

Evolution des ressources en eau en Savoie dans un contexte de changement climatique

Annexes au rapport « Diagnostic »

Mai 2023



SAVOIE

LE DÉPARTEMENT

6 Annexes

ANNEXE 1 : LOCALISATION DES SOURCES DE DONNEES METEOROLOGIQUES CITEES DANS CETTE ETUDE.	98
ANNEXE 2 : EVOLUTION DU CUMUL MAXIMUM JOURNALIER DE PRECIPITATIONS PAR ANNEE ENTRE 1961 ET 2017 SUR LES REGIONS MEDITERRANEENNES FRANÇAISES (CREDITS : RIBES <i>ET AL.</i> , 2018).....	99
ANNEXE 3 : ÉCARTS DES CUMULS ANNUELS DE PRECIPITATIONS DE 1959 A 2020 PAR RAPPORT A LA NORMALE 1961-1990 EN SAVOIE (CUMUL DE 5 STATIONS : CHALLES-LES-EAUX - 291 M ; BOURG-SAINT-AURICE – 865 M ; MONTGELLAFREY – 1050 M ; HAUTELUCE – 1215 M ; BESSANS – 1715 M (CREDITS : METEO-FRANCE – TRAITEMENT : AGATE).	99
ANNEXE 4 : EVOLUTION DES CUMULS SAISONNIERS DE PRECIPITATIONS DE 1974 A 2019 SUR LA STATION DE VOGLANS (235 M) (CREDITS : METEO-FRANCE – TRAITEMENT : AGATE).....	100
ANNEXE 5 : EVOLUTION DU NOMBRE DE JOURS AVEC DES PRECIPITATIONS (CUMUL SUPERIEUR A 0,2 MM) DE 1947 A 2019 SUR LA STATION DE BOURG-SAINT-AURICE (865 M) (CREDITS : METEO-FRANCE – TRAITEMENT : CD73).....	100
ANNEXE 6 : EVOLUTION DU NOMBRE DE JOURS DE FORTES PLUIES (CUMUL SUPERIEUR A 20 MM) DE 1959 A 2019 SUR LA STATION DE BOURG-SAINT-AURICE (865 M) (CREDITS : METEO-FRANCE).....	101
ANNEXE 7 : EVOLUTION DE L'INTENSITE MAXIMALE JOURNALIERE DE PRECIPITATIONS DE 1935 A 2020 SUR LA STATION DE SAINT-MICHEL-DE-MAURIENNE (1360 M) (CREDITS : METEO-FRANCE – TRAITEMENT : CD73).	101
ANNEXE 8 : EVOLUTION DES BILANS HYDRIQUES A CHAQUE SAISON (DE HAUT EN BAS : HIVER, PRINTEMPS, ETE ET AUTOMNE) ENTRE 1961 ET 2020 SUR LA STATION DE BOURG-SAINT-AURICE (865 M) – REFERENCE : MOYENNE 1961-1990 (CREDITS : METEO-FRANCE - TRAITEMENT : AGATE).	102
ANNEXE 9 : ÉCARTS DES BILANS HYDRIQUES MENSUELS, SAISONNIERS ET ANNUELS (EN %) ENTRE LES 2 DERNIERES DECENNIES (2001-2010/2011-2020) SUR LA STATION DE BOURG-SAINT-AURICE (865 M) (CREDITS : METEO-FRANCE – TRAITEMENT : AGATE).....	103
ANNEXE 10 : ECARTS DES CUMULS DE NEIGE (EN MARS-AVRIL) DE 1960 A 2021 PAR RAPPORT A LA MOYENNE 1960-2021 DANS LES ALPES DU NORD (CUMUL DES 3 STATIONS MEGEVE, PEISEY-NANCROIX ET BESSANS SITUÉES ENTRE 1080 M ET 1715 M D'ALTITUDE) (CREDITS : METEO-FRANCE – TRAITEMENT : AGATE).....	104
ANNEXE 11 : HAUTEUR MOYENNE DE NEIGE (EN CM), TEMPERATURE DE L'AIR (EN °C PAR RAPPORT A LA MOYENNE 1960-2020) ET PRECIPITATIONS (CUMUL EN KG/M ²) DE 1960 A 2020 (DECEMBRE A AVRIL) SUR LA STATION DU COL DE PORTE (CHARTREUSE – 1325 M) (CREDITS : METEO-FRANCE, CEN, CNRS).....	105
ANNEXE 12 : NOMBRES DE JOURS ENTRE 1960 ET 2020 (DECEMBRE-AVRIL) OU LA HAUTEUR DE NEIGE EST SUPERIEURE A 5 CM (COURBE DU HAUT), A 50 CM (COURBE DU MILIEU) ET A 100 CM (COURBE DU BAS) SUR LA STATION DU COL DE PORTE (CHARTREUSE – 1325 M) (CREDITS : METEO-FRANCE, CEN, CNRS).....	106
ANNEXE 13 : EQUIVALENT EN EAU DU MANTEAU NEIGEUX (EN KG/M ²) AU 1 ^{ER} MAI DE 1959 A 2018 DANS LES ALPES DU NORD (CREDITS : METEO-FRANCE).....	107
ANNEXE 14 : EVOLUTION DE LA SURFACE ENNEIGEE EN SAVOIE SUR CERTAINS MOIS AU COURS DE LA PERIODE 2000-2020.	108
ANNEXE 15 : EVOLUTION DU NOMBRE DE SEMAINES OU LA COUVERTURE NEIGEUSE EN SAVOIE EST INFERIEURE A UN CERTAIN SEUIL.	109
ANNEXE 16 : VARIATION D'ÉPAISSEUR (EN M EQUIVALENT EAU) DES GLACIERS FRANÇAIS DES PYRENEES (OSSOUE) ET DES ALPES (SAINT-SORLIN, GEBROULAZ, ARGENTIERE ET LA MER DE GLACE) DE 1907 OU 2003 A 2015 (BASE 0 EN 2002) (CREDITS : INSTITUT DES GEOSCIENCES DE L'ENVIRONNEMENT – TRAITEMENT : ONERC).	110
ANNEXE 17 : DEFINITION DE LA VARIABILITE MULTI-DECENNALE ATLANTIQUE (AMV).	111
ANNEXE 18 : VARIATION MULTI-DECENNALE DES DEBITS DES COURS D'EAU DE FRANCE (BOE ET HABETS (2014)).	112
ANNEXE 19 : TENDANCES OBSERVEES SUR LES REGIMES HYDROLOGIQUES DE L'ARC ALPIN SUR UNE PERIODE D'AU MOINS 40 ANS (PROJET ADAPTALP ; BARD <i>ET AL.</i> , 2012).....	113
ANNEXE 20 : LISTE ET DESCRIPTION DES INDICATEURS DEPLOYES POUR L'ANALYSE QUANTITATIVE DES COURS D'EAU SAVOYARDS. ..	114
ANNEXE 21 : DEBIT MOYEN DE JANVIER DU CHERAN ET CUMUL DES PRECIPITATIONS DE JANVIER DANS LES BAUGES SUR LA PERIODE 1950-2019.....	115
ANNEXE 22 : EVOLUTION DES DEBITS MOYENS MENSUELS DES MOIS DE JANVIER, JUIN, AOUT ET OCTOBRE DU FIER A DINGY-SAINT-CLAIR ET DU CHERAN A ALLEVES SUR LA PERIODE 1905-2019.	116
ANNEXE 23 : EVOLUTION DES DEBITS MOYENS ANNUELS DES 4 COURS D'EAU ETUDIES SOUS INFLUENCE PLUVIALE ET/OU NIVALE. ..	117
ANNEXE 24 : EVOLUTION DU NOMBRE DE JOURS OU LE DEBIT MOYEN JOURNALIER EST INFERIEUR AU QMNA5 ET SUPERIEUR A UN DEBIT DE HAUTES EAUX (RETOUR ANNUEL) POUR LES 4 COURS D'EAU ETUDIES SOUS INFLUENCE PLUVIALE ET/OU NIVALE.....	118
ANNEXE 25 : EVOLUTION DES DEBITS MOYENS MENSUELS PAR DECENNIE POUR LE GELON A LA ROCHETTE ET LE FIER A DINGY-SAINT-CLAIR.	120
ANNEXE 26 : EVOLUTION DES DEBITS MINIMA SUR 30 JOURS CONSECUTIFS (VCN30) POUR LES 4 COURS D'EAU ETUDIES SOUS INFLUENCE PLUVIALE ET/OU NIVALE.....	121

ANNEXE 27 : EVOLUTION DES DEBITS MINIMA SUR 10 JOURS CONSECUTIFS (VCN10) AU MOIS DE JANVIER POUR LES 3 COURS D'EAU ETUDIES SOUS INFLUENCE NIVALE.	121
ANNEXE 28 : COURBES DES DEBITS MAXIMA ANNUELS PAR DECENNIE POUR LES 4 COURS D'EAU ETUDIES SOUS INFLUENCE PLUVIALE ET/OU NIVALE.	122
ANNEXE 29 : FREQUENCE DES HAUTES EAUX ET ETIAGES SUR L'ISERE A VAL D'ISERE.	123
ANNEXE 30 : REPARTITION DES DEBITS MOYENS MENSUELS DU DORON DE BOZEL A LA PERRIERE.	124
ANNEXE 31 : LOCALISATION DES STATIONS DU SUIVI DE LA QUALITE DE L'EAU DES COURS D'EAU DE SAVOIE AU COURS DE LA PERIODE 1971-2020.	125
ANNEXE 32 : EVOLUTION DES HAUTEURS MINIMALES ET MAXIMALES ANNUELLES DE LA NAPPE DU GUIERS A SAINT JOSEPH-DE-RIVIERE SUR LA PERIODE 1982-2020.	126
ANNEXE 33 : BATTEMENT ANNUEL DE LA NAPPE DU GUIERS ENTRE 1982 ET 2020 A SAINT-JOSEPH-DE-RIVIERE.	126
ANNEXE 34 : EVOLUTION DE LA HAUTEUR MOYENNE EN OCTOBRE DE CHAQUE ANNEE DE LA NAPPE DU GUIERS A SAINT JOSEPH-DE-RIVIERE SUR LA PERIODE 1982-2020.	127
ANNEXE 35 : EXEMPLES DE SOURCES EN MAURIENNE DONT LE DEBIT D'ETIAGE EVOLUE A LA BAISSSE SUR LA PERIODE 1994-2019.	128
ANNEXE 36 : EXEMPLES DE SOURCES EN MAURIENNE DONT LE DEBIT D'ETIAGE EVOLUE A LA HAUSSE SUR LA PERIODE 1994-2019.	129
ANNEXE 37 : TABLEAU RECAPITULATIF DES 25 SOURCES ANALYSEES ET DE LEURS CARACTERISTIQUES.	130
ANNEXE 38 : DATE DE L'ETIAGE HISTORIQUE DES 25 SOURCES ANALYSEES (1994-2020) EN FONCTION DE LEUR ALTITUDE.	130
ANNEXE 39 : EVOLUTION DES DEBITS MOYENS MENSUELS (PAR DECENNIE) DE SOURCES DE MAURIENNE SITUÉES A PLUS DE 1500 M.	131
ANNEXE 40 : EVOLUTION DE LA TEMPERATURE DE L'EAU DE 17 SOURCES DE MAURIENNE ENTRE 1993 ET 2020.	132

Annexe 1 : Localisation des sources de données météorologiques citées dans cette étude.

Deux sources de données météorologiques sont citées dans cette étude :

- les stations météorologiques appartenant à Météo-France,
- les données modélisées par le Centre Européen de Prévisions Météorologiques à Moyen Terme (ECMWF) à l'échelle d'un secteur géographique (maille de 20 km x 30 km).

Parmi les 75 stations météorologiques de Savoie, un panel de 13 stations, localisées à la Figure 77, a été sélectionné selon les critères suivants :

- longueur de la chronique de données,
- pluralité des paramètres enregistrés,
- représentativité d'un secteur précis (altitude, massif...).

Les mailles du ECMWF dont les données sont utilisées dans ce rapport sont colorées en orange sur la Figure 77.

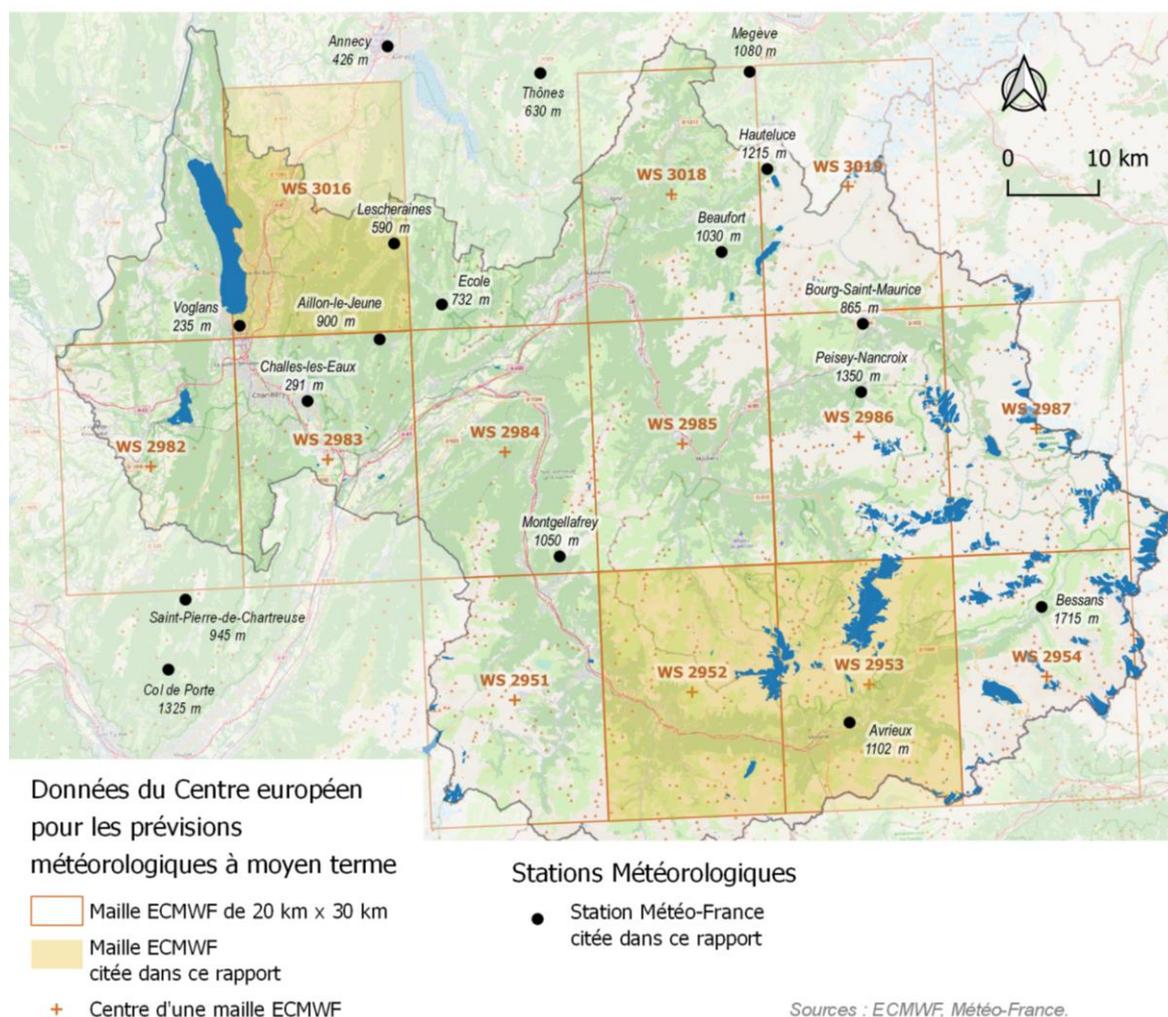
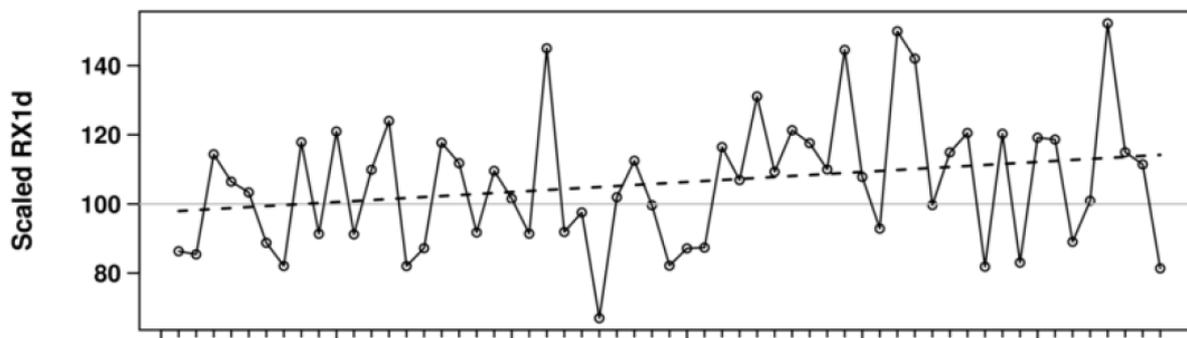


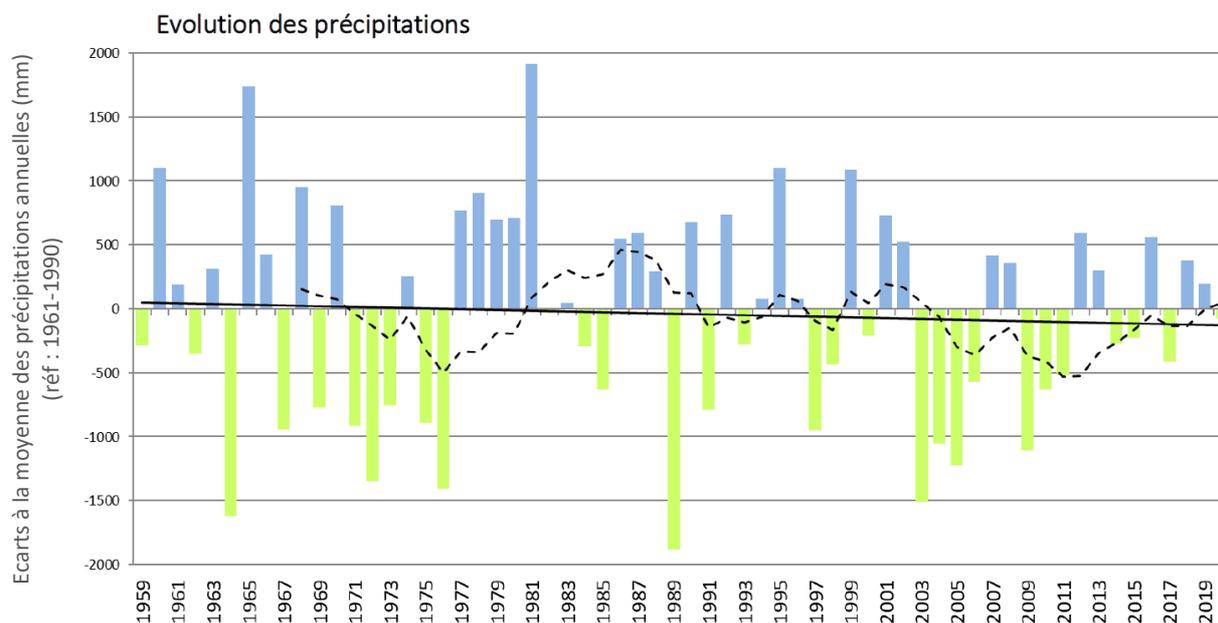
Figure 77 : Localisation des stations météorologiques de Météo-France sélectionnées pour cette étude et maillage des données du ECMWF pour la Savoie (Traitement : CD 73).

