

# > Annuaire hydrologique de la Suisse 2016

*Débit, niveau et qualité des eaux suisses*



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Office fédéral de l'environnement OFEV

## > Sommaire

<b>Préface</b>	<b>3</b>
<b>Abstracts</b>	<b>4</b>
<b>Résumé</b>	<b>5</b>
<hr/>	
<b>1 Les faits qui ont marqué 2016</b>	<b>6</b>
<hr/>	
<b>2 Conditions météorologiques</b>	<b>11</b>
<hr/>	
<b>3 Neige et glaciers</b>	<b>12</b>
<hr/>	
<b>4 Eaux de surface</b>	<b>14</b>
<hr/>	
<b>5 Eaux souterraines</b>	<b>30</b>
<hr/>	
<b>Annexe</b>	<b>33</b>

### Impressum

#### Éditeur

Office fédéral de l'environnement (OFEV)  
L'OFEV est un office du Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication (DETEC).

#### Rédaction

Division Hydrologie de l'OFEV  
Météo : Office fédéral de météorologie et de climatologie (MétéoSuisse)  
Neige : WSL Institut pour l'étude de la neige et des avalanches (SLF)  
Glaciers : Département des géosciences de l'Université de Fribourg et Laboratoire de recherches hydrauliques, hydrologiques et glaciologiques (VAW) de l'EPF Zurich

#### Référence bibliographique

OFEV (éd.) 2017 : Annuaire hydrologique de la Suisse 2016.  
Office fédéral de l'environnement, Berne.  
État de l'environnement n° 1712 : 36 p.

#### Traduction

Service de traduction de l'OFEV

#### Graphisme, mise en page

Magma – die Markengestalter, Berne

#### Photo de couverture

Crue aux chutes du Rhin à Neuhausen (SH) le 19 juin 2016  
Photo : Jörg Hammer, OFEV

#### Source iconographique

Page 13 : Matthias Huss, Département des géosciences de l'Université de Fribourg

#### Source des données

Les analyses hydrologiques sont basées sur les données provisoires de 2016.

#### Téléchargement au format PDF

[www.bafu.admin.ch/uz-1712-f](http://www.bafu.admin.ch/uz-1712-f)

Il n'est pas possible de commander une version imprimée.

Cette publication est également disponible en allemand.

#### Accès aux données et à de plus amples informations :

[www.bafu.admin.ch/eaux](http://www.bafu.admin.ch/eaux)

## > Préface

Avec une première moitié de l'année humide suivie par une seconde moitié sèche et chaude, l'année 2016 illustre le fait que les valeurs moyennes annuelles peuvent cacher d'importants contrastes saisonniers. Une évolution de la moyenne, au-delà des fluctuations interannuelles, comprend le plus souvent des évolutions encore plus marquées des valeurs extrêmes. Cet effet lissant de la moyenne annuelle constitue un défi dans la communication des observations environnementales. En effet, il faut d'une part sensibiliser le public au fait que des évolutions en apparence faibles de la moyenne annuelle impliquent des modifications très sensibles des systèmes environnementaux, et d'autre part il faut rappeler qu'un événement extrême n'est pas toujours significatif de l'évolution à long terme de ces systèmes. Le chapitre 1 de cet annuaire hydrologique place les événements hydrologiques de l'année 2016 dans leur contexte, ce qui les rend plus compréhensibles.

La mesure hydrologique est une contribution essentielle à l'observation de l'environnement. Elle fournit les éléments de base pour l'interprétation de l'état des eaux ainsi que son évaluation. Des nouveaux défis apparaissent aussi bien dus aux changements climatiques qu'aux changements socio-économiques, ce qui implique des révisions des concepts de mesures. La division Hydrologie de l'Office fédéral de l'environnement (OFEV) a entrepris des travaux d'actualisation du concept de mesures de la température des eaux de surface. D'autres actualisations sont prévues pour les concepts des réseaux d'observation de la qualité des eaux de surface NAWA et NADUF en collaboration avec les partenaires impliqués.

Durant l'année 2016, la division Hydrologie de l'OFEV et l'Institut fédéral de métrologie (METAS) ont entamé le renouvellement complet des équipements électroniques des stations du réseau fédéral de mesure hydrologique. Le concept éprouvé en 2015 est en voie d'être systématiquement déployé à toutes les stations. Cette tâche constitue un défi d'envergure, autant en raison de la complexité des équipements à installer à chaque station que du nombre de stations à équiper, parfois dans des lieux reculés. Mais le principal défi est de garantir le fonctionnement continu du réseau de mesures hydrologiques sans perte de données tout en changeant des équipements électroniques. Jusqu'à présent ce défi a pu être relevé grâce à l'engagement et à la compétence de tous les collaborateurs impliqués.

Le réseau de mesure hydrologique s'appuie également sur une infrastructure informatique conséquente pour l'acquisition, la transmission, le traitement, l'interprétation et l'archivage des données. Plusieurs projets IT sont en cours pour standardiser les solutions informatiques et les centraliser dans une mesure optimale. Il s'agit là de répondre aux besoins de la société en termes d'accessibilité aux données et aux besoins des autorités en termes de fiabilité des données pour la prise de décision.

Je vous souhaite une lecture captivante de cet annuaire 2016.

Olivier Overney  
Chef de la division Hydrologie  
Office fédéral de l'environnement (OFEV)

## > Abstracts

The Hydrological Yearbook of Switzerland is published by the Federal Office for the Environment (FOEN) and gives an overview of the hydrological situation in Switzerland. It shows the changes in water levels and discharge rates of lakes, rivers and groundwater and provides information on water temperatures and the physical and chemical properties of the principal rivers in Switzerland. Most of the data is derived from FOEN surveys.

**Keywords:**

**hydrology, rivers, lakes, groundwater, water level, discharge, water temperature, water quality**

Das «Hydrologische Jahrbuch der Schweiz» wird vom Bundesamt für Umwelt (BAFU) herausgegeben und liefert einen Überblick über das hydrologische Geschehen auf nationaler Ebene. Es zeigt die Entwicklung der Wasserstände und Abflussmengen von Seen, Fließgewässern und Grundwasser auf und enthält Angaben zu Wassertemperaturen sowie zu physikalischen und chemischen Eigenschaften der wichtigsten Fließgewässer der Schweiz. Die meisten Daten stammen aus Erhebungen des BAFU.

**Stichwörter:**

**Hydrologie, Fließgewässer, Seen, Grundwasser, Wasserstand, Abfluss, Wassertemperatur, Wasserqualität**

Publié par l'Office fédéral de l'environnement (OFEV), l'Annuaire hydrologique de la Suisse donne une vue d'ensemble des événements hydrologiques de l'année au niveau national. Il présente l'évolution des niveaux et des débits des lacs, des cours d'eau et des eaux souterraines. Des informations sur les températures de l'eau ainsi que sur les propriétés physiques et chimiques des principaux cours d'eau du pays y figurent également. La plupart des données proviennent des relevés de l'OFEV.

**Mots-clés:**

**hydrologie, cours d'eau, lacs, eaux souterraines, niveaux d'eau, débits, température de l'eau, qualité de l'eau**

L'«Annuario idrologico della Svizzera», edito dall'Ufficio federale dell'ambiente (UFAM), fornisce una visione d'insieme degli eventi idrologici in Svizzera. Illustra l'andamento dei livelli idrometrici e delle portate dei laghi, dei corsi d'acqua e delle acque sotterranee e contiene informazioni sulle temperature e sulle proprietà fisiche e chimiche dei principali corsi d'acqua in Svizzera. I dati in esso pubblicati provengono in gran parte da rilevazioni effettuate dall'UFAM.

**Parole chiave:**

**idrologia, corsi d'acqua, laghi, acque sotterranee, livelli delle acque, portate, temperatura dell'acqua, qualità dell'acqua**

## > Résumé

### Conditions météorologiques

2016 a été une année douce pour la Suisse, qui a enregistré des températures situées 0,7 degré au-dessus de la normale 1981–2010. Dans certaines régions du nord des Alpes, le premier semestre n'avait jamais été aussi pluvieux depuis le début des mesures. L'été n'est apparu qu'en juillet, mais il s'est attardé jusqu'en septembre, avec une chaleur inhabituelle. À la fin de l'année, les montagnes ont nettement manqué de neige en raison d'un anticyclone persistant et d'une sécheresse record.

### Neige et glaciers

En moyenne sur tout l'hiver 2015/2016, les hauteurs de neige ont été conformes à la normale uniquement en Bas-Valais et dans la partie occidentale du versant nord des Alpes au-dessus de 1400 m; dans le reste du pays, elles sont restées inférieures. Si les glaciers suisses ont longtemps bénéficié des chutes de neige intenses des mois de mai et juin 2016, la grande chaleur de la fin de l'été en a ensuite accéléré la fonte.

### Débits

Dans les grands bassins versants du nord des Alpes, les moyennes annuelles des débits ont fluctué quelques pour cent au-dessus des valeurs de la période de référence 1981–2010. Le débit du Rhin alpin a avoisiné la normale, alors que les moyennes annuelles des bassins versants situés au sud des Alpes, en Engadine et en Valais ont été plus basses. Si le débit annuel semble équilibré dans bon nombre de régions, c'est parce que le premier semestre y a été généralement humide et le second plus sec. Dans de nombreux bassins versants, les débits de juin enregistrés en 2016 ont dépassé les débits de juin moyens de la période de référence. Pendant le second semestre, les débits ont surtout été faibles en octobre et en décembre. Au cours du mois de décembre, le plus pauvre en précipitations dans les Alpes depuis le début des mesures en 1864, les valeurs ont à peine atteint un cinquième de la normale dans plus d'un bassin versant. Une grande crue s'est produite dans le Rhin alpin à la mi-juin.

### Niveaux des lacs

Les moyennes annuelles des niveaux du lac de Constance et du lac Majeur ont nettement différé des moyennes interannuelles (respectivement +26 cm et -27 cm), alors que celles des autres grands lacs se sont situées juste quelques centimètres au-dessus ou au-dessous de la normale. Les précipitations persistantes qui se sont abattues sur les Préalpes

centrales et orientales à la mi-juin ont fait monter le lac de Constance à un niveau qui n'avait plus été observé depuis 1999; en juin et en juillet, la limite de crue a même été dépassée pendant plus de 40 jours d'affilée. En 2016, plusieurs lacs ont aussi affiché des niveaux particulièrement bas. Le lac de Neuchâtel a ainsi atteint sa cote minimale record à la fin de l'année. Le lac Majeur a connu deux phases de basses eaux: une en début d'année, une autre en automne.

### Températures de l'eau

En 2016, comme le temps est resté doux, les températures de l'eau ne se sont guère écartées (ni vers le haut, ni vers le bas) des moyennes annuelles obtenues jusqu'à présent. La tendance à la hausse qui s'observe depuis les années 1960 s'est toutefois poursuivie. Du fait de l'hiver chaud, plusieurs nouveaux maxima mensuels ont été relevés les premiers mois de l'année. Vers la fin août et en septembre, les maxima mensuels ont également été dépassés brièvement à 18 stations de mesure de l'OFEV en raison des températures de l'air élevées.

### Isotopes stables

L'hiver 2015/2016 a été très doux, ce qui, dans les précipitations, s'est traduit par des valeurs  $\delta$  supérieures à la normale saisonnière. Des valeurs  $\delta$  élevées ont aussi été mesurées pendant l'été 2016. Quant aux cours d'eau, on a relevé au printemps et en été – en 2016 comme chaque année depuis 2013 – des valeurs  $\delta$  inférieures à la moyenne interannuelle le long de l'Aar, dans le Rhin à Weil et dans le Rhône en amont du Léman. L'été ayant été chaud, l'eau de fonte en provenance des glaciers (aux valeurs  $\delta$  plus négatives) a davantage contribué à l'écoulement pendant cette période.

### Eaux souterraines

Les niveaux des eaux souterraines et les débits des sources, que la sécheresse de fin 2015 avait abaissés, n'ont cessé d'augmenter suite aux précipitations abondantes du premier semestre de 2016. D'avril à juin, on a donc observé des niveaux et des débits de plus en plus élevés. Puis le mois d'août a été plus chaud que la normale et globalement très sec, si bien que les niveaux des eaux souterraines et les débits des sources se sont normalisés. Par manque de pluie, les valeurs se sont ensuite abaissées dans le Jura, dans les Alpes ainsi qu'au Tessin. Les précipitations de novembre ont seulement profité à quelques aquifères du Plateau. Ainsi, à la fin décembre, environ une station de mesure sur trois affichait de nouveau des valeurs basses.

# 1 > Les faits qui ont marqué 2016

À la mi-juin 2016, de fortes précipitations ont provoqué une élévation rapide du niveau de nombreux lacs et cours d'eau de Suisse. Bon nombre de stations de mesure de l'OFEV ont enregistré des crues survenant tous les deux à cinq ans. Dans certaines rivières, telles que la Seez à Mels ou le Rhin à Diepoldsau, on a observé des débits encore plus rares. Le lac de Constance a lui atteint son niveau le plus élevé depuis 1999.

## 1.1 Crues de juin 2016

À la mi-juin 2016, suite aux précipitations abondantes qui s'étaient régulièrement abattues sur la Suisse depuis la mi-mai, bon nombre de cours d'eau et de lacs affichaient déjà depuis quelques semaines des débits et des niveaux élevés ou momentanément en hausse.

Dans de nombreuses régions, les sols étaient saturés et les averses et les orages avaient provoqué plusieurs inondations, soit parce que les petites rivières avaient débordé, soit parce que l'eau de pluie ne pouvait pas s'écouler assez rapidement par les canalisations.

### Fortes précipitations en Suisse méridionale et orientale

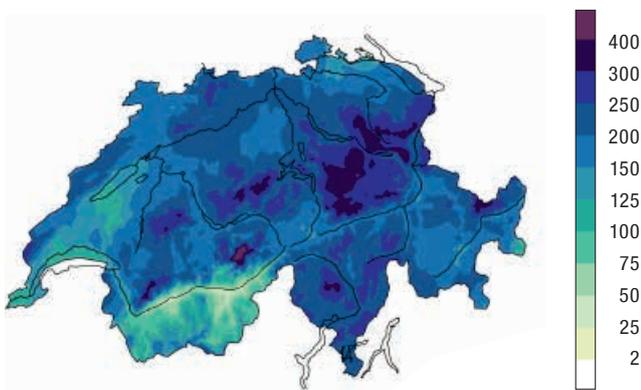
Du 16 au 18 juin, de fortes précipitations, parfois persistantes et orageuses, ont touché la Suisse méridionale ainsi que la partie centrale et orientale des Préalpes et des Alpes. Il a également plu souvent dans d'autres régions du pays. Ces jours-là, selon les informations de MétéoSuisse, il est tombé localement jusqu'à 200 mm de pluie au Tessin et entre 50 et 120 mm (selon la région) dans les Grisons.

### Réaction immédiate des cours d'eau

L'abondance des précipitations et la saturation des sols ont provoqué une élévation rapide du niveau des lacs et des cours d'eau, en particulier en Suisse méridionale et orientale. Les stations de mesure hydrométrique d'Ergolz – Liestal, d'Hinterrhein – Fürstenau, de Liechtensteiner Binnenkanal – Ruggell, de Rhein – Diepoldsau, de Rhein – Domat/Ems, de Rhein – Neuhausen, de Seez – Mels et de Werdenberger Binnenkanal – Salez ont enregistré des crues comme il en survient statistiquement tous les dix à trente ans. Des crues biennales à quinquennales, voire quinquennales à décennales, ont été observées au niveau de nombreuses autres stations. Des glissements de terrain se sont aussi produits par endroits.

Certaines stations ont relevé de nouveaux maxima pour le mois de juin. Le tableau de la page 7 donne plus de détails sur les valeurs maximales mesurées et les niveaux de danger maximaux atteints.

Lame d'eau précipitée du 1<sup>er</sup> au 30 juin 2016 (mm)



**Fig. 1.1** Répartition géographique de la lame d'eau précipitée du 1<sup>er</sup> au 30 juin 2016. La carte représente les valeurs absolues en millimètres. Source: MétéoSuisse.

