

Analyse coûts-avantages de l'adaptation aux inondations et aux risques fluviaux en contexte de changements climatiques

Risques fluviaux : ex. inondations, embâcles, érosion des berges...



Présentatrice :

Ursule Boyer-Villemaire

Collaborateurs :

Annabelle Lamy, Raphaël Desjardins, Caroline Simard,
Hugo Morin, Dorothy Heinrich, Mélanie Trudel,
Jérémy Roques, Salma Gobji, Mohammad
Bizhanimanzar, Robert Leconte

24e Rendez-Vous des OBV, 15 juin 2021

Plan de la présentation



Introduction et design général



Mobilisation des parties prenantes



Analyse des inondations en climat futur



Analyse coûts-avantages



Retombées et limites pour l'adaptation



Rivière Sainte-Anne



Rivière Richelieu



Rivière Saint-Charles

- 1991-2012 : 189 M\$ par année au Québec (\$ de 2012)
- Aléa climatique le plus dommageable
- Besoin d'outiller les communautés



Rivière Chaudière



Rivière Coaticook



Rivière Lorette



Rivière des Outaouais



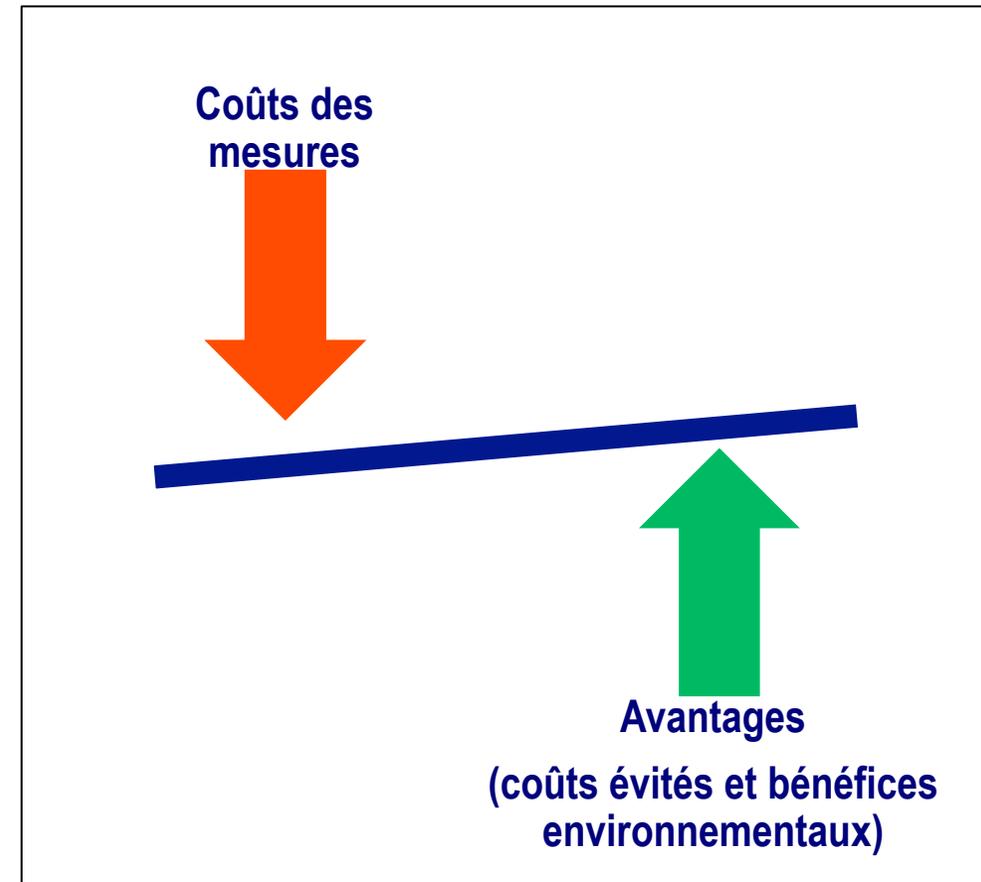
Rivière Matane



Rivière aux Chiens

Pourquoi l'ACA :

- 1) Nous devons faire des choix
 - 2) Les enjeux et les acteurs sont multiples
 - 3) Les ressources sont limitées
- Optimisation du bien-être collectif
 - Favorable à l'intégration des changements climatiques (50 ans)
 - Expertise à Ouranos



Objectif général : outiller les communautés aux prises avec les problématiques d'inondations riveraines et autres aléas fluviaux en produisant une analyse économique de l'ensemble des coûts et avantages de diverses solutions d'adaptation.





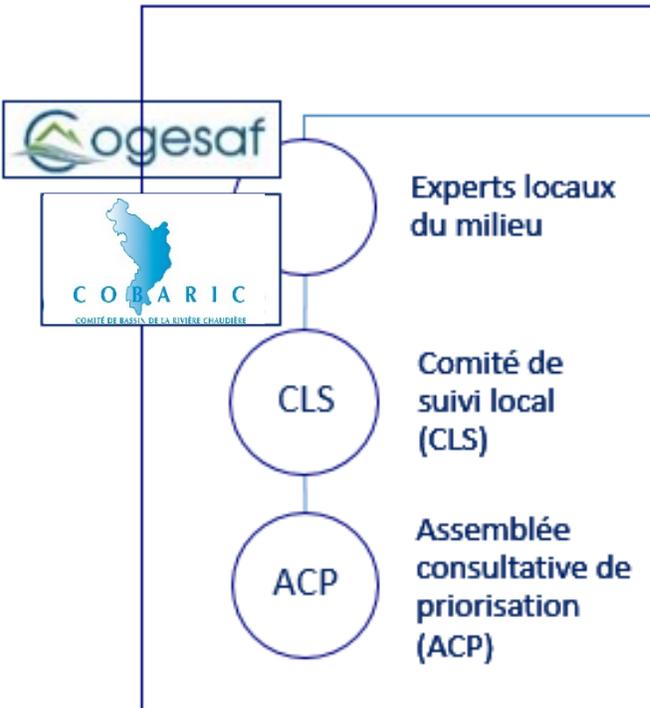
Un projet collaboratif



Comité de suivi

OURANOS
Coordination –
Experts en adaptation

Instances participatives



ROBVQ
Regroupement des organismes de bassins versants du Québec

Expert en mobilisation

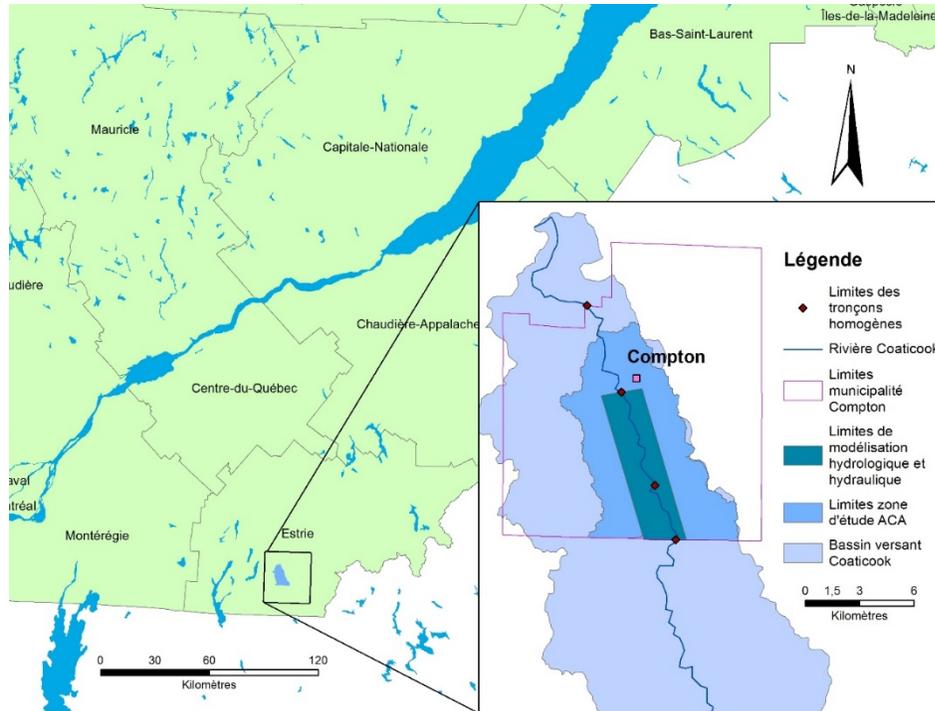


UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE
UNIVERSITÉ LAVAL
Experts en analyse des aléas et CC (hydrologique, hydraulique, hydrogéomorphologique)



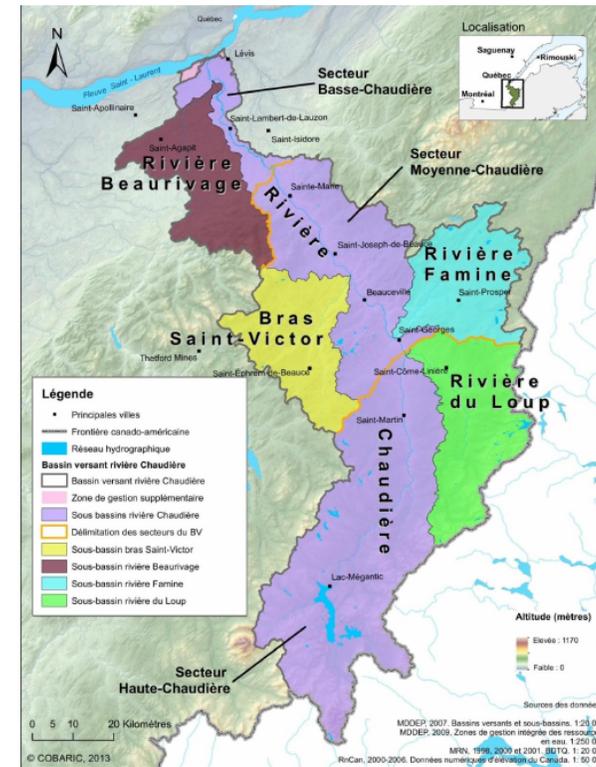
OURANOS
Expert en évaluation d'impacts, adaptation et prise de décision

Comité technique



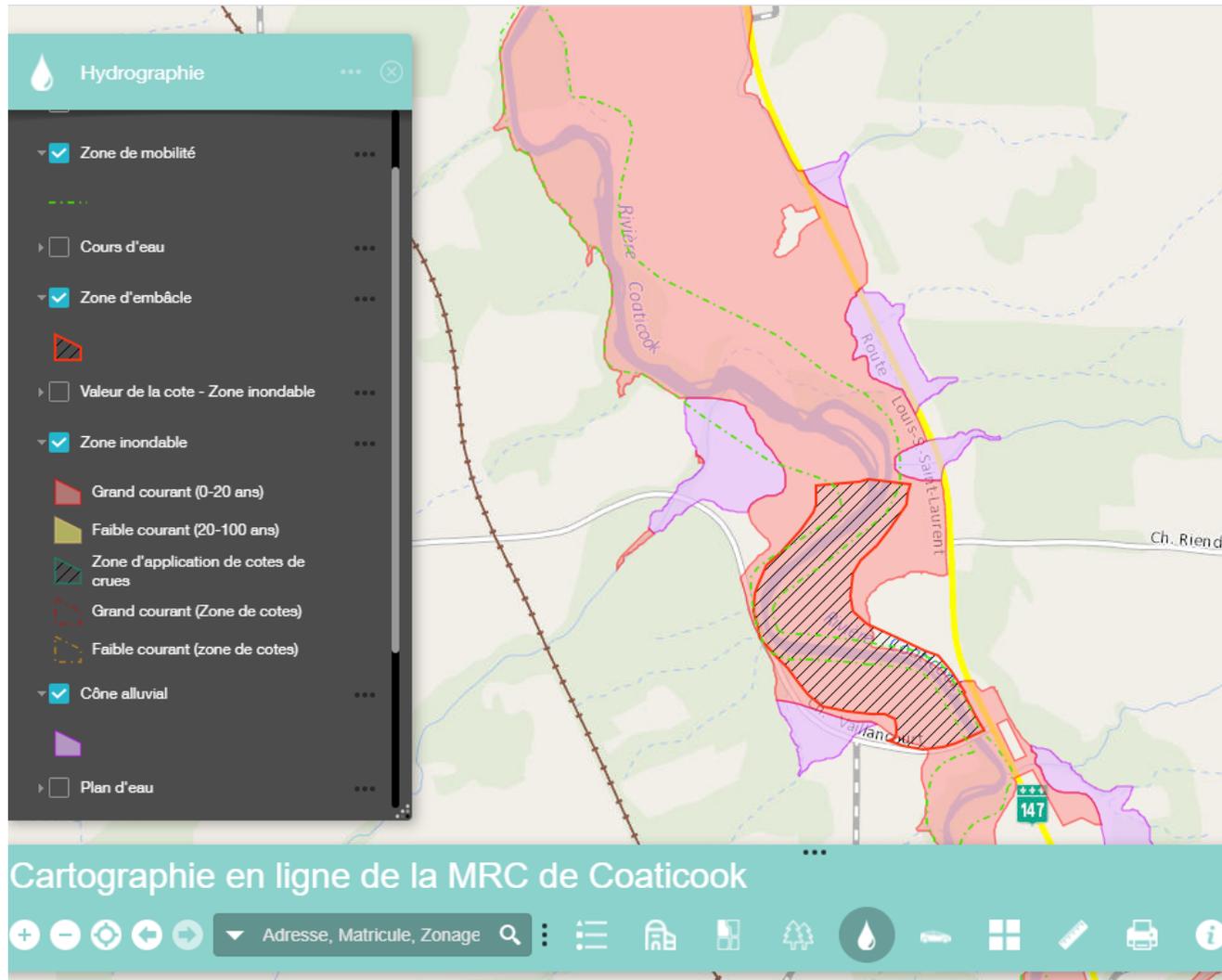
Rivière Coaticook, municipalité de Compton :

- **Évènements historiques** : 2011, 2015, 2019
- **Aléas** : inondation en eau libre, érosion, cônes alluviaux.
- **Enjeu dominant** : agricole.
- **Contexte favorable** : communauté Rés-Alliance.



