



HAL
open science

Le fonctionnement hydrologique et hydrochimique du torrent de la Doria (massif des Bauges, France)

Hamid Reza Najib, Michel Mietton

► **To cite this version:**

Hamid Reza Najib, Michel Mietton. Le fonctionnement hydrologique et hydrochimique du torrent de la Doria (massif des Bauges, France). *Karstologia Mémoires*, 2018. hal-02087156

HAL Id: hal-02087156

<https://univ-lyon3.hal.science/hal-02087156v1>

Submitted on 1 Apr 2019

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



L'entrée de la grotte de la Doria exutoire temporaire des écoulements du système karstique. Photo M. Thomas.

Le fonctionnement hydrologique et hydrochimique du torrent de la Doria (massif des Bauges, France)

Hamid Reza NAJIB¹ et Michel MIETTON²

RÉSUMÉ : Issu d'une exurgence sur le versant sud du plateau de la Féclaz, le torrent de la Doria a fait l'objet d'un suivi hydrologique continu pendant dix ans (1989-1998). Les données de hauteurs d'eau puis de débits établies sur deux stations hydrométriques successives au pont de Lovettaz ont permis d'illustrer, à différentes échelles de temps et à l'aval d'un bassin-versant d'environ 15,7 km², le régime d'un torrent issu d'un karst perché de moyenne montagne des Préalpes du nord (altitude médiane du bassin : 1 320 m). De façon plus fortuite, ces enregistrements intègrent un événement extrême, une méga crue de durée de retour probablement pluricentennale. Enfin, des données hydrochimiques apportent d'autres enseignements sur le fonctionnement de ce système karstique.

MOTS-CLÉS : EXSURGENCE, CRUE BRUTALE, HYDROMÉTRIE TORRENTIELLE, CONDUCTIVITÉ ÉLECTRIQUE, DISSOLUTION CHIMIQUE, BAUGES, SAVOIE, PRÉALPES DU NORD.

ABSTRACT: *THE HYDROLOGICAL AND HYDRO-CHEMICAL FUNCTIONING OF THE DORIA TORRENT (BAUGES MASSIF, FRANCE). The Doria torrent is generated by an exodus on the southern slope of the Féclaz plateau. Its continuous hydrological monitoring has been carried out over a ten-year period (since 1989 to 1998) via the placement of two successive hydrometric stations on Doria torrent. The data concerning the water level and discharge has been gathered at different time scales and also in downstream approximately 15.7km², representing the regime of a torrent in a karst area, from a middle mountain of the Northern Prealps (median height of the basin: 1.320m). In addition, these records also encompass information relative to an extreme event such as a flash flood of probably multi-centennial return duration. Finally, the hydrochemical data also provides further lessons concerning the functioning of this karstic system.*

KEYWORDS: EXSURGENCE, FLASH FLOOD, TORRENTIAL HYDROLOGICAL MONITORING, ELECTRIC CONDUCTIVITY, SPECIFIC DISSOLUTION, BAUGES, SAVOY, FRENCH NORTH PREALPES.

¹ FAO Rome

² Université Jean Moulin Lyon3
– UMR 5600 CNRS CRGA

Introduction

Durant les années 1980, un dispositif hydrométrique a été mis en place dans le bassin de la Leysse, dans et autour de la ville de Chambéry, dans un double objectif: pédagogique, pour la formation des étudiants géographes de l'université de Savoie puis de l'université Louis Pasteur de Strasbourg, et aussi de recherche sur le thème des risques hydrologiques. Plusieurs stations ont été progressivement équipées: en milieu urbain (2 stations) et aussi sur les affluents de la Leysse: l'Albanne à Apremont, en complément de celle de Barberaz gérée alors par la DDA, l'Hyère à Cognin et la Doria à Lovettaz. Outre plusieurs mémoires de maîtrise et de DEA, cette recherche a donné lieu à des publications [LÉONARD *et al.*, 2000; FANGET *et al.*, 2003 et 2009] et à une thèse [NAJIB, 2000], dont on rappelle ici une partie des résultats.

Torrent issu d'une exsurgence sur le versant sud du plateau de la Féclaz, à la base du calcaire urgonien (figures 1 et 2), la Doria a fait l'objet d'un suivi hydrologique pendant dix ans (1989-1998). Les chroniques de hauteurs d'eau établies

sur deux stations hydrométriques successives au pont de Lovettaz (limnigraphe OTT X puis centrale CR2M à capteur à ultrasons, reliée par le réseau téléphonique à notre laboratoire du CEREGR à Strasbourg) ont été transformées en débits instantanés puis débits moyens journaliers grâce à leur étalonnage basé sur plus de 50 jaugeages mécaniques à la perche Pirée et 40 jaugeages chimiques (dichromate de sodium puis colorant alimentaire Jaune soleil/E110). Ces données ont permis d'illustrer, dans un premier temps, à différentes échelles de temps et à l'aval d'un bassin-versant d'environ 15,7 km² [LEMORDANT, 1977], le régime d'un torrent issu d'un karst perché de moyenne montagne des Préalpes du Nord (altitude médiane du bassin: 1320 m). De façon plus aléatoire, ces enregistrements intègrent un événement extrême d'occurrence rare, probablement pluricentennale, qui est discuté dans un deuxième temps. Enfin, des données hydrochimiques apportent d'autres enseignements sur le fonctionnement de ce système karstique.

