



# Sécheresse hydrologique dans les bassins versants forestiers : défis et perspectives

**Audrey Maheu**

Professeure, Département des sciences naturelles

Directrice scientifique, Institut des sciences de la forêt tempérée



# Audrey Maheu

PhD en sciences de l'eau



*Impact des barrages sur le régime thermique des rivières*

Post-doc, département de génie des eaux

*Modélisation hydrologique*



Professeure régulier

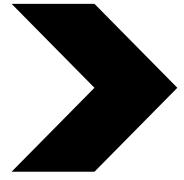
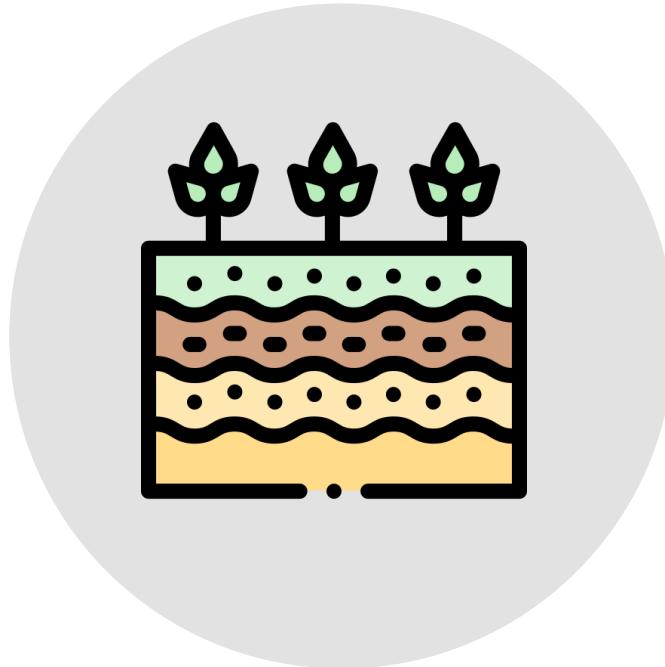
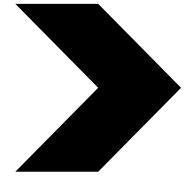
*Laboratoire d'écohydrologie*



Directrice



Institut des Sciences  
de la Forêt tempérée



## Sécheresse météorologique :

conditions météorologiques déviant largement de la moyenne à long terme

## Sécheresse agronomique (sol)

## Sécheresse hydrologique

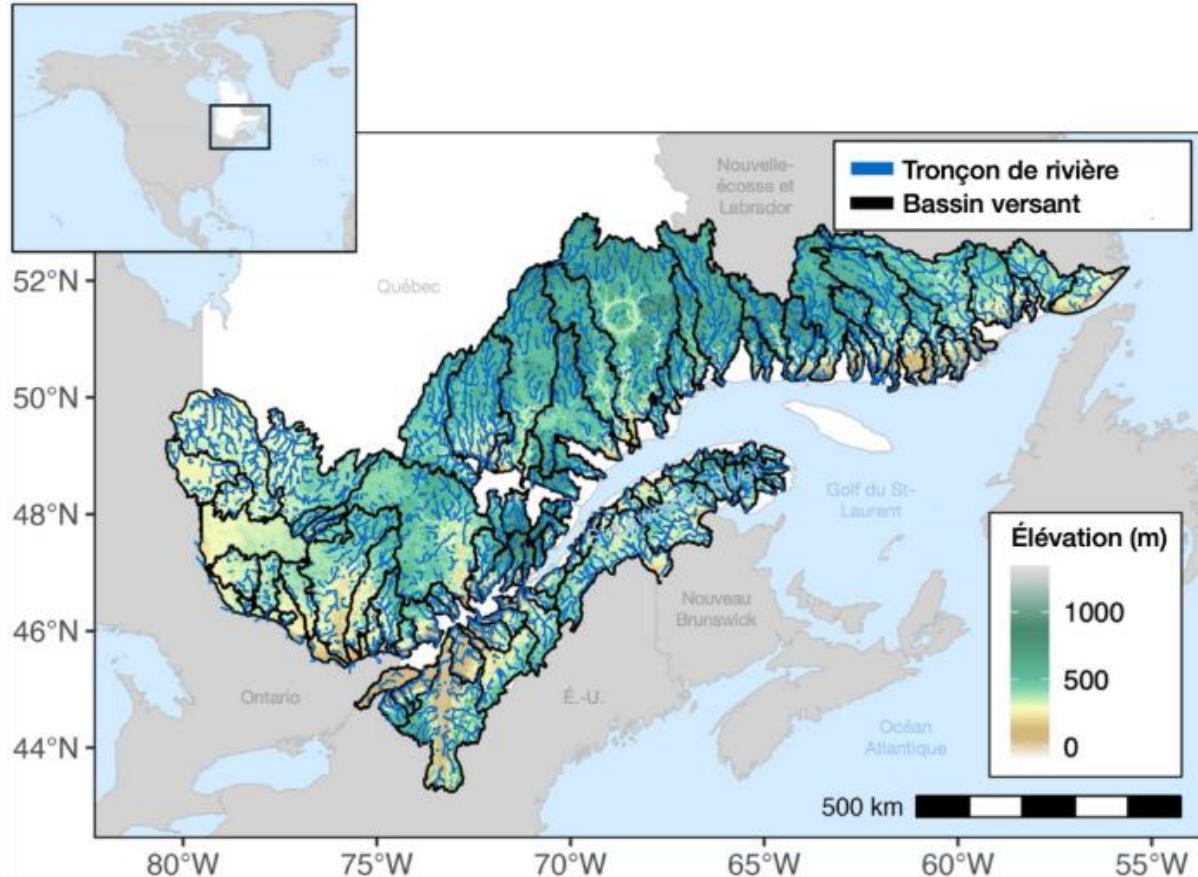
niveaux d'eau de surface largement en deçà de la moyenne à long terme

**1**

Décrire les sécheresses hydrologiques en climat passé



# Portrait dans l'Atlas hydroclimatique du Québec méridional



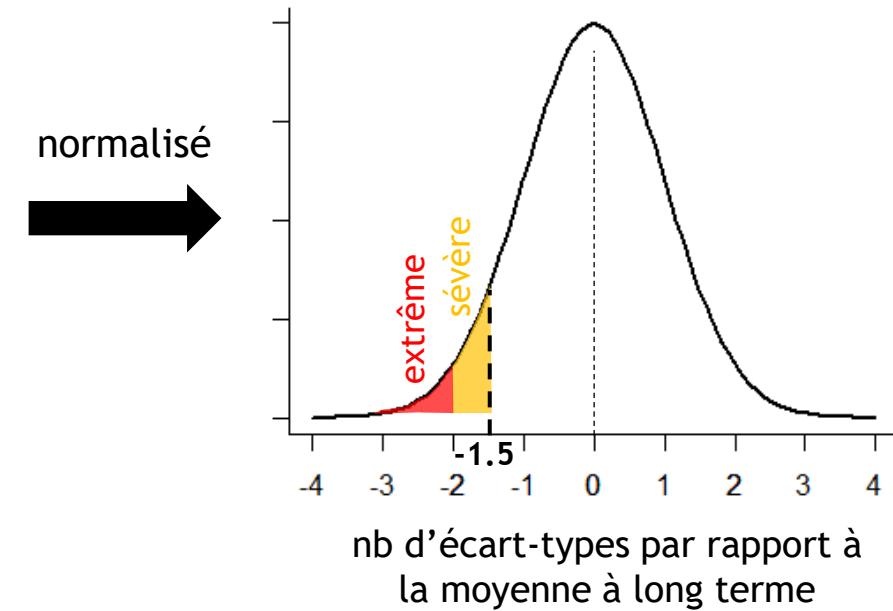
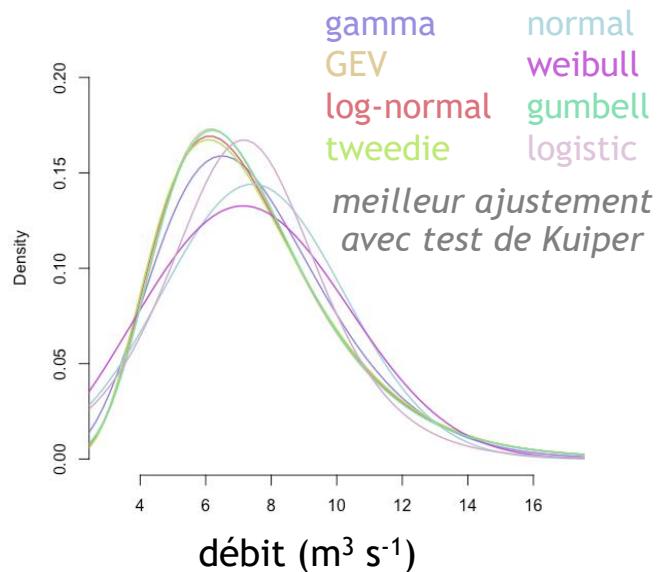
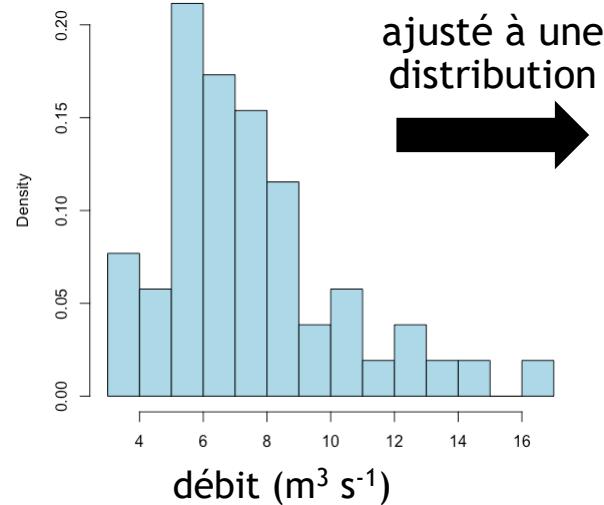
- débits journaliers de 1970 to 2022
- interpolation statistique qui combine des observations et des simulations d'Hydrotel (Lachance-Cloutier et al., 2017)
- tronçons avec une influence minimale des barrages

Sélection :

- tronçons avec une aire de drainage > 100 km<sup>2</sup>
- ≥ 10 tronçons par bassin versant

**6718 tronçons dans 109 bassins versants**

# Indice standardisé de débit (Standardized Streamflow Index - SSI)



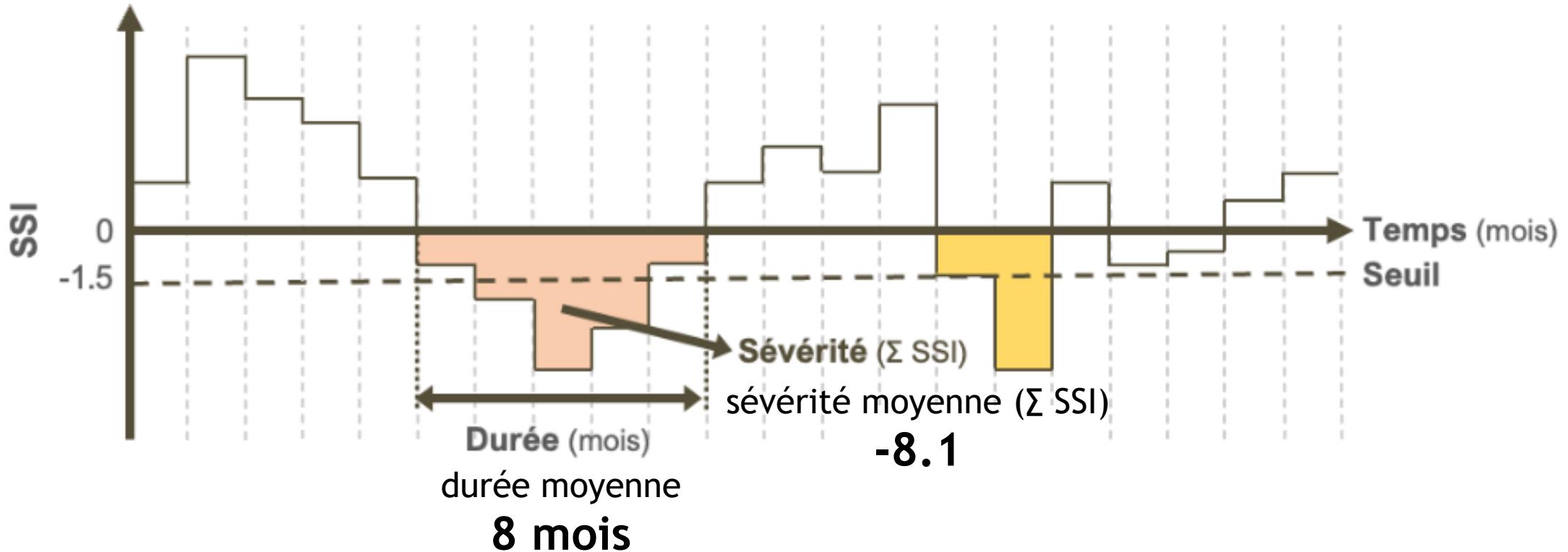
Une sécheresse se définit comme :

- **mois consécutifs où indice < 0**
- au moins un mois avec **indice < -1.5**



Pour chaque mois de sécheresse, le débit est en moyenne 1 écart-type sous la normale.