## Crues de juin 2016 – cours d'eau

Station	Durée de la période (ans)	Maximum atteint jusque-là (m³/s)	Mois/année	Maximum de juin atteint jusque-là (m³/s)	Année	HQ <sub>2016</sub> (m³/s)	Date	Heure	Temps de retour	Niveau de danger max. atteint
Aare – Brügg	81	783	5/2015	701	1999	622	21.06.2016	17:10	5–10	2
Albula – Tiefencastel	90	127	8/2014	108	1999	106	17.06.2016	03:10	5–10	2
Alp – Einsiedeln	24	217	6/2007	217	2007	106	24.06.2016	20:25	5–10	2
Berninabach – Pontresina	61	166	7/1987	103	1991	66,3	17.06.2016	02:25	5–10	2
Chamuerabach – La Punt-Chamues-ch	61	67,5	9/1960	39	1963	18,3	17.06.2016	02:10	5–10	2
Ergolz – Liestal	82	152	5/1994	96,7	1987	<b>111</b>	17.06.2016	00:20	10–30	3
Hinterrhein – Fürstenau	42	713	9/1981	578	2001	<b>607</b>	17.06.2016	01:50	10–30	3
Inn – Martina	46	481	7/1987	466	1991	337	17.06.2016	07:00	5–10	2
Inn – Tarasp	46	441	7/1987	295	1997	259	17.06.2016	06:25	5–10	2
Julia – Tiefencastel	39	119	8/2014	98,2	2001	73,2	16.06.2016	22:20	5–10	2
Langeten – Huttwil, Häberenbad	50	77,8	6/2007	77,8	2007	30,5	25.06.2016	02:00	5–10	2
Liechtensteiner Binnenkanal – Ruggell	41	58,3	8/2000	44,5	1991	43,7	17.06.2016	06:10	10–30	3
Linth – Mollis, Linthbrücke	45	402	8/2005	270	2012	263	17.06.2016	03:30	5–10	2
Linth – Weesen, Biäsche	81	295	6/1953	295	1953	197	18.06.2016	07:50	5–10	2
Minster – Euthal, Rüti	55	217	6/2007	217	2007	190	24.06.2016	19:39	10–30	3
Moesa – Lumino, Sassello	35	567	9/1983	433	2001	420	17.06.2016	03:15	5–10	3
Ova da Cluozza – Zernez	54	15,9	9/1999	12,6	1991	10,6	17.06.2016	07:00	5–10	2
Reuss – Luzern, Geissmattbrücke	81	473	8/2005	395	1999	336	17.06.2016	21:40	5–10	2
Rhein – Diepoldsau, Rietbrücke	32	2661	7/1987	1894	2001	<b>2185</b>	17.06.2016	06:20	10–30	3
Rhein – Domat/Ems	54	1750	7/1987	1166	1987	<b>1304</b>	17.06.2016	03:30	10–30	3
Rhein – Neuhausen, Flurlingerbrücke	57	1173	5/1999	1159	1999	957	24.06.2016	22:10	10–30	3
Rhein – Rekingen	112	2250	6/1910	2250	1910	1414	17.06.2016	14:10	5–10	2
Rheintaler Binnenk. – St. Margrethen	47	139	5/1999	133	2013	104	17.06.2016	06:10	5–10	2
Riale di Pincascia – Lavertezzo	23	277	10/2006	136	2009	<b>146</b>	17.06.2016	00:15	5–10	3
Seez – Mels	36	75,4	7/1987	53,3	1991	<b>58,6</b>	17.06.2016	02:20	10–30	3
Werdenberger Binnenkanal – Salez	47	113	8/2000	97,3	2013	<b>102</b>	17.06.2016	04:30	10–30	4

## Crues de juin 2016 – lacs

Station	Durée de la période (ans)	Maximum atteint jusque-là (m)	Mois/année	Maximum de juin atteint jusque-là (m)	Année	HQ <sub>2016</sub> (m)	Date	Heure	Niveau de danger max. atteint
Bodensee (Obersee) – Romanshorn	86	397,89	6/1999	397,89	1999	397,35	21.06.2016	06:50	4
Bodensee (Untersee) – Berlingen	86	397,67	6/1999	397,67	1999	397,03	21.06.2016	06:40	4
Lac Léman – St-Prex	73	372,88	12/1965	372,73	1970	372,41	17.06.2016	18:10	2
Lago di Lugano – Melide, Ferrera	51	272,08	11/2002	271,27	1997	270,96	18.06.2016	19:20	2
Lago Maggiore – Locarno	73	197,57	10/2000	195,56	1957	194,68	18.06.2016	03:50	2
Vierwaldstättersee – Luzern	80	435,23	8/2005	434,86	1970	434,14	17.06.2016	21:40	2
Walensee – Murg	86	422,16	5/1999	422,11	1953	421,13	18.06.2016	08:10	2
Zugersee – Zug	86	414,49	5/1999	414,34	1965	414,12	17.06.2016	23:00	2
Zürichsee – Zürich	65	407,01	5/1999	406,90	1953	406,40	20.06.2016	06:50	2

\* nouveaux maxima absolus, **en gras**: nouveaux maxima pour juin

**Régulation des lacs du pied du Jura**

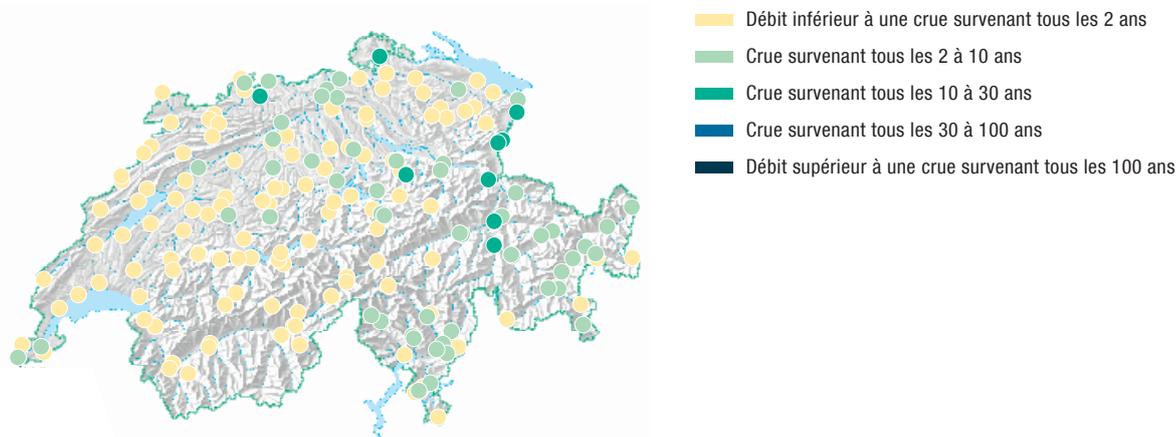
Le 25 mai 2016, l'OFEV et les cantons concernés ont décidé d'abaisser préventivement les lacs du pied du Jura, afin d'en augmenter le potentiel de rétention en vue de la hausse attendue des niveaux et des débits entrants. Constamment alimentés par des apports élevés dès la fin mai et en juin, ces lacs ont atteint leur cote maximale les 19/20 juin. En aval du lac de Biemme, l'Aar a présenté un débit accru d'environ 600 m<sup>3</sup>/s pendant toute la période allant du 25 mai au 30 juin.

**Nouveau record pour le lac de Constance**

Au cours de cet épisode, les niveaux des lacs ont fortement augmenté dans tout le pays ; leurs effluents ont donc également présenté des débits très élevés. Le Léman, le lac Majeur ainsi que les lacs de Lugano, des Quatre-Cantons, de Walenstadt, de Zoug et de Zurich ont atteint le niveau de danger 2 (danger limité). Le lac de Constance a même atteint le niveau de danger 4 (danger fort), dépassant ainsi de 20 cm la limite de crue de 397,15 m à Romanshorn. Contrairement à la plupart des lacs de Suisse, le lac de Constance ne peut pas être régulé. Son niveau dépend donc des affluents et de la capacité d'écoulement des effluents.

Le lac de Constance a atteint sa cote maximale le mardi 21 juin (397,35 m pour le lac Supérieur à Romanshorn et 397,03 m pour le lac Inférieur à Berlingen). La crue du mois de juin a été la plus importante observée depuis mai 1999, période à laquelle les eaux étaient montées encore 50 cm plus haut (fig. 4.10). La dernière fois que le lac avait débordé, en juin 2013, sa cote maximale s'était élevée à 397,04 m à Romanshorn et à 396,83 m à Berlingen, soit des valeurs nettement inférieures à celles relevées en juin 2016. Les crues de juin 2016 correspondent à un événement qui, statistiquement, survient environ tous les dix ans au lac de Constance.

Situation de crue dans les cours d'eau suisses en juin 2016



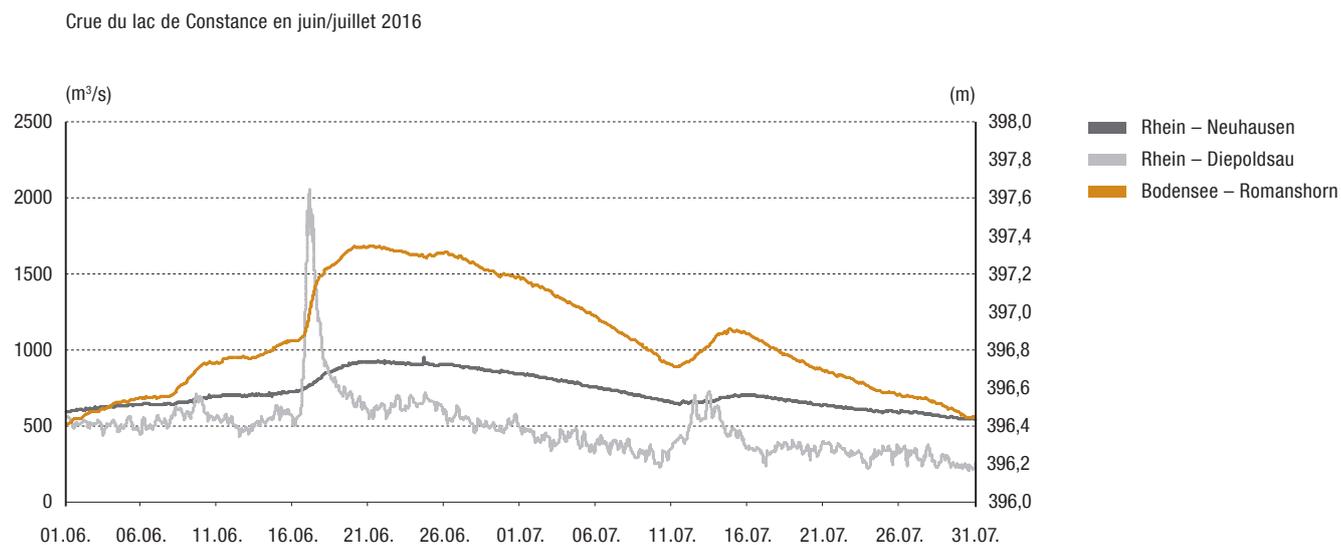
**Fig. 1.2** Comparaison des débits maximaux avec la statistique des crues.

### Grand succès pour les chutes du Rhin

Ces crues ont néanmoins eu un côté positif: elles ont fait des chutes du Rhin, à Neuhausen, une véritable attraction publique. En juin, le fleuve présente habituellement un débit de 560 m<sup>3</sup>/s à cet endroit. Or, le 24 juin 2016, plus de 950 m<sup>3</sup>/s d'eau se sont écoulés au niveau des chutes (à titre de comparaison, le record absolu enregistré en mai 1999 était de 1173 m<sup>3</sup>/s). Il s'agit là d'un phénomène spectaculaire qui, selon les statistiques de l'OFEV, ne s'observe que tous les quinze ans environ.

### Situation longtemps tendue

Les fortes pluies orageuses des 24 et 25 juin ont provoqué une nouvelle montée rapide des eaux. Ainsi, le 24 juin, la Minster à Euthal a subi une crue qui ne survient que tous les dix à trente ans. La plupart des lacs ont également affiché un niveau élevé. Après avoir atteint sa cote maximale, le lac de Constance s'est abaissé très lentement, pour retrouver le 23 juillet seulement le niveau de danger 1 (aucun ou faible danger), soit un niveau normal pour la saison. En aval, le Rhin est donc lui aussi resté en crue encore quelques semaines.



**Fig. 1.3** Crue du lac de Constance en juin/juillet 2016: niveau du lac à Romanshorn (en orange), débit du Rhin à Diepoldsau (en gris clair) et débit aux chutes du Rhin à Neuhausen (en gris foncé), du 1<sup>er</sup> juin au 31 juillet 2016.

## 1.2 Évolution des niveaux du lac de Constance

Le lac de Constance est une étendue d'eau naturelle et non régulée, qui se compose du lac Supérieur (472 km<sup>2</sup>), à l'est, et du lac Inférieur (63 km<sup>2</sup>), à l'ouest. Ces deux parties sont reliées entre elles par le Rhin lacustre, long d'environ 4 km.

La zone de décharge du lac Supérieur commence au seuil de Constance («Konstanzer Schwelle»), une zone d'eau peu profonde en période d'étiage. Le Rhin (appelé Rhin lacustre sur ce tronçon) s'écoule ensuite vers le lac Inférieur, qui présente pendant le semestre d'hiver des zones d'eau peu profonde entre Gottlieben et Ermatingen. L'écoulement naturel du lac Inférieur se situe au niveau de la corne d'Eschenz, à environ 1,2 km à l'est de Stein am Rhein. À partir de cet endroit, le fleuve s'écoule librement et prend le nom de haut Rhin.

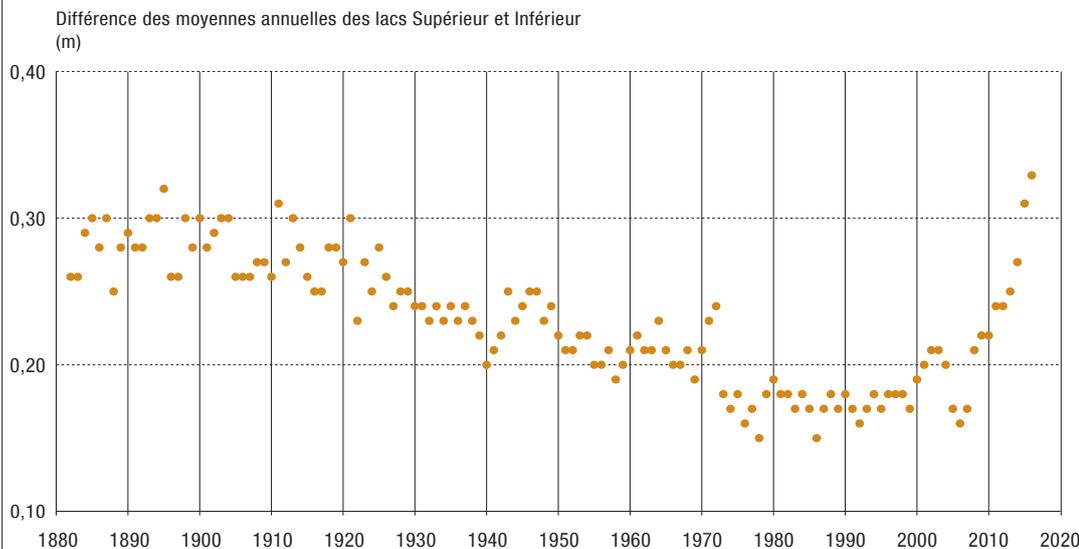
Ces dernières années, les différences entre les niveaux moyens des lacs Supérieur et Inférieur se sont accentuées. Depuis 2007, elles ont augmenté progressivement, de 16 cm au total (fig. 1.4), et fluctuent ainsi au niveau observé avant 1920.

L'Agence chargée de l'environnement, de l'observation et de la protection de la nature du Bade-Wurtemberg (Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Natur Baden-Württemberg [LUBW]), qui a étudié l'évolution à long terme des niveaux du lac de Constance de 1888 à 2007, présume que les variations des différences moyennes durant cette période sont dues, entre autres, aux causes suivantes :

- modifications du chenal de navigation dans le secteur du seuil de Constance ;
- phénomènes d'érosion et de dépôt dans le secteur du seuil de Constance et du Rhin lacustre, ainsi que dans la zone d'eau peu profonde de la partie orientale du lac Inférieur.