I. Le régime de la Doria et le rôle du karst

A. Les débits instantanés et journaliers

À partir des courbes de tarage, dont la validation s'appuie sur une analyse comparative statistique des jaugeages mécaniques et chimiques pour une même hauteur d'eau (6 tests pour 6 niveaux d'eau ou débits compris entre 117 l/s et 887 l/s: dispersion moyenne: 3,8%), les débits instantanés ont été calculés sur la totalité de la période allant de février 1989 à décembre 1998. Le débit maximum le plus élevé, 83,9 m³/s, est un débit reconstitué lors de la crue exceptionnelle du 11 juillet 1995 sur laquelle nous reviendrons. Les données très précises fournies par la digitalisation des limnigrammes puis par la centrale de saisies automatiques ont permis une analyse fréquentielle d'occurrence des débits au pas de temps horaire sur les dix années d'observation (85 890 observations): la classe de débits instantanés la plus représentée (25 % des cas) est celle des 100 à 200 l/s.

Le débit moyen journalier maximum mesuré est de 8,24 m³/s le 15 février 1990; le plus faible débit moyen journalier mesuré est de 39 l/s le 22 mai 1998. Si les basses eaux extrêmes journalières se placent 8 fois sur 10 en été (août au

1^{er} rang), les hautes eaux maximales journalières sont plus dispersées dans le temps (3 occurrences en mai) en fonction des événements climatiques (précipitations et (ou) fonte neigeuse). Le tableau tiré de la courbe des débits moyens journaliers classés de la Doria (1990-1998) donne la valeur des débits caractéristiques, dépassés 1 (DC1), 3 (DC3), 6 (DC6), 9 (DC9) et 11 (DC11) mois par an ou encore 11 jours par an (DCM: Débit Caractéristique Maximum) et 355 jours par an (DCE: Débit Caractéristique d'Étiage).

B. Les débits moyens mensuels et annuels

Le débit moyen mensuel maximum des dix années de mesure se place en avril avec 769 l/s (maximum maximorum en avril 1995: 2,38 m³/s); le minimum en août avec 126 l/s (minimum minimorum: 45 l/s en août 1998). Le module sur 10 ans est de 470 l/s, variant entre 298 et 558 l/s, à l'exception de l'année 1995 (801 l/s), qui a connu sur le plateau de la Féclaz un enneigement exceptionnel.

Le débit spécifique moyen est de 29,9 l/s/km², valeur élevée conforme à ce que l'on retrouve

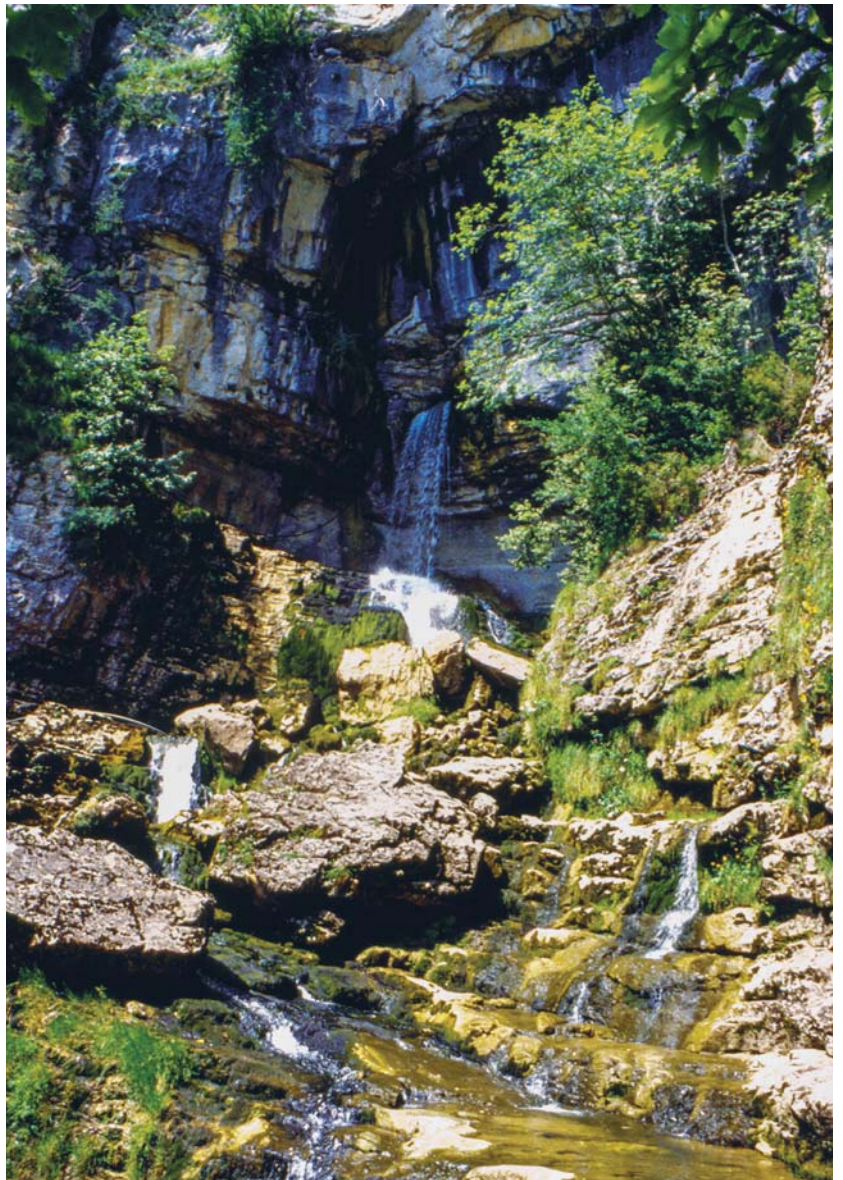
Tableau 1 : Les débits caractéristiques de la Doria en m³/s (1990-1998)
Characteristic values of Doria torrent discharges (m³/s; 1990-1998)

