Etude de la Réponse Hydrologique du Sonnant d'Uriage : essai de transfert à des bassins voisins.

Diagnostic et proposition de réseau pluviométrique sur le Massif de Belledonne.



Pôle Grenoblois de Recherche sur les Risques Naturels
Rapport d'action de recherche 2005

LTHE : **Mme I. ZIN et M. Ch. OBLED (INPG-ENSHMG),**
M. T. FINET, stagiaire M2R et R. MARTY, doctorant

Avec la participation de :
CEN : **MM. G. GIRAUD et Y. DURAND**
EdF-DTG : **M. J. GAILHARD**

1 – PROJET PRESENTE :

« Etude de la Réponse Hydrologique du Sonnant d'Uriage
et essai de transfert à des bassins voisins »

2 – COORDINATEUR du PROJET :

OBLED Charles
Professeur, ENS d'Hydraulique et Mécanique de Grenoble

Tél : 04 76 82 5053 (secret. 5069) Fax : 04 76 82 5001
E-mail : Charles.Obled@hmg.inpg.fr

Laboratoire d'études des Transferts en Hydrologie et Environnement (LTHE)
UMR 5564
B.P. 53
38 041 GRENOBLE Cedex 9

Directeur : M. Jean-Dominique CREUTIN

3 – LISTE DES PERSONNES ET LABORATOIRES OU ORGANISMES COLLABORANT AU PROJET :

LTHE : Mme Isabella ZIN, MCF à l'ENSHMG
M. Thomas FINET, stagiaire M2R STUE
M. Renaud MARTY, doctorant INPG
CEN/Météo France : MM. Gérald GIRAUD et Yves DURAND
EDF/DTG : M. Joël GAILHARD
DDE Isère : M. Alain GAUTHERON, Service de Prévision des Crues Alpes Nord

4 – FINANCEMENT DU PROJET :

Montant du financement demandé : **4900 euros TTC**

5 – RESUME DU PROJET PROPOSE :

Les ruisseaux débouchant dans l'agglomération grenobloise constituent un risque et une préoccupation pour les aménageurs. Faute d'un gestionnaire bien identifié, ils sont pourtant peu instrumentés et donc assez mal connus. L'étude a pour but de valoriser les données, notamment hydrométriques, collectées depuis une dizaine d'années sur le Sonnant d'Uriage grâce à l'instrumentation financée par le Pôle. On constituera d'abord un jeu d'épisodes de crues significatifs, avec les données de pluie et de débit associées. On tentera ensuite d'identifier les différentes réponses hydrologiques (lente et rapide), en utilisant des techniques de déconvolution (type DPFT) et d'appliquer à ce bassin un modèle simple reliant pluies et débits à un pas de temps suffisamment fin. On essaiera de voir si ces caractéristiques hydrologiques peuvent se relier à des caractères physiques ou morphologiques facilement accessibles (via des M.N.T. par exemple), et si des « formules empiriques régionales » pourraient permettre un transfert vers d'autres rivières non instrumentées, comme d'autres ruisseaux de Belledonne (Domeynon, Vorz, etc.) .

6 – MODIFICATION (2006) ET EXTENSION DE LA PROPOSITION :

Pour diverses raisons, la réalisation du projet a dû être reportée sur le programme 2006. A cette occasion, et à la suggestion du Pôle suite à des demandes notamment de l'Association Espace Belledonne, elle a été étendue (sans financement complémentaire) à l'analyse des réseaux et de la couverture pluviométrique sur tout le Massif de Belledonne. D'où le nouveau titre et l'organisation de ce rapport en deux parties.

« Etude de la Réponse Hydrologique du Sonnant d'Uriage : essai de transfert à des bassins voisins. Diagnostic et proposition de réseau pluviométrique sur le Massif de Belledonne »

Objectifs du projet :

Les nombreux ruisseaux descendant de Chartreuse ou de Belledonne constituent une préoccupation (soulignée par le Schéma Directeur -SDAUG-), aussi bien par la contribution qu'ils pourraient apporter à une éventuelle crue de l'Isère que par les dégâts qu'ils peuvent provoquer isolément (exemple : la crue du Merdaret en Juillet 1987, et plus récemment celles du Vorz et du Domeynon en Août 2005). Dans cette optique, le SDAU s'est inquiété du suivi éventuel de ces ruisseaux et du risque pluviométrique correspondant (cf. Etude CEMAGREF - INPG- LTHE 2000).

Dans le présent travail, nous commençons par prendre comme exemple le Sonnant d'Uriage, qui a connu sa dernière grosse crue en décembre 1991, avec débordement de sa plage de dépôt et inondation d'un lotissement adjacent. A l'époque, il ne disposait d'aucune instrumentation, mais en 1995, grâce notamment à un financement du Pôle Grenoblois, il a été équipé d'une mesure de niveau télétransmise (limnimètre -capteur AUTEG- situé au Pont de Venon). Le bassin, d'une superficie totale de 27 km², culmine immédiatement en dessous de Chamrousse et prend sa source au lieu-dit «le marais » vers les Seiglières.

Notre *premier objectif* sera d'évaluer ce que l'on peut tirer d'une série de 10 ans environ pour comprendre et éventuellement anticiper la réponse de ce ruisseau. Un *objectif associé* consistera à évaluer l'information que l'on peut transférer éventuellement à des bassins voisins, eux-mêmes non instrumentés, comme par exemple le Doménon ou le Vorz. Nous verrons que c'est ce dernier qui a été choisi, car les estimations faites à la suite de la crue d'Août 2005 permettent une certaine forme de validation. Cette seconde problématique entre dans le cadre du programme international PUB (Prediction in Ungauged Basins) lancé par l'Association Internationale d'Hydrologie Scientifique. A cette occasion, nous verrons que si, pour un ruisseau donné, la mesure du débit à son exutoire lève une partie des incertitudes, celles-ci restent grandes à cause de la méconnaissance des pluies reçues par le bassin.

De ce fait, le projet initial a donc évolué vers un *second objectif* : la recherche des sources d'informations pluviométriques susceptibles de compenser la faiblesse du réseau existant, voire dans certaines zones l'inexistence d'un tel réseau …

Cela nous a conduit à un diagnostic et à un ensemble de propositions sur ce que pourrait être un réseau minimum si l'on veut vraiment améliorer la connaissance des crues de ces ruisseaux. A terme, car il faudra d'abord que les séries d'observation s'accumulent avant d'être réellement utilisables, cela devrait permettre d'améliorer le dimensionnement des ouvrages (ponts, plages de dépôts, etc…) sur ces ruisseaux, et d'envisager des systèmes d'alerte et de prévision.

Première Partie :

" Etude de la Réponse Hydrologique du Sonnant d'Uriage et essai de transfert à des bassins voisins.

1. Présentation du bassin et des données utilisées

Le bassin du Sonnant

Le Sonnant est un bassin assez particulier du massif de Belledonne, à cause de sa situation à l'extrême sud du massif, de son altimétrie modérée (altitude minimum 235m, altitude maximum de 1830 m quand les autres bassins montent à 2800-3000m), et de sa forme coudée avec un replat important (*cf.* figure 1 et carte plus détaillée en Annexe I).

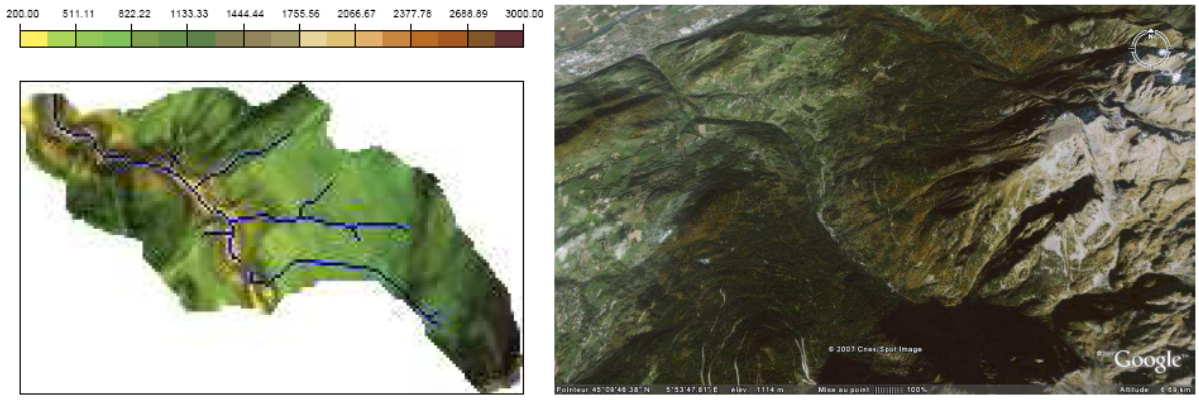


Figure 1: Bassin du Sonnant : MNT (altitudes en m) et vue satellite

Parmi tous les ruisseaux s'écoulant du massif de Belledonne, le Sonnant est le seul qui dispose d'une station hydrométrique. Cette station appartient à l'école d'Hydraulique (ENSHMG) et a bénéficié d'un financement substantiel du Pole Grenoblois. Pour l'ENSHMG, la seule contrainte d'exploitation est le bon fonctionnement de la station lors des Travaux Pratiques des étudiants effectués surtout à l'automne et au printemps. Son fonctionnement durant le reste de l'année n'est donc pas toujours garanti. Mais grâce à la détermination de M. le Pr. Philippe Bois, la station a très bien fonctionné entre 1995 et 2003. On trouvera en **Annexe III** un tableau récapitulatif des données disponibles.

Les pluies utilisées, pour les mettre en regard des débits, sont celles mesurées par le LTHE à Saint-Martin d'Hères. On verra plus loin qu'elles ne sont pas forcément représentatives de celles qui tombent sur l'ensemble du bassin.

Episodes retenus

La faible amplitude temporelle des données de pluies et de débits combinée à de nombreux trous dans les séries nous obligera à prendre en compte des crues d'amplitude assez faible. En effet, sur la figure 2 qui classe les épisodes par ordre d'importance des débits, on constate une nette rupture de pente, qui pourrait marquer la distinction entre de simples périodes de hautes

eaux et de vraies crues. Mais comme seuls 5 épisodes ont un débit de pointe dépassant ce seuil, il a été nécessaire de prendre un seuil plus faible. Afin de disposer d'une vingtaine d'épisodes, nous prendrons un seuil de 4000 l/s.

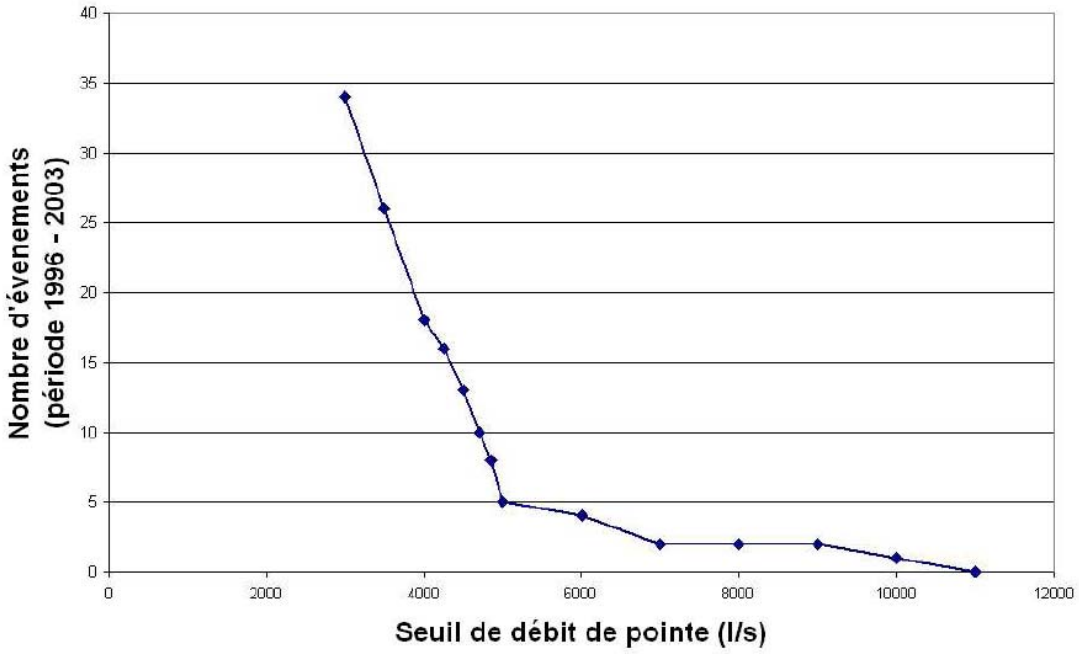


Figure 2: Nombre de jour dont le débit de pointe journalier dépasse le seuil (épisode indépendant sur le plan du ruissellement).

Tous les épisodes ont eu lieu entre octobre et mai, ce qui pose la question de l'influence de la neige pour certains d'entre eux. Dans cette optique, il pourrait se révéler utile de regarder les températures estimées sur le bassin.

A partir de ce jeu d'épisodes, nous avons pu envisager d'ajuster un modèle hydrologique. Nous l'avons choisi assez simple, dans l'optique de pouvoir le transférer sur des bassins voisins non instrumentés.

Un tel modèle considère le bassin comme un système associant en séquence :

- une **Fonction de Production**, qui décide de la fraction de pluie ou de fonte nivale qui va s'écouler rapidement (pluie « nette » ou « efficace »), le reste transitant plus lentement dans des nappes
- et une **Fonction de Transfert,** qui précise comment une impulsion de pluie passe progressivement à l'exutoire sur un temps plus ou moins long appelé Temps de concentration, et appelée aussi Hydrogramme Unitaire Instantané.

Le débit à l'exutoire est donc la convolution de la série de pluies efficaces par la Fonction de Transfert. Connaissant les pluies efficaces et les débits, il est facile par une méthode inverse d'identifier la Fonction de transfert. Cependant, en pratique, on ne connaît pas la série des pluies efficaces, c'est-à-dire de la partie ayant contribué à un écoulement rapide, mais seulement la série de pluies au sol sur le bassin, qui en est un majorant, pour autant qu'elles soient correctement estimées.

2. La Fonction de transfert du SONNANT : Identification et modélisation

Fonctions de transfert obtenues

2.1. Méthode de la DPFT

Cette méthode d'estimation itérative a été développée par EdF-DTG et le LTHE (Duband et al. 1993). Elle part des pluies brutes mesurées et des débits mesurés et tente, par approximations successives de proposer ***à la fois*** une série de pluies efficaces réalistes ***et*** une fonction de transfert telles que la convolution des deux reproduit au mieux les débits. Il n'est pas possible ici de décrire la méthode en détail. Elle fait l'objet d'un petit logiciel distribué par EdF-DTG.

Nous avons choisi le pas de temps le plus fin possible (1/4 d'heure) et considéré que les pluies à Saint Martin d'Hères, sans correction aucune, étaient représentatives de l'abat d'eau sur le bassin. Parallèlement, nous avons filtré les débits de leur composante lente (débit de base transitant majoritairement par les nappes), grâce à l'option correspondante proposée par le logiciel. La figure 3 montre la fonction de transfert que nous avons obtenue grâce à cette méthode :

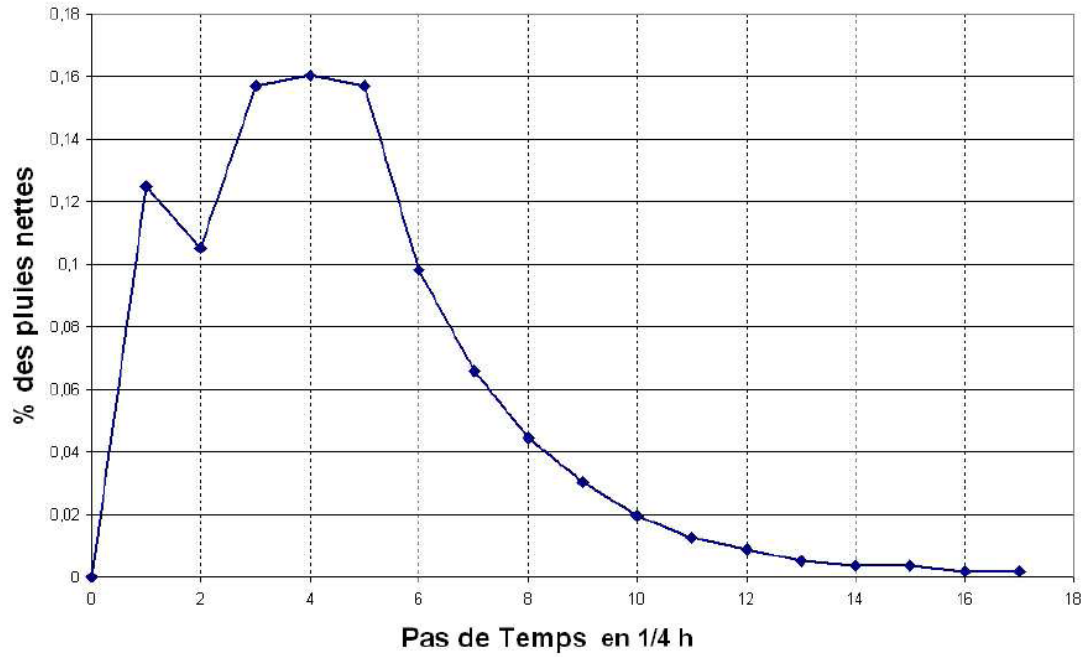


Figure 3 : Fonction de Transfert du bassin versant du Sonnant à Gières obtenue par la méthode la DPFT (Pluie à Saint-Martin d'Hères ; Débit au Pont de Venon à Gières)

Cette fonction de transfert est extrêmement rapide, puisque près de 50 % des pluies nettes, ou efficaces pour l'écoulement rapide, ont passé l'exutoire moins d'une heure après leur chute.