On suppose par ailleurs que les modifications des conditions d'écoulement dues à la végétation dans le secteur du seuil de Constance et du Rhin lacustre ainsi que dans les zones d'eau peu profonde du lac Inférieur jouent aussi un rôle.

Des études détaillées sur l'augmentation des différences depuis 2007 sont en cours.



**Fig. 1.4** Différence des moyennes annuelles des niveaux des lacs Supérieur (limnimètre de Rorschach, station de Romanshorn à partir de 1930) et Inférieur (limnimètre de Mammern, station de Berlingen à partir de 1930) pour la période 1882–2016.

Sources : Office de l'économie hydraulique et OFEV.

## 2 > Conditions météorologiques

*2016 a été une année douce pour la Suisse, qui a enregistré des températures situées 0,7 degré au-dessus de la normale 1981–2010. Dans certaines régions du nord des Alpes, le premier semestre n'avait jamais été aussi pluvieux depuis le début des mesures. L'été n'est apparu qu'en juillet, mais il s'est attardé jusqu'en septembre, avec une chaleur inhabituelle. À la fin de l'année, les montagnes ont nettement manqué de neige en raison d'un anticyclone persistant et d'une sécheresse record.*

Janvier 2016 a été particulièrement pluvieux au nord des Alpes. Suite aux précipitations fréquentes, qui se sont intensifiées vers la fin du mois, plusieurs stations de mesure en service depuis plus de 100 ans ont enregistré des cumuls record pour un mois de janvier. À basse altitude, le nord des Alpes a vécu son deuxième mois de janvier le plus humide depuis le début des mesures en 1864. En revanche, certaines régions du sud des Alpes n'ont recueilli qu'à peu près la moitié des précipitations habituellement relevées en janvier. Le mois de février, globalement doux, a été ponctué de plusieurs vagues de chaleur. Début mars, de fortes chutes de neige ont valu à la Suisse méridionale des sommes journalières exceptionnelles.

Le printemps a plutôt été bien arrosé. Seul le mois de mars a été plus sec que la normale, sauf au sud des Alpes. En avril et surtout en mai, les quantités de précipitations ont souvent été excédentaires.

La majeure partie du mois de juin a été maussade et pluvieuse. Les orages de la première quinzaine se sont accompagnés de précipitations soutenues. Vers la mi-juin, de l'air méditerranéen humide a déclenché de fortes pluies sur le sud et l'est de la Suisse. Les sols étant déjà détremés, celles-ci ont provoqué des inondations et des glissements de terrain (chap. 1). La dernière décade du mois, des orages violents ont causé de nouveaux dégâts dans la partie orientale du pays. Plusieurs régions du nord des Alpes ont terminé le premier semestre de 2016 en enregistrant les sommes de précipitations les plus élevées depuis le début des mesures. À part au mois de mars, les quantités relevées ont nettement dépassé la normale.

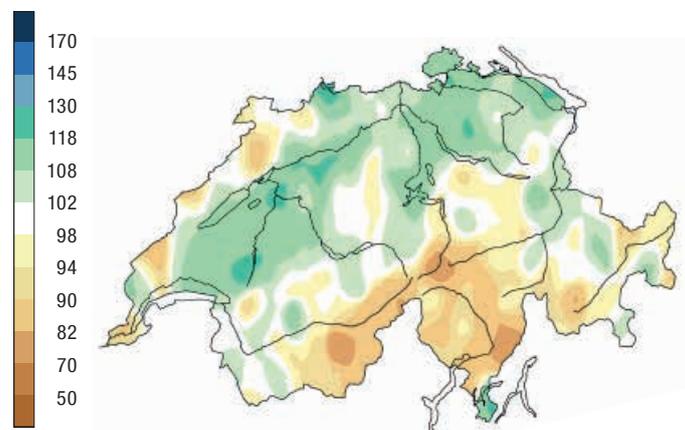
En juillet et en août, il a presque toujours fait beau et chaud : le nord des Alpes a connu une vingtaine de journées estivales par mois, alors que le sud en totalisait 26 à 28. À partir du 22 août, un anticyclone centré sur l'Europe centrale a déterminé le temps jusqu'au 28. Les conditions anticycloniques qui ont persisté pendant la première quinzaine de septembre ont valu à certaines régions de Suisse romande, du Valais et du sud des Alpes leur mois de septembre le plus chaud depuis le début des mesures.

Le mois d'octobre, nettement plus frais que la normale, a mis un terme à la chaleur inhabituelle de septembre. La neige est tombée jusqu'en moyenne montagne et plusieurs jours de gel au sol jusqu'en plaine ont donné un caractère hivernal à ce mois. La première quinzaine de novembre, les températures ont été glaciales, puis, vers le milieu du mois, il a abondamment neigé en montagne.

Des conditions anticycloniques persistantes ont amené au nord des Alpes et aux Alpes leur mois de décembre le plus sec depuis le début des mesures. Par endroits, la partie occidentale du Plateau et le Valais n'ont pas reçu la moindre goutte d'eau, ni le moindre flocon. Suite à la sécheresse et à la douceur qui se sont installées en montagne, il n'est pas tombé de neige dans les Alpes au-dessous de 2000 m. Vers 2500 m les hauteurs de neige ont à peine atteint 20 à 30 cm.

Source : Office fédéral de météorologie et de climatologie (MétéoSuisse)

Lame d'eau précipitée annuelle (en % de la normale)



**Fig. 2.1** Au nord des Alpes, les précipitations ont globalement été plus abondantes en 2016 qu'en moyenne interannuelle. Au sud des Alpes, la plupart des valeurs se sont situées au-dessous de la normale 1981–2010.

## 3 > Neige et glaciers

*En moyenne sur tout l'hiver 2015/2016, les hauteurs de neige ont été conformes à la normale uniquement en Bas-Valais et dans la partie occidentale du versant nord des Alpes au-dessus de 1400 m ; dans les autres régions du pays, elles sont restées inférieures. Le manque de neige en début de saison a été encore plus prononcé que l'hiver précédent (2014/2015). Si les glaciers suisses ont longtemps bénéficié des chutes de neige intenses des mois de mai et juin 2016, la grande chaleur de la fin de l'été en a ensuite accéléré la fonte.*

### 3.1 Neige

En octobre 2015, la limite des chutes de neige s'est abaissée plusieurs fois jusqu'à moyenne altitude. Les précipitations les plus abondantes ont touché la crête principale des Alpes, le sud et l'est de la Suisse. La neige a tenu surtout en haute montagne, formant un fin manteau homogène, tout particulièrement sur les glaciers.

Les trois premières semaines de novembre ont été ensoleillées et extrêmement douces. L'hiver a fait irruption à deux reprises au cours de la quatrième semaine, du moins dans le nord et l'ouest. Dans le sud et l'est, le temps est resté sec. Sur l'ensemble du mois, les hauteurs de neige ont été quelque peu inférieures à la normale dans le nord et l'ouest. Dans le sud et aux Grisons, il n'a pas neigé à moyenne altitude.

En décembre, la neige s'est fait attendre. Le manque de neige en début de saison a même été encore plus prononcé que l'hiver précédent (2014/2015). Les rares endroits revêtus d'un fin manteau blanc se sont retrouvés à découvert. Il n'était encore jamais arrivé que les stations de mesure en service depuis de longues années au sud des Alpes ne relèvent pas de neige à Nouvel An, même à 2000 m.

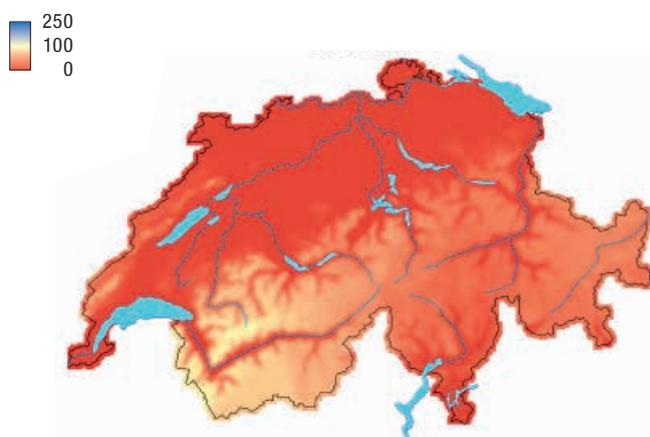
En janvier, il a neigé régulièrement et copieusement dans l'ouest et le nord, par des températures changeantes. Ce mois-là, seul l'ouest a bénéficié d'un enneigement conforme à la normale ; ailleurs, on a souvent relevé des quantités de neige inférieures, voire bien inférieures dans le sud.

Après un début printanier, le mois de février s'est fait hivernal, avec de la neige en abondance à haute altitude. Tout comme en janvier, de grandes quantités de neige sont tombées dans l'ouest et le nord, ainsi que, pour la première fois de la saison, dans le sud. Par conséquent, à la fin du mois, l'enneigement au-dessus de 1400 m était conforme ou supérieur à la normale en Suisse romande, et encore juste inférieur en Suisse centrale et orientale.

Ayant commencé par une offensive hivernale particulièrement brutale, surtout dans le sud, le mois de mars a été relativement froid. Après une deuxième semaine plutôt calme, il est tombé près de 50 cm de neige jusqu'à basse altitude dans le sud.

De la fin mars à la mi-avril, de grandes quantités de neige sont tombées dans le sud au-dessus de 2200 à 2400 m, par vagues successives. À moyenne et basse altitude, le manteau neigeux a fondu avec la pluie. Il a également commencé à rétrécir dans le nord, du fait de la douceur des températures, pour disparaître entièrement en maints endroits pendant la première semaine d'avril. Mais l'hiver n'était pas encore fini.

Hauteur de neige (en % de la normale)



**Fig. 3.1** Hauteurs de neige pendant l'hiver 2015/2016 (de novembre à avril), par rapport à la période 1971–2000.

Il a fait son retour à la mi-avril : du 16 au 19 avril, il est tombé entre 50 et 80 cm de neige au-dessus de 2200 m dans les Grisons, et jusqu'à 100 cm sur le centre de la crête principale des Alpes et en Haute-Engadine. Malgré ces offensives hivernales tardives, l'enneigement a été généralement inférieur à la normale en avril, sauf en Bas-Valais, où on a encore relevé des hauteurs de neige habituelles.

Source : WSL Institut fédéral pour l'étude de la neige et des avalanches (SLF)

### 3.2 Glaciers

Dans l'ensemble, l'hiver 2015/2016 a été favorable aux glaciers suisses. En avril et en mai, les quantités de neige ont nettement dépassé la normale dans l'ouest, alors qu'elles ont correspondu à la moyenne interannuelle dans l'est et le sud. La fonte nivale a été retardée par un mois de juin plutôt maussade et de la neige fraîche est régulièrement tombée sur les glaciers, si bien que ceux-ci étaient encore relativement bien enneigés au début des premières vagues de chaleur de l'été. Seuls le temps estival stable d'août et la première quinzaine caniculaire de septembre ont mis les glaciers à rude épreuve.

En septembre 2016, un bilan de masse a été établi pour 20 glaciers suisses. Une fois de plus, les différences entre les accumulations hivernales (alimentation nivale) et les pertes

dues à la fonte estivale (ablation) se sont avérées négatives. Pour l'été 2016, les analyses ont encore fait apparaître de grandes disparités régionales : les glaciers situés dans l'ouest des Alpes et l'Oberland bernois ont perdu en moyenne près de 30 cm d'épaisseur, ce qui est relativement peu. Cela a par exemple été le cas des glaciers de Tsanfleuron et de la Plaine Morte, qui, en 2015, subissaient pourtant tous les deux – et de loin – les plus fortes pertes. Le sud du Valais et l'Engadine, par contre, ont été beaucoup plus touchés par la fonte glaciaire en 2016. L'épaisseur du glacier de Gries s'est ainsi réduite de presque deux mètres en moyenne. En Suisse centrale et orientale, le bilan de masse s'est situé dans la moyenne des dix dernières années – les glaciers continuent donc bien de fondre.

Sur l'ensemble des glaciers du pays, on obtient pour l'année hydrologique 2015/2016 une perte estimée à quelque 900 millions de mètres cubes de glace, soit une diminution qui correspond à peu près à la consommation annuelle d'eau potable en Suisse. Le volume des glaciers qui subsistent encore a donc diminué de 1,5 % cette année. Par rapport à la dernière décennie et aux valeurs record enregistrées en 2003, 2006, 2011 et 2015, 2016 a donc été une année moyenne en termes de fonte glaciaire.

Source : Département des géosciences de l'Université de Fribourg et Laboratoire de recherches hydrauliques, hydrologiques et glaciologiques (VAW) de l'EPF Zurich



**Fig. 3.2** Le Vadret dal Murtèl devant les grandes moraines du Vadret da Tschierva, qui a déjà bien maigri, en Haute-Engadine (à droite).

# 4 > Eaux de surface

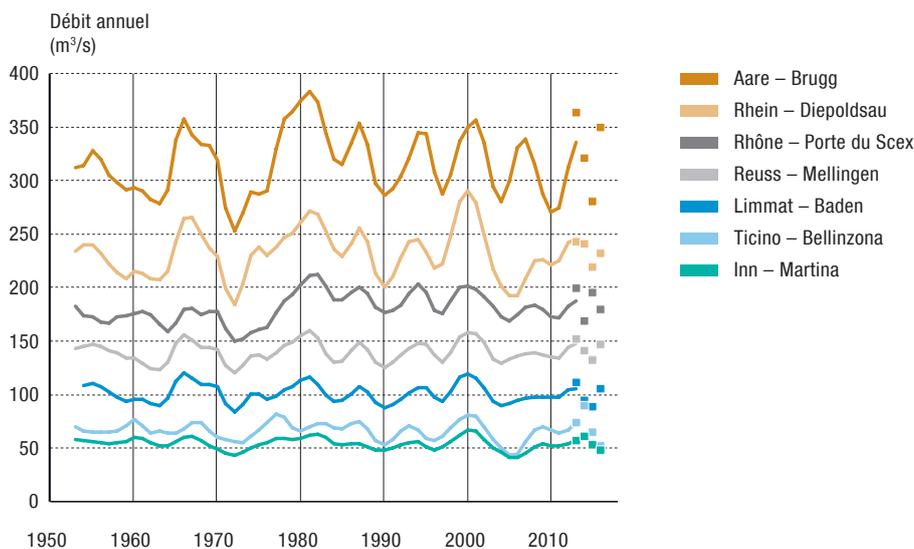
En 2016, les moyennes annuelles des débits ne se sont guère écartées de la normale. À la mi-juin, de nombreuses rivières de Suisse méridionale et orientale ont subi de fortes crues. De nouveaux maxima pour le mois de juin ont été mesurés sur le Rhin alpin. Le lac de Constance a atteint son niveau le plus élevé depuis 1999. La sécheresse du second semestre a engendré une période d'étiage marquée qui s'est installée jusqu'à la fin de l'année.

## 4.1 Débits

Dans les grands bassins versants du nord des Alpes, les moyennes annuelles des débits ont fluctué quelques pour cent à peine au-dessus des valeurs de la période de référence 1981–2010. Le débit du Rhin alpin a avoisiné la normale, alors que les moyennes annuelles des bassins versants situés au sud des Alpes, en Engadine et en Valais ont été plus basses. Le Tessin a atteint 81 % des moyennes interannuelles, la Maggia 85 %, l'Inn 90 % et le Rhône 95 %. Pour 2016, les trois classes du milieu (plage de 70 à 130 %) suffissent pour représenter les débits annuels des bassins versants de taille moyenne (fig. 4.2). Des débits supérieurs à la normale ont été relevés sur le Plateau et dans le centre du Jura. Ce sont la Singine et la Gürbe qui ont atteint les valeurs relatives les plus

élevées (soit respectivement 127 et 123 % de la normale). Les débits inférieurs à la normale sont surtout apparus au Tessin et en Valais. Dans les autres régions, la plupart des débits annuels se sont situés dans la plage de 90 à 110 % des moyennes interannuelles.