Annexe 2 : Evolution du cumul maximum journalier de précipitations par année entre 1961 et 2017 sur les régions méditerranéennes françaises (Crédits : Ribes *et al.*, 2018).



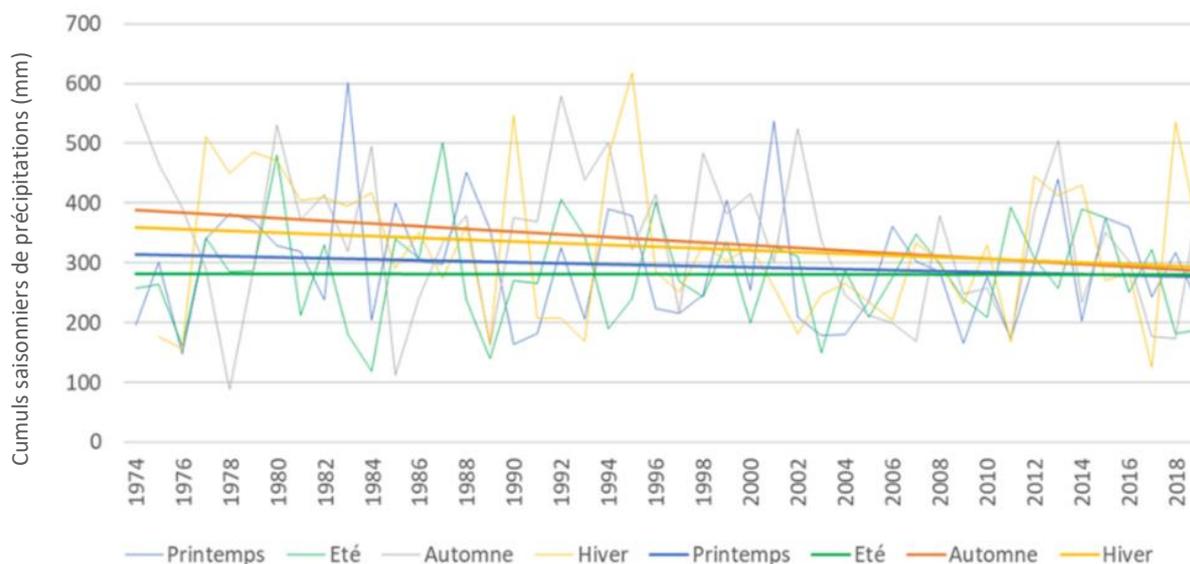
La droite pointillée décrit la tendance linéaire sur la période 1961-2017

Annexe 3 : Écarts des cumuls annuels de précipitations de 1959 à 2020 par rapport à la normale 1961-1990 en Savoie (cumul de 5 stations : Challes-les-Eaux - 291 m ; Bourg-Saint-Maurice - 865 m ; Montgellafrey - 1050 m ; Hauteluce - 1215 m ; Bessans - 1715 m (Crédits : Météo-France - Traitement : AGATE).



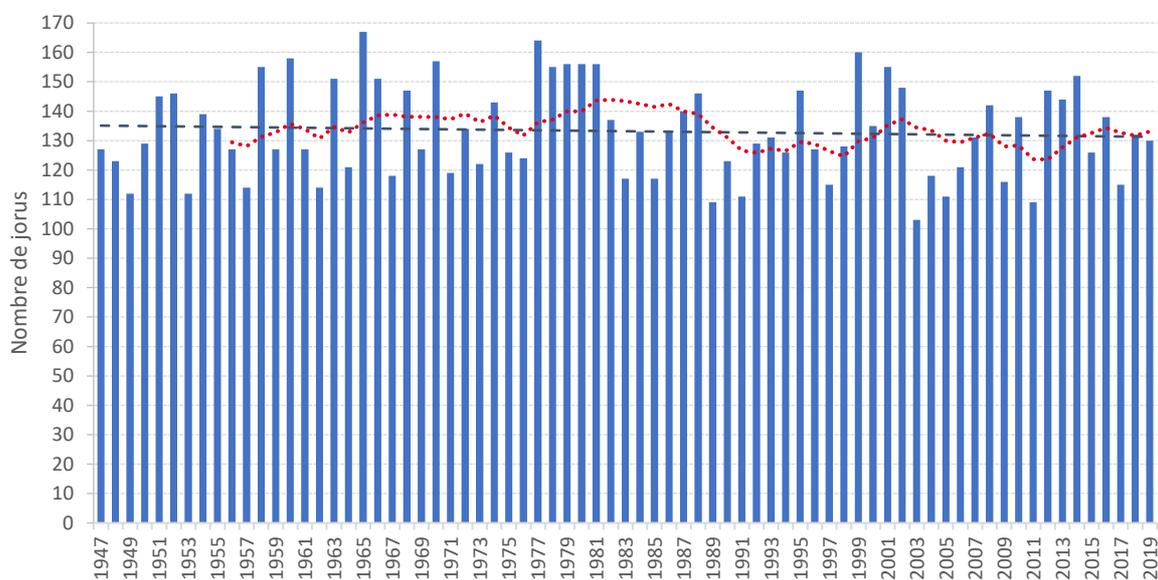
La droite noire décrit la tendance linéaire 1959-2020 tandis que la courbe noire en tireté correspond à la moyenne mobile sur 10 ans.

Annexe 4 : Evolution des cumuls saisonniers de précipitations de 1974 à 2019 sur la station de Voglans (235 m) (Crédits : Météo-France – Traitement : AGATE).



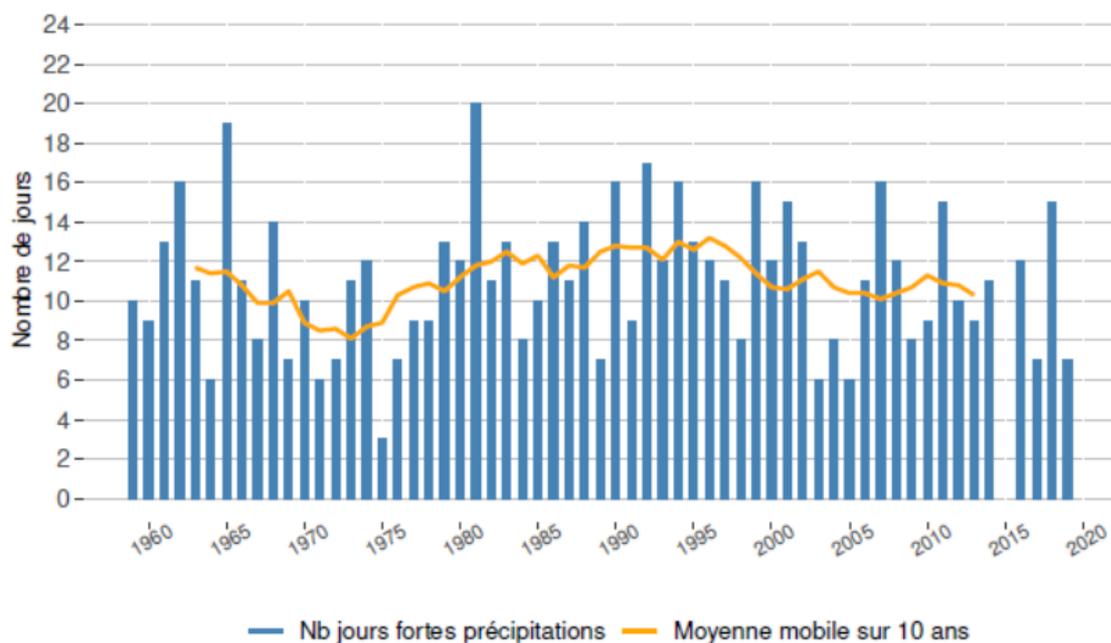
Les droites de couleur décrivent la tendance linéaire de chaque saison sur la période 1974-2019.

Annexe 5 : Evolution du nombre de jours avec des précipitations (cumul supérieur à 0,2 mm) de 1947 à 2019 sur la station de Bourg-Saint-Maurice (865 m) (Crédits : Météo-France – Traitement : CD73).



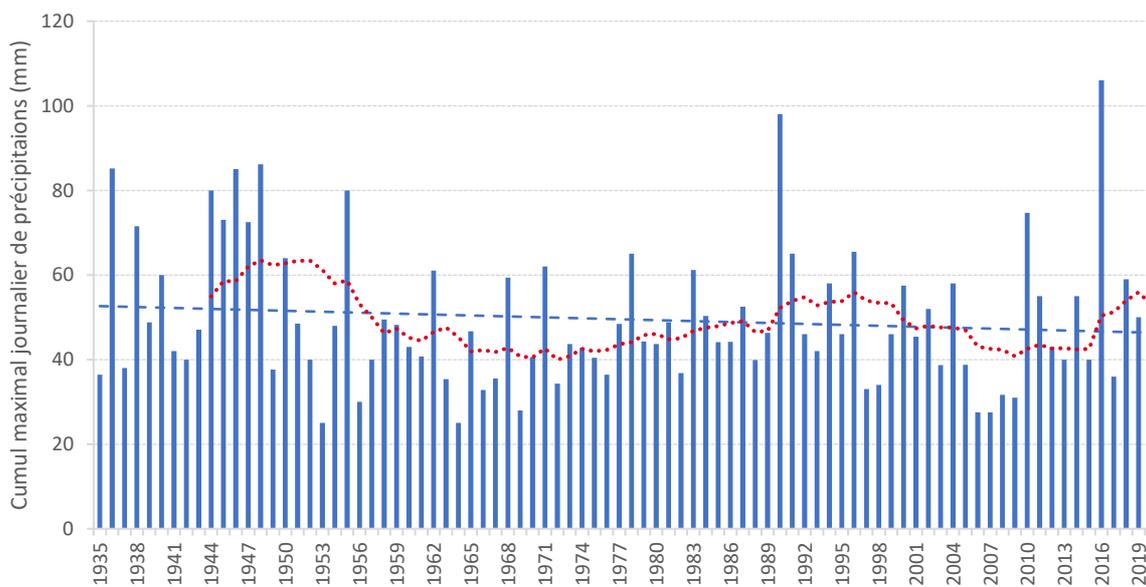
La droite bleue en tireté décrit la tendance linéaire sur la période 1947-2019 tandis que la courbe rouge en pointillé correspond à la moyenne mobile sur 10 ans.

Annexe 6 : Evolution du nombre de jours de fortes pluies (cumul supérieur à 20 mm) de 1959 à 2019 sur la station de Bourg-Saint-Maurice (865 m) (Crédits : Météo-France).



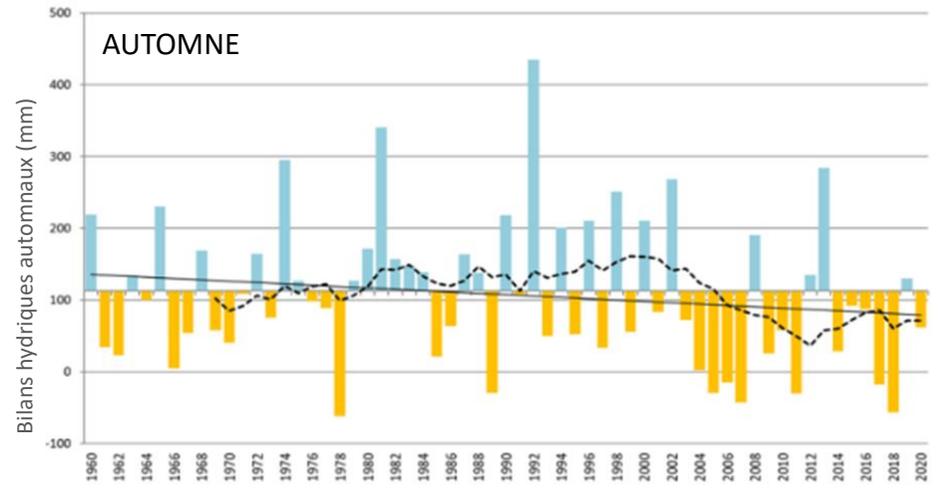
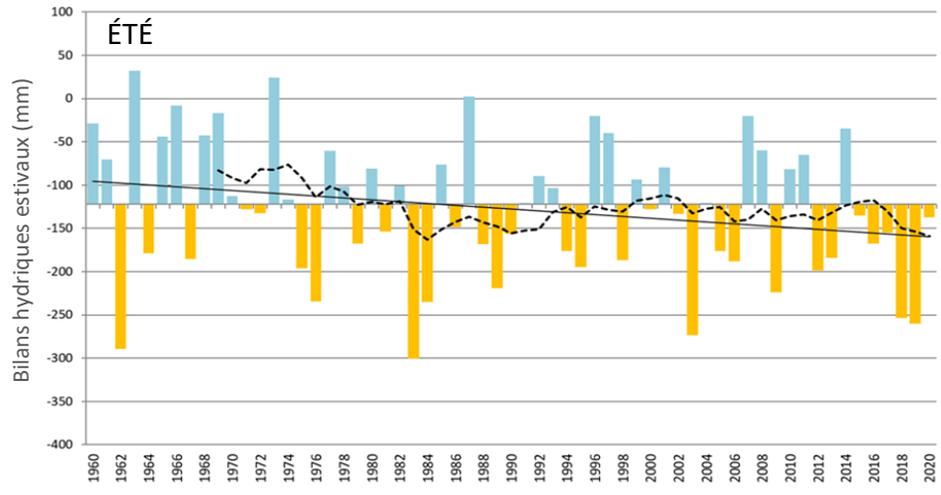
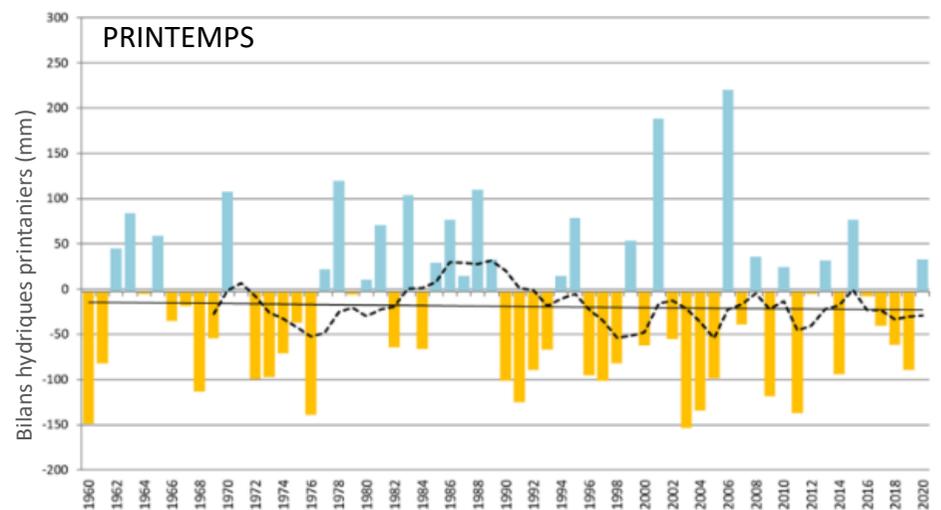
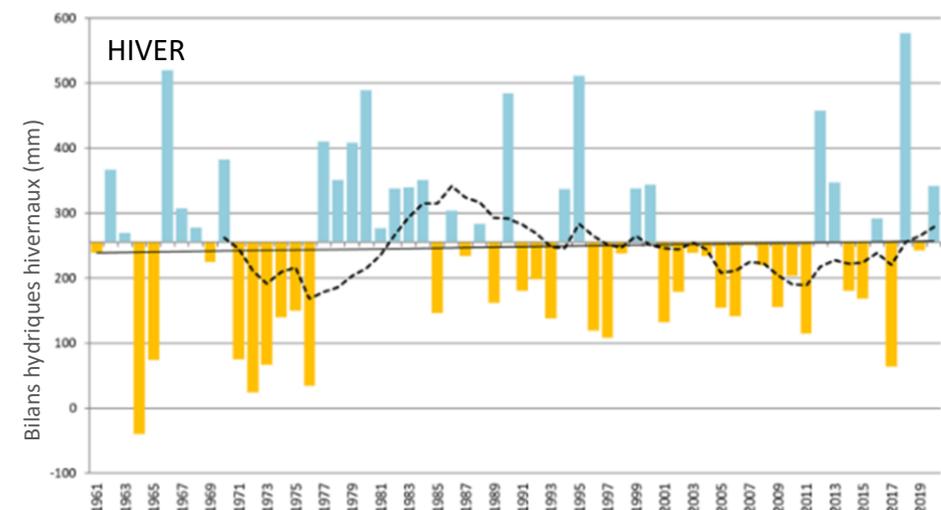
La courbe jaune correspond à la moyenne mobile sur 10 ans.

Annexe 7 : Evolution de l'intensité maximale journalière de précipitations de 1935 à 2020 sur la station de Saint-Michel-de-Maurienne (1360 m) (Crédits : Météo-France - Traitement : CD73).