Rivière Chaudière, bassin versant :

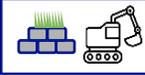
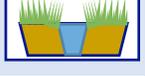
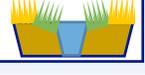
- **Inondations récurrentes**
- **Aléas** : inondations en eau libre et embâcles de glace
- **Enjeu dominant** : urbain
- **Contexte favorable** : élaboration du PRMHH



	Aléas	Probabiliste
Compton	Inondation en eau libre	Oui
	Érosion des berges	Oui
	Inondation par embâcle	Non
	Cônes alluviaux	Non
	Avulsion	Non
Chaudière	Inondation en eau libre	Oui
	Érosion des berges	Non
	Inondation par embâcle de glace	Non

Catégories		Exemples
Structurelles ou physiques	Ingénierie et environnement bâti	Digues , barrages, dragage , aménagements hydro-agricoles
	Technologiques	Système de prévision et d'alerte, système d'irrigation intelligent
	Bio-ingénierie ou basées sur les écosystèmes	Restauration des MHH , corridor de mobilité
Sociales	Comportementales	Préparation de l'évacuation, retrait des actifs de valeur des sous-sols
	Éducation	Travail de sensibilisation, service de vulgarisation, recherche participative
Institutionnelles	Économiques	Incitation financière à la relocalisation , assurances, paiements pour services écologiques
	Loi et réglementation	Loi de zonage, loi ou accord sur l'eau, normes et pratiques du bâtiment
	Politiques et programmes	Plan régionaux d'adaptation, PRMHH , programme de diversification

Les scénarios d'adaptation

	Coût du statu quo (RCP 4.5 – 8.5)	Scénarios d'adaptation		
		Description	Rentabilité	Modélisation HH
Compton	4,50 – 4,97 M \$	1. Stabilisation avec dragage 	\$	X
		2. Stabilisation avec rétention acceptable 	\$	X
		3. Stabilisation avec bassin surdimensionné 	\$	X
		4. Mobilité efficace 	\$\$	
		5. Mobilité avec corridor multialéa et usage durable 	\$\$\$	
		6. Adaptation des pratiques agricoles 	\$\$	
		7. Combinaison de MOB-HYB et PRA 	\$	
Chaudière	39,34 – 43,39 M \$	1. Milieux humides et hydriques acceptables 	\$	X
		2. Milieux humides et hydriques efficaces 	\$	X
		3. Immunisation collective 	\$	
		4. Milieux humides et hydriques acceptables + immunisation individuelle 	\$\$	
		5. Milieux humides et hydriques distribués + immunisation individuelle 	\$\$	

Mobilisation des parties prenantes



Introduction et design général



Mobilisation des parties prenantes



Analyse des inondations en climat futur



Analyse coûts-avantages



Retombées et limites pour l'adaptation

Structure régionale	Composition	Rôles	Nb. rencontres	Retombées
CT – Comité Technique	<ul style="list-style-type: none"> • Ouranos (Modélisation économique) • COGESAF (Mobilisation et expertise terrain) • ROBVQ (Mobilisation) • Université Sherbrooke (Modélisations hydrologique et hydraulique et expertise terrain) 	Assurer la coordination, la mise en œuvre et l'arrimage de chacune des composantes de l'étude	5	<ul style="list-style-type: none"> • Coordination • Design de l'étude • Production des résultats de modélisations • Analyses
CLS – Comité Local de Suivi	<ul style="list-style-type: none"> • Union des Producteurs Agricoles d'Estrie, • MRC de Coaticook, • Municipalité de Compton, • Autre représentant du milieu agricole, • Comité technique 	Accompagner la mobilisation et assurer le meilleur arrimage des hypothèses de travail aux réalités et attentes du territoire	5	<ul style="list-style-type: none"> • Validation des hypothèses et de la méthodologie • Enrichissement méthodologique • Choix sur la structure et la composition des groupes d'utilisateurs pour l'ACP • Validation des résultats et des choix pour la diffusion de ceux-ci
ACP – Assemblée Consultative de Priorisation	<ul style="list-style-type: none"> • 11 agriculteurs 	Transférer le savoir empirique, identifier et prioriser les solutions pouvant être mises en œuvre pour pallier à la problématique.	2	<ul style="list-style-type: none"> • Transmission de connaissances locales sur l'aléa et ses impacts • Identification des éléments tangibles et intangibles complémentaires à inclure dans l'ACA • Co-construction de mesures d'adaptation à considérer • Priorisation des mesures pouvant être déployées

Mandats et objectifs de jury citoyen de type ACP

- Basé sur la démarche des assemblées consultatives de priorisation (ACP) :

« Le mandat principal des membres de l'assemblée citoyenne sera d'identifier et de prioriser les mesures d'adaptation à analyser. »

Source: Sow (2019)



Objectifs :

1. Prendre en compte l'acceptabilité sociale des mesures d'adaptation
2. Créer l'adhésion des principales parties prenantes aux solutions soumises à analyse et
3. Faciliter le processus de transfert (appropriation et utilisation) par les acteurs locaux en fin de projet.
4. Apporter un regard terrain sur la problématique et
5. Prendre en compte les préoccupations des acteurs locaux dans l'analyse économique



La démarche participative



CLS: Comité local de suivi

ACP: Assemblée consultative de priorisation

Audition d'experts

- 1) Changements climatiques et sites d'étude
- 2) Solutions



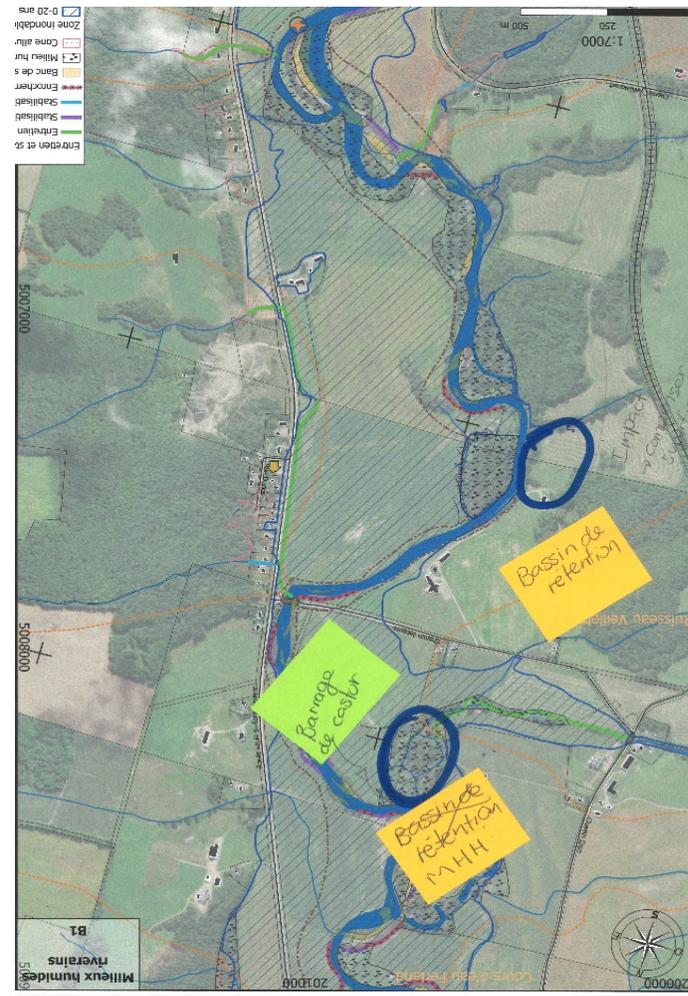
Cartographie participative (segments ou sous-bassin)

- 1) Impacts / 2) Solutions

Plénière sur les préoccupations

Résultats

1. Impacts cartographiés des inondations
2. 3-4 scénarios concertés de solutions d'adaptation à analyser
3. Impacts cartographiés des solutions
4. Liste locale des impacts indirects



1. Entretien semi-dirigé - Vers l'identification d'obstacles à la mise en oeuvre et de leurs solutions, 30 min

Préoccupations

Quelles sont les préoccupations résiduelles (intangibles) ?

- Préoccupation 1. Len. Concerné par les cônes alluviaux >> Pas vraiment concerné par les pertes agricoles en bord de la rivière. Me concernant, quelle probabilité ? Pas définis, on est en mode solution
- Préoccupation 2. Masson >> Le prix des terrains ne sont pas représentatifs; fortement sous évalués de près de 10000\$
- Préoccupation 3. Lachance >> Dragage; réutiliserait des bancs de gravelle après dragage. Valorisation des produits non inclus dans l'analyse>boni pouvant être [per,u tous les ans
- Préoccupation 4. Lach. Vraiment consulter les personnes sur les mesures qui vont être entreprises. S'assurer que c'est bien vu. Ouverture à l'installation de mini bassins
- Préoccupation 5. Lach. On a toujours fait avec. Difficultés de percevoir les avantages au niveau agricole car les inondations seront toujours là.
- Déception de ne rien pouvoir faire avec le dragage > ça n'a pas d'impact sur le débit (B.H)

Quelles sont leur importance relative ?

- Préoccupation 1. Moy /// Préoccupation 2. Forte /// Préoccupation 3. Moy@fort /// Préoccupation 4. Forte /// Preoccupation 5. MOy

Obstacles aux solutions

Quels sont les facteurs de résistance si l'appropriation des solutions n'est pas consensuelle ?

- Obstacle 1. Il va falloir faire avec la rivière pas vraiment la combattre
- Obstacle 2. Pas vraiment prêt à céder de terrain; déjà très difficile de se procurer de nouvelles terres
- Obstacle 3. Impacts sur les écosyst // de moins en moins permis par le cadre réglementaire.

Pistes de solutions

Que pourrions-nous envisager pour faciliter la faisabilité et la mise en oeuvre ?

- Solution 1. Il va falloir faire avec la rivière pas vraiment la combattre
- Solution 2. Faciliter l'accès au territoires agricoles / foret et autres usages - Solution UPA; réévaluer les coûts. Lorsqu'on perd de la superficie on peut compenser VS cout de la perte. Mais cela pose un problème vis à vis de la taille minimale de terrain pour le bon fonctionnement des exploitation >>> compensation annuelle (à évaluer) . Il faut se pencher sur la question de la taille pou le bon fonctionnement des entreprises.
- Solution 3.facilité de mise en oeuvre
- Solution 4. Dom. Mettre en amont des démarches cohérentes. On est pas sur une approche règlementaires ou d'imposer des projets; il est question d'abord de qcomprendre les attentes / pbs/démarches pouvant être mises en oeuvre
- Remarque COGESAF>> Approche cônes alluviaux; on écarte certaines solutions en concertation. Phase 2 à suivre
- Remarque MRC_ MC_ Sortir des études et passer à l'action. POUR en voir les effect réels; projets pilotes, pratiques agricoles>> effets concret.
- Ne comprends pas pourquoi si difficile à mettre en oeuvre // Quid de nettoyage partiel ? Juste là où il y a une grande acumulation (réfrecne blocage de glace; elle s'accumule au espace de sédimentation et la rivière se déporte dans les champs) ceci est un mécanisme complexe à étudier (I)

Vote sur les 3 scénarios préférés

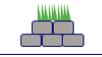
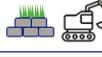
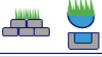
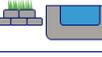
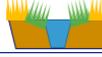
À tour de rôle identifier le premier, second puis finalement 3^e scénario vous paraissant le mieux réponde à vos attente et possibilités d'engagement

Producteur 1 : Heureux d'y avoir participé; au futur" -

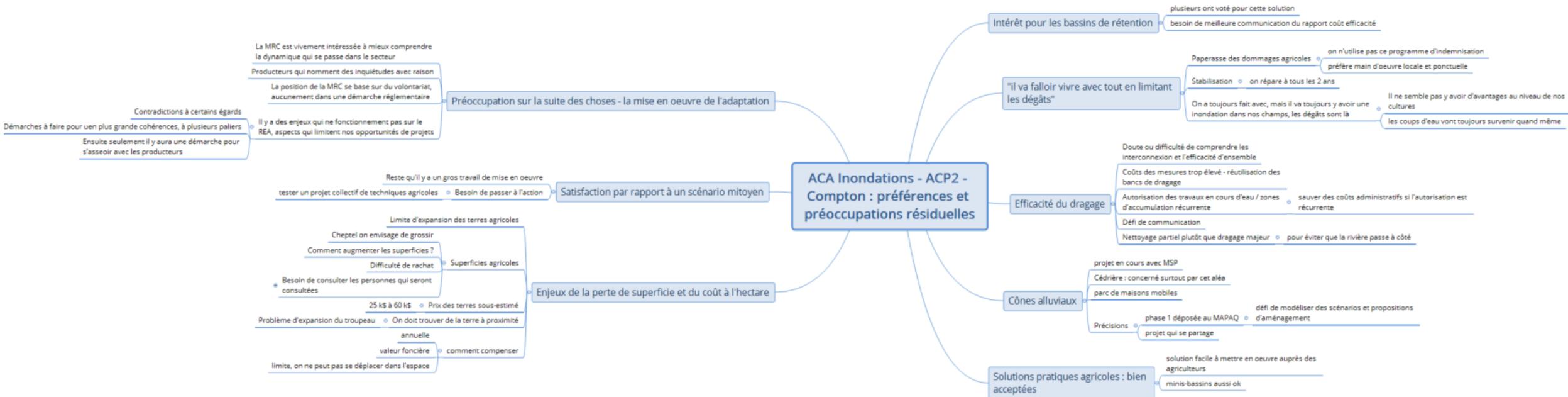
Producteur 2 : Préférence se voir face à face. Pas convaincu par la téléconsultation

Producteur 3 : (4/5) vraiment intéressant, mais toujours inquiétant de voir ce qui va être comme solution