Si le débit annuel semble équilibré dans bon nombre de régions, c'est parce que le premier semestre y a été généralement humide et le second plus sec. C'est ce que montre clairement l'exemple de quelques bassins versants de taille moyenne (fig. 4.4). En février et en juin, le Doubs a présenté des débits mensuels deux fois plus importants que pendant les mêmes mois de la période de référence. Les valeurs ont à peine atteint un tiers des moyennes mensuelles interannuelles en septembre, et seulement un cinquième de celles-ci en octobre et en décembre. Un régime semblable avait aussi été observé en



**Fig. 4.1** Variation du débit annuel de différents bassins versants de grande taille à partir de 1950. Les lignes représentent les moyennes lissées sur sept ans, les points les quatre derniers débits annuels.

2015: des crues début mai, un été exceptionnellement sec et chaud, suivi d'un automne peu pluvieux.

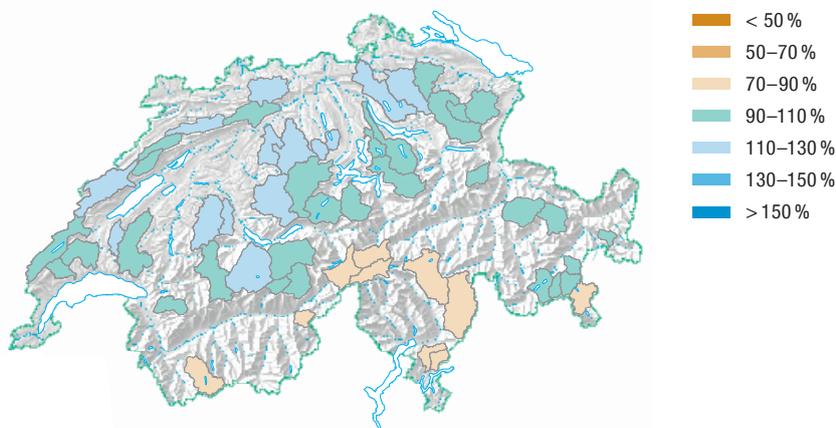
Dans les grands bassins versants, ces conditions d'écoulement n'ont pas été aussi marquées que dans ceux de taille moyenne, même si elles ont aussi concerné la Reuss et la Limmat, par exemple. Dans les graphiques représentant les moyennes mensuelles, c'est le mois de juin qui se démarque le plus pendant le premier semestre (chap. 1). Dans 15 des 16 bassins versants de grande ou moyenne taille, les débits de juin enregistrés en 2016 ont dépassé les débits moyens de juin de la période de référence. La Massa à Blatten, dont le bassin versant est fortement englacé, est la seule exception. Les conditions d'écoulement de ce type de bassin sont aussi abordées au point 3.2. Le temps maussade a retardé la fonte nivale et la neige fraîche qui est régulièrement tombée sur les glaciers les a protégés de la première vague de chaleur estivale. Pendant le second semestre, ce sont les mois d'octobre et de décembre qui attirent le plus l'attention, avec des débits bas généralisés. Au mois de décembre, le plus pauvre en précipitations dans les Alpes depuis le début des mesures en 1864, les débits ont à peine atteint un cinquième de la normale dans plus d'un bassin versant, dont ceux de l'Emme, de la Thur, du Doubs et de la Venoge.

Les courbes des moyennes journalières illustrent les débits mensuels élevés de juin: le Rhin alpin a subi brièvement une forte crue, suivie d'une décrue tout aussi rapide. Un nouveau maximum pour le mois de juin a été relevé à Diepoldsau. Il s'est situé environ 500 m<sup>3</sup>/s au-dessous du maximum

absolu de juillet 1987 (début des mesures en 1984). Les débits de l'Aar, de la Reuss et de la Limmat n'ont pas suivi la même évolution: dans ces trois bassins versants, une crue relativement importante s'était déjà déroulée rapidement au mois de mai. Après avoir recouvré un niveau normal pour la saison, les débits sont repartis à la hausse, pour rester élevés plus longtemps (fig. 4.5). En retenant l'eau et en la restituant après un certain temps, les grands lacs ont contribué à amortir et à ralentir la réaction des débits dans les trois régions. Là où cet effet tampon fait défaut, les fortes précipitations viennent directement gonfler les cours d'eau, surtout dans les petits bassins versants. L'Emme et la Muota en sont de bons exemples (fig. 4.4).

L'année 2016 a été riche en contrastes, marquée aussi bien par de nouveaux maxima que par de nouveaux minima mensuels. La plupart des maxima mensuels ont été relevés en mai et surtout en juin, alors que les minima mensuels se sont multipliés en janvier, en octobre et en décembre. Les étiages se sont aggravés vers la fin de l'année. En décembre, trois quarts des stations de mesure affichaient ainsi des débits en diminution, et, à beaucoup d'entre elles, il fallut même attendre le début de 2017 pour qu'apparaissent les valeurs les plus basses.

Conditions d'écoulement dans différents bassins versants de taille moyenne



**Fig. 4.2** Moyennes annuelles 2016 de différents bassins versants de taille moyenne par rapport au débit moyen de la période de référence 1981–2010 [%].

### Moyennes mensuelles des débits de différents bassins versants de grande taille

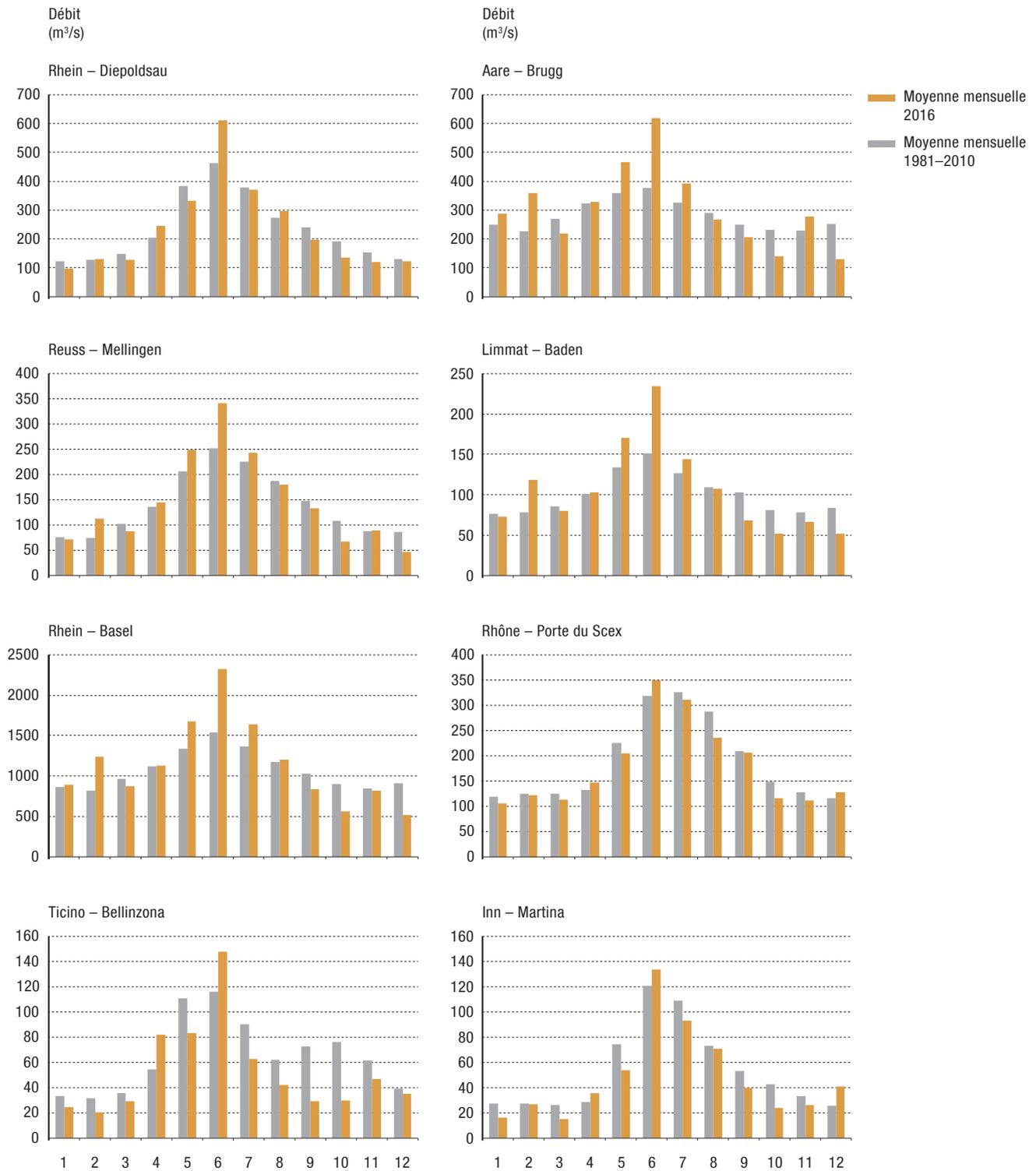
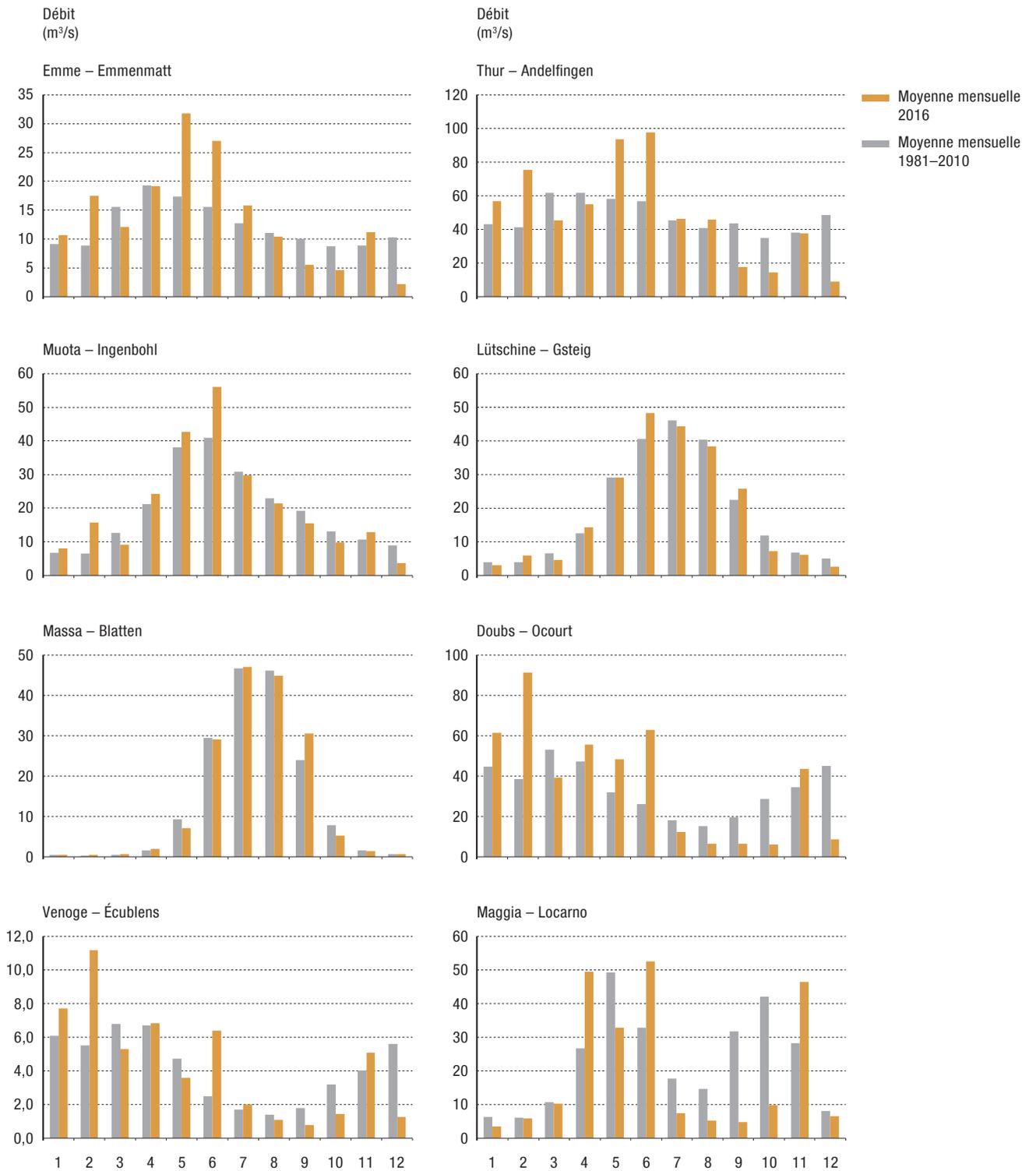


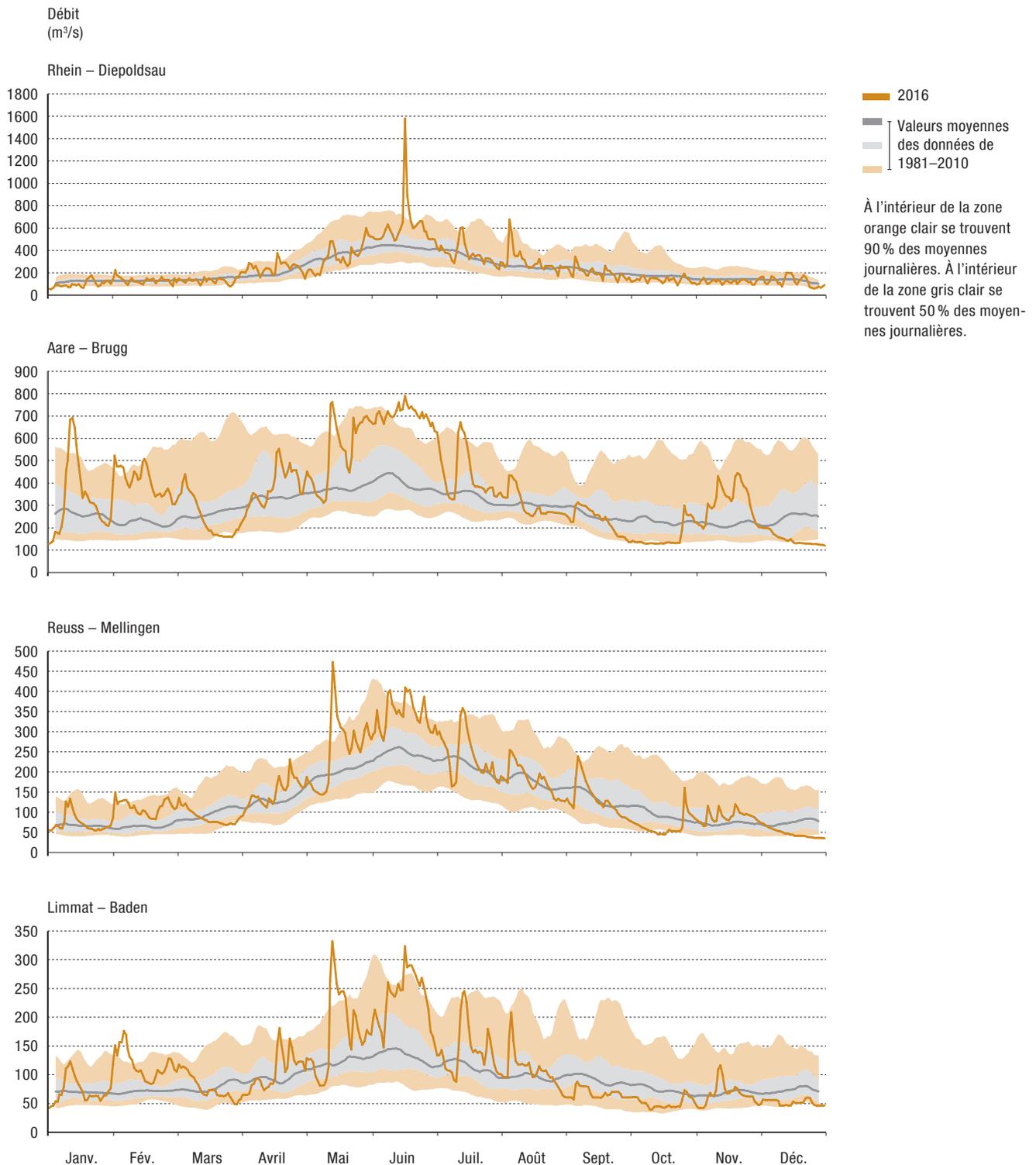
Fig. 4.3 Moyennes mensuelles 2016 des débits (en orange) par rapport aux moyennes mensuelles de la période de référence 1981–2010 (en gris).

