

---

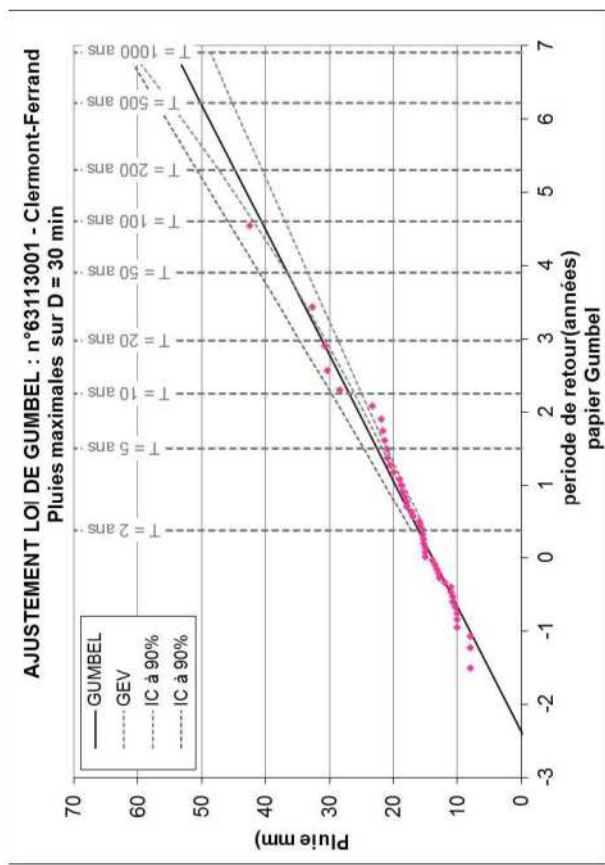
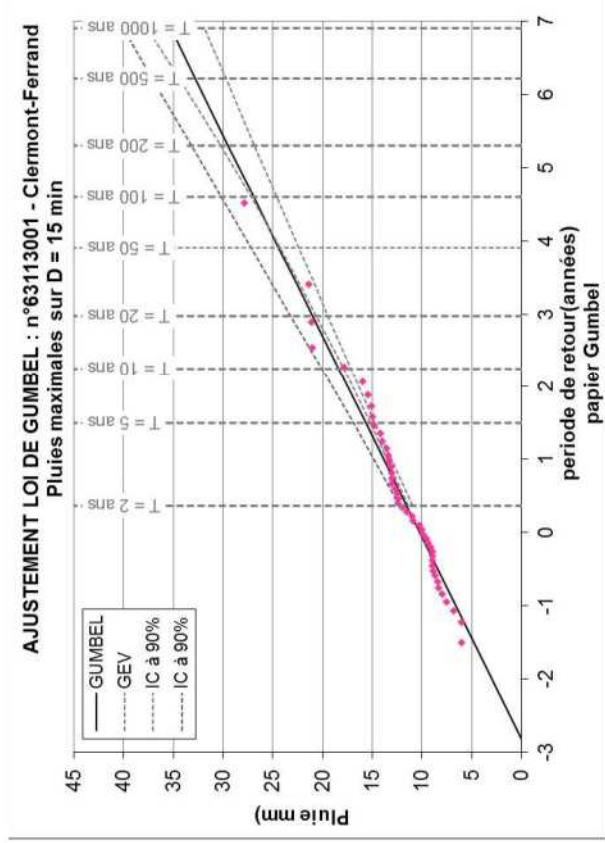
# ANNEXES

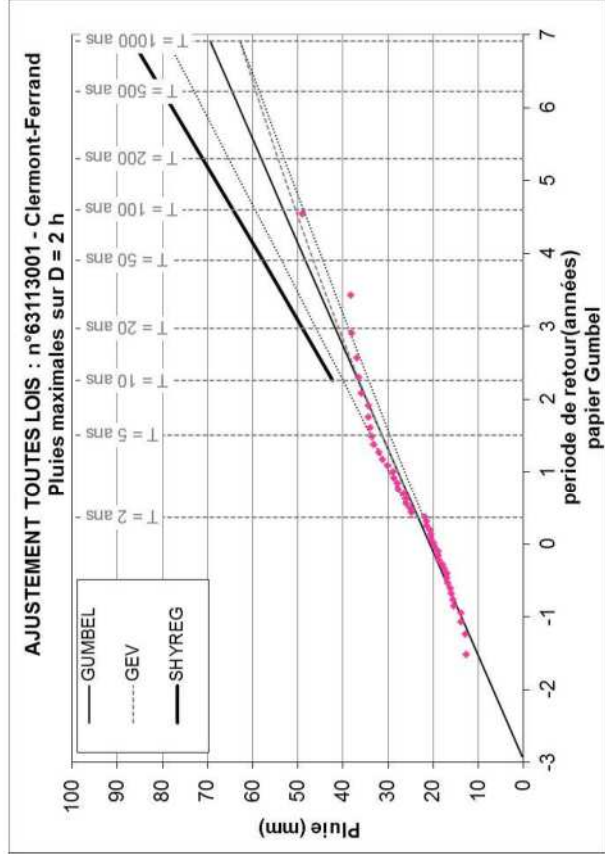
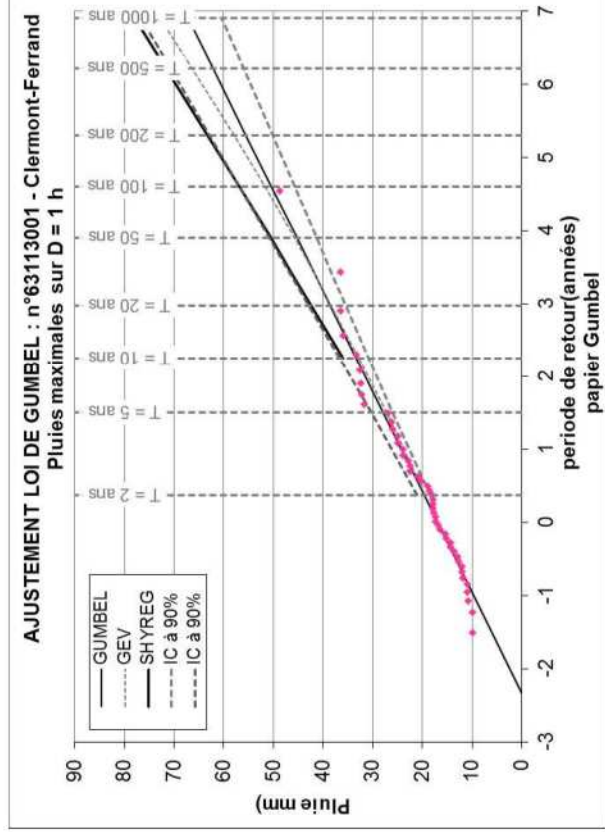
---

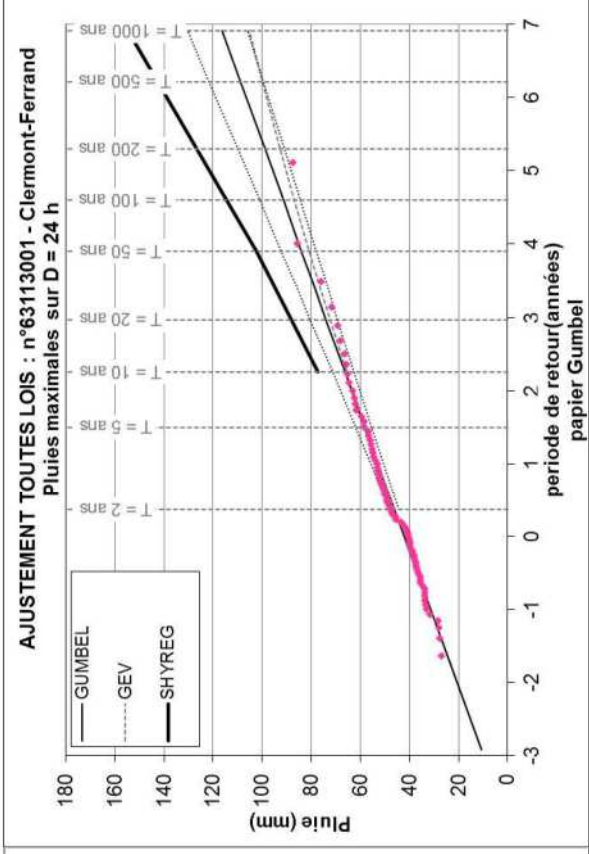
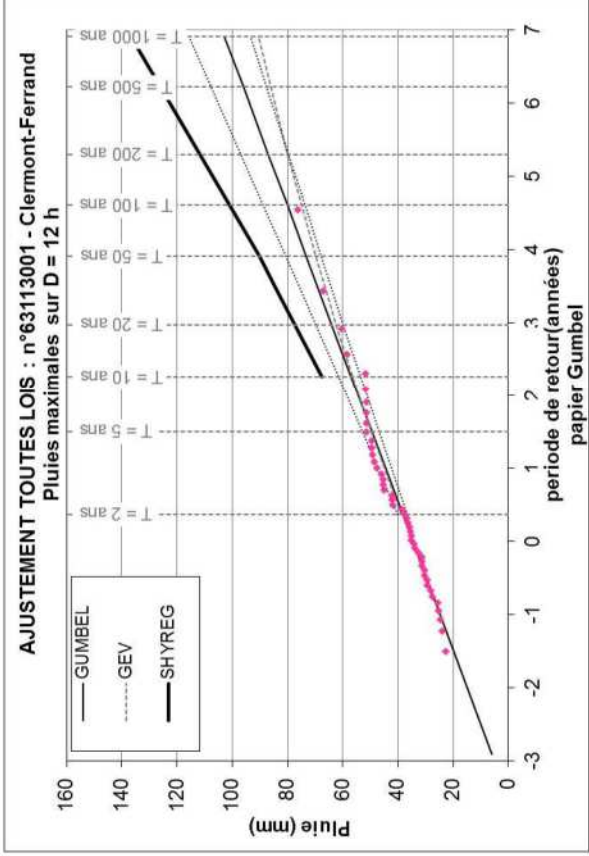
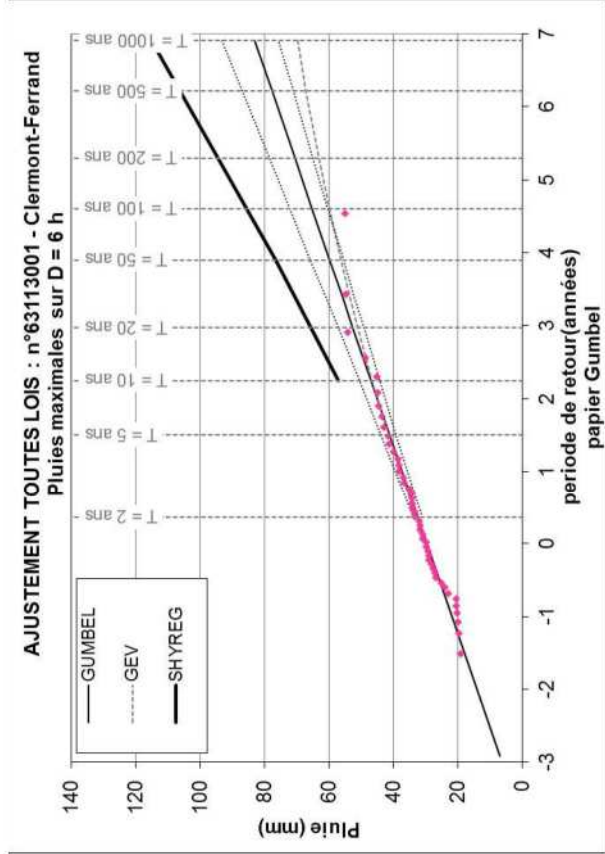
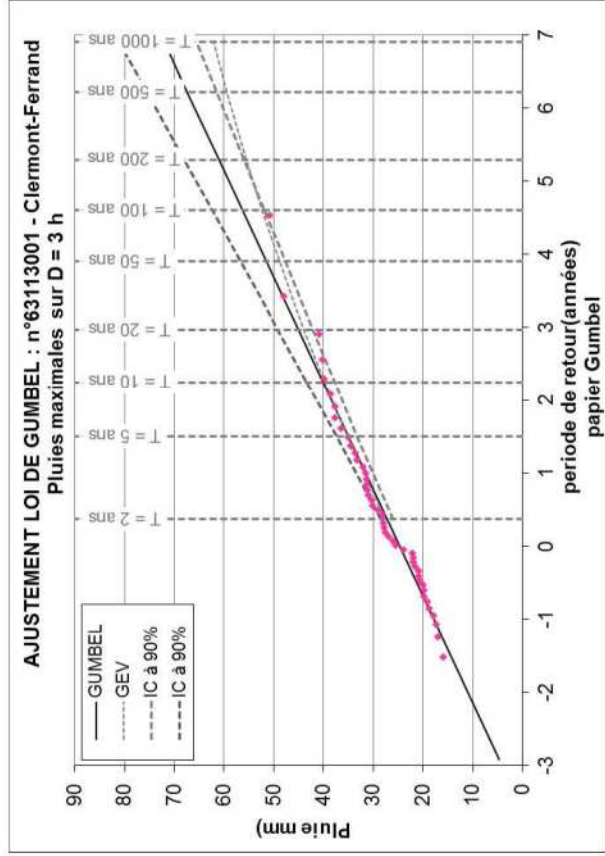
---

**A N N E X E 0 A**  
**PLUVIOMETRIE CLERMONT FERRAND,**  
**AJUSTEMENTS STATISTIQUES TOUTES LOIS**

---





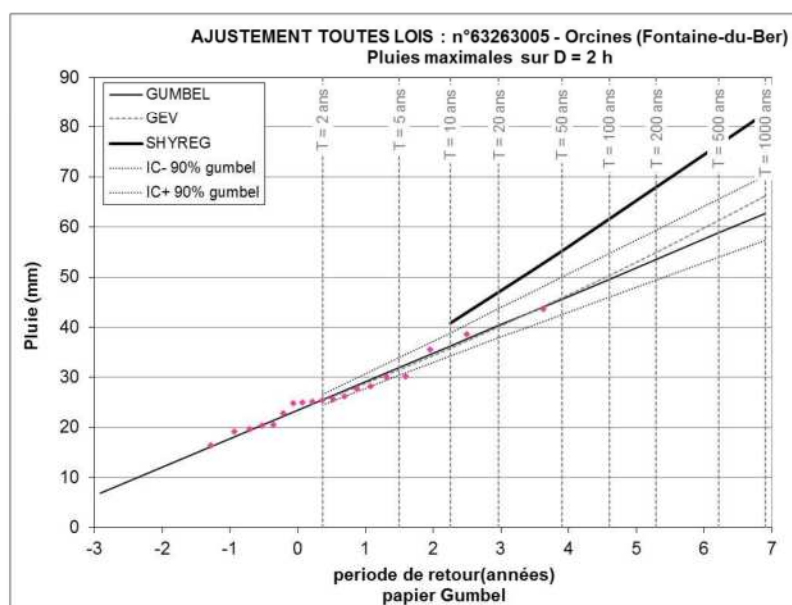


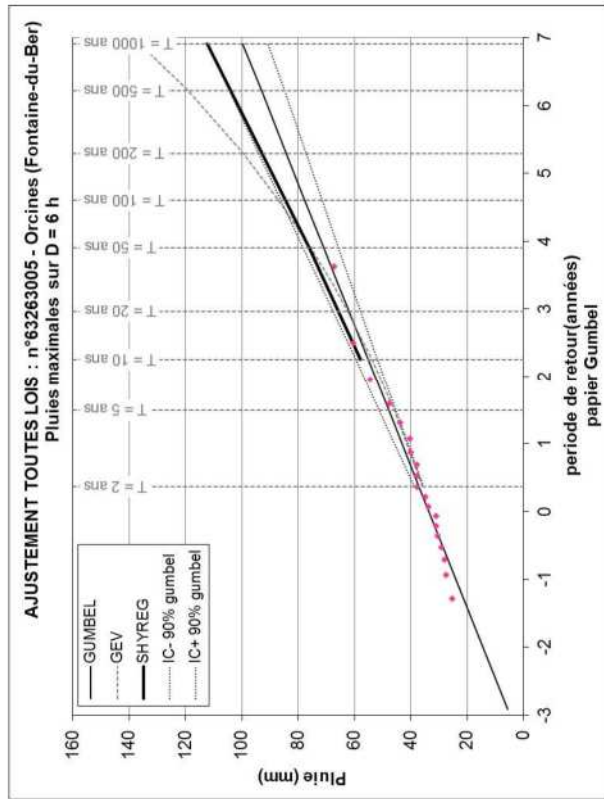
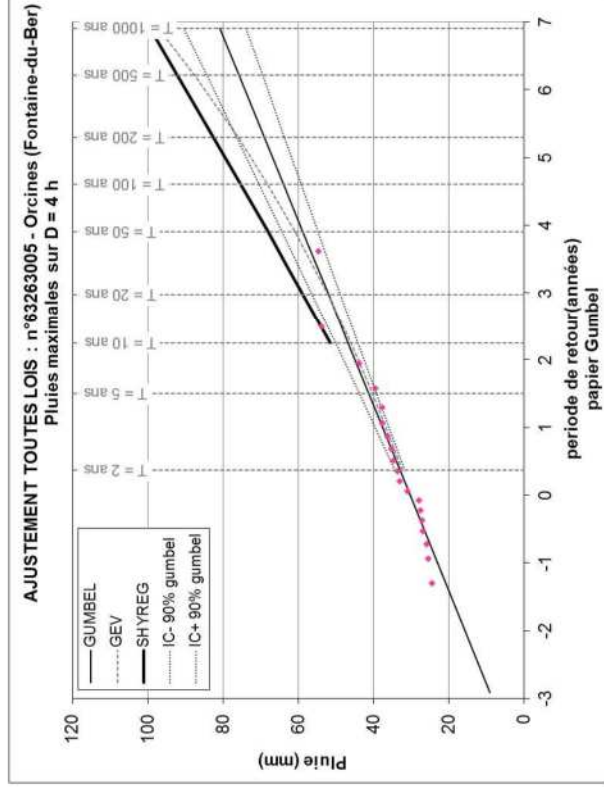
---

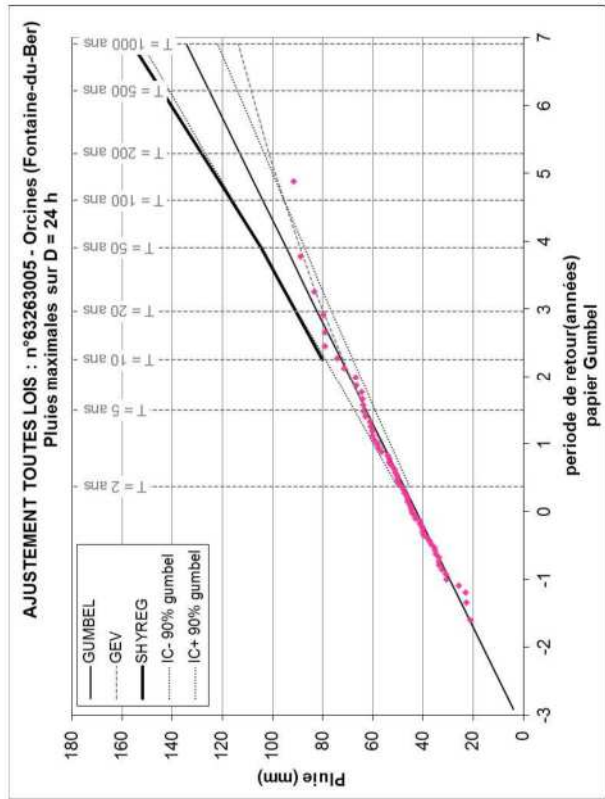
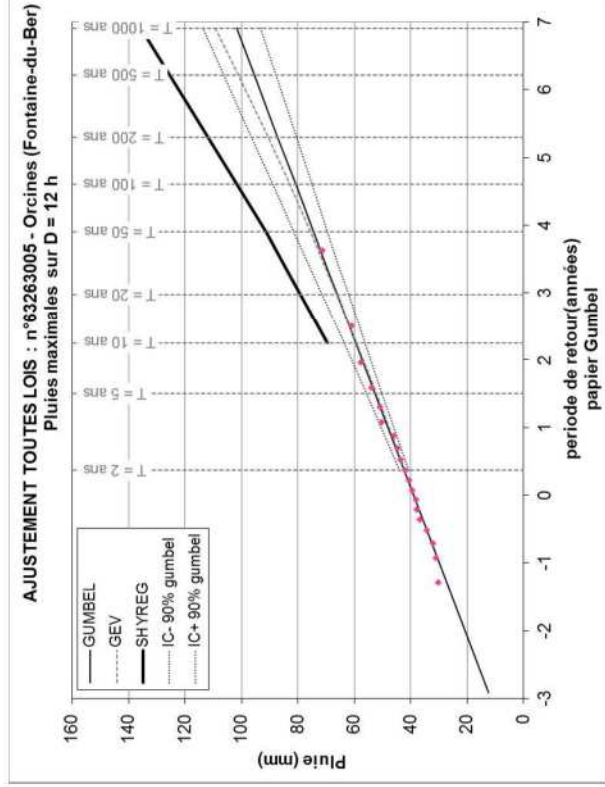
# ANNEXE 0 B