DCM	DC1	DC3	DC6	DC9	DC11	DCE
2,616	1,355	0,51	0,225	0,114	0,069	0,055

dans les massifs subalpins voisins pour des suivis de moindre durée: 23,4 l/s/km² pour le Chéran au pont d'Escorchevel [NICOU, 1973] ou 33,4 l/s/km² à la Charnia [LEPILLER, 1980], 36 l/s/km² pour l'Hyères (vallée de Couz) [BERGERET, 1981], 38,5 l/s/km² pour le Guiers-Vif à Saint-Christophe [BOZONAT, 1980], 39,1 l/s/km² pour le Guiers-Mort à Saint-Laurent-du-Pont, 44,1 l/s/km² pour le Nant d'Aillon et 44,6 l/s/km² pour le Cozon [BERGERET, 1981].

Le régime de la Doria est de type préalpin classique, à deux maximums (printemps et automne) et deux minimums (été et hiver). Le maximum principal d'avril-mars s'explique surtout par la fonte directe de la neige, elle-même liée à l'augmentation des températures, mais aussi parfois à l'occurrence de précipitations liquides sur le tapis neigeux. Le maximum secondaire de novembre est lié aux précipitations d'automne plus qu'aux seules pluies de novembre. En effet les pluies abondantes d'octobre et de septembre contribuent à remplir la zone non saturée, après l'étiage d'été. Le minimum principal se produit en août, l'un des deux mois les plus chauds (température moyenne d'août: 14,5 °C et juillet: 14,1 °C), enregistrant une forte évapotranspiration (quoique moins élevée qu'en juin et juillet) et en outre moins arrosé que ces deux mois. Ceci limite la recharge du karst noyé. Le minimum secondaire de janvier ne correspond pas strictement au mois le moins arrosé en moyenne sur les 11 années de mesures mais, durant ce mois qui est le plus froid de l'année (moyenne interannuelle: - 0,8 °C), la couverture neigeuse fait en partie « tampon », bloquant l'infiltration en altitude. Pareil régime est qualifié de nivo-pluvial d'après Pardé [1933], similaire à celui du Fier, du Chéran, du Guiers. Sept ans de mesure (1992-1998) de la neige montrent que cette dernière constitue en moyenne 22 % des précipitations annuelles.

Mais la relation entre les facteurs climatiques mesurés à la Féclaz et l'écoulement mérite parfois d'être affinée: ainsi, si le coefficient d'écoulement mensuel moyen est à son minimum (0,21) en août, du fait de la chaleur et de l'évapotranspiration, il est de 1,25 en mars (cette valeur supérieure ou égale à 1 est vérifiée six années sur dix!) Le mois de mars présente ainsi le paradoxe apparent d'être le mois le plus sec de l'année (96,6 mm à La Féclaz) et le plus efficace en termes de rendement hydrologique; de fait, après deux mois les plus froids (-0,8 °C en janvier et -0,2 °C en février), la fonte se déclenche tandis que les pertes par évapotranspiration sont encore faibles. Autre exemple, le débit moyen mensuel extrême d'avril 1995, cité précédemment (2,382 m³/s), ne peut se comprendre si l'on ne fait pas référence au fait qu'en janvier, février et mars 1995, il est tombé plus de 5 m de neige en 46 jours, janvier et mars ayant été les mois les plus froids de la période 1992-1998. Enfin, à l'échelle quotidienne, la fonte de la neige détermine aussi un rythme d'écoulement spécifique durant les mois de printemps



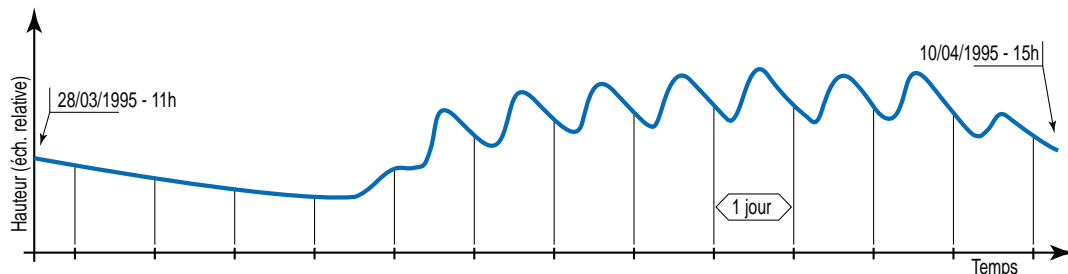
(mars, avril principalement). Les limnigrammes sont alors très reconnaissables par leur tracé dissymétrique: débit minimum vers 16 heures puis montée relativement rapide jusqu'à un pic entre 21 et 23 heures (soit entre 7 et 9 heures après l'occurrence de la température journalière maximale) et lente décroissance (figure 3).

