

## NOTE COMPLEMENTAIRE AU CAS PAR CAS

La présente note répond à la demande de la DREAL, dans le cadre de l'instruction de la demande d'examen au cas par cas pour l'extension du réseau neige de culture sur la piste Family Run à LA CLUSAZ, au sujet de la ressource en eau utilisée pour l'enneigement de cette piste, des terrassements et du réseau neige existant.

### 1) Terrassements

Il n'est pas prévu de travaux de terrassements de piste. Seule la tranchée sera en déblai déposé en cordon le long de la tranchée qui sera ensuite remblayée. La largeur de décapage pour réalisation de la tranchée sera de 10m (cf schéma de principe note cas par cas p5/26). Cela représente une surface de 5 800m<sup>2</sup> identifiés sur le plan ci-dessous.

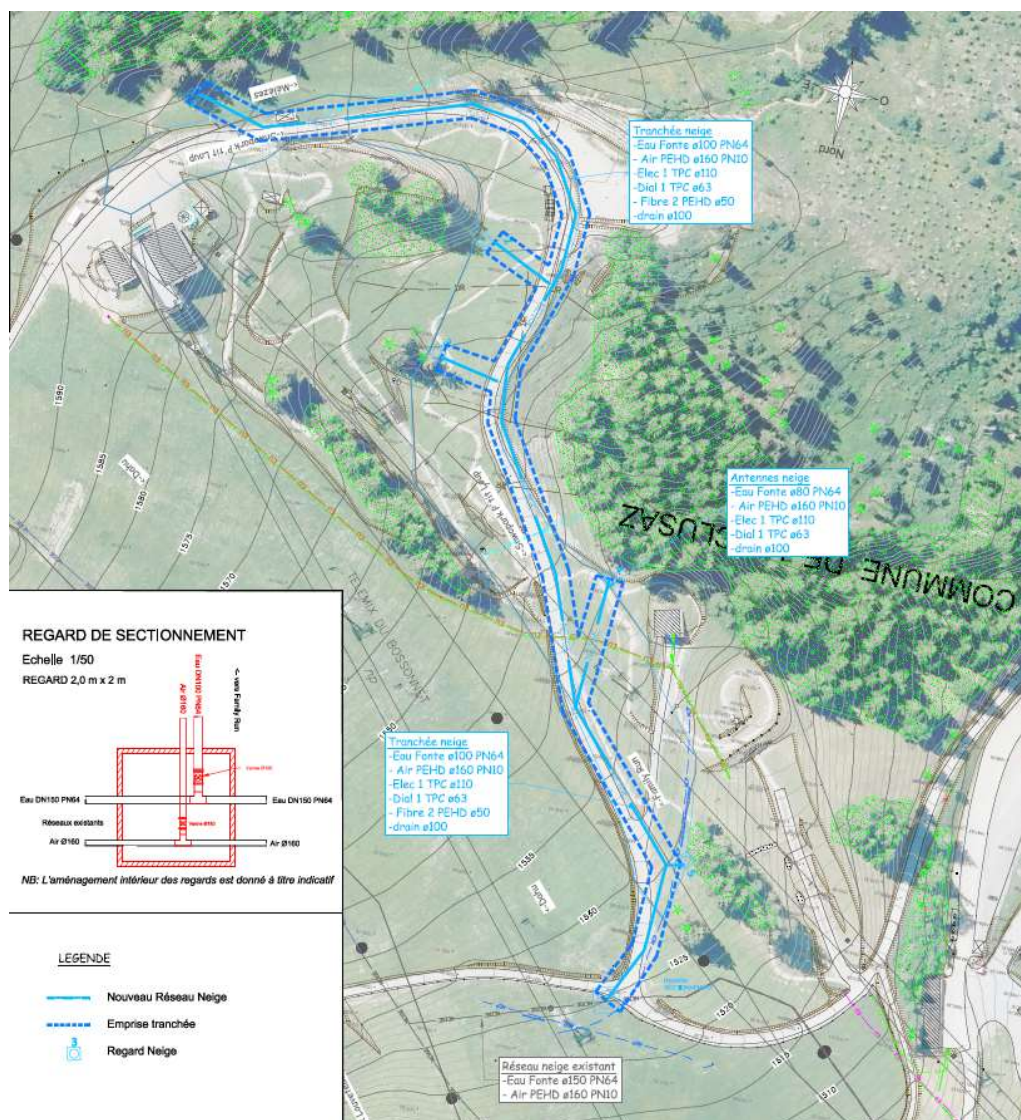


Fig 1 : Emprise terrassement réseau neige

## 2) Réseau Neige existant

Le Projet de réseau neige vient se raccorder sur le réseau existant se trouvant entre la salle des machines du Merle et le sommet du Crêt du Loup. Ce réseau empreinte le sommet de la piste du Merle, la piste du Louveteau et la piste du Dahut.

Le réseau a été construit en 2002 sur la partie basse puis étendu en 2006 sur la partie haute.

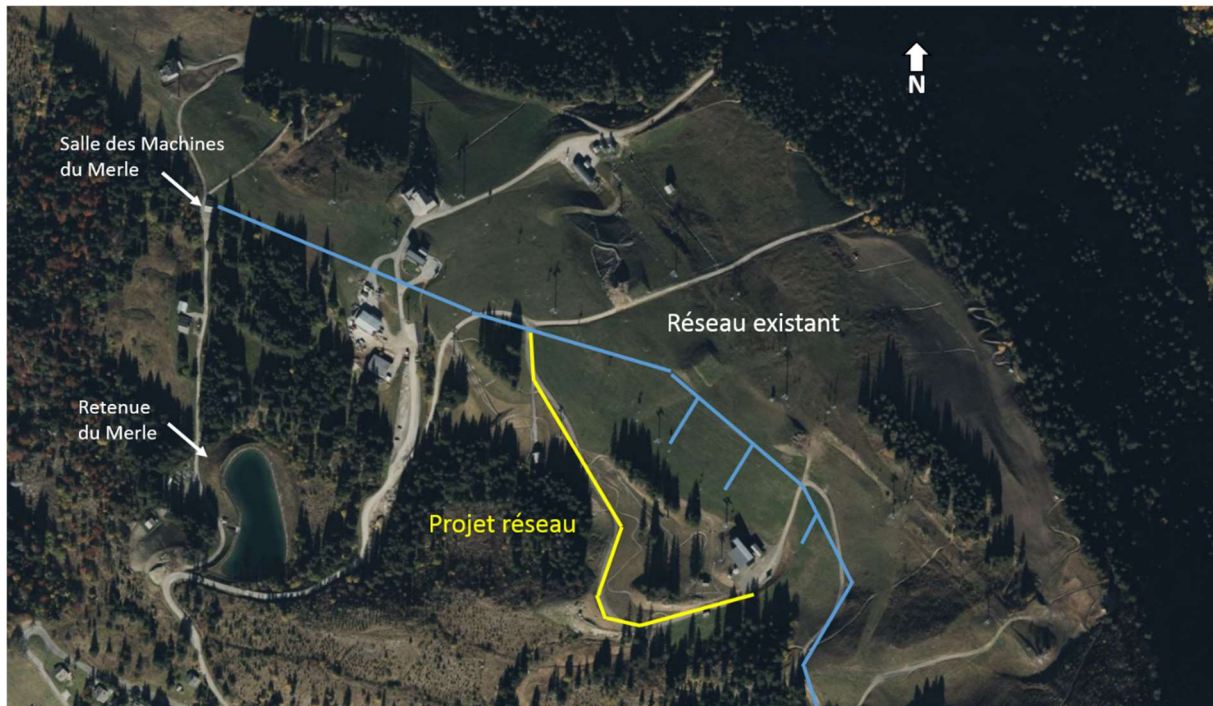


Fig 2 : Cartographie réseau existant

### Surface d'enneigement de pistes :

Piste Merle haut : 1,53 ha

Piste Louveteau : 5,51 ha

Piste Dahut : 2,21 ha

**Surface TOTALE= 9,25 ha**

Le projet d'extension du réseau neige existant sur la piste du Family Run permettra d'enneiger une surface de 1,3 ha.

## 3) Bilan des consommations d'eau

Concernant le bilan besoins/ressources pour la neige de culture sur l'ensemble du domaine skiable de La Clusaz, le volume maximal de prélèvement annuel autorisé sur les sources de la Patton et de Gognière est de 405 000 m³. La capacité de stockage de l'ensemble des retenues collinaires est de 271 000 m³.

Le volume de consommation moyen lors des 15 dernières saisons hivernales est de 248 298m<sup>3</sup>.

Le détail de la consommation d'eau pour la neige de culture lors des 15 derniers hivers est présenté dans le tableau ci-dessous :

Hiver	Volume d'eau consommé pour la neige de culture
2008-2009	214 156 m <sup>3</sup>
2009-2010	236 436 m <sup>3</sup>
2010-2011	331 833 m <sup>3</sup>
2011-2012	173 654 m <sup>3</sup>
2012-2013	198 302 m <sup>3</sup>
2013-2014	194 049 m <sup>3</sup>
2014-2015	241 286 m <sup>3</sup>
2015-2016	244 762 m <sup>3</sup>
2016-2017	271 695 m <sup>3</sup>
2017-2018	258 173 m <sup>3</sup>
2018-2019	279 450 m <sup>3</sup>
2019-2020	269 676 m <sup>3</sup>
2020-2021	249 784 m <sup>3</sup>
2021-2022	300 340 m <sup>3</sup>
2022-2023	330 000 m <sup>3</sup>
<b>Moyenne</b>	<b>248 298 m<sup>3</sup></b>

Comme il est indiqué dans la note du cas par cas, la surface à enneiger sur l'extension de la piste du Family Run est de 1,3 ha. Le besoin en eau pour l'enneigement de cette piste est de 5 735 m<sup>3</sup>.

Le besoin en eau pour l'enneigement de l'ensemble du domaine skiable avec l'ajout de cette nouvelle extension, reste dans les volumes de prélèvements autorisés.

Le besoin en eau pour la neige sur l'ensemble du domaine skiable plus le projet du Family Run est de l'ordre de 340 000 m<sup>3</sup> correspondant approximativement au volume de consommation annuel maximum auquel est additionné le besoin supplémentaire pour la piste Family Run plus une marge de sécurité.

### 3) Disponibilité de la ressource en eau

Une demande complémentaire a été effectuée afin de réaliser une analyse de la disponibilité de la ressource en eau dans un contexte de changement climatique sur la durée d'exploitation du projet.

Dans un premier temps, les principes de gestion de l'eau pour la neige sont présentés ci-dessous. Ces informations proviennent du dossier de demande d'autorisation d'aménagement de la retenue de la Colombière :

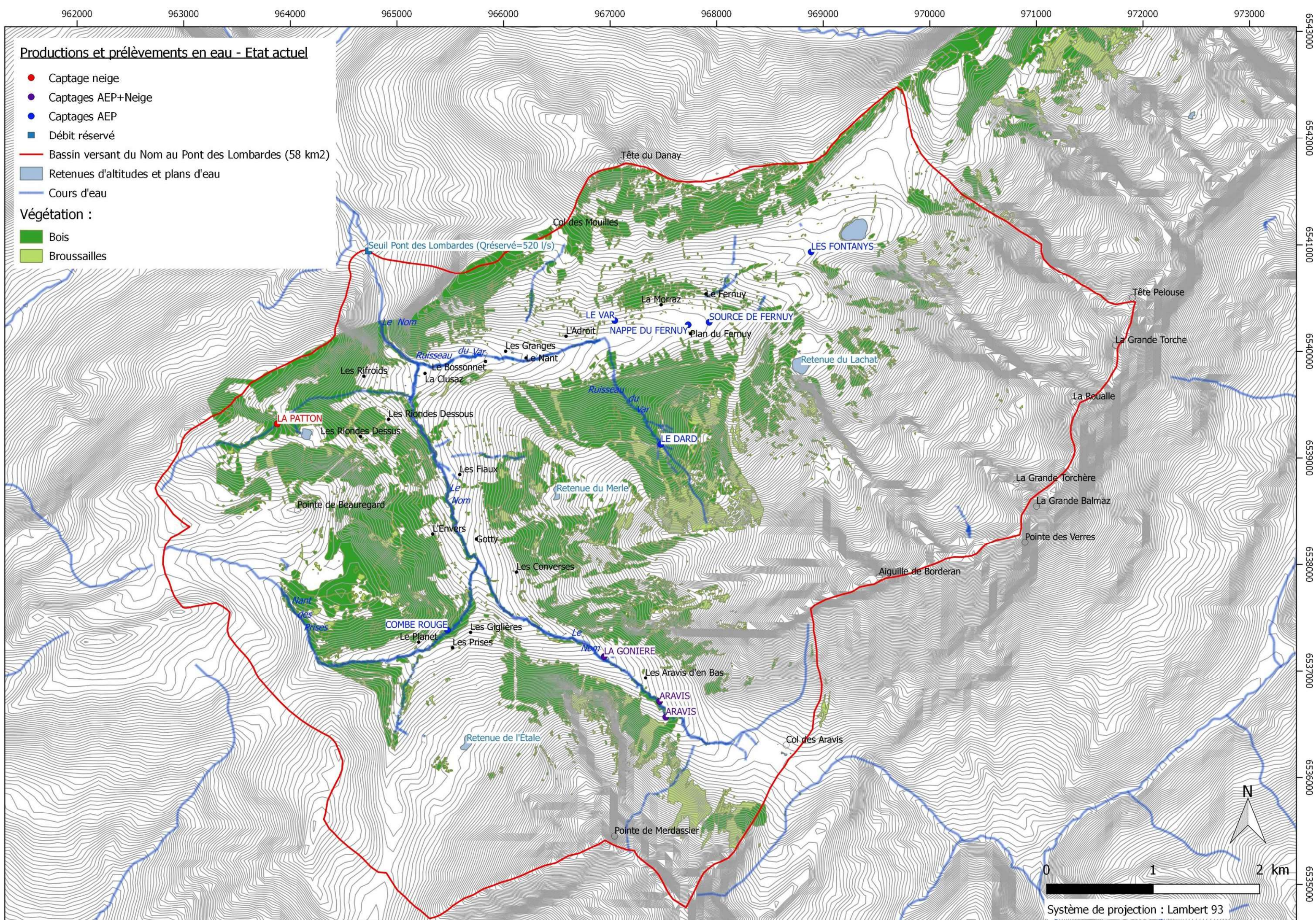
Les 4 retenues existantes du domaine skiable de La Clusaz ont un volume de rétention total de 271 000 m<sup>3</sup>. Elles sont interconnectées, l'organisation du réseau d'adduction permet ainsi d'optimiser le remplissage de chacune d'elle en fonction de la disponibilité de la ressource en eau.