Producteur 4 : -

Scénario		Coûts, bénéfiques et VAN	1er	2e	3ème
SQ		<ul style="list-style-type: none"> • Dominance impacts agricoles : nettoyage des champs; érosion;dommages aux cultures • Dommages : 5 M\$ 		3	
STA-DG		<ul style="list-style-type: none"> • Évitements de 42 % des dommages agricoles • Coût mesure : 6.5 M\$ // VAN = -4.5 M\$ 			1
STA-acc		<ul style="list-style-type: none"> • Évitements de 44 % des dommages agricoles • Coût mesure : 22.7 M\$ + 360 000 \$ compensations + 107 000 \$ environnement // VAN = 20.7 M\$ 			
STA-eff		<ul style="list-style-type: none"> • Évitements de 20 % des dommages agricoles • Coût mesure : 32.7 M\$ + 86 000 \$ compensations // VAN = -31.7 M\$ 	2		1
MOB-eff		<ul style="list-style-type: none"> • Évitements de 100 % des dommages agricoles • Coût mesure : 7.8 M\$ // Bénéfices environnementaux : 4.1 M\$ // VAN = 1.2 M\$ 			
MOB-hyb		<ul style="list-style-type: none"> • Évitements de 70 % des dommages agricoles • Coût mesure : 3.4 M\$ // Bénéfices environnementaux : 2.0 M\$ // VAN = 2.0 M\$ 			1
PRA		<ul style="list-style-type: none"> • Évitements de 41 % des dommages agricoles; réduction estimée de la problématique des cônes alluviaux • Coût mesure : 5.0 M\$ // Bénéfices environnementaux : 3.0 M\$ // VAN = 0.1 M\$ 		1	
MOB-hyb-PRA		<ul style="list-style-type: none"> • Évitements de 70 % des dommages agricoles • Coût mesure : 2.9 M\$ + 3.5 M\$ compensations // Bénéfices environnementaux : 4.4 M\$ // VAN = 1.4 M\$ 	2		

Méthode : utilisation de la carte mentale en simultané



Retombées : préoccupations et pistes consensuelles

ATELIER 1

Aléa

1- Formation: Problématique des inondations

2- Atelier: Cartographie participative

Mesures

3- Formation: Catégories de solutions d'adaptation et présentation de la liste préliminaire

4- Atelier participatif: Échange sur les préoccupations vis-à-vis des solutions

Résultats :

1. Impacts cartographiés des inondations
2. 3-4 scénarios concertés de solutions d'adaptation à analyser
3. Impacts cartographiés des solutions
4. Liste locale des impacts indirects

ATELIER 2

Auditions des experts

5- Modélisation hydrodynamique préliminaire des solutions d'adaptation de l'ACP1

6- Modélisation économique préliminaire de l'efficacité des solutions d'adaptation à réduire les dommages

Évaluation économique des intangibles (optionnel)

7- Atelier délibératif sur des aspects intangibles, obstacles ou opportunités de mise en œuvre des solutions d'adaptation

Exercice de priorisation

8- Exercice de priorisation des mesures d'adaptation par vote (ou AMCS)

Résultats:

1. Identification d'éléments intangibles
2. Liste des limites et pistes d'amélioration
3. Liste des préoccupations résiduelles
4. Priorisation

- Succès de la séquence formation + exercices de cartographie
 - Technique
 - Appropriation du projet
 - Valorisation directe de la contribution aux solutions
- L'engagement d'acteurs locaux (professionnels) une clé pour l'accès aux données locales
- Défi d'adaptation au virtuel
 - Surtout pour certains participants à plus faible littératie numérique
- Ne pas sous-estimer le temps et les compétences requises pour de telles démarches
 - RH – liaison
 - Planification
 - Préparation logistique, matériel
- MAIS valeur ajoutée indiscutable par rapport à une étude dans un bureau
- Pistes d'amélioration
 - Méthode d'assemblée délibérative pour quantifier des intangibles, surtout sociaux
 - Analyse multicritère sociale pour la priorisation (triple perspective)

Analyse des inondations en climat futur



Introduction et design général



Mobilisation des parties prenantes



Analyse des inondations en climat futur



Analyse coûts-avantages



Retombées et limites pour l'adaptation

Changements climatiques

Réchauffement + Augmentation possible des précipitations intenses d'ici la fin du siècle

Sélectionner un indice climatique et une saison

Maximum des précipitations cumulées sur cinq jours pour les mois d'avril à septembre

Horizon

2041-2070

2071-2100

Scénario d'émissions

Modérées

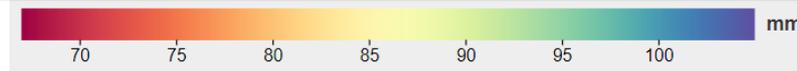
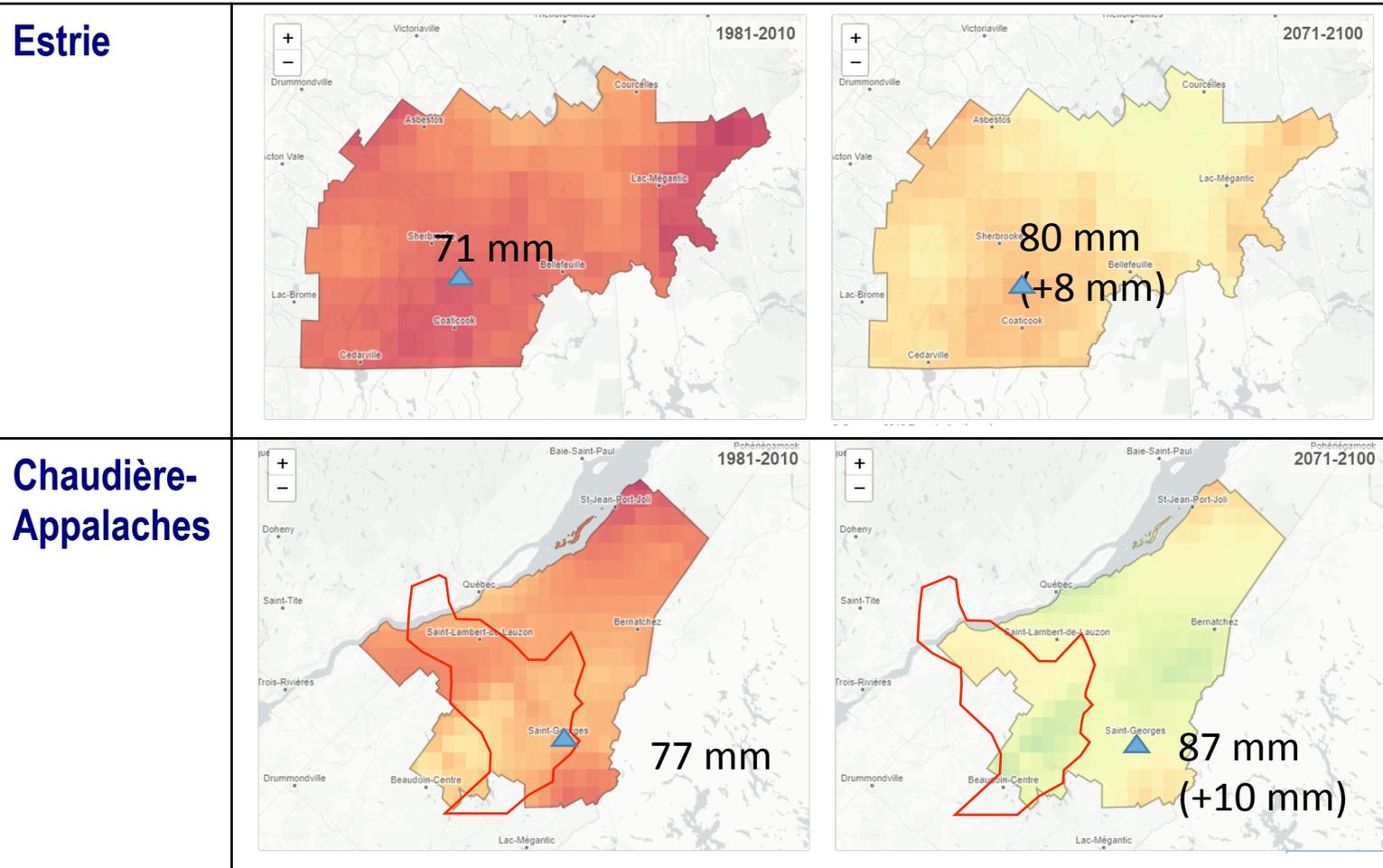
Élevées

Percentile

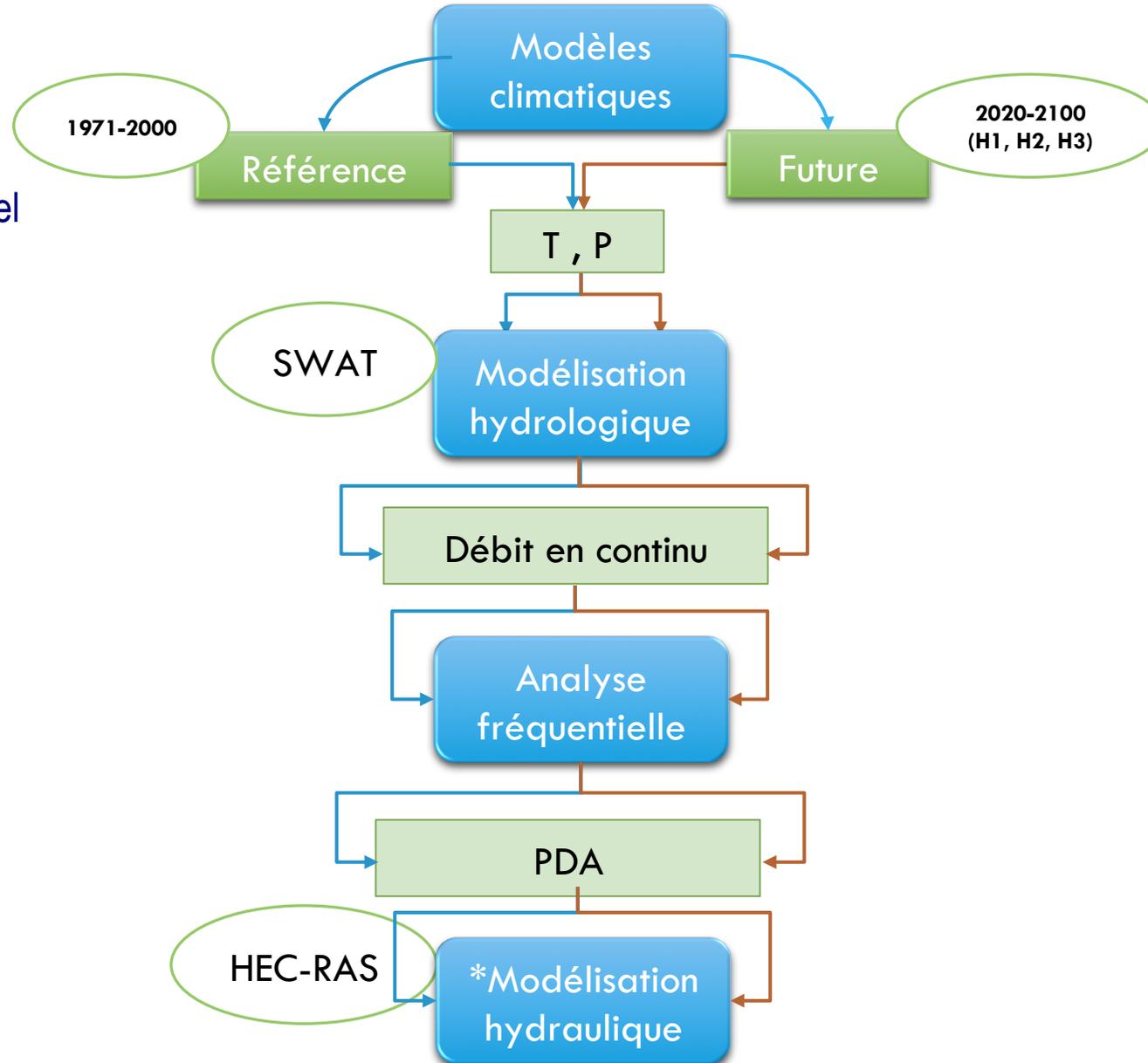
10

50

90



→ Climat actuel
→ Climat futur



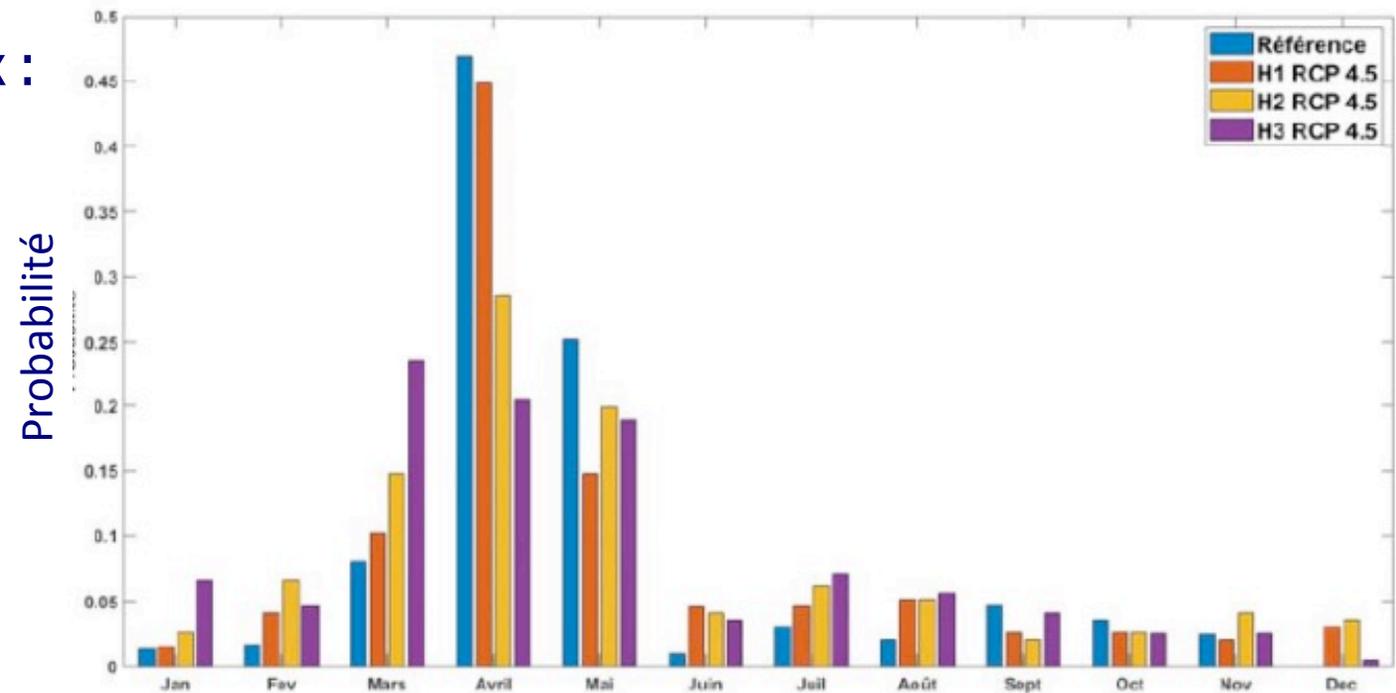
*Méthode géostatistique pour Chaudière

- Changements climatiques : augmentation de température réduit le couvert de neige, modification des précipitations
- Les événements plus exceptionnels augmenteront
- **Hausse des événements extrêmes estivaux : doubleront d'ici la fin du siècle**

