

# Appui aux actions SCHAPI - BVNE Gardon d'Anduze et Somme, Bassin versant du Touch

Rapport « annuel » année 4  
janvier 2006 - décembre 2006

BRGM/RP-54996-FR  
décembre 2006



Géosciences pour une Terre durable

**brgm**

# Appui aux actions SCHAPI - BVNE Gardon d'Anduze et Somme, Bassin versant du Touch

Rapport « annuel » année 4  
janvier 2006 - décembre 2006

**BRGM/RP-54996-FR**  
décembre 2006

Étude réalisée dans le cadre des projets  
de Service public du BRGM 2006 06EAUUY06

**J.F. Desprats**

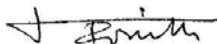
Avec la collaboration de  
**N. Baran, O. Cerdan, C. King, M. Saplaïroles, D. Thiéry**

**Vérificateur :**

Nom : Th. POINTET

Date : 11/12/2006

Signature :

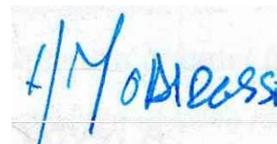


**Approbateur :**

Nom : H. MODARESSI

Date : 15/12/2006

Signature :



Le système de management de la qualité du BRGM est certifié AFAQ ISO 9001:2000.

**Mots clés** : crues éclairs, crues de nappe, arc cévenol, Touch, Somme, perméabilité, état de saturation du sol, télédétection, modélisation hydrologique, prévention des inondations.

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :

**Desprats J-F, Baran N., Cerdan O., King C., Saplairoles M., Thiéry, D.** 2006. Appui aux actions SCHAPI : BVNE Gardon d'Anduze et Somme, Bassin versant du Touch. Rapport Annuel « Année 4 » (Janvier 2006-Décembre 2006) BRGM RP-54996-FR, 157 p, 34 ill., 6 ann..

## Synthèse

Ce rapport présente le bilan des travaux de quatrième année relatifs à la contribution du BRGM aux actions du SCHAPI.

En 2006, les travaux ont été focalisés sur :

1. le bassin versant du Touch, avec la mise en place sur un sous-bassin versant du Touch (i) d'un suivi en temps réel de l'humidité des sols et (ii) d'un suivi des débits par la DIREN ;
2. le BVNE du Gardon d'Anduze, avec la calibration du potentiel d'infiltration des sols, et son intégration dans STREAM pour une évolution vers un indicateur de crue .
3. le BVNE de la Somme, avec la poursuite de l'adaptation du code de calcul GARDENIA pour la prise en compte des formats de données SANDRE étendus.

<b>Identification du donneur d'ordre :</b>	Direction de l'Eau du MEDD - SCHAPI
<b>Besoins du donneur d'ordre :</b>	<p>La mission de veille hydrométéorologique 24 heures sur 24 du SCHAPI est en cours de mise en place sur trois bassins Versants Numériques expérimentaux (BVNE) : le Gardon d'Anduze, la Somme et la Moselle. En outre, des outils sont développés sur les bassins dits de second ordre, comme le BV du Touch, sur lequel existe déjà une base de données et un historique conséquent.</p> <p>Sur le Touch, nous étudierons les relations entre la saturation des sols et les débits à l'exutoire, par la mise en place d'un suivi en temps réel sur un petit sous-bassin versant expérimental.</p>
<b>Définition de l'objectif :</b>	<p><b>Module 1. Bassin versant du Gardon d'Anduze :</b></p> <p>Adaptation du modèle STREAM vers un indice de vigilance, en collaboration avec le Service de Prévention des Crues du Grand Delta, ainsi qu'avec l'Ecole des Mines d'Alès.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. <i>Récupération des données historiques sur les 3 bassins versants du Gardon d'Anduze.</i></li> <li>2. <i>Délimitation d'évènements pluvieux ruisselants et analyse des temps de réponse des bassins versants.</i></li> <li>3. <i>Elaboration d'une méthodologie intégrant ces temps de concentration pour fournir des hydrogrammes de crue types.</i></li> <li>4. <i>Classification des hydrogrammes et évaluation sur les données historiques pour la validation d'un indicateur de vigilance.</i></li> </ol> <p><b>Module 2. Bassin versant du Touch</b></p> <p>Etats de saturation des terrains (instrumentation surfacique visant une approche en temps réel des états hydriques)</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. <i>Instrumentation du bassin en lien avec le SCHAPI et la DIREN MPY.</i></li> <li>2. <i>mise en place des matériels (janvier 2006).</i></li> <li>3. <i>Mise en fonctionnement des acquisitions.</i></li> <li>4. <i>Bilan de la première série et mise en confrontation avec des séries météo de la même période.</i></li> <li>5. <i>Début d'analyse sur des indicateurs et réflexion croisée avec les autres fournisseurs d'indicateurs au SPC Gard.</i></li> <li>6. <i>Production des cartes calibrées à l'aide des mesures faites avec le perméamètre de Guelph Calibration du potentiel d'infiltration des sols.</i></li> </ol>

	<p><b>Module 3 . Bassin versant de la Somme</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. <i>Adaptation du code de calcul GARDENIA pour prise en compte des formats de données SANDRE étendus.</i></li> <li>2. <i>Adaptation pour mise sur la plate-forme DEMETER sous UNIX avec fonctionnement en temps réel automatique.</i></li> <li>3. <i>Actualisation du module prévision en continu des débits de la Somme et de ses affluents.</i></li> <li>4. <i>Analyse des possibilités d'amélioration de prévisions sur la Somme en utilisant les données météo SAFRAN spatialisées de Météo France par utilisation du code ÉROS qui associe plusieurs zones GARDENIA mais ne permet pas de réactualisation automatique des écarts de prévision.</i></li> <li>5. <i>Bassin de la Meuse (crues lentes) : Évaluation de possibilités de prévisions avec EROS ce qui nécessite un module de propagation (absent actuellement) compte tenu de la forme étendue du bassin et des temps de propagations amont aval de l'ordre de 4 à 5 jours.</i></li> </ol>
<p><b>Description des livrables et destinataires :</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- septembre 2006 : remise au SCHAPI du rapport T0+3</li> <li>- décembre 2006 : remise au SCHAPI du rapport de synthèse "année 4".</li> </ul>



## Sommaire

<b>1. Contexte et objectifs .....</b>	<b>11</b>
1.1. CONTEXTE .....	11
1.2. OBJECTIFS .....	11
<b>2. Réalisation année 4 (2006).....</b>	<b>13</b>
2.1. BVNE DU GARDON D'ANDUZE .....	13
2.1.1. Calibration du potentiel d'infiltration des sols .....	14
2.1.2. Récupération des données historiques sur les 3 bassins versants du Gardon d'Anduze.....	19
2.1.3. Délimitation d'évènements pluvieux ruisselants et analyse des temps de réponse des bassins versants .....	22
2.1.4. Elaboration d'une méthodologie intégrant les temps de concentration pour fournir des hydrogrammes de crue types. ....	25
2.1.5. Classification des hydrogrammes et évaluation sur les données historiques pour la validation d'un indicateur de vigilance.....	27
2.1.6. Conclusion.....	31
2.2. BASSIN VERSANT DU TOUCH : SUIVI DE LA TENEUR EN EAU DES SOLS.....	32
2.2.1. Contexte et objectifs .....	32
2.2.2. Acquisition de données et premières interprétations.....	35
2.2.3. Suivi de la teneur en eau des sols.....	38
2.2.4. Le suivi tensiométrique .....	46
2.2.5. Le ruissellement et les débits mesurés .....	46
2.2.6. Premières conclusions .....	48
2.3. MODELISATION DES CRUES DE NAPPE SUR LE BVNE DE LA SOMME.....	50
2.3.1. Adaptation du code de calcul GARDENIA.....	50
2.3.2. Interface avec la plateforme DEMETER.....	52
2.3.3. Collaboration au Guide OMM « De la goutte de pluie jusqu'à la mer ».....	52
<b>3. Conclusion sur les travaux menés en 2006 .....</b>	<b>53</b>
<b>4. Bilan de Production.....</b>	<b>55</b>
<b>5. Planification année 5.....</b>	<b>57</b>
5.1. OBJECTIFS .....	57

5.2. TACHES PLANIFIEES EN 2007 .....	57
5.2.1. Description des opérations proposées .....	57
5.2.2. Personnels impliqués .....	61
5.2.3. Schéma de l'organisation et des responsabilités : .....	62
5.2.4. Les étapes du projet : .....	62
5.2.5. Equipe de projet .....	63
5.2.6. Documents à remettre aux partenaires .....	63
<b>6. Bibliographie .....</b>	<b>65</b>

## Liste des illustrations

Illustration 1 : Vers un indicateur de vigilance ... ..	13
Illustration 2 : Simulateur de pluie EMA à Alès (photo P.A. Ayrat) .....	14
Illustration 3 : Double anneau CERAS .....	14
Illustration 4 : Perméabilité des sols hiérarchisée .....	15
Illustration 5 : Perméamètre de Guelph .....	16
Illustration 6 : Mesures faites avec le perméamètre de Guelph .....	16
Illustration 7 : Résultats statistiques des mesures Guelph .....	17
Illustration 8 : Valeurs moyennes et écart-types des perméabilités mesurées .....	17
Illustration 9 : Fissure sur sol calcaire (photo P.A. Ayrat -EMA-) .....	18
Illustration 10 : Cartographie de la perméabilité des sols (mm/h) .....	19
Illustration 11 : Présentation des événements disponibles pour la modélisation .....	21
Illustration 12 : Extension géographique des différentes zones CALAMAR .....	22
Illustration 13 : Descriptions des épisodes pluvieux retenues pour le bassin d'Anduze .....	23
Illustration 14 : Descriptions des épisodes pluvieux retenues pour le bassin de Mialet .....	24
Illustration 15 : Calcul d'un temps de concentration théorique pour le bassin versant du Gardon d'Anduze .....	26
Illustration 16 : Temps de concentration théoriques et mesurés sur le bassin d'Anduze. ....	27
Illustration 17: Temps de concentration théoriques et mesurés sur le bassin de Mialet .....	27
Illustration 18 : Débits de pointe théoriques et mesurés sur le bassin d'Anduze .....	28
Illustration 19 : Débits de pointe théoriques et mesurés sur le bassin de Mialet. ....	28
Illustration 20 : Débits de pointe observés à Anduze en fonction des débits de pointe : A effectif, B théorique .....	29
Illustration 21 : Débits de pointe observés à Mialet en fonction des débits de pointe : A effectif, B théorique .....	30

Illustration 22 - Localisation des parcelles sélectionnées sur le sous-bassin « réservoir » du bassin versant de Saint-Lys.....	33
Illustration 23 : Récapitulatif des instruments de mesure installés sur les parcelles Retenue et Souléris.....	34
Illustration 24 : Récapitulatif des périodes de données acquises in situ et disponibles .....	35
Illustration 25 : Profils pédologiques au niveau des sites Retenue 1 et Souléris 2 .....	36
Illustration 26 : Profils de répartition des fractions granulométriques jusqu'à 105 et 95 cm pour les parcelles Retenue et Souléris, respectivement.....	37
Illustration 27 : Evolution des teneurs en eau volumiques au niveau des 3 fosses de la parcelle Souléris de février à octobre 2006 .....	39
Illustration 28 : Evolution des teneurs en eau volumiques au niveau des 3 fosses de la parcelle Retenue de janvier à octobre 2006 .....	41
Illustration 29 : Différences entre les teneurs en eau volumique maximale et minimale pour chaque horizon des 6 profils étudiés .....	42
Illustration 30 : Evolution des teneurs en eau volumiques au niveau des sites Souléris 1 et Retenue 2 entre le 10 et le 20 septembre 2006 .....	44
Illustration 31 : Evolutions des teneurs en eau sur les sites Souléris 1 et Retenue 2 entre le 1 septembre 2006 et le 21 octobre 2006 .....	45
Illustration 32 – Evolution des débits enregistrés à la station de la DIREN Midi-Pyrénées entre juin et novembre 2006 .....	47
Illustration 33: Modélisation avec le code GARDENIA des débits du bassin du Cailly, sans prendre en compte les prélèvements en nappe à proximité du cours d'eau. ....	51
Illustration 34: Modélisation avec le code GARDENIA 7.0 des débits du bassin du Cailly, avec prise en compte les prélèvements en nappe à proximité du cours d'eau. ....	51

## Liste des annexes

Annexe 1 Compte-rendus de réunions / Missions .....	67
Annexe 2 BV du Touch - visites de terrain.....	73
Annexe 3 Hiétoigrammes et hydrogrammes - Anduze .....	81
Annexe 4 Hiétoigrammes et hydrogrammes - Saumane.....	103
Annexe 5 Hiétoigrammes et hydrogrammes - Mialet .....	125
Annexe 6 Routine d'importation des données pluviométriques.....	147



# 1. Contexte et objectifs

## 1.1. CONTEXTE

Depuis 2003, le SCHAPI et le BRGM collaborent sur l'étude des crues et inondations, en s'appuyant sur les compétences du BRGM en matière d'hydrogéologie et de caractérisation des sols, afin d'apporter des éléments de base pour une meilleure prévision de crue sur des bassins versants à crue rapide (le Gardon d'Anduze), à crue de nappe (la Somme), et à crue lente (la Meuse).

(i) La caractérisation du potentiel d'infiltration du sol sur les Gardons et son intégration pour une modélisation vers un indicateur de vigilance, (ii) l'étude de la saturation des sols sur le Touch, et enfin (iii) le développement de la modélisation des crues de nappe sur la Somme ont constitué la contribution du BRGM en 2006 aux travaux du SCHAPI.

## 1.2. OBJECTIFS

Les objectifs de la contribution BRGM aux actions du SCHAPI sont spécifiques pour chaque module, même si la base commune est naturellement une meilleure compréhension des phénomènes expliquant les crues, afin de mieux les prévoir.

La carte de vigilance « Crue » produite par le SCHAPI (<http://www.vigicrues.ecologie.gouv.fr/>) constitue désormais une information mise à disposition de tous les citoyens, information comparable à la carte de vigilance météorologique de Météo France (<http://www.meteofrance.fr/FR/index.jsp#>). Ces données doivent être aussi précises que possible, afin naturellement de ne pas passer à côté d'une crue majeure, mais aussi d'éviter toute alerte inutile qui conduit à terme à une démobilisation des populations concernées.



## 2. Réalisation année 4 (2006)

Les bassins versants étudiés en 2006, la Somme, le Touch et le Gardon d'Anduze ont été décrits lors des premiers travaux menés sur ces sites (Rapports 2005 BRGM/RP-54240-FR, 2004 BRGM/RP53901-FR et 2003 BRGM/RP53027-FR).

Aussi ce chapitre sera-t-il consacré aux travaux et résultats menés en 2006 sur les trois bassins.

### 2.1. BVNE DU GARDON D'ANDUZE

Sur le bassin versant numérique expérimental du Gardon d'Anduze, les travaux menés en 2006 ont consisté en :

1. la calibration du potentiel d'infiltration des sols ;
2. la récupération des données historiques sur les 3 sous-bassins versants du Gardon d'Anduze ;
3. la délimitation d'évènements pluvieux ruisselants et l'analyse des temps de réponse des bassins versants ;
4. l'élaboration d'une méthodologie intégrant ces temps de concentration pour fournir des hydrogrammes de crue types ;
5. la classification des hydrogrammes et évaluation sur les données historiques pour la validation d'un indicateur de vigilance.

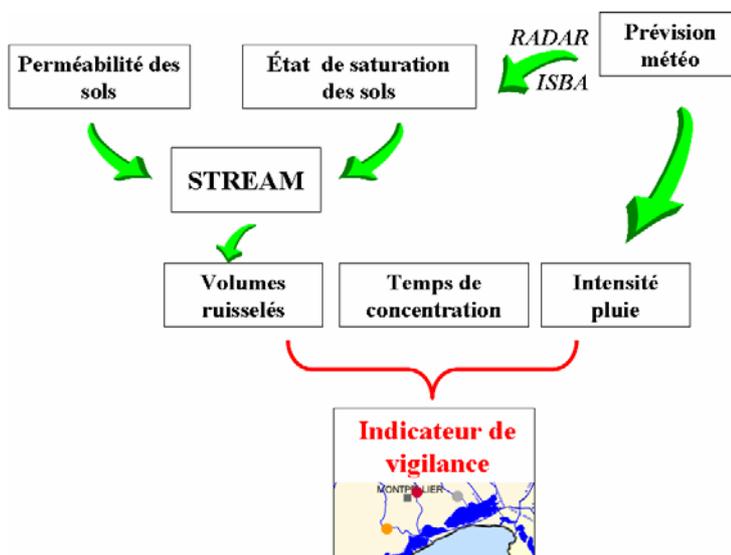


Illustration 1 : Vers un indicateur de vigilance ...

### 2.1.1. Calibration du potentiel d'infiltration des sols

#### *Une carte du potentiel d'infiltration hiérarchisé*

Les systèmes de mesures mis en place par l'Ecole des Mines d'Alès (P.A. Ayrat et al) et la DDE de Nîmes sur les schistes de Tourgueilles (Illustration 2) et les granites de Peyroles ont permis de simuler un certain nombre d'évènements, avec des pluies allant de 50 mm à 300 mm/heure



*Illustration 2 : Simulateur de pluie EMA à Alès (photo P.A. Ayrat)*

Afin de compléter ces mesures ponctuelles, 102 mesures ont été réalisées entre 2002 et 2005 à l'aide d'un double anneau CERAS, afin d'obtenir une représentativité géographique correcte, avec un nombre représentatif de mesures par unités pédologiques. (Illustration 3)



*Illustration 3 : Double anneau CERAS*

La carte produite permet de hiérarchiser les différentes formations pédo-géologiques rencontrées sur le bassin versant du Gardon d'Anduze (Illustration 4)

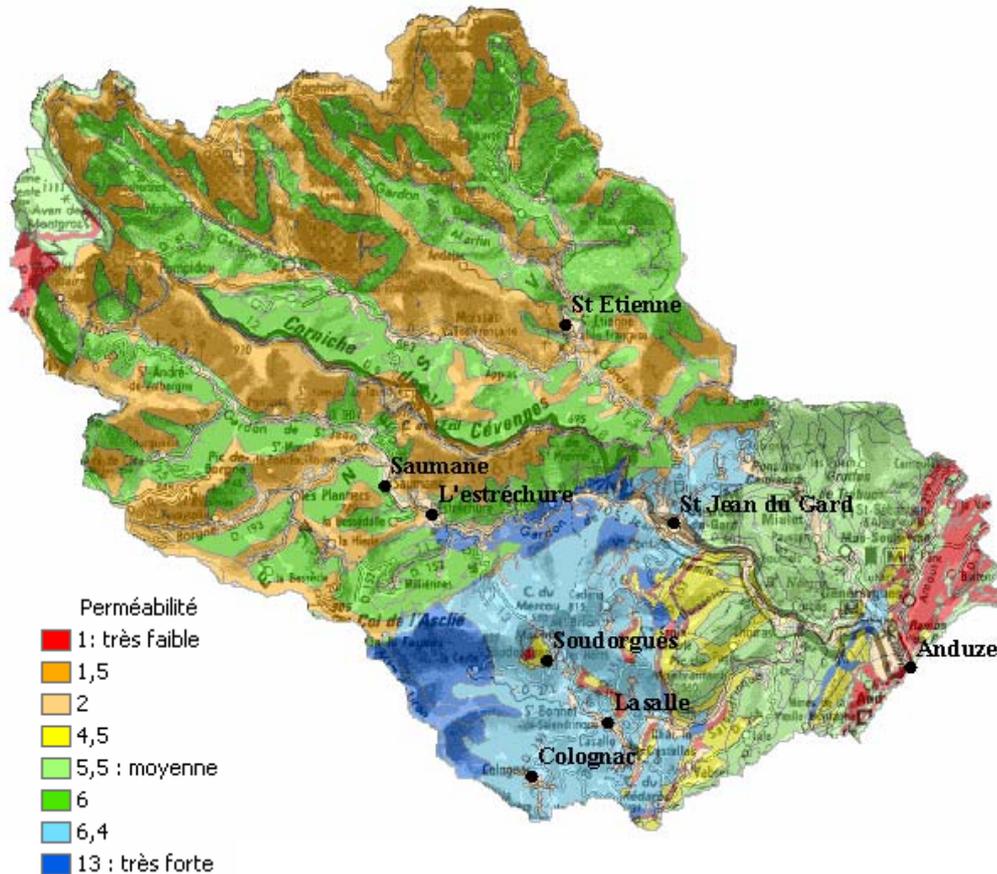


Illustration 4 : Perméabilité des sols hiérarchisée

La différenciation proposée au sein des formations schisteuses et granitiques entre les unités pédologiques est liée à l'épaisseur des sols (données issues de la BD Sols).

**Un besoin de calibration avant la modélisation**

A l'aide d'un perméamètre de Guelph (Illustration 5), 37 mesures ont été réalisées sur le bassin versant même. Dans le cadre d'un projet en cours sur la problématique inondation pour la ville de Nîmes, 9 mesures ont été faites au Nord de Nîmes, et pourront être utilisées, sur les formations géologiques similaires (calcaires, calcaires argileux) au Nord d'Anduze.



Illustration 5 : Perméamètre de Guelph

Numéro	X	Y	perméab. (mm/h)	geol	opérateur	commentaires
43	726055	3200820	8,5	alluvions	JLI	camping les Fournets, St Jean, alluvions micassés, zone enherbée
44	732310	3200170	18,9	alluvions	JLI	prairie herbe sèche, terre souple brun claire
49	724400	3201230	25,6	alluvions	JLI	prairie, terre marron clair, fine et limoneuse
50	720020	3210170	37,4	alluvions	JLI	prairie, terre marron brun, limon + cailloux schisteux
36	723079	3197024	14,4	granites	JLI	gros blocs affleurement, forêt chenes verts, mesures difficiles à réaliser
10	722942	3200711	20,9	granites	JFD/JLI	zone plate
14	720183	3192514	40,9	granites	JLI	terre de bruyère, assez compact, chataigners, chenes verts
35	721406	3198170	48,3	granites	JLI	chataigners, fougères, herbes, zones déboisée, terrain accidentée
1	719360	3200975	56,2	granites	JFD	Peyrolles
9	719564	3200663	58,2	granites	JFD/JLI	
29	721702	3192665	66,7	granites	JLI	sol très friable, forêt chataigners, herbe, zones très accidenté
32	719342	3200981	78,3	granites	JLI	site expérimental, sapins, fougères, humus, zones fracturée, éboulis
13	722063	3192784	89,6	granites	JLI	
31	721190	3194976	91,8	granites	JLI	prairie, terre limoneuse, 15-20 cm épaisseur, granite à 20 cm, zone plate
33	722860	3201245	94,6	granites	JLI	forêt de chènes verts, lierre au sol
6	722965	3200805	118,7	granites	JLI	
34	722769	3199128	154,8	granites	JLI	granites très fracturés, chènes verts, chataigners, sapins, humus, beaucoup d'éboulis
30	720126	3192919	198,4	granites	JLI	chataigners, fougères, humus en surface, arène
5	732879	3198617	0,0	marnes	JLI	zone très humide
7	730575	3195388	0,1	marnes	JFD/JLI	zone très humide
17	731567	3201107	6,7	grès argileux	JLI	prairies, terrasses, chenes verts autour / beaucoup de cailloux
4	731482	3198682	7,3	marnes	JLI	
8	723617	3200074	13,5	limite granite	JFD/JLI	zone plate
45	724573	3200533	22,8	grès argileux	JLI	accidenté, chènes, terre 10 cm, herbes, feuilles, argile avec grès et calcaire
47	725155	3199910	25,5	grès argileux	JLI	chataigners, argilo-grès dolomite, fougères, terre marron clair souple en poudre
11	714578	3202271	18,0	schistes	JFD/JLI	
12	712549	3203836	30,2	schistes	JFD/JLI	
3	705088	3204600	38,4	schistes	JFD	
41	719765	3210068	43,4	schistes	JLI	forêt de chataigners, zone accidentée
38	705372	3207422	63,8	schistes	JLI	forêt de chataigners, zone accidentée, sol sec en surface
42	720730	3207335	65,2	schistes	JLI	prairie à moutons, terre fine, alluvions avec en dessous schistes altérés, épaisseur 25-30 cm, herbes sèche
51	717800	3212260	80,6	schistes	JLI	forêt chene vert + chataigners, sol assez souple, morceaux de schistes, herbes, fougères
52	721650	3208340	30,4	schistes	JLI	terre marron clair, ancienne forêt de pins sylvestres brûlée en 2003, fougères
53	720360	3205750	31,4	schistes	JLI	forêt de chataigners, spains, bonne épaisseur de terre avec schistes couleur marron foncé, bruyère
54	710780	3207100	24,8	schistes	JLI	forêt chene vert, pratiquement pas d'humus, terre marron foncée, houx
37	711548	3203191	116,6	schistes / quartz	JLI	forêt de chataigners, zone accidentée
39	714421	3206725	240,4	schistes / quartz	JLI	forêt de chataigners, sapins, fougères, terre marron clair, sol sec en surface

Illustration 6 : Mesures faites avec le perméamètre de Guelph

L'analyse statistique (Illustration 7) de ces mesures montre que la hiérarchie des perméabilités observée avec les mesures double anneau est strictement identique avec le perméamètre de Guelph.

Par ailleurs, ces résultats sont cohérents avec les valeurs de perméabilité mesurées par l'Ecole des Mines d'Alès à l'aide du simulateur de pluie, sur les sites de Tourgueilles - schistes - (perméabilité de 30% en simulation extrême de 300 mm/h sur

les schistes) et de Peyroles -granite- (ruissellement quasiment nul en surface, très faible en hypodermique),

	moyenne	écart-type	médiane	mesures
arènes granitiques	76,6	36,5	72,5	14
calcaires argileux	48,7	31,2	54,0	6
sols sur schistes	42,6	20,5	34,9	10
alluvions	22,6	12,1	22,3	4
argile/marnes	10,9	10,2	7,3	7
calcaires, dolomie	462,3	498,9	124,3	3
quartzite	178,5	87,5	178,5	2

Illustration 7 : Résultats statistiques des mesures Guelph

Les arènes granitiques, les sols développés sur les formations schisteuses, les sols alluvionnaires, et enfin les argiles/marnes sont statistiquement distincts, comme le montre l'illustration 8.

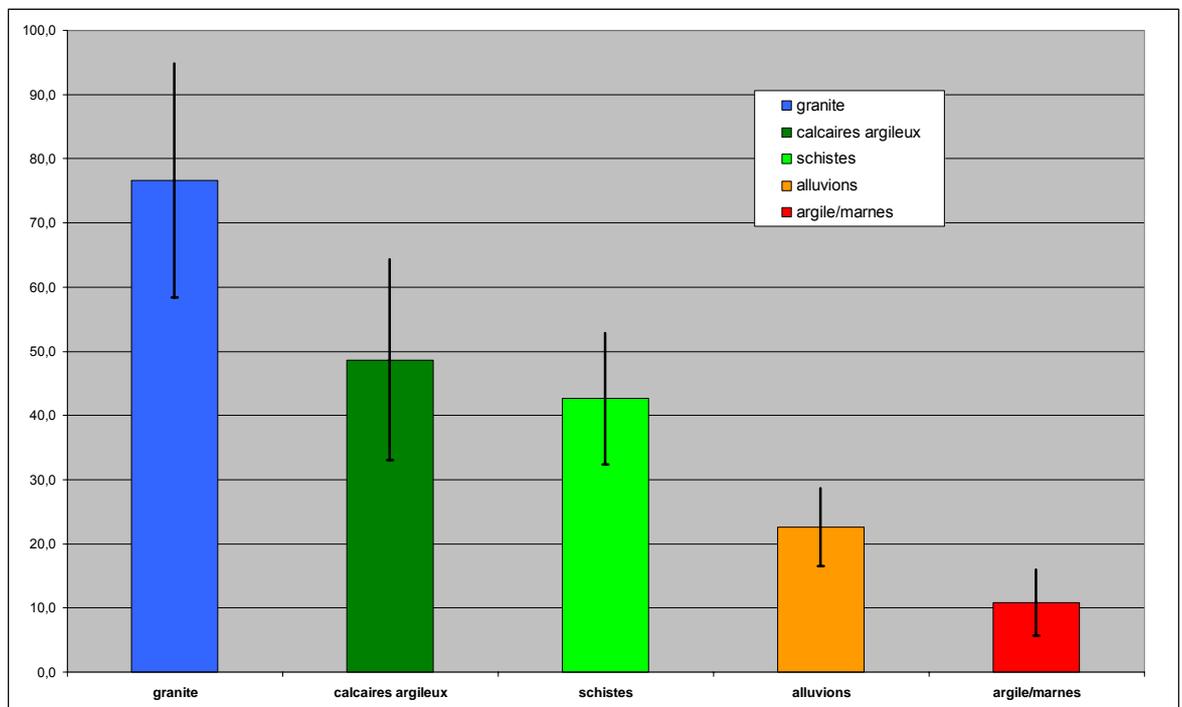
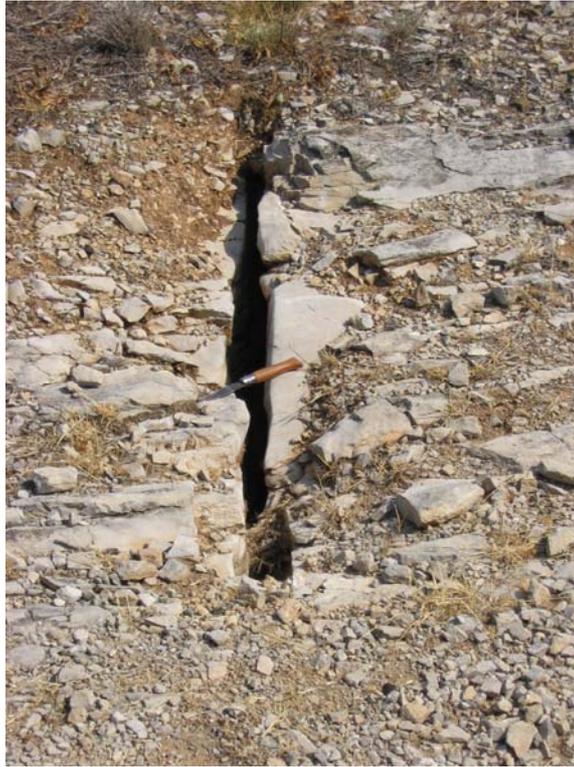


Illustration 8 : Valeurs moyennes et écart-types des perméabilités mesurées

Les formations calcaires présentent une très forte hétérogénéité ; la perméabilité moyenne mesurée est supérieure à 450 mm/h, ce qui laisse supposer que le ruissellement est négligeable ou nul. Ceci est assez cohérent avec les observations in situ faites sur les formations calcaires plus ou moins fracturées, ou l'infiltration, qui peut être localement très faible (petite surface telle une doline présentant une accumulation de limons ou argiles), sera globalement très forte, du fait d'un nombre important de fissures (Illustration 9).



*Illustration 9 : Fissure sur sol calcaire (photo P.A. Ayrat -EMA-)*

On obtient alors la cartographie de la perméabilité des sols, en millimètres par heure (Illustration 10).

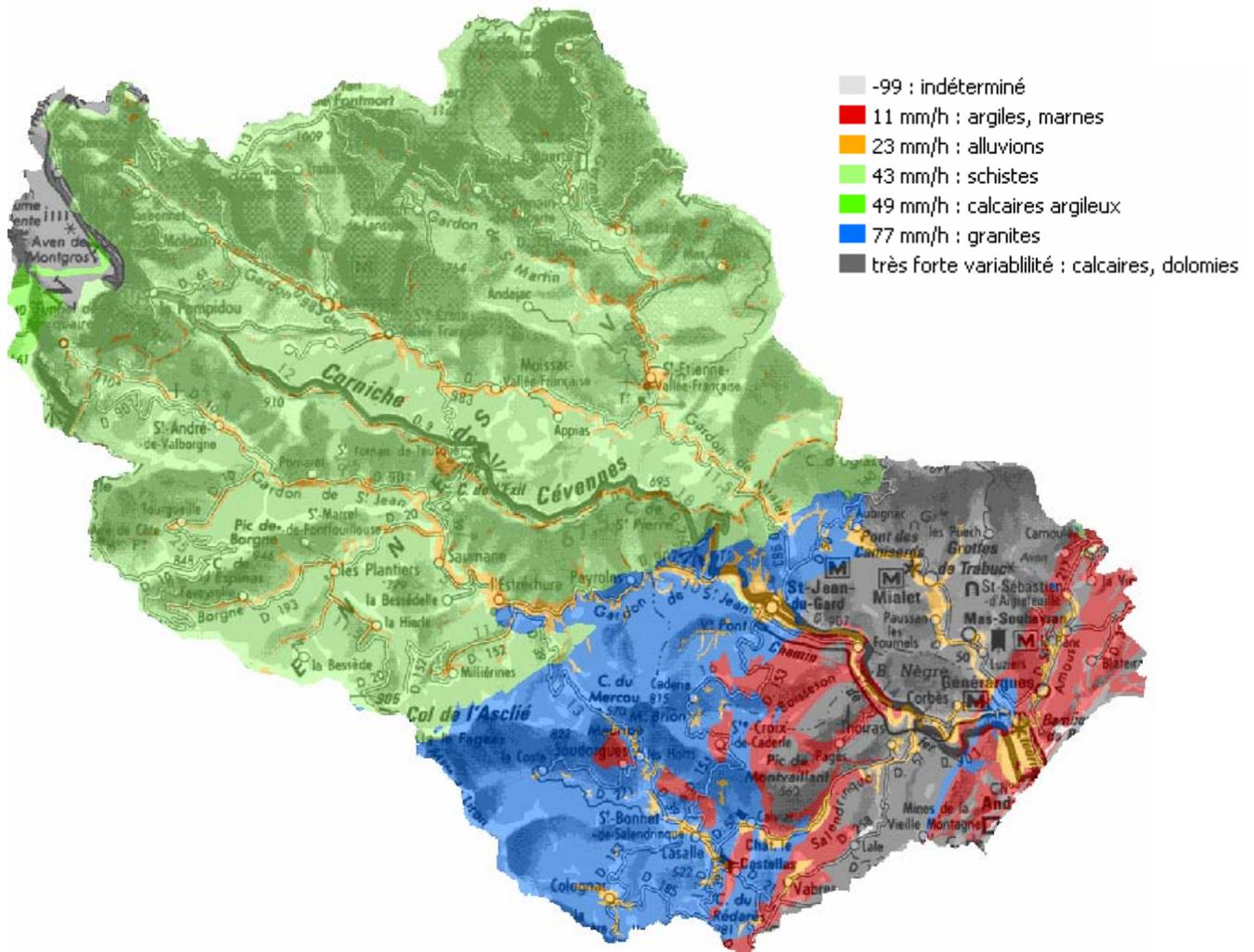


Illustration 10 : Cartographie de la perméabilité des sols (mm/h)

### 2.1.2. Récupération des données historiques sur les 3 bassins versants du Gardon d'Anduze.

En 2005, nous avons obtenu les données directement auprès de l'Ecole des Mines d'Alès. La base de données sur laquelle nous avons alors travaillé était celle présentée dans l'illustration 11. Après discussion avec Pierre-Alain Ayrat sur la fiabilité des différentes données, nous avons concentré notre attention sur les événements 1,

8, 13 et 19 (Desprats et al., 2005<sup>1</sup>). Depuis, la mise en commun d'une base de données de référence a été réalisée dans le cadre de la convention « Bassin versant Numérique du Gardon d'Anduze » par le SCHAPI.

N°	Date	Image Radar (coefficient de calibrage - F <sub>C</sub> )		Anduze		Mialet		Saumane	
				P <sup>2</sup>	Q <sup>3</sup>	P	Q	P	Q
1	Le 21 septembre 1994	<b>F<sub>C</sub> = 6<sup>4</sup></b>	F <sub>C</sub> variable	243	775	264	263	242	155
2	Le 18 septembre 1995	<b>F<sub>C</sub> = 4</b>	<b>F<sub>C</sub> = 5,4</b> F <sub>C</sub> variable	199	946	220	277	216	130
3	Le 3 octobre 1995	<b>F<sub>C</sub> = 4</b>	F <sub>C</sub> variable	212	1608	168	356	145	680
4	Le 13 octobre 1995	<b>F<sub>C</sub> = 4</b>	F <sub>C</sub> variable	188	1411	164	249	107	n-c <sup>5</sup>
5	Le 25 novembre 1995	<b>F<sub>C</sub> = 3.1</b>	F <sub>C</sub> variable	98	462	95	124	80	103
6	Le 10 janvier 1996	Image radar pour ALHTAÏR trop courte		n-c	650	n-c	n-c	n-c	n-c
7	Le 17 octobre 1996	<b>F<sub>C</sub> = n-c</b>	F <sub>C</sub> variable	142	164	n-c	n-c	n-c	n-c
8	Le 10 novembre 1996	<b>F<sub>C</sub> = 1.8</b>	F <sub>C</sub> variable	167	693	183	222	187	170
9	Le 6 octobre 1997	<b>F<sub>C</sub> = 2.5</b>		101	n-c	97	n-c	93	n-c
10	Le 4 septembre 1998	<b>F<sub>C</sub> = n-c</b>		25	n-c		n-c		n-c
11	Le 17 mai 1999	<b>F<sub>C</sub> = n-c</b>		135	706	n-c	n-c	n-c	114
12	Le 19 septembre 2000	<b>F<sub>C</sub> variable</b>		137	327	141	139	110	10
13	Le 28 septembre 2000	<b>F<sub>C</sub> variable</b>		197	1177	194	428	205	240
14	Le 6 octobre 2001	<b>F<sub>C</sub> variable</b>		27	n-c	13	n-c	7	n-c
15	Le 14 mars 2002	<b>F<sub>C</sub> variable</b>		62	666	36	70	10	n-c
16	Le 3 juin 2002	<b>F<sub>C</sub> variable</b>		81	25	87	20	87	2

<sup>1</sup> Desprats J.F, Baran N., Cerdan O., .., King C., Petelet E. Thiéry D., 2005. Appui aux actions SCHAPI : Gardon d'Anduze, Avène et Touchet Somme. Rapport BRGM 54240 100pp.

<sup>2</sup> Avec P la lame d'eau moyenne sur le bassin versant en mm

<sup>3</sup> Avec Q, débit maximum en m<sup>3</sup>/s

<sup>4</sup> En **gras** valeur du F<sub>C</sub> utilisé en temps réel, source des données de lame d'eau moyenne

<sup>5</sup> n-c : données manquantes

17	Le 2 septembre 2002	<b>F<sub>c</sub> variable</b>			15,3	0	12,2	0	13,3	0
18	Le 3 septembre 2002	<b>F<sub>c</sub> variable</b>			1,7	20	1,2	4	3,3	1
19	Le 8 septembre 2002	<b>F<sub>c</sub> variable</b>	SAC <sup>6</sup>	Rhéa	273	$\frac{3634}{7}$	186	914	188	833
20	Le 15 novembre 2003	<b>F<sub>c</sub> variable</b>			136	n-c	138,8	n-c	125,9	n-c

*Illustration 11 : Présentation des événements disponibles pour la modélisation*

Dans un esprit d'homogénéisation avec les autres partenaires, nous sommes donc repartis strictement des données présentes sur le CD fourni dans le cadre de la convention BVNE et avons rapatrié et traité tous les événements disponibles. La liste d'événement est en fait identique à l'illustration 11, exception faite de l'événement numéro 20 qui ne figure plus.

Pour chaque événement pluvieux six zones CALAMAR sont fournies (

Illustration 12). Les zones se recoupent géographiquement autour du bassin versant du gardon d'Anduze. Des interrogations sur les cumuls pluviométriques montrent des différences importantes (pouvant atteindre plus de 150 mm) entre les différentes zones. Pour la suite il a été décidé de ne travailler qu'avec la zone 4, les autres étant apparemment moins bien calibrées.

Afin d'optimiser l'utilisation de la base de données nous avons donc exporté séparément les données pour le bassin versant dans sa totalité (bassin versant d'Anduze), pour le sous-bassin de Saumane et enfin pour le sous-bassin de Mialet étant donné que nous disposons de données de débit pour ces trois stations.

Pour rendre les données compatibles avec le logiciel STREAM, une routine a été programmée afin de les exporter en format ARCGIS (ASCII). (Annexes 3,4 et 5)

<sup>6</sup> Image re-calibré par le SAC-30 a posteriori – Image re-calibré par Rhéa a posteriori

<sup>7</sup> Les débits proposés ici sont ceux proposés par SIEE après une phase de modélisation (SIEE, 2004)

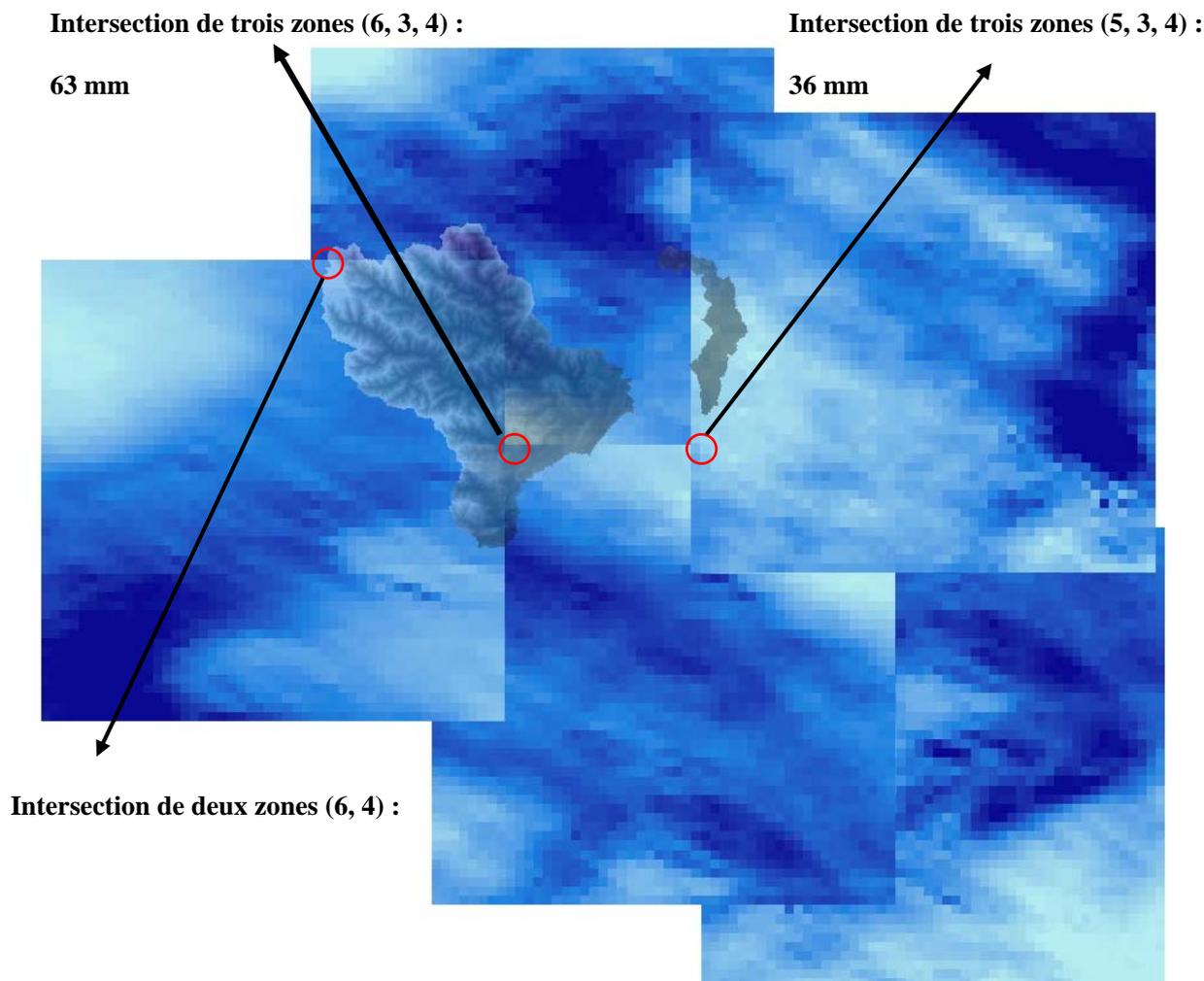


Illustration 12 : Extension géographique des différentes zones CALAMAR

### 2.1.3. Délimitation d'évènements pluvieux ruisselants et analyse des temps de réponse des bassins versants

Pour faciliter la présentation et l'analyse des données, les hyétogrammes et hydrogrammes de tous les évènements disponibles ont été calculés. Nous ne les reproduisons pas dans le corps du rapport, mais ils sont tous visibles en annexe (Annexe 3 à 5).

#### ***Le bassin versant d'Anduze***

Parmi les 19 évènements, 13 sont ruisselants (les évènements 1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 11, 12, 13, 15, 16 et 19) et 6 sont non ruisselants ou sans données de ruissellement fournies (les évènements 6, 9, 10, 14, 17 et 18). Parmi les 13 évènements ruisselants

recensés par l'EMA, nous avons réussi à identifier 11 épisodes pluvieux qui paraissent exploitables. Les événements 5, 7, 11 et 16 n'ont pas été retenus soit parce qu'ils présentaient des problèmes de calage ou de données partiellement manquantes ou parce que les crues n'étaient pas significatives (cf. Annexe 3 à 5). Les 11 épisodes retenus sont présentés dans l'illustration 13.

N° ev	Pluie (mm)	Tps eff*	Imax/6min	Vruiss 10 <sup>-3</sup> m <sup>3</sup>	CR**	Qmax	Remarque
1	52.15	4	23.6	12111	44	750	1er pic
1	32.3	3	17.7	10417	61	775	2eme pic
2	74.5	6	32	17820	45	946	
3	60.5	7.5	12.7	16908	53	877	1er pic
3	66.8	4.5	27.3	15210	43	1608	2eme pic
4	65.7	8	17.4	26513	76	1411	
8	58.6	14	17.5	17742	57	692	
12	42	2.5	36.4	2056	9	338	
13	67.1	8.5	18	19384	55	1184	
15	39.5	2.5	18.5	7270	35	666	
19	187.4	5	46.7	32398	33	3634	reconstituée
Moy.	67.9	6.0	24.3	16166.3	46.3	1171.0	

**\*Tps eff : durée de la pluie efficace en h, \*\* CR : coefficient de ruissellement en %**

*Illustration 13 : Descriptions des épisodes pluvieux retenues pour le bassin d'Anduze*

Les événements ont été redécoupés et délimités de manière à ne conserver que la réponse rapide du ruissellement, sans le débit de base, quand elle pouvait être reliée de manière plus ou moins directe à une pluie. Ceci explique que les hauteurs de pluie soient plus faibles que dans l'illustration 11. Les événements où deux pics pouvaient être individualisés (n°1 et 3) ont donc été traités comme deux épisodes distincts. Le nombre d'épisodes disponibles (11) reste limité et ne permettra pas une étude avec une validation approfondie qui nécessiterait une chronique plus importante. L'échantillonnage est toutefois intéressant car il présente des événements de différentes intensités, des événement 3 et 12 avec des pluies efficaces de 30 à 40 mm, à l'événement 19 avec une pluie efficace de 187mm et un débit de pointe de plus de 3600 m<sup>3</sup>/s.

### **Le sous bassin versant de Saumane**

Les graphiques qui concernent le bassin de Saumane sont présentés en Annexe 4. Sur les 19 événements, 10 présentent un ruissellement ; nous avons cependant décidé de ne pas utiliser ce jeu de données au vu de plusieurs mesures qui présentent des valeurs anormales. Dans la précédente étude, lors de l'utilisation de Stream nous avons déjà relevé des coefficients de ruissellement sur les pluies brutes aberrants (dépassant les 75%). L'analyse plus fine des hyétogrammes et leur mise en correspondance avec les hydrogrammes révèlent également des temps de réponse du

bassin extrêmement courts qui semblent difficilement correspondre à un bassin boisé de 10000 ha.

### **Le sous bassin versant de Mialet**

Le bassin de Mialet, avec ses 220 km<sup>2</sup>, est plus réduit que le bassin d'Anduze, il est aussi plus homogène en termes de lithologie. Pour des pluies comparables, les volumes ruisselés mesurés sont donc plus réduits (divisés par un facteur allant de trois à 10). Nous avons pu conserver douze épisodes pluvieux ruisselants (Illustration 14) qui représentent également des événements variés avec des débits de pointe s'étalant de 100 à 1000 m<sup>3</sup>/s (Annexe 5).

N° ev	Pluie (mm)	Tps eff*	Imax/6min	Vruiss 10 <sup>-3</sup> m <sup>3</sup>	CR**	Qmax	Remarque
1	59	4	28	3193	25	242	1er pic
1	41	3	25	3484	39	263	2eme pic
2	36.6	2.5	53	2326	29	276	
3							1er pic mineure
3	98	6	51	4021	19	356	2eme pic
4	103	6.5	30	3888	17	250	
5	95	13	18	3990	19	124	
6							non ruisselant
7							crue mineure
8	41	7	21	1856	21	113	1er pic
8	45	7	23	3730	38	222	2eme pic
9							non ruisselant
10							non ruisselant
11							Pb. de calage
12	75.8	2	79	965	6	139	
13	72	6	23	5067	32	428	
14							non ruisselant
15	58	8	24	1292	10	70	
16							crue mineure
17							non ruisselant
18							non ruisselant
19	131	4.5	50	8810	31	915	double pic
Moy.	71.28	5.79	35.42	3551.83	23.86	283.17	

**\*Tps eff : durée de la pluie efficace en h, \*\* CR : coefficient de ruissellement en %**

*Illustration 14 : Descriptions des épisodes pluvieux retenues pour le bassin de Mialet*

#### **2.1.4. Elaboration d'une méthodologie intégrant les temps de concentration pour fournir des hydrogrammes de crue types.**

Dans l'optique générale de valider la pertinence des cartes d'infiltrations de manière globale, la modélisation d'un volume ruisselé à l'exutoire (par exemple comme nous l'avons calculé avec le modèle STREAM) suffit. Par contre dans le cadre d'une utilisation en tant qu'indicateur, un volume ruisselé ne donne une information que très imprécise car il n'est pas considéré dans sa dimension temporelle. Pour arriver à caractériser la dynamique de l'événement, il est donc nécessaire (à l'aide d'informations auxiliaires) de déduire de ce volume ruisselé, au moins un pic de crue. Une deuxième contrainte est le caractère opérationnel d'un indicateur et qui ne doit donc pas impliquer de modélisation complexe ou être trop demandeur en données d'entrées. C'est pourquoi nous sommes passés par l'observation et l'analyse des hydrogrammes de crues qui peuvent fournir des indications intéressantes sur les temps caractéristiques des crues, par exemple temps de montée, temps de décrue et temps de base. L'observation conjointe avec les enregistrements pluviométriques permet par ailleurs non pas de mesurer mais d'estimer les temps de concentration.