## PLUVIOMETRIE ORCINES, AJUSTEMENTS STATISTIQUES TOUTES LOIS

---







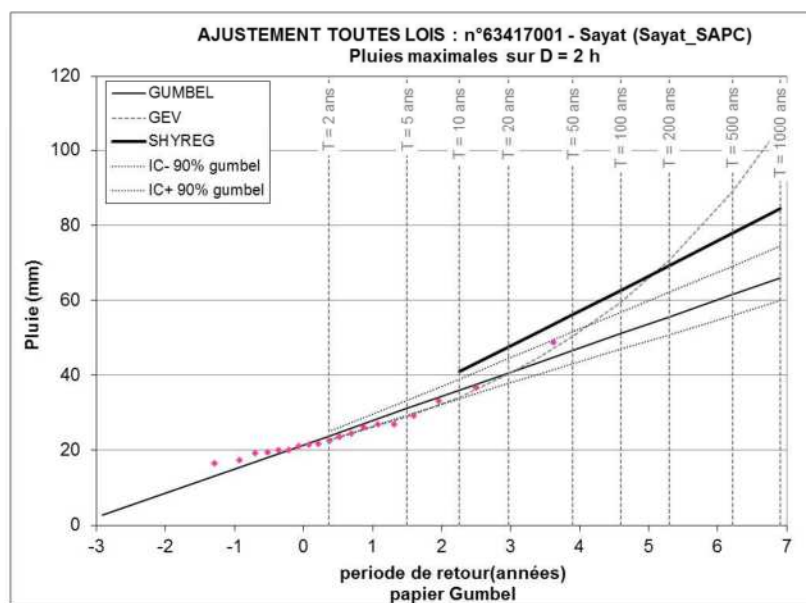


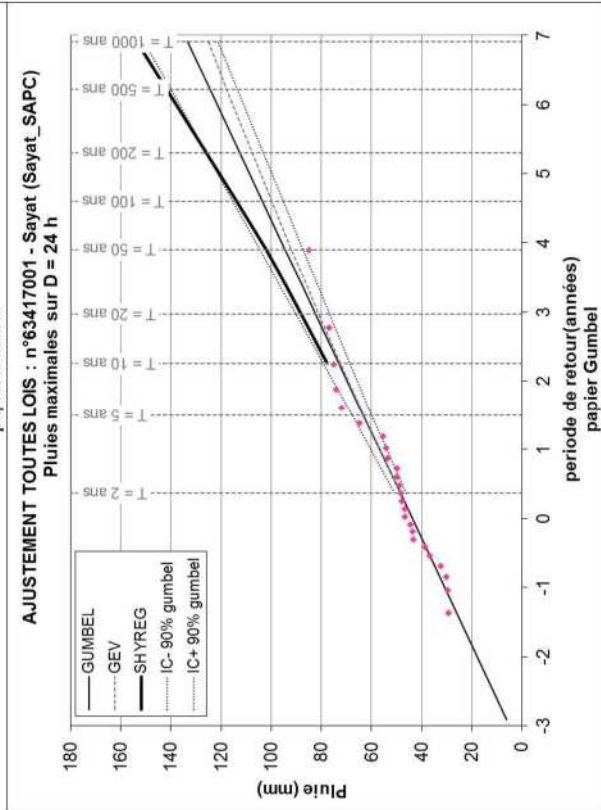
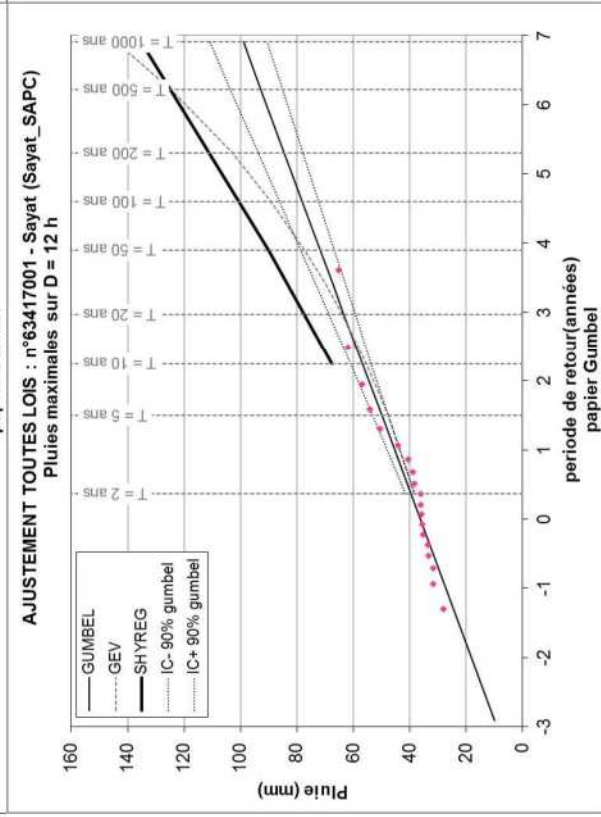
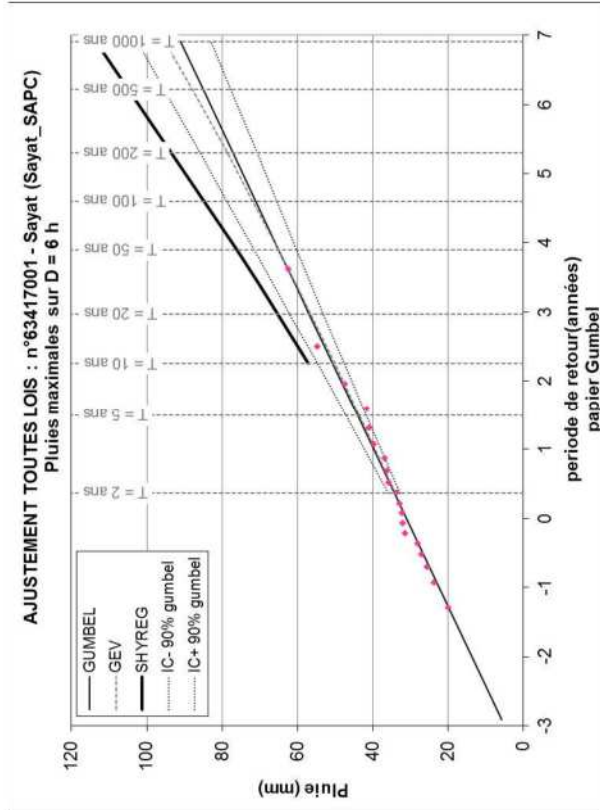
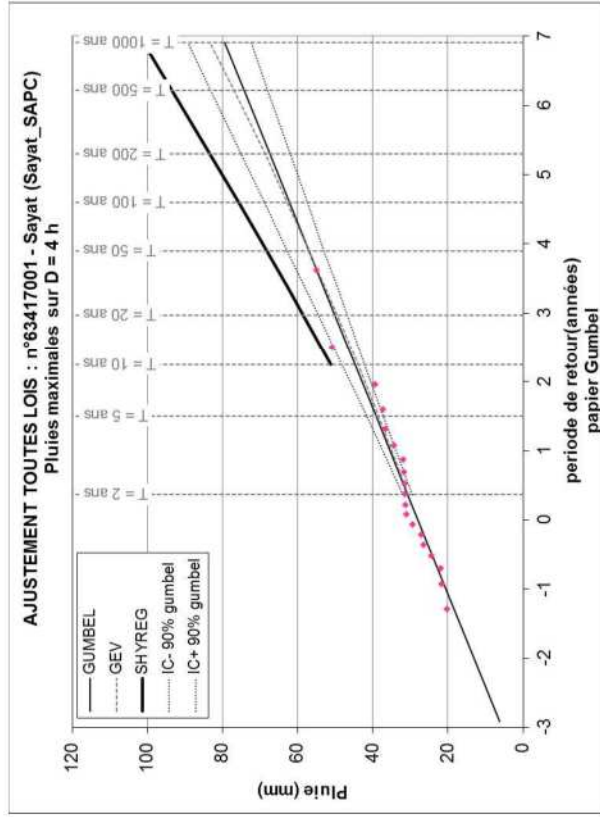
---

# ANNEXE 0 C

## PLUVIOMETRIE SAYAT, AJUSTEMENTS STATISTIQUES TOUTES LOIS

---



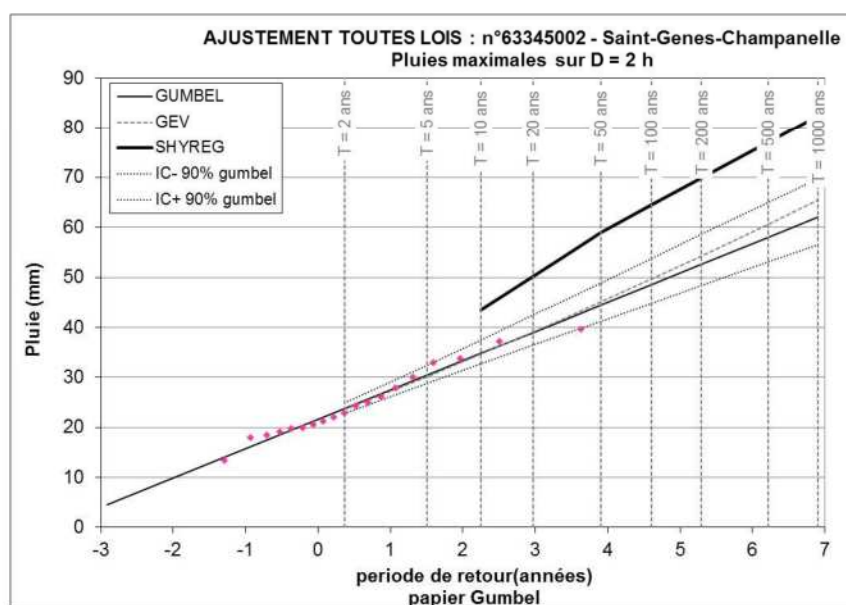


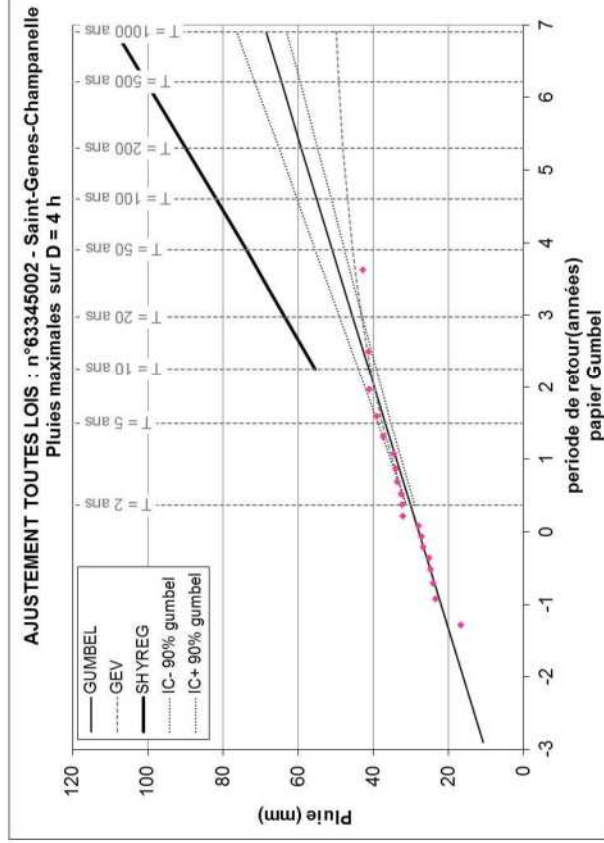
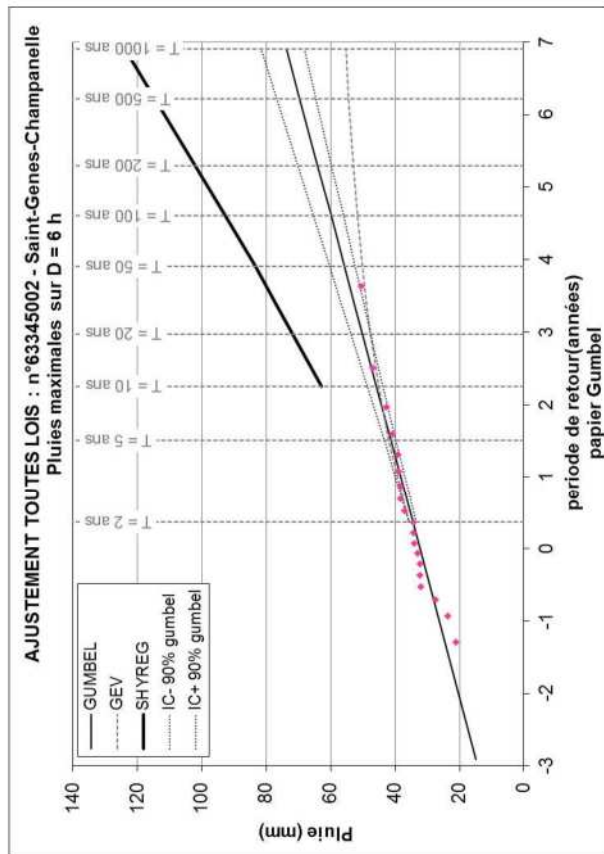
---

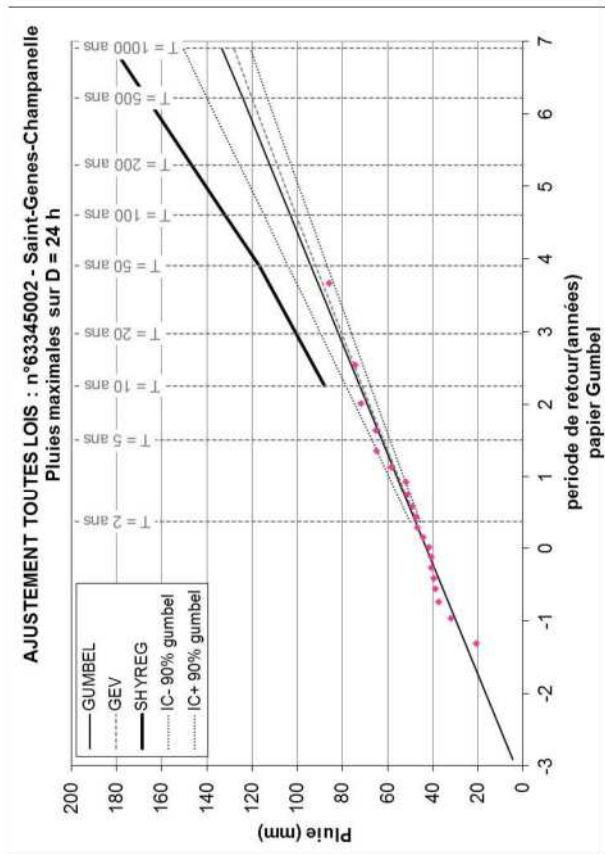
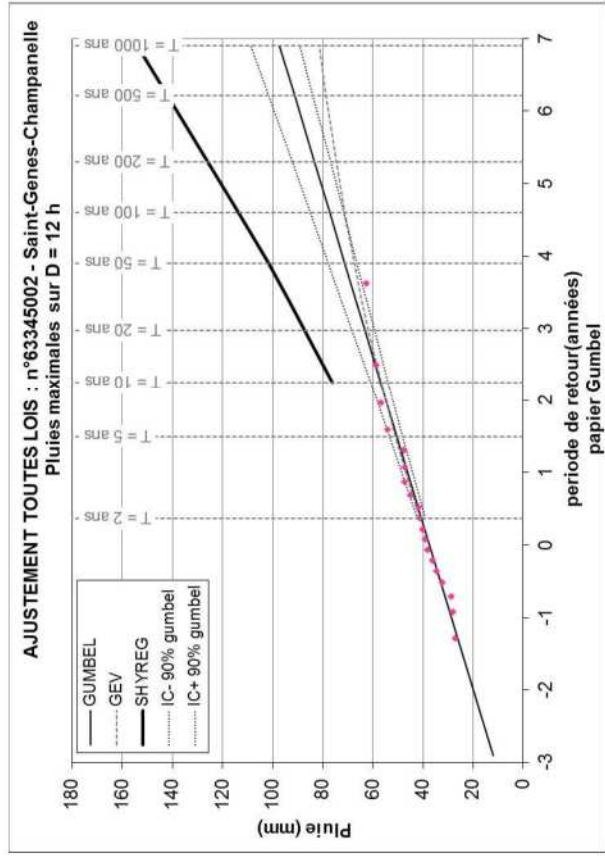
# ANNEXE 0 D

## PLUVIOMETRIE SAINT GENES CHAMPANELLE, AJUSTEMENTS STATISTIQUES TOUTES LOIS

---





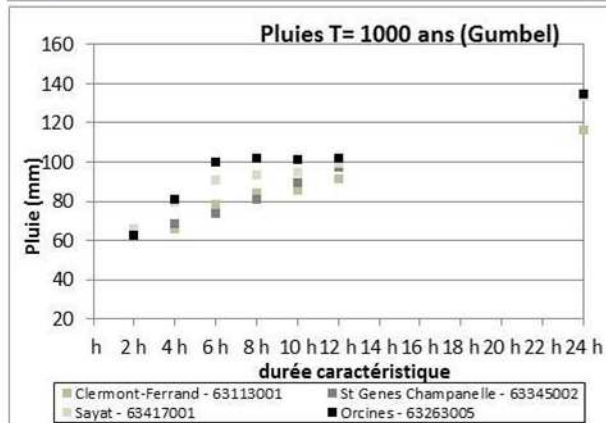
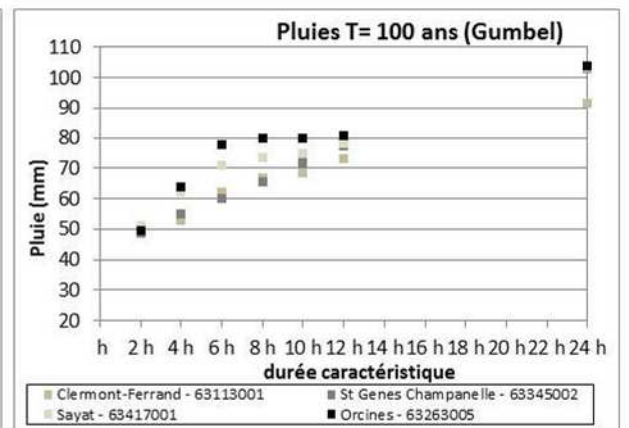
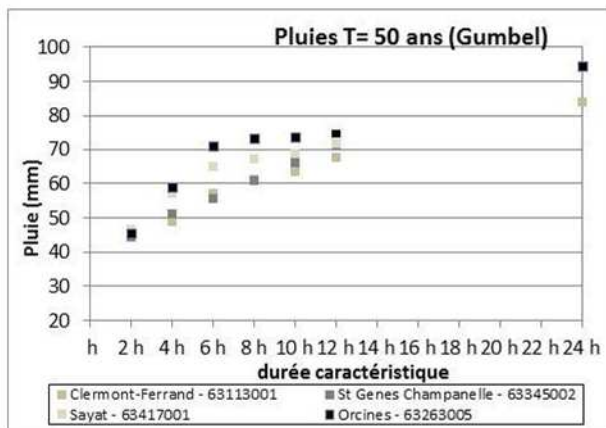
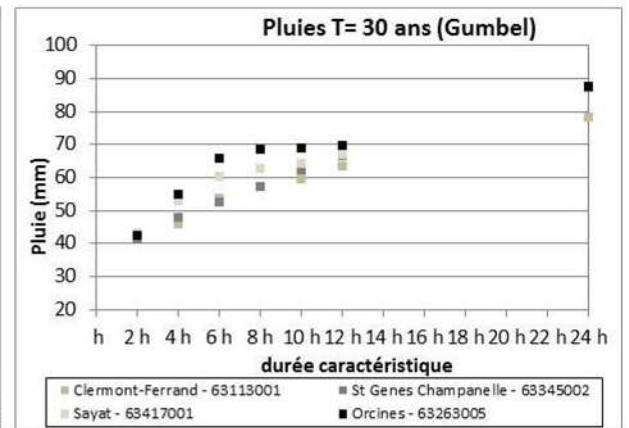
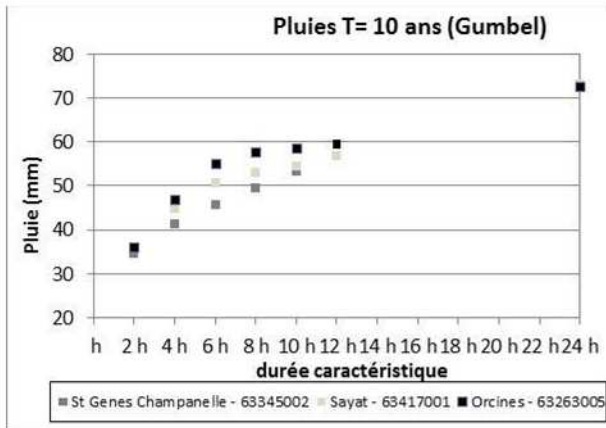


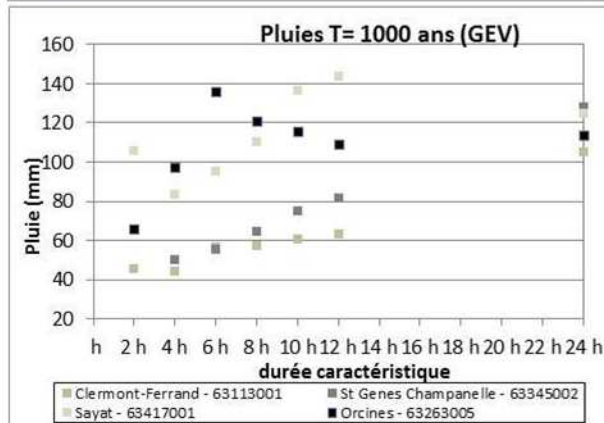
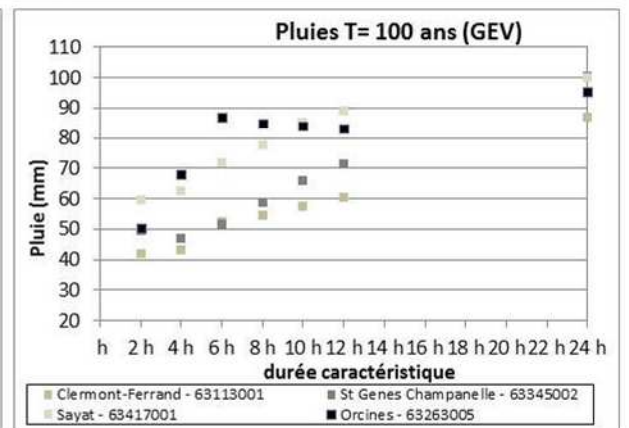
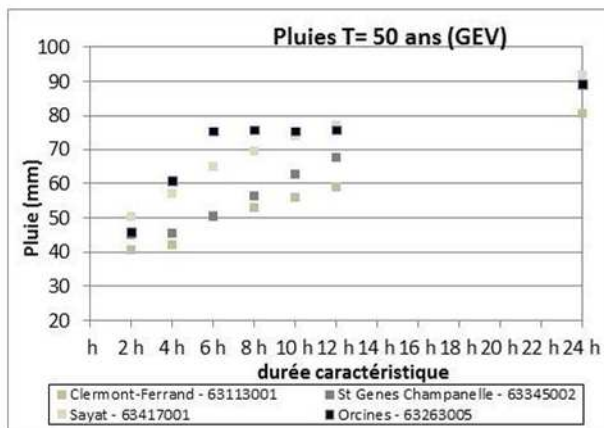
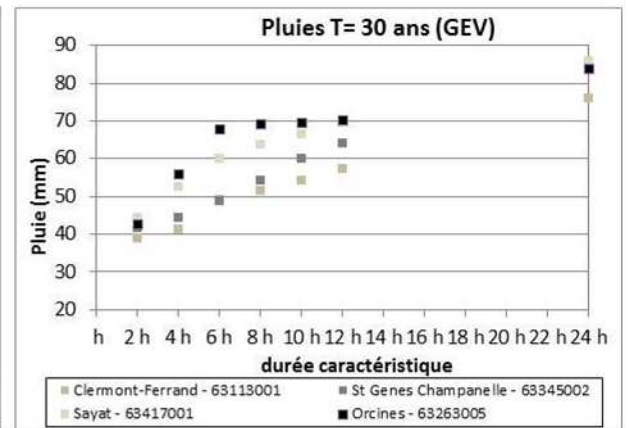
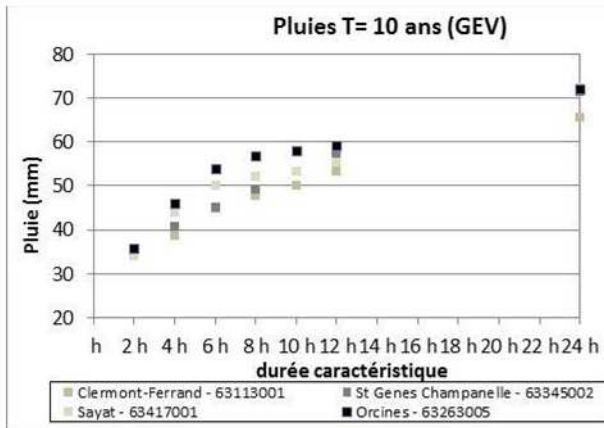
---