En complément à la fonction de transfert, la méthode fournit comme résultat des pluies efficaces estimées, qui ne représentent qu'une fraction des pluies de bassin. Comme on l'a dit, ces pluies efficaces estimées sont celles qui, une fois convoluées par la fonction de transfert, reproduisent au mieux les débits observés. Stricto sensu, celles-ci devraient donc être inférieures aux pluies entrantes (car tout ne ruisselle pas) et devraient être nulles quand il n'y a pas de pluie qui tombe sur le bassin. On peut donc imposer ces contraintes lors de leur identification.

Par contre, quand on craint que la pluie proposée en entrée ne soit pas représentative en volume (à cause des effets orographiques), et pas toujours représentative de la chronologie (car il peut pleuvoir en altitude alors qu'il ne pleut pas à la station de vallée), on se garde de mettre trop de contraintes sur les pluies efficaces à identifier.

Deux exemples d'épisodes sont donnés aux pages suivantes (figures 4 et 5).

Comme on pouvait le craindre, les problèmes évoqués transparaissent dans certains résultats. Pour certains épisodes, comme celui du 07/10/2001 (Figure 5, page suivante), les pluies efficaces semblent satisfaisantes : elles restent bien inférieures aux pluies brutes et à l'intérieur de la période de pluie observée. Mais il arrive, comme dans l'épisode du du 28/01/1999 (Figure 4, page suivante), que les pluies efficaces proposées soient supérieures sur certains pas de temps à celles de Saint Martin d'Hères, ou qu'elles soient identifiées comme positives alors qu'il ne pleuvait pas à SMH…

Heureusement, on sait que ces anomalies n'affectent pas trop la fonction de transfert identifiée. D'autre part, ces pluies efficaces déconvoluées ne sont pas directement utilisées ensuite pour identifier le modèle Pluie-Débit. On se contente donc de les considérer comme un diagnostic de la qualité des pluies en entrée, et comme un index de qualité de la fonction de transfert identifiée.

Manifestement ici, il semble que pour certains épisodes, la pluie de Saint Martin d'Hères soit assez représentative de celle reçue par le Sonnant, et pas dans d'autres cas. Cela pose le problème de la précipitation réellement collectée par ce bassin, et plus généralement sur tous les bassins de Belledonne, qui sera reconsidéré dans la Seconde Partie.

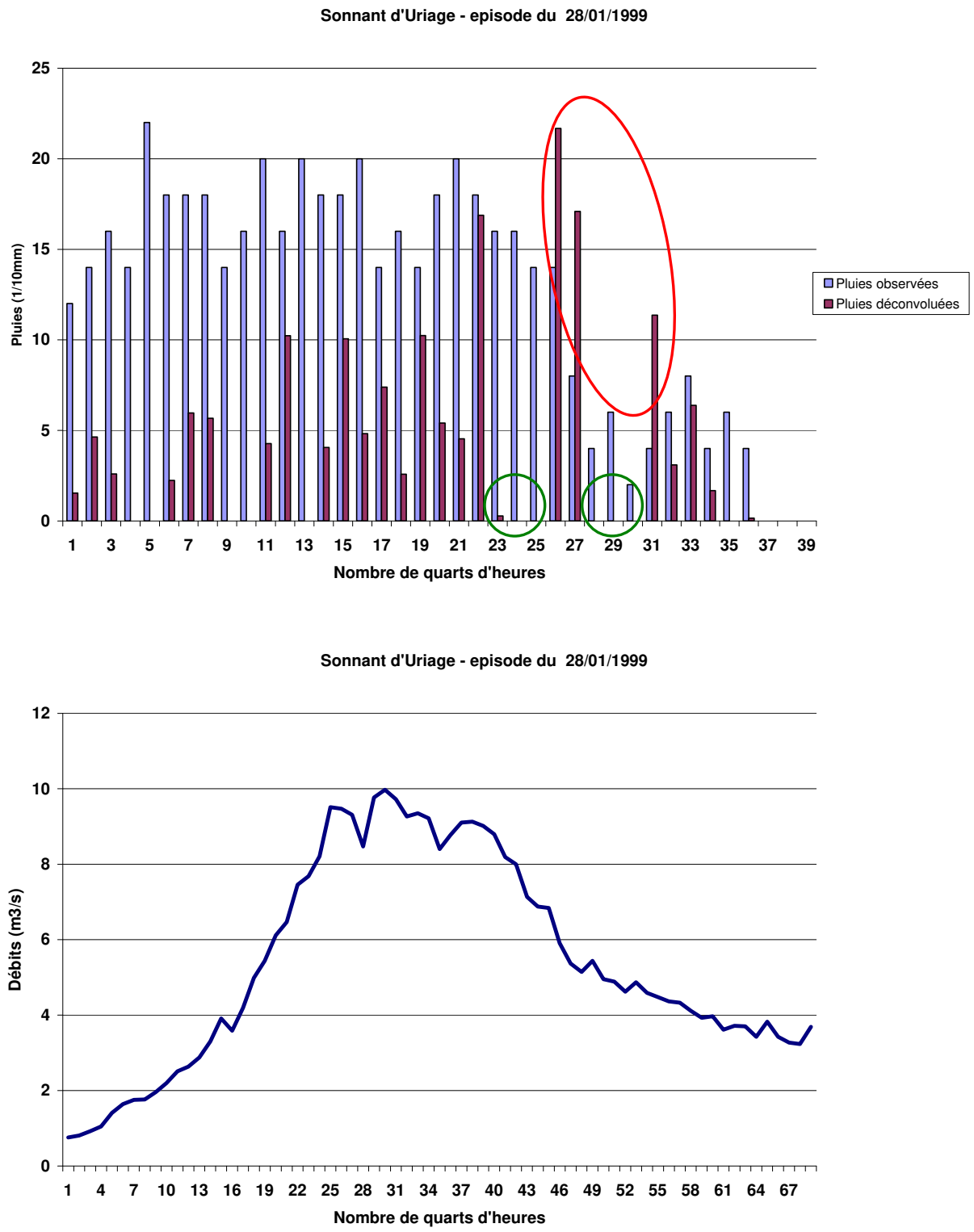


Figure 4 : Pluies observées et déconvoluées (en haut), débits (en bas) – épisode du 28/01/1999

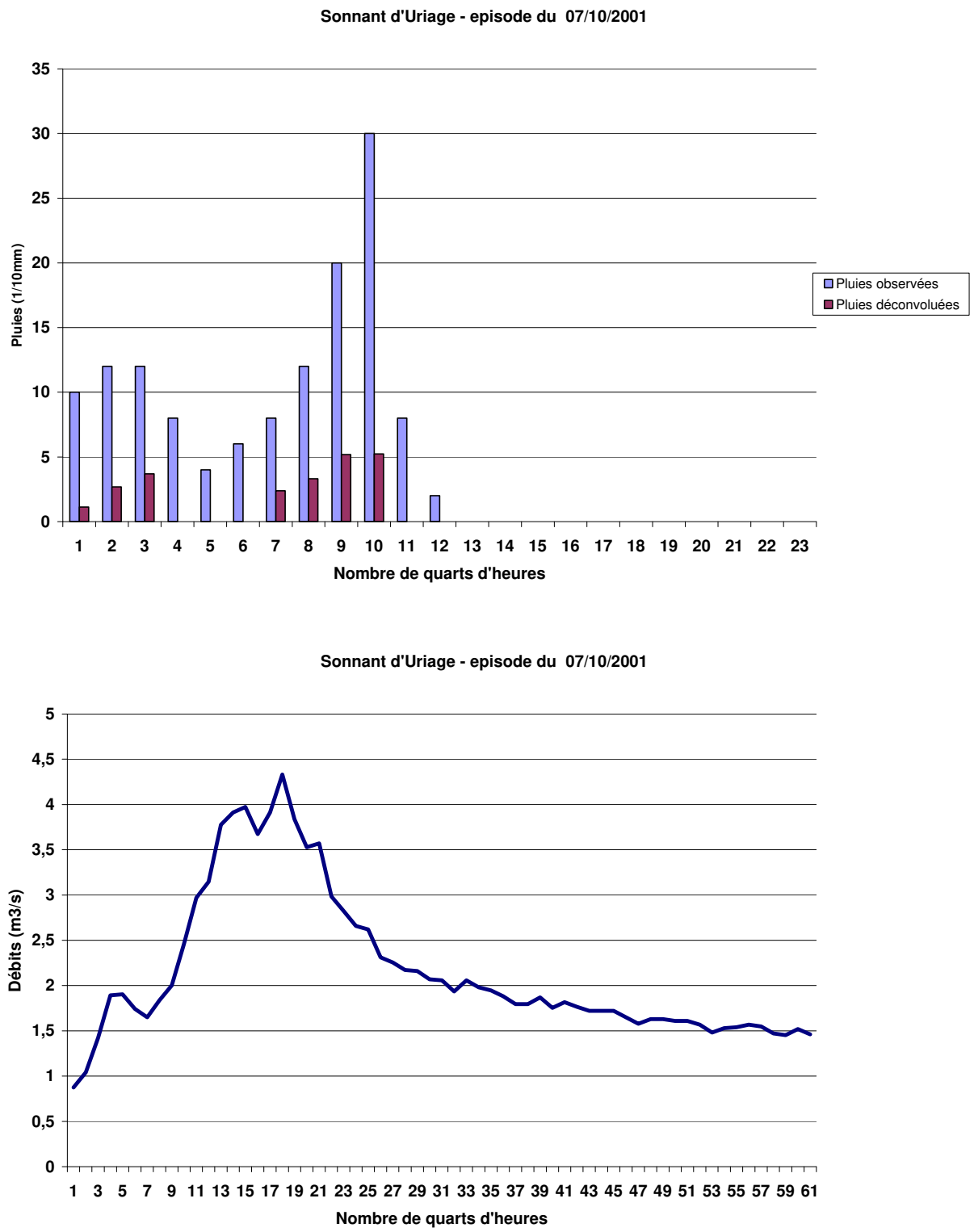


Figure 5 : Pluies observées et déconvoluées (en haut), débits (en bas) – épisode du 28/01/1999

2.2 Méthode géomorphologique

Une autre méthode pour estimer cette fonction de transfert entre la pluie efficace produite sur le bassin et l'exutoire de ce dernier s'appuie sur des hypothèses de fonctionnement et sur la morphologie du bassin :

- l'écoulement a lieu, avec des vitesses assez lentes V_{vers}, d'abord sur les versants
- puis, avec des vitesses plus élevées V_{riv}, dans les drains principaux et la rivière

Il faut donc identifier le réseau hydrographique : on a retenu celui que l'on obtient avec des seuils de 50 ha minimum pour l'aire drainée amont, et 12 pour l'indice topographique, que l'on définira un peu plus loin en décrivant TOPMODEL.

Cependant, on ne va pas considérer que la pluie efficace pour l'écoulement est produite uniformément sur le bassin et doit donc s'écouler sur l'ensemble des versants. On considère plutôt qu'elle n'est produite que sur les zones du bassin qui se sont saturées. Or le taux de saturation du bassin peut-être estimé épisode par épisode en calculant les coefficients de ruissellement des épisodes, comme décrit à la figure 6.

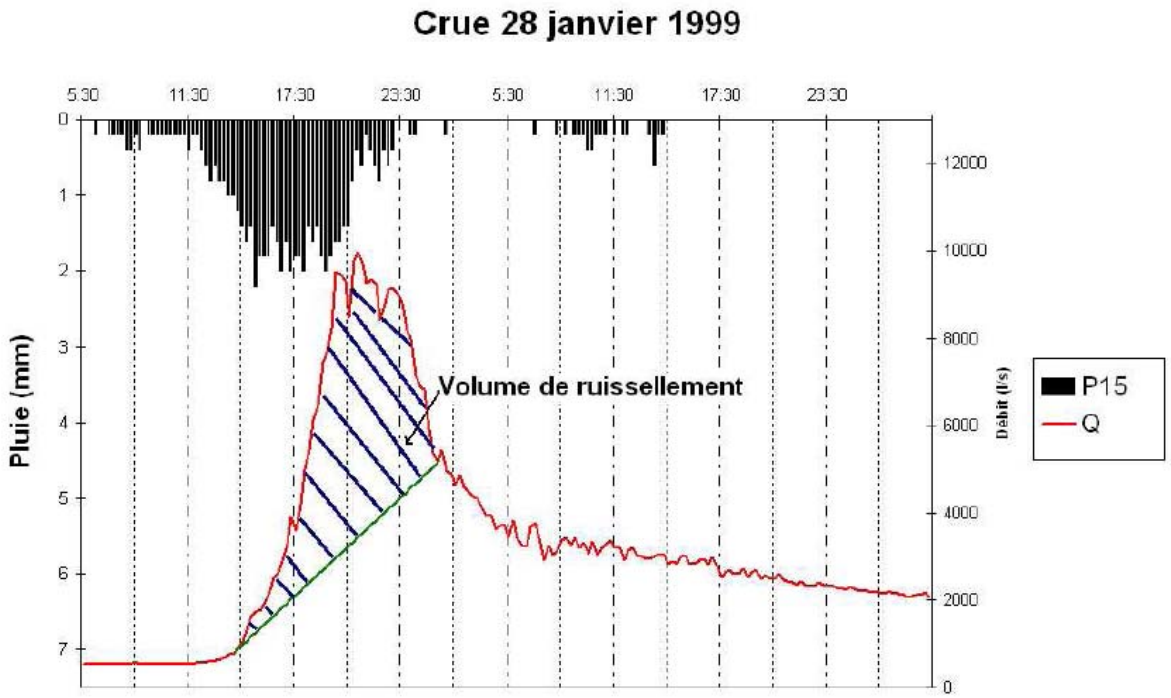


Figure 6 : Méthode graphiques d'estimation du ruissellement. Le volume d'eau ruisselée est situé entre la courbe de débit et une droite reliant le point de montée et le point de rupture de pente de la décrue

On obtient alors des coefficients de ruissellement autour de 5% pour la plupart des épisodes, sauf pour ceux avec des débits de pointe importants (supérieur à 9 m^3/s) pour lesquels on

atteint plutôt 10 à 15 %. Comme on reste dans une gamme assez réduite et dont l'influence reste modérée, le taux de saturation sera fixé à 5%. On pourra ensuite le faire varier légèrement mais la fonction de transfert change peu pour une saturation de 5 ou 10 %. On définit ainsi les 5 ou 10 % de surface du bassin les plus facilement saturées, et donc leur extension.

Il faut ensuite choisir les vitesses respectives à prendre en compte en rivière et sur le versant (saturé). On peut utiliser pour cela des ordres de grandeur observés lors de mesures en rivières ou d'instrumentation intensive sur versant. Ici, cependant, on dispose d'une première estimation de la FT via la méthode DPFT. On va donc chercher à s'en approcher au mieux.