### a) Sécheresse à l'échelle du tronçon



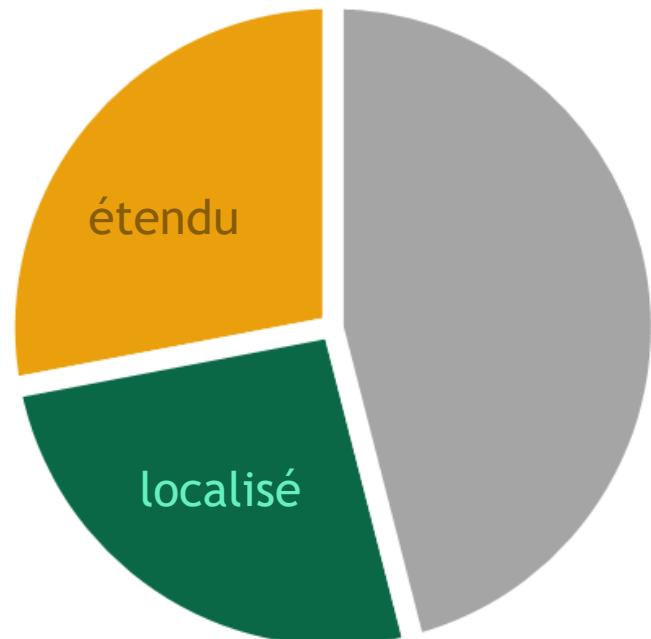
Les événements de sécheresse ne sont pas toujours étendus à tout le bassin versant.



En moyenne, 61 % du réseau hydrographique est en sécheresse pour un événement donné.

**Événement étendu** : 28 % des événements touchent > 99 % du réseau hydrographique.

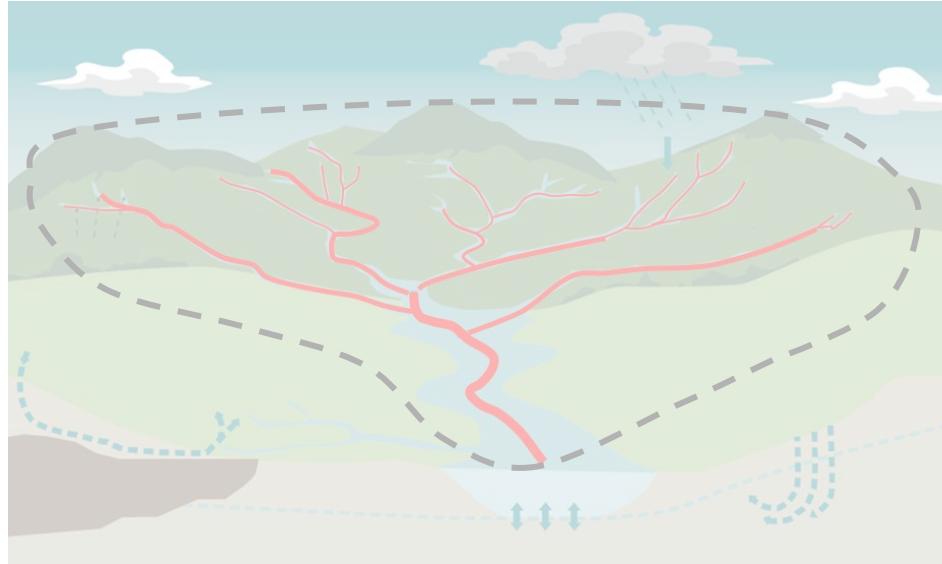
**Événement localisé** : 26 % des événements touchent < 25 % du réseau hydrographique.



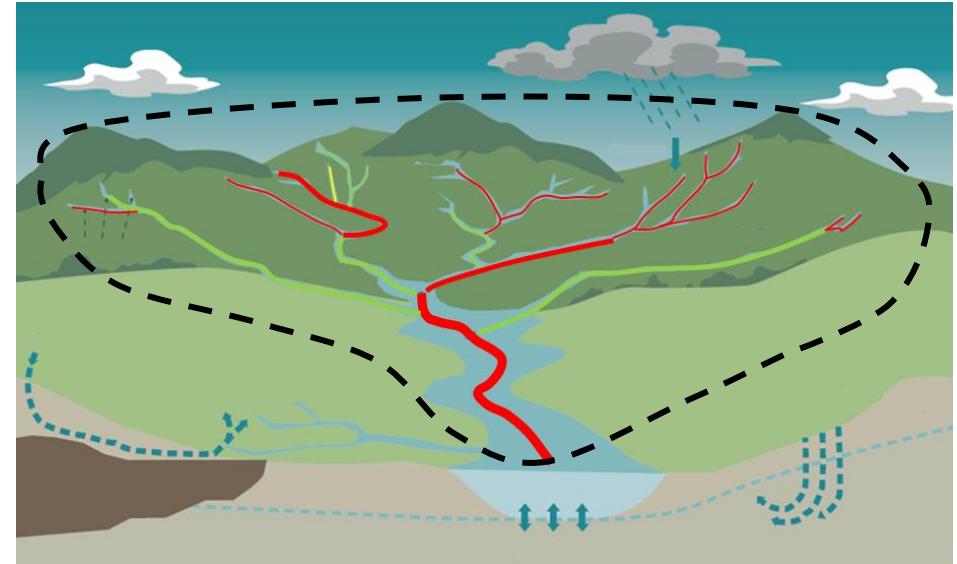


## Les événements de sécheresse ne sont pas toujours étendus à tout le bassin versant.

Hypothèse : cohérence spatiale



Résultat :



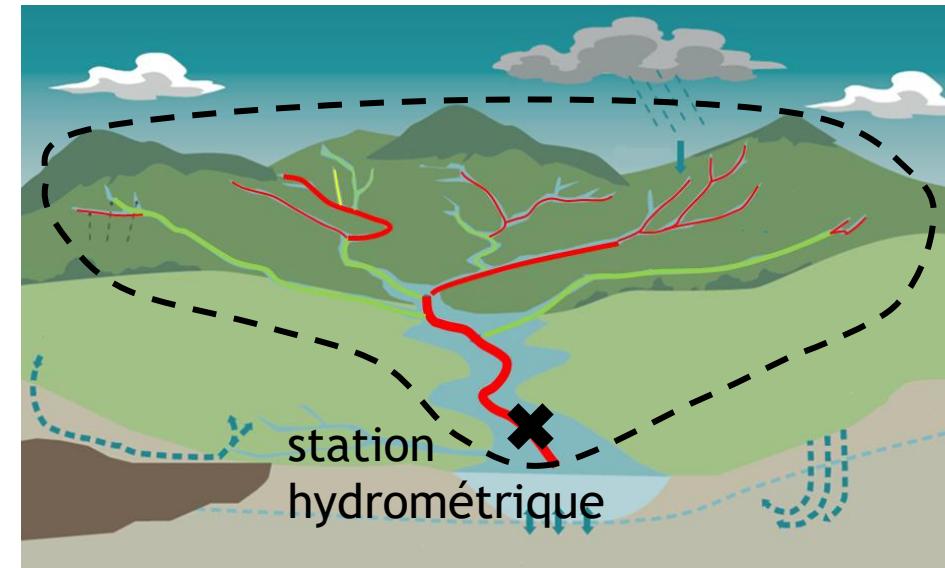
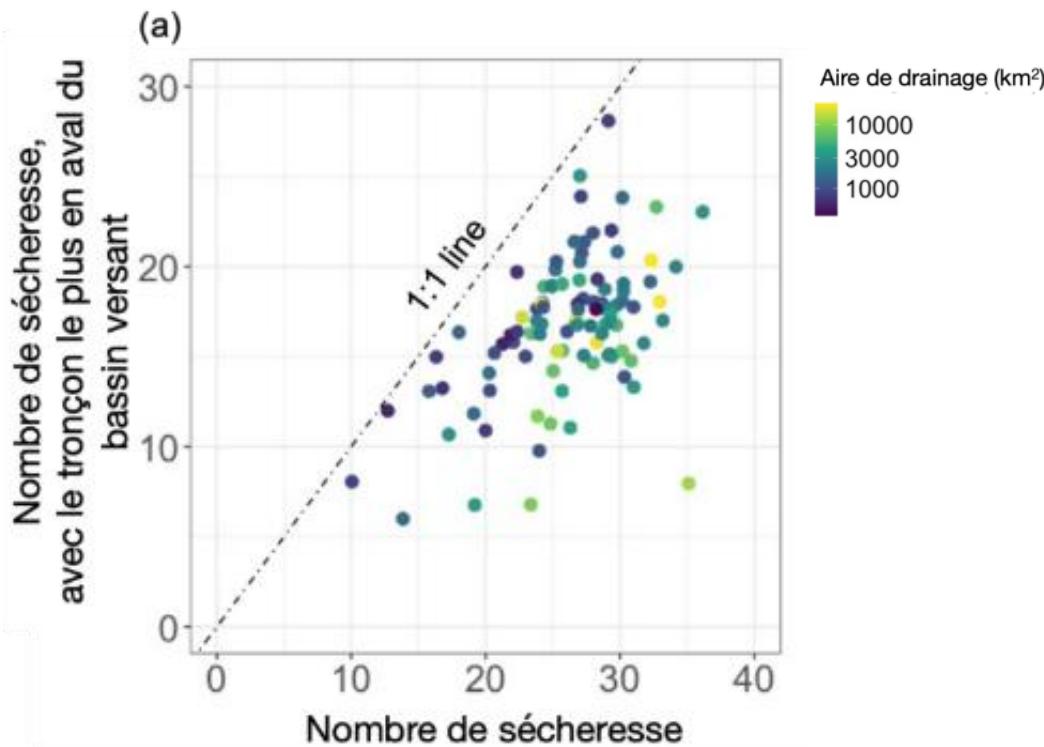
En moyenne, 61 % du réseau hydrographique impacté lors d'un événement de sécheresse.



## Presque 1/3 des événements sont omis en utilisant une seule station pour un bassin versant.

Pour chacun des 109 bassins versants, nous avons comparé les sécheresses identifiées avec tous les tronçons vs avec le suivi à un seul endroit (tronçon le plus en aval).

- 9 événements **omis** en moyenne (min = 1, max = 27) → 35 % des événements



## Décrire les sécheresses hydrologiques en climat passé



- Entre 1970 et 2022, les sécheresses ont, en moyenne, **duré 8 mois** et leur **sévérité était de -8,1**.
- L'**étendue spatiale** de la sécheresse varie considérablement d'un événement à l'autre, avec en moyenne 61 % du réseau hydrographique impacté lors d'un événement.
- Plusieurs sécheresses hydrologiques **ne sont pas détectées** lorsqu'on se fie à un seul site de suivi.

# ENJEUX



- Le réseau de suivi fournit un **portrait incomplet** des événements de sécheresse.
- Il est difficile de baser des indicateurs, cibles ou mesures d'action uniquement sur les **stations hydrométriques**.
- Il est nécessaire d'identifier les facteurs responsables de la **variabilité spatiale** observée et à évaluer si certains milieux sont plus vulnérables que d'autres.

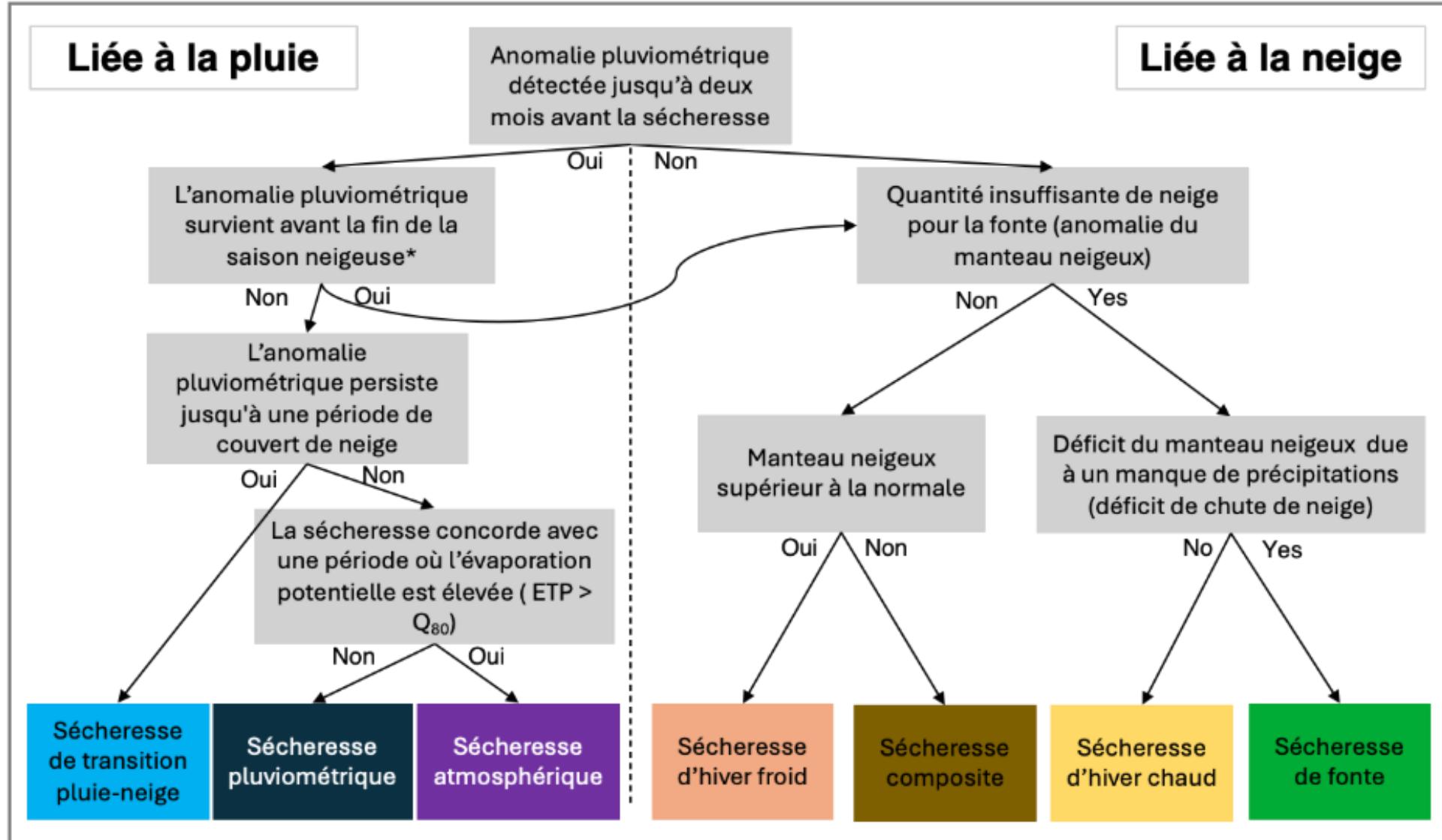
**2**

Identifier les déterminants météorologiques  
des sécheresses hydrologiques en climat passé

