2	0,3	0 ha	0 \$
5	0,1	8 ha	1 576 \$
10	0,05	13 ha	2 561 \$
20	0,03	17 ha	3 349 \$
50	0,01	18 ha	3 546 \$
100	0,0065	20 ha	3 940 \$
350	0,0035	21 ha	4 137 \$
Domage annuel moyen (DAM)= prob*dommage			462 \$

Culture	Proportion en rotation	Perte de rendement pondérée	Marge sur coûts variables	Perte de revenus nets pondérée
	(A)	(B)	(C)	(D = B x C)
Maïs-fourrager	13 %	50 %	1000 \$/ ha	504 \$/ ha
Soya	13 %	50 %	598,5 \$/ha	302 \$/ha
Avoine	13 %	50 %	311 \$/ha	157 \$/ha
Foin	60 %	37 %	329 \$/ ha	120 \$/ha
Source :		BDPPAD	CRAAQ	-
Domages agricoles à l'échelle de la parcelle en rotation :				197 \$ / ha inondé
				(A x D)



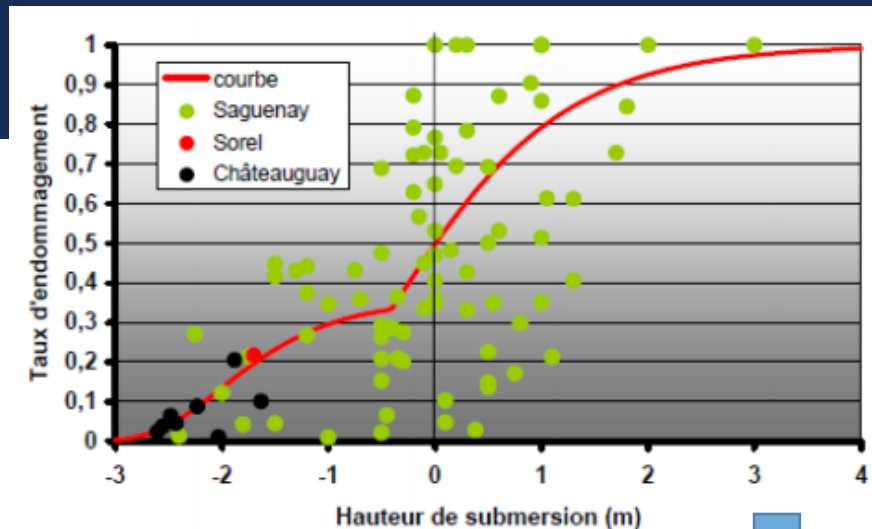
Maison 1:
1 étage, sous-sol fini, 200 000 \$
Profondeur de submersion: 0,5m