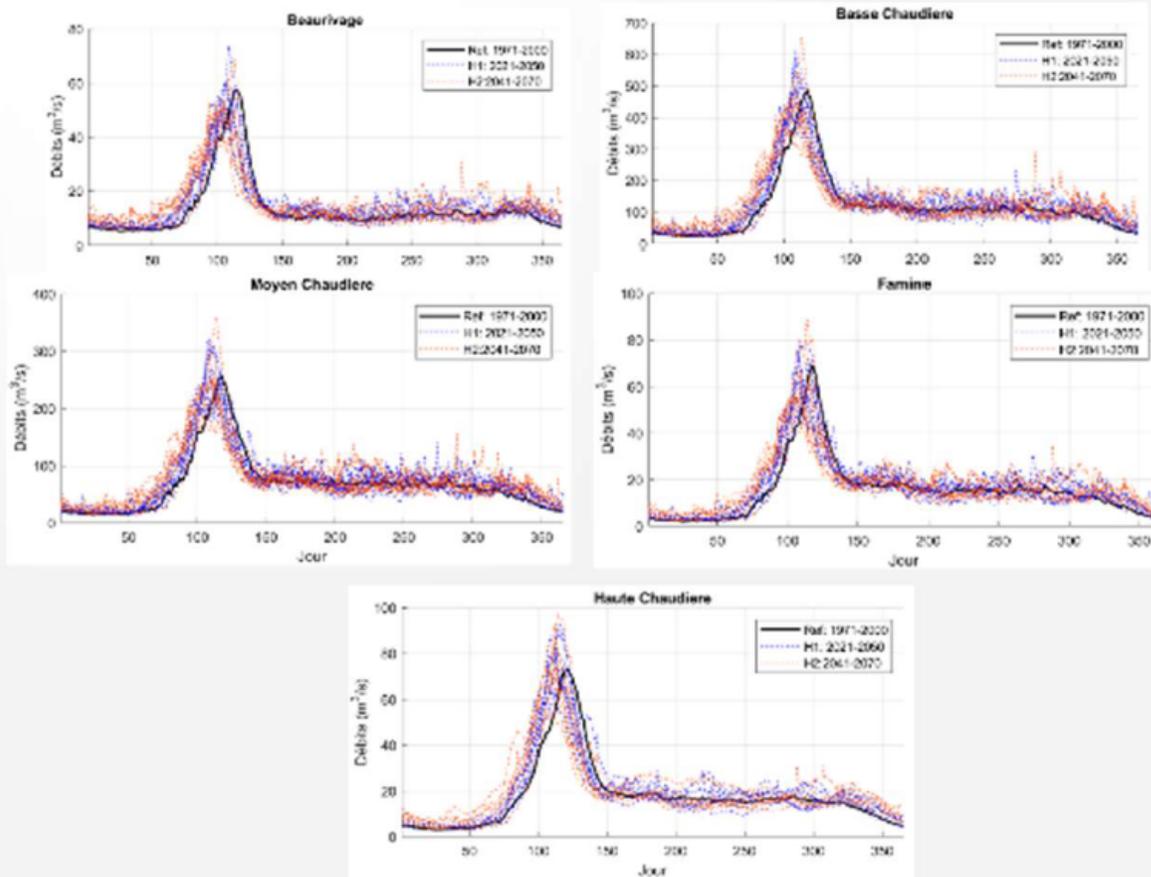
Horizons de temps :

- Référence: 1971-2000
- Horizon 1: 2021-2050
- Horizon 2: 2041-2070
- Horizon 3: 2071-2100

Conséquence : les dommages anticipés au cycle de production agricole iront en augmentant d'ici la fin du siècle



Effet du changement climatique sur la régime hydrologique



- **Observations :**
 - Devancement de la période de crue printanière
 - Débits hivernaux plus élevés
- Moyenne Chaudière : moins de variation
 - Secteur de plaines inondables
- Le changement d'utilisation du territoire empire l'augmentation des crues dans le futur
- **Efficacité de 1 km² de milieu humide :**
 - **MH riverain > MH isolé**
 - MH riverain : **chenal principal > affluents**
 - MH isolé : **aval > amont**

Analyse coûts-avantages



Introduction et design général



Mobilisation des parties prenantes



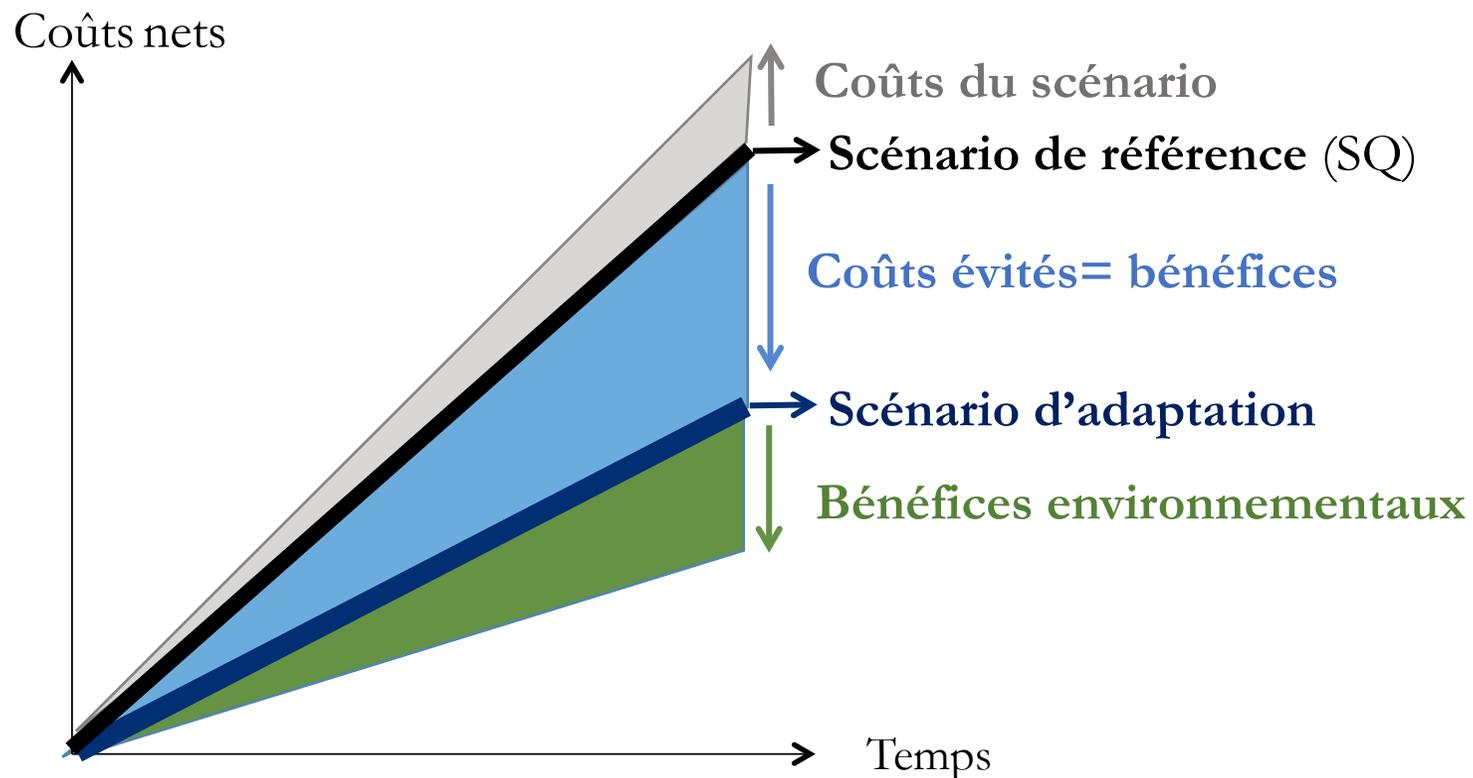
Analyse des inondations en climat futur



Analyse coûts-avantages



Retombées et limites pour l'adaptation



Indicateurs économiques*:

- Valeur actuelle nette (VAN) > 0 \$
- Ratio coûts-avantages > 1 \$
- Coût évités en % du SQ > 0 %

* Dollars constant de 2019

* Taux d'actualisation **décroissant** des montants annuels : 4 %, puis 2 % (CIRANO, 2007; RFF, 2012; Arrow et al., 2014)

Les postes quantifiés



COÛT DES MESURES



COÛTS LIÉS AUX ALÉAS

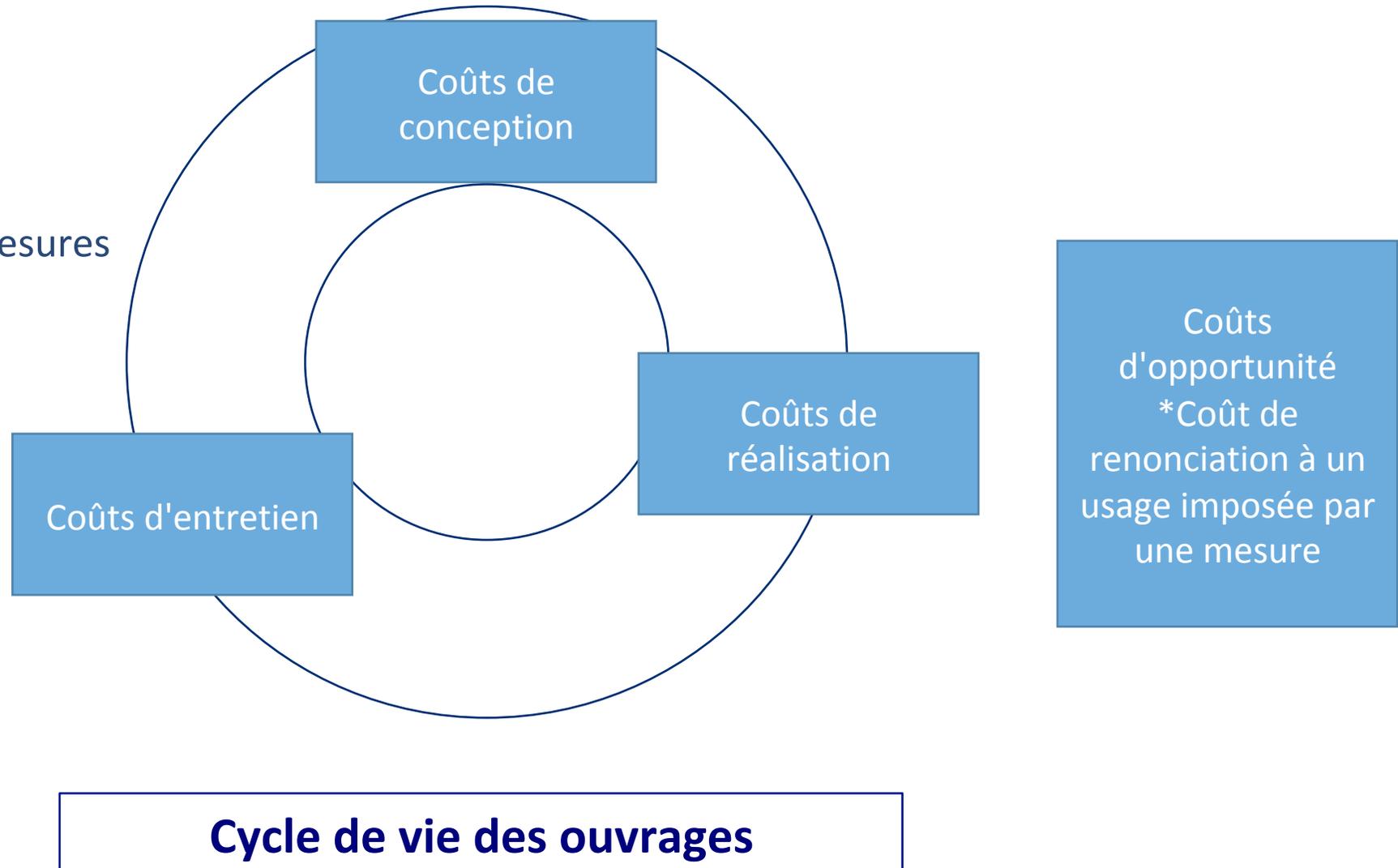


**IMPACTS
ENVIRONNEMENTAUX**



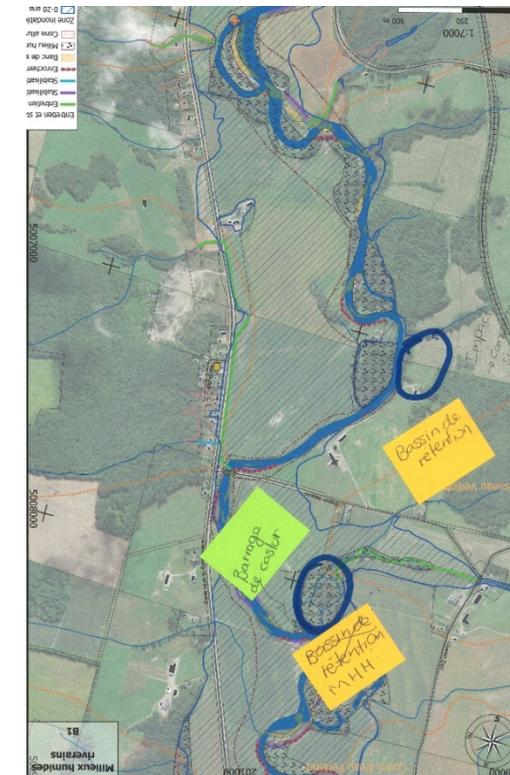
Démarche :

