

Validation d'un modèle de gestion journalière de l'eau à l'échelle de la ferme de canneberge et intégration au modèle HYDROTEL à l'échelle du bassin versant

Alain N. Rousseau, Nafiseh Khoramshokoo, Silvio J. Gumière

Congrès nord-américain de la canneberge 30-31 mars, 2026

Entourage sur-le-lac, Lac-Beauport, Québec, Canada

Plan de la présentation

Introduction

Modèle de gestion de l'eau des fermes de canneberges (CFWM)

Analyse de sensibilité globale du modèle CFWM

Couplage du modèle CFWM avec HYDROTEL

Discussion

Introduction

- **Épisodes d'étiages***
 - Bien souvent en été et en automne[#]
 - Mais aussi au en hiver

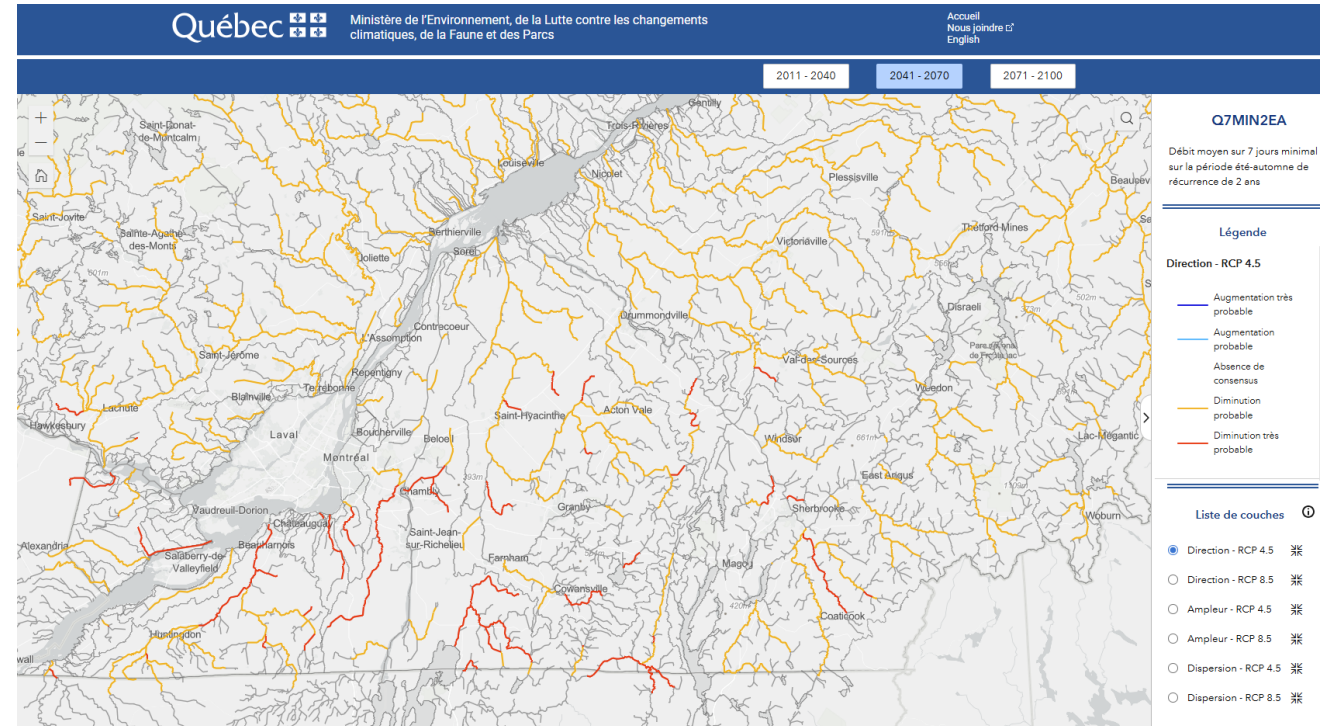


*Régions agricoles du Québec sous des conditions de sécheresse modérées à sévères en 2001 et 2002, ainsi que durant 8 des 12 années de la période 2010 à 2021

[#] En 2025, l'ensemble de la province subissant l'une de ses années les plus chaudes jamais enregistrées, caractérisée par une première moitié d'année chaude et plus humide, suivie d'un automne sec et des conditions de sécheresse prolongées ayant perturbé les régimes saisonniers habituels contribuant à des périodes prolongées de faible disponibilité en eau (ecotime, 2025; Ouranos, 2025).

Introduction

- **Épisodes d'étiages***
 - Bien souvent en été et en automne[#]
 - Mais aussi au en hiver
- **Changements climatiques**
 - Une augmentation de la sévérité de la disponibilité en eau[¥] durant les mois d'été et un accroissement de la demande en eau par le secteur agricole*



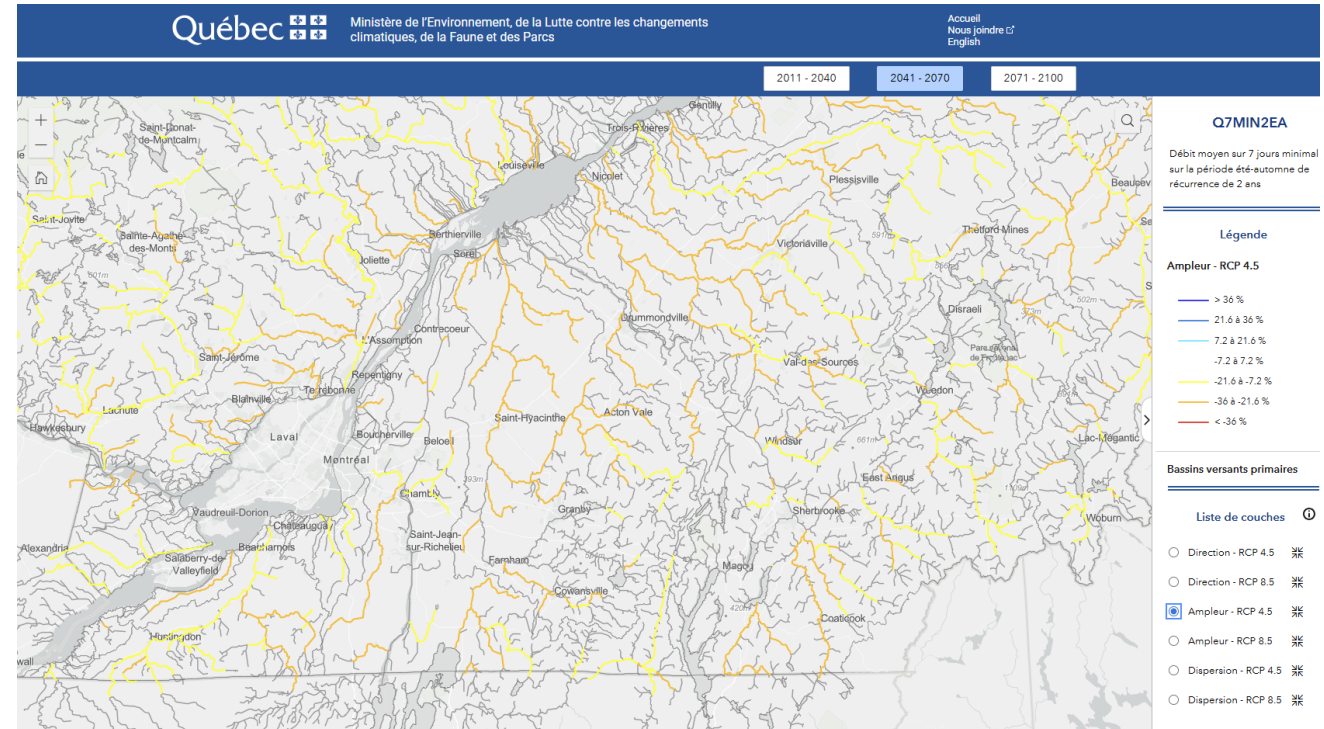
*Diminution probable et très probable
Q7MIN2EA (2041-2070) RCP4.5*

[¥] <http://www.cehq.gouv.qc.ca/atlas-hydroclimatique/>

*Groupe AGÉCO. 2019. *Recherche participative d'alternatives durables pour la gestion de l'eau en milieu agricole dans un contexte de changement climatique (RADEAU 1)*. Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec. 332 pp

Enjeux de disponibilités à venir ...

- **Épisodes d'étiages***
 - Bien souvent en été et en automne#
 - Mais aussi au en hiver
- **Changements climatiques**
 - Une augmentation de la sévérité de la disponibilité en eau¥ durant les mois d'été et un accroissement de la demande en eau par le secteur agricole*



Ampleurs de -21.6 à -7.2 % et <-36 à -21.6 %
Q7MIN2EA (2041-2070) RCP4.5

¥ <http://www.cehq.gouv.qc.ca/atlas-hydroclimatique/>

*Groupe AGÉCO. 2019. *Recherche participative d'alternatives durables pour la gestion de l'eau en milieu agricole dans un contexte de changement climatique (RADEAU 1)*. Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec. 332 pp

Enjeux de disponibilités actuelles ...

- **Épisodes d'étiages***
 - Bien souvent en été et en automne#
 - Mais aussi au en hiver
- **Changements climatiques**
 - Une augmentation de la sévérité de la disponibilité en eau[¥] durant les mois d'été et un accroissement de la demande en eau par le secteur agricole*
- **Pression accrue par le publique....**
 - Sur l'usage de l'eau dans les cannebergières#



Photo: Nafiseh Khoramshokoh

Le 15 mars, 2025, reportage intitulé « Canneberges en eaux troubles », diffusé à La semaine verte
<https://ici.radio-canada.ca/tele/la-semaine-verte/site/episodes/1118427/canneberges-en-eaux-troubles>

Projet pour élucider la question trois projets ... les deux premiers

- Projets de détermination des besoins en eau et d'intégration des prélèvements à la modélisation hydrologique à l'échelle du bassin versant



Eau de surface

Irrigation



Élevage

*Résidentiel en réseau
et hors réseau*



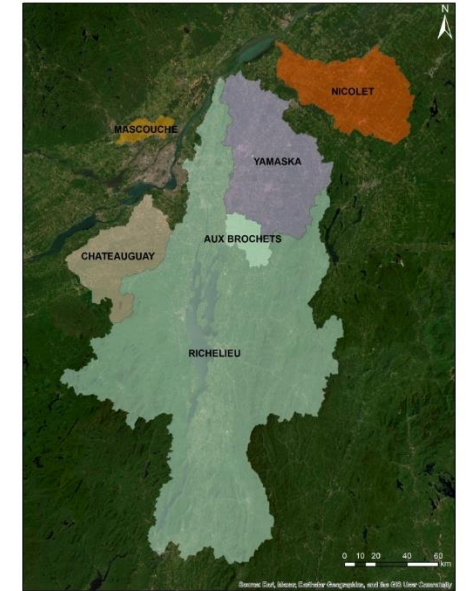
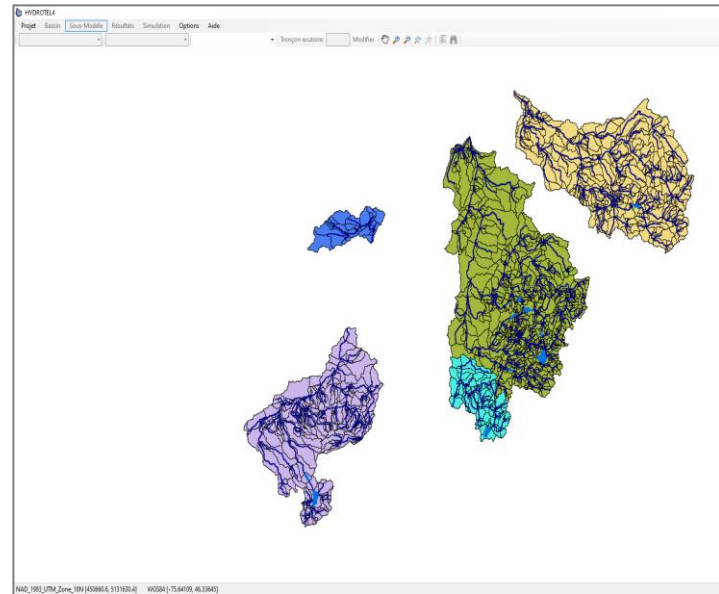
Effluent STEU

*Industriel, commercial,
institutionnel*



Projet pour élucider la question trois projets ... les deux premiers

- Projets de détermination des besoins en eau et d'intégration des prélèvements à la modélisation hydrologique à l'échelle du bassin versant
 - Évaluation des effets individuels et cumulatifs de tous les types de prélèvements existants, des demandes d'autorisations en climats actuel et futures en fonction



Eau de surface

Irrigation



Élevage

Résidentiel en réseau
et hors réseau



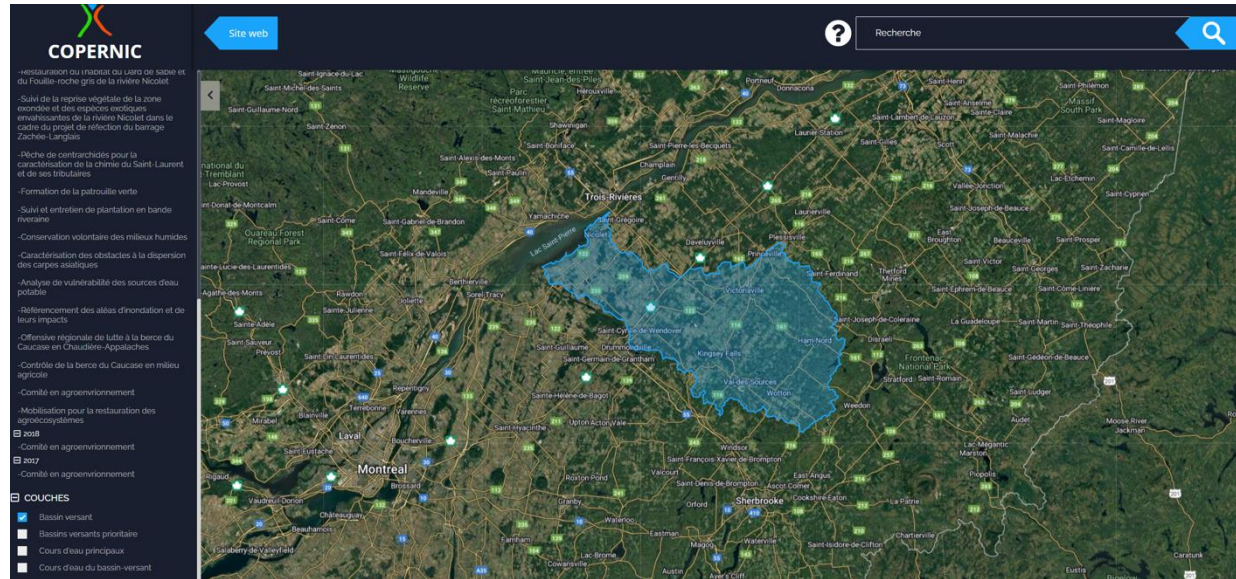
Effluent STEU

Industriel, commercial,
institutionnel



Projet pour élucider la question trois projets ... les deux premiers

- Deux projets de détermination des besoins en eau et d'intégration des prélèvements à la modélisation hydrologique à l'échelle du bassin versant
 - **Évaluation l'effet en périodes d'étiages sévères de la gestion active des prélèvements (ordre de priorité) sur les usages de l'eau de surface et les écosystèmes en contextes rétrospectifs et prévisionnels**



Eau de surface

Irrigation



Élevage

Résidentiel en réseau et hors réseau



Effluent STEU

Industriel, commercial, institutionnel



Projet pour élucider la question trois projets ... Et le troisième projet

- **Écohydrologie des agrosystèmes**
 - Comprendre les impacts des fermes de canneberges et interaction au sein d'un bassin versant



Projet pour élucider la question trois projets ... le troisième projet

- **Écohydrologie des agrosystèmes**

- Comprendre les impacts des fermes de canneberges et interaction au sein d'un bassin versant
- Approches méthodologiques
 - **Axe 1 – Connectivité hydrologique et interaction au sein du bassin versant - INRS**
 - Axe 2 – Services écohydrologiques des fermes de canneberges comparées à d'autres objets du paysage (ex.: milieux humides) – U. Laval
 - Axe 3 – Conflits d'usage et aide à la décision pour les nouvelles fermes et procédures de réglementation – U. Laval



Axe 1 – Connectivité hydrologique et interaction au sein du bassin versant

- **Intégration des prélèvements dans la modélisation hydrologique avec PHYSITEL-HYDROTEL**
 - **Bases de données disponibles**



Photo: Atocatière Chiasson Ltée, New Brunswick

Axe 1 – Connectivité hydrologique et interaction au sein du bassin versant

- **Intégration des prélèvements dans la modélisation hydrologique avec PHYSITEL-HYDROTEL**
 - **Bases de données disponibles**
 - Déclarations annuelles exigées en vertu du *Règlement sur la déclaration des prélèvements d'eau (RDPE)*^[1] sur le territoire de l'entente^[2] pour les secteurs
 - Municipaux, agricoles et aquacoles, commerciaux, institutionnels et industriels pour les prélèvements > 50 m³/j (1^{er} janvier 2025)



[1] <https://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/prelevements/declaration.htm>