# ANNEXE 1

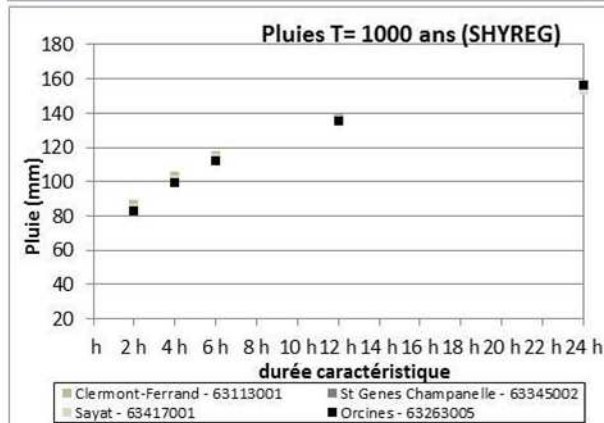
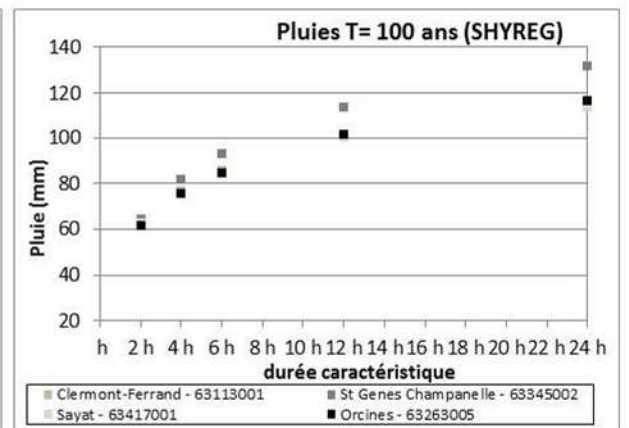
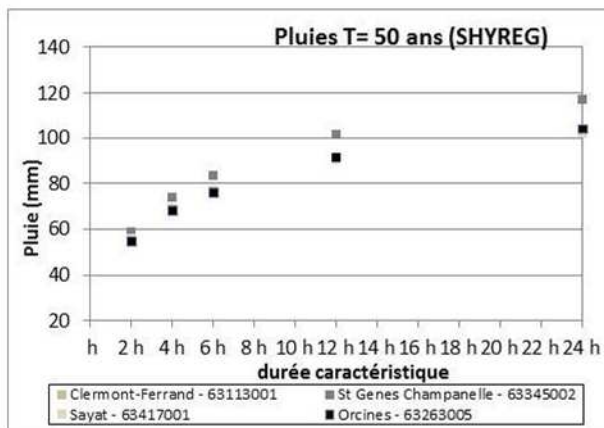
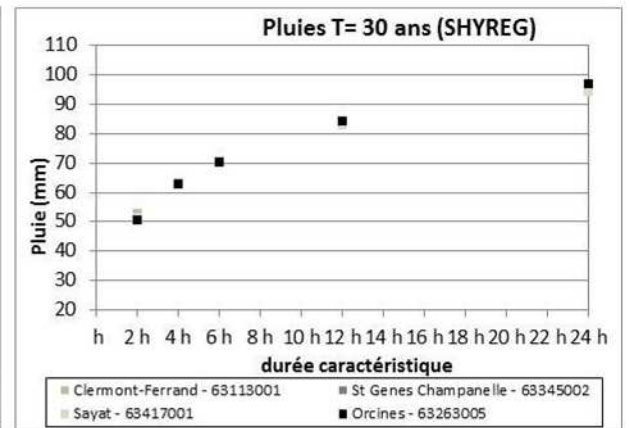
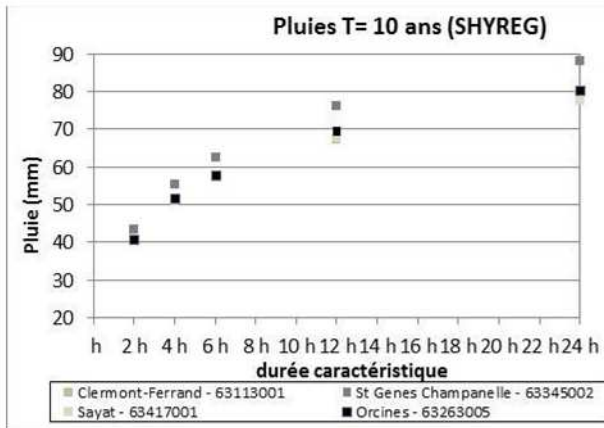
**Cumuls pluviométriques  
estimés par ajustements de  
Gumbel / GEV et à partir des  
données SHYREG pour des  
durées comprises entre 2  
heures et 24 heures**

---







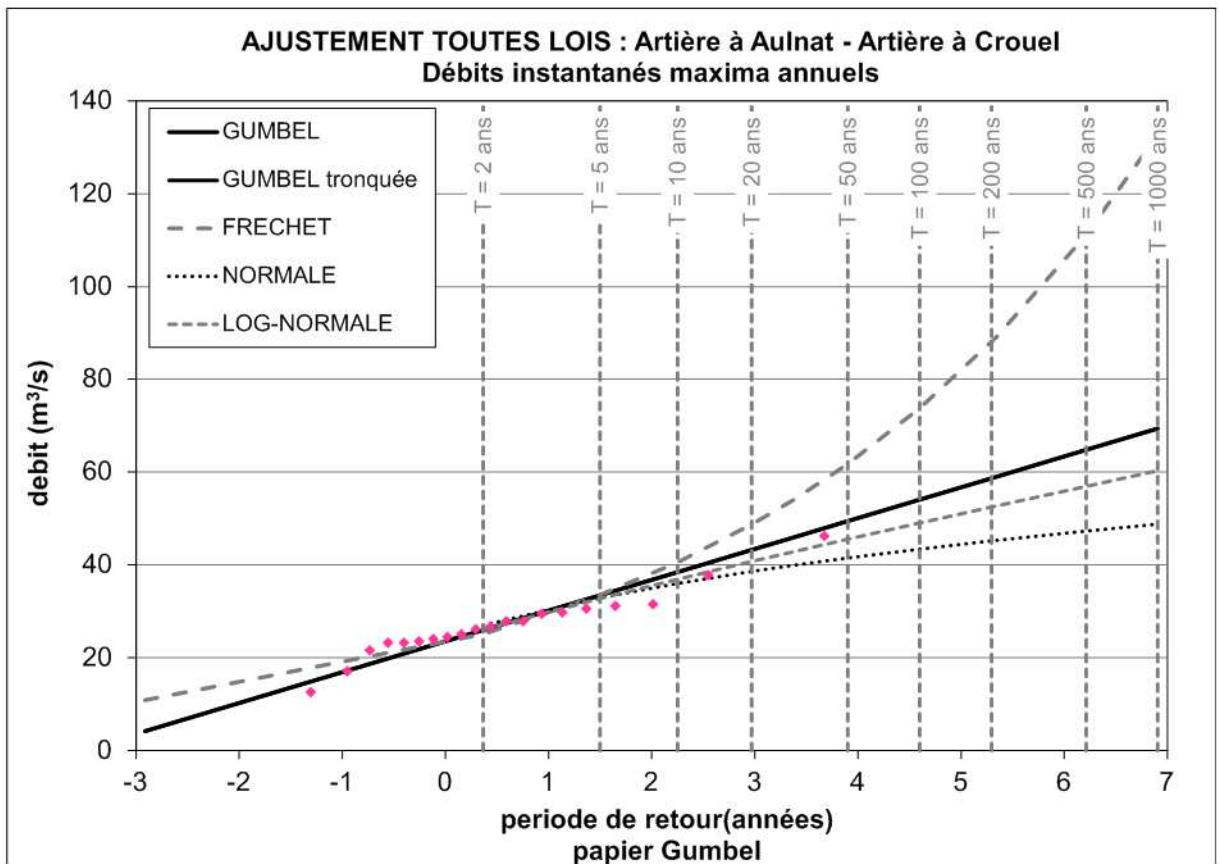
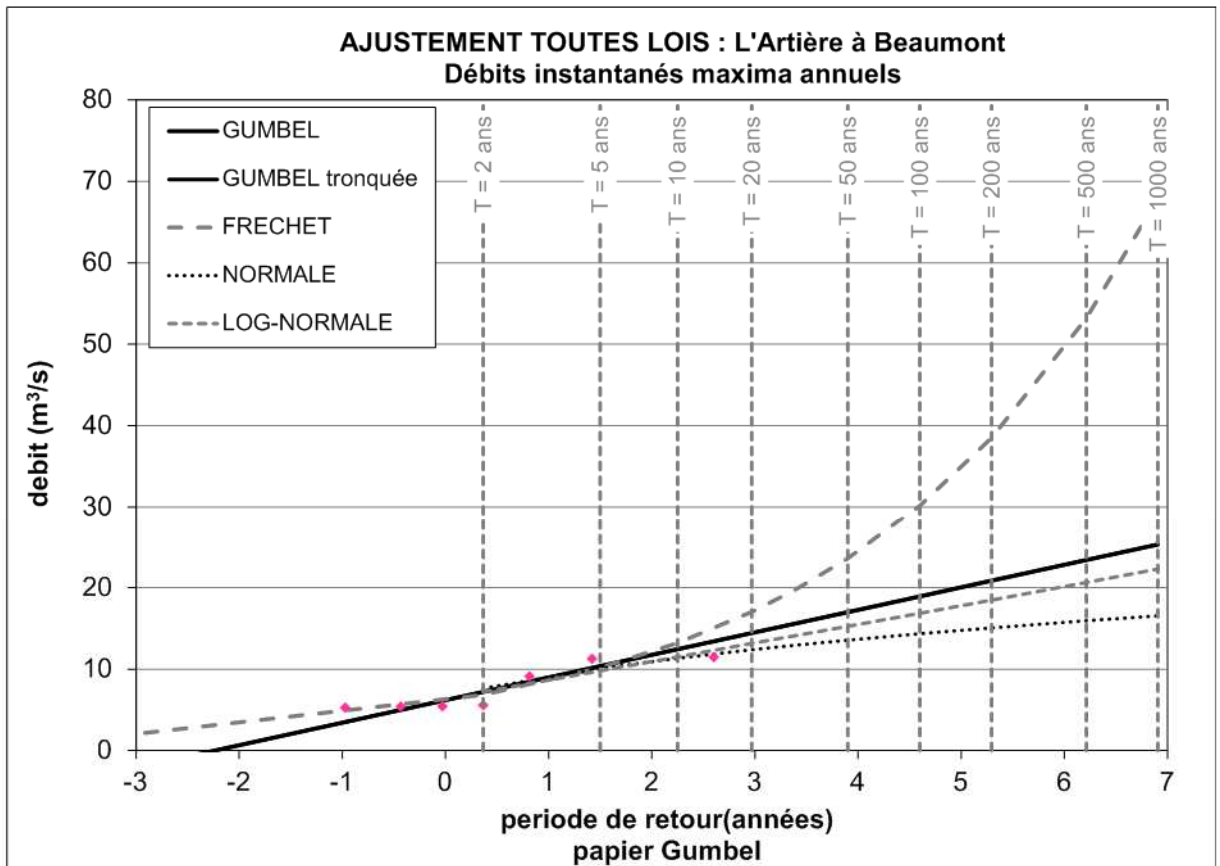


---

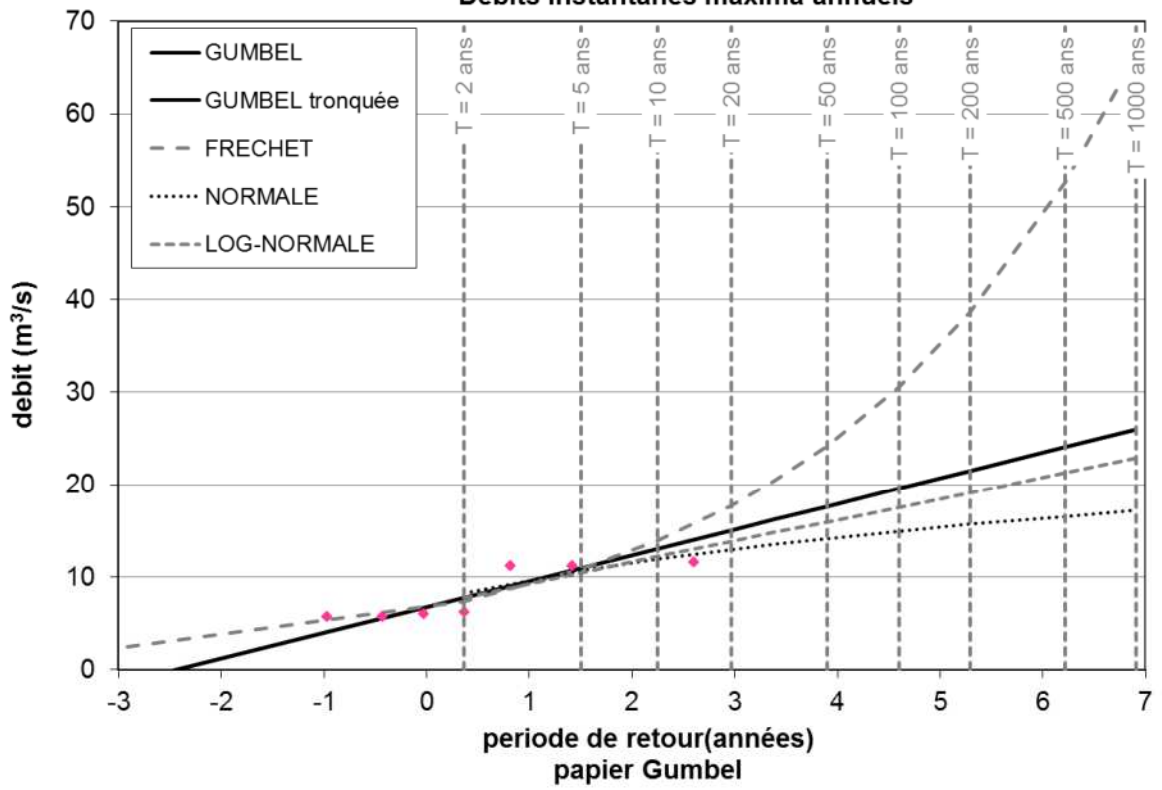
# ANNEXE 2

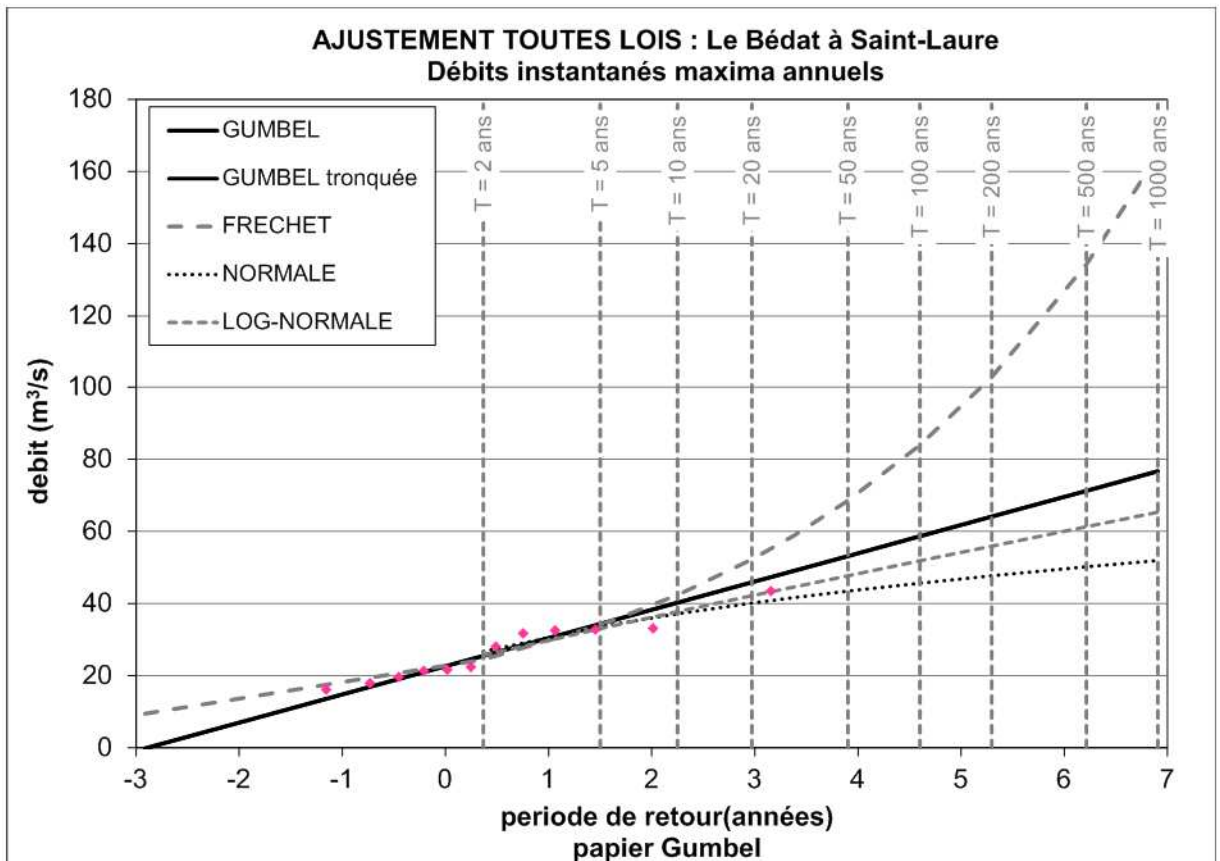
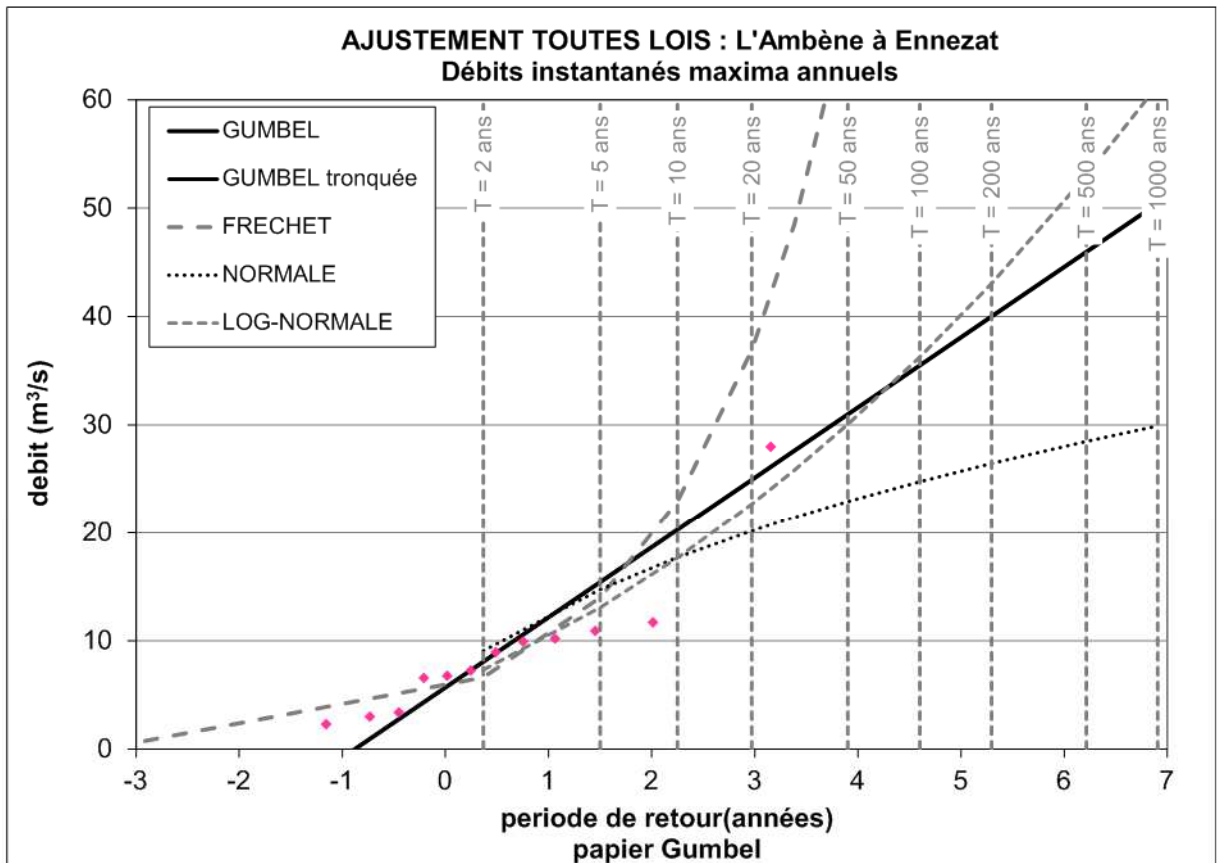
## DEBITS MAXIMA INSTANTANES ANNUELS, AJUSTEMENTS STATISTIQUES TOUTES LOIS

---



**AJUSTEMENT TOUTES LOIS : La Tiretaine à Chamalières**  
**Débits instantanés maxima annuels**





---

# ANNEXE 3

**DEBITS MAXIMA INSTANTANES ANNUELS,  
AJUSTEMENTS LOI DE GUMBEL ET GRADEX**

---

## Gradex sur 1 heure

STATION : L'Artière à Beaumont

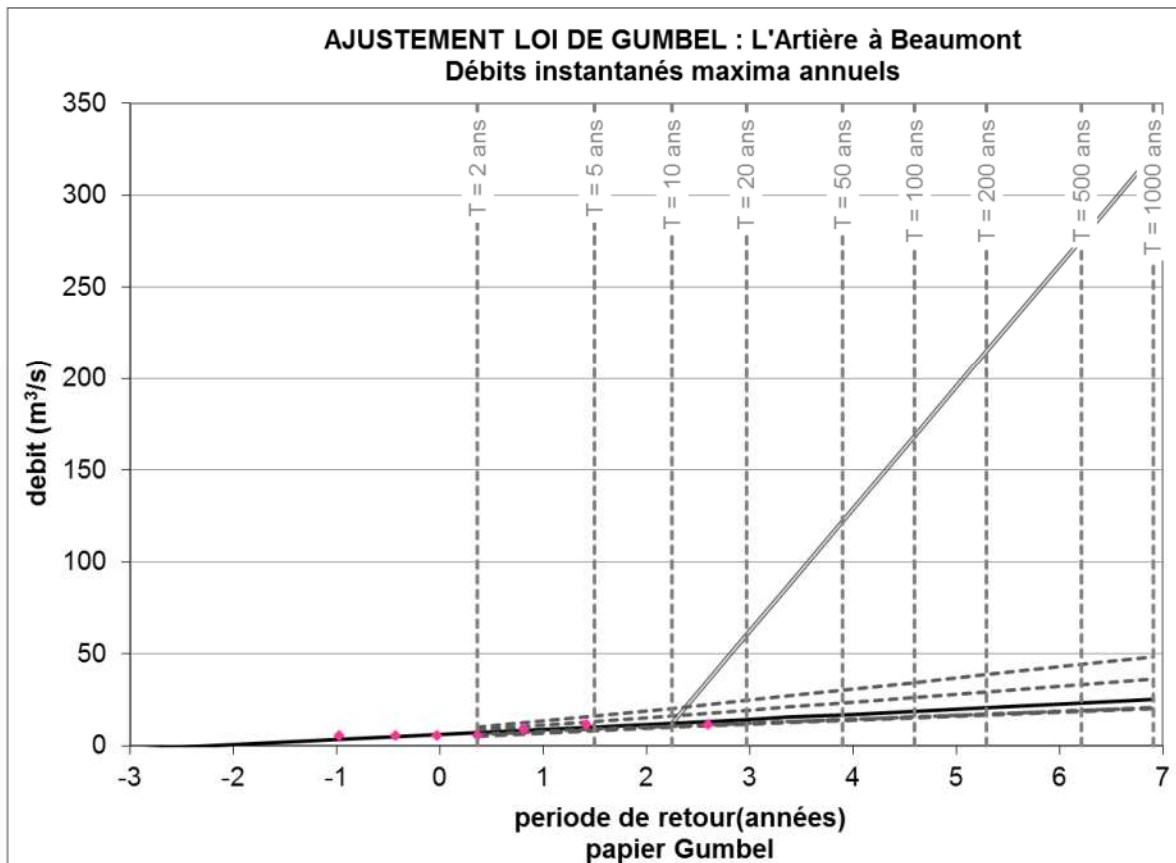
nombre d'ans : 7

à partir de : 01/01/1994

jusqu'à : 11/01/2000

Ajustements selon une loi de Gumbel :