Dénomination	Volume
Retenue de l'Etale	55 000 m <sup>3</sup>
Retenue du Merle	27 000 m <sup>3</sup>
Retenue du Lachat	145 000 m <sup>3</sup>
Retenue de la Fériaz	44 000 m <sup>3</sup>
<b>Total</b>	<b>271 000 m<sup>3</sup></b>

Les conditions d'alimentation de ces retenues, réglementées par l'arrêté n°2012284-0006, sont les suivantes :

- Une prise d'eau sur le ruisseau de la Patton, au niveau des Corbassières, avec autorisation de prélèvement lorsque le débit du ruisseau est supérieur à 40 l/s ; débit prélevable autorisé 30 l/s (108 m<sup>3</sup>/h) ;
- Une prise d'eau par pompage sur le ruisseau des Prises (non utilisé à ce jour), avec autorisation de prélèvement lorsque le débit du ruisseau est supérieur à 40 l/s ; débit autorisé 2\*20 l/s (2\*72 m<sup>3</sup>/h, 144 m<sup>3</sup>/h) ;
- Un pompage sur le trop plein du captage des sources de la Gonière et des Aravis ; débit autorisé 140 m<sup>3</sup>/h ;
- Le volume maximal annuel autorisé est de 405 000 m<sup>3</sup> ;
- Les prélèvements pourront être effectués toute l'année sous réserve de maintenir un débit minimum, résiduel du Nom, au lieu-dit les Lombardes, supérieur à 425 l/s. Pour être sûr d'avoir un débit suffisant aux Lombardes, c'est-à-dire 425 l/s, tout prélèvement d'eau, que cela soit grâce aux prises d'eau de la Patton ou des Prises, ou grâce au réseau d'eau potable, ne pourra se faire que si le débit du Nom avant prélèvement est de 520 l/s au pont des Lombardes ;
- L'alimentation en eau potable est prioritaire en tout temps.







Sur la base d'un besoin de 340 000m<sup>3</sup>, on considère qu'environ 270 000 m<sup>3</sup> provient du volume stocké dans les retenues en avant saison et environ 70 000 m<sup>3</sup> provient des prélèvements en cours de saison.

Pour étudier la ressource disponible par rapport au besoin, une analyse au pas de temps journalier puis moyennée aux pas de temps hebdomadaire et mensuel est effectuée.

Les données utilisées sont celles de l'année 2015 définie comme une année moyenne légèrement déficitaire.

Cette analyse se base sur les données et hypothèse suivantes :

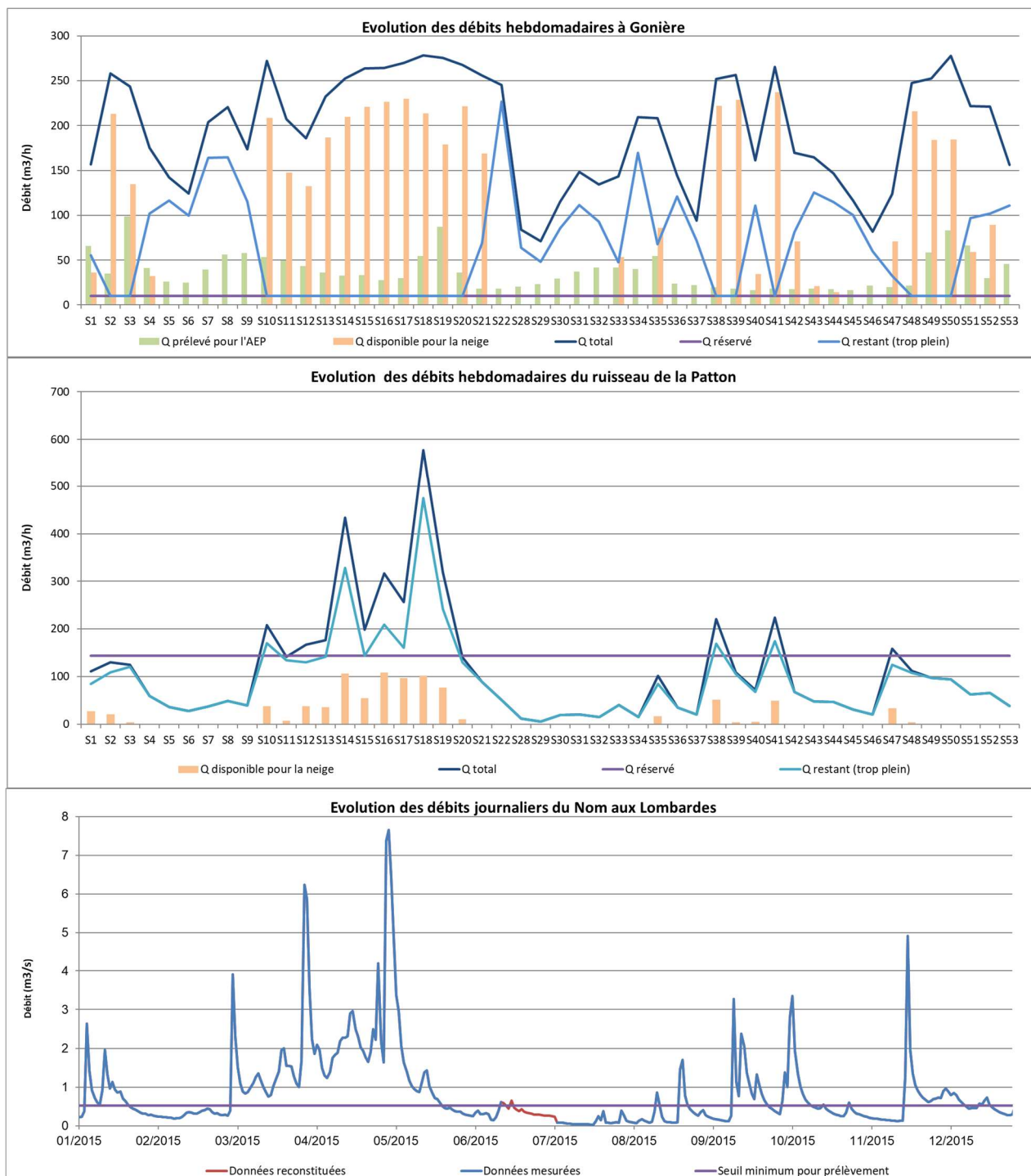
- Le débit du Nom. Mesures effectuées au Pont des Lombardes depuis le 24/09/2009, tous les quarts d'heure, jusqu'à ce jour. Les données manquantes dans cette chronique, suite à des dysfonctionnements matériels sont reconstituées par transposition avec les débits du Borne.
- Le débit de la source de la Gonière et de la source des Aravis. Volumes journaliers enregistrés par le système de télégestion du service des Eaux de la Clusaz, entre 2010 et 2017 ;
- Les volumes journaliers mis en distribution pour l'alimentation en eau potable. Volumes enregistrés par le système de télégestion du service des Eaux de la Clusaz, entre 2010 et 2017 ;
- Les volumes journaliers mis en distribution pour l'alimentation en eau potable à partir du captage de la Gonière – sources des Aravis. Volumes enregistrés par le système de télégestion du service des Eaux de la Clusaz, entre 2010 et 2017 ;
- Les volumes journaliers prélevés à partir du captage de la Gonière – sources des Aravis pour l'alimentation en eau des retenues. Total des volumes horaires enregistrés par le système de télégestion du service des Eaux de la Clusaz, entre 2010 et 2017 ;
- Le volume total prélevé à Patton correspond à la moyenne des volumes annuels mesurés et déclarés à la DDT74, depuis 2011 soit 124 000m<sup>3</sup>, sur la base du comptage existant à l'amont de la retenue de la Fériaz (Beauregard).

Volumes prélevés à Patton (m3)	
2011	81 907
2012	131 615
2013	111 470
2014	141 307
2015	91 080
2016	87 259
2017	102 917
2018	145 380
2019	180 489
moyenne	123 940

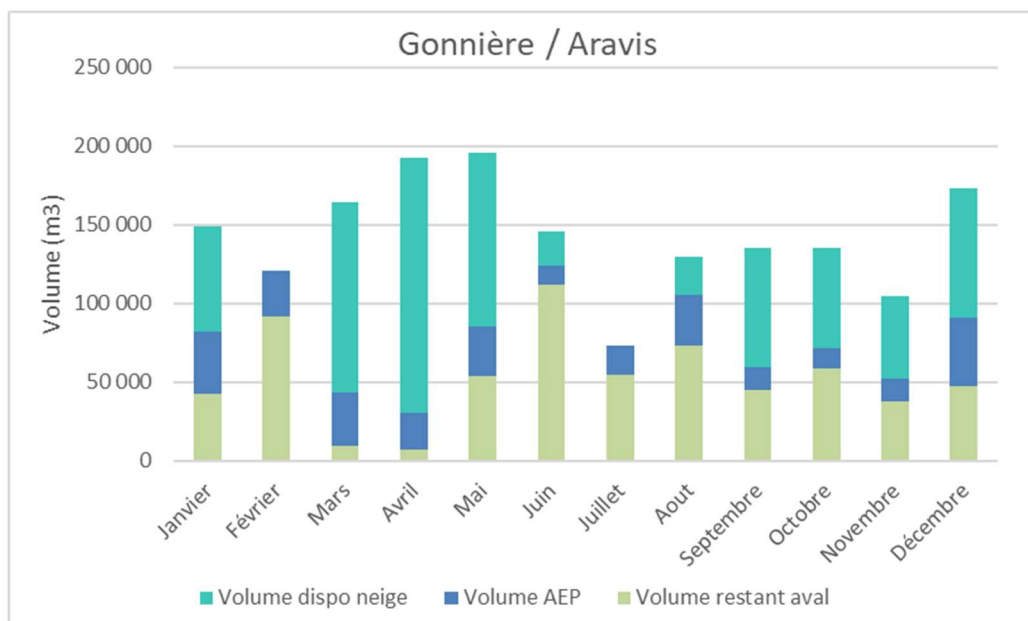
Les débits à Patton sont estimés par transposition depuis les débits du Nom (via le rapport de superficie des bassins versant) puis ajustés afin de permettre d'approcher un prélèvement total de 124 000 m<sup>3</sup> tout en respectant les contraintes de prélèvement (Q<sub>prél max</sub> = 108m<sup>3</sup>/h, Q<sub>réserve</sub>=144m<sup>3</sup>/h, Q<sub>Nom</sub> > 520l/s). Pour cela, un coefficient de 1,9 a été appliqué aux données de Patton transposées. Cela aboutit à un module spécifique de 38 l/s/km<sup>2</sup> en 2015 ce qui reste une valeur cohérente pour un torrent de montagne. Une grande incertitude demeure néanmoins sur les débits de Patton qui sont donnés à titre indicatif.

- Respect des conditions d'alimentations réglementaires présentées précédemment.

Les graphiques suivants présentent la disponibilité de la ressource pour les captages de la Gonière et de Patton pour l'année 2015.

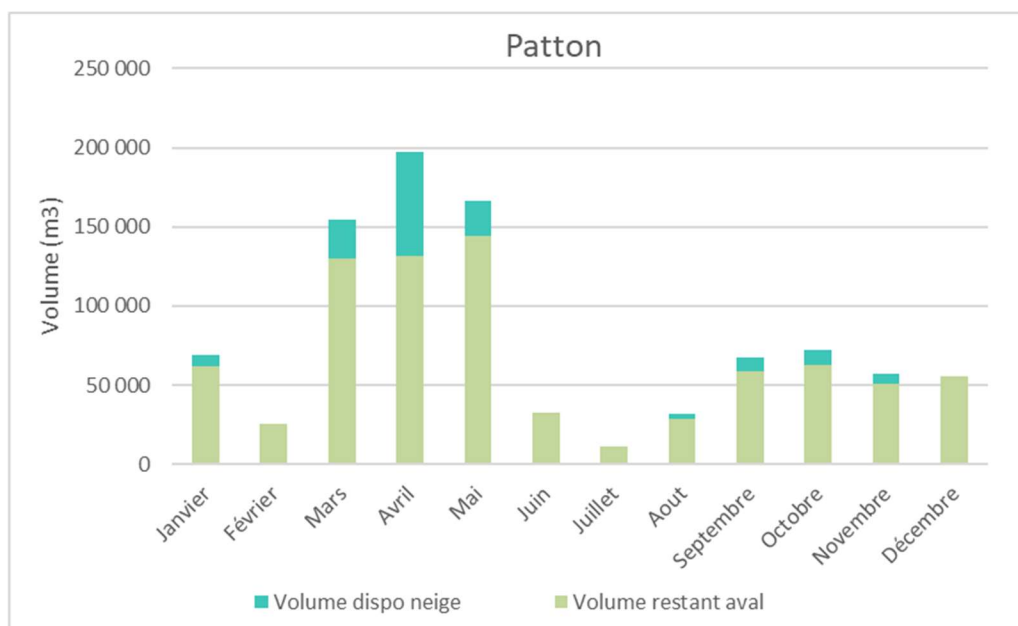






	Volume total Gonniere	Volume AEP	Volume dispo pour la neige	Volume restant à l'aval de Gonnière
Janvier	149 434	39 429	67 171	42 834
Février	120 719	29 200	0	91 519
Mars	164 751	33 669	121 539	9 543
Avril	192 631	23 192	162 239	7 200
Mai	195 755	31 941	110 120	53 694
Juin	145 912	11 904	21 731	112 277
Juillet	73 458	18 912	0	54 546
Aout	129 334	32 330	23 477	73 527
Septembre	135 350	14 591	75 750	45 009
Octobre	135 185	13 174	63 412	58 599
Novembre	104 545	14 375	52 381	37 789
Décembre	173 516	43 743	82 668	47 105

Volumes mensuels (m³) à Gonière/Aravis



	Volume total Patton	Volume dispo pour la neige	Volume restant à l'aval de Patton
Janvier	68 636	6 680	61 956
Février	25 258	0	25 258
Mars	154 700	24 976	129 724
Avril	196 965	65 487	131 478
Mai	166 207	22 346	143 861
Juin	32 991	0	32 991
Juillet	11 466	0	11 466
Aout	31 504	2 753	28 752
Septembre	67 825	9 204	58 621
Octobre	71 944	9 048	62 896
Novembre	56 795	6 276	50 519
Décembre	55 344	0	55 344

#### Volumes mensuels (m³) à Patton

D'après ces résultats les volumes disponibles pour une année moyenne sont bien suffisants pour le remplissage des retenues de 271 000 m³ au printemps (avril-juin) avec un total de l'ordre de 290 000m³ à Gonière et environ 88 000 m³ à Patton. Le besoin hivernal de 70 000 m³ est également disponible en décembre et janvier avec environ 90 000 m³ à Gonière et 7000 m³ à Patton.

Notons que la ressource mesurée issue de la source de Gonière est écrêtée ce qui veut dire que la ressource à Gonière est potentiellement plus importante pendant la fonte. Il est possible de connaître les périodes où le débit maximum de prélèvement est dépassé mais pas les valeurs de surplus. L'écrêtage n'est donc pas quantifiable à ce stade. Cet écrêtage est visible sur le graphique des débits hebdomadaires à Gonière lors des semaines 15 à 23 où la courbe a une allure de « dôme » et demeure en dessous d'un seuil de l'ordre de 275m³/h (en débit journalier le maximum en 2015 est de 300m³/h)



Les éléments suivants ont pour but d'évaluer l'évolution future des ressources hydrologiques sur la base des prévisions climatologiques et hydroclimatiques. Le secteur étudié est le territoire de La Clusaz.

Le cours d'eau principal à analyser est le ruisseau du Nom dont le débit conditionne les prélèvements.

## **1. Méthodologie**

### *1.1. Objectif de l'analyse*

Les prélèvements d'eau destinée à la production de la neige de culture sur le domaine skiable de La Clusaz sont conditionnés par le débit du ruisseau du Nom ainsi que les débits du trop-plein du captage des sources de la Gonière.

Un outil EXCEL de simulation des prélèvements permet d'évaluer les impacts des prélèvements selon les disponibilités des ressources.