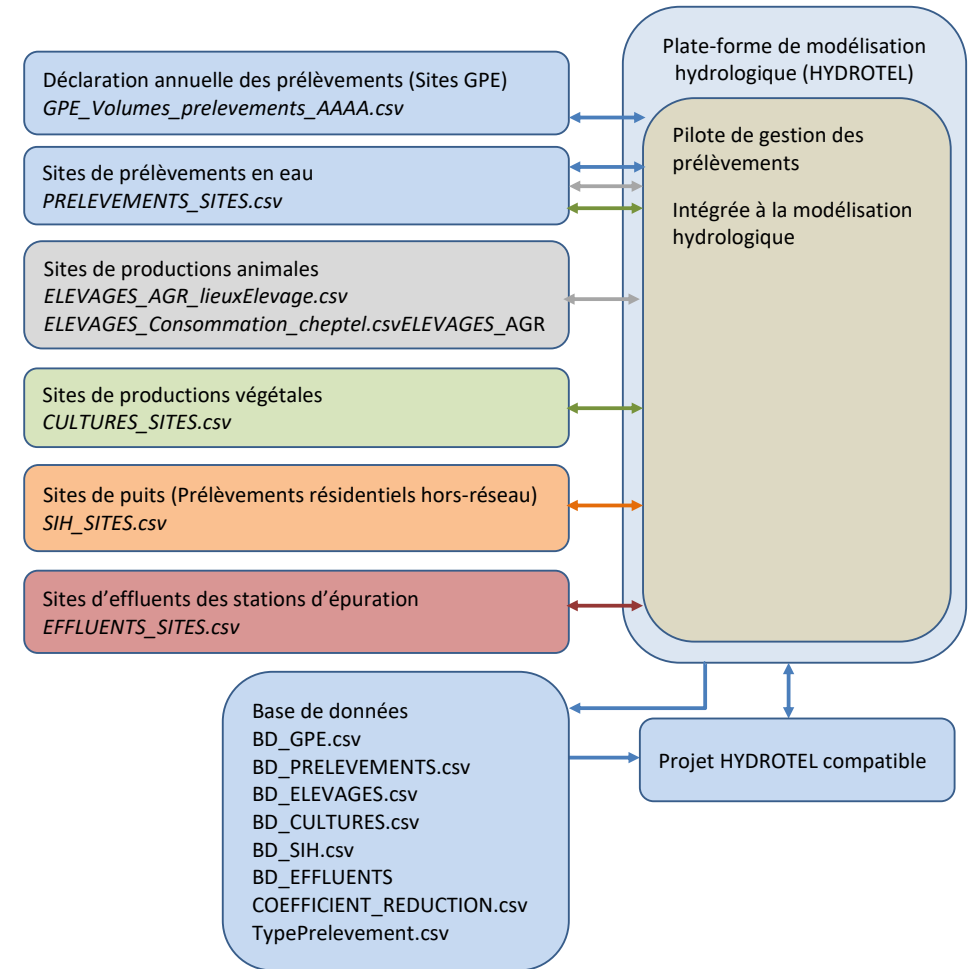
[2] Le territoire de l'entente exclut du bassin des Grands Lacs et du fleuve St-Laurent les bassins des rivières St-Maurice et Bécancour

Axe 1 – Connectivité hydrologique et interaction au sein du bassin versant

• Intégration des prélèvements dans la modélisation hydrologique avec PHYSITEL-HYDROTEL

• Bases de données disponibles

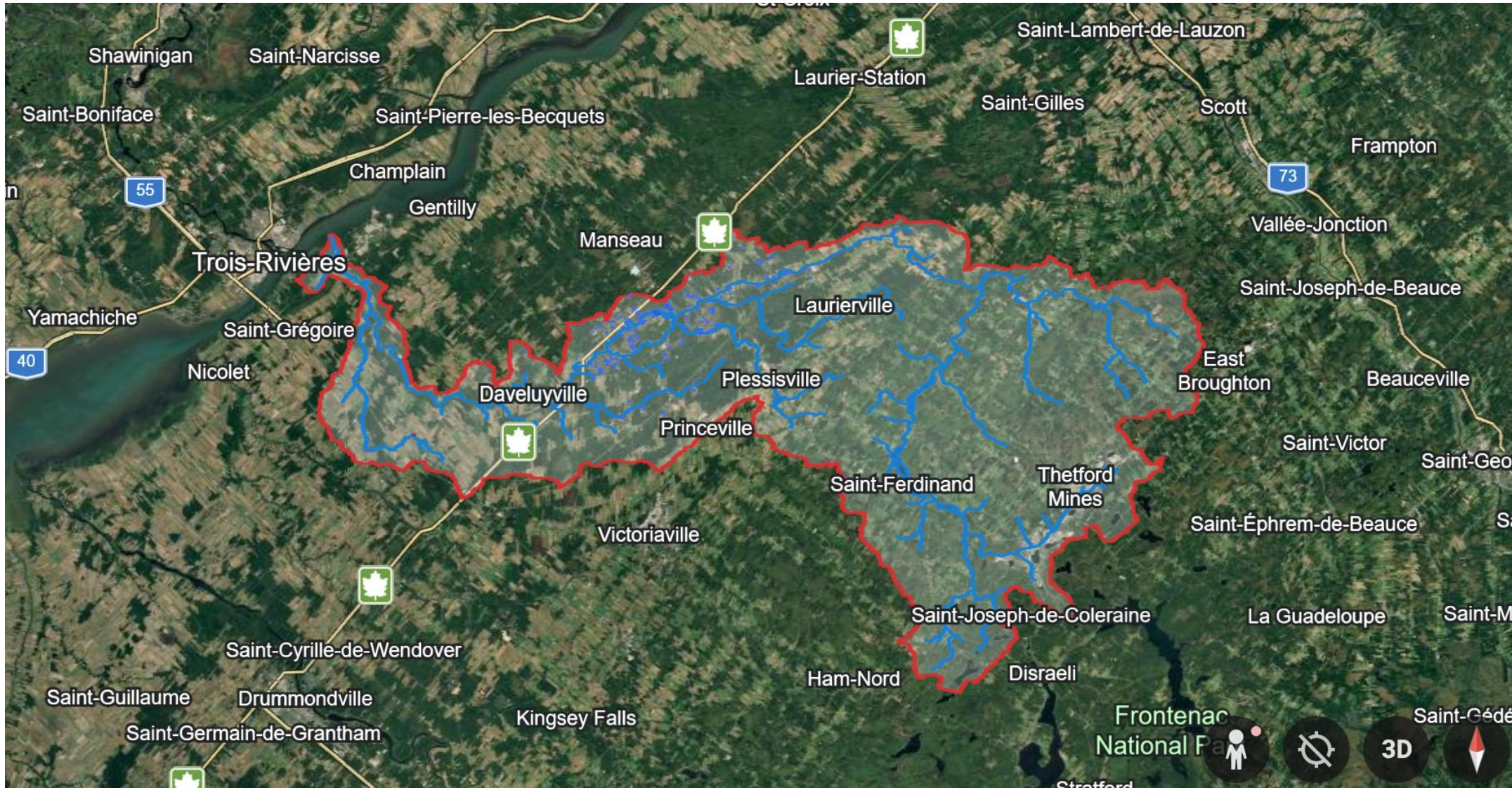
- Déclarations annuelles exigées en vertu du *Règlement sur la déclaration des prélèvements d'eau* (RDPE)^[1] sur le territoire de l'entente^[2] pour les secteurs
 - Municipaux, agricoles et aquacoles, commerciaux, institutionnels et industriels pour les prélèvements > 50 m³/j (1^{er} janvier 2025)
- Sites de puits (SIH)
- Sites de prélèvements (Bases de données des prélèvements déclarés)
- Sites d'élevages
- Sites de cultures (BDPPAD 2010-2022)
- Sites d'effluents



[1] <https://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/prelevements/declaration.htm>

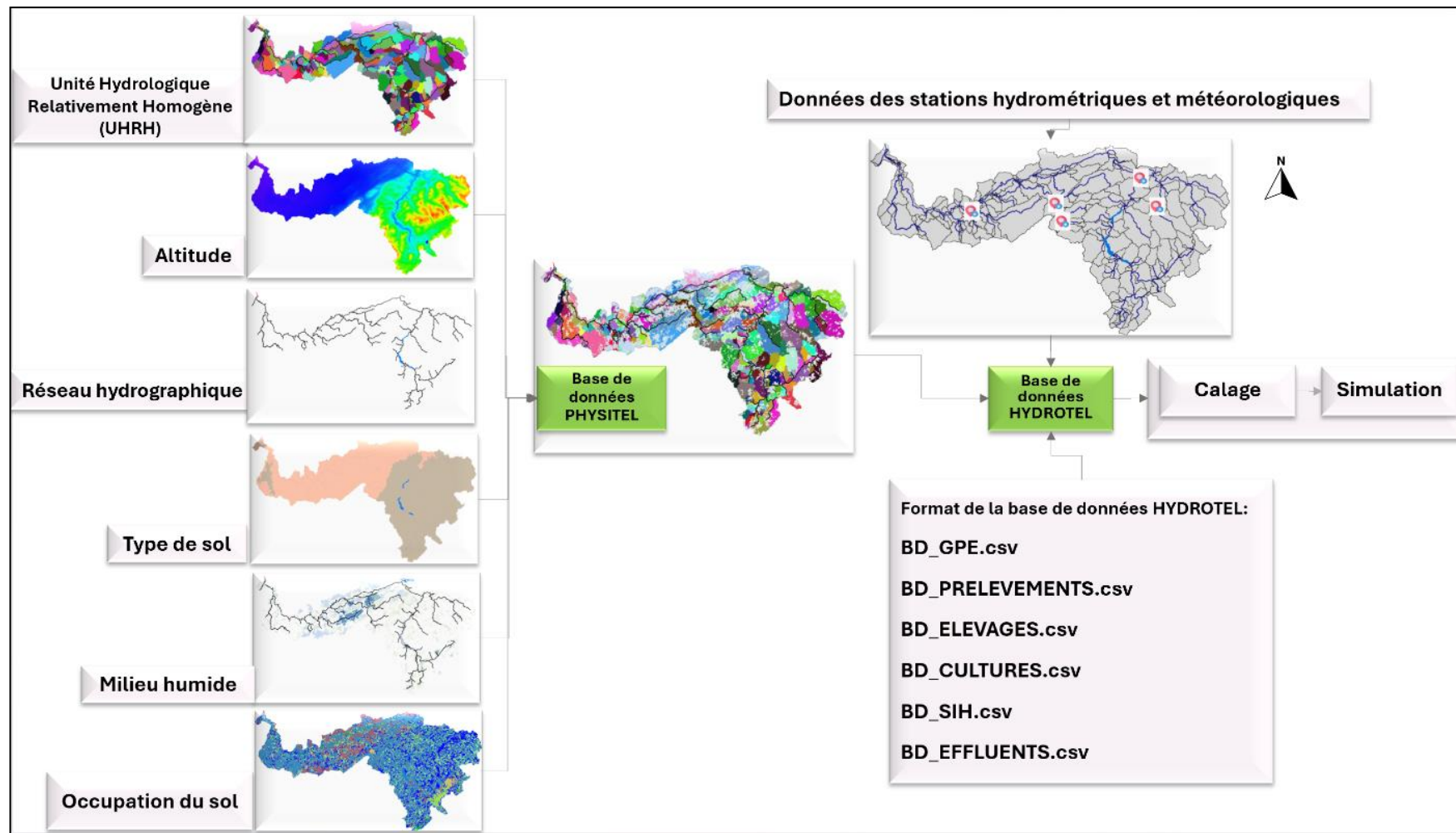
[2] Le territoire de l'entente exclut du bassin des Grands Lacs et du fleuve St-Laurent les bassins des rivières St-Maurice et Bécancour

Cas d'étude – Bassin versant de la rivière Bécancour

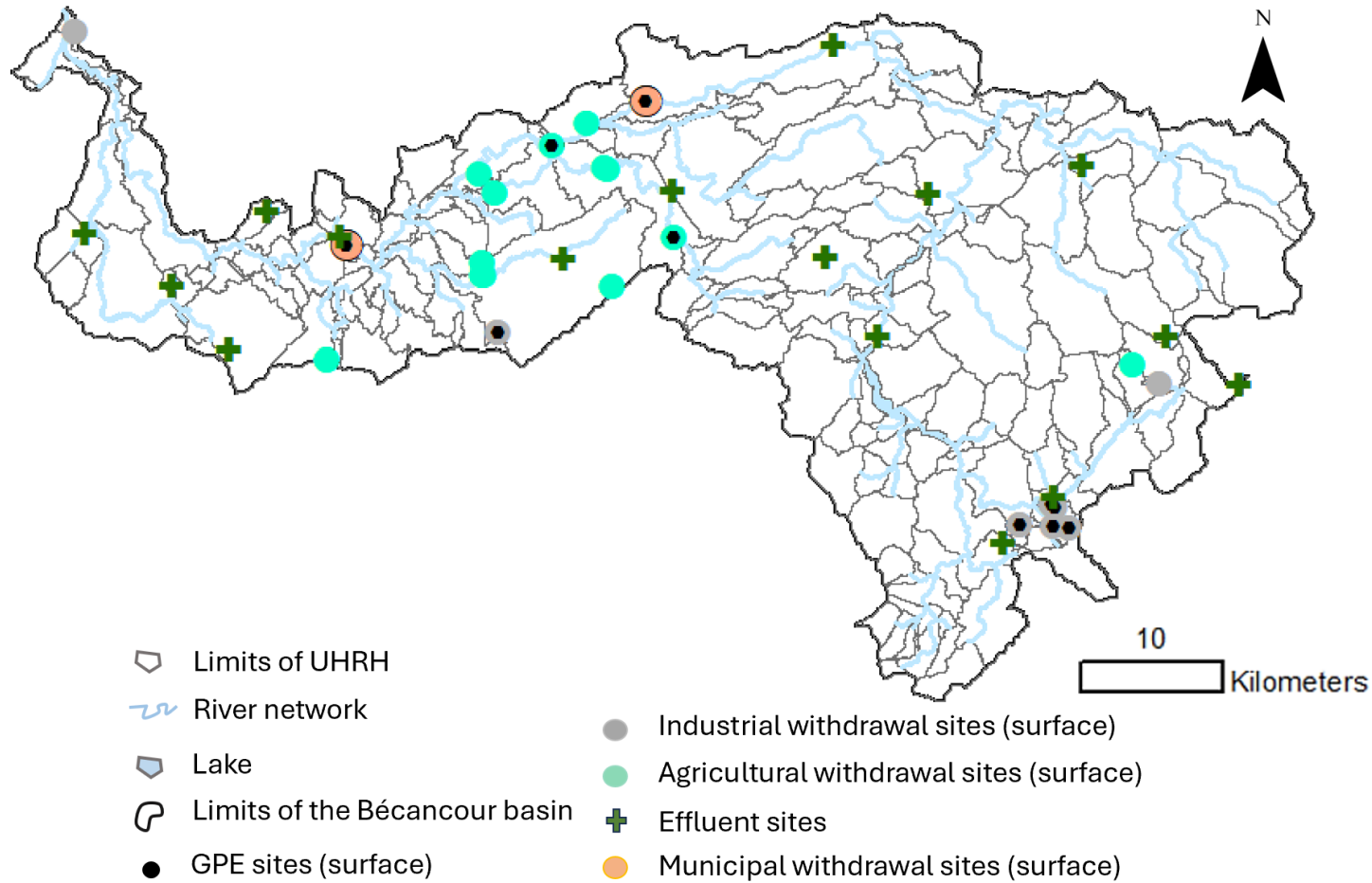


Cas d'étude – Bassin versant de la rivière Bécancour

Mise en place du modèle hydrologique distribuée HYDROTEL



Bécancour - Usages et prélèvements de surface existants...



| Type | Nombre de site urf. (GPE) |
|--------------|---------------------------|
| Agricole | 13 (2) |
| Industriel | 8 (6) |
| Municipal | 2 (2) |
| Total | 28 (10) |
| Effluents | 16 |

Lien vers les données publiques...

cliquez

cliquez



Exemple d'application de la modélisation hydrologique distribuée...

- **Évaluation des effets individuels et cumulatifs de tous les types de prélèvements existants en climats actuel en fonction...**
 - Indicateur hydrologique traditionnel : 7Q2E

$$\Delta \text{Indicateur} = 100 * (\text{Indicateur}_{AP} - \text{Indicateur}_{SP}) / \text{Indicateur}_{SP}$$

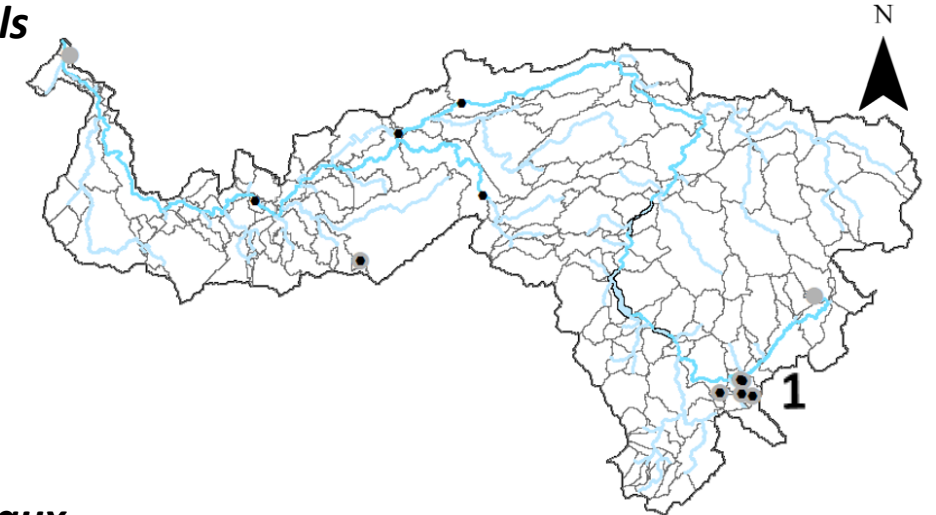
AP = Simulation avec prélèvements et effluents

SP = Simulation sans prélèvement ni effluents

Exemple de résultats comparatifs (7Q2E) – 1998-2021 (les périodes d'étiage)

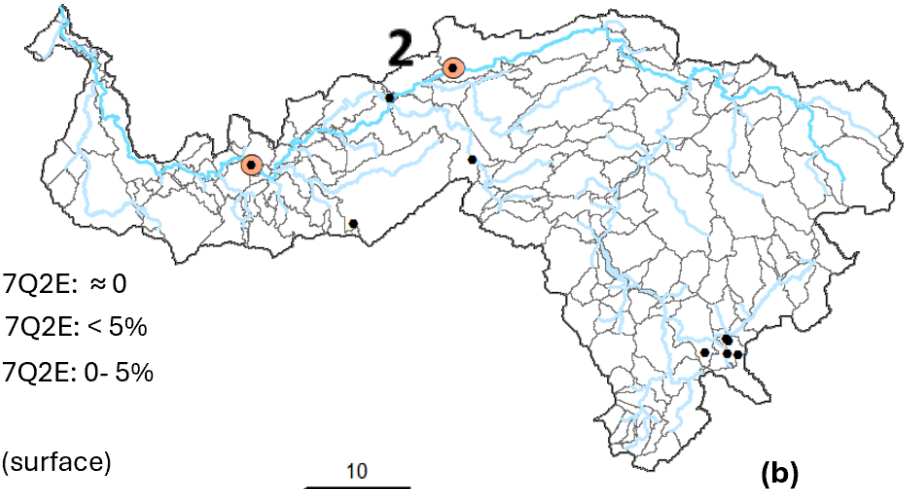
$$\Delta \text{Indicateur} = 100 * (\text{Indicateur}_{AP} - \text{Indicateur}_{SP}) / \text{Indicateur}_{SP}$$