En effet, il est très difficile voire impossible de mettre directement en évidence le temps de concentration d'un bassin car :

- les évènements pluvieux se déplacent et ne concernent souvent qu'une partie du bassin versant ;
- en début d'averse, tout ou une partie de la pluie ne participe pas au ruissellement mais à la saturation des sols ; il est ainsi très délicat de connaître l'instant et le lieu où la pluie participe au ruissellement ;
- en fin de décrue, les débits sont principalement constitués par la vidange des aquifères et de la couche superficielle, il n'est ainsi pas aisé de déterminer la fin du ruissellement rapide. (Stollsteiner et al. ; 2003<sup>8</sup>).

Plusieurs formules ont été testées pour calculer le temps de concentration théorique du bassin versant d'Anduze

---

<sup>8</sup>Stollsteiner P., Pouget R., Maurillon N. avec la collaboration de J.C. Audru (2003) - Étude hydrologique et hydraulique de la ravine Massakini, commune de Mamoudzou (Mayotte). BRGM/RP-52089-FR, 170 p., 18 fig., 34 tabl., 4 ann

<b>Bassins non urbanisés</b>		
FORMULE	Temps de concentration	ratio/KIRPICH
<i>anonyme</i>	204	
GIANDOTTI	369	1.17
KIRPICH	315	
PASSINI	1140	3.62

*Illustration 15 : Calcul d'un temps de concentration théorique pour le bassin versant du Gardon d'Anduze*

Nous avons retenu la formule de Kirpich qui a été mise au point sur des bassins avec des pentes relativement élevées et des thalwegs bien définis et qui paraît donc la plus adaptée au contexte cévenol. On prendra donc un temps de concentration moyen théorique pour le bassin d'Anduze de cinq heures.

En parallèle les temps de concentrations effectivement observés ont été déduits des graphiques des annexes 3 à 5 (Illustration 16).

	Pluie (mm)	Temps de concentration théorique (h)	Qmax	Temps de concentration effectif (h)
1	52.15	5	750	4.5
1	32.3	5	775	4.5
2	74.5	5	946	4
3	60.5	5	877	3
3	66.8	5	1608	2.5
4	65.7	5	1411	3
8	58.6	5	692	6
12	42	5	338	3.5
13	67.1	5	1184	3
15	39.5	5	666	4
19	187.4	5	3634	2.5

*Illustration 16 : Temps de concentration théoriques et mesurés sur le bassin d'Anduze.*

Les calculs ont également été effectués sur le bassin de Mialet (Illustration 17). Le temps moyen de concentration retenu est de trois heures.

	Pluie (mm)	Temps de concentration théorique (h)	Qmax	Temps de concentration effectif (h)
1	59	3	242	3.5
1	41	3	263	3.5
2	36.6	3	276	3
3	98	3	356	2
4	103	3	250	2
5	95	3	124	2
8	41	3	113	3
8	45	3	222	3
12	75.8	3	139	2
13	72	3	428	2
15	58	3	70	3
19	131	3	915	2

*Illustration 17: Temps de concentration théoriques et mesurés sur le bassin de Mialet.*

### **2.1.5. Classification des hydrogrammes et évaluation sur les données historiques pour la validation d'un indicateur de vigilance.**

Sur la base des temps de concentration effectifs et théoriques les débits de pointe théoriques et effectifs ont été calculés pour les bassins d'Anduze et de Mialet (Illustration 18 et Illustration 19).

	<b>Tps.Con. théorique</b>	<b>Dur. Pluie efficace</b>	<b>Vruiss</b>	<b>Qmax obs</b>	<b>Q max théorique</b>	<b>Q max calculé</b>	<b>Tps Con. calc</b>
1	5	4	12111	750	748	792	4.5
1	5	3	10417	775	723	772	4.5
2	5	6	17820	946	900	990	4
3	5	7.5	16908	877	751	895	3
3	5	4.5	15210	1608	889	1207	2.5
4	5	8	26513	1411	1133	1339	3
8	5	14	17742	692	519	493	6
12	5	2.5	2056	338	152	190	3.5
13	5	8.5	19384	1184	798	936	3
15	5	2.5	7270	666	539	621	4
19	5	5	32398	3634	1800	2400	2.5

Illustration 18 : Débits de pointe théoriques et mesurés sur le bassin d'Anduze.

	<b>Tps.Con. théorique</b>	<b>Dur. Pluie efficace</b>	<b>Vruiss</b>	<b>Qmax obs</b>	<b>Q max théorique</b>	<b>Q max calculé</b>	<b>Tps Con. calc</b>
1	3	4	3193	242	253	237	3.5
1	3	3	3484	263	323	298	3.5
2	3	2.5	2326	276	235	235	3
3	3	6	4021	356	248	279	2
4	3	6.5	3888	250	227	254	2
5	3	13	3990	124	139	148	2
8	3	7	1856	113	103	103	3
8	3	7	3730	222	207	207	3
12	3	2	965	139	107	134	2
13	3	6	5067	428	313	352	2
15	3	8	1292	70	65	65	3
19	3	4.5	8810	915	653	628	2

Illustration 19 : Débits de pointe théoriques et mesurés sur le bassin de Mialet.

La comparaison des débits de pointe calculés (effectifs ou théoriques) avec les débits de pointe observés aux stations d'Anduze et de Mialet est présentée dans l'illustration 20 et l'illustration 21.

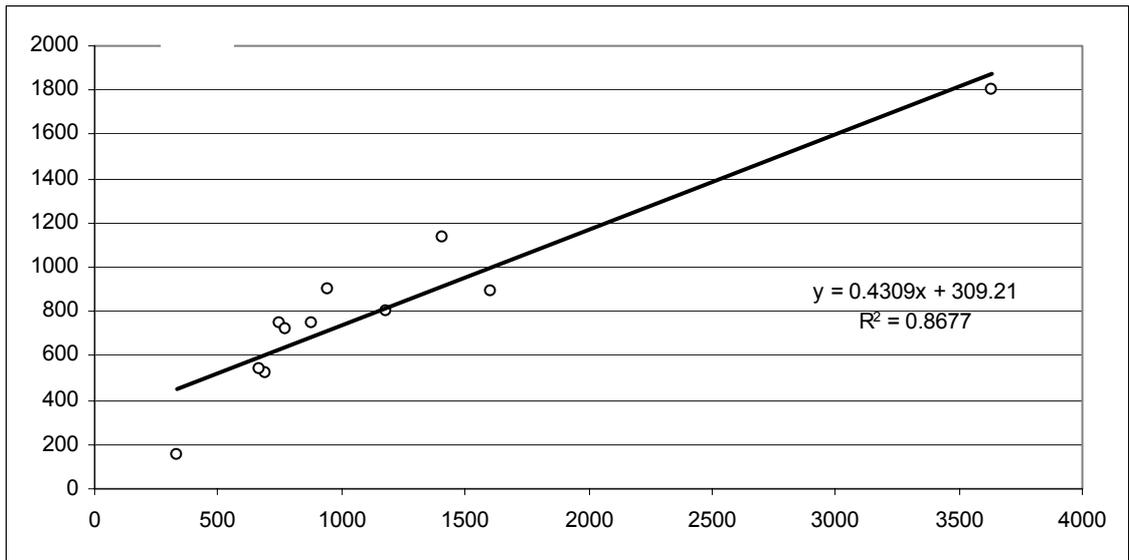
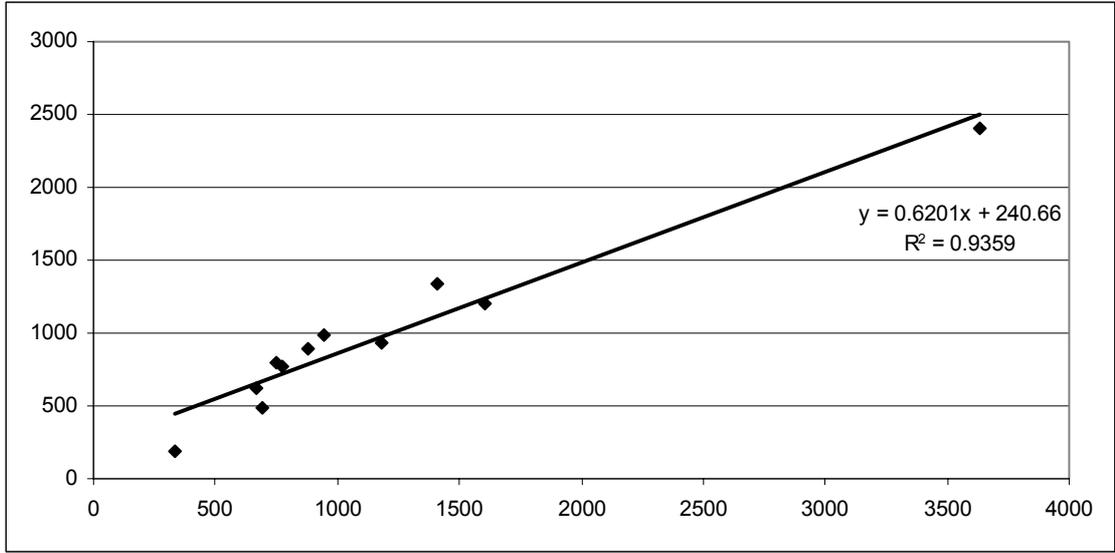


Illustration 20 : Débits de pointe observés à Anduze en fonction des débits de pointe : A effectif, B théorique

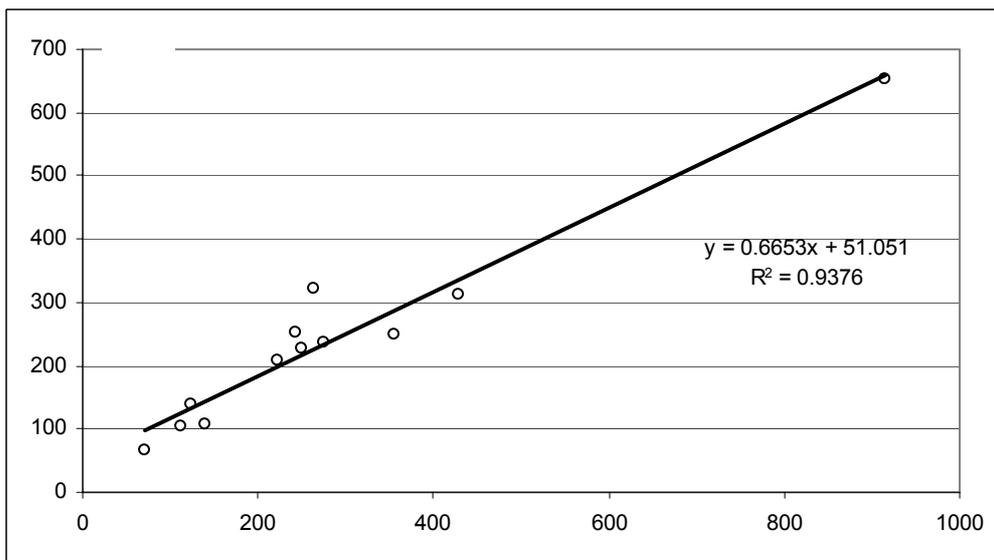
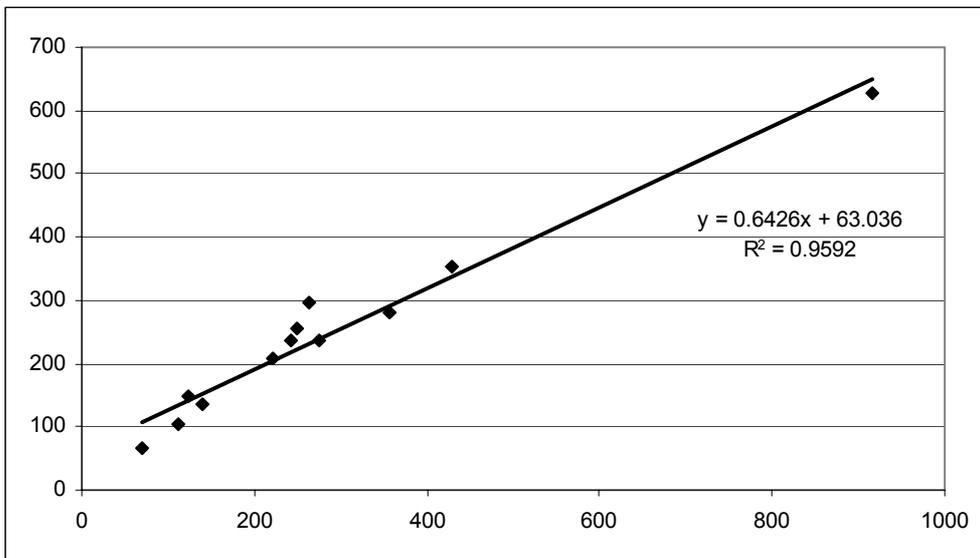


Illustration 21 : Débits de pointe observés à Mialet en fonction des débits de pointe : A effectif, B théorique

Globalement, une relation satisfaisante se dégage des graphiques sur Mialet et Anduze, que ce soit pour les débits théoriques ou effectifs. Plus précisément on note tout de même que pour les débits théoriques les résultats sont meilleurs sur le bassin de Mialet, car il présente un plus faible écart entre le temps de concentration théorique et le temps de concentration mesuré (Illustration 19). Ceci s'explique par la plus petite taille du bassin qui présente donc des caractéristiques plus homogènes.

Un autre point marquant est la valeur des pentes de corrélation, de l'ordre de 0.6, et qui indique donc une forte sous-estimation de l'événement extrême (n°19). Une analyse plus fine de l'événement 19 montre qu'il se caractérise par une répartition très inégale des pluies, le maximum étant concentré à l'aval du bassin au droit de la station d'Anduze. Dans ce contexte, le temps de réponse du bassin a été extrêmement rapide et bien inférieur au temps de concentration théorique. L'établissement d'un tel indicateur paraît donc difficile à l'échelle du bassin d'Anduze et serait plus adapté pour des zones de l'ordre de la centaine de km<sup>2</sup>, mais se pose alors le problème de l'agrégation des indicateurs locaux.

### **2.1.6. Conclusion**

L'objectif de cette étude était de rapatrier tous les événements pluvieux disponibles dans le cadre de la convention « bassin versant numérique du Gardon d'Anduze » et de les analyser pour étudier la possibilité d'affecter aux volumes simulés par le logiciel STREAM un débit de pointe afin d'avoir une meilleure caractérisation de la crue.

Le premier point qui est apparu est le faible nombre d'épisodes ruisselants utilisables pour l'analyse, ce qui ne nous a permis de tester les relations que sur un nombre limité d'événements (une dizaine par bassin). Cependant, les résultats montrent qu'il est possible de définir des débits de pointes à partir des volumes ruisselés pour le bassin d'Anduze ou de Mialet avec une assez bonne fiabilité pour les événements faibles ou moyens mais avec une sous-estimation de l'événement extrême (événement n°19 de septembre 2002) qui s'explique assez bien quand on regarde la répartition très inégale des pluies sur le bassin.

Pour cette dernière raison il apparaît donc délicat de raisonner à l'échelle du bassin versant d'Anduze dans sa globalité pour la mise au point d'un indicateur. Un découpage (segmentation) préalable du bassin est nécessaire et une approche spatialisée d'élaboration de l'indicateur est indispensable.

## **2.2. BASSIN VERSANT DU TOUCH : SUIVI DE LA TENEUR EN EAU DES SOLS**

### **2.2.1. Contexte et objectifs**

Dans un contexte de prévisions des crues, le SCHAPI souhaite disposer d'un ou plusieurs indicateurs de ruissellement en complément des données météorologiques. L'hypothèse faite est que l'état de saturation des sols pourrait être l'un de ces indicateurs de ruissellement.

Les objectifs du SCHAPI sont :

i) dans l'immédiat d'étudier la variabilité de l'état de saturation des sols au cours d'une année et son implication sur la réponse hydrologique du bassin ;

ii) à plus long terme, de construire des indicateurs de risques de crue pouvant s'appuyer sur une estimation de l'état de saturation des sols. Ce dernier objectif nécessite de voir dans quelle mesure l'état de saturation des sols peut amplifier les risques de ruissellement et parallèlement, de trouver et valider des méthodes indirectes d'estimation de l'état de saturation du sol (mesures satellitaires, modèles Isba de Météo-France,...), les mesures directes à l'échelle du bassin n'étant pas envisageables.

A la suite d'une étude bibliographique, la méthode retenue par le SCHAPI pour suivre en continu et à différentes profondeurs la teneur en eau des sols est la méthode TDR (Time Domain Reflectometry, Baran, 2004).

En raison d'une superficie totale d'environ 507 km<sup>2</sup>, le bassin du Touch ne peut pas être instrumenté dans sa globalité. Le choix d'un sous-bassin de petite taille, environ 40 hectares, a donc été privilégié. Après validation du protocole (Baran et al., 2005) par le SCHAPI et acceptation des travaux de mise en place et de suivi par les exploitants agricoles, l'instrumentation a été réalisée les 24 et 25 janvier 2006 sur les deux parcelles retenues.

Le détail de la phase instrumentation est présenté dans le rapport BRGM/RP 54683-FR (Baran et Saplaïroles, 2006), ainsi que la localisation et la caractérisation précise du sous-bassin versant de St-Lys. (Illustration 22)

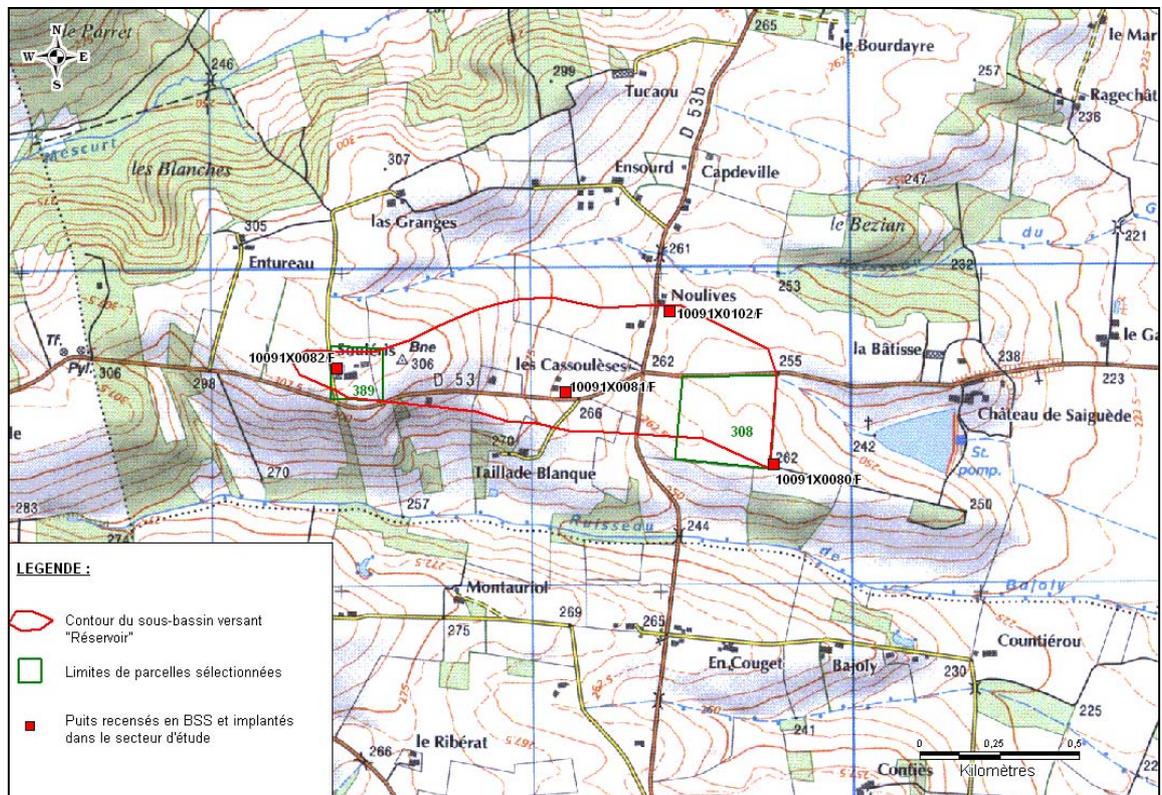


Illustration 22 - Localisation des parcelles sélectionnées sur le sous-bassin « réservoir » du bassin versant de Saint-Lys

Succinctement, on retiendra que :

**1. le suivi de la teneur en eau des sols** est réalisé de la manière suivante :

Dans chacune des deux parcelles, trois fosses d'environ 1,0 m de large, 1,2 m de profondeur et 2,0 mètres de long ont été ouvertes à l'aide d'une pelle mécanique. Dans chacune de ces 3 fosses, 7 sondes TDR (Soil moisture equipment ®) fournies par Sols Mesures) ont été installées horizontalement à différentes profondeurs jusqu'à un maximum de 1 m). Chaque parcelle est donc équipée de 21 sondes (7 profondeurs x 3 répétitions).

**2. le suivi de l'infiltration** est réalisé de la manière suivante :

Les parcelles ont également été équipées de cannes tensiométriques SMS placées à des profondeurs comparables à celles des TDR. Il s'agit de cannes en PVC de 21,5 mm de diamètre dont l'extrémité est pourvue d'une céramique poreuse (type SDEC 2150). La partie supérieure est coiffée d'un bouchon en silicone. Des

vacuomètres électroniques (type SKT 850T), permettant de mesurer les variations de potentiel hydrique du sol, sont fixés sur chacune des cannes. Les tensiomètres ont été raccordés à des centrales de mesure (DataHOG 2 de Skye instruments fournis par Alliance Technologies).

Le pas d'échantillonnage retenu est de 4 heures.

L'illustration 23 dresse l'inventaire du matériel de mesures installé sur les parcelles Souléris et Retenue.

Site	TDR	Tensiomètres
<b>Retenue</b>	3 sondes à 10 cm	3 tensiomètres à 20 cm
	3 sondes à 20 cm	3 tensiomètres à 40 cm
	3 sondes à 30 cm	1 tensiomètre à 60 cm
	3 sondes à 40 cm	3 tensiomètres à 80 cm
	3 sondes à 50 cm	3 tensiomètres à 100 cm
	3 sondes à 80 cm	
	3 sondes à 100 cm	
<b>Souléris</b>	3 sondes à 10 cm	3 tensiomètres à 20 cm
	3 sondes à 20 cm	2 tensiomètres à 40 cm
	3 sondes à 30 cm	2 tensiomètres à 60 cm
	3 sondes à 40 cm	2 tensiomètres à 80 cm
	3 sondes à 50 cm	
	1 sonde à 67 cm (S2)	
	2 sondes à 80 cm (S1 et S3)	
2 sondes à 100 cm (S1 et S3)		

*Illustration 23 : Récapitulatif des instruments de mesure installés sur les parcelles Retenue et Souléris*

### 3. Mesures des débits et de la pluviométrie

Parallèlement à cette instrumentation, la DIREN Midi-Pyrénées a mis en place une station limnimétrique et pluviométrique destinée à mesurer les débits sortants du sous-bassin versant. Pour ce faire, un seuil de contrôle hydraulique en béton a été construit sur toute la largeur du lit (environ six mètres). L'échancrure de la lame déversante est de forme triangulaire permettant ainsi de relever la surface libre de façon significative.

Une armoire contenant la centrale d'acquisition des données, le pluviomètre et la batterie, a été installée sur un support bétonné en rive gauche de l'exutoire. Un capteur de mesure de type ultra-son a été positionné à l'arrière de l'armoire.

La pluie est cumulée par pas de temps de 15 minutes.

Bien que des visites de terrain soient réalisées régulièrement sur le site (tous les mois), différents problèmes techniques, de nature variée, ont été rencontrés rendant le suivi

incomplet et discontinu. L'illustration 24 permet de visualiser l'ensemble des données disponibles. Le journal des événements porté en annexe 2 récapitule les interventions réalisées sur le terrain.

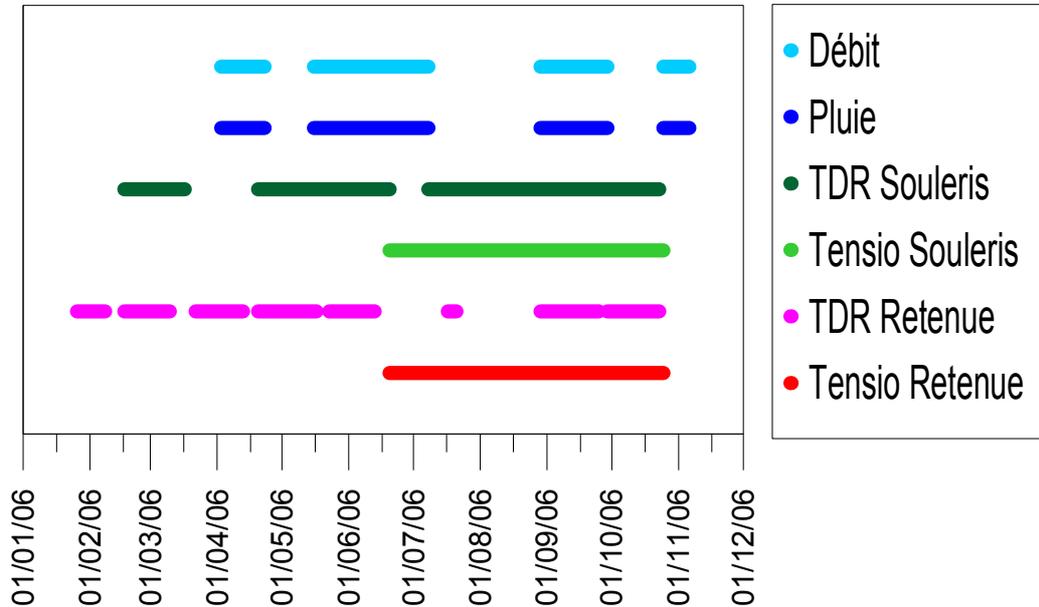
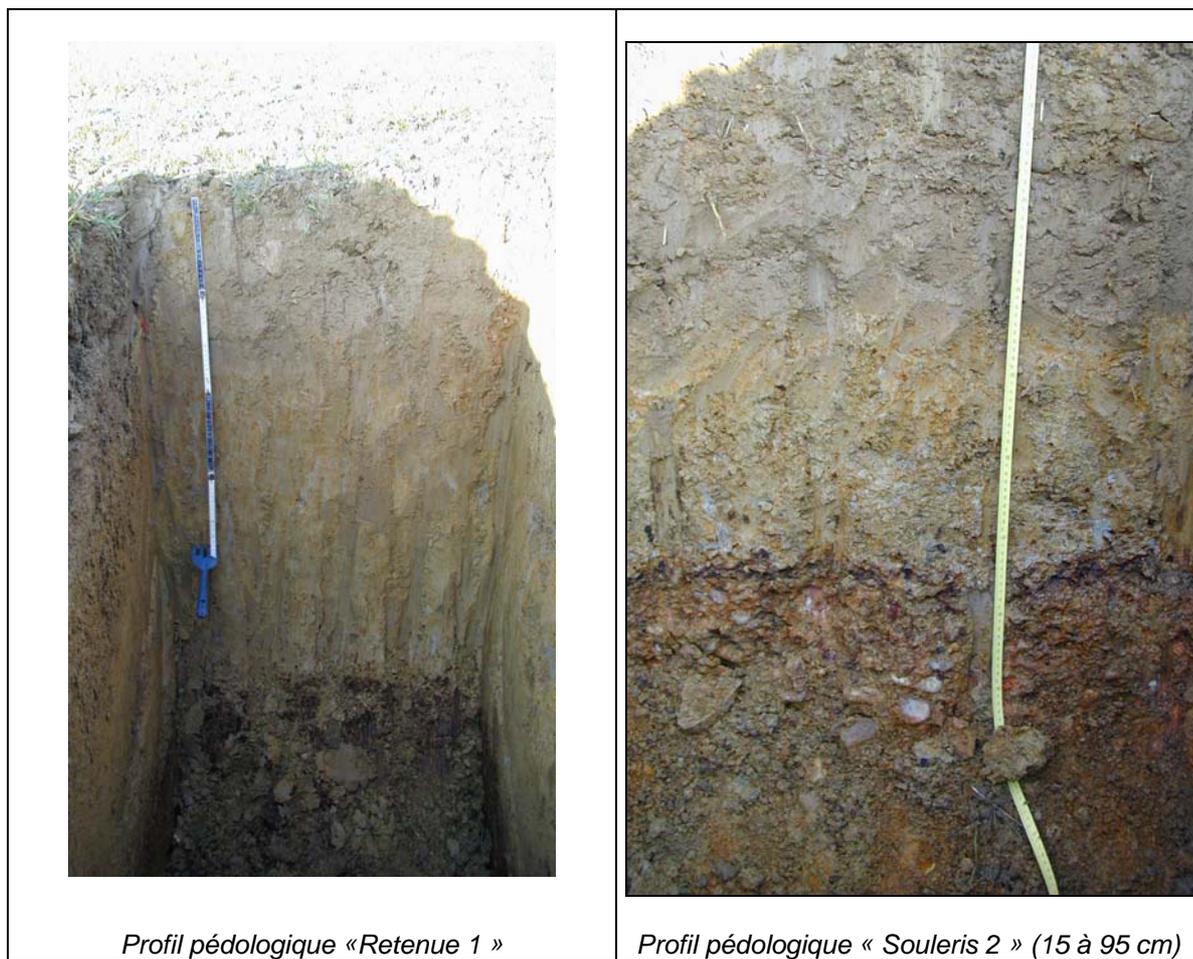


Illustration 24 : Récapitulatif des périodes de données acquises in situ et disponibles

## 2.2.2. Acquisition de données et premières interprétations

### Mesures granulométriques

Lors de l'ouverture des fosses pour l'installation des sondes TDR (Illustration 25), des échantillons de sols ont été prélevés par tranche de 10 cm afin de procéder à une analyse granulométrique. La granulométrie 5 fractions a été établie sans décarbonatation par le laboratoire SAS (Ardon, Loiret) selon la norme X31-107.



*Illustration 25 : Profils pédologiques au niveau des sites Retenue 1 et Souleris 2*

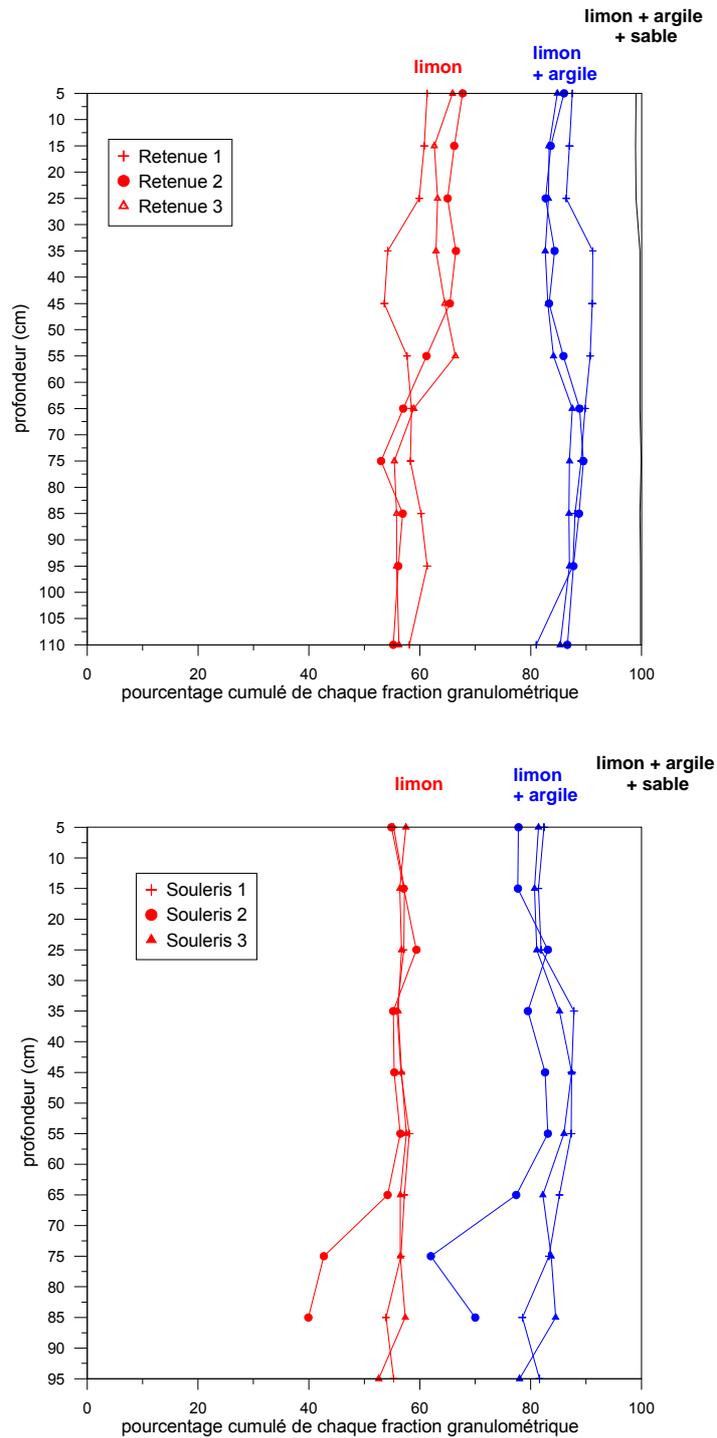


Illustration 26 : Profils de répartition des fractions granulométriques jusqu'à 105 et 95 cm pour les parcelles Retenue et Souleris, respectivement

L'illustration 26 permet de visualiser l'évolution de la composition granulométrique jusqu'à 105 et 95 cm de profondeur pour les 3 profils établis dans les parcelles Retenue et Souléris respectivement.

**Pour la parcelle Retenue**, les fosses 2 et 3 présentent des évolutions très similaires avec une diminution de la teneur en limon avec la profondeur accompagnée d'une augmentation de la teneur en argile. Au niveau de la fosse 1, les teneurs en limon sont d'abord plus faibles que pour les 2 autres fosses jusque 60 cm de profondeur puis deviennent plus importantes.

**Pour la parcelle Souléris**, les teneurs en limon, argile et sable sont très comparables entre les 3 fosses jusque 70 cm de profondeur. Au-delà, la fraction sableuse est beaucoup plus importante pour la fosse 2 que pour les 2 autres fosses.

Entre les deux parcelles, les compositions sont assez similaires même si la parcelle Retenue apparaît légèrement plus argileuse que Souléris notamment dans les horizons de surface jusque 25 cm et les horizons les plus profonds.

### **2.2.3. Suivi de la teneur en eau des sols**

Les illustrations suivantes (Illustration 27 et Illustration 28) permettent de visualiser l'évolution des teneurs en eau volumiques (données brutes) depuis l'installation du matériel jusqu'à la fin du mois d'octobre 2006.

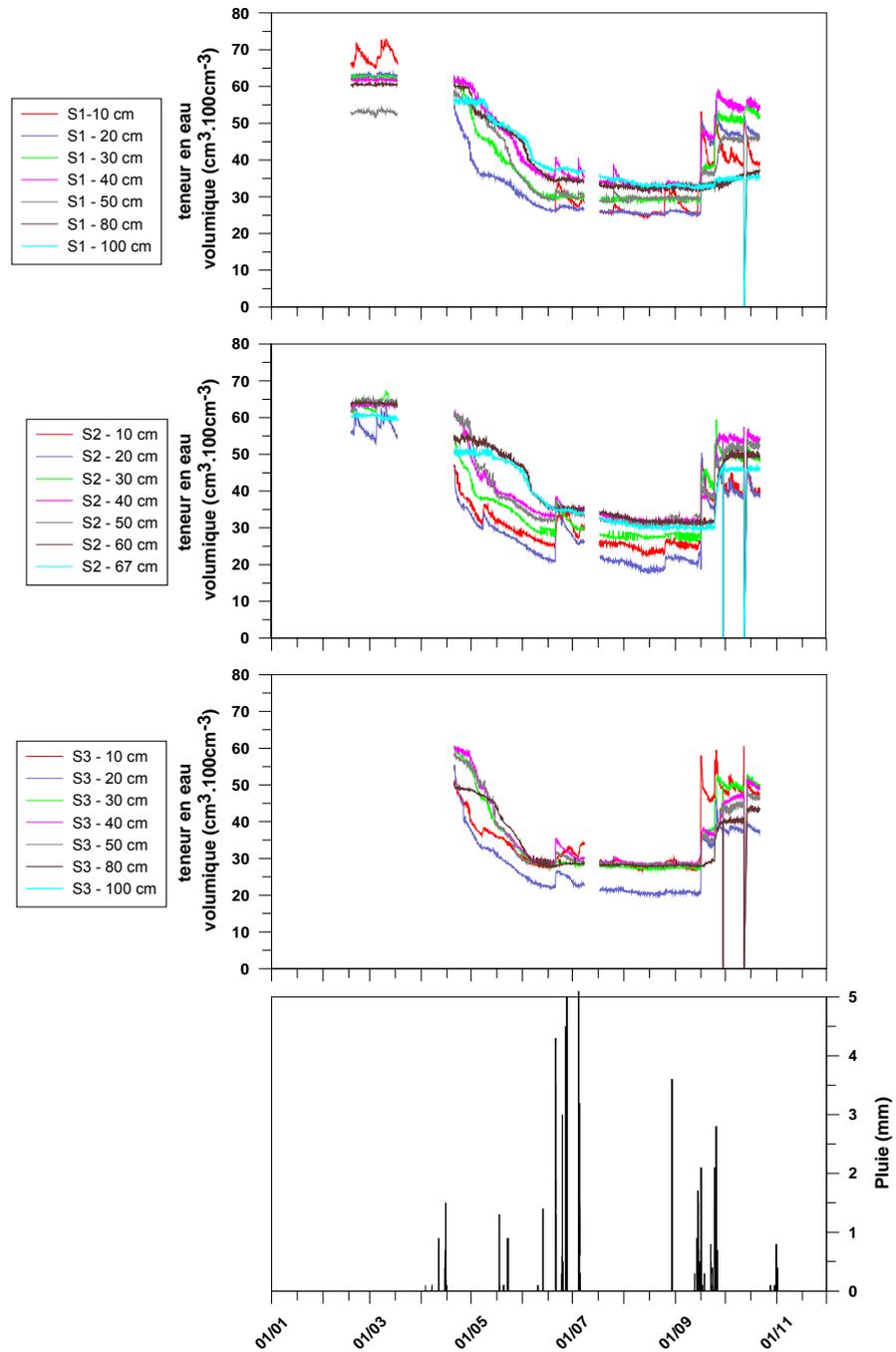


Illustration 27 : Evolution des teneurs en eau volumiques au niveau des 3 fosses de la parcelle Souléris de février à octobre 2006

**Sur la parcelle Souléris**, l'acquisition des données a démarré le 17 février pour les fosses 1 et 2 et le 20 avril pour la fosse 3 (cf. Illustration 27). Pour chacune des sondes, la teneur en eau volumique la plus importante a été observée au début du suivi c'est-à-dire au cours de la période hivernale, durant laquelle les sols sont proches de la saturation.

Les teneurs en eau ont ensuite globalement diminué, d'abord assez faiblement jusque début mai puis plus fortement, pour atteindre des paliers entre les mois de juin et la mi-septembre.

A partir de la mi-septembre les teneurs en eau volumiques ont globalement augmenté, de manière assez importante (au moins  $10 \text{ cm}^3 \cdot 100 \text{ cm}^{-3}$ ) et assez brutalement à l'exception des sondes 80 et 100 cm de la fosse 1 pour lesquelles l'augmentation est moins brutale et moins importante. Elles restent globalement inférieures aux teneurs observées au cours de l'hiver 2005-2006. Cette remontée de la teneur en eau des sols résultent des pluies observées depuis la mi-septembre et d'une diminution de l'évapotranspiration (températures plus faibles que durant l'été, végétation peu développée). La poursuite du suivi permettra de vérifier, au cours de l'hiver 2006-2007, si les teneurs en eau volumique maximales seront similaires à celles observées au cours de l'hiver précédent. Cela permettra de juger de la qualité et de la fiabilité des mesures.

En regardant plus en détail les chroniques, certaines sondes présentent des valeurs mesurées aberrantes (par exemple, des teneurs en eau égales à 0 pour la sonde 100 cm de la fosse 3) traduisant un problème de mesures. Ce problème semble toutefois temporaire puisque sur la fin de la période de mesures, celle-ci donne des valeurs vraisemblables au regard des sondes de la même fosse ou des sondes placées à la même profondeur dans les 2 autres fosses.

Certains épisodes pluvieux se sont traduits par une variation qui semble rapide des teneurs en eau mesurées par les sondes généralement jusque 50 cm. Les sondes plus profondes ont une réaction variable suivant les fosses et les épisodes considérés.

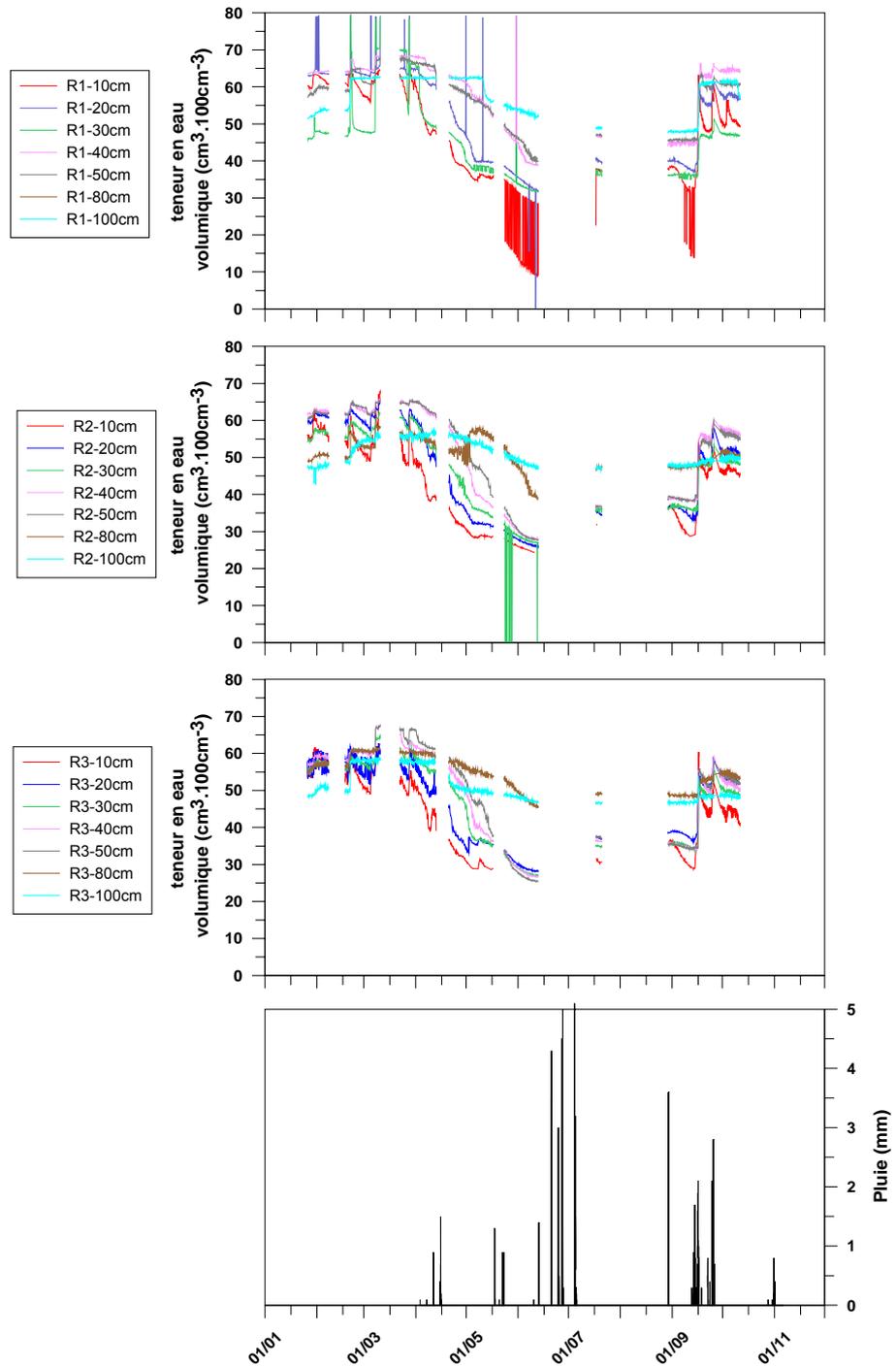


Illustration 28 : Evolution des teneurs en eau volumiques au niveau des 3 fosses de la parcelle Retenue de janvier à octobre 2006

**Pour la parcelle Retenue**, l'acquisition des données a démarré dès l'installation du matériel à savoir le 26 janvier 2006 (Illustration 28). L'évolution globale des teneurs en eau volumiques observée pour chaque sonde est similaire à celle observée au niveau de Souleris, à savoir de fortes teneurs en hiver décroissant à partir d'avril –mai pour atteindre un palier jusqu'à la mi-septembre. A la reprise des précipitations, les teneurs en eau augmentent notamment pour les horizons plus superficiels mais restent inférieures à celles observées au début du suivi.

### Estimation des volumes d'eau pouvant être stockés dans les sols

Pour chaque horizon, la différence entre les teneurs en eau volumique maximale et minimale correspond au volume d'eau qui peut être stocké dans le sol. L'illustration 29 permet de visualiser le volume potentiel stocké dans chaque horizon de sol. Globalement, pour toutes les fosses ce volume décroît avec la profondeur. Souleris 2 se distingue de Souleris 1 et 3 pour les horizons de surface (jusque 40 cm) alors que Retenue 1 se distingue de Retenue 2 et 3.

La somme des volumes obtenus pour chaque horizon permet d'estimer la quantité d'eau pouvant être stockée sur un profil de sol de 80 cm (profondeur d'étude commune aux 2 sites). Les valeurs moyennes sont de 233.8 +/- 18.1 et 220.6 +/- 20.2 pour Souleris et Retenue, respectivement. Si la partie plus superficielle des profils est considérée (jusqu'à 40 cm), les valeurs moyennes sont de 146.4 +/- 9.3 et 162.0 +/- 19.7 pour Souleris et Retenue, respectivement.

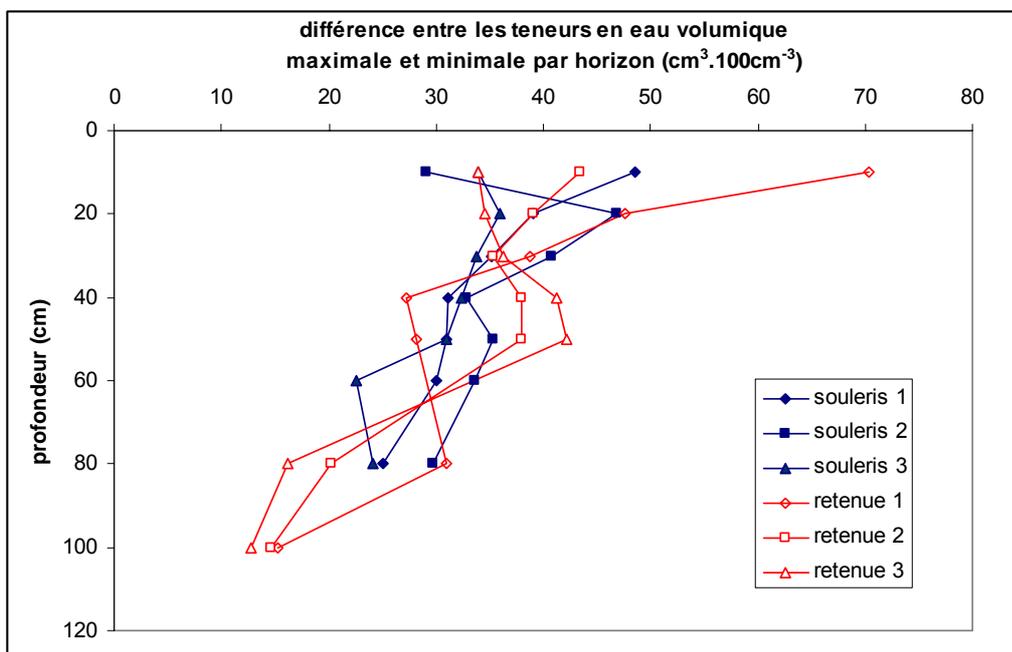


Illustration 29 : Différences entre les teneurs en eau volumique maximale et minimale pour chaque horizon des 6 profils étudiés

### **Etude d'un épisode pluvieux particulier**

Les épisodes pluvieux de la mi-septembre 2006 sont intéressants dans la mesure où ils interviennent alors que les sols sont très secs. L'illustration 30 permet de visualiser l'évolution des teneurs en eau volumiques au niveau des sites Souléris 1 et Retenue 2 en fonction des précipitations. Sur les 2 sites, les sondes les plus profondes (80 et 100 cm) ne sont pas affectées par les précipitations alors que les sondes superficielles traduisent une variation plus ou moins importante et se produisant plus ou moins rapidement après la pluie. On constate ainsi sur Souléris 1 que la sonde placée à 10 cm réagit aux pluies du 14 septembre sans engendrer de réaction sur les sondes plus profondes. En revanche, les pluies du 16 septembre entraînent une réaction de la sonde placée à 10 cm et de manière relativement synchrone (le pas de mesure étant de 2 heures) des autres sondes jusqu'à 50 cm ; les sondes 80 et 100 cm ne présentent pas de variations.