L'objectif de la présente analyse est de déterminer les évolutions des débits de ces ressources mobilisées en fonction des prévisions climatiques. Pour cela, on cherchera à quantifier ces évolutions sous la forme d'un coefficient d'évolution climatique ( $C_{\text{climat}}$ ) de sorte à projeter les débits actuels (horizon climatique proche) vers un horizon moyen (H2 : 2041-2070) permettant de couvrir l'évolution sur une durée d'au moins 15 ans, durée généralement utilisée pour l'amortissement d'équipements de neige de culture (hors retenue collinaire).

L'objectif de cette analyse est donc de déterminer les coefficients climatiques ( $C_{\text{climat}}$ ) à appliquer à l'outil de simulation de prélèvements. Dans cet outil, les débits futurs (horizon moyen) seront calculés de la sorte :

$$Q_{\text{futur}} = C_{\text{climat}} \times Q_{\text{actuel}}$$

### *1.2. Principe de l'analyse*

Le principe de l'analyse est fondé sur un croisement entre les évolutions constatées des débits et les prévisions climatiques fournies par les sites DRIAS-Eau et DRIAS-Climat.

### *1.3. Analyse des évolutions actuelles*

Compte tenu des données disponibles sur les ressources du territoire de La Clusaz, on utilisera :

- les données du Borne (suivi à Saint-Jean de Sixt par une station hydrologique) et disponibles sur le site Hydroportail (1997-2019)
- les données du Ruisseau du Nom mesurées sur la période 2010-2019
- les données de précipitations enregistrées à la station Météo France du Grand Bornand

Cette analyse permettra d'identifier des tendances observées sur plus de 20 ans (1997-2019).

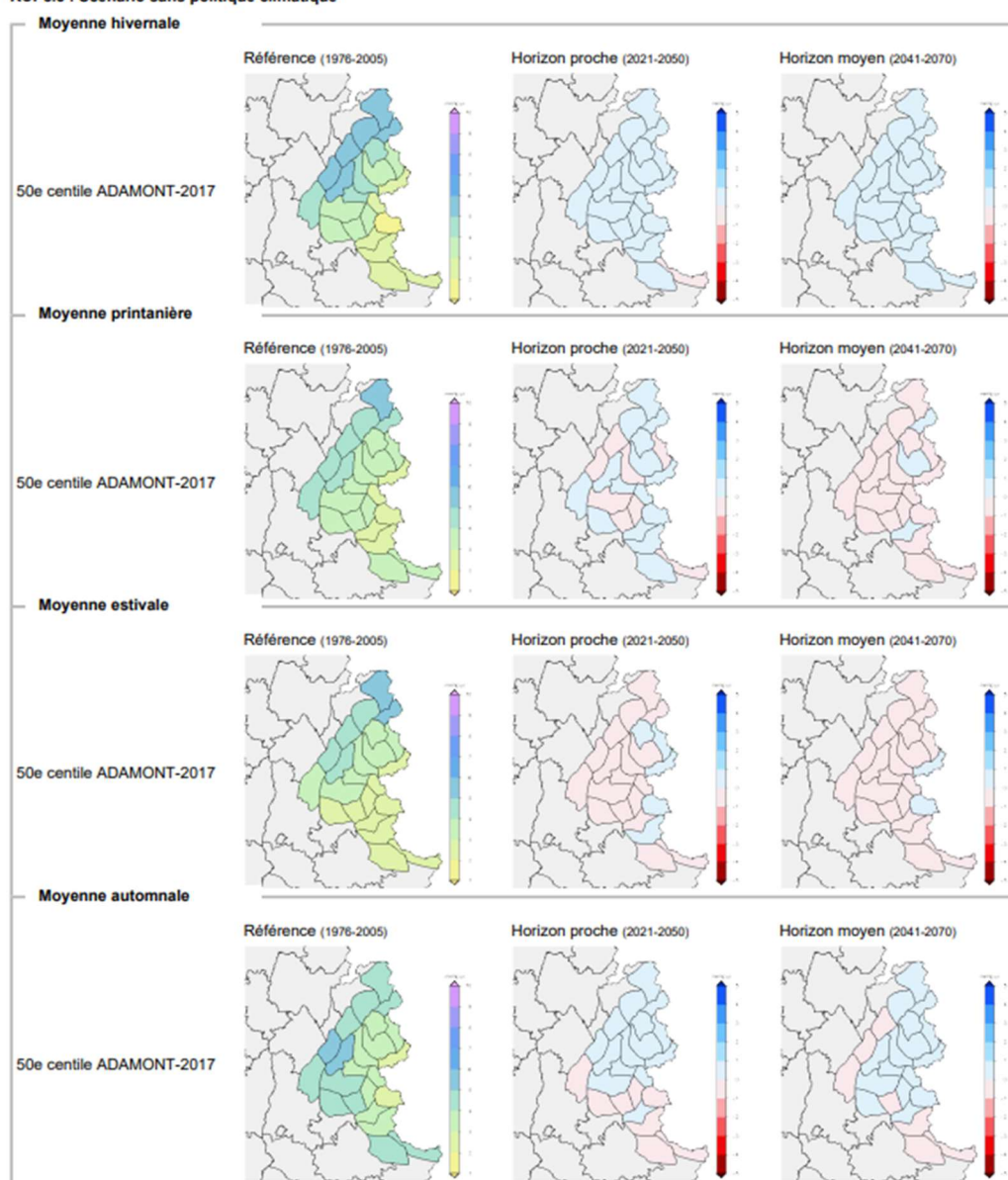
#### 1.4. Analyse des prévisions climatiques

L'ensemble de l'analyse climatique est basé sur des données disponibles sur les sites DRIAS provenant de modèles avec l'hypothèse d'un scénario sans politique climatique visant à réduire ou stabiliser les émissions de gaz à effet de serres RCP8.5, soit le scénario du GIEC le plus pessimiste parmi les 3 scénarios disponibles mais aussi le plus probable.

Les horizons climatiques analysés sont l'horizon proche (2021-2040) considéré comme le contexte climatique actuel et l'horizon moyen (2041-2070) considéré comme les perspectives futures potentiellement en place dès 2040.



Précipitations moyennes : valeur de référence et écart à cette valeur par horizon [mm] ,  
RCP8.5 : Scénario sans politique climatique



Exemple de visualisation des prévisions d'écarts à la référence  
des cumuls de précipitations médianes sur le site DRIAS-Climat

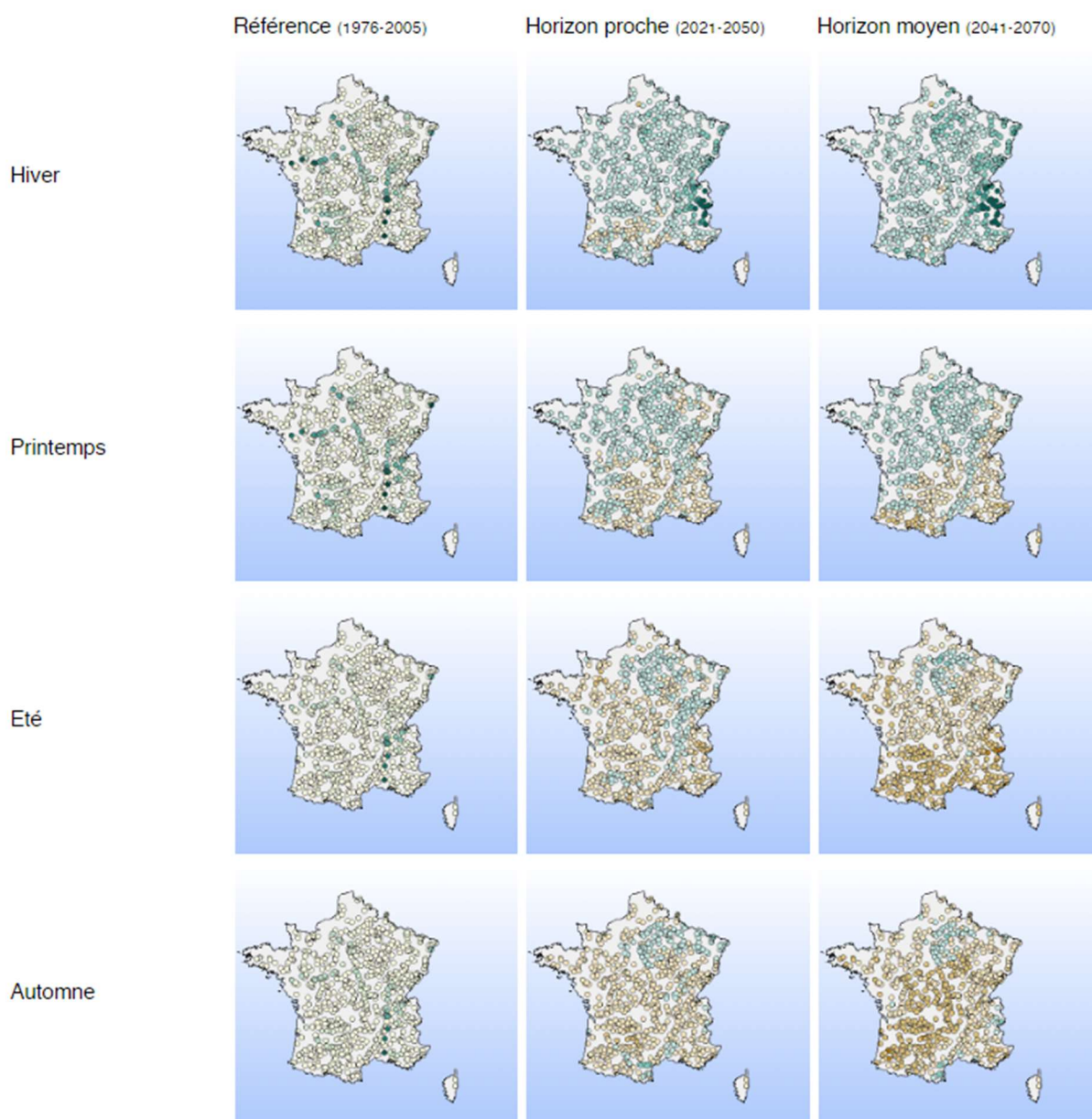


Les données issues du site DRIAS-Climat sont les suivantes :

- Précipitations
- Températures
- Enneigement
- Evapotranspiration potentielle (ETP)

Les données issues du site DRIAS-Eau concernent les évolutions de débits moyens et médians.

- Produit multi-modèles : 50e centile de l'ensemble SIM2 forcé par l'ensemble DRIAS-2020

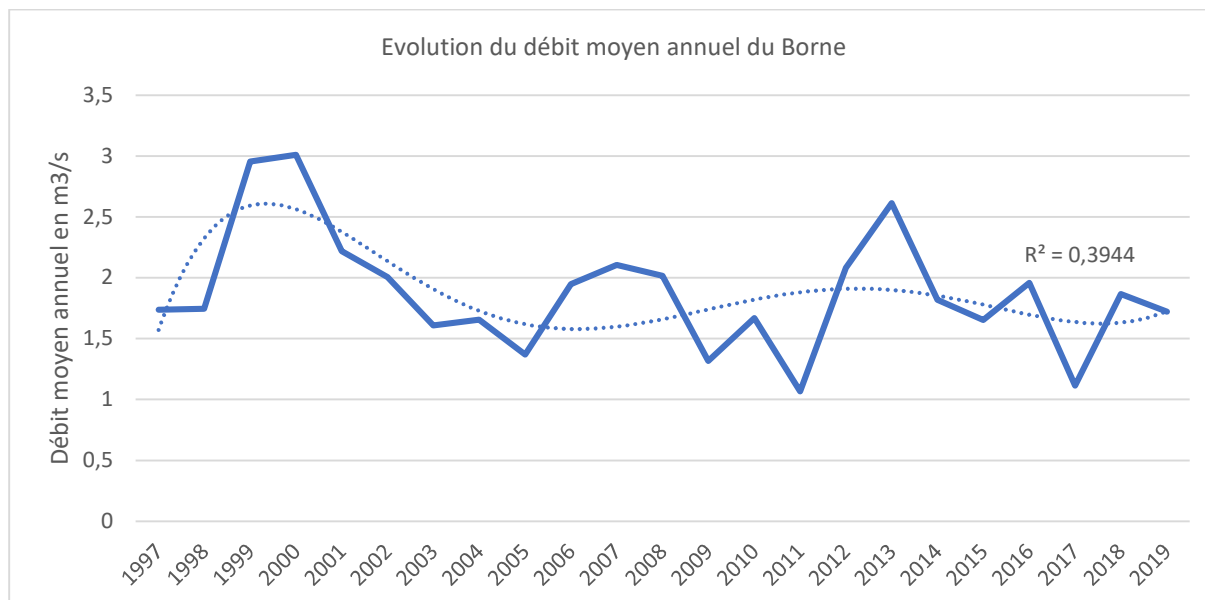


Exemple de visualisation des prévisions d'écarts à la référence  
des débits médians sur le site DRIAS-Eau

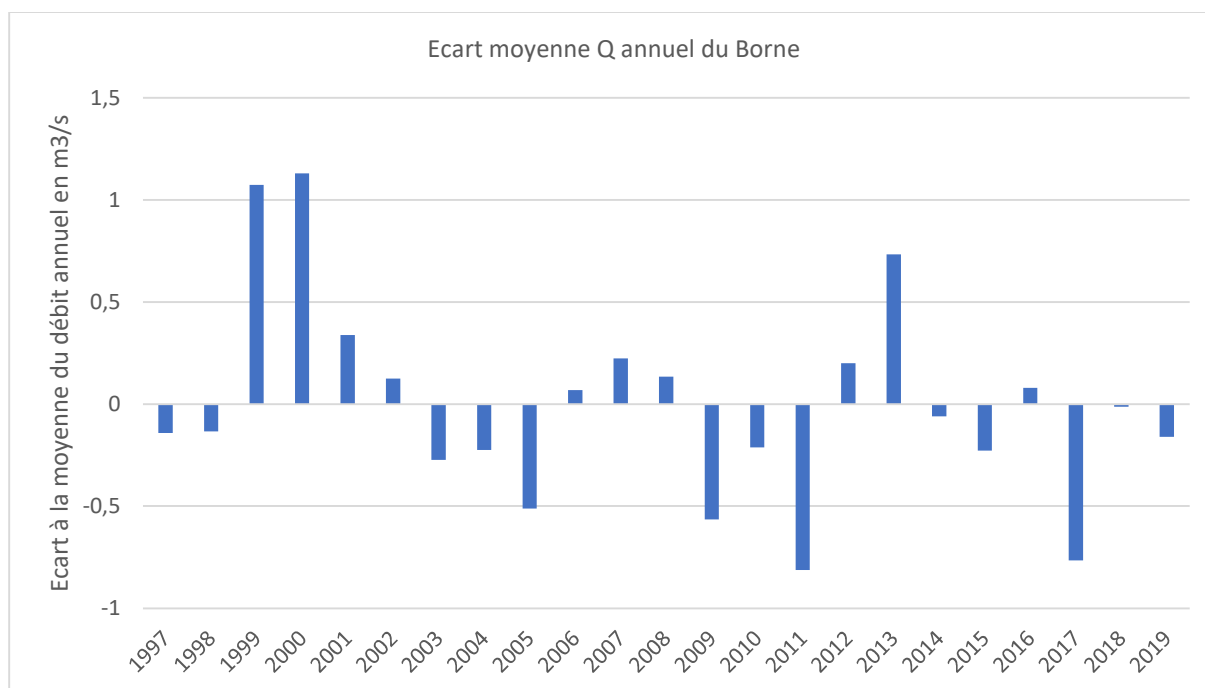
## 2. Analyse des évolutions passées

### 2.1. Tendance annuelle

Les données du Borne permettent d'observer l'évolution du débit moyen annuel sur la période 1997-2019.