Prélèvements industriels











Opération Black Lake – Site industriel et
1 d'intervention environnementale (Secteur du Lac d'amiante, Thetford Mines, Québec)

Prélèvements municipaux



2 Installation de purification Plessisville

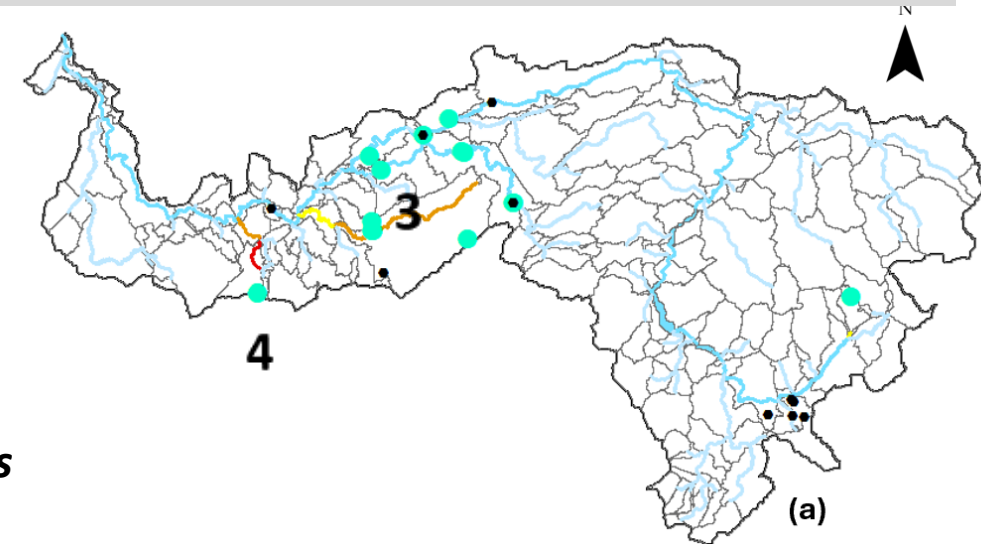
-  Limits of UHRH
-  Limits of Bécancour basin
-  River: Relative reduction of 7Q2E: ≈ 0
-  River: Relative reduction of 7Q2E: $< 5\%$
-  Lake: Relative reduction of 7Q2E: 0- 5%
-  GPE sites (surface)
-  Municipal withdrawal sites (surface)
-  Industrial withdrawal sites (surface)

Exemple de résultats comparatifs (7Q2E) – 1998-2021 (les périodes d'étiage)

$$\Delta \text{Indicateur} = 100 * (\text{Indicateur}_{AP} - \text{Indicateur}_{SP}) / \text{Indicateur}_{SP}$$

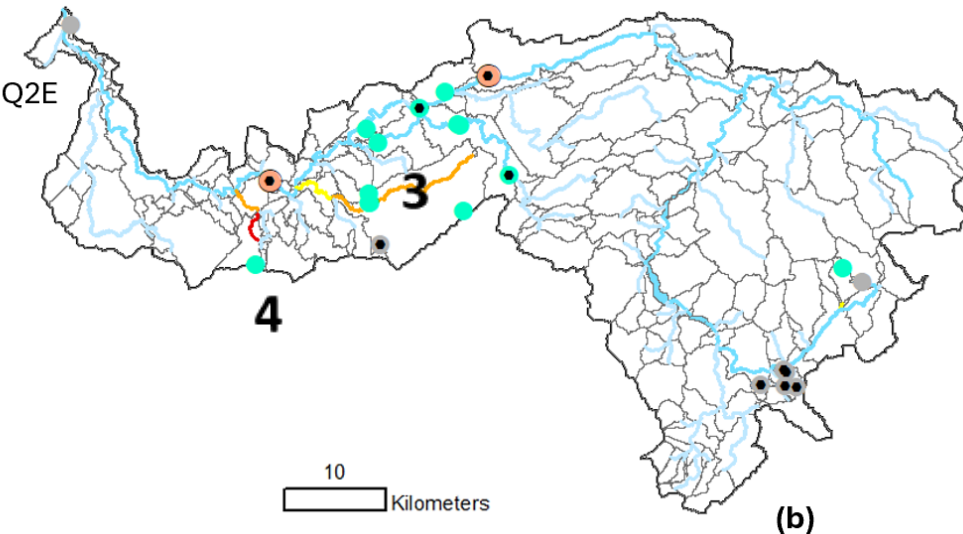
3 Sites de productions agricoles ayant des effets
4

Prélèvements agricoles



Tous les prélèvements

- Limits of UHRH
- Limits of Bécancour basin
- River: The maximum relative reduction of 7Q2E
- River: Relative reduction of 7Q2E: >20%
- River: Relative reduction of 7Q2E: 15-20%
- River: Relative reduction of 7Q2E: 0-5%
- River: Relative reduction of 7Q2E: ≈ 0
- Lake: Relative reduction of 7Q2E: 0-5%
- GPE sites (surface)
- Municipal withdrawal sites (surface)
- Industrial withdrawal sites (surface)
- Agricultural withdrawal sites (surface)



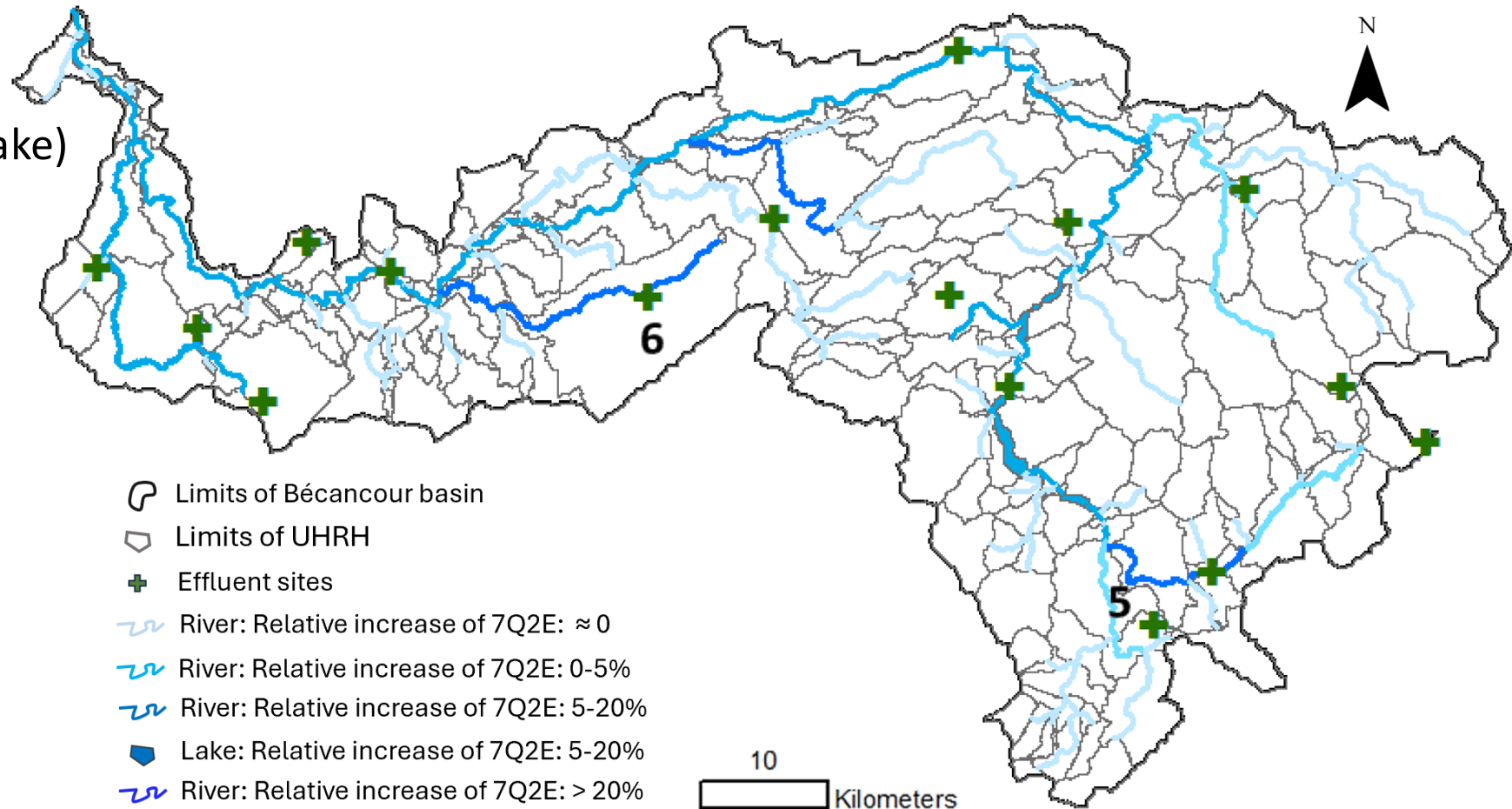
Exemple de résultats comparatifs (7Q2E) – 1998-2021 (les périodes d'étiage)

$$\Delta \text{Indicateur} = 100 * (\text{Indicateur}_{AP} - \text{Indicateur}_{SP}) / \text{Indicateur}_{SP}$$

Effluents de stations de traitements des eaux usées

5 Station d'épuration de Thetford Mines (Black Lake)

6 Station d'épuration de Princeville

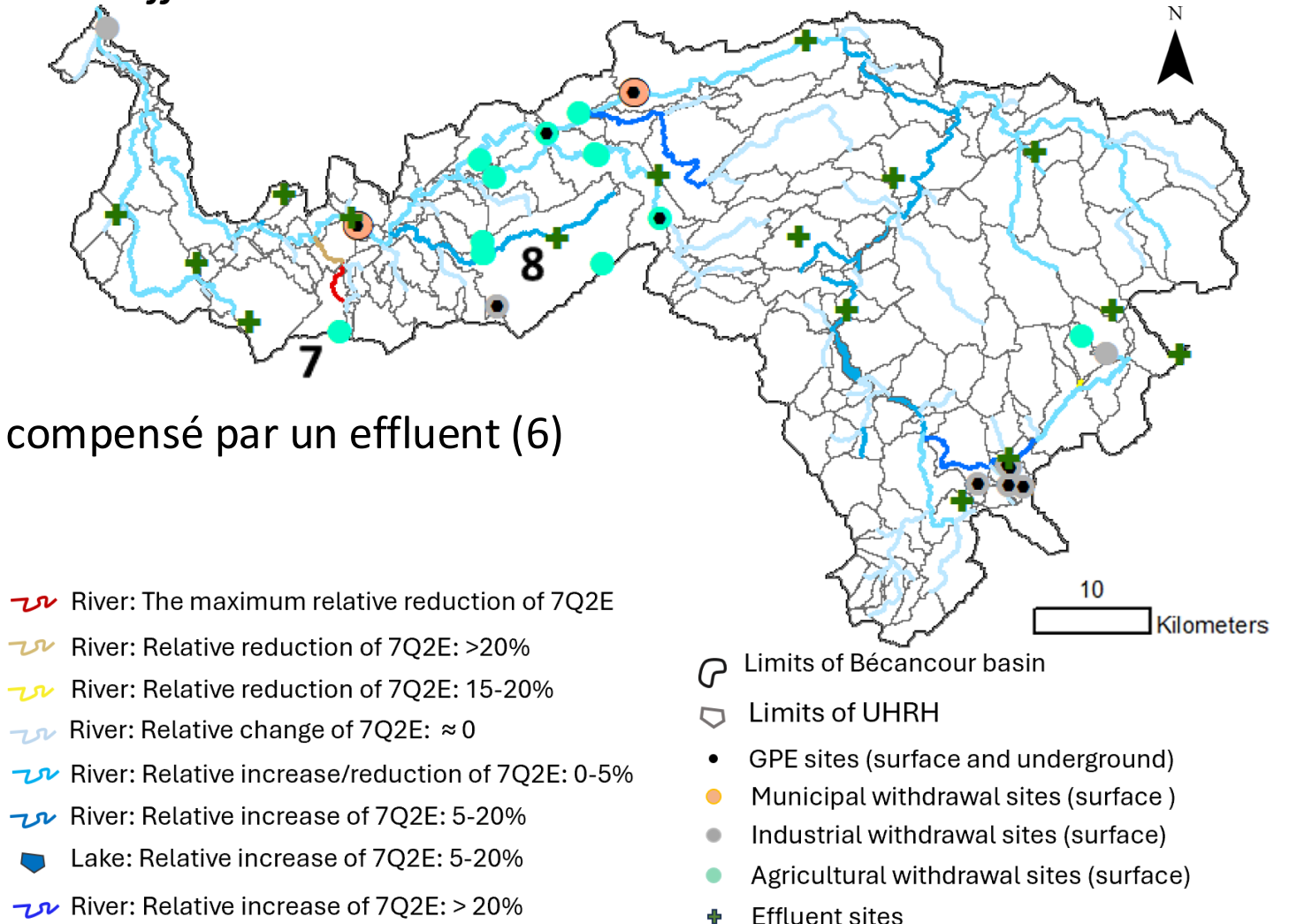


Exemple de résultats comparatifs (7Q2E) – 1998-2021 (les périodes d'étiage)

$$\Delta \text{Indicateur} = 100 * (\text{Indicateur}_{AP} - \text{Indicateur}_{SP}) / \text{Indicateur}_{SP}$$

Tous les prélèvements et effluents de stations de traitements des eaux usées

- 7 Site de production agricole
- 8 Site de production agricole (4) compensé par un effluent (6)




Axe 1 – Connectivité hydrologique et interaction au sein du bassin versant

- Production de cartes permettant l'identification de tronçons de cours d'eau sous pression mais beaucoup d'incertitudes au-delà de la BD des GPE surtout au niveau des cannebergières non-incluses
 - **Alternatives**
 - Différentiation des différents usages intra-annuels selon des conditions climatiques moyennes
 - **Développement d'un modèle de gestion quotidienne de l'eau selon les conditions météorologiques journalières et pour plusieurs années**



Photo: Atocatière Chiasson Ltée, New Brunswick

A wide field of purple flowering plants, likely a caneberry farm, under a cloudy sky. A canal or river is visible in the background, bordered by a line of trees. The text is overlaid on a semi-transparent white box in the center of the image.

**Modèle de gestion de l'eau de la ferme de canneberges
selon les conditions météorologiques journalières et
sur plusieurs années**

Gouvernance socio-hydrologique pour la gestion de l'eau à l'échelle du bassin versant

Analyse des effets de la production de canneberges sur la disponibilité en eau dans la Bécancour

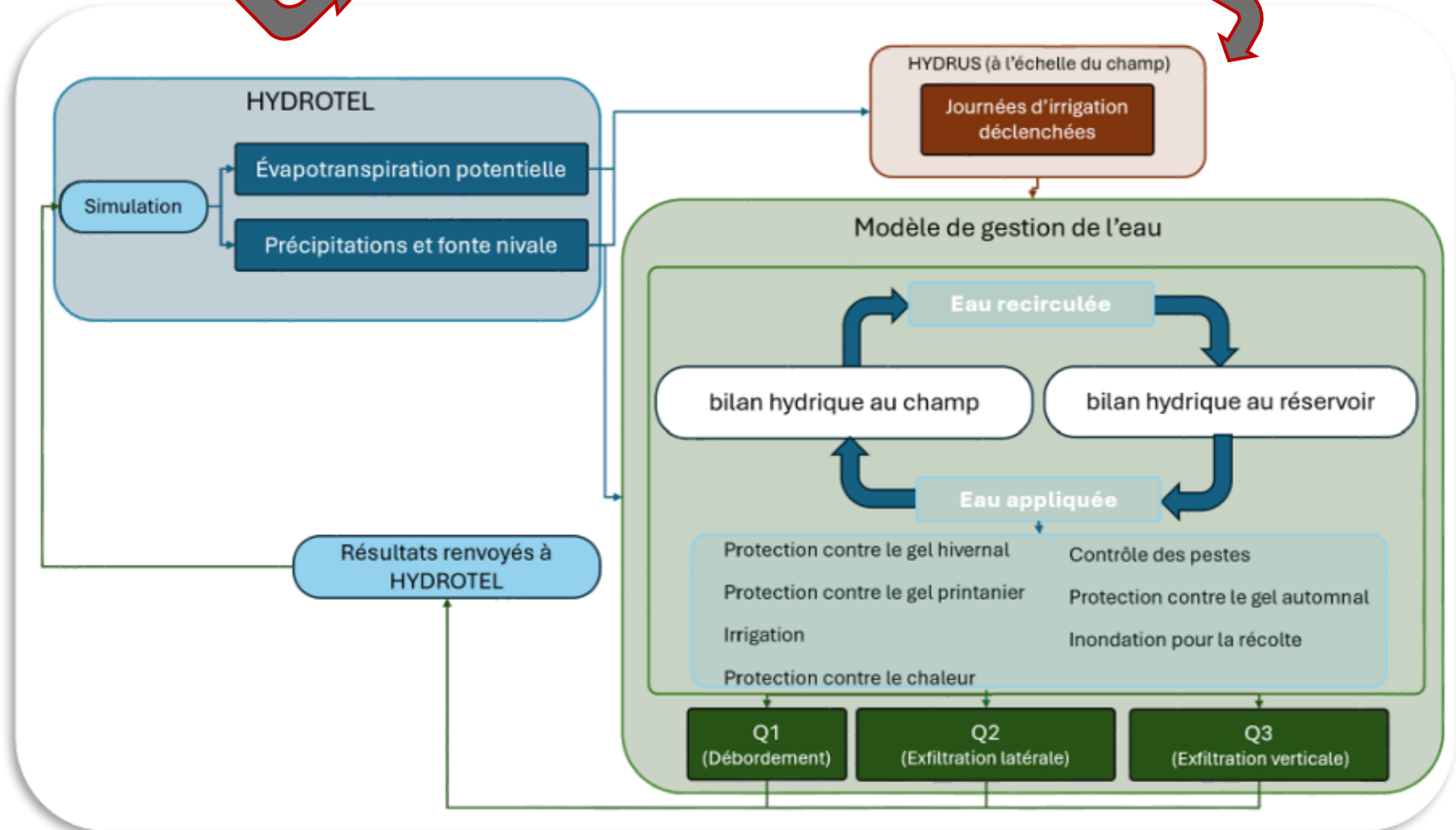


- AT1** Effets des prélèvements sur le régime hydrologique (Bécancour)
- AT2** Modèle de gestion quotidienne de l'eau des fermes canneberges et couplage avec HYDROTEL
- AT3** Modèle socio-économique couplé à HYDROTEL pour une analyse socio-hydrologique
- AT4** Scénarios climatiques et stratégies de gestion de l'eau

Développement du modèle de gestion de l'eau à l'échelle de la cannebergère (CFWMM)

Une version générique du **CFWMM** pour les **conditions climatiques moyennes**

Une version du **CFWMM** reliée aux **données météorologiques** pour différents **types d'utilisation de l'eau**



Types de fermes classés selon leur mode de compensation des déficits en eau

- Quels sont les quatre types de fermes admissibles au prélèvement direct d'eau dans le CFWMM?