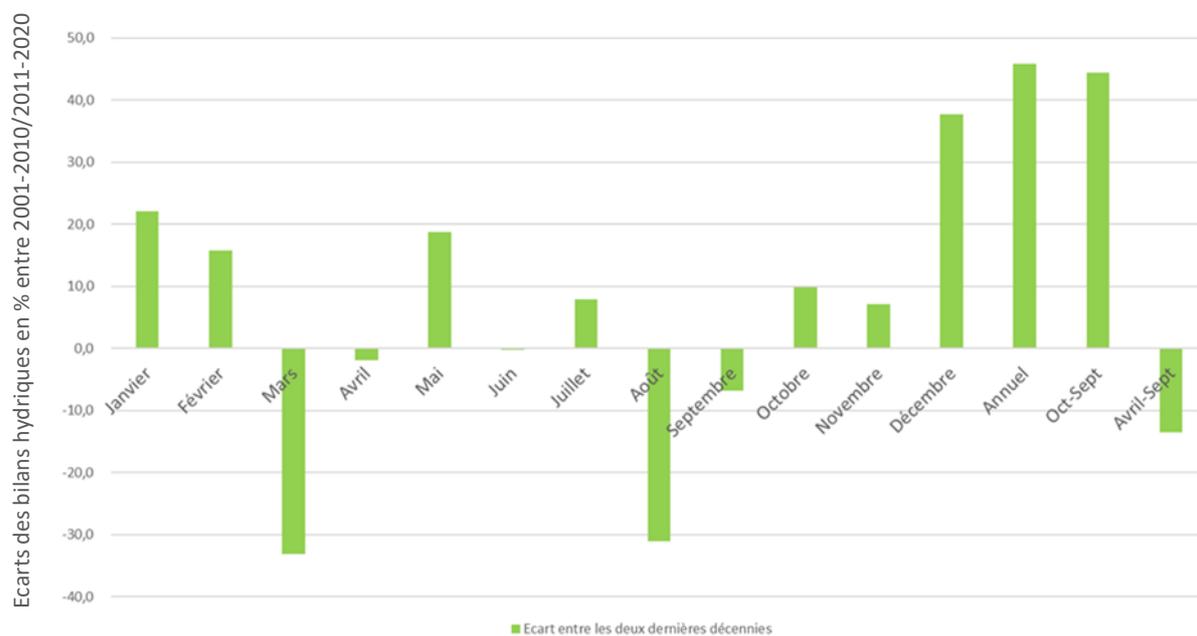
La droite bleue en tireté décrit la tendance linéaire sur la période 1935-2020 tandis que la courbe rouge en pointillé correspond à la moyenne mobile sur 10 ans.

Annexe 8 : Evolution des bilans hydriques à chaque saison (de haut en bas : hiver, printemps, été et automne) entre 1961 et 2020 sur la station de Bourg-Saint-Maurice (865 m) – Référence : moyenne 1961-1990 (Crédits : Météo-France - Traitement : AGATE).

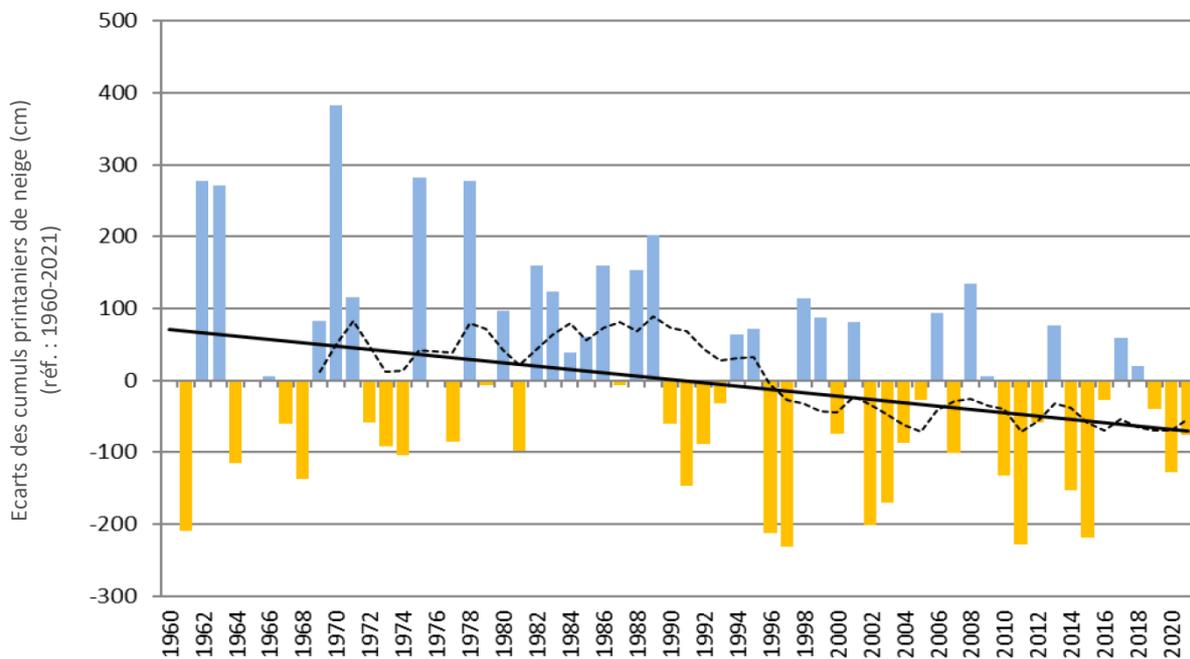


Tendance 1961-2020 : courbe linéaire droite – Moyenne mobile 10 ans : courbe tiretée noire.

Annexe 9 : Écarts des bilans hydriques mensuels, saisonniers et annuels (en %) entre les 2 dernières décennies (2001-2010/2011-2020) sur la station de Bourg-Saint-Maurice (865 m) (Crédits : Météo-France – Traitement : AGATE).

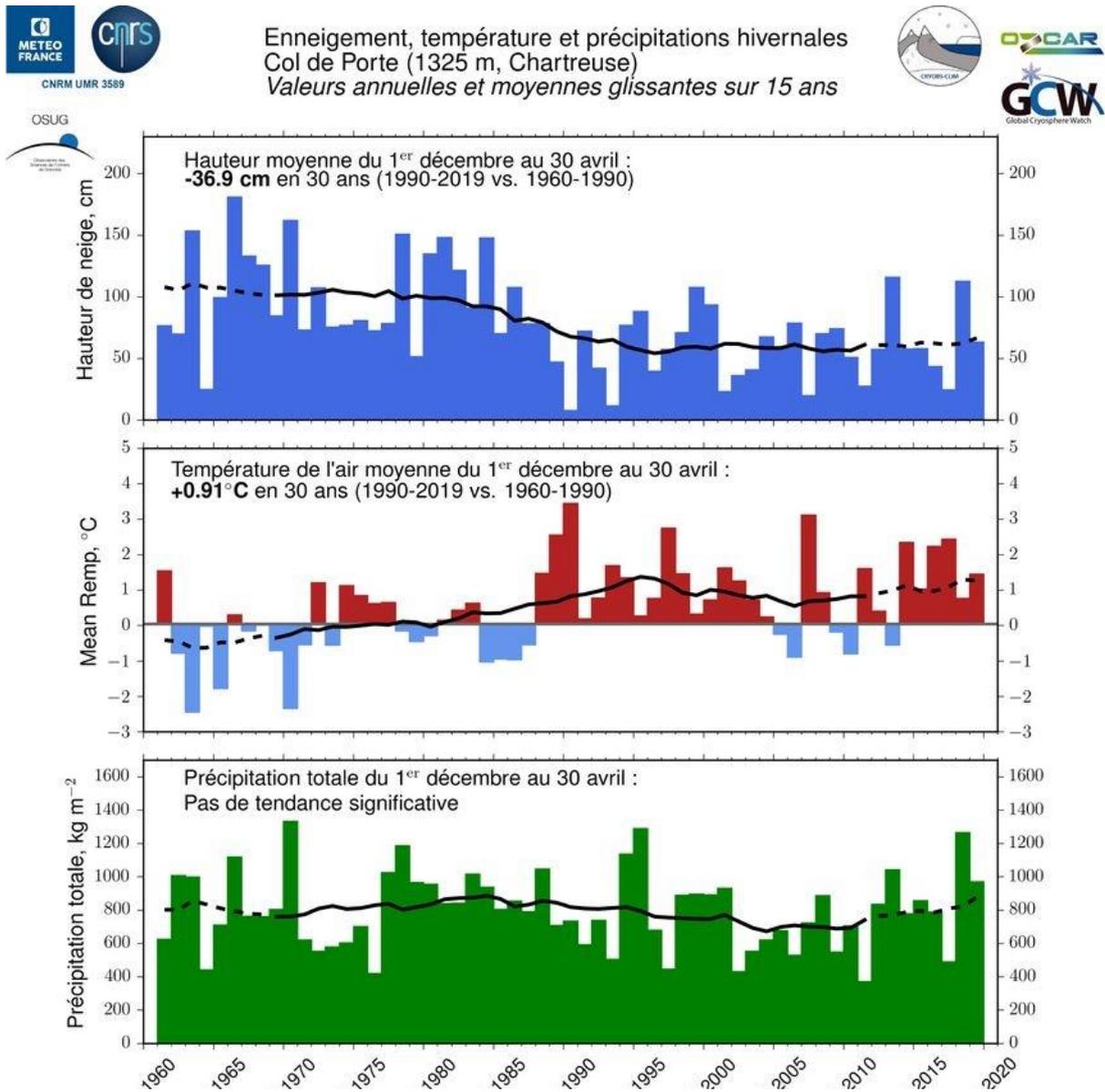


Annexe 10 : Ecart des cumuls de neige (en mars-avril) de 1960 à 2021 par rapport à la moyenne 1960-2021 dans les Alpes du Nord (cumul des 3 stations Megève, Peisey-Nancroix et Bessans situées entre 1080 m et 1715 m d'altitude) (Crédits : Météo-France – Traitement : AGATE).



Tendance 1960-2021 : trait linéaire noir ; Moyenne mobile sur 10 ans : courbe noire en tireté.

Annexe 11 : Hauteur moyenne de neige (en cm), température de l'air (en °C par rapport à la moyenne 1960-2020) et précipitations (cumul en kg/m²) de 1960 à 2020 (décembre à avril) sur la station du Col de Porte (Chartreuse - 1325 m) (Crédits : Météo-France, CEN, CNRS).



Moyenne mobile sur 15 ans : courbe noire et en tireté.

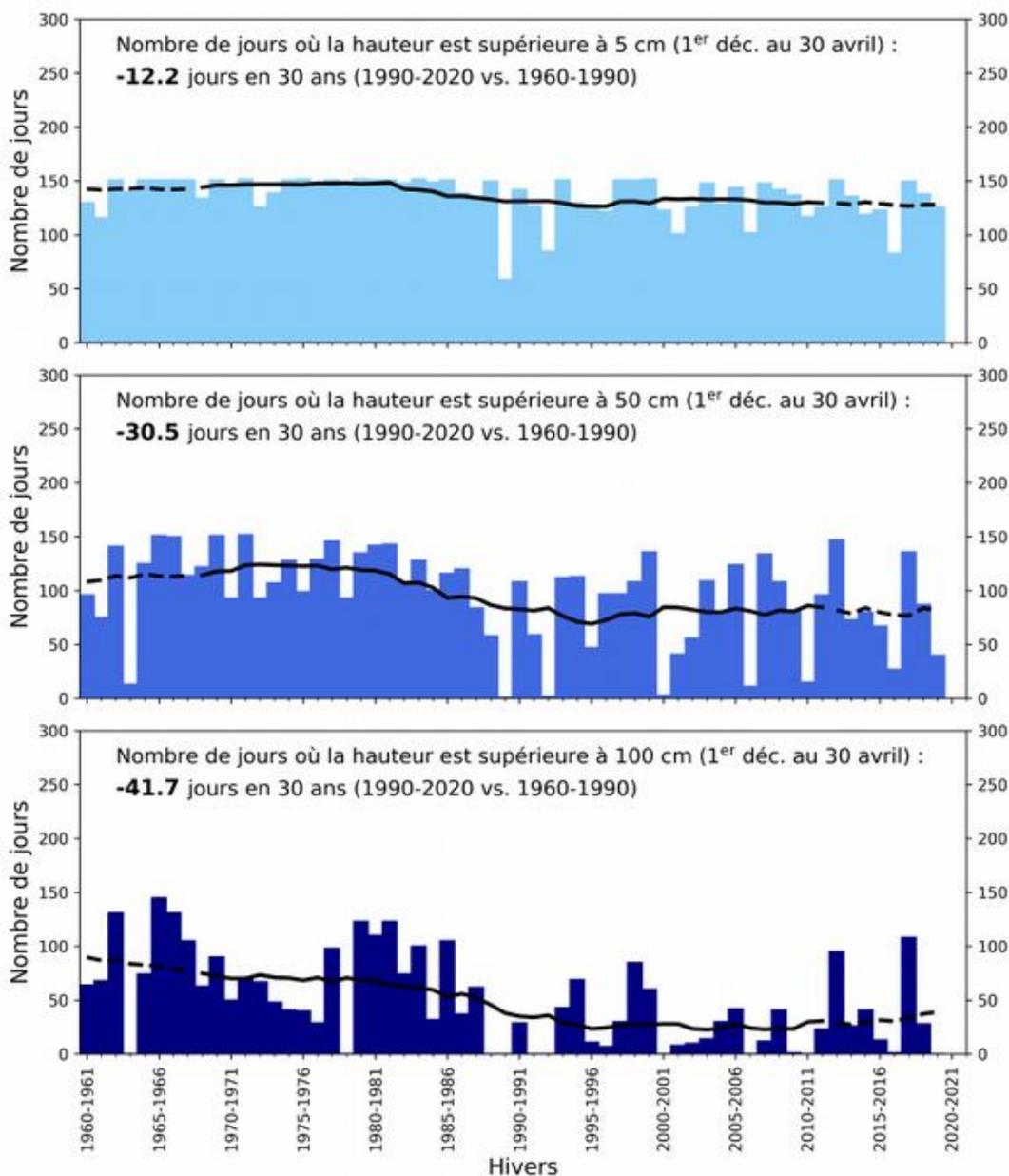
Annexe 12 : Nombres de jours entre 1960 et 2020 (décembre-avril) où la hauteur de neige est supérieure à 5 cm (courbe du haut), à 50 cm (courbe du milieu) et à 100 cm (courbe du bas) sur la station du Col de Porte (Chartreuse - 1325 m) (Crédits : Météo-France, CEN, CNRS).



Enneigement au Col de Porte (1325 m, Chartreuse)

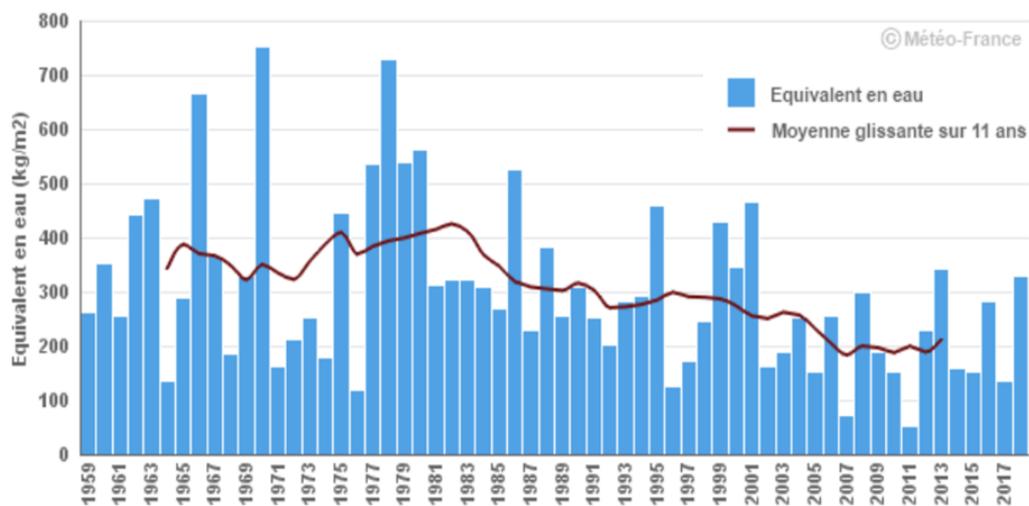


Valeurs annuelles et moyennes glissantes sur 15 ans



Moyenne mobile sur 15 ans : courbe noire et en tireté.

Annexe 13 : Equivalent en eau du manteau neigeux (en kg/m²) au 1^{er} mai de 1959 à 2018 dans les Alpes du Nord (Crédits : Météo-France).



Annexe 14 : Evolution de la surface enneigée en Savoie sur certains mois au cours de la période 2000-2020.

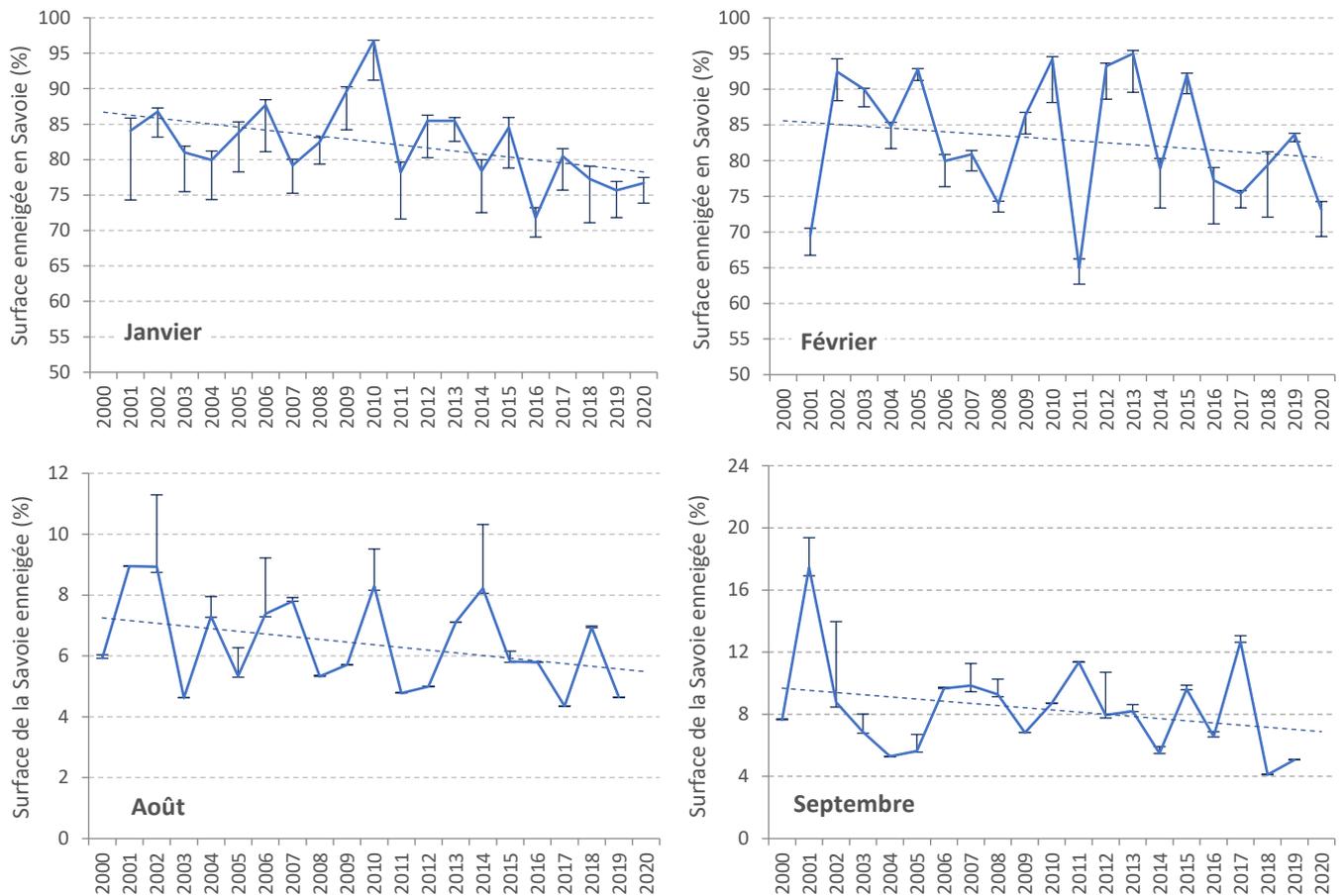


Figure 78 : Evolution de la surface enneigée en Savoie (en %) sur les mois de janvier, février (en haut) et août, septembre (en bas) sur la période 2000-2020 (Méthode des données sans nuages > à 15 %) (Crédits : NASA (MODIS) – Traitement : CD73).