La moyenne du débit annuel observée est de 1,88 m³/s.



Le graphe des écarts à la moyenne du débit annuel du Borne (ci-dessus) permet d'identifier des événements remarquables :

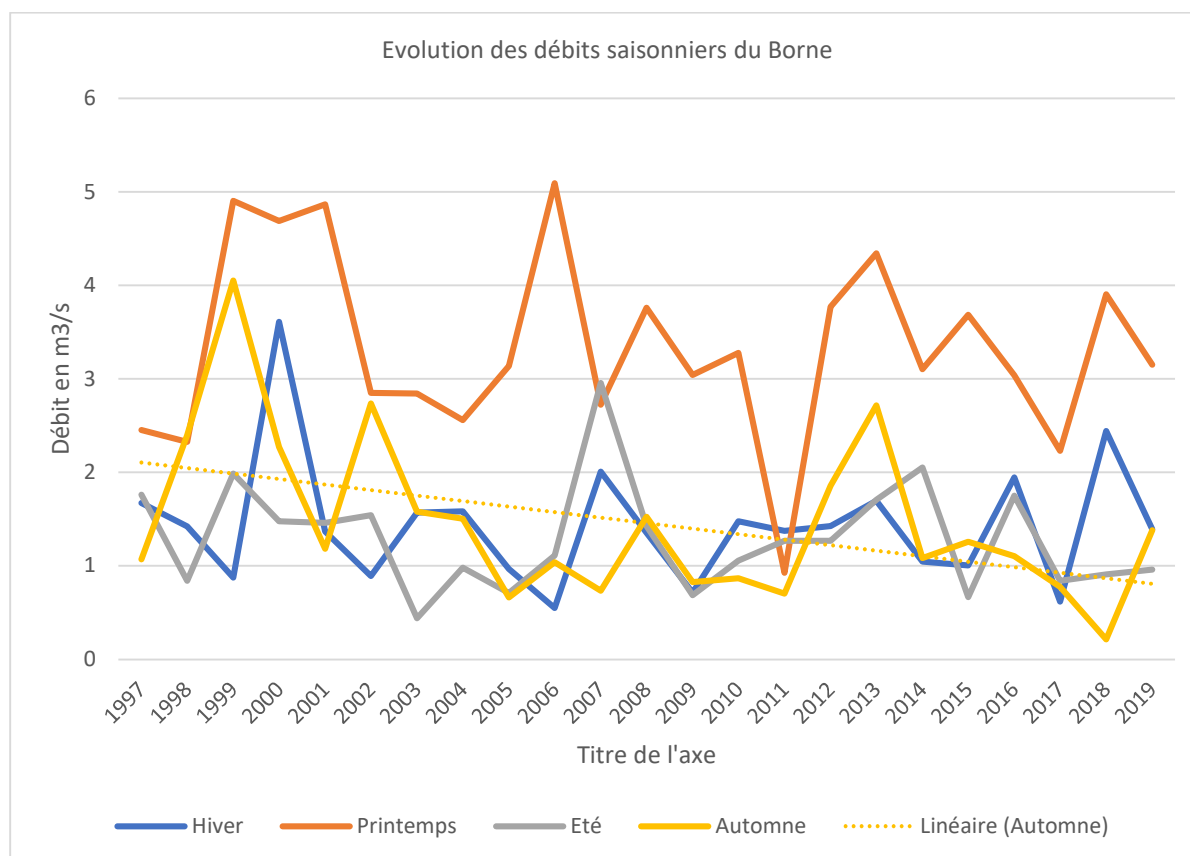


- 1999, 2000 et 2013 sont des années de forte production hydrologique avec des débits supérieurs de 40 à 60 % à la moyenne
- 2005, 2009, 2011 et 2017 sont des années de faible production hydrologique avec des débits inférieures de -25 à -40 % à la moyenne.

Depuis 2005, les débits moyens annuels semblent connaître des variations moins fortes autour d'une moyenne légèrement inférieure au débit de la période observée. Il est néanmoins difficile d'affirmer que le débit annuel baisse en partant d'une période 2005-2019 mais l'hypothèse d'une tendance à la baisse du débit annuel est à retenir pour la suite de l'analyse.

## 2.2. Tendances saisonnières

L'évolution des débits saisonniers du Borne est présentée sur le graphique ci-dessous :

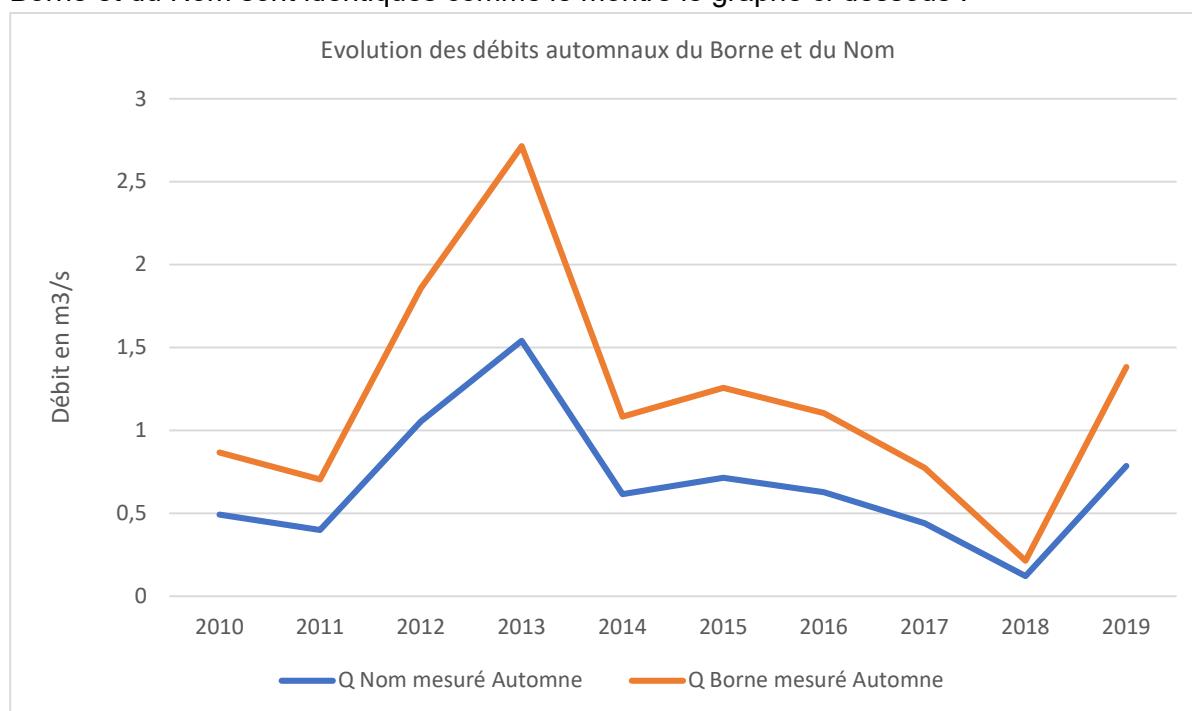


Les tendances qui semblent se dessiner sur la période 1997-2019 sont les suivantes :

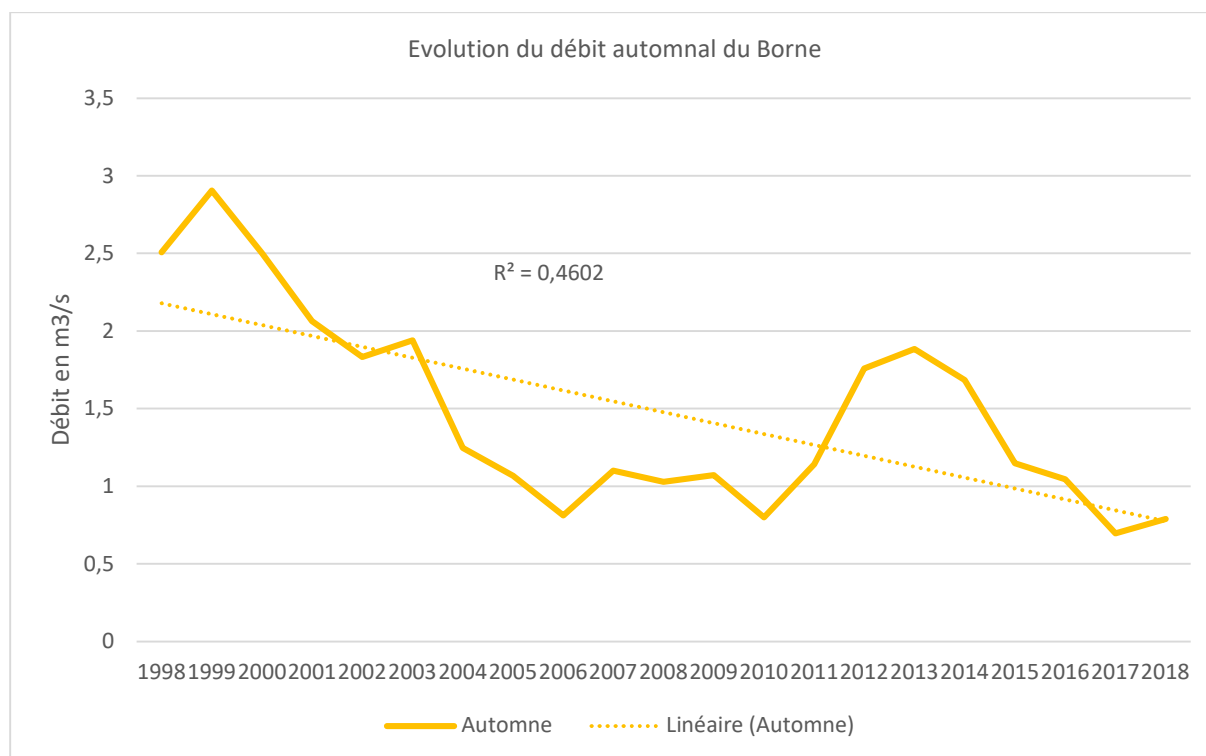
- Les débits d'automne semblent baisser sur la période
- Les débits d'hiver, de printemps et d'été ne présentent pas de tendance marquée. Ils sont relativement variables d'une année sur l'autre.

Pour comprendre les tendances éventuelles des débits d'automne, isolons les données du Borne et celles du Nom au cours de l'automne.

Sur la période d'observation commune (2010-2019), les comportements hydrologiques du Borne et du Nom sont identiques comme le montre le graphe ci-dessous :



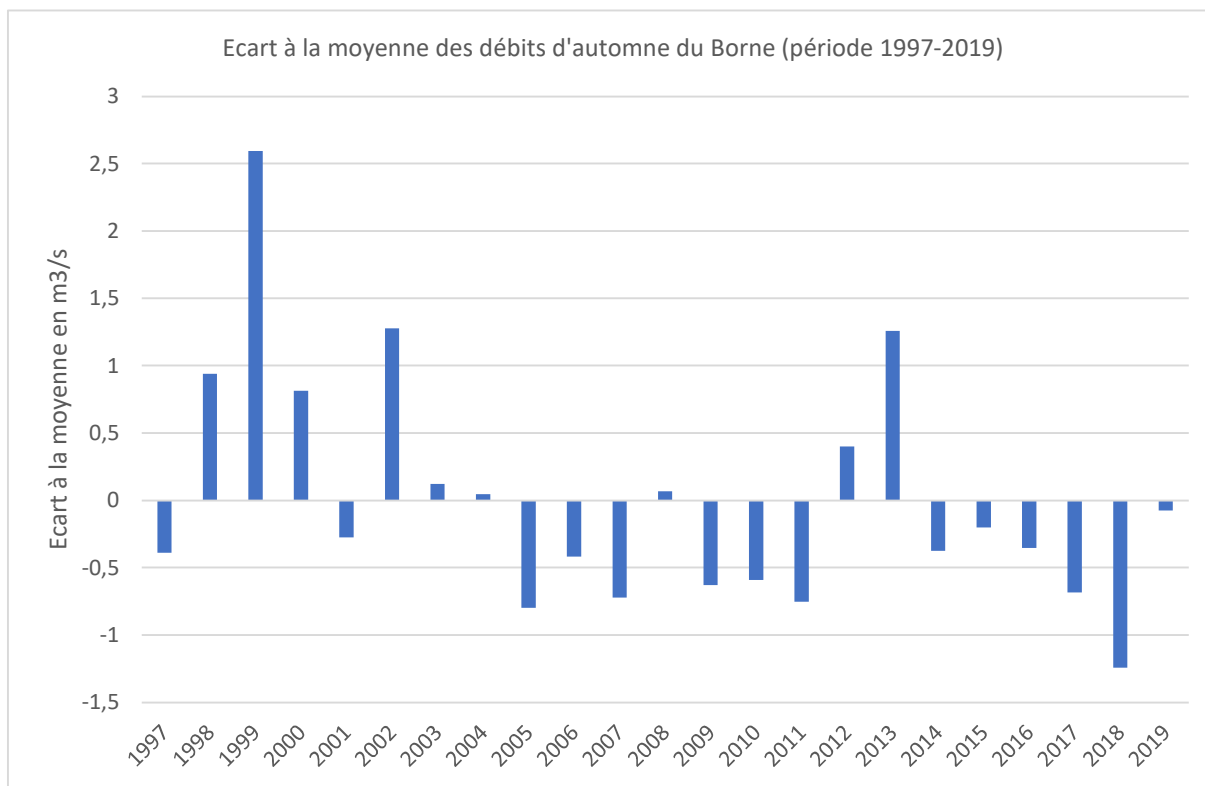
Pour caractériser une tendance à la baisse des débits d'automne, on considère la chronique de mesures des débits du Borne sur 1997-2019 en représentant la moyenne glissante sur 3 ans :



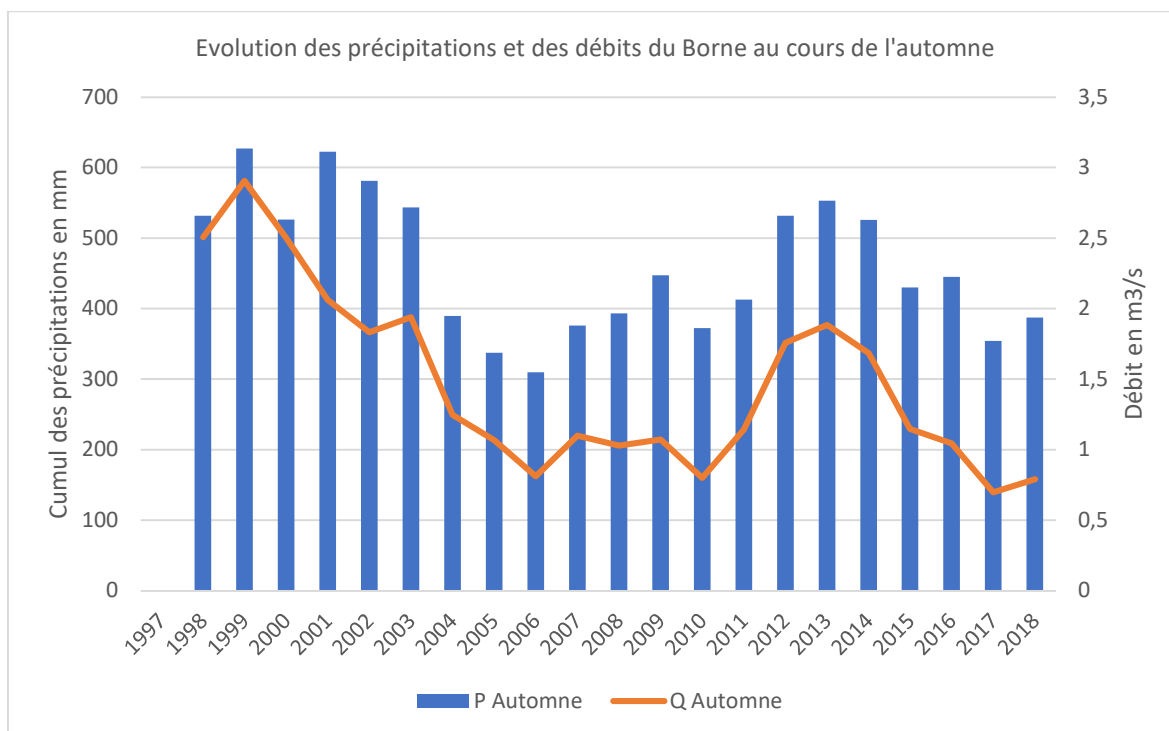
La tendance à la baisse des débits d'automne peut aussi s'observer dans l'analyse des écarts à la moyenne sur le graphe ci-après.