### Moyennes mensuelles des débits de différents bassins versants de taille moyenne



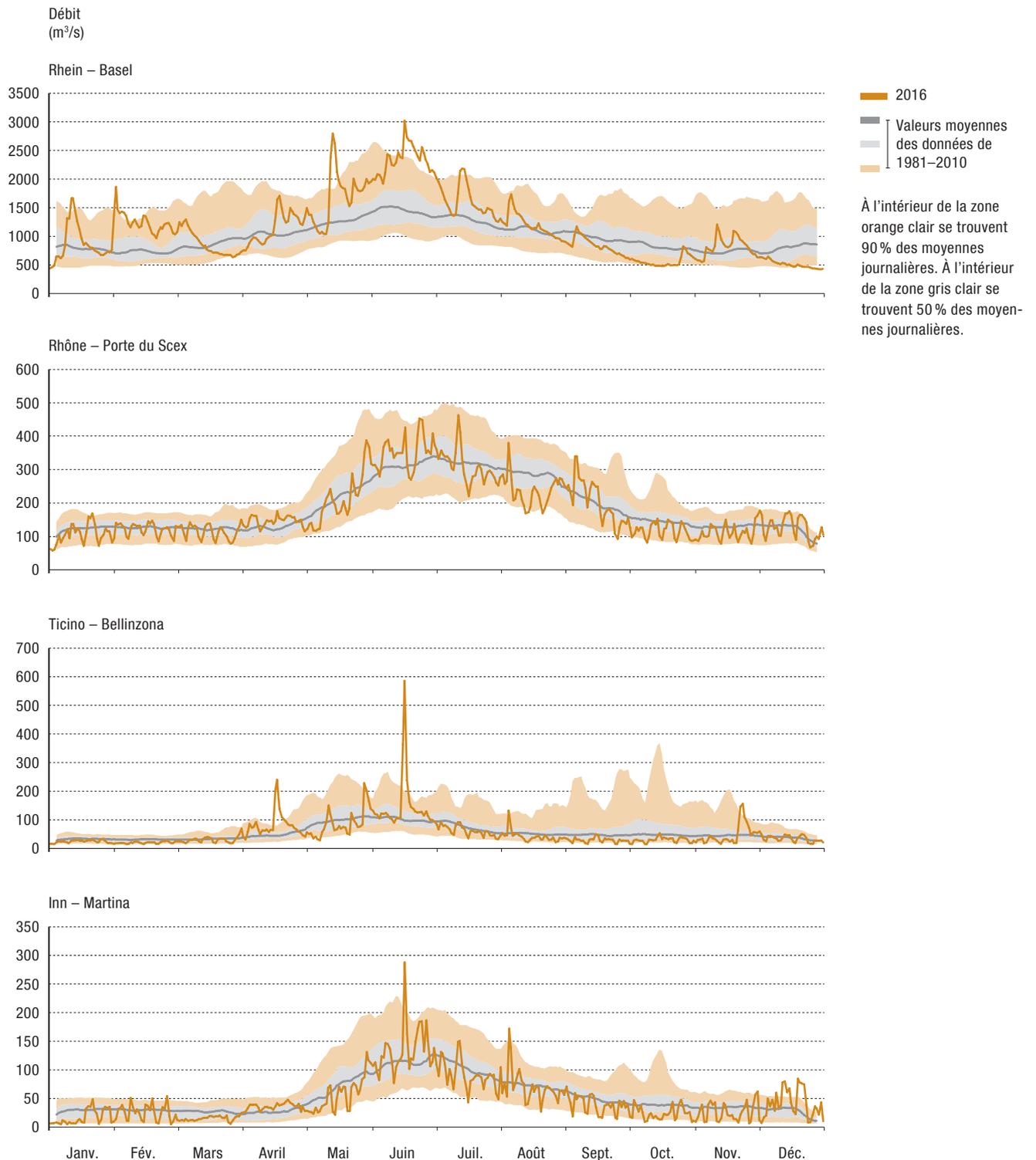
**Fig. 4.4** Moyennes mensuelles 2016 des débits (en orange) par rapport aux moyennes mensuelles de la période de référence 1981-2010 (en gris).

### Moyennes journalières des débits de différents bassins versants de grande taille (1/2)



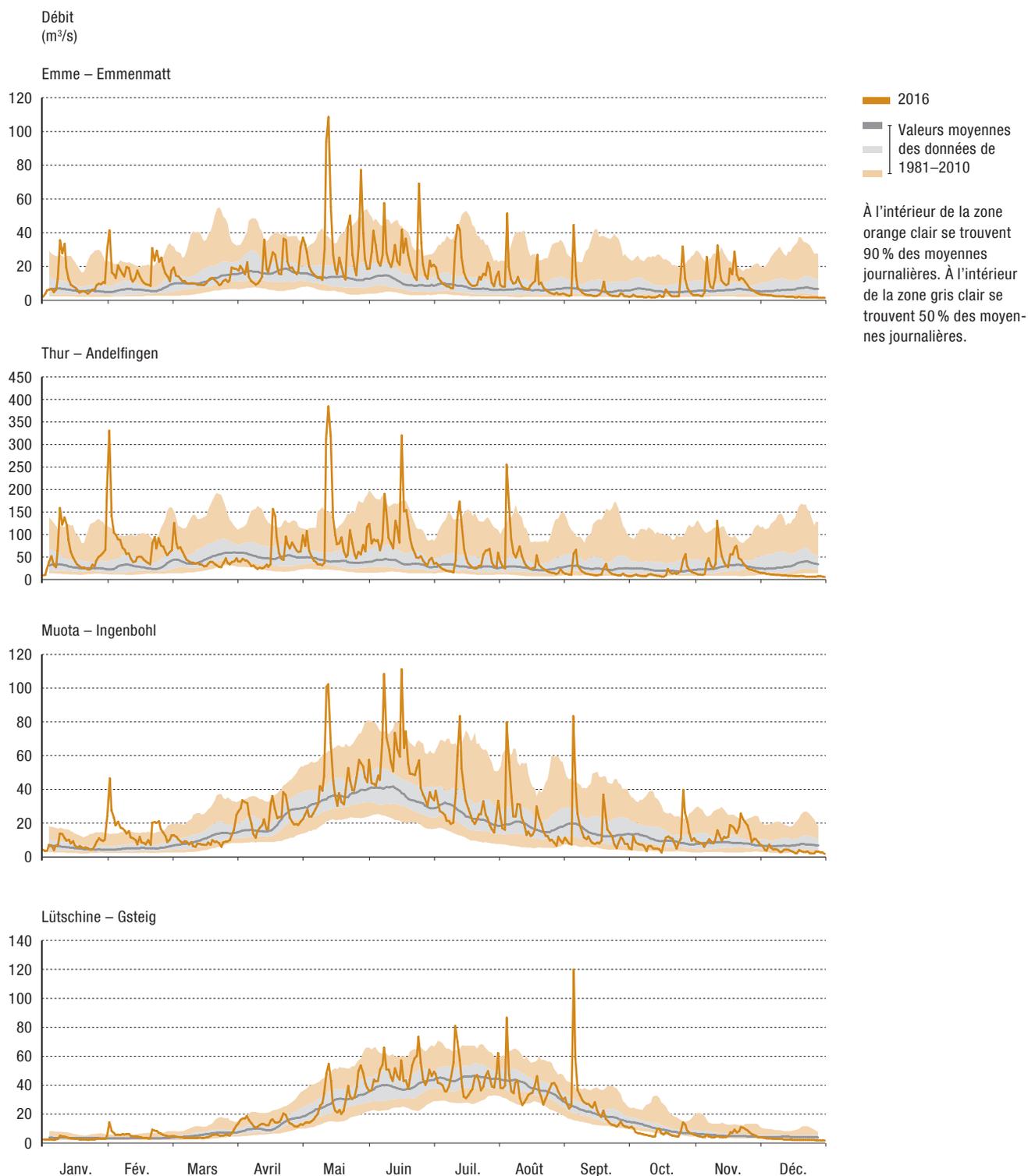
**Fig. 4.5** Moyennes journalières 2016 des débits (ligne orange) par rapport aux moyennes journalières de la période de référence 1981–2010.

## Moyennes journalières des débits de différents bassins versants de grande taille (2/2)



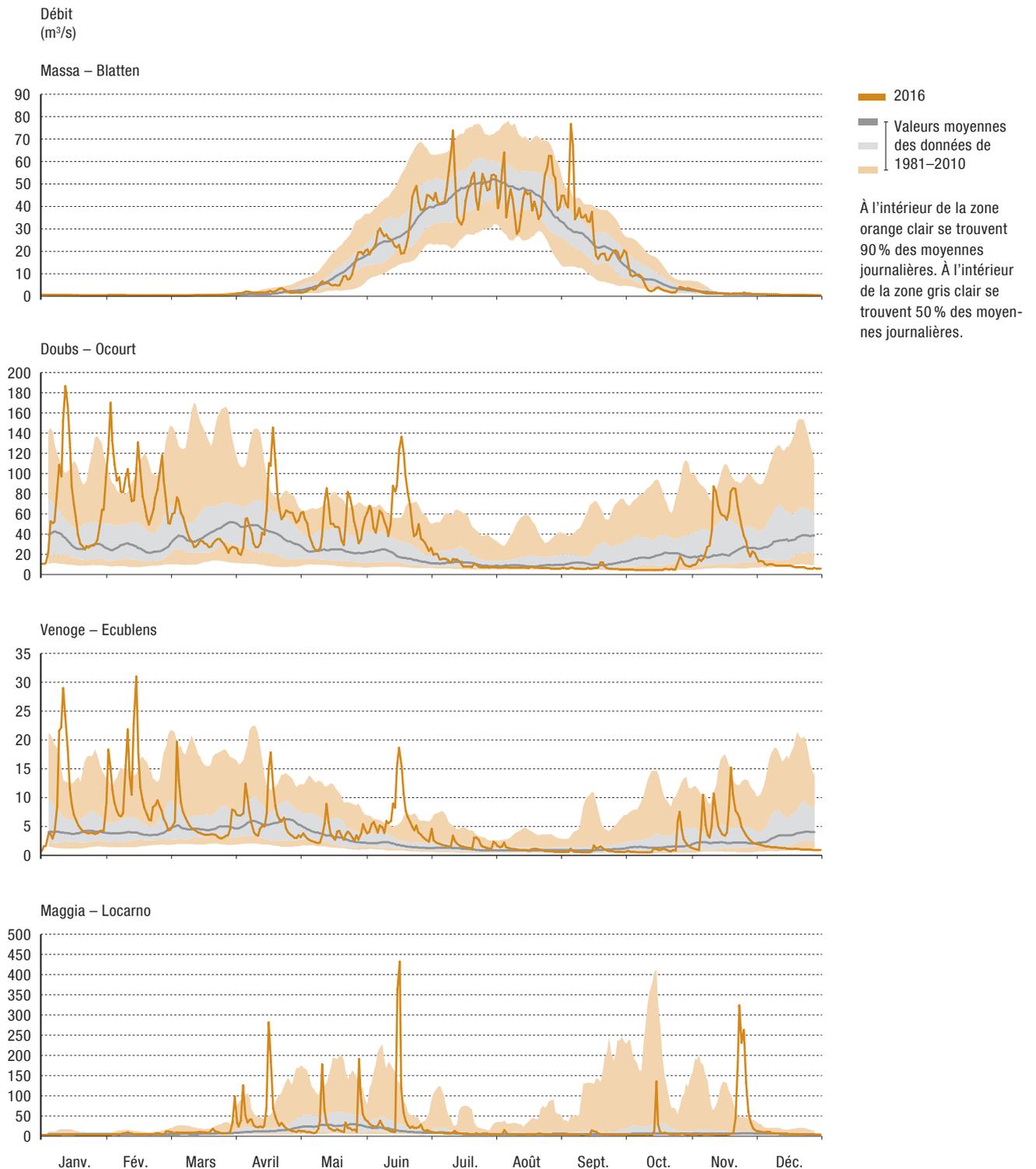
**Fig. 4.6** Moyennes journalières 2016 des débits (ligne orange) par rapport aux moyennes journalières de la période de référence 1981–2010.

### Moyennes journalières des débits de différents bassins versants de taille moyenne (1/2)



**Fig. 4.7** Moyennes journalières 2016 des débits (ligne orange) par rapport aux moyennes journalières de la période de référence 1981–2010.

## Moyennes journalières des débits de différents bassins versants de taille moyenne (2/2)



**Fig. 4.8** Moyennes journalières 2016 des débits (ligne orange) par rapport aux moyennes journalières de la période de référence 1981–2010.

## 4.2 Niveaux des lacs

Les moyennes annuelles des niveaux du lac de Constance et du lac Majeur se sont nettement écartées des moyennes inter-annuelles. À Romanshorn, le niveau du lac Supérieur s'est haussé 26 cm au-dessus de la normale 1981–2010, alors qu'à Locarno celui du lac Majeur est resté 27 cm au-dessous. Les lacs de Thoune et de Brienz ont affiché pour leur part des niveaux légèrement inférieurs aux moyennes interannuelles (respectivement –6 et –7 cm), ce qui s'explique notamment par l'abaissement extraordinaire du lac de Thoune : en effet, lorsque les conditions météorologiques sont favorables, ce lac est maintenu à un niveau très bas du 20 janvier au 20 février. Cela permet d'exécuter certains travaux le long des rives. Les lacs de Thoune et de Brienz sont abaissés tous les quatre ans, à tour de rôle. Les moyennes annuelles des niveaux des autres grands lacs se sont situées quelques centimètres au-dessus ou au-dessous de la normale.