Sans dépendance à l'eau de surface ou souterraine
(Type 1)

Dépendance à l'eau surface seulement
(Type 2)

Avec dépendance à l'eau de surface et l'eau souterraine
(Type 3)

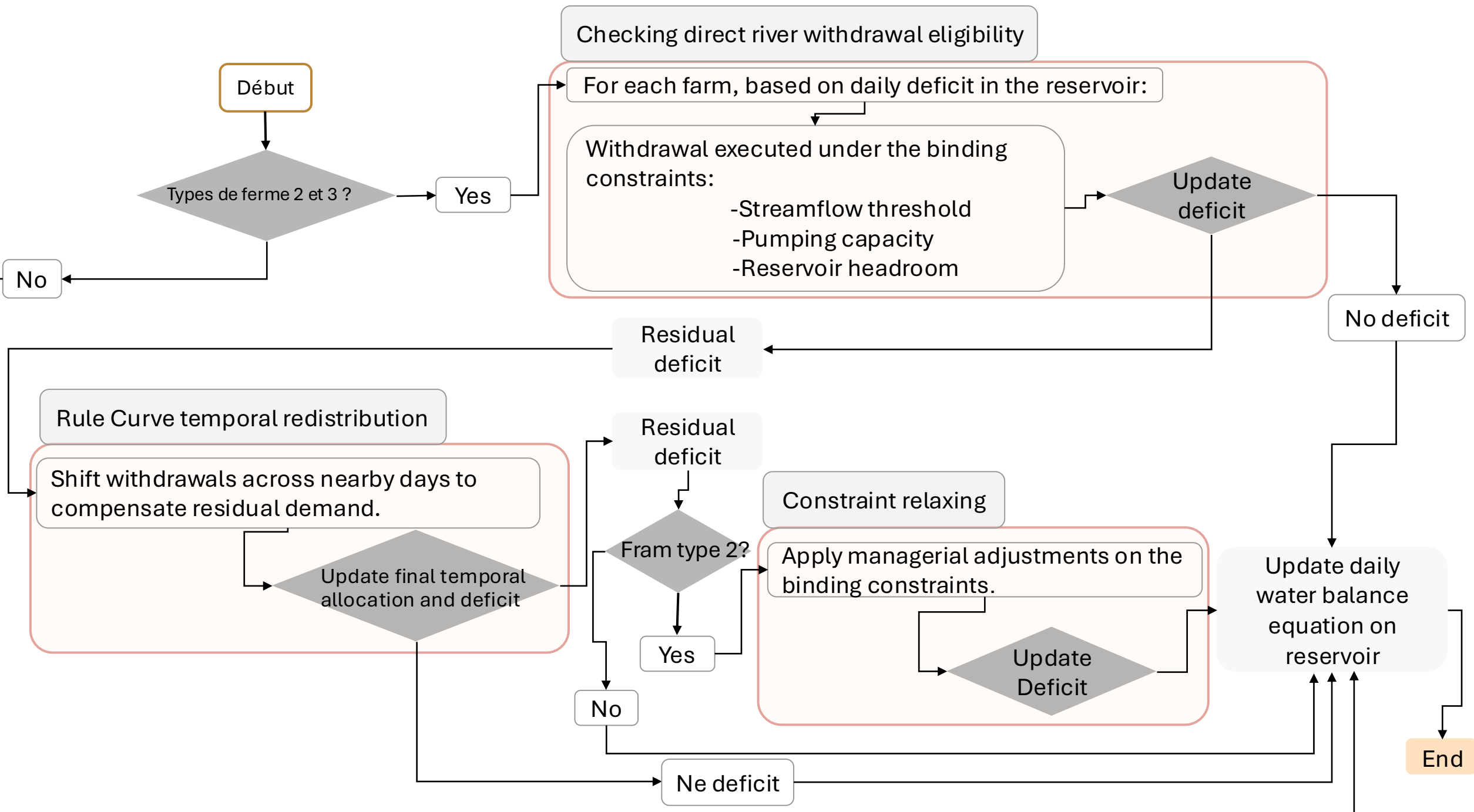
Dépendance à l'eau souterraine
(Type 4)

- Comment le prélèvement direct d'eau est-il géré dans ces fermes selon le CFWMM ?

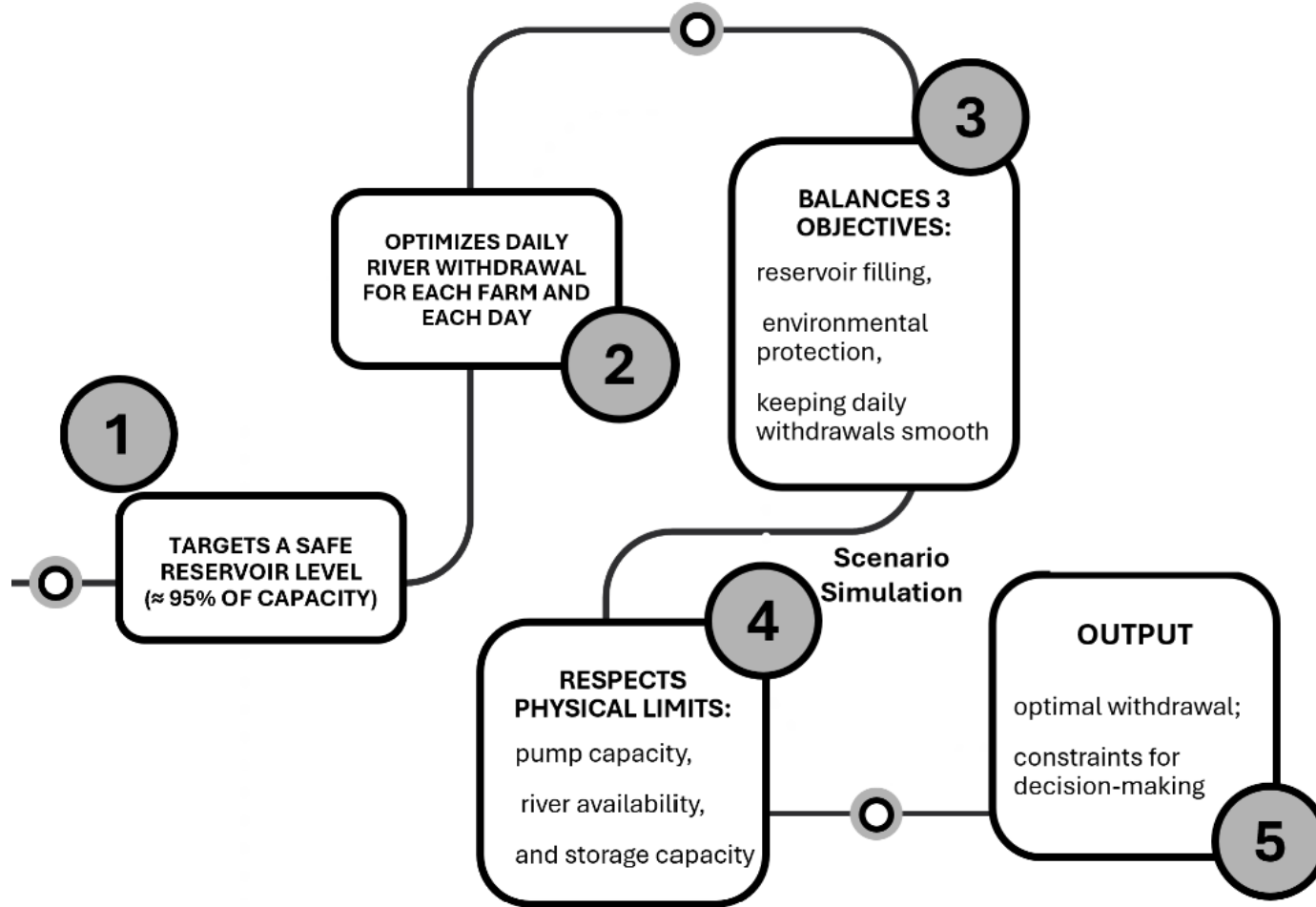
Gestion des réservoirs et des prélèvements - Méthode: *Rule Curve*

Cette approche alloue l'eau en fonction de la demande anticipée.





Gestion des réservoirs et des prélèvements - Méthode: *Risk Averse*

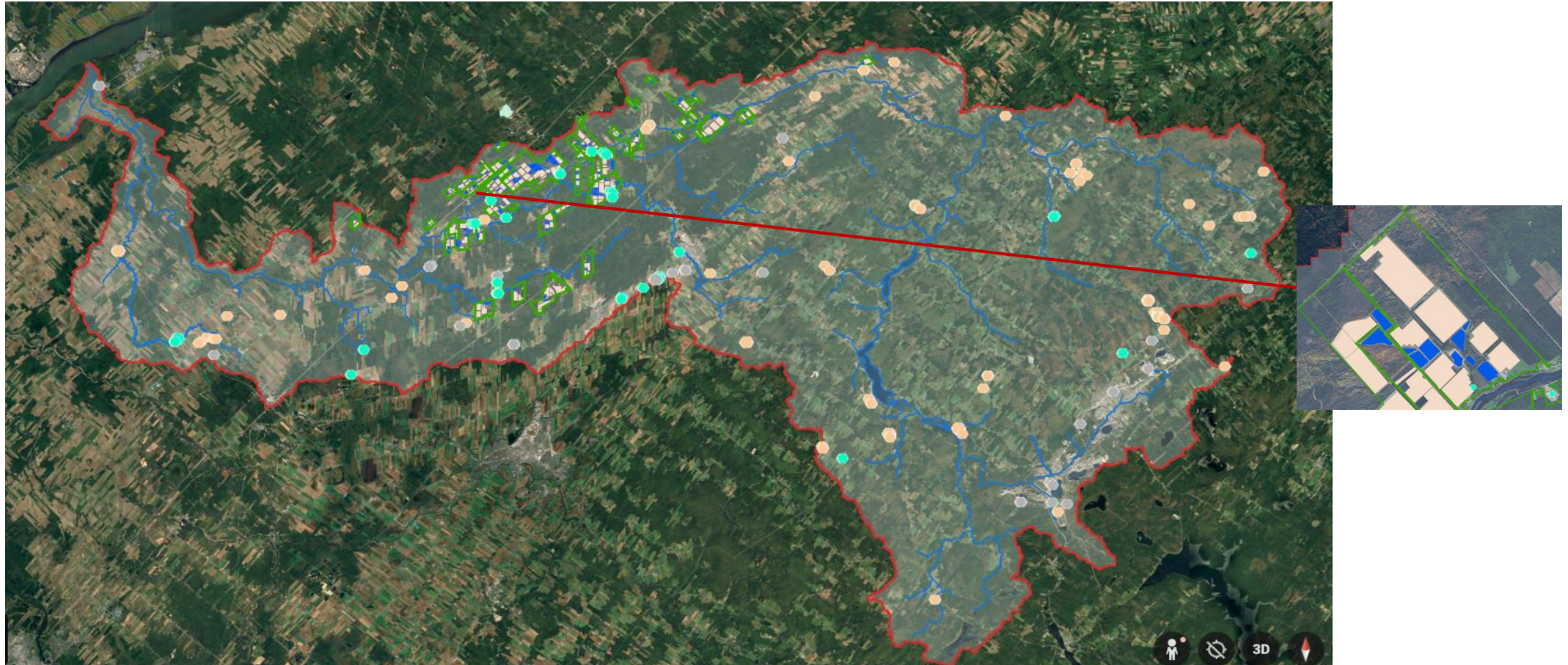


Gestion des réservoirs et des prélèvements - Méthode: *Risk Averse*

| Aspect | Risk-Averse Optimization | Rule Curve Approach |
|----------------------------------|---|---|
| System Driver | Storage-focused (aims to keep reservoir near full capacity) | Flow & demand-driven (responds to river conditions and field needs) |
| Response to Hydrology | Less sensitive to daily river fluctuations; prioritizes maintaining storage level | Highly adaptive to river flow; withdrawal only when surplus water is available |
| Environmental Integration | Indirectly considers environment through constraints | Directly linked to environmental flow thresholds (no withdrawal below limit) |
| Temporal Behavior | Smooth and continuous withdrawals over time | Irregular, event-based withdrawals (e.g., frost, irrigation, harvest) |
| Demand Representation | Anticipates future needs and stores water in advance | Reacts to immediate agricultural needs when they occur |

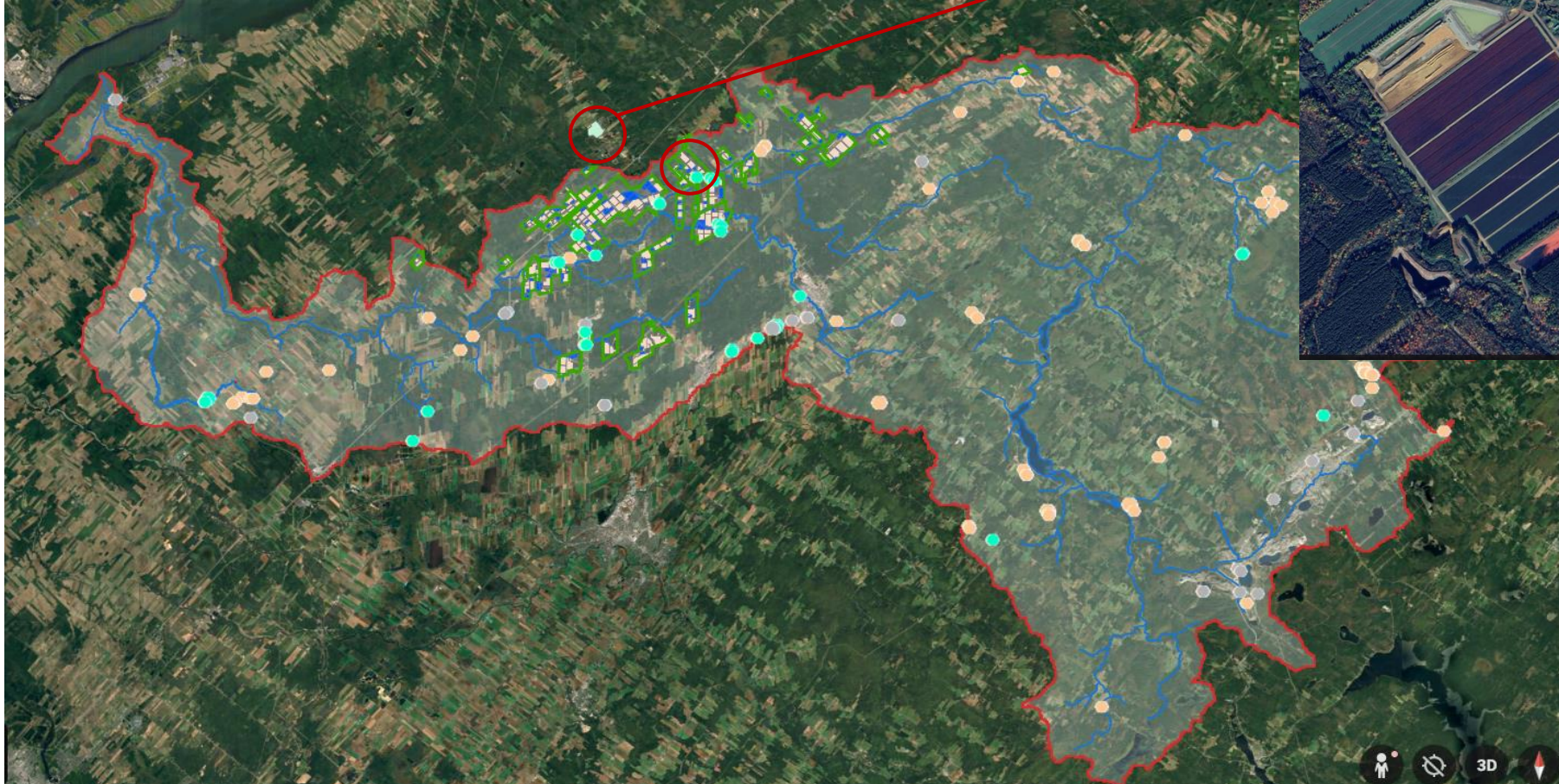
Développement du modèle de gestion de l'eau à l'échelle de la cannebergière (CFWMM)

Ferme 11– Simulation avec Cranberry Farm Water Management Model



Développement du modèle de gestion de l'eau à l'échelle de la cannebergière (CFWMM)

Ferme Atocas St-Joseph – données observées




Types d'usage de l'eau selon les conditions météorologiques et les stades phénologiques

2. Spring frost protection

Triggered when:


- Late April (DOY \geq 115) AND $T_{min} \leq -5^{\circ}\text{C}$
- OR
- May–June AND $T_{min} \leq -2^{\circ}\text{C}$

→ Water use = 0.048 m  need_calculator

3. Autumn frost protection

Triggered when:

- September or October AND $T_{min} \leq -2^{\circ}\text{C}$

→ Water use = 0.048 m  need_calculator

BUT:

- Stops after first harvest day of the year  need_calculator

4. Heat stress

Triggered when:

- Summer (June–August) AND $T_{max} > 32^{\circ}\text{C}$

→ Water use = 0.001 m  need_calculator

BUT:

- Cancelled if irrigation is active (irrigation has priority)

Types d'usage de l'eau selon les conditions météorologiques et les stades phénologiques

Late flooding

Triggered by 2 possible conditions:

Condition 1 (growth stage):

- GDD between 300–500
- $T_{min} \geq 10^\circ\text{C}$

Condition 2:

- DOY 245–270
- GDD > 1000
- 5-day T_{max} avg < 29°C

Then:

If no other water use is active
→ flooding = 0.15 m

AND:

Limited to max 2 consecutive days

6. Glaciation (winter flooding)

Triggered when:

- First occurrence of ≥ 2 consecutive days
- $T_{min} \leq -15^\circ\text{C}$
- In December–January window

Then:

- Start on **second cold night**
- Apply water over **3 days**
- Total depth = **0.3 m**

→ distributed evenly over 3 days  need_calculator

7. Harvest flooding

Triggered within window:

- DOY 258–304
- GDD between 900–1200

Then:

- Start from **first eligible day**
- Continue for **N days**
 - $N = \text{ceil}(\text{fieldarea}/0.25)$

If no eligible day:

- Use **last N days of window**

→ total depth split across days  need_calculator

Basic formula:

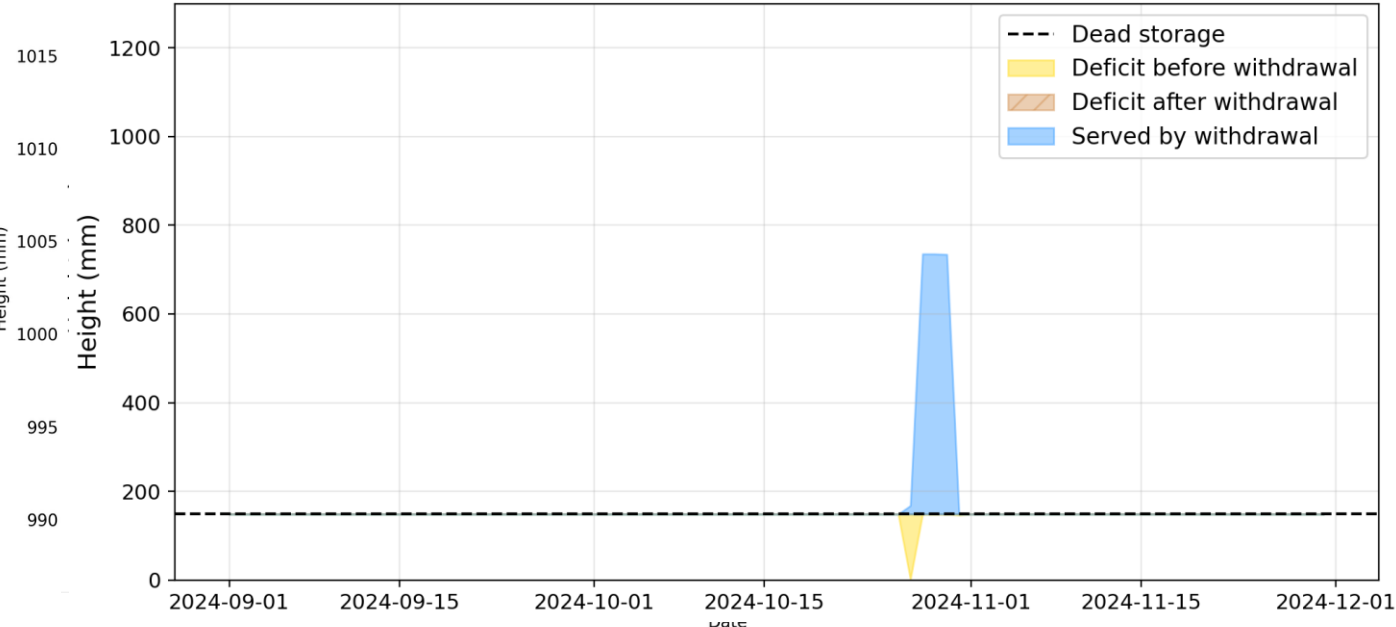
$$\text{GDD} = \frac{T_{\max} + T_{\min}}{2} - T_{\text{base}}$$

- T_{\max} : daily maximum temperature
- T_{\min} : daily minimum temperature
- T_{base} : minimum temperature needed for growth (crop-specific)

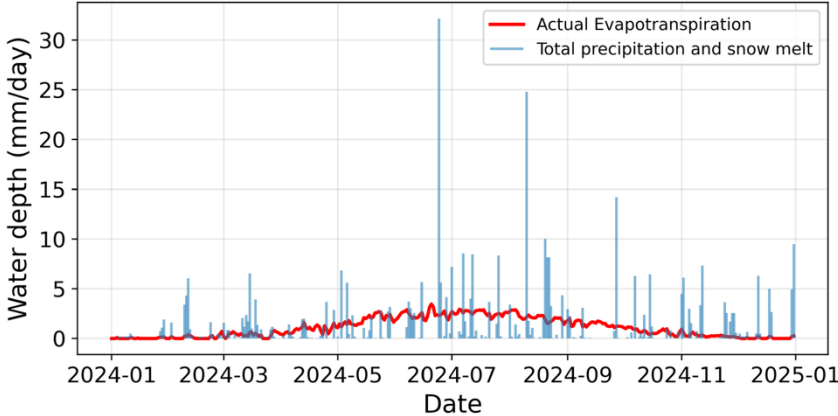


Atocas St-Joseph Observations niveau du réservoir(R1)

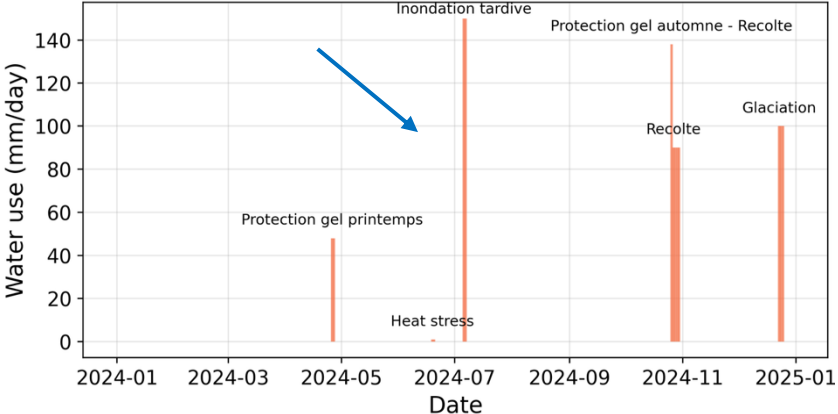
Summer 2024
Fall 2024



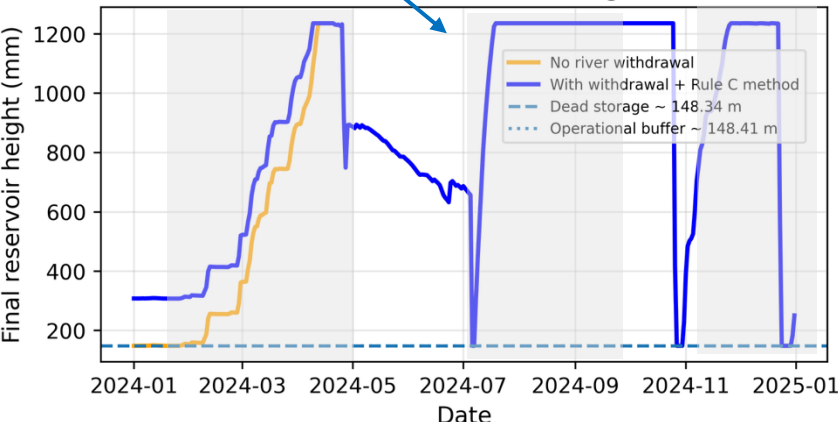
Farm 11 — Daily ETR and Apport (mm) - 2024



Farm 11 — Daily Water Use (mm) - 2024



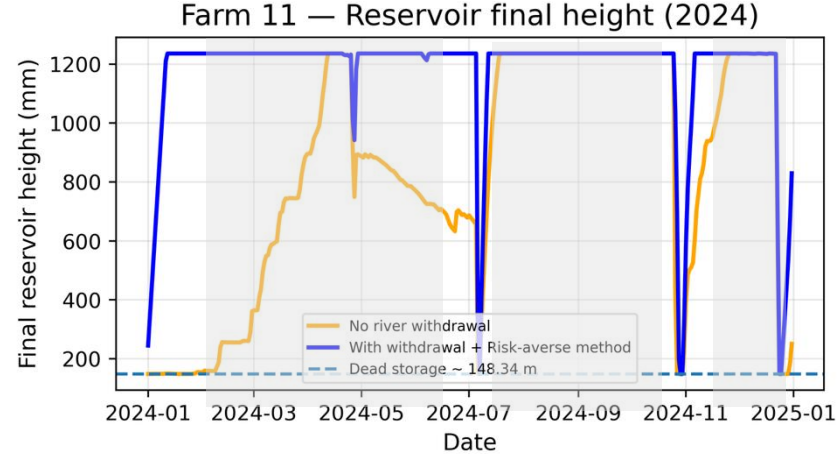
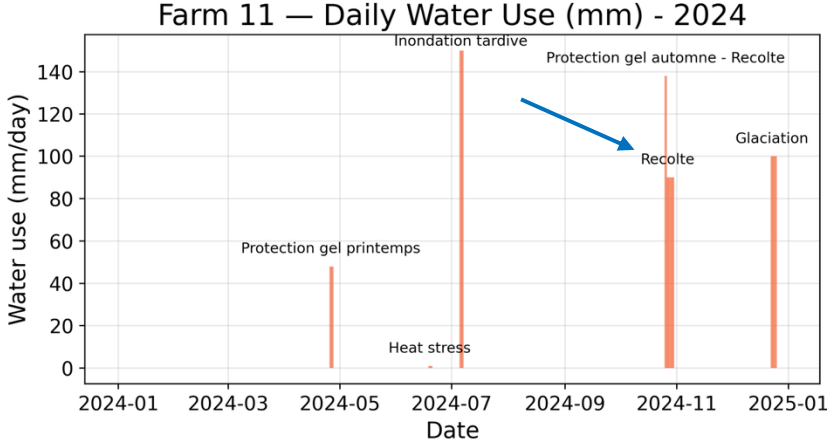
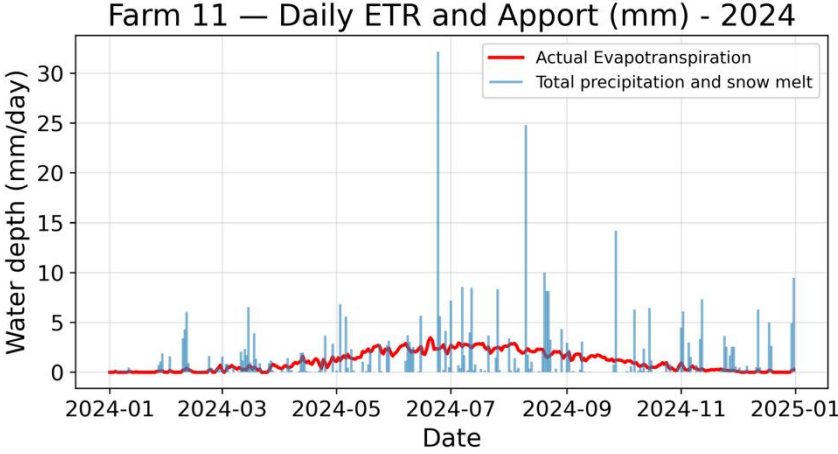
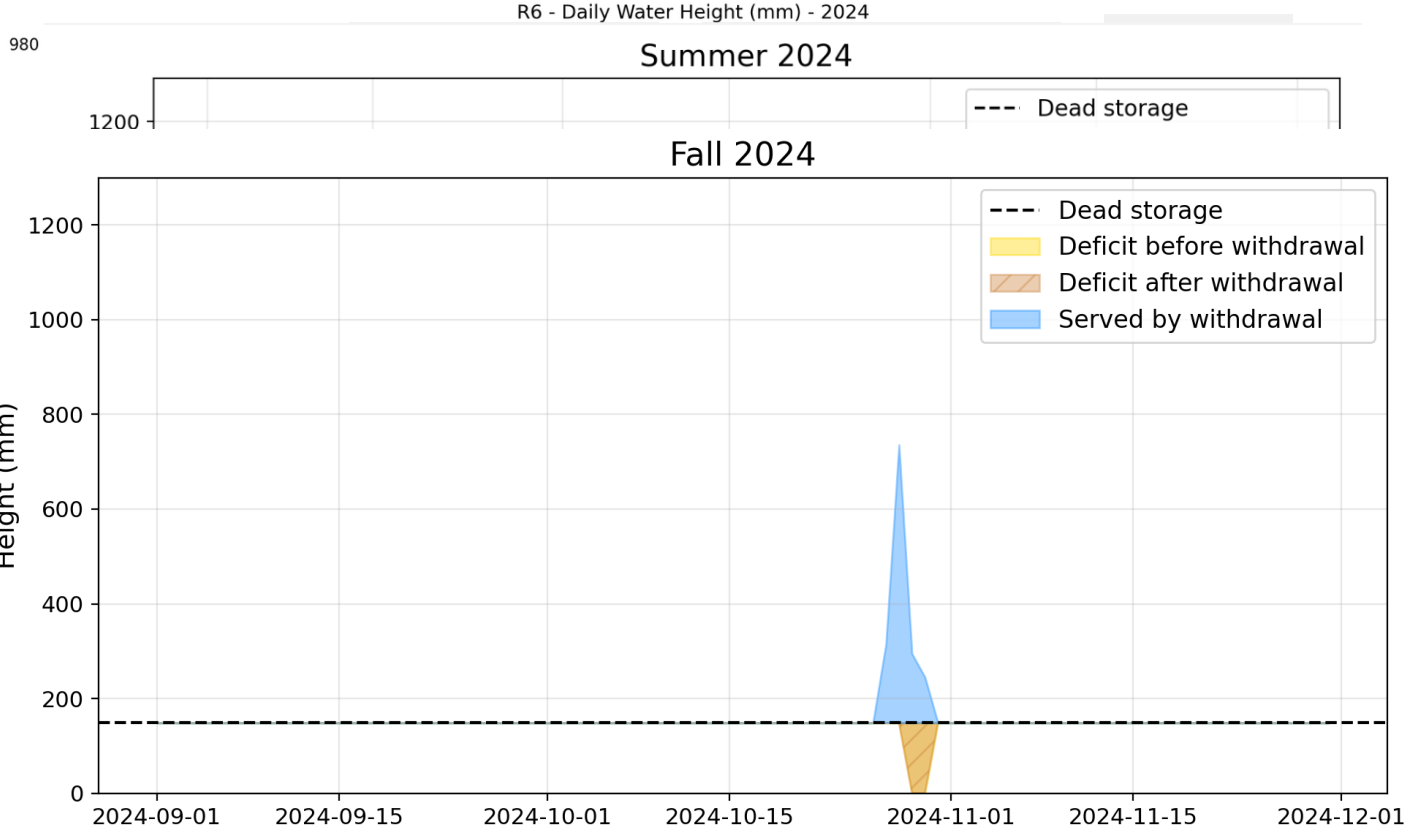
Farm 11 — Reservoir final height (2024)



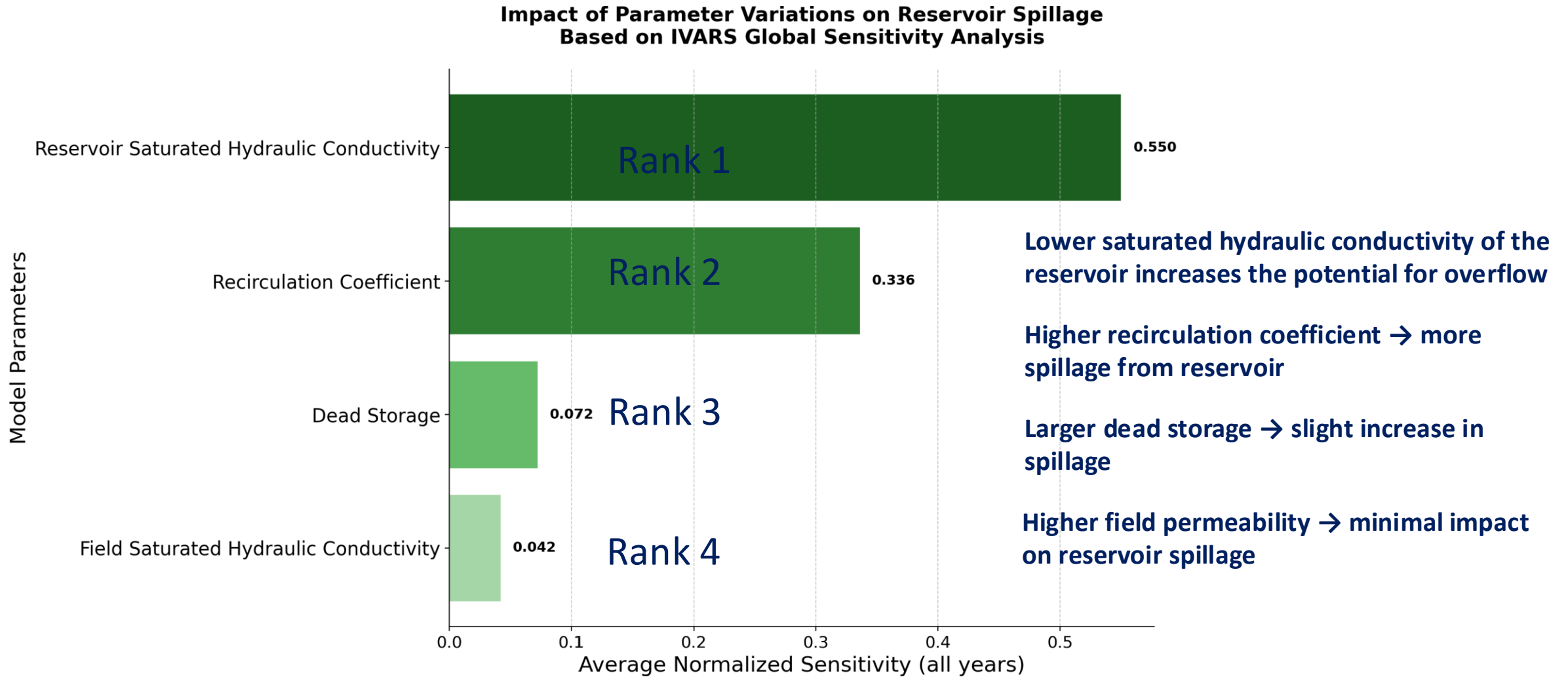


Atocas St-Joseph

Observations niveau du réservoir(R6)