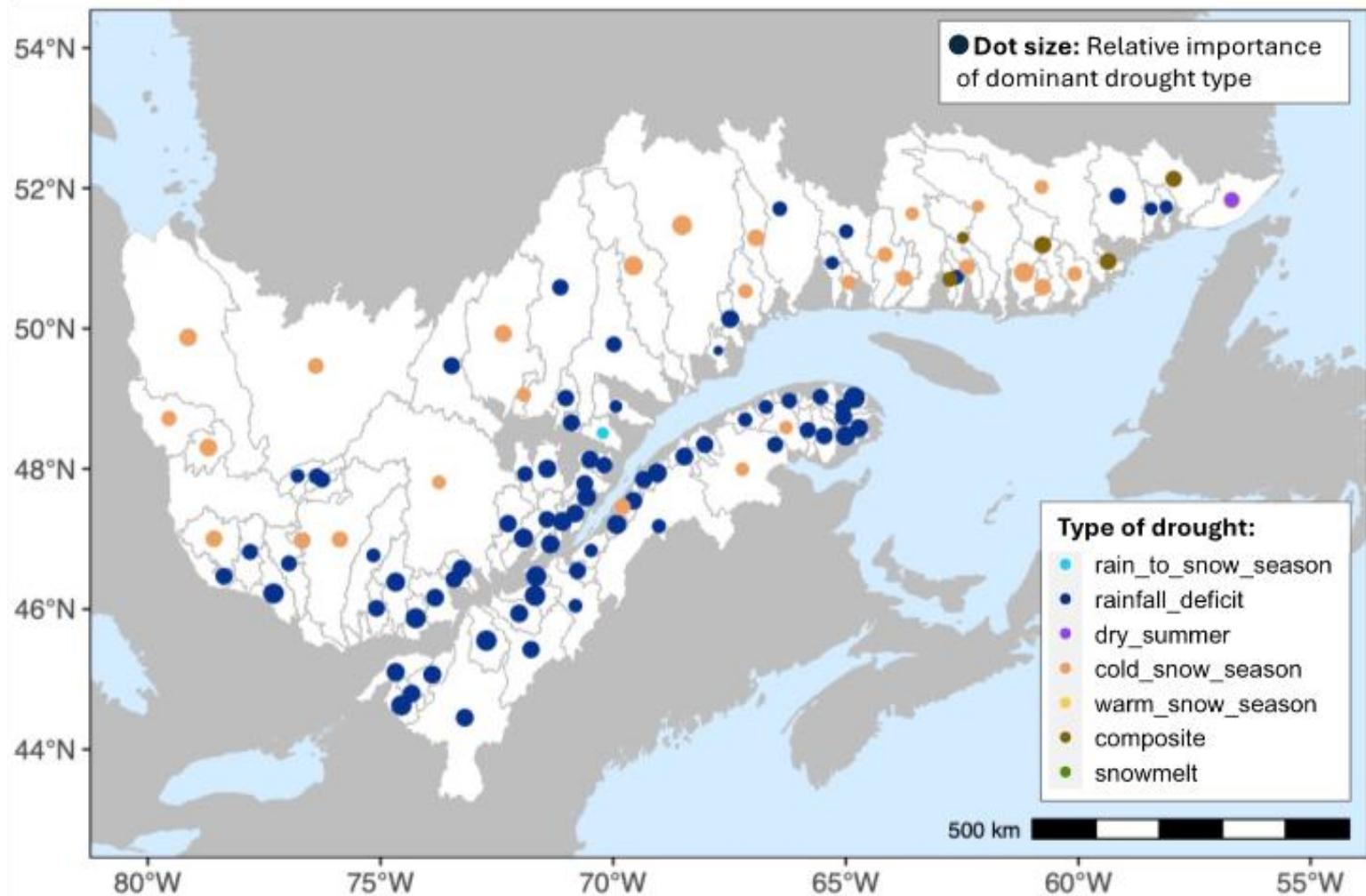




# Typologie des sécheresses

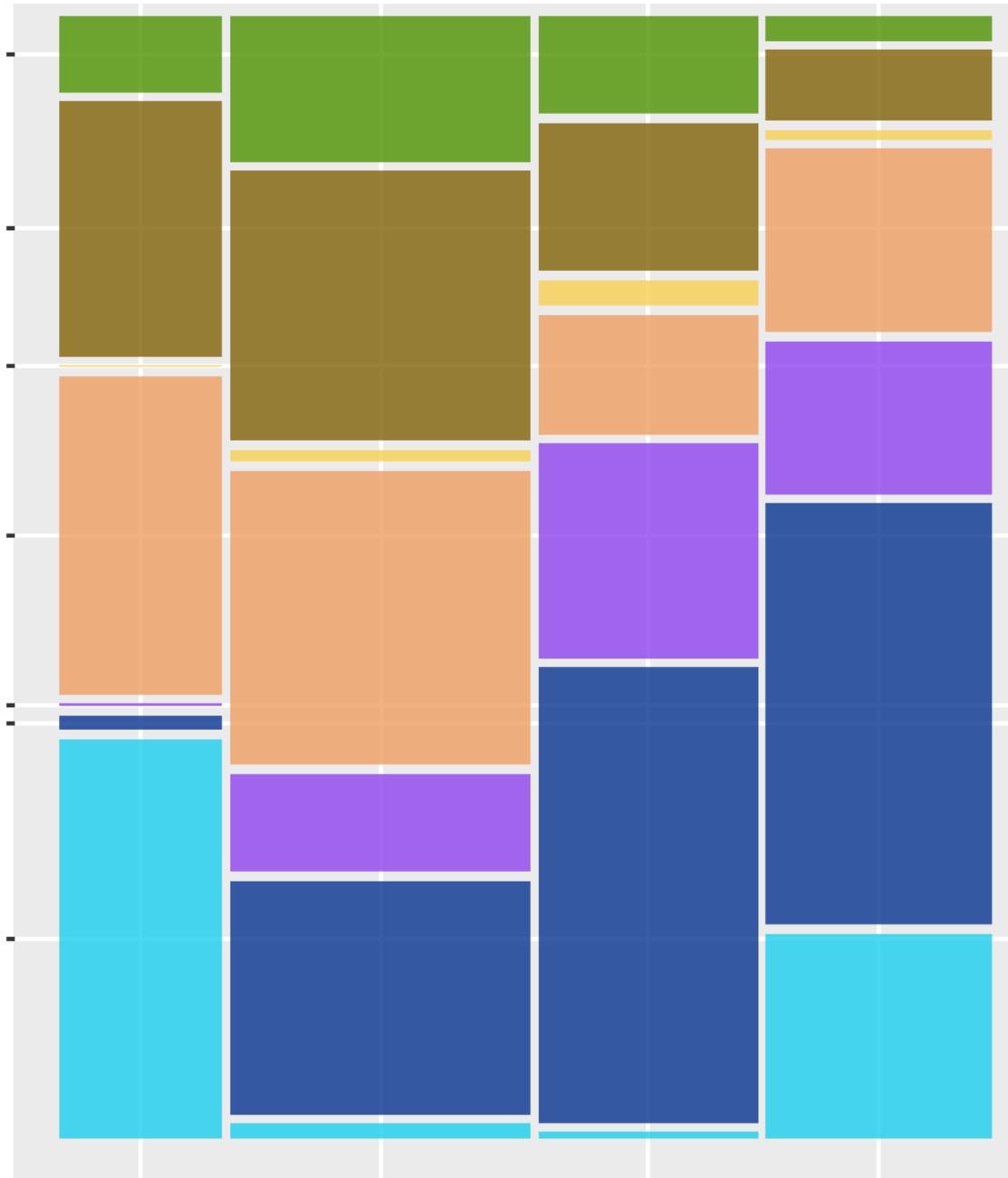


Un déficit de pluie est le plus fréquent déterminant des sécheresses hydrologiques dans le sud du Québec.





proportion des événements de sécheresse



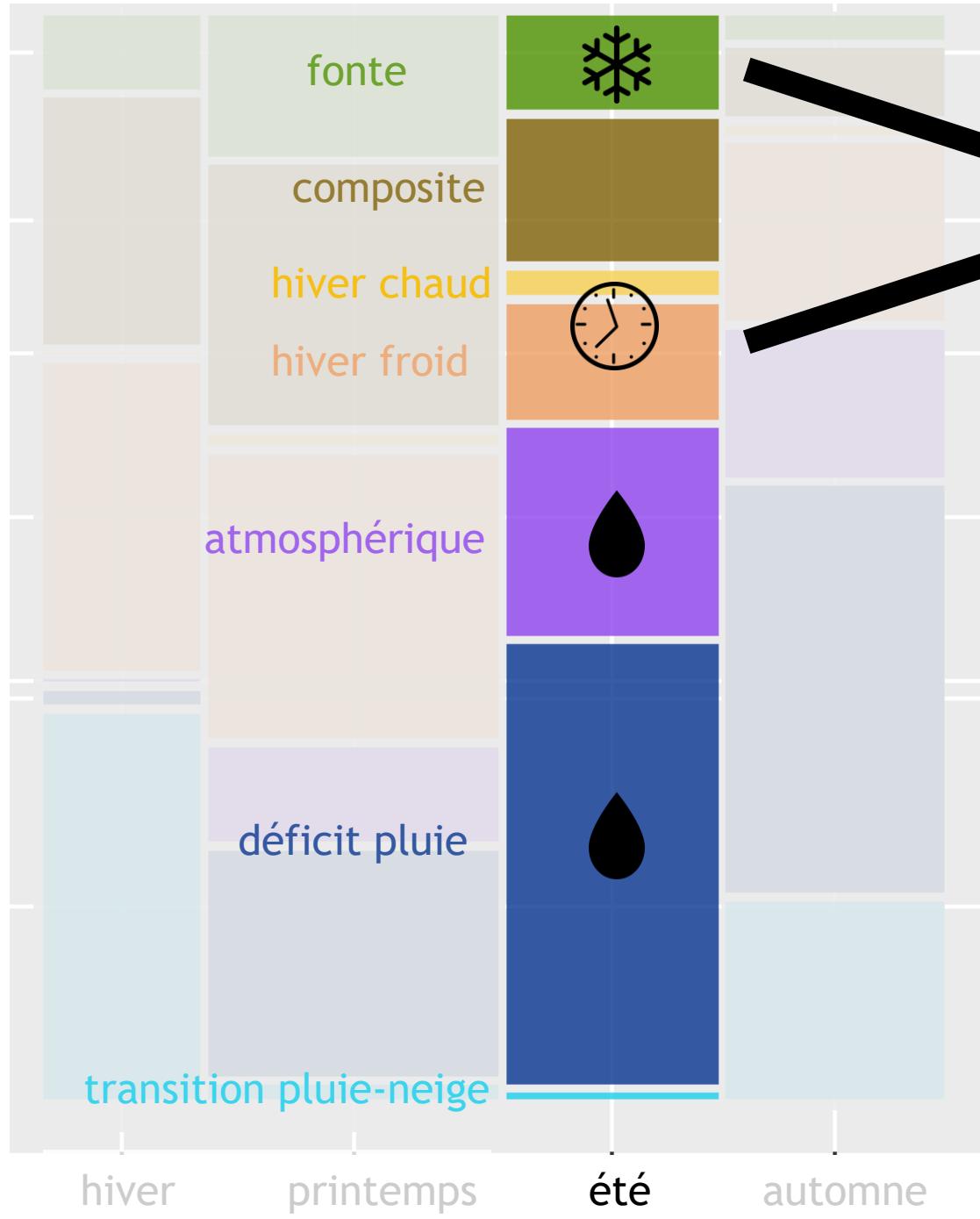
hiver

printemps

été

automne

proportion des événements de sécheresse



Environ 1/4 des sécheresses estivales sont associées à des processus de gel ou de fonte.