PERIODE DE RETOUR (ans)	$Q_x$ (m <sup>3</sup> /s)	IC à 70% (m <sup>3</sup> /s)	IC à 90% (m <sup>3</sup> /s)	DEBIT GRADEX (m <sup>3</sup> /s) 1 h
2	7.2	6.2 - 8.7	5.6 - 10.0	-
5	10.3	9.0 - 13.2	8.7 - 16.1	-
10	12.4	10.7 - 16.3	10.4 - 20.5	12.4
20	14.4	12.2 - 19.4	12.0 - 24.8	60.4
30	15.6	13.1 - 21.1	12.9 - 27.2	88.0
50	17.0	14.3 - 23.4	14.0 - 30.3	122.4
100	18.9	15.8 - 26.4	15.5 - 34.5	168.9
200	20.9	17.3 - 29.4	17.0 - 38.7	215.3
500	23.4	19.2 - 33.3	18.9 - 44.2	276.4
1000	25.3	20.7 - 36.3	20.4 - 48.4	322.6



## Gradex sur 2 heures

STATION : L'Artière à Beaumont

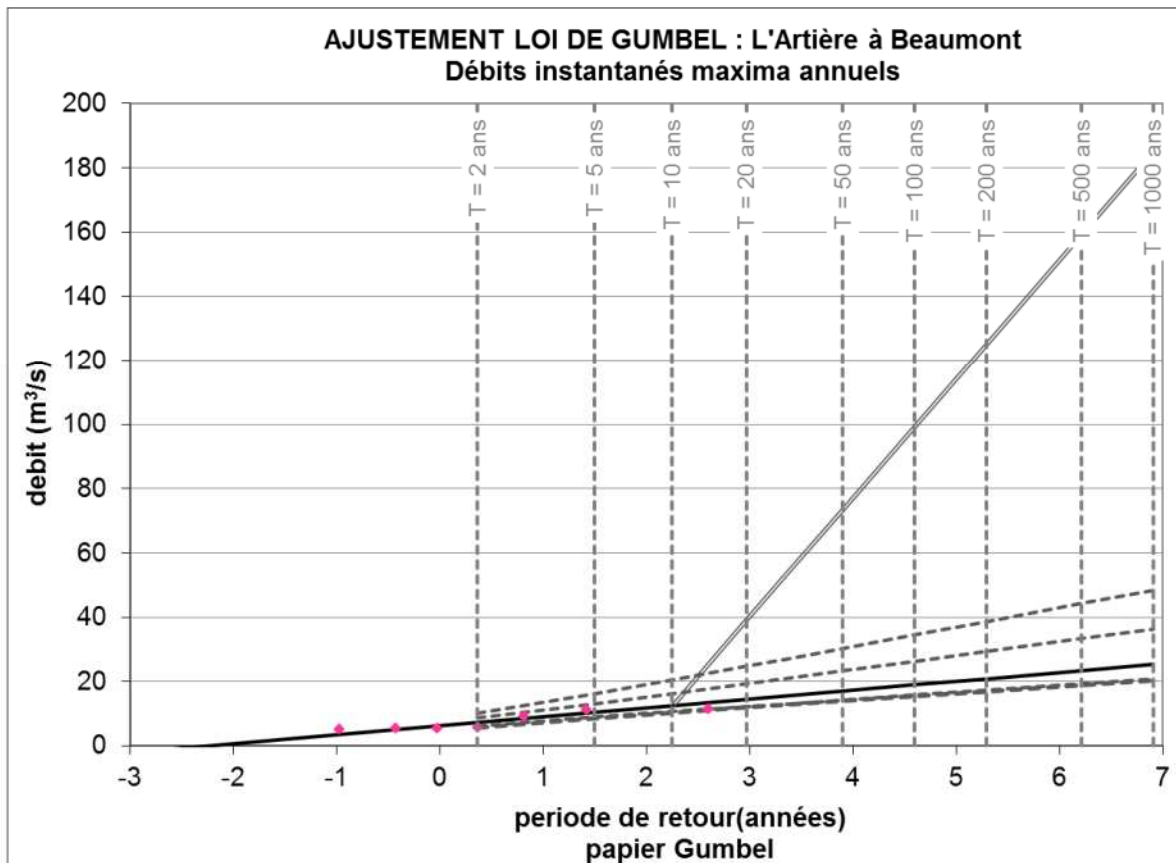
nombre d'ani 7

à partir de : 01/01/1994

jusqu'à : 11/01/2000

Ajustements selon une loi de Gumbel :

PERIODE DE RETOUR (ans)	$Q_x$ (m <sup>3</sup> /s)	IC à 70% (m <sup>3</sup> /s)	IC à 90% (m <sup>3</sup> /s)	DEBIT GRADEX (m <sup>3</sup> /s) 1 h
2	7.2	6.2 - 8.7	5.6 - 10.0	-
5	10.3	9.0 - 13.2	8.7 - 16.1	-
10	12.4	10.7 - 16.3	10.4 - 20.5	12.4
20	14.4	12.2 - 19.4	12.0 - 24.8	39.1
30	15.6	13.1 - 21.1	12.9 - 27.2	54.4
50	17.0	14.3 - 23.4	14.0 - 30.3	73.6
100	18.9	15.8 - 26.4	15.5 - 34.5	99.4
200	20.9	17.3 - 29.4	17.0 - 38.7	125.2
500	23.4	19.2 - 33.3	18.9 - 44.2	159.2
1000	25.3	20.7 - 36.3	20.4 - 48.4	184.9





## Gradex sur 1 heure

STATION : Artière à Aulnat - Artière à Crouel

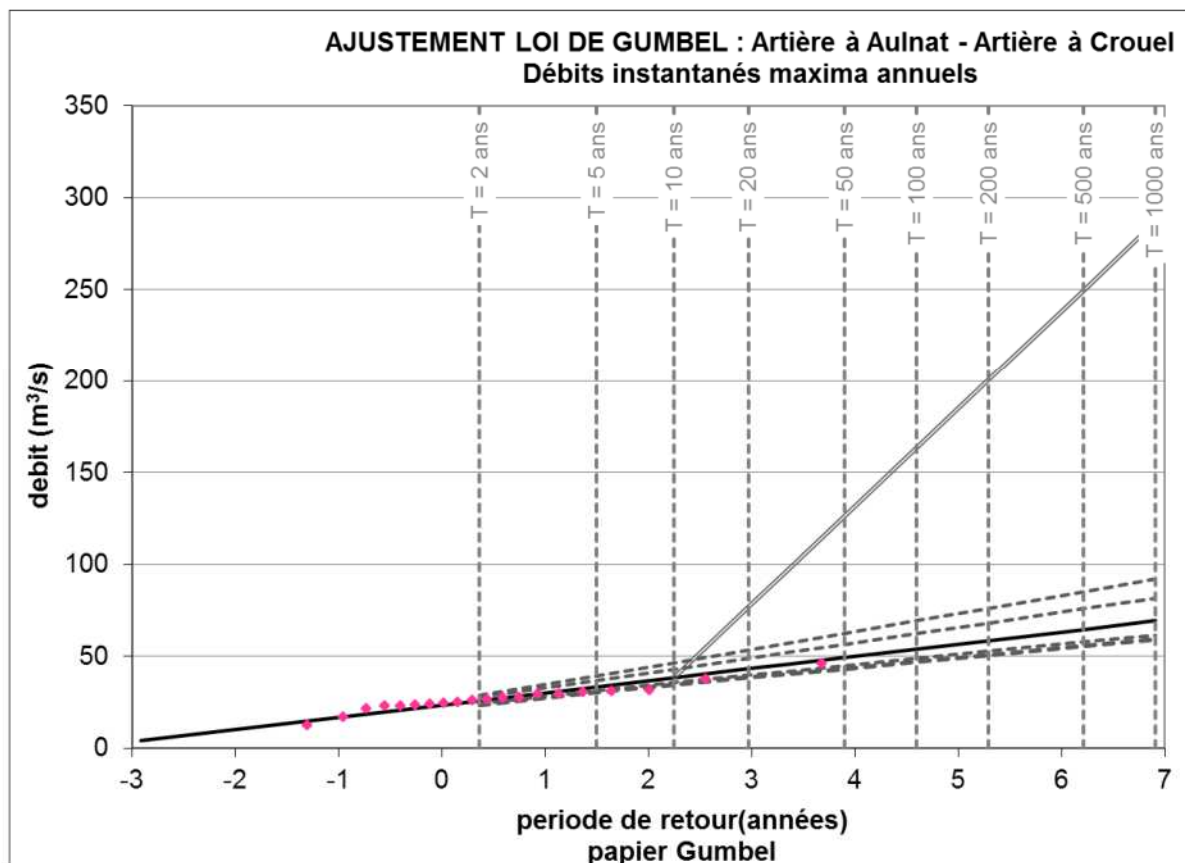
nombre d'ani 20

à partir de : 01/01/1992

jusqu'à : 01/02/2013

Ajustements selon une loi de Gumbel :

PERIODE DE RETOUR (ans)	$Q_x$ (m <sup>3</sup> /s)	IC à 70% (m <sup>3</sup> /s)	IC à 90% (m <sup>3</sup> /s)	DEBIT GRADEX (m <sup>3</sup> /s) 2 h
2	25.9	24.5 - 27.7	23.7 - 29.0	-
5	33.4	31.3 - 36.7	30.5 - 39.3	-
10	38.4	35.6 - 42.9	34.6 - 46.5	38.4
20	43.2	39.7 - 48.8	38.4 - 53.5	76.8
30	45.9	42.0 - 52.3	40.6 - 57.5	98.9
50	49.4	44.9 - 56.6	43.4 - 62.6	126.6
100	54.0	48.8 - 62.4	47.0 - 69.4	163.8
200	58.6	52.7 - 68.3	50.7 - 76.3	200.9
500	64.7	57.8 - 75.9	55.5 - 85.3	249.9
1000	69.3	61.7 - 81.8	59.1 - 92.1	286.9



## Gradex sur 2 heures

STATION : Artière à Aulnat - Artière à Crouel

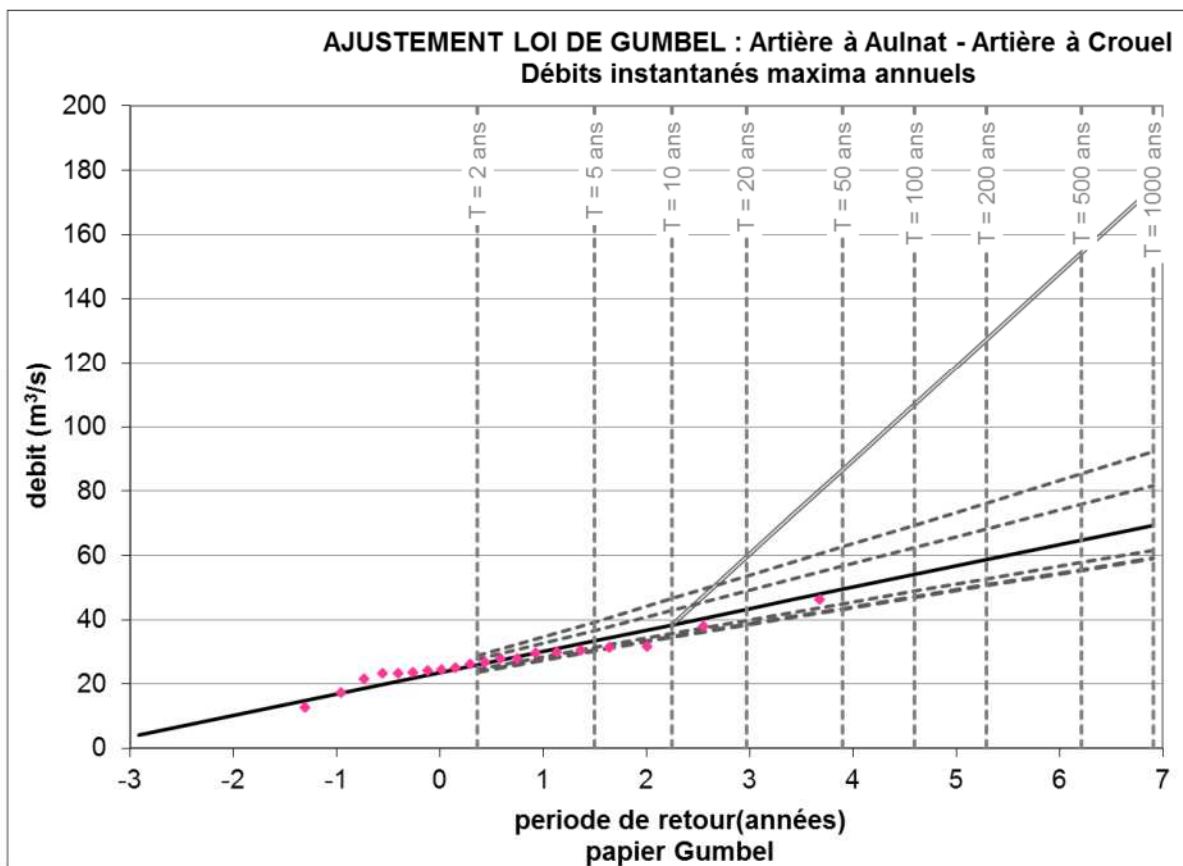
nombre d'ani 20

à partir de : 01/01/1992

jusqu'à : 01/02/2013

Ajustements selon une loi de Gumbel :

PERIODE DE RETOUR (ans)	Qix (m <sup>3</sup> /s)	IC à 70% (m <sup>3</sup> /s)	IC à 90% (m <sup>3</sup> /s)	DEBIT GRADEX (m <sup>3</sup> /s) 2 h
2	25.9	24.5 - 27.7	23.7 - 29.0	-
5	33.4	31.3 - 36.7	30.5 - 39.3	-
10	38.4	35.6 - 42.9	34.6 - 46.5	38.4
20	43.2	39.7 - 48.8	38.4 - 53.5	59.5
30	45.9	42.0 - 52.3	40.6 - 57.5	71.6
50	49.4	44.9 - 56.6	43.4 - 62.6	86.7
100	54.0	48.8 - 62.4	47.0 - 69.4	107.2
200	58.6	52.7 - 68.3	50.7 - 76.3	127.5
500	64.7	57.8 - 75.9	55.5 - 85.3	154.4
1000	69.3	61.7 - 81.8	59.1 - 92.1	174.7



## Gradex sur 1 heure

STATION : La Tiretaine à Chamalières

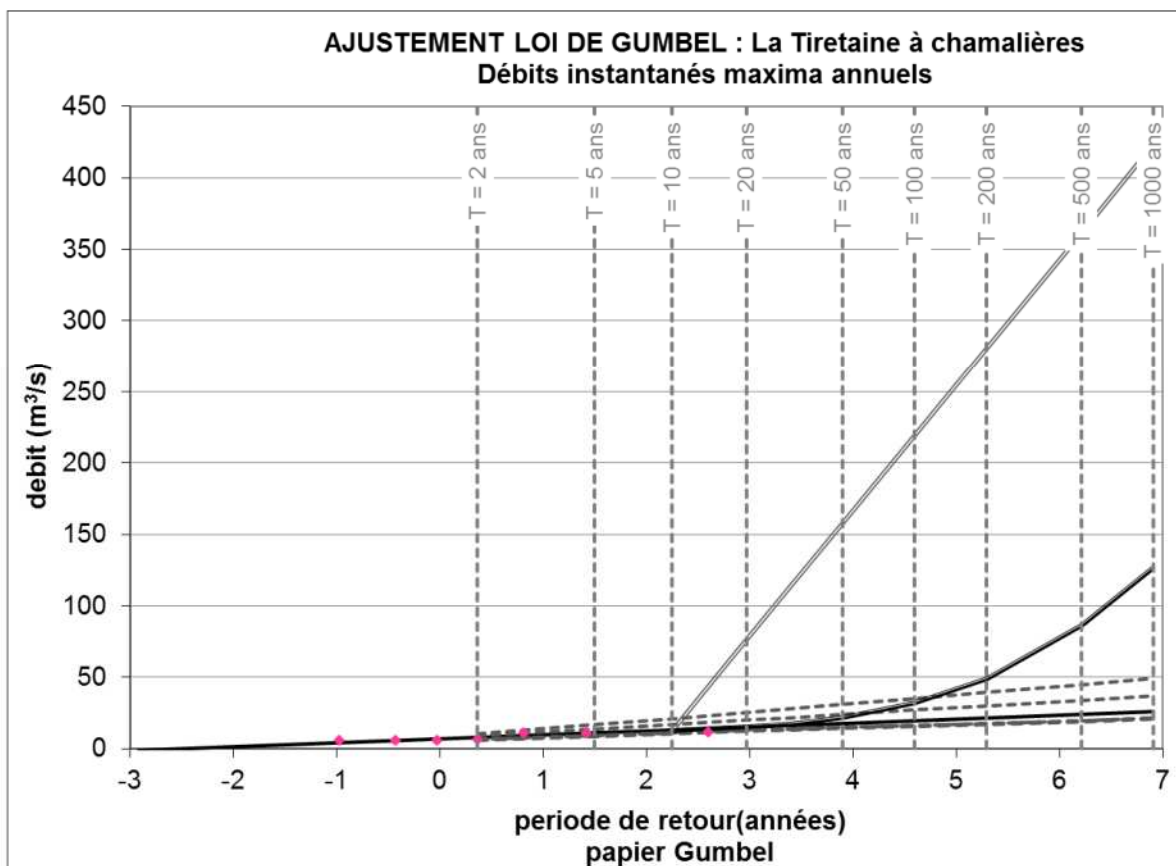
nombre d'ani 7

à partir de : 01/01/1994

jusqu'à : 22/09/1999

Ajustements selon une loi de Gumbel :

PERIODE DE RETOUR (ans)	$Q_x$ (m <sup>3</sup> /s)	IC à 70% (m <sup>3</sup> /s)	IC à 90% (m <sup>3</sup> /s)	DEBIT GRADEX (m <sup>3</sup> /s) 1 h
2	7.8	6.8 - 9.3	6.2 - 10.6	-
5	11.0	9.6 - 13.8	9.3 - 16.8	-
10	13.0	11.3 - 16.9	11.0 - 21.2	13.0
20	15.1	12.9 - 20.0	12.6 - 25.4	76.4
30	16.2	13.8 - 21.8	13.5 - 27.9	112.8
50	17.6	14.9 - 24.0	14.6 - 31.0	158.4
100	19.6	16.4 - 27.1	16.1 - 35.2	219.8
200	21.5	17.9 - 30.1	17.6 - 39.4	281.0
500	24.1	19.9 - 34.1	19.6 - 45.0	361.8
1000	26.0	21.4 - 37.1	21.0 - 49.2	422.8



## Gradex sur 2 heures

STATION : La Tiretaine à chamalières

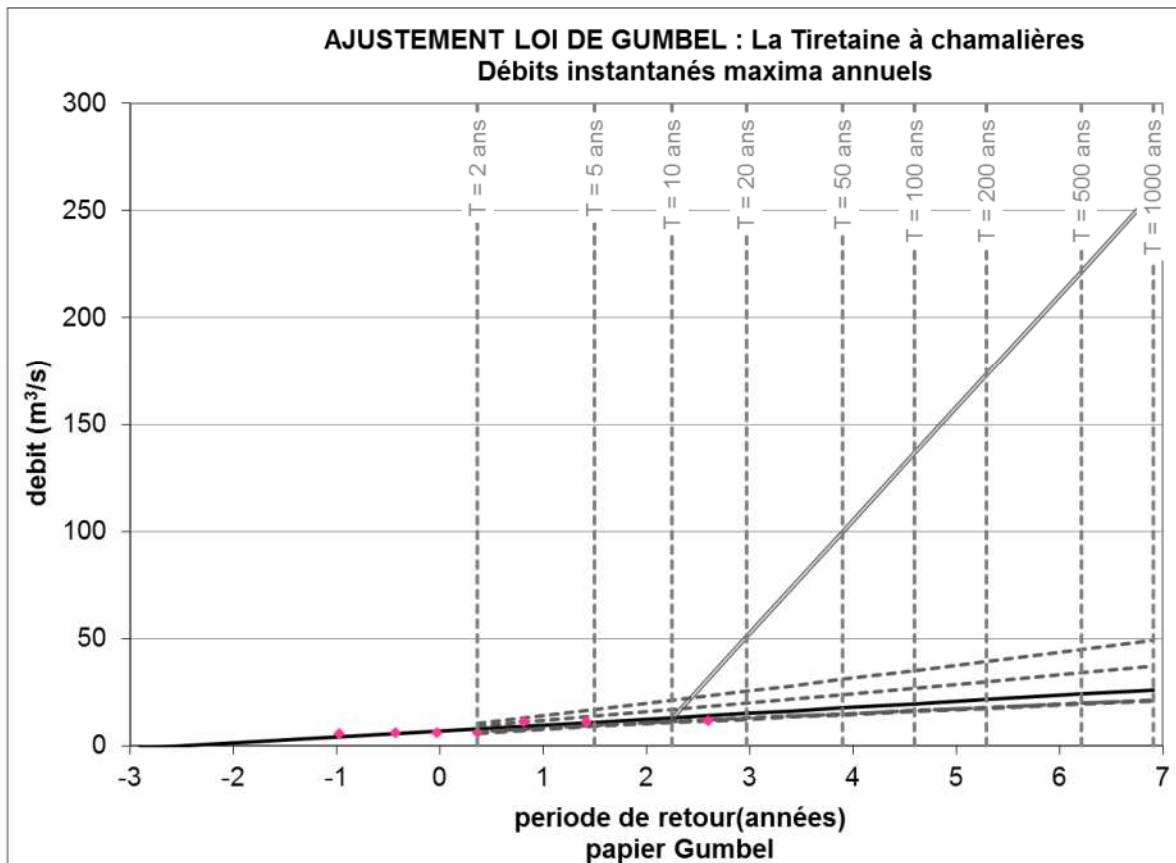
nombre d'ani 7

à partir de : 01/01/1994

jusqu'à : 22/09/1999

Ajustements selon une loi de Gumbel :

PERIODE DE RETOUR (ans)	$Q_x$ (m <sup>3</sup> /s)	IC à 70% (m <sup>3</sup> /s)	IC à 90% (m <sup>3</sup> /s)	DEBIT GRADEX (m <sup>3</sup> /s) 2 h
2	7.8	6.8 - 9.3	6.2 - 10.6	-
5	11.0	9.6 - 13.8	9.3 - 16.8	-
10	13.0	11.3 - 16.9	11.0 - 21.2	13.0
20	15.1	12.9 - 20.0	12.6 - 25.4	51.0
30	16.2	13.8 - 21.8	13.5 - 27.9	72.8
50	17.6	14.9 - 24.0	14.6 - 31.0	100.0
100	19.6	16.4 - 27.1	16.1 - 35.2	136.8
200	21.5	17.9 - 30.1	17.6 - 39.4	173.5
500	24.1	19.9 - 34.1	19.6 - 45.0	221.8
1000	26.0	21.4 - 37.1	21.0 - 49.2	258.4