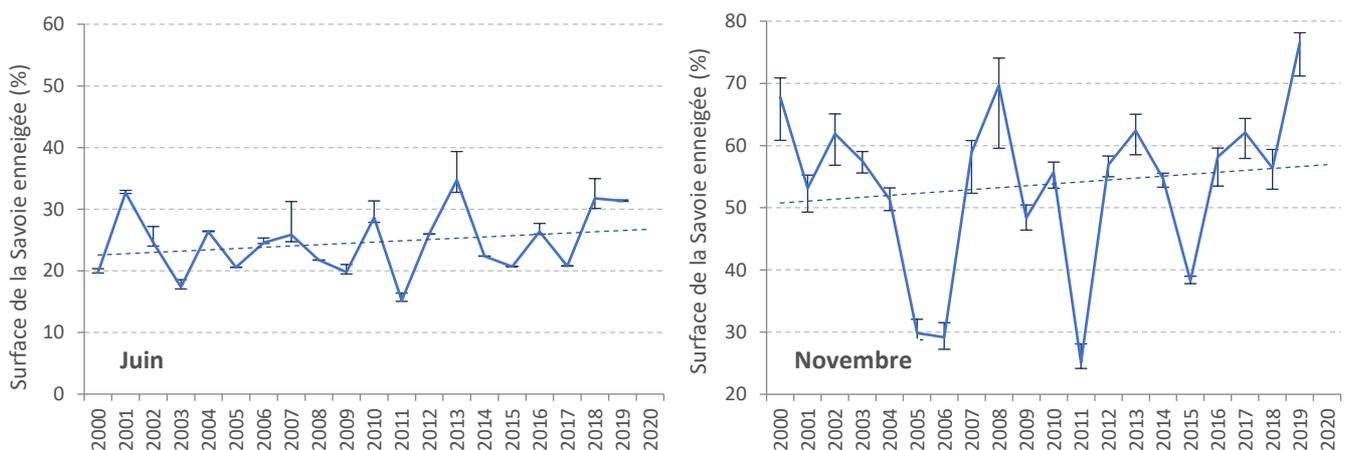


Figure 79 : Evolution de la surface enneigée en Savoie (en %) sur les mois de juin et novembre sur la période 2000-2020 (Méthode des données sans nuages > à 15 %) (Crédits : NASA (MODIS) – Traitement : CD73).

Annexe 15 : Evolution du nombre de semaines où la couverture neigeuse en Savoie est inférieure à un certain seuil.

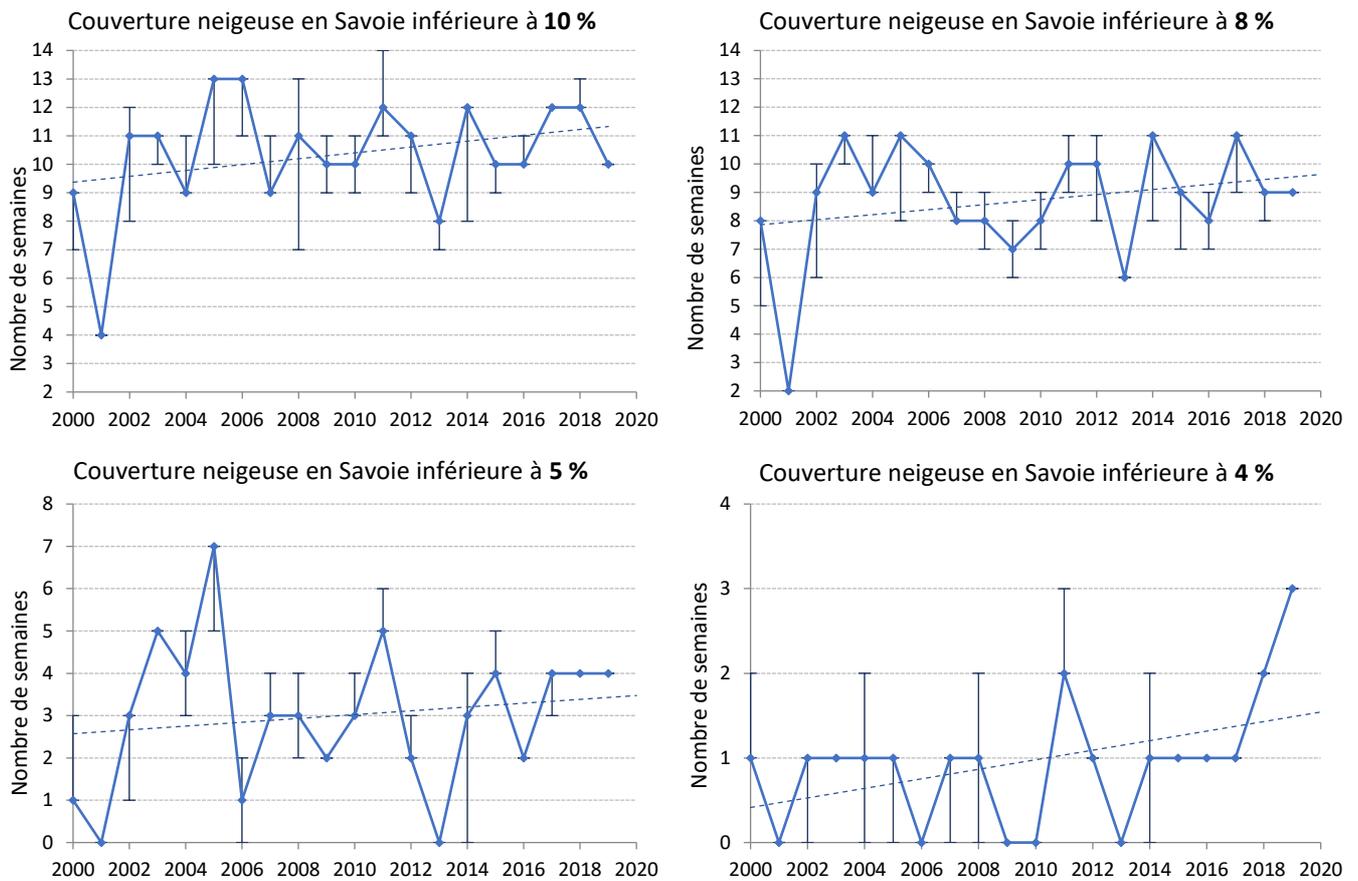


Figure 80 : Nombre de semaines par an où la couverture neigeuse en Savoie est inférieure à 10 % (en haut à gauche), à 8 % (en haut à droite), à 5 % (en bas à gauche) et 4% (en bas à droite) entre 2000 et 2019 (Crédits : NASA (MODIS) – Traitement : CD73).

Annexe 16 : Variation d'épaisseur (en m équivalent eau) des glaciers français des Pyrénées (Ossoue) et des Alpes (Saint-Sorlin, Gébroulaz, Argentière et la Mer de Glace) de 1907 ou 2003 à 2015 (Base 0 en 2002) (Crédits : Institut des Géosciences de l'Environnement – Traitement : ONERC).



Annexe 17 : Définition de la variabilité multi-décennale atlantique (AMV).

La variabilité multi-décennale atlantique (AMV) également connue sous le nom d'oscillation atlantique multi-décennale (AMO), est une variation de la température de surface de la mer observée dans le Nord de l'Océan Atlantique. Cette variation s'étend sur plusieurs décennies.

L'indice AMO est défini par la moyenne glissante sur 10 ans de la température de surface de l'Atlantique Nord. La Figure 81 montre une cyclicité de cet indice. Au cours des périodes 1902-1926 et 1963-1995, la température de surface de l'Atlantique Nord était plus froide qu'au cours des périodes 1855-1902, 1926-1963 et 1995 à aujourd'hui.

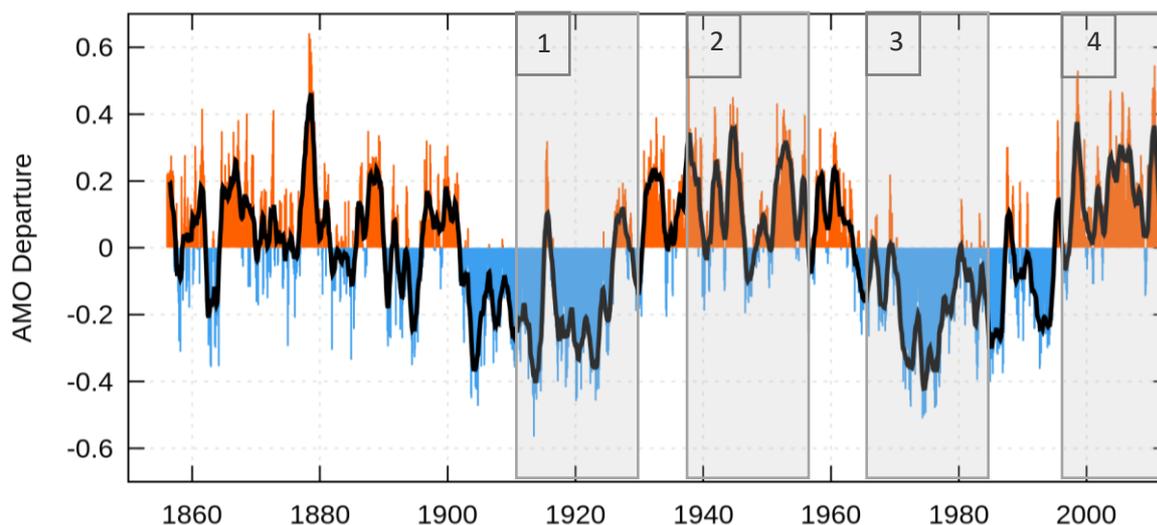


Figure 81 : Valeurs mensuelles de l'indice de la variabilité multidécennale atlantique (AMV) entre 1856 et 2013 (Crédits : US National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA).

Les rectangles grisés symbolisent les 4 périodes d'analyses mentionnées à la Figure 82 (p112). Elles correspondent alternativement à des phase négatives et positives de l'indice AMV.

1 : 1910 - 1930 ; 2 : 1938 - 1958 ; 3 : 1965 - 1985 ; 4 : 1995 - 2012.

Annexe 18 : Variation multi-décennale des débits des cours d'eau de France (Boé et Habets (2014)).

Boé et Habets (2014) ont analysé les débits journaliers de 38 stations hydrologiques ayant une chronique de données supérieure à 70 ans. Ils ont observé à l'échelle de la France une variabilité multi-décennale des débits des rivières liée à la variabilité multi-décennale climatique.

La Figure 82 extraite des travaux de Boé et Habets (2014), illustre cette cyclicité multi-décennale des débits entre 1910 et 2012, bien marquée à l'échelle annuelle (e) et au printemps (b) (moindre chevauchement des boîtes à moustaches). La faible différence dans les résultats entre l'ensemble des stations étudiées (E) et celles peu ou pas influencées (N) pour les 4 périodes d'analyses est à relever. Ceci indique que les stations fortement influencées ne sont pas responsables des variations multi-décennales observées sur l'ensemble du jeu de données.

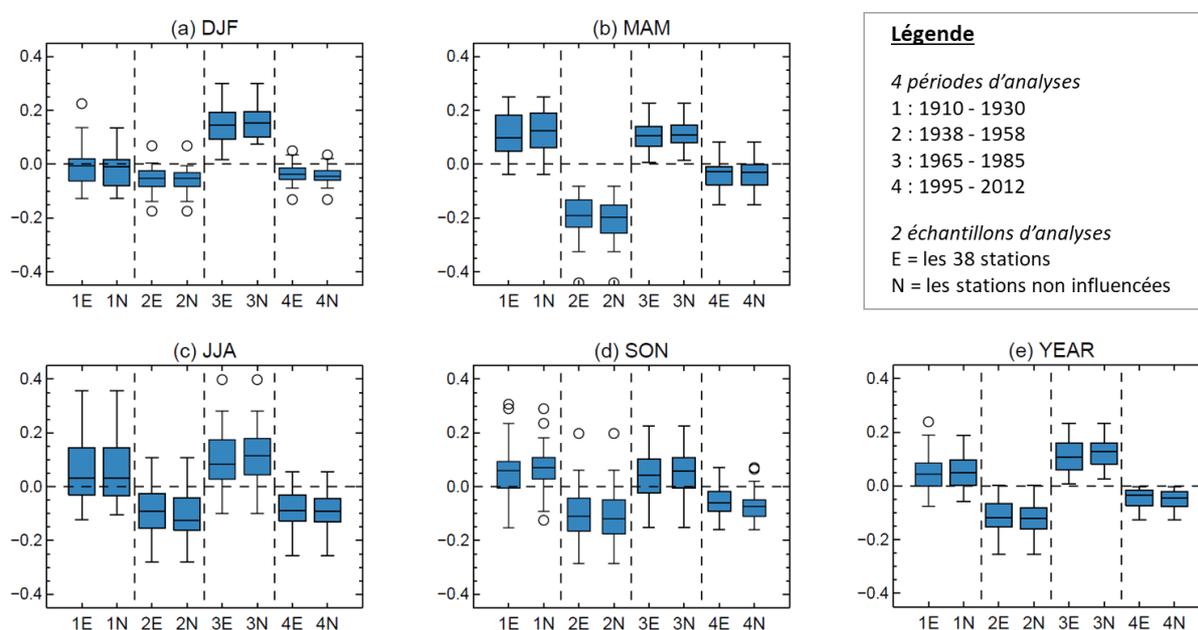


Figure 82 : Anomalies moyennes des débits par rapport au débit moyen calculé sur la plus longue période possible (ratio) pour chaque station pour 4 périodes d'analyse à l'échelle saisonnière [(a) hiver, (b) printemps, (c) été, (d) automne] et annuelle (e) (Crédits : Boé & Habets, 2014).

Les boîtes à moustaches sont délimitées par le 1^{er} quartile et 3^{ème} quartile. La ligne intermédiaire correspond à la médiane. Les valeurs minimales et maximales forment les moustaches tandis que les cercles représentent les valeurs extrêmes.

Annexe 19 : Tendances observées sur les régimes hydrologiques de l'arc Alpin sur une période d'au moins 40 ans (projet AdaptAlp ; Bard *et al.*, 2012)

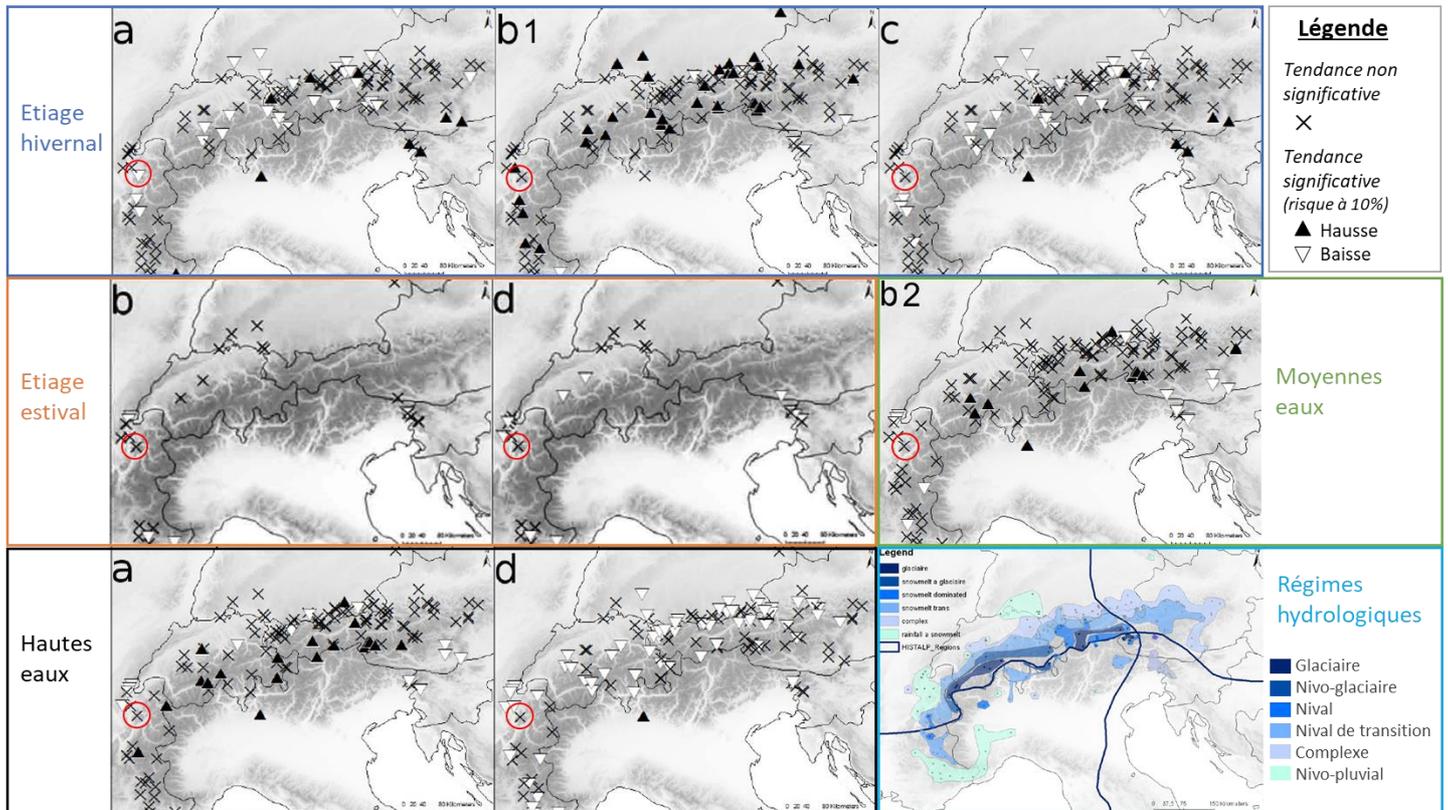


Figure 83 : Tendances observées des différents indices hydrologiques (a = volume total ; b1 = valeur du débit minimum ; b2 = débit moyen annuel ; c = durée ; d = date de début) à l'échelle des Alpes pour différentes périodes de l'année (étiages hivernal et estival, moyennes et hautes eaux) (Crédit : Bard *et al.*, 2011, 2012). Le cercle rouge cible la station hydrologique du Chéran à Allèves en Savoie.