Maison 2:
2 étages, sans sous-sol, 200 000 \$
Profondeur de submersion: 0,5m



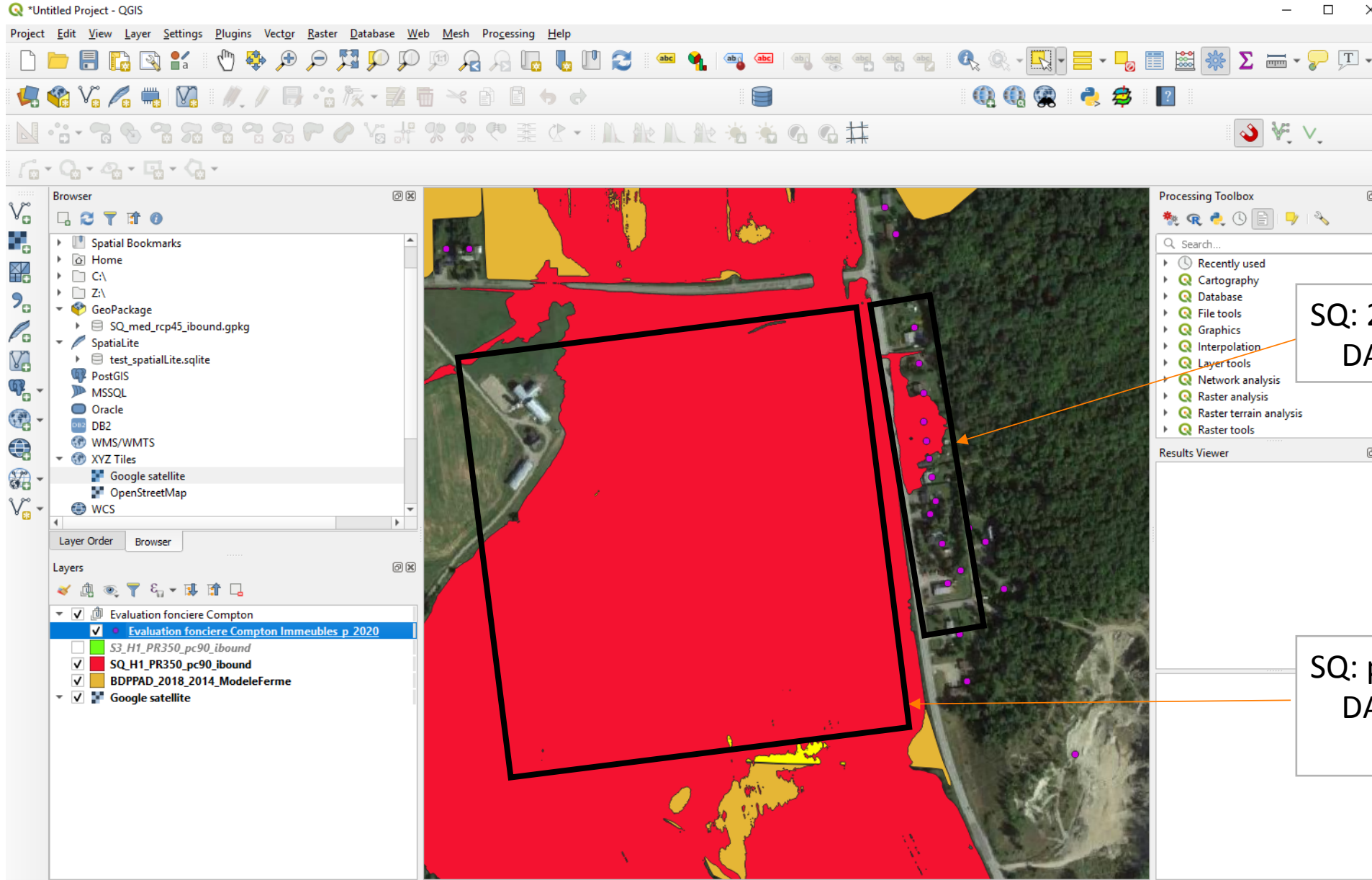
30 %

Probabilité d'occurrence



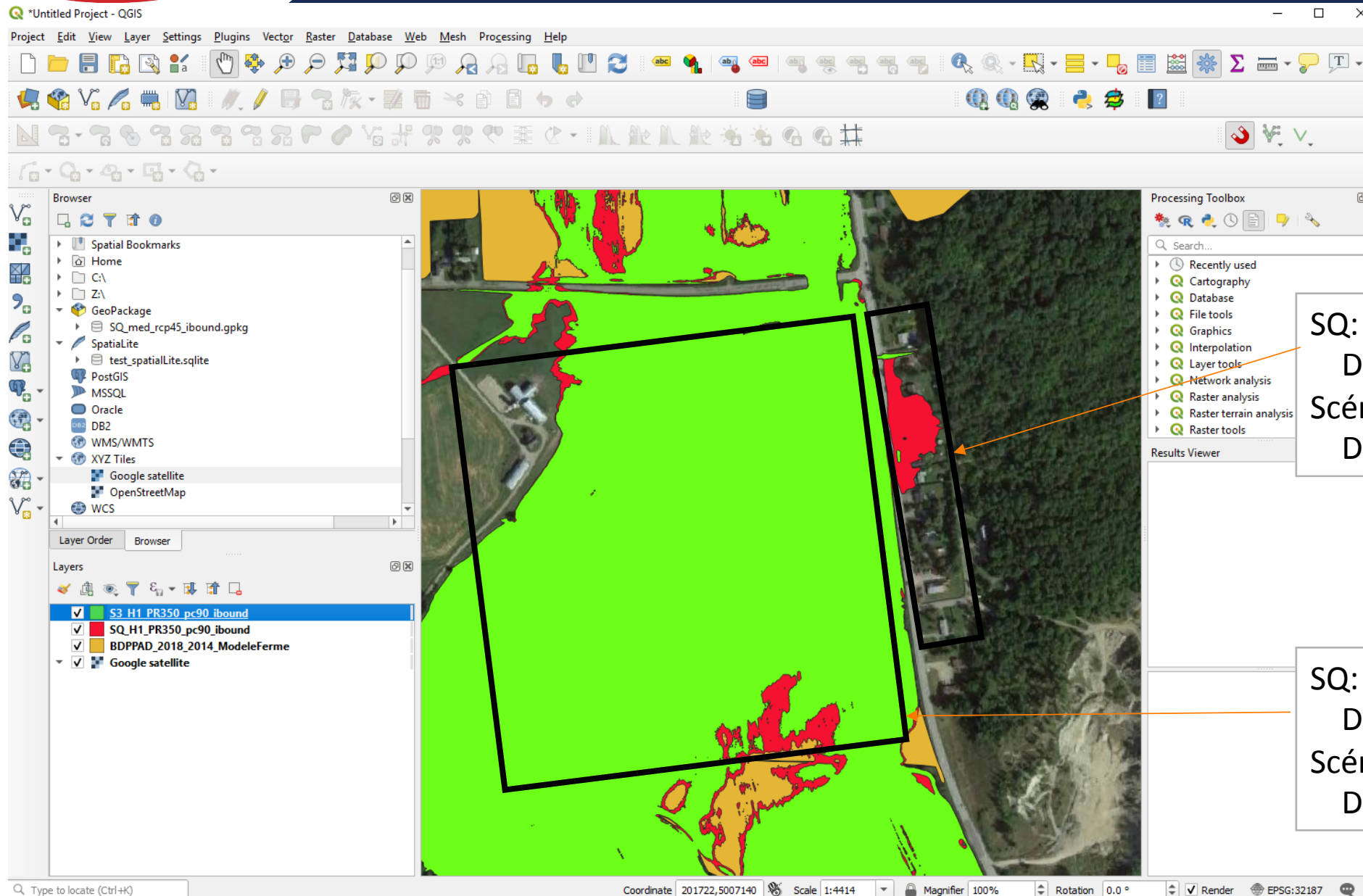
6 courbes disponibles, Source : Bonnifait, 2005
Alternative: Leclerc et al., 2021