Au niveau de Retenue 2, les observations sont assez similaires si ce n'est le fait que la sonde à 20 cm réagit légèrement au premier épisode pluvieux contrairement à Souléris 1. Sur ce site également, les horizons les plus profonds ne sont pas affectés.

Une différence notable entre les 2 sites réside dans le fait que la sonde 10 cm de Souléris1 indique une diminution des teneurs en eau plus rapide que la sonde 10 cm de Retenue 2, laissant supposer que l'horizon de surface de Souléris se ressuie plus rapidement que celui de Retenue. Cette observation est cohérente avec les mesures d'infiltration réalisée le 17/07/2006 qui donnent respectivement des valeurs de 48,3 et 13,8 mm/h pour Souleris et Retenue.

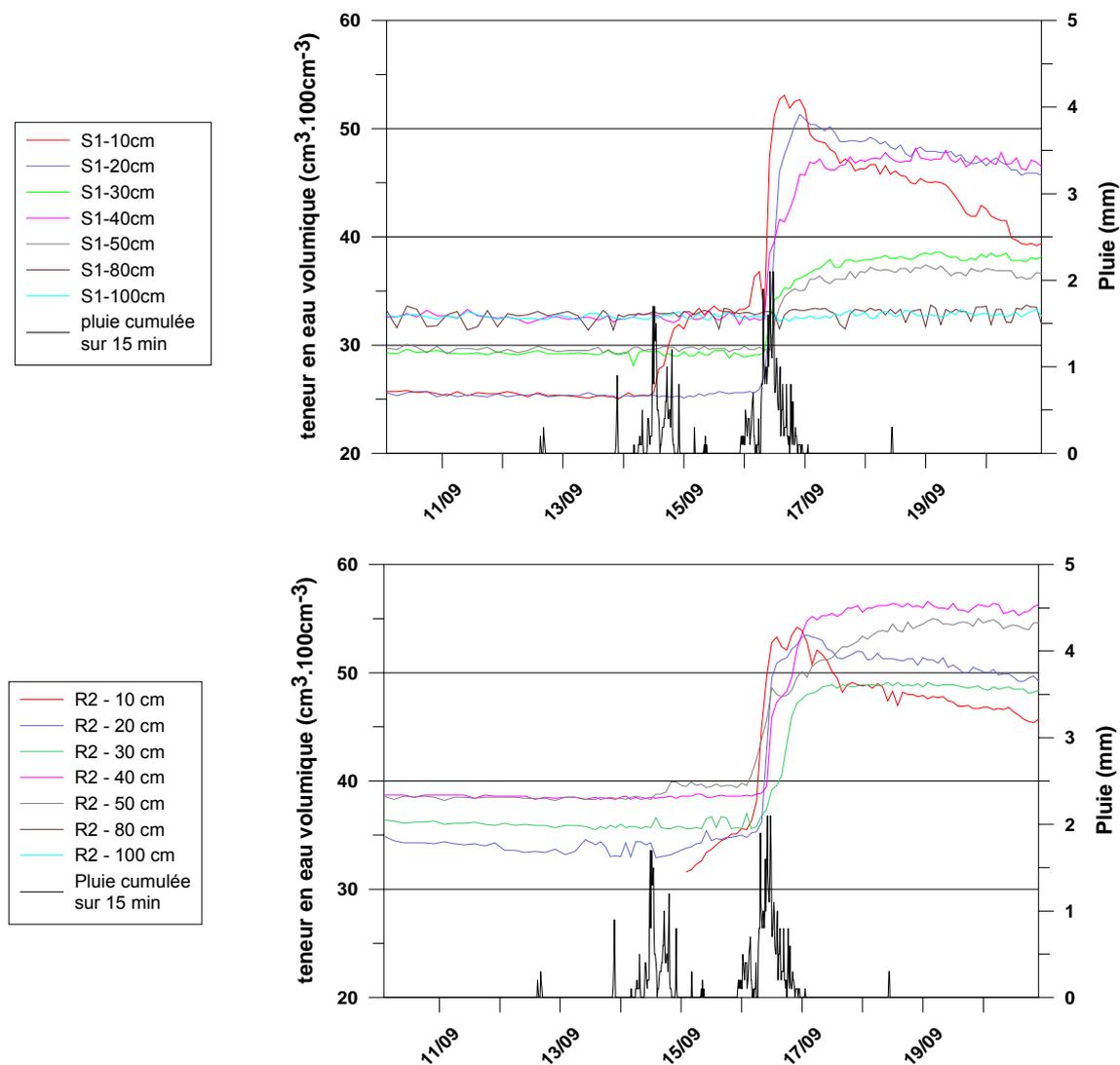


Illustration 30 : Evolution des teneurs en eau volumiques au niveau des sites Souléris 1 et Retenue 2 entre le 10 et le 20 septembre 2006

La comparaison de l'évolution des teneurs en eau par profondeur pour les 3 sites de chacune des 2 parcelles permet de vérifier que les sondes à 80 cm (et 100 cm) ne sont pas affectées par les épisodes pluvieux du 14 et 16 septembre mais ne laisse pas percevoir de différences très marquées entre les deux parcelles.

En revanche, si on considère une période d'observation plus longue qui intègre également les pluies du 22 au 26 septembre, quelques différences apparaissent pour les sondes 30, 40 et 50 cm (Illustration 31)

En effet, bien que les teneurs en eau à ces profondeurs augmentent pour les deux parcelles, les teneurs en eau sont importantes pour Retenue, importantes dans le sens où elles sont très proches du maximum qui est atteint lors de l'épisode suivant. Les

écarts sont ainsi d'environ  $5 \text{ cm}^3 \cdot 100\text{cm}^{-3}$  pour Retenue à 30, 40 et 50 cm de profondeur alors qu'ils sont au moins de  $10 \text{ cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$  pour Souléris 1.

Il apparaît que deux événements pluvieux n'ont pas le même effet sur les sols, dont le comportement a logiquement évolué. Les premières pluies sont intervenues sur des sols secs, moins favorables à l'infiltration. Elles ont assoupli les sols, les rendant plus perméables pour le second événement pluvieux. Les données de débit du BV, non disponibles en septembre auraient pu permettre d'estimer un ratio « Volume ruisselé / Pluie », et donc de valider cette hypothèse. Un problème d'acquisition a rendu les données de débit non exploitables (surévaluation de la lame d'eau ruisselée).

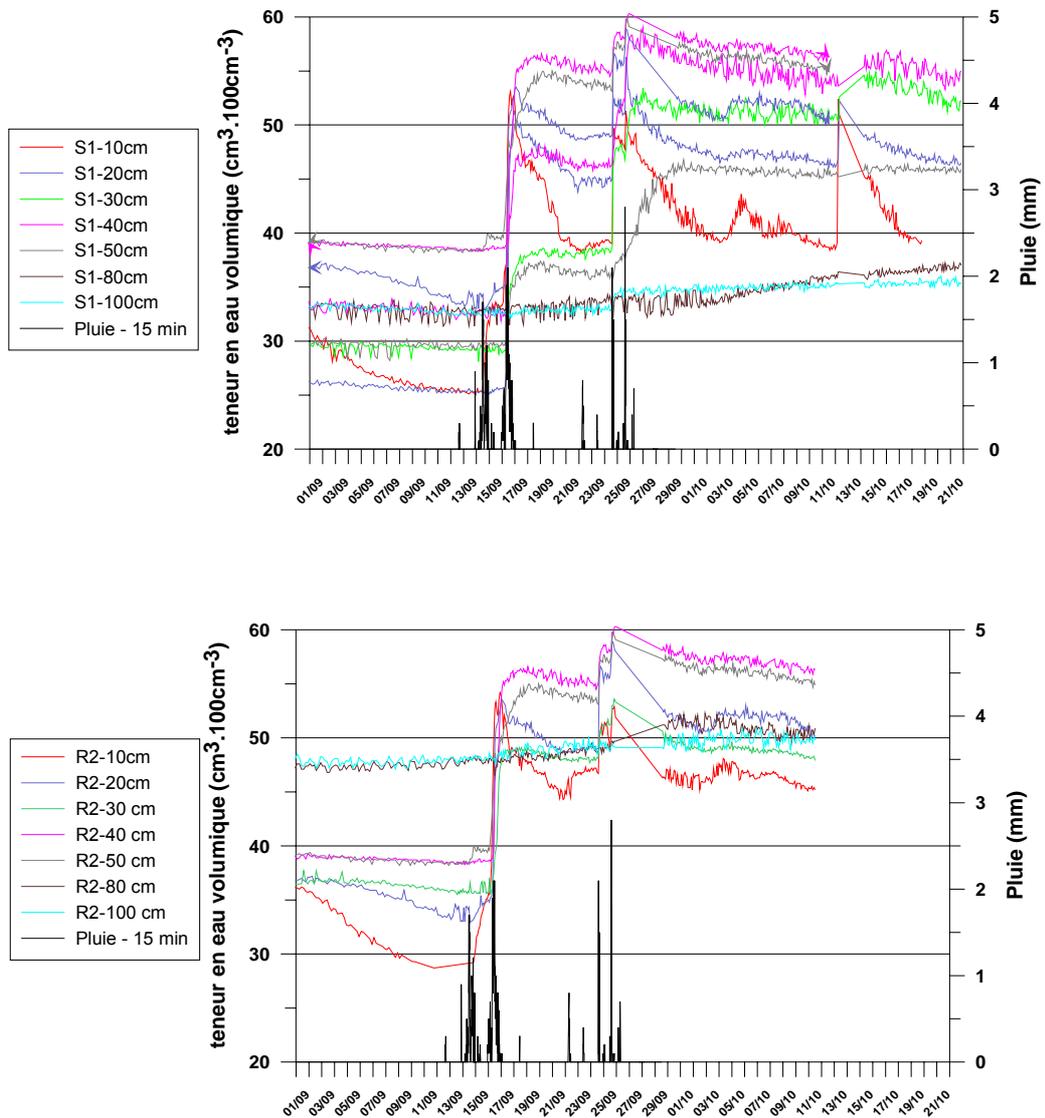


Illustration 31 : Evolutions des teneurs en eau sur les sites Souléris 1 et Retenue 2 entre le 1 septembre 2006 et le 21 octobre 2006

Cela peut donc signifier que lors du deuxième épisode pluvieux important (22 au 26 septembre), le sol de Souléris est capable de stocker un volume d'eau plus important que le sol de Retenue. Cette observation ne présage toutefois en rien des conductivités hydrauliques des deux sols et ne permet pas de conclure sur l'éventuelle genèse de ruissellement.

Les variations de teneurs en eau postérieures à fin septembre correspondent vraisemblablement à de nouveaux épisodes pluvieux. Malheureusement, une panne du pluviomètre (29/09 au 25/10/2006) ne permet pas de les décrire.

#### **2.2.4. Le suivi tensiométrique**

Les tensiomètres ont été installés assez tardivement suite à différents problèmes de connexion entre les tensiomètres eux-mêmes et les centrales d'acquisition. Le printemps et l'été ont été très secs et les premières pluies significatives ne sont intervenues qu'après la mi-septembre. En conséquence la plupart des tensiomètres ont décroché ce qui signifie que la succion existante dans le milieu était plus importante que la gamme de mesures des capteurs des tensiomètres et ce malgré une re-saturation du tensiomètre effectuée lors de chaque visite sur le site. Les périodes pour lesquelles les données sont disponibles sont donc très courtes et peu intéressantes puisqu'elles ne correspondent pas à des périodes pluvieuses au cours desquelles du ruissellement et/ou de l'infiltration auraient pu se produire. Les résultats ne sont donc pas présentés ici.

Afin de resaturer tous les tensiomètres pour acquérir des mesures de qualité durant l'hiver, les tensiomètres ont été désinstallés le 15 novembre 2006, resaturés en laboratoire et seront réinstallés début décembre.

#### **2.2.5. Le ruissellement et les débits mesurés**

Les données enregistrées par la station limnimétrique instrumentée par la DIREN Midi-Pyrénées correspondent à des hauteurs d'eau. La fréquence d'acquisition est de 15 minutes.

Le déversoir mis en place, de forme triangulaire, placé perpendiculairement à l'axe de l'écoulement est destiné à surélever sa surface libre. L'angle d'ouverture est ici de 90 degrés. La hauteur de charge ainsi créée est fonction du débit. Celui-ci est déterminé à partir de formules standardisées, telle que la formule de Gourley et Crimp adaptée à ce site :

$$\text{pour } \alpha = 90^\circ, Q = 1,32 h^{2,47} \text{ avec } \alpha : \text{ angle d'ouverture du déversoir}$$

h : charge sur le sommet en m

Q : débit en m<sup>3</sup>/s

L'illustration 32 montre l'évolution des débits enregistrés à la station entre le 20 juin et le 06 novembre 2006.

La station a débuté l'acquisition de données le 03 avril 2006, mais il faut attendre la fin du mois de juin, entre le 21 juin et le 05 juillet, pour observer un premier pic de débit correspondant à un événement pluvieux entrecoupé de période sans pluie (avec un maximum enregistré le 21 juin : cumul journalier supérieur à 19 mm).

Entre le 05 juillet et le 28 août, la station a stoppé l'acquisition de données en raison de problèmes techniques.

Le second événement pluvieux marqué est enregistré les 29 et 30 août (avec un cumul pour ces 2 jours d'environ 9 mm). Toutefois, cela se traduit par une très légère augmentation des débits à la station.

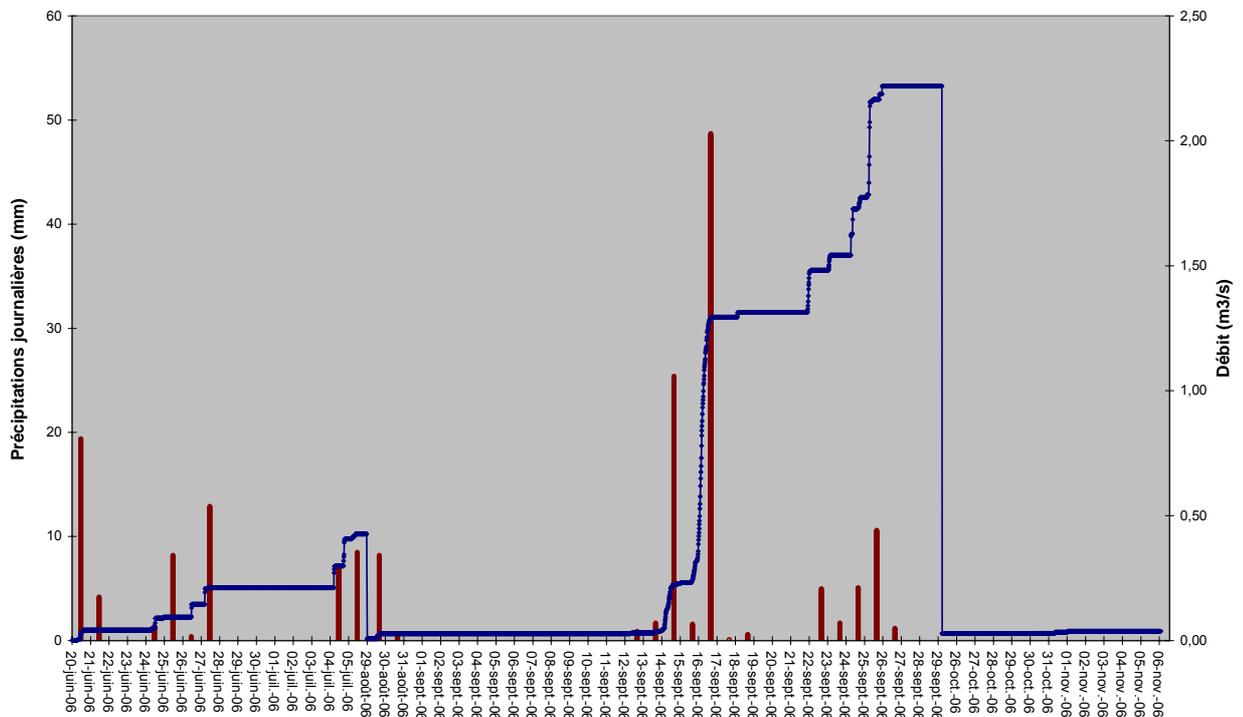


Illustration 32 – Evolution des débits enregistrés à la station de la DIREN Midi-Pyrénées entre juin et novembre 2006

Il faut attendre le 14 septembre pour observer une nette évolution des débits enregistrés. En effet, entre cette date et le 26 septembre, ceux-ci augmentent de 0,05 à 2,2 m<sup>3</sup>/s. Le plus fort cumul des précipitations a été noté le 16 septembre avec plus de 48 mm. Cette augmentation des débits n'est pas constante mais entrecoupée de paliers à débit constant.

Cet événement est intéressant car il fait suite à une longue période de sécheresse. Ainsi, les premières pluies conséquentes du 14 septembre génèrent une augmentation des débits mais bien moins importante que celles observée suite aux précipitations du 16 septembre. En effet, comme cela est indiqué dans les paragraphes précédents, l'eau s'est rapidement infiltrée dans les horizons superficiels au cours de la première période pluvieuse. Le second événement aurait plutôt occasionné du ruissellement à l'échelle du bassin provoquant une nette augmentation des débits mesurés à la station.

Par ailleurs, et de manière générale, suite à l'arrêt des précipitations, le débit maximum se maintient durant quelques jours traduisant le relais pris par les apports issus du ressuyage des terrains du bassin versant.

Un problème de configuration du dispositif de mesures des hauteurs d'eau est à signaler dans la mesure où même pendant des périodes très sèches, la sonde indique une hauteur d'eau (équivalente à un débit faible mais non nul) alors qu'il n'y a manifestement pas d'écoulement. Il s'agit en fait d'un biais introduit par de l'eau stagnant au niveau du seuil. Il convient également de noter que la chute brutale des débits fin septembre mais aussi en juillet est un artéfact lié à des pannes de la station d'acquisition.

### **2.2.6. Premières conclusions**

L'utilisation de sondes TDR, installée en janvier 2006, a permis de suivre l'évolution des teneurs en eau des sols sur 3 profils dans 2 parcelles différentes.

Au début du suivi, les teneurs en eau mesurées sont importantes et décroissent au printemps et pendant l'été pour atteindre plus ou moins rapidement suivant les profondeurs des valeurs seuils. Les pluies de septembre ont montré que les sondes réagissent aux apports d'eau mais que la teneur en eau à saturation des sols n'est pas encore atteinte. La différence entre les teneurs en eau minimales et maximales pour chaque profondeur a permis d'estimer quel volume d'eau pouvait potentiellement être stocké dans le sol dont l'importance varie suivant l'épaisseur de sol considéré. La succession des épisodes pluvieux assez rapprochés en septembre et octobre semblent indiquer que Souléris se ressuie plus rapidement que Retenue. D'autre part, les mesures d'infiltration réalisées en juillet sur ces 2 parcelles montrent que la perméabilité est plus importante pour Souléris que pour Retenue. Ces 2 éléments laisseraient donc supposer que Souléris serait moins sujet au ruissellement que Souléris. Toutefois, cette conclusion doit être prise avec beaucoup de précaution dans la mesure où le nombre de données disponibles (lié au faible nombre d'épisodes pluvieux) est très limité. La poursuite du suivi devrait pouvoir fournir plus d'éléments de réflexion.

Alors que les sondes TDR fonctionnent parfaitement, la période estivale n'est pas apparue propice aux mesures tensiométriques. En effet, durant cette période les succions rencontrées in situ sont plus importantes que la gamme de mesures autorisée par les capteurs. Le suivi hivernal devrait donner de meilleurs résultats. La comparaison des données TDR avec des valeurs d'humidités pondérales mesurées

dans différents contextes climatiques est à poursuivre pour juger de la validité des valeurs annoncées par les TDR.

L'enregistrement des données de débits à la station limnimétrique, instrumentée par la DIREN Midi-Pyrénées, durant l'hiver prochain permettra de confirmer et d'évaluer avec plus de précision la part des volumes provenant du ruissellement sur le bassin versant. Des jaugeages de contrôle par la DIREN seraient bienvenus pour valider les enregistrements automatiques et pour pallier le problème lié à la stagnation d'un peu d'eau sous le radar.

## **2.3. MODELISATION DES CRUES DE NAPPE SUR LE BVNE DE LA SOMME**

Le modèle GARDENIA est opérationnel pour la modélisation et le suivi des crues de nappe sur la Somme. Le pas de temps journalier est largement adapté pour les crues de nappe comme sur la Somme. Mais l'utilisation prévue du modèle GARDENIA sur d'autres BVNE comme celui de la Meuse, ayant des temps de réponses plus rapides, a nécessité des adaptations qui ont été introduites dans le code de calcul.

Elles ont été vérifiées et validées sur un bassin dont nous disposons des débits et des pluies avec un pas de temps de 1/2 heure ou de 1 heure : le bassin de l'Eure ( BV du Cailly).

Lorsque les données hydrologiques seront disponibles sur le BVNE de la Meuse, il sera alors possible d'appliquer les évolutions mises en place (projection 2007).

### **2.3.1. Adaptation du code de calcul GARDENIA**

La possibilité d'utiliser un pas de temps de simulation inférieur à la journée a donc été introduite dans GARDENIA. Il s'agit par exemple de prendre en compte des pas de 1/2 h ou 3h de façon à pouvoir mieux simuler les bassins à réaction plus rapides en temps de crue.

Ces exemples d'application ont montré que le code GARDENIA v. 7.0 permet de modéliser efficacement les crues avec des pas de temps fins inférieurs à 1 jour.

La prise en compte de prélèvements (pompages par exemples) dans la nappe à proximité du cours d'eau qui influencent les débits du cours d'eau a ainsi été mise en place pour exemple sur des données réelles.

Les Illustration 33 et Illustration 34 montrent sur le bassin versant du Cailly (Eure) dans lequel on a simulé avec un modèle hydrodynamique maillé, l'influence de pompages à proximité du cours d'eau. L'Illustration 33 montre qu'il n'est pas possible de simuler correctement les débits du Cailly avec le modèle global pluie/débit GARDENIA 6.5. L'Illustration 34 permet de voir que la prise en compte de prélèvements en nappe dans le code GARDENIA 7.0 permet de très bien simuler les débits influencés (théoriques) du Cailly à Grand Tendos. Le coefficient de corrélation est égal à 0.986.

En pratique cependant il est parfois difficile d'obtenir l'historique des débits prélevés en nappe, qui sont nécessaires à la simulation et à la prévision.

La prise en compte d'une prévision non probabiliste avec utilisation d'un fichier de pluies prévues est en cours.

Les deux premiers points sont donc achevés et totalement opérationnels dans GARDENIA 7.0. Le troisième point, relatif à la prise en compte des pluies, a été spécifié et est en cours de mise au point.

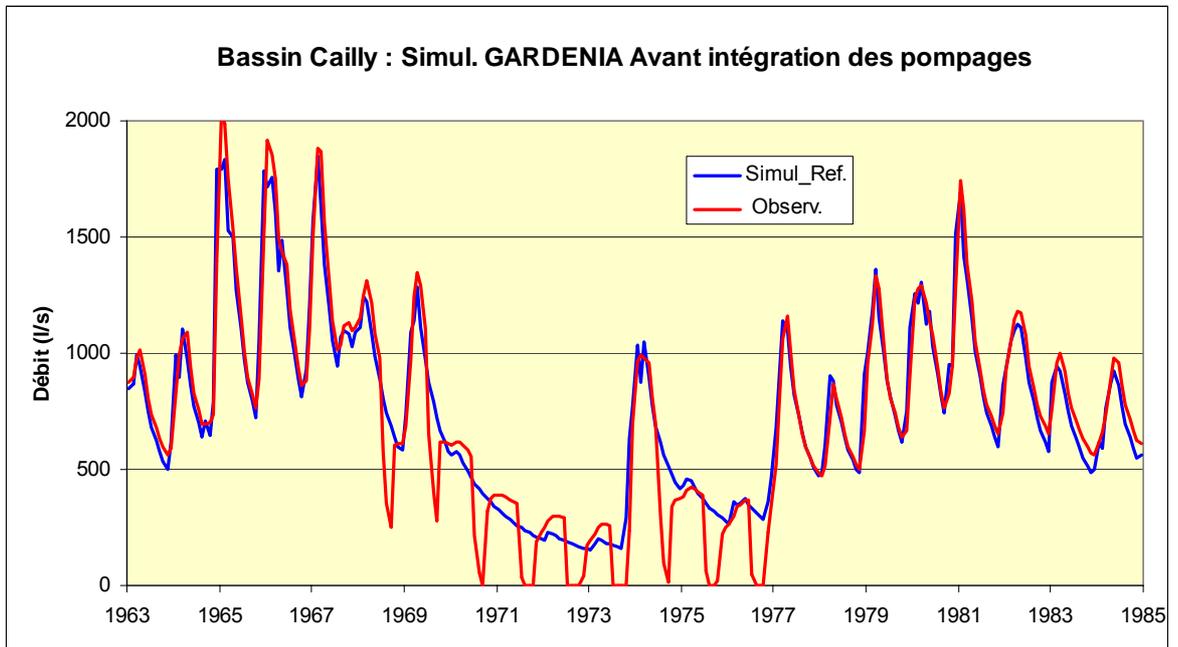


Illustration 33: Modélisation avec le code GARDENIA des débits du bassin du Cailly, sans prendre en compte les prélèvements en nappe à proximité du cours d'eau.

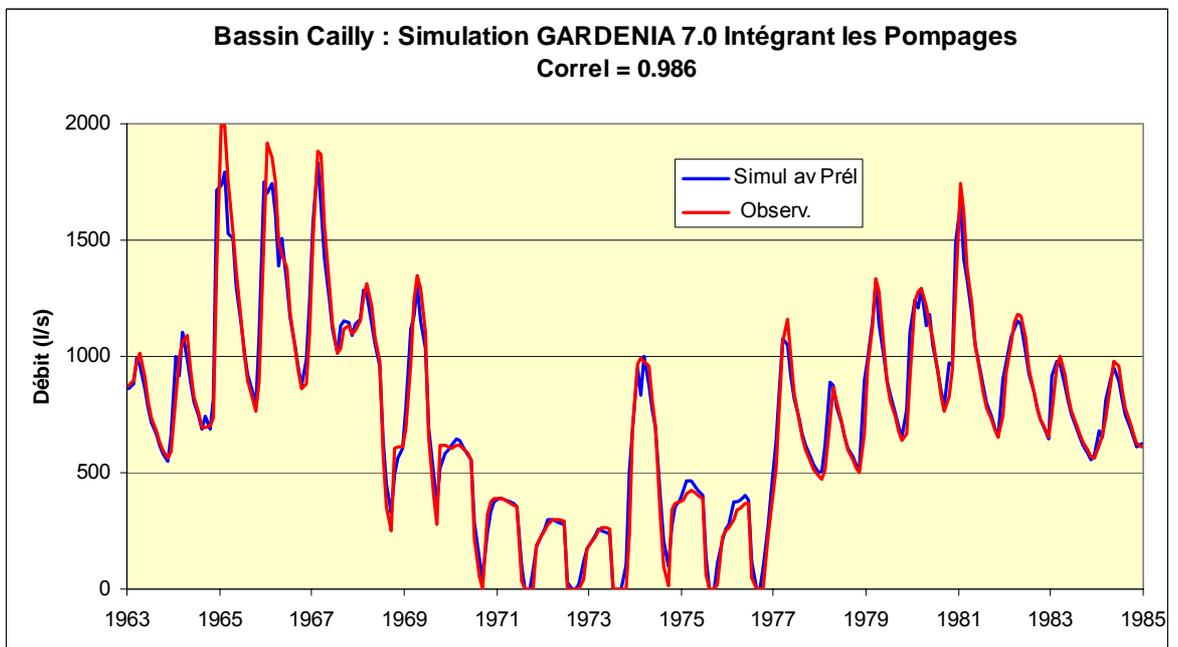


Illustration 34: Modélisation avec le code GARDENIA 7.0 des débits du bassin du Cailly, avec prise en compte les prélèvements en nappe à proximité du cours d'eau.

### 2.3.2. Interface avec la plateforme DEMETER

Les interfaces en langage FORTRAN ont été réalisées pour la mise à jour automatique des données hydroclimatiques pour la prévision des débits de la Somme à Abbeville. Ces données seront fournies par l'intermédiaire de la plateforme DEMETER en langage « xml SANDRE » ; elles doivent être décodées, mises au pas de temps journalier et intégrées automatiquement dans les fichiers de données du code de calcul GARDENIA. Les modules de calculs suivants ont été écrits.

- « Lec\_Xml\_Obs\_pluie.exe » : Lecture des données de pluies journalières et sélection de la station de Glisy.

État : Prototype achevé.

- « Lec\_Xml\_Obs\_ETP.exe » : Lecture des données d'évapotranspiration potentielle au pas de temps journalier.

État : Prototype achevé.

- « Lec\_Xml\_Previs\_Pluie.exe » : Lecture des pluies prévues au pas de temps journalier sur une station, sur une durée des 7 jours à venir.

État : Prototype achevé.

- « Lec\_Xml\_Obs\_Debit.exe » : Lecture des pluies de plusieurs stations hydrométriques au pas de temps de ½ heures sur les huit derniers jours. Sélection de la station d'Abbeville et transformation des débits au pas de temps de ½ heure en débits journaliers de 0 heures à 24 heures de chaque jour.

État : Prototype achevé.

- « Gardenia\_to\_Xml.exe » : Lecture des fichiers résultats de la prévision avec le code GARDENIA, mise en forme et exportation en format « xml SANDRE » pour être récupéré par la plateforme DEMETER.

État : Prototype à finaliser.

### 2.3.3. Collaboration au Guide OMM « De la goutte de pluie jusqu'à la mer »

Par ailleurs, la collaboration du BRGM à la rédaction du Guide OMM « De la goutte de pluie jusqu'à la mer » s'est focalisée sur les chapitres suivants :

- rédaction du chapitre 5.4 : Les équations de l'Hydrogéologie (rédaction finalisée) ;
- rédaction du chapitre sur la méthode des Différences Finies appliquées à l'hydrogéologie (rédaction finalisée).

### 3. Conclusion sur les travaux menés en 2006

Ces travaux ont permis de progresser sur les différents bassins versants étudiés, le Gardon d'Anduze, la Somme et le Touch.

**Sur le Gardon d'Anduze**, les travaux menés montrent qu'il est possible de définir des débits de pointe à partir des volumes ruisselés pour le bassin d'Anduze ou de Mialet avec une assez bonne fiabilité pour les événements faibles ou moyens (mais avec une sous-estimation de l'événement extrême de septembre 2002). En effet, la possibilité d'affecter aux volumes simulés par le logiciel STREAM un débit de pointe permet une meilleure caractérisation de la crue. Cependant, la mise au point d'un indicateur implique de découper le bassin versant en sous unités, de façon à ce que l'hétérogénéité des pluies soit minimisée. Les simulations à partir des données fournies par le SCHAPI (cadre BVNE) sont plus probantes sur les sous-unités de Mialet et de Saumane, que sur la bassin versant entier d'Anduze.

**Sur le bassin versant du Touch, et plus particulièrement sur le sous-bassin de St-Lys**, l'année 2006 a consisté en la mise en place de parcelles expérimentales, en collaboration avec la DIREN Midi-Pyrénées. Des sondes TDR, installées dès janvier 2006, ont permis de suivre l'évolution des teneurs en eau des sols sur 3 profils dans 2 parcelles différentes. La différence entre les teneurs en eau minimales et maximales pour chaque profondeur a permis d'estimer quel volume d'eau pouvait potentiellement être stocké dans le sol. La comparaison des données TDR avec des valeurs d'humidités pondérales mesurées dans différents contextes climatiques doit être poursuivie pour juger de la validité des valeurs annoncées par les TDR.

Lors de l'hiver 2006-2007, les données de débits à la station limnimétrique doivent permettre de confirmer et d'évaluer avec plus de précision la part des volumes provenant du ruissellement sur le bassin versant.

**Sur le bassin versant de la Somme**, Gardenia est opérationnel pour le suivi des crues de nappe sur la Somme. Mais son adaptation à des bassins tels que la Meuse, avec des temps de réponse plus rapides a nécessité des adaptations qui ont été introduites dans le code de calcul et qui ont été vérifiées et validées sur le bassin versant du Cailly, dans l'Eure, dont les caractéristiques se rapprochent de la Meuse. Il conviendra dès réception des données de valider ces travaux sur le Bassin Versant Numérique Expérimental de la Meuse.



## 4. Bilan de Production

En 2006, les documents produits ont été :

- un rapport intermédiaire sur le suivi de la teneur en eau des sols du sous-bassin de Saint-Lys, sur le bassin du Touch (Rapport BRGM/RP 54683-FR) ; (N. BARAN, M. SAPLAIROLES. 2006 - Suivi de la teneur en eau des sols d'un sous-bassin de Saint-Lys. Rapport intermédiaire –. Rapport BRGM RP-54683-FR, 36 pages, 22 illustrations.) .
- un rapport d'avancement en septembre 2006 destiné au MEDD (rapport T0+4) ;
- le présent rapport technique de fin d'exercice 2006 ;
- les comptes-rendus de réunion du 6 juillet 2006 à Nîmes (dans le cadre du BVNE du Gardon d'Anduze) et du 14 septembre 2006 au SCHAPI à Toulouse (avec visite sur le terrain) (annexe 1) ;
- le compte-rendu de mission du 27 mars 2006 sur le Touch (annexe 1) ;



## 5. Planification année 5

### 5.1. OBJECTIFS

Après discussion avec le SCHAPI à Toulouse le 14 septembre 2006 et au MEDD le 22 septembre 2006, les différents axes de travail proposés pour 2007 seront :

1. Sur le bassin du Gardon d'Anduze, proposer un couplage Modèle hydrologique/Stream pour la calibration de la cartographie de la perméabilité des sols, en envisageant la régionalisation de cette cartographie.
2. Sur le Bassin du Touch, exploiter les sites de mesures mis en place en 2006 pour calibrer les données Radar qui seront acquises, en parallèle des données ISBA fournies par le SCHAPI
3. Sur le BVNE de la Somme, poursuivre l'adaptation des codes GARDENIA aux normes Sandre en débutant l'extrapolation au BVNE de la Meuse
4. Analyser pour la région Nîmoise et Montpelliéraine (zone sur laquelle un historique de mesure est déjà disponible) , le comportement des karsts,

Les trois premiers modules correspondent à des actions engagées depuis 2003 pour certaines, depuis 2005 pour le Touch. Le dernier correspond à une demande de la part du SCHAPI

### 5.2. TACHES PLANIFIEES EN 2007

Les tâches planifiées en 2007 sont réparties par bassin versant :

#### 5.2.1. Description des opérations proposées

##### ***Module 1. Bassin versant du Gardon d'Anduze***

###### **• Potentiel d'infiltration des versants : modélisation**

Afin d'améliorer les résultats fournis nous proposons de passer des volumes ruisselés à des hydrogrammes de crues.

Pour cela, tout en conservant la spécificité de Stream (à savoir la prise en compte des pluies spatialisées, du potentiel d'infiltration des sols, des antécédents pluvieux, pour produire des cartographies de pluies nettes au pas de temps définis de 5 mn), nous proposons :

- d'utiliser une modélisation permettant de caler les volumes ainsi calculés aux hydrogrammes des crues observés aux droit des stations hydrométriques.

- d'intégrer dans Gardenia/Eros ces pluies nettes afin de produire en sortie des hydrogrammes de crue.

#### • **Potentiel d'infiltration des versants : régionalisation**

La carte du potentiel d'infiltration sera finalisée par la réalisation de mesures in situ sur les formations pédologiques secondaires (argiles, marnes, ...).

Par ailleurs, on vérifiera si les mesures de perméabilités calibrées sur le Gardon d'Anduze peuvent être extrapolées ailleurs dans le département du Gard ou de l'Hérault. En 2007, nous proposerons de débiter par la validation des formations schisteuses et granitiques, en réalisant des séries de mesures sur ces formations présentes sur l'Arc Cévenol. Ceci doit permettre de vérifier le caractère homogène de la perméabilité pour un type de sol et une occupation du sol donnée.

### ***Module 2. Bassin versant du Touch***

Le SCHAPI a financé en 2006 l'équipement de deux parcelles en amont et en aval du bassin versant dit « La retenue », à côté de St-Lys. La DIREN a quant à elle équipé le site d'un limnigraphe.

L'état de saturation des sols constitue un élément incontournable dans la prévision des crues, comme ont pu le démontrer les événements des 6-7 puis 8-9 septembre 2005 sur Nîmes.

Connaître ce paramètre et valider son importance doit permettre in fine de l'intégrer dans les modèles de prévision de crue, afin d'accroître leur précision.

Les équipements mis en place et testés en 2006 (Projet APIBAR CNES/BRGM) sont désormais opérationnels. Un couplage avec les données radar fournies par l'ESA devient désormais possible. Les données Radar/SAR permettent l'extraction d'un paramètre humidité, que les données in situ doivent valider.

Le déclenchement du ruissellement peut être évalué (i) à partir des chroniques mesurées sur les sites (ii) à partir de simulations (iii) ou à l'aide de modélisations intégrant différentes hypothèses de changement de pratiques culturales.

Il convient alors de voir comment accéder à cet indicateur « humidité » en opérationnel.

Le SCHAPI fournira au BRGM les données ISBA sur la zone d'étude

En parallèle des données radar seront acquises auprès de l'ESA.

Il conviendra alors de valider le paramètre « état hydrique des sols » obtenu par ISBA d'un côté, les données Radar/SAR d'un autre côté à l'aide des données in situ du bassin de St Lys.

### **Module 3. Bassin versant de la Somme**

Pour achever de rendre totalement opérationnelle l'intégration du logiciel GARDENIA dans la plateforme DEMETER il est nécessaire d'adapter les fichiers reçus périodiquement et automatiquement :

- Les fichiers météo (pluie, évapotranspiration potentielle) observés et prévus
- Les fichiers d'observations de débits les plus récents.

Il est aussi nécessaire de transformer les résultats de GARDENIA en fichiers acceptés par DEMETER avec en particulier une prévision sans pluies futures et avec les prévisions (déterministes) de pluies.

Il sera également nécessaire de recalculer les paramètres de prévision au vu des observations les plus récentes.

En 2007 après le bassin de la Somme, on abordera également la prévision des « crues lentes » sur le bassin versant de la Meuse. Dans ce but, compte tenu de la forme étendue du bassin et des temps de propagations amont aval de l'ordre de 4 à 5 jours, on utilisera le modèle EROS du BRGM (**E**nsemble de **R**ivières **O**rganisées en **S**ous bassins) mais en introduisant un temps de transfert à la sortie de chaque sous bassin.

1. Adaptation du code de calcul GARDENIA pour prise en compte des formats de données SANDRE étendus.
2. Adaptation pour mise sur la plate-forme DEMETER sous UNIX avec fonctionnement en temps réel automatique.
3. Actualisation du module prévision en continu des débits de la Somme et de ses affluents.
4. Analyse des possibilités d'amélioration de prévisions sur la Somme en utilisant les données météo SAFRAN spatialisées de Météo France par utilisation du code ÉROS qui associe plusieurs zones GARDENIA mais ne permet pas de réactualisation automatique des écarts de prévision.
5. Bassin de la Meuse (crues lentes) : Évaluation de possibilités de prévisions avec EROS ce qui nécessite un module de propagation (absent actuellement) compte tenu de la forme étendue du bassin et des temps de propagations amont aval de l'ordre de 4 à 5 jours.

### **Module 4. Rôle et contribution des eaux souterraines d'origine karstique aux crues : exemples des bassins d'alimentation de la Fontaine de Nîmes et du Lez.**

Le rôle et la contribution des eaux souterraines d'origine karstique aux crues méditerranéennes sont supposées voire démontrées dans certains cas. La quantification des eaux souterraines par rapport à des événements particuliers n'est pas systématique. De plus du point de vue de la prévision, l'interprétation de chroniques piézométriques au niveau de l'épikarst, de la zone noyée (drains et blocs

fissurés) sur plusieurs cycles hydrologiques permettrait de pouvoir définir des seuils d'alerte, voir des scénarios prévisionnels pour analyser le comportement du système lors d'une succession d'événements pluvieux.

Deux bassins d'alimentation karstiques peuvent être traités dans le cadre de ce module : (i) le bassin d'alimentation de la Fontaine de Nîmes et plus particulièrement des bassins versants de cadereaux (Uzès par exemple avec l'implantation d'un piézomètre représentatif) et (ii) le bassin d'alimentation de la source Lez, système karstique exploité de manière active (débit d'exploitation de 1700 l/s), donnant naissance à un fleuve côtier méditerranéen traversant un milieu urbain (Montpellier).

### **Nîmes :**

A partir d'une approche couplée hydrogéochimique et hydrogéologique, les mécanismes d'interactions entre les eaux de surface et les eaux souterraines ont été mis en évidence dans le cadre d'un projet mené par le BRGM et la Ville de Nîmes entre 2004 et début 2007. La contribution des eaux souterraines à la genèse des crues a été démontrée, à l'échelle de deux bassins versants de cadereaux, cadereau d'Uzès (en partie) et d'Alès. Tous les cadereaux n'ont pas été caractérisés. Le système d'alerte ESPADA est basé notamment sur des simulations hydrologiques de type approche par modèles « réservoirs » en cascade à l'échelle des bassins versants des cadereaux de la ville. Pour certains de ces bassins, des problèmes de calage font apparaître des problématiques de métrologie, mais aussi des problèmes de représentation du comportement du karst. Ainsi il est proposé de disposer d'un piézomètre complémentaire au niveau du bassin du cadereau d'Uzès et d'effectuer un suivi de niveau d'eau en continu voir en conductivité et température sur au minimum deux cycles hydrologiques. Un échantillonnage d'une crue sur la source et le cadereau d'Uzès permettrait de confirmer les résultats de l'étude antérieure. Les chroniques du réseau brgm et de la ville seront traitées selon les techniques du traitement du signal, afin de pouvoir déterminer les fonctions de transfert et d'effectuer des simulations en mode prédictif pour la source ou un piézomètre. L'objectif est ainsi de confirmer le rôle des eaux souterraines et l'intégration possible de seuils d'alerte au sein d'un réseau d'alerte général.

### **Lez – Montpellier :**

Quel est le rôle d'un système karstique exploité par gestion active sur la genèse des crues, tel que le système de la source du Lez ? telle est la question posée, à laquelle nous tenterons de répondre afin de déterminer des orientations de recherche pour établir des scénarios de gestion optimisée pour la mitigation de crues.

Disposant de nombreuses chroniques au niveau du fleuve côtier de sa source vers son embouchure des débits, de piézomètres, pluviomètres au niveau du bassin d'alimentation supposé, des traitements du signal seront effectués (outil TEMPO © brgm) ainsi que statistiques sur les chroniques ou pour des événements particuliers successifs, afin de déterminer le rôle et l'impact du karst exploité sur la mitigation de crues. Cette approche sera complémentaire à celle mise en place sur Nîmes, et

apportera de nouvelles perspectives pour le futur sur la gestion des systèmes karstiques et du risque inondation.

### 5.2.2. Personnels impliqués

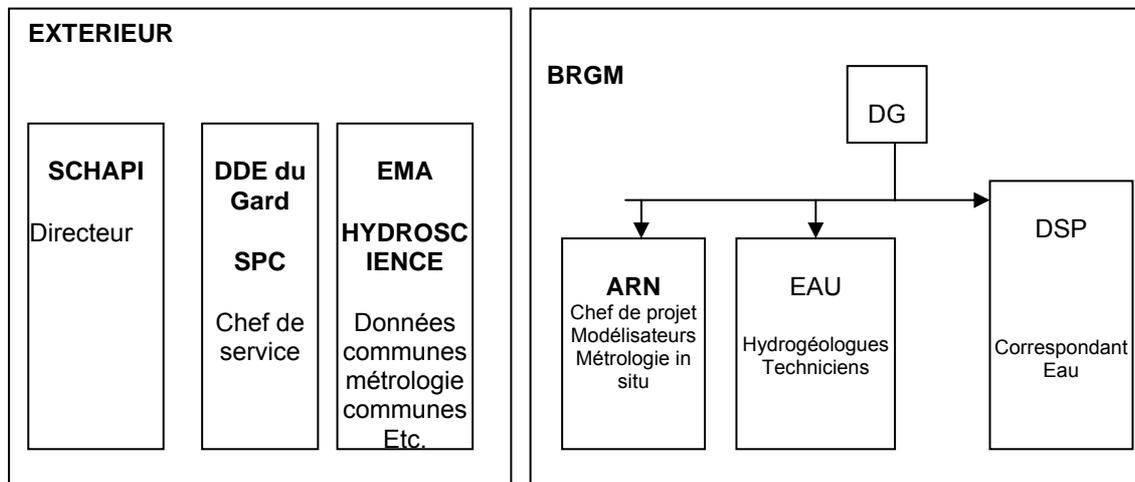
<b>Module 1. Bassin versant du Gardon d'Anduze : potentiel d'infiltration des versants</b>	<b>Acteurs</b>
1. Modélisation ... des volumes ruisselés vers un hydrogramme de crue	O.Cerdan C.King JF Desprats Ph. Stollsteiner
2. Régionalisation pour extrapoler à des territoires plus vastes les perméabilités calibrées sur le BVNE	D. Thiéry J.L. Izac

<b>Module 2. Bassin versant du Touch</b> <b>Etats de saturation des terrains</b> (instrumentation surfacique visant une approche en temps réel des états hydriques)	<b>Acteurs</b>
1. Mesures in situ en lien avec la DIREN MPY	N. Baran M. Saplaïroles F. Tilloloy
2. Analyse des données radar et modélisation	N. Baghdadi, O. Cerdan, C. King

<b>Module 3 . BV Somme</b>	<b>Acteurs</b>
Adaptation des fichiers reçus automatiquement (météo/débits)	D. Thiéry
Adaptation des résultats GARDENIA à DEMETER	
Calage des prévisions	

<b>Module 4 : Rôle et contribution des karsts (Nîmes/Lez)</b>	<b>Acteurs</b>
Nîmes : approche couplée hydrogéochimie/hydrogéologie / impact du karst sur les crues	N. Dorfliger B. Ladouche J.P. Marchal M. Blaise
Rôle d'un système karstique exploité (Lez)	

### 5.2.3. Schéma de l'organisation et des responsabilités :



### 5.2.4. Les étapes du projet :

Principales étapes	2006											
	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
<b>Module 1 – GARDON : potentiel d'infiltration</b>												
Modélisation	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
Régionalisation		X	X	X	X	X	X	X	X	X		
Synthèse/Rapport										X	X	X
<b>Module 2. TOUCH - Etats de saturation des terrains</b>												
acquisition de données terrain	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Analyse images radar	X	X	X	X	X	X	X			X	X	X
Synthèse/Rapport												
<b>Module 3 - SOMME</b>	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
<b>Module 4 – Karst Nîmes/Lez</b>	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

### 5.2.5. Equipe de projet

- **Chef de projet :** J.F. Desprats
- **Intervenants BRGM Orléans:** N. Baran  
O. Cerdan,  
C. King  
Ph. Stollsteiner  
D. Thiéry  
N. Baghdadi
- **Intervenants BRGM en région :**  
J.L. Izac  
F. Tilloloy  
M. Saplairolles  
N. Dorfliger  
B. Ladouche  
M. Blaise  
J.P. Marchal

### 5.2.6. Documents à remettre aux partenaires

Date prévue	Nature du document	Consistance	Nombre d'exemplaires	Destinataire principal
Avril 2006	D1. Rapport d'avancement T0 + 4	Instrumentation BV Touch	5 2	SCHAPI DIREN/MPY
Septembre 2006	D2. Rapport d'avancement T0 + 8	Avancement Modules 1, 2 et 3	5 2	SCHAPI SPC Grand Delta
Décembre 2006	D3. Rapport final	Synthèse globale des actions menées	5 2	SCHAPI SPC Grand Delta



## 6. Bibliographie

**Amraoui, N., C. Golaz, V. Mardhel, P. Negrel, V. Petit, J.-L. Pinault, T. Pointet,** 2002. Simulation par modèle des hautes eaux de la Somme, Rapport BRGM RP-51827-FR, 184 pp.

**Amraoui, N., Golaz, C., Mardhel, V., Pinault** (2003). Évaluation du risque d'inondation dans le bassin de la Somme : Apport de l'approche globale et de l'approche distribuée. 3<sup>ème</sup> Conférence SIRNAT – Orléans janvier 2003

**Amraoui, N., Golaz, C., Mardhel, V., Negrel, P., Petit, V., Pinault, J.L., Pointet, T.** (2002). Simulation par modèles des hautes eaux de la Somme. Rapport BRGM RP-51827-FR

**Baran N.,** 2005. Suivi de la teneur en eau des sols dans les bassins du Gardon d'Anduze et du Touch. BRGM/RP-53654-FR, 38 p.

**Cornet, J-M., Laborie, V., Ladreyt, S., Descatoire, I.** (2002). Modèle de prévision des hautes eaux de la basse vallée de la Somme. CETMEF – Division Hydraulique et Sédimentologie Fluviale 26 pp + 19 pp.