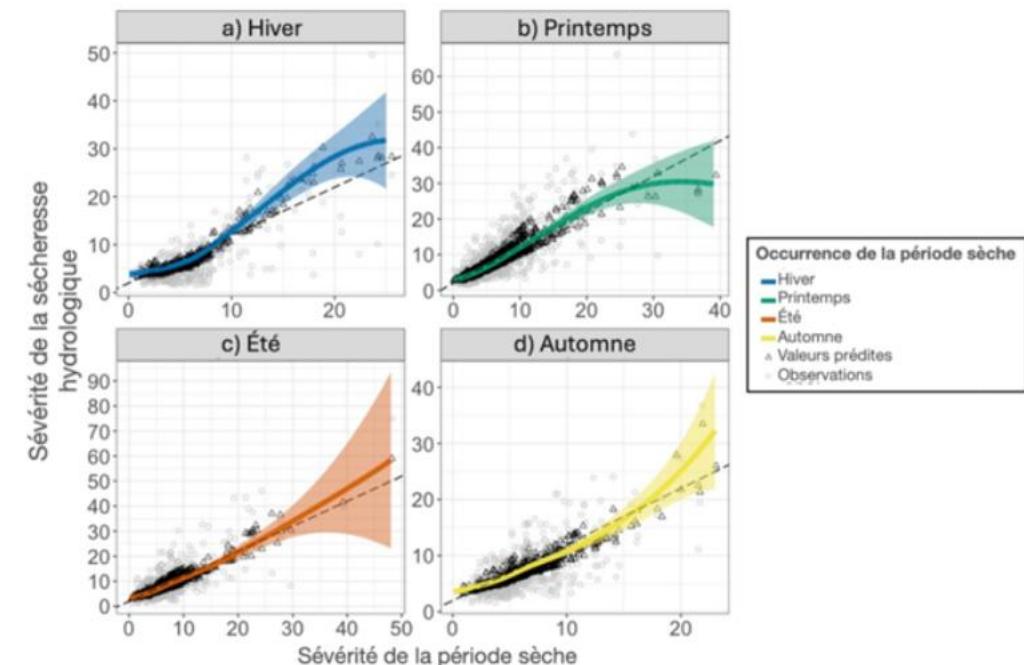
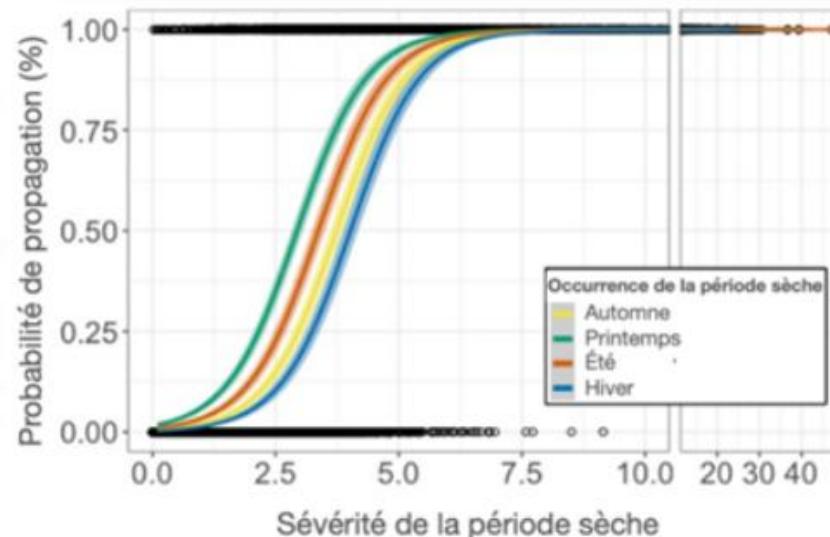
## Standardized Water Budget Index (SWBI)

## Précipitation liquide + Fonte - ETP

# Standardized Streamflow Index (SSI)

# Débit

En moyenne, 53 % des sécheresses météorologiques se transforme en sécheresse hydrologique affectant les rivières.



## 2

Identifier les déterminants météorologiques des sécheresses hydrologiques en climat passé



Plus de la moitié des sécheresses hydrologiques **reliées à la neige** - cela inclut les sécheresses hydrologiques ayant lieu à l'été dont 26 % sont liées à la neige.

En moyenne, 53 % des sécheresses **météorologiques** se transforme en sécheresse **hydrologique** affectant les rivières.

Il est possible de **prédirer** les sécheresses hydrologiques et leur sévérité à partir des conditions météorologiques.

## 2

## ENJEUX

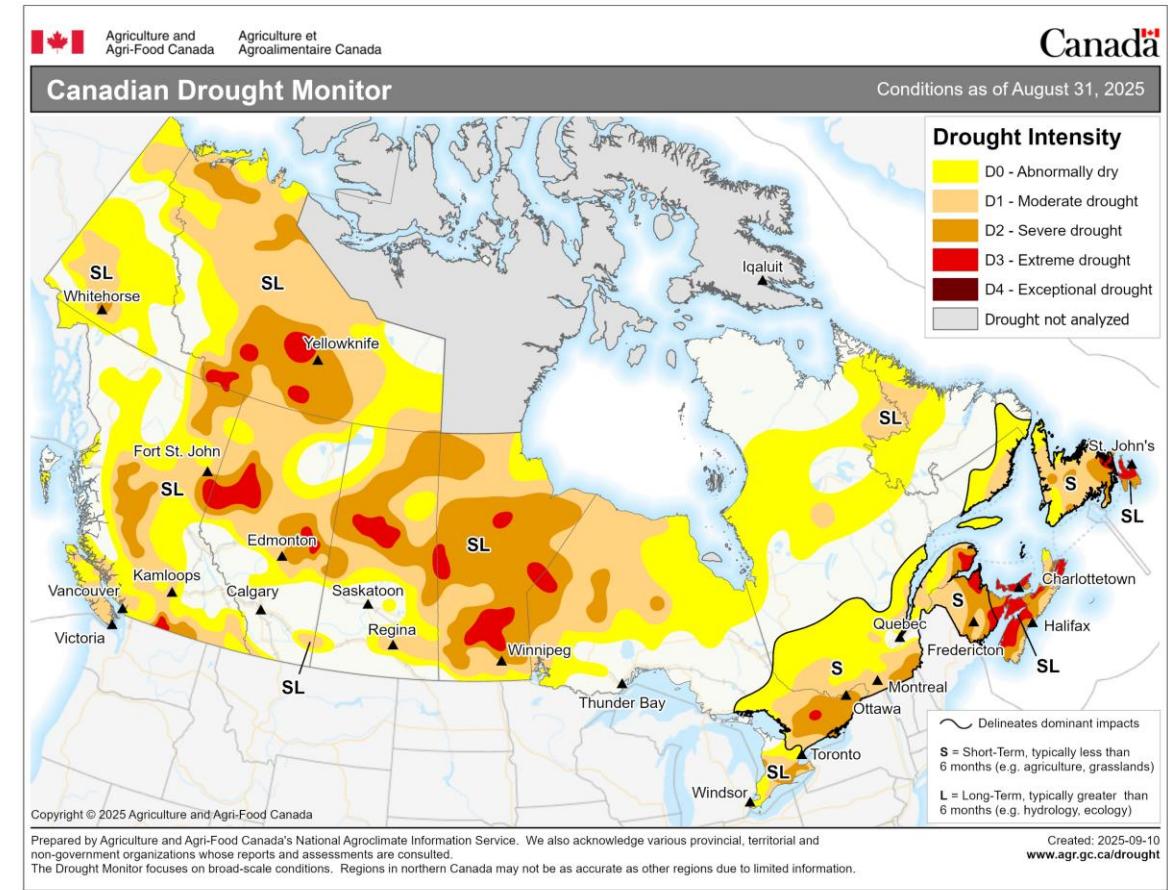


Il est possible de prédire les sécheresses hydrologiques à partir des conditions météorologiques mais

- une sécheresse **météo** ne se traduit pas toujours par une sécheresse **hydro**;
- il est nécessaire de considérer la **neige**.

Un système de prévision doit être rattaché à un **plan d'intervention**.

On connaît peu les **seuils** menant à des impacts importants.



3

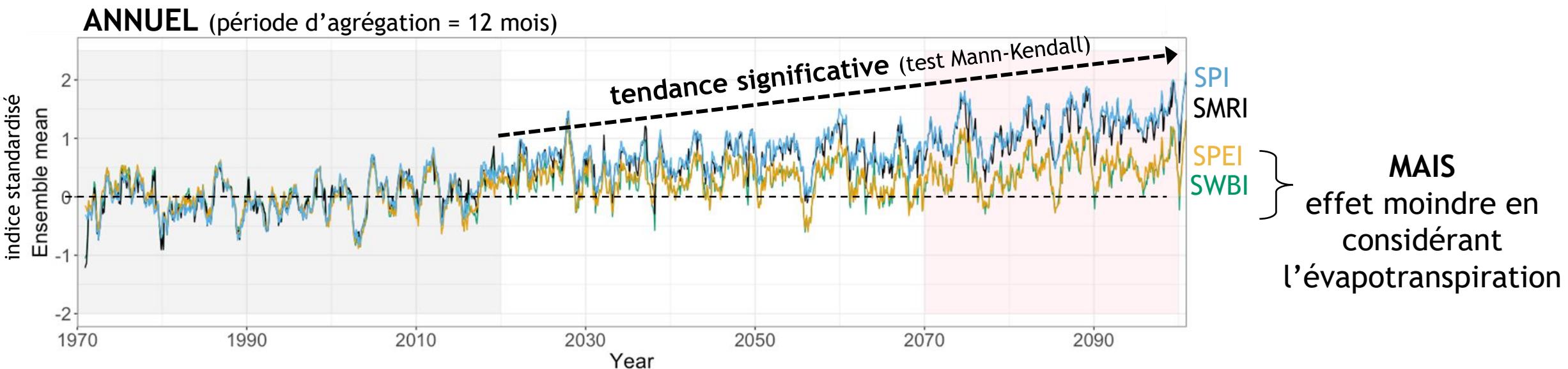
Caractériser la prévalence des évènements météorologiques menant à des sécheresses hydrologiques en **climat futur**





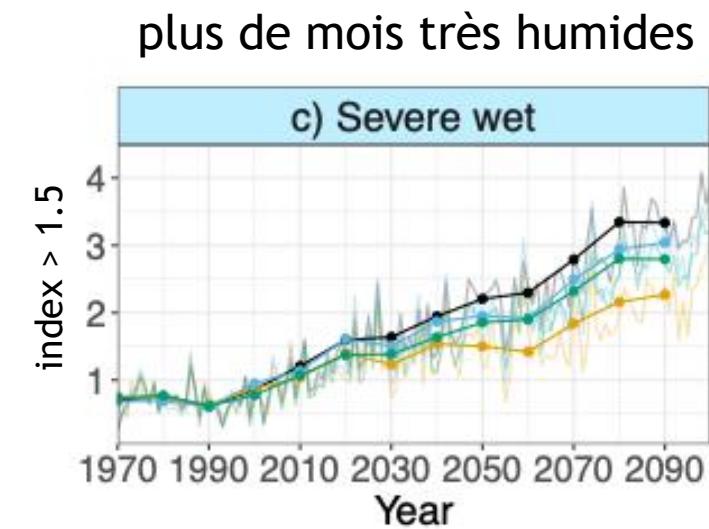
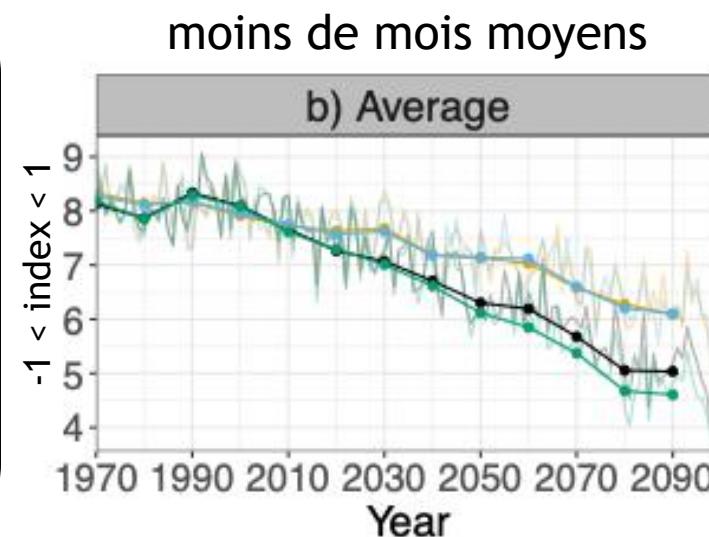
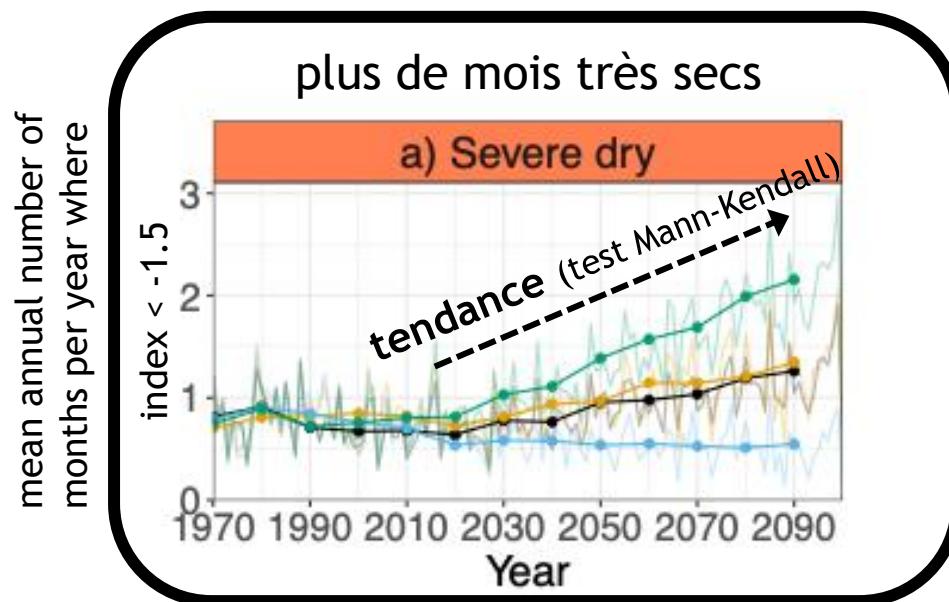
À l'échelle annuelle, il y a une tendance vers des conditions plus humides...