En général, on essaie de se ramener à un seul paramètre inconnu en considérant que les vitesses en rivière et sur versant sont dans un rapport constant, ce qui ne laisse qu'une inconnue, la vitesse en rivière. Ce paramétrage des vitesses reste toutefois délicat. Au lieu de prendre un rapport de 10 entre la vitesse rivière et la vitesse versant, comme cela se fait assez couramment, ce rapport sera plutôt mis à 5 étant donné les très fortes pentes des versants sur ce bassin. Mais même ainsi, pour que les vitesses restent raisonnables sur le plan physique (autour de 1 m/s dans la rivière), la fonction de transfert obtenue est bien plus lente que celle proposée par la DPFT (cf. figure 7)

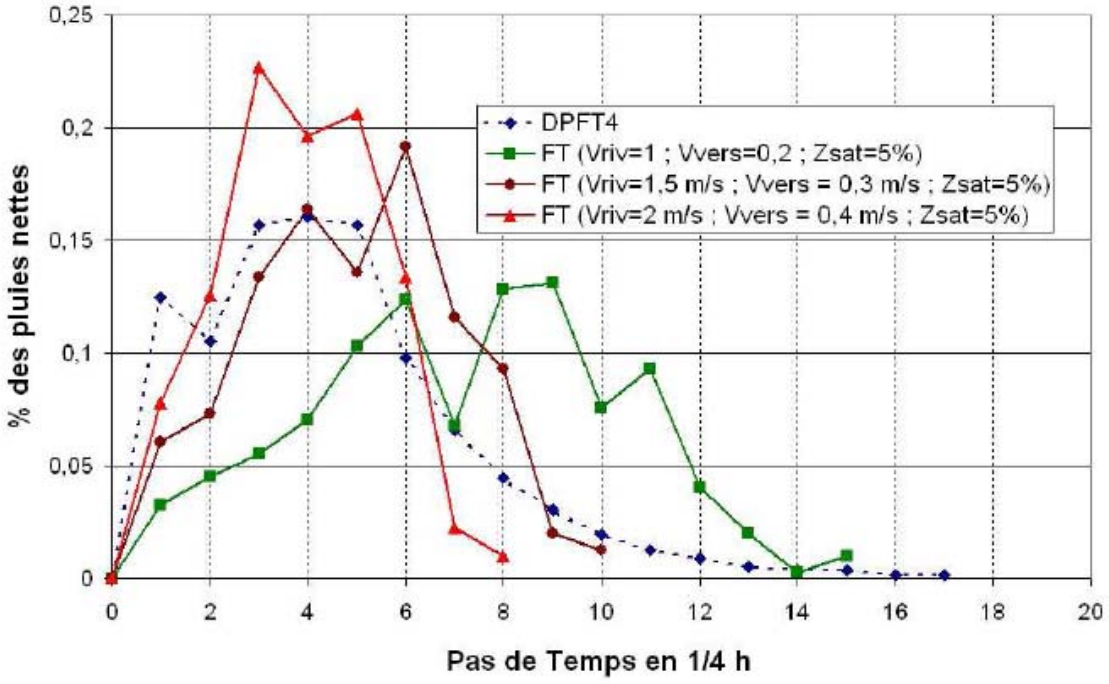


Figure 7 : Comparaison entre deux Fonctions de Transfert géomormorphologiques obtenues pour des vitesses rivières allant de 1 à 2 m/s et celle obtenue par DPFT

Il faut alors augmenter cette vitesse rivière jusqu'à 2 m/s pour approcher un transfert aussi rapide que celui obtenu via la DPFT. Ceci peut être du au fait que la DPFT est basée sur des pluies qui ne se produisent pas sur le bassin mais à quelques kilomètres : des décalages temporels entre les pluies mesurées à Saint Martin d'Hères et celles qui se sont réellement produites sur le bassin sont alors possibles, que la DPFT chercherait à compenser... Une autre hypothèse serait que la vitesse de la DPFT dépendrait de la réponse assez immédiate des

surfaces imperméabilisées de Saint Martin d'Uriage. Mais comme l'objectif de ce calage est ensuite l'extension à des bassins non jaugés, il est plus prudent de considérer des paramètres ayant un sens physique plutôt que des paramètres compensant des éventuelles particularités locales.

La Fonction de Transfert retenue sera donc celle obtenue pour les paramètres suivants :

V_{riv} = 1m/s ; V_{vers} = 20cm/s ; T_{Zsat}= 5% (en vert sur la figure 7).

Conclusion sur les Fonctions de Transfert obtenues

Comme on le voit, il n'a pas été possible de déterminer une fonction de transfert unique sur le bassin du Sonnant. Celle proposée par la DPFT est issue de données, mais dont certaines, les pluies, ne sont peut être pas représentatives du bassin : cette FT a peut-être cherché à compenser ce manque de représentativité.

Parallèlement, la FT proposée par la géomorphologie superficielle (la topographie) a du mal à reproduire la précédente avec des valeurs physiquement réalistes des paramètres.

Dans le doute, il pourra être intéressant de faire tourner le modèle hydrologique avec les différentes fonctions obtenues.

3. Modélisation de la Fonction de production du SONNANT

Utilisation de TOPMODEL

3.1. Le modèle hydrologique Topmodel

Ce modèle hydrologique a été proposé par Beven et Kirkby (1979) et décrit par exemple par Obled et Zin (2002). La version proposée (TOPSIMPL) est bien adaptée à une utilisation évènement par évènement.

TOPMODEL modélise principalement le ruissellement par l'apparition de zones saturées contributives (ZSC). Ces ZSC proviennent de l'apparition et de l'existence de nappes temporaires réactives, dites de versant. Leur développement au cours de l'évènement en engendre leur affleurement, qui empêche l'infiltration de la pluie et crée un ruissellement rapide.

Le comportement de ces zones saturées dépend de la topographie du bassin. Il peut être caractérisé par un ***Indice Topographique*** IT représentant la capacité d'un point du bassin (un pixel) à se saturer. En un point i, il est défini comme logarithme de toute la surface amont A_i qui draine à travers ce pixel sur la pente topographique locale du pixel $\tan(\beta_i)$

$$IT_i = Ln(\frac{A_i}{\tan \beta_i})$$

où A_i indexe la capacité du pixel à collecter de l'eau et $\tan(\beta_i)$ sa capacité à l'évacuer gravitairement. En pratique cet indice est obtenu en tout point à partir d'un Modèle Numérique de Terrain.

Ce modèle, cette **fonction de production** (cf. figure 8), qui effectue la séparation entre les écoulements à la surface et dans le sol à partir des caractéristiques du sol et des précipitations, va comporter 4 paramètres à optimiser. Là où le sol n'est pas encore saturé, les précipitations atteignent la partie supérieure de cette zone non saturée, appelée *zone racinaire,* et caractérisée par sa capacité de stockage *SRmax* (en m). Ce premier réservoir modélise le stockage superficiel de l'eau infiltrée, et les prélèvements par l'évapotranspiration ou l'interception au cours de l'épisode. Ce prélèvement est paramétré par *Inter* (en m/h) et tant que le réservoir SRMAX n'est pas rempli, l'eau infiltrée ne peut atteindre la *zone non saturée*.

Dans ce second réservoir, compris entre la zone racinaire et la nappe, et donc à profondeur variable définie par le déficit d (profondeur de la nappe exprimée en lame d'eau), l'écoulement de l'eau est effectué par drainage gravitaire vertical (avec une dynamique rapide).

Cette alimentation du dernier réservoir, représentant la *nappe*, par la zone non saturée est contrôlée par les caractéristiques hydrodynamiques du sol à l'interface zone non saturée/ nappe, à savoir la conductivité hydraulique à saturation *K(d)* (en m/h). Cette conductivité *K(d)* dans le sol décroît entre un maximum à la surface K_0 et selon une fonction de *d* prise ici exponentielle avec un paramètre *M* (en m) de décroissance de cette conductivité hydraulique dans le sol: $K(d) = K_0.\exp\left(-\frac{d}{M}\right)$.

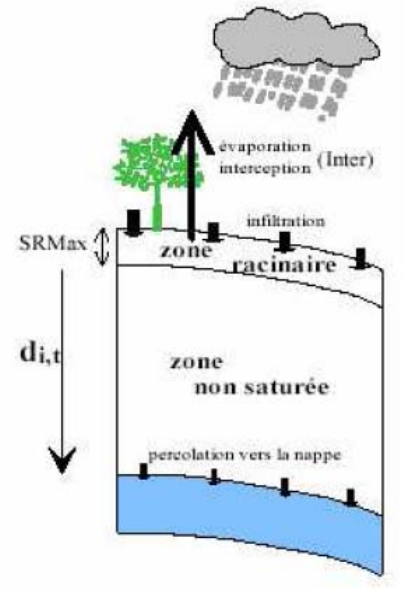


Figure 8 : Schéma du sol utilisé par TOPMODEL

Il y a donc 4 paramètres à caler (Ko, M, Inter et SRMax), sachant que l'eau mise ainsi à disposition de l'écoulement rapide est transférée à l'exutoire via une FT (DPFT ou géomorphologique), et que l'écoulement lent est transféré seulement dans la rivière par une méthode d'isochrones.

3.2. Calage effectué

Le calage est effectué sur les deux tiers des épisodes, le dernier tiers étant réservé à la validation du modèle. L'ajustement des différents paramètres se fait sur le critère de Nash définit comme suit :

$$Nash = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n} \left(Q_{Sim}i - Q_{Obs}i\right)^2}{\sum_{i=1}^{n} \left(Q_{Obs}i - \overline{Q_{Obs}}\right)^2}$$

où n recouvre tous les pas de temps de tous les évènements de calage.

Deux calages distincts sont effectués, un avec la fonction de transfert obtenue via la méthode de la DPFT, un autre avec la fonction de transfert obtenue par la méthode géomorphologique retenue précédemment :

FT considéré	M	Ko	Inter	SRmax	Nash
DPFT	0.017	1.3	0.0001	0.0002	0.838
Geomorpho	0.019	0.8	0.0001	0.0001	0.847

Tableau 1 : Paramètres de calage de Topmodel

Si le Nash global est plutôt bon (supérieur à 0.8), les disparités de qualité de la simulation entre les épisodes restent notables comme on peut le voir avec les Nash par épisode dans le tableau 2 ou à l'examen de la figure 9. En particulier, le coefficient négatif obtenu sur l'épisode du 29/04/1999 est du à l'extrême rapidité de cet évènement particulier. La DPFT le modélise nettement mieux car sa réponse est très rapide. Ceci peut être du à un décalage temporelle entre les pluies sur le bassin et les pluies enregistrées… ?

Episode	Date	DPFT	Geomorpho
Global		0.838	0.847
1	25/11/1996	0.308	0.375
2	30/11/1996	0.754	0.783
3	29/01/1999	0.962	0.960
4	21/02/1999	0.752	0.914
5	22/02/1999	0.312	0.655
6	21/04/1999	0.501	0.872
7	29/04/1999	0.381	-0.754
8	14/11/2000	0.534	0.688
9	06/01/2001	0.785	0.779
10	08/03/2001	0.703	0.750
11	12/03/2001	0.884	0.386
12	17/03/2001	0.420	0.286
13	07/10/2001	0.774	0.874

Tableau 2 : Nash obtenu pour les différents épisodes retenus

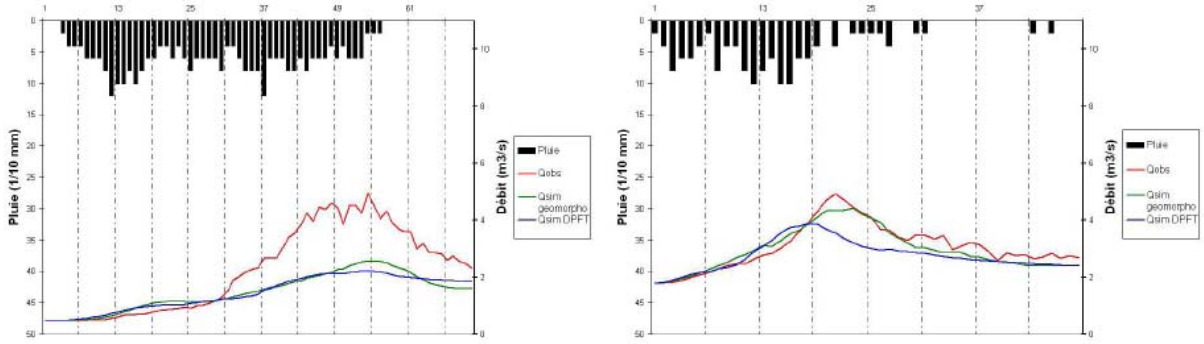


Figure 9: Simulation par TOPMODEL des épisodes du 25 novembre 1996 (à gauche) et du 21 avril 1999 (à droite) (1 pas de temps = 67#67)

Sensibilité du calage au choix de la fonction de transfert

L'influence n'est pas tant sur les débits de pointes estimés, mais plus sur la chronologie de la crue. Dans une optique d'extension de paramètres à des bassins non jaugés, la sensibilité de la simulation vis à vis du choix de la fonction de transfert apparaît tout à fait acceptable étant donné les autres incertitudes (paramètres de calage du modèle, pluies...).

3.3. Validation des paramètres sur d'autres évènements

Pour s'assurer d'une certaine robustesse des paramètres obtenus, il est utile de procéder à une simulation du modèle sur des évènements non pris en compte lors du calage (épisodes de novembre 2002 et février 2003, *cf*. figures 10 et 11).

Les résultats de la validation en termes de Nash sont à peu près similaires à ceux obtenus lors du calage (*cf*. tableau 3), avec là encore de grandes disparités entre les épisodes. La validation est bonne pour l'épisode du 16/11/2002 qui est le plus fort de ceux dont on dispose. Pour celle du 4 Février 2003, on peut considérer que la dynamique est respectée mais qu'une partie significative de la précipitation est tombée sous forme de neige, ce qui a été ignoré ici.

Episode	Date	DPFT	Geomorpho
Global		0.828	0.854
1	14/11/2002	0.285	-0.805
2	15/11/2002	0.812	0.802
3	16/11/2002	0.874	0.924
4	21/11/2002	0.834	0.239
5	04/02/2003	-0.123	0.152

Tableau 3 : Nash obtenu pour les épisodes de validation

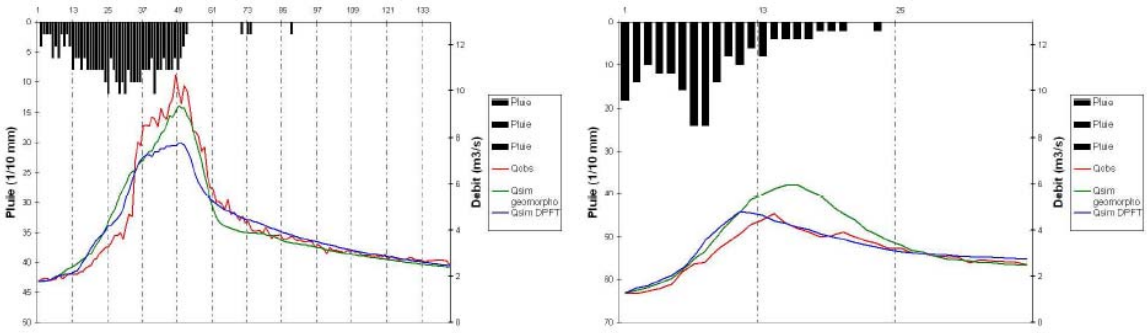


Figure 10 : Simulation par TOPMODEL des épisodes du 16/11/2002 (gauche) et 21/11/2002 (droite) par FT géomorphologique et DPFT (pas de temps ¼ h)

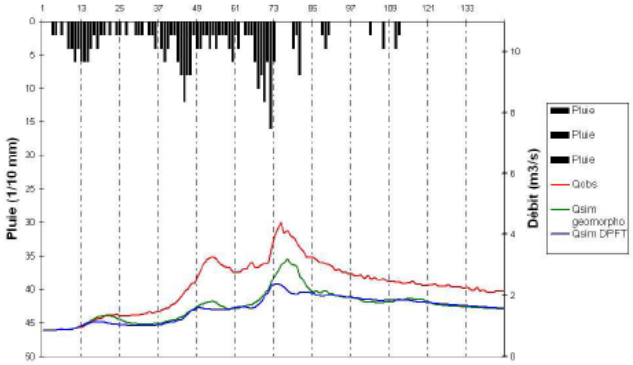


Figure 11 : Simulation par TOPMODEL des épisodes du 04/02/2003 par FT géomorphologique et DPFT (pas de temps ¼ h)

4. Tentative d'extension à un bassin non jaugé : Le Vorz

4.1. Présentation du bassin versant

Le Vorz est un bassin versant situé quelques kilomètres au nord du Sonnant. Il est légèrement plus étendu (35 km²), avec une forme un peu plus allongée, et situé à des altitudes nettement plus élevées (cf. figure 12). Cependant, comme il appartient au même massif et que son orientation est semblable, ce bassin est un bon candidat pour l'extension du modèle.