**Crampon, N., J-C. Roux., P. Bracq.** (1993). Hydrogéologie de la craie en France. Hydrogéologie, 2, pp 81 – 123.

**Desprats J.F, Sidgwick J., Ghyselinc M., Gay M., Cerdan O., Linardon F., King C.,** 2004. Etude de l'évolution du bassin versant du Touch, cartographie du potentiel d'infiltration des sols et simulations liées aux aménagements actuels et futurs. Rapport BRGM RP-53526-FR, 100 p., 73 ill.

**Desprats J-F, Baran N., Cerdan O., King C., Petelet-Giraud E., Thiéry, D.** 2005. Appui aux actions SCHAPI : Gardon d'Anduze, Avène, Touch et Somme. Rapport Annuel « Année 3 » (Avril 2005-Décembre 2005) BRGM RP-54240-FR, 96 p, 45 ill., 3 ann...

**Gaume E. et Live M. , 1999, *La crue de l'Avène des 6 et 7 octobre 1997, compte rendu d'enquête*, rapport d'étude, Ecole nationale des ponts et chaussées, Champs-sur-Marne, France.**

**Roche, P.A., Thiéry, D.** (1984) – Simulation globale de bassins hydrologiques. Introduction à la modélisation et description du modèle GARDÉNIA. Rap. BRGM 84 SGN 337 EAU.

**Roux, J-C.** (1965). Hydrogéologie du bassin de la Somme, Bull. BRGM, (1ère série) n°3 pp 1- 44.

**Roux J-C.** (1978) .Notice de l'Atlas hydrogéologique de la Somme, édition BRGM.

**Thiéry, D. (1988)** – Forecast of changes in piezometric levels by a lumped hydrological model. *Journal of Hydrology* 97 (1988), pp. 129-148.

**Thiéry, D., (1990)** - MARTHE. Modélisation d'Aquifères par maillage Rectangulaire en régime Transitoire pour le calcul Hydrodynamique des Écoulements. Version 4.3. Rapport BRGM 4S/EAU n° R32210.

**Thiéry, D., (1993)** - Modélisation des aquifères complexes - Prise en compte de la zone non saturée et de la salinité. Calcul des intervalles de confiance. *Revue Hydrogéologie*, 1993, n° 4 pp. 325-336.

**Thiéry, D. (2003)**. Logiciel GARDÉNIA version 6.0 - Guide d'utilisation. Rapport BRGM n° RP 52832

**Thiéry, D. et N. Amraoui (2001)** - Hydrological modelling of the Saône basin. Sensitivity to the soil model. *Physics and Chemistry of the Earth Journal, Part B Vol 26* (5-6) pp. 467-472 avril 2001.

**Thiéry D., Caous J.Y. (1979)** – Application d'un modèle conceptuel de prévision d'étiages à la nappe de la Craie en Picardie. Rap. BRGM 79 SGN 760 PIC.

**Thiéry D., avec la collaboration de NORMAND M., 2005**. Code ÉROS v.4.0 : Description succincte du fonctionnement et des paramètres, Note technique NT EAU 2005/04, 26 pp.

**Thiéry D., Caous J.Y. (1980)** – Région Picardie : Prévision d'évolution du niveau de la nappe de la craie pour la période avril 1980 – avril 1981. Rap. BRGM 80 SGN 453 PIC.

## **Annexe 1**

### **Compte-rendus de réunions / Missions**



Réf. :

Ramonville-Saint-Agne, le 27/03/06

<b>COMPTE RENDU DE VISITE DE TERRAIN</b>	
Rédacteur : M. Saplairoles Service Géologique Régional Midi-Pyrénées	Entité :
Projet : Suivi de la teneur en eau des sols : instrumentation du sous bassin versant de Saint-Lys	Numéro : PSP06ARN09
<b>Objet : Finalisation de l'instrumentation et récupération des données</b>	
Date : 22 mars 2006	Lieu : <b>Saiguède (31)</b>
Participants : M. Saplairoles, F. Tilloloy	
Absents : Sans Objet	
Diffusion : P. Corvaisier, C. Wittwer, J.F. Desprats, N. Baran	

## RÉSUMÉ ET CONCLUSIONS

### 1 – Récupération des données et lancement de nouvelles acquisitions

- Transfert des données sur le portable pour la parcelle « Retenue » et programmation nouvelle (pas de temps de 4h). A nouveau, données de la dernière programmation stoppées au 11 mars 2006 alors que le nombre de mesure programmé était prévu pour durer plus d'un mois. Il semblerait que les batteries se déchargent beaucoup plus rapidement que prévues initialement !
- Transfert des données sur le portable pour la parcelle « Souléris » et programmation nouvelle (pas de temps de 4h). Comme observé sur l'autre parcelle l'acquisition des données a été interrompue avant la date programmée initialement, à savoir ici le 18 mars 2006. Il semblerait à nouveau que ce soit un problème de batteries !  
Par ailleurs, problème de positionnement des bouchons BNC sur la nouvelle carte de multiplexage a entraîné l'absence d'acquisition de données sur 10 voies.
- Test de fonctionnement une fois l'installation réajustée.
- Remplacement des batteries des centrales d'acquisition TRASE pour les 2 parcelles.

### 2 – Installation des cannes tensiométriques

#### Site « Souléris » :

- Réalisation de :
  - 2 trous de 20 cm de profondeur,
  - 2 trous de 40 cm de profondeur,
  - 2 trous de 60 cm de profondeur,
  - 2 trous de 80 cm de profondeur.
- Préparation de la boue à partir de la terre prélevée au fond des trous,
- Versement de la boue au fond des trous et introduction des cannes,
- Ajout de la boue depuis la surface et tassement de façon à colmater les espaces entre les cannes et le terrain,

<p><b>Site « Retenue » :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Même opération pour la mise en place d'une canne supplémentaire à 100 cm de profondeur sur le site de « Retenue » car impossibilité d'atteindre ce niveau sur le site de « Souléris » (présence de nombreux cailloux à cette profondeur),</li> </ul>
<p><b>3 – Protection du site d'implantation des cannes tensiométriques</b> en les délimitant par des piquets en bois (d'environ 60 cm de hauteur) reliés entre eux par une ficelle et des rubans de chantier,</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Géoréférencement du site d'implantation des cannes,</li> <li>Photos des installations finales.</li> </ul>
<p><b>4 – Relevés des niveaux piézométriques</b> sur les 2 puits situés sur les parcelles instrumentées et définition des repères de mesures.</p>
<p><b>5 – Prises de photographies générale</b> du sous bassin versant de Saint-Lys</p>

Action	Responsable	Délai	Soldé
Connexion des centrales d'acquisition aux cannes tensiométriques des 2 sites	M. Saplairoles		
Mise en place de la visite mensuelle de relevés des données des différents appareils de mesure + suivi des niveaux piézométriques des puits du secteur d'étude + photos du BV	F. Tilloloy	Tous les mois	

Pas de compte-rendu de réunion rédigé par le SCHAPI pour la réunion du 6 juillet 2006 à Nîmes.

 <p>MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE ET DU DÉVELOPPEMENT DURABLE</p>	<p><b>PROJET TOUCH</b></p> <p><b>Compte rendu réunion du 14 septembre 2006</b></p>	<p>Statut : Provisoire Date : 26/10/06</p>
<p><b>Rédacteurs</b> : Caroline Wittwer &amp; Patrice Corvaisier</p>		

## Participants

BRGM : Mme Saplaïroles, MM Dutartre et Desprat,

Diren Midi-Pyrénées : M. Watrin

ESAP : M. Gay

SCHAPI : Mme Wittwer, M. Corvaisier

## Instrumentation du site « réservoir » à St LYS

Les capteurs de mesure de la teneur en eau du sol (sondes TDR) et du potentiel matriciel (tensiomètres) ont été mis en place en début d'année 2006 par le BRGM sur les 2 parcelles « Retenue » et « Souléris ». Lors de l'instrumentation, des prélèvements de sol par horizon de 10 cm ont été réalisés puis reconduits en août. Ils permettent la calibration des mesures de teneur en eau volumique obtenues par la méthode TDR.

Au cours de la visite, il est apparu

- pour le site aval « Retenue »: Pour que les caractéristiques hydrodynamiques du sol correspondent à celles du terrain alentour, il sera nécessaire de travailler le sol de la même manière et aux mêmes périodes que le terrain alentour.
- pour le site amont « Souléris »: ce site ne va plus être destiné à de la culture mais sera occupé par des chevaux. Le BRGM devra entretenir le site selon des conditions à préciser de manière à assurer malgré tout un état du sol représentatif du bassin versant.

Les données sont enregistrées depuis février 2006 avec des problèmes de données manquantes dus à l'autonomie des batterie. Depuis, ces problèmes sont résolus (passages plus fréquents de collecte des données et fréquence d'acquisition diminuée 1 donnée toutes les 4 heures).

Des questions sont soulevées au cours de la réunion :

- les teneurs en eau du sol semblent trop fortes pendant les premiers mois de mesures.
- certaines sondes semblent défailtantes notamment celles en surface.

La Diren MP a réalisé une station de mesure des débits et des pluies à l'exutoire du bassin versant. Elle est composée d'un pluviomètre, d'un gabarit en maçonnerie permettant une relation H/Q et d'un capteur de hauteur d'eau à ultrason.

Les suites pour la fin 2006 et 2007 :

- les problèmes de mesures des teneurs en eau présentés plus haut doivent être analysés par le BRGM pour s'assurer que les données collectées seront de bonne qualité. Action BRGM
- il sera nécessaire de poursuivre l'expérimentation sur plusieurs années afin d'obtenir un panel de situations suffisamment représentatif pour mieux comprendre la réponse du sol aux pluies. Action SCHAPI dans le cadre de la convention DE-BRGM.
- un indicateur de risque « ruissellement » prenant en compte la pluie et l'état du sol en début d'évènement sera à étudier. Action BRGM
- les données récoltées pourraient servir de validation à différents procédés d'estimation de l'état hydrique d'un sol. Modélisation ISBA (Météo-France) ou AIGA (Météo-France et Cémagref), mesures radar par satellites (CNES). Le Schapi se charge de contacter ces services pour avancer sur ce point. Action SCHAPI

## **Mesures de perméabilités sur le bassin du Touch**

Le BRGM a consolidé son échantillon de mesures de perméabilités par un nombre important de mesures au perméamètre de Guelph. Ce travail devrait aboutir à présenter des cartes de perméabilités des sols en fonction de la saison et de l'utilisation du sol, jusqu'au type de culture.

Les suites pour 2007 :

- Ce travail serait à valoriser dans une utilisation par des modèles hydrologiques distribués (MARINE de l'IMFT ou STREAM du BRGM). Une action vers l'IMFT sera réalisée. Action SCHAPI et BRGM
- La DIREN MP souhaite obtenir des indicateurs relativement simples et utilisables dans ses modèles de la plateforme Sophie (notamment les modèles globaux pluie-débit). Il pourrait s'agir notamment de créer des modèles « saisonniers » vu les différences importantes de perméabilité qui peuvent être observées selon la saison et le type de culture. Action Diren MP et soutien SCHAPI
- La construction d'un indicateur de risque sera regardée sur l'ensemble du bv du TOUCH dès qu'on aura avancé sur celui créé au niveau du BV « réservoir ». Action BRGM qui précisera la méthodologie.

## **Annexe 2**

### **BV du Touch - visites de terrain**



### 25 janvier 2006

- Installation des sondes TDR sur les parcelles dénommées « Retenue » et « Souleris »
  - ❖ Ouverture de 3 fosses de 1,0 m de large, 1,1 m de profondeur et 2,0 m de long à l'aide d'une pelle mécanique pour la parcelle « Retenue »,
  - ❖ Ouverture de 2 fosses (Fosses n°1 et n°3) de 1,0 m de profondeur pour la parcelle « Souleris » + une troisième (Fosse n°2) de seulement 0,80 m de profondeur en raison de la présence d'un horizon enduré de « grepp »,
  - ❖ Installation de 7 sondes TDR dans chacune des fosses et à différentes profondeurs,
  - ❖ Rebouchage des fosses,
  - ❖ Raccords des sondes aux 2 boîtiers de mesure (un sur chaque parcelle).
  - ❖ Programmation des premières acquisitions de données de la parcelle « Retenue ».
- Prélèvements d'échantillons de sols tous les 10 cm dans chacune des fosses ouvertes destinés à des mesures de teneurs en eau pondérales et d'analyses granulométriques 5 fractions
- Installation de 13 cannes tensiométriques sur la parcelle « Retenue », à savoir 3 cannes à 20 cm, à 40 cm, à 80 cm et à 100 cm et 1 canne à 60 cm
  - ❖ Protection du site d'implantation des cannes tensiométriques en les délimitant par des piquets en bois (d'environ 60 cm de hauteur),
  - ❖ Géoréférencement du site d'implantation des cannes,

### 17 février 2006

- Finalisation des aménagements concernant l'instrumentation des sondes TDR
  - ❖ Raccord de rallonges pour les sondes TDR implantées dans les fosses les plus proches des boîtiers de mesure et éloignement de ceux-ci d'environ 1 ou 2 m,
  - ❖ Fixation des boîtiers de mesure sur des piquets en bois pour les 2 sites afin de les isoler du sol et de l'humidité,
  - ❖ Délimitation de chacune des 3 fosses pour les 2 parcelles à l'aide de 2 piquets en bois.
- Déchargements des données sur la parcelle « Retenue » et lancement de nouvelles acquisitions
  - ❖ Déchargement des données pour la parcelle « Retenue » et programmation nouvelle (pas de temps de 4h). Acquisition de données de la dernière programmation stoppées au 08 février 2006,

- ❖ Remplacement de la batterie de la centrale d'acquisition TRASE pour la parcelle « Retenue »,
  - ❖ Installation d'une carte supplémentaire au multiplexer de la parcelle « Souleris »,
  - ❖ Programmation des premières acquisitions de données pour la parcelle « Souleris ».
- Relevés des niveaux piézométriques sur les 2 puits situés sur les parcelles instrumentées et définition des repères de mesures

#### **22 mars 2006**

- Déchargements des données et lancement de nouvelles acquisitions
  - ❖ Déchargement des données pour les 2 parcelles et programmation nouvelle (pas de temps de 4h). Fin de l'acquisition des données au 11 mars 2006 pour « Retenue » et au 18 mars pour « Souleris »,
  - ❖ Remplacement des batteries des centrales d'acquisition TRASE pour les 2 parcelles.
- Installation de 10 cannes tensiométriques sur la parcelle « Souleris », à savoir 2 cannes à 20 cm, à 40 cm, à 60 cm et à 80 cm
  - ❖ Protection du site d'implantation des cannes tensiométriques en les délimitant par des piquets en bois (d'environ 60 cm de hauteur),
  - ❖ Géoréférencement du site d'implantation des cannes,
- Relevés des niveaux piézométriques sur les 2 puits situés sur les parcelles instrumentées

#### **20 avril 2006**

- Déchargements des données et lancement de nouvelles acquisitions
  - ❖ Déchargement des données pour les 2 parcelles et programmation nouvelle (pas de temps de 4h). Fin de l'acquisition des données au 13 avril 2006 pour « Retenue » et au 04 avril pour « Souleris »,
  - ❖ Remplacement des batteries des centrales d'acquisition TRASE pour les 2 parcelles.
- Relevés des niveaux piézométriques sur les 2 puits situés sur les parcelles instrumentées

#### **23 mai 2006**

- Déchargements des données et lancement de nouvelles acquisitions
  - ❖ Déchargement des données pour les 2 parcelles et programmation nouvelle (pas de temps de 4h). Fin de l'acquisition des données au 17 mai 2006 pour « Retenue » et au 23 mai pour « Souleris »,

- ❖ Problème de fonctionnement pour la sonde à 10 cm de profondeur dans la fosse n°1 à « Souleris » : aucune donnée disponible
- ❖ Remplacement des batteries des centrales d'acquisition TRASE pour les 2 parcelles.
- Relevés des niveaux piézométriques sur les 2 puits situés sur les parcelles instrumentées

#### **20 juin 2006**

- Déchargements des données des sondes TDR et lancement de nouvelles acquisitions
  - ❖ Déchargement des données pour les 2 parcelles et programmation nouvelle (pas de temps de 4h). Fin de l'acquisition des données au 13 juin 2006 pour « Retenue » et au 20 juin pour « Souleris »,
  - ❖ Problème de fonctionnement pour la sonde à 10 cm de profondeur dans la fosse n°1 à « Souleris » : aucune donnée disponible,
  - ❖ Fonctionnement par intermittence des sondes à 10 et 30 cm de profondeur dans la fosse n°2 et aucune données disponible pour la sonde à 10 cm de la fosse n°3 pour « Retenue »,
  - ❖ Remplacement des batteries des centrales d'acquisition TRASE pour les 2 parcelles.
- Connexion des capteurs des cannes tensiométriques aux centrales d'acquisition pour les 2 parcelles et programmation de celles-ci avec un pas de temps de 4 h
- Relevés des niveaux piézométriques sur les 2 puits situés sur les parcelles instrumentées
- Premier déchargement des données pluviométriques et des débits enregistrés à la station d'acquisition installée par la DIREN Midi-Pyrénées. Fonctionnement de celle-ci depuis le 03 avril 2006.

#### **17 juillet 2006**

- Déchargements des données des sondes TDR et lancement de nouvelles acquisitions
  - ❖ Déchargement des données pour les 2 parcelles et programmation nouvelle (pas de temps de 4h). Fin de l'acquisition des données au 08 juillet pour « Souleris »,
  - ❖ Réacquisition de données pour la sonde à 10 cm de profondeur dans la fosse n°1 à « Souleris » à partir du 21 juin 2006,
  - ❖ Problème important de batteries pour la centrale d'acquisition de « Retenue » : absence de données depuis le 13 juin,
  - ❖ Remplacement des batteries des centrales d'acquisition TRASE pour les 2 parcelles.

- Déchargements des données des cannes tensiométriques
- Moisson du blé de la parcelle « Retenue » nécessitant de débrancher les fils reliés à la centrale d'acquisition. Réinstallation le jour même. 2 cannes tensiométriques de 100 et 20 cm de profondeur ont été endommagées au cours de cette opération.
- Relevés des niveaux piézométriques sur les 2 puits situés sur les parcelles instrumentées
- Prélèvements d'échantillons de sols tous les 10 cm à l'aide d'une tarière à main dans chacune des 2 parcelles destinés à des mesures de teneurs en eau pondérales,

#### **21 juillet 2006**

- Déchargements des données des sondes TDR pour la parcelle « Retenue » et lancement de nouvelles acquisitions
  - ❖ Déchargement des données entre le 17 et 21 juillet pour « Retenue » afin de vérifier son bon fonctionnement et programmation nouvelle (pas de temps de 4h),
  - ❖ Fonctionnement par intermittence des sondes à 10 cm de profondeur pour les fosses n°2 et n°3 ainsi que pour celle à 80 cm de la fosse n°1

#### **29 août 2006**

- Déchargements des données des sondes TDR et lancement de nouvelles acquisitions
  - ❖ Déchargement des données pour les 2 parcelles et programmation nouvelle (pas de temps de 4h). Fin de l'acquisition des données au 27 juillet pour « Retenue » et au 29 août pour « Souleris »,
  - ❖ Fonctionnement par intermittence des sondes à 10 cm pour les fosses n°2 et n°3 ainsi que pour celle à 80 cm de la fosse n°1 jusqu'au 19 juillet (reprise d'un fonctionnement normal après cette date pour la sonde à 80 cm),
  - ❖ Remplacement des batteries des centrales d'acquisition TRASE pour les 2 parcelles.
- Déchargements des données des cannes tensiométriques
- Relevés des niveaux piézométriques sur les 2 puits situés sur les parcelles instrumentées
- Déchargement des données pluviométriques et des débits enregistrés à la station d'acquisition installée par la DIREN Midi-Pyrénées

### **13 septembre 2006**

- Déchargements des données des sondes TDR et lancement de nouvelles acquisitions
  - ❖ Déchargement des données pour les 2 parcelles et programmation avec un pas de temps plus court (2h) afin d'enregistrer les évolutions des événements pluvieux avec une plus grande précision. Fin de l'acquisition des données au 13 septembre pour les 2 sites,
  - ❖ Fréquence des visites de terrain passe à 15 jours au lieu d'un mois pour éviter la perte de donnée,
  - ❖ Même problème pour les sondes à 10 cm des fosses n°2 et n°3 ainsi que pour celle à 80 cm de la fosse n°1,
  - ❖ Remplacement des batteries des centrales d'acquisition TRASE pour les 2 parcelles.
- Relevés des niveaux piézométriques sur les 2 puits situés sur les parcelles instrumentées
- Déchargement des données pluviométriques et des débits enregistrés à la station d'acquisition installée par la DIREN Midi-Pyrénées

### **21 et 22 septembre 2006**

- Coupe du blé sur la zone d'expérimentation de la parcelle « Souléris »,
- Labour des sols des 2 secteurs d'étude à l'aide d'un motoculteur afin que les sites d'expérimentation restent représentatifs par rapport à l'ensemble des parcelles,
- Parcelle « Souléris » sera semée en herbe alors que celle de « Retenue » le sera en colza,

### **29 septembre 2006**

- Déchargements des données des sondes TDR et lancement de nouvelles acquisitions
  - ❖ Déchargement des données pour les 2 parcelles et programmation nouvelle (pas de temps de 2h). Fin de l'acquisition des données au 26 septembre pour « Retenue » et au 29 septembre pour « Souléris »,
  - ❖ Fonctionnement par intermittence de la sonde à 80 cm pour la fosse n°1 et pour celles à 10 cm des fosses n°2 et n°3 jusqu'au 14 septembre (reprise d'un fonctionnement normal après cette date). Ces reprises semblent correspondre à un événement pluvieux important,

- ❖ Remplacement des batteries des centrales d'acquisition TRASE pour les 2 parcelles.
- Déchargements des données des cannes tensiométriques
- Déchargement des données pluviométriques et des débits enregistrés à la station d'acquisition installée par la DIREN Midi-Pyrénées
- Relevés des niveaux piézométriques sur les 2 puits situés sur les parcelles instrumentées

**23 octobre 2006**

- Déchargements des données des sondes TDR et lancement de nouvelles acquisitions
  - ❖ Déchargement des données pour les 2 parcelles et programmation nouvelle (pas de temps de 2h). Fin de l'acquisition des données au 11 octobre pour « Retenue » et au 22 octobre pour « Souléris »,
  - ❖ Seule la sonde à 80 cm fonctionne toujours par intermittence dans la fosse n°1,
  - ❖ Remplacement des batteries des centrales d'acquisition TRASE pour les 2 parcelles.
- Déchargements des données des cannes tensiométriques
- Relevés des niveaux piézométriques sur les 2 puits situés sur les parcelles instrumentées
- Déchargement des données pluviométriques et des débits enregistrés à la station d'acquisition installée par la DIREN Midi-Pyrénées
- Prélèvements d'échantillons de sols tous les 10 cm à l'aide d'une tarière à main dans chacune des 2 parcelles destinés à des mesures de teneurs en eau pondérales,

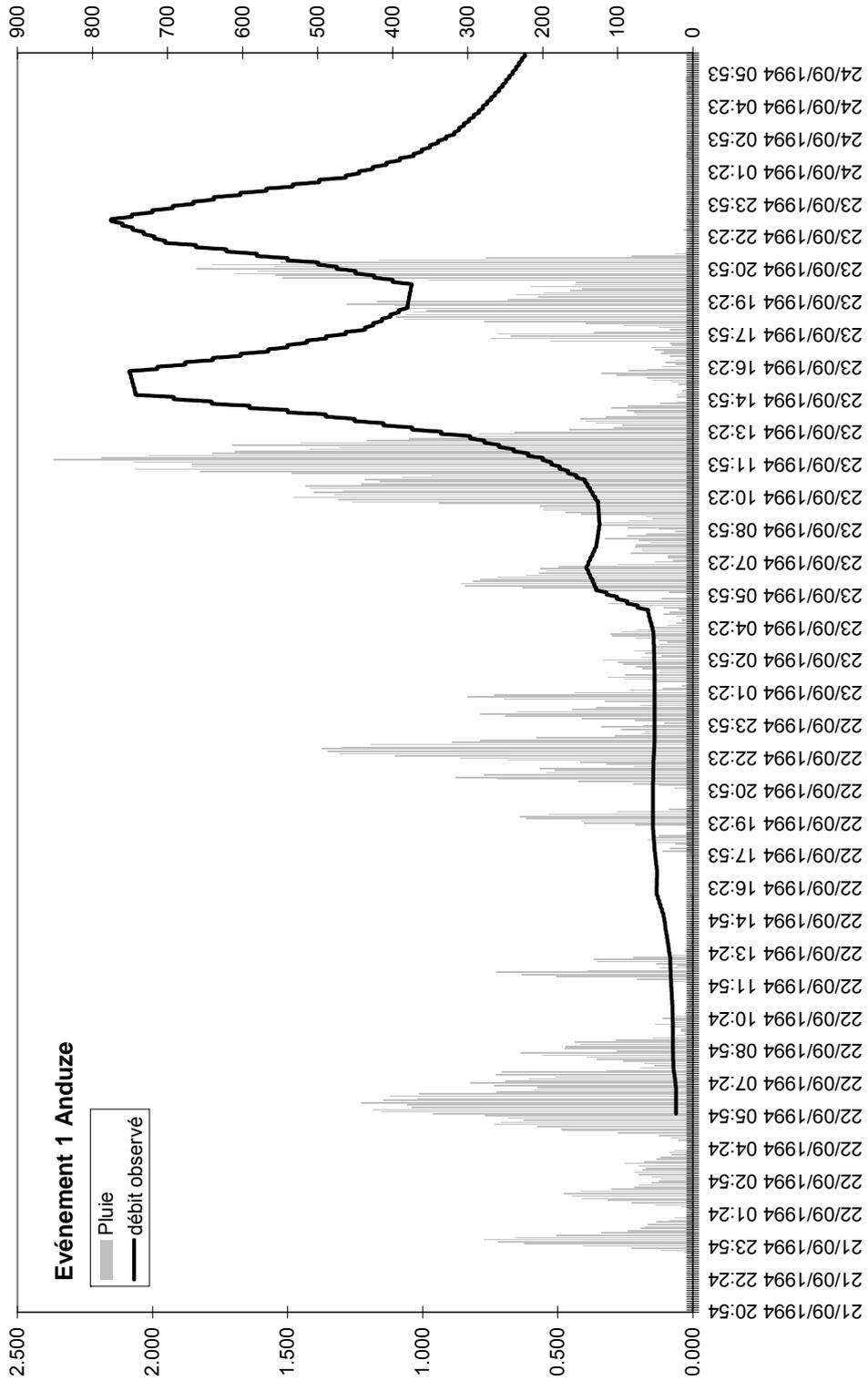
## **Annexe 3**

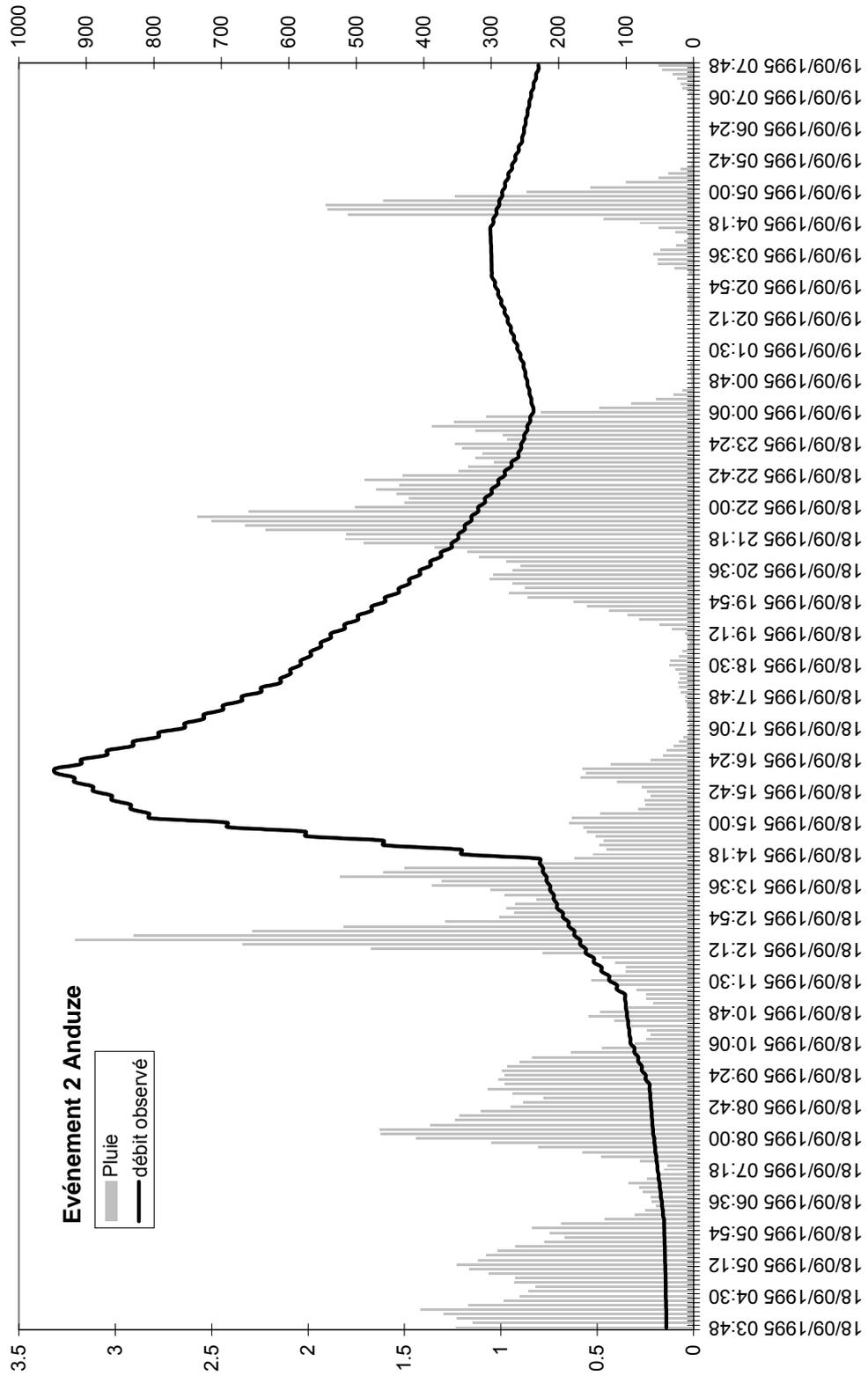
### **Hiétogrammes et hydrogrammes - Anduze**

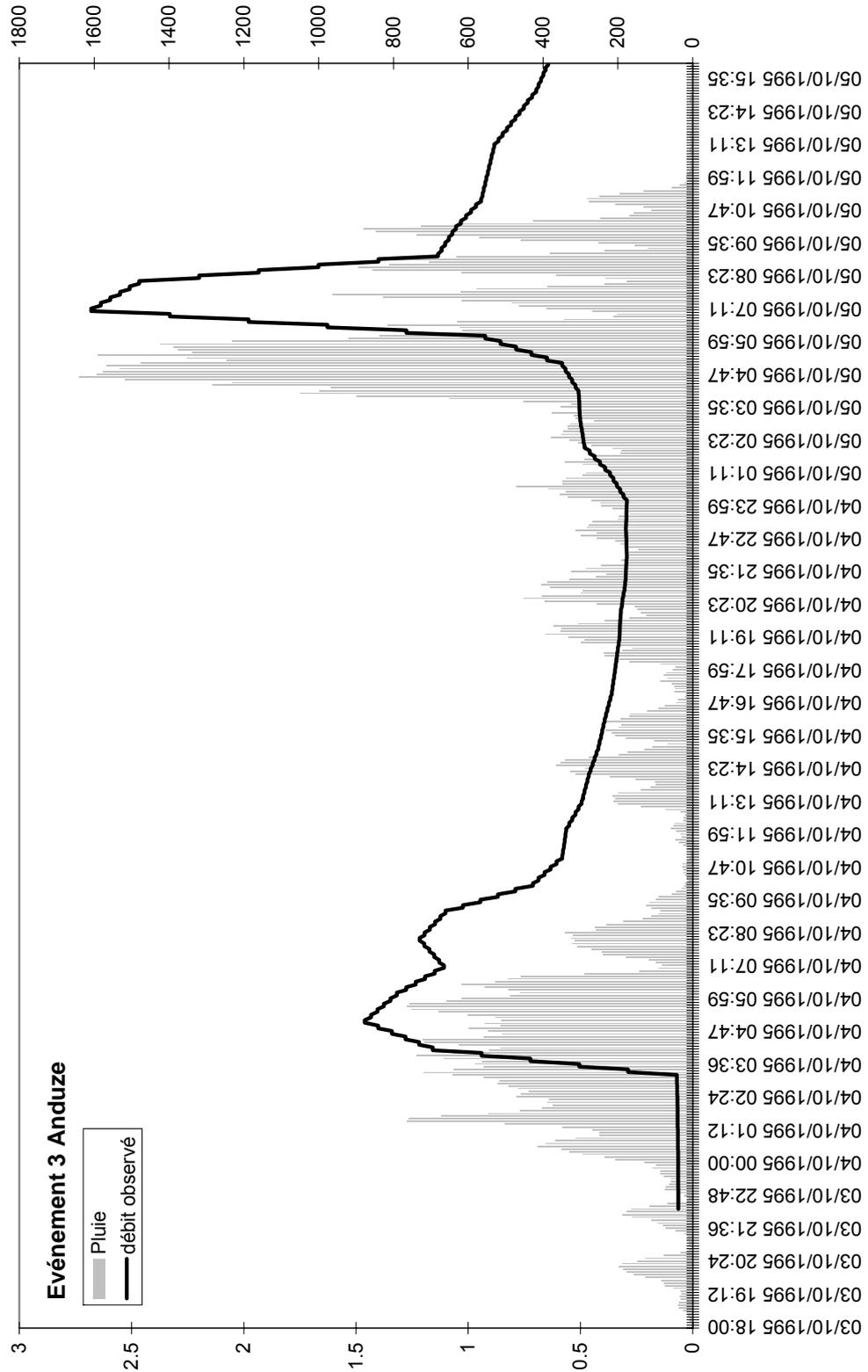


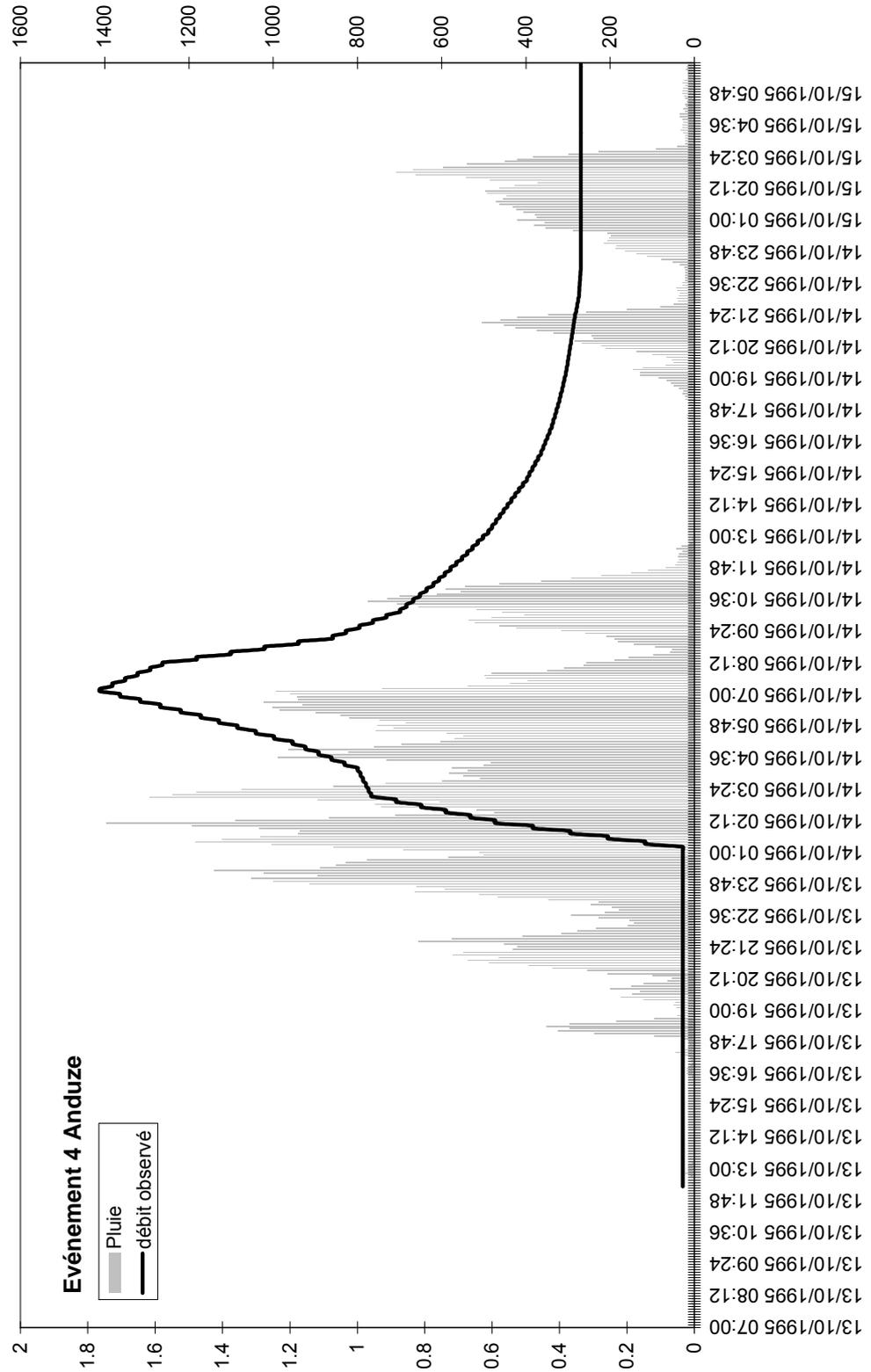
Hyétogrammes et hydrogrammes des 19 événements pluvieux présents dans la base de données du bassin versant numérique du bassin versant d'Anduze pour la station d'Anduze.

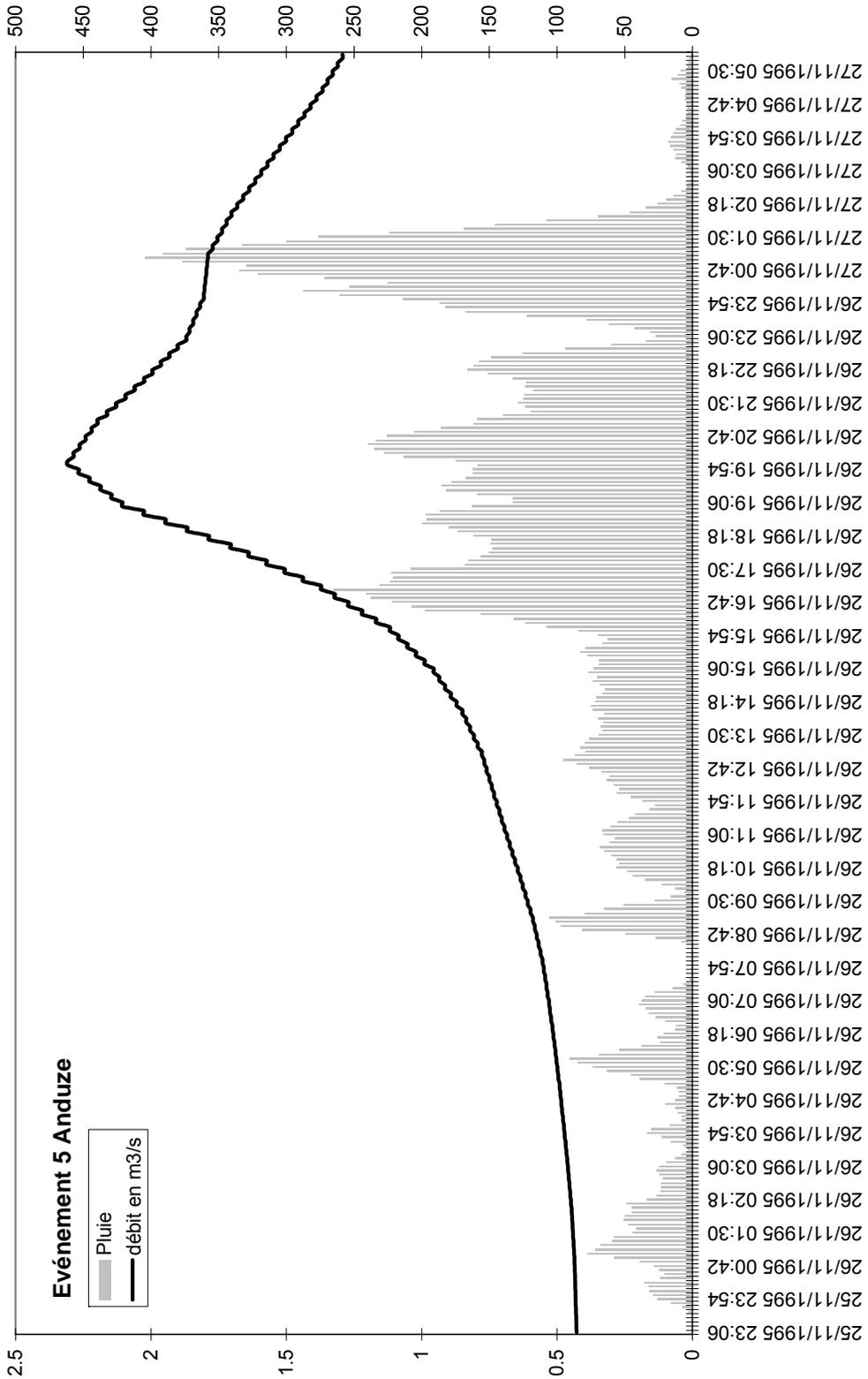
- sur l'axe des abscisses : la date ;
- sur l'axe des ordonnées de gauche : l'intensité de pluie en  $1/10^{\text{ème}}$  de mm ;
- sur l'axe des ordonnées de droite : le débit en  $\text{m}^3/\text{s}$ .