- Revue de la littérature
- Entrevues
- Annexe du coût des mesures





Secteur	Impacts des inondations	Impacts de l'érosion
Municipal	Gestion des urgences	-
	Nettoyage des débris	
Économie	Perte de productivité – fermeture de route	-
	Dommages au bâtiment public (structure et contenu)	
Agricole	Perte de rendement	Perte de terres par érosion des berges
	Nettoyage des débris	
Commercial et industriel	Dommages au bâtiment (structure et contenu)	-
Résidentiel	Dépenses liées aux évacuation	
Psycho-social	Dépenses et pertes supplémentaires des sinistrés	-





Carte
d'inondation
par récurrence

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



Facteur de
risque

Étendue d'eau
+
Probabilité mensuelle

Profondeur de
submersion

Profondeur de
submersion
+
Durée

Vulnérabilité / exposition

• Dommages agricoles

• Pertes récréotouristiques

• Dommages aux bâtiments

• Coûts psycho-sociaux

• Interruption routière

• Coûts d'évacuation

Coûts par évènements

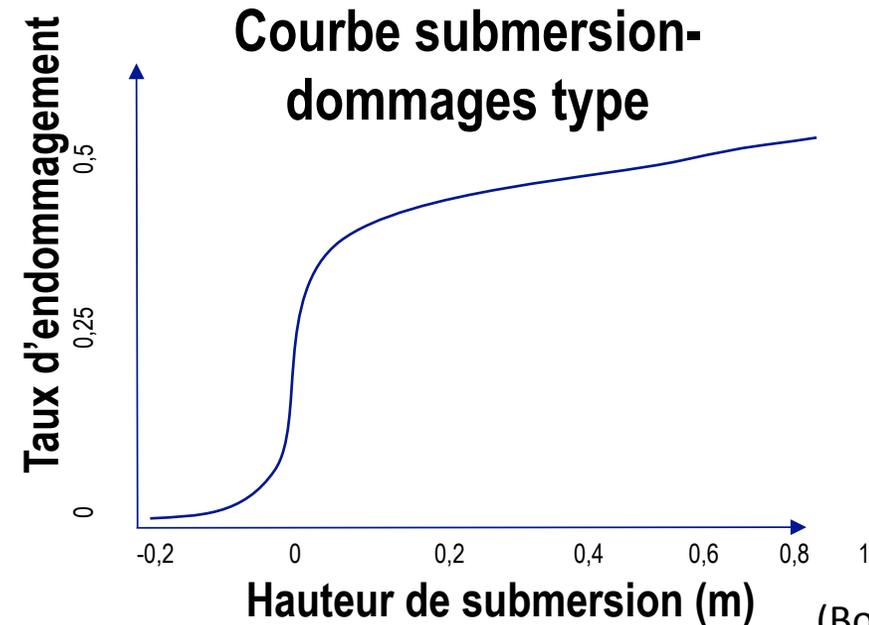
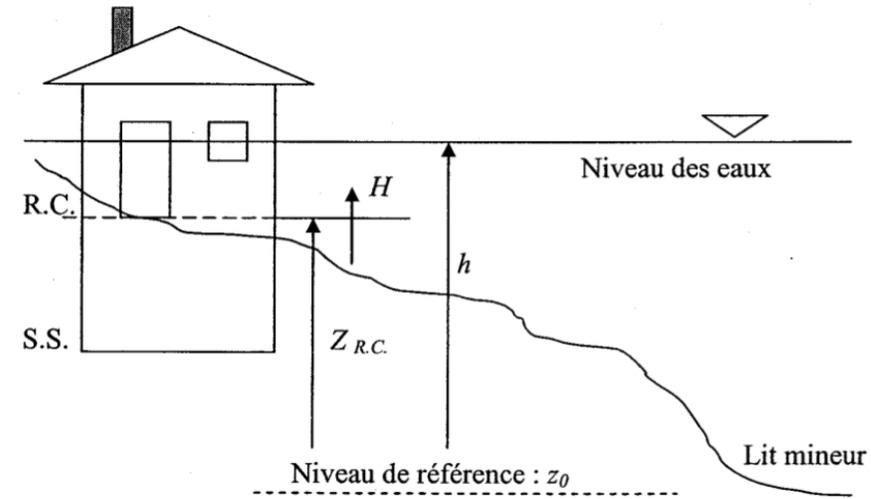
Coût de gestion des
urgences

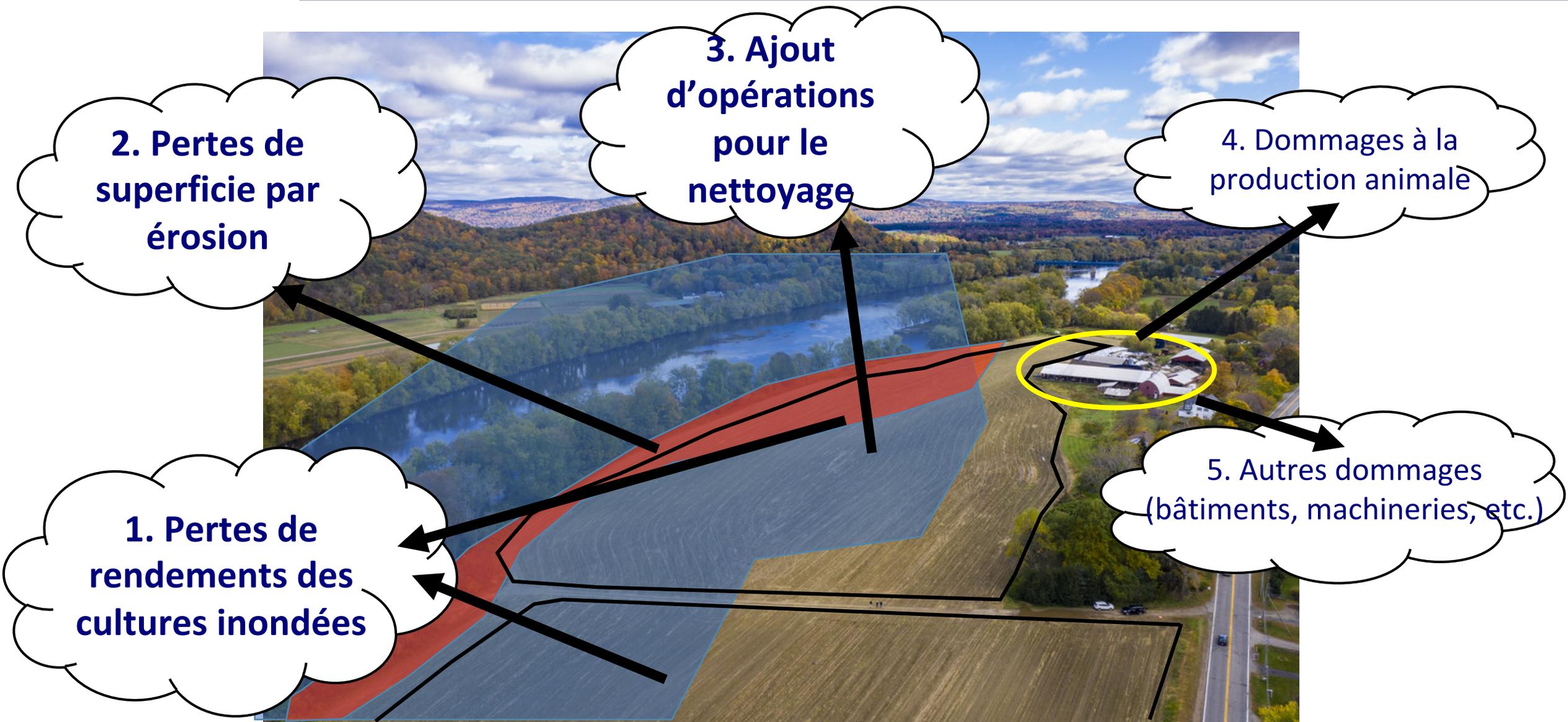
Zone d'érosion et
d'encrochement

Efforts
d'encrochement futurs

• Pertes de terres par érosion
des berges

- Facteurs principaux :
 - Profondeur de submersion vs. Hauteur du rez-de-chaussée
- Autres impacts considérés :
 - Dommages aux contenus
 - Dépenses et dommages psychosociales
 - Gestion des urgences (hébergement, vêtements, ...)
 - Nettoyage de débris
- Industriel, commercial, institutionnel :
 - Courbes adaptées
- Gestion des urgences:
 - 10,7 % des coût aux propriétés







Quel(s) changement(s) d'utilisation du sol entraînent les mesures, comparativement à l'état de référence ?*

Catégories de mesures	Impacts environnementaux
Structurelles	Empreinte directe (coûts)
Règlementaires Utilisation du sol / Pratiques agricoles	Zones affectées selon l'utilisation du sol (coût ou avantage)
Sans trace	Immunsation des bâtiments (non spatial)



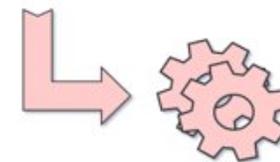
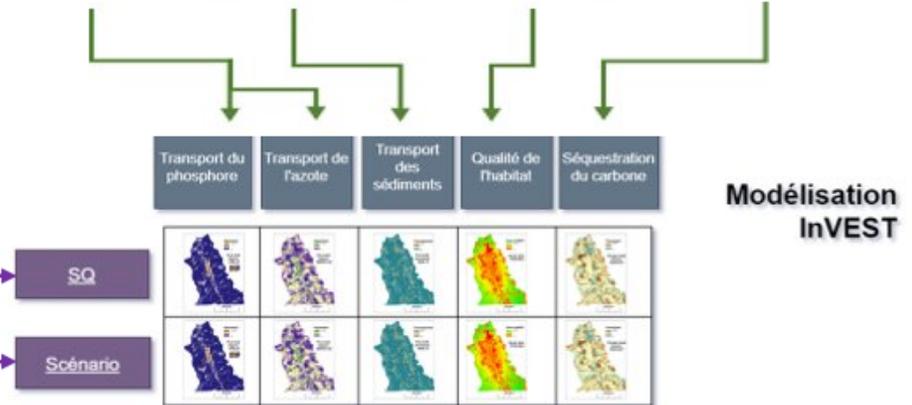
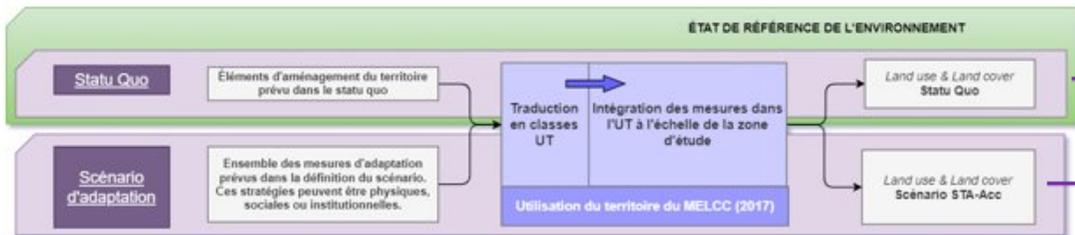
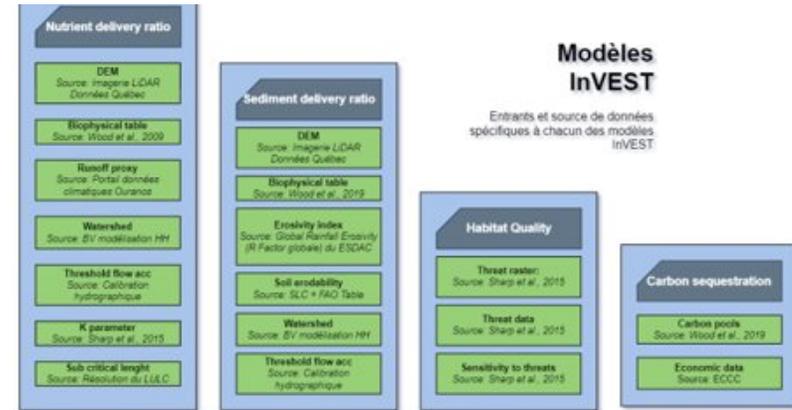
<https://naturalcapitalproject.stanford.edu/software/invest>

4 modules calibrés pour le Québec

- Séquestration du carbone
- Nutriments (P, N)
- Sédiments
- Qualité de l'habitat

Basé sur Wood, Unpublished.