## Gradex sur 6 heures

STATION : L'Ambène à Ennezat

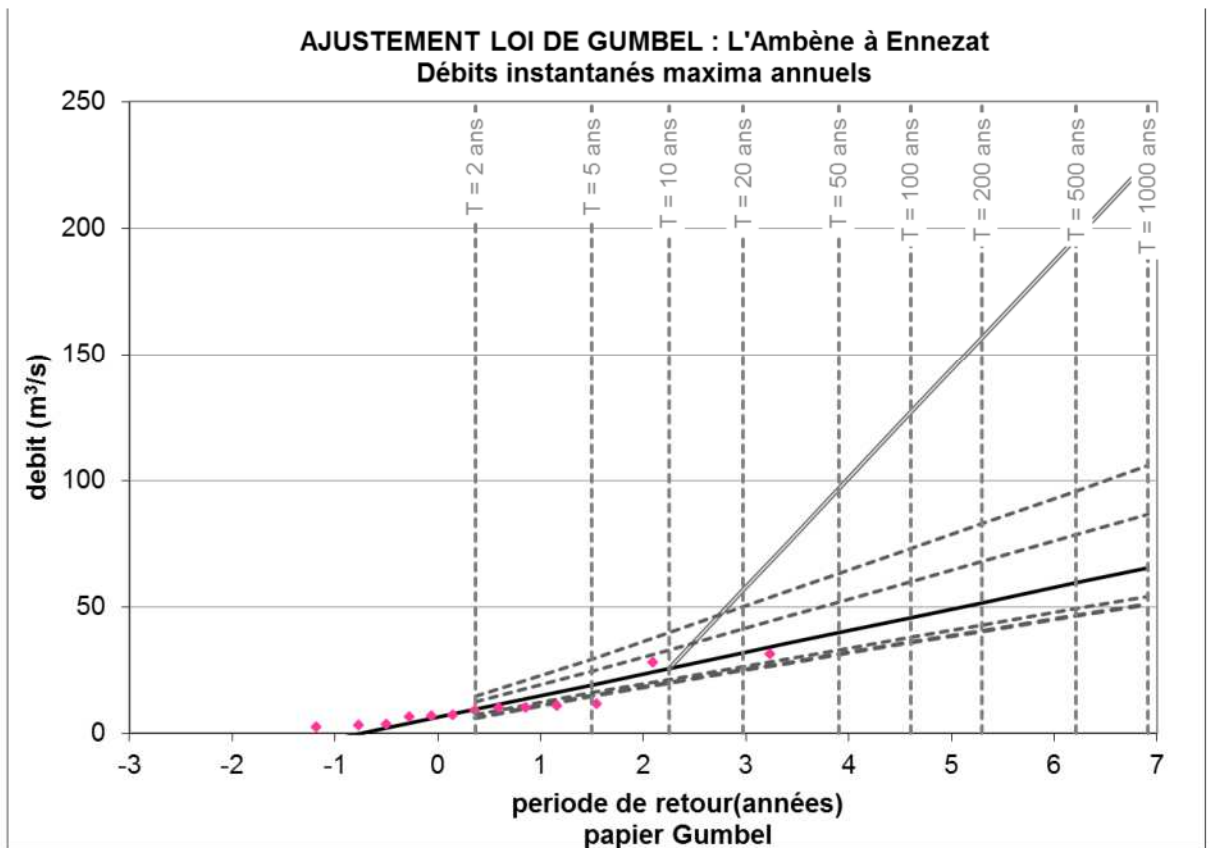
nombre d'ani 13

à partir de : 01/08/2000

jusqu'à : 01/02/2013

Ajustements selon une loi de Gumbel :

PERIODE DE RETOUR (ans)	$Q_{lx}$ (m <sup>3</sup> /s)	IC à 70% (m <sup>3</sup> /s)	IC à 90% (m <sup>3</sup> /s)	DEBIT GRADEX (m <sup>3</sup> /s) 6h
2	9.5	7.2 - 12.4	6.0 - 14.6	-
5	19.2	15.9 - 24.6	14.8 - 29.4	-
10	25.6	21.3 - 33.1	20.0 - 39.8	25.6
20	31.7	26.5 - 41.3	24.9 - 49.9	56.6
30	35.3	29.4 - 46.0	27.7 - 55.7	74.4
50	39.7	33.0 - 51.9	31.2 - 63.0	96.7
100	45.7	37.9 - 60.0	35.8 - 72.9	126.8
200	51.6	42.8 - 68.0	40.4 - 82.8	156.8
500	59.5	49.2 - 78.5	46.5 - 95.8	196.4
1000	65.4	54.0 - 86.5	51.0 - 105.7	226.2



## Gradex sur 12 heures

STATION : L'Ambène à Ennezat

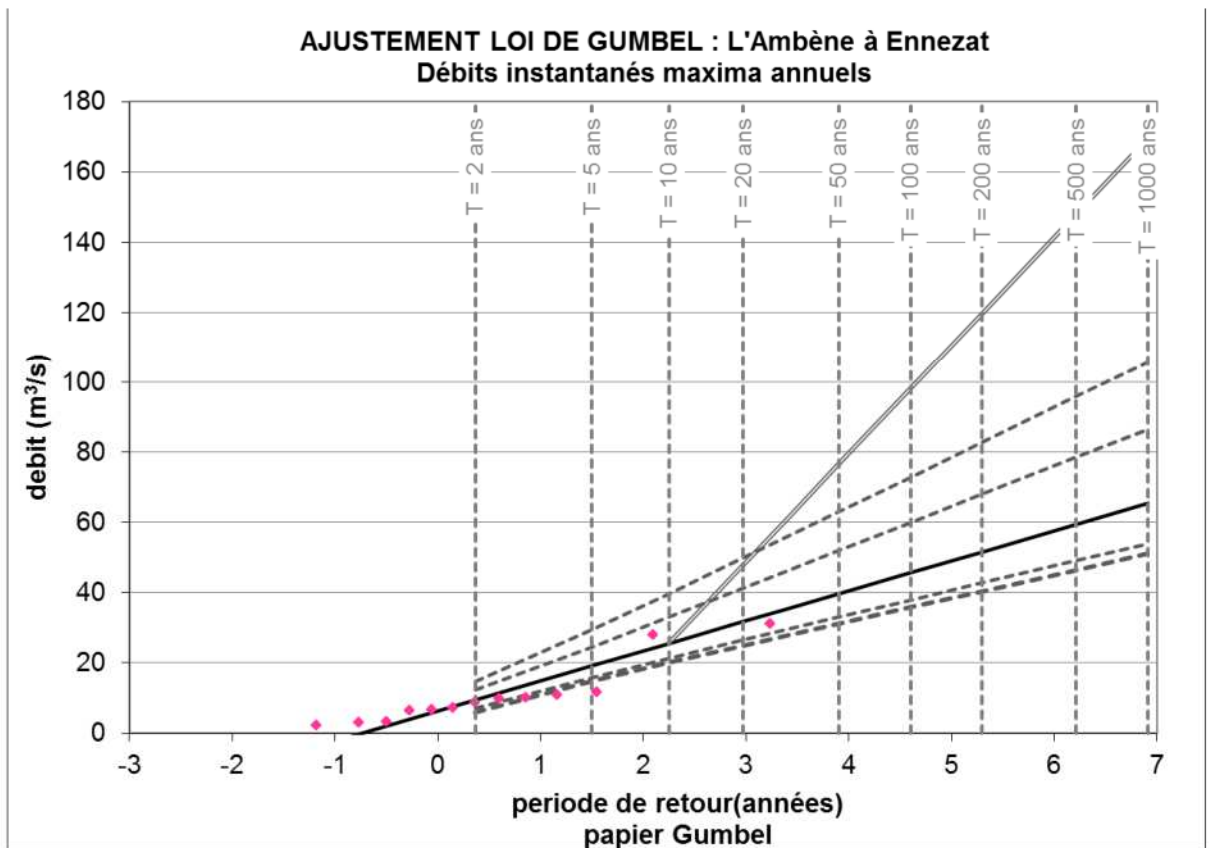
nombre d'ani 13

à partir de : 01/08/2000

jusqu'à : 01/02/2013

Ajustements selon une loi de Gumbel :

PERIODE DE RETOUR (ans)	$Q_{lx}$ (m <sup>3</sup> /s)	IC à 70% (m <sup>3</sup> /s)	IC à 90% (m <sup>3</sup> /s)	DEBIT GRADEX (m <sup>3</sup> /s) 12h
2	9.5	7.2 - 12.4	6.0 - 14.6	-
5	19.2	15.9 - 24.6	14.8 - 29.4	-
10	25.6	21.3 - 33.1	20.0 - 39.8	25.6
20	31.7	26.5 - 41.3	24.9 - 49.9	47.8
30	35.3	29.4 - 46.0	27.7 - 55.7	60.6
50	39.7	33.0 - 51.9	31.2 - 63.0	76.6
100	45.7	37.9 - 60.0	35.8 - 72.9	98.2
200	51.6	42.8 - 68.0	40.4 - 82.8	119.7
500	59.5	49.2 - 78.5	46.5 - 95.8	148.0
1000	65.4	54.0 - 86.5	51.0 - 105.7	169.5



## Gradex sur 6 heures

STATION : Le Bédât à Saint-Laure

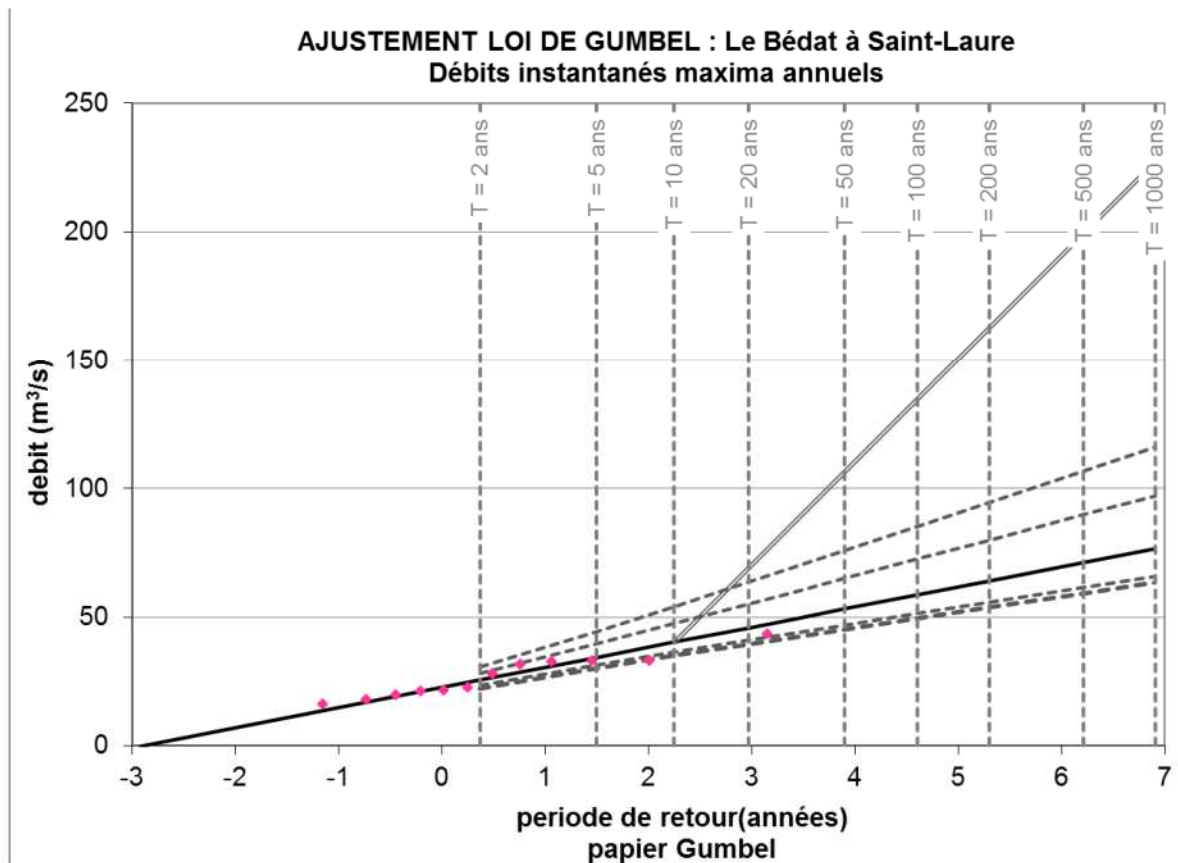
nombre d'ani 12

à partir de : 24/08/2000

jusqu'à : 01/02/2013

Ajustements selon une loi de Gumbel :

PERIODE DE RETOUR (ans)	$Q_{lx}$ (m <sup>3</sup> /s)	IC à 70% (m <sup>3</sup> /s)	IC à 90% (m <sup>3</sup> /s)	DEBIT GRADEX (m <sup>3</sup> /s) 6 h
2	25.5	23.3 - 28.3	22.2 - 30.5	-
5	34.4	31.3 - 39.6	30.3 - 44.4	-
10	40.2	36.2 - 47.5	35.1 - 54.1	40.2
20	45.9	40.9 - 55.1	39.5 - 63.6	69.1
30	49.1	43.5 - 59.5	42.1 - 69.1	85.8
50	53.2	46.9 - 65.0	45.2 - 76.0	106.6
100	58.6	51.3 - 72.5	49.5 - 85.3	134.6
200	64.1	55.7 - 79.9	53.6 - 94.5	162.5
500	71.3	61.5 - 89.7	59.2 - 106.8	199.4
1000	76.7	65.9 - 97.1	63.3 - 116.1	227.2



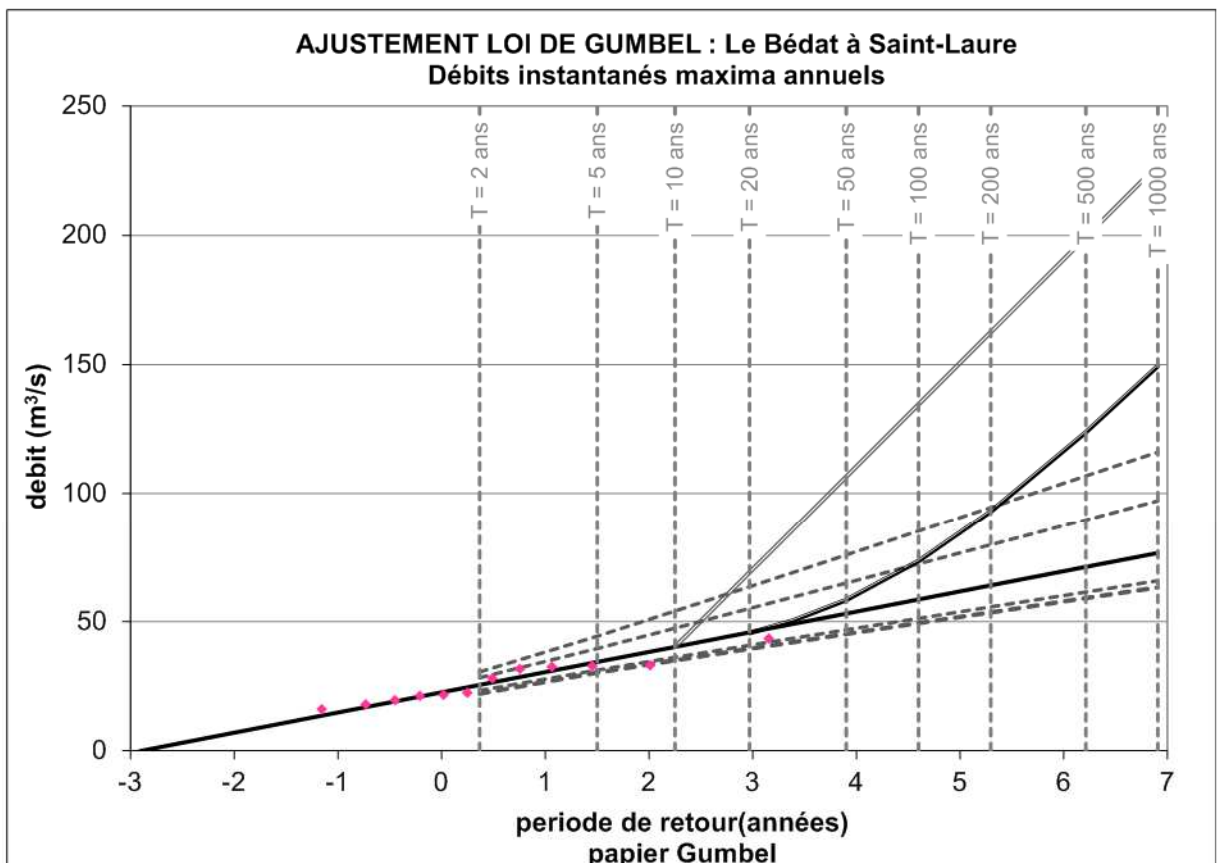
STATION : **Le Bédât à Saint-Laure**  
 nombre d'ani **12**  
 à partir de : **24/08/2000**  
 jusqu'à : **01/02/2013**

**Gradex abattu**

Ajustements selon une loi de Gumbel :

PERIODE DE RETOUR (ans)	Qix (m <sup>3</sup> /s)	IC à 70% (m <sup>3</sup> /s)	IC à 90% (m <sup>3</sup> /s)
2	25.5	23.3 - 28.3	22.2 - 30.5
5	34.4	31.3 - 39.6	30.3 - 44.4
10	40.2	36.2 - 47.5	35.1 - 54.1
20	45.9	40.9 - 55.1	39.5 - 63.6
30	49.1	43.5 - 59.5	42.1 - 69.1
50	53.2	46.9 - 65.0	45.2 - 76.0
100	58.6	51.3 - 72.5	49.5 - 85.3
200	64.1	55.7 - 79.9	53.6 - 94.5
500	71.3	61.5 - 89.7	59.2 - 106.8
1000	76.7	65.9 - 97.1	63.3 - 116.1

DEBIT GRADEX (m <sup>3</sup> /s) 6 h	DEBIT GRADEX PROGRESSIF (m <sup>3</sup> /s) 6 h	IC à 70% (m <sup>3</sup> /s)	IC à 90% (m <sup>3</sup> /s)
-	-	-	-
-	-	-	-
40.2	40.2	-	-
69.1	45.6	-	-
85.8	50.4	-	-
106.6	58.4	-	-
134.6	73.5	-	-
162.5	93.0	-	-
199.4	123.8	-	-
227.2	149.4	-	-





---

# ANNEXE 4

## DUREE CARACTERISTIQUE DES CRUES

---

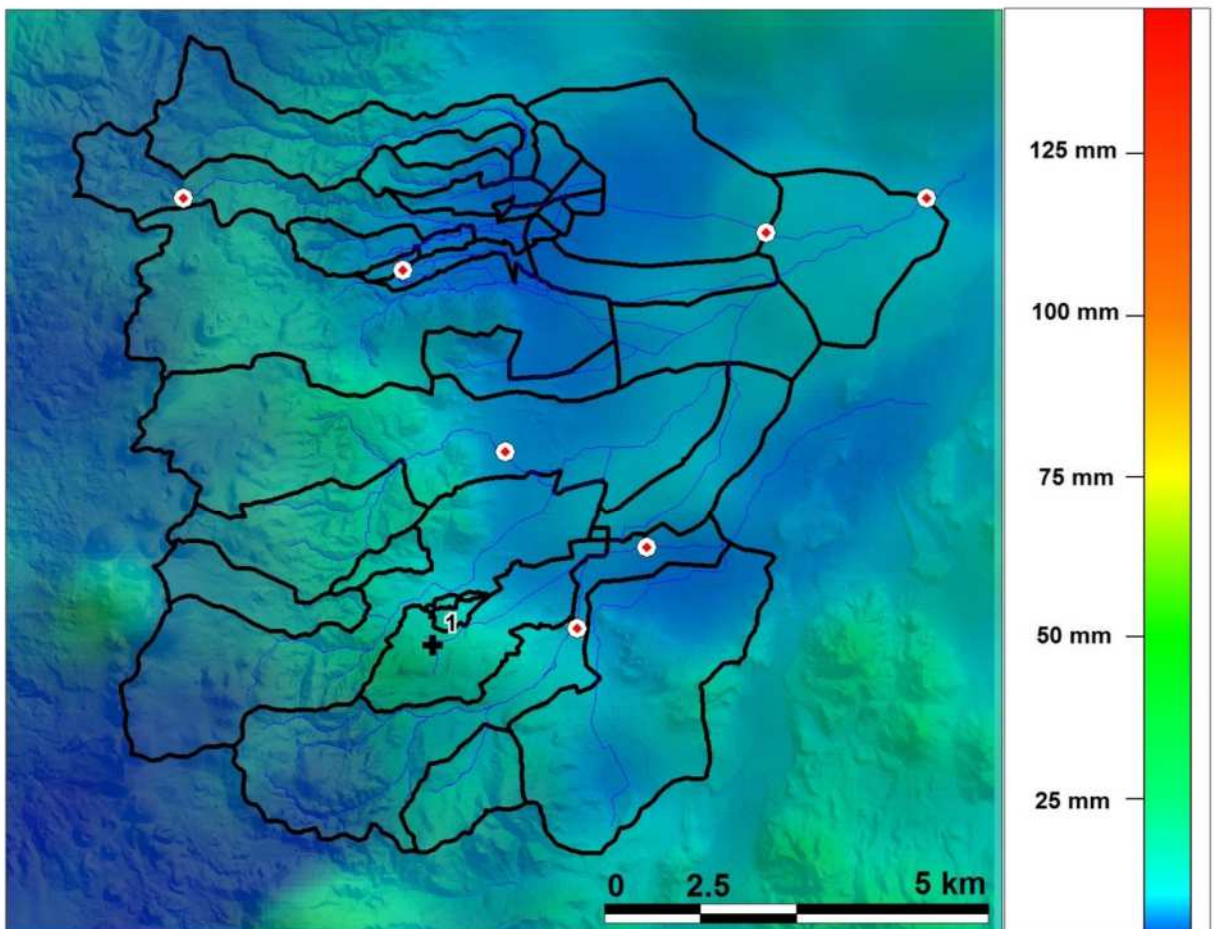
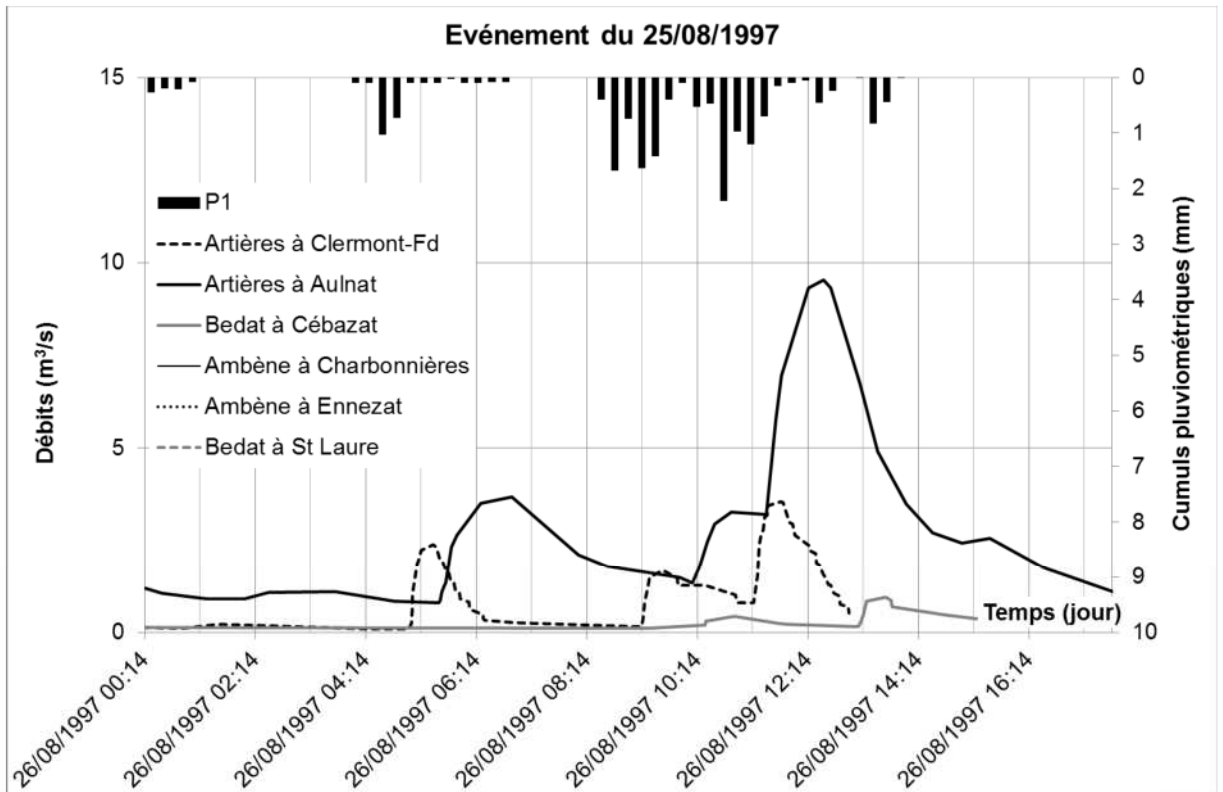
stations	date crue	Qmax	Durée caractéristique (h)	Moyenne par station
Artière à Beaumont	05/11/1994	14.24	2.8	<b>1.24</b>
Artière à Beaumont	03/07/1999	11.80	0.87	
Artière à Beaumont	04/06/2000	14.45	0.5	
Artière à Beaumont	11/06/1996	7.76	0.8	
Artières à Clermont-Fd - Artière	11/09/2008	46.16	1.70	<b>1.50</b>
Artières à Clermont-Fd - Artière	14/07/2009	19.36	1.20	
Artières à Clermont-Fd - Artière	29/06/1993	31.45	1.50	
Artières à Clermont-Fd - Artière	26/09/1998	31.12	1.60	
Tiretaine Nord à Chamalières	13/07/1995	6.18	2.10	<b>1.32</b>
Tiretaine Nord à Chamalières	11/06/1996	5.77	1.40	
Tiretaine Nord à Chamalières	19/06/1997	6.00	0.90	
Tiretaine Nord à Chamalières	01/07/1998	11.19	0.30	
Tiretaine Nord à Chamalières	03/07/1999	11.61	1.20	
Tiretaine Nord à Chamalières	03/01/2000	9.62	2.00	
Bedat à St Laure	04/06/2007	43.40	6.00	<b>7.00</b>
Bedat à St Laure	17/06/2010	33.10	8.28	
Bedat à St Laure	20/04/2009	32.80	6.48	
Bedat à St Laure	03/07/2008	32.50	11.52	
Bedat à St Laure	26/08/2011	31.70	3.72	
Bedat à St Laure	05/11/2011	28.00	6.00	
Ambène à Ennezat	04/06/2007	28.00	5.52	<b>9.72</b>
Ambène à Ennezat	28/07/2005	11.70	3.96	
Ambène à Ennezat	20/04/2009	10.90	8.64	
Ambène à Ennezat	15/09/2006	10.20	9.60	
Ambène à Ennezat	16/06/2010	9.91	26.40	
Ambène à Ennezat	16/03/2011	8.94	4.20	