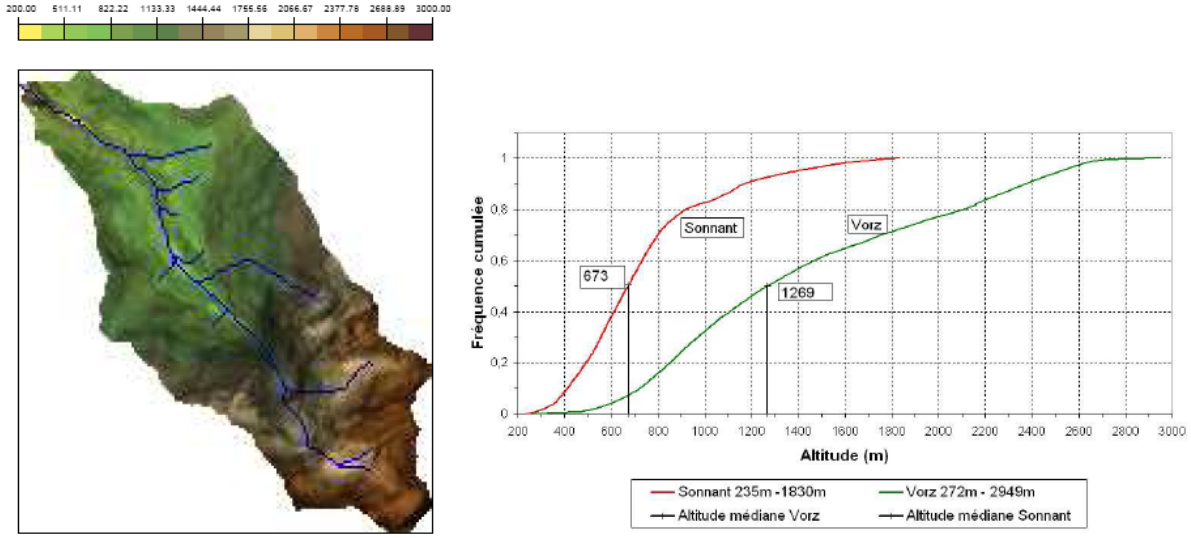


Figure 12 : Bassin Versant du Vorz - Courbes hypsométriques du Sonnant et du Vorz

4.2. Contexte de l'étude

L'objectif est ici de « transférer » un modèle et de simuler l'épisode catastrophique du 21-22 août 2005. Cet épisode a touché presque tous les cours d'eau de Belledonne, mis à part le Sonnant.

Provoqué par un retour d'est assez peu courant, les données de pluies recueillies dans la vallée du Grésivaudan se sont révélées assez peu représentatives. En effet, il est tombé 32 mm sur l'évènement au Versoud (220 m), 66 mm à Revel (700 m), 109 à La Ferrière d'Allevard (950 m), 160 à Chamrousse (1800 m) et 278 au refuge de La Pra (2100 m).

Pluies considérées

Il semble donc peu réaliste de prendre en compte ici les pluies collectées au Versoud, ou pire encore à Saint Martin d'Hères, et il convient de regarder les autres sources de données disponibles susceptibles de prendre en compte ces effets orographiques.

On verra dans la seconde partie que :

- les pluies proposées par le système SAFRAN de MétéoFrance/CEN (cf. 2ème Partie) ont des cumuls intéressants (en noir sur la figure 13) car on y retrouve une partie de l'effet orographique observé, mais par contre le problème est la répartition horaire des pluies,
- par contre, on dispose de pluies horaires au Rivier d'Allemont, situé à l'altitude médiane du Vorz (1270 m), mais de l'autre coté du versant de Belledonne.

C'est néanmoins le côté par où est arrivé le système pluvieux. De plus, on voit sur la figure 13 que sur la totalité de l'épisode, le cumul des pluies au Rivier n'est que légèrement supérieur à la régression obtenue (en rouge sur la figure 13) sur les estimations des stations Ouest de Belledonne.

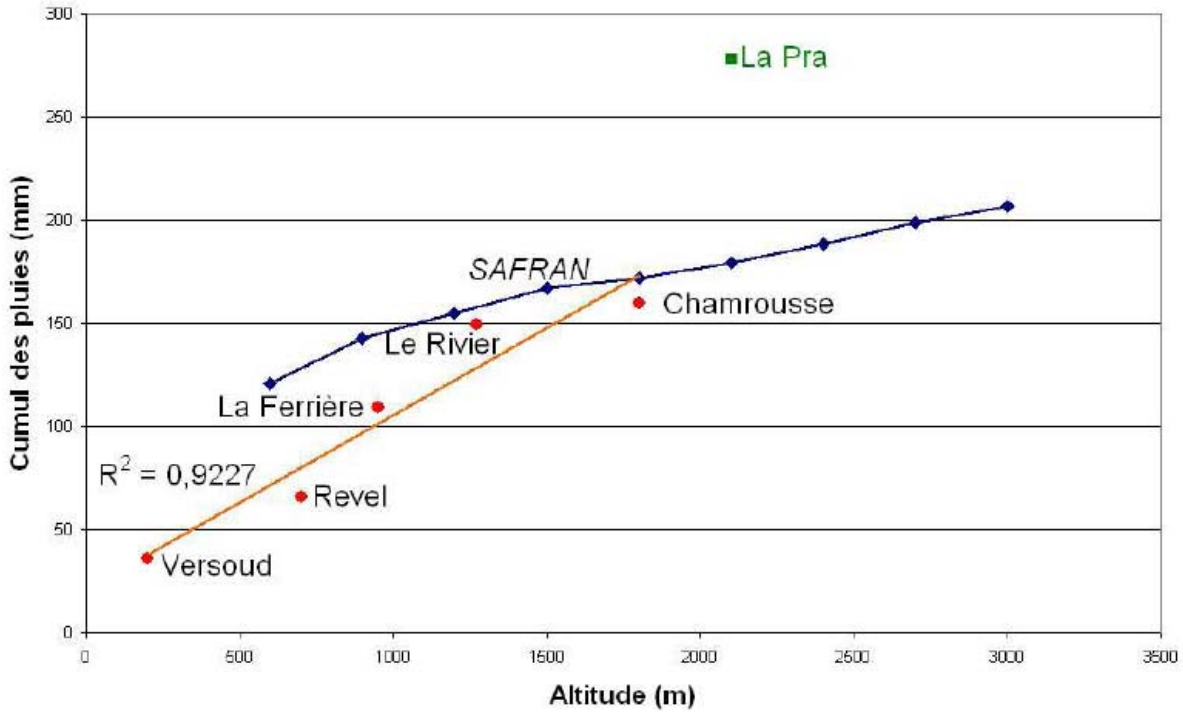


Figure 13 : Cumuls de pluies sur l'épisode du 21-22 août 2005 en fonction de l'altitude

Nous considérerons donc les pluies au Rivier pour la simulation de cet épisode, d'autant qu'ainsi, nous avons au moins une chronologie horaire. Faute de mieux, et pour éviter de changer de pas de temps de travail entre le bassin du Sonnant et celui du Vorz, ces pluies seront supposées constantes sur l'heure et divisées par quatre pour repasser au quart d'heure.

4.3. Simulations

Les simulations effectuées sont faites pour différentes fonctions de transfert (cf. figure 14) et aussi, compte tenu de l'incertitude en entrée, pour différents volumes de pluies (cf. figure 15).

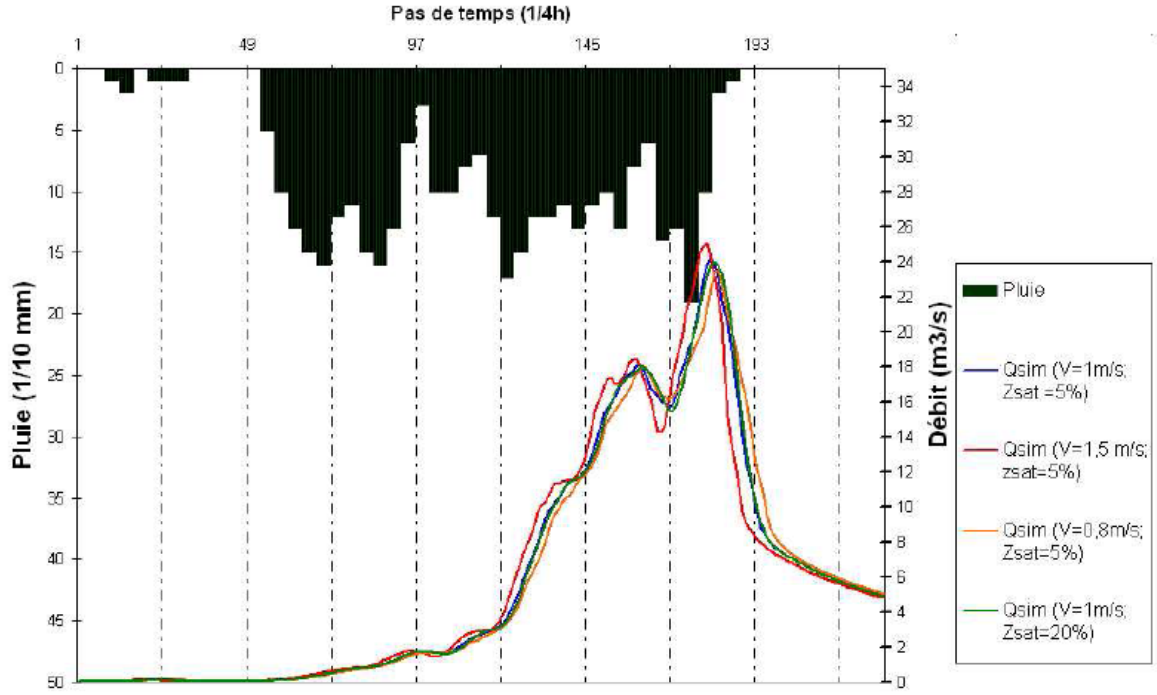


Figure 14 : Influence de la Fonction de Transfert utilisée sur la simulation de l'épisode d'août 2005 sur le bassin du Vorz.

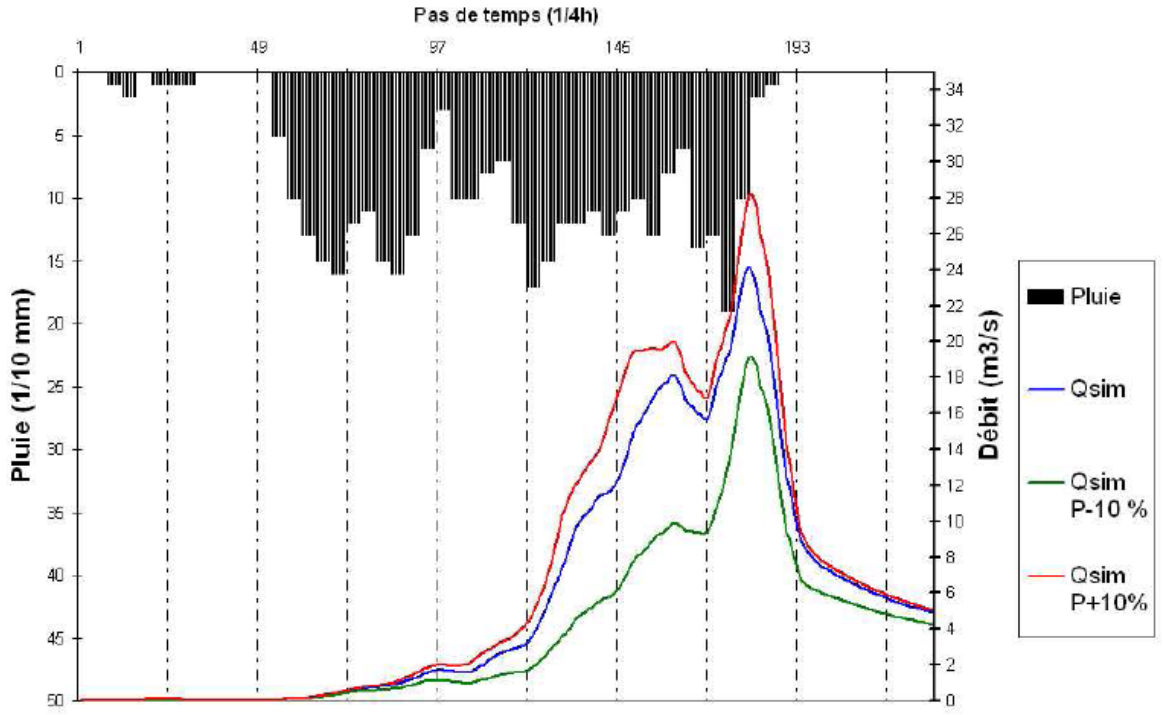


Figure 15 : Influence du Volume des précipitations sur la simulation de l'épisode d'août 2005 sur le bassin du Vorz. Simulation faite avec les pluies au Rivier modulées de ± 10 %

On voit nettement que l'influence de la Fonction de Transfert sélectionnée reste marginale par rapport à l'influence du volume des précipitations.

Conclusions sur le Vorz

Ce résultat montre bien que le plus crucial est d'avoir une bonne estimation des pluies pour pouvoir limiter les incertitudes en modélisation hydrologique. Le plus important à faire aujourd'hui est donc d'améliorer la mesure pluviométrique.

Cependant, ces essais ont été effectués sans informations supplémentaires sur les débits. Mais nous avons cherché à savoir si des estimations hydrauliques avaient été proposées (à partir des laisses de crue, et d'une rugosité estimée, etc…). Le chiffre de 25 m^3/s nous a été avancé (Ph. Belleudy, communication. personnelle). On voit qu'il correspond assez bien avec nos estimations utilisant les pluies du Rivier telles quelles, ou majorées de 10%.

Par contre, on voit qu'une sous-estimation des pluies, par exemple ici en utilisant les pluies du Rivier minorées de 10%, conduit à une sous-estimation encore plus importante du débit (de 20 à 25 %).

5. Perspectives sur la modélisation hydrologique

Même si le rôle des pluies reste primordial, il peut aussi être envisagé d'améliorer la modélisation hydrologique en tant que telle en regroupant les épisodes pour lesquels le comportement hydrologique du bassin sera similaire :

- séparer les épisodes d'été où le bassin est initialement assez sec, des épisodes d'automne pour lesquels la saturation initiale est plus importante, et des épisodes d'hiver et de printemps où une partie non négligeable du bassin peut être enneigée.
- séparer les épisodes intenses des simples évènements de ``hautes eaux", afin notamment de ne pas fausser le calage. Dns une optique de crue, le calage doit se faire principalement sur les épisodes les plus forts.
- Le rôle de la neige, qui peut être crucial comme on l'a vu en décembre1991, n'a pas pu être suffisamment traité ici, faute de données suffisante sur l'enneigement.

Mais pour tout cela, il faudrait avoir un nombre d'épisode suffisamment important pour pouvoir effectuer différents calages. Dans notre cas, l'amplitude temporelle des données aussi bien pluviométriques que hydrométriques est trop réduite.

Concernant l'hydrologie des bassins non jaugés, on a pu voir que, quand on dispose d'une entrée pluie raisonnable et que l'on utilise un modèle hydrologique qui a pu être calé sur un bassin versant de caractéristiques géomorphologiques assez voisines, alors il semble possible de proposer des ordres de grandeur plausible des débits de pointe sur le bassin non jaugé considéré.

Mais gardons à l'esprit que l'information pluie reste cruciale et que notre démarche de transfert vers un bassin non jaugé aurait d'abord du être validée sur un autre bassin jaugé (pour lequel on n'aurait pas pris en compte les mesures de débit pour la modélisation hydrologique).

Seconde Partie :

Diagnostic et proposition de réseau pluviométrique sur le Massif de Belledonne.

Comme on vient de le voir dans la première partie, il y a une problématique de risque de crues commune à tous les ruisseaux de Belledonne (cf Carte détaillée en **Annexe II**) . Mais comme seul le Sonnant est instrumenté, c'est sur lui que nous nous sommes focalisés dans la première partie de l'étude. L'extension au Vorz a montré combien il était crucial, en crue, de disposer de bonnes données pluviométriques à pas de temps fins pour comprendre la réaction des bassins.

