

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...



Natural Resources
Canada
Ressources naturelles
Canada
Canada



Équipe de réalisation :

Ursule Boyer-Villemare, Annabelle Lamy, Raphaël Desjardins, Caroline Simard, Dorothy Heinrich (Ouranos), Jérémie Roques (ROBVQ).

Plan de la présentation



Introduction



Mobilisation des parties prenantes



Analyse de risque



Analyse des inondations en climat futur



Analyse coûts-avantages



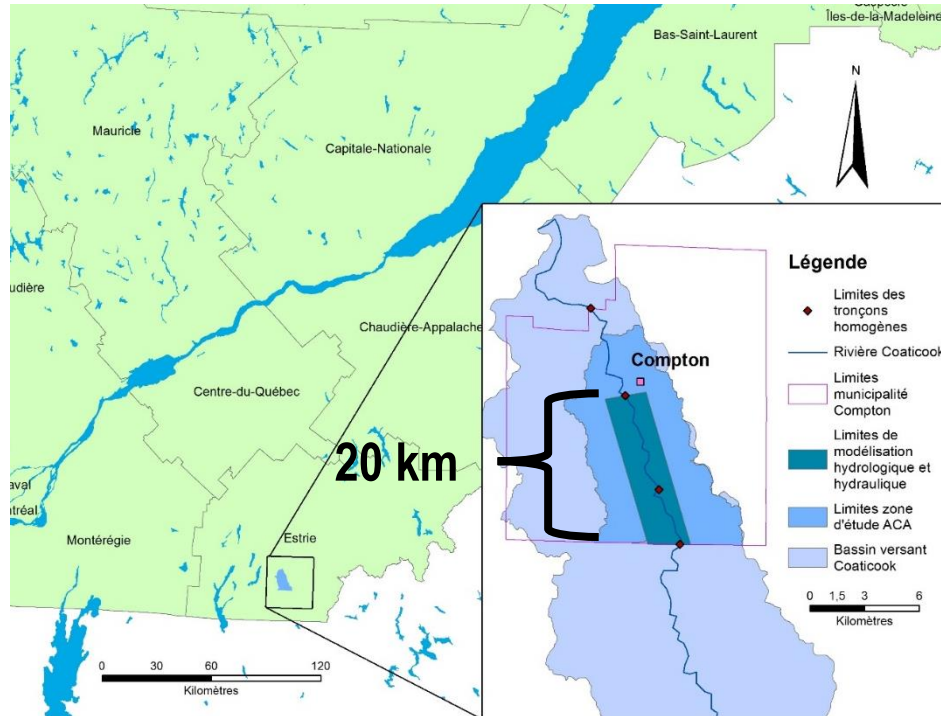
Retombées et limites pour l'adaptation



La problématique des inondations au Québec :

- 1991-2013 : 79 M\$ par année (\$ de 2019)
- Aléa climatique le plus dommageable
- Besoin d'outiller les communautés

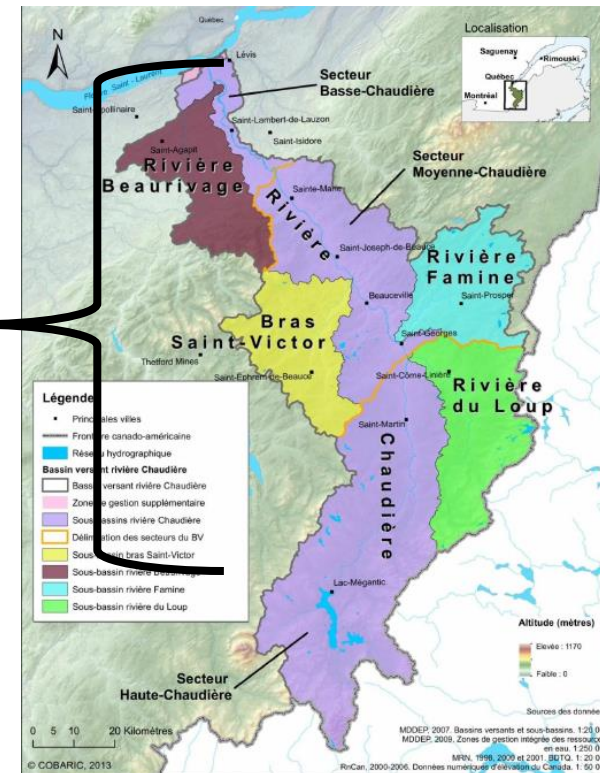




Rivière Coaticook, municipalité de Compton :

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

185 km



Rivière Chaudière, municipalités du bassin versant :

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

Mobilisation des parties prenantes



Introduction



Mobilisation des parties prenantes



Analyse de risque



Analyse des inondations en climat futur

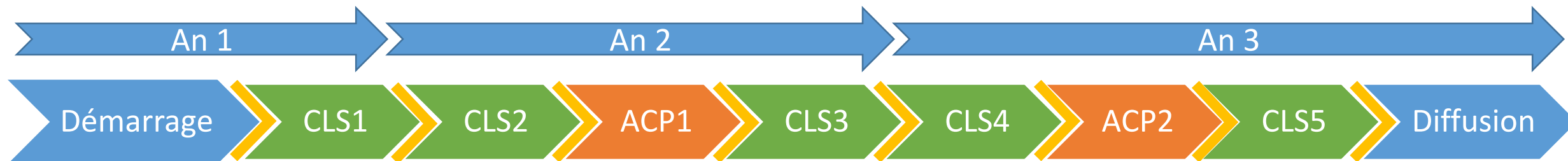
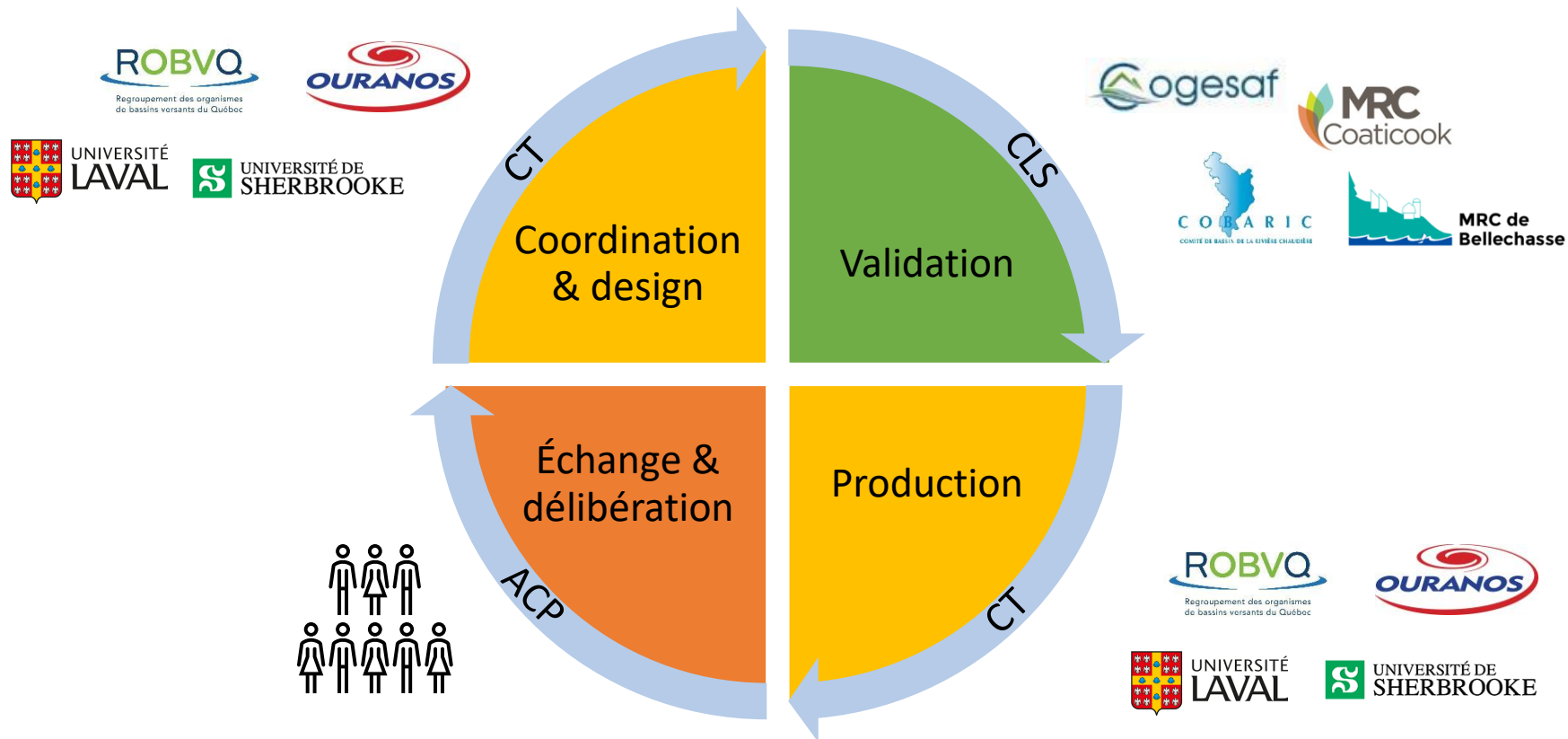