Les épisodes déficitaires sont quasiment systématiques à partir de 2005, ce qui vient corroborer l'hypothèse de baisse des débits annuels à partir de cette date.



Pour comprendre et confirmer cette hypothèse, une analyse des précipitations automnales sur la période 1997-2019 permet de constater que le débit automnal du Borne est corrélé à la quantité de précipitations tombant sur le bassin versant (cumuls des précipitations mesurés à la station Météo France du Grand Bornand) :



Les pluies d'automne ont tendance à baisser sur la période 1997-2019 et cette baisse entraîne la baisse des débits du Borne.

Cela sous-entend que les apports souterrains restent relativement stables sur cette période.

Dès lors, cela explique la relative stabilité des débits d'hiver, les réservoirs souterrains ne subissant pas de baisse marquée.

Ces réservoirs se rechargent au printemps et à l'été grâce à la fonte de la neige et aux pluies efficaces.

Il semble donc que sur cette période, ces apports soient suffisants pour maintenir :

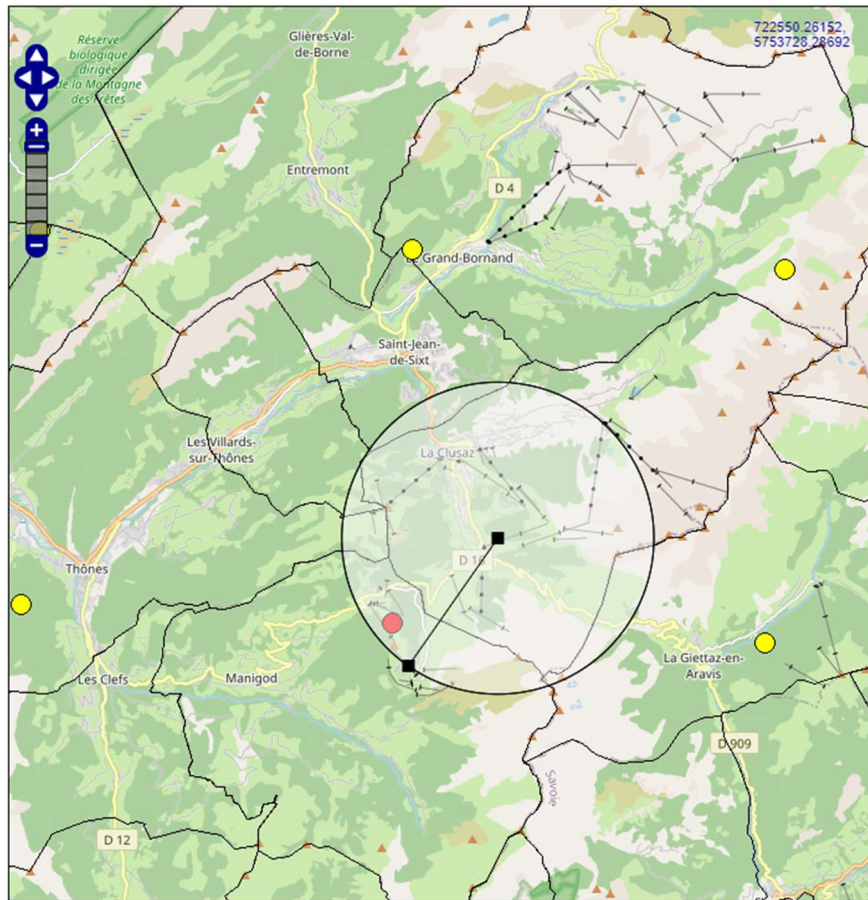
- Les débits de printemps et d'été
- La recharge des réservoirs permettant le soutien d'étiage de l'hiver, la baisse des débits automnale étant provoquée par la baisse des pluies.

### 3. Analyse des évolutions futures

#### 3.1. Tendances climatiques annuelles



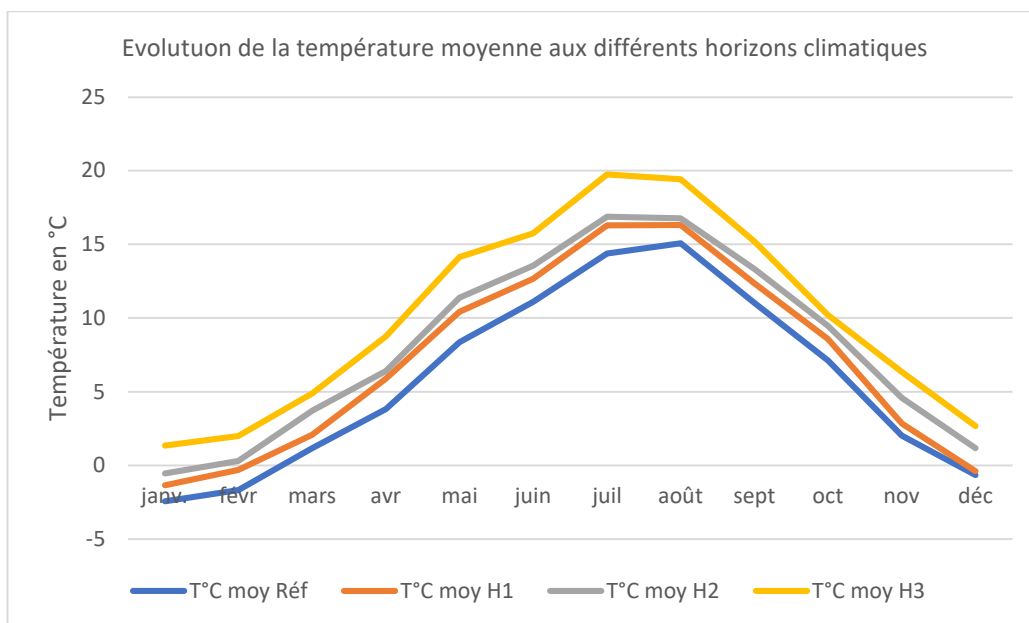
Les tendances climatiques futures sont analysées à partir des données DRIAS-Climat sur un point de modélisation situé sur le territoire de La Clusaz (point rouge dans le cercle sur la carte ci-dessous) à environ 1 500 m d'altitude.



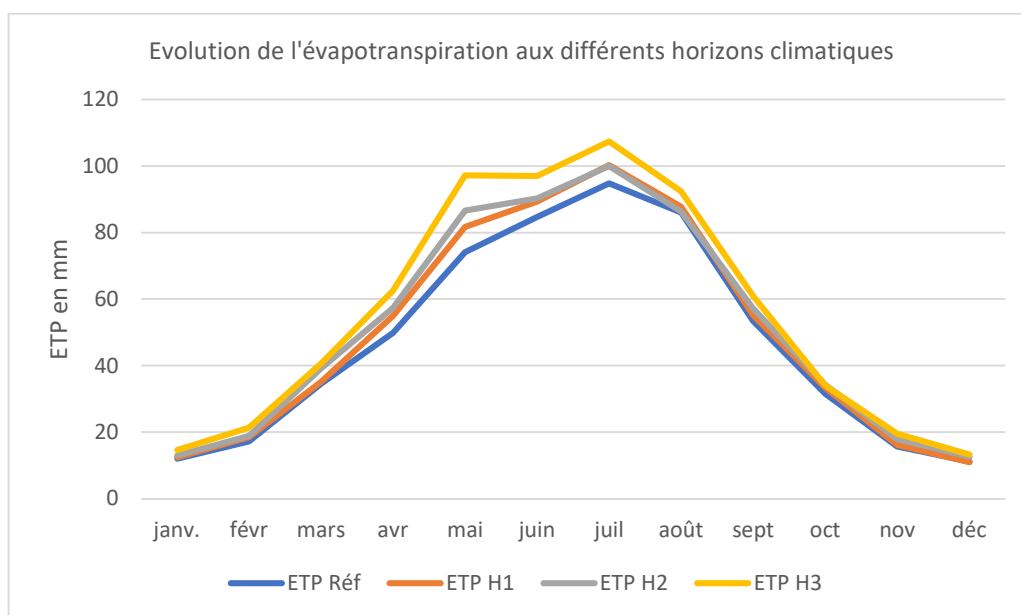
On utilise les données du modèle pour évaluer la quantité de neige, les précipitations totales (pluie et neige) et les températures qui influent directement sur l'évapotranspiration.

Les tendances annuelles donnent des premières indications sur les évolutions à venir :

- La température moyenne annuelle augmente pour tous les mois de l'année et à chaque horizon climatique, avec une hausse plus forte d'avril à septembre.

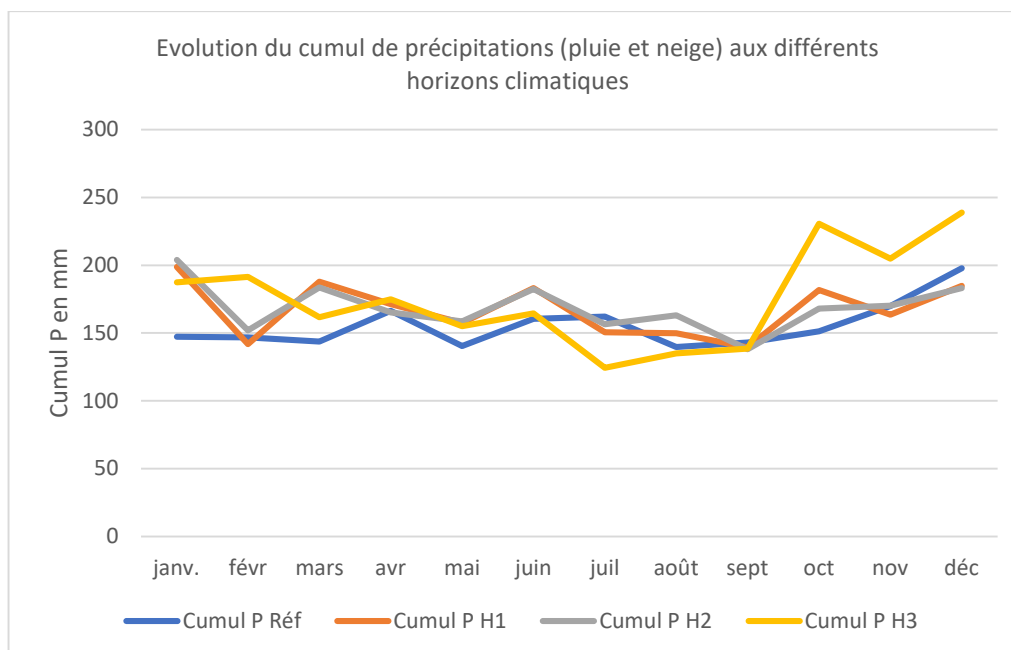


L'horizon lointain prédit une hausse de 3 à 4°C de la température moyenne entre mai et septembre. Cela a pour effet de faire augmenter l'évapotranspiration comme le montre le graphique ci-dessous :



- Les précipitations suivent une évolution hétérogène :

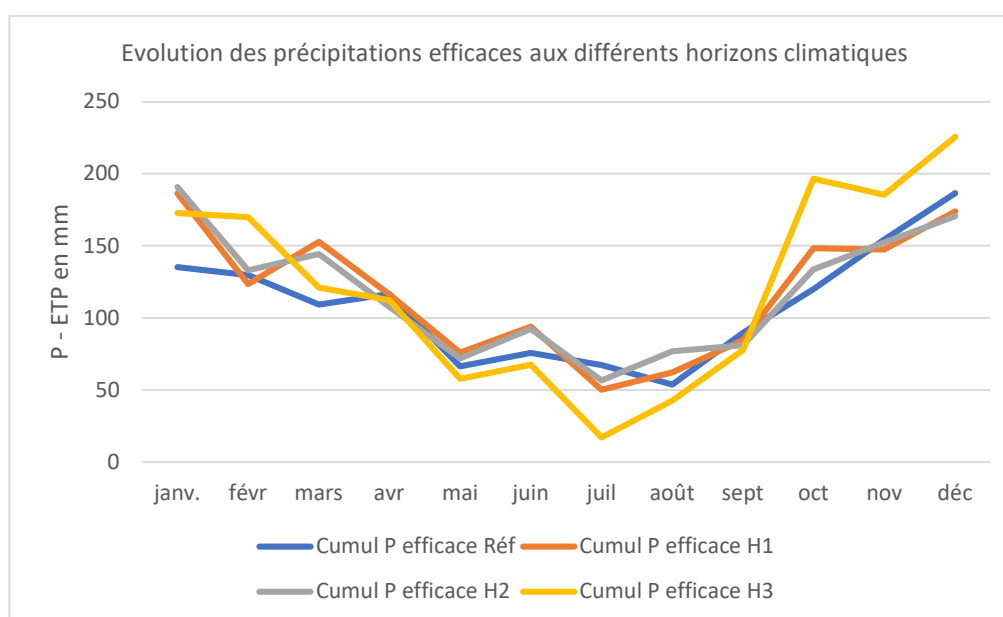




Les horizons H1 (présent) et H2 (2041-2070) sont très proches l'un de l'autre montrant une faible évolution du régime des précipitations au cours de l'année tout au long de la période 2020-2050.

Cependant, la hausse de température hivernale va provoquer une augmentation relative de la pluie : il pleuvra davantage et il neigera moins, la quantité de précipitations restant stable. Ce point est explicité en détail dans la suite de la note.