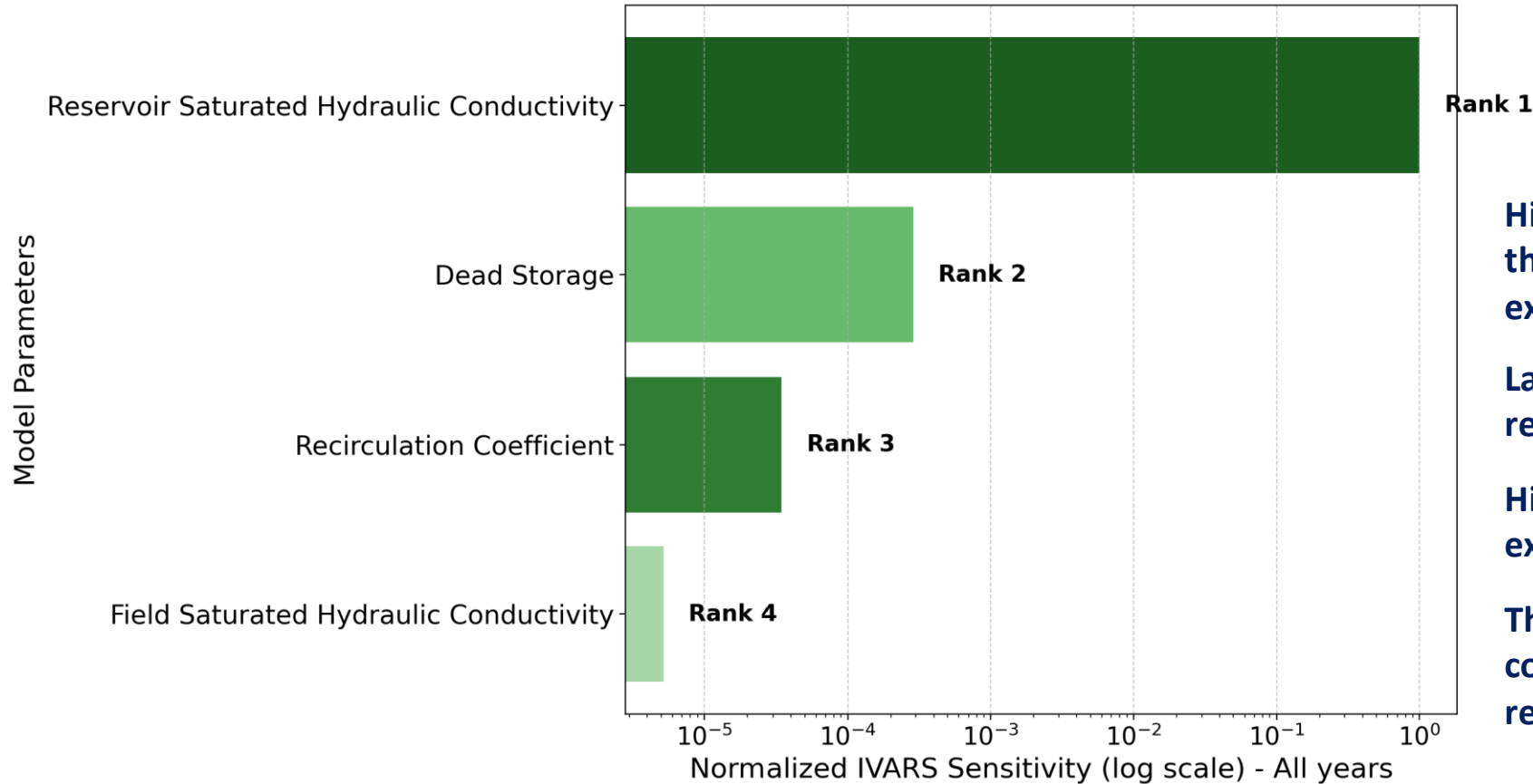


Sensibilité du reservoir à la surverse (Q1) aux valeurs des paramètres du CFWMM



Sensibilité de l'exfiltration totale (Q2 + Q3) aux valeurs des paramètres du CFWMM

Sensitivity Ranking of Model Parameters on Total Exfiltration
Based on IVARS Global Sensitivity Analysis



Higher saturated hydraulic conductivity of the reservoir → more water loss through exfiltration

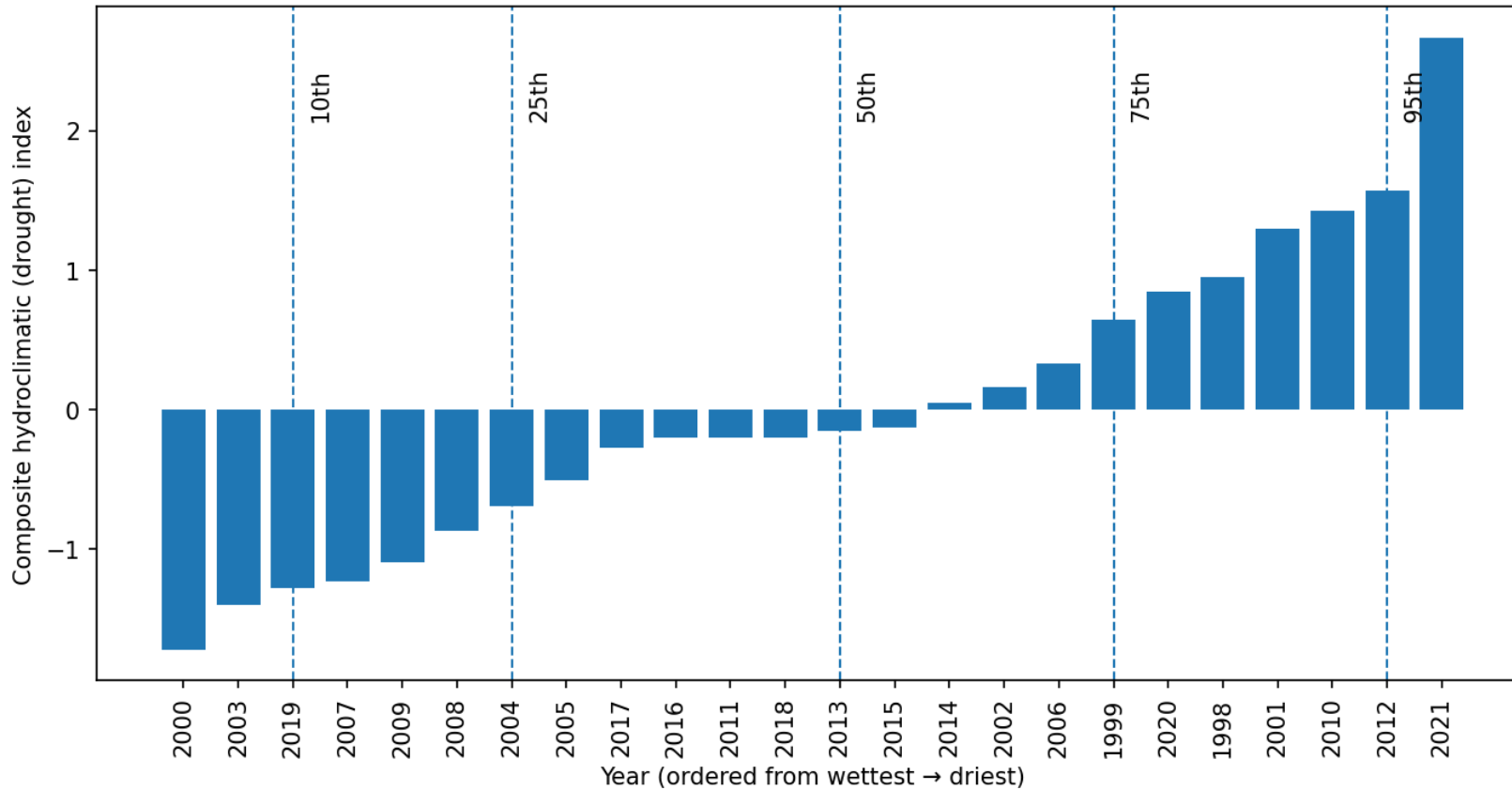
Larger dead storage → more water retained in zones prone to exfiltrate

Higher percentage of recirculation → more exfiltration

The higher field saturated hydraulic conductivity → lower field recirculation to reservoir → lower Q2 + Q3

Classification hydroclimatique des années

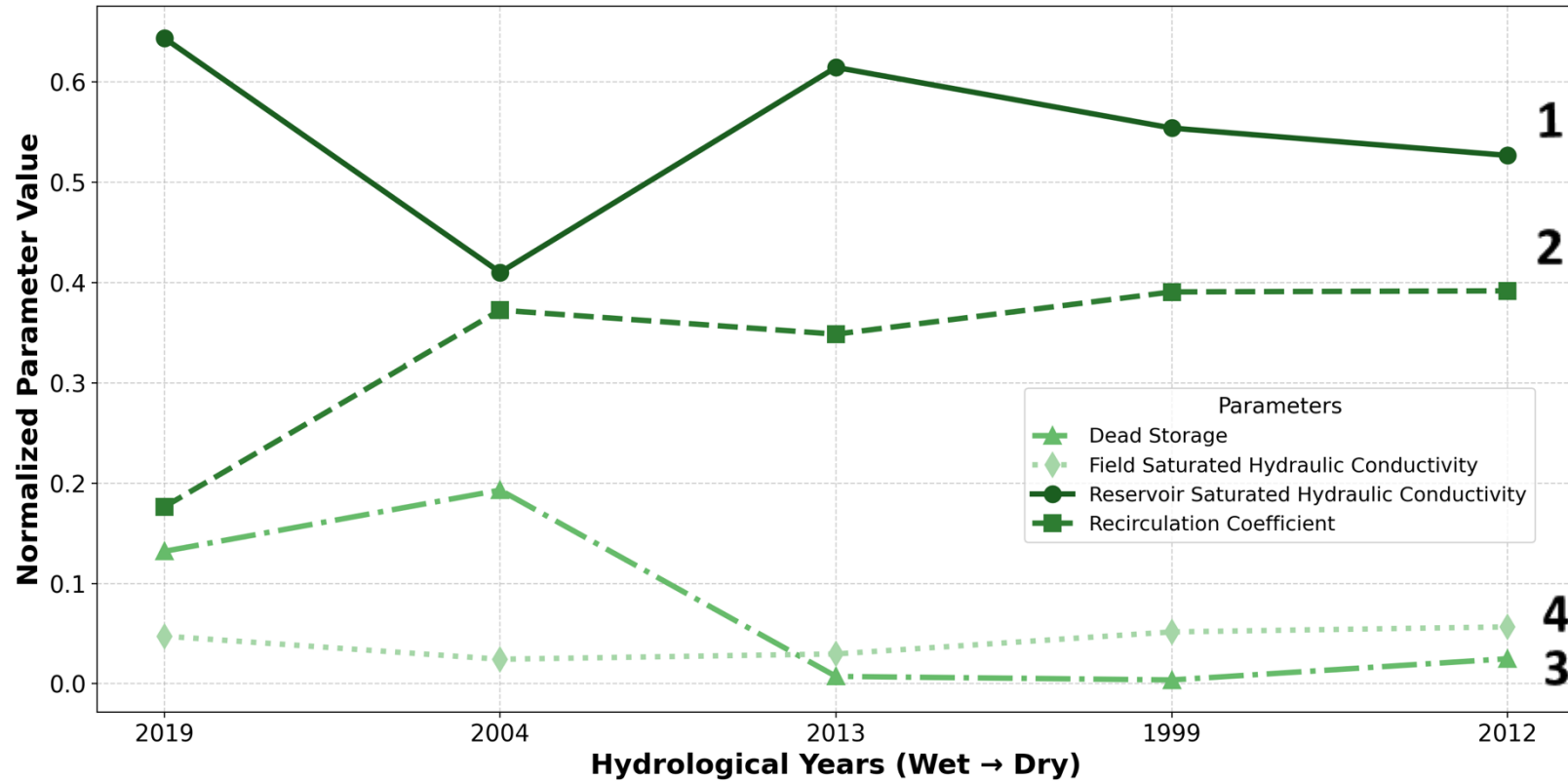
Wet-to-dry ranking of years with percentile thresholds



| Climate regime | Years |
|-----------------------|-------|
| Wet | 2019 |
| Moderately wet | 2004 |
| Intermediate | 2013 |
| Dry | 1999 |
| Very dry | 2012 |

Sensibilité du réservoir à la surverse (Q1) sous différentes années hydroclimatiques

Variation of Parameter Influence on Reservoir Spillage from Wet to Dry Years
Based on IVARS Normalized Values



- 1 Reservoir saturated hydraulic conductivity → the main driver in all years → Mostly controls how water leaves the reservoir through spillage**
- 2 When water is limited → reusing water becomes critical → Recirculation becomes more important**
- 3 Dead storage matters more in wet years → When there is a lot of water → storage capacity controls overflow**
- 4 Field saturated hydraulic conductivity has very little influence in all conditions → more impact on reservoir spillage in dry years**

Wet years → focus on storage

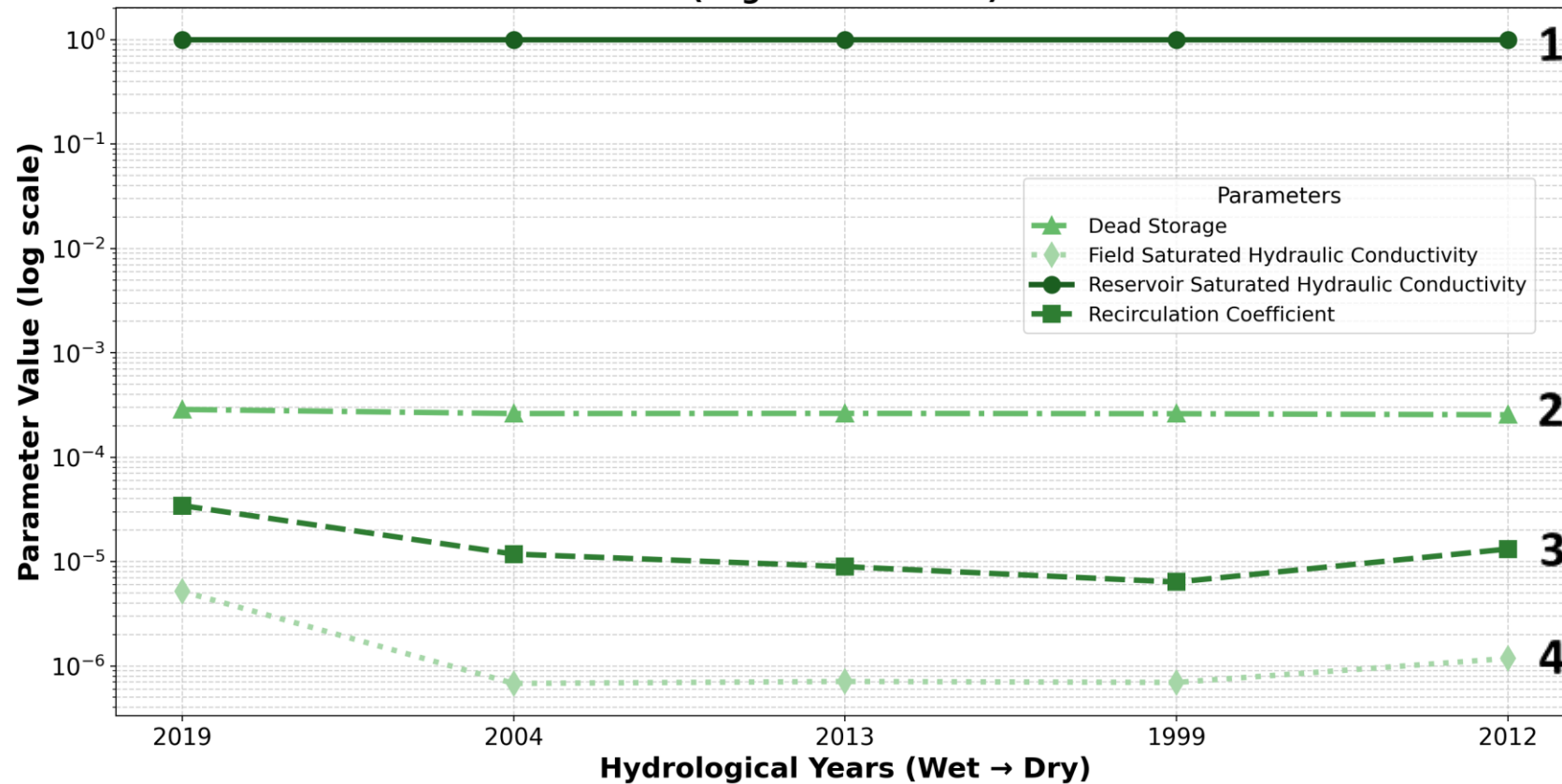
→ manage reservoir levels to avoid overflow

Dry years → focus on reuse

→ improve recirculation to keep water on the farm

Sensibilité de l'exfiltration totale (Q2 + Q3) sous différentes années hydroclimatiques