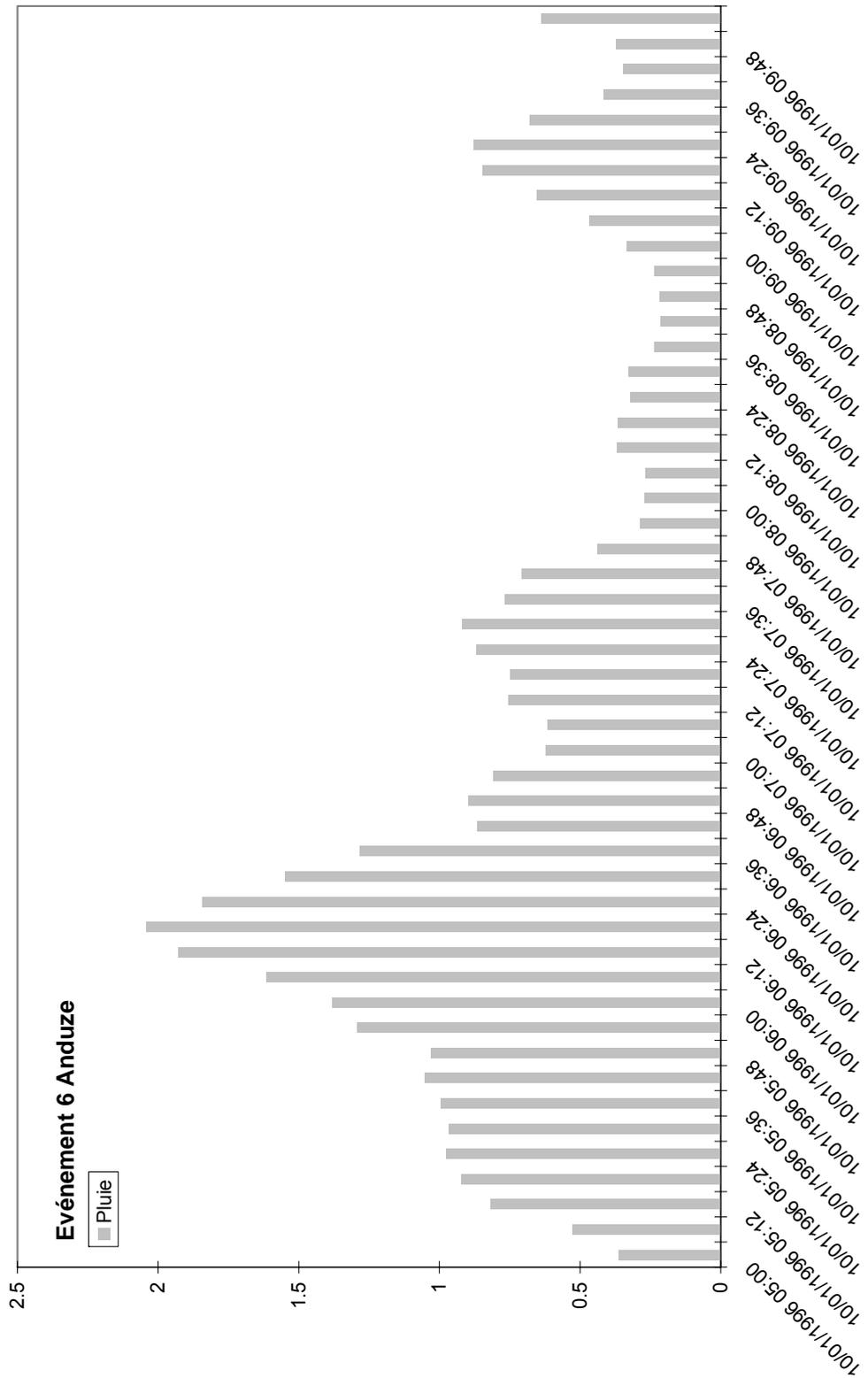


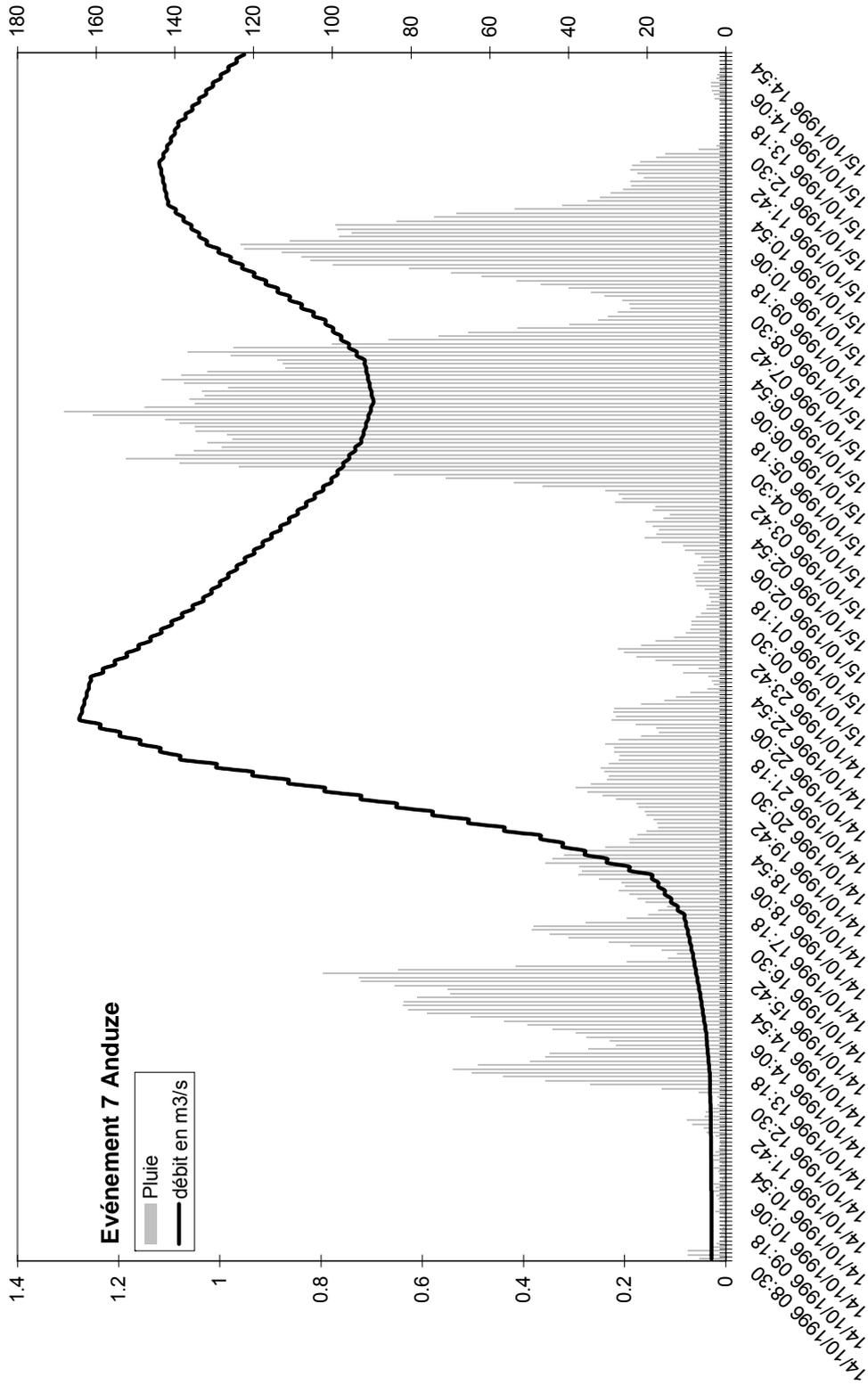


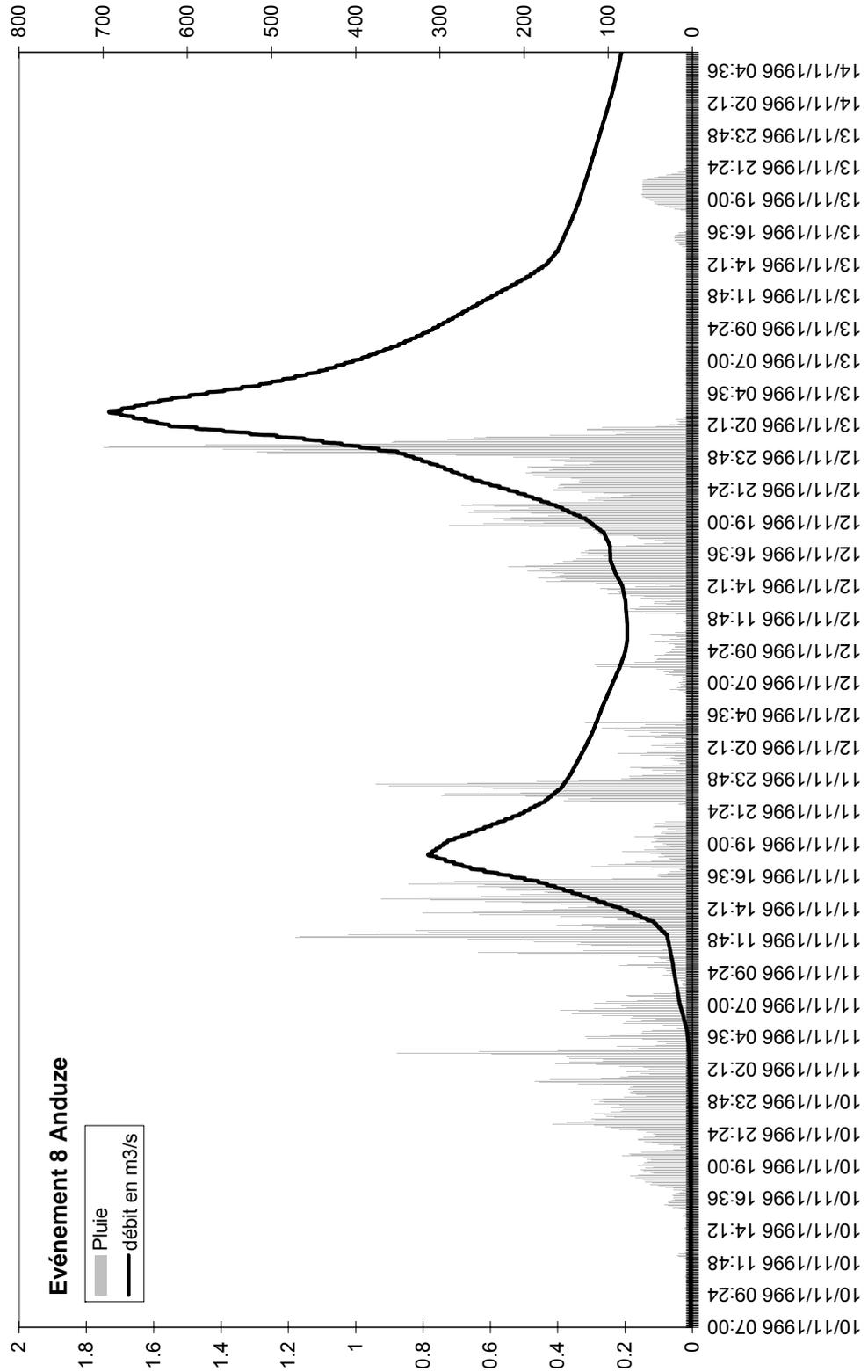


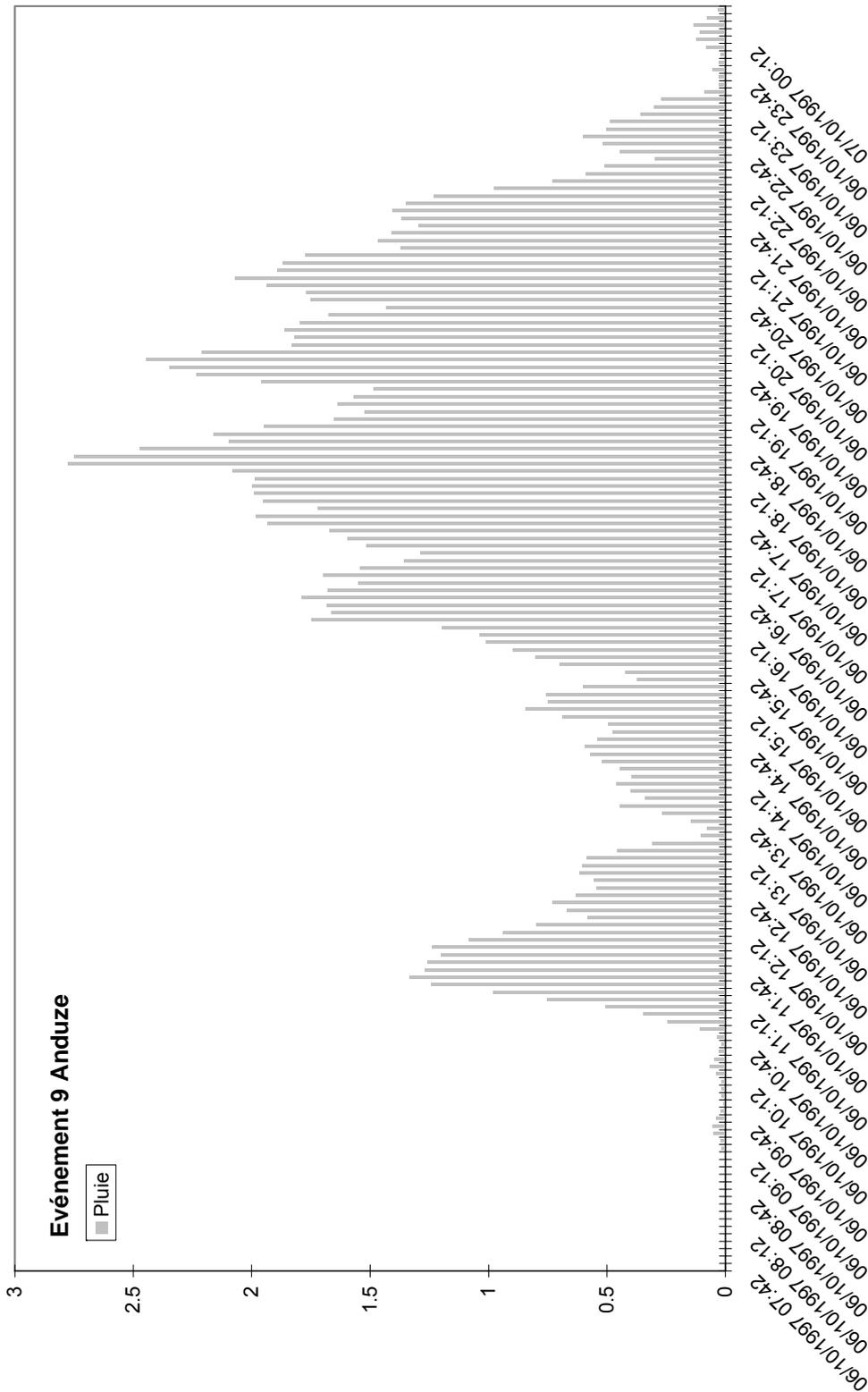


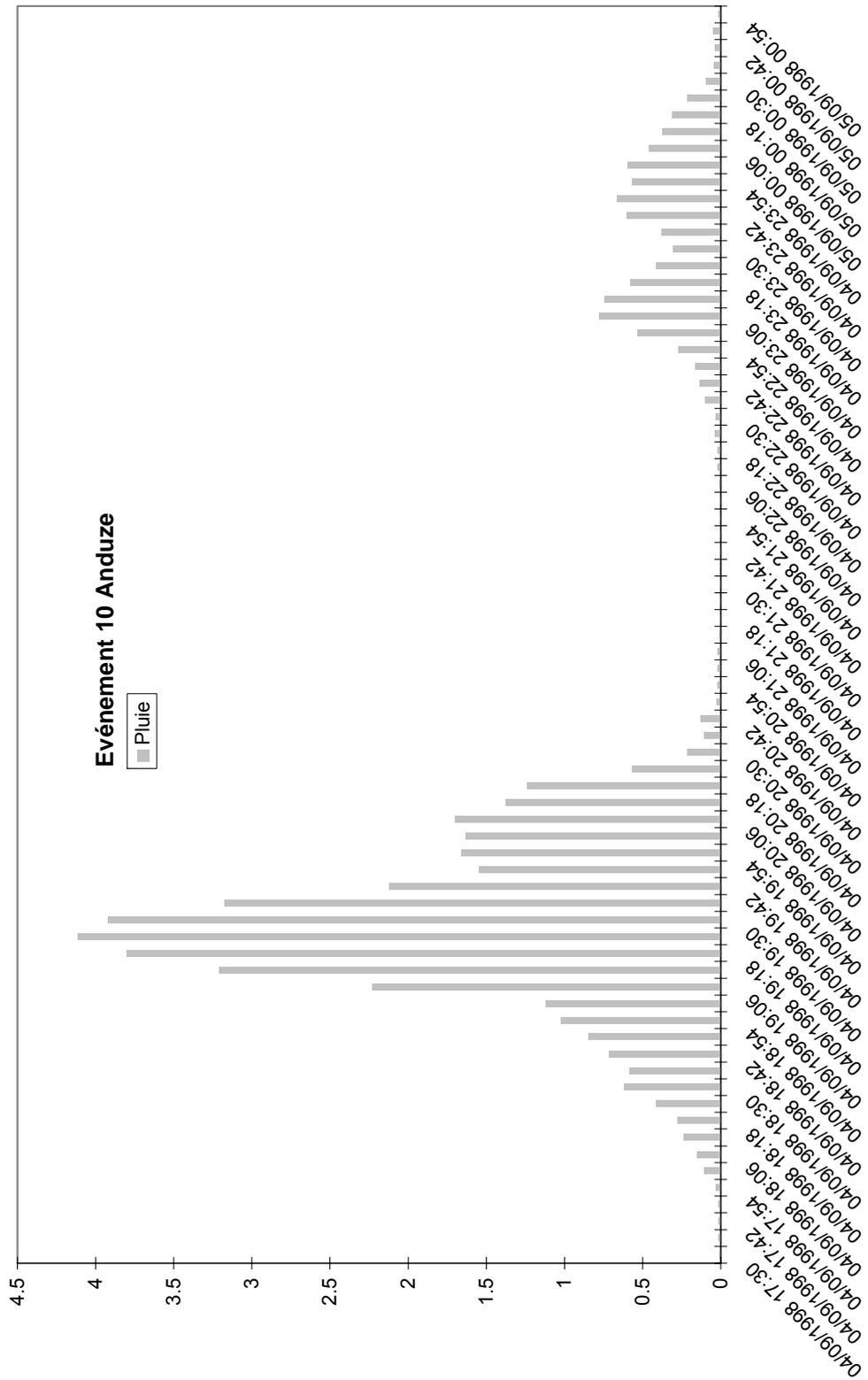


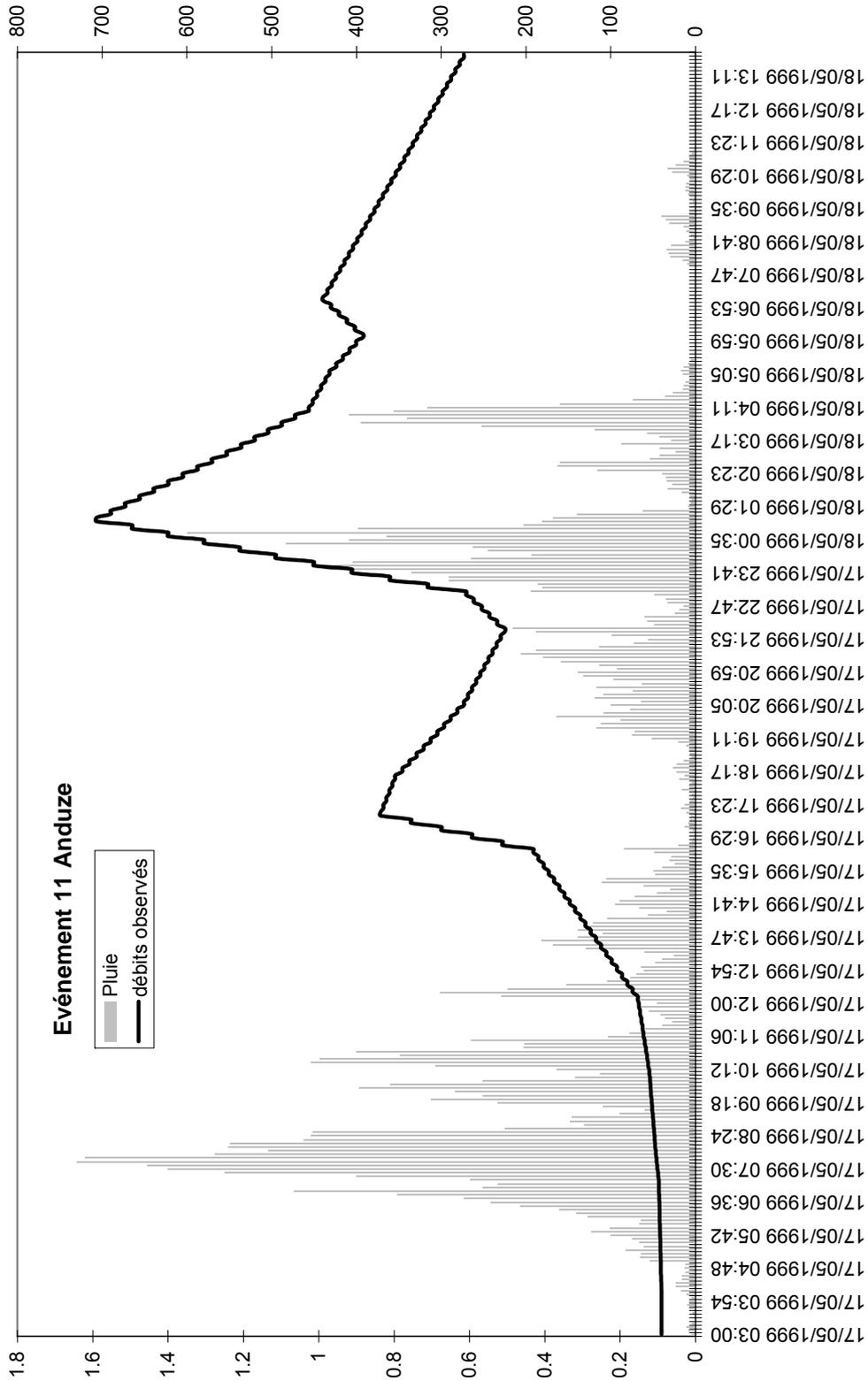


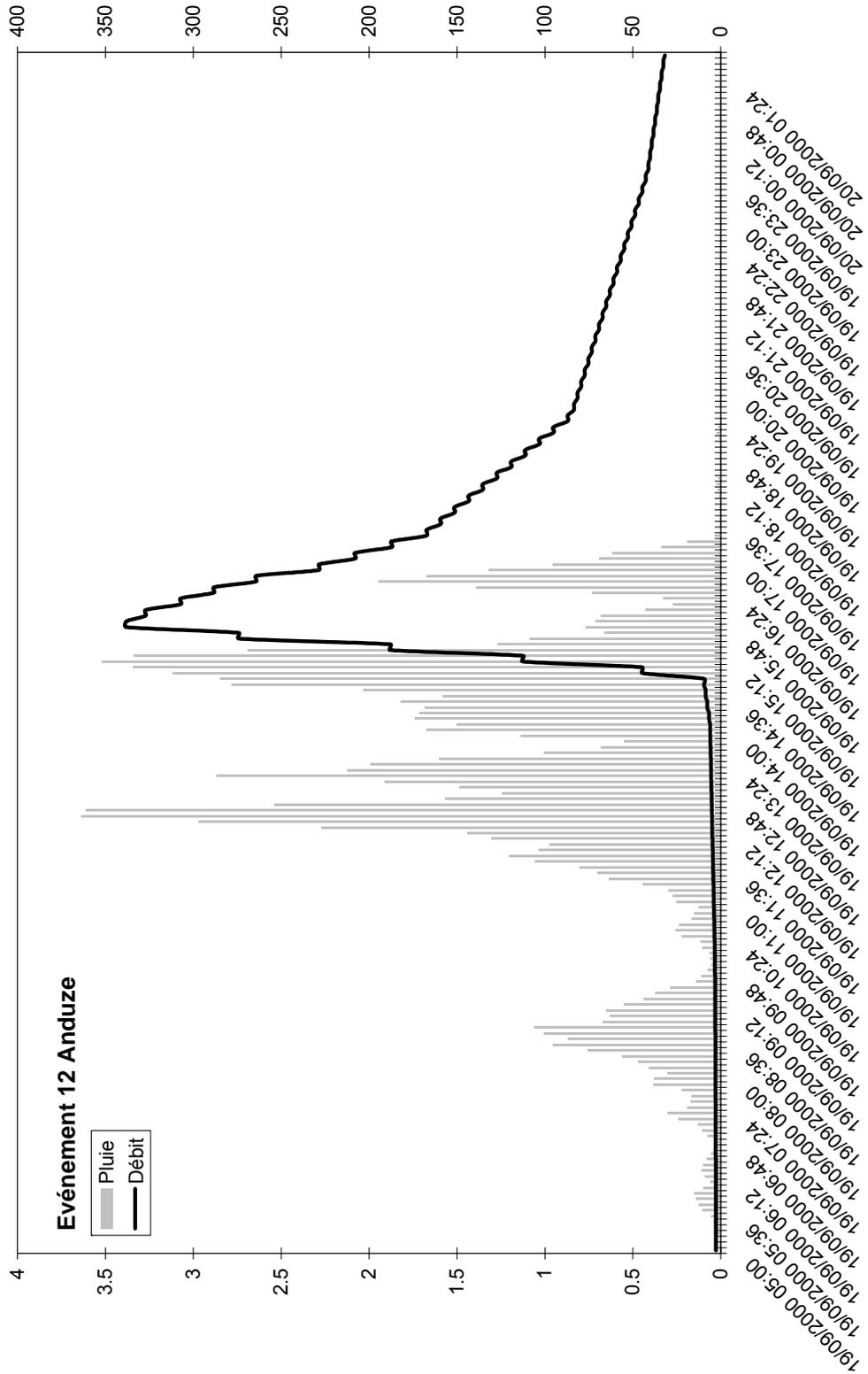


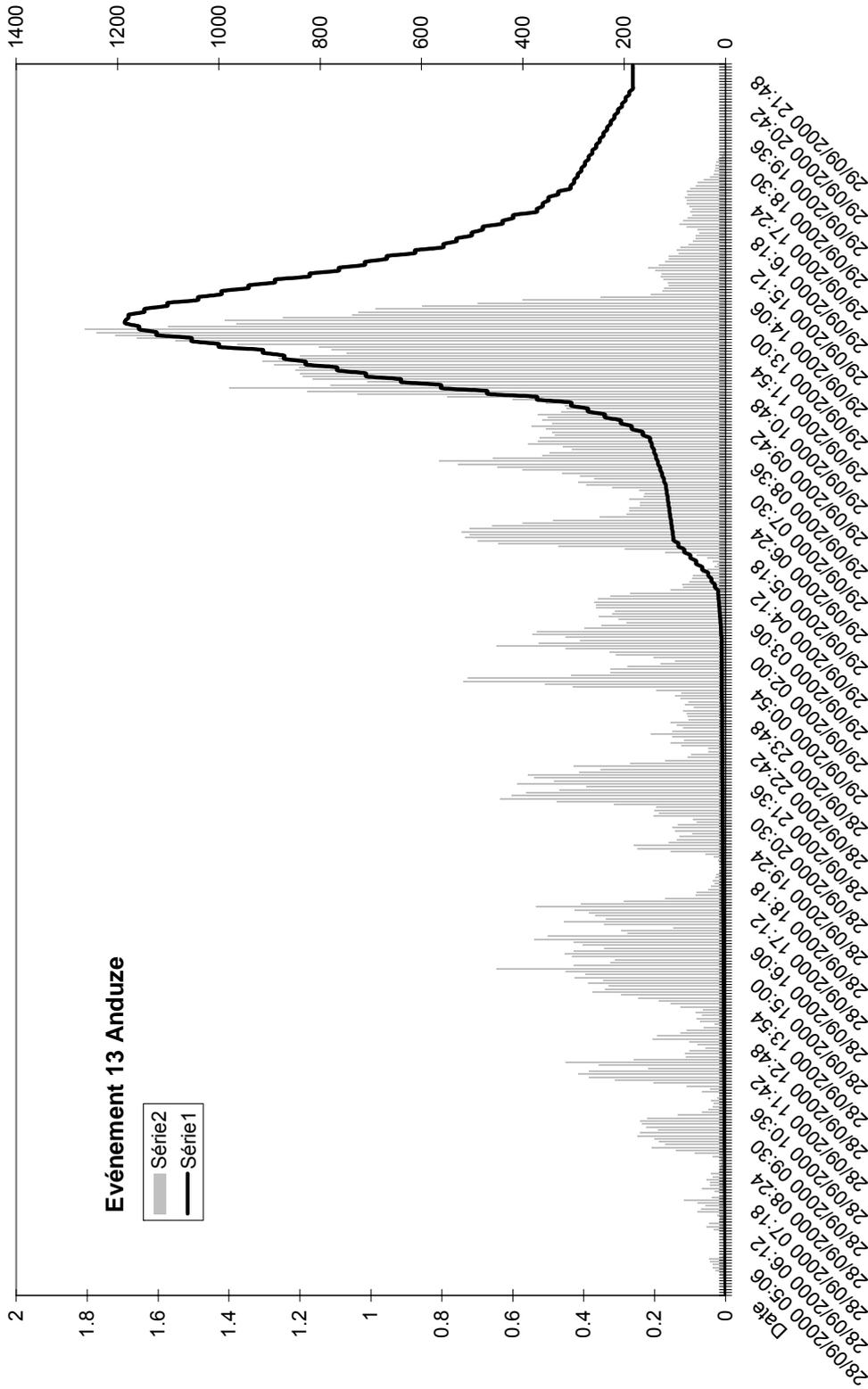


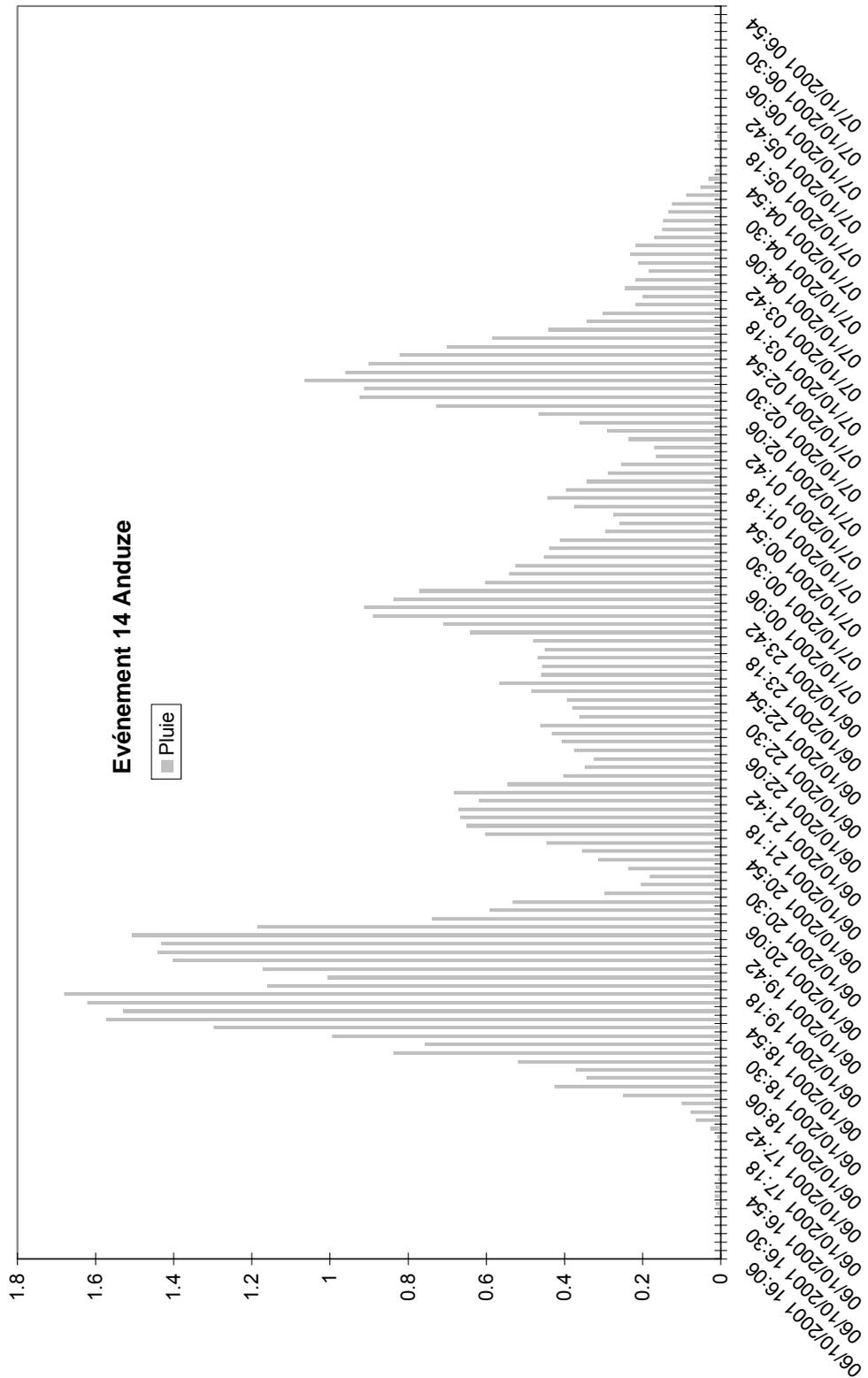


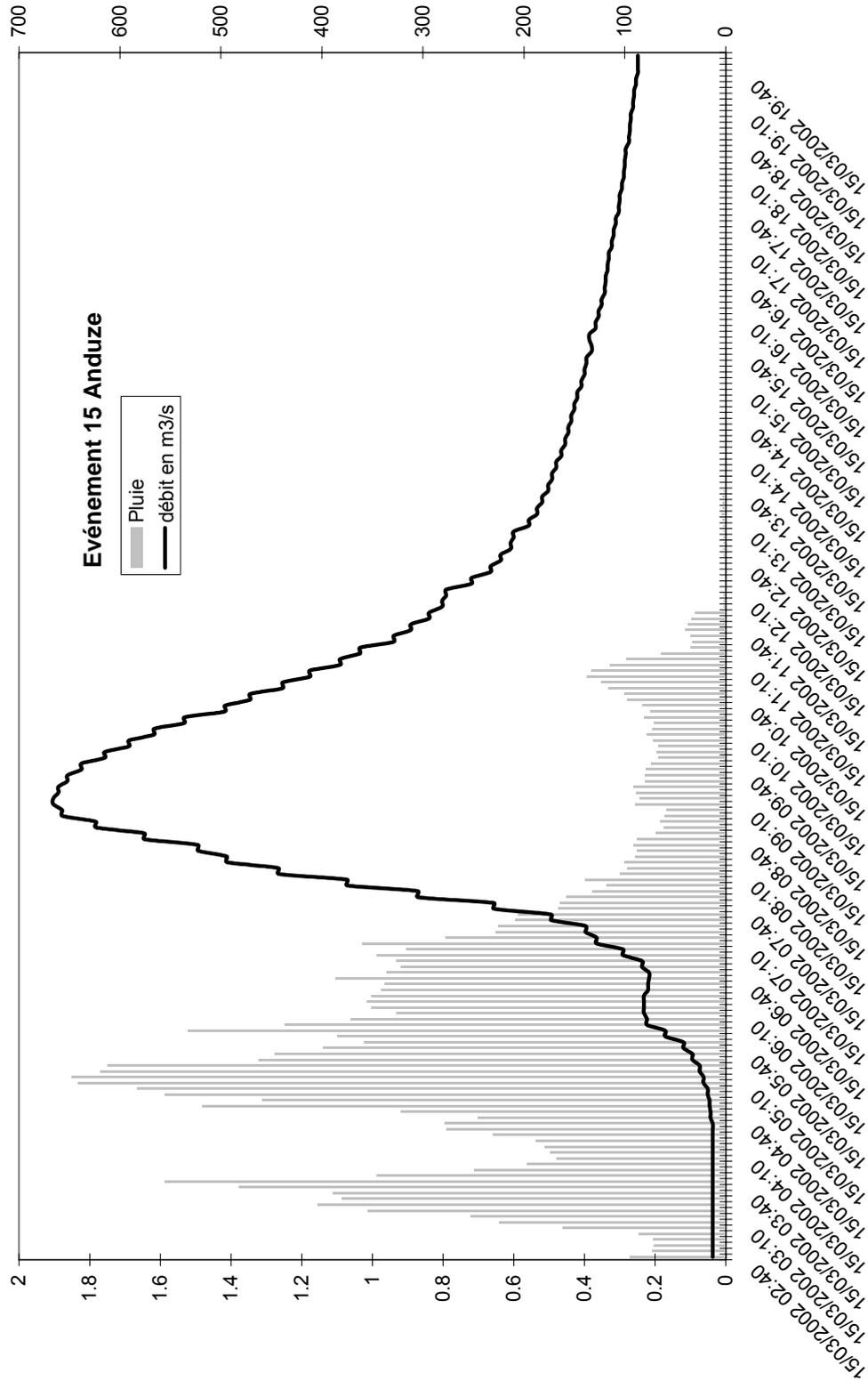


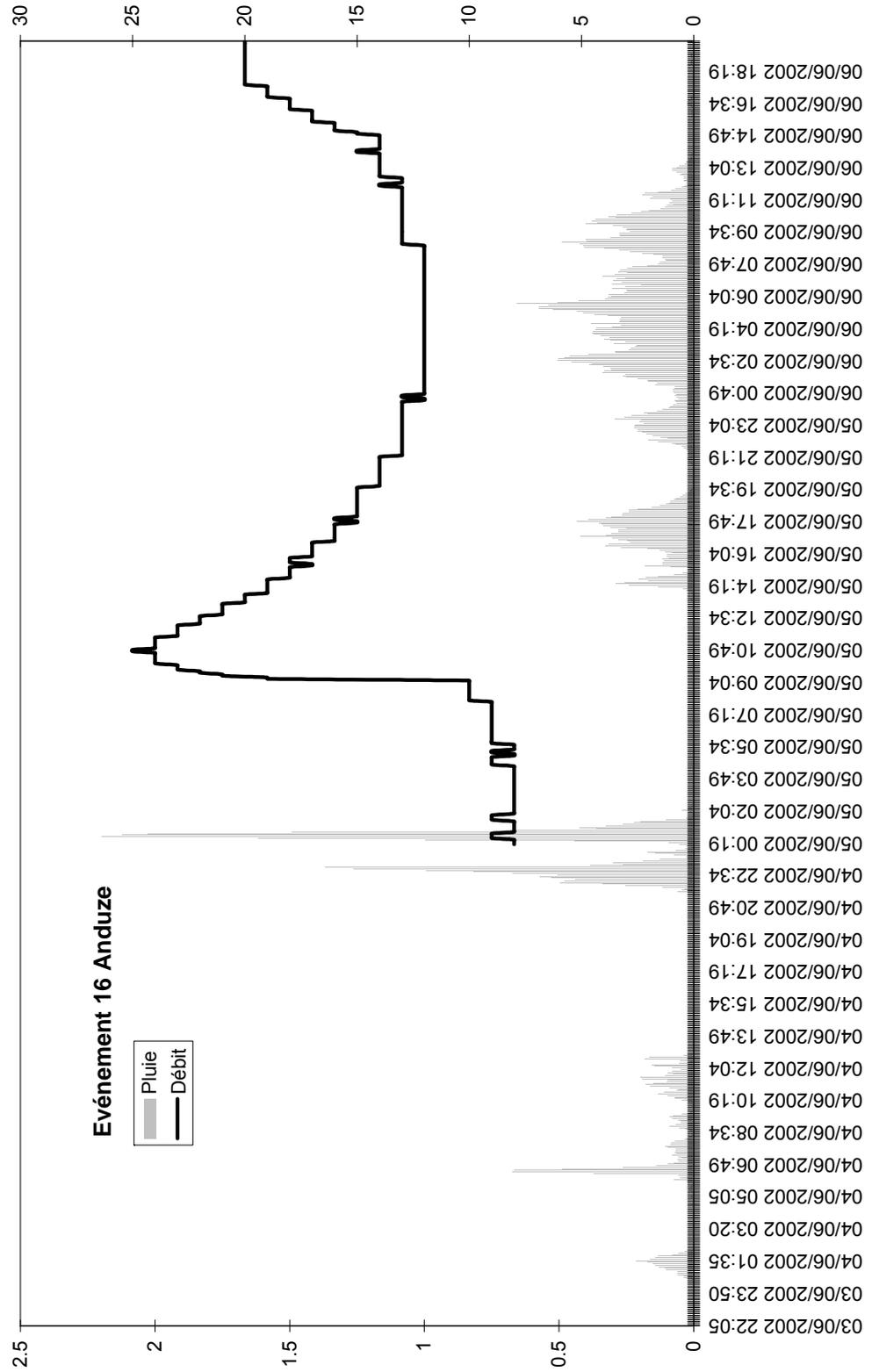


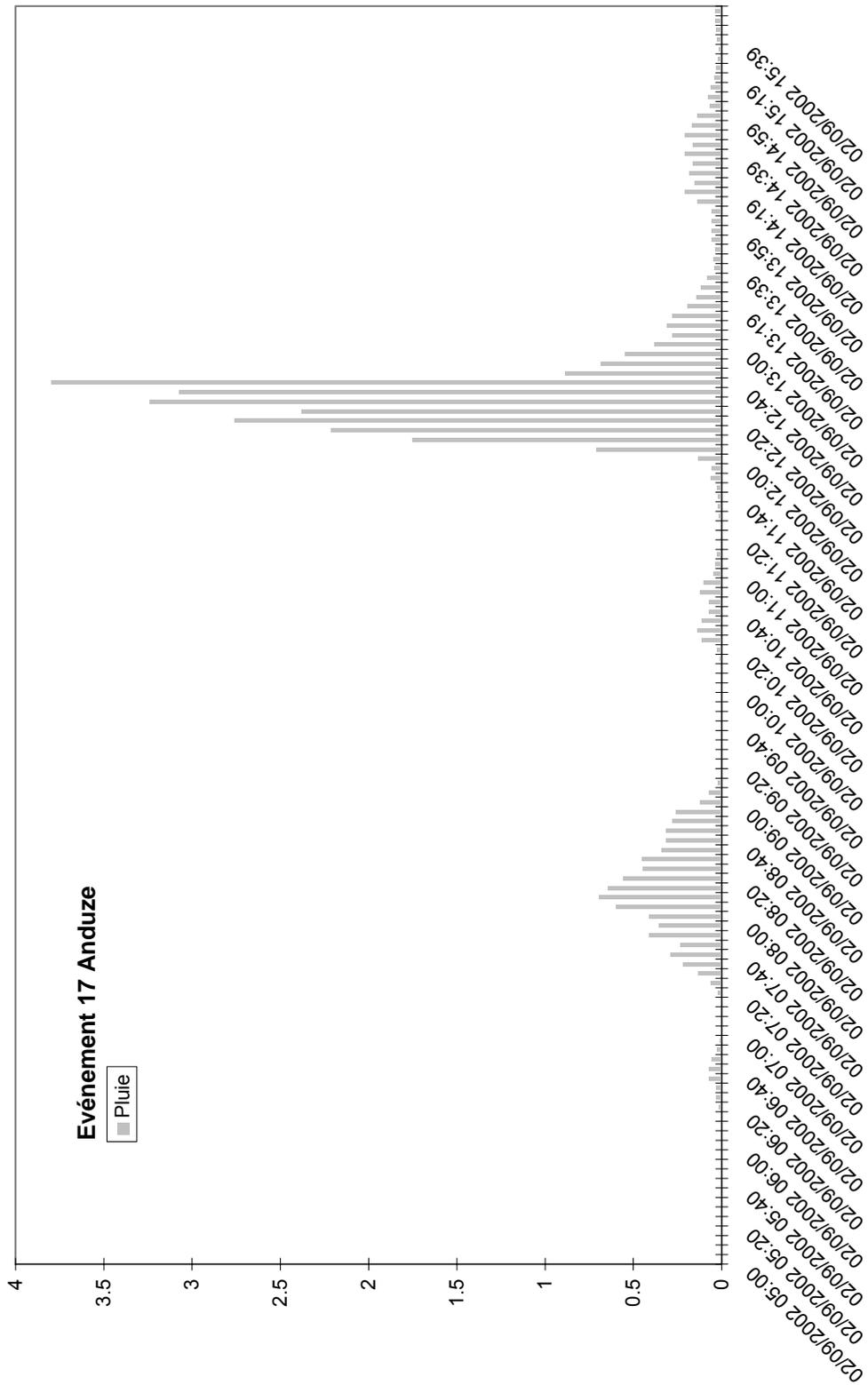


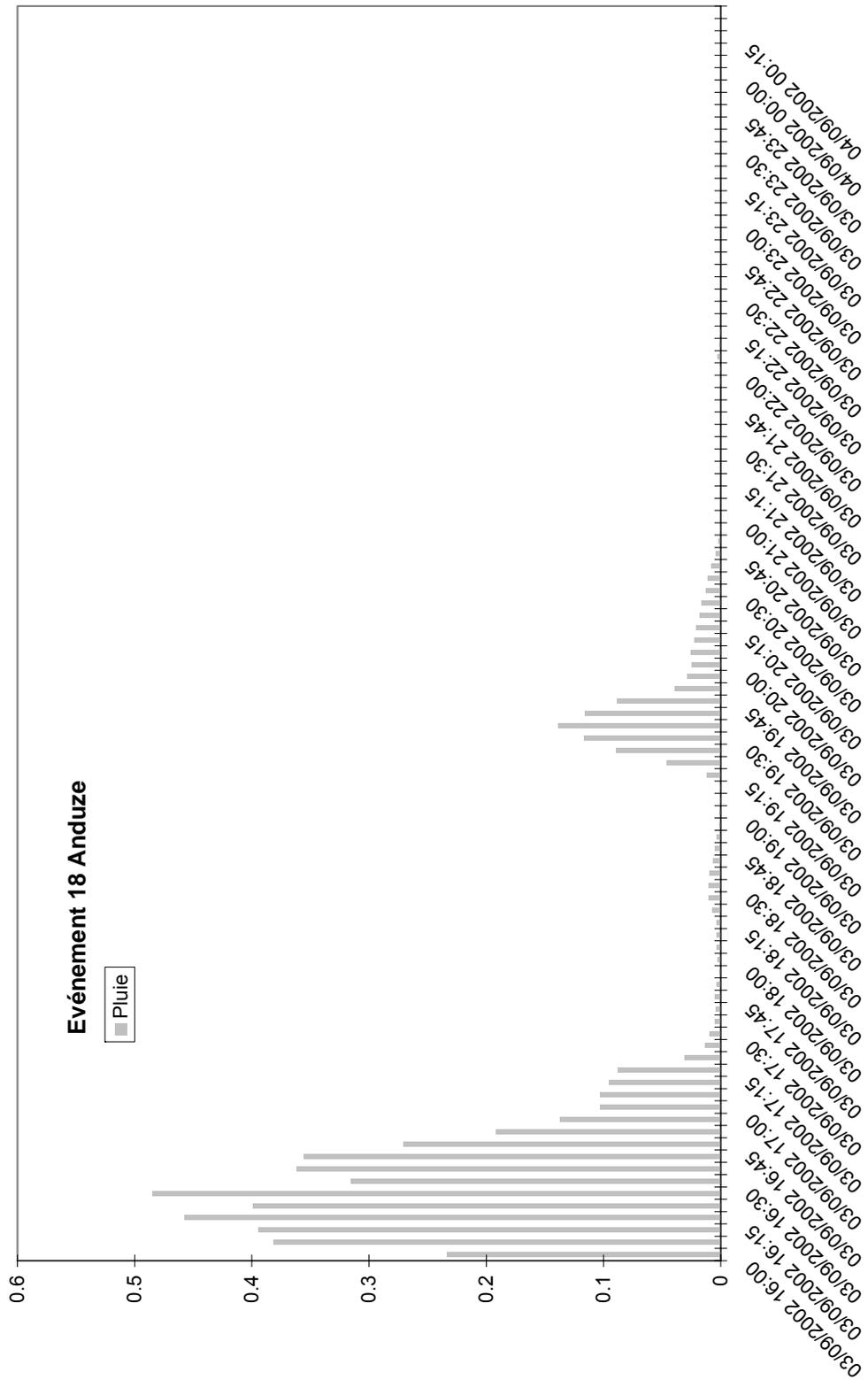


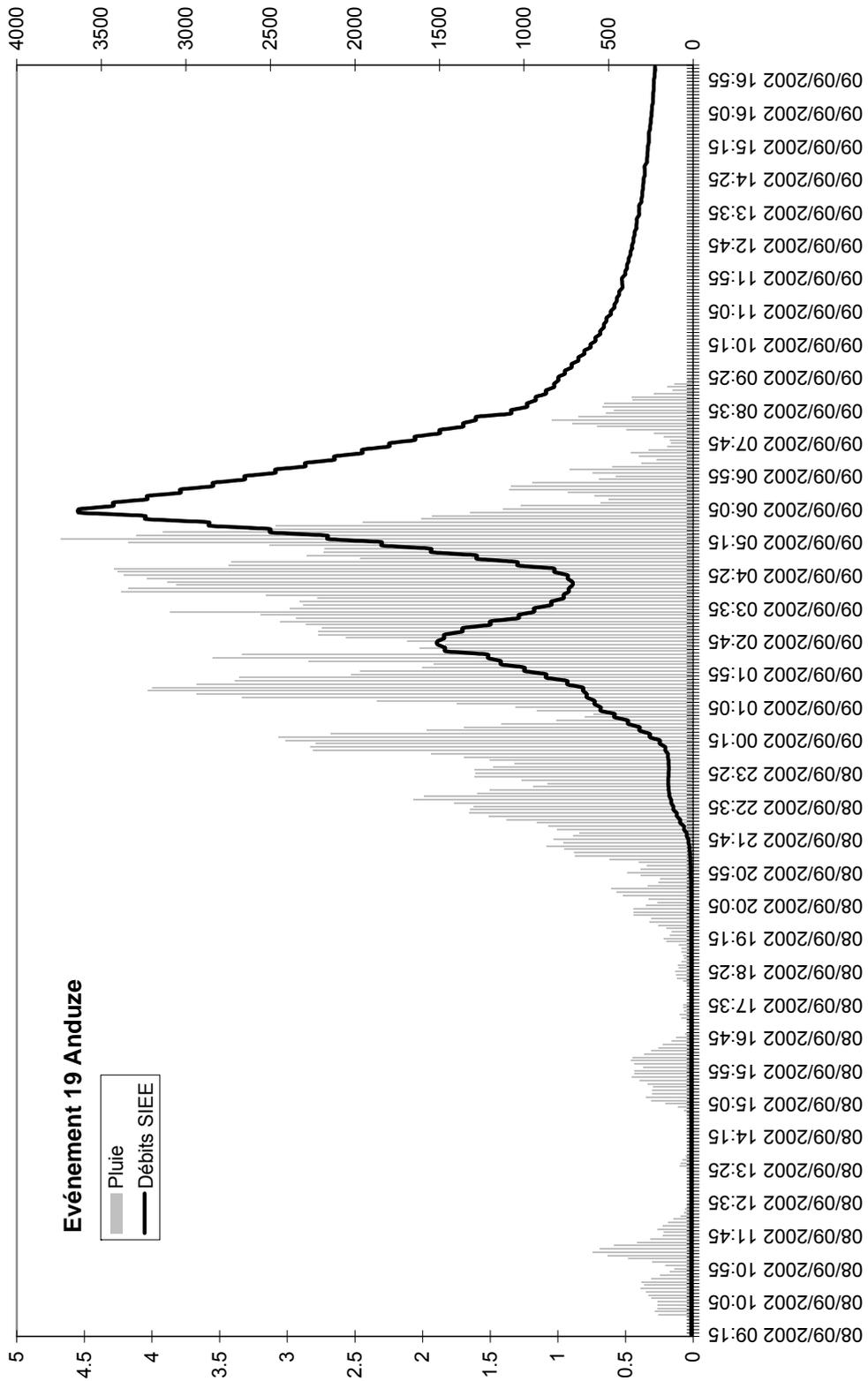












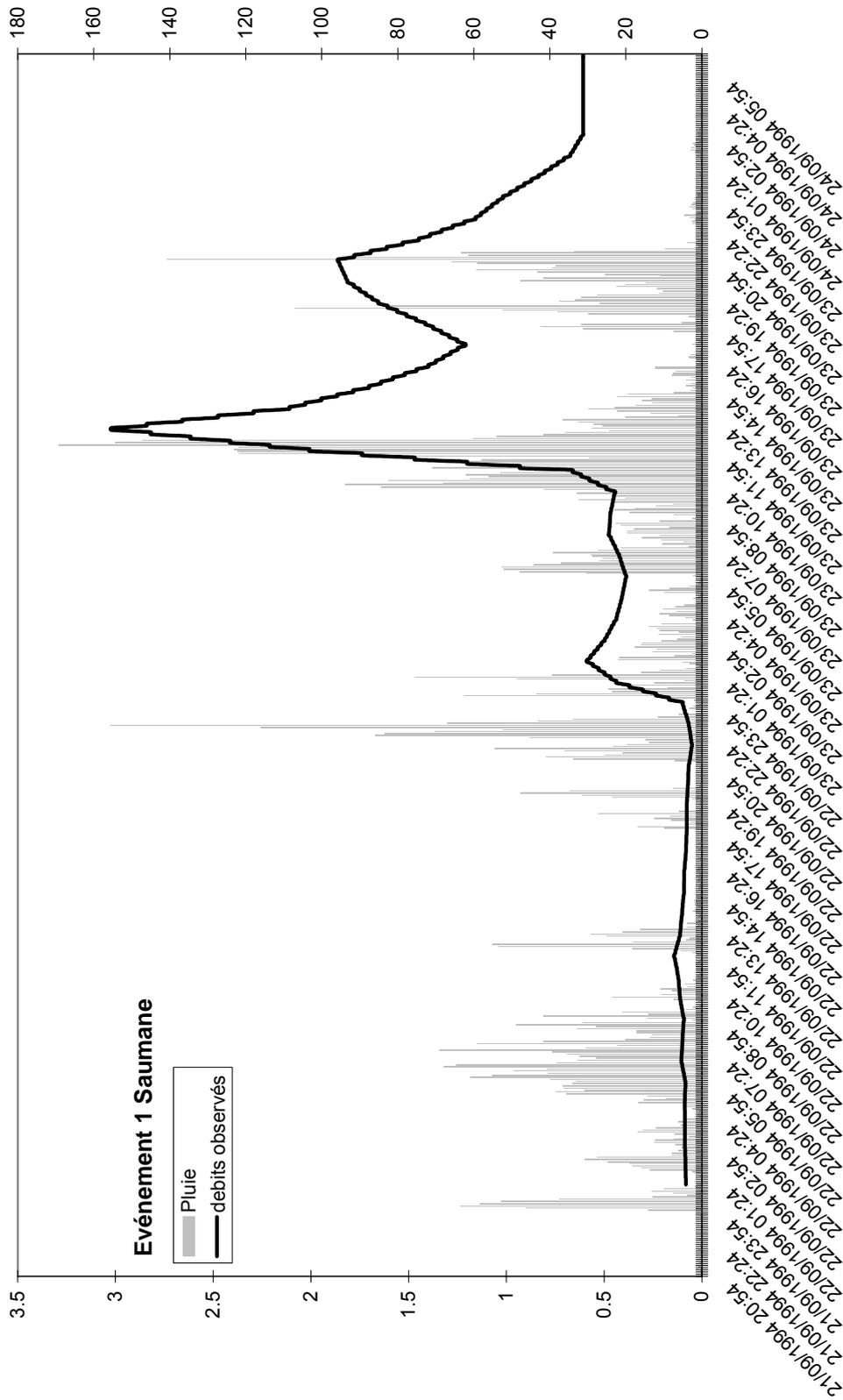
## **Annexe 4**

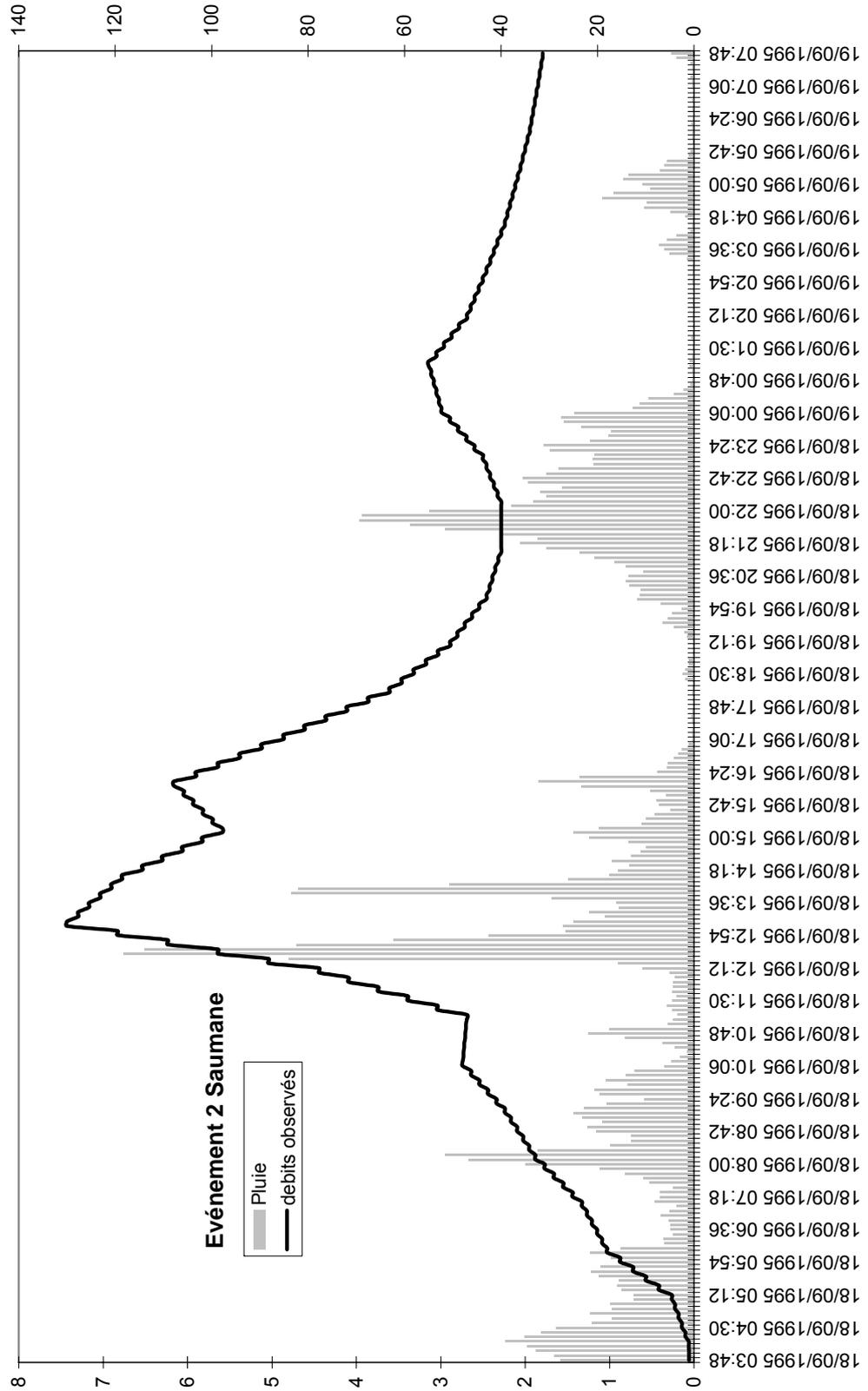
# **Hiétogrammes et hydrogrammes - Saumane**