Analyse coûts-avantages



Retombées et limites pour l'adaptation

La démarche participative



CT: Comité technique, CLS: Comité local de suivi, ACP: Assemblée consultative de priorisation

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  + atelier interactif (ex. 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
- 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 :



- Adhérence aux solutions
- Méthodologie pour la priorisation
- Défi des ateliers virtuels

Analyse de risque



Introduction



Mobilisation des parties prenantes



Analyse de risque



Analyse des inondations en climat futur



Analyse coûts-avantages



Retombées et limites pour l'adaptation

Matrice multirisques : Compton

À prioriser

Conséquence	Sévères	Bassin d'épuration en zone d'avulsion*		Zone riveraine multi-aléas (inondation, érosion, avulsion)
	Modérées	Zones d'avulsion* Cônes alluviaux*	Transport provincial avec 1 seul aléa inondation seulement	Érosion seulement
	Mineures	*Embâcles ?		
		Faible <1 %	Moyenne 1-5 %	Forte >5 %
Probabilité d'ici 50 ans				
*Probabilité incertaine considérée faible				

- Importance du secteur agricole, préoccupation des cônes en milieu résidentiel
- Dominance de l'aléa inondation > avulsion* > érosion > cônes alluviaux
 - Zone multi-aléa représentant la plus grande part des enjeux
- La moitié (6,3 M\$ ou 51 %) des actifs à risque se trouve dans le tronçon central

Sévère			-Résidentiel chenal principal, Famine, Beaurivage exposés à de multiples aléas Inondations : -Agriculture Beaurivage, Famine et Affluents -Industriel Famine -3 écoles primaires, bâtiments institutionnels essentiels
Modéré	<i>Érosion des berges*</i>		Inondations : -Résidentiel Affluents -Commercial chenal principal -Récréatif chenal principal Exposition aux embâcles de glace ***
Mineur	Inondations : -Résidentiel chenal principal faible exposition -Autres enjeux exposés aux inondations Cônes alluviaux** Zones d'avulsion**	Inondations : -Résidentiel chenal principal exposition moyenne	Inondations : -Industriel chenal principal -Agriculture chenal principal -Patrimonial tous secteurs confondus
	Faible	Moyenne	Forte

*Probabilité incertaine considérée faible, mais conséquences modérées, la vaste étendue potentielle et la faible proportion de bandes riveraines

**Probabilité incertaine considérée faible, estimation de conséquences mineures vu l'étendue potentielle limitée

***Probabilité incertaine de notoriété forte (annuelle ou interannuelle), estimation de conséquences modérées vu l'étendue potentielle restreinte à certains secteurs

Analyse des inondations en climat futur



Introduction



Mobilisation des parties prenantes



Analyse de risque



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

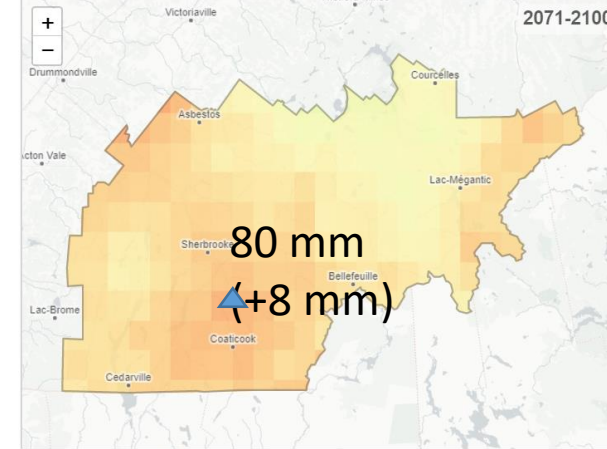
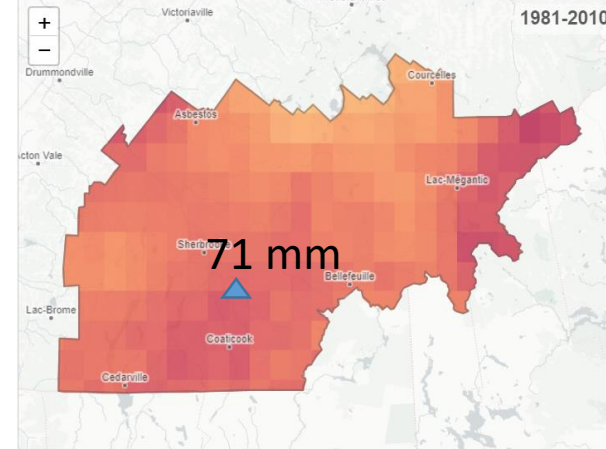
Percentile

10

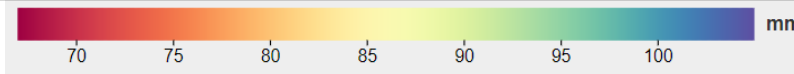
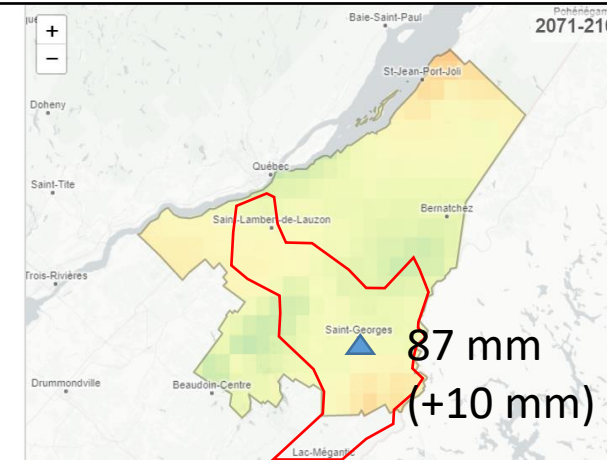
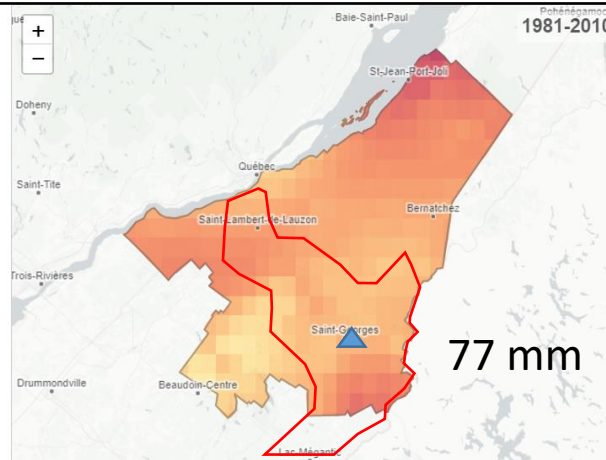
50