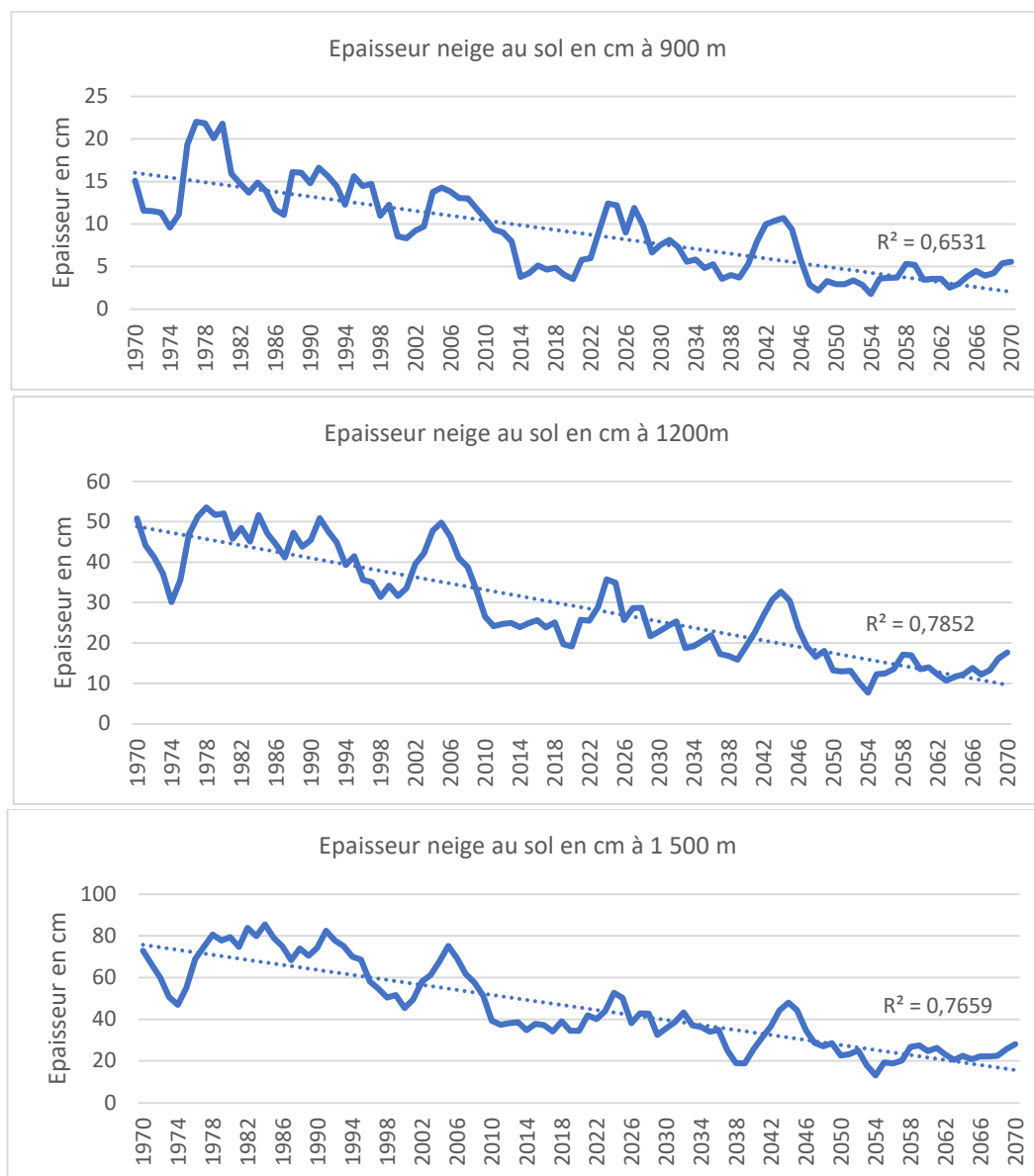
A un horizon plus lointain (2071-2100), les précipitations hivernales et automnales augmentent et les précipitations estivales diminuent. Ces précipitations estivales sont affectées par l'évapotranspiration rendant les pluies efficaces de la fin du printemps et de l'été très déficitaires par rapport au présent, comme le montre le graphique ci-dessous :



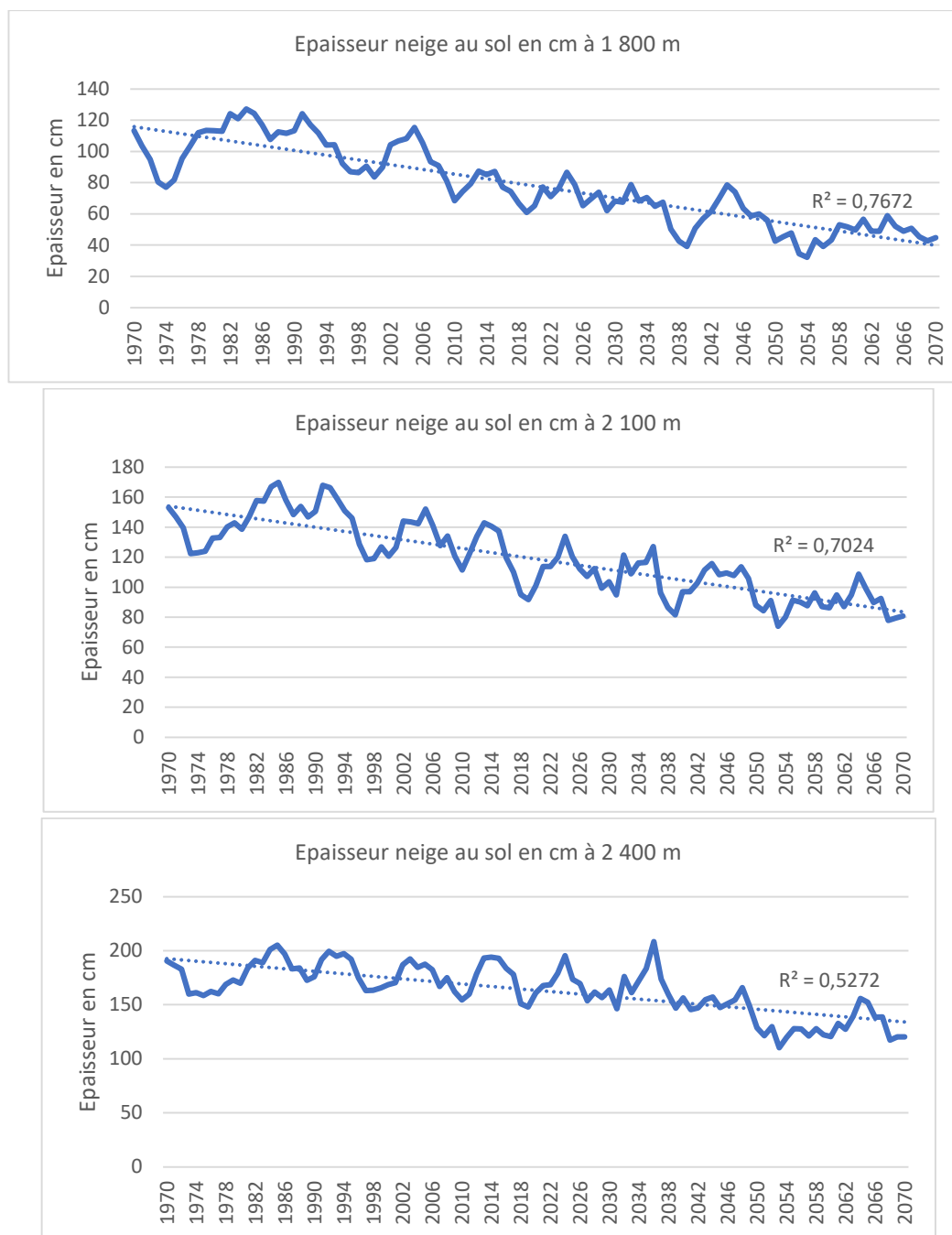
### 3.2. Tendances climatiques saisonnières

#### 3.2.1. Hiver

Les graphes ci-dessous montrent l'évolution de l'épaisseur de neige au sol cumulée pendant la saison à 900 m, 1 200 m, 1 500 m, 1 800 m, 2 100 m et 2 400 m :





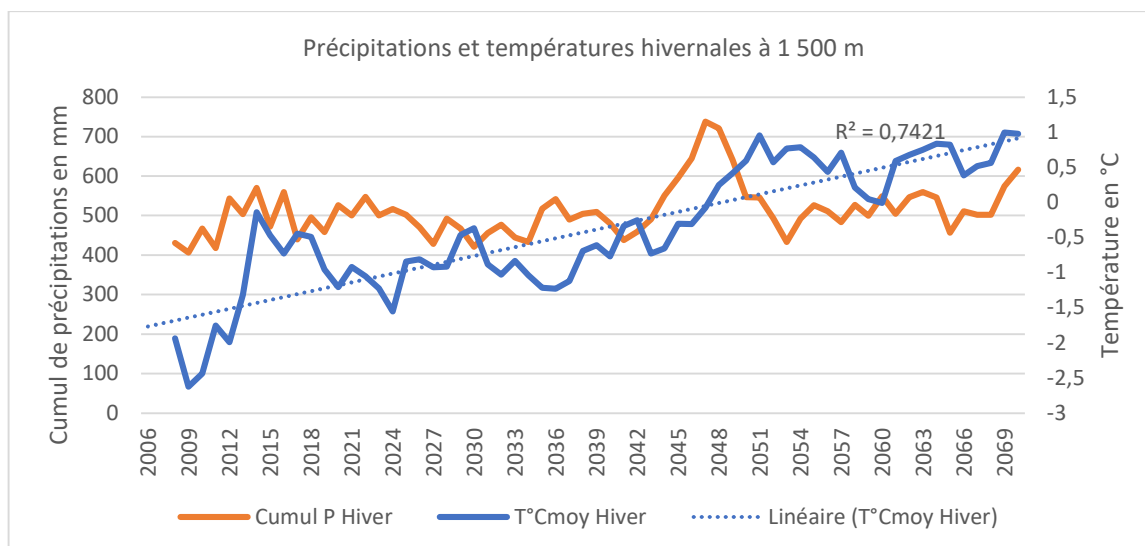


Les droites de tendance montrent des baisses régulières de l'enneigement à toutes les altitudes avec des coefficients de corrélation corrects pour les altitudes de 1 200 à 2 100 m (entre 0,70 et 0,78).

La tendance à la baisse à 900 m est moins marquée du fait sans doute de la faible épaisseur moyenne actuelle (5 cm).

L'enneigement à 2 400 m semble mieux résister à la baisse jusqu'en 2050, après quoi, il semble subir une chute de l'ordre de 30 cm, soit environ -30%.

Le graphe ci-dessous présente l'évolution climatique des précipitations et des températures à 1 500 m :



Les précipitations totales (pluie et neige) semblent relativement stables sur la période, avec semble-t-il une légère augmentation à partir de la fin de la décennie 2040.

Les températures suivent une progression linéaire (avec une tendance linéaire de coefficient de corrélation de 0,74) et deviennent positives à l'horizon 2040 traduisant une forte augmentation de la température moyenne à 1 500 m entre aujourd'hui et 2040 de l'ordre de +1°C à +1,5°C.

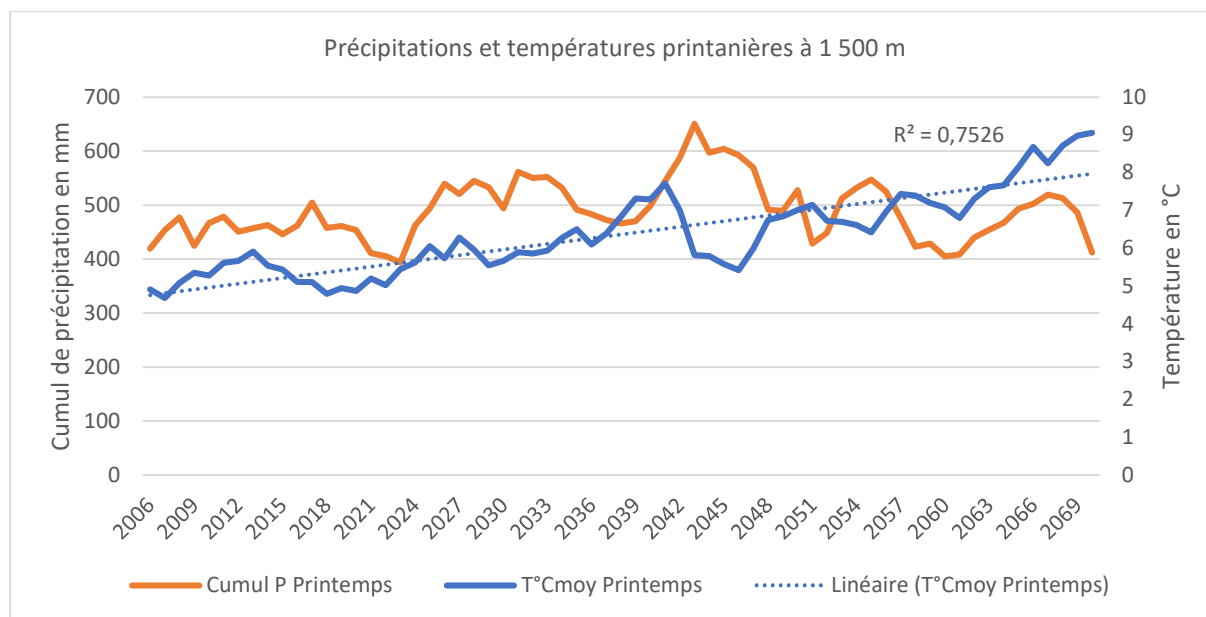
Cela explique notamment la baisse de l'enneigement.

Ainsi le régime des précipitations hivernales va fortement évoluer d'ici 2050 avec une baisse de l'enneigement et une augmentation des pluies.

La conséquence hydrologique est une augmentation des débits d'hiver sur la période 2020-2050.

### 3.2.2. Printemps

La température printanière évolue au même rythme que la température hivernale avec une augmentation de +1°C entre aujourd'hui et 2040. Au cours de cette saison, la croissance végétative renforce l'évapotranspiration.



Dans le même temps, les précipitations ne montrent pas d'évolution nette.

De ce fait, avec l'effet de l'évapotranspiration, les pluies efficaces vont avoir tendance à baisser.

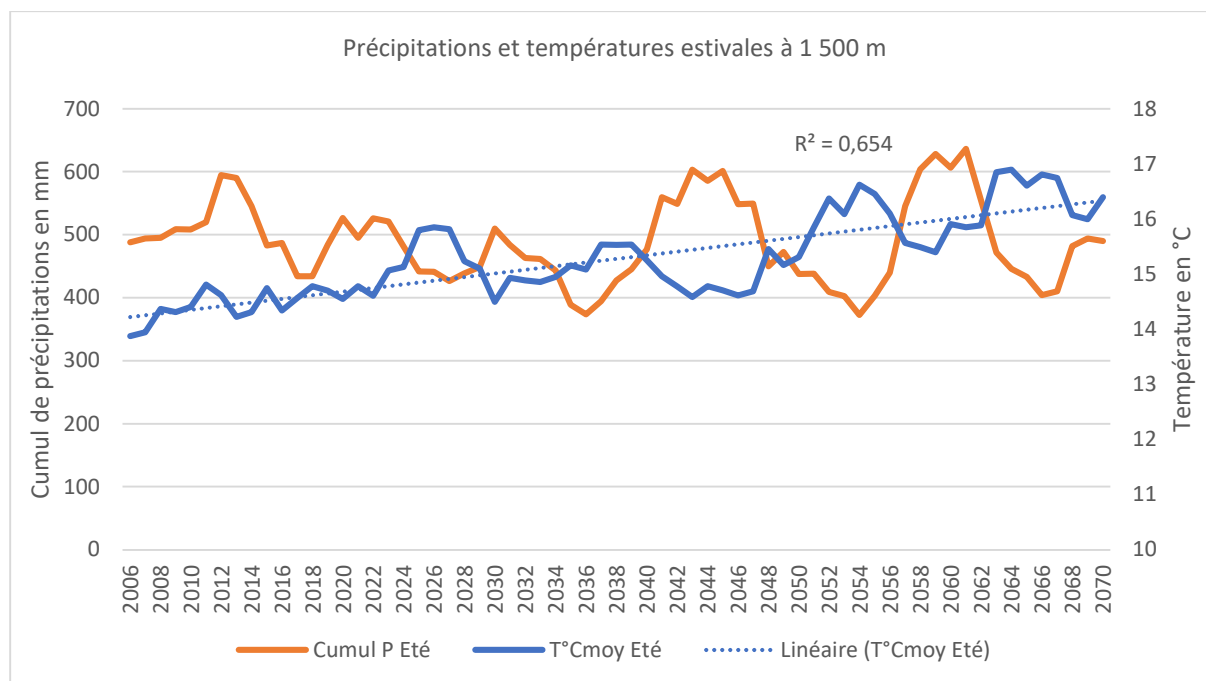
D'un point de vue hydrologique, les débits de printemps sont générés essentiellement par la fonte de la neige et les pluies. Comme l'enneigement baissera et que les pluies efficaces baisseront également, les débits de printemps devraient baisser sur la période 2020-2050.