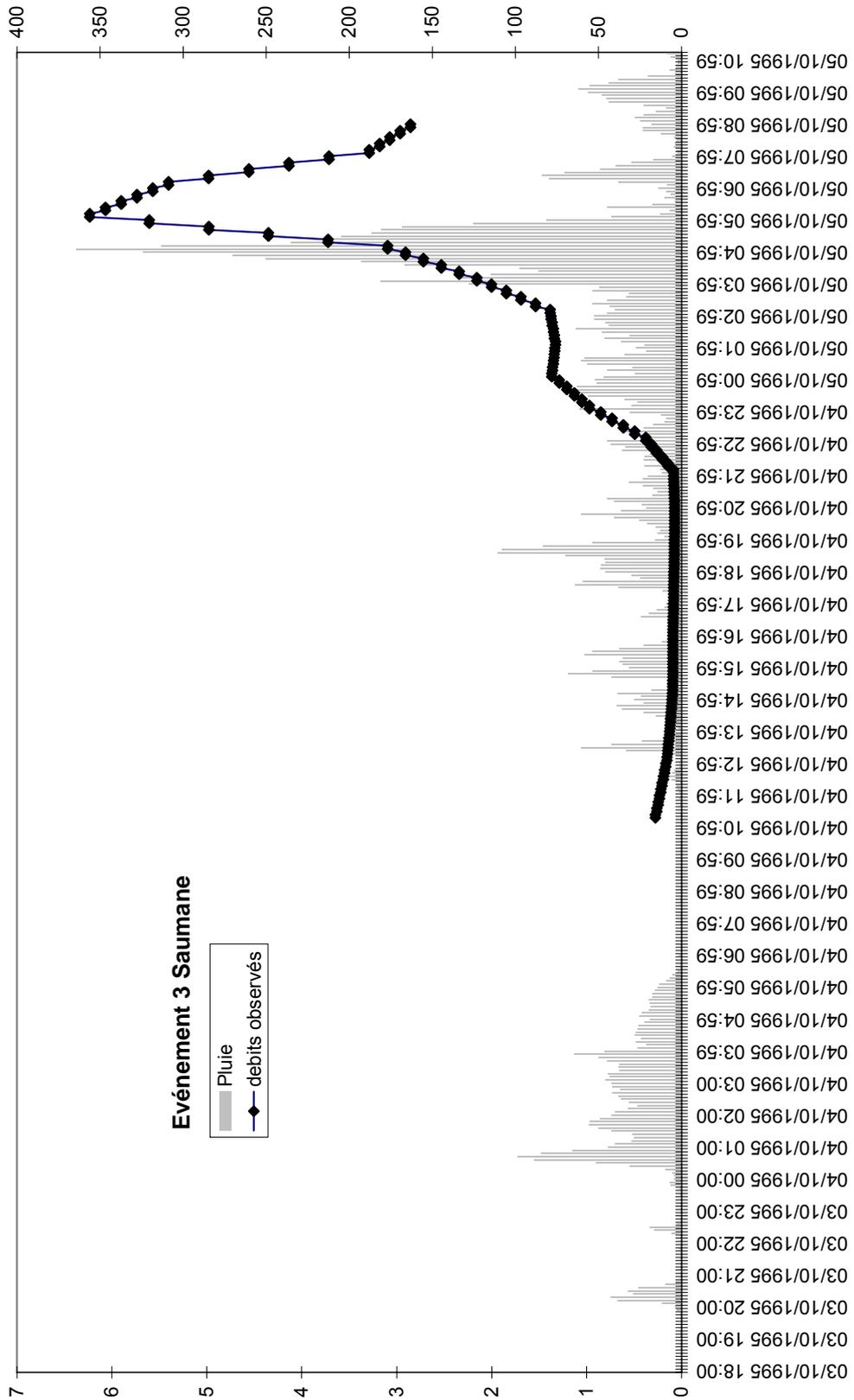


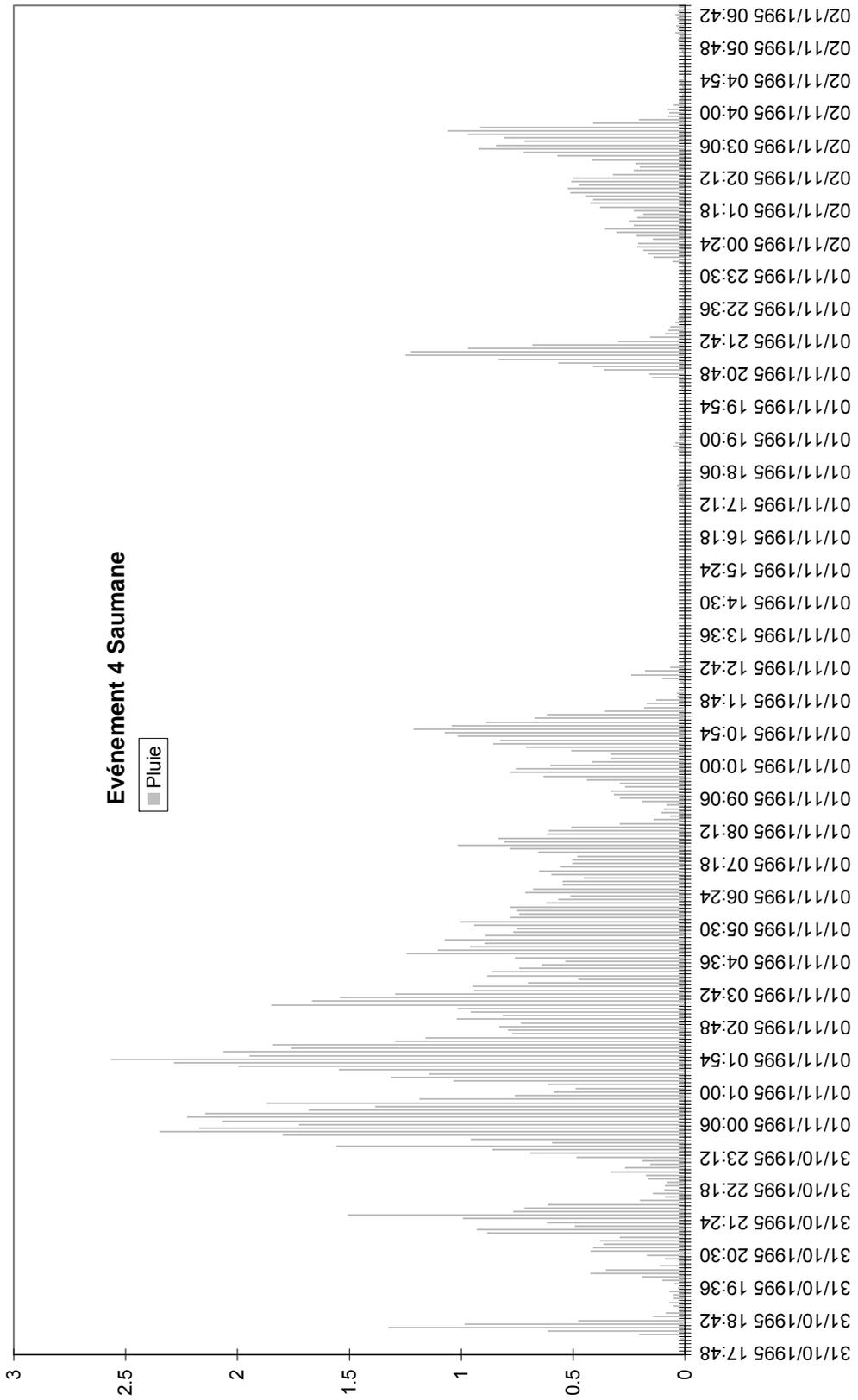
Hyétogrammes et hydrogrammes des 19 événements pluvieux présents dans la base de données du bassin versant numérique du bassin versant d'Anduze pour la station de Saumane.

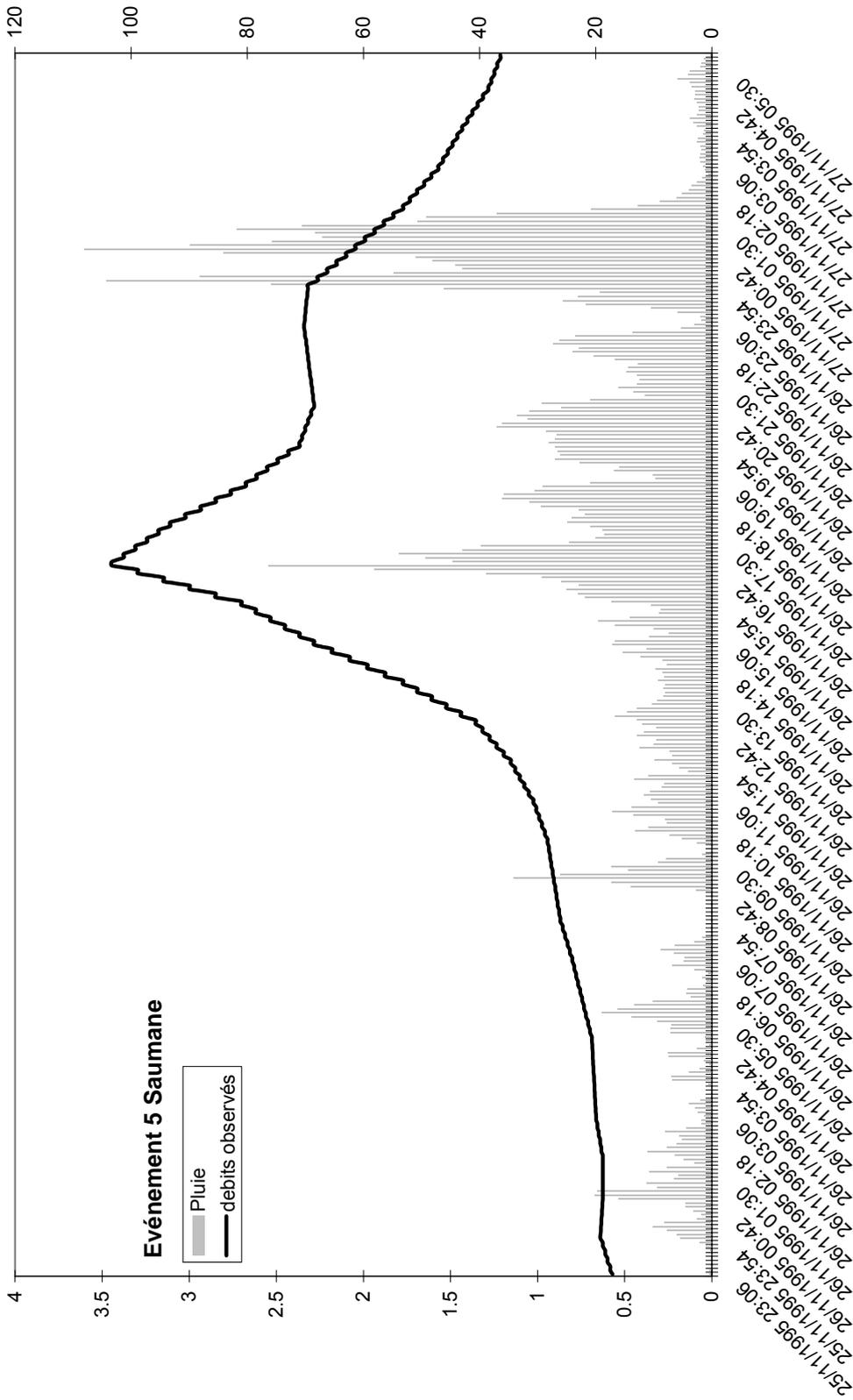
- sur l'axe des abscisses : la date ;
- sur l'axe des ordonnées de gauche : l'intensité de pluie en  $1/10^{\text{ème}}$  de mm ;
- sur l'axe des ordonnées de droite : le débit en  $\text{m}^3/\text{s}$ .