90

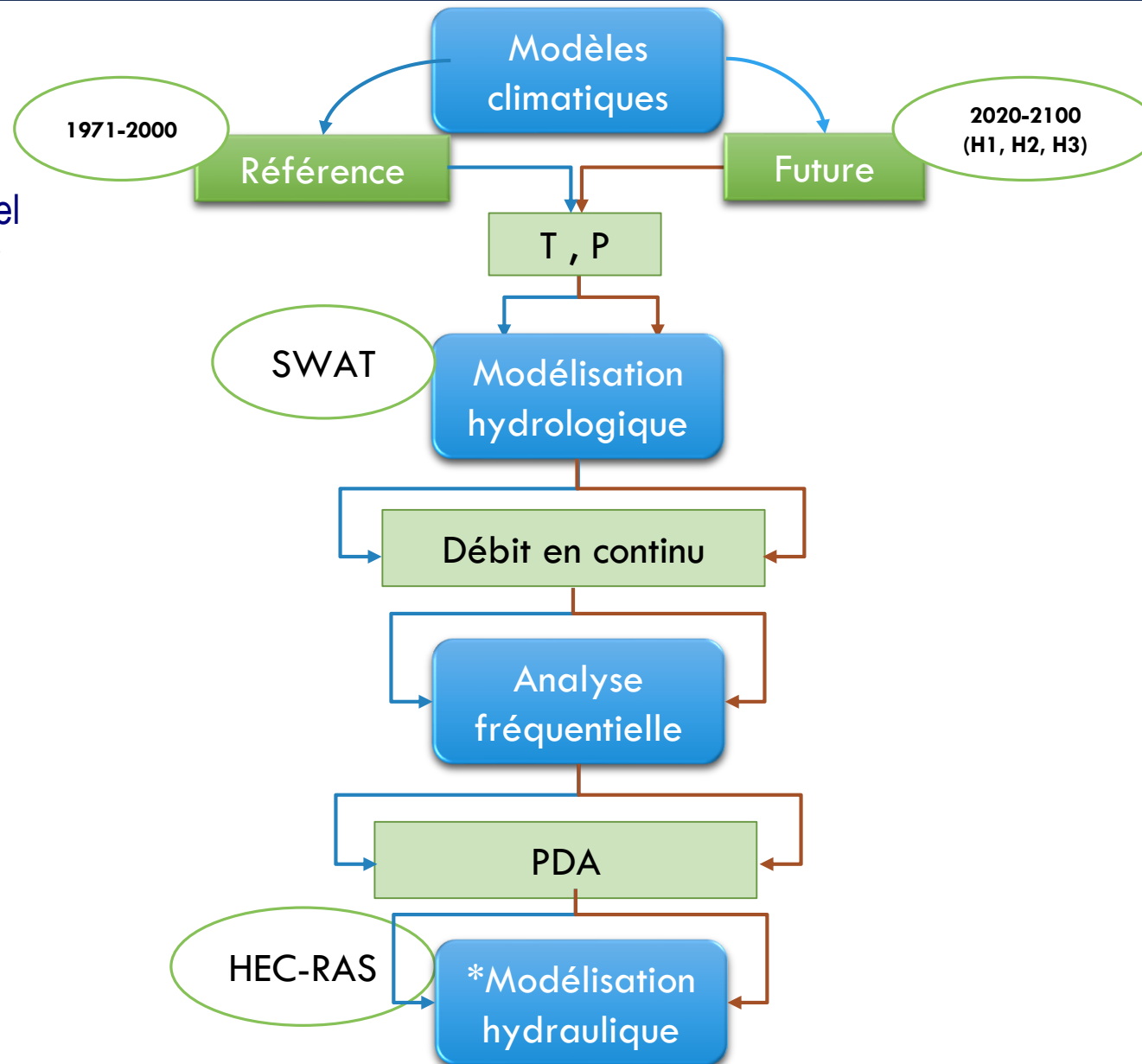
Estrie



Chaudière-Appalaches



 Climat actuel
 Climat futur



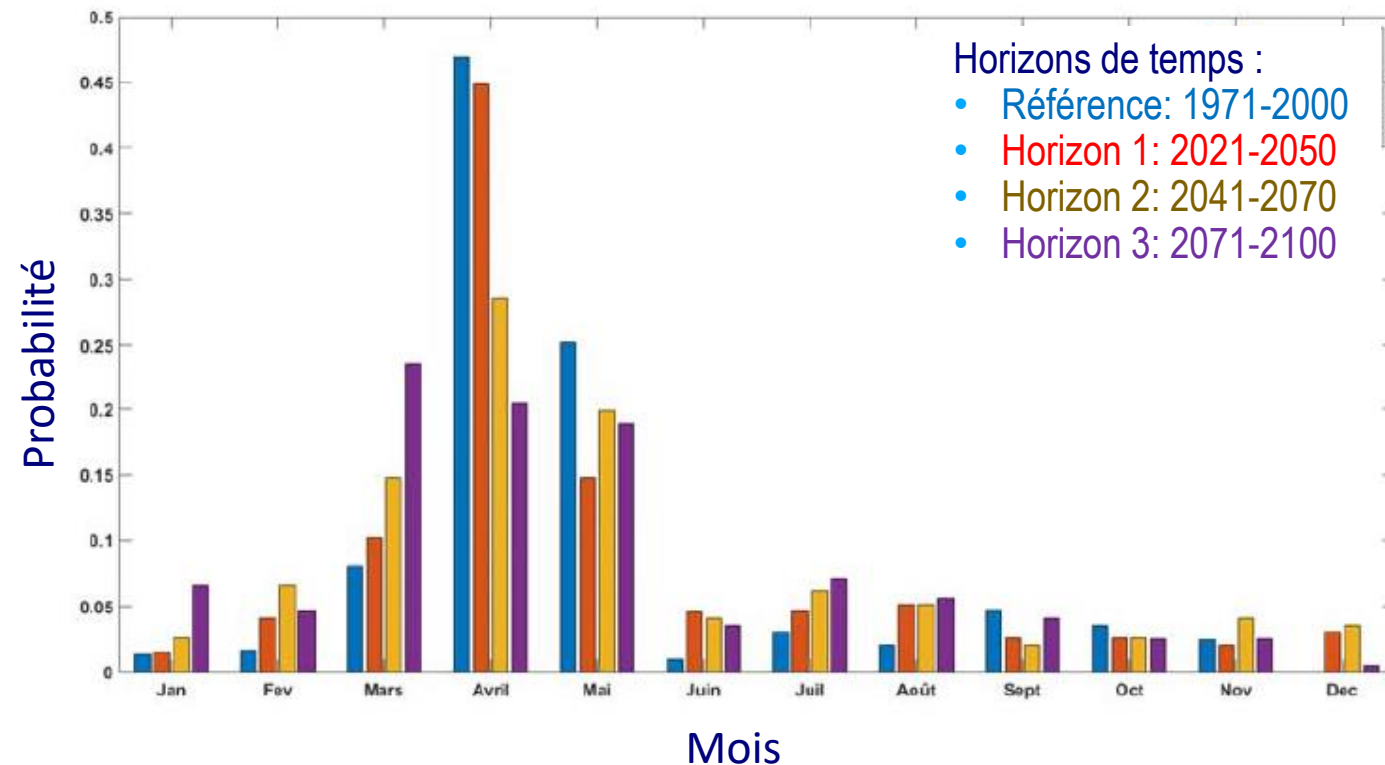
*Méthode géostatistique pour Chaudière

Source: Trudel et Gobji, 2020

- Scénarios climatiques fournis par Ouranos (CORDEX-NA débiaisé)
- 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**

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

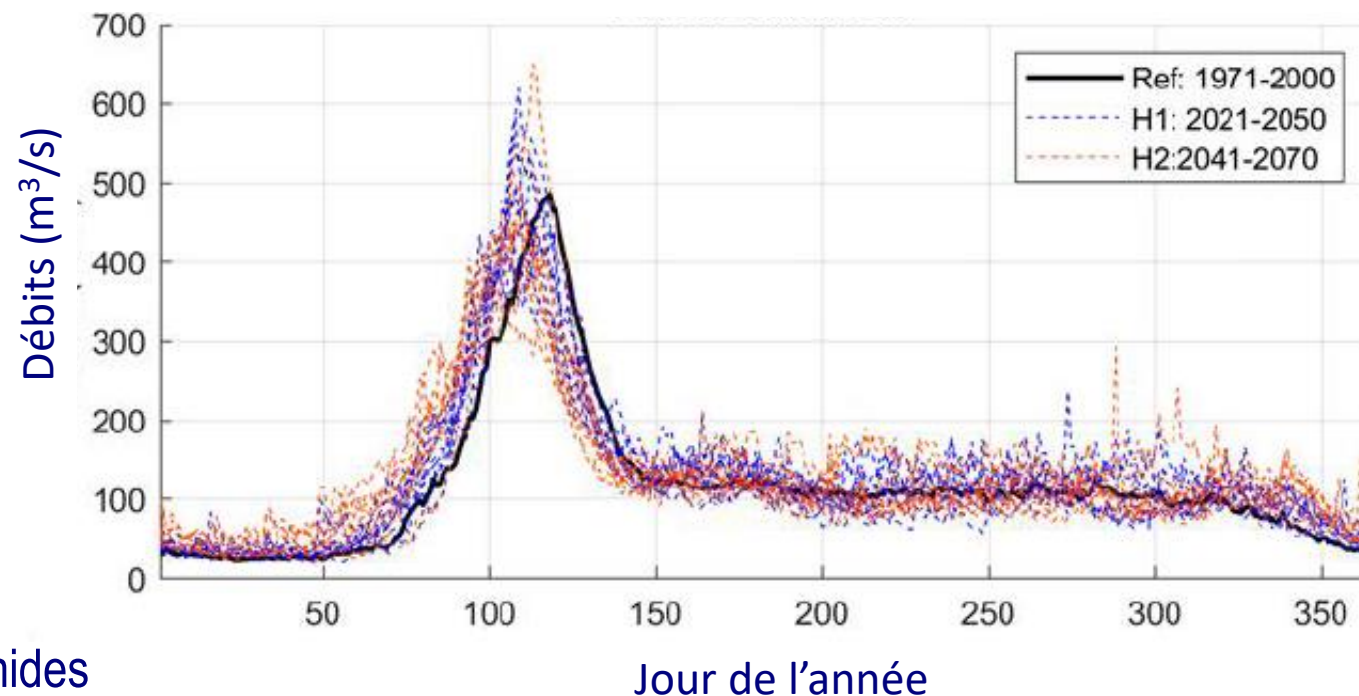
Probabilité d'occurrence des débits maximums, selon les mois (RCP 4.5)