Annexe 20 : Liste et description des indicateurs déployés pour l'analyse quantitative des cours d'eau savoyards.

Thématique de l'analyse des débits	Donnée source	Indicateur	Explications / commentaires sur l'indicateur	Donnée annuelle (évol. Inter-annuelle)	Moyenne saisonnière	Moyenne par décennie	Moyenne par période de réf.	Moyenne glissante 3 ans	Moyenne glissante 5 ans	Moyenne glissante 10 ans
Débits moyens annuels	QMA	Evolution du QMA sur la période étudiée	Vision globale de l'état hydrologique du cours d'eau au pas de temps annuel	X	X			X	X	X
Débits moyens mensuels	QMM	Evolution des QMM sur la période étudiée	Vision globale de l'état hydrologique à l'échelle mensuelle	X				X	X	X
		Evolution de la part mensuelle dans le QMA	Mise en évidence d'évènements exceptionnels (crues, étiage), décalage de la période de fonte. Permet de s'affranchir des effets liés à la variabilité interannuelle de l'hydrologie (années sèches, années humides)	X				X	X	X
		Répartition sur l'année des débits moyens mensuels	Repérer une éventuelle évolution du régime hydrologique (décalage de la période de fonte, importance de la période d'étiage...)			X	X			
Débits classés	QMJ	Méthode 1 : classement de tous les QMJ par période	Méthode fine qui zoome sur les extrêmes (mise en évidence d'étiages, de crues exceptionnelles)			X	X			
		Méthode 2 : classement de tous les QMJ par année sur une période donnée et moyenne des QJM classés annuels	Méthode qui donne une vision d'ensemble ; lissage de la courbe du fait de la moyenne périodique			X	X			
Débits de basses eaux et d'étiage	QMJ	Nb de jours par an où le QMJ est inférieur à un débit seuil	Analyse effectuée sur plusieurs seuils ; la valeur du QMNA5 a été retenue in fine car couramment utilisée comme descripteur de l'étiage. Evolution de l'importance des étiages	X	X			X	X	X
	VCN10	Evolution des VCN10 annuels et mensuels	Evaluer la rigueur des étiages au cours de la période étudiée	X						
Débits de hautes eaux et de crues	QMJ	Nb de jours par an où le QMJ est supérieur à un débit seuil	Analyse effectuée sur plusieurs seuils ; la valeur d'un retour annuelle a été retenue. Evolution de l'importance des crues	X	X			X	X	X
	QIXA	Débit instantané maximal annuel	Evaluer l'évolution de l'intensité des crues	X						
Influence de la neige	QMJ	Différence du QMJ j1 et QMJ j30-31 mensuel	Définir l'inflection de la courbe des débits des mois de fonte (mai à sept.) au cours de la période étudiée	X						
		Différence du QMJmini et QMJmaxi mensuel		X						

Annexe 21 : Débit moyen de janvier du Chéran et cumul des précipitations de janvier dans les Bauges sur la période 1950-2019.

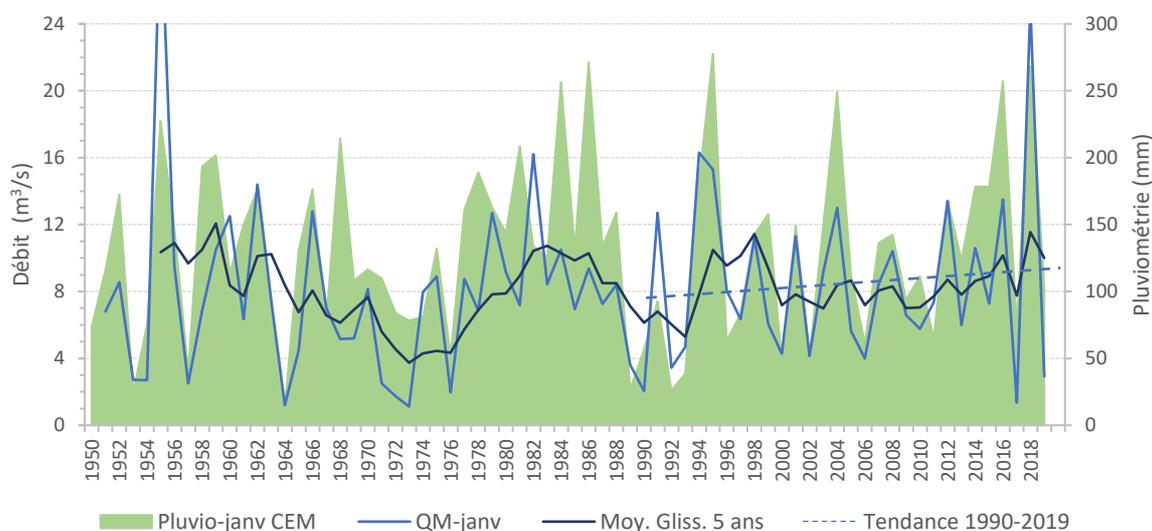


Figure 84 : Débit moyen du Chéran à Allèves et pluviométrie moyenne modélisées sur la maille (20 x 30 km) WS 3016 (Bauges aval) par le ECMWF, définis pour le mois de janvier sur la période 1950-2019 (Crédits : DREAL ARA, Météo-France, ECMWF – Traitement : CD 73).

Les lignes pointillées correspondent à la tendance linéaire du débit moyen de janvier sur la période 1990-2019.

Annexe 22 : Evolution des débits moyens mensuels des mois de janvier, juin, août et octobre du Fier à Dingy-Saint-Clair et du Chéran à Allèves sur la période 1905-2019.

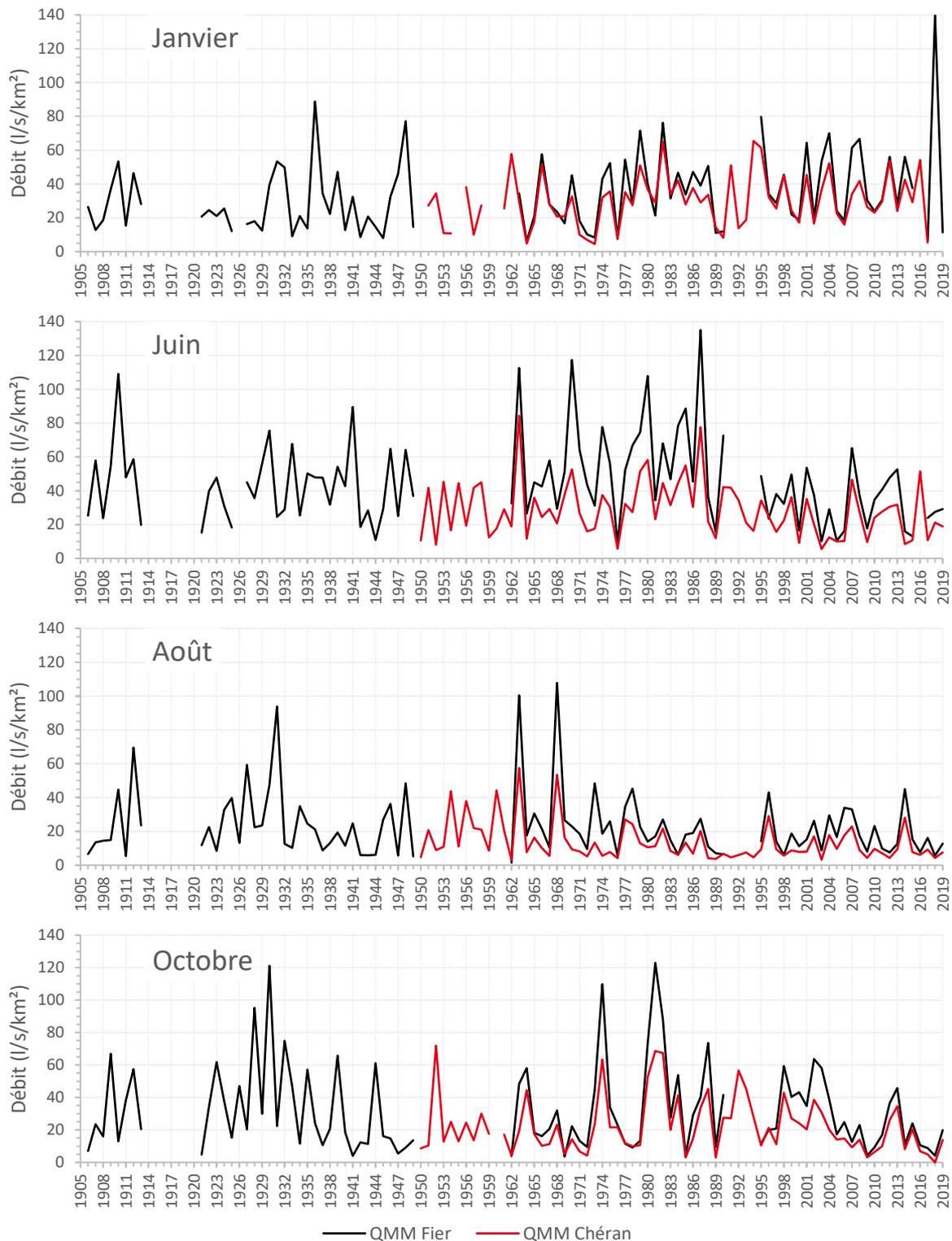


Figure 85 : Débit moyen mensuel sur la période 1905-2019 du Fier à Dingy-Saint-Clair et du Chéran à Allèves pour les mois de janvier, juin, août et octobre (Crédits : DREAL ARA – Traitement : CD 73).
Les débits moyens mensuels des mois d'hiver de ces deux cours d'eau ont de plus grandes similitudes que ceux des mois d'été.

Annexe 23 : Evolution des débits moyens annuels des 4 cours d'eau étudiés sous influence pluviale et/ou nivale.

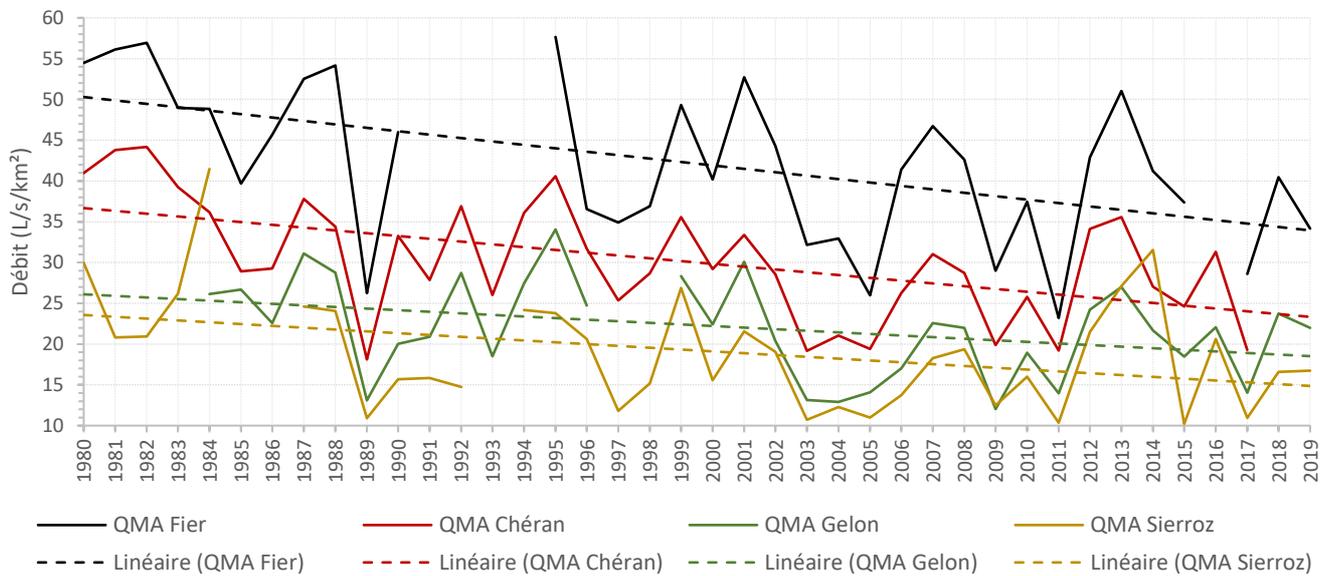


Figure 86 : Focus sur la période 1980-2019 des débits moyens annuels du Fier à Dingy Saint Clair, du Chéran à Allèves, du Gelon à la Rochette et du Sierroz à Aix-les-Bains (Crédits : DREAL ARA – Traitement : CD 73).
Chaque ligne pointillée correspond à la tendance linéaire de la chronique de débit moyen annuel sur la période 1980-2019.

Annexe 24 : Evolution du nombre de jours où le débit moyen journalier est inférieur au QMNA5 et supérieur à un débit de hautes eaux (retour annuel) pour les 4 cours d'eau étudiés sous influence pluviale et/ou nivale.

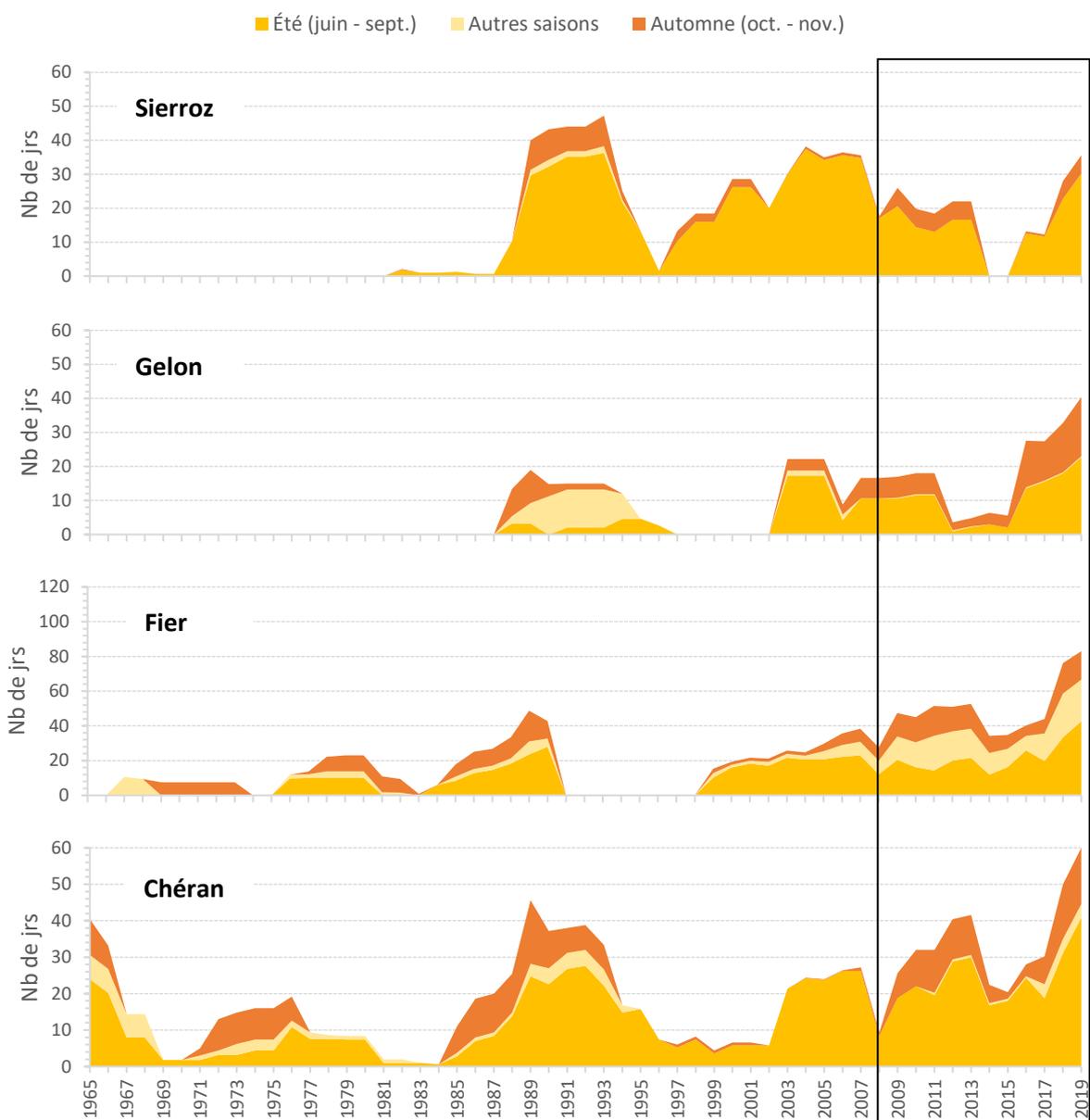


Figure 87 : Moyennes glissantes sur 5 ans (aires superposées) des nombres de jours annuels où le débit journalier est inférieur au QMNA5 pour le Sierroz à Aix-les-Bains, le Gelon à La Rochette, le Fier à Dingy-Saint-Clair et le Chéran à Allèves (Crédits : DREAL ARA – Traitement : CD 73).