C. Les enseignements des courbes de récession et le rôle de l'épikarst

Les enregistrements limnimétriques continus sur une longue période de 10 ans ont permis l'examen de 14 récessions, non influencées par les précipitations ou la fonte de la neige. La durée de récession varie entre 13 et 35 jours (moyenne: 22 jours); la durée moyenne d'infiltration est de 14 jours, celle du tarissement de l'ordre de 8 jours. Le coefficient de tarissement (I/j) varie peu, autour de 0,021. La vidange du système est donc relativement rapide, argument supplémentaire pour rendre compte de l'existence d'un karst évolué. La valeur moyenne du coefficient d'hétérogénéité est de 3,54. Le volume dynamique moyen est de 450 000 m³, pouvant assurer un débit d'étiage

Figure 1 : Le site de la Doria à l'étiage. Photo R. Durand. *The Doria's exsurgence during low water level.*

Figure 3 : Limnigramme de la Doria au printemps (mars-avril 1995) montrant les pulsations typiques de fonte de la neige.
 Limnigraph of the Doria in spring (March-April 1995) showing the typical pulses of snow melt.



moyen de 50 l/s pendant une centaine de jours. La valeur maximale de ce volume dynamique, qui est de 580 000 m³ (lame d'eau équivalente de 41 mm) donne une estimation par défaut des réserves qui peuvent être stockées dans le système Doria : épikarst + zone noyée.

Mais quel est le rôle respectif joué par chacun d'entre eux ? D'autres mesures de débit (micromoulinet) ont été réalisées à l'intérieur du système, grâce au concours du Spéléo club de Savoie, lors d'une période de fort étiage, en février 1998. Ces mesures certes ponctuelles sont du plus haut intérêt : le débit est de 10 l/s à l'aval du réseau Garde-Cavale (figure 2), dans le collecteur principal ; il est de 40 l/s concomitamment à l'exurgence. Le débit d'étiage du collecteur souterrain en amont (superficie de l'impluvium = 27,5 % du bassin de la Doria) exprime la valeur globale de l'infiltration et du ruissellement de la

zone non saturée, donc le volume dynamique dans cette zone (épikarst + conduits + compartiments fissurés). Si un débit d'infiltration de 10 l/s dans le drain amont correspond à 27,5 % du bassin, un débit de 40 l/s à l'exutoire signifie un débit d'infiltration de 36 l/s, soit un volume dynamique correspondant à 90 % du débit. Comme la zone des conduits à circulation libre présente une forte transmissivité (réserve quasi nulle), plus de 90 % de la réserve dynamique se situe dans l'épikarst et la couverture résiduelle du grès sannoisien. Ce constat confirme l'importance jouée par le réservoir épikarstique surtout quand il est associé à une couverture gréseuse ou sableuse en voie d'érosion mais jouant le rôle d'aquifère d'appoint [JAILLET, 1999 ; SALOMON, 2006]. Le système de la Doria constitue un exemple remarquable d'aquifère perché qui restitue l'eau lentement pendant les périodes d'étiage.

II. Les crues

A. Les crues récurrentes

L'analyse fréquentielle des débits instantanés maximums (loi de Gumbel, méthode du maximum de vraisemblance) a porté sur 47 crues pour lesquelles le seuil de 6 m³/s est atteint ou dépassé. Les valeurs vont de 6,10 m³/s à 17 m³/s ; la valeur reconstituée de 83,9 m³/s pour la méga crue du 11 juillet 1995, sans commune mesure avec les précédentes et qui influencerait totalement l'analyse, étant ici écartée. Le quantile correspondant à une période de retour de 2 ans est de 10,98 m³/s (sur les 10 ans de suivi, une valeur

supérieure a été observée à 5 reprises), le quantile pour une période de retour de 5 ans est de 13,02 m³/s (valeur supérieure observée à 2 reprises) et de 14,78 m³/s pour une période de 10 ans (valeur supérieure observée 1 fois). Si l'on s'en tient à cet ajustement, la valeur centennale est de 22,37 m³/s ; la crue du 11 juillet 1995 correspond bien à un phénomène tout à fait exceptionnel.

Une typologie saisonnière des crues peut être établie. Sur les 47 événements, 15 se placent en automne avec un maximum mensuel en décembre (7), puis viennent à égalité le printemps (12) et l'été (12) – juillet (6) devant juin (5) –

Figure 2 : Vue en coupe du réseau karstique souterrain du plateau de la Féclaz (d'après carte spéléologique au 1/10 000 Spéléo Club de Savoie).
 Cross-Sectional view of the underground karstic system of the Feclaz (according to Speleo-Club de Savoie speleological map at 1/10,000)