Source : Trudel et Gobji, 2020

- Scénarios climatiques fournis par Ouranos (CORDEX-NA débiaisé)
- **Impacts des changements climatiques :**
 - Devancement de la période de crue printanière
 - Débit hivernaux plus élevés
- **Facteur aggravant:**
 - Le changement d'utilisation du territoire anticipé accentue l'augmentation des crues dans le futur
- **Facteur de mitigation :**
 - Haute densité de superficies de milieux humides
 - Efficacité : milieux riverains > milieux isolés

Effet des changements climatiques sur le régime hydrologique (aval de la rivière Chaudière)



Analyse coûts-avantages



Introduction



Mobilisation des parties prenantes



Analyse de risque



Analyse des inondations en climat futur



Analyse coûts-avantages



Retombées et limites pour l'adaptation

- **Comparaison des coûts et avantages sur 50 ans**

- statu quo vs scénario d'adaptation

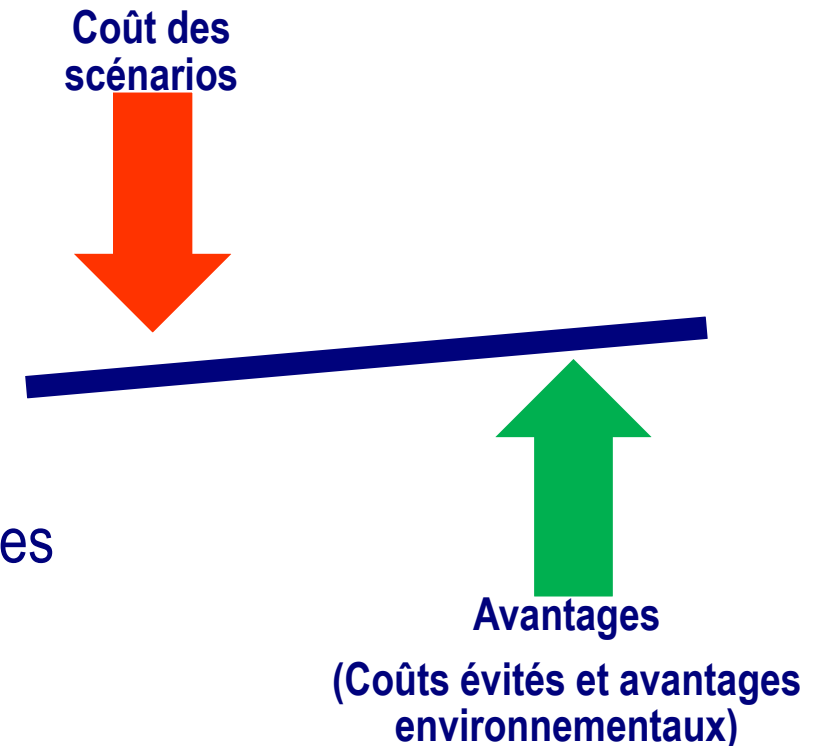
- **Avantages pour qui ?**

- La collectivité

- **Comment ?**

- Cartes d'inondation en climat futur du statu quo et des scénarios d'adaptation (7 récurrences : superficie & profondeur)
- Cartes de la valeur des actifs et des services écosystémiques
- Fonction de dommages des inondations
- Coûts d'implantation des scénarios d'adaptation

-> Valeur actuelle nette avec un taux d'actualisation dégressif
(4 %: 2020-2050, 2 % : 2050-2070)



Les coûts et avantages quantifiés



COÛTS ET BÉNÉFICES DES MESURES

- Coûts de conception
- Coûts de réalisation
- Coûts d'entretien
- Coûts d'opportunité
- Co-bénéfices des mesures



COÛTS LIÉS AUX ALÉAS

- Bâtiments résidentiels, industriels, commerciaux, et publics
- Impacts psycho-sociaux
- Dommages aux cultures
- Coût de nettoyage des champs
- Gestion des urgences
- Interruption du trafic routier



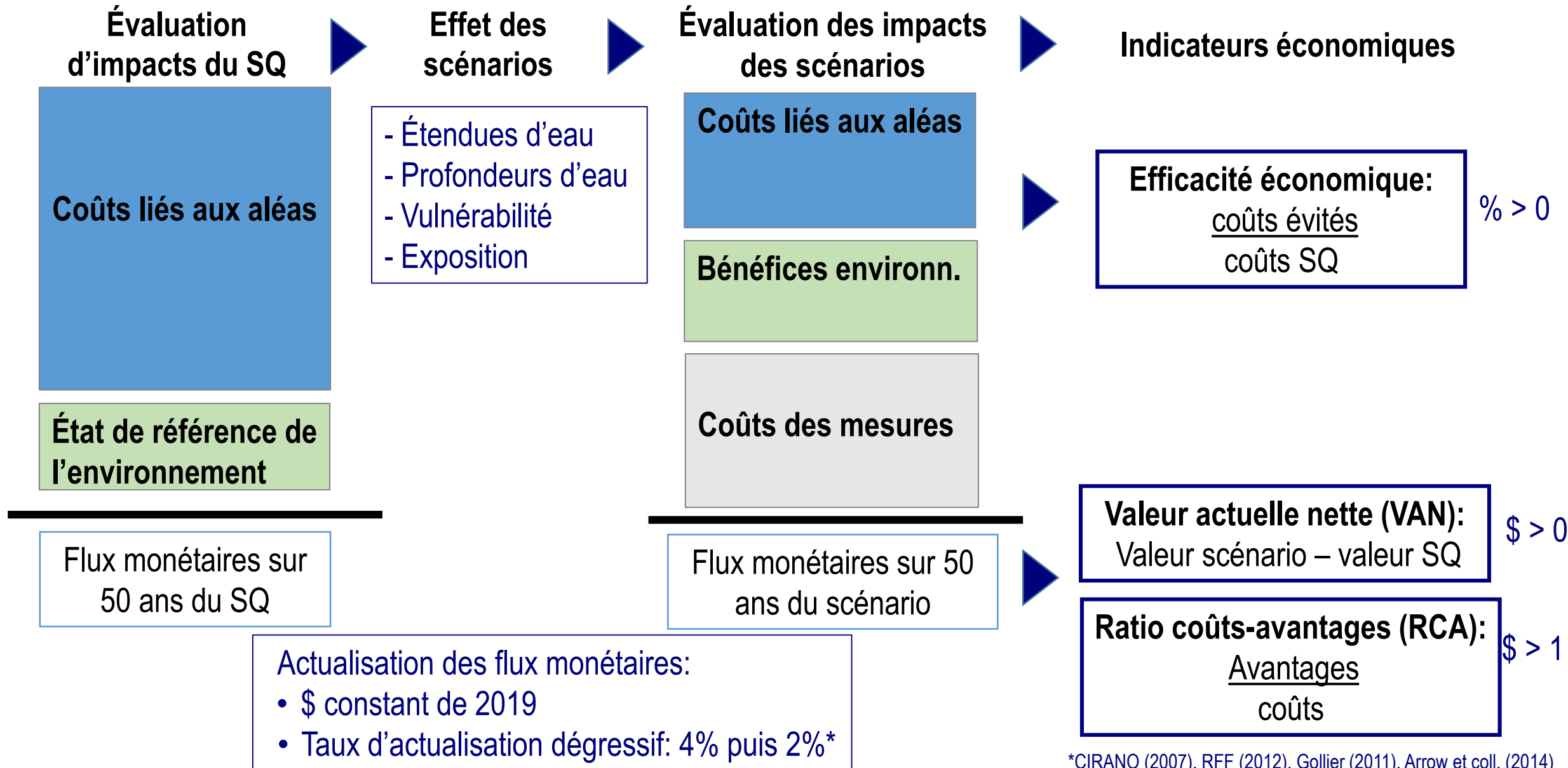
SERVICES ÉCOSYSTÉMIQUES

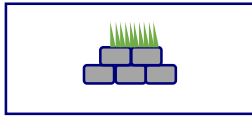
- Stock de carbone
- Transport des sédiments
- Transport des nutriments
- Qualité de l'habitat