La valeur du QMNA5 pour chaque cours d'eau est donnée dans le tableau ci-dessous :

	Sierroz	Gelon	Fier	Chéran
QMNA5 (m ³ /s)	0,21	0,27	1,37	1,08

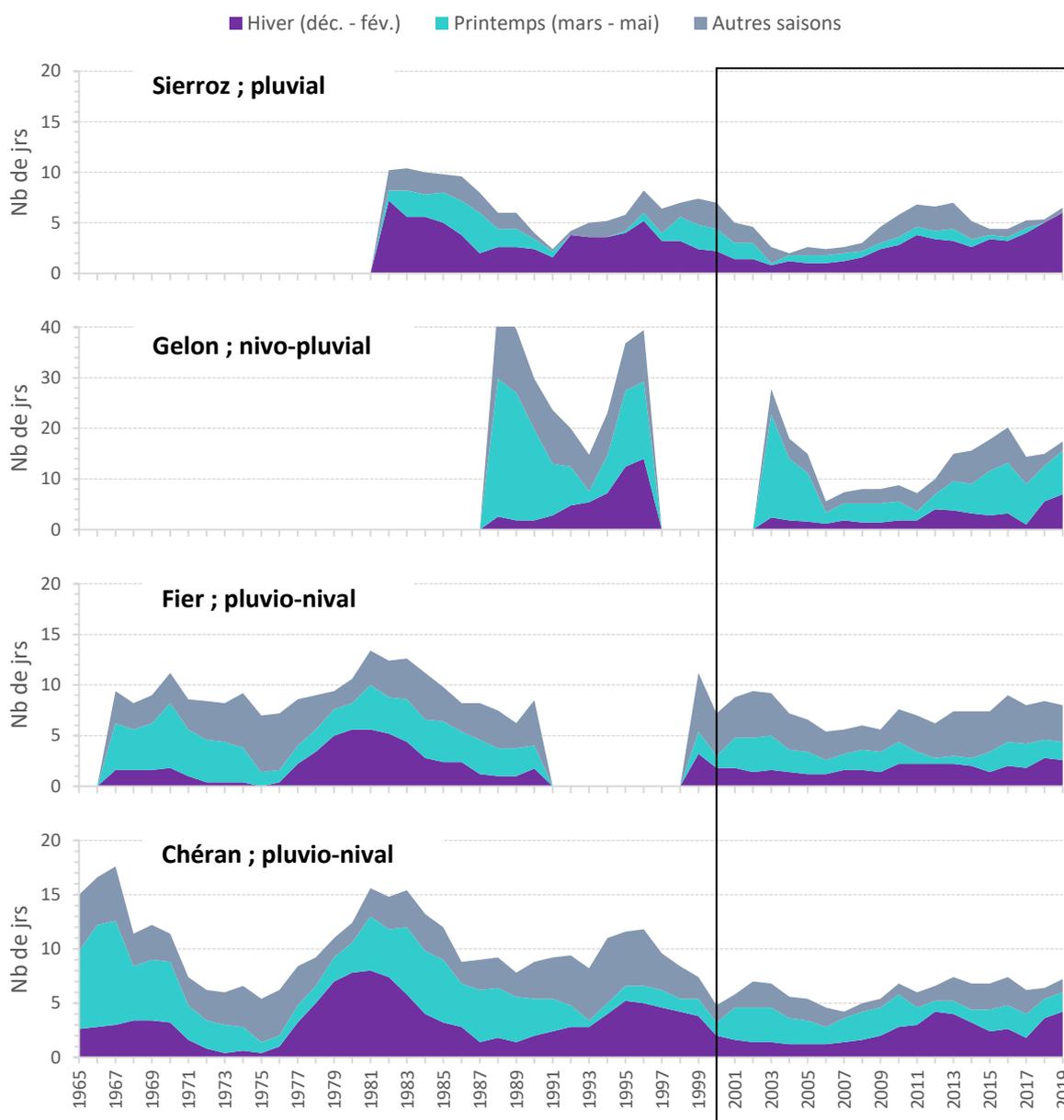


Figure 88 : Moyennes glissantes sur 5 ans (aires superposées) des nombres de jours annuels où le débit journalier est supérieur à un débit de hautes eaux pour le Sierroz à Aix-les-Bains, le Gelon à La Rochette, le Fier à Dingy-Saint-Clair et le Chéran à Allèves (Crédits : DREAL ARA – Traitement : CD 73).

La valeur du débit de hautes eaux choisie pour l'analyse et celle de la crue biennale sont données pour chaque cours d'eau dans le tableau ci-dessous :

	Sierroz	Gelon	Fier	Chéran
Hautes eaux (m ³ /s)	12,5	3,5	45	30
Crue biennale en QMJ (m ³ /s)	25,3	7,23	92,1	61,2

Annexe 25 : Evolution des débits moyens mensuels par décennie pour le Gelon à La Rochette et le Fier à Dingy-Saint-Clair.

Les mois de décembre et janvier historiquement au cœur de l'étiage hivernal n'enregistrent pas au cours de la dernière décennie la valeur la plus faible de débit mensuel. Cette dernière est observée au mois de février.

Les cours d'eau sous influence nivale voient leurs débits printaniers alimentés par la fonte de la neige. Le pic de fonte se situe au mois de mai sur le Gelon et aux mois d'avril ou mai sur le Fier (cf. points noirs sur la Figure 89 et la Figure 90).

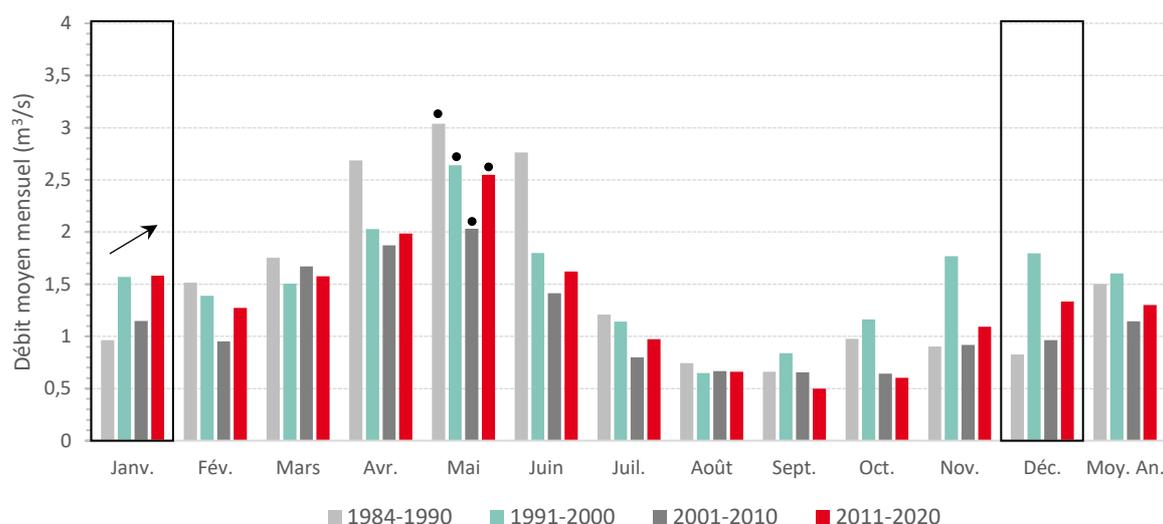


Figure 89 : Evolution par décennie des débits moyens mensuels du Gelon à La Rochette (Crédits : DREAL ARA – Traitement : CD 73).

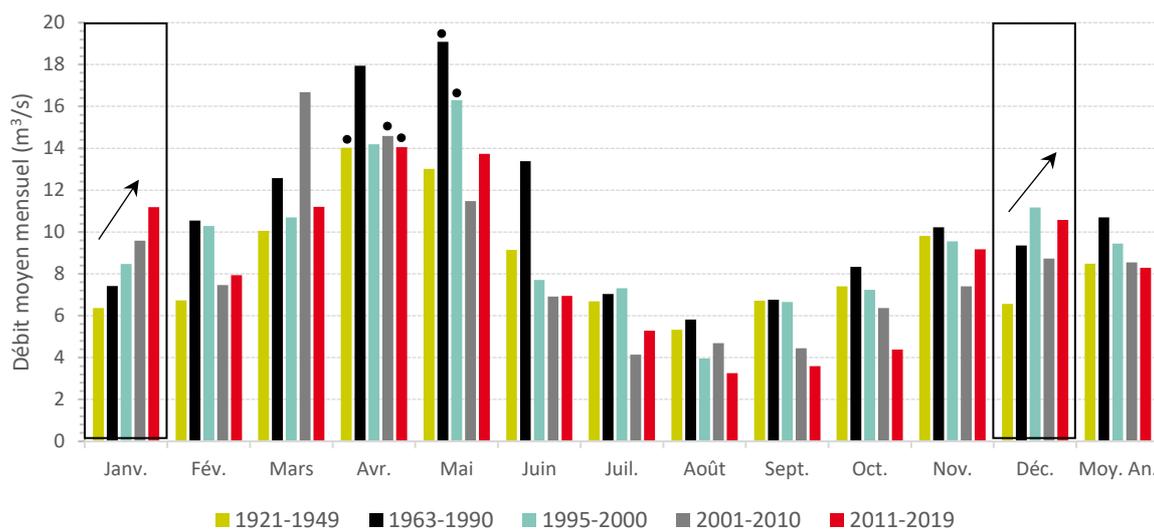


Figure 90 : Evolution par décennie des débits moyens mensuels du Fier à Dingy-Saint-Clair (Crédits : DREAL ARA – Traitement : CD 73).

Les points noirs désignent le mois du pic de fonte pour chaque décennie.

Annexe 26 : Evolution des débits minima sur 30 jours consécutifs (VCN30) pour les 4 cours d'eau étudiés sous influence pluviale et/ou nivale.

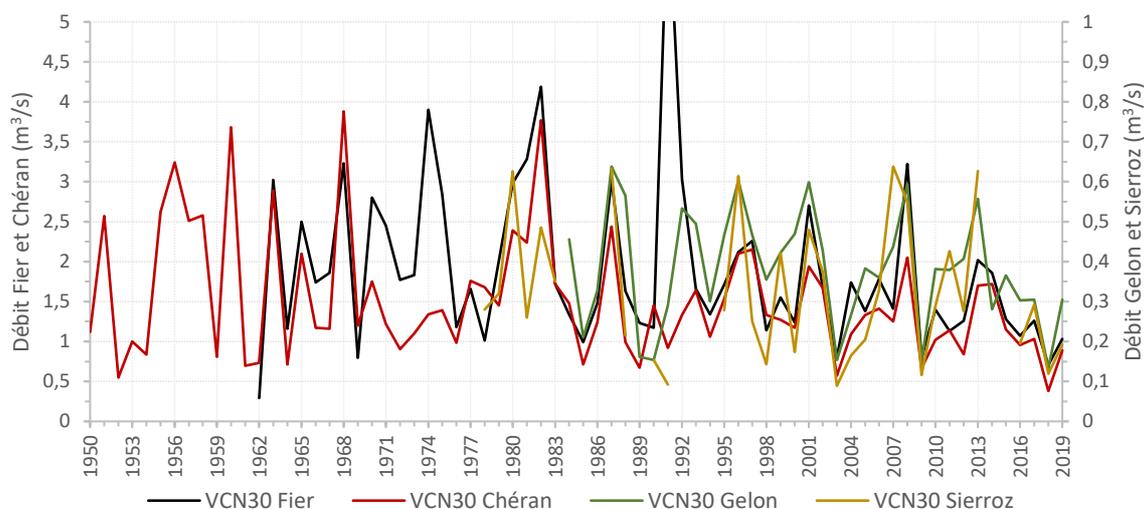


Figure 91 : Evolution des débits minima sur 30 jours consécutifs (VCN30) à l'échelle annuelle des 4 cours d'eau étudiés d'altitude inférieure à 600 m, soit le Fier à Dingy-Saint-Clair, le Chéran à Allèves, le Gelon à la Rochette et le Sierroz à Aix-les-Bains (Crédits : DREAL ARA – Traitement : CD 73).

Annexe 27 : Evolution des débits minima sur 10 jours consécutifs (VCN10) au mois de janvier pour les 3 cours d'eau étudiés sous influence nivale.

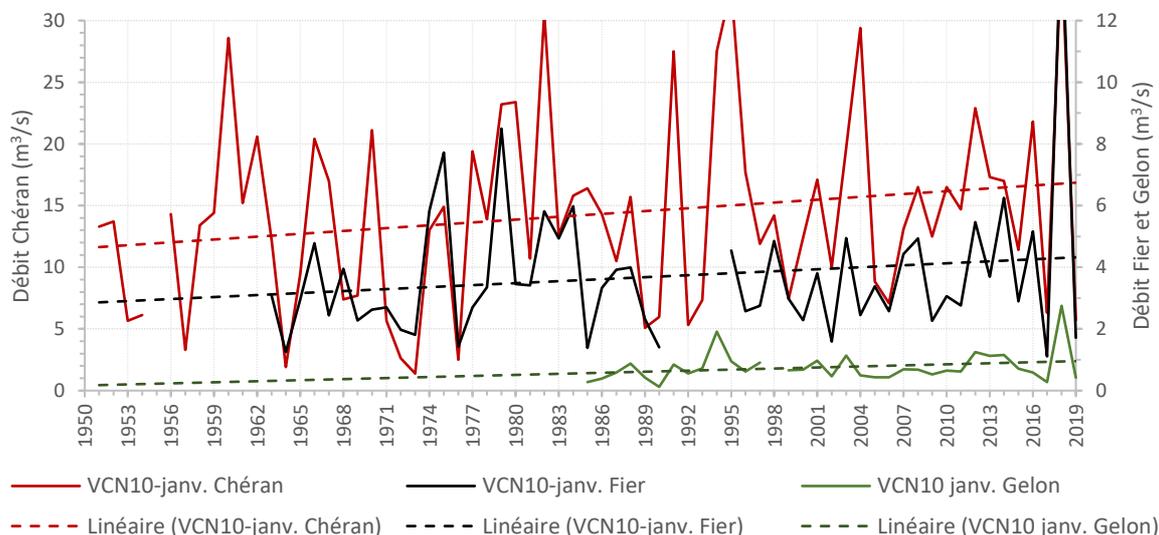


Figure 92 : Evolution des débits minima sur 10 jours consécutifs (VCN10) du mois de janvier des cours d'eau sous influence nivale, soit le Fier à Dingy-Saint-Clair, le Chéran à Allèves et le Gelon à la Rochette (Crédits : DREAL ARA – Traitement : CD 73).

Les lignes pointillées correspondent aux tendances linéaires du VCN10 sur la période 1951-2019.

Annexe 28 : Courbes des débits maxima annuels par décennie pour les 4 cours d'eau étudiés sous influence pluviale et/ou nivale.

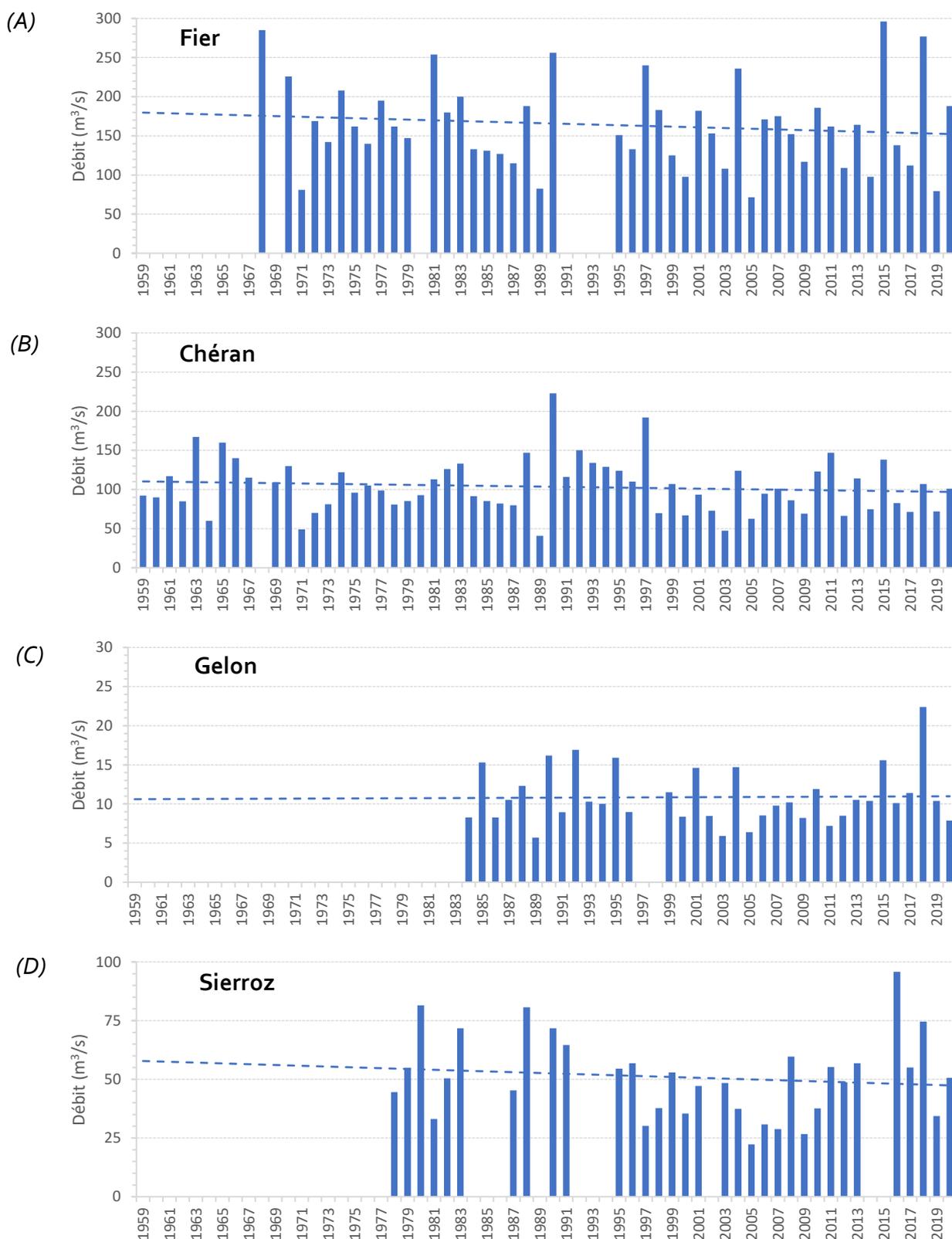


Figure 93 : Courbes des débits maxima journaliers par année pour (A) le Fier à Dingy-Saint-Clair, (B) le Chéran à Allèves, (C) le Gelon à la Rochette et (D) le Sierroz à Aix-les-Bains (Crédits DREAL ARA – Traitement CD 73). La courbe bleue en pointillé correspond à la tendance du jeu de données.

Annexe 29 : Fréquence des hautes eaux et étiages sur l'Isère à Val d'Isère.

Le débit moyen annuel de l'Isère à Val d'Isère enregistre une légère diminution depuis les années 80. Depuis cette date une diminution des débits de hautes eaux en été est observée (Figure 94). Ce constat est également bien visible sur la courbe des débits classés (Figure 95). Les débits de 2 m³/s à 6 m³/s sont moins représentés au cours de la période 1991-2017 que sur les deux périodes antérieures.