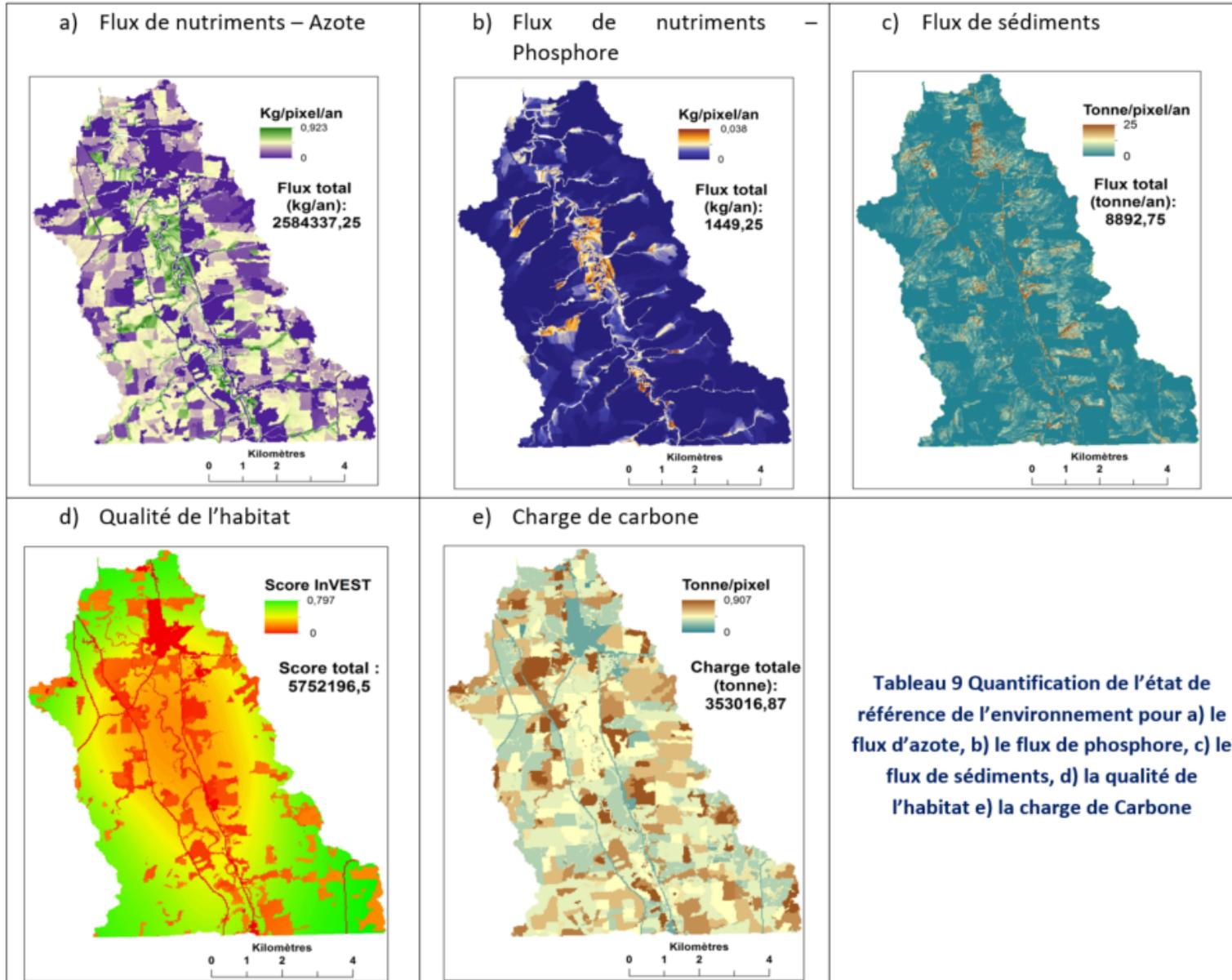
***Seuil de détection 30 m x 30 m**

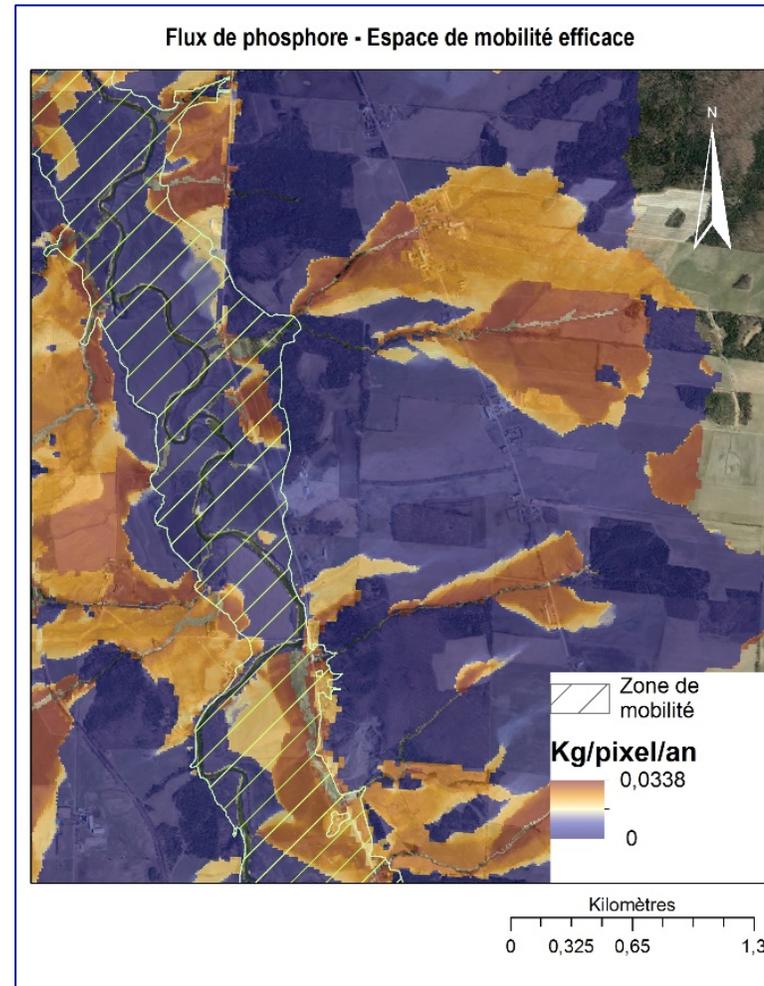
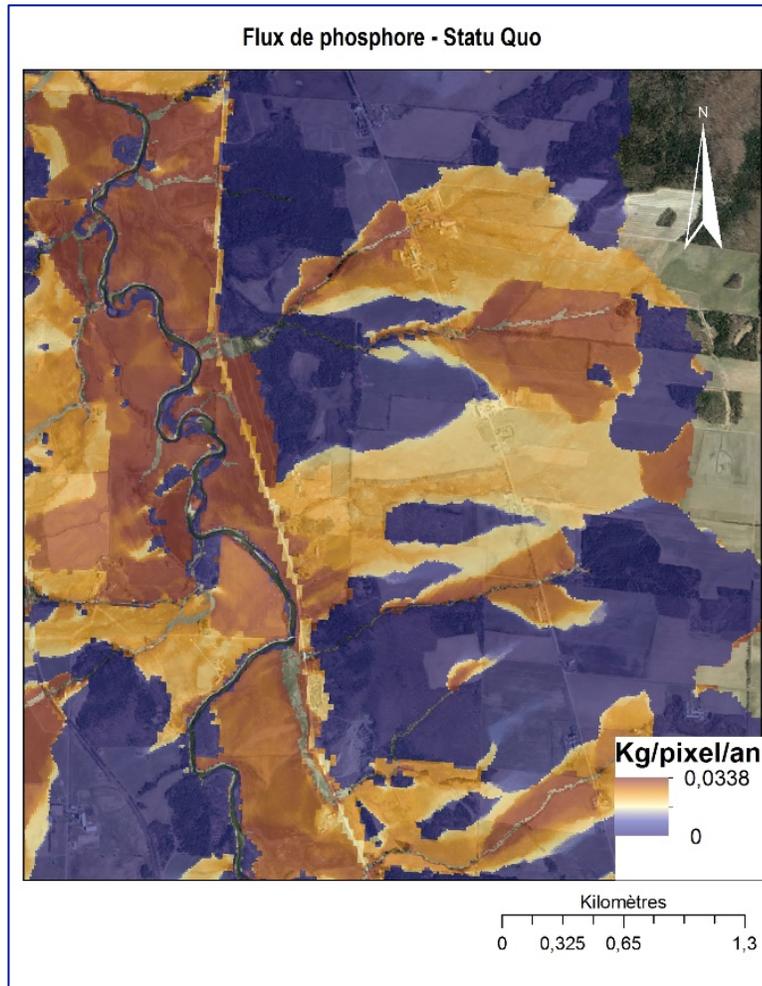


Valorisation économique

Modélisation des coûts associés au

Exemple : État de référence pour Compton





Exemple : Compton



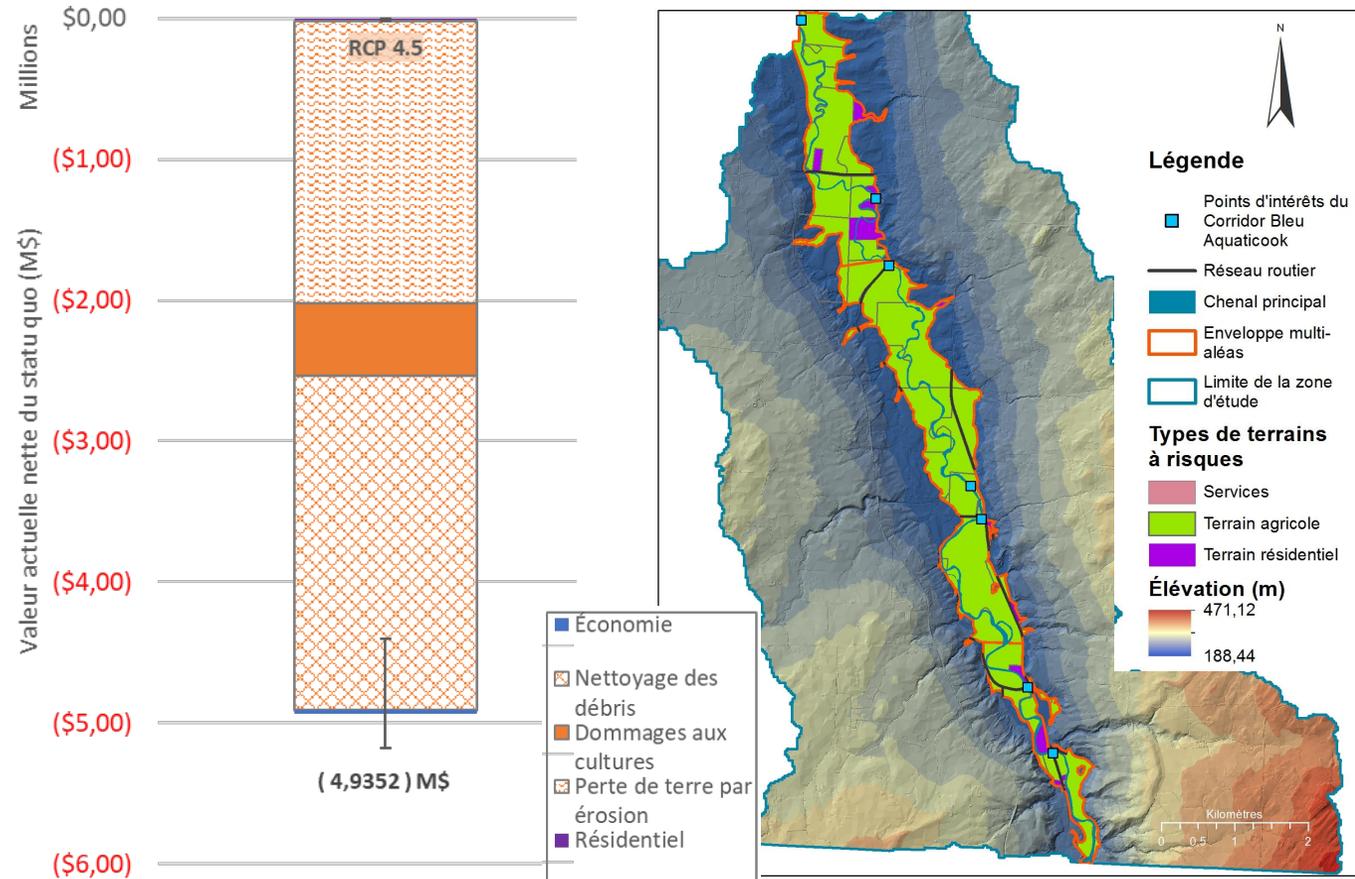
Module InVEST		Unité /score biophysique	Quantification	Ordre de grandeur	Référence
Séquestration du carbone		Tonne séquestrée / année	Valeur sociale du carbone	42 – 75 \$ / tonne	ECCC, 2016
Nutriments	Azote (N)	Kg rejeté / année	Coût moyen de traitement	8,50 \$ / kg	Olewiler, 2004
	Phosphore (P)	Kg rejeté / année	Coût moyen de traitement	61,20 \$ / kg	
Sédiments		Kg rejeté / année	Coût moyen de traitement	18,68 \$ / kg	
Qualité de l'habitat		Score de qualité	Préférence déclarée	451 \$ / acre d'habitat terrestre créé	Borisova-Kidder, 2006

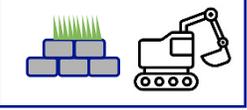
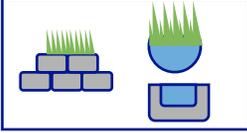
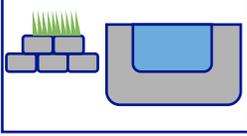
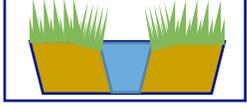
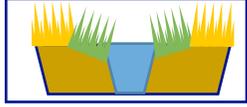
Réplicabilité, adaptation à l'évolution des prix

Résultats des deux études de cas

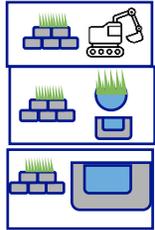


- Poursuite de la stabilisation de berge et de l'indemnisation
- Dominance des impacts agricoles
 - Coûts de nettoyage des champs
 - Coûts d'érosion des berges
 - Coûts de dommages aux cultures
- Coût total : ca. 5 M\$
 - RCP 4.5 = 4,97 M\$
 - RCP 8.5 = 5,00 M\$
- Différence non significative entre 2 scénarios de gaz à effet de serre (RCP 4.5 et 8.5)



			Modélisation HH?
	1. STA-DG	Stabilisation avec dragage sur le chenal principal	Enrochement léger
			Dragage
	2. STA-acc	Combinaison de mesures de stabilisation et de rétention (dragage, bassins de rétention, et restauration de milieux humides)	Dragage
			Bassins de rétention
			Milieux humides et hydriques concédés et restaurés
	3. STA-eff		Enrochement
		Bassin de rétention surdimensionné pour contrôler les débits d'entrée du site d'étude en terrain vacant	Bassin surdimensionné
	4. MOB-eff	Retrait des actifs à risque pour permettre le re-méandrage du cours d'eau (« corridor vert intégral »)	Espace de mobilité maximale
			
	5. MOB-hyb	Changement d'usage dans la zone M50, avec un usage durable dans la plaine inondable	Corridor multi-aléa
			Règlementation des cultures
	6. PRA	Aménagements hydro-agricoles et réglementation des pratiques de culture sur résidus hors rive	Aménagements hydro-agricoles
			Cultures sur résidus
	7. MOB-hyb + PRA	Combinaison des deux derniers	Interdiction réglementaire avec compensation + Cultures sur résidus
			

Sur 50 ans...