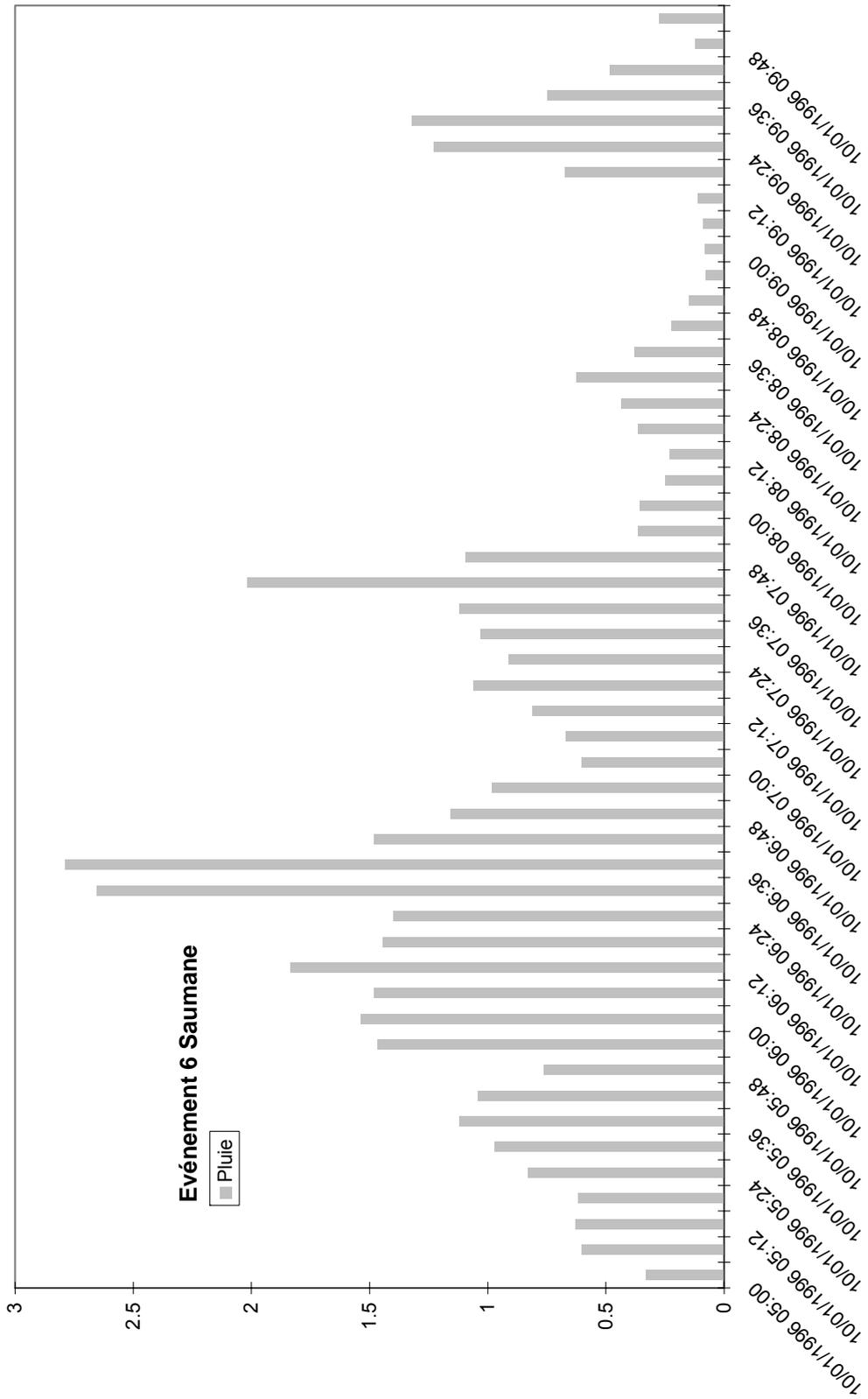


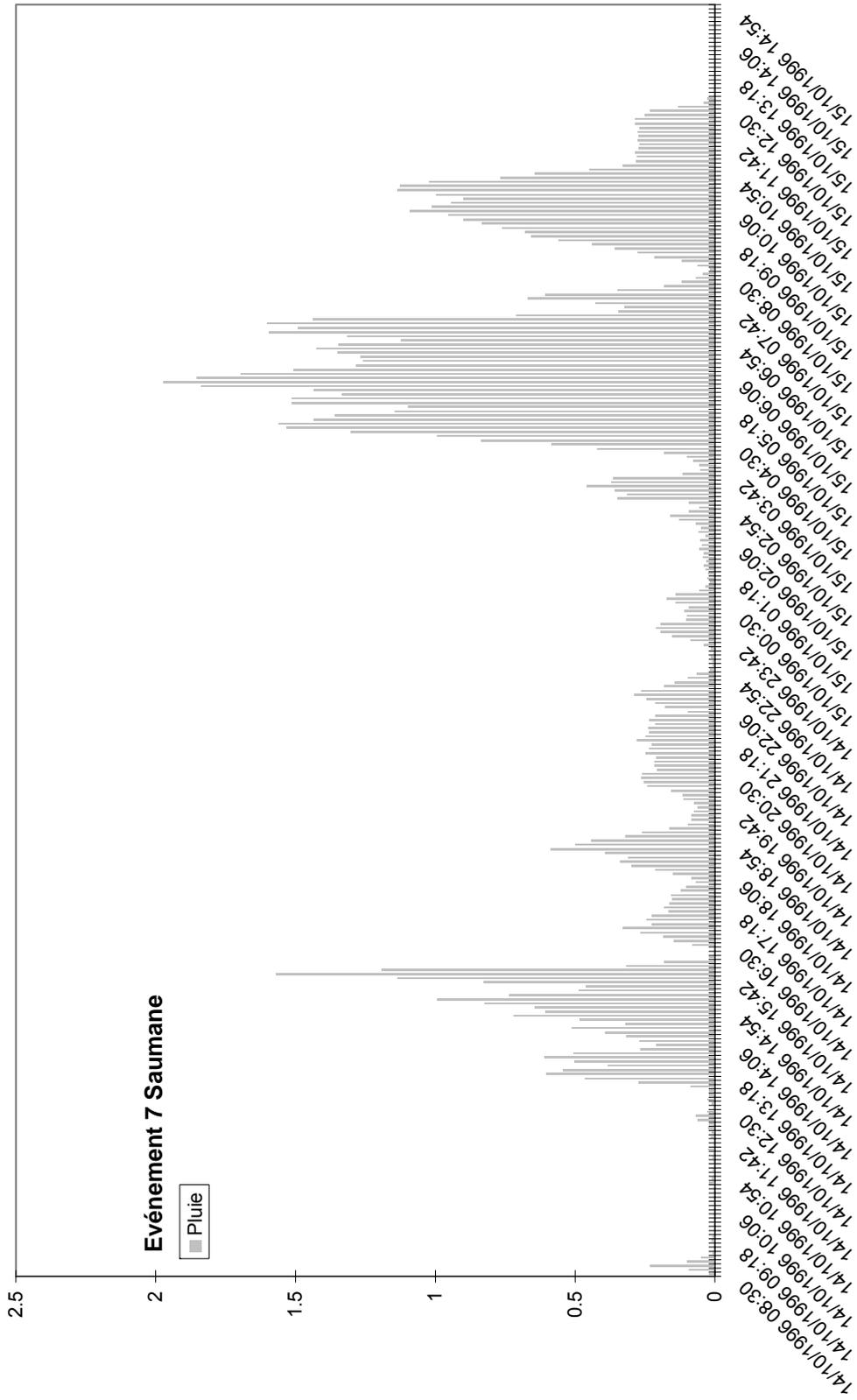


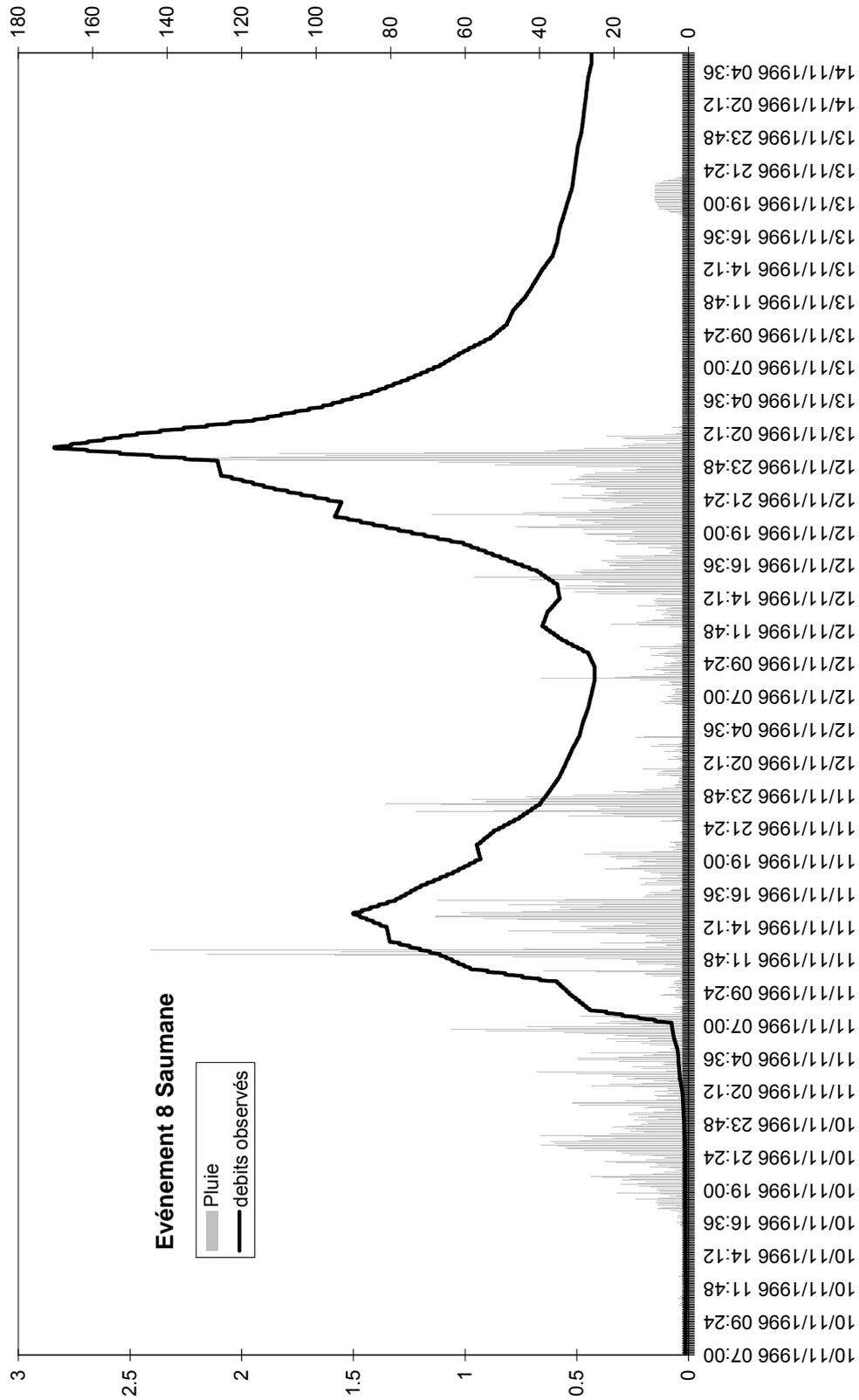


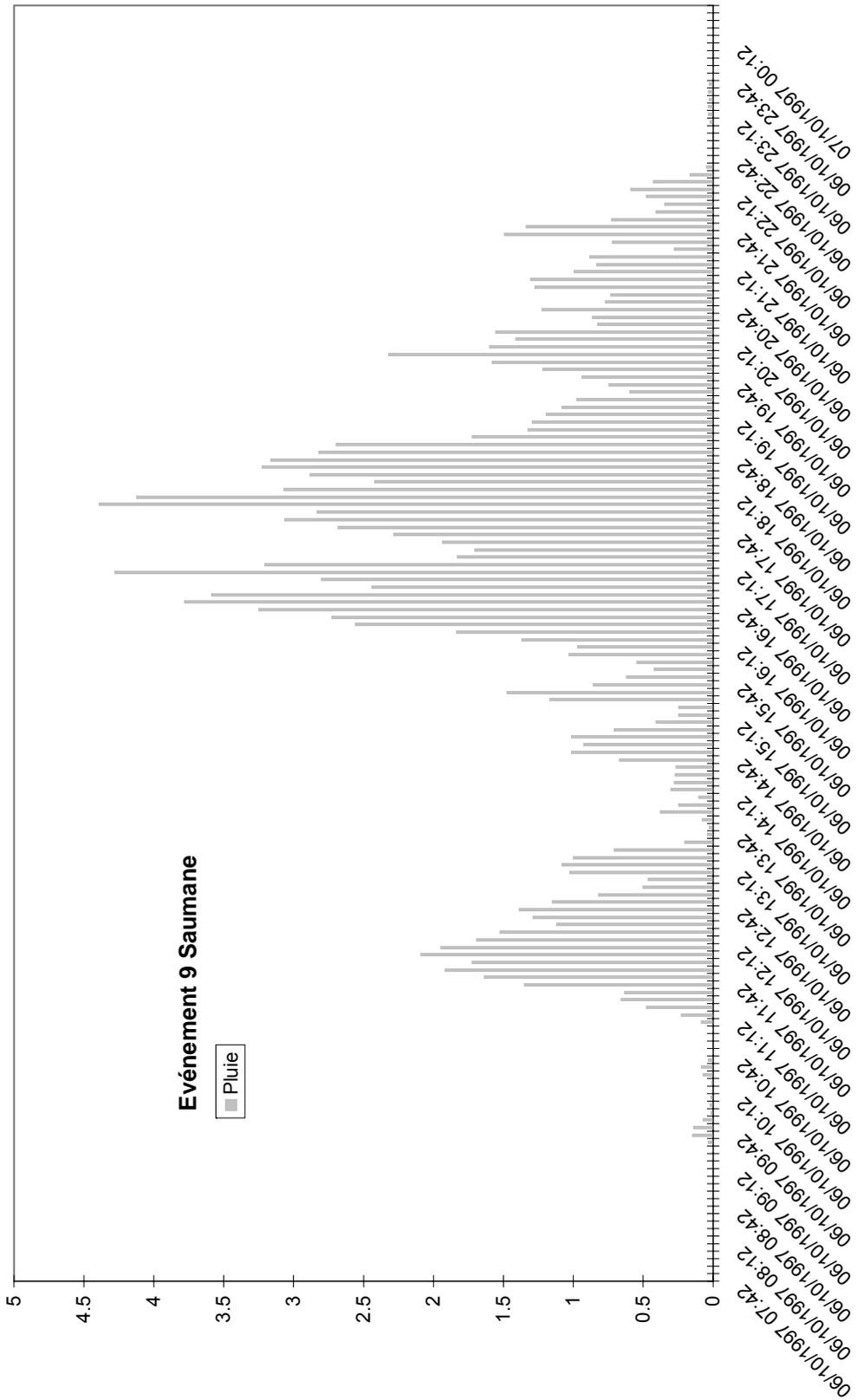


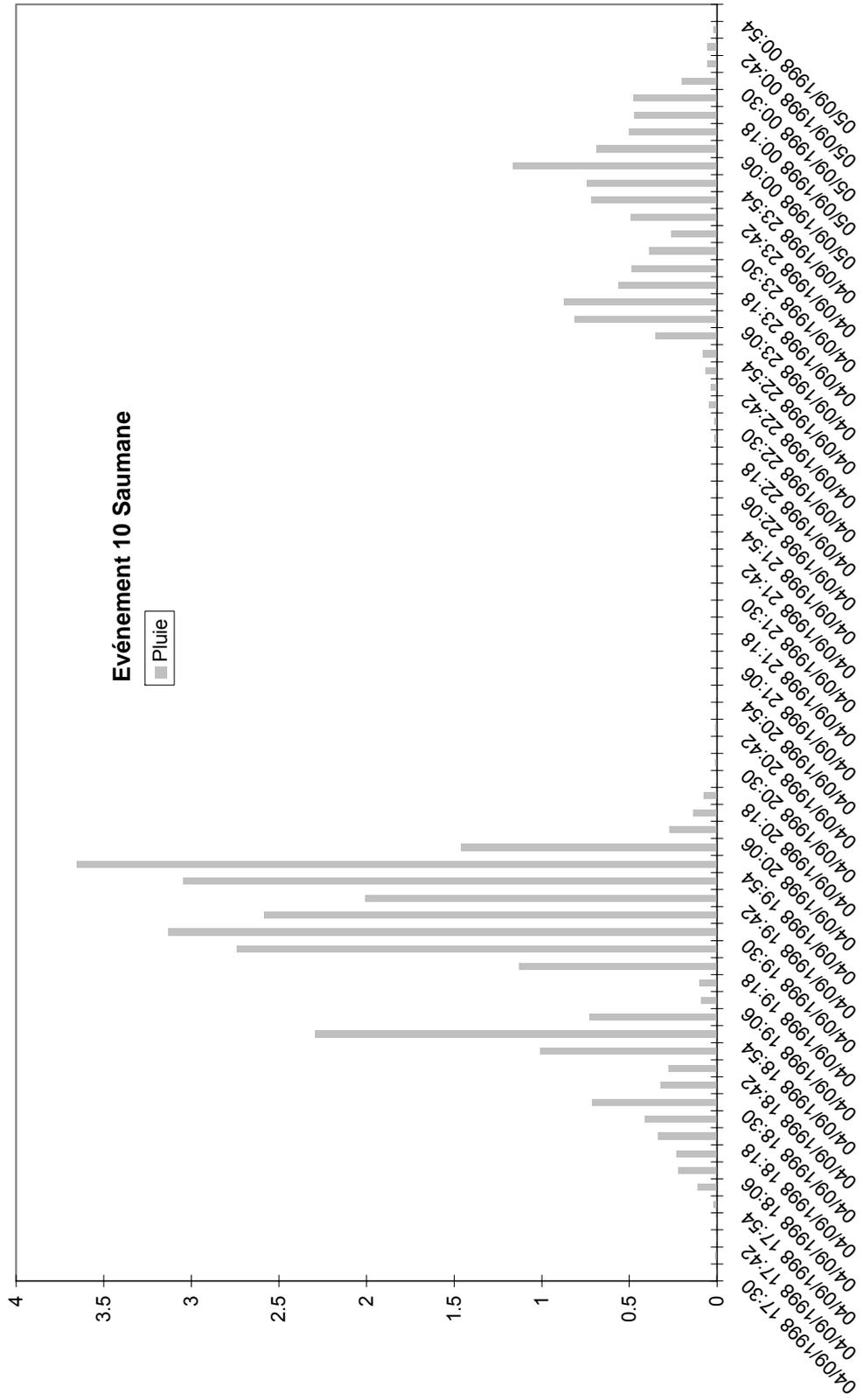


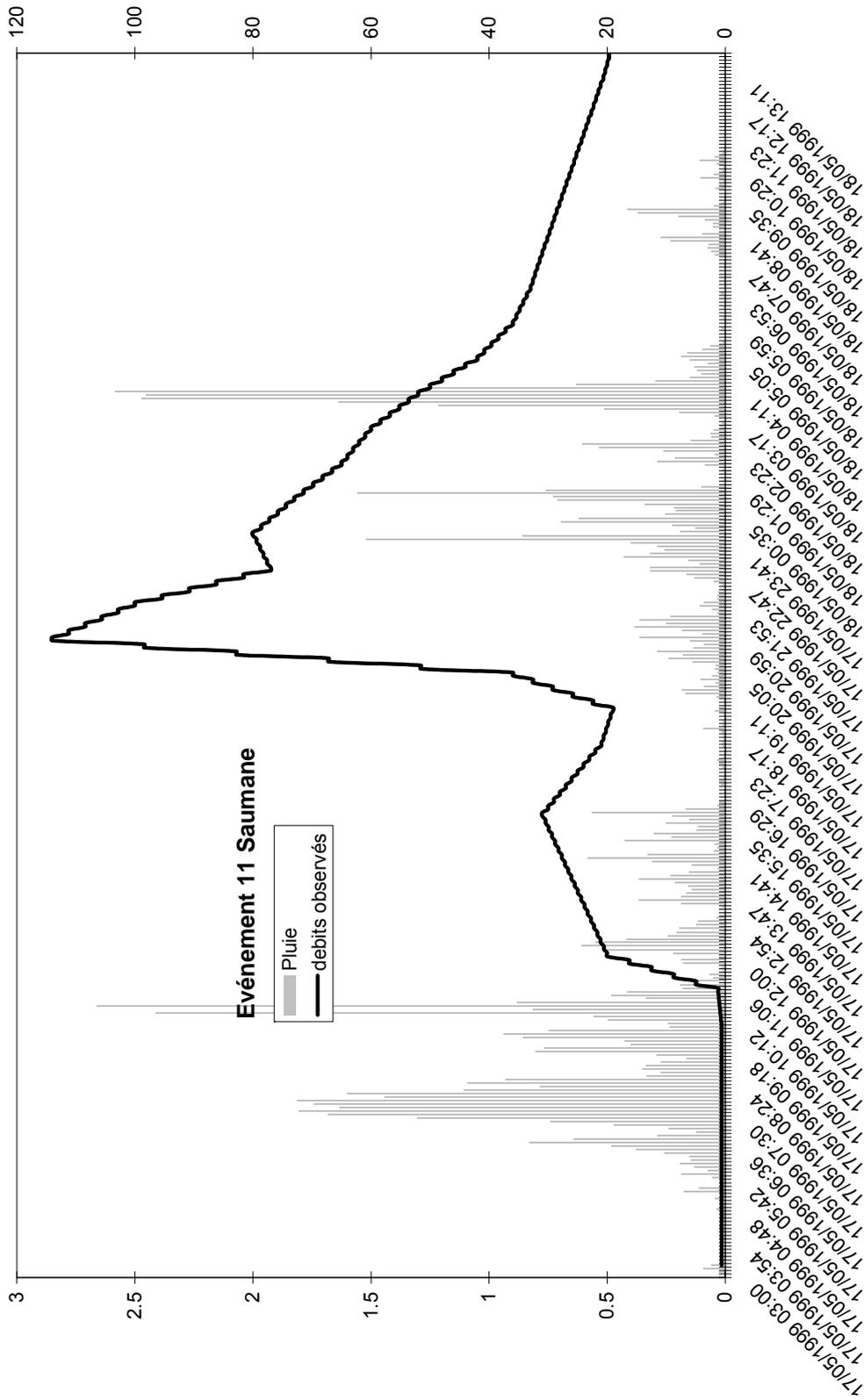


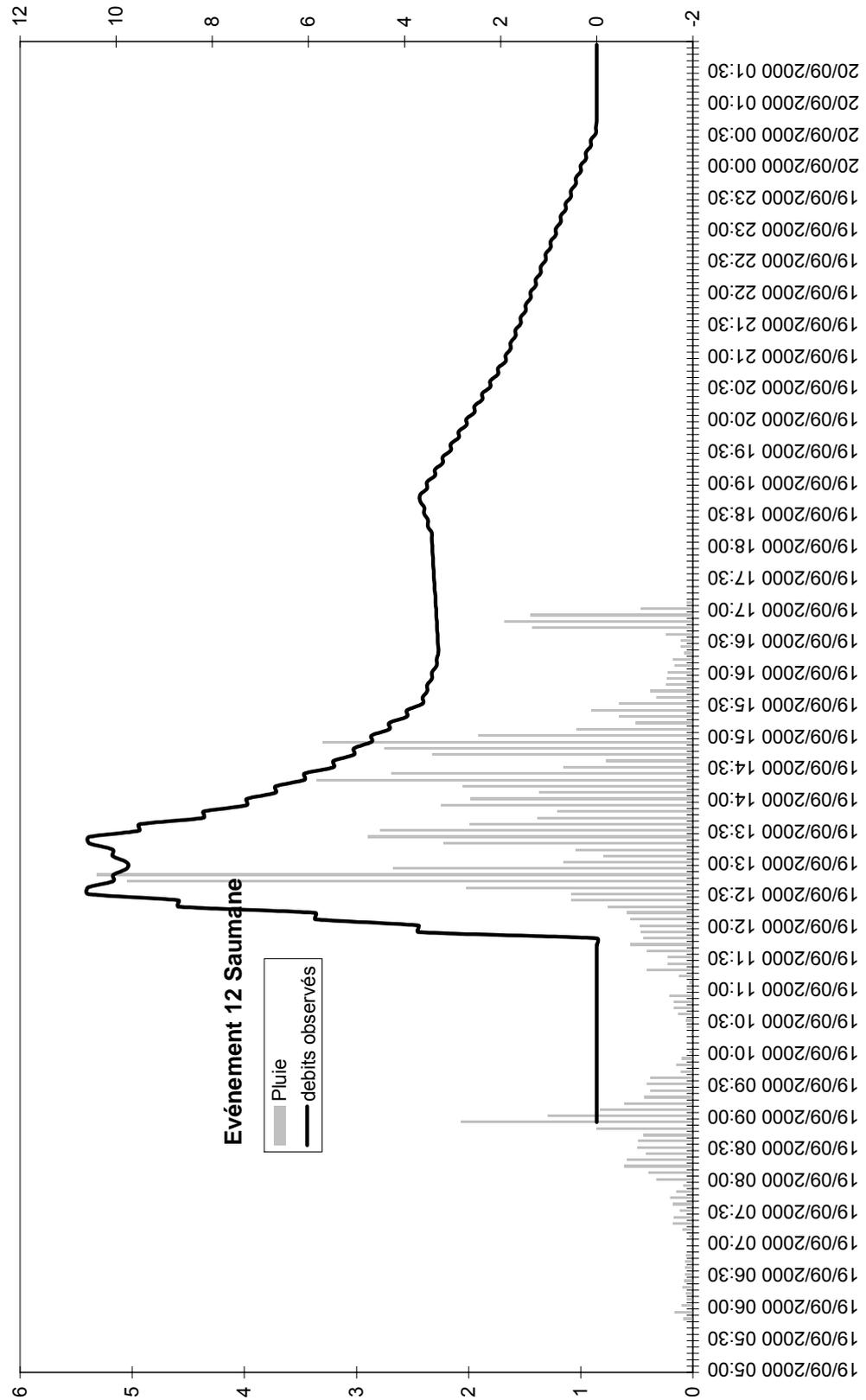


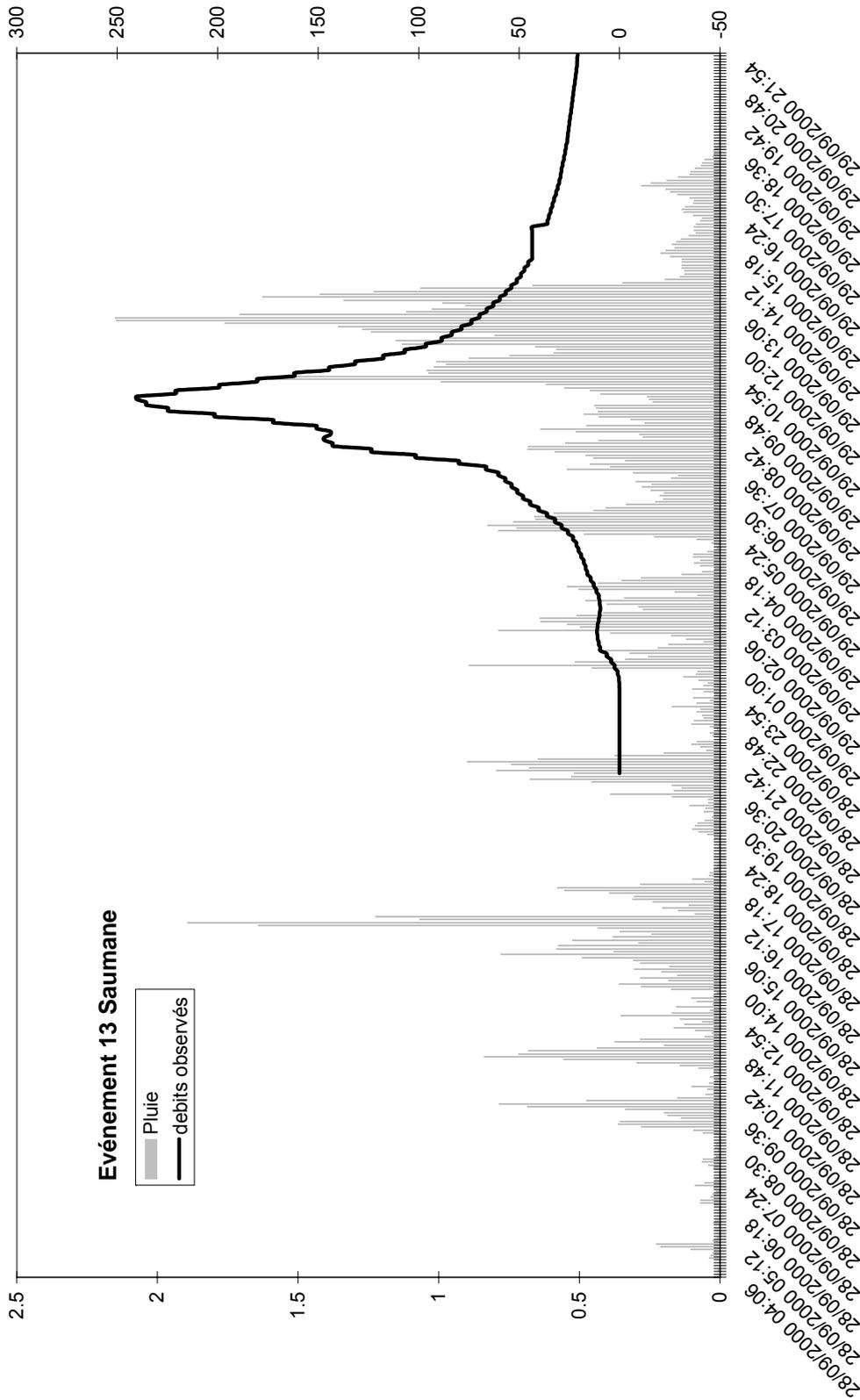


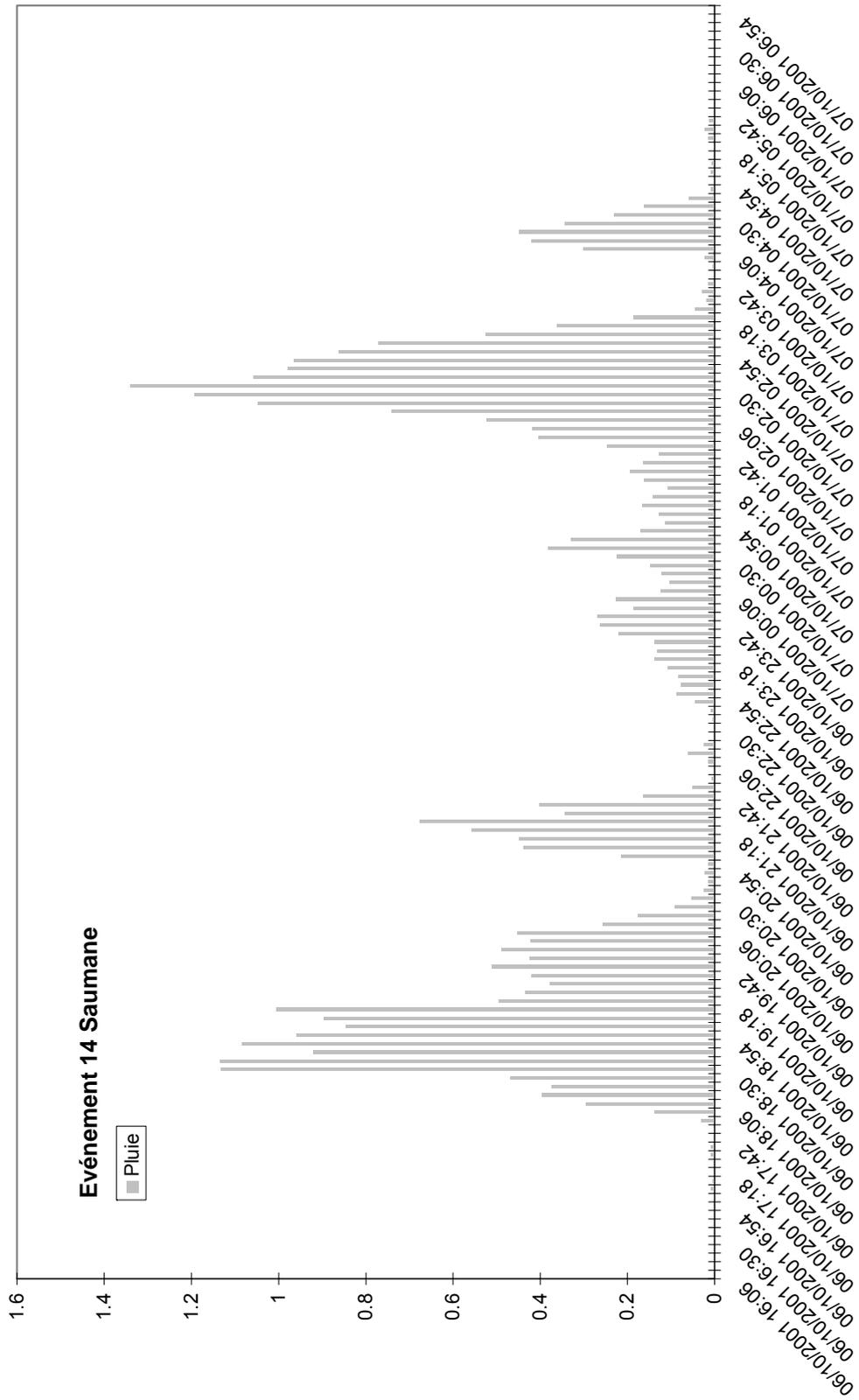


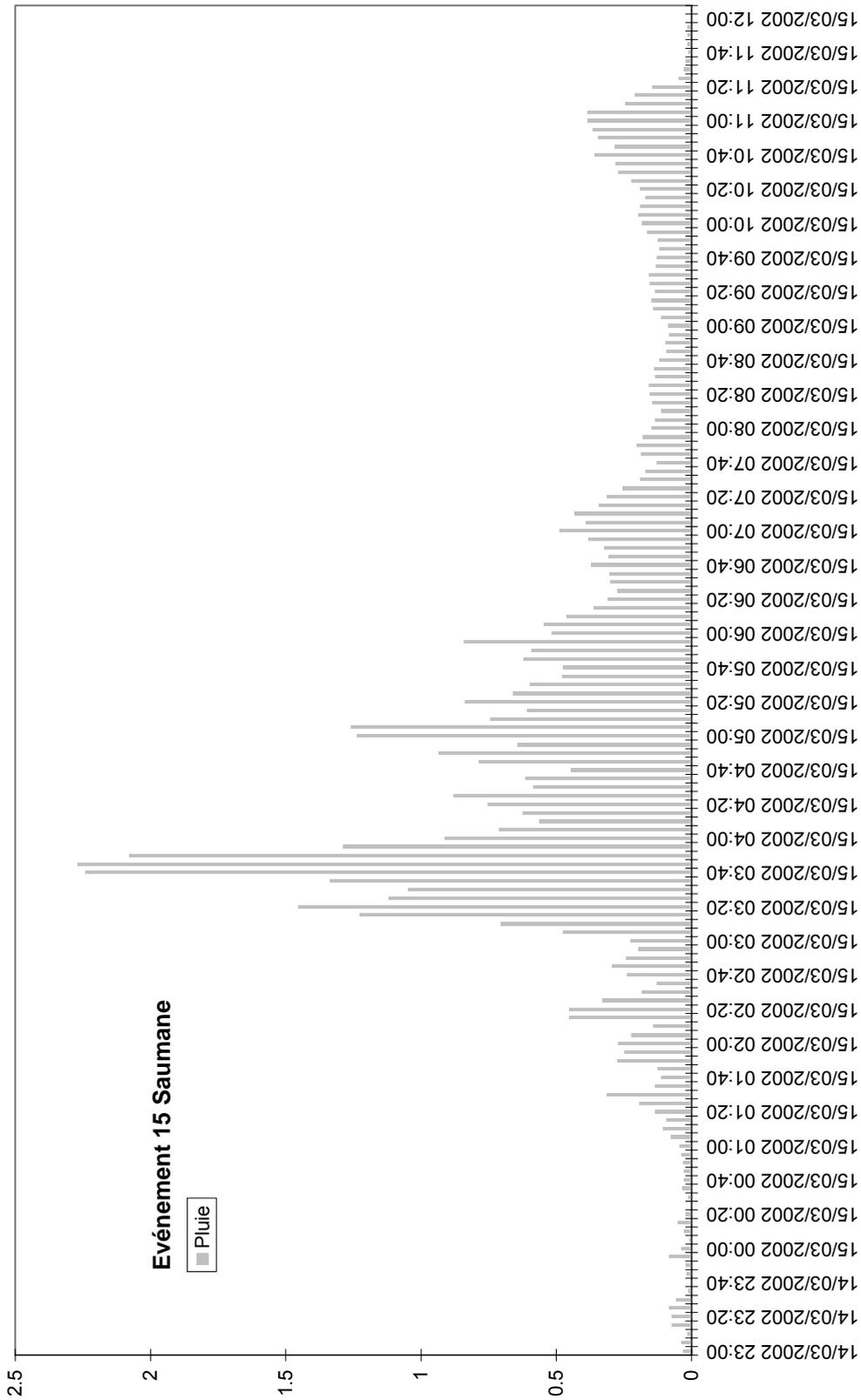


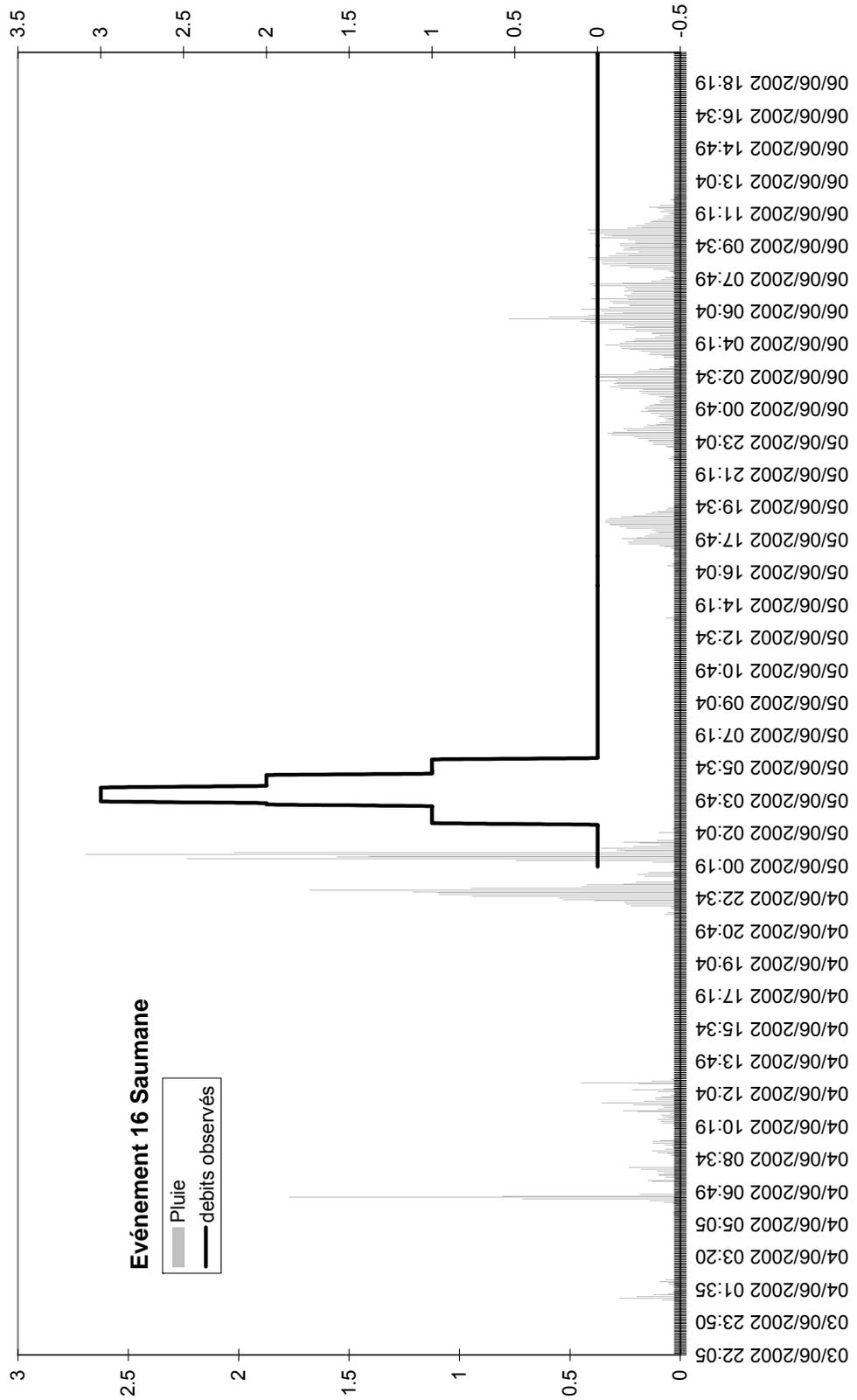


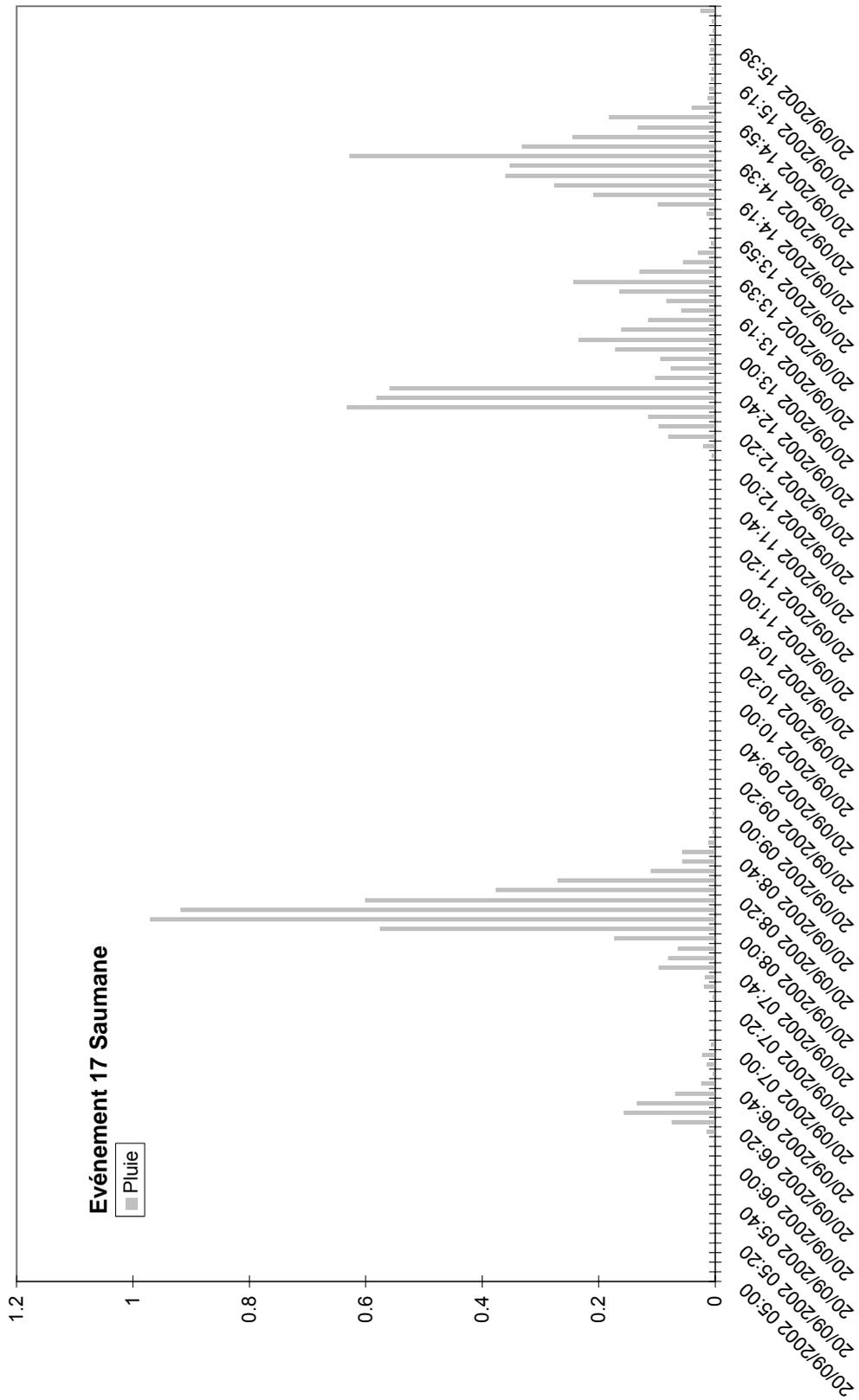


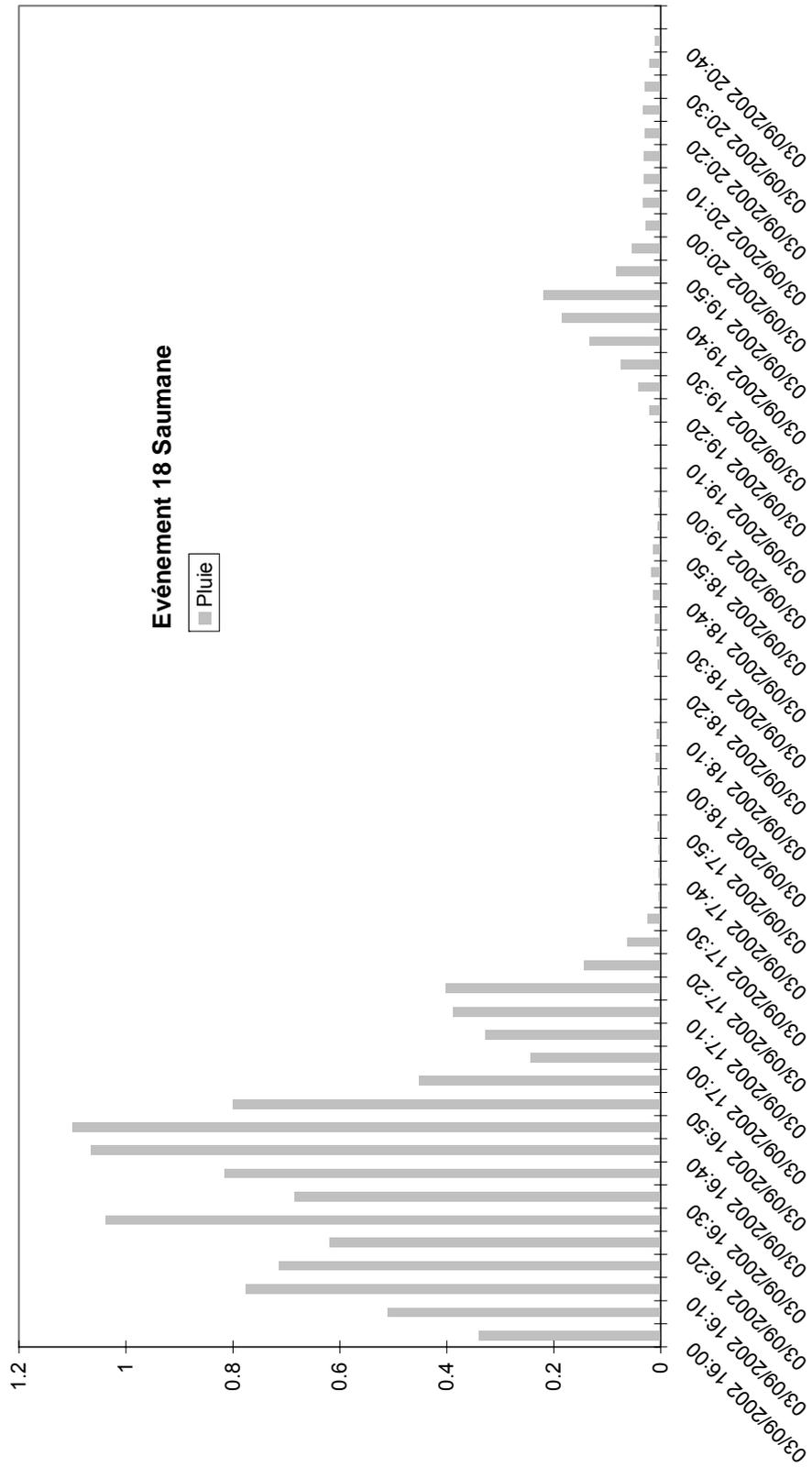


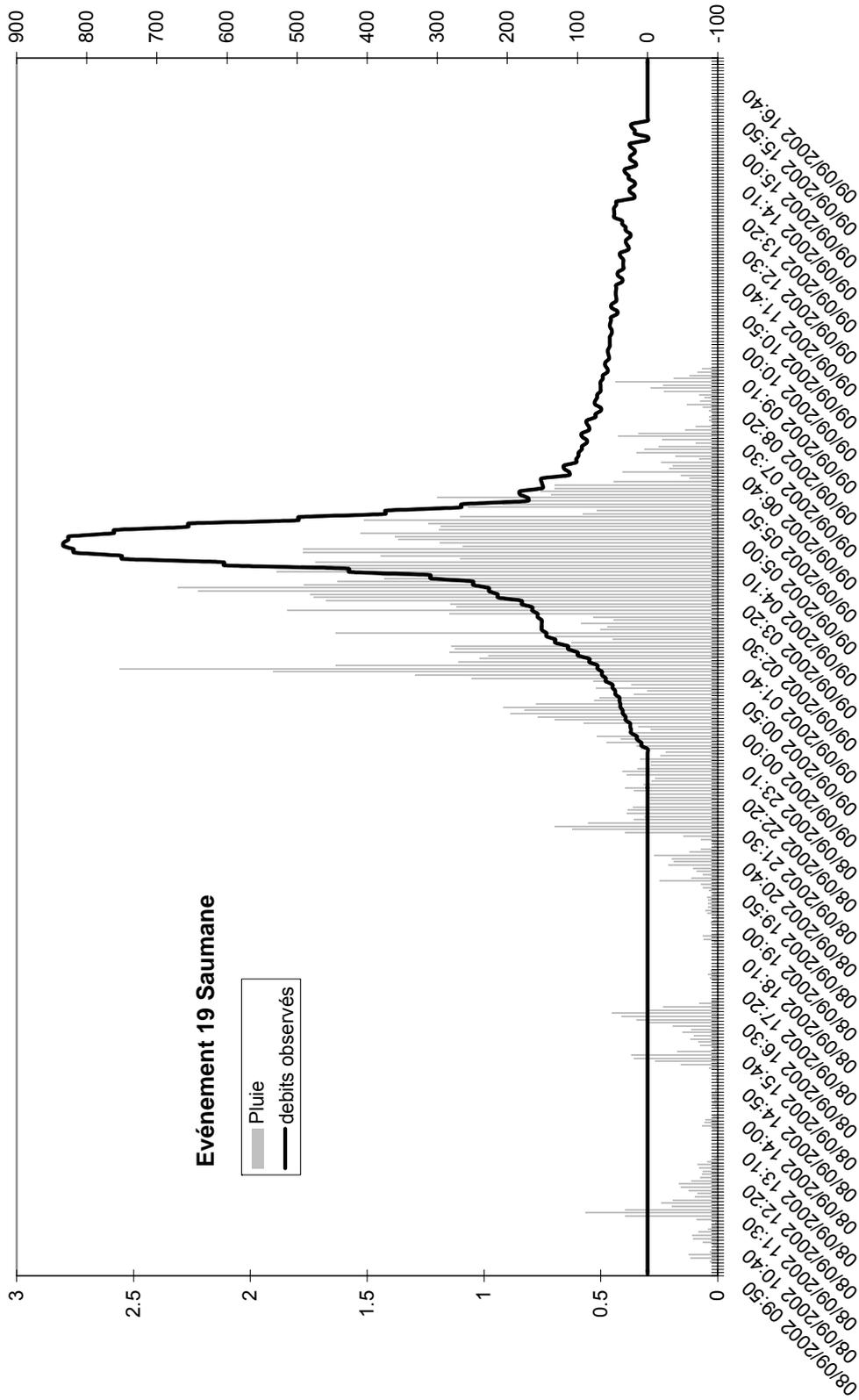












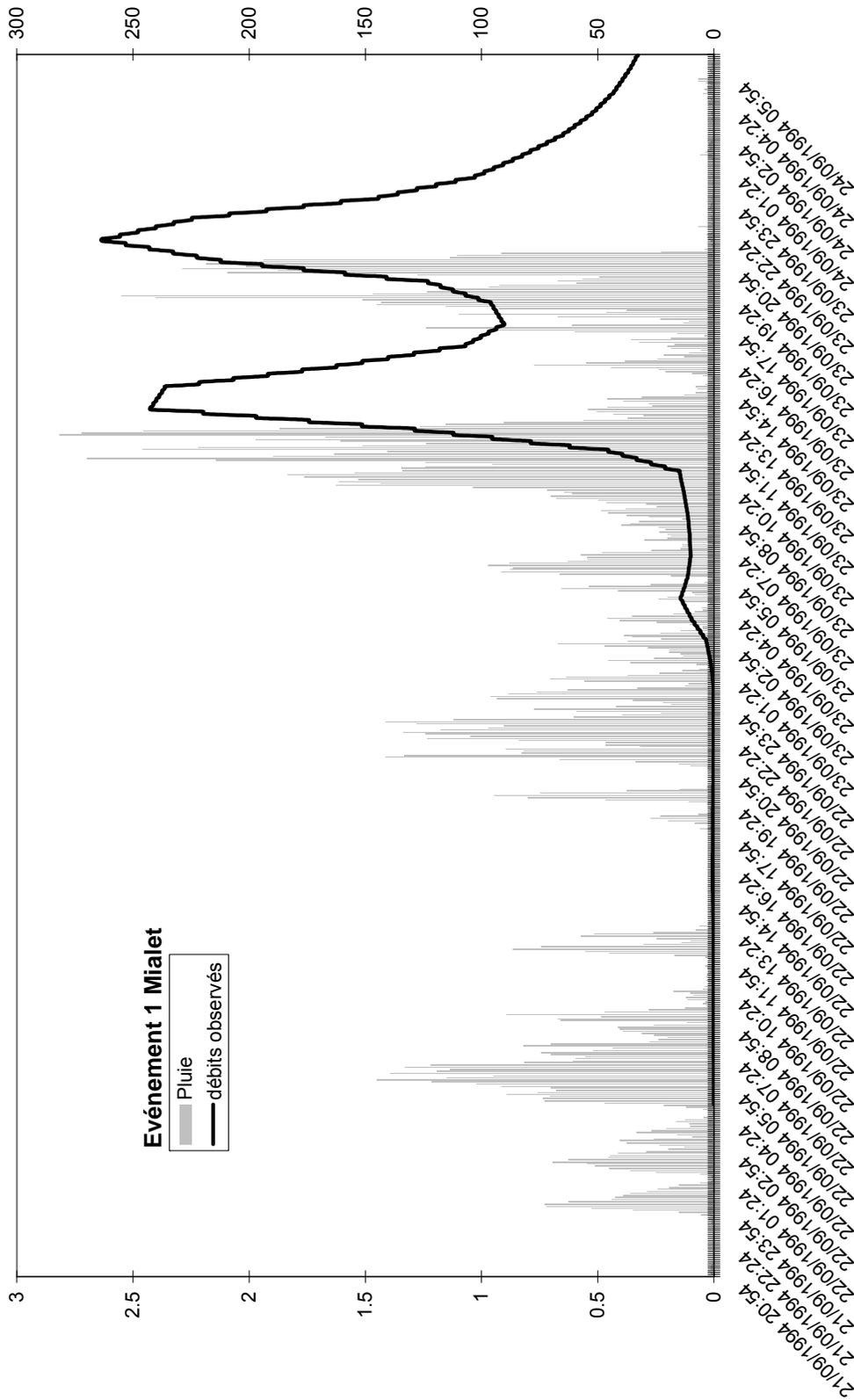
## **Annexe 5**

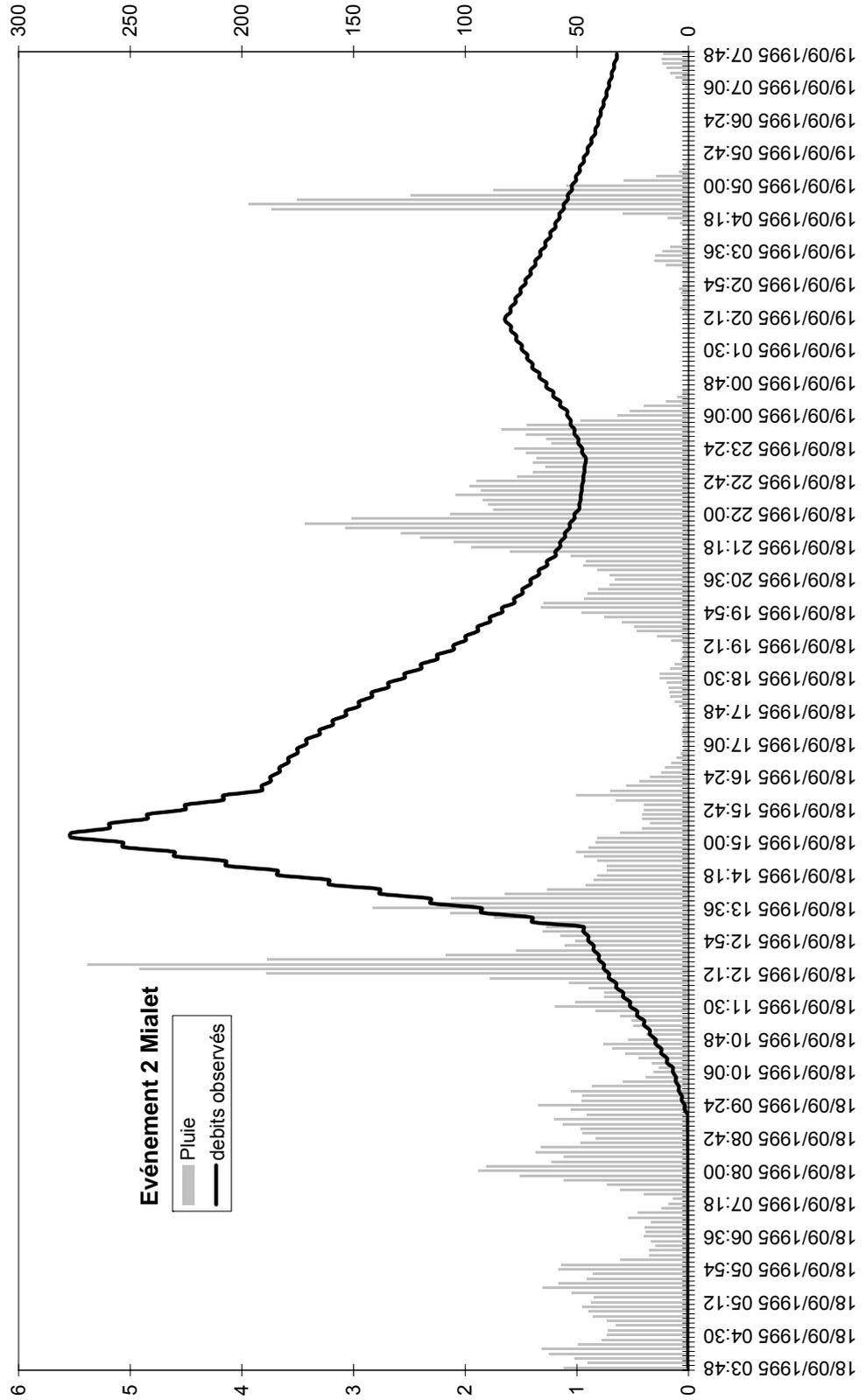
### **Hiétogrammes et hydrogrammes - Mialet**

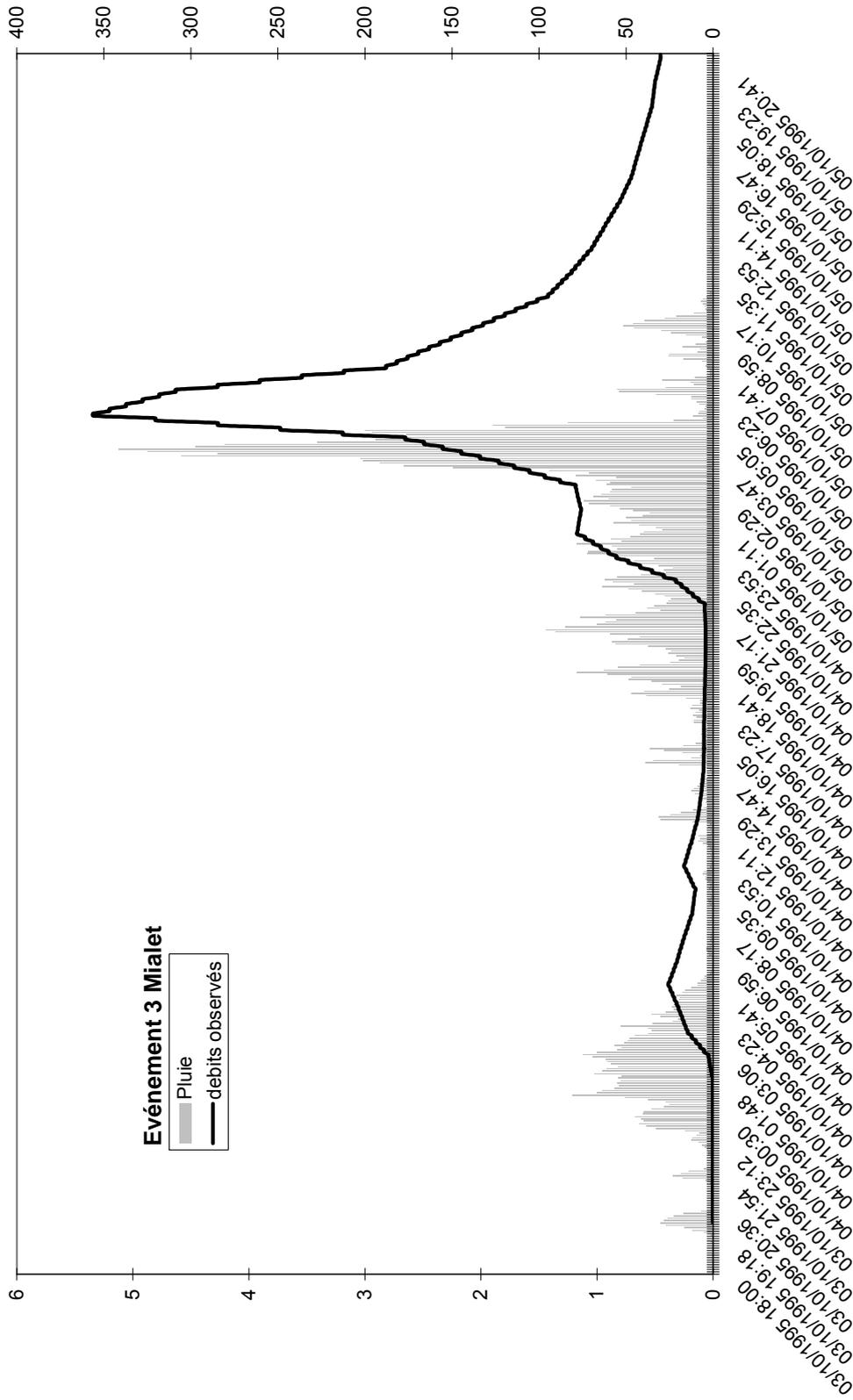


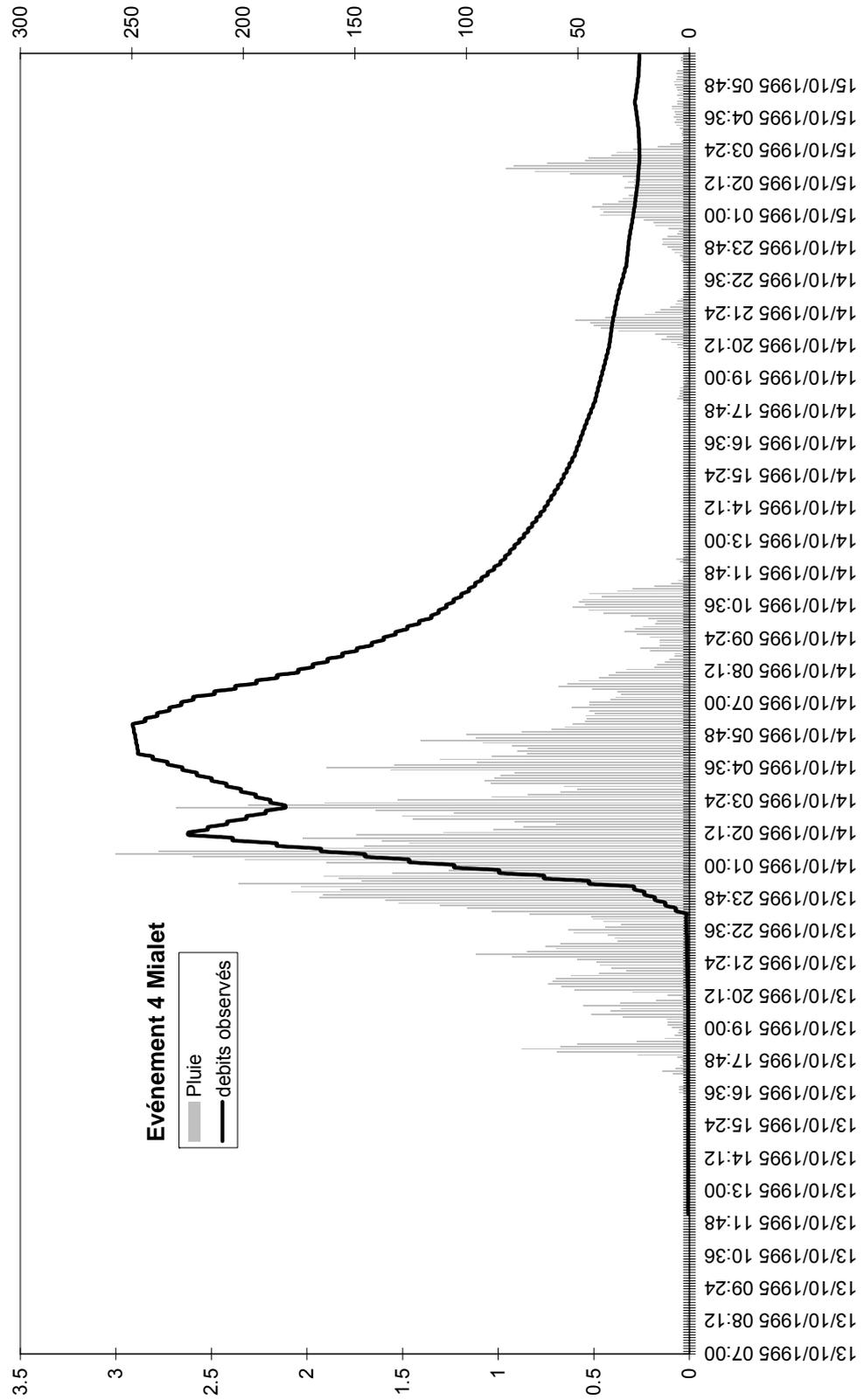
Hyétogrammes et hydrogrammes des 19 événements pluvieux présents dans la base de données du bassin versant numérique du bassin versant d'Anduze pour la station de Mialet.

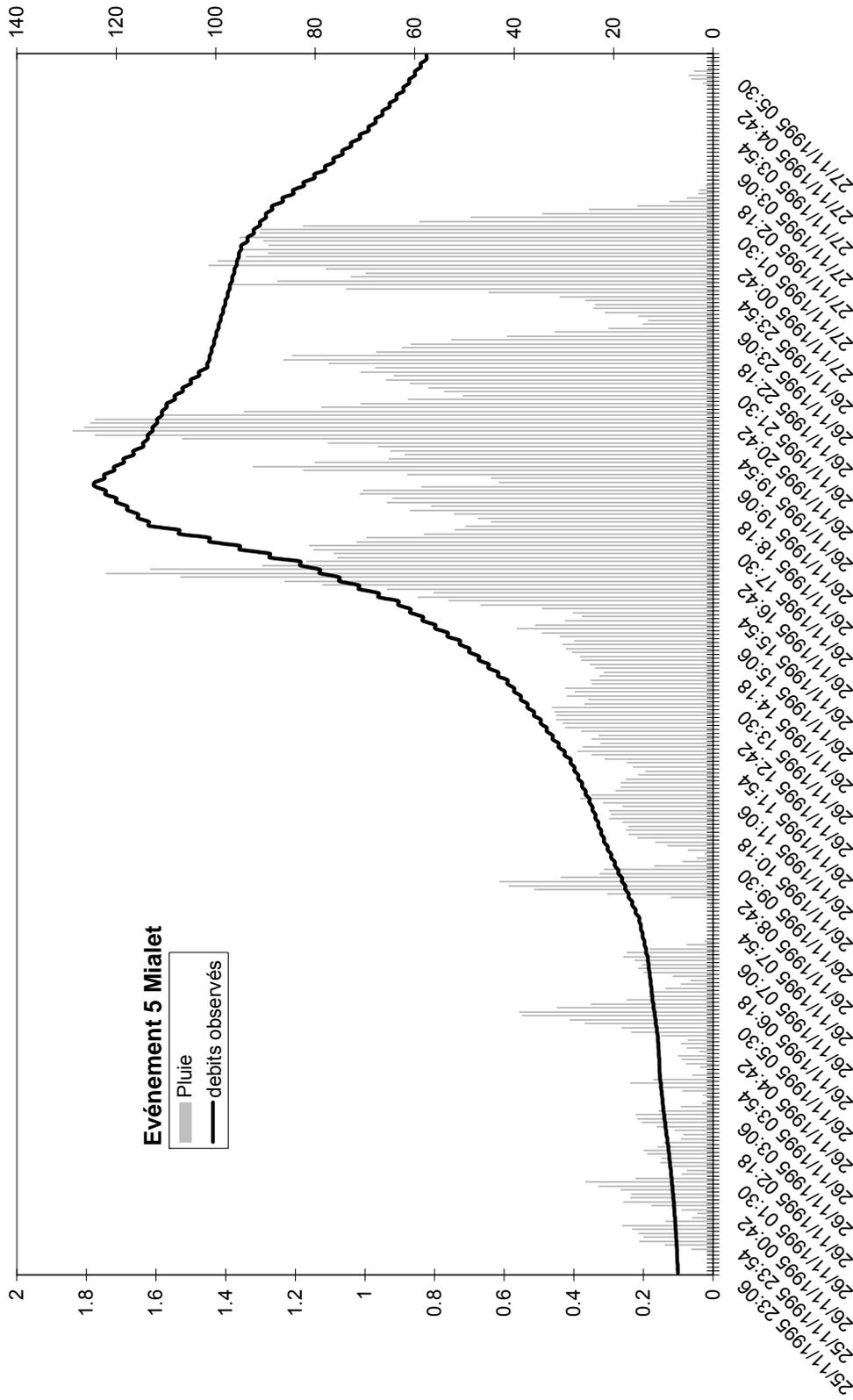
- sur l'axe des abscisses : la date ;
- sur l'axe des ordonnées de gauche : l'intensité de pluie en  $1/10^{\text{ème}}$  de mm ;
- sur l'axe des ordonnées de droite : le débit en  $\text{m}^3/\text{s}$ .