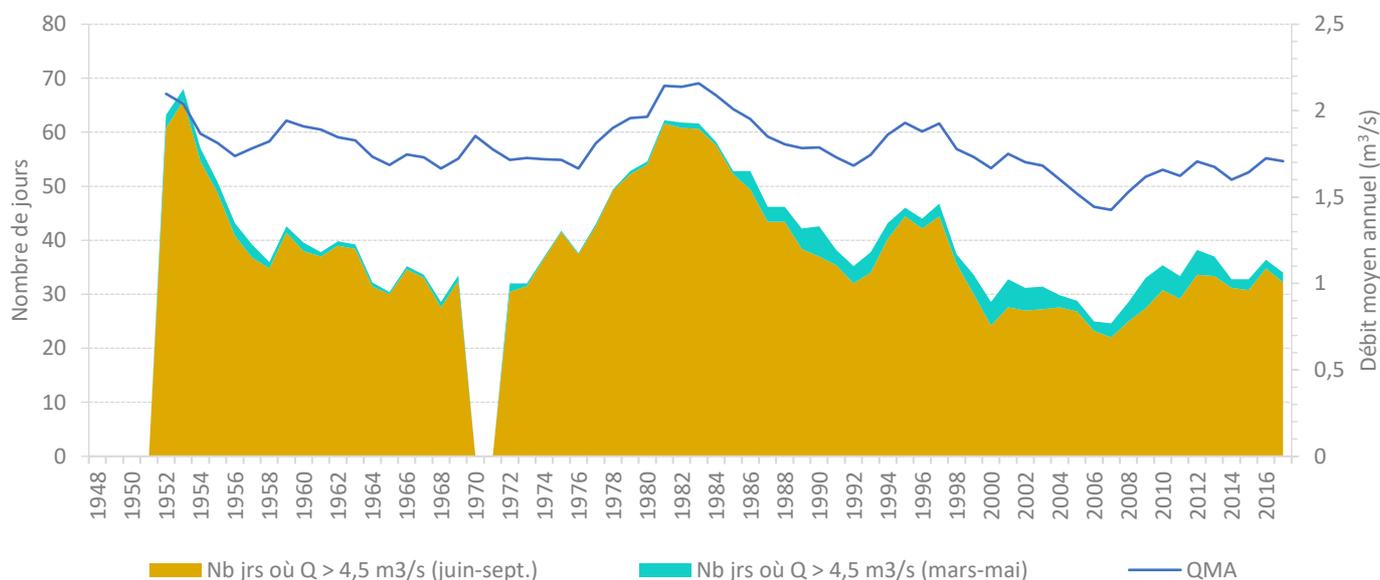


Figure 94 : Moyennes glissantes sur 5 ans (aires superposées) des nombres de jours annuels où le débit journalier est inférieur à 0,33 m³/s (= QMNA₅) et supérieur à 4,5 m³/s (débit de référence de crue biennale = 9,5 m³/s) et du débit moyen annuel (courbe bleue) de l'Isère à Val d'Isère (Crédits : EDF – Traitement : CD 73).

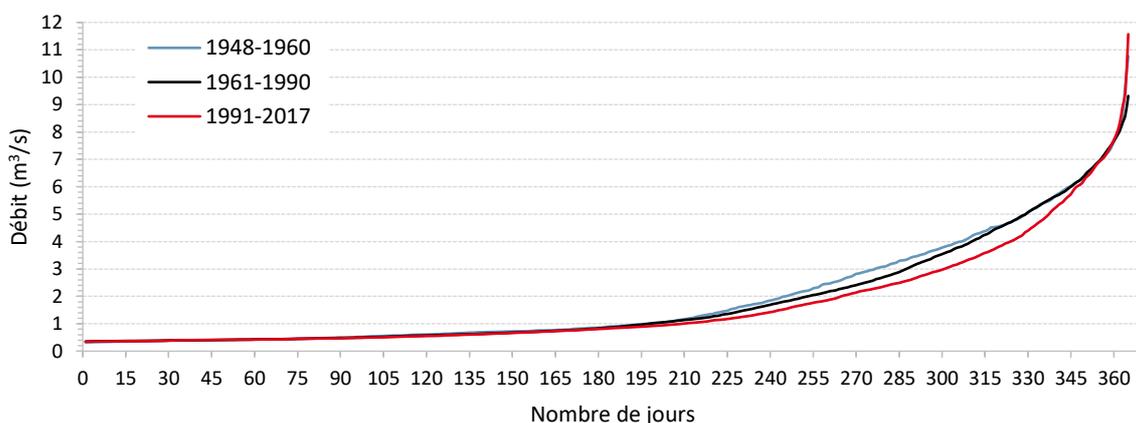


Figure 95 : Courbes des débits moyens journaliers classés par période ; avant 1961, 1961-1990 (période de référence climatique) et 1991-2017 (période récente sous l'influence du changement climatique) (Crédits : EDF – Traitement : CD 73).

Annexe 30 : Répartition des débits moyens mensuels du Doron de Bozel à la Perrière.

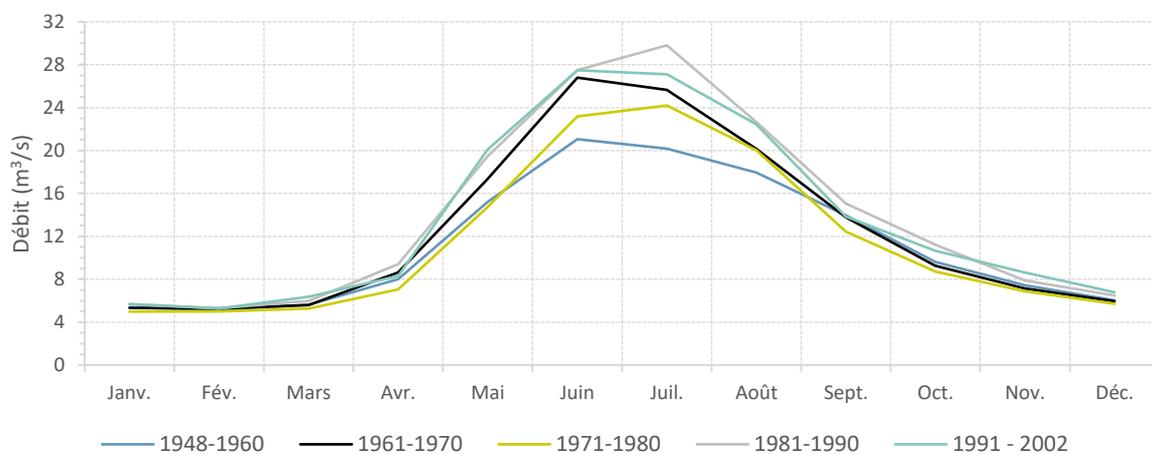


Figure 96 : Débits moyens mensuels par décennie du Doron de Bozel à la Perrière (Crédits : EDF – Traitement : CD 73).

Annexe 31 : Localisation des stations du suivi de la qualité de l'eau des cours d'eau de Savoie au cours de la période 1971-2020.

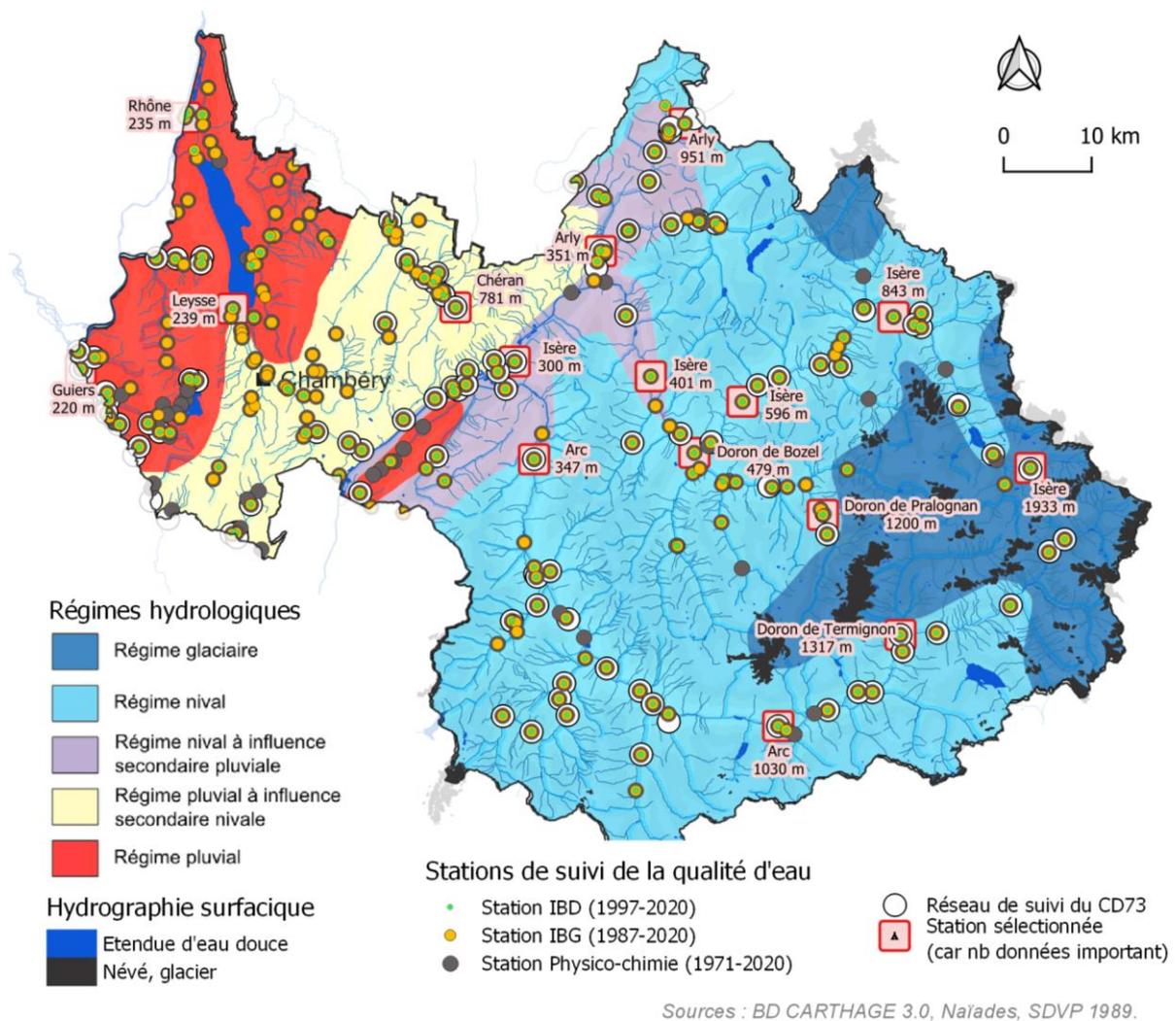


Figure 97 : Localisation des stations du suivi physico-chimique et hydrobiologique des cours d'eau savoyards au cours de la période 1971-2020.

Les données sont issues des bases de données nationales compilées sous « Naiades » (eaufrance) et proviennent de différents partenaires (Agence de l'Eau Rhône Méditerranée et Corse, DREAL ARA, CD 73, CD 38, syndicats, communautés de communes, Voies Navigables de France).

Annexe 32 : Evolution des hauteurs minimales et maximales annuelles de la nappe du Guiers à Saint Joseph-de-rivière sur la période 1982-2020.

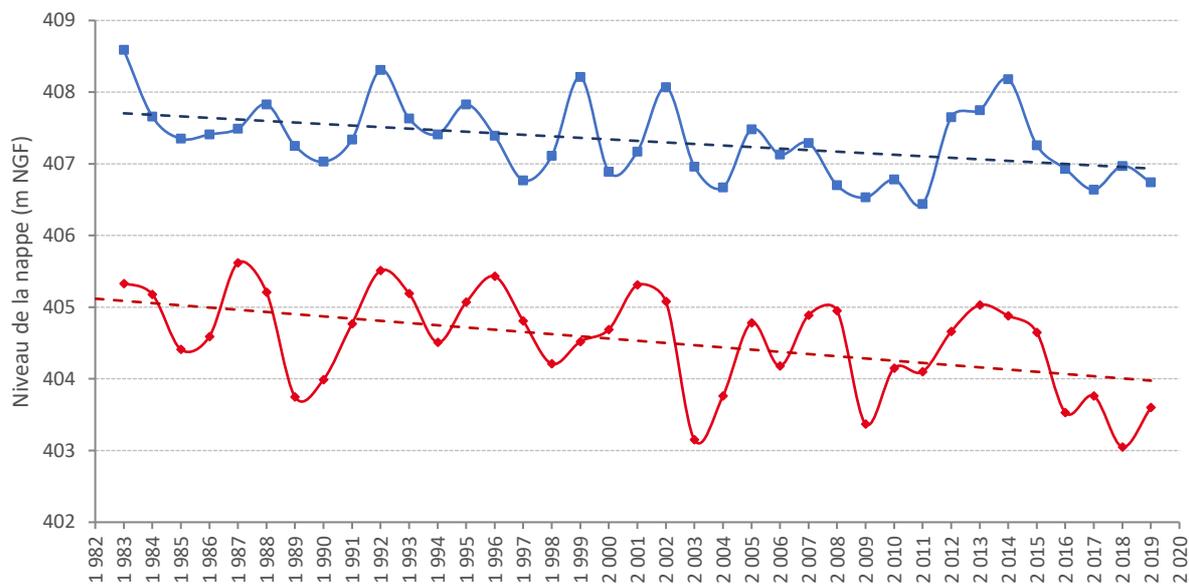


Figure 98 : Evolution des hauteurs minimales (en rouge) et maximales (en bleu) annuelles de la nappe du Guiers entre 1982 et 2020 à Saint-Joseph-de-Rivière (38 – 410 m) (Crédits : DREAL-BRGM – Traitement : CD73).
Les lignes en tireté correspondent aux tendances linéaires des hauteurs minimales et maximales annuelles sur la période 1982-2020.

Annexe 33 : Battement annuel de la nappe du Guiers entre 1982 et 2020 à Saint-Joseph-de-Rivière.

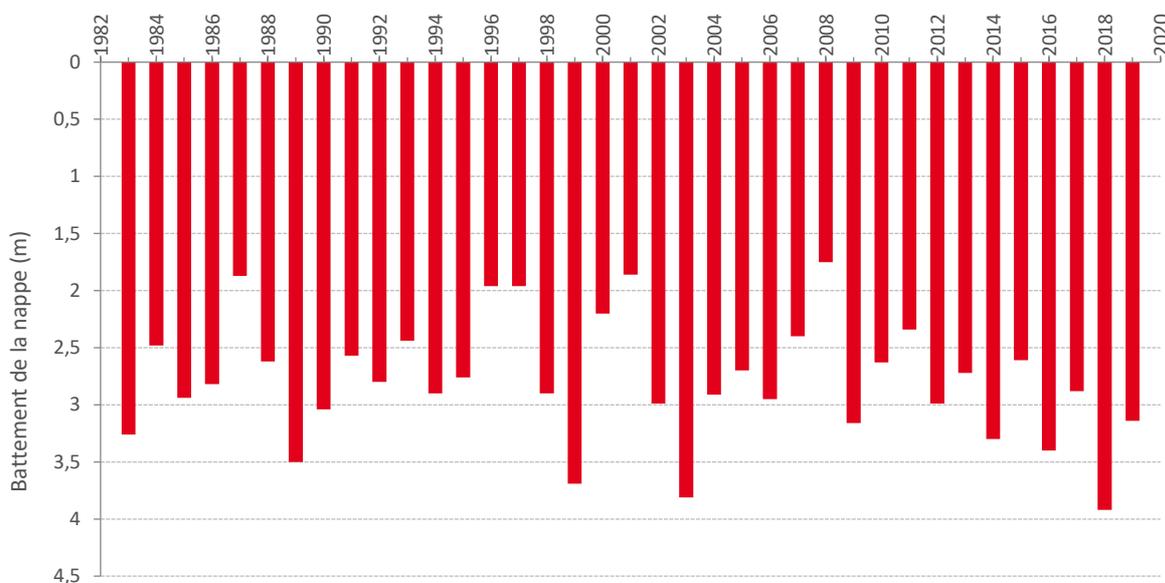


Figure 99 : Battement annuel (écart entre la hauteur minimale et maximale) de la nappe du Guiers entre 1982 et 2020 à Saint-Joseph-de-Rivière (38 – 410 m) (Crédits : DREAL-BRGM – Traitement : CD73).

Annexe 34 : Evolution de la hauteur moyenne en octobre de chaque année de la nappe du Guiers à Saint Joseph-de-rivière sur la période 1982-2020.



Figure 100 : Hauteur moyenne annuelle en octobre de la nappe du Guiers entre 1982 et 2020 à Saint-Joseph-de-Rivière (38 – 410 m) (Crédits : DREAL-BRGM – Traitement : CD73).
Le trait en tireté correspond à la tendance linéaire sur la période 1982-2020.

Annexe 35 : Exemples de sources en Maurienne dont le débit d'étéage évolue à la baisse sur la période 1994-2019.

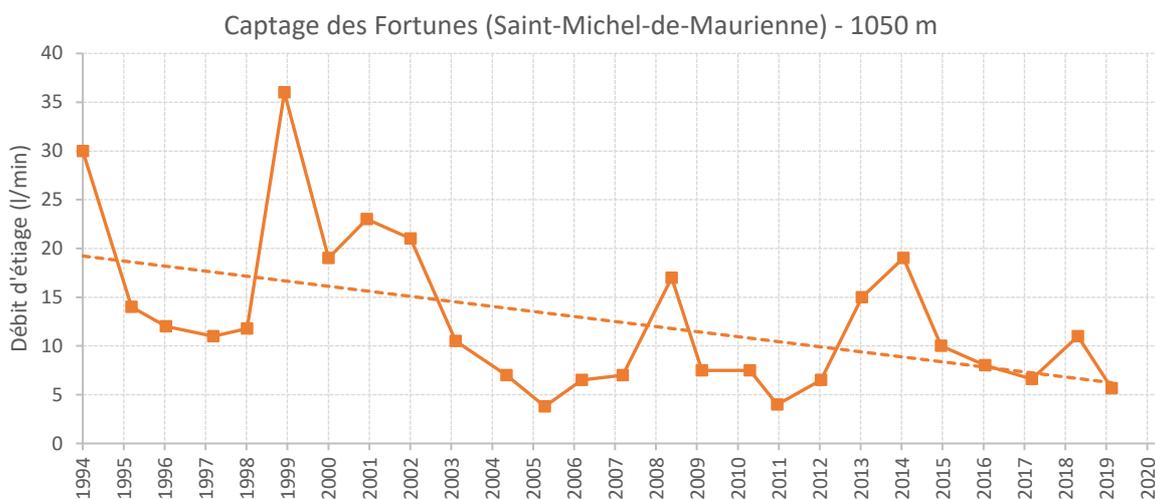


Figure 101 : Débit d'étéage (l/min) entre 1994 et 2019 du captage des Fortunes (Saint-Michel-de-Maurienne – 1050 m) (Crédits : TELT - Traitement : CD73).