Climat futur



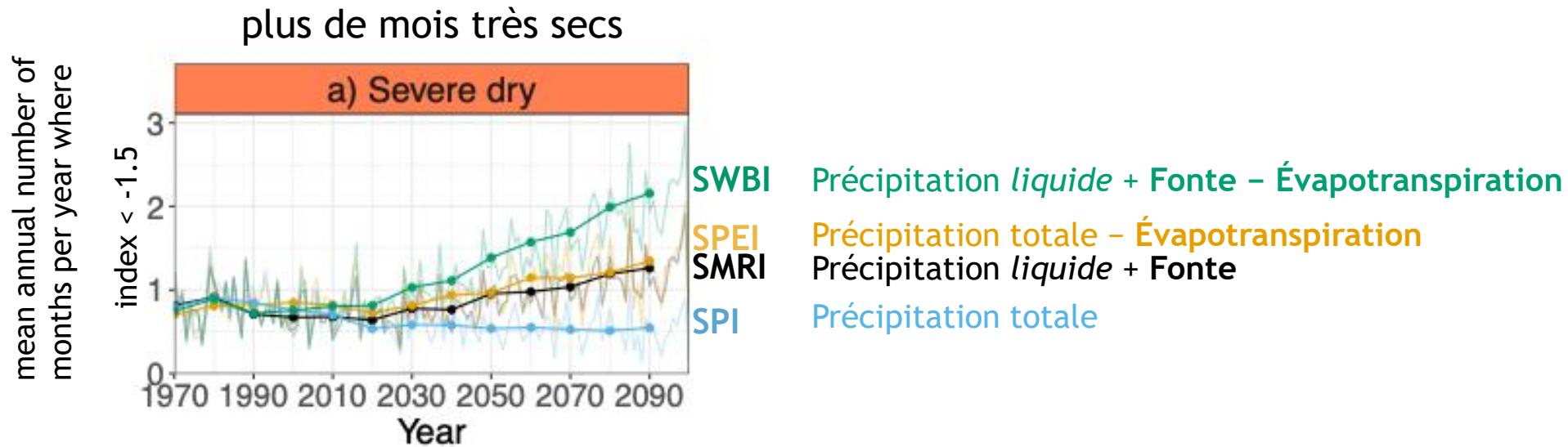


mais on projette aussi des plus de conditions sèches sévères.





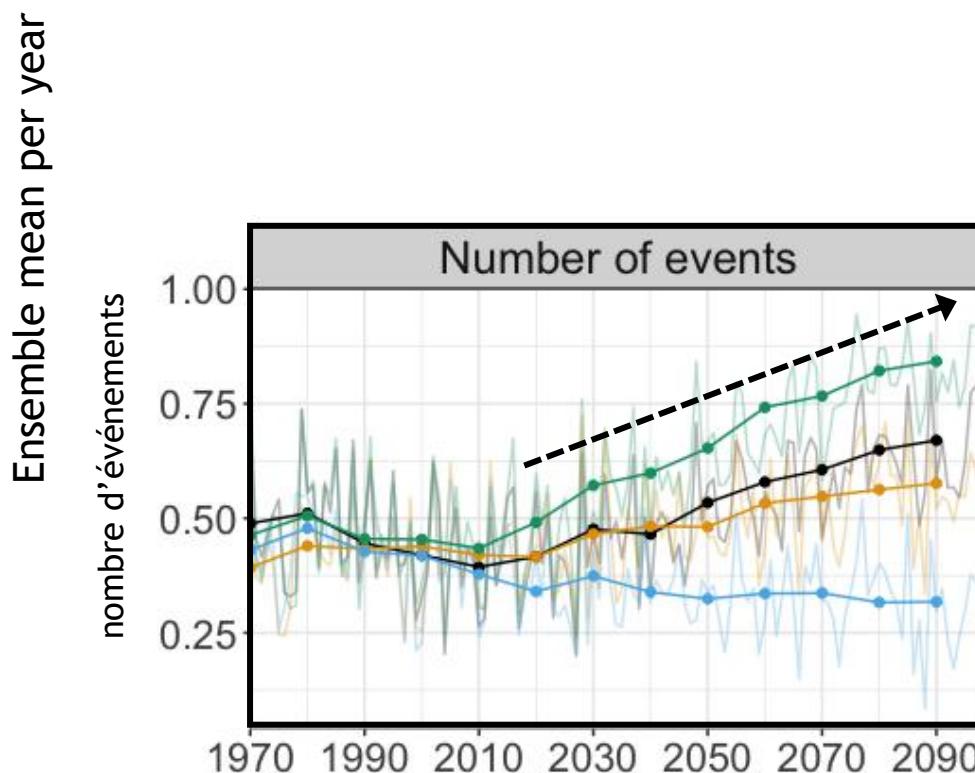
mais on projette aussi des plus de conditions sèches sévères.



L'ampleur des changements varie selon l'indice considéré.

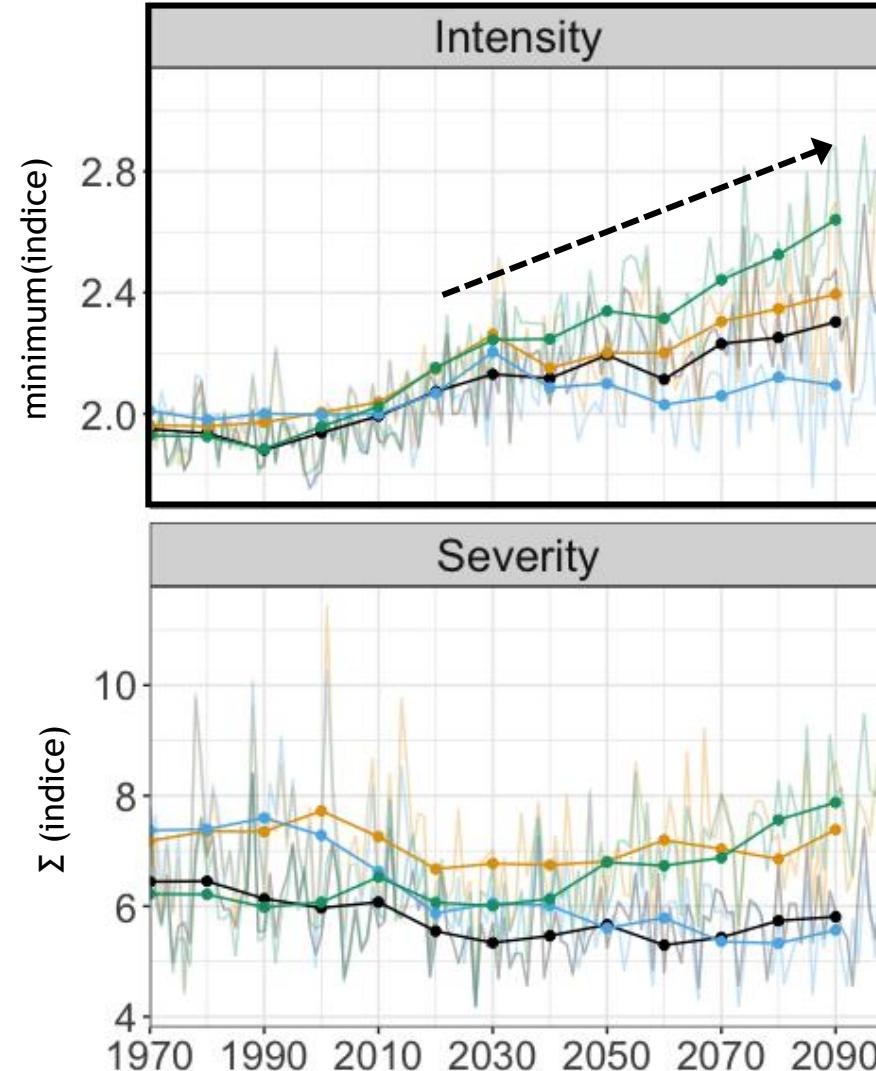
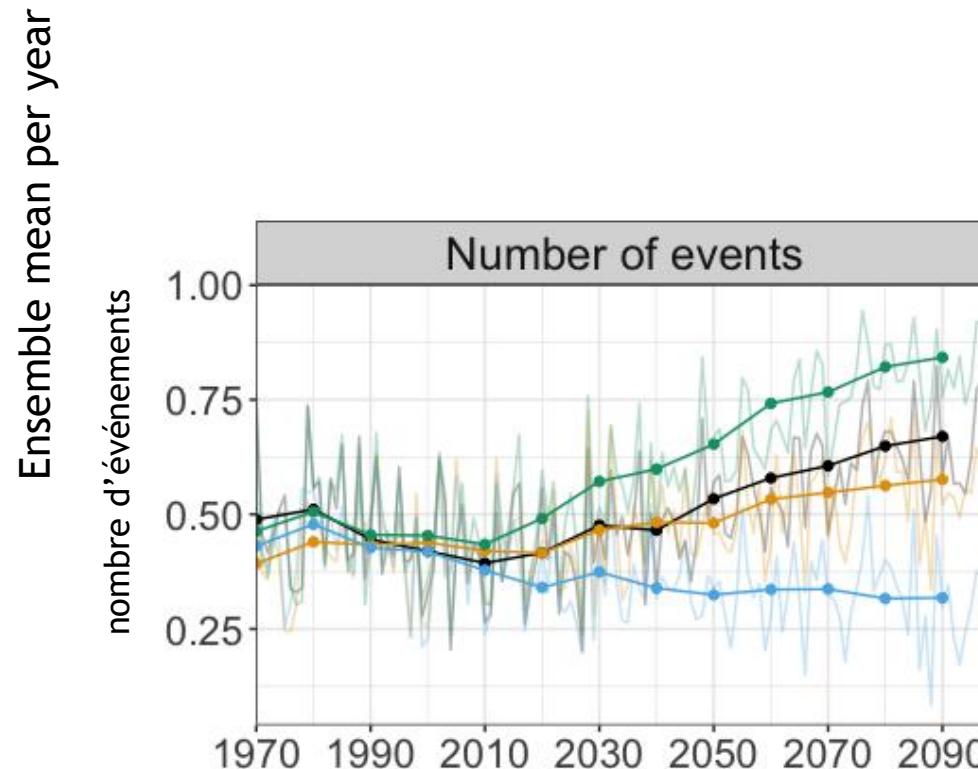


# Les sécheresses météorologiques seront plus fréquentes



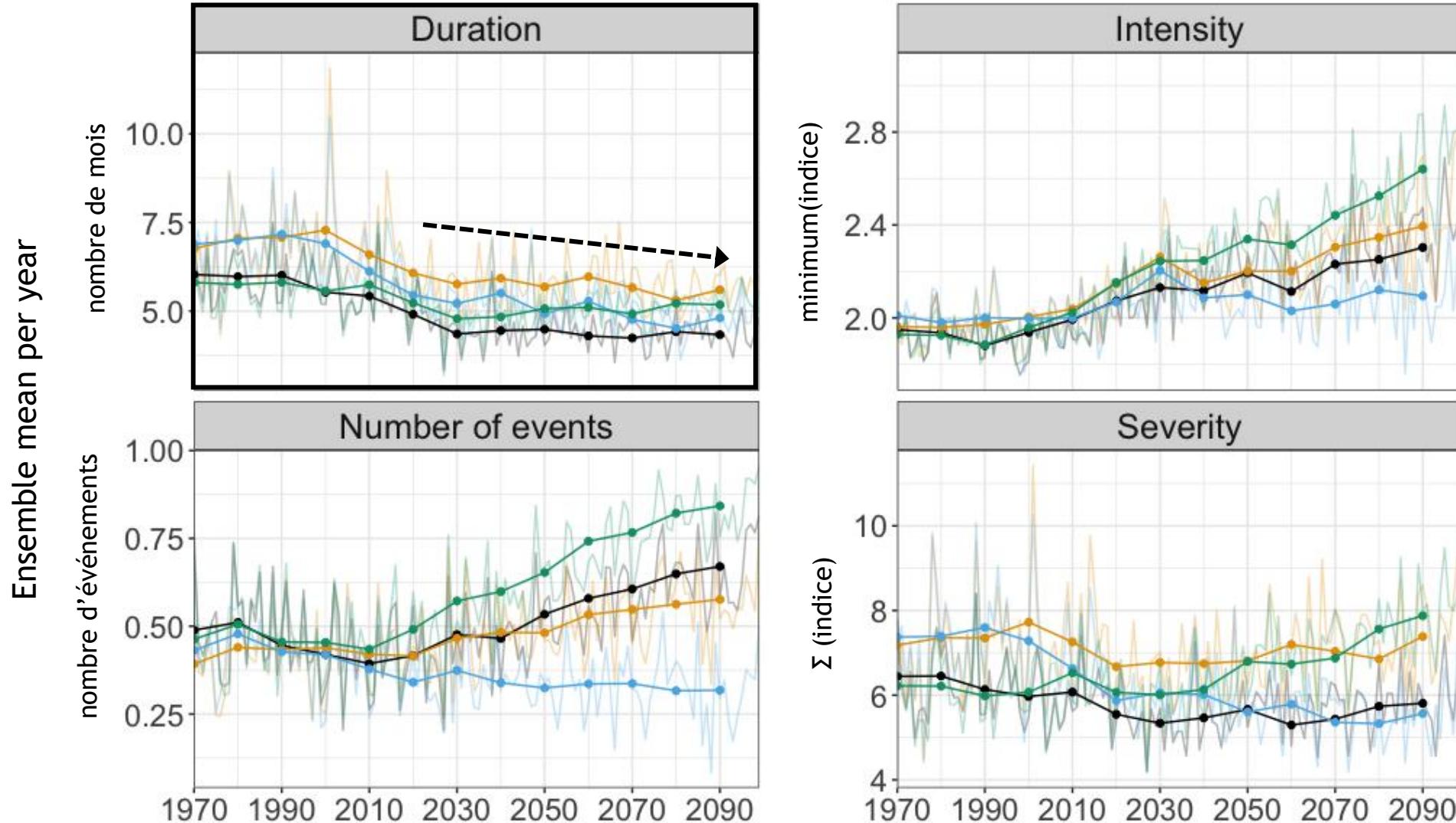


# Les sécheresses météorologiques seront plus fréquentes et plus intenses



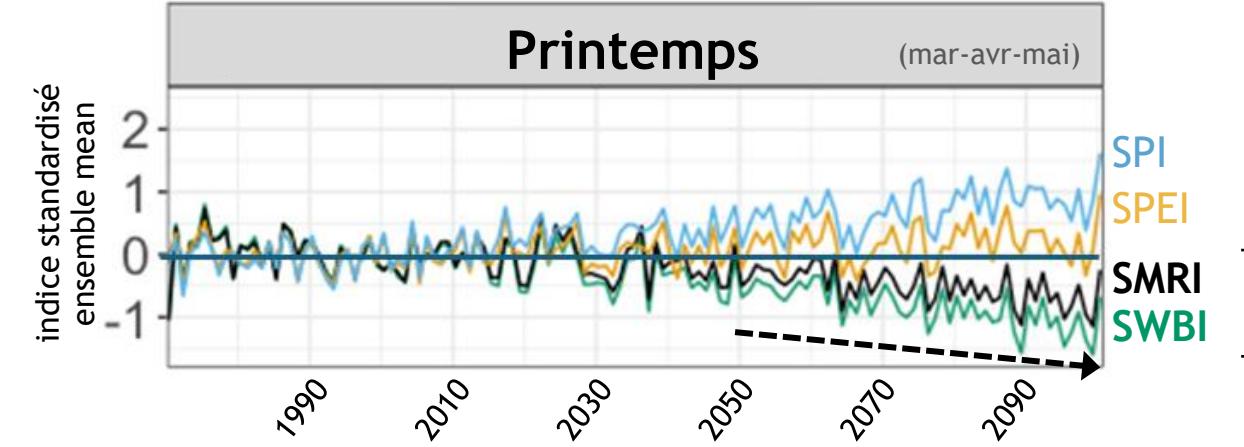


Les sécheresses météorologiques seront **plus fréquentes** et **plus intenses** (mais plus courtes).