Période de retour	Proba- lité	Taux d'endomm.		Dommages		Dommages totaux
		M. 1	M.2	M. 1	M.2	
2	0,3	0 %	0 %	0	0	0 \$
5	0,1	38%	4%	75 538	8 372	83 910 \$
10	0,05	50%	7%	99 317	13 462	112 779 \$
20	0,03	65%	28%	130 532	56 637	187 169 \$
50	0,01	70%	37%	139 285	73 723	213 008 \$
100	0,0065	72%	42%	144 634	84 663	229 297 \$
350	0,0035	74%	45%	147 165	89 891	237 056 \$
Dommage annuel moyen (DAM)						24 095 \$



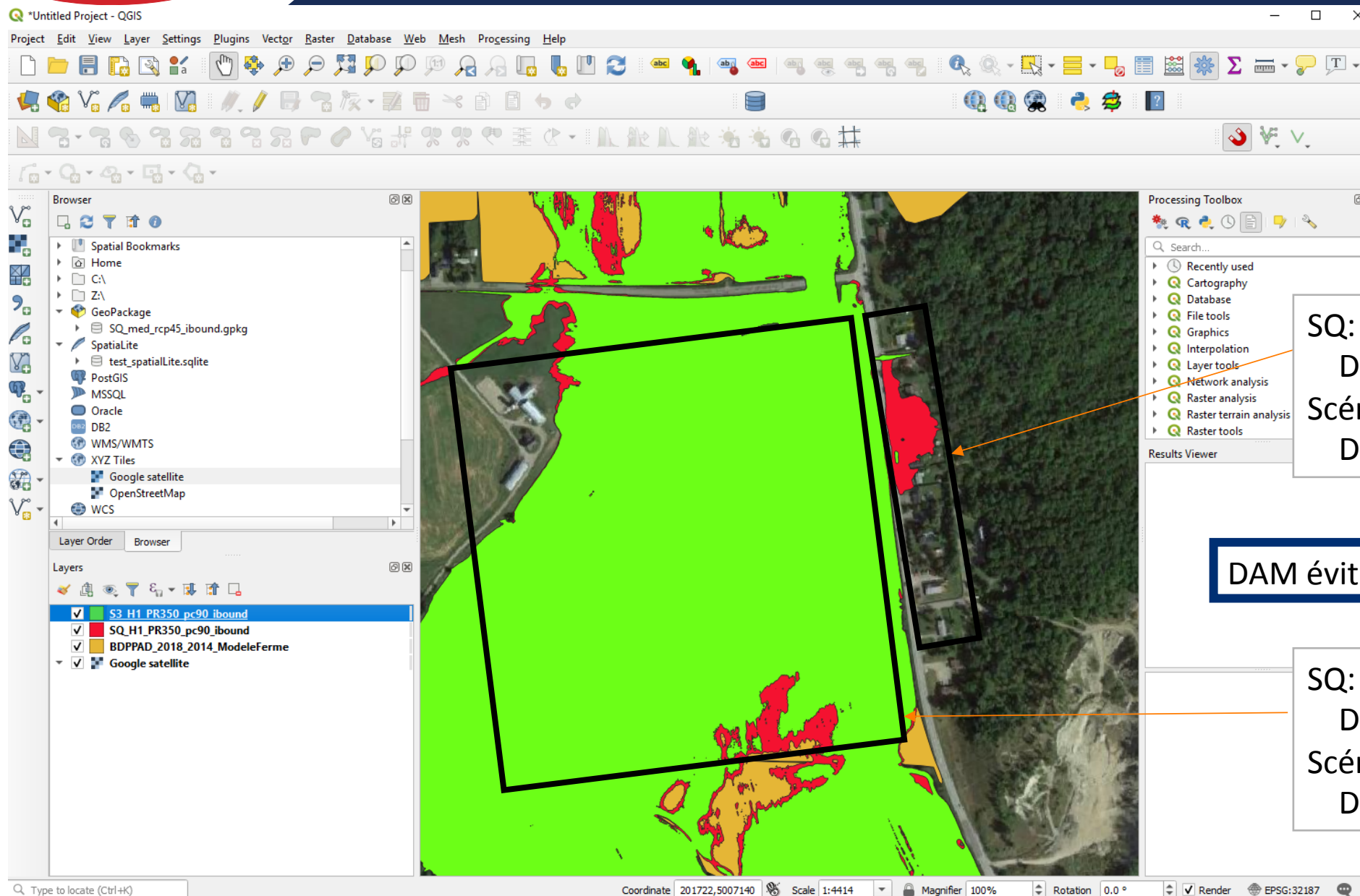
SQ: 2 résidences inondées:
DAM = 24 095 \$