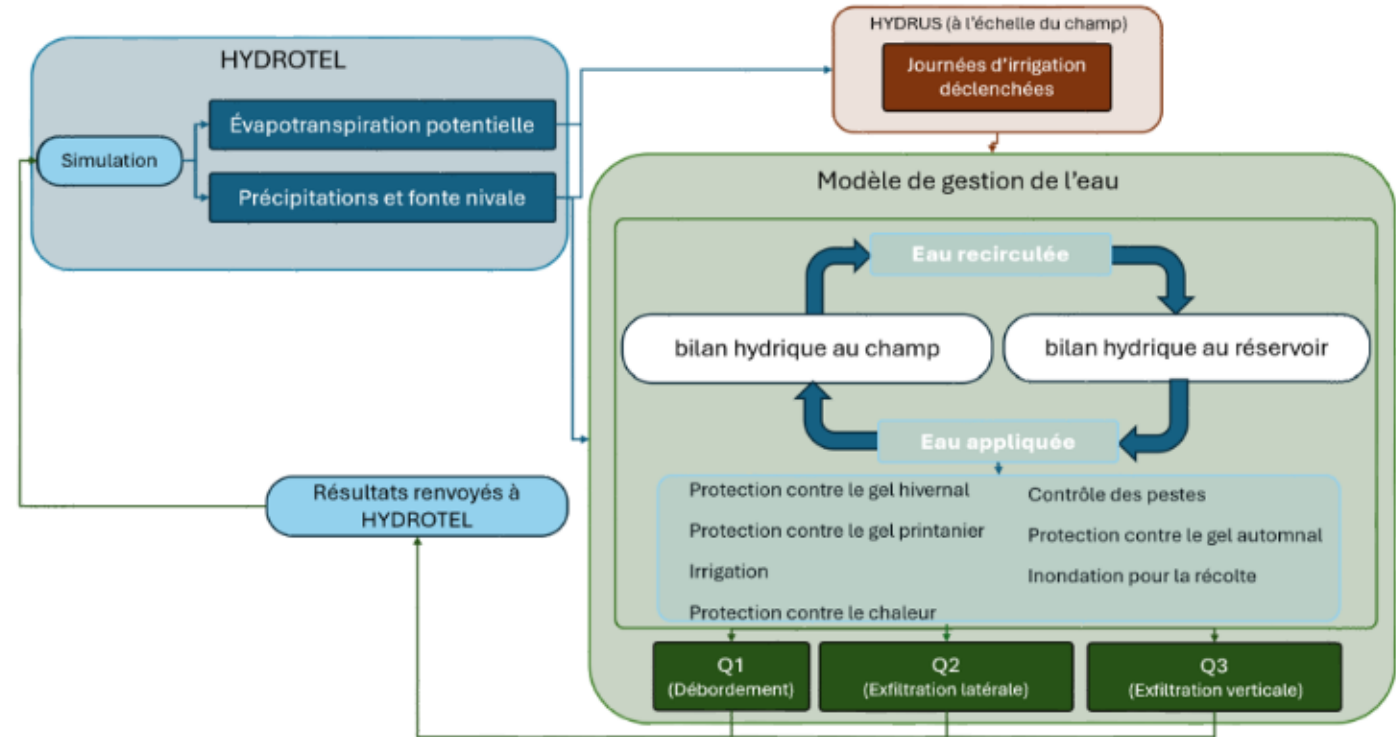
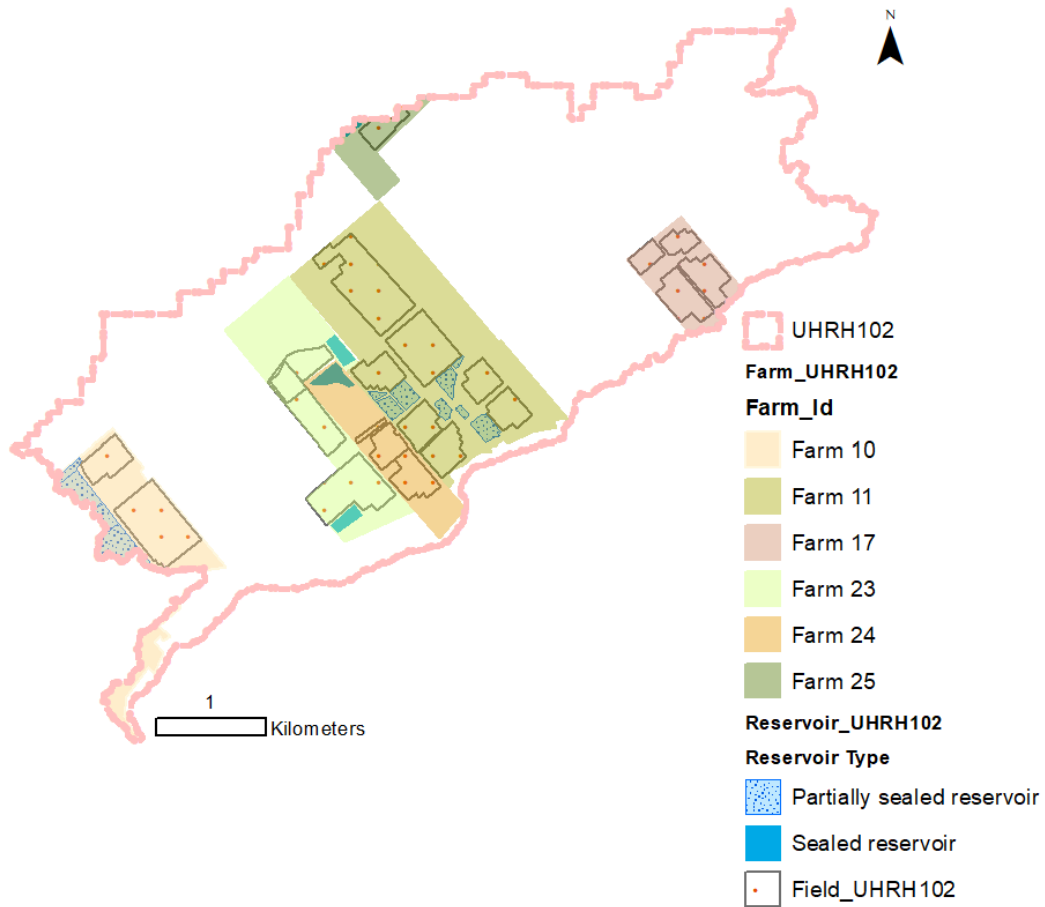
Hydroclimatic Variation of Parameter Influence on Total Exfiltration (Logarithmic Scale)



- 1 **Reservoir saturated hydraulic conductivity** → slight changes on total exfiltration under hydroclimatic variability
- 2 **Dead storage** → slight changes on total exfiltration under hydroclimatic variability
- 3 **In wet years** → Recirculation shows more impact on total exfiltration
- 4 **Field saturated hydraulic conductivity** has very little influence in all conditions → more impact on total exfiltration in wet years

Key control on reservoir spillage and total exfiltration → reservoir sealing

Couplage du CFWMM à HYDROTEL



Conclusion

- Production de cartes permettant l'identification de tronçons de cours d'eau sous pression mais avec beaucoup d'incertitudes au-delà de la BD des GPE
- Développement d'un modèle de gestion quotidienne de l'eau de la cannebergère selon les conditions météorologiques journalières
- Évaluation de la gestion de l'eau selon les approches *Rule Curve* et *Risk Averse*
- Prochaine étape couplage du modèle avec HYDROTEL
- Besoins de données observées sur les variations de stockage de l'eau dans les réservoirs pour améliorer la fiabilité du modèle



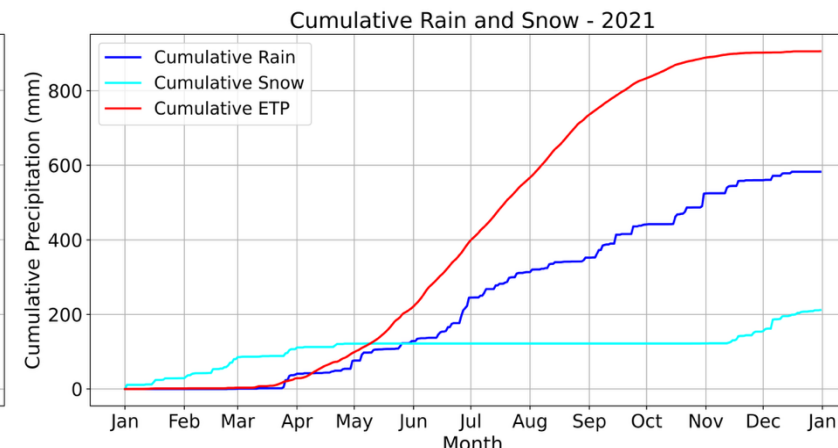
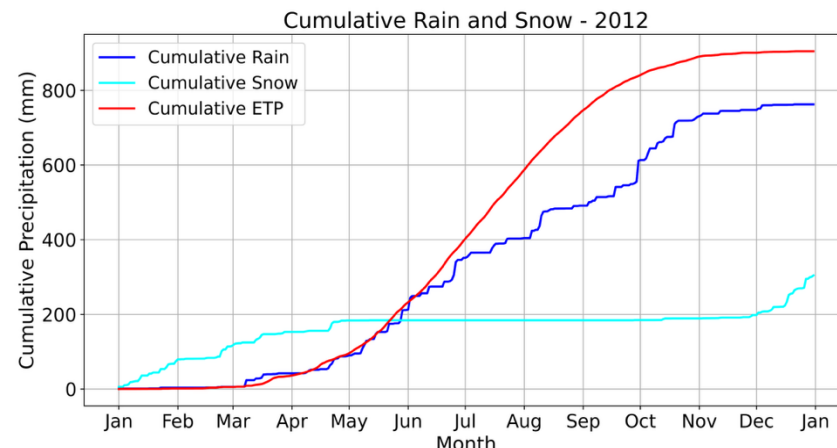
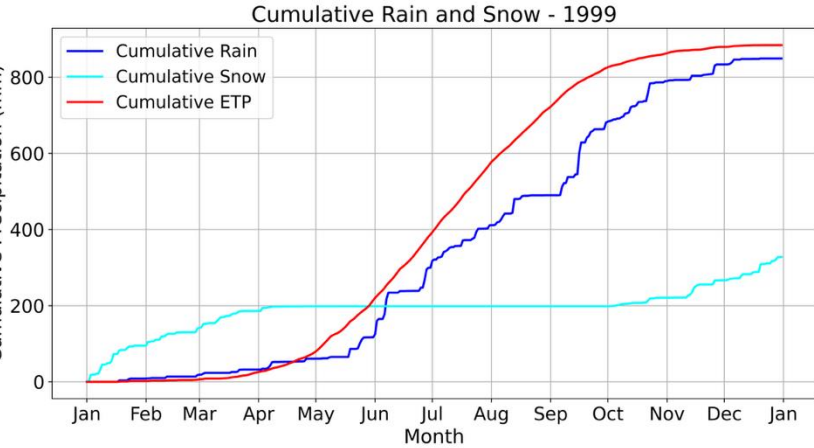
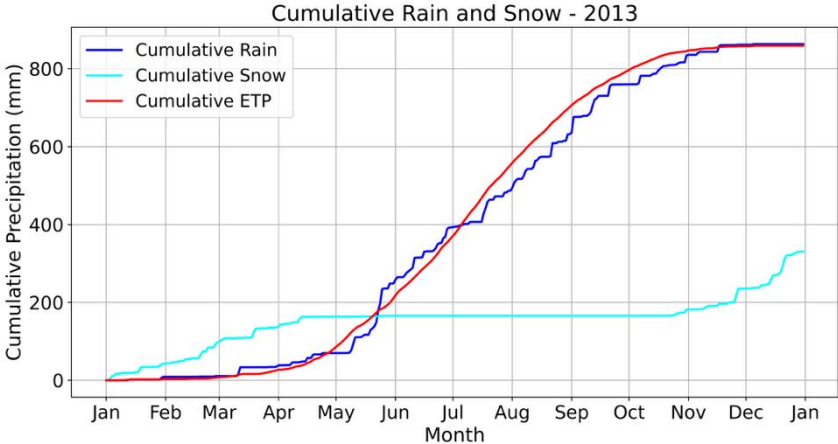
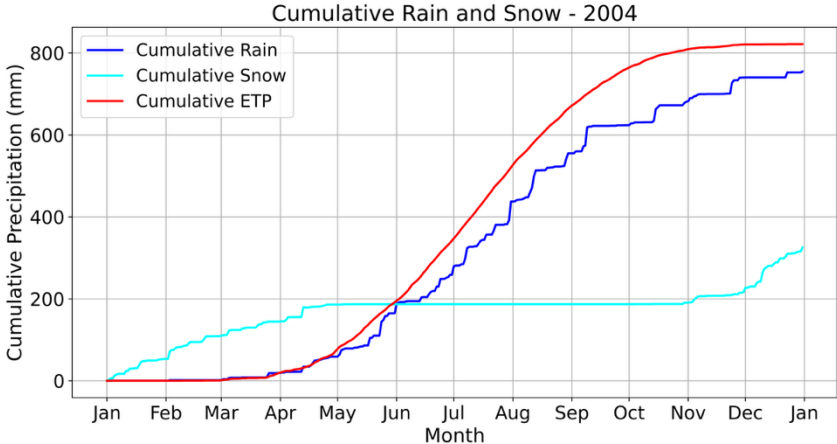
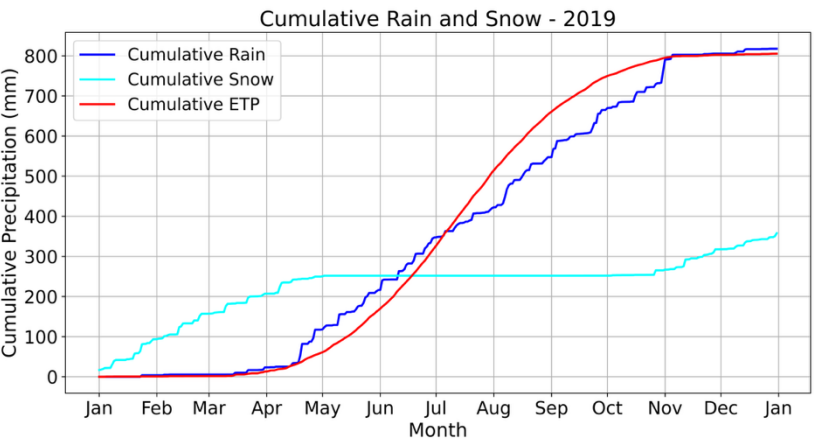


Merci !



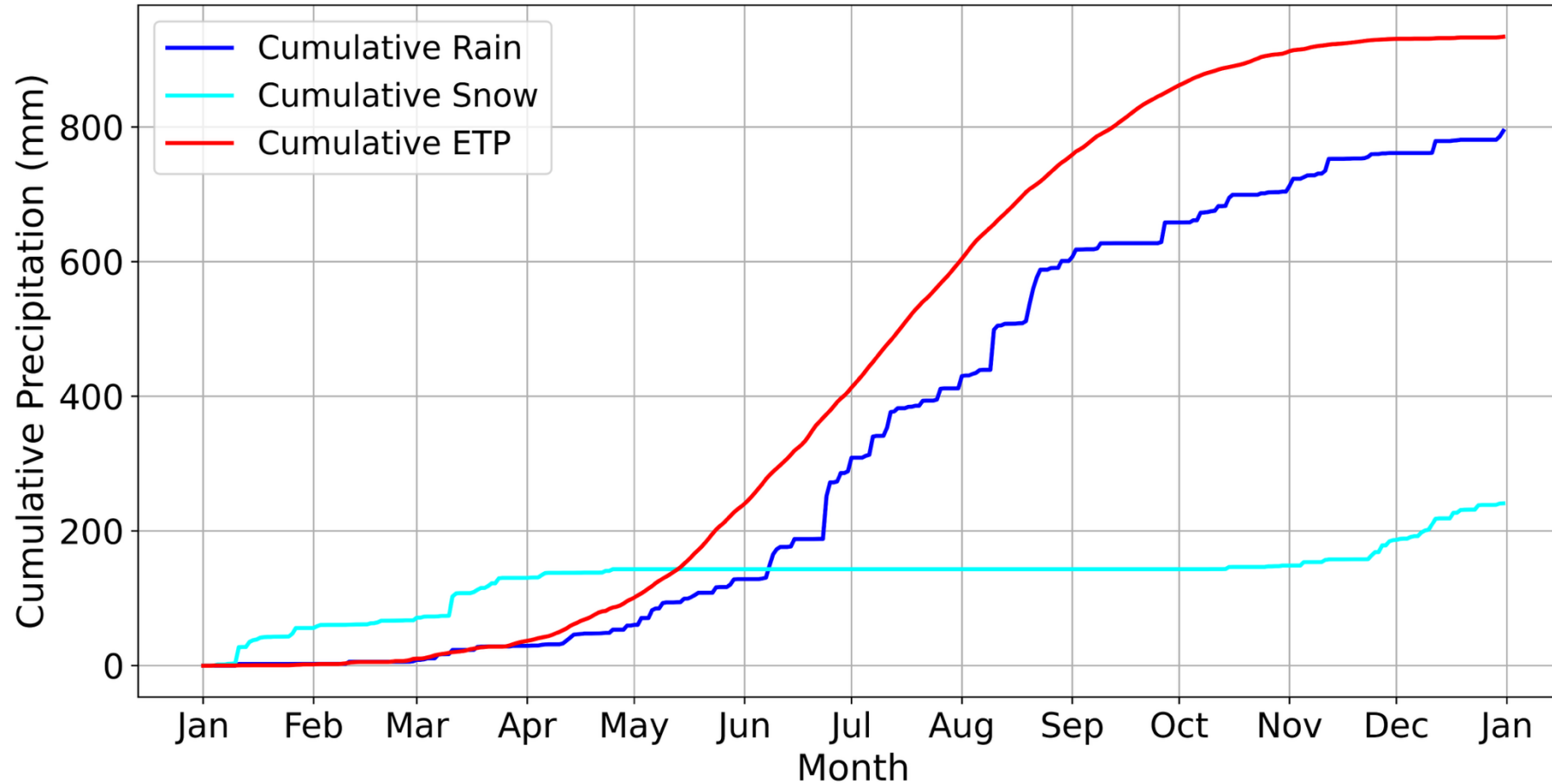
*Environnement,
Lutte contre
les changements
climatiques,
Faune et Parcs*