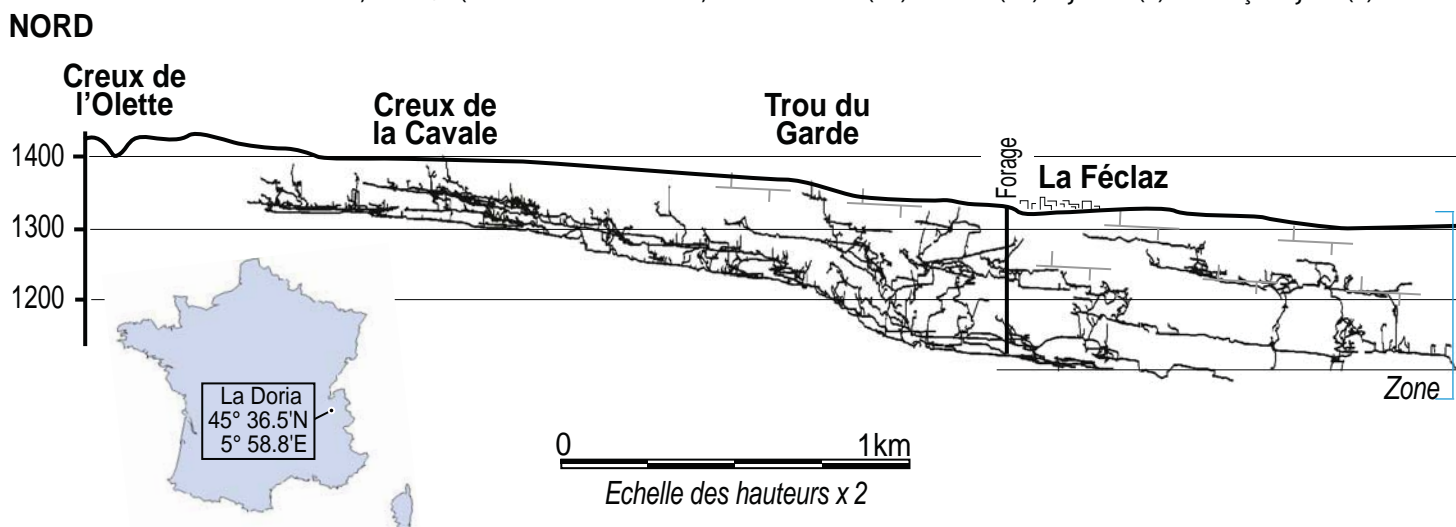




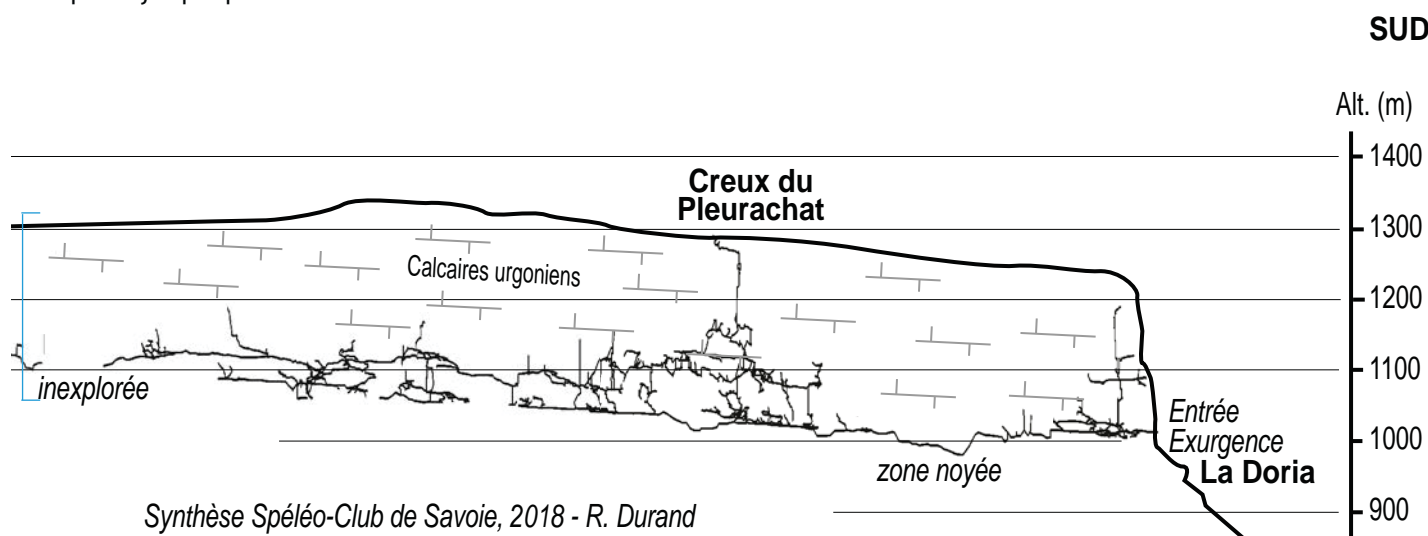
Figure 4 : La méga crue du 11 juillet 1995 à l'exurgence de la Doria : en fin d'après-midi, la passerelle est quasi submergée, photo P. Theodet.
The mega-flood of July 11, 1995 at Doria's exurgence: in the late afternoon, the bridge is almost submerged.

l'hiver comptant encore 8 événements. Conclusion d'intérêt également pour la pratique spéléologique: on peut avoir de crues violentes en toute saison et même en tout mois (mars: 1 événement). D'un point de vue génétique, on peut distinguer: des crues de fonte pure (printemps) avec leur pulsation caractéristique; des crues par situation de redoux à pluies abondantes sur tapis neigeux, libérant un cumul de volumes d'eau (hivers 1990 et 1991); des crues d'épisodes pluvieux durables (fin de printemps, début d'automne) saturant les zones de stockage du système karstique; des crues d'orages (été); des crues catastrophiques ou méga crues comme celle du 11 juillet 1995, sur laquelle il nous faut nous arrêter.