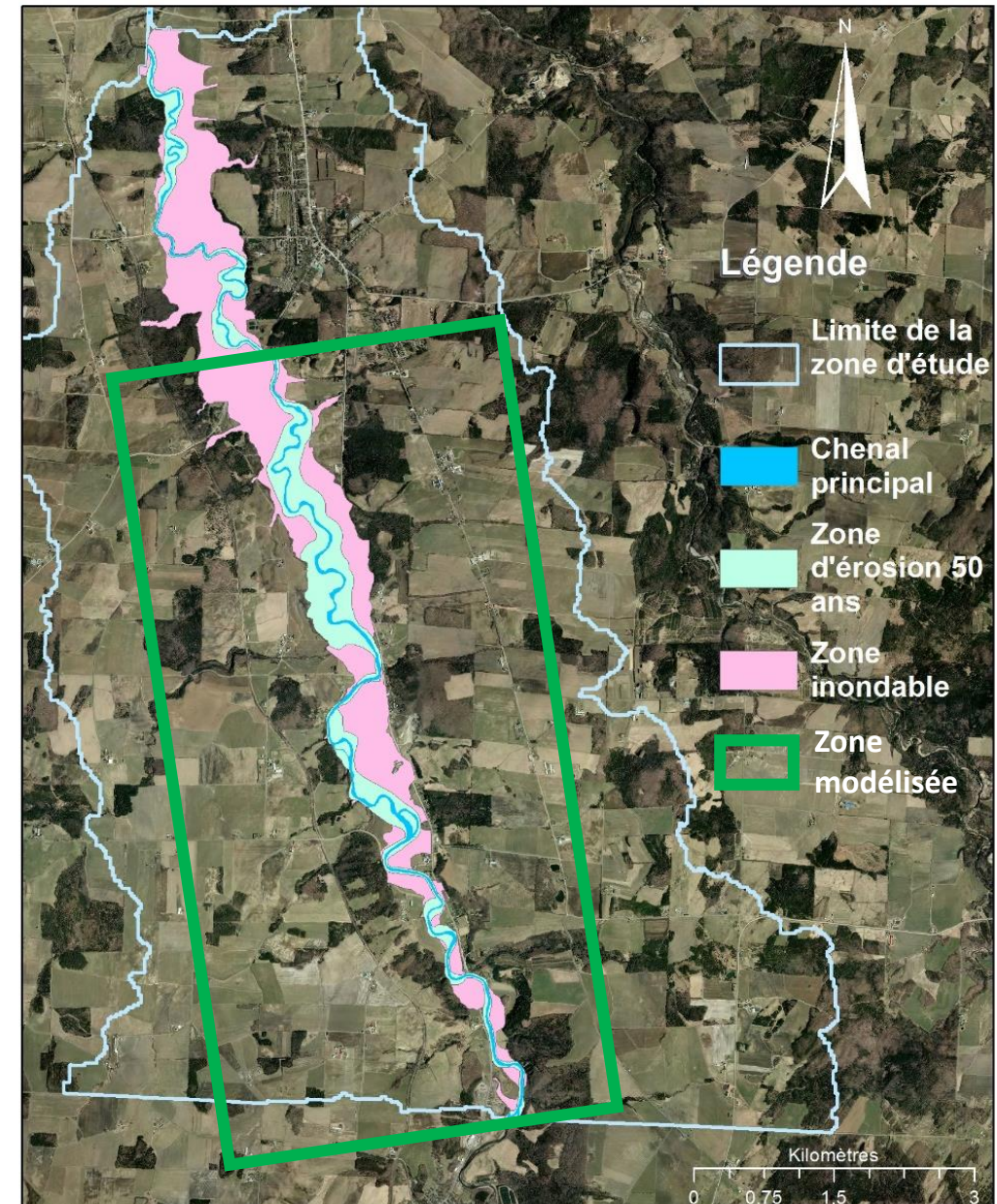
Consulter le guide méthodologique pour connaître les méthodes de quantification

Le calcul des indicateurs économiques

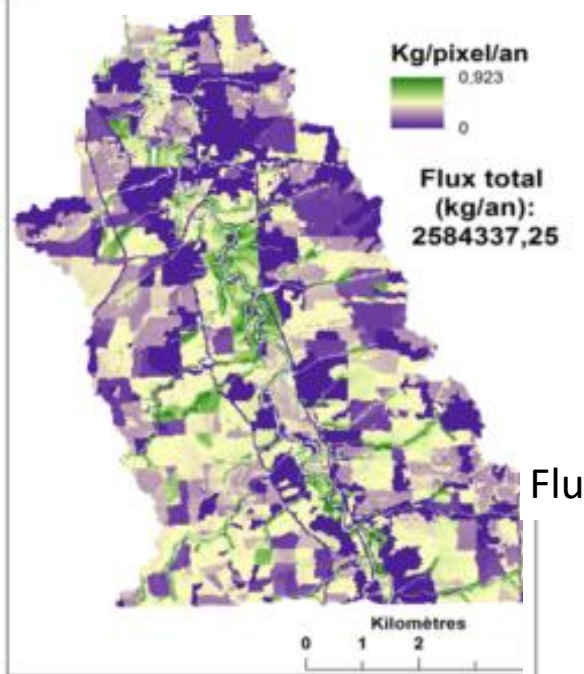




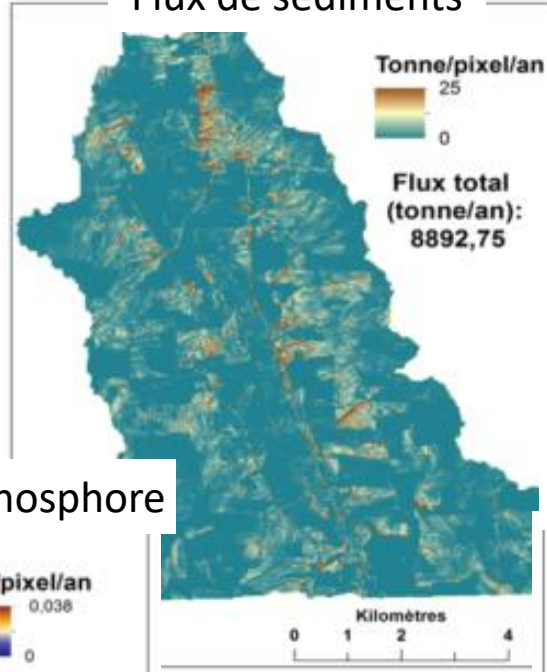
- Poursuite de la stabilisation de berge et de l'indemnisation
- Coût total sur 50 ans : - 5 M\$
 - Dommage aux cultures et nettoyage dus aux inondations : -3 M \$
 - Perte de terres par érosion des berges : -2 M \$
- Différence non significative entre 2 scénarios de gaz à effet de serre (RCP 4.5 et 8.5)