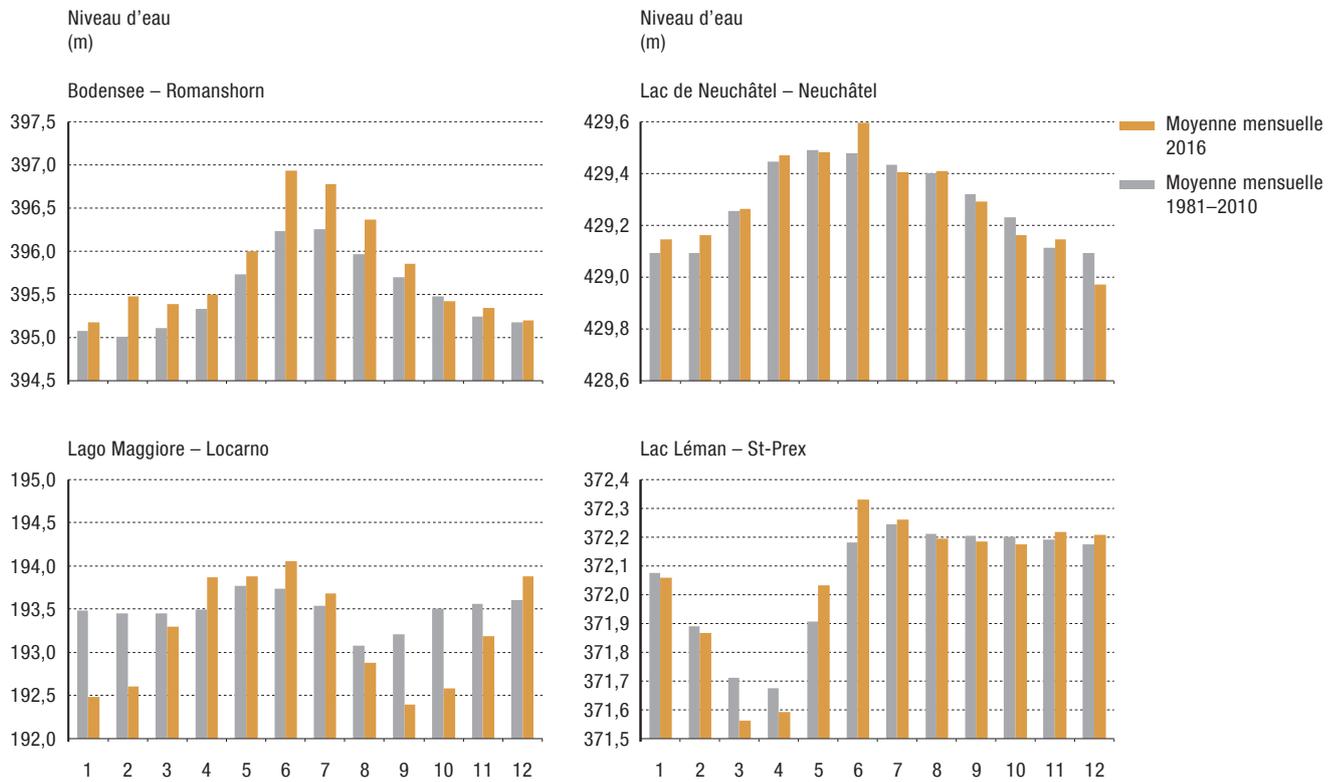
Dans le cas du lac de Constance, les douze moyennes mensuelles de 2016 ont toutes été supérieures aux valeurs interannuelles correspondantes (fig. 4.9). Des différences considérables sont apparues après les crues de la mi-juin. Pendant la saison estivale, soit en juin (+71 cm), en juillet (+52 cm) et en août (+40 cm), les niveaux ont nettement dépassé les valeurs normales. Ces dernières années, le niveau du lac de Constance s'est de plus en plus éloigné de la normale (chap. 1). C'est une raison de plus qui explique pourquoi toutes les moyennes mensuelles de 2016 ont été supérieures à celles de la période de référence. Le lac de Neuchâtel a connu en 2016 une évolution bien plus équilibrée. Les plus grands écarts par rapport à la normale y ont été de 12 cm (+12 cm en juin, –12 cm en décembre). Les moyennes mensuelles du lac Majeur se sont encore plus écartées de la normale que celles du lac de Constance, puisqu'en début d'année ce lac affichait un niveau situé plus d'un mètre au-dessous de la moyenne interannuelle de janvier. Les différences négatives se sont ensuite amoindries progressivement. Les valeurs mensuelles d'avril à juillet ont été supérieures à la normale. En automne, la sécheresse a provoqué une nouvelle baisse substantielle des niveaux, si bien qu'en septembre (–82 cm) et en octobre (–93 cm) les différences étaient du même ordre de grandeur qu'au début de l'année. Les grands déficits se sont résorbés avant la fin décembre et le niveau du lac est reparti à la hausse. Le Léman a affiché des niveaux inférieurs à la normale en mars (–15 cm) et supérieurs en juin (+15 cm). Au début de l'année et pendant le second semestre, les valeurs se sont cependant peu écartées de la normale.

Les précipitations intenses qui se sont abattues sans discontinuer sur les Préalpes centrales et orientales à la mi-juin ont fait monter le lac de Constance à un niveau qui n'avait plus été observé depuis 1999. Pendant les mois de juin et

de juillet, le seuil du niveau 2 a été dépassé pendant plus de 40 jours d'affilée et celui du niveau 4 (397,15 m), pendant deux semaines. La cote maximale de 2016, qui a été relevée le 21 juin, est cependant demeurée plus d'un demi-mètre au-dessous du niveau le plus élevé, atteint en 1999.

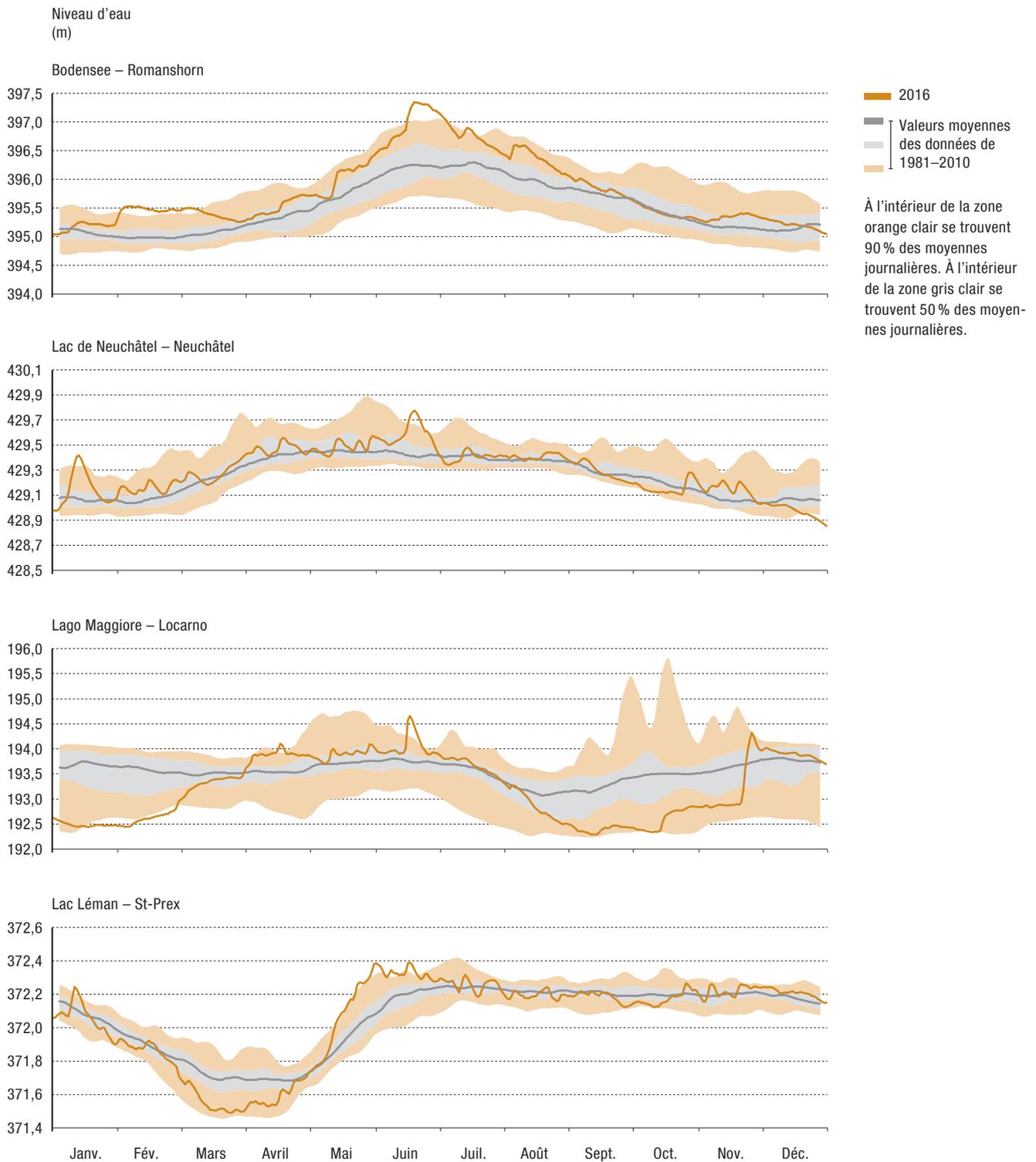
Trois des quatre lacs de la figure 4.10 ont présenté des niveaux particulièrement bas en 2016. Le lac de Neuchâtel a atteint sa cote minimale à la fin de l'année. La valeur mesurée le 31 décembre se situait 24 cm au-dessous de la moyenne mensuelle interannuelle et plus que 6 cm au-dessus du niveau le plus bas de toute la période de mesure débutant en 1983. Le lac Majeur a connu deux phases de basses eaux : une au début de l'année, une autre en automne. La figure 4.10 montre que si les niveaux relevés en automne étaient plus bas (seulement 20 cm au-dessus du niveau de 1947, le plus bas de la période de mesure), ceux du début de l'année étaient encore plus exceptionnels. Cela semble contradictoire, mais les niveaux des lacs suivent un régime qui leur est propre : celui du lac Majeur laisse ainsi supposer que les valeurs les plus basses apparaîtront vers la fin de l'été et que les niveaux seront normalement un peu plus élevés en début d'année. Les niveaux mesurés de la mi-janvier à début février 2016 ont été nettement plus bas que d'ordinaire (192,5 m). En automne, les valeurs absolues ont été plus basses, mais se sont encore trouvées dans la partie inférieure de la fourchette habituelle pour la saison. Le Léman a vu ses niveaux fluctuer dans la marge inférieure de la normale en mars et en avril, puis atteindre rapidement des valeurs supérieures à la normale. Sa cote maximale de 2016 est cependant restée environ 30 cm au-dessous du maximum pour un mois de juin, remontant à 1970.

### Moyennes mensuelles des niveaux de différents lacs



**Fig. 4.9** Moyennes mensuelles 2016 des niveaux d'eau (en orange) par rapport aux moyennes mensuelles de la période de référence 1981-2010 (en gris).

### Niveaux journaliers de différents lacs



**Fig. 4.10** Moyennes journalières 2016 des niveaux d'eau (ligne orange) par rapport aux moyennes journalières de la période de référence 1981–2010.

### 4.3 Températures de l'eau

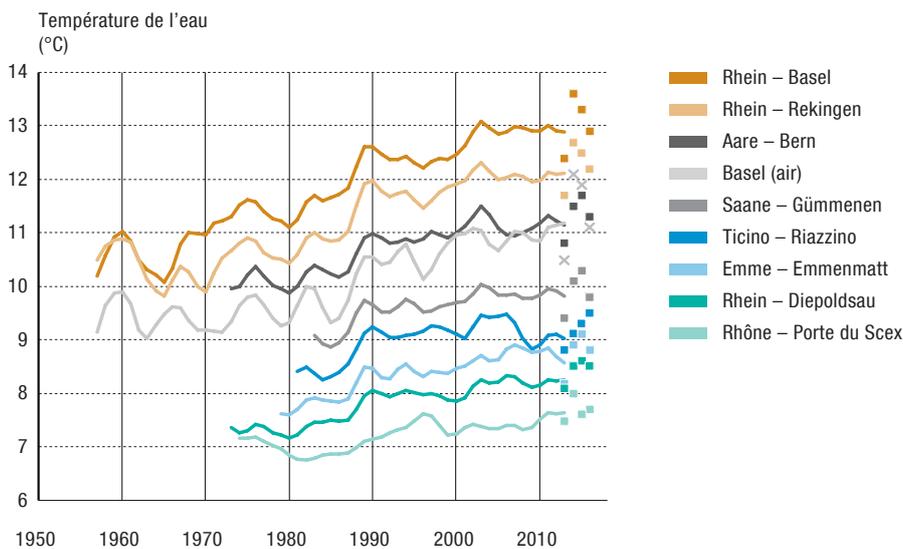
Dans l'ensemble, 2016 a été une année plus douce que les précédentes. Cela explique pourquoi de toutes les stations de l'OFEV mesurant la température annuelle moyenne des cours d'eau suisses, seule celle d'Aare – Brienzwiler, dont le bassin versant est influencé par des centrales de pompage-turbinage, a enregistré un nouveau maximum. En revanche, aucune valeur inférieure aux minima annuels n'a été observée en 2016.

Si on observe l'évolution des moyennes annuelles pendant la dernière décennie, on constate que la hausse générale de la température de l'eau tend à se poursuivre, notamment à la station de mesure de Bâle (fig. 4.11). Cette tendance n'est toutefois pas continue, mais saccadée. Cela est bien visible à partir de 1987, avec une hausse nette durant environ deux ans, suivie d'une dizaine d'années de stagnation. De 2000 à 2003, on observe un nouveau bond, se terminant par une transition à une phase plutôt stable, laquelle se prolonge au moins jusqu'en 2013.

L'hiver 2015/2016 a été le deuxième hiver le plus chaud depuis le début des mesures de l'Office fédéral de météorologie et de climatologie (MétéoSuisse). En raison des températures de l'air très douces pour la saison, les températures de l'eau ont dépassé les moyennes mensuelles interannuelles. En janvier, cela a été le cas à trois stations du Plateau et à une station située dans la région du lac de Walenstadt (Linth – Weesen). En mars, des dépassements des moyennes mensuelles sont

apparus à dix stations situées sur le Plateau et à quatre autres dans la partie méridionale de la Suisse. En avril, les dépassements se sont multipliés en se décalant légèrement du Plateau (trois stations) aux Alpes septentrionales (trois stations). Ces mois-là, six stations ont aussi relevé des valeurs inférieures aux températures minimales interannuelles jusqu'en mai.

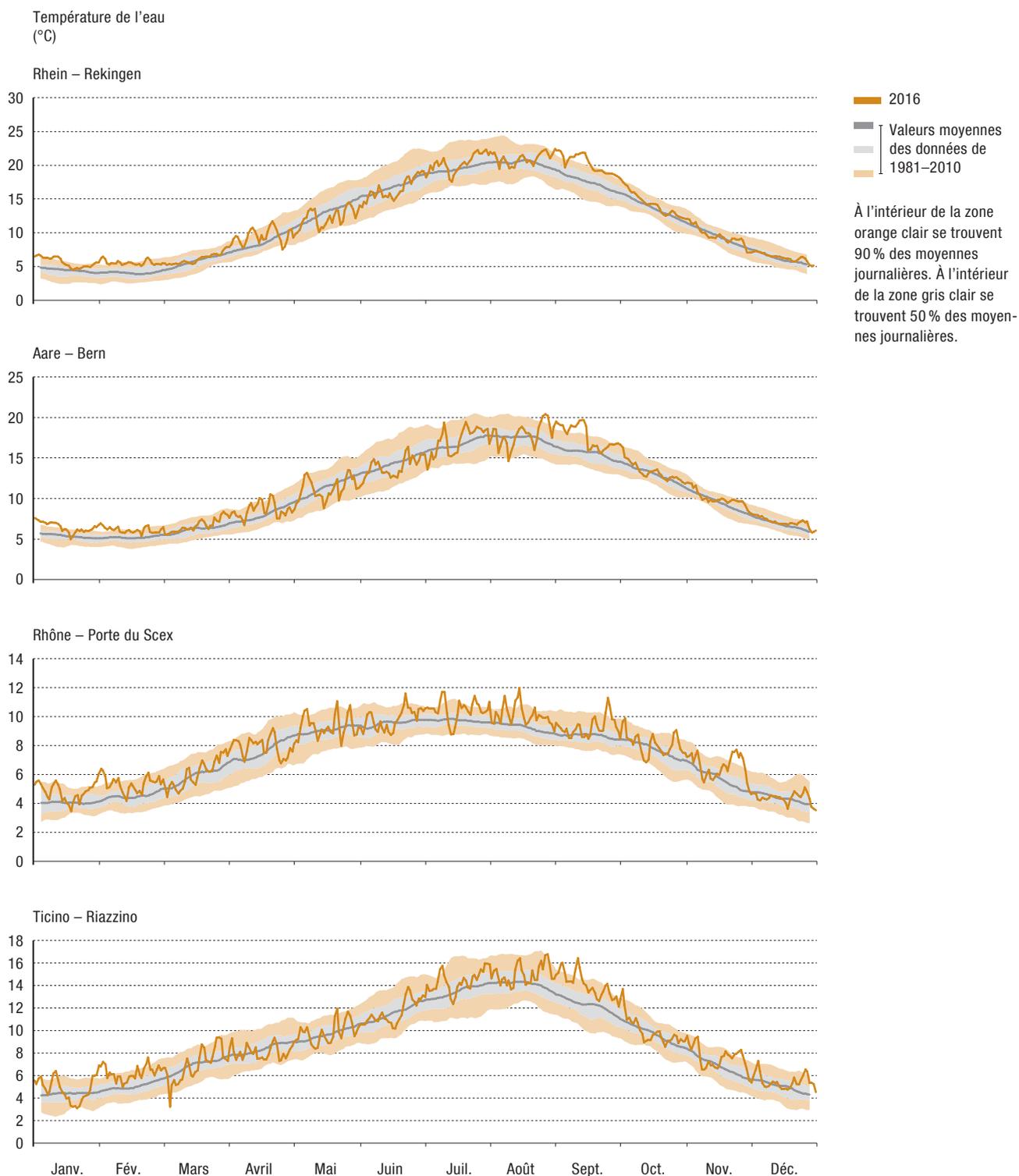
Il a fallu attendre la brève chaleur record de la fin août et la canicule de septembre pour qu'apparaissent trois, puis quinze dépassements des maxima mensuels, notamment au niveau de plusieurs stations situées dans les bassins versants du Léman et du haut Rhin, d'une station en Valais et de deux autres au Tessin. Aucun nouveau maximum supplémentaire n'a été observé. En novembre, cinq stations ont enregistré des valeurs inférieures aux minima mensuels dans la partie occidentale et orientale des Alpes centrales. En décembre, de nouveaux minima pour ce mois ont été mesurés par cinq stations dans la partie orientale du Plateau et par une station dans la partie orientale des Alpes centrales.