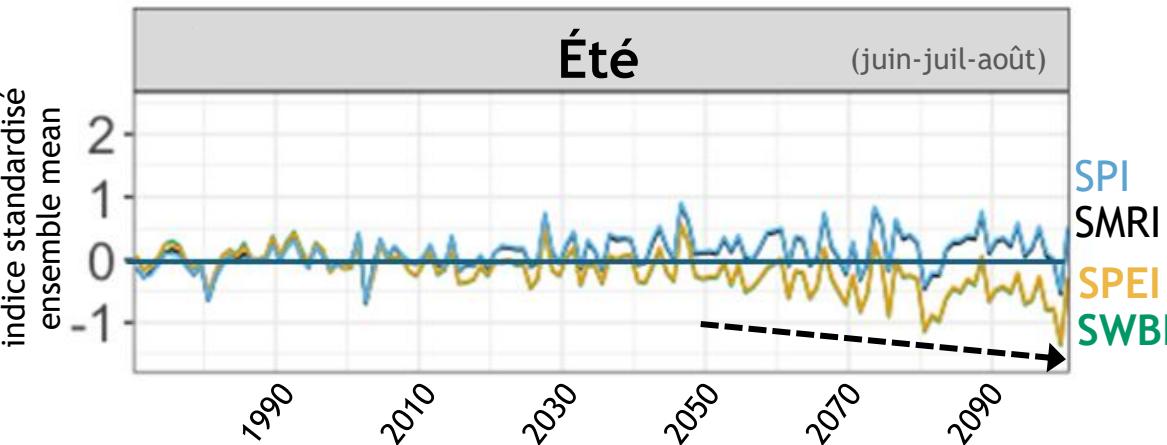




# Les changements projetés varient selon la saison.



Printemps plus sec lorsqu'on considère la fonte



Été plus sec lorsqu'on considère l'évapotranspiration



### 3

Caractériser la prévalence des évènements météorologiques menant à des sécheresses hydrologiques en **climat futur**



Les processus considérés comme la **fonte** ou l'**évaporation** influencent de manière importante les tendances projetées pour les indices météorologiques.

Malgré une tendance annuelle plus humide, une **amplification des conditions sèches sévères** est projetée en climat futur, principalement au printemps et à l'été.

Des sécheresses météorologiques plus courtes mais **plus fréquentes** et **plus intenses** sont projetées en climat futur.

## 3

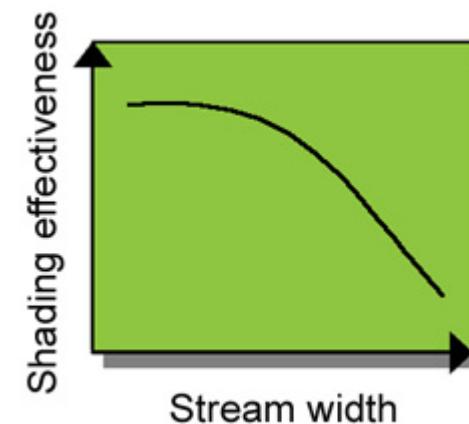
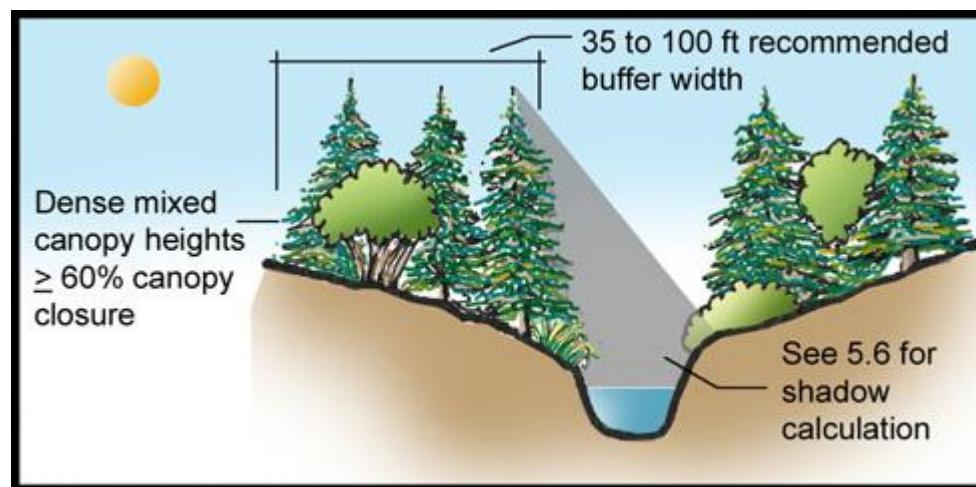
# ENJEUX



Les sécheresses hydrologiques ont des répercussions sur la **qualité de l'eau**.

- Concentration des polluants
- Housse de la température de l'eau

Toute action minimisant les impacts sur la qualité de l'eau sera bénéfique en période de sécheresse.



# 3

## ENJEUX



Les **milieux humides** permettent d'atténuer les extrêmes hydrologiques

(Ameli & Creed, 2019, JAWRA)

Selon les travaux de [Goyette et al. \(2022\)](#) :

- pour atténuer l'effet des changements climatiques, une augmentation de la superficie des milieux humides entre 20 et 150 % est souhaitable.
- les milieux humides sont plus efficaces pour atténuer les inondations que pour réduire les sécheresses.



Les bassins de la Gaspésie ont **une faible densité** de milieux humides.

**Tableau 3.** Superficie de milieux humides par région administrative. La proportion du territoire de chaque région administrative en milieux humides est aussi indiquée.

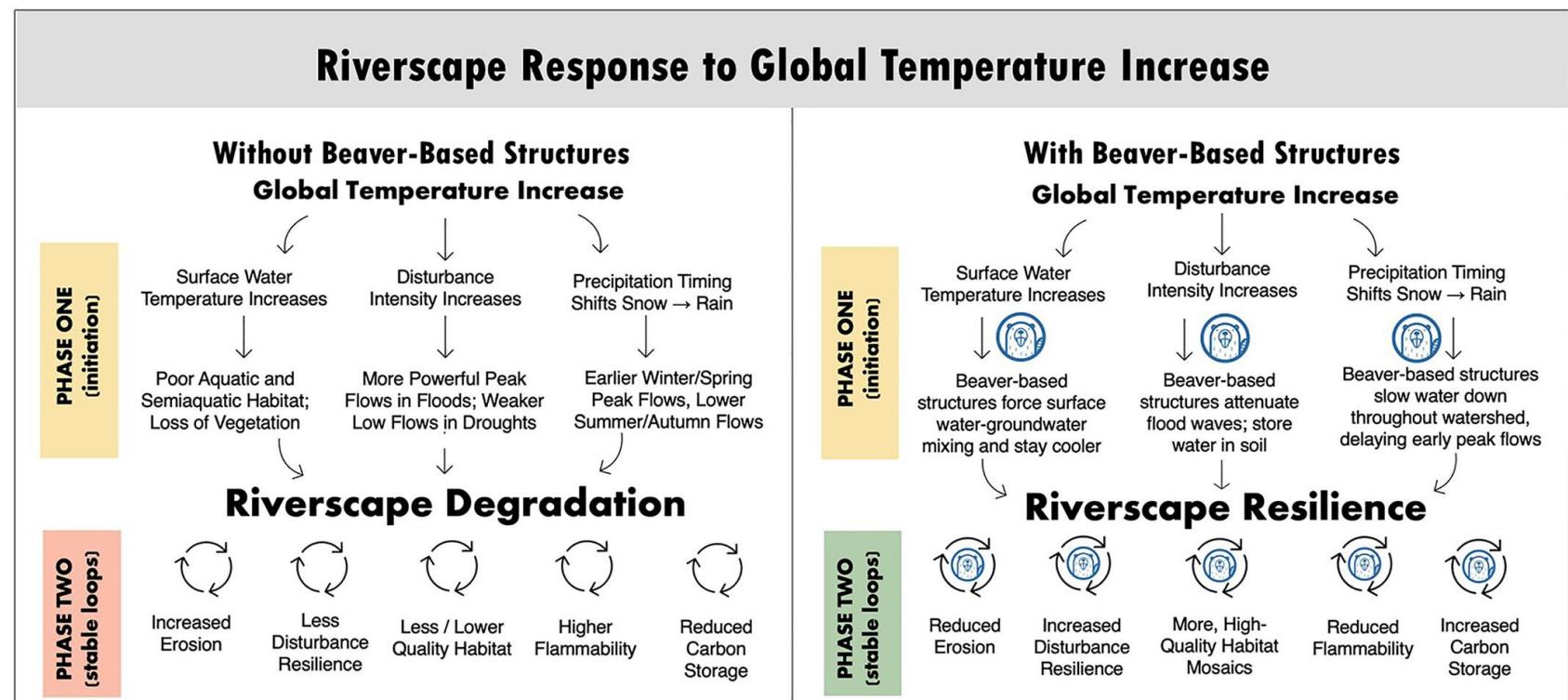
Code	Région administrative	Superficie (km <sup>2</sup> )	Proportion du territoire (%)
01	Bas-Saint-Laurent	1 852	6,6
02	Saguenay - Lac-Saint-Jean	10 066	9,6
03	Capitale-Nationale	1 256	6,0
04	Mauricie	3 184	8,0
05	Estrie	739	7,0
06	Montréal	10	1,6
07	Outaouais	3 263	9,6
08	Abitibi-Témiscamingue	15 459	24,1
09	Côte-Nord	37 554	10,0
10	Nord-du-Québec	110 104	12,9
11	Gaspésie-Îles-de-la-Madeleine	838	0,4
12	Chaudière - Appalaches	1 713	10,6
13	Laval	11	4,3
14	Lanaudière	824	6,1
15	Laurentides	1 612	7,2
16	Montérégie	578	4,9
17	Centre-du-Québec	890	12,3

## 3

## ENJEUX



Les **barrages de castors** peuvent améliorer la rétention d'eau et peuvent accroître la résilience face aux sécheresses.