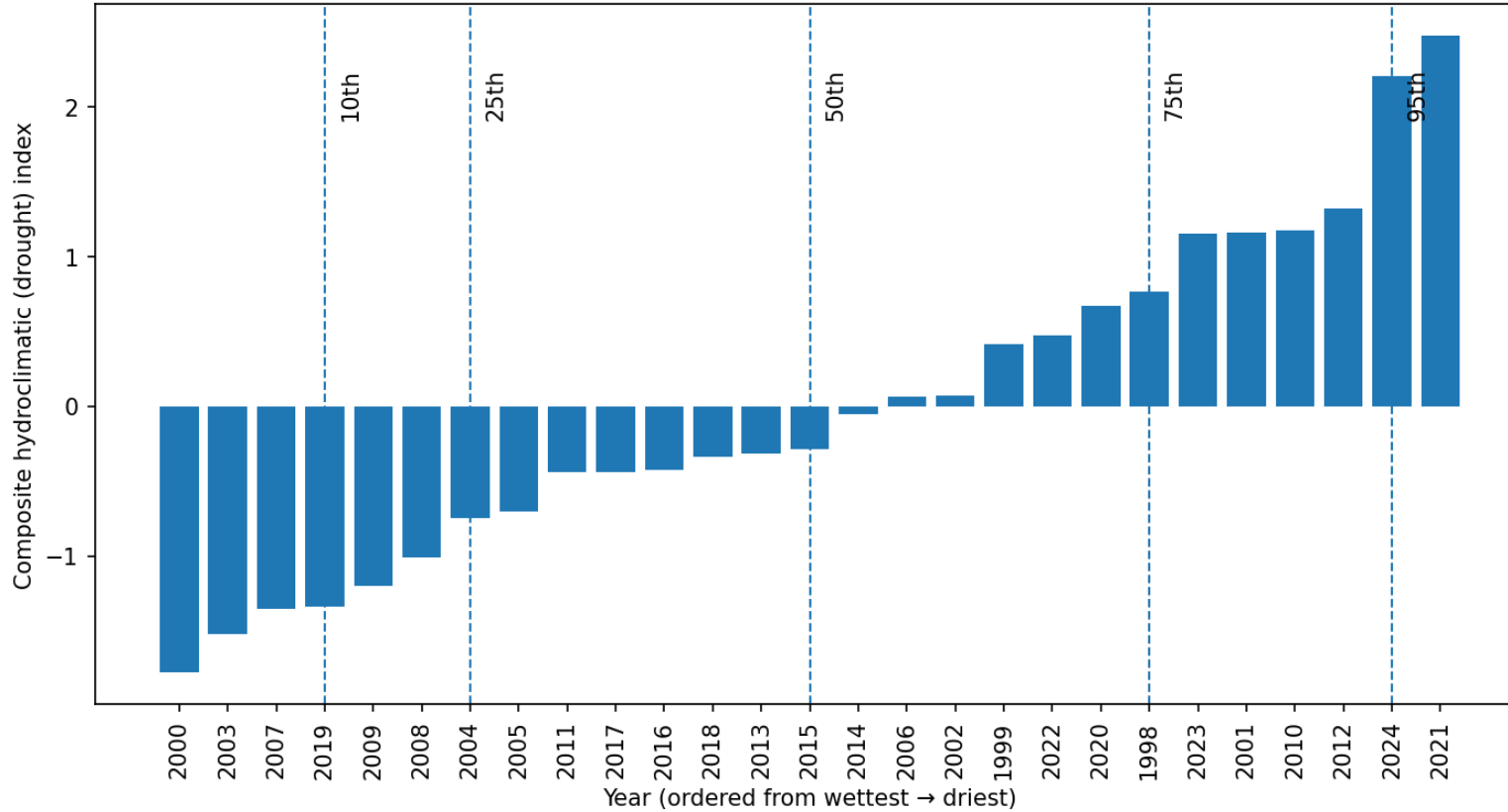
Bécancour basin

Cumulative Rain and Snow - 2024

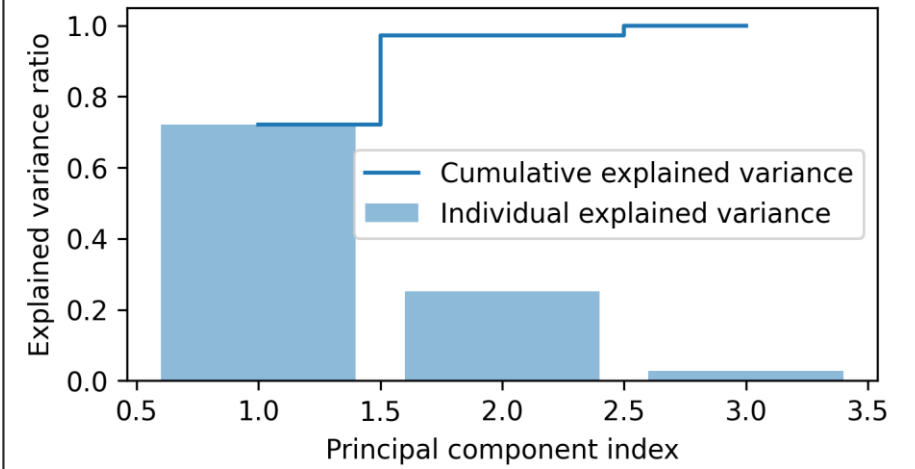


Hydro-climatic classification-updated model for the years 2022 to 2024

Wet-to-dry ranking of years with percentile thresholds



Scree Plot



$$\text{Drought Index} = (w_1 \times \text{PC1}) - (w_2 \times \text{PC2})$$

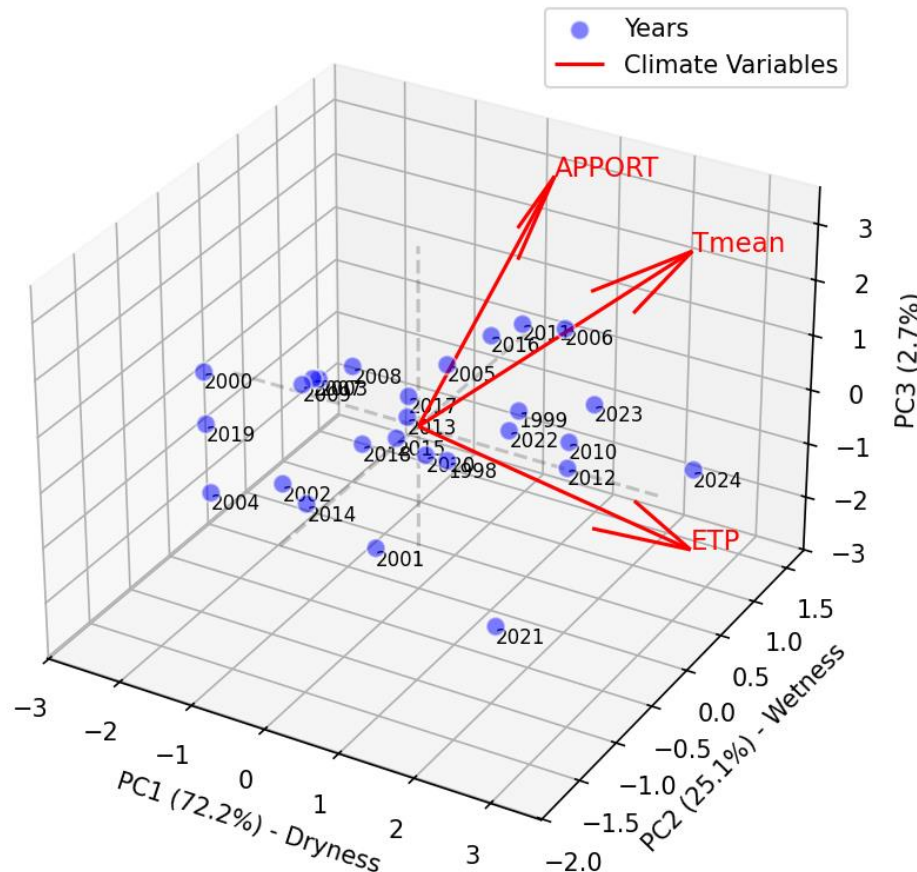
Simulation year: 2024 – PCA ranking

$$\text{Drought Index} = (w_1 \times \text{PC1}) - (w_2 \times \text{PC2})$$

2021: dry **and** very low moisture (both reinforce drought)

2024: very high dryness, but **some moisture (precipitation)** reduces overall drought severity

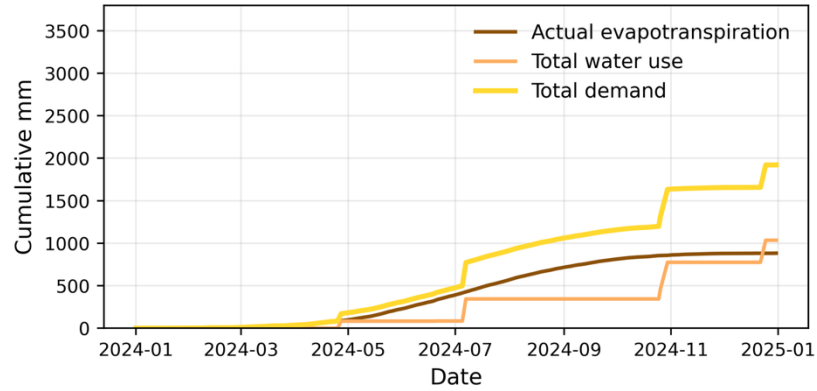
3D PCA Biplot: Years vs. Climate Drivers



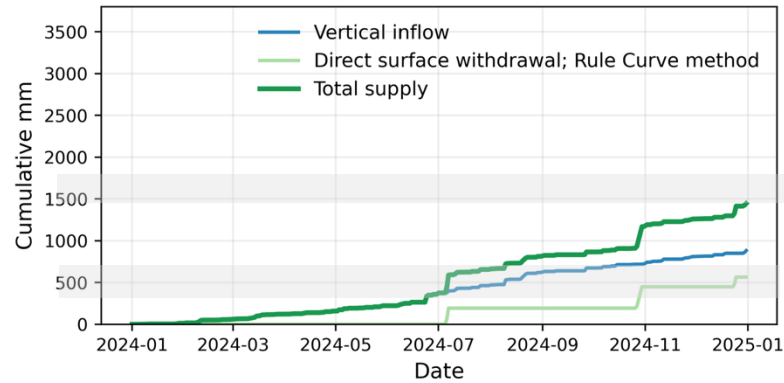
| Year | Drought_Index | Rank_Wet_to_Dry | PC1_Thermal | PC2_Moisture |
|------|---------------|-----------------|-------------|--------------|
| 2000 | -1,780447122 | 1 | -2,59476906 | -0,369067382 |
| 2003 | -1,518745994 | 2 | -1,92807707 | 0,505065762 |
| 2007 | -1,352157685 | 3 | -1,77355878 | 0,28594939 |
| 2019 | -1,337793605 | 4 | -2,12133519 | -0,770671678 |
| 2009 | -1,202964055 | 5 | -1,65413484 | 0,035225361 |
| 2008 | -1,012762533 | 6 | -1,2805582 | 0,351636682 |
| 2004 | -0,747652565 | 7 | -1,48305293 | -1,285667479 |
| 2005 | -0,703816214 | 8 | -0,62513126 | 1,00531816 |
| 2011 | -0,442674551 | 9 | -0,08253344 | 1,525056916 |
| 2017 | -0,440970133 | 10 | -0,49076642 | 0,345092674 |
| 2016 | -0,4279711 | 11 | -0,18183902 | 1,181139814 |
| 2018 | -0,337391737 | 12 | -0,54429645 | -0,221076656 |
| 2013 | -0,318372882 | 13 | -0,36882343 | 0,207485294 |
| 2015 | -0,286825116 | 14 | -0,37415826 | 0,066565678 |
| 2014 | -0,055231047 | 15 | -0,43903198 | -1,041820184 |
| 2006 | 0,067617465 | 16 | 0,594933685 | 1,440541161 |
| 2002 | 0,068279349 | 17 | -0,38632618 | -1,382036397 |
| 1999 | 0,417988039 | 18 | 0,784505112 | 0,590542336 |
| 2022 | 0,475319345 | 19 | 0,809149872 | 0,433136432 |
| 2020 | 0,674589403 | 20 | 0,722688634 | -0,608609083 |
| 1998 | 0,768414869 | 21 | 0,893116657 | -0,492342789 |
| 2023 | 1,155743129 | 22 | 1,807002453 | 0,592066898 |
| 2001 | 1,161476363 | 23 | 1,060440156 | -1,576225777 |
| 2010 | 1,174305915 | 24 | 1,735929591 | 0,313921322 |
| 2012 | 1,318966806 | 25 | 1,878071062 | 0,146527238 |
| 2024 | 2,206692095 | 26 | 3,228495118 | 0,493431186 |
| 2021 | 2,476383561 | 27 | 2,814060155 | -1,771184879 |

Supply - Demand - Recirculation – Farm 11; 2024

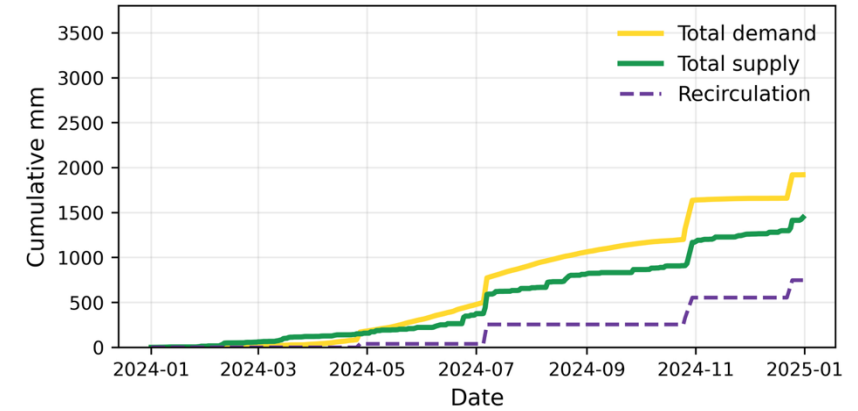
Farm 11 - Supply-Demand (Demand Components)



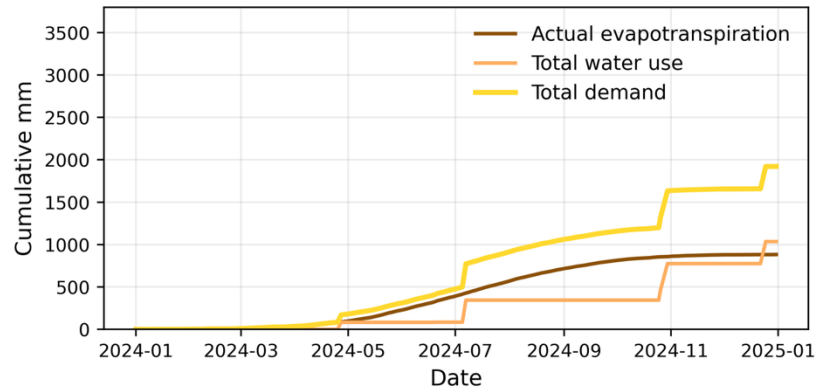
Farm 11 - Supply-Demand (Supply Components)



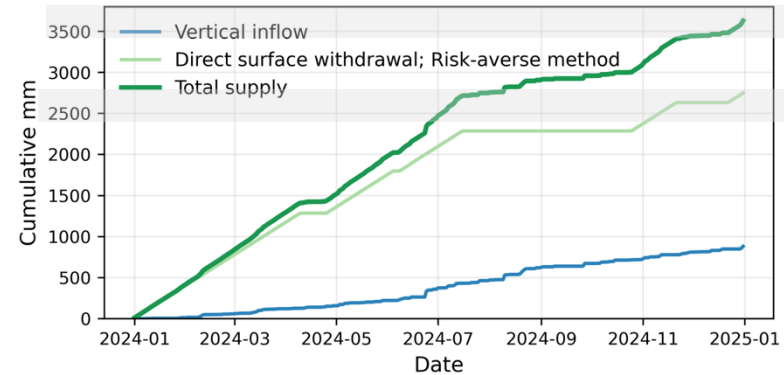
Farm 11 - Supply-Demand (Total + Recirculation)



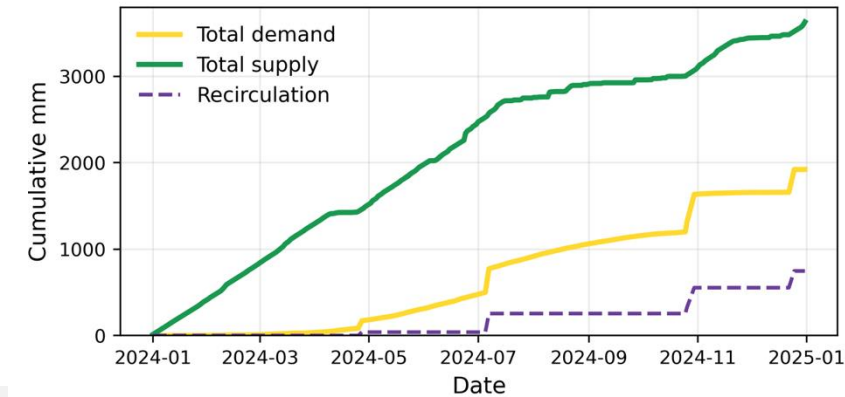
Farm 11 - Supply-Demand (Demand Components)



Farm 11 - Supply-Demand (Supply Components)



Farm 11 - Supply-Demand (Total + Recirculation)



Withdrawal increased by about 3.67 times.

$$\tau_{WU} = 1 - \frac{q_{eff} \times c}{b_{year}}$$

The Denom is given by

1.49

Where:

K_s : field hydraulic conductivity [$m\ day^{-1}$], the equivalent K_s for fields is calculated based on the proportion of soil types in each farm, as provided in the government database.; Δh : vertical hydraulic head difference between the field water level and the piezometric level [m]. The computation of Δh assumes that the field water level is maintained at a depth 0.6 m below the soil surface (Z_{WC}), representing the standard operational condition in cranberry farms. E : thickness of the confining soil layer [m]; N_p : local piezometric level [m]; N_s : ground surface elevation of the farm [m]; $Z_{bottom,field} = 1.0$ [m], representing the typical elevation of field bottom below the soil surface.