**Fig. 4.11** Évolution de la température de différentes rivières suisses de 1954 à 2016.

Les lignes représentent les moyennes lissées sur sept ans, les points ou les croix (température de l'air) les quatre dernières moyennes annuelles.

### Températures journalières moyennes de différentes stations



**Fig. 4.12** Moyennes journalières 2016 de la température de l'eau (ligne orange) par rapport aux moyennes journalières de la période de référence 1981–2010.

#### 4.4 Isotopes stables

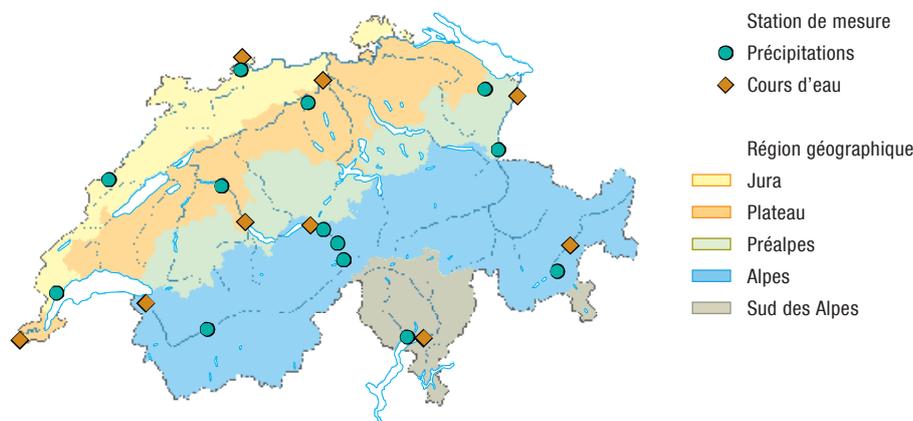
Les isotopes stables de l'eau présents dans les précipitations, les eaux de surface et les eaux souterraines sont des indicateurs naturels qui fournissent des informations fort utiles pour les études régionales climatologiques, environnementales et hydrologiques. Ils permettent de suivre chacun des éléments constitutifs de l'eau dans les eaux souterraines ou d'estimer l'altitude moyenne d'un bassin versant. Depuis quelques années, le rapport entre les isotopes stables de l'eau, la température et l'humidité relative de l'air dans les zones de provenance des précipitations est de plus en plus pris en compte dans les études météorologiques. Afin d'obtenir les données de référence nécessaires pour ce type de recherches, l'évolution régionale à long terme du deutérium ( $^2\text{H}$ ) et de l'oxygène-18 ( $^{18}\text{O}$ ) est relevée à treize stations pluviométriques représentatives et à neuf stations hydrométriques dans le cadre du module ISOT (isotope de l'eau) de NAQUA (fig. 4.13).

Dans les précipitations, les valeurs  $\delta^2\text{H}$  et  $\delta^{18}\text{O}$  ont augmenté à toutes les stations pluviométriques entre 1980 et le début de ce siècle, suivant la même tendance que les températures. Cette évolution générale n'est toutefois pas continue, mais dominée par des fluctuations saisonnières. Cette dernière dizaine d'années semble comporter une phase intermédiaire de plusieurs années sans tendance significative au niveau des isotopes stables dans les précipitations. Même si les valeurs  $\delta$  mesurées dans les précipitations sont généralement bien plus négatives pendant les semestres d'hiver, elles ont dépassé la

normale saisonnière pendant l'hiver 2015/2016, du fait de sa douceur exceptionnelle. Pendant l'été 2016, les valeurs  $\delta$  ont également atteint des niveaux élevés, en même temps que la température de l'air.

Dans les cours d'eau, les valeurs  $\delta^2\text{H}$  et  $\delta^{18}\text{O}$  connaissent la même évolution saisonnière, mais sous une forme fortement atténuée à cause des dosages dans l'écoulement, qui varient selon les régions (dans l'Aar, le Rhin et le Rhône, p. ex.). Ici aussi, la tendance haussière des valeurs isotopiques a été interrompue ces dernières années. En 2016 tout comme chaque année depuis 2013, les valeurs  $\delta$  relevées au printemps et en été le long de l'Aar, dans le Rhin à Weil et dans le Rhône en amont du Léman sont restées inférieures à la moyenne interannuelle. L'été ayant été chaud, l'eau de la fonte des glaciers (aux valeurs  $\delta$  plus négatives) a en effet davantage contribué à l'écoulement pendant cette période.

Stations de mesure de l'Observation nationale des eaux souterraines NAQUA (Module ISOT)



**Fig. 4.13** Stations de mesure du module ISOT de NAQUA relevant l'évolution des isotopes dans les précipitations et dans les cours d'eau suisses, état 2016.

### 4.5 Qualité de l'eau, propriétés physiques et chimiques

L'OFEV suit l'état et l'évolution de la qualité de l'eau des cours d'eau de Suisse à 17 stations dans le cadre de la Surveillance nationale continue des cours d'eau suisses (NADUF), ainsi qu'à 111 stations dans le cadre de l'Observation nationale de la qualité des eaux de surface (NAWA), un programme mené en collaboration avec les cantons (fig. 4.14). Les mesures sont effectuées non seulement pour observer l'évolution des composants de l'eau (substances nutritives et micropolluants, p. ex.), mais aussi pour évaluer l'efficacité des mesures de protection des eaux. Les analyses de la qualité de l'eau se concentrent par conséquent davantage sur les variations à long terme que sur les fluctuations saisonnières. C'est pourquoi ces analyses sont publiées dans l'Annuaire hydrologique avec certains thèmes clés. En 2016, les résultats des relevés NAWA effectués entre 2011 et 2014 ont été communiqués et décrits dans la publication «État des cours d'eau suisses». Les relevés NADUF sont disponibles sur Internet (voir annexe).

#### Teneur en azote dans les cours d'eau

Ces dernières décennies, la concentration de substances nutritives dans les eaux suisses a généralement diminué, surtout grâce aux efforts déployés dans l'épuration des eaux usées. Les courbes de la teneur en azote total mesurée aux quatre stations NADUF représentées ci-dessous (fig. 4.14) laissent clairement apparaître les variations saisonnières, mais aussi

des évolutions à long terme (fig. 4.15). La pollution azotée évolue de manière plus complexe que les concentrations de phosphore, qui se sont réduites presque d'un seul coup après l'élimination du phosphore dans l'épuration des eaux usées et l'interdiction des phosphates dans les poudres à lessive en 1986.

On constate que les concentrations d'azote relevées aux stations NADUF de 1985 à 1990 ont augmenté par rapport à celles mesurées de 1977 à 1983. Cette hausse s'est produite pendant la même période que le réchauffement des températures de l'air et de l'eau. Il est donc possible qu'une activité biologique accrue ait alors libéré une part de l'azote qui s'était accumulé auparavant. La baisse progressive de la teneur en azote observée aux stations NADUF commence seulement en 1993, ce qui est probablement dû à l'apport de plus en plus faible d'azote excédentaire par la fertilisation agricole et à l'amélioration de la dénitrification (élimination du nitrate) dans l'épuration des eaux usées. Après 2005, le Rhin et la Glatt, par exemple, présentent déjà en moyenne interannuelle une teneur en azote plus basse qu'au début de la série de mesures dans les années 1970.

Il faut que la teneur en azote dans les eaux continue de diminuer. Une surveillance à long terme et de qualité des eaux de surface permettra de déterminer le succès de diverses mesures ainsi que l'influence de la température et d'une combinaison d'autres facteurs.

Stations de mesure de la Surveillance nationale continue des cours d'eau suisses (NADUF) et de l'Observation nationale de la qualité des eaux de surface (NAWA)

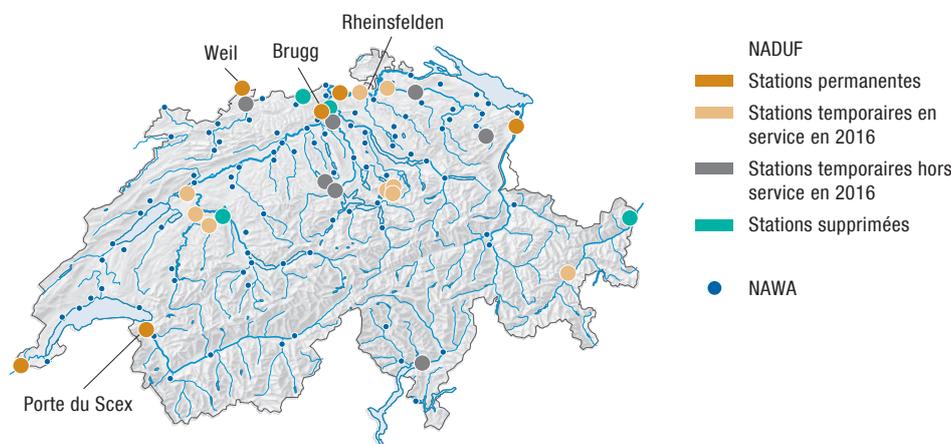
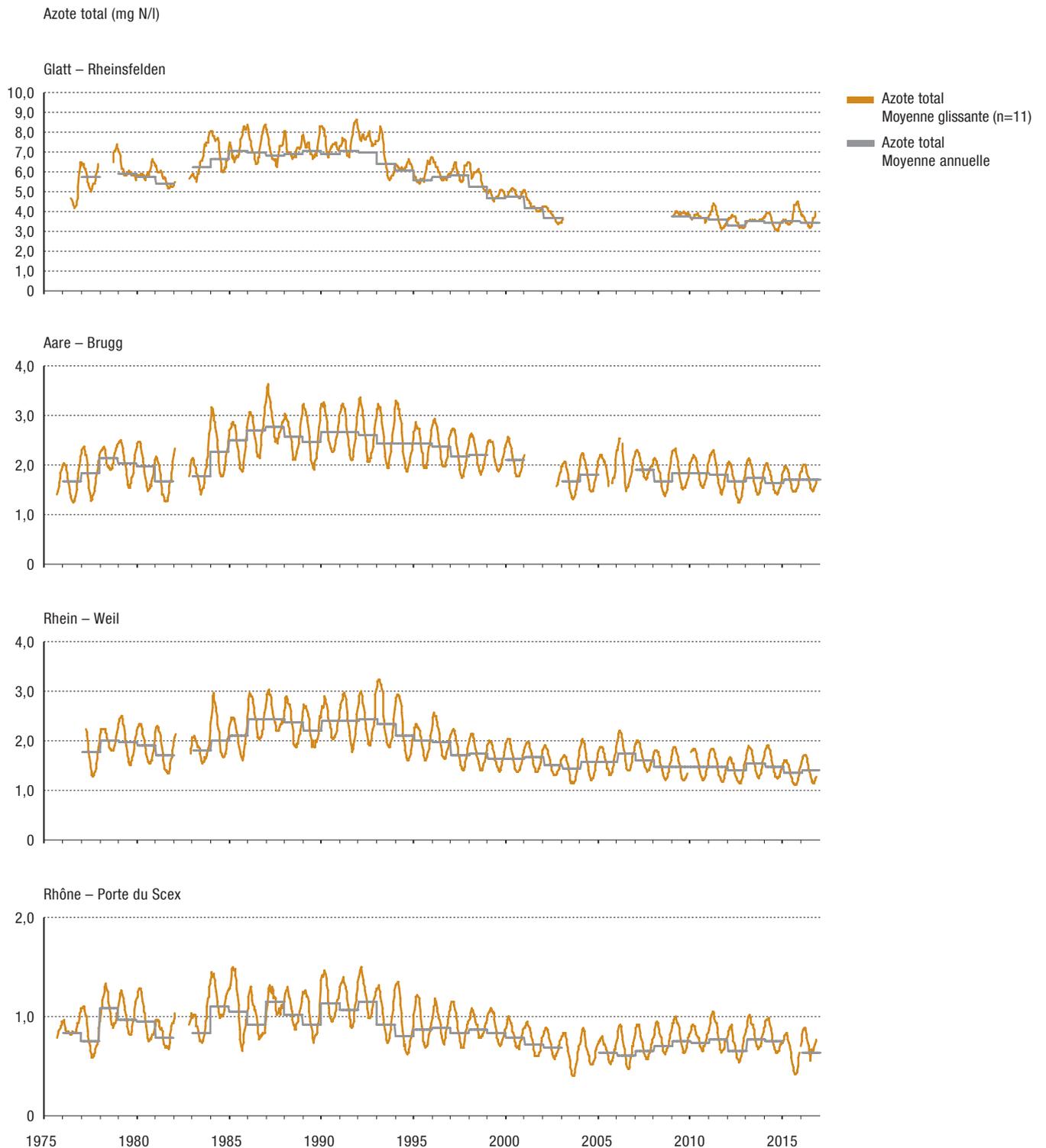


Fig. 4.14 Stations de mesure de la Surveillance nationale continue des cours d'eau suisses (NADUF) relevant la qualité de l'eau en Suisse, état 2016.

## Teneur en azote total dans différents cours d'eau



**Fig. 4.15** Évolution de la teneur en azote total dans des échantillons composites sur deux semaines à différentes stations NADUF. Les graphiques représentent les moyennes glissantes sur onze échantillons (en orange) et les moyennes annuelles pondérées par le débit cumulé (en gris). Les moyennes annuelles ne sont calculées que si au moins 67% des données de l'année sont disponibles.

# 5 > Eaux souterraines

De janvier à juin 2016, la plupart des niveaux des eaux souterraines et des débits des sources ont augmenté et atteint des valeurs élevées. Au cours du second semestre, ils sont repartis à la baisse suite à la faiblesse des précipitations et ont de nouveau été conformes ou inférieurs à la normale suite aux précipitations restant faibles.

## 5.1 Eaux souterraines – quantité

Le suivi des niveaux des eaux souterraines et des débits des sources à quelque 100 stations représentatives dans le cadre du module QUANT de NAQUA permet de déterminer l'état et l'évolution des eaux souterraines suisses en termes de quantité. Les résultats des mesures renseignent en outre sur l'impact possible des changements climatiques sur les ressources souterraines (multiplication des événements extrêmes tels que crues ou sécheresses, p. ex.).

La Suisse connaît fréquemment des périodes de plusieurs années caractérisées par des niveaux des eaux souterraines plutôt bas ou plutôt élevés, selon les tendances météorologiques à long terme (température et précipitations). Cette généralisation comporte toutefois de grandes disparités inter-annuelles et régionales.

En 2016, les niveaux des eaux souterraines et les débits des sources ont évolué de la manière suivante en Suisse.