B. La méga crue du 11 juillet 1995

Il s'agit ce jour-là d'une véritable vague de crue (figure 4), correspondant à un débit liquide et non à une lave torrentielle [NAJIB, 2000], même s'il est vrai que la charge solide est élevée et se retrouve déposée jusqu'à plusieurs kilomètres en aval. Sur

site, de gros blocs (jusqu'à 1 m³) ont été bousculés. Le niveau de l'eau à l'échelle est passé de 2 m à environ 3,60 m entre 20 heures et 20 h 30. Le limnigraphe, pourtant haut perché, est noyé sans être emporté: le limnigramme est en partie utilisable, lors de la montée de l'eau jusqu'à 2,02 m et lors la décrue, à partir de la cote 1,90 m à 21 heures Les laisses de crue sur les berges et sur le pont de Lovettaz (150 m en aval de cette première station) sont replacées dans le nivellement général du site. La nouvelle station équipée d'une centrale de saisies automatiques est immédiatement installée sur le pont lui-même. Le débit maximum instantané correspondant à la cote de 2,25 m est alors estimé sur la nouvelle courbe de tarage [NAJIB, 2000; FANGET *et al.*, 2003], en extrapolation bien sûr mais de façon fiable du fait de la stabilité de la section. Le débit estimé de 84 m³/s donne une vitesse moyenne d'écoulement très plausible de 3 m/s. Les enregistrements de la Leysse en aval nous permettent d'établir un hydrogramme de crue indiquant un volume global écoulé de 386 000 m³, un coefficient d'écoulement de l'ordre de 26 %.



Synthèse Spéléo-Club de Savoie, 2018 - R. Durand

C'est le couple intensité-durée de cette très forte pluie: 97,1 mm, dont 79,8 mm en 1 h 18 (15 h 42-17 heures), 34 mm en 18 minutes (16 h 12-16 h 30), concentrée en 4 heures sur le village de la Féclaz, qui explique la violence de la « vague ». Les courbes intensité-durée-fréquence établies par nos soins pour la station de la Féclaz (données de la station de la Féclaz fournies par Météo-France Voglans) sur la période de référence janvier 1994-décembre 1998 en utilisant la méthode dite du renouvellement [MIQUEL, 1984] fournissent le résultat suivant: pour un abat d'eau d'une durée de 18 minutes, l'averse centennale est de 72,8 mm/h, soit 21,8 mm. Comme il est tombé 34 mm en 18 minutes (112 mm/h), on peut conclure que cette pluie a une période de retour pluricentennale. Le transit a été de plus de 20 000 m³ en 5 minutes environ et on peut souligner que le niveau d'entrée de la grotte de la Doria, perché de quelques dizaines de mètres par rapport à l'exurgence actuelle située elle au contact de l'Hauterivien, a été fonctionnel.

La rapidité du transit souterrain (temps de réponse de 4 heures environ entre le pic d'intensité et le pic de crue) montre qu'il n'y a pas eu de stockage souterrain important susceptible d'écarter la crue. Ce réseau dans les calcaires urgoniens (figure 2), qui développe avec 48 km de conduits explorés dans le réseau de Garde-Cavale et 21 km

dans celui de Doria-Pleurachat [FANTOLI, 1981; DURANT et NANT, 1998 + compléments réactualisés R. DURAND 2015], présente des circulations rapides à l'image de rivières souterraines du réseau du Garde-Cavale en amont, les collecteurs de la Cavale, de Larcoutier et de la 4^e rivière confluent pour donner la rivière de la Cha, qui se perd avec le collecteur de Retiède dans un vaste secteur siphonnant de 420 m de longueur. Un maillon de 175 m reste toutefois inconnu entre cette cavité et le réseau Doria-Pleurachat. Si cette partie aval et moyenne est caractérisée par un régime noyé à semi-noyé avec une succession de grands siphons dont certains creusés jusque dans les calcaires marneux de l'Hauterivien sous-jacent, il n'existe apparemment pas là une zone tampon efficace ni une réserve importante. Évidemment, la rupture d'un bouchon sédimentaire au sein du réseau reste possible, comme Lismonde [1995] a pu en faire l'hypothèse au réseau du Trou qui Souffle dans le Vercors, mais cela n'est en rien prouvé sur la Doria. Une comparaison avec la crue de la Doria du 19 mai 1994 peut être enfin utile: en effet, l'événement pluvieux est en effet apparemment similaire par son total de 107 mm mais s'est prolongé sur 18 heures environ; le pic n'est « que » de 17 m³/s, 9 heures après le début de la crue.

III. Le fonctionnement hydrochimique

Figure 5 : Variations de la conductivité, la température et du débit de la Doria au pont de Lovettaz au printemps 1998. *Variations in the electrical conductivity, temperature and discharge of the Doria at the Lovettaz bridge in spring 1998.*

L'essentiel des données collectées correspond à une mesure en continu de la conductivité à hauteur de la station du pont de Lovettaz, grâce à un conductimètre Merck, relié à la centrale CR2M, ayant fourni entre mars 1996 et avril 1999 plus de 28 000 mesures. Une mesure des températures a été effectuée par une sonde couplée au capteur à ultrasons immergé mais elle n'est pas vraiment représentative de la température de

l'eau du karst du fait de la distance entre l'exurgence et la station (1,5 km, temps de parcours: 45 minutes). La courbe de distribution fréquentielle de la conductivité est unimodale (avec un mode marqué ici à 270 µs/cm), comparable à celle du système Bange-Les Eaux mortes (Semnoz) présentée par Lepiller et proche de celle fournie par Bakalowicz [1979] pour l'Aliou (Ariège). Elle traduit un système karstique bien développé, avec

apparition d'une eau ayant subi une infiltration différée. Le rôle de l'épikarst (et aussi de la couverture partielle du Sannoisien gréseux) apparaît ainsi. Le bassin de la Doria présente un fonctionnement chimique typique des systèmes karstiques bien drainés des montagnes alpines avec une baisse de la conductivité au moment de l'augmentation des débits pendant les crues de fusion printanière (figure 5) et d'automne (pluies et premières neiges); les conductivités les plus fortes ayant lieu pendant les étiages d'été et d'hiver.