---

# ANNEXE 5

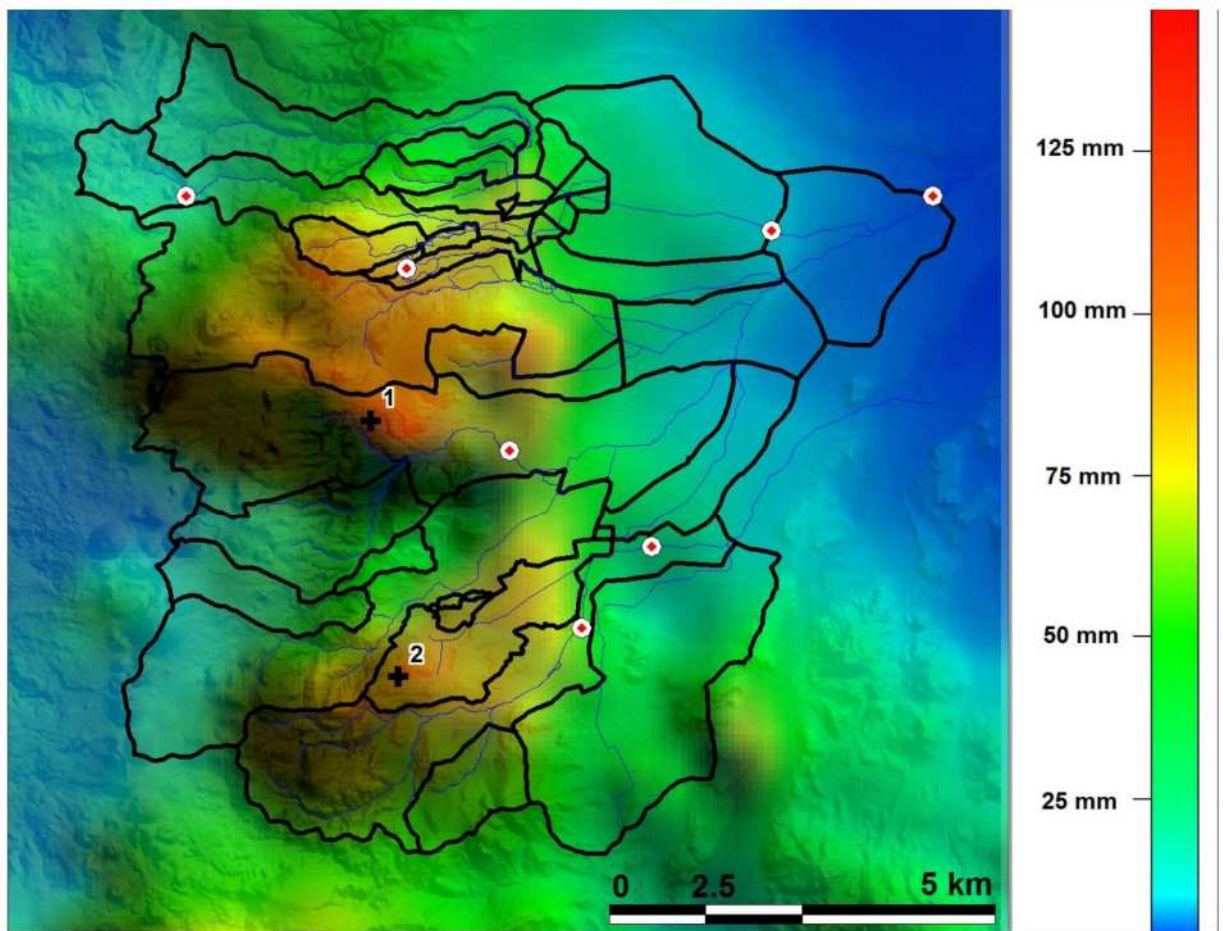
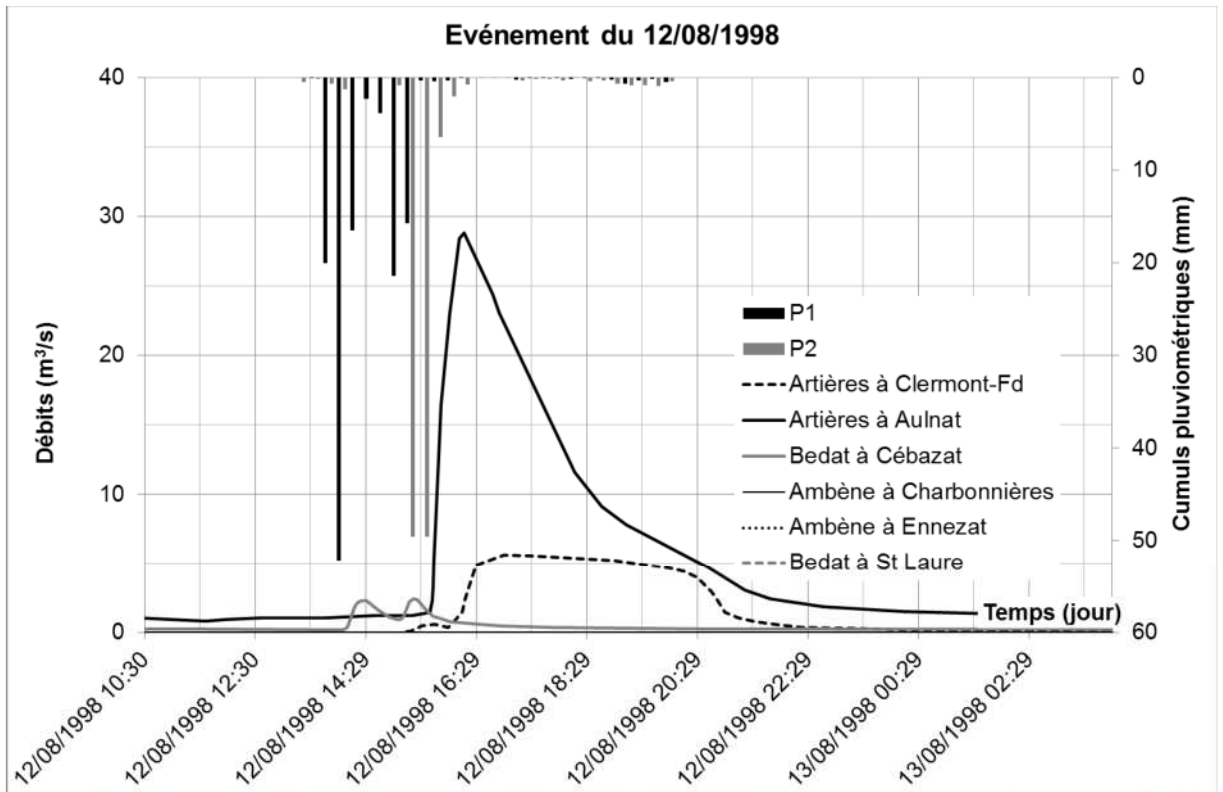
## HYDROGRAMMES ET CUMULS PLUVIOMETRIQUES MESURES (IMAGES RADAR PANTHERE) DES EVENEMENTS HISTORIQUES ANALYSES

---



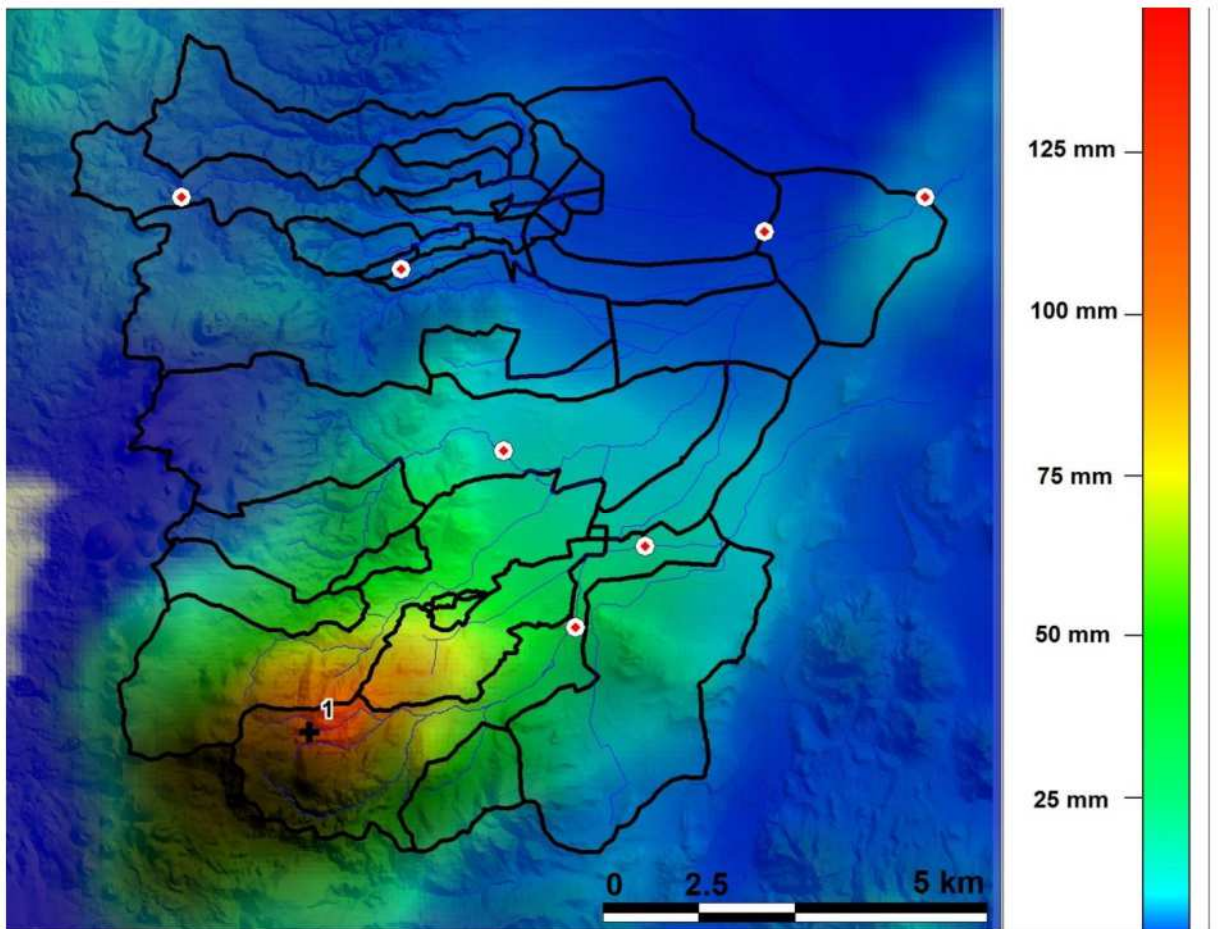
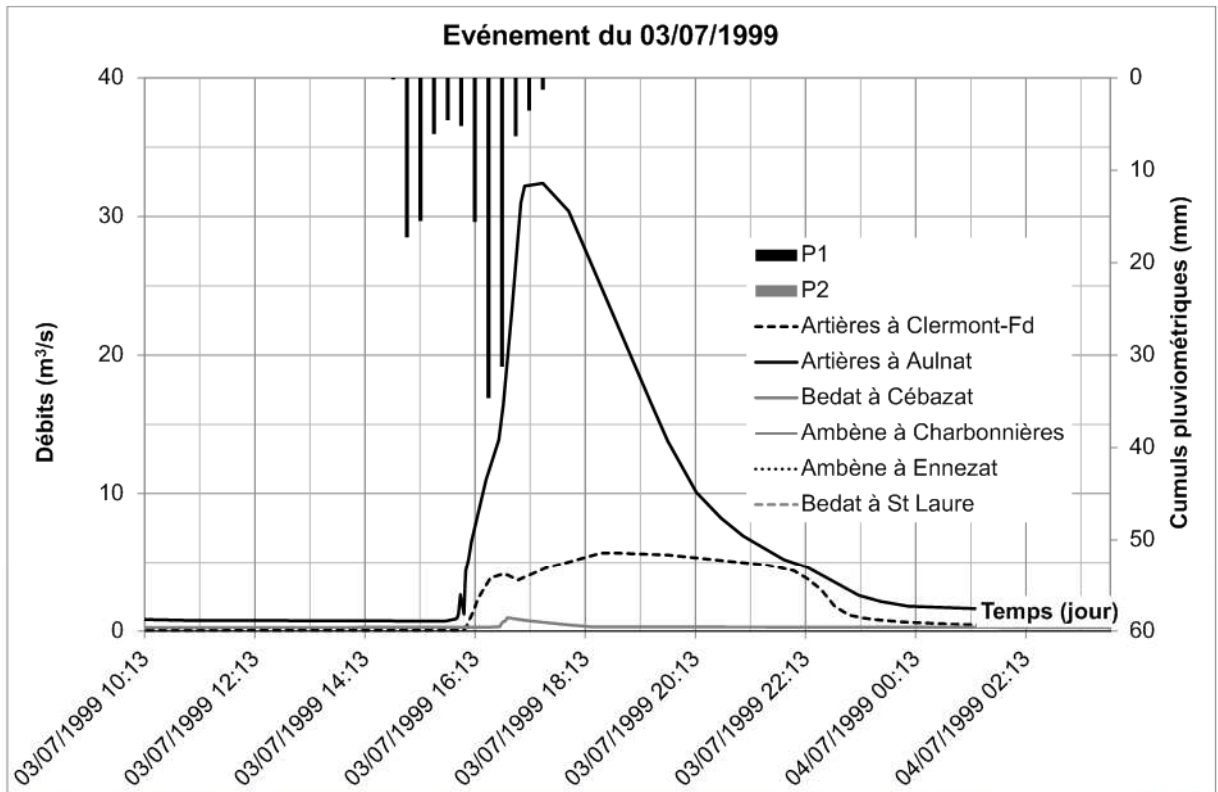
Plusieurs séquences de précipitations modérées, d'1/2 heure à 2 heures touchant l'ensemble des bassins versants étudiés.





Valeurs maximales des deux pics aberrants. Deux pointes de durées inférieures à 1 heure se succèdent sur le Bédât, la seconde touchant également l'Artière et la Tiretaine.

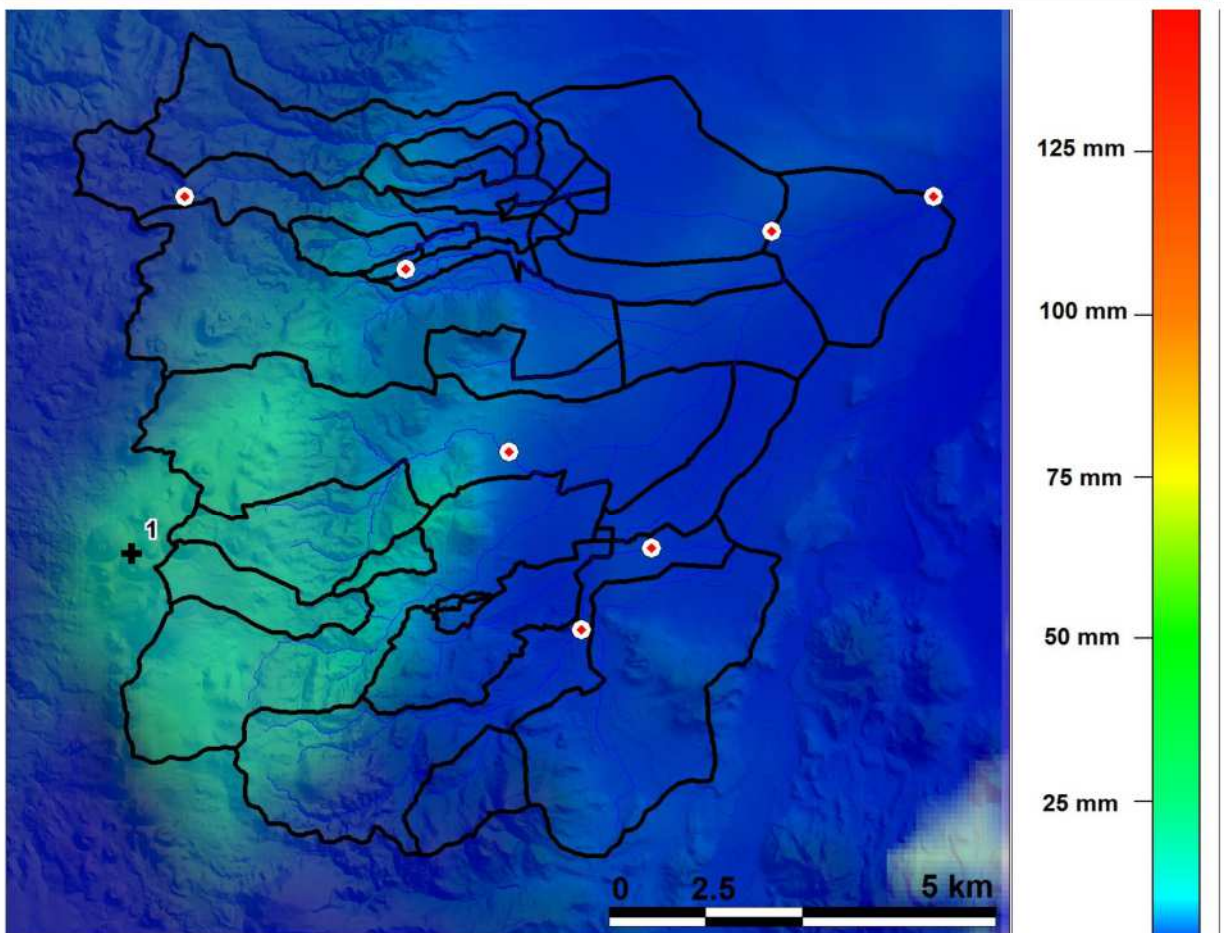
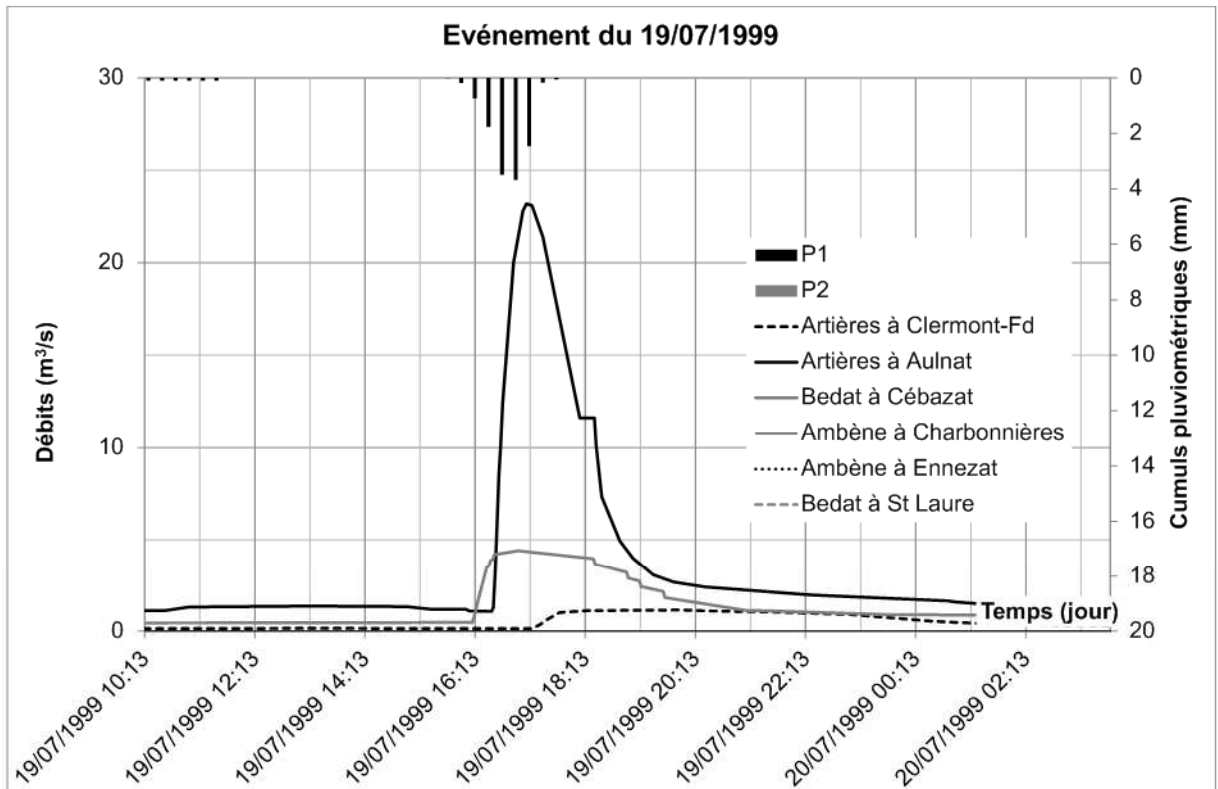




Pluie de 2h30 touchant les têtes des bassins versants de l'Artière et la Tiretaine. Pluie intense de durée 30 minutes sur la pointe principale.