SQ: parcelle agricole inondée
DAM = 462 \$



SQ: 2 résidences inondées
DAM = 24 095 \$
Scénario d'adaptation:
DAM = 5 000 \$

SQ: parcelle agricole inondée
DAM = 462 \$
Scénario d'adaptation:
DAM = 200 \$



SQ: 2 résidences inondées
DAM = 24 095 \$
Scénario d'adaptation:
DAM = 5 000 \$

DAM évités: 20 357 \$ (70 % évités)

SQ: parcelle agricole inondée
DAM = 462 \$
Scénario d'adaptation:
DAM = 200 \$

Calcul des indicateurs économiques

Année	Facteur d'actualisation	Coût des mesures DAM évités	Services écosystémiques	Valeur annuelle actualisée
0	1,00	(1 385 139) \$	177 200 \$	4 480 \$
1	0,96	(313 182) \$	177 200 \$	4 480 \$
2	0,92	(293 071) \$	177 200 \$	4 480 \$
3	0,89	(11 634) \$	177 200 \$	4 480 \$
4	0,85	(7 458) \$	177 200 \$	4 480 \$
5	0,82	- \$	177 200 \$	4 480 \$
6	0,79	- \$	177 200 \$	4 480 \$
7	0,76	- \$	177 200 \$	4 480 \$
8	0,73	(530 947) \$	177 200 \$	4 480 \$
9	0,70	- \$	177 200 \$	4 480 \$
10	0,68	(303 021) \$	177 200 \$	3 535 \$
11	0,65	(14 601) \$	177 200 \$	3 535 \$
12	0,62	- \$	177 200 \$	3 535 \$
13	0,60	- \$	177 200 \$	3 535 \$
14	0,58	- \$	177 200 \$	3 535 \$
15	0,56	- \$	177 200 \$	3 535 \$
16	0,53	(387 957) \$	177 200 \$	3 535 \$
17	0,51	- \$	177 200 \$	3 535 \$
18	0,49	- \$	177 200 \$	3 535 \$
19	0,47	- \$	177 200 \$	3 535 \$
20	0,46	(204 710) \$	177 200 \$	3 535 \$
21	0,66	- \$	180 005,00 \$	3 535 \$
22	0,65	(14 539) \$	180 005,00 \$	3 535 \$
23	0,63	- \$	180 005,00 \$	3 535 \$
24	0,62	(451 766) \$	180 005,00 \$	3 535 \$
25	0,61	- \$	180 005,00 \$	3 535 \$

VAN = -663 878 M \$
Ratio AC = 0,83 \$

Limites:

- **Disponibilité des données**
- **Calibration des dommages économiques**
- **Nombreuses hypothèses**

Avantages:

- **Exhaustivité de l'évaluation**
- **Permet de comparer de nombreux scénarios différents**
- **Indicateur économique commun**

1. Définir le scénario de référence

2. Identifier les stratégies d'adaptation

3. Calculer les coûts et les bénéfices des scénarios

4. Comparer les coûts et les bénéfices des scénarios

5. S'assurer que les résultats sont robustes

- 1) Quelles étapes sont bien maîtrisées?**
- 2) Niveau de confiance à participer à un projet d'ACA?**
- 3) Quelles étapes sont moins bien maîtrisées?**
- 4) Solution: outils informatiques ?**
- 5) Si oui, excel, R ou python ?**