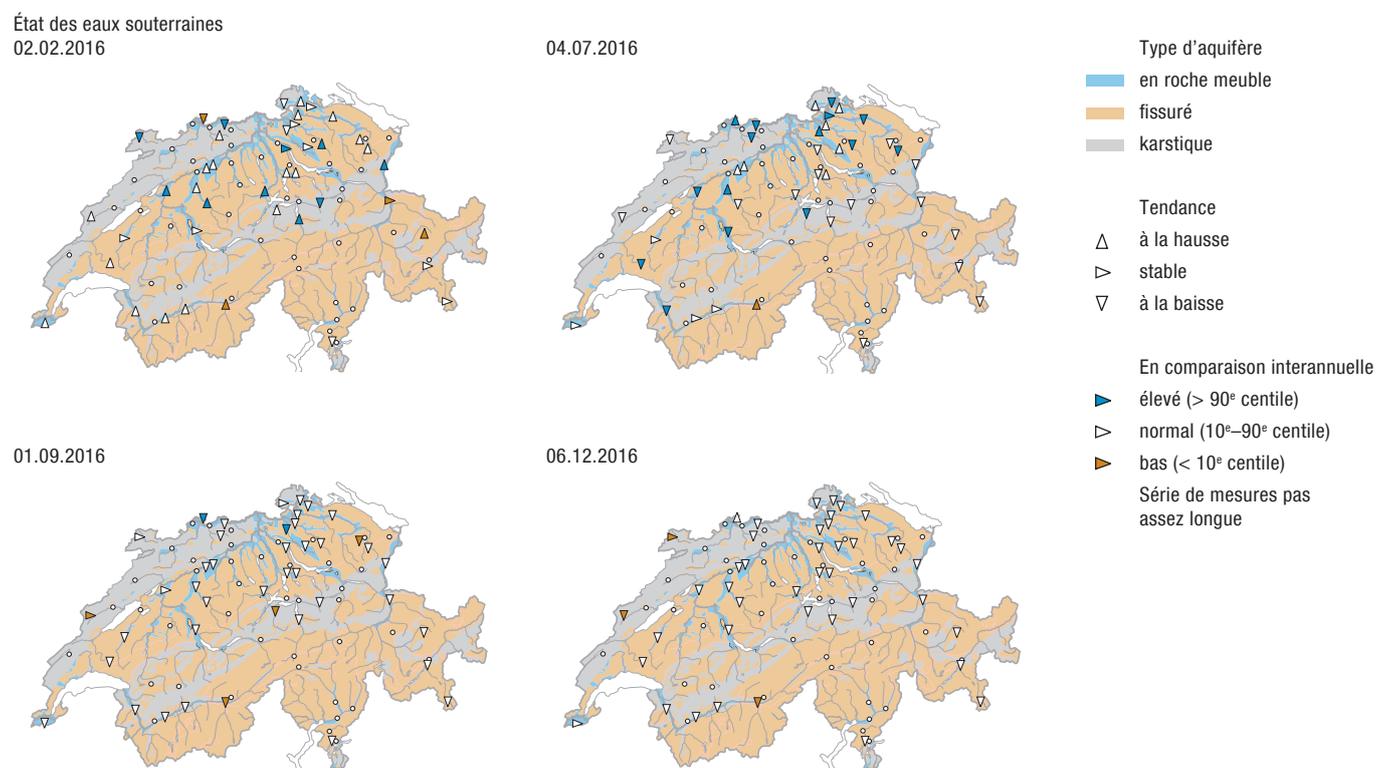


Fig.5.1 Niveaux des eaux souterraines et débits des sources ainsi que leur tendance pendant quatre jours de référence en 2016, complétés par une comparaison avec la période de mesure 2000–2015.

Au nord des Alpes, les précipitations souvent abondantes de janvier et février 2016 ont entraîné une hausse continue des niveaux des eaux souterraines et des débits des sources, que la sécheresse de fin 2015 avait abaissés. Alors qu'en janvier près d'une station de mesure sur quatre relevait encore des valeurs basses, elles n'étaient plus que quelques-unes à le faire début février (fig. 5.1, état des eaux souterraines au 2.2.2016 et fig. 5.2).

Les niveaux des eaux souterraines et les débits des sources se sont encore élevés avec les fortes précipitations qui se sont abattues sur la Suisse d'avril à juin 2016. Ainsi, en juin, deux tiers des stations enregistraient un niveau ou un débit élevé (fig. 5.2). Début juillet, les valeurs mesurées étaient conformes ou supérieures à la normale, avec une tendance hétérogène (fig. 5.1, état des eaux souterraines au 4.7.2016).

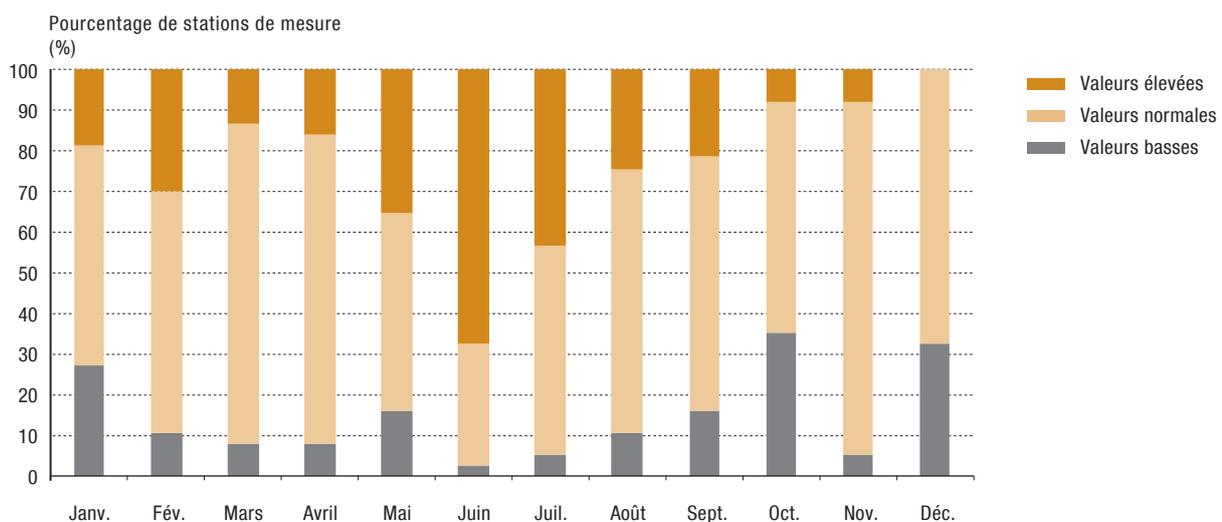
Le mois de juillet s'est distingué par des températures élevées et des orages parfois violents dans certaines régions. Alors que le Jura, le Valais, le Tessin et la Suisse orientale recevaient des quantités de précipitations inférieures à la normale, la Suisse centrale et la Suisse romande étaient plus arrosées que d'ordinaire. Cependant, seuls les aquifères en roche meuble présentant une zone non saturée peu épaisse ont pu profiter brièvement des orages locaux. Le mois d'août ayant, lui aussi, été exceptionnellement chaud et sec, les niveaux et les débits élevés de juin se sont normalisés. Ainsi, début septembre, des valeurs normales étaient enregistrées dans tout

le pays, la tendance étant à la baisse (fig. 5.1, état des eaux souterraines au 1.9.2016).

Le temps est resté peu pluvieux en septembre et octobre. Vu la faiblesse des précipitations, les niveaux des eaux souterraines et les débits des sources se sont de plus en plus abaissés dans le Jura, dans les Alpes et au Tessin. À la fin octobre, un tiers des stations enregistraient des valeurs basses (fig. 5.2).

En novembre, pour la première fois depuis juin, les précipitations ont de nouveau été plus abondantes que la normale un peu partout. En altitude, elles sont surtout tombées sous forme de neige. Ce sont donc surtout le Plateau et ses aquifères en roche meuble (avec une zone non saturée peu épaisse) qui en ont bénéficié. Début décembre, les eaux souterraines et les sources avaient retrouvé des niveaux et des débits conformes à la normale dans la plupart des régions et affichaient une tendance à la baisse (fig. 5.1, état des eaux souterraines au 6.12.2016).

Décembre, par contre, a été exceptionnellement sec dans tout le pays. À la fin du mois, environ une station sur trois enregistrait donc de nouveau des valeurs basses (fig. 5.2).



**Fig. 5.2** Pourcentage de stations de mesure ayant enregistré des valeurs mensuelles basses, normales et élevées pour le niveau des eaux souterraines ou le débit des sources de janvier à décembre 2016. En gris : la valeur entre dans la fourchette correspondant aux 10% les plus bas des valeurs mesurées de 1996 à 2015. En orange clair : la valeur entre dans la fourchette correspondant aux 80% des valeurs mesurées de 1996 à 2015. En orange foncé : la valeur entre dans la fourchette correspondant aux 10% les plus élevés des valeurs mesurées de 1996 à 2015.

## 5.2 Eaux souterraines – qualité

La qualité des eaux souterraines suisses est généralement bonne à très bonne. Il arrive cependant que des traces de substances de synthèse indésirables y soient détectées, en particulier dans les zones fortement urbanisées et les régions vouées à une agriculture intensive.

L'état et l'évolution de la qualité des eaux souterraines sont relevés dans le cadre de l'Observation nationale des eaux souterraines NAQUA. Les mesures réalisées à 550 stations représentatives, réparties sur l'ensemble du pays (fig. 5.3), permettent non seulement de détecter rapidement la présence de substances problématiques ou de changements indésirables, mais aussi de vérifier l'efficacité des mesures prises dans le domaine de la protection des eaux souterraines. Les analyses de la qualité des eaux souterraines se concentrent par conséquent sur les variations à long terme, significatives du point de vue statistique, et non sur les fluctuations saisonnières. Elles ne sont donc pas publiées dans l'Annuaire hydrologique. Des informations et des données supplémentaires sont disponibles sur Internet (voir p. 34).

Stations de mesure de l'Observation nationale des eaux souterraines NAQUA (modules TREND et SPEZ)

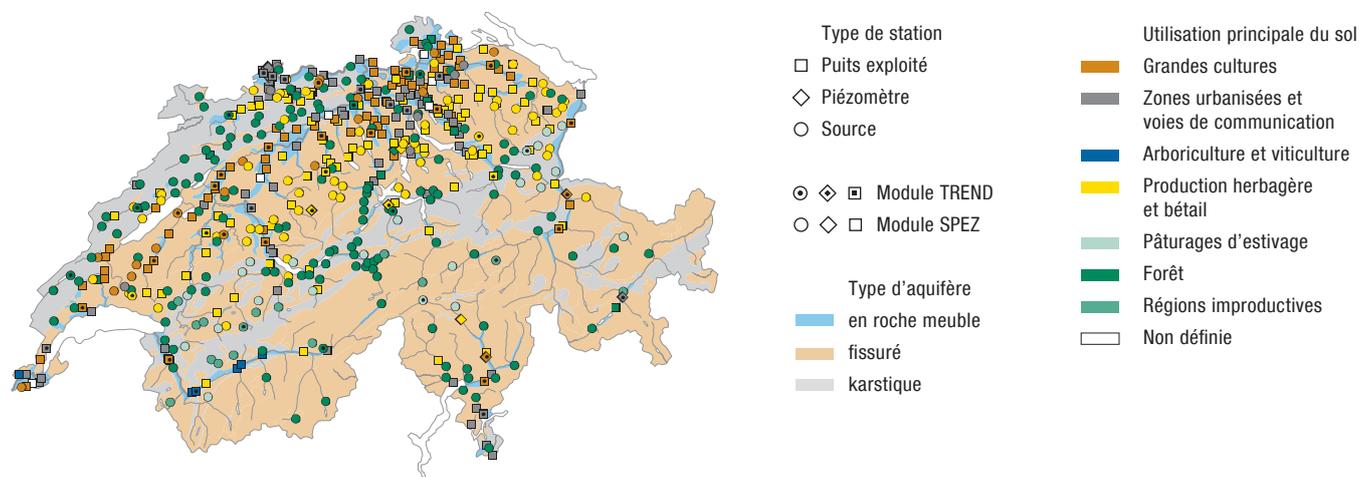


Fig. 5.3 Stations de mesure des modules TREND et SPEZ de NAQUA relevant la qualité des eaux souterraines selon l'utilisation principale du sol dans le bassin versant et selon le type d'aquifère, état 2016.

## > Annexe

### Glossaire

#### Centile

Mesure de position en statistique. Un centile détermine la part des valeurs d'une distribution situées au-dessus ou au-dessous d'un certain seuil. Par exemple, la valeur du 95<sup>e</sup> centile est telle que 95 % des observations se trouvent au-dessous et 5 % au-dessus. Le centile le plus connu est la médiane (ou le 50<sup>e</sup> centile), qui divise les valeurs d'une distribution en deux parties égales.

#### Niveau de danger

Pour les alertes en cas de crue, l'OFEV distingue cinq niveaux de danger, conformément aux dispositions de l'ordonnance sur l'alarme. Chacun d'eux renseigne sur l'intensité de l'événement, les conséquences possibles et les comportements à adopter. Pour les lacs, la limite de crue marque le passage entre le niveau 3 (« danger marqué ») et le niveau 4 (« danger fort »). Avec un tel niveau, le risque d'inondation augmente. Les bâtiments et les infrastructures peuvent subir des dommages.

#### Normale

Pour décrire les conditions climatologiques ou hydrologiques moyennes d'une station, on utilise les valeurs moyennes (normales) de divers paramètres mesurées sur une longue période. Dans le présent annuaire, il s'agit le plus souvent de la période 1981–2010.

#### Observation nationale de la qualité des eaux de surface (NAWA)

Programme de mesure de l'OFEV qui, en collaboration avec les cantons, établit les bases permettant de documenter et d'évaluer l'état ainsi que l'évolution des eaux suisses.

#### Observation nationale des eaux souterraines NAQUA

L'Observation nationale des eaux souterraines NAQUA se compose des quatre modules QUANT, TREND, SPEZ et ISOT. Le premier est consacré à l'observation quantitative des eaux souterraines, tandis que le deuxième et le troisième se focalisent sur leur qualité. Servant à observer les isotopes stables dans les précipitations et les cours d'eau, le quatrième livre des données de référence pour les eaux souterraines.

#### Surveillance nationale continue des cours d'eau suisses (NADUF)

Programme de mesure qui suit l'évolution des composants de l'eau dans différents cours d'eau suisses.

#### <sup>2</sup>H, <sup>18</sup>O

Le deutérium (<sup>2</sup>H) est un isotope naturel stable de l'hydrogène. L'oxygène-18 (<sup>18</sup>O) est un isotope naturel stable de l'oxygène. Les isotopes sont des atomes d'un élément possédant le même nombre de protons, mais un nombre différent de neutrons.

Les valeurs  $\delta$  (valeurs delta) sont des coefficients des isotopes considérés  $\delta(^2\text{H}/^1\text{H})$ , abrégé en  $\delta^2\text{H}$ , et  $\delta(^{18}\text{O}/^{16}\text{O})$ , abrégé en  $\delta^{18}\text{O}$ .

---

## Informations complémentaires sur Internet

Des informations détaillées sur les thèmes de l'Annuaire hydrologique et sur les réseaux hydrométriques de l'OFEV, ainsi que des données actuelles et historiques se trouvent sur Internet, sous :

[www.bafu.admin.ch/annuairehydrologique](http://www.bafu.admin.ch/annuairehydrologique)

- > Données actuelles et historiques :  
[www.hydrodaten.admin.ch](http://www.hydrodaten.admin.ch)
- > Bulletin hydrologique de l'OFEV :  
[http://www.hydrodaten.admin.ch/fr/hydro\\_bulletin.html](http://www.hydrodaten.admin.ch/fr/hydro_bulletin.html)
- > Bulletin des eaux souterraines de l'OFEV :  
<http://www.hydrodaten.admin.ch/fr/bulletin-des-eaux-souterraines.html>
- > Résultats de l'Observation nationale des eaux souterraines (NAQUA) : [www.bafu.admin.ch/naqua](http://www.bafu.admin.ch/naqua)
- > Résultats de la Surveillance nationale continue des cours d'eau (NADUF) – téléchargement des données :  
[www.eawag.ch/de/abteilung/wut/schwerpunkte/chemiewasserressourcen/naduf/](http://www.eawag.ch/de/abteilung/wut/schwerpunkte/chemiewasserressourcen/naduf/)
- > Surveillance nationale continue des cours d'eau (NADUF) – description du réseau d'observation :  
[www.bafu.admin.ch/naduf](http://www.bafu.admin.ch/naduf)
- > Observation nationale de la qualité des eaux de surface (NAWA) : [www.bafu.admin.ch/nawa](http://www.bafu.admin.ch/nawa)
- > Publication « État des cours d'eau suisses. Résultats de l'Observation nationale de la qualité des eaux de surface (NAWA) » : [www.bafu.admin.ch/uz-1620-f](http://www.bafu.admin.ch/uz-1620-f)
- > Indicateurs Eaux et informations complémentaires sur l'eau : [www.bafu.admin.ch/eaux](http://www.bafu.admin.ch/eaux)



> *Pour en savoir plus : [www.bafu.admin.ch/eaux](http://www.bafu.admin.ch/eaux)*