### 3.2.3. Eté

L'évolution des températures estivales présente une augmentation moins importante que celles de l'hiver et du printemps.

Les précipitations quant à elles semblent marquer une légère baisse.



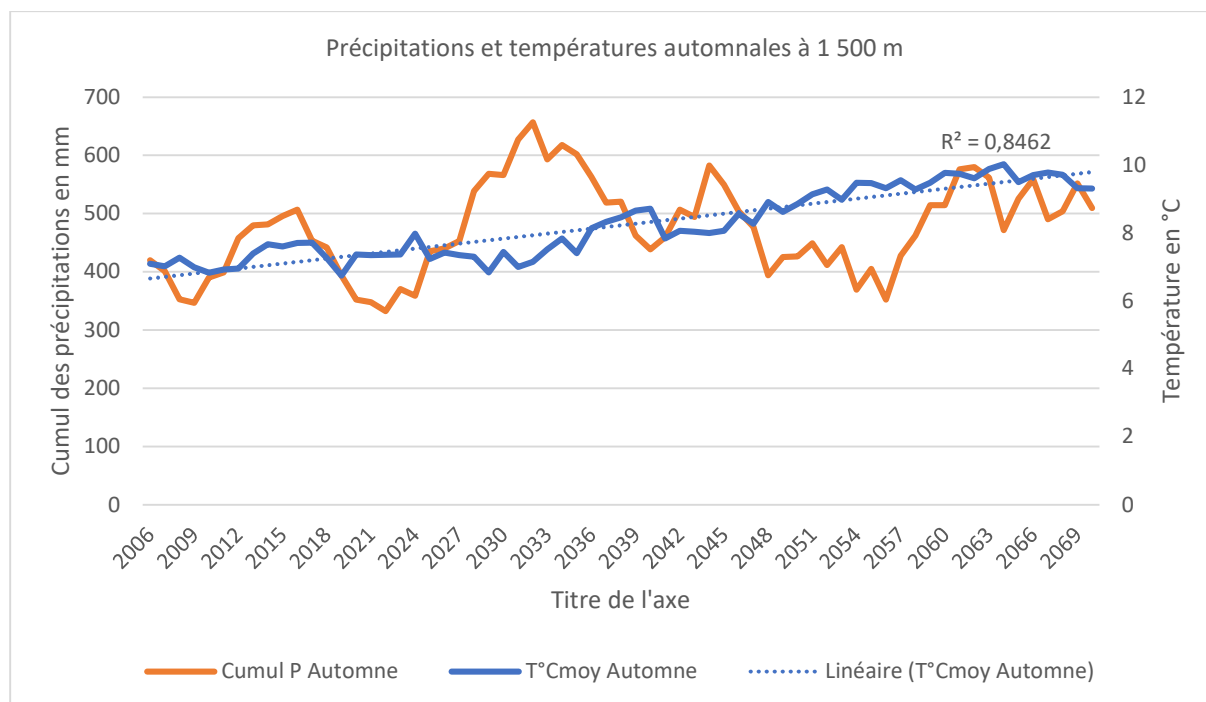


Au cours de l'été, l'évapotranspiration va subir une augmentation alors que les pluies semblent marquer une légère diminution, donnant des pluies efficaces moins importantes.

Concernant l'hydrologie, les débits d'été sont générés par les pluies et les recharges des réservoirs souterrains qui se sont rechargés principalement au cours du printemps. Les débits printaniers étant dans une évolution à la baisse, les recharges souterraines seraient moins importantes.

De ce fait, les débits estivaux devraient également subir une baisse au cours de la période 2020-2050.

### 3.2.4. Automne



La température automnale évolue au même rythme que la température hivernale avec une augmentation de +1°C entre aujourd'hui et 2040.

Les précipitations présentent une forte variabilité. Une interprétation possible du graphe serait la suivante :

- Une stabilisation sur la période 2020-2040
- Une baisse sur 2040-2050
- Une augmentation sur 2050-2070

D'un point de vue hydrologique, les débits d'automne dépendent fortement des pluies, comme on l'a vu chapitre 2.2. La baisse des débits du Borne sur 1997-2019 est générée par une baisse des précipitations, les apports souterrains semblant se stabiliser sur cette période.

Dans les prévisions climatiques des autres saisons, on observe que les recharges souterraines devraient diminuer du fait de :

- La baisse de l'enneigement
- L'augmentation de l'évapotranspiration

De ce fait, il est fort probable que les débits d'automne diminuent au cours de la période 2020-2050. Il semble également prévisible que ces débits subissent une forte variabilité, passant de débits élevés et à des débits très bas.

### 3.3. Synthèse des enseignements des tendances climatiques sur l'hydrologie

Les éléments précédents permettent de poser comme hypothèses les évolutions de débits suivantes :

- Hiver : augmentation des débits dues à la hausse des températures et au maintien des précipitations totales => il neigera moins, il pleuvra plus
- Printemps : diminution des débits due à une diminution de la quantité de neige fondue, à une stabilisation des pluies et à une augmentation de la température générant une augmentation de l'évapotranspiration

- Eté : diminution des débits due à une baisse des pluies efficaces (pluie – évapotranspiration) et à une moindre recharge souterraine, celle-ci ayant été moindre au printemps
- Automne : diminution des débits du fait de la baisse des apports des réservoirs souterrains, avec une variabilité qui semble augmenter

#### 4. Prévisions des modèles DRIAS-Eau

Afin de quantifier les effets climatiques sur les débits, on cherche à déterminer les coefficients climatiques pour simuler la baisse ou la hausse des débits mensuels et obtenir des résultats exprimés par :

$$Q_{\text{futur}} = C_{\text{climat}} \times Q_{\text{actuel}}$$

Pour cela, on utilise les 11 modèles hydrologiques de DRIAS-Eau et on confronte les prévisions aux tendances observées sur la période 1997-2019 (cf. chapitre 2.) et aux tendances climatiques analysées au chapitre 3.

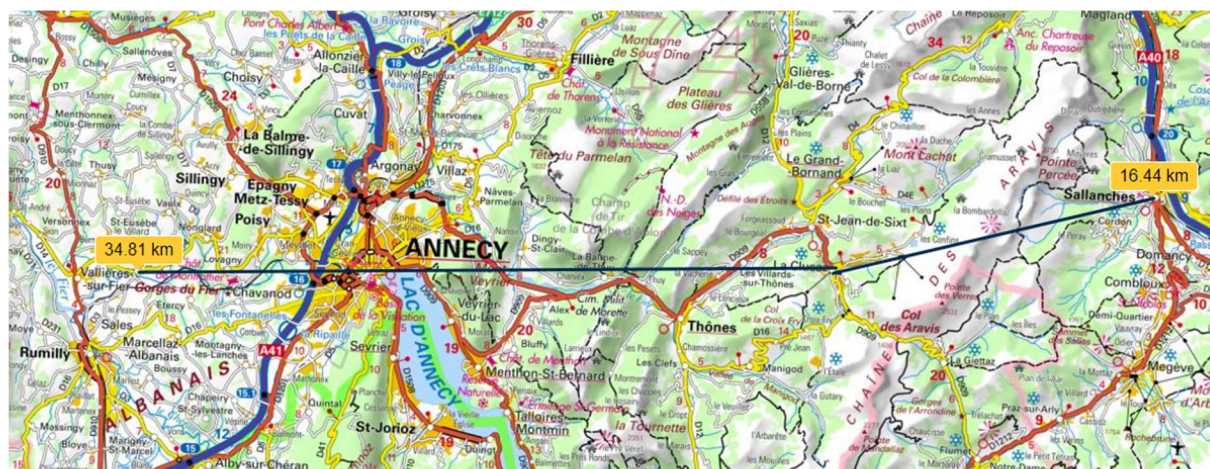
##### 4.1. Bassin versant de référence

Le site DRIAS-Eau propose des modélisations sur des bassins versants de tailles supérieures à ceux du Borne et du Nom.

La première démarche est donc de choisir le bassin versant de référence sur lequel appliquer les modèles pouvant correspondre au territoire de La Clusaz.

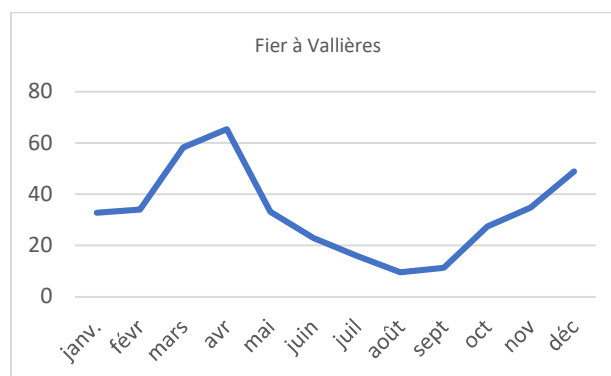
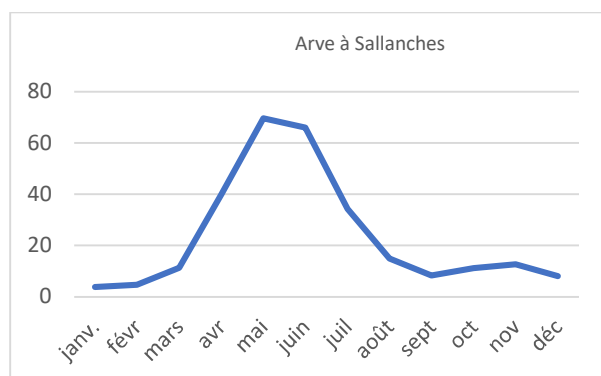
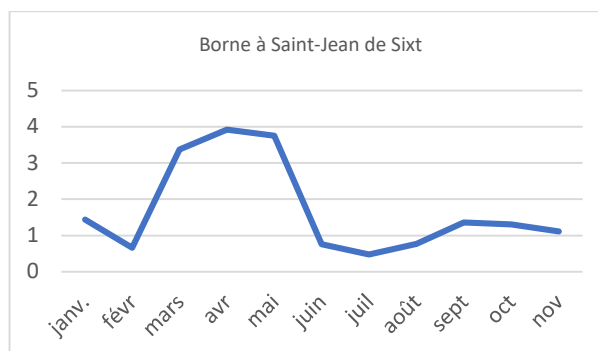
Les deux points modélisés les plus proches de La Clusaz sont :

- L'Arve à Sallanches, situé à 16 km à vol d'oiseau de La Clusaz
- Le Fier à Vallières, situé à 34 km à vol d'oiseau de La Clusaz



Les régimes hydrologiques des différents cours d'eau (Borne, Arve et Fier) sont les suivants :





L'Arve est une rivière au régime nival qui bénéficie d'un grand bassin versant d'alimentation à haute altitude, ce qui explique les très faibles débits hivernal et automnal et les forts débits du printemps et de l'été. L'étiage d'été est moins marqué que celui du Borne, d'autant que l'Arve bénéficie également de la fonte des glaces.

Par ailleurs, le bassin versant amont de l'Arve est essentiellement cristallin, une géologie qui diffère radicalement de la géologie du massif des Aravis.

Le Fier est une rivière au régime nivo-pluvial avec un pic au printemps généré par la fonte de la neige et un pic à l'automne généré par les pluies d'automne. Il semble donc se rapprocher davantage du régime du Borne.

Par ailleurs, le bassin versant du Fier est essentiellement situé dans le massif des Aravis.

On prendra donc les données modélisées sur le Fier pour estimer les évolutions des débits du Borne et de ce fait des ressources hydrologiques de La Clusaz.

#### 4.2. Données modélisées

L'approche des évolutions est réalisée sur le Fier à Vallières en utilisant les données issues des 11 modèles ci-contre et en calculant le rapport entre :

- Les données de débits mensuels moyens fournies par le modèle à l'horizon proche (H1)
- Et les données de débits mensuels moyens fournies par le modèle à l'horizon 2041-2070 (H2)

Modèle 1
RACMO22E_CNRM-CM5
Modèle 2
WRF381P_IPSL-CM5A
Modèle 3
RCA4_IPSL-CM5A
Modèle 4
RegCM4-6_HadGEM2
Modèle 5
CCLM4-8-17_HadGEM2
Modèle 6
RACMO22E_EC-EARTH
Modèle 7
RCA4_EC-EARTH
Modèle 8
CCLM4-8-17_MPI-ESM
Modèle 9
REMO2009_MPI-ESM
Modèle 10
HIRHAM5_NorESM1
Modèle 11
REMO2015_NorESM1

Les résultats de ces calculs sont présentés ci-après :

	<b>Moyenne Modèles</b>	Modèle 1	Modèle 2	Modèle 3	Modèle 4	Modèle 5	Modèle 6	Modèle 7	Modèle 8	Modèle 9	Modèle 10	Modèle 11
janv.	<b>1,13</b>	1,05	1,40	1,24	1,01	1,11	0,93	1,05	1,23	1,24	1,17	1,26
févr	<b>1,11</b>	0,97	1,15	1,21	0,96	1,01	1,14	1,23	1,30	1,22	1,06	1,03
mars	<b>0,96</b>	0,96	0,89	0,89	0,91	0,94	1,05	0,87	0,98	1,13	0,97	0,93
avr	<b>0,89</b>	0,98	0,77	0,70	0,94	1,04	0,66	0,69	0,90	1,02	1,17	0,98
mai	<b>0,93</b>	1,03	0,95	0,81	1,13	1,01	0,88	0,80	0,78	0,89	1,11	1,04
juin	<b>0,94</b>	0,91	1,10	0,93	0,98	0,95	1,09	0,91	0,79	0,66	1,01	1,05
juil	<b>0,77</b>	0,99	0,95	0,73	0,58	0,69	0,83	0,56	0,76	0,61	0,87	1,04
août	<b>0,83</b>	1,21	1,10	0,49	0,86	0,51	0,72	0,50	0,85	0,67	0,74	0,97
sept	<b>0,86</b>	1,24	1,08	0,44	0,61	0,57	0,80	0,63	0,91	0,68	1,08	0,88
oct	<b>0,85</b>	0,93	1,10	0,96	0,69	1,09	0,78	0,78	0,65	0,70	1,13	1,22
nov	<b>0,94</b>	0,83	1,14	0,73	0,90	1,06	0,92	0,90	0,94	1,05	0,84	0,96
déc	<b>1,03</b>	0,91	1,18	1,04	0,84	0,95	1,04	0,99	1,15	1,26	1,02	0,99