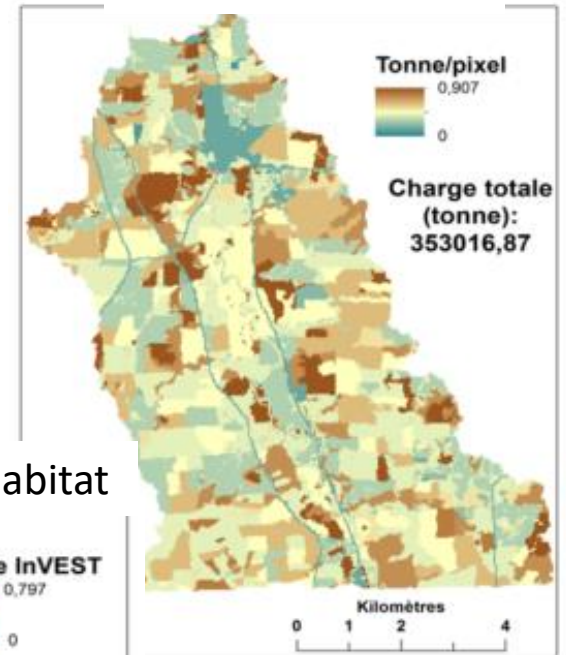
Flux de nutriments - Azote



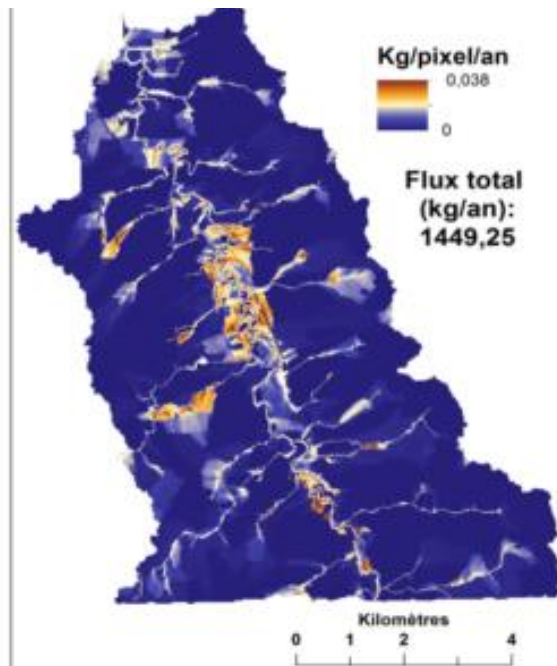
Flux de sédiments



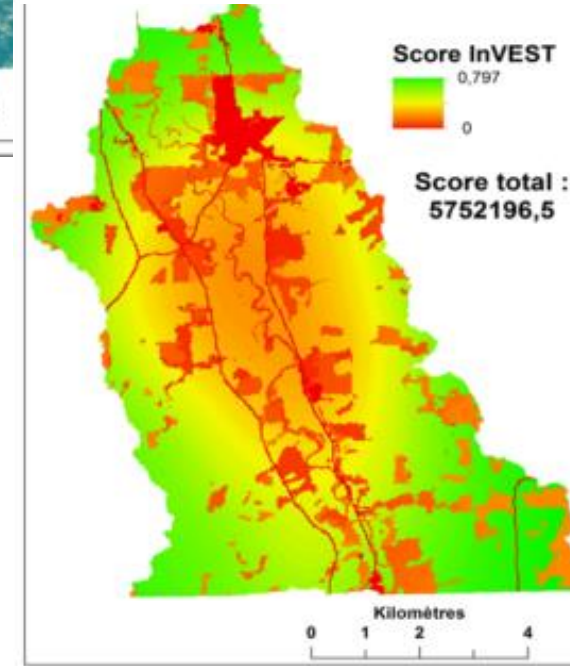
Stock de carbone



Flux de nutriments - Phosphore



Score de qualité de l'habitat



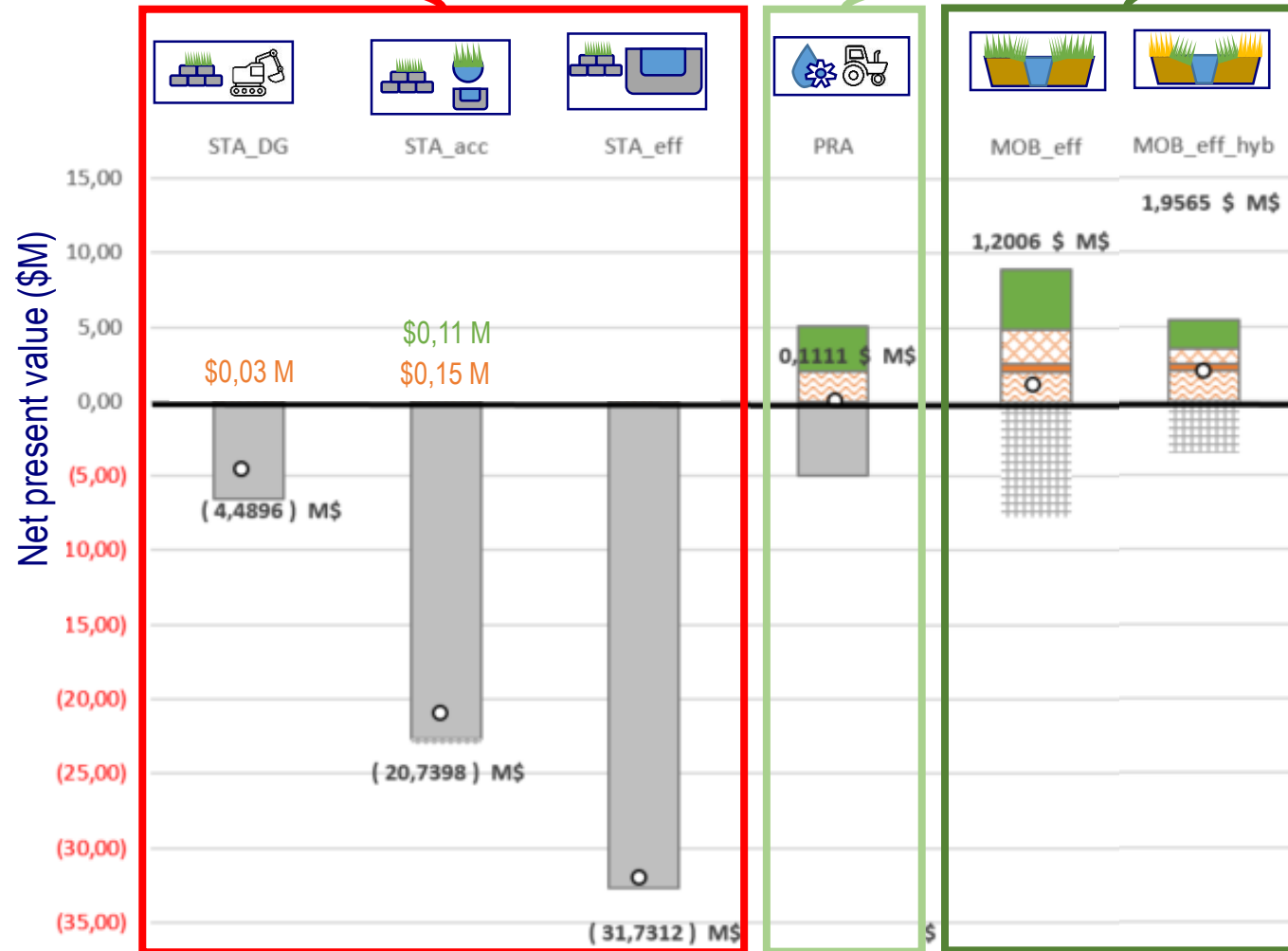
Calculé avec :



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

Compton – Comparaison des scénarios d'adaptation

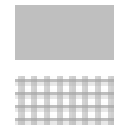
Les approches de contrôle de l'aléa sont moins avantageuses que le statu quo (-4,5 M\$ à -32 M\$)



L'adaptation des pratiques agricoles est avantageuse pour l'environnement, mais évite peu de coûts liés aux inondations : opportunité de combiner

Les stratégies les plus avantageuses impliquent une diminution nette de la superficie cultivée

LÉGENDE :