Cependant, pour des raisons socio-économiques, en sus des crues la gestion des ressources devient elle aussi un enjeu important de la société moderne. Sur le plan hydrologique, il est alors important d'approfondir les connaissances aussi bien au niveau des crues que sur la quantité d'eau mobilisable, et notamment suite aux impacts anthropiques sur les bassins (urbanisation, changement du couvert végétal) ou sur les entrées météorologiques (variations climatiques). Or la plupart de ces bassins versants, même dans des pays développés comme le notre n'est pas, ou très faiblement, instrumentée, ce qui rend les travaux d'estimation ou de prévision très incertains.

Cette seconde partie porte donc sur la pluviométrie du massif de Belledonne dans sa globalité (cf. figure 16 et carte plus détaillée en Annexe II), avec en arrière-plan les crues torrentielles mais aussi les problèmes de ressources en eau (notamment due à une pression croissante sur la ressource liée à une péri-urbanisation croissante de l'agglomération de Grenoble et à la demande des stations de ski en neige de culture).

La faiblesse des réseaux hydrométéorologiques et des archives disponibles sur le massif nous a donc conduit à étudier la possibilité d'utiliser en entrée des données alternatives, élaborées de manière indirecte par le Centre d'Etudes de la Neige pour les besoins de la prévision d'avalanches: les analyses du système SAFRAN. Si les précipitations proposées par SAFRAN ont déja été intégrées dans de la modélisation hydrologique sur de grands bassins comme la Seine (Seine) ou le Rhône (Rhone), il restait encore à tester l'intérêt de ces données SAFRAN pour de petits bassins, avec des pas de temps et d'espace plus fins.

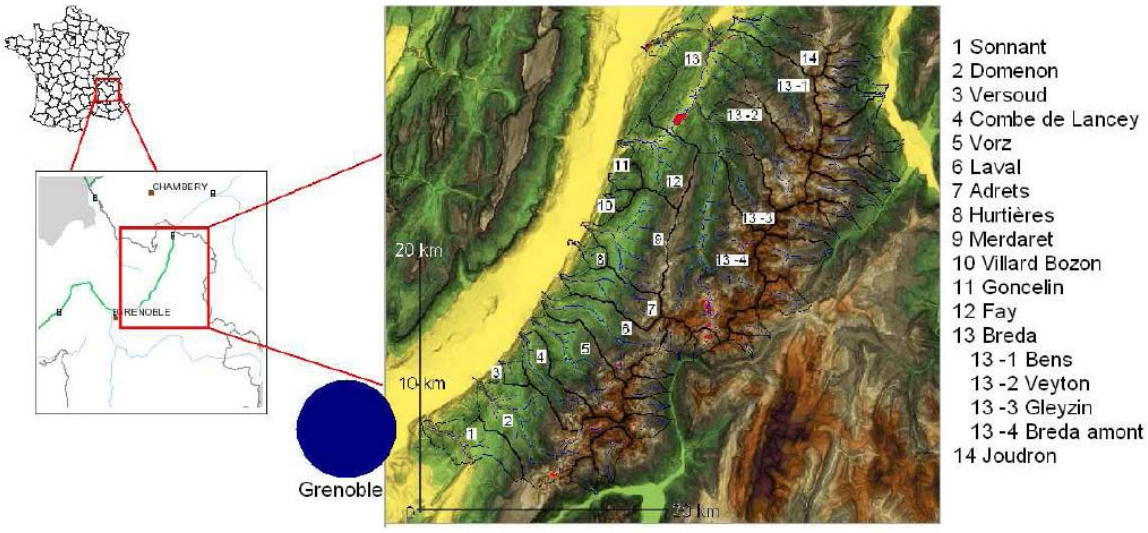


Figure 16 : Carte des ruisseaux du versant Ouest de Belledonne

1. *Réseau de mesures de données pluviométriques sur le massif de Belledonne*

Le massif de Belledonne est une entité géographique de l'ordre de 1000 km², comportant de nombreux petits affluents directs ou indirects de l'Isère. Les petites surfaces drainées par ces ruisseaux (de l'ordre de 10 à 30 km², le Breda étant à part avec 220 km²), et les fortes pentes présentes dans la région induisent des temps de réponse hydrologique très courts, de l'ordre de 1h - 1h30. Afin d'avoir une discrétisation pas trop grossière du système, il convient donc de travailler à un pas de temps infra horaire (15 ou 30 minutes).

Or la ***portée géostatistique*** de la variable pluie, (i.e. le rayon utile ΔX sur lequel une mesure est représentative), dépend du pas de temps de travail Δt via la relation approchée proposée par Lebel et al. (1984) :

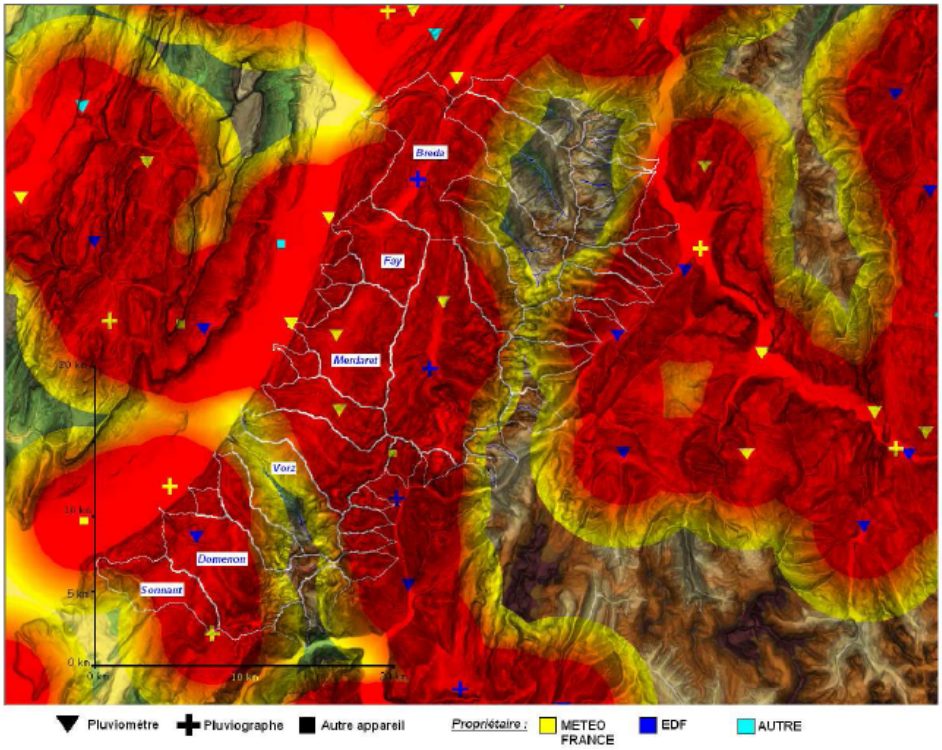
$$\Delta X_{km} = 10\sqrt{\Delta t_{heures}}$$

Il faudra donc moins de stations de mesures pour avoir une bonne couverture en cumuls journaliers. Et si le réseau de mesure devient assez dense quand on tient compte des appareils travaillant au pas de temps journalier, malheureusement, il devient vite insuffisant quand on vise des pas de temps plus fins : il faudrait théoriquement plus d'appareils pour la même précision, alors qu'en pratique il y en a moins ! Leur coût étant plus élevé et leur fonctionnement plus compliqué…

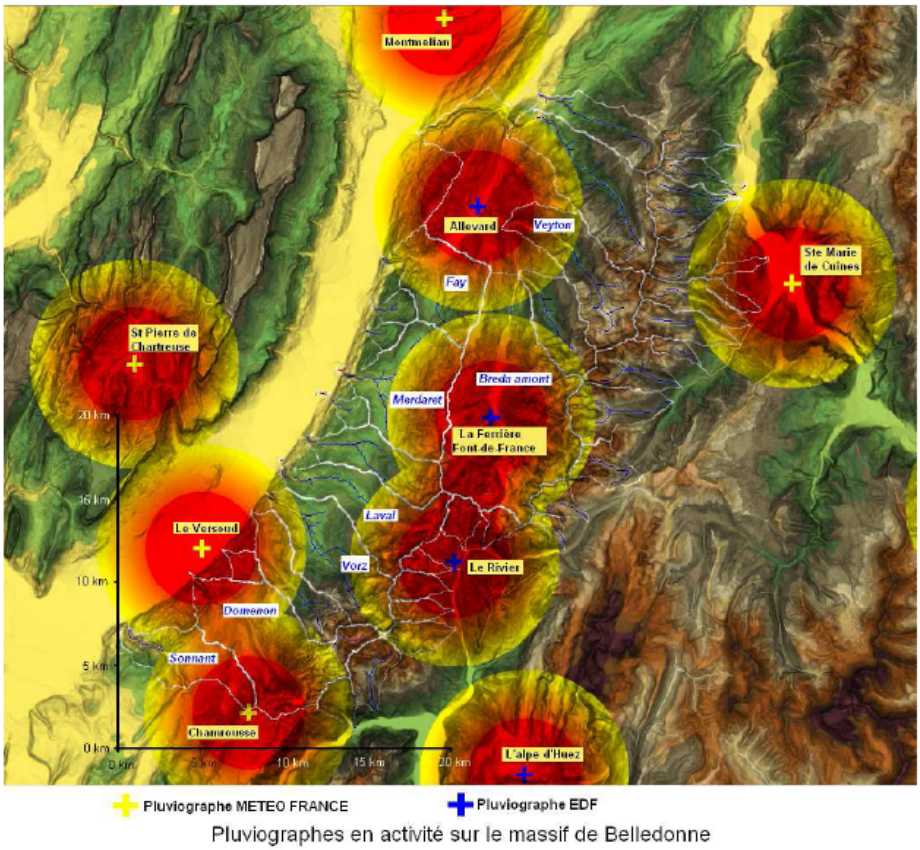
Dans le cas de Belledonne, ce réseau est plutôt clairsemé en ce qui concerne les appareils de mesures en continu (cf. figure 17 à la page suivante). Or ce sont ceux qui sont vraiment nécessaires à notre objectif.

Si nous prenons comme exemple les bassins versants de Belledonne-Ouest comme le Sonnant ou le Vorz : le seul appareil pouvant nous fournir des données avec suffisamment de profondeur est celui de Saint Martin d'Hères (SMH/LTHE), car celui situé à Chamrousse n'est en place que depuis 2003. Or, ce pluviographe de SMH/LTHE est situé en fond de vallée et on discutera par la suite la pertinence de ces données pour les surfaces des bassins en altitude.

Etant donnée cette faible disponibilité de mesures pluviométriques, il est alors intéressant de se pencher vers l'outil SAFRAN développé par le Centre d'Etude de la Neige de METEOFRANCE (CEN).



Appareils existant actuellement (2007) sur le massif de Belledonne et alentour



Pluviographes en activité sur le massif de Belledonne

Figure 17 : Réseau de mesure de données hydrométéorologiques sur le massif de Belledonne (en haut: tous types d'appareils, en bas : pluviographe uniquement). Les cercles correspondent à la portée significative pour un pas de temps de 20 minutes

2. *Estimation des précipitations par SAFRAN*

2.1.Présentation générale de l'outil SAFRAN

et extraction des données sur Belledonne.

Le Système d'Analyse Fournissant des Renseignements Atmosphériques à la Neige (SAFRAN) (Safran) est un des maillons de la chaîne SAFRAN-CROCUS-MEPRA conçue par le Centre d'Etude de la Neige pour servir d'aide au prévisionniste « avalanche ». SAFRAN fournit à la chaîne les données météorologiques nécessaires au pas horaire (température, vitesse de vent, humidité relative, radiations atmosphériques, radiations solaires global, couverture nuageuse, précipitation et type de temps). CROCUS les utilise ensuite pour l'évolution du manteau neigeux tandis que MEPRA est un système expert qui analyse les profils du manteau neigeux en terme de risque d'avalanche.

Dans toute cette chaîne, l'échelle de travail est le massif montagneux (les Alpes sont découpées en 23 massifs de l'ordre de 1000 km²), considéré comme homogène au point de vue climatique. Ces massifs sont eux-mêmes découpés en tranche d'altitude de 300m et leur orientation est prise en compte (N,E,SE,S,SO,O,plat) – cf. figure 18.

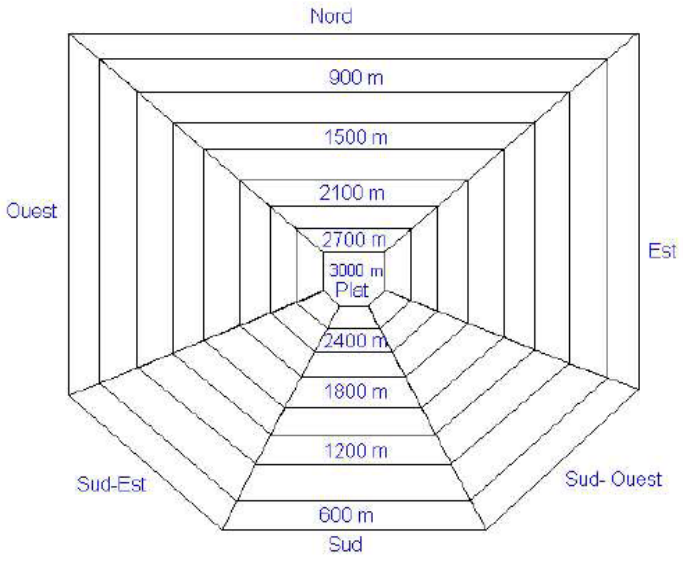


Figure 18 : Découpage du massif par le système SAFRAN

En ce qui concerne les précipitations, SAFRAN s'initialise soit à partir d'analyses AURELHY (méthode fournissant une ébauche du champ de précipitations selon le type de temps), soit à partir de projections et d'ajustement des valeurs aux points d'observation. Ensuite, une analyse des précipitations est effectuée une fois par jour, en intégrant les valeurs ***journalières*** reçues par le réseau nivo-météo. Le schéma d'analyse utilise une méthode par « interpolation optimale », sans corrélation verticale mais avec une contrainte imposant une certaine logique météorologique (cf. Durand, 2006). Le système d'analyse SAFRAN ne travaille donc qu'avec des données journalières pour les précipitations. L'interpolation horaire est réalisée à l'aide de la répartition horaire de l'humidité spécifique issue d'un modèle météo et des données stations.

En sortie, le système d'analyse météorologique SAFRAN fournit pour chaque massif les données météorologiques en fonction de l'orientation de la zone et de son altitude, et ce au pas de temps horaire.

Utilisation des précipitations SAFRAN pour le massif de Belledonne

SAFRAN met donc à disposition des données de pluies horaires en fonction du massif, de l'altitude et de l'orientation. Le mode d'extraction des données utilisé prend alors en compte la topographie du bassin versant considéré (ou d'une autre entité géographique) telle qu'elle est vue par un MNT. Pour chaque pixel (50x50 m²) de la zone ou du bassin, on détermine à quel massif il se rattache (un seul dans le cas des ruisseaux de Belledonne), ainsi que sa classe d'altitude et d'orientation. La pluie résultante sur la zone ou le bassin est la pondération des différentes valeurs ainsi extraites de SAFRAN.

La période d'extraction des données SAFRAN mise à notre disposition par le CEN-MétéoFrance pour cette étude sur le massif de Belledonne s'étend de août 1994 à juillet 2006.

2.2. Comparaison des données SAFRAN et des données sol

Une fois les données extraites, il importe de les valider. Pour cela, nous allons comparer les données fournies par SAFRAN avec les données des quelques pluviographes disponibles sur Belledonne. Ces comparaisons sont nécessaires car SAFRAN calcule les précipitations à l'échelle de massifs bien plus étendus que les bassins que nous allons considérer, et les données horaires qu'ils nous proposent se basent sur la seule répartition horaire de l'humidité.

Ces comparaisons vont être faites pour différents pas de temps (1h, 6h, 12h et 24h), ainsi que pour différentes gammes de pluies considérées, à savoir :

- pour les pas de temps où soit SAFRAN soit le pluviographe affiche une pluie non nulle (SAFRAN>0 ***OU*** Pluvio>0)
- pour les pas de temps où les deux sources donnent des pluies non nulles (SAFRAN>0 ***ET*** Pluvio>0)
- pour les pas de temps où les deux sources donnent des pluies supérieures à un seuil (SAFRAN>seuil ***ET*** Pluvio>seuil).