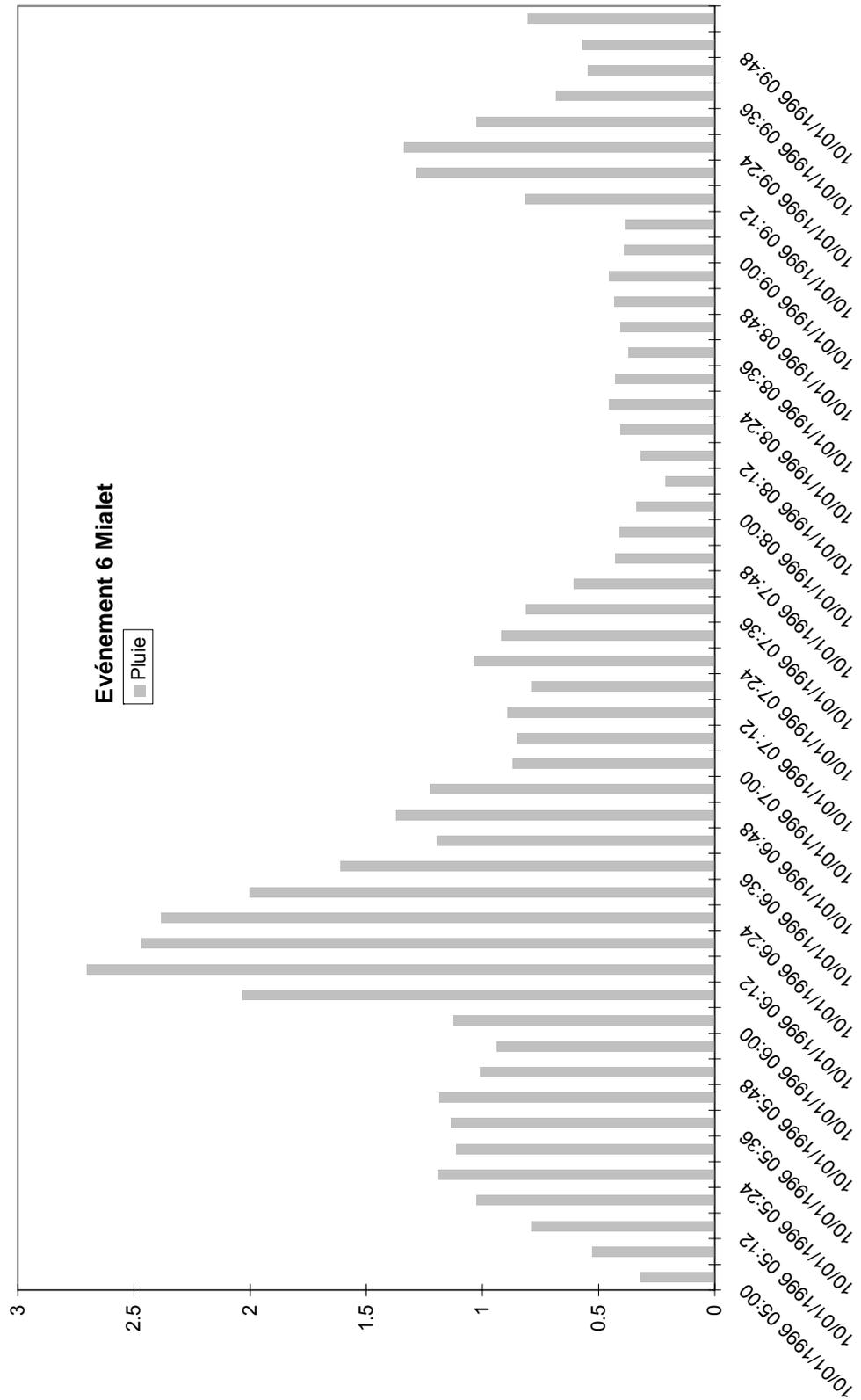


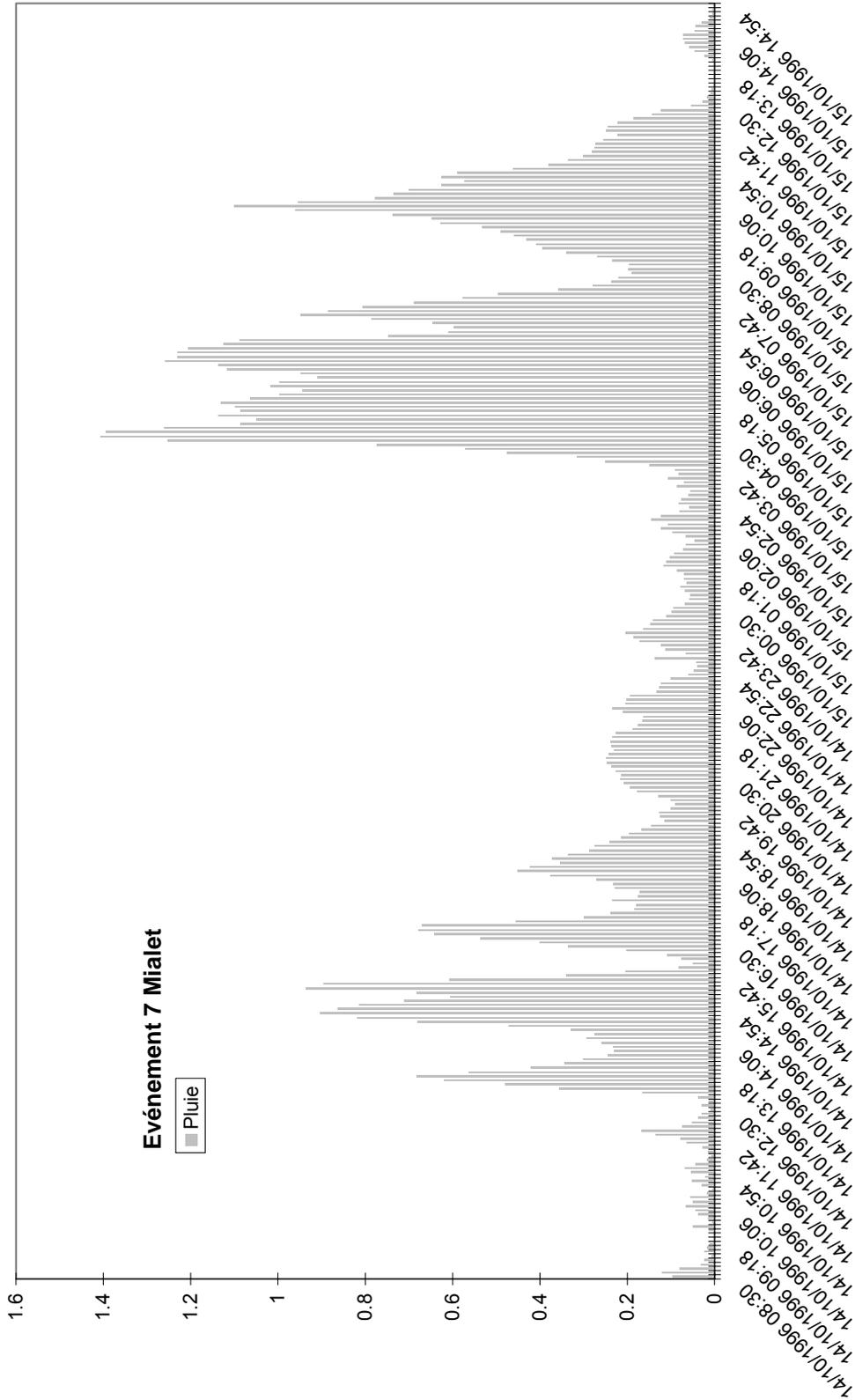


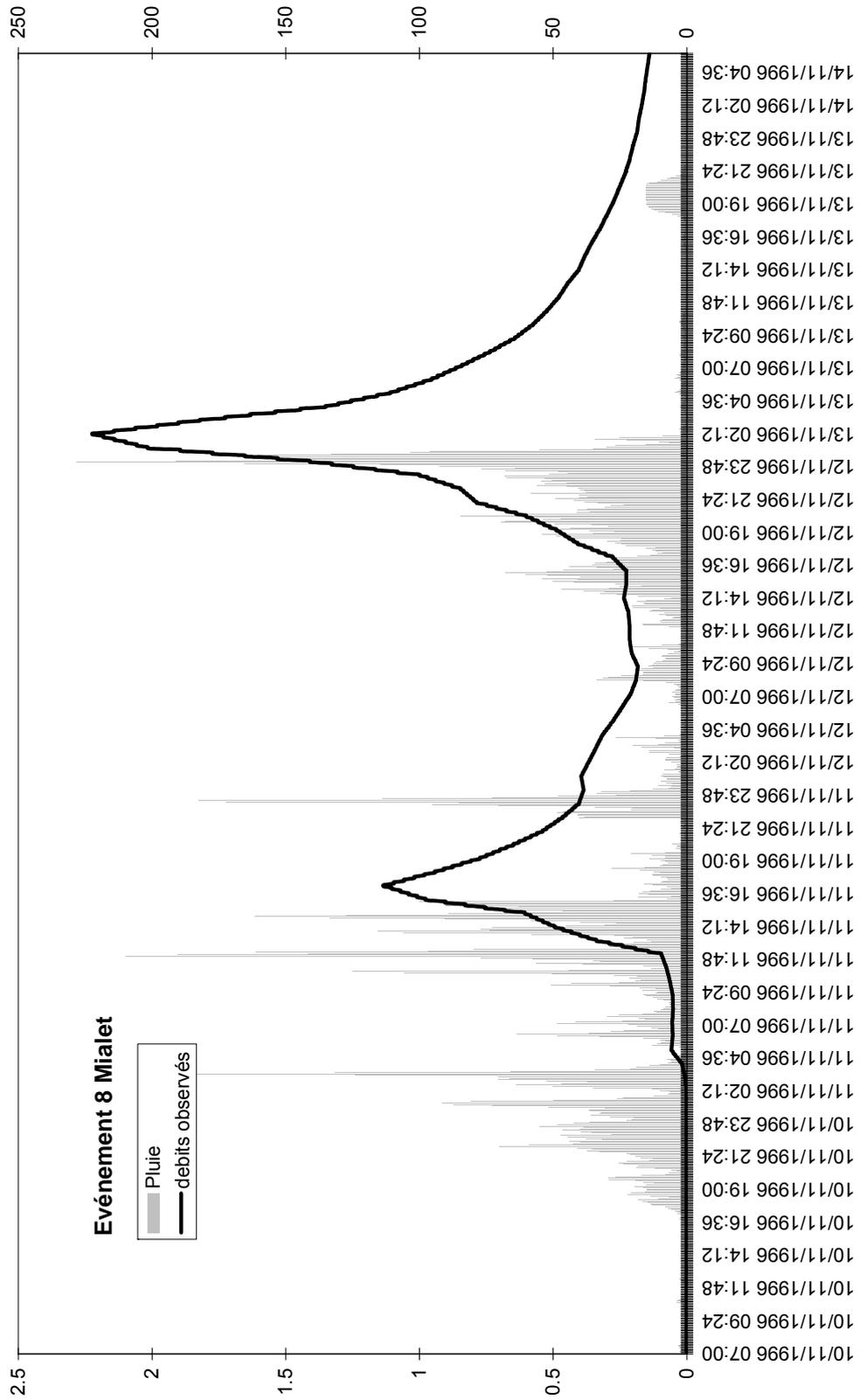


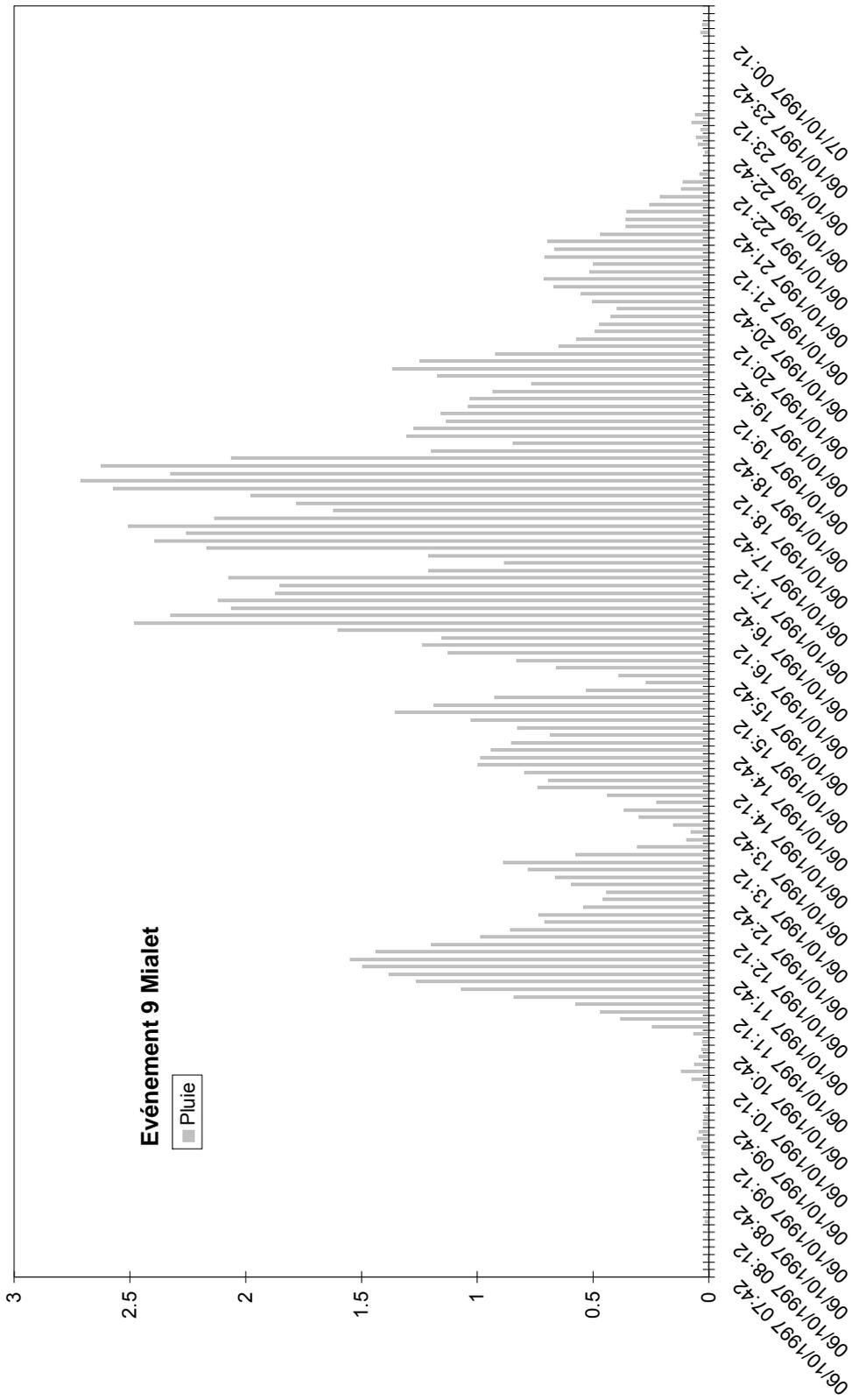


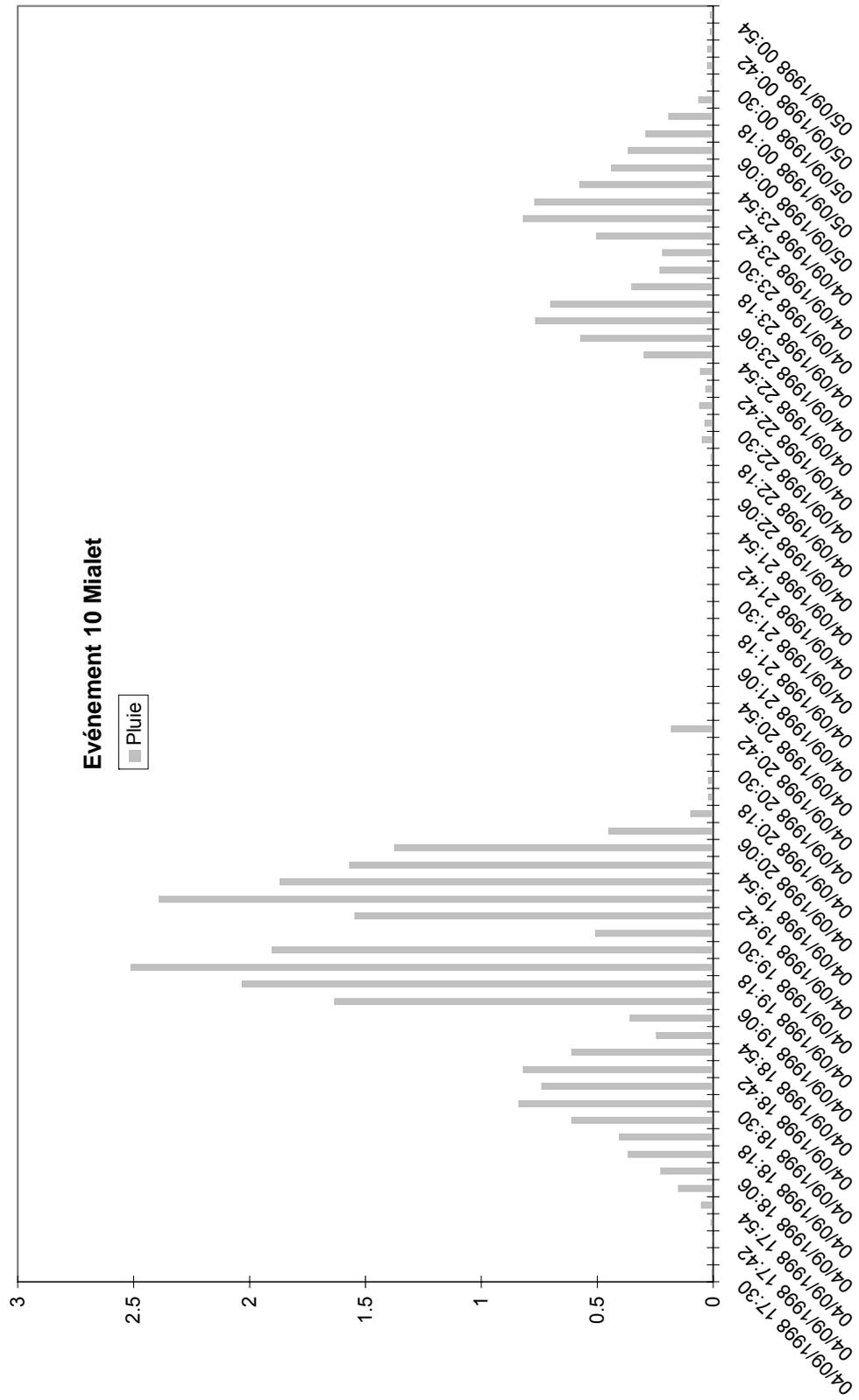


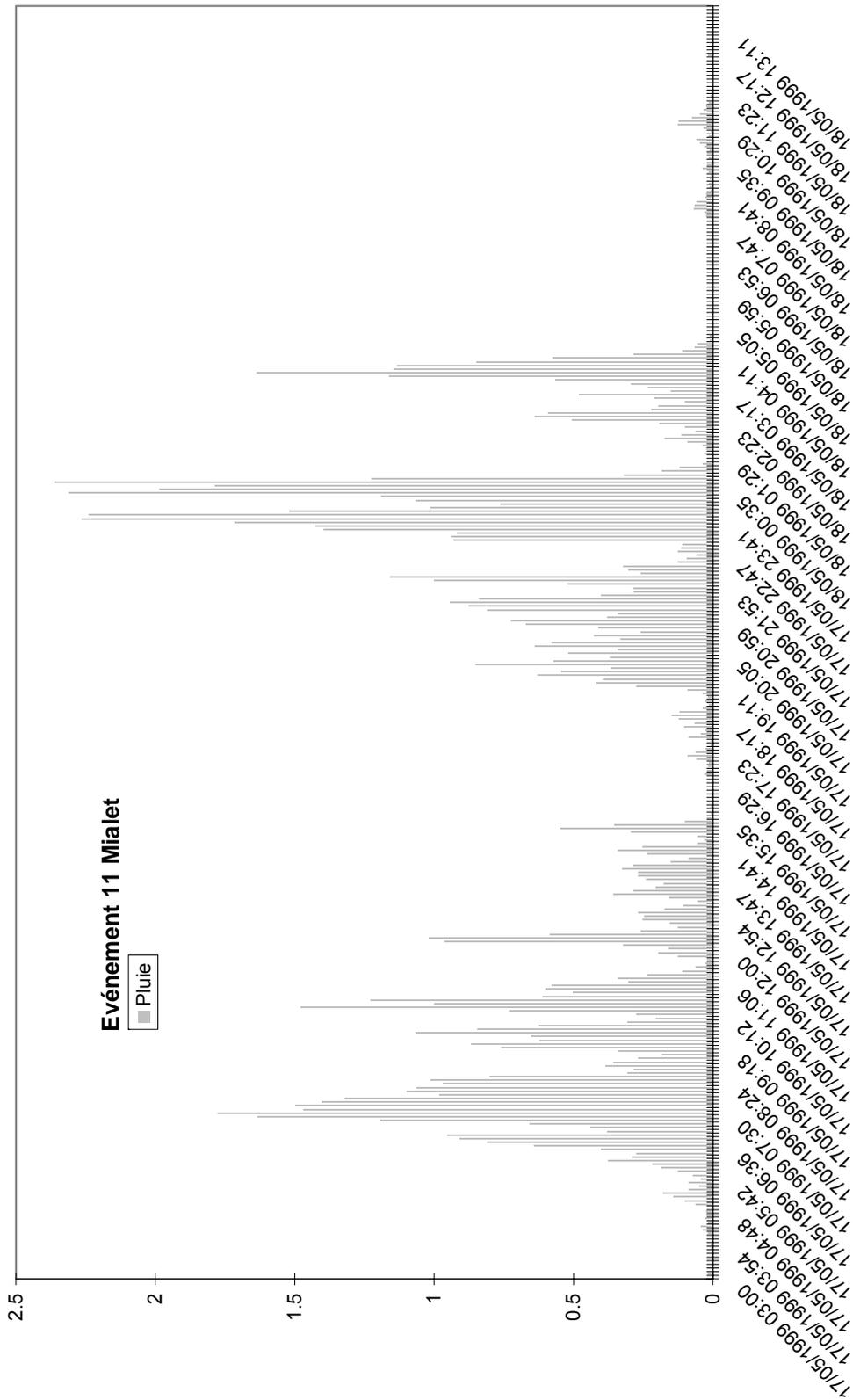


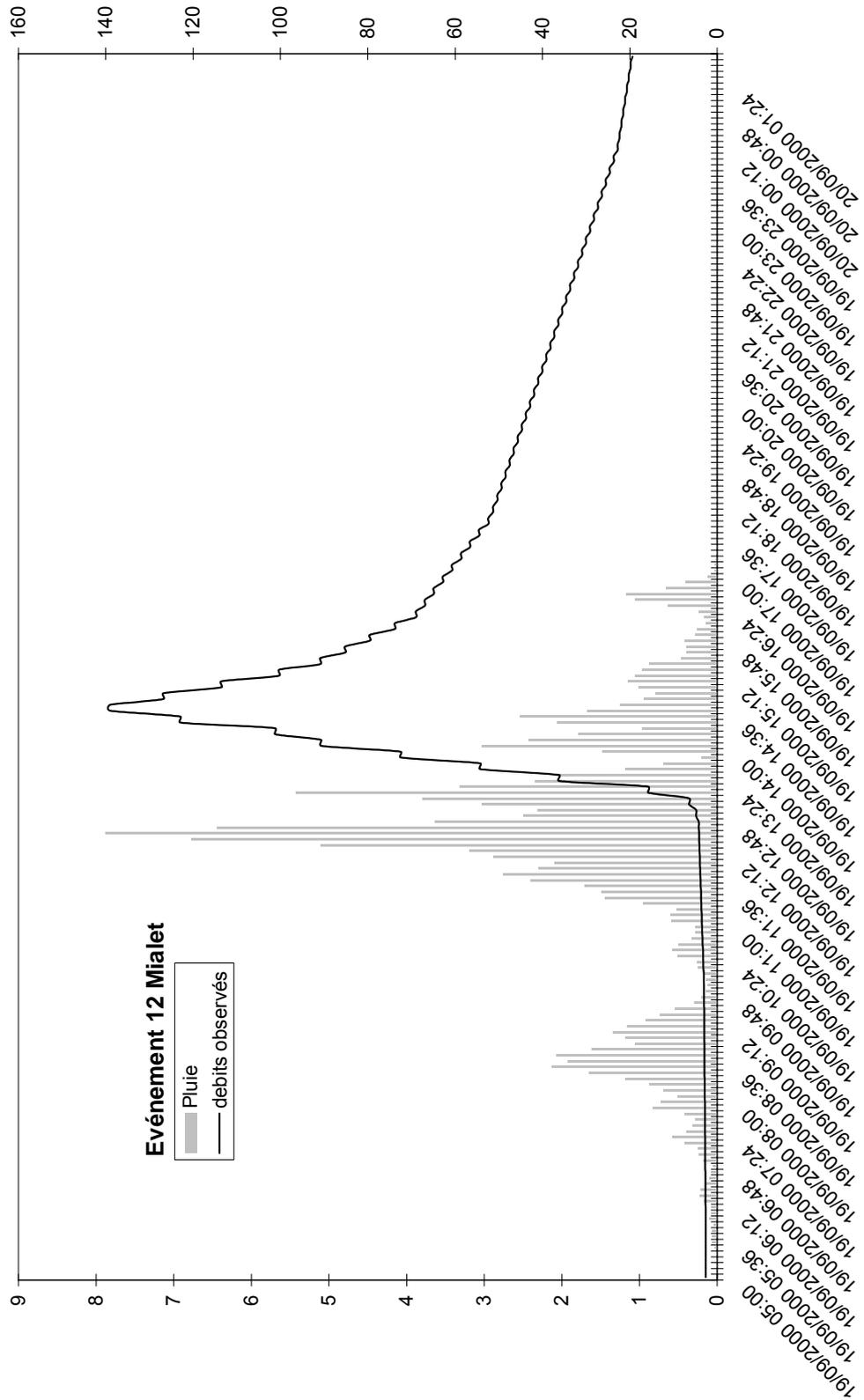


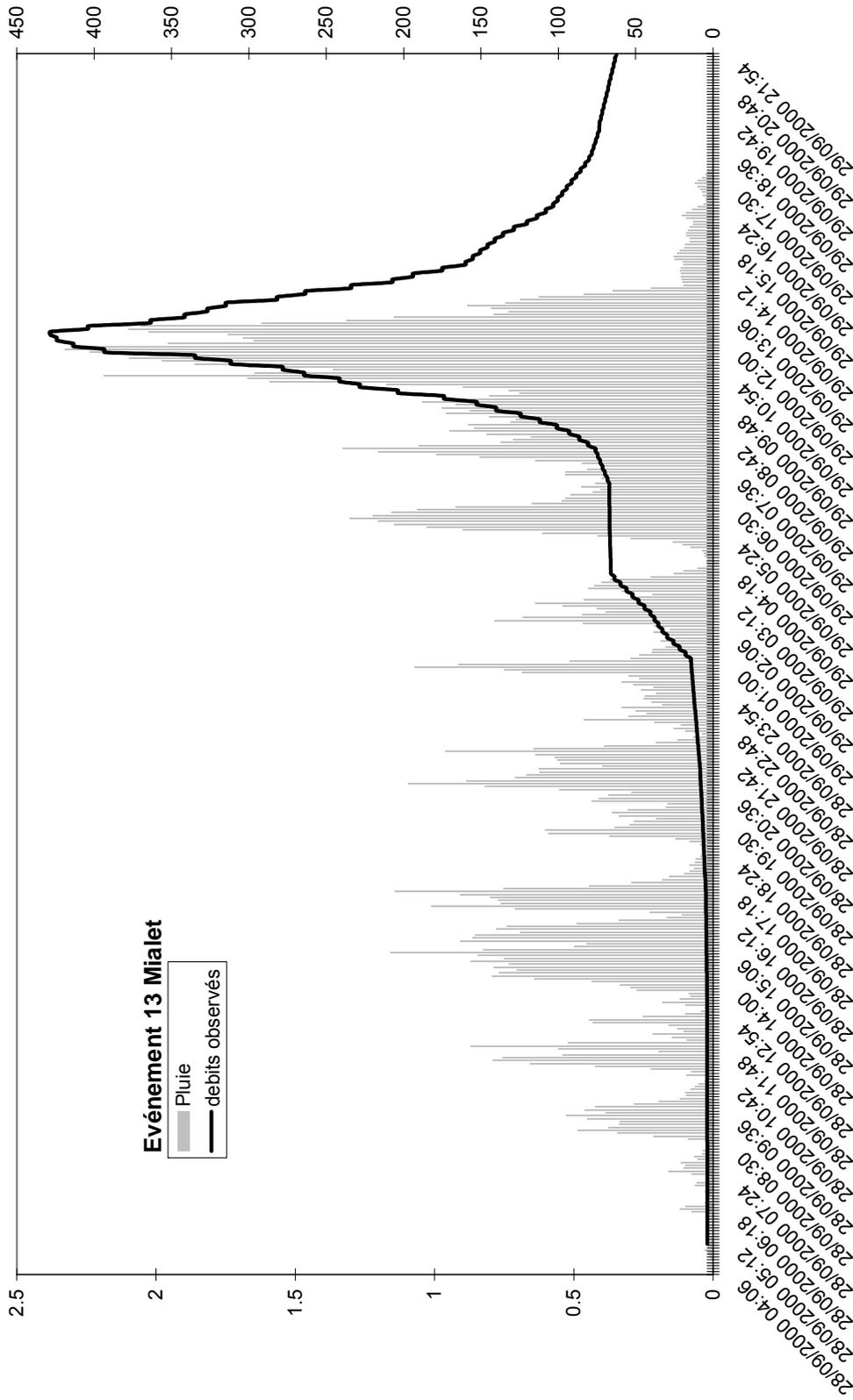


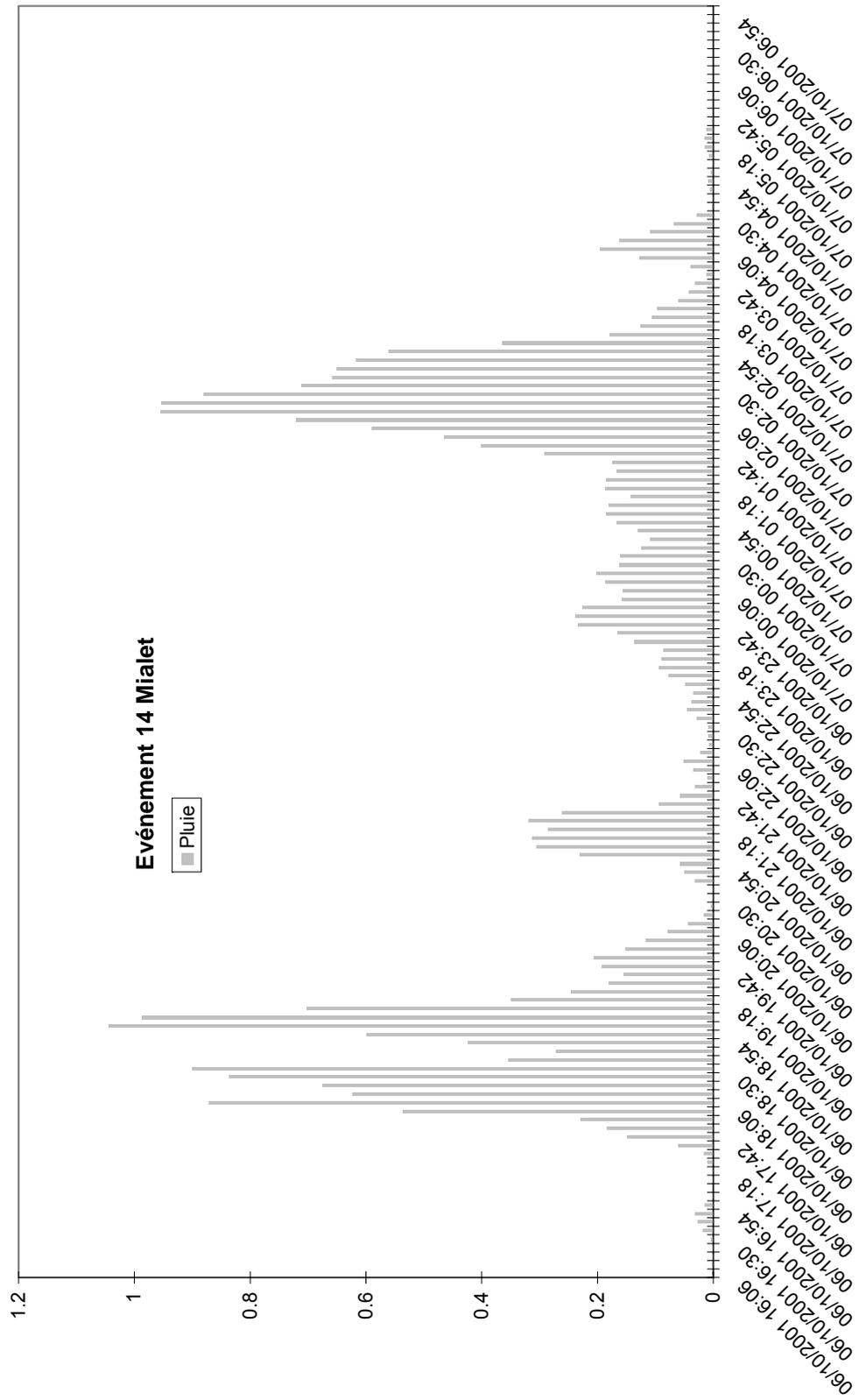


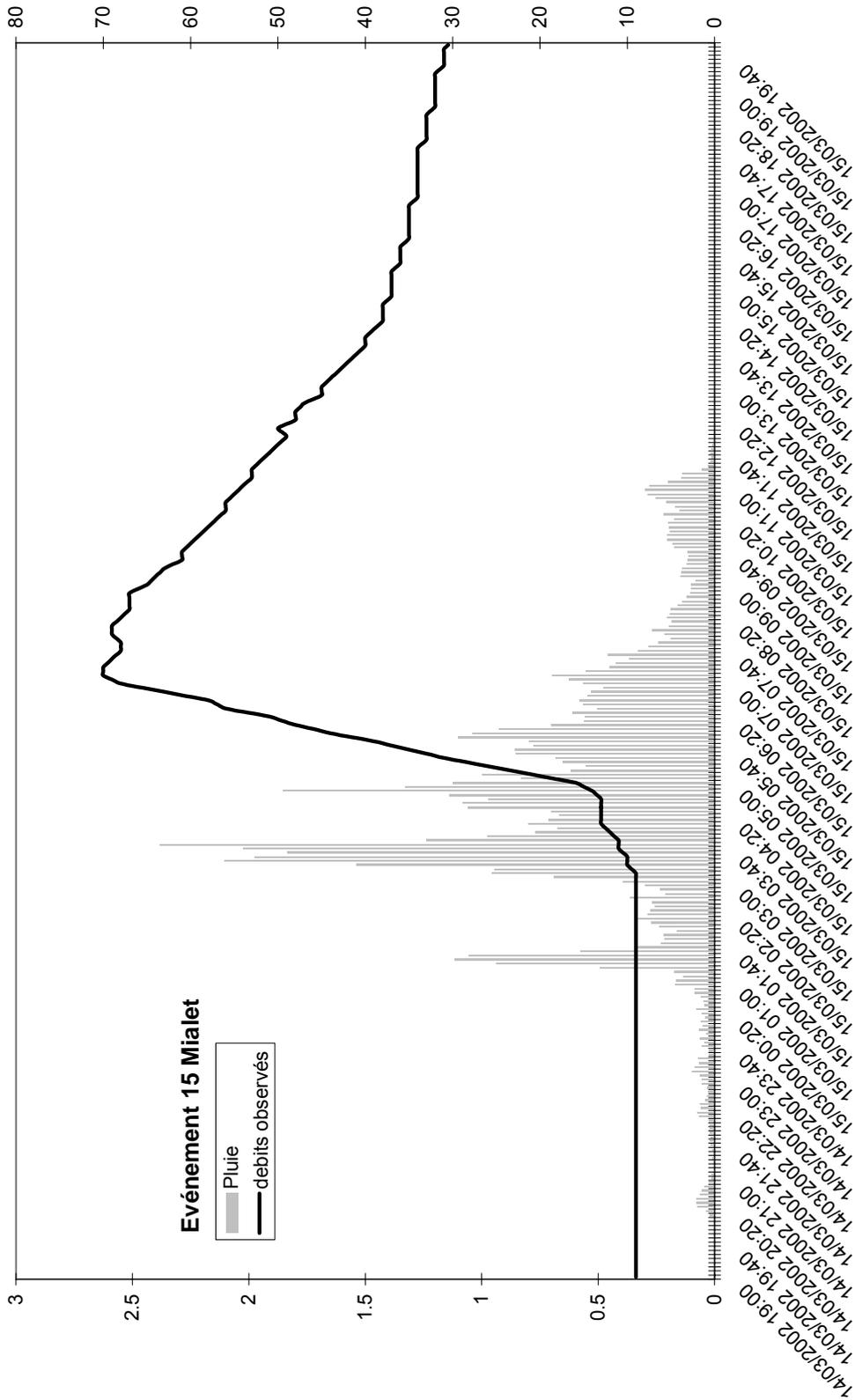


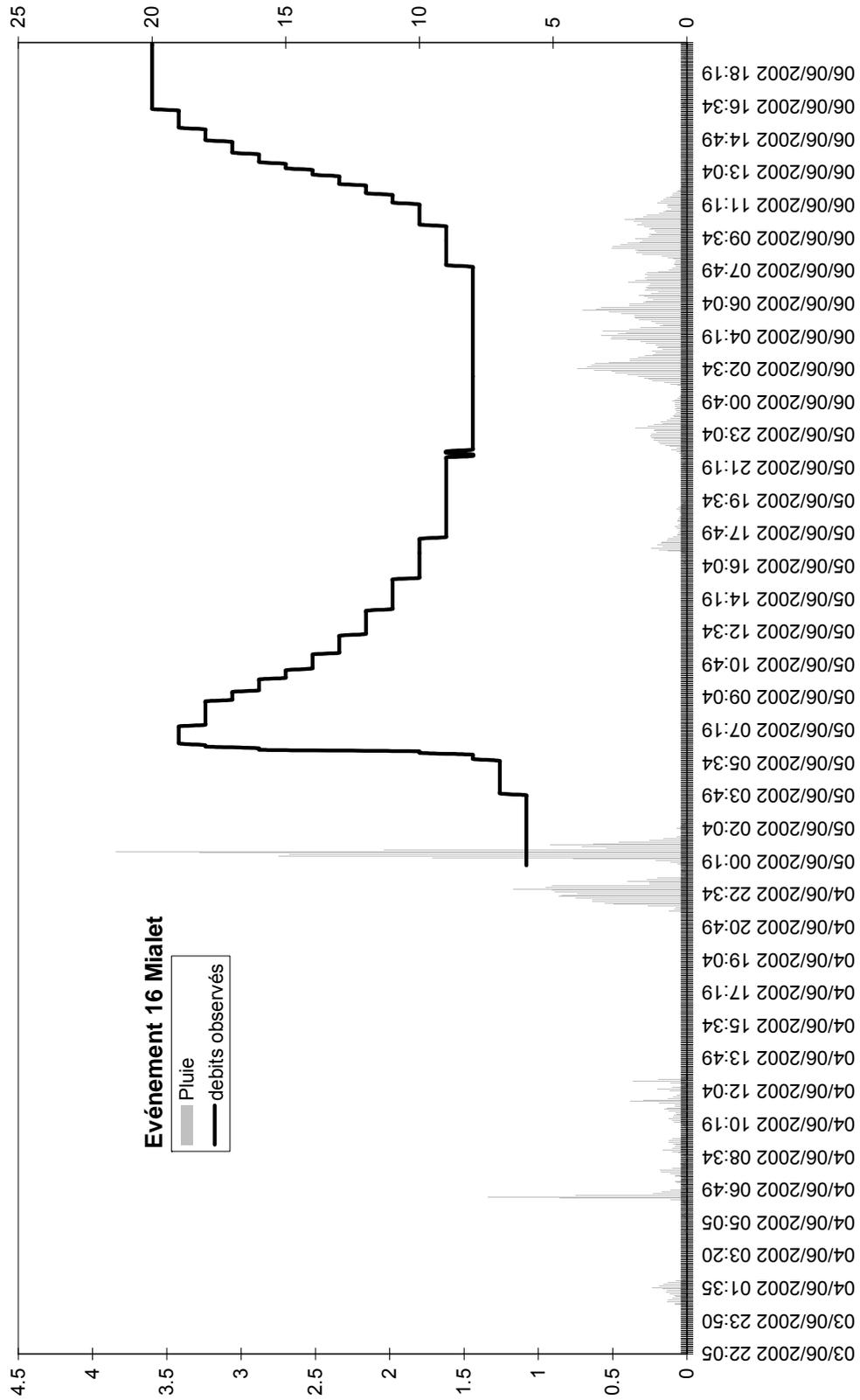


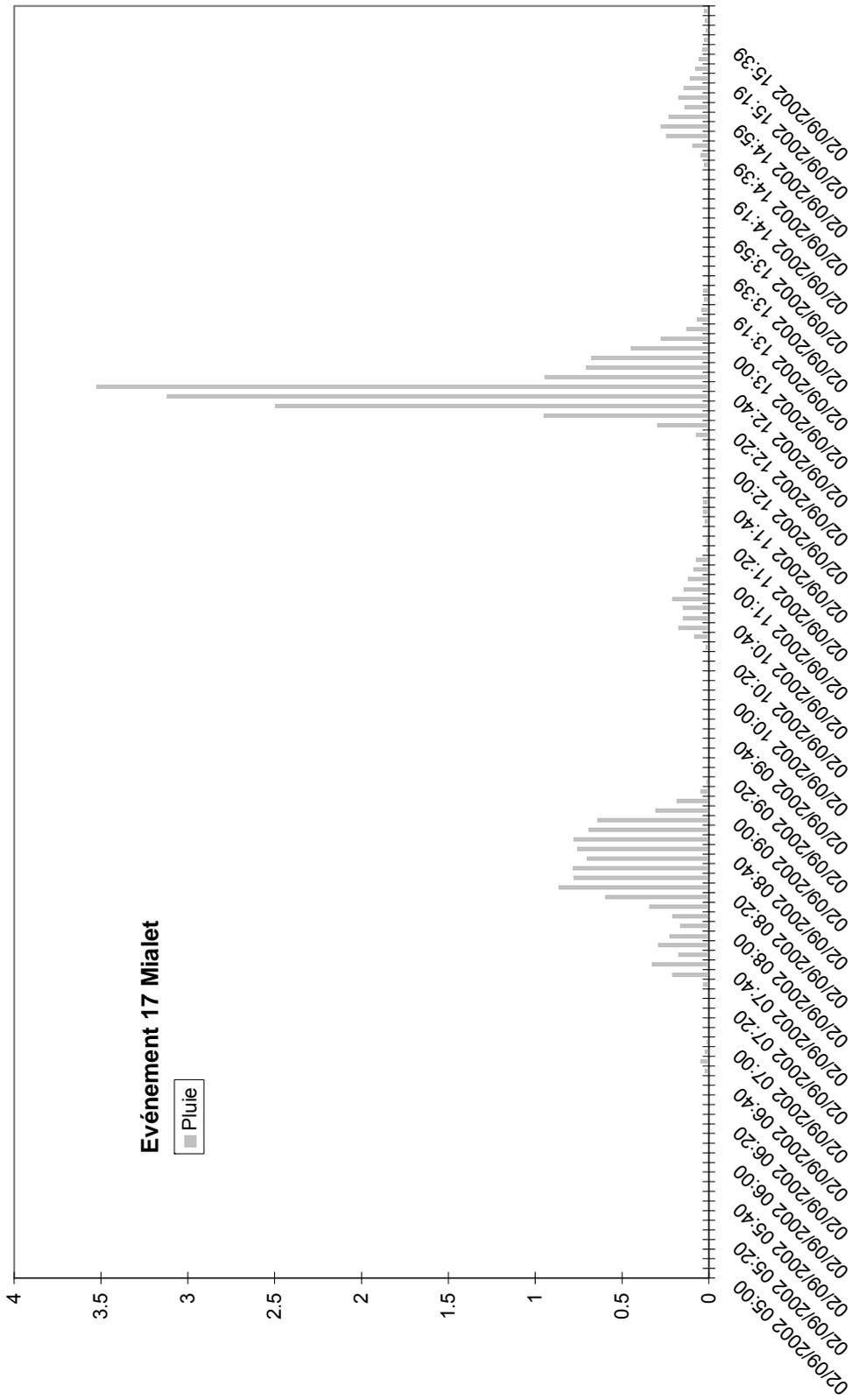


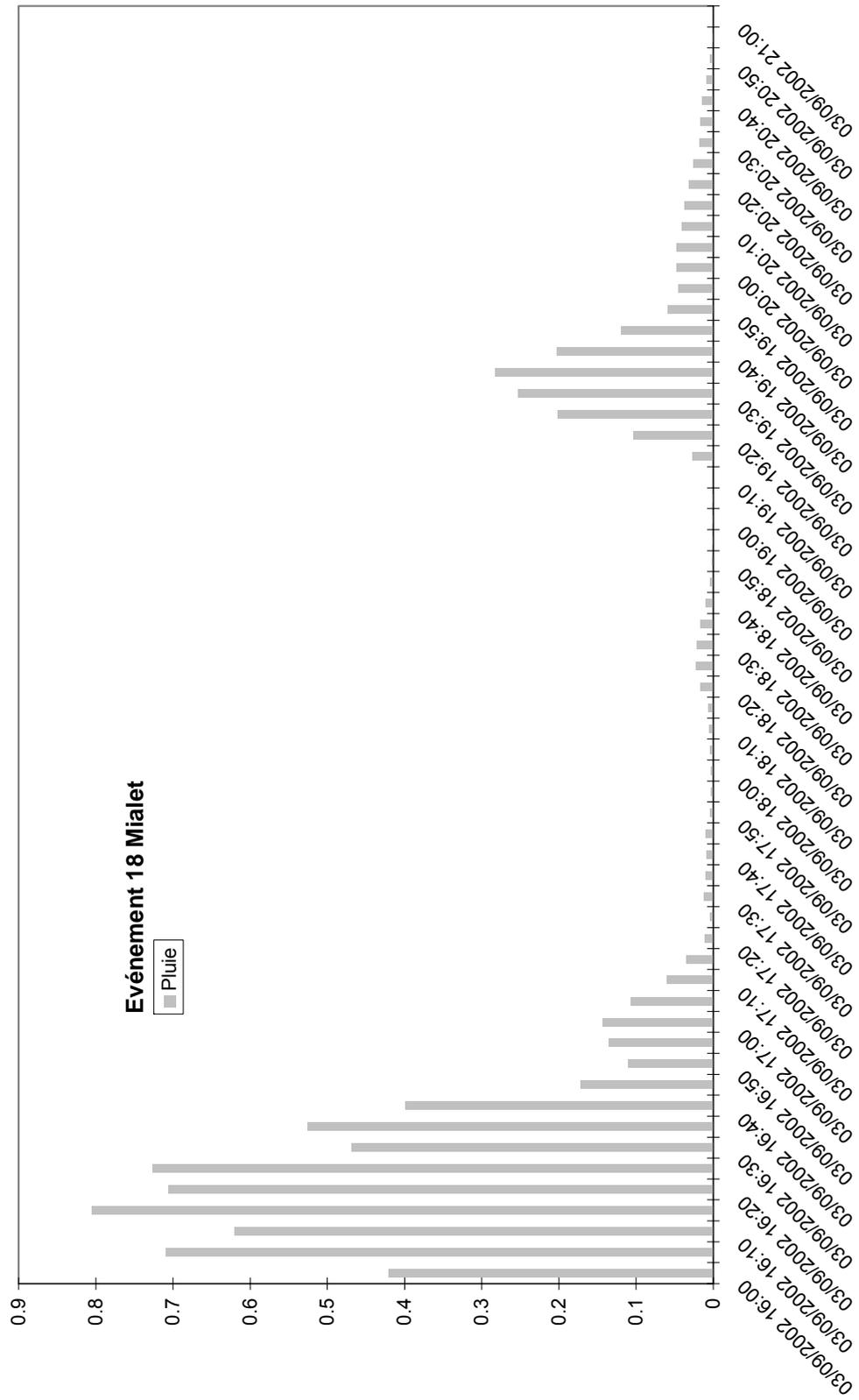


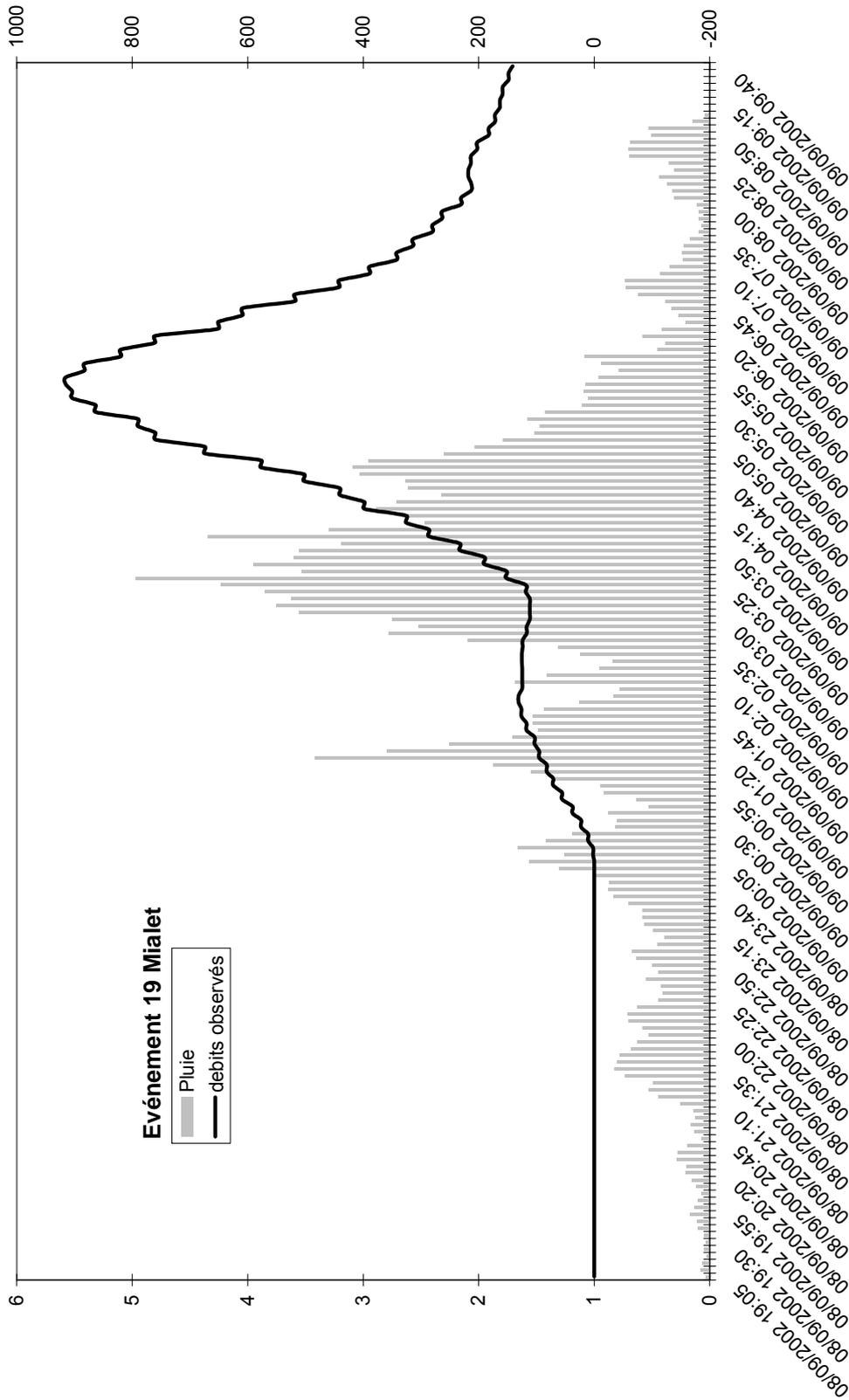












## **Annexe 6**

# **Routine d'importation des données pluviométriques**



```

#include "Utilitaires.h"
#include <iostream> // pour les manipulations d'I/O sur cin/cout
#include <iomanip>
#include <fstream> // pour les manipulations d'I/O sur file
#include <sstream> // pour les manipulations d'I/O sur string
#include <string>
using namespace std;

const int NMAX = 100;

//-----
// LIT le fichier de PARAMETRES
//-----
bool LitParam(string FichierParam,
              string &DirData, int &NumEven, string &FichListe,
              bool &OptionHyeto, string &FichHyeto,
              bool &OptionIntegration, string &FichIntegration,
              string &FichDeb, string &FichFin,
              int &NbLig, int &NbCol)
{
    string ligne;
    int i;

    filebuf MonFichier;
    // Ouverture du flux d'entrée
    if(MonFichier.open(FichierParam.c_str(), ios::in)!=NULL)
    {
        cerr << "Le fichier n'existe pas, ou n'est pas lisible !! "
              << FichierParam.c_str() << endl;
        return false;
    }
    istream FichierEntree(&MonFichier);
    AfficheMessage("> Lecture du fichier de parametres :",FichierParam);

    for (i=0; i < 4; i++) getline(FichierEntree,ligne);
    // Répertoire des fichiers de données
    getline(FichierEntree,ligne);
    getline(FichierEntree,ligne); LitLigne(ligne,DirData);
    // Numéro de l'événement
    getline(FichierEntree,ligne);
    getline(FichierEntree,ligne); LitLigne(ligne,NumEven);
    // Fichier contenant la liste des fichiers de données
    getline(FichierEntree,ligne);
    getline(FichierEntree,ligne); LitLigne(ligne,FichListe);
    // Choix du calcul de hyétogramme
    getline(FichierEntree,ligne);
    getline(FichierEntree,ligne); LitLigne(ligne,OptionHyeto);
    // Nom du fichier de sortie
    getline(FichierEntree,ligne);
    getline(FichierEntree,ligne); LitLigne(ligne,FichHyeto);
    // Choix du calcul de précipitations totales sur une période
    getline(FichierEntree,ligne);
    getline(FichierEntree,ligne); LitLigne(ligne,OptionIntegration);
    // Nom du fichier de sortie
    getline(FichierEntree,ligne);
    getline(FichierEntree,ligne); LitLigne(ligne,FichIntegration);
    // Nom du fichier de début

```

```

        getline(FichierEntree,ligne);
        getline(FichierEntree,ligne); LitLigne(ligne,FichDeb);
// Nom du fichier de fin
        getline(FichierEntree,ligne);
        getline(FichierEntree,ligne); LitLigne(ligne,FichFin);
// Nombre de lignes des fichiers de données
        getline(FichierEntree,ligne);
        getline(FichierEntree,ligne); LitLigne(ligne,NbLig);
// Nombre de colonnes des fichiers de données
        getline(FichierEntree,ligne);
        getline(FichierEntree,ligne); LitLigne(ligne,NbCol);
// Fermeture du fichier
        MonFichier.close();
        AfficheMessage("    *** Fichier de parametres lu ***\n");

        return true;
}

//-----
// CALCULE le HYETOGRAMME
//-----
void CalculeHyeto(string DirData, int NumEven, string FichListe,
                 string FichHyeto, string FichDeb, string FichFin, int NbLig, int NbCol)
{
    string FichierListe = DirData+FichListe;
    string ligne;
    string FichierCourant = "";
    int compteur=0;
    double PluieTotale;
    unsigned short int Pluie;
    double dNPoints = (double) (NbLig*NbCol);
    string date;

    filebuf MonFichier;
// Ouverture du flux d'entrée
    if(MonFichier.open(FichierListe.c_str(), ios::in)==NULL)
    {
        cerr << "Le fichier n'existe pas, ou n'est pas lisible !! "
              << FichierListe.c_str() << endl;
        return;
    }
    istream FichierEntree(&MonFichier);
    AfficheMessage("> Lecture du fichier listant les fichiers de donnees : ",FichierListe);

// Ouverture du flux de sortie
    ofstream FichierSortie;
    FichierSortie.open((DirData+FichHyeto).c_str(), ios::out | ios::trunc);
    if (FichierSortie.bad()) {
        cerr << "Erreur lors de l'ouverture du fichier " << FichHyeto << endl;
        FichierSortie.close(); return;
    }

// Parcourt la liste pour trouver le premier
    while (FichierCourant != FichDeb)
    {
        getline(FichierEntree,ligne);
        LitLigne(ligne,FichierCourant);
    }

```

```

        AfficheMessage("> Calcul des precipitations moyennes a partir de : ",FichierCourant);
// Parcours la liste à partir du premier, en lisant les données
while (FichierCourant != FichFin)
{
    PluieTotale = 0.;
//      AfficheMessage("      ..... lecture de : ",FichierCourant);

    ifstream FileIn((DirData+FichierCourant).c_str(),ios::binary);
    for (int i=0; i < NbCol; i++)
    {
        for (int j=0; j < NbLig; j++)
        {
            FileIn.read((char*) &Pluie, sizeof(Pluie));
            PluieTotale += (double) Pluie;
        }
    }
    FileIn.close();

// On note dans le fichier hyéto de sortie : date et pluie moyenne
    date = FichierCourant.substr(5,12);

//      AfficheMessage("      ---> ",((float) PluieTotale)/dNPoints/1000.," mm");

    FichierSortie << date;
    FichierSortie << " " << setw(9) << PluieTotale/dNPoints/1000. << endl;

    getline(FichierEntree,ligne);
    LitLigne(ligne,FichierCourant);
}

FichierSortie.close();
AfficheMessage("      *** Fichier de hyetogramme écrit ***\n");
return;
}

//-----
// CALCULE une grille de PLUIE CUMULEE entre deux dates
//-----
void IntegrePluie(string DirData, int NumEven, string FichListe,
                string FichIntegration, string FichDeb, string FichFin, int NbLig, int
NbCol)
{
    string FichierListe = DirData+FichListe;
    string ligne;
    string FichierCourant = "";
    int compteur=0;
    double PluieTotale[NMAX][NMAX];
    int i,j;
    unsigned short int Pluie;
    double dNPoints = (double) (NbLig*NbCol);
    string date1,date2;
    string FichierIntegration;
    int NumZone;
    string IndiceZone;

```

```

int xcoord[6],ycoord[6];

xcoord[0] = 753200;
ycoord[0] = 179600;
xcoord[1] = 742700;
ycoord[1] = 186100;
xcoord[2] = 713700;
ycoord[2] = 195100;
xcoord[3] = 700700;
ycoord[3] = 238100;
xcoord[4] = 741700;
ycoord[4] = 231100;
xcoord[5] = 671700;
ycoord[5] = 215100;

// initialisation de la grille de pluie cumulée
for (i=0; i < NbCol; i++)
{
    for (j=0; j < NbLig; j++)
    {
        PluieTotale[i][j] += 0.;
    }
}

filebuf MonFichier;
// Ouverture du flux d'entrée
if(MonFichier.open(FichierListe.c_str(), ios::in)==NULL)
{
    cerr << "Le fichier n'existe pas, ou n'est pas lisible !! "
        << FichierListe.c_str() << endl;
    return;
}
istream FichierEntree(&MonFichier);
AfficheMessage("> Lecture du fichier listant les fichiers de donnees : ",FichierListe);

// Parcourt la liste pour trouver le premier
while (FichierCourant != FichDeb)
{
    getline(FichierEntree,ligne);
    LitLigne(ligne,FichierCourant);
}
// On note la date du debut
date1 = FichierCourant.substr(5,12);

AfficheMessage("> Calcul des precipitations cumulees a partir de : ",FichierCourant);

// Parcourt la liste à partir du premier, en lisant les données
while (FichierCourant != FichFin)
{
    AfficheMessage(" ..... lecture de : ",FichierCourant);

    ifstream FileIn((DirData+FichierCourant).c_str(),ios::binary);
    for (i=0; i < NbCol; i++)
    {
        for (j=0; j < NbLig; j++)
        {
            FileIn.read((char*) &Pluie, sizeof(Pluie));
            PluieTotale[i][j] += (double) Pluie;
        }
    }
}

```

```

    }
    FileIn.close();

//      AfficheMessage("      ---> ",((float) PluieTotale)/dNPoints/1000.," mm");

    getline(FichierEntree,ligne);
    LitLigne(ligne,FichierCourant);
}

// On note la date de fin
date2 = FichierCourant.substr(5,12);

// Nom du fichier de sortie
IndiceZone = FichDeb.substr(3,1);
istringstream LigneEntree(IndiceZone);
LigneEntree >> NumZone;

string PrefixeZone = FichDeb.substr(0,5);

//      FichierIntegration = PrefixeZone+date1+"-"+date2+FichIntegration;

ostringstream strNum;

strNum << NumEven;
if (NumEven < 10)
    FichierIntegration = "ev0"+strNum.str()+"-"+PrefixeZone+date1+"."+FichIntegration;
else
    FichierIntegration = "ev"+strNum.str()+"-"+PrefixeZone+date1+"."+FichIntegration;

// Ouverture du flux de sortie
ofstream FichierSortie;
FichierSortie.open((DirData+FichierIntegration).c_str(), ios::out | ios::trunc);
if (FichierSortie.bad()) {
    cerr << "Erreur lors de l'ouverture du fichier " << FichIntegration << endl;
    FichierSortie.close(); return;
}

// Ecriture de l'en-tete
FichierSortie << "ncols " << NbCol << endl;
FichierSortie << "nrows " << NbLig << endl;

FichierSortie << "xllcenter " << xcoord[NumZone-1] << endl;
FichierSortie << "yllcenter " << ycoord[NumZone-1] - 1000*(NbLig-1) << endl;
FichierSortie << "cellsize " << 1000 << endl;
FichierSortie << "nodata_value " << -9999 << endl;

for (j=0; j < NbLig; j++)
{
    for (i=0; i < NbCol; i++)
    {
        FichierSortie << setw(9) << PluieTotale[i][j]/1000. << " ";
    }
    FichierSortie << endl;
}

FichierSortie.close();

```

```
        AfficheMessage("    *** Fichier de pluie cumulee ecrit ***\n");
        return;
    }

//=====
//=====
// PROGRAMME PRINCIPAL
//=====
//=====
int main()
{
    bool flag;
    bool OptionHyeto, OptionIntegration;
    string FichHyeto, FichIntegration, DirData, FichListe, FichDeb, FichFin;
    int NumEven, NbLig, NbCol;

    flag = LitParam("calam.param",DirData,NumEven,FichListe,
    OptionHyeto,FichHyeto,OptionIntegration,FichIntegration,
    FichDeb,FichFin,NbLig,NbCol);
    if (!flag)
    {
        AfficheMessage("La lecture du fichier de parametres a echoue.");
        return 0;
    }

    if (OptionHyeto)
        CalculeHyeto(DirData,NumEven,FichListe,FichHyeto,FichDeb,FichFin,NbLig,NbCol);

    if (OptionIntegration)
        IntegrePluie(DirData,NumEven,FichListe,FichIntegration,FichDeb,FichFin,NbLig,NbCol);

    system("pause");
    return 1;
}
```



**Centre scientifique et technique**  
**Service Aménagement et Risques Naturels**  
3, avenue Claude-Guillemin  
BP 6009 – 45060 Orléans Cedex 2 – France – Tél. : 02 38 64 34 34