Des analyses chimiques complètes, réalisées sur une dizaine d'échantillons prélevés

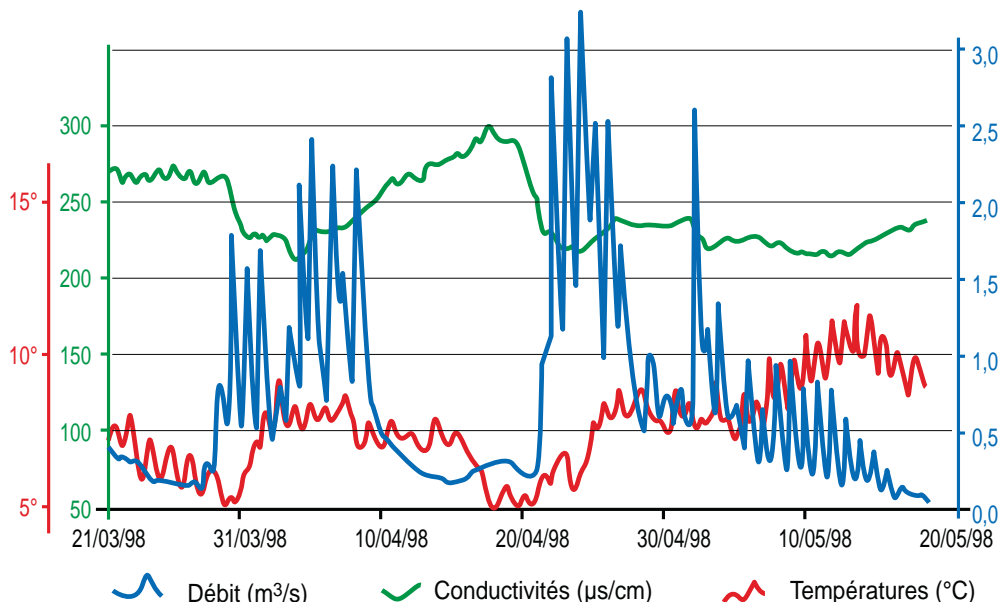




Figure 6 : La rivière souterraine de la Cavale est un des amonts du système de la Doria. Photo M. Thomas.
The underground river Cavale is part of the Doria system.

au pont de Lovettaz, en juillet (fin de décrue) et août (étiage) 1997, mars, septembre et novembre 1998 (étiage) et septembre 1999 (crue), nous renseignent notamment sur le titre alcalimétrique complet et la teneur en bicarbonate. En se basant sur les données disponibles pendant la période 1996-1998 (débits moyens journaliers sur 773 jours), on obtient une masse puis un volume de roche dissoute et enfin l'expression du potentiel de karstification [MANGIN, 1975], une dissolution spécifique de $55 \text{ m}^3/\text{km}^2/\text{an}$, valeur conforme à celles trouvées par Lepiller [1980], entre 49 et $60 \text{ m}^3/\text{km}^2/\text{an}$, dans les Bauges, ou par Mondain [1991] dans les Bornes, inférieure en revanche à celles – entre 80 et $120 \text{ m}^3/\text{km}^2/\text{an}$ -

avancées pour des systèmes karstiques du Jura et d'autres massifs subalpins [GIBERT *et al.*, 1983; DELANNOY, 1983; MAIRE et NICOD, 1984]. Différentes corrections doivent être apportées toutefois à cette valeur prenant en compte la superficie du bassin aérien ($1,54 \text{ km}^2$) entre exsurgence et pont de Lovettaz; la surface imperméable de la bordure ouest (Hauterivien) du bassin ($0,7 \text{ km}^2$) et une fraction imperméable de la couverture du Sannoisien gréseux ($1,6 \text{ km}^2$) et enfin des pertes de débit, mises en évidence par des jaugeages différentiels, entre l'exsurgence et la station de Lovettaz. La valeur corrigée de la dissolution spécifique est alors voisine de $78 \text{ m}^3/\text{km}^2/\text{an}$.

Conclusion

Au terme de cette contribution centrée sur les modalités de la dynamique actuelle du système karstique, deux remarques peuvent être faites. Quels que soient les efforts fournis, il demeure que le système souterrain demeure encore trop ici une boîte noire et il nous paraît nécessaire de multiplier une hydrométrie interne (débits liquides et solides), au moins dans les drains majeurs (figure 6). Le rôle de l'érosion mécanique permettant leur creusement, à l'instar de ce qui a été montré par Vanara [2000] dans le massif des Arbaïlles (Pyrénées-Atlantiques), mériterait notamment d'être apprécié. Par ailleurs, tout ce travail sur les processus actuels peut et

doit être replacé dans le cadre d'une connaissance de l'évolution géomorphologique régionale sur le temps long, telle qu'elle a déjà été particulièrement mise en lumière dans les travaux d'Audra [1994], Delannoy [1984] et Hobléa [1999].

Remerciements

Ce travail de recherche sur les écoulements de la Doria a bénéficié de l'aide précieuse du Spéléo Club de Savoie et en particulier de J.-L. Fantoli. La rédaction de la thèse de H.R. Najib a été enrichie par la lecture critique qu'en a faite notre collègue et ami, Richard Maire.