## 3

## ENJEUX

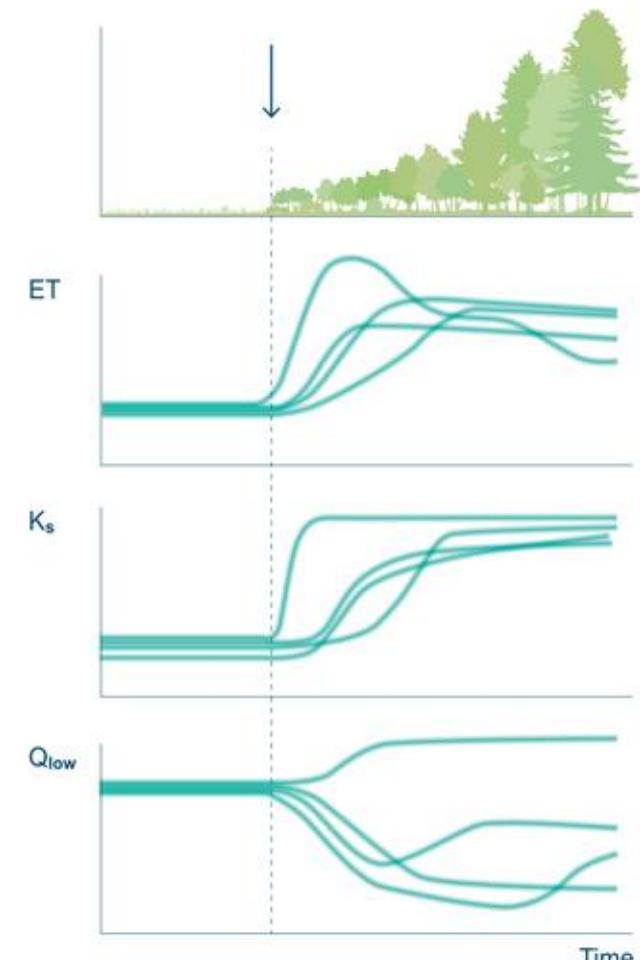


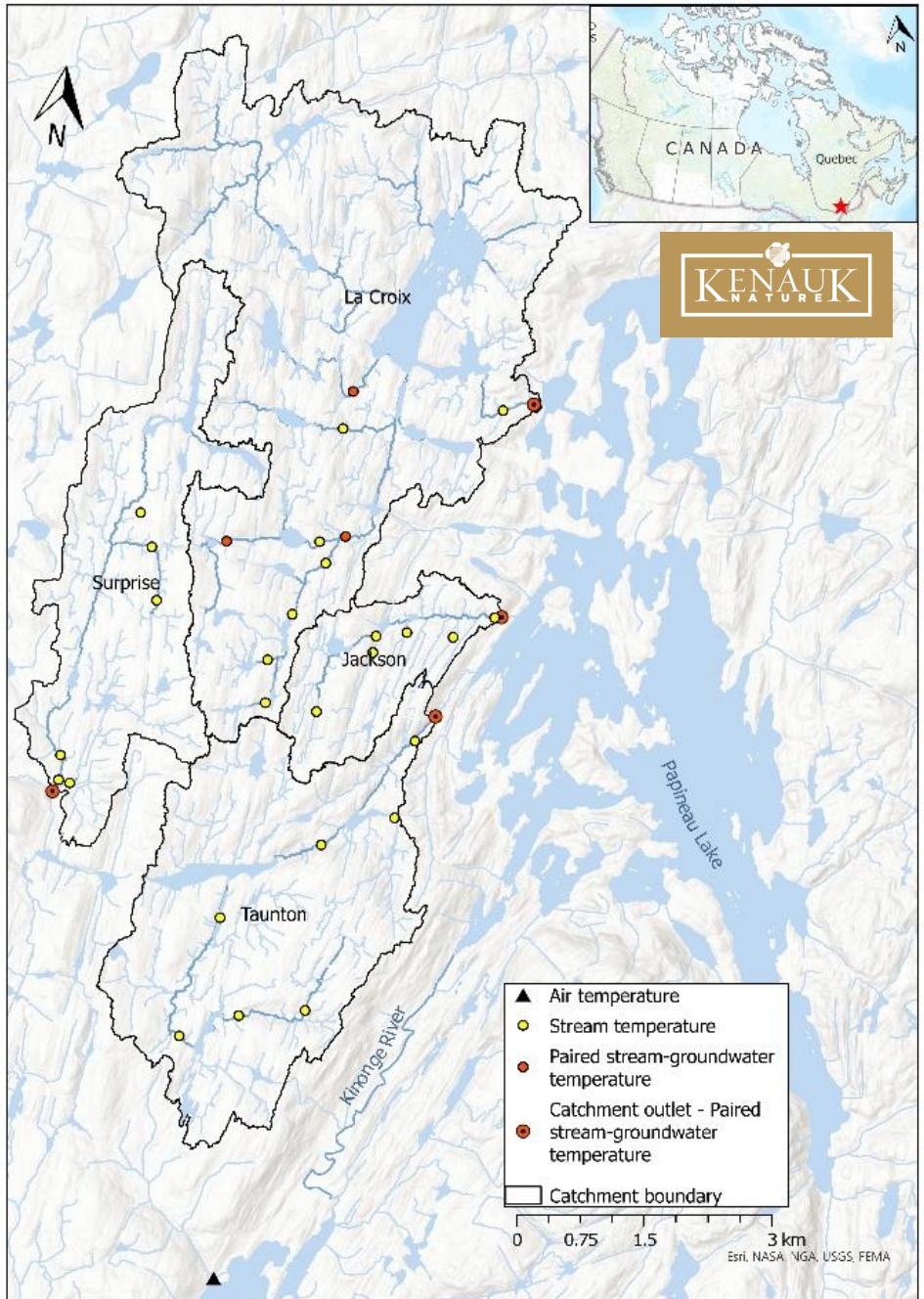
L'afforestation et la reforestation ont des **effets variés** sur le débit.

“Predicting the impacts of forests on streamflow remains challenging as the **effects are site-specific** and depend on many factors, such as the climate, the forest- and soil-characteristics before and after reforestation, and the hydrogeological setting.”

“the argument that forests will prevent or reduce hydrological droughts **cannot be used** generally to promote [reforestation].

“Streamflow during dry periods is usually **sustained by groundwater** drainage, which depends on both the groundwater storage (and thus recharge during the wet periods) and the rate of groundwater drainage.”



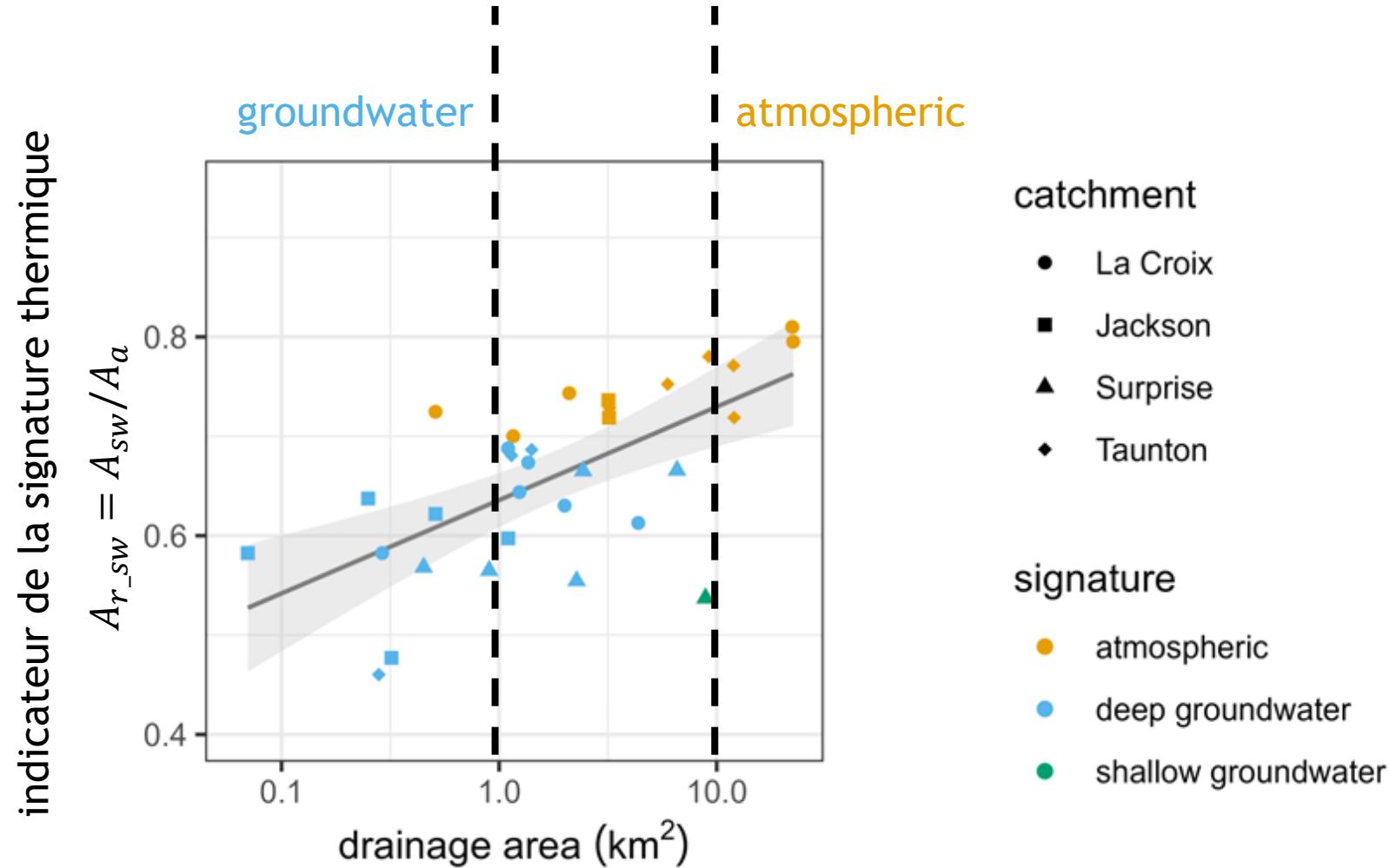


## Sites de mesure :

- température de l'air (1)
- température de la rivière (53)
- température de l'eau souterraine (10)



La signature de l'eau souterraine n'est plus apparente dans le régime thermique des cours d'eau avec une **aire de drainage > 10 km<sup>2</sup>**



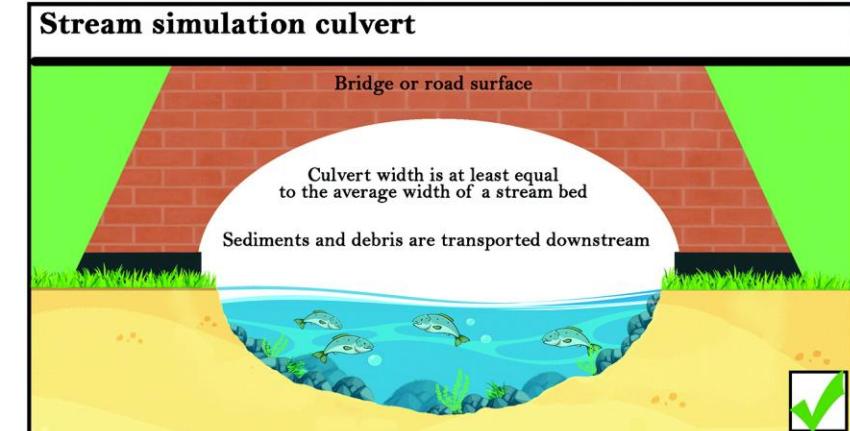
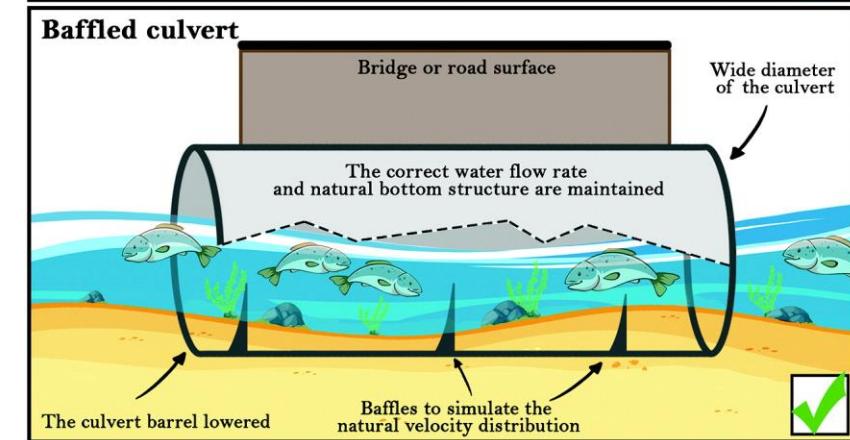
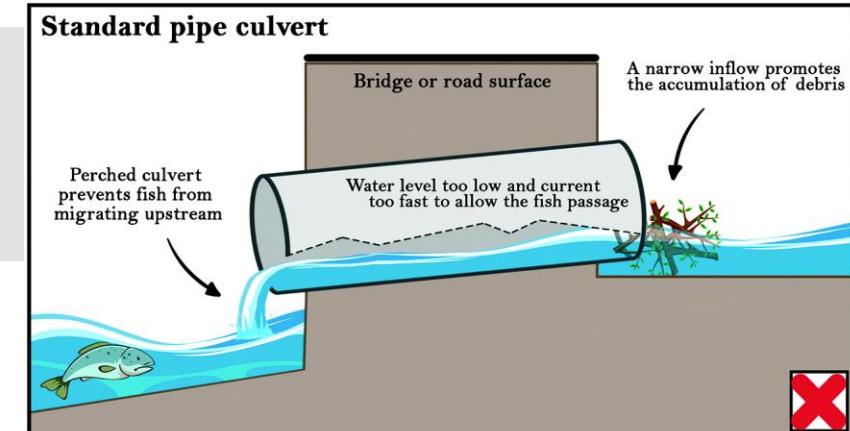
## 3

# ENJEUX

Les sécheresses peuvent exacerber les problèmes de **connectivité**.

Il faut assurer la connectivité même en condition de faible débit.

Attention au **surdimensionnement** des ponceaux : cela permet de pallier les surplus d'eau mais devient problématique en cas de faible débit.