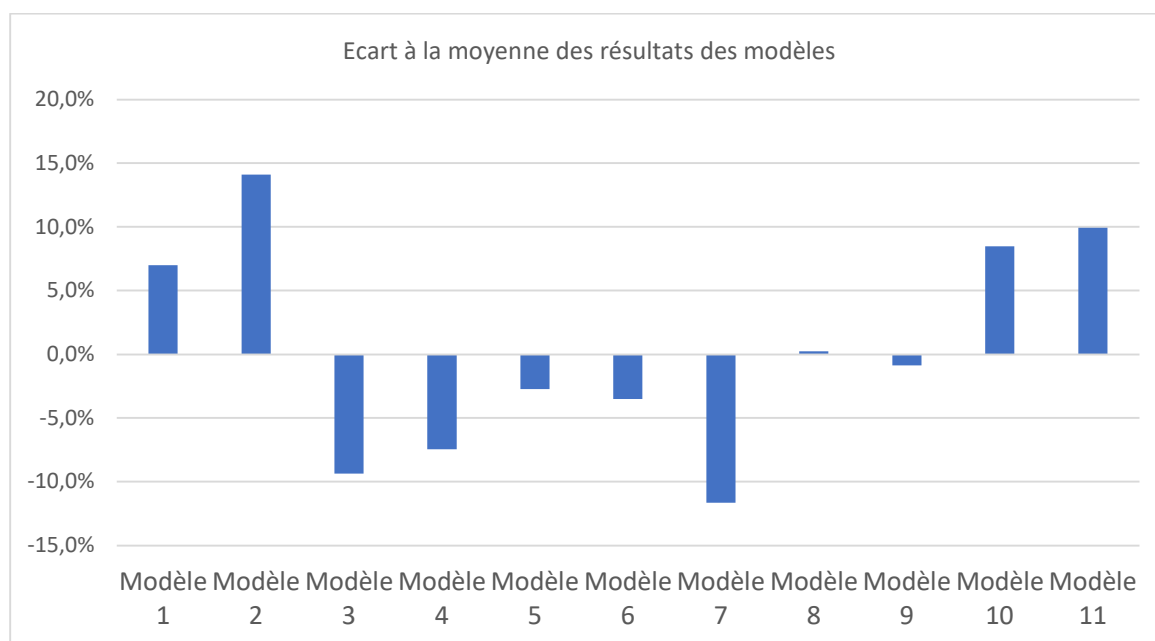
Les coefficients annuels moyens (moyenne des coefficients mensuels) sont présentés dans le tableau suivant :

	<b>Moyenne Modèles</b>	Modèle 1	Modèle 2	Modèle 3	Modèle 4	Modèle 5	Modèle 6	Modèle 7	Modèle 8	Modèle 9	Modèle 10	Modèle 11
Moyenne annuelle	<b>0,94</b>	1,00	1,07	0,85	0,87	0,91	0,90	0,83	0,94	0,93	1,02	1,03

Les modèles donnent des résultats différents :

- Le modèle 2 prédit une augmentation du débit moyen annuel de +7 %
- Le modèle 7 prédit une diminution du débit moyen annuel de -17 %

L'analyse des écarts à la moyenne des résultats obtenus montre que la tendance moyenne des 11 modèles est à la baisse (-6 % -  $C_{\text{climat}} = 0,94$ ) avec des écarts de + 14 % / - 11 %.



Concernant les évolutions saisonnières, les résultats obtenus sont les suivants :

	<b>Moyenne Modèles</b>	Modèle 1	Modèle 2	Modèle 3	Modèle 4	Modèle 5	Modèle 6	Modèle 7	Modèle 8	Modèle 9	Modèle 10	Modèle 11
Hiver	<b>1,09</b>	0,98	1,25	1,16	0,94	1,02	1,04	1,09	1,23	1,24	1,08	1,09
Printemps	<b>0,92</b>	0,98	0,94	0,81	1,01	1,00	0,88	0,80	0,83	0,86	1,10	1,02
Été	<b>0,85</b>	1,04	1,05	0,72	0,80	0,72	0,88	0,66	0,80	0,65	0,87	1,02
Automne	<b>0,88</b>	1,00	1,11	0,71	0,73	0,91	0,83	0,77	0,83	0,81	1,02	1,02

Les évolutions modélisées moyennes sont les suivantes :

- Hausse des débits d'hiver de +9 %
- Baisse des débits de printemps de -8 %
- Baisse des débits d'été de -15 %
- Baisse des débits d'automne de -12 %



Ces tendances correspondent aux hypothèses d'évolutions hydrologiques issues des évolutions climatiques analysées au chapitre 3.

#### 4.3. Conclusion sur l'évolution hydroclimatique

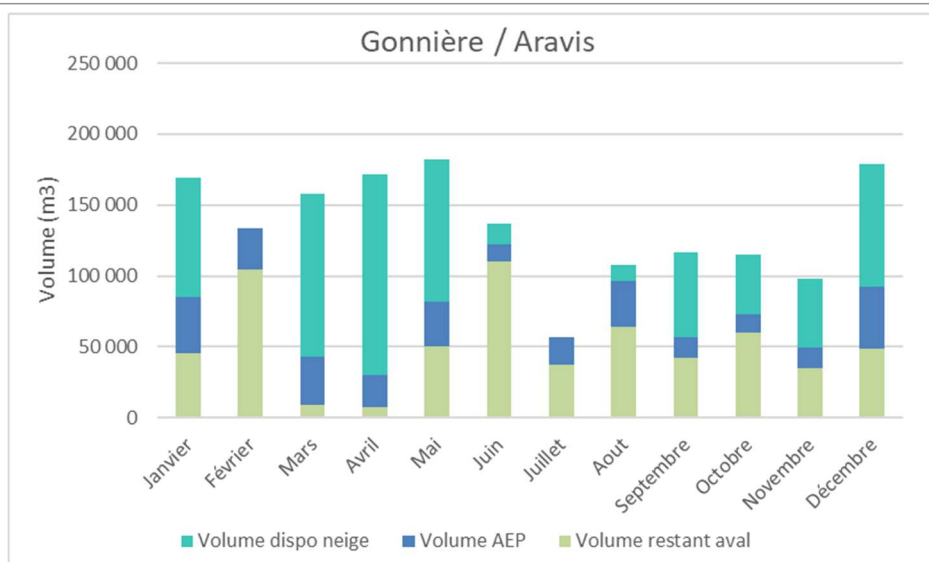
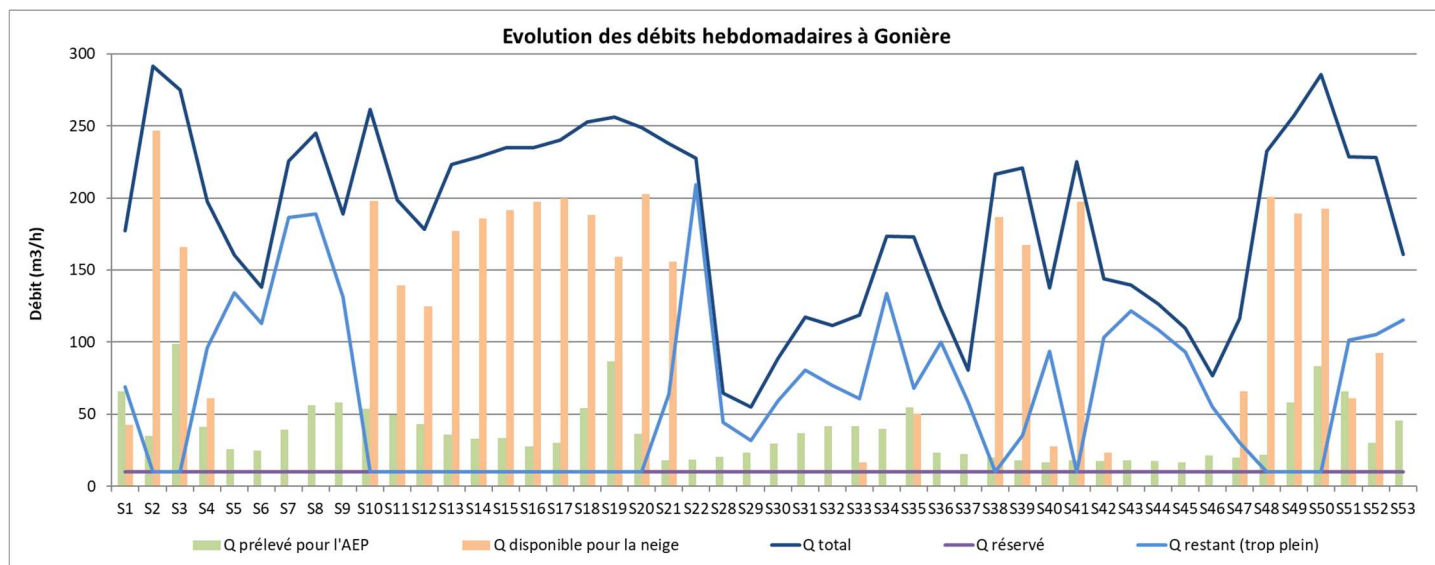
Il est proposé de retenir les coefficients climatiques suivants :

	C <sub>climat</sub>
janv.	1,13
févr	1,11
mars	0,96
avr	0,89
mai	0,93
juin	0,94
juil	0,77
août	0,83
sept	0,86
oct	0,85
nov	0,94
déc	1,03

Pour une application à la simulation des impacts des prélèvements via la formule :

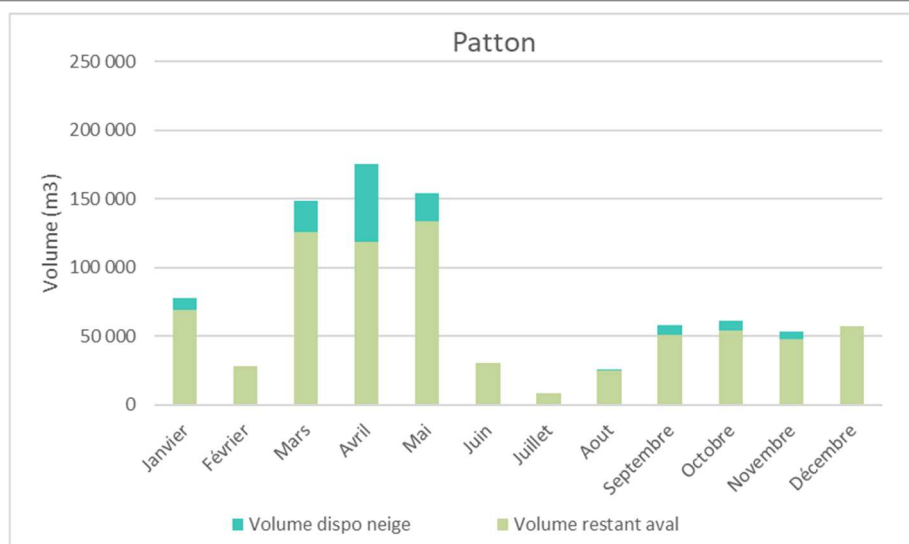
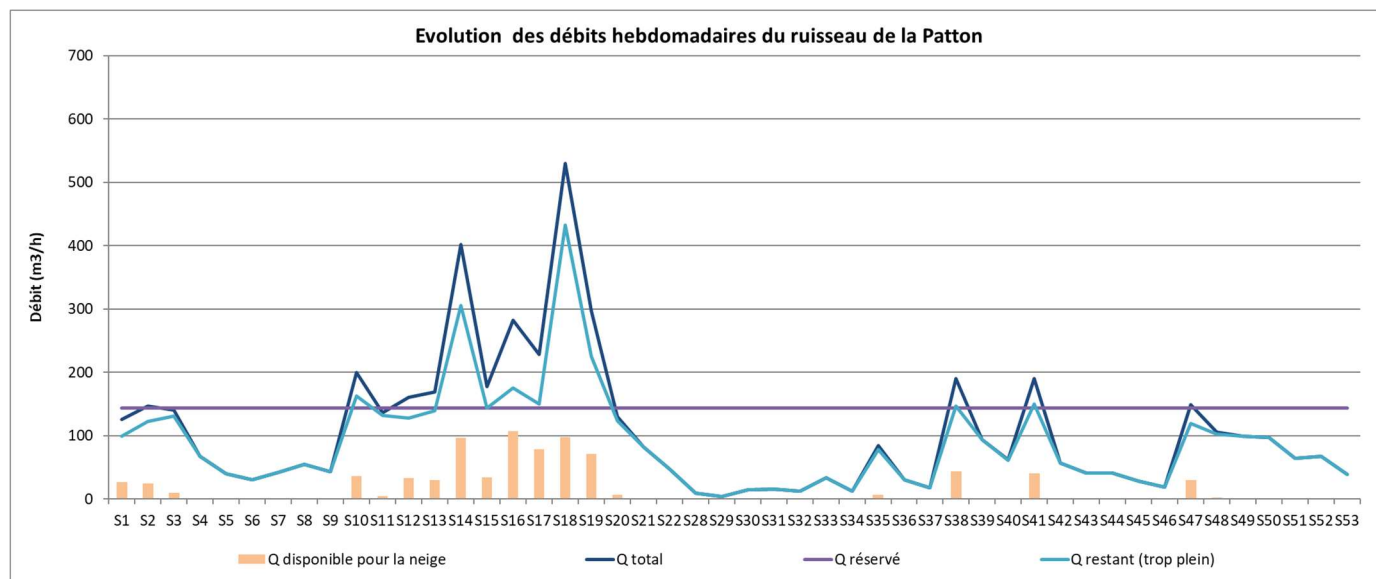
$$Q_{\text{futur}} = C_{\text{climat}} \times Q_{\text{actuel}}$$

Ces coefficients sont appliqués aux données journalières du bilan besoin ressource, les résultats ainsi projetés à l'horizon futur sont présentés ci-dessous :



	Volume total Gonniere	Volume AEP	Volume dispo pour la neige	Volume restant à l'aval de Gonnière
Janvier	168 860	39 429	83 649	45 782
Février	133 998	29 200	0	104 798
Mars	158 161	33 669	115 100	9 392
Avril	171 442	23 192	141 050	7 200
Mai	182 052	31 941	100 092	50 019
Juin	137 157	11 904	14 901	110 352
Juillet	56 563	18 912	0	37 651
Aout	107 347	32 330	11 228	63 790
Septembre	116 401	14 591	59 529	42 281
Octobre	114 907	13 174	41 727	60 007
Novembre	98 272	14 375	48 747	35 151
Décembre	178 721	43 743	86 082	48 897

Volumes mensuels (m³) à Gonière



	Volume total Patton	Volume dispo pour la neige	Volume restant à l'aval de Patton
Janvier	77 559	8 272	69 287
Février	28 036	0	28 036
Mars	148 512	22 694	125 818
Avril	175 299	56 476	118 823
Mai	154 573	20 802	133 771
Juin	31 012	0	31 012
Juillet	8 829	0	8 829
Aout	26 149	1 110	25 039
Septembre	58 330	7 343	50 986
Octobre	61 152	6 914	54 239
Novembre	53 387	5 433	47 954
Décembre	57 004	0	57 004

Volumes mensuels (m³) à Patton



Ces résultats montrent que la ressource devrait toujours restée disponible à l'horizon futur en prenant en compte les tendances d'évolution hydrologiques.

Si la ressource va diminuer au printemps celle-ci restera suffisante pour alimenter les retenues avec un total d'avril à juin de l'ordre de 256 000 m<sup>3</sup> à Gonière et 77 000 m<sup>3</sup> à Patton. Le changement climatique aura un effet « positif » sur la ressource hivernale avec un total pour janvier et décembre de 170 000 m<sup>3</sup> à Gonière et 8000 m<sup>3</sup> à Patton.