2.2.1. Comparaison des données en fond de vallée

En fond de vallée, nous disposons d'un jeu de données composé des pluies à Saint Martin d'Hères de 1996 à 2004. Ces données sont au quart d'heure, ce qui est intéressant car c'est le même pas de temps qui est utilisé pour l'acquisition des débits du Sonnant.

Par contre, ces données ont de nombreuses lacunes, et c'est pourquoi nous avons aussi considéré les pluies à l'aérodrome du Versoud (pluviographe METEOFRANCE), qui n'a été mis en service qu'en 1999.

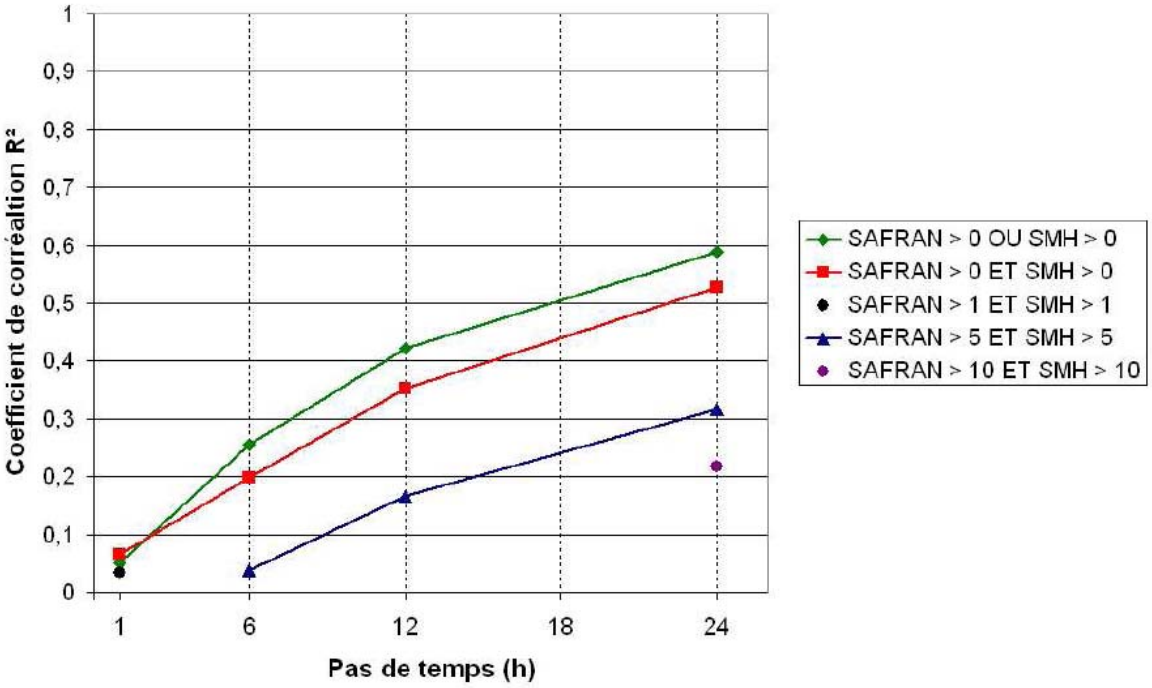


Figure 19 : Coefficient de corrélation entre les pluies mesurées à Saint-Martin d'Hères (210m) et celle calculée par SAFRAN sur la tranche 450-750m pour différents pas de temps et pour différents seuils

Ces données en fond de vallée ont donc été comparées avec des extractions de SAFRAN pour un pixel plat situé à l'altitude minimale (tranche 450 -750 m puisque l'on n' pas plus bas).

La figure 19 indique les coefficients obtenus pour les différentes corrélations, selon le pas de temps et le seuil de pluie.

Globalement, la corrélation à la journée n'est pas excellente, ce qui peut être en partie expliqué par l'altitude très basse du pluviomètre (200m), alors que la couche inférieure de SAFRAN est centrée sur 600m. Par ailleurs, SAFRAN n'intègre aucune donnée à des pas de temps infra-journaliers, ne répartissant les pluies qu'avec le profil d'humidité relative de l'air. Les mauvaises corrélations nous montrent donc que la dynamique de la pluie en fond de vallée n'est pas du tout la même que celle de l'humidité à 600m estimée par SAFRAN.

2.2.1. Comparaison sur des données en altitude

En altitude, très peu de pluviographes permettent de faire des validations de SAFRAN. Celui de Chamrousse est certes intégré à SAFRAN (il fait partie du réseau nivo-météo et du réseau RADOME), mais depuis peu : il n'est en place que depuis fin 2002 et opérationnel vraiment depuis 2003.

Par contre, le pluviographe du Rivier d'Allemont est nettement plus intéressant. En effet, ce dernier appartenant à Electricité de France n'est pas intégré dans l'analyse SAFRAN. De plus, on dispose des données sur l'ensemble de la période août 1994 - juillet 2006, et son altitude est assez élevée (1270 m), ce qui le place nettement dans le massif (contrairement au pluviographe de Saint Martin d'Hères).

La corrélation est ici meilleure que pour Saint Martin d'Hères, ce qui n'est pas surprenant puisque le Rivier est situé bien à l'intérieur du massif de Belledonne (cf. figure 20). Cependant, on constate que pour les pas de temps infra-journaliers, et notamment les pas très fins nécessaires aux études de crue, les estimations SAFRAN ne fournissent pas la précision demandée et ne compenseront pas l'absence de réseau.

2.2.3.Comparaison des cumuls mensuels

Si l'outil SAFRAN parait peu adapté pour travailler à des pas de temps inférieurs à 24 ou 12 heures, il peut être interessant de regarder la corrélation obtenue pour les cumuls mensuels, par exemple au Rivier. En effet si l'on veut utiliser le système d'analyse SAFRAN pour des problématiques de ressources en eau, il est important qu'il donne des cumuls non biaisés sur des périodes longues (corrélation a.x + b, avec a # 1 et b # 0). On voit à la figure 21 que le biais est très léger et la corrélation très marquée.

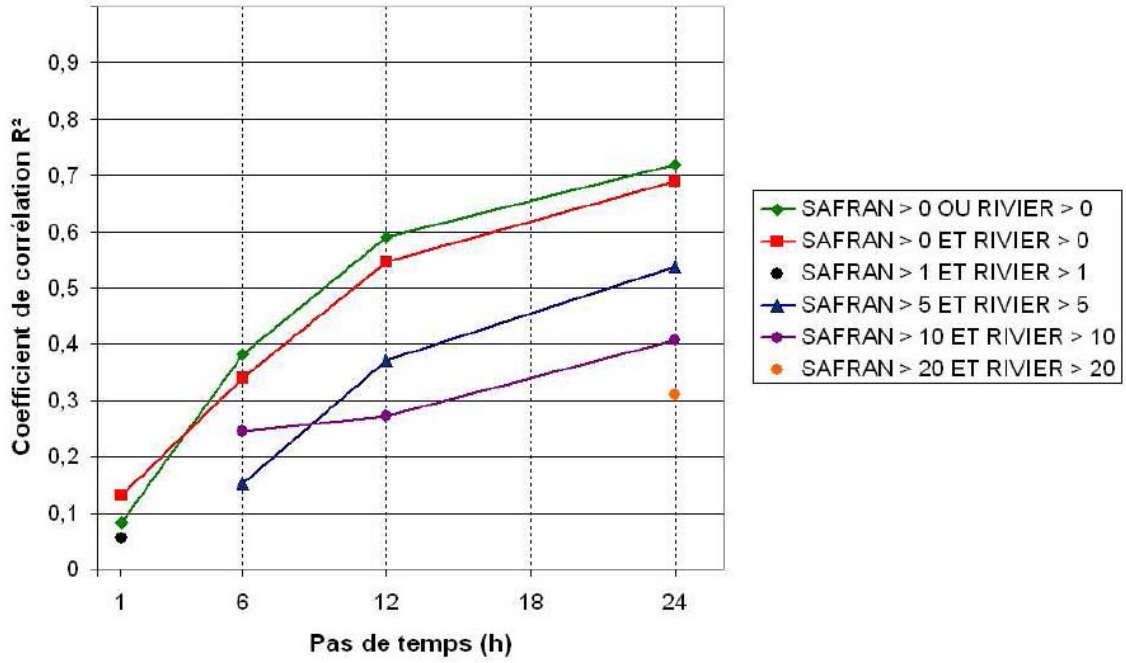


Figure 20 : Coefficient de corrélation entre les pluies mesurées au Rivier d'Allemont (1270m) et celle calculée par SAFRAN sur la tranche 1050-1350m pour différents pas de temps et pour différents seuils

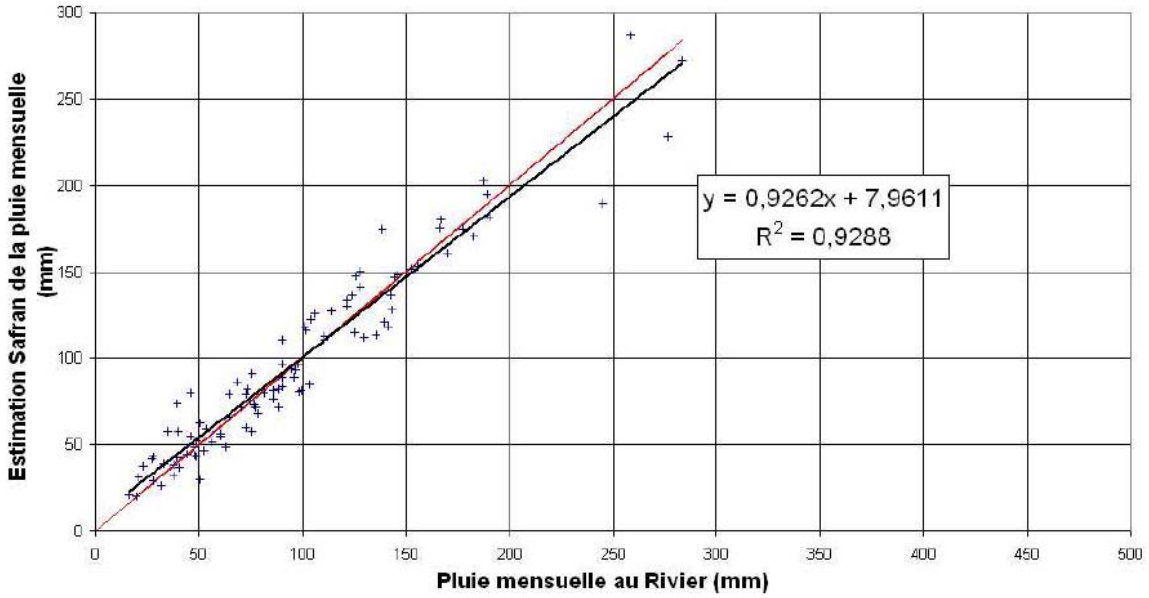


Figure 21 : Coefficient de corrélation entre les cumuls mensuels de pluies mesurées au Rivier d'Allemont (1270m) et celle calculée par SAFRAN sur la tranche 1050-1350m. Corrélation effectué pour les mois où on dispose d'au moins 500 données horaires au Rivier

2.3. Analyse de la sensibilité des précipitations SAFRAN à l'orientation et à l'altitude

2.3.1. Mode de calcul de l'orientation

Si l'altitude est donnée immédiatement par le MNT, la pente et l'azimut nécessitent un calcul spécifique. Nous nous sommes inspirés des travaux de Charleux-Demagne (2001) qui utilisent les 8 pixels voisins de celui considéré. Mais si la précipitation dépend de l'orientation, c'est de l'orientation globale du bassin dont elle dépend, et non de l'orientation locale d'un pixel (cf. figure 22).

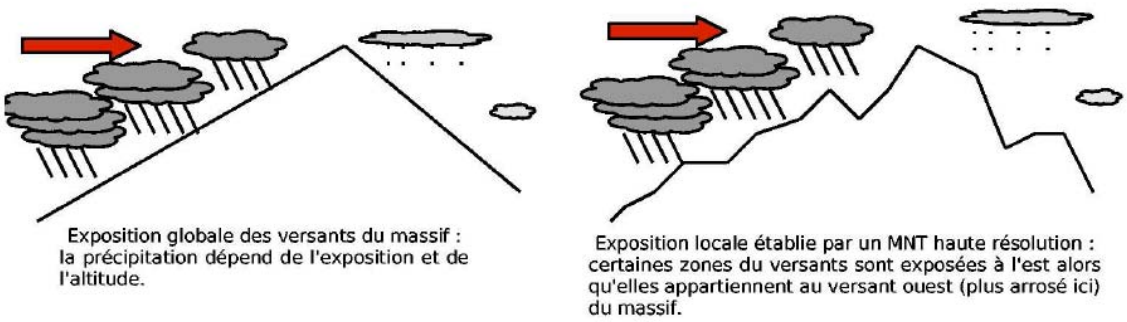


Figure 22 : Différence entre l'orientation globale du versant d'un massif et l'orientation locale

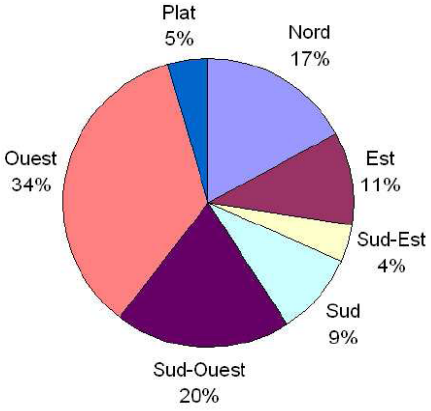


Figure 23 : Répartition des orientations locales sur le bassin du Sonnant

Toutefois, à l'échelle d'un bassin versant, on pourrait supposer que les pixels étant exposés différemment de l'orientation globale du versant sont minoritaires, mais l'exemple du Sonnant à la figure 23 montre que plus du quart des pixels sont orientés autrement. Il est par ailleurs possible que pour des bassins de formes particulières, l'orientation globale soit minoritaire.

2.3.2. Influence de l'altitude

Un rapide calcul des occurrences de pluie à Saint Martin d'Hères et au Rivier d'Allemont, et de celle estimée par SAFRAN sur des zones équivalentes en altitude et orientation montre rapidement que SAFRAN a en fait, au moins pour Belledonne, une vision quasi-unitaire du massif (cf. figure 24).

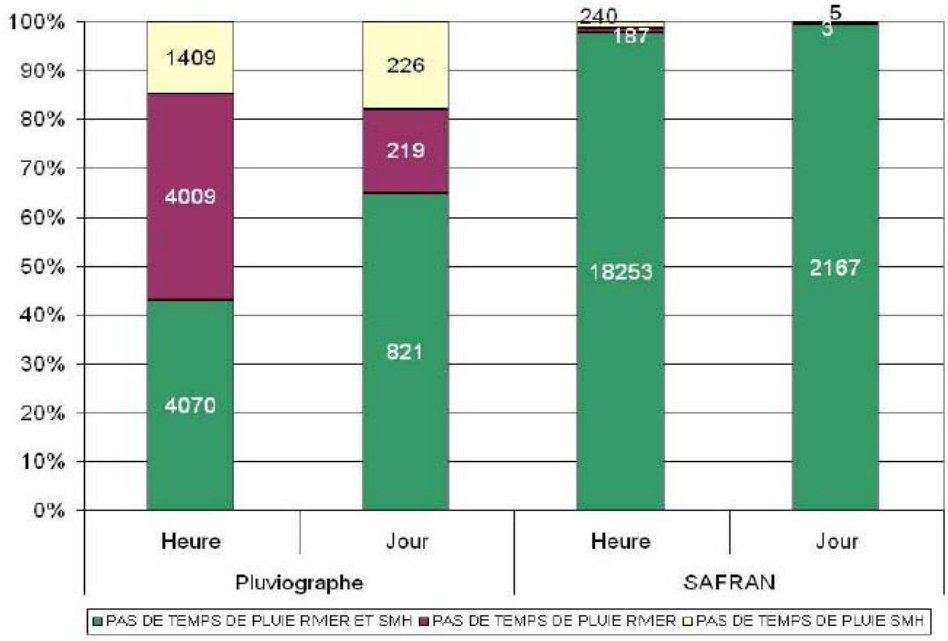


Figure 24 : Comparaison des occurrences de pluies communes à Saint Martin d'Hères et au Rivier par les mesures et les calculs SAFRAN pour différent pas de temps

Si on regarde les occurrences de pluies entre St Martin d'H et Le Rivier, on constate que sur les données journalières, et plus encore au pas horaire, il pleut beaucoup plus souvent au Rivier qu'à St Martin d'Hères. Ceci s'explique en grande partie par un effet orographique, la station du Rivier (1270 m) est plus souvent dans les nuages qui accrochent le massif que Saint Martin d'Hères. Mais ce n'est pas du tout le cas dans les estimations SAFRAN, qui voient quasiment de la pluie en même temps sur les pixels correspondants aux deux stations.