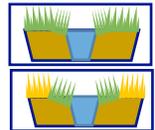


Les approches de contrôle de l'aléa sont moins avantageuses que le statu quo

- VAN: -4,5 à -31,7 M \$



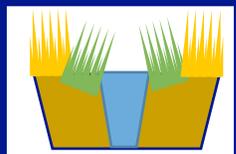
L'adaptation des pratiques agricoles est bénéfiques pour l'environnement, évite peu de coûts: opportunité de combinaison



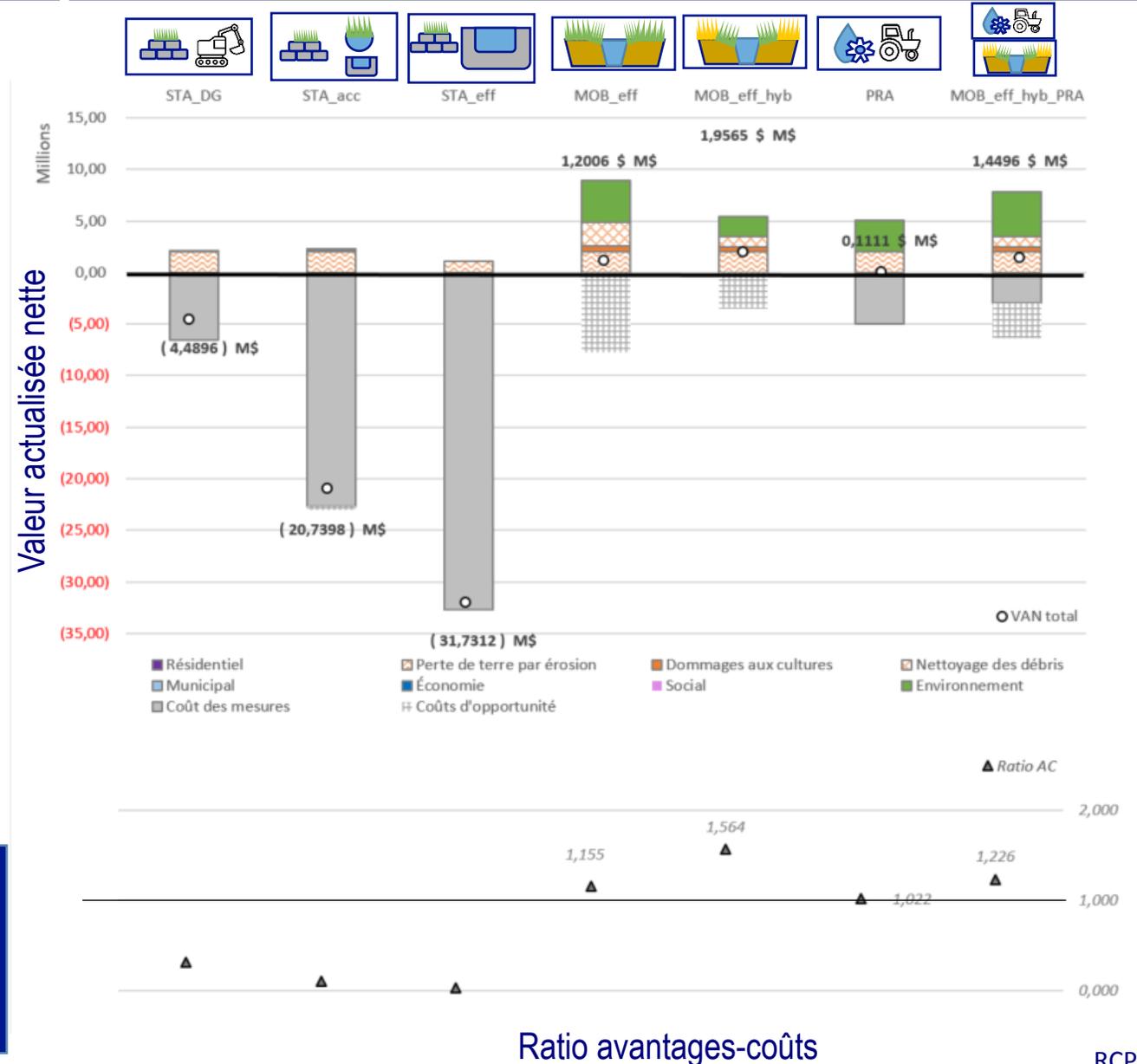
La mobilité efficace et hybride permet d'éviter de 41 à 100 % des dommages agricoles



Aucun scénario n'est rentable sans la monétisation des impacts environnementaux



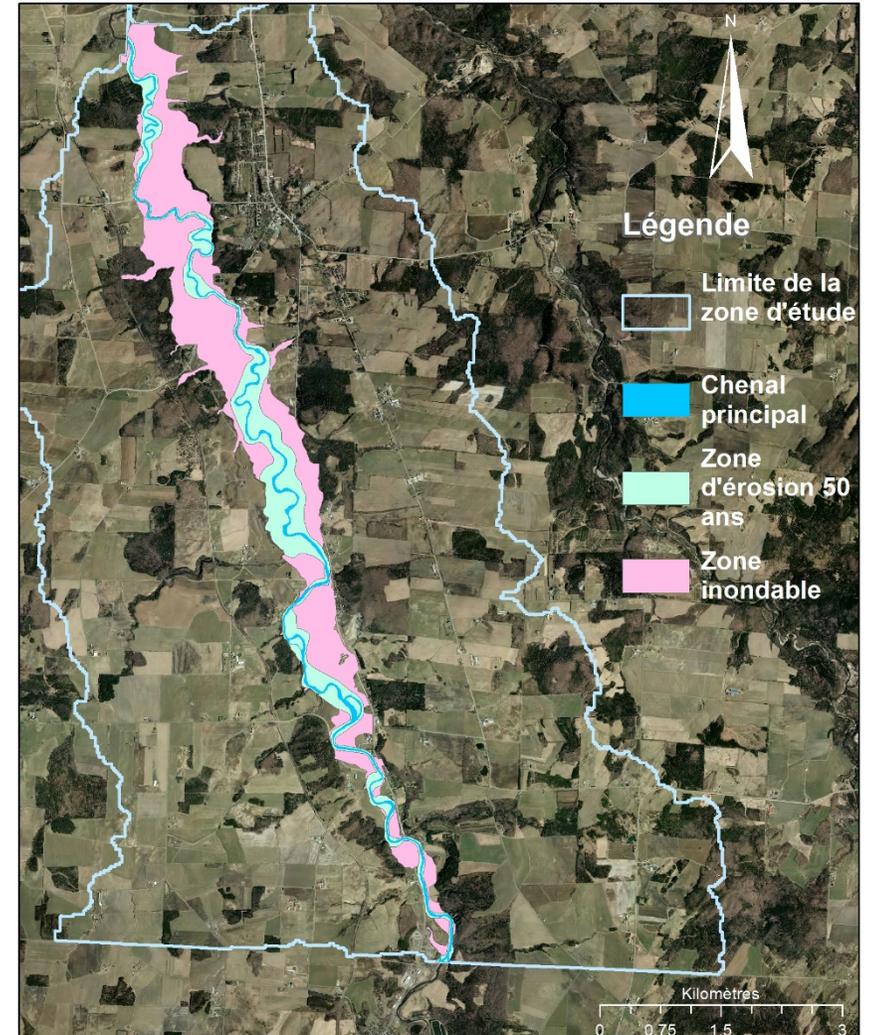
La combinaison d'un corridor multi-aléa et réglementation des cultures en zone inondables (MOB-HYB) est la plus avantageuse





- **3,5 M\$ en coûts d'opportunité**
 - 2,5 M\$ en perte de terres agricoles dans le corridor multi-aléa
 - 1 M \$ en perte de revenus dans la ZI
- **1,4 M\$ en coûts évités (bénéfices)**
 - 49 % des dommages agricoles liés aux inondations
 - 100 % des dommages liés à l'érosion
- **1,970 M\$ en bénéfices environnementaux**
 - Gain en qualité de l'eau significatif (1,95 M \$)
- **Rapporte 1,56 \$ pour chaque dollar investi**
- **Limites:**
 - Réduction nette de zone agricole – pression sur les exploitations

Solution d'adaptation - Espace de mobilité hybride



Poursuite des pratiques actuelles:

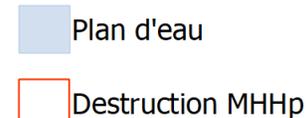
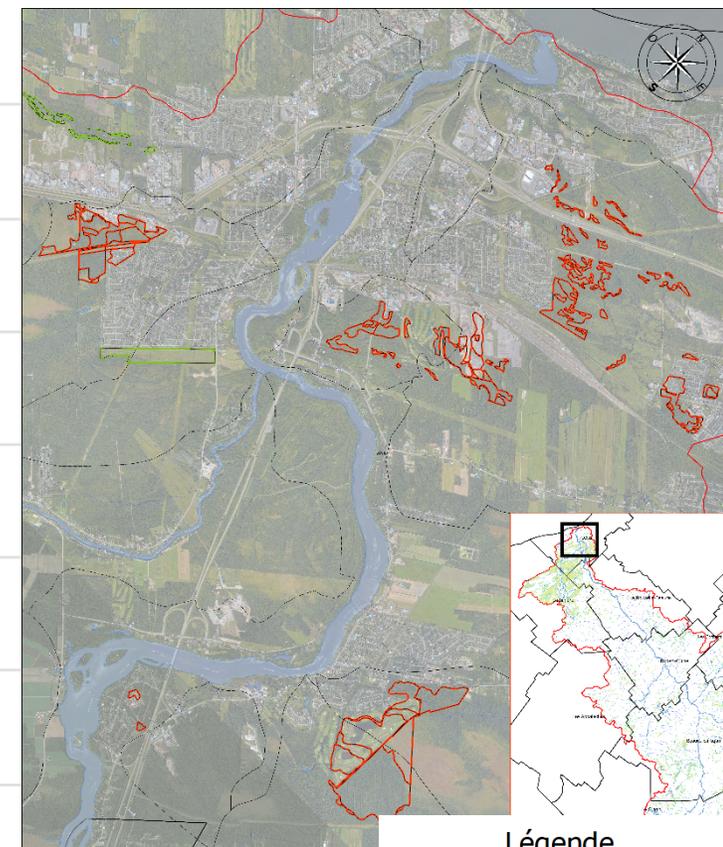
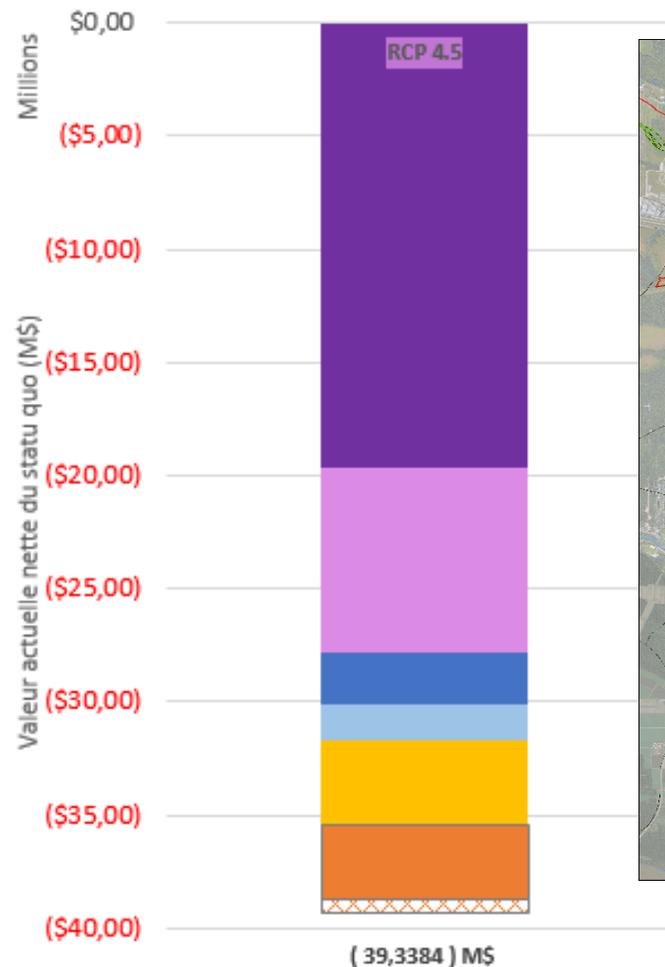
- Développement urbain de la ville de Lévis
- Programme d'indemnisation des dommages
- Démolitions autorisées de lots résidentiels (600 +)

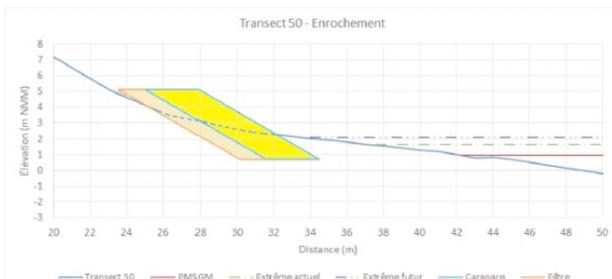
Dominance de l'enjeu résidentiel et psycho-social

- Résidences: 19.652 M \$, jusqu'à 535 bâtiments
- Pour chaque \$ de dommages résidentiels s'ajoutent 0,42\$ d'impacts sociaux indirects
- Total de 27,825 M\$ (71% du SQ)