Coûts d'implantation des mesures

Coûts d'opportunité du changement d'usage

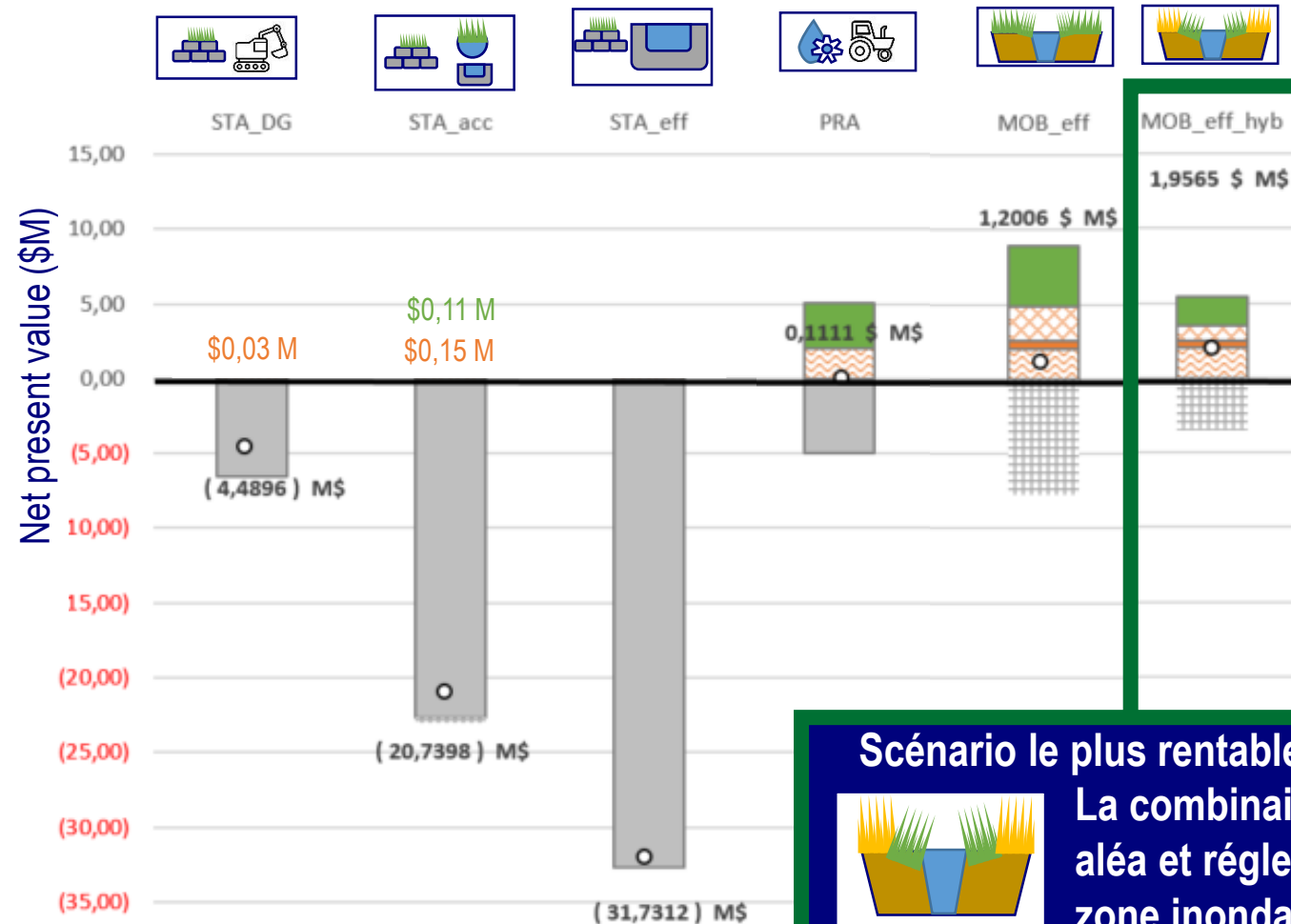


Co-bénéfices environnementaux

Coûts liés à l'érosion évités

Coûts liés aux inondation évités

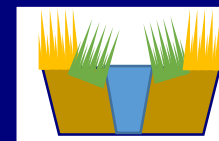
Compton – Scénario le plus rentable



LÉGENDE :

-  Coûts d'implantation des mesures
-  Coûts d'opportunité du changement d'usage

Scénario le plus rentable :



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

Valeur actuelle nette : 1,96 M \$ (RCP 4.5, pc50)

Ratio coûts-avantages : 1,56 \$

 Coûts liés aux inondation évités

Chaudière - Scénario de référence sur 50 ans

Poursuite des pratiques actuelles:

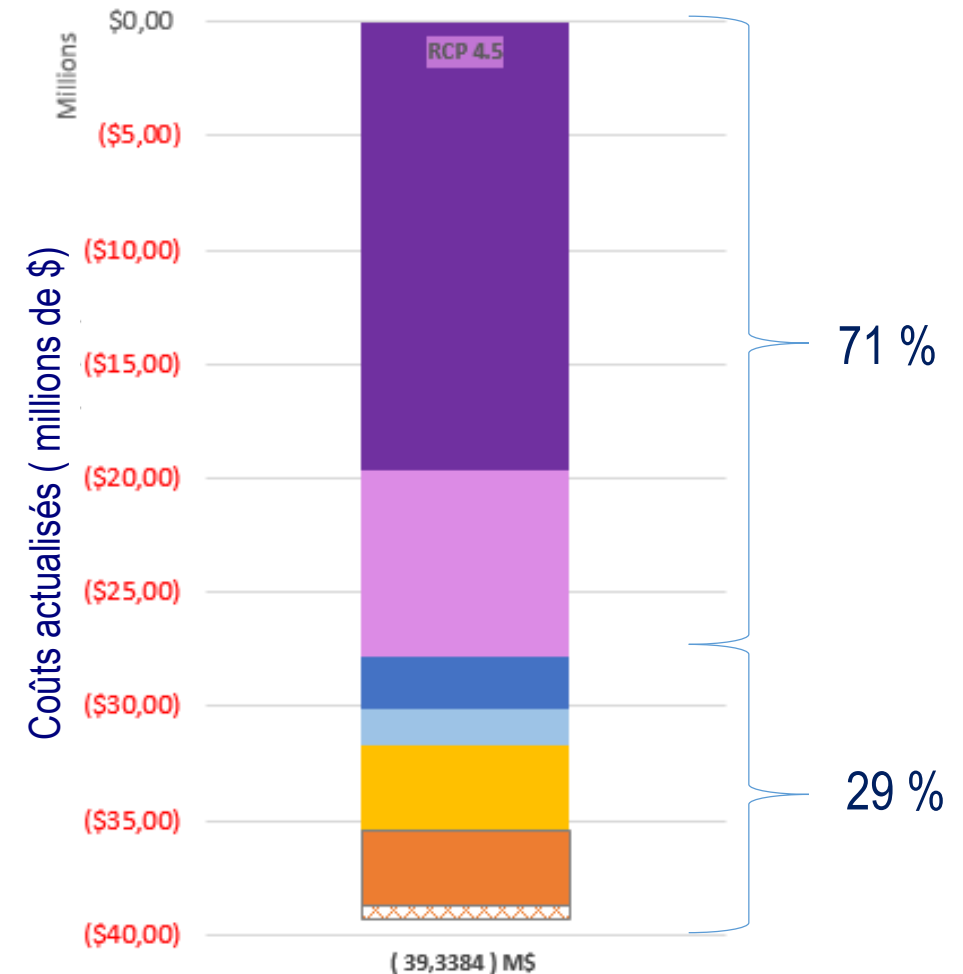
- Développement urbain de la ville de Lévis
- Programme d'indemnisation des dommages
- Démolitions autorisées de lots résidentiels (600 +)

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 :

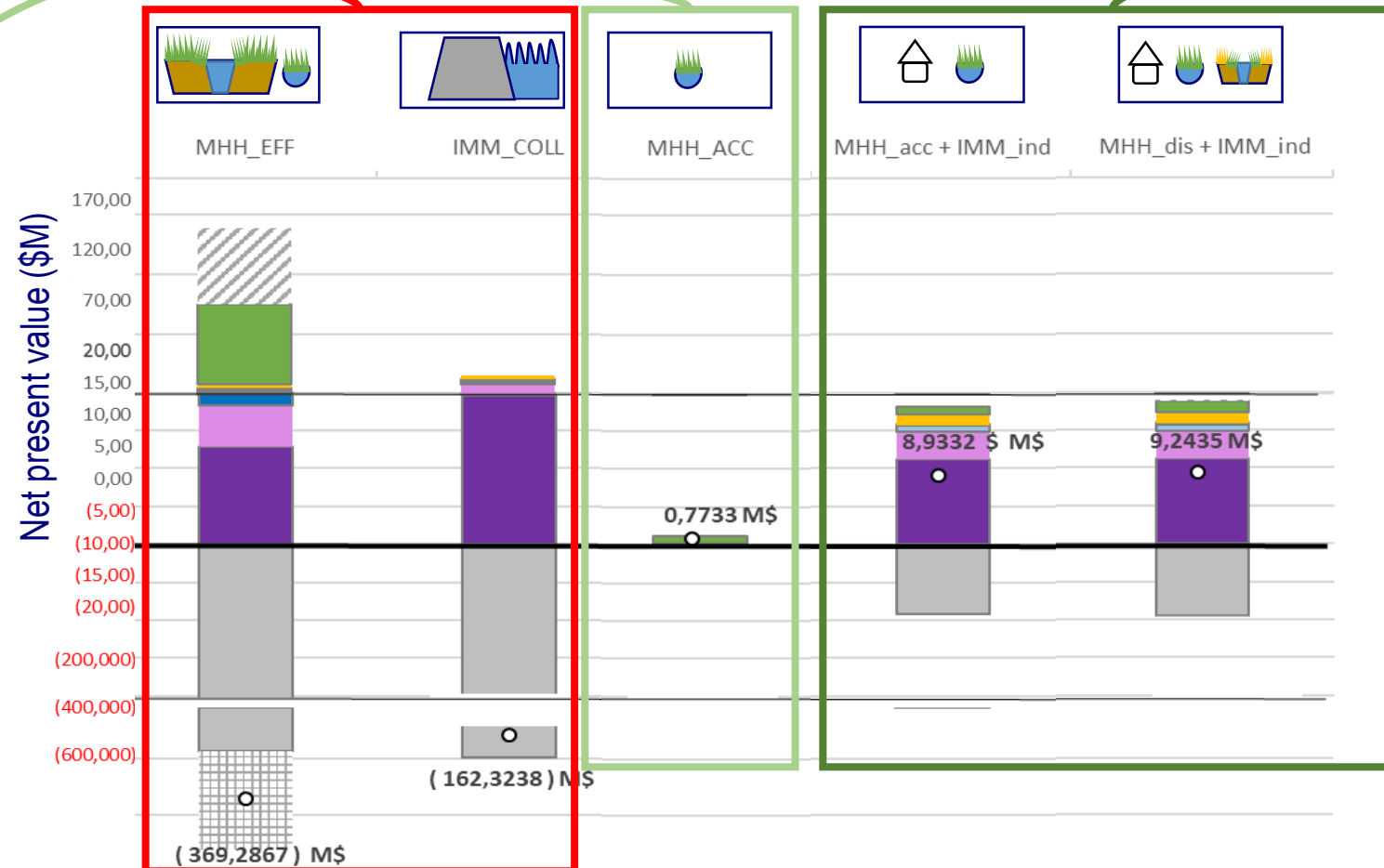
- Public : gestion des urgences + institutions: 3.86 M\$
- Commercial & Industriel : 3,77 M\$
- Agricole : 3,88 M\$, jusqu'à 1370 ha touchés