# Objectif 1

Recensement des chemins en forêts publiques et privées selon :

- L'état structurel des ponceaux : **Bon/Acceptable/Médiocre/Critique**
- L'état des chemins forestiers contigus aux ponceaux : présence d'érosion ainsi que le niveau de revégétalisation

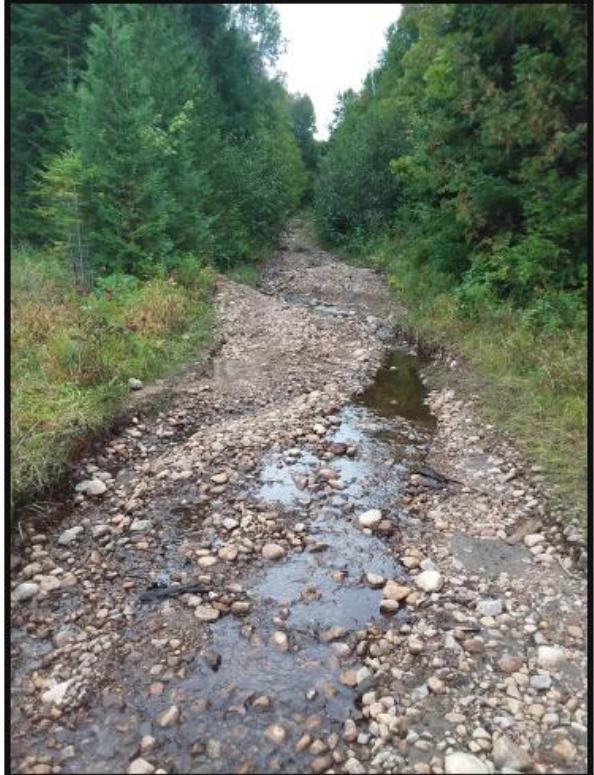


Fig. 1 Chemin avec forte érosion



Fig. 2 Ponceau en état critique

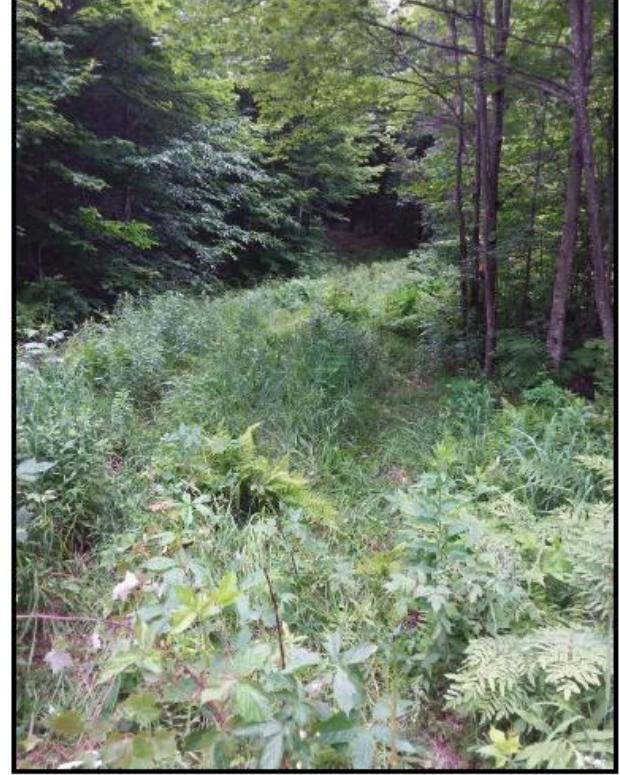


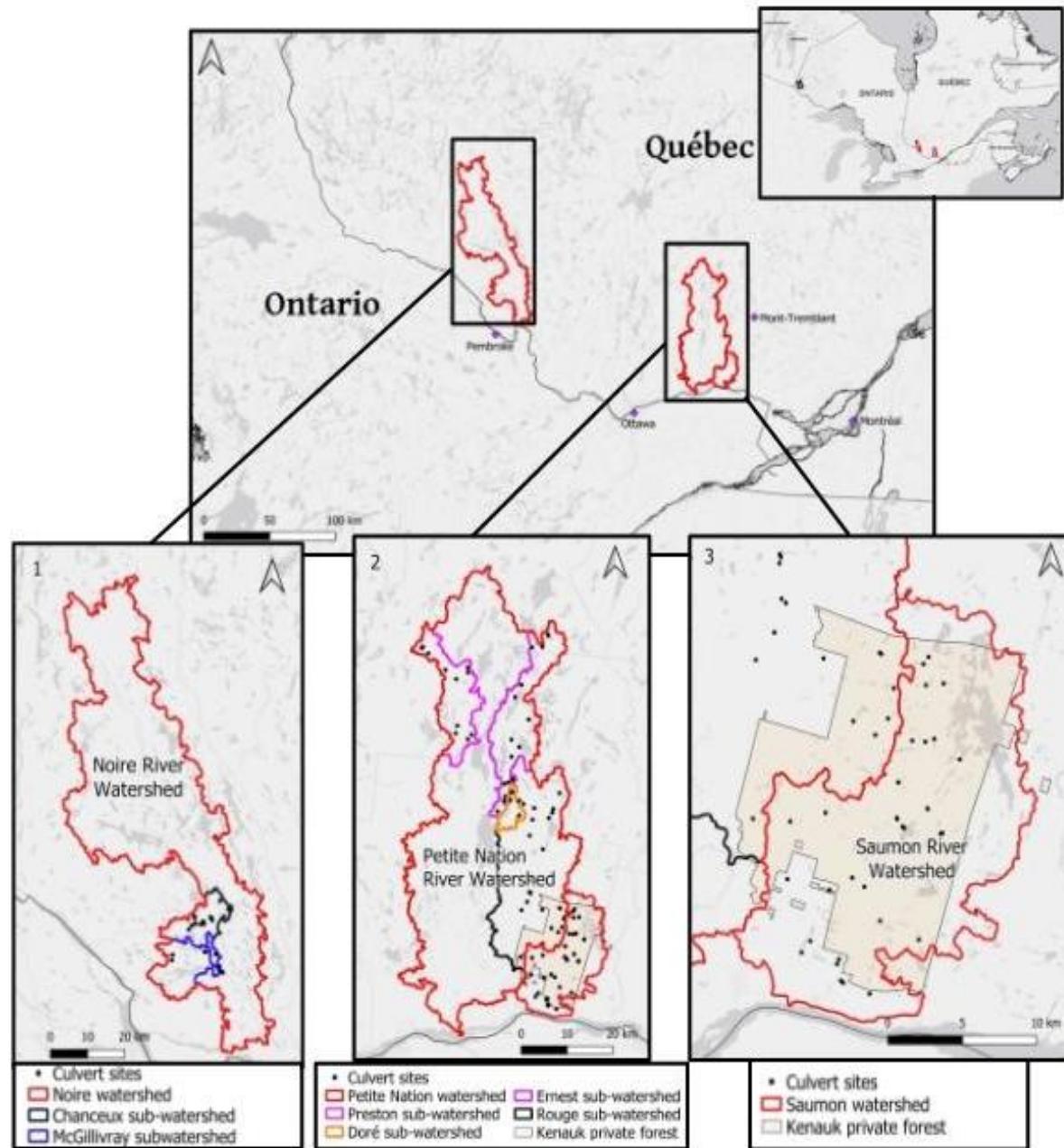
Fig. 3 : Chemin 100 % recouvert par la végétation



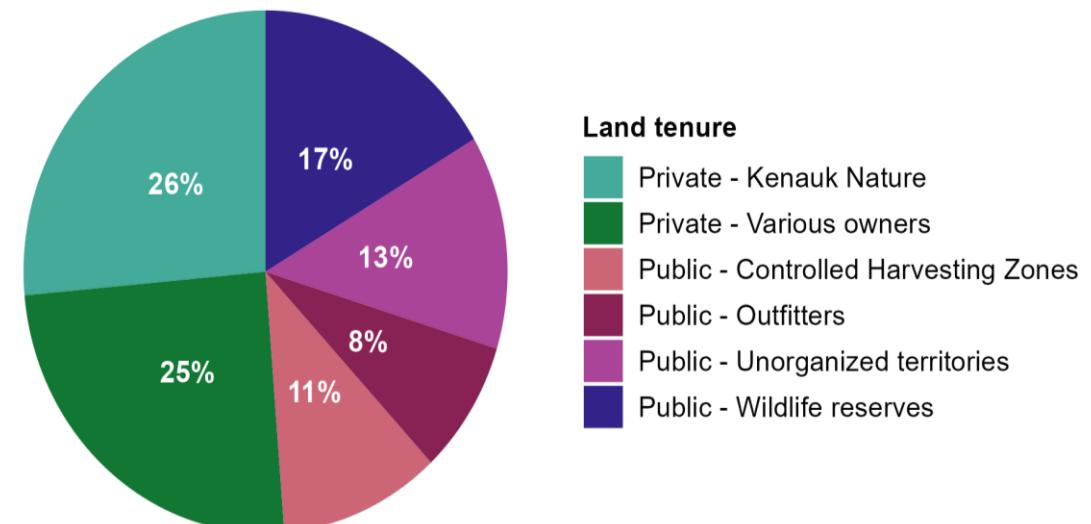
Cecilia Sydor-Estable



Cecilia Sydor-Estable



121 ponceaux



La majorité (63 %) des ponceaux recensés étaient en mauvais état ('Médiocre' ou 'Critique').



Cecilia Sydor-Estable

Obstruction



Déformation



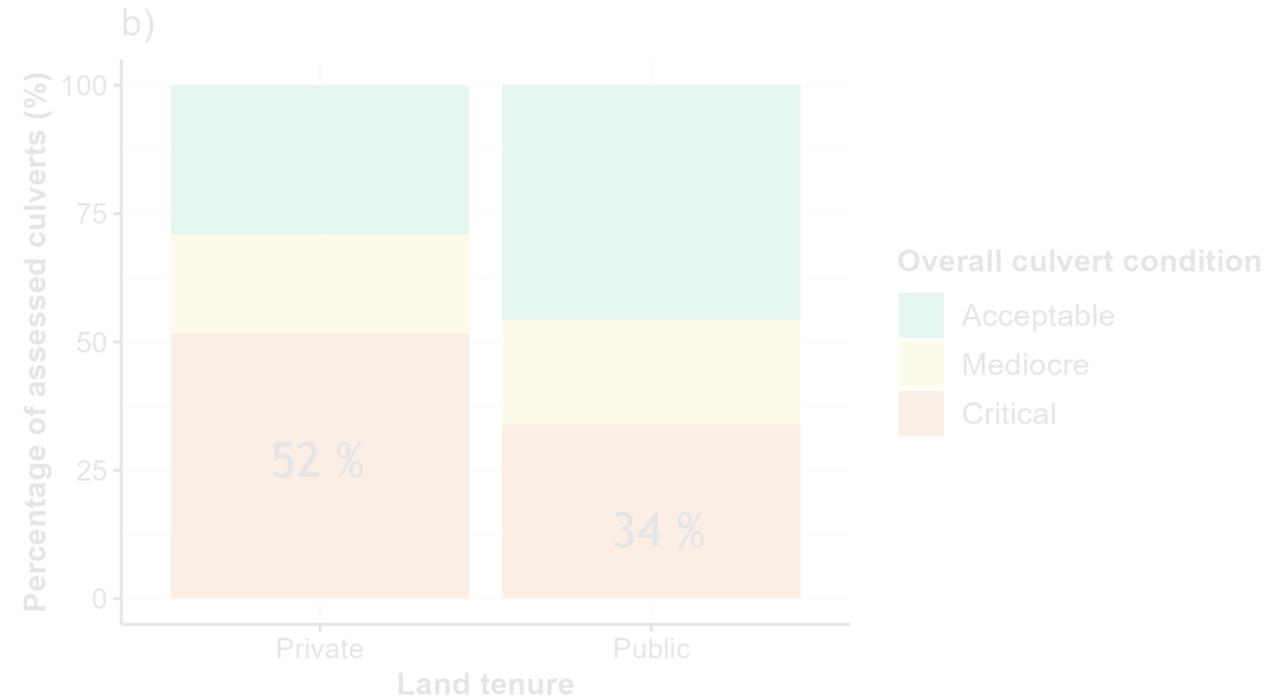
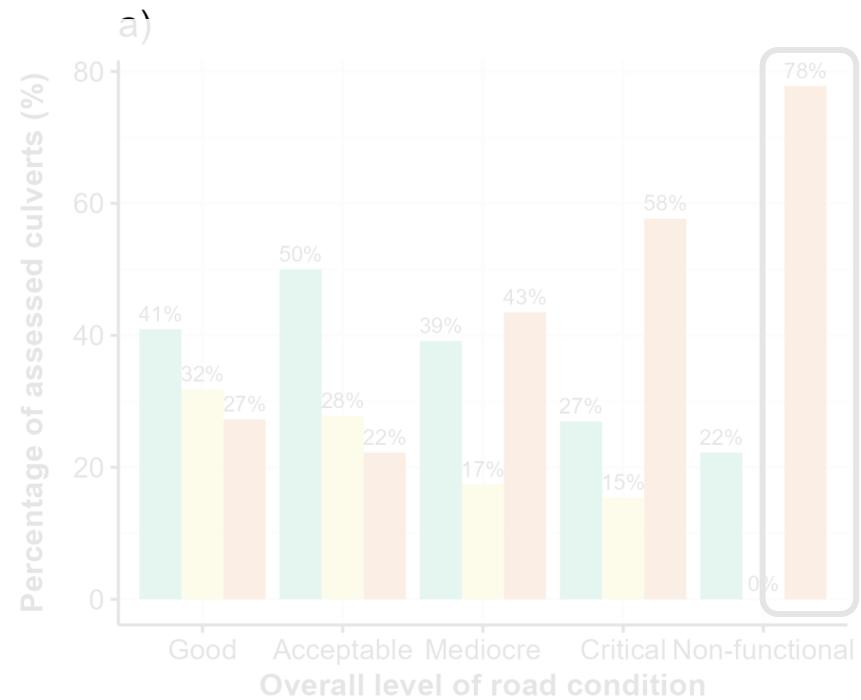
Corrosion





Cecilia Sydor-Estable

L'état du ponceau est corrélé à l'état de la route adjacente et la tenure des terres.



On retrouve en moyenne un ponceau en mauvais état ou suspendu à chaque 10.1 km du réseau hydrographique.

# Conclusions

Constat #1

Les sécheresses hydrologiques se déploient de manière variable à travers le bassin versant (mais on connaît mal les déterminants de cette **variabilité spatiale**).

Constat #2

Il est possible de prédire les sécheresses hydrologiques à partir des **conditions météo** (mais cela sera seulement utile si des **plans d'intervention** sont préparés en amont).

Constat #3

Les changements climatiques entraîneront des **sécheresses plus sévères**, avec des impacts attendus sur la qualité de l'eau et la connectivité.

Constat #4

**Accroître la rétention** de l'eau sur le territoire par les milieux humides, les castors, les sols peut jouer un rôle dans l'atténuation des sécheresses (mais ultimement le débit d'étiage dépend largement de l'**eau souterraine** dans les petits cours d'eau).

# Questions ?



## Partenaires

---



Fonds de recherche  
Nature et  
technologies



audrey.maheu@uqo.ca

## Équipe

---