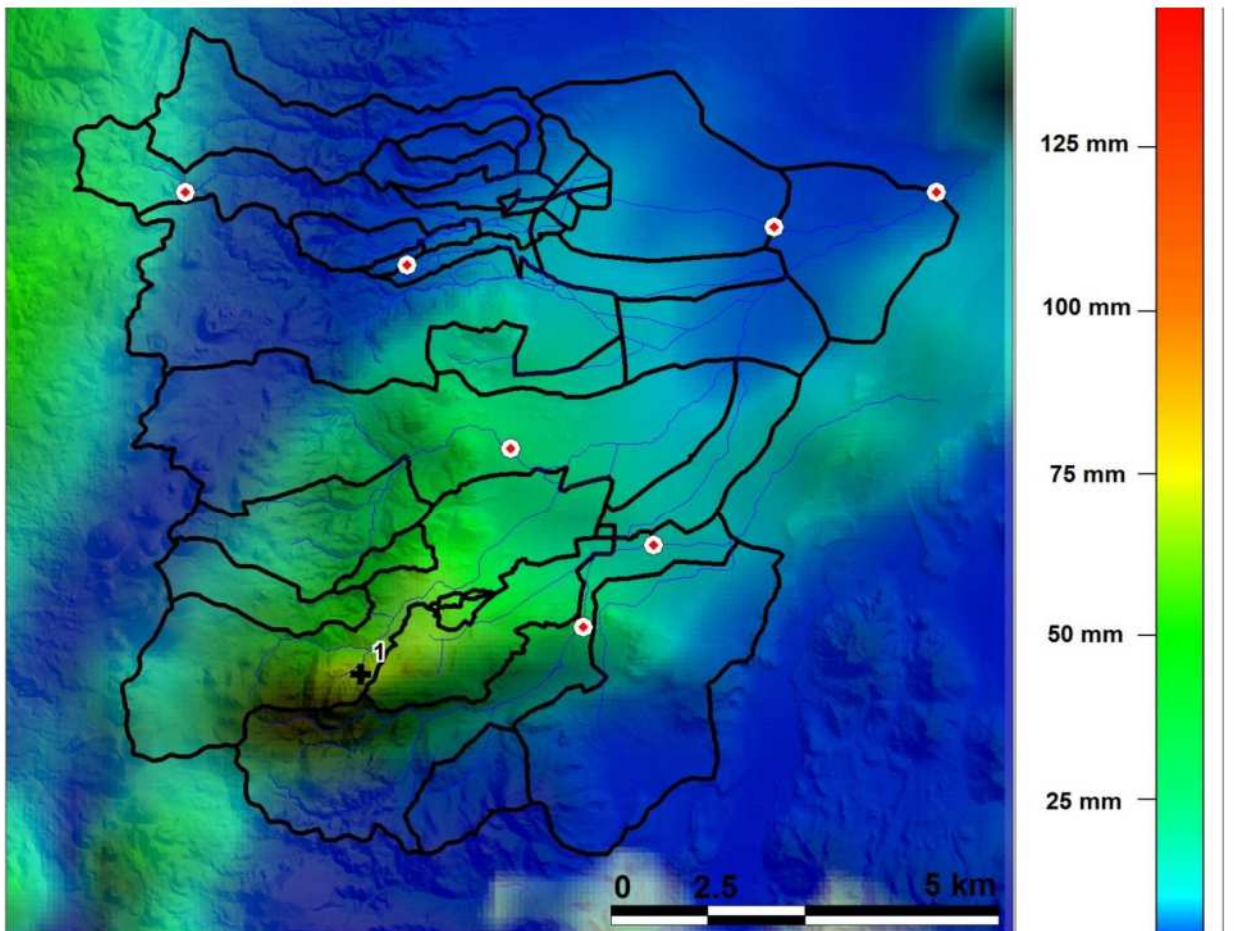
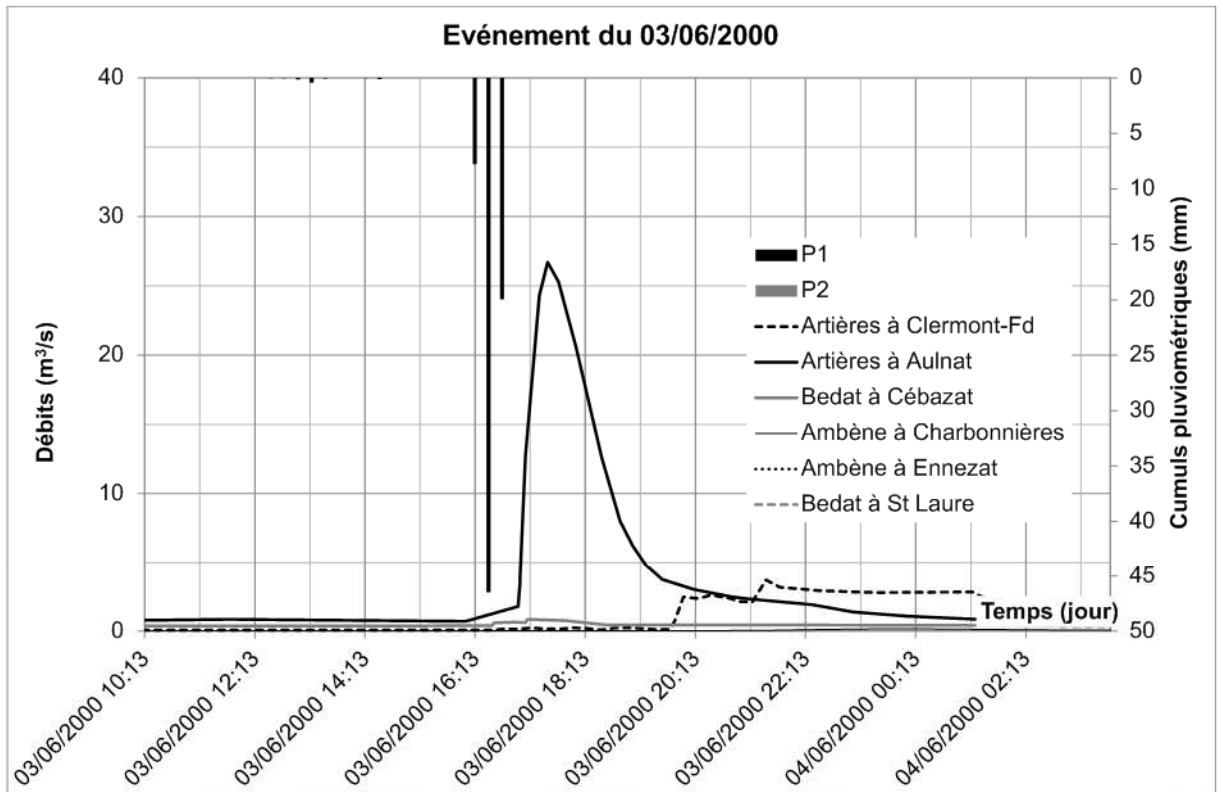


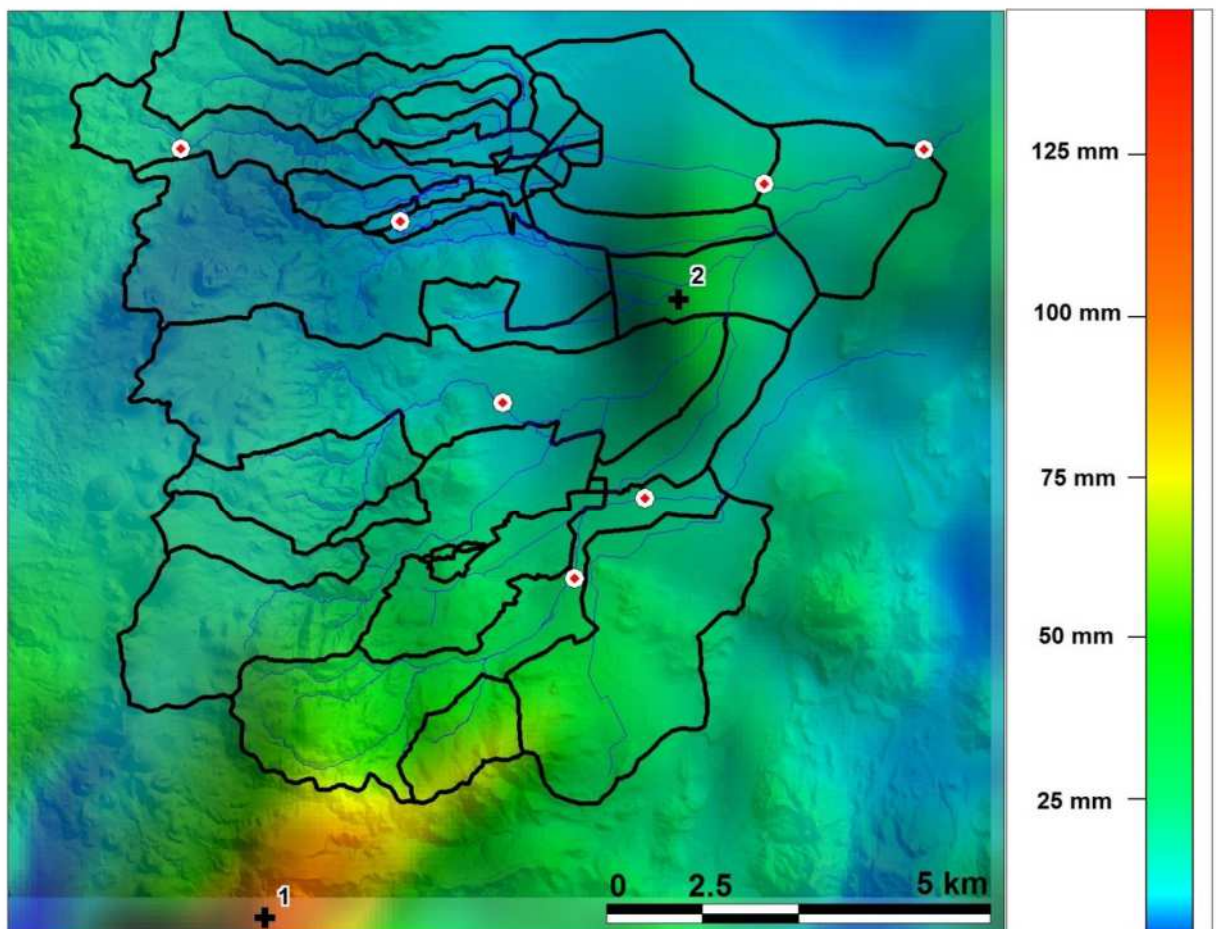
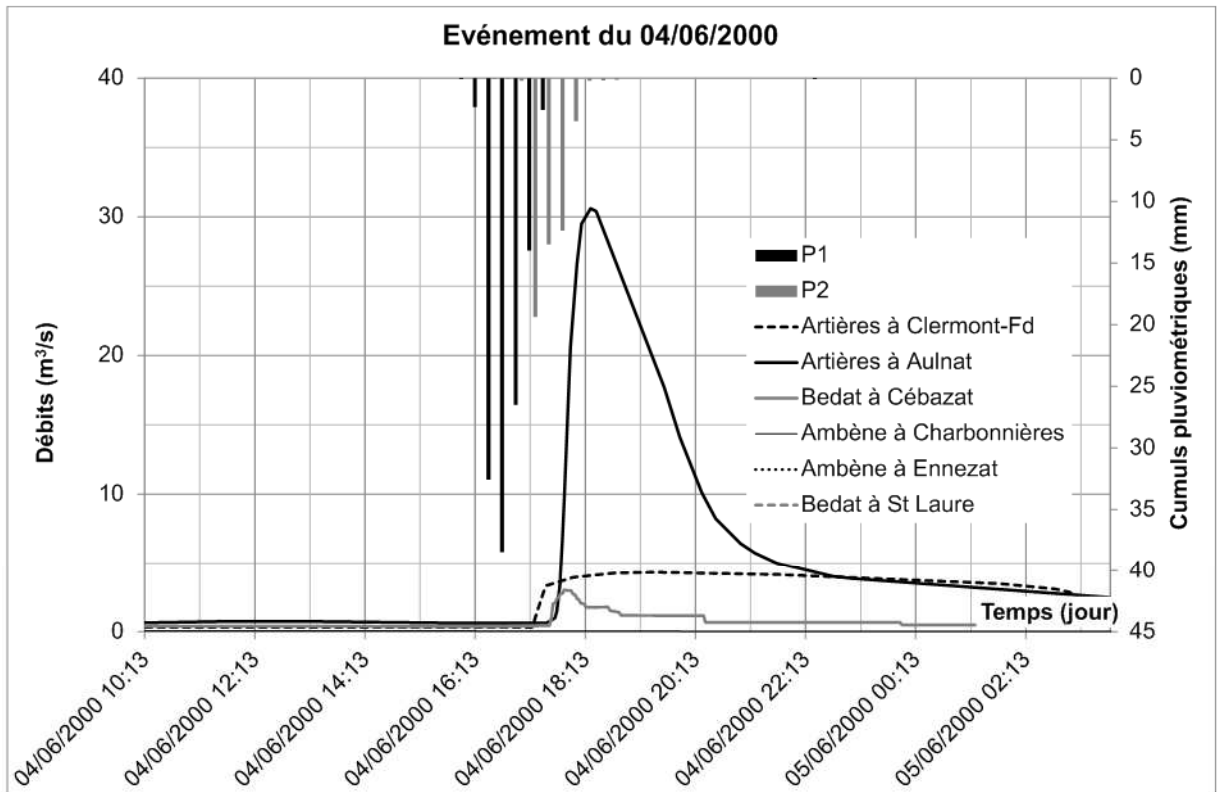




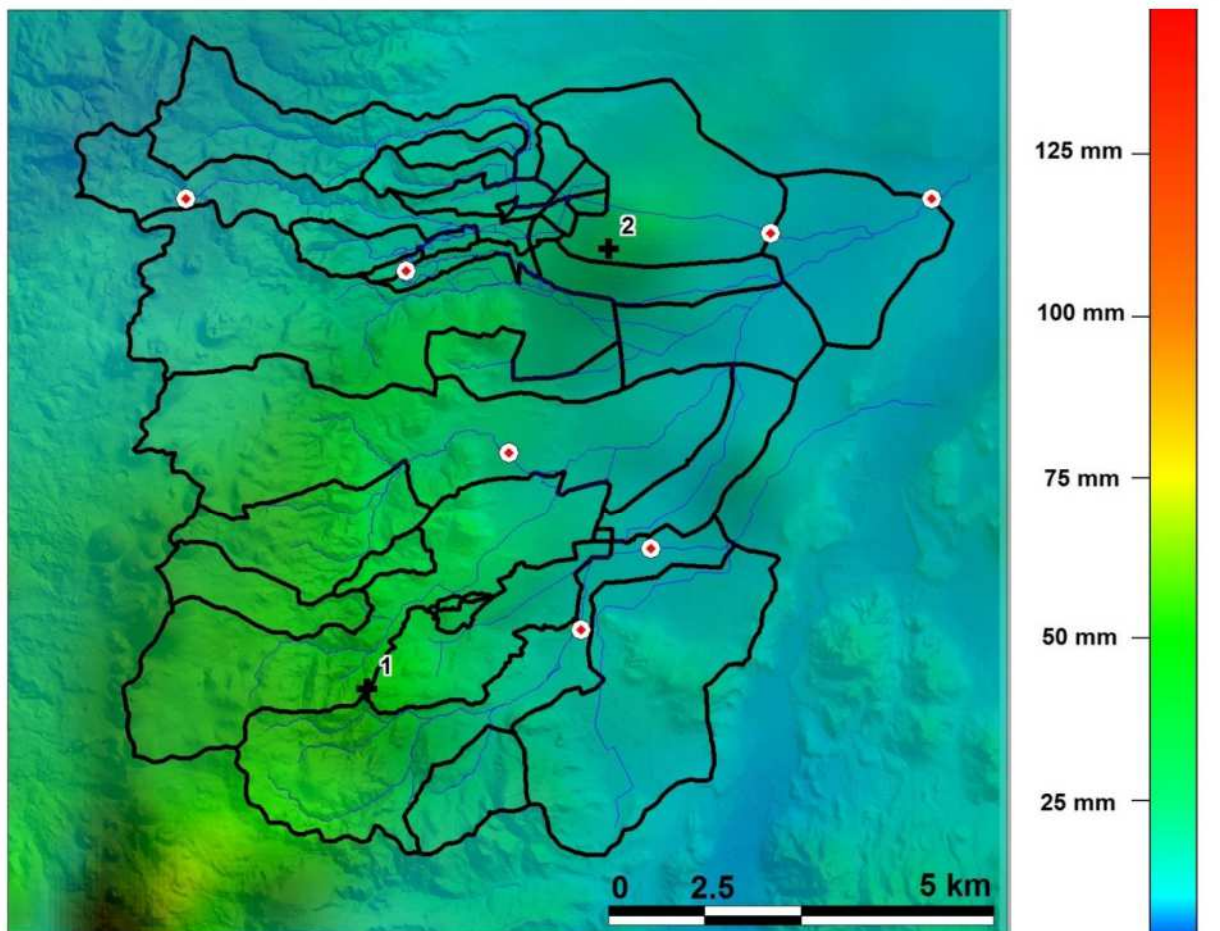
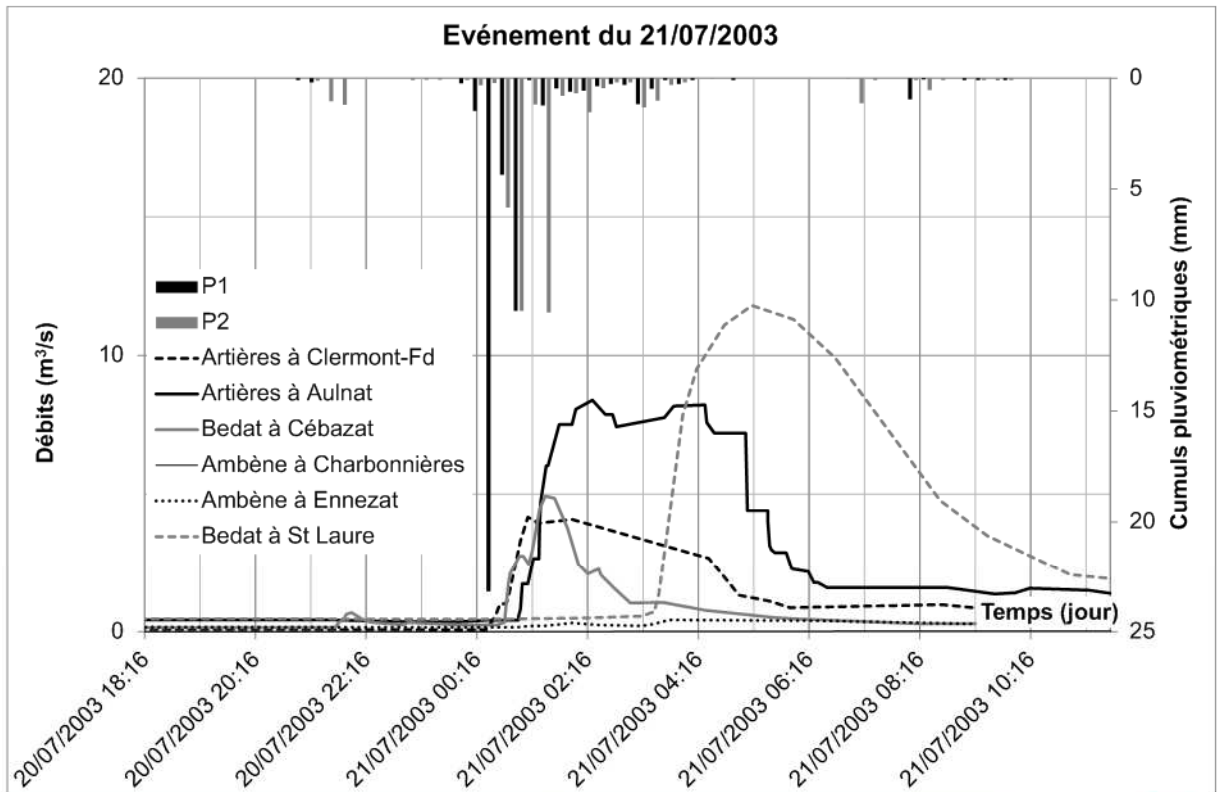
La pluviométrie issue des images radar est peu marquée et ne touche pas les bassins versants de l'Artière et de la Tiretaine alors qu'une pointe de débit est enregistrée sur l'Artière à Aulnat.