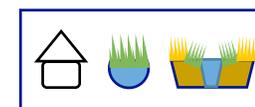
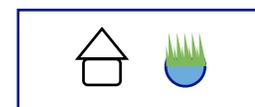
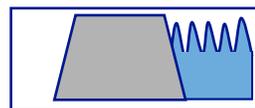
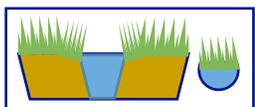
Enjeux majeurs :

- Public : gestion des urgences + institutions: 3.86 M\$
- Commercial & Industriel : 3,77 M\$
- Agricole : 3,88 M\$, jusqu'à 1370 ha touchés





Source : BPR et al. (2014). Circé et al., 2016



Scénarios à l'étude

- Approche d'aménagement des milieux naturels

1. MHH Acceptable

Valorisation acceptable des MHH (PRMHH)
avec pertes de Lévis compensée dans le BV

2. MHH Efficace

Maximiser la réduction de dommages
MHH + Corridor vert riverain + bandes riveraines 15 m

- Approche de réduction collective des risques urbains

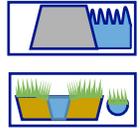
3. IMM_coll : Dignes urbaines

Tecsult, 1996; Comité d'expert, 2020

- Approche de conciliation des usages

4. **IMM_Indiv** + MHH_acc : Scénario par bâtiments, selon l'exposition : relocalisation, immunisation et sensibilisation individuelle

5. **MHH_dis** + **IMM_indiv** : scénario par bâtiments avec MHH distribués (milieux isolés vs. Riverain + 0 pertes nettes par sous région hydro.) et bandes riveraines



- Les approches de grandes infrastructures grises ou vertes sont moins avantageuses que le statu quo



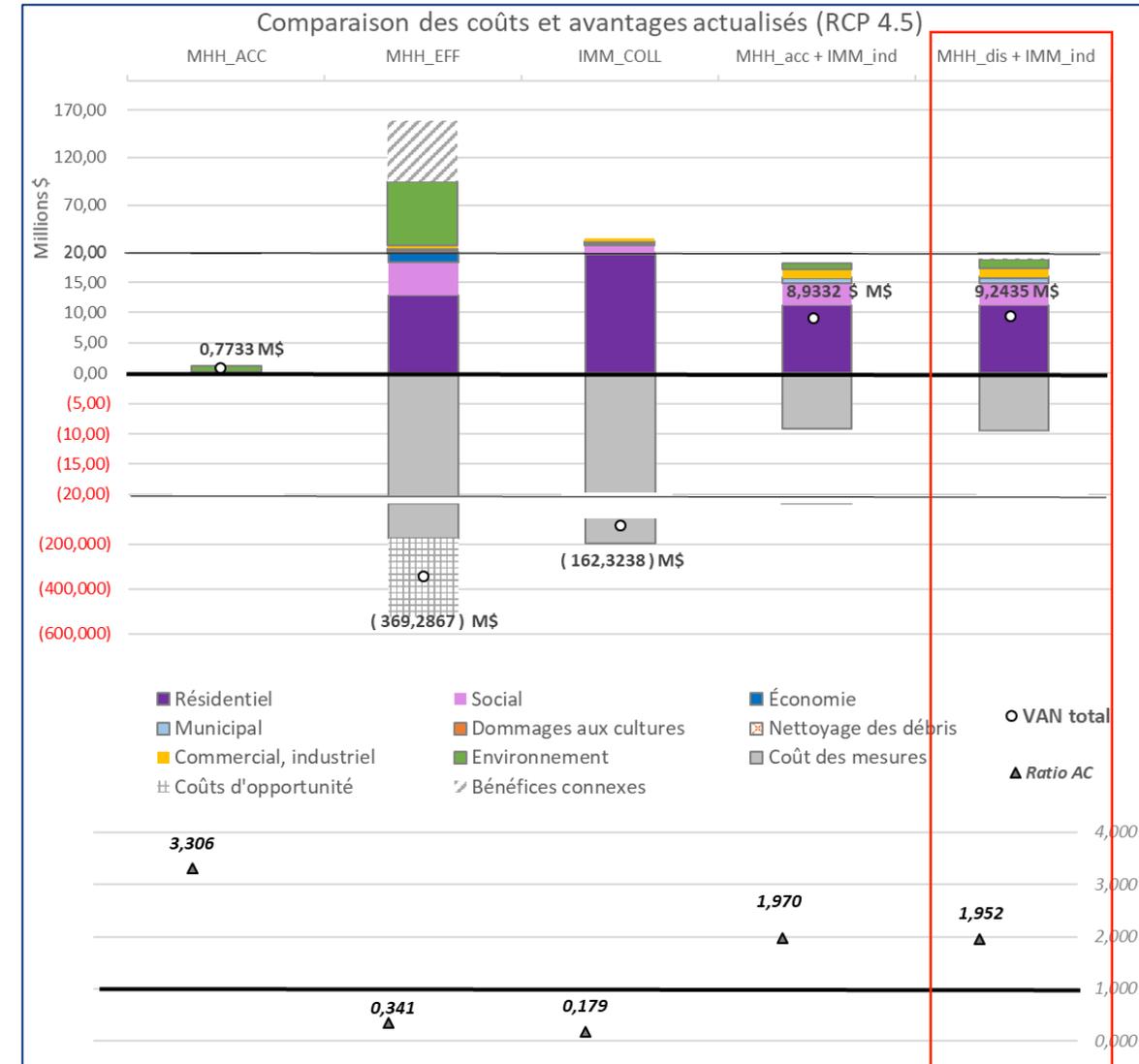
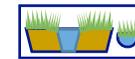
- Les mesures de valorisation des MHH acceptables est rentable, mais diminue peu les coûts au secteur résidentiel, commercial et public



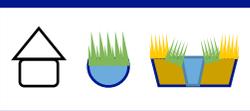
- La combinaison MHH acceptables avec immunisation et relocalisation des bâtiments permet une VAN supérieure



- L'immunisation individuelle des bâtiments R & C est sans regret

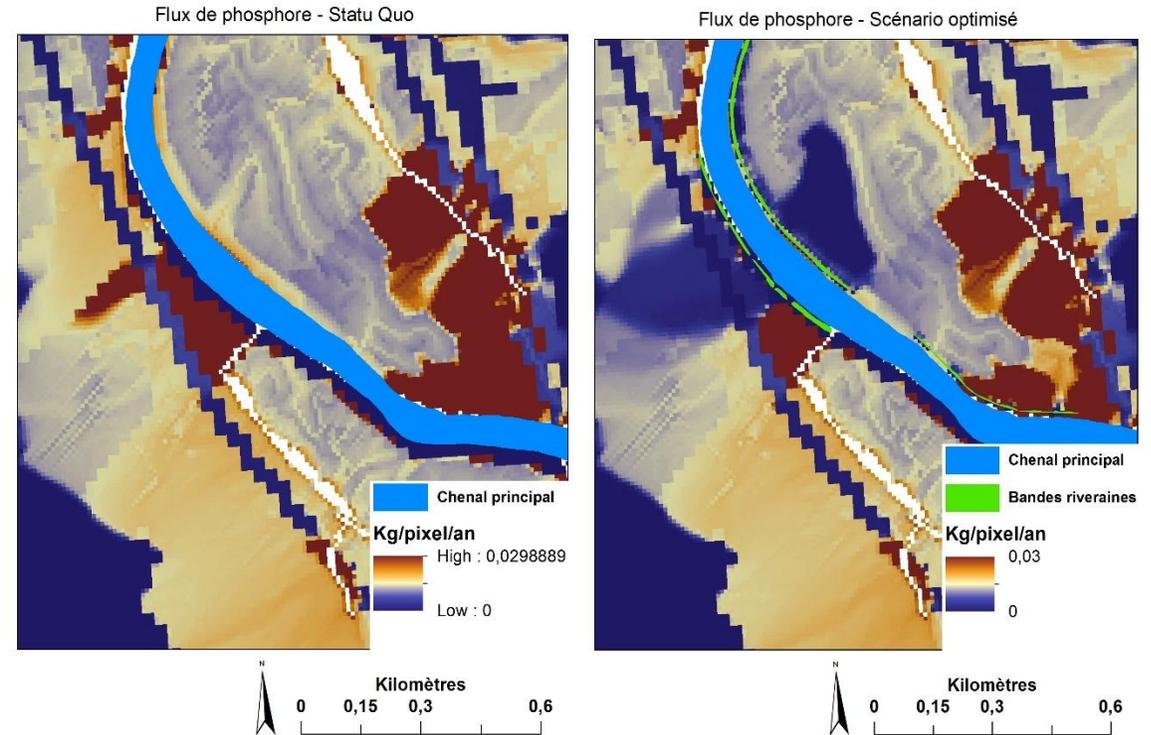


La combinaison MHH distribués avec bandes riveraines (MHH_dis) + Immunisation et relocalisation des bâtiments (IMM-ind) est la plus avantageuse



Immunsation des bâtiments individuels + MHH distribués et bandes riveraines

Valeur actualisée sur 50 ans	
Coûts des mesures	9,7 M\$
• Relocalisation de 75 résidences	8,2 M\$
• Immunsation de 12 commerces	0,7 M\$
• 0,21 km ² de bandes riveraines	0,3 M\$
Coûts évités (44 % du SQ)	17,3 M\$
• Résidentiel	11,2 M\$
• Commercial et industriel	1,5 M\$
• Public	0,9 M\$
• Agricole	0,1 M\$
Bénéfices connexes	1,7 M\$
• Services écosystémiques	1,5 M\$
• Récolte des bande riveraines	0,2 M\$
Total	9,243 M\$



➤ 600 000 \$ de plus que MHH-acc, dont 50 % grâce aux BR (1,33 \$ de bénéfices /m² de bandes riveraines connectées)

➤ Rapporte 1,95 \$ pour chaque dollar investi

- **Analyse de sensibilité:** les résultats sont-ils robustes? Est-ce qu'un paramètre fait changer la décision?
- **Analyse des enjeux résiduels:** Quels sont les bénéfices potentiels sur les enjeux non quantifiés?
- **Analyse de redistribution:** qui perd, qui gagne? De quel montant pourrait-on compenser?



Analyse de sensibilité

Paramètres de sensibilité	Valeurs testées
Taux d'actualisation	Linéaire à 6 % et 2%
Débits maximums annuels	10^e et 90^e percentile des scénarios hydro-climatiques
Coût de réalisation et d'entretien des mesures	Chaudière : +/- 15 %
	Compton : +/- 50 %
Pertes de rendement	Chaudière : +/- 15 %
	Compton : +/- 30 %
Coûts d'opportunité des mesures	Chaudière : +/- 15 %
	Compton : Agricoles : 25 000 \$/ha ; autres : + 100 %
Coûts liés à l'érosion des berges	Compton : +/- 15 %
Coûts de nettoyage des débris	+/- 15 %
Bénéfices environnementaux	+/- 15 %

- **Comment?** Attribution d'un poids représentant les coûts/ bénéfices supportés par chaque groupe d'acteurs, pour chaque type d'impacts monétisés

- **Quels groupes d'acteurs?**

- Société
- Municipalités
- Agriculteurs
- Sinistrés (résidents, commerces & industrie)



Étude de cas	Scénario gagnant	Coûts/bénéfices totaux par groupe d'acteurs			
		Société	Municipalités	Agriculteurs	Sinistrés
Compton	MOB_HYB	4,31 M\$	25 000 \$	-2,05 M\$	327 000 \$
Chaudière	MHH-dis + IMM_ind	3,85 M\$	530 500 \$	3 900 \$	371 400 \$

- **Résultats:**

- Statu quo est dispendieux pour la société (60 % à 70 % des coûts du statu quo)
- Compton: Opportunité de redistribution des bénéfices collectifs vers les agriculteurs
- Chaudière: Aucun perdant et la société largement avantagée

- **Comment?** Analyse qualitative des risques résiduels liés aux aléas non quantifiés
- **Quels aléas?**
 - Compton: avulsion et cônes alluviaux
 - Chaudière: érosion, embâcle, submersion des affluents
- **Résultats:**
 - Compton: intérêt envers les mesures d'aménagements hydro-agricoles
 - Chaudière: renforcement de la mesure de 0 perte nette de MHH par région hydrographique

Exemple: étude de cas de la rivière Chaudière

Scénario	Bénéfices environnementaux.	Facteurs de risque	Aléas quantifiés		Aléas non quantifiés		
			Submersion de la rivière Chaudière	VAN p/r au SQ (RCP 4.5)	Érosion	Submersion des affluents	Embâcle
IMM-ind + MHH-dis		Intensité		9 243 400 \$			
		Exposition					
MHH-acc + IMM-ind		Intensité		8 933 200 \$			
		Exposition					
MHH-acc		Intensité		773 300 \$			
		Exposition					

Légende :



Effet positif maximal

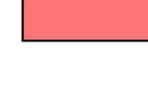
Effet positif partiel

Effet positif potentiel



Aucun effet anticipé

Effet négligeable



Effet négatif potentiel

Retombées et limites pour l'adaptation



Introduction et design général



Mobilisation des parties prenantes



Analyse des inondations en climat futur



Analyse coûts-avantages



Retombées et limites pour l'adaptation

Ce projet démontre :

- l'importance de trouver l'équilibre entre l'efficacité, le coût des mesures et les bénéfices écosystémiques
- l'intérêt de combiner l'analyse coûts-avantages avec une approche participative et une approche multialéa
- l'intérêt de quantifier la valeur des services écosystémiques au sein d'une ACA

Retombées directes:

- Soutien à la gestion du territoire: PDE et PRMHH de Chaudière
- Sensibilisation des acteurs agricoles à Compton

➤ **3 livrables à venir pour outiller les communautés**





Limites et perspectives

- Enjeux de gouvernance pour la mise en œuvre des solutions d'adaptation, surtout infrastructures naturelles
- Mécanisme de compensation pour équilibrer la distribution des impacts entre acteurs
- Enjeux sectoriels : perte de terres agricoles dans les secteurs multialéa à forte probabilité



Remerciements



Merci de votre attention

Boyer-villemaire.ursule@ouranos.ca