Cependant, le système s'analyse SAFRAN prétend tenir compte de l'altitude au moins sur les quantités de pluies estimées par tranche d'altitude. Il est donc intéressant de regarder l'influence de l'altitude sur les cumuls de précipitation. On retrouve bien ici un résultat classique : une augmentation des cumuls annuels de précipitations avec l'altitude (cf. figure 25).

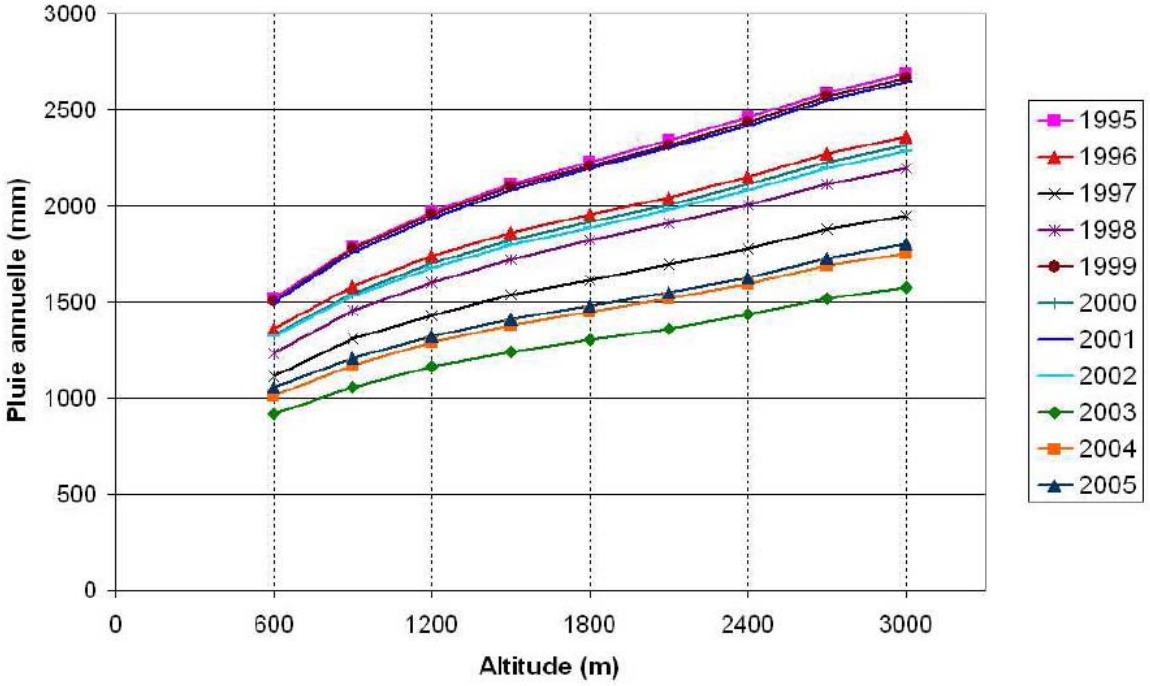


Figure 25 : Influence de l'altitude sur les cumuls annuels de pluies fournies par SAFRAN sur le massif de Belledonne (période 1995-2005)

Mais il est intéressant de noter que, pour toutes les années considérées, l'allure de l'augmentation semble être la même. Cette similitude ne se traduit pas par un gradient additif mais par un gradient multiplicatif assez constant ... Cette allure similaire selon les années est due à l'initialisation de SAFRAN par le modèle AURELHY, qui ne prend en compte qu'une augmentation essentiellement climatologique de la précipitation vis à vis de l'altitude.

Pour vérifier s'il y a une modulation plus fine entre les évènements, on peut aussi regarder le nombre de pas de temps où SAFRAN estime une pluie différente (nulle ou non nulle) entre le bas et le haut du massif :

- SAFRAN estime une pluie nulle en bas alors qu'il pleut en haut sur seulement 204 heures (alors qu'on dispose de plus de 18000 heures de pluies)
- à l'inverse, SAFRAN donne une pluie nulle en haut alors qu'il pleut en bas sur seulement 10 pas de temps.

SAFRAN a donc une vision quasi-unitaire du massif et peut difficilement nous renseigner sur la pluie d'épisodes individuels très différents de la climatologie moyenne par exemple en gradient avec l'altitude, ou ne se produisant qu'au delà d'une certaine altitude.

2.2.4. Influence de l'orientation sur la donnée précipitation

La comparaison entre les pluies données par SAFRAN pour la même altitude et pour des orientations différentes montre de manière évidente que SAFRAN ne tient pas compte de l'orientation lors de ses analyses sur les précipitations. En effet, au pas horaire, seul 1.49% des données (non nulles) diffèrent pour des pluies de même tranche d'altitude mais d'orientations différentes (cf. tableau 4).

Orientation	Nord	Est	Sud	Ouest	Plat	Toute orientation
Nord	0	0.0062	0.0068	0.0085	0.0058	0.0149
Est		0	0.0084	0.0113	0.0082	0.0149
Sud			0	0.0077	0.0051	0.0149
Ouest				0	0.0075	0.0149

Tableau 4: Part des pas de temps ou la donnée de précipitation n'est pas la même pour deux orientations différentes sur la première tranche d'altitude (calcul effectué sur les pas de temps de pluie non nulle)

3. *Conclusions sur l'utilisation de Safran pour l'hydrologie, propositions et perspectives*

La disponibilité des estimations de précipitations proposées par SAFRAN était une piste possible pour compenser l'absence de réseau suffisant. Elle méritait donc d'être considérée de manière assez approfondie selon le type de besoins.

3.1. Utilisation de SAFRAN pour des problématiques de crues

Pour cette utilisation, les sorties Précipitations du système d'Analyse SAFRAN ne nous sont pas apparues directement utilisables pour des petits bassins versant, du fait de la trop faible précision spatiale et temporelle :

- Safran considère des zones de l'ordre de 1000 km² comme homogènes sur le plan météorologique. Or un petit bassin de quelques dizaines de kilomètres carrés peut être arrosé par des pluies trop localisées pour être vues par SAFRAN (cas d'Août 2005). Il faut donc travailler sur des bassins de taille supérieure au millier de kilomètres carrés pour bénéficier d'une estimation plus contrastée des pluies.
- Seules les mesures journalières de pluies sont intégrées au Système d'Analyse, et il faut donc se limiter à travailler au pas de temps journalier, voire à 12 h, mais certainement pas à l'heure. Or, rappelons-le, nous visons le quart d'heure ou la demi-heure pour nos bassins à faible temps de réponse.

3.2. Utilisation de SAFRAN pour des problématiques de ressources en eau

Par contre, les corrélations au pas de temps journalier ou mensuel étant encourageantes, SAFRAN peut être un bon outil pour travailler sur les ressources en eau de montagne. Mais il

faudrait auparavant effectuer des tests plus poussés avec des données provenant de sources indépendantes, notamment en altitude, avant de conclure définitivement, car il semble que la variabilité temporelle soit un peu limitée et ne s'écarte pas suffisamment de la moyenne climatologique.

3.3. Sur les réseaux de mesure sur le massif de Belledonne

Une des conclusions importantes de cette étude est la nécessité d'avoir des pluies précises pour pouvoir faire de l'hydrologie à méso-échelle. Or, la tendance de ces dernières années suggère plutôt une baisse du nombre de stations de mesures de la pluie, pour privilégier les Radars ou les Systèmes d'Analyse comme SAFRAN.

Cependant la seconde partie de ce rapport a bien montré que malgré la finesse des analyses SAFRAN et l'injection d'informations spatiales et temporelles sorties de modèles météorologiques, il est difficile pour ce Système de descendre à des pas de temps inférieurs à ceux auxquels il s'alimente (24h) et de contraster l'information spatiale en fonction de l'orientation.

Le réseau existant est lui même inadapté pour pouvoir travailler à des pas de temps suffisamment fins, comme l'exige la dynamique de ces bassins, mais notre espoir de le compenser par de l'information SAFRAN n'a pu se concrétiser…

Il apparaît donc crucial, pour faire de la prévision des crues sur les petits bassins de Belledonne d'équiper le massif d'un réseau de pluviographes suffisamment dense pour pouvoir travailler à des pas de temps fins (de l'ordre du quart d'heure ou de la demi-heure). Comme l'effet orographique peut être déterminant, ce réseau devrait comporter des appareillages à différentes altitudes.

Par exemple nous proposons, *pour le seul versant Ouest* concerné par l'urbanisation :

- des appareils en fond de vallée (Saint-Martin d'Hères, Domène, Le Versoud, Villard Bonnot, Froges, et Goncelin)
- des appareils sur les balcons de Belledonne (St Martin d'Uriage, Revel, St Mury Monteymond, Theys, et Allevard)
- des appareils sur le haut du massif (Chamrousse, Prapoutel-Les Sept Laux , Le Collet d'Allevard, Fond-de-France, Le Pleynet)

Un autre dispositif permettant la mesure de la pluie est le RADAR. Ces appareils permettent une mesure de la pluie sur une distance importante, ce qui contrebalance leur coût élevé. Mais en montagne, la visibilité hydrologique des radars diminue fortement et il faudrait alors plusieurs appareils pour pouvoir couvrir tout un massif, entraînant des surcoûts importants. Actuellement, le massif de Belledonne, et même plus largement les Alpes ne sont pas couverts par les radars existants (cf site internet : http://www.alicime.com). L'avènement de petits radars (bande X), susceptibles d'être disséminés en plus grand nombre, en est encore au stade du prototype…

Donc pour les 10 ans à venir, il n'y a pas d'alternative aux réseaux sol. Et comme nous l'écrivions en 2001… il serait urgent de commencer …!

Parallèlement, il serait tout aussi important d'installer des dispositifs de mesure des débits des principaux cours d'eau du massif. C’est en particulier une obligation qui devrait être imposée aux concessionnaires qui les exploitent…

Références

K. BEVEN et M. KIRKBY, 1979
A physically-based variable contributing area model of basin hydrology.
Hydrological Sciences Bulletin, vol. 24, pp. 43-69.

J. CHARLEUX-DEMARGNE, 2001
Qualité des modèles numériques de terrain pour l'hydrologie – Application à la caractérisation eu régime de crue des bassins versants.
Thèse de doctorat.

D. DUBAND, Ch. OBLED et Y. RODRIGUEZ, 1993
Unit Hydrograph Revisited: An Alternate Iterative Approach for U.H. and Effective Precipitation Identification.
J. of Hydrology, vol 150, p. 115-149

Y. DURAND, 2006
Notice scientifique et technique SAFRAN.
Rapport technique CEN, Vol. 1.

P. ETCHEVERS, Y. DURAND et E. MARTIN, 1998
Analyse SAFRAN des paramètres météorologiques de surface sur le bassin versant du Rhône de 1981 à 1994.
Technical Report 13, Centre d'Étude de la Neige.

TH. FINET, 2006
Elaboration et validation d'information pluviographique et géomorphologique dans la modélisation hydrologique de petits bassins versants non jaugés. Application aux ruisseaux de Belledonne.
Rapport de stage M2R STUE, 32 pp. + annexes.

HUNDECHA Y., E. ZEHE et A. BARDOSSY, 2007
Regional parameter estimation from catchment properties prediction in ungauged basins.
Hydrological Sciences Journal, Vol 309.

OBLED Ch. et I. ZIN, 2004
- TOPMODEL : principes de fonctionnement et applications.
- La Houille Blanche, N° 1/2004, pp. 65-77.

M. SIVAPALAN et al., 2003
IAHS Decade on Predictions in Ungauged Basins (PUB), 2003-2012 : Shaping an exciting future for hydrological science.
Hydrological Sciences Journal.

ZIN I. & Ch. OBLED
Geomorphologic conditions for a robust Unit Hydrograph, with implications for ungauged catchments.
J. of Hydrology, *accepté 2007*