La ligne en pointillé correspond à la tendance linéaire sur la période 1994-2019.

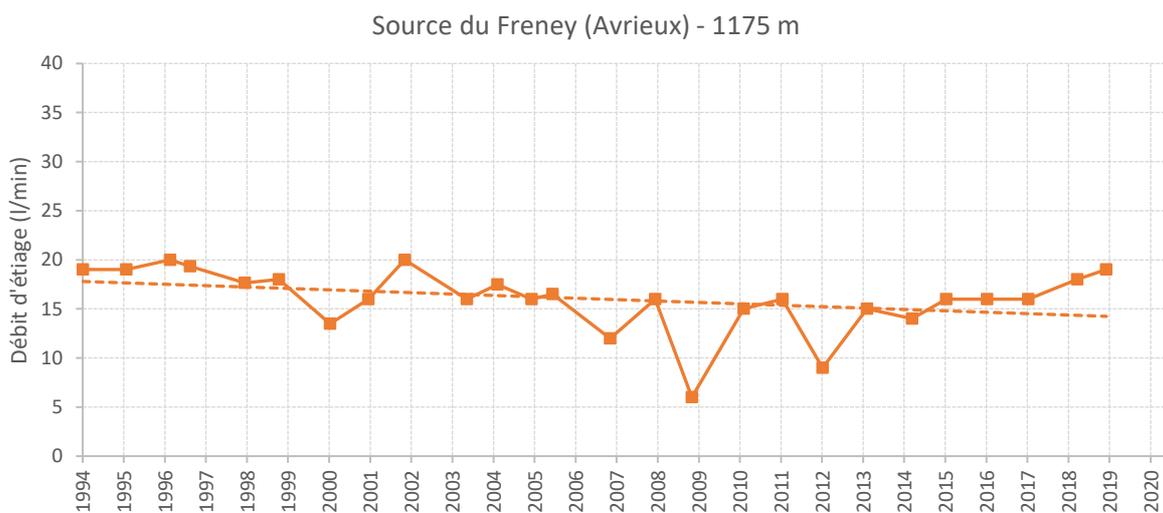


Figure 102 : Débit d'étéage (l/min) entre 1994 et 2019 de la source du Freney (Avrieux – 1175 m) (Crédits : TELT - Traitement : CD73).

La ligne en pointillé correspond à la tendance linéaire sur la période 1994-2019.

Annexe 36 : Exemples de sources en Maurienne dont le débit d'étiage évolue à la hausse sur la période 1994-2019.

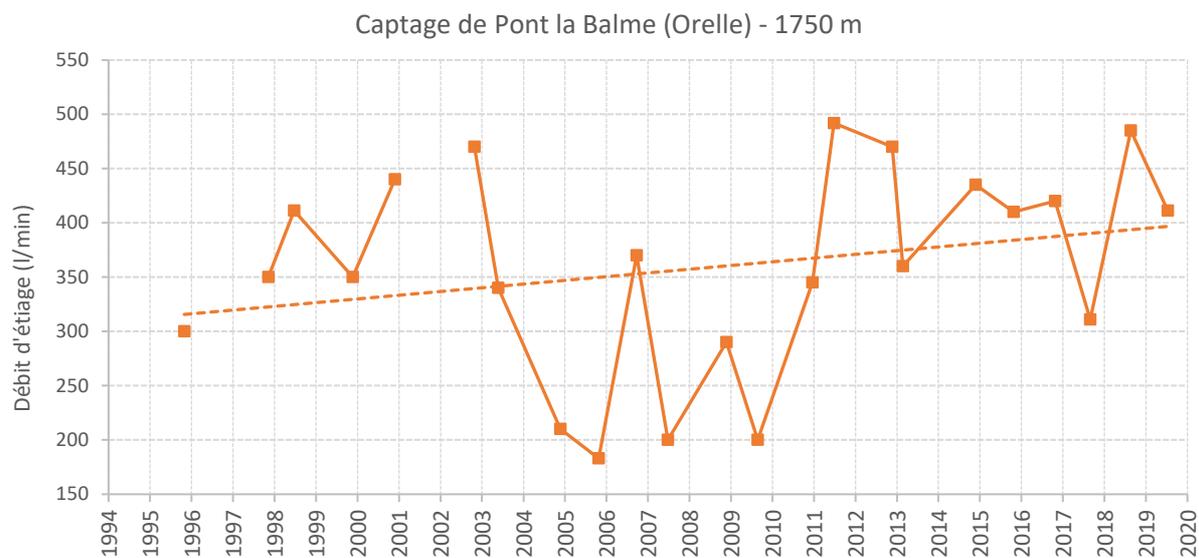


Figure 103 : Débit d'étiage (l/min) entre 1994 et 2019 du captage de Pont la Balme (Orelle – 1750 m) (Crédits : TELT - Traitement : CD73).

La ligne en pointillé correspond à la tendance linéaire sur la période 1994-2019.

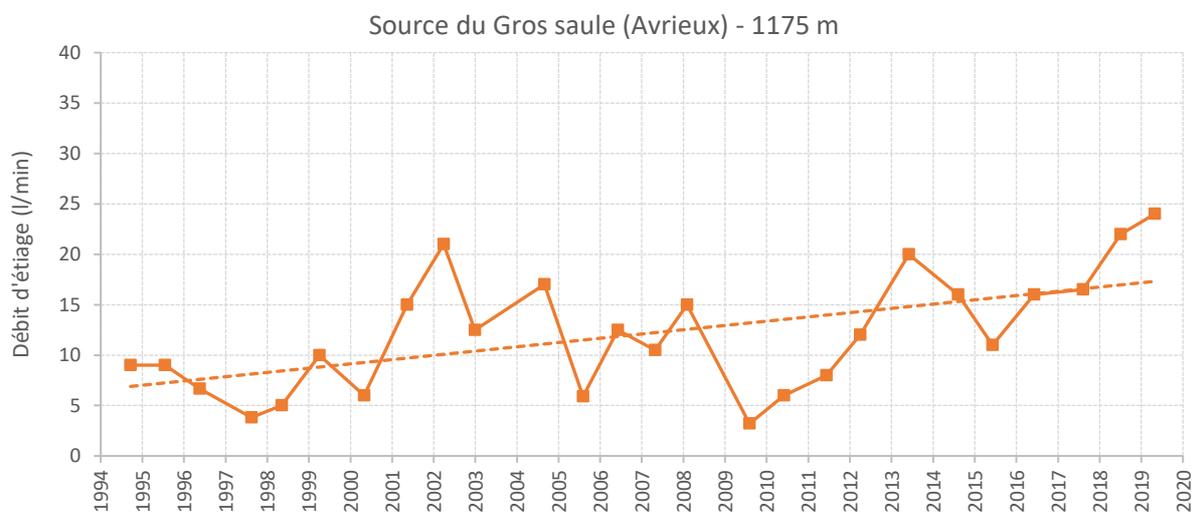


Figure 104 : Débit d'étiage (l/min) entre 1994 et 2019 de la source du Gros Saule (Avrieux – 1175 m) (Crédits : TELT - Traitement : CD73).

La ligne en pointillé correspond à la tendance linéaire sur la période 1994-2019.

Annexe 37 : Tableau récapitulatif des 25 sources analysées et de leurs caractéristiques.

Tableau 4 : Récapitulatif des 25 sources analysées et leurs caractéristiques (localisation, altitude, rive, date du début des chroniques, contexte géologique, évolution de l'étiage et date de l'étiage historique) (Crédits TELT / Traitement CD73).

ID	Nom	Altitude (m)	Commune	Rive	Début des mesures	Contexte géologique	Evolution de l'étiage	Date de l'étiage historique
3011	Captage de Villarbernon	1155	St-Michel-de-Maurienne	Droite	26/04/1994	Houiller glissé	Tendance à la baisse	23/10/2017
3016	Galerie de Premollard	1060	St-Michel-de-Maurienne	Droite	26/04/1994	Houiller glissé	Tendance à la baisse	28/11/2017
3017	Captage de Milla	1150	St-Michel-de-Maurienne	Droite	20/11/1995	Houiller glissé	Tendance à la baisse	28/07/2009
3018,1	Captages des Fortunes	1050	St-Michel-de-Maurienne	Droite	20/11/1995	Houiller glissé	Tendance à la baisse	24/01/2006
75-76	Captage du Pont de la Balme	1740	Orelle	Droite	31/01/1996	Glaciaire sur Houiller	Légère tendance à la hausse	26/01/2006
27	Captage de Montruard	1585	Sant-André	Droite	14/12/1995	Glaciaire sur Houiller	Tendance à la baisse	22/06/2011
6005	Source du Freney	1175	Avrieux	Droite	18/12/1995	Glaciaire sur Quartzites	Légère tendance à la baisse	01/07/2009
6006	Source du Gros saule	1175	Avrieux	Droite	18/12/1995	Glaciaire sur Quartzites	Tendance à la hausse	05/11/2009
1002	Source ND des Neiges	1520	St-Julien-Montdenis	Droite	08/12/1995	Glaciaire sur Flysch calcaire	Tendance à la baisse	02/02/2010
1003	Source de l'Auby	1440	St-Julien-Montdenis	Droite	22/12/1995	Glaciaire sur Flysch calcaire	Légère tendance à la baisse	06/02/2012
2007	Source de Champieu	1620	Saint-Martin-la-Porte	Droite	14/11/1995	Houiller glissé	Tendance à la baisse	04/08/1999
137	Captage des grandes Seignièrès	1050	St-Martin d'Arc	Gauche	09/01/1996	Houiller glissé	Tendance à la baisse	14/09/2012
316-317	Captage de Fontaine Froide	790	St-Michel-de-Maurienne	Gauche	21/11/1995	Houiller sous éboulis	Tendance à la baisse	28/11/2017
3022-3023	Captage de l'Etraz	990	St-Michel-de-Maurienne	Droite	21/11/1995	Houiller glissé	Tendance à la hausse	24/11/2010
3036	Fontaine de Thyl dessous	1150	St-Michel-de-Maurienne	Droite	22/11/1995	Houiller	Légère tendance à la hausse	28/06/2005
77	Captage des Accacias	878	Orelle	Droite	28/12/1995	Houiller sous éboulis	Légère tendance à la baisse	26/12/2011
86	Captage de Cochonnière aval	1180	Orelle	Droite	31/01/1996	Houiller sous éboulis	Légère tendance à la baisse	23/02/2005
112	Source du chalet du Verney	1165	Orelle	Droite	30/01/1996	Houiller sous éboulis	Tendance à la hausse	28/01/1999
19,2-19,5	Captage des voûtes planes aval	1250	Le Freney	Gauche	01/12/1995	Houiller sous éboulis	Tendance à la baisse	20/03/2008
275	Captage de la fontaine aux oiseaux	1460	Villarodin-Bourget	Gauche	05/09/1996	Calcschistes/schistes	Légère tendance à la baisse	19/05/1998
277,1 à 277,3	Captage des Avenièrès	1370	Villarodin-Bourget	Gauche	06/06/1996	Calcschistes/schistes	Tendance à la hausse	12/04/1996
321	Captage Fournache 1	2385	Aussois	Droite	04/06/1996	Glaciaire sur Quartzites	Légère tendance à la hausse	03/04/2006
5010	Source de l'Ortet	1775	Aussois	Droite	05/10/1993	Glaciaire sur Quartzites	Tendance à la baisse	06/03/2018
212	Captage du Suffet	1705	Bramans	Gauche	06/12/1995	Micaschistes	Tendance à la baisse	08/03/1999
227	Captage des Lorrains	1360	Bramans	Gauche	03/01/1996	Calcschistes/schistes	Légère tendance à la baisse	16/04/2008

Annexe 38 : Date de l'étiage historique des 25 sources analysées (1994-2020) en fonction de leur altitude.

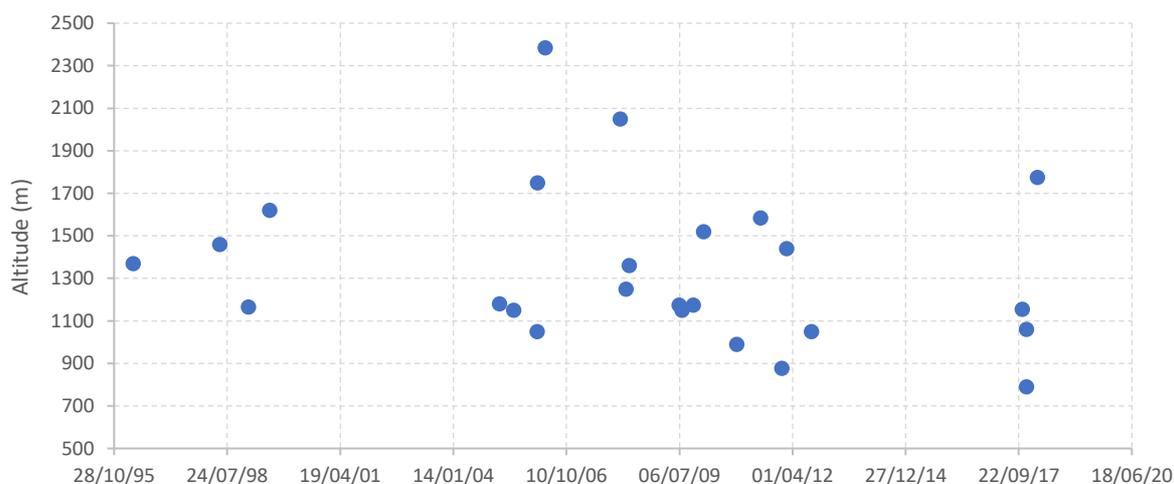


Figure 105 : Date de l'étiage historique des 25 sources analysées sur la période 1994-2020 en fonction de leur altitude (Crédits : TELT – Traitement : CD 73).

Annexe 39 : Evolution des débits moyens mensuels (par décennie) de sources de Maurienne situées à plus de 1500 m.

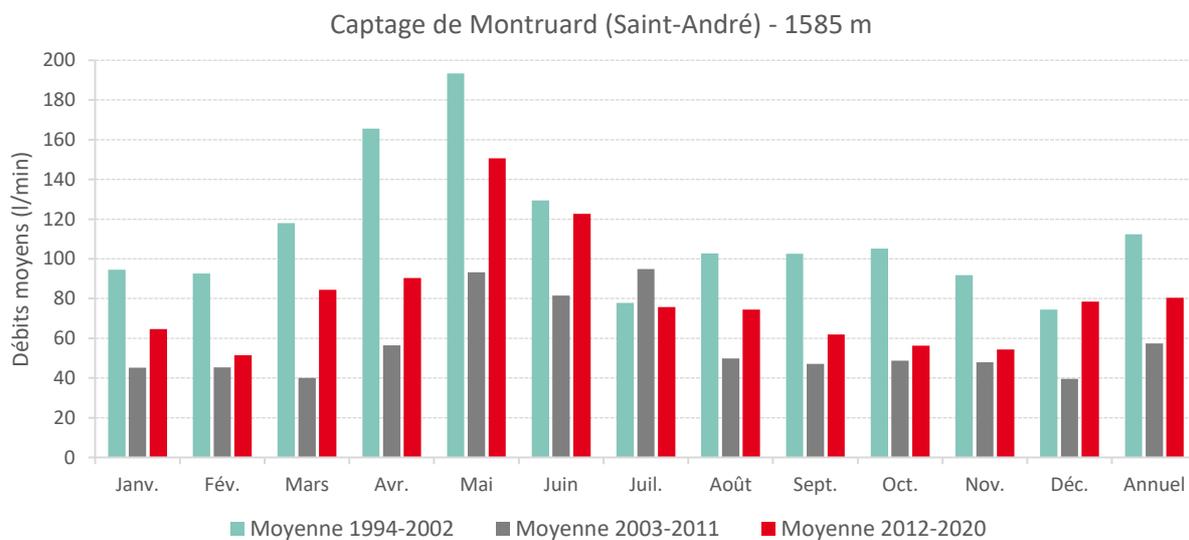


Figure 106 : Débits moyens mensuels et annuels (l/min) par décennie du captage de Montruard à Saint-André (1585 m) (Crédits : TELT - Traitement : CD73).

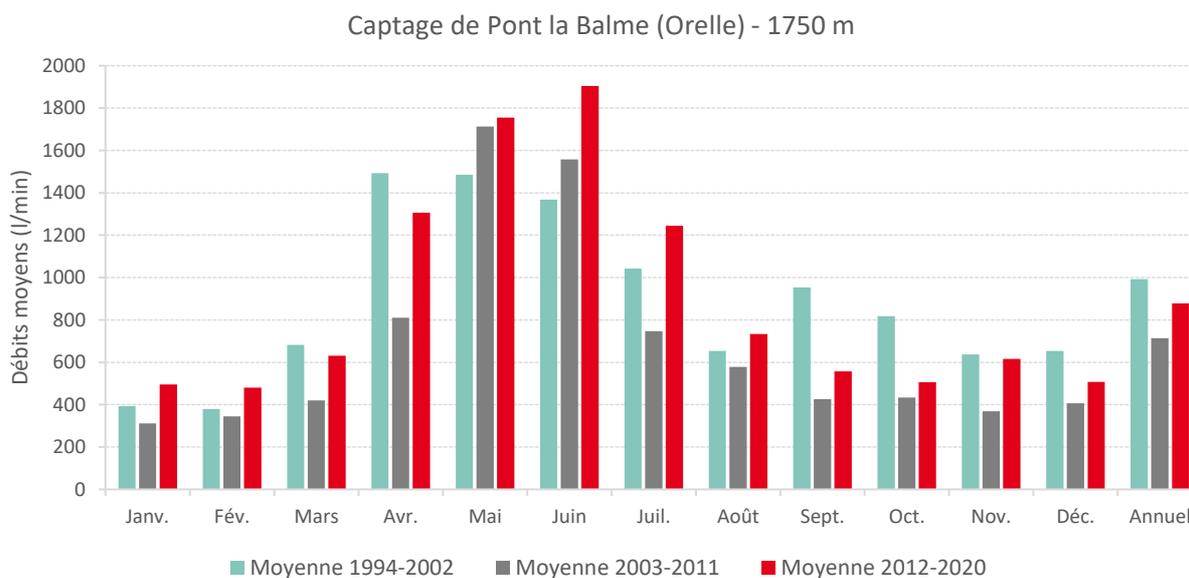


Figure 107 : Débits moyens mensuels et annuels (l/min) par décennie du captage de Pont la Balme à Orelle (1750 m) (Crédits : TELT - Traitement : CD73).

Annexe 40 : Evolution de la température de l'eau de 17 sources de Maurienne entre 1993 et 2020.