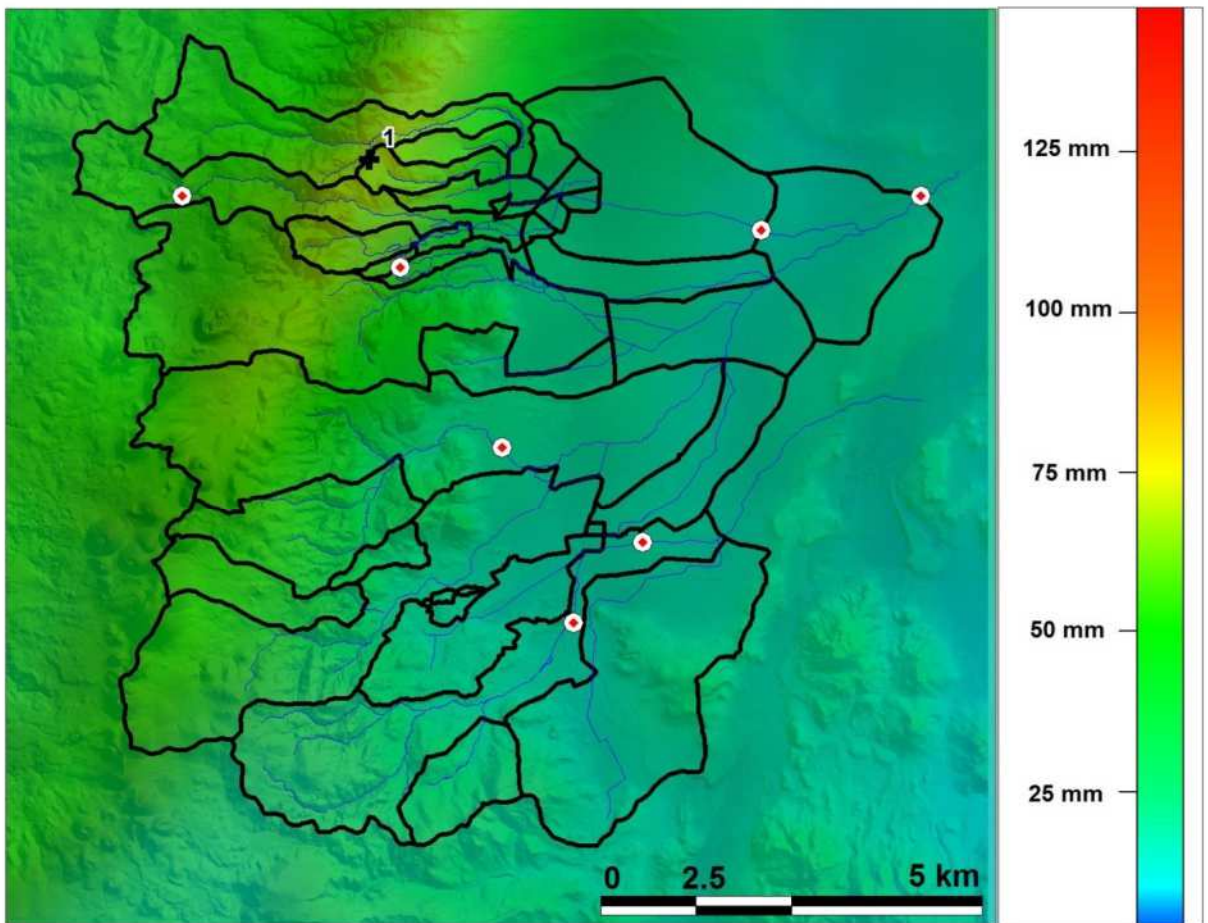
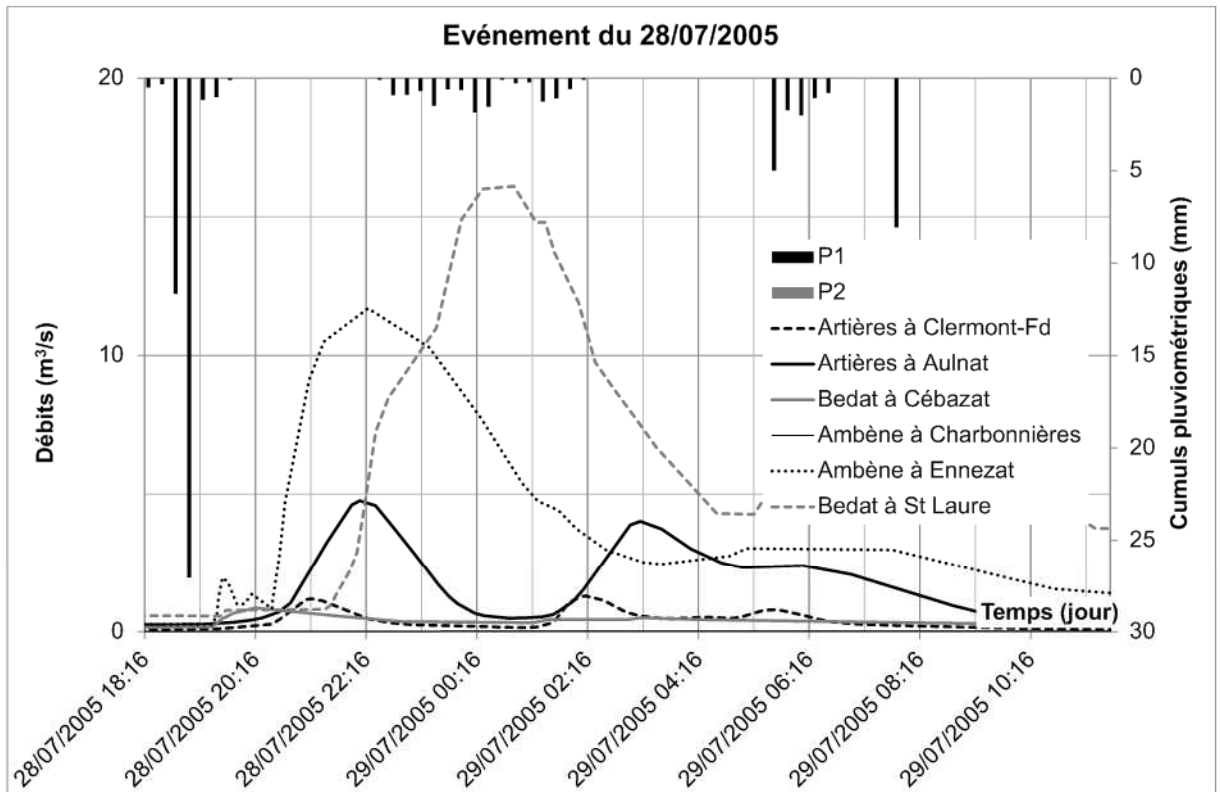


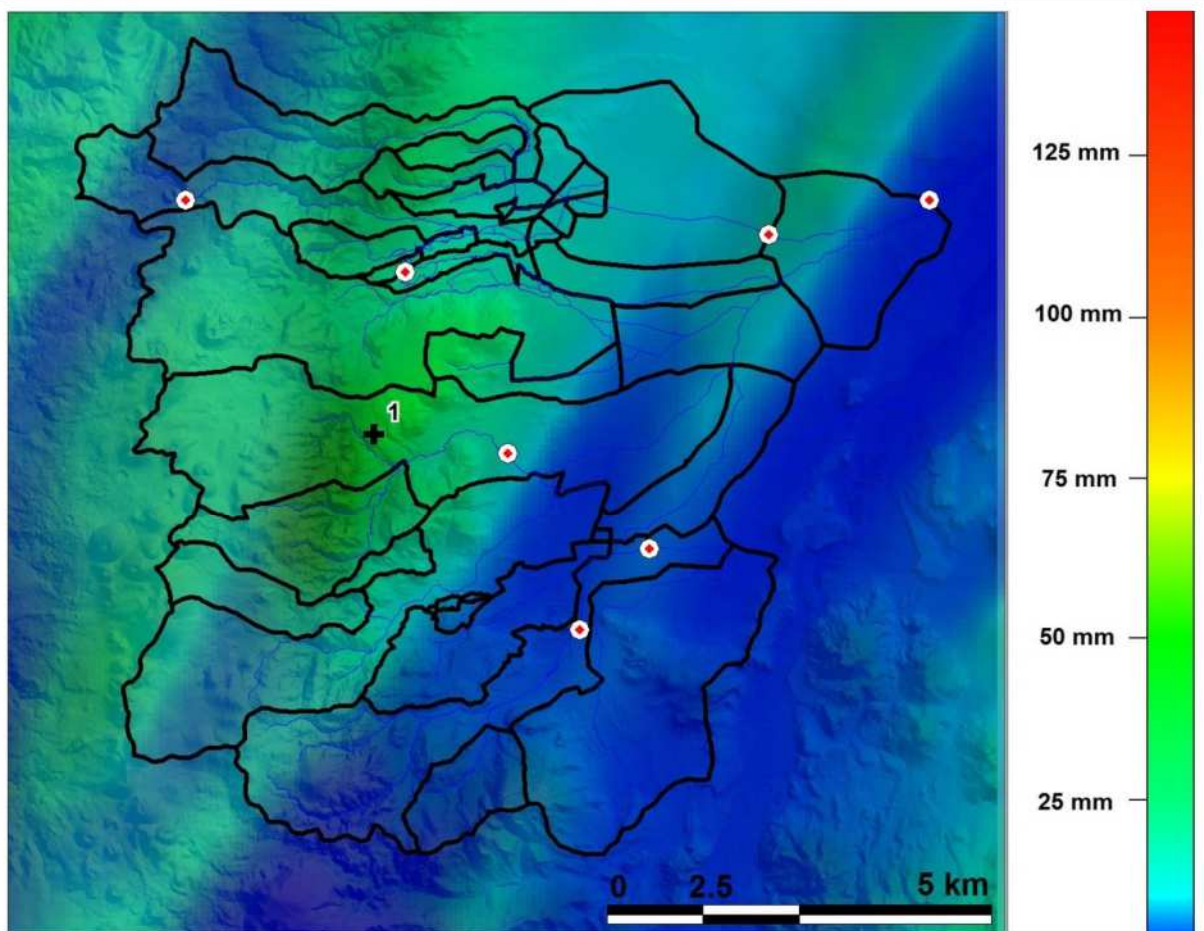
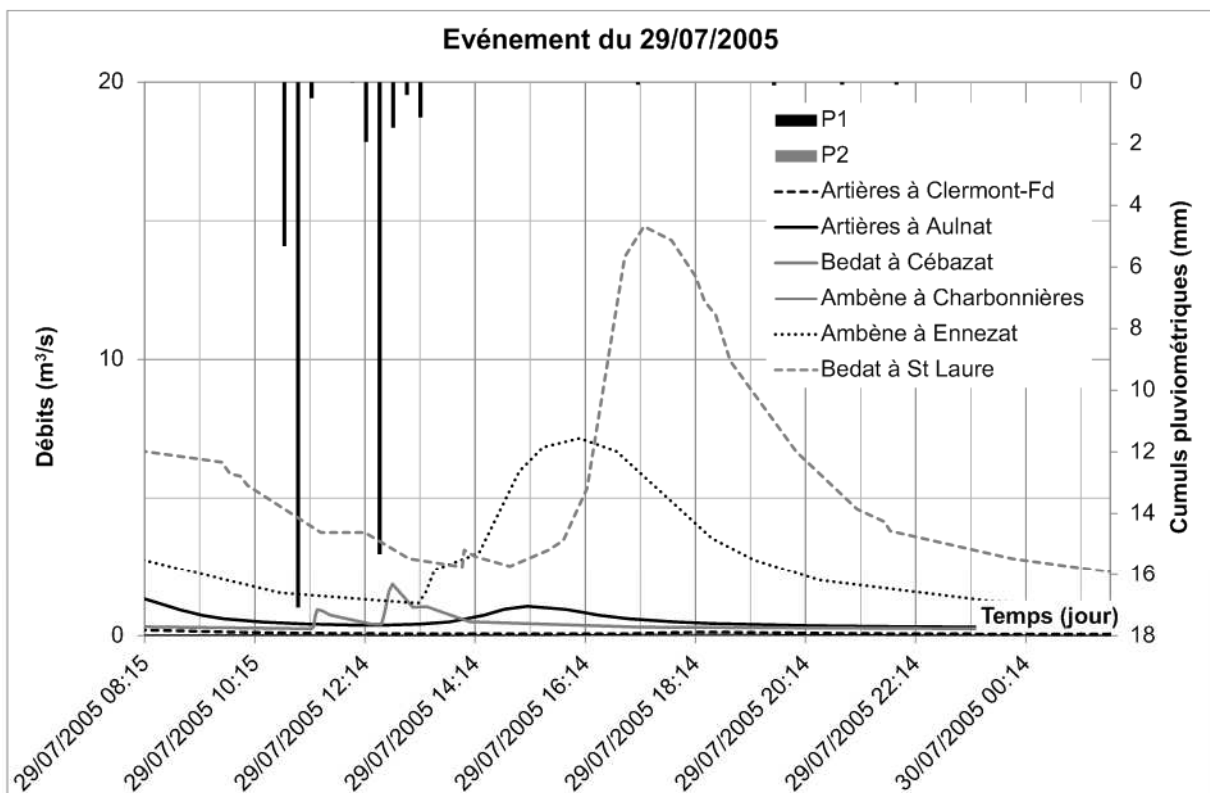


Deux pointes de pluviométrie, sur l'amont de l'Artière (environ 1h30), puis sur le Bédât aval (pluie d'environ une heure moins intense, succédant au premier pic avec une heure de décalage).

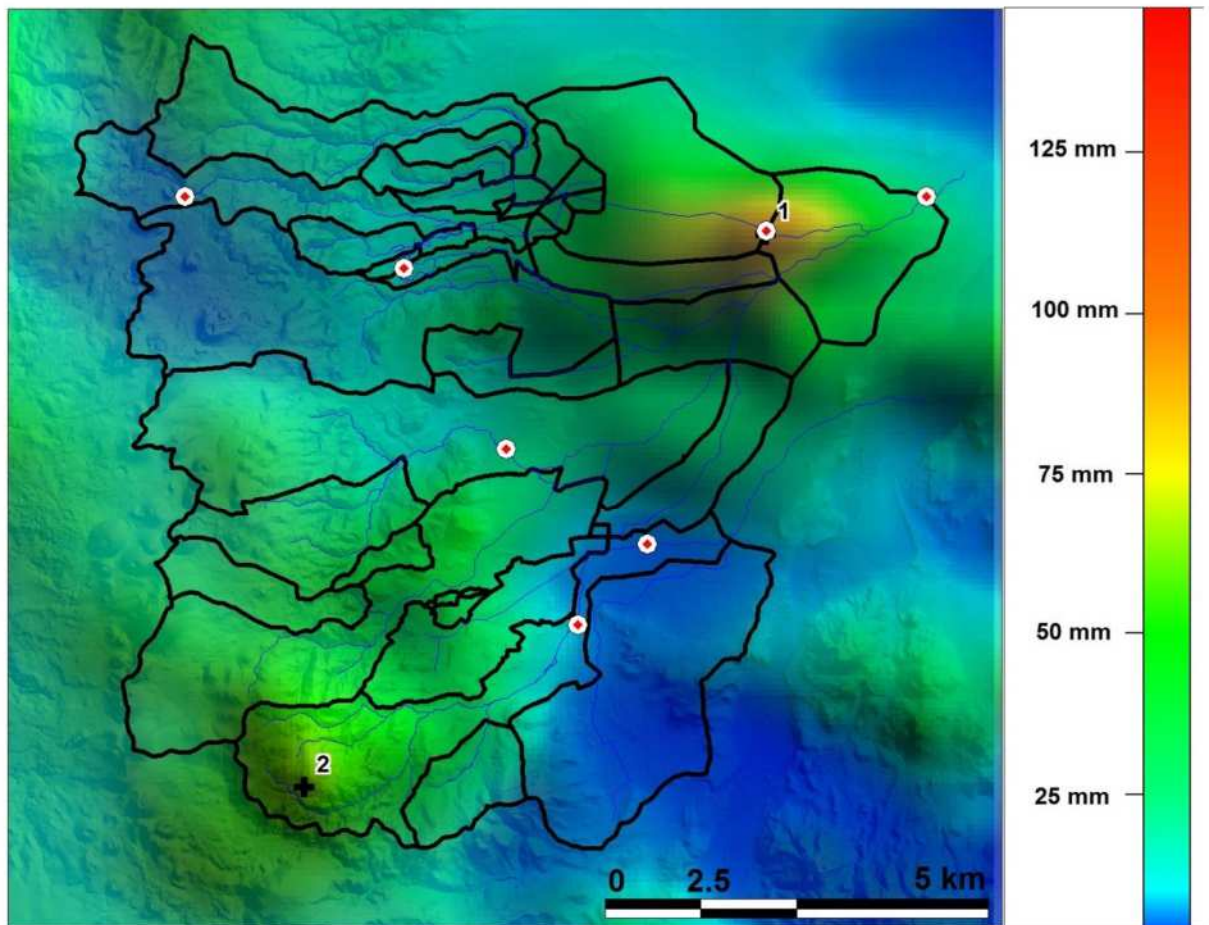
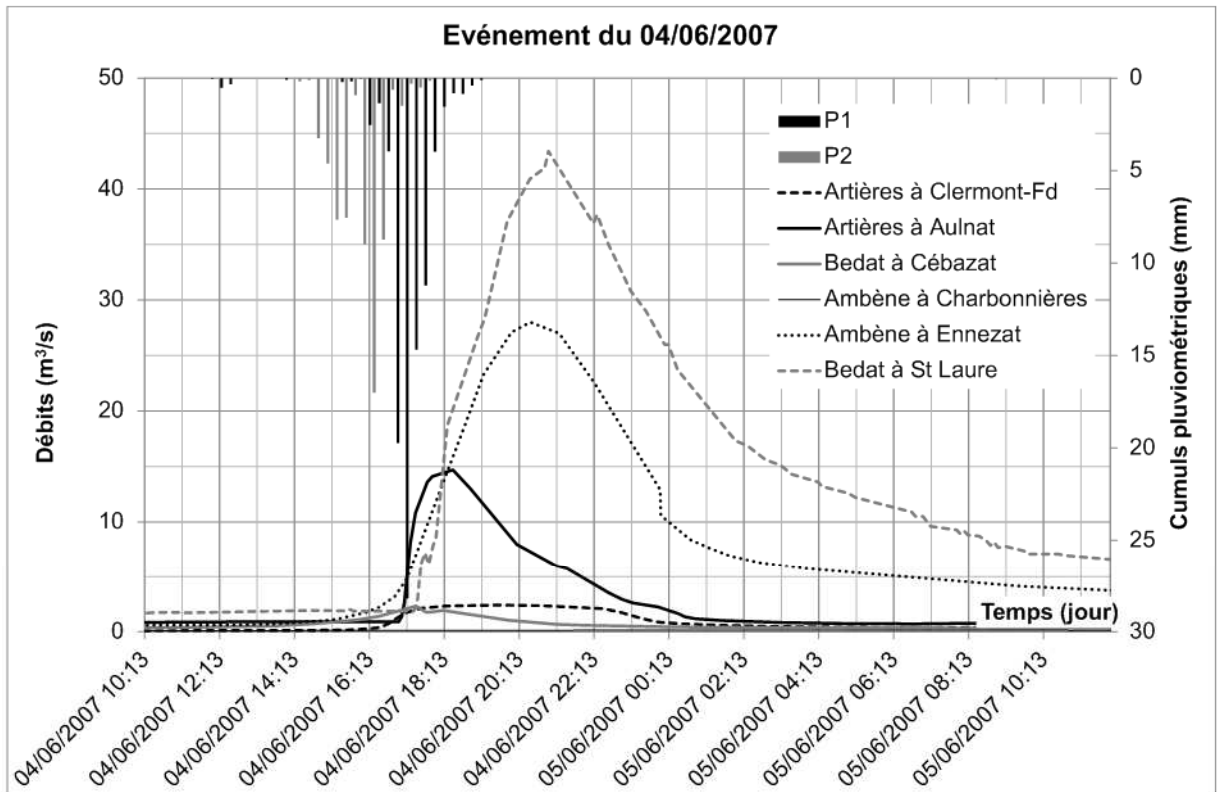


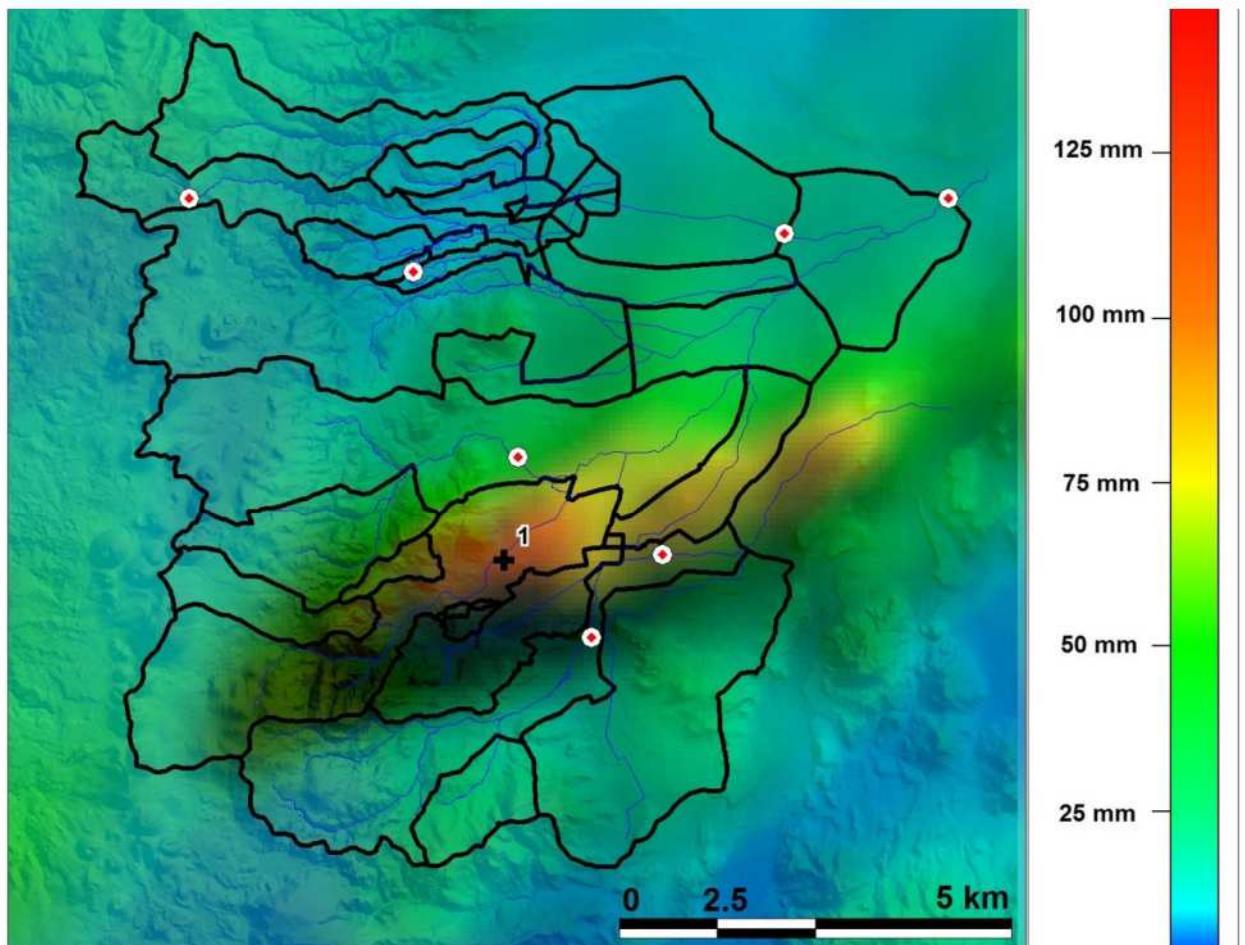
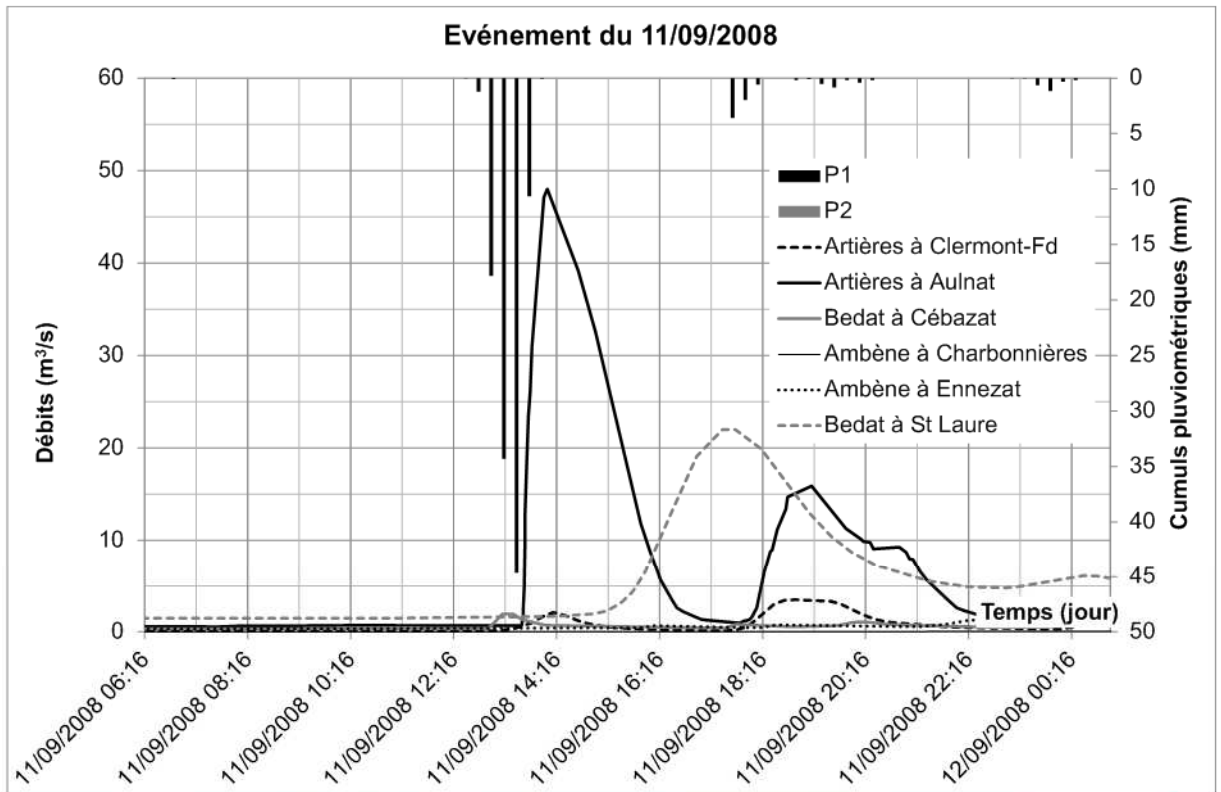
Probables lacunes dans la mesure de débit sur l'Artière à Aulnat. Principale pointe de pluie enregistrée sur l'amont des bassins versants de l'Artière et de la Tiretaine (2h30, avec de petites précipitations pendant les 2 heures suivantes.