Bibliographie

- AUDRA P., 1994 - Karsts alpins, genèse des grands réseaux souterrains. Thèse Univ Grenoble I. Institut de Géographie Alpine. *Karstologia Mémoires* n° 5, 279 p.
- BAKALOWICZ M., 1979 - Contribution de la géochimie des eaux à la connaissance de l'aquifère karstique et de la karstification. Thèse d'État. Univ. Paris 6, 269 p.
- BERGERET P., 1981 - Infiltration et circulation des eaux en milieu calcaire. *Hydrogéologie du secteur nord-occidental du massif de la Chartreuse*. Thèse Univ. Grenoble 1, 178 p.
- BOZONAT J.-P., 1980 - Infiltration et circulation des eaux dans les calcaires fissurés. *Hydrogéologie et bilan hydrique du secteur septentrional du massif de la Chartreuse*. Thèse Univ. Grenoble 1, 353 p.
- DELANNOY J.-J., 1983 - Le complexe souterrain du plateau du Sornin (Vercors, France). *Karstologia* n° 2, p. 3-12.
- DELANNOY J.-J., 1984 - Le Vercors : un massif de la moyenne montagne alpine. *Karstologia* n° 3, p. 34-45.
- DURAND R. et NANT J., 1998 - Atlas des grottes de Savoie : base de données Prospect-98. Comité départemental de spéléologie de la Savoie. Ed. Gap, 216 p.
- DURAND R. (dir.), 2015 - Le réseau de la Doria. *Grottes de Savoie* tome 18, CDS 73.
- FANGET B., NAJIB H. R. et MIETTON M., 2003 - Le jaugeage de débits torrentiels par dilution d'un colorant alimentaire (E110 : jaune orangé sunset). Application à l'exurgence de la Doria (Massif des Bauges, France). *Karstologia* n° 41, p. 15-22.
- FANGET B., NAJIB H. R., DUMAS D. and MIETTON M., 2009 - Optimization of stream flow measurements by the dilution of the food colorant E110. *Hydrological Sciences – Journal des Sciences Hydrologiques* 54 (3), p. 474-483.
- FANTOLI J.-L., 1981 - Le réseau de la Doria. Creux de Pleuracha (Les Déserts, Savoie). *Spelunca*, n° 3, 29 p.
- GIBERT J., LAURENT R. et MAIRE R., 1983 - Carte hydrogéomorphologique, hydrogéologique et hydrochimique du karst de Dorvan (Ain). *Karstologia*, n° 2, p. 33-44.
- HOBLÉA F., 1999 - Contribution à la connaissance et à la gestion des environnementales des géosystèmes karstiques montagnards. Thèse Univ. Lumière Lyon 2. 995 p.
- JAILLET S., 1999 - Recul de couverture et karstification dans un karst couvert de bas plateau : le Barrois. *CAGEP*. Univ Provence. p. 123-128.
- LEMORDANT Y., 1977 - Infiltration et transferts des eaux souterraines en pays karstique. *Le plateau du mont Revard (Savoie)*. Thèse de Géologie appliquée. Univ Grenoble, 203 p.
- LÉONARD J., MIETTON M., NAJIB H.R. and GOURBESVILLE P., 2000 - Rating curve modeling with Manning's equation to manage instability and improve extrapolation. *Hydrological Sciences*. 45 (5) 739-750.
- LEPILLER M., 1980 - Contribution de l'hydrochimie à la connaissance du comportement hydrogéologique des massifs calcaires. *Étude de quelques systèmes karstiques du massif du Semnoz et de la région d'Annecy (Savoie et Haute-Savoie, France)*. Thèse de Géologie appliquée. Univ Grenoble, 478 p.
- LISMONDE B., 1995 - La crue du 18 mai 1994 au « Trou qui souffle » (Vercors). *Karstologia* n° 25, p. 1-12.
- MAIRE R. et NICOD J., 1984 - Aperçus sur l'hydrogéologie karstique des Alpes occidentales. Systèmes karstiques et régimes des sources. *Karstologia*, n° 3, pp. 18-23.
- MANGIN A., 1975 - Contribution à l'étude hydrodynamique des aquifères karstiques. Thèse Univ. Dijon, 267 p.
- MIQUEL J., 1984 - Guide pratique des probabilités de crues. Coll. Direction des études et des recherches d'Électricité de France. Eyrolles. 160 p.
- MONDAIN P., 1991 - Hydrogéologie des systèmes karstiques de l'unité Delphino-Helvétique inférieure entre les vallées du Fier et du Borne (Massif des Bornes, Haute-Savoie, France). Thèse Univ Orléans, 306 p.
- NAJIB R. H., 2000 - Étude de la structure et du fonctionnement hydrologique du bassin versant karstique de la Doria (Massif des Bauges-France). Thèse Univ L. Pasteur Strasbourg 1, 273 p.
- NICOUD G., 1973 - Hydrogéologie de la haute vallée du Chéran. Massif des Bauges (Savoie). Thèse de Géologie appliquée. Univ Grenoble, 181 p.
- PARDÉ M., 1933 - Fleuves et rivières, Armand Colin, 224 p.
- SALOMON J.-N., 2006 - Précis de Karstologie. Coll. Scieteren. Presses Universitaires de Bordeaux, 289 p.
- VANARA N., 2000 - Le karst des Arbaïlles. Thèse Univ Bordeaux III. *Karstologia Mémoires* n° 8, 320 p.