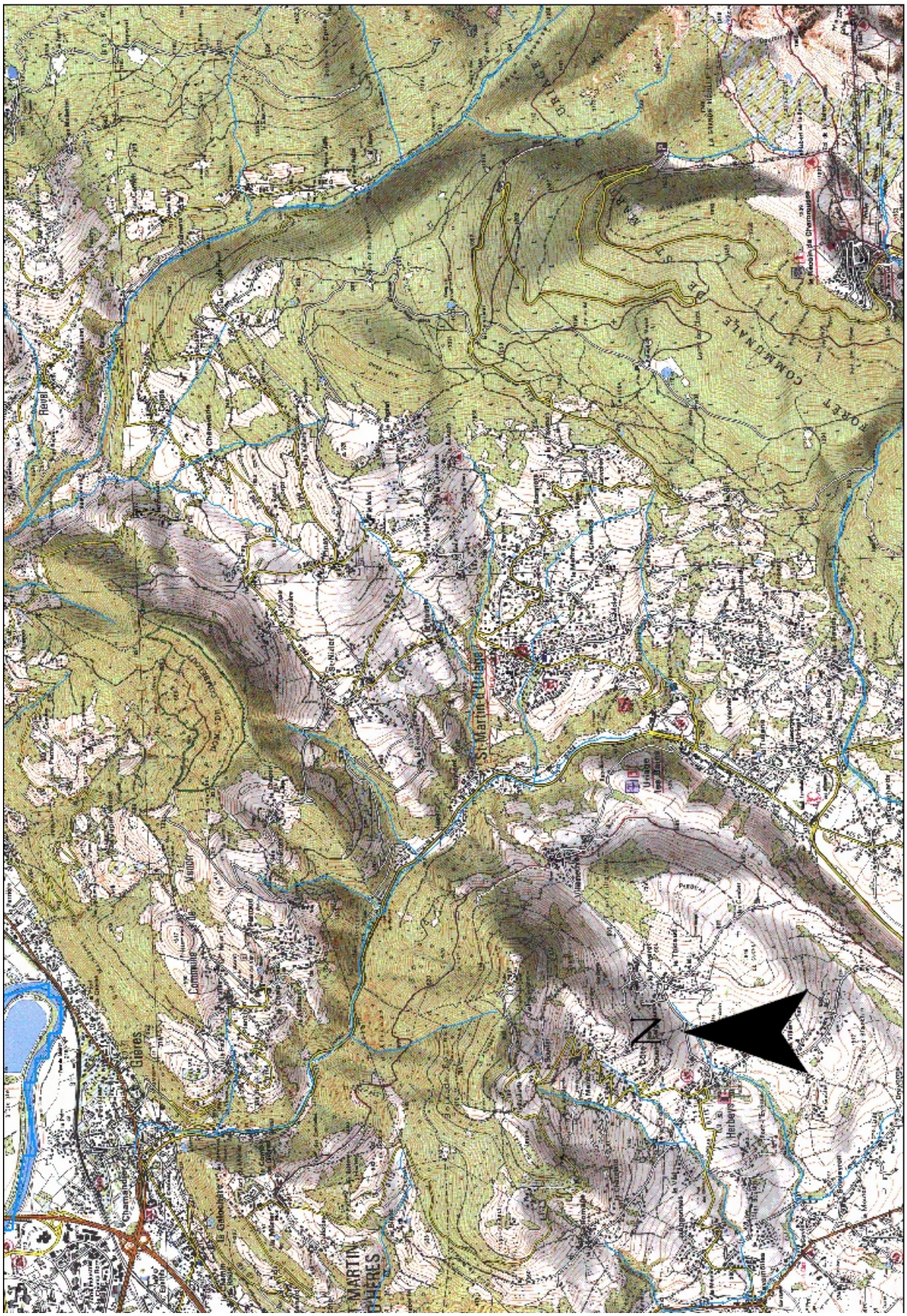
Annexes

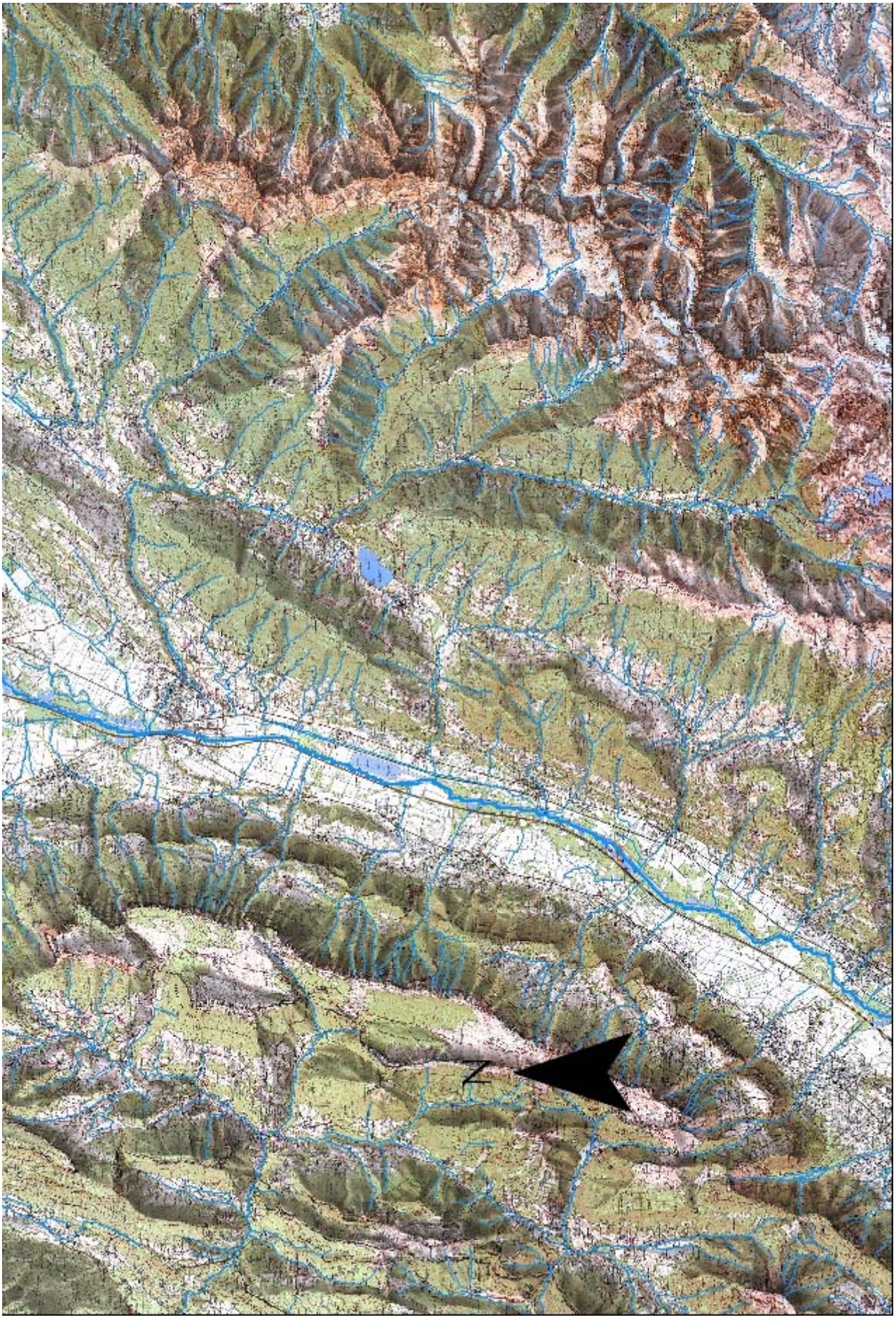
Annexe 1 – Carte du Sonnant d'Uriage

Annexe 2 – Carte du massif de Belledonne

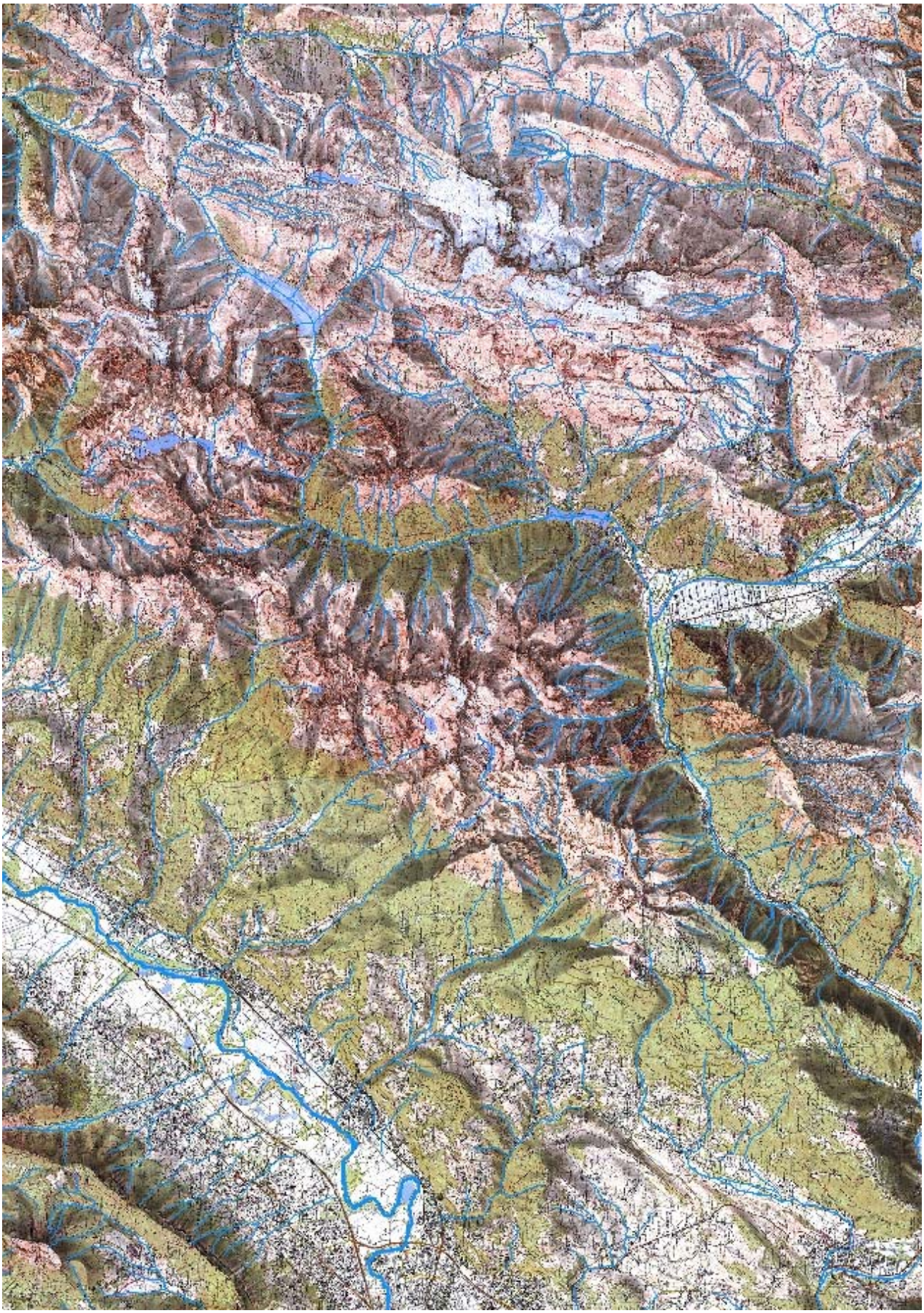
Annexe 3 – Tableau de disponibilité des données hydrométriques du Sonnant d'Uriage

Annexe 1 – Carte du Sonnant d'Uriage




N

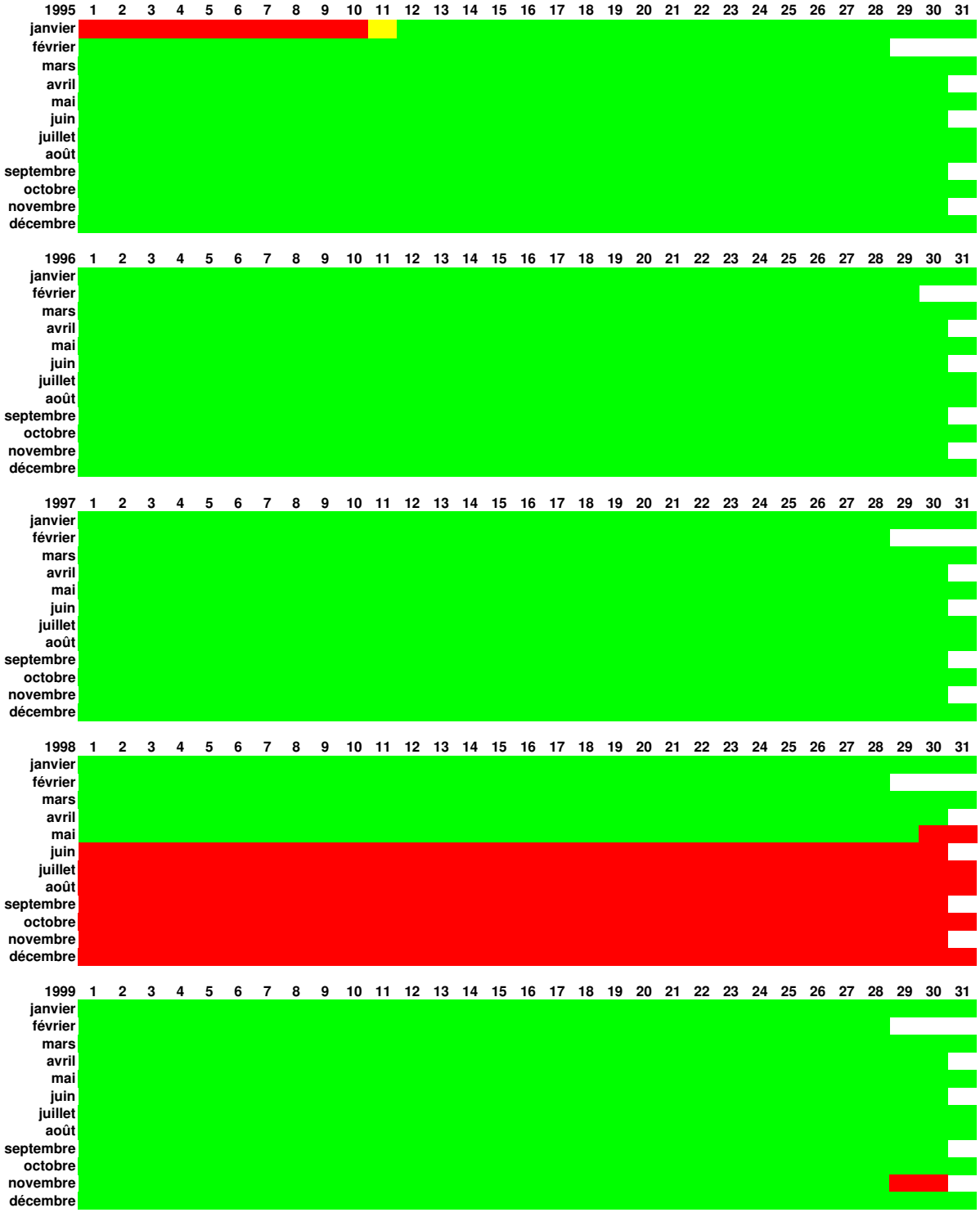
Annexe 2 – Carte du massif de Belledonne

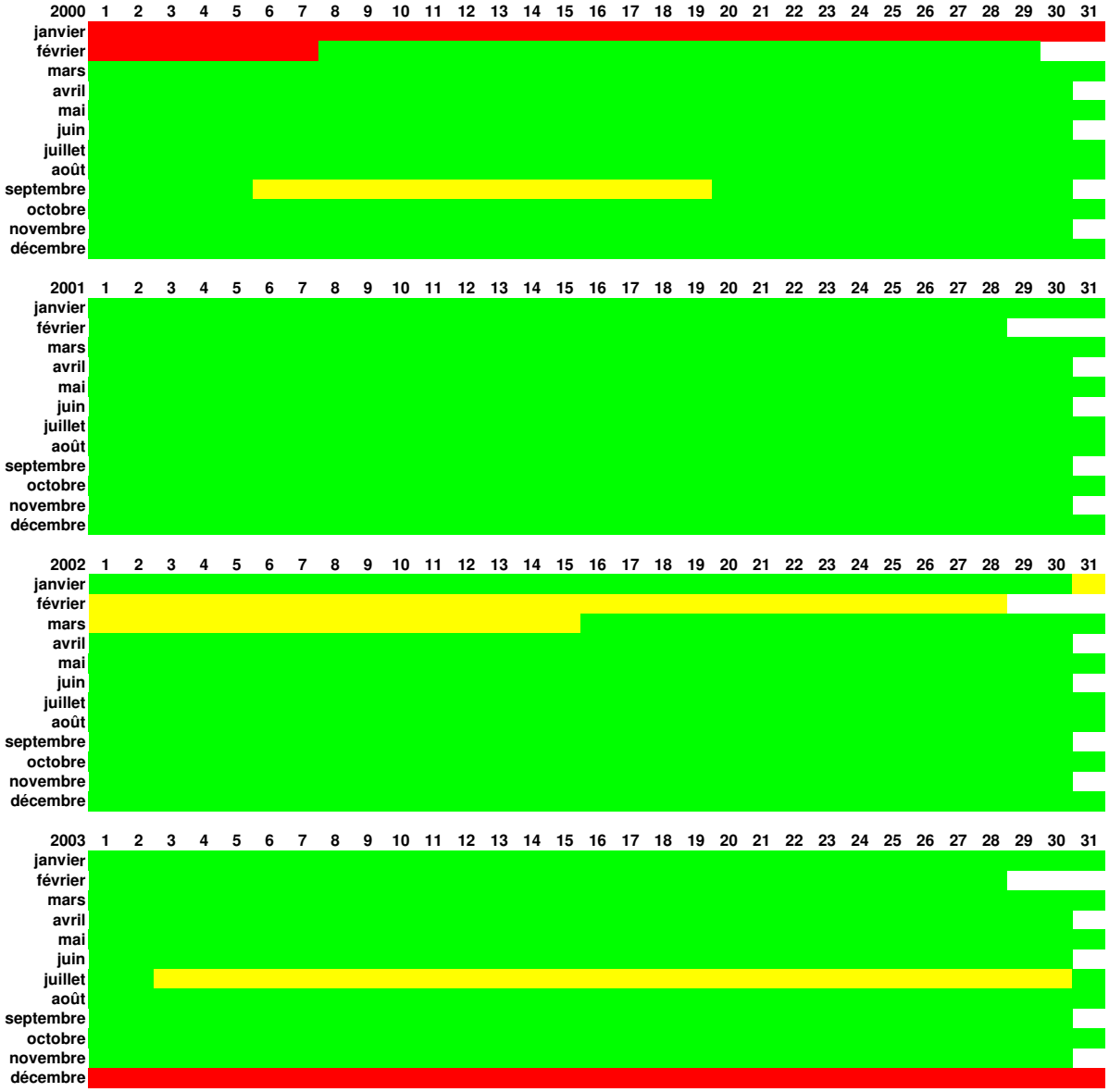


Annexe 3 – Tableau de disponibilité des données hydrométriques du Sonnant d'Uriage

Tableau récapitulatif des données disponibles au Sonnant d'Uriage (1995-2003)

Données manquantes
Données douteuses
Données disponibles


1995 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31
janvier
février
mars
avril
mai
juin
juillet
août
septembre
octobre
novembre
décembre
1996 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31
janvier
février
mars
avril
mai
juin
juillet
août
septembre
octobre
novembre
décembre
1997 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31
janvier
février
mars
avril
mai
juin
juillet
août
septembre
octobre
novembre
décembre
1998 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31
janvier
février
mars
avril
mai
juin
juillet
août
septembre
octobre
novembre
décembre
1999 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31
janvier
février
mars
avril
mai
juin
juillet
août
septembre
octobre
novembre
décembre


2000 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31
janvier
février
mars
avril
mai
juin
juillet
août
septembre
octobre
novembre
décembre
2001 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31
janvier
février
mars
avril
mai
juin
juillet
août
septembre
octobre
novembre
décembre
2002 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31
janvier
février
mars
avril
mai
juin
juillet
août
septembre
octobre
novembre
décembre
2003 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31
janvier
février
mars
avril
mai
juin
juillet
août
septembre
octobre
novembre
décembre