Chaudière – Comparaison des scénarios d'adaptation

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

La stratégie des milieux humides acceptables génère des co-bénéfices environnementaux, mais évite peu de coûts liés aux inondations



La combinaison des stratégies de restaurations des MHH + immunisation et relocalisation individuelle des bâtiments est plus avantageuse que le statu quo

LÉGENDE :

Coûts des scénarios:



Coût d'implantation des mesures



Coûts d'opportunité du changement d'usage

Co-bénéfices:



Revenus tirés des bandes riveraines



Environnementaux

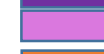
Coûts évités liés aux inondations :



Bâtiment C & I



Bâtiment public



Bâtiment résidentiel

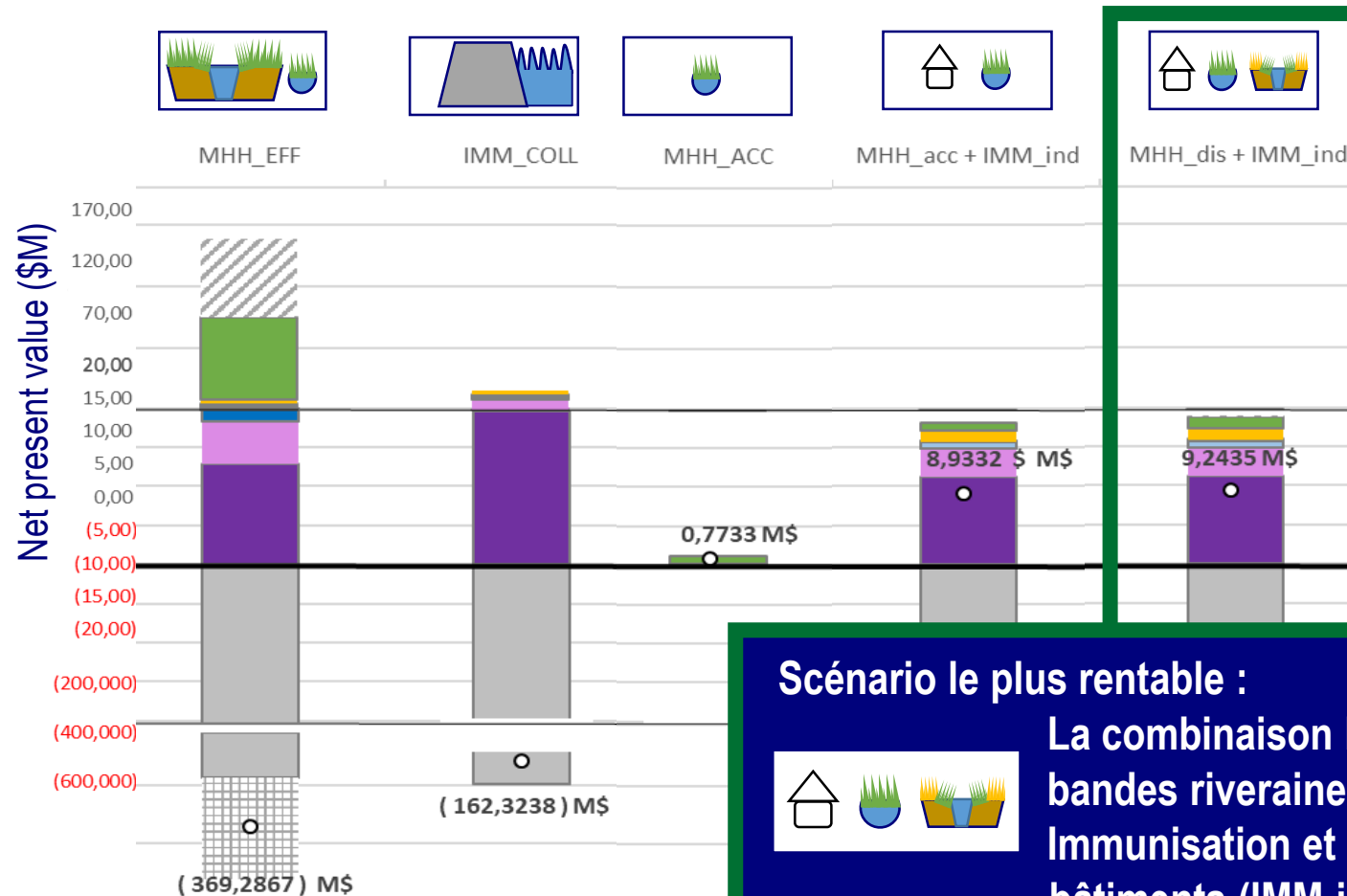


Coûts psycho-sociaux



Domage aux culture et nettoyage

Chaudière – Scénario le plus rentable



LÉGENDE :

Coûts des scénarios:



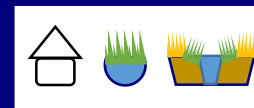
Coût d'implantation des mesures
Coûts d'opportunité du changement d'usage

Co-bénéfices:



Revenus bandes riveraines
Environnementaux
Coûts psycho-sociaux
Dommage aux culture et nettoyage

Scénario le plus rentable :



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

Valeur actuelle nette : 9,24 M \$ (RCP 4.5, pc50)

Ratio coûts-avantages : 1,95 \$

- **Sensibilité** : les scénarios gagnants sont sensibles à 2/8 variables :
 - Taux d'actualisation + élevé (6 %)
 - Valeur des terres agricoles (>25 000 \$ /ha)
- **Aléas fluviaux non modélisés (risques résiduels)** :
 - Compton (avulsion et cônes alluviaux) : opportunité d'ajouter des pratiques de drainage au scénario gagnant
 - Chaudière (érosion, embâcles de glace, inondation des affluents) : renforce la restauration des MHH dans un équilibre entre les sous-bassins versants et le chenal principal
- **Analyse de distribution** :
 - Le statu quo est coûteux pour la collectivité : 60 % à 70 % des coûts supportés par la collectivité
 - Scénario gagnant de Compton : opportunité de redistribuer les bénéfices collectifs aux agriculteurs
 - Scénario gagnant de Chaudière : bénéfices équilibrés entre la société, propriétaires immobiliers et agriculteurs

Retombées et limites pour l'adaptation



Introduction



Mobilisation des parties prenantes



Analyse de risque



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
- la valeur ajoutée à quantifier la valeur des services écosystémiques au sein d'une ACA

Retombées :

- 3 livrables pour outiller les communautés :
 - 2 rapports d'études de cas
 - 1 guide méthodologique
- Soutien à la gestion du territoire: PDE* et PRMHH* de la rivière Chaudière
- Valorisation des résultats dans la transformation réglementaire liée à la gestion des risques d'inondation
- Formation aux membres du ROBVQ*



- Performance des modèles économiques et environnementaux à reproduire les observations
- Enjeux de gouvernance pour la mise en œuvre des stratégies d'adaptation, notamment pour les infrastructures naturelles
- Mécanisme de compensation pour équilibrer les coûts et avantages entre les différentes catégories d'acteurs
- Enjeux de transfert de capacités à réaliser des ACA (ex. outils, compétences)
- Catégorie d'impacts à mieux documenter :
 - Co-bénéfices récréatifs
 - Cohésion sociale
 - Patrimoine
 - Développement immobilier
 - Infrastructures de transports



Remerciements



Merci de votre attention

Boyer-villemaire.ursule@ouranos.ca



Pour télécharger les rapports :

- Compton : https://www.ouranos.ca/wp-content/uploads/RapportBoyerVillemaire2021A_FR.pdf
- Chaudière : https://www.ouranos.ca/wp-content/uploads/RapportBoyerVillemaire2021B_FR.pdf
- Guide méthodologique : https://www.ouranos.ca/wp-content/uploads/GuideBoyerVillemaire2021_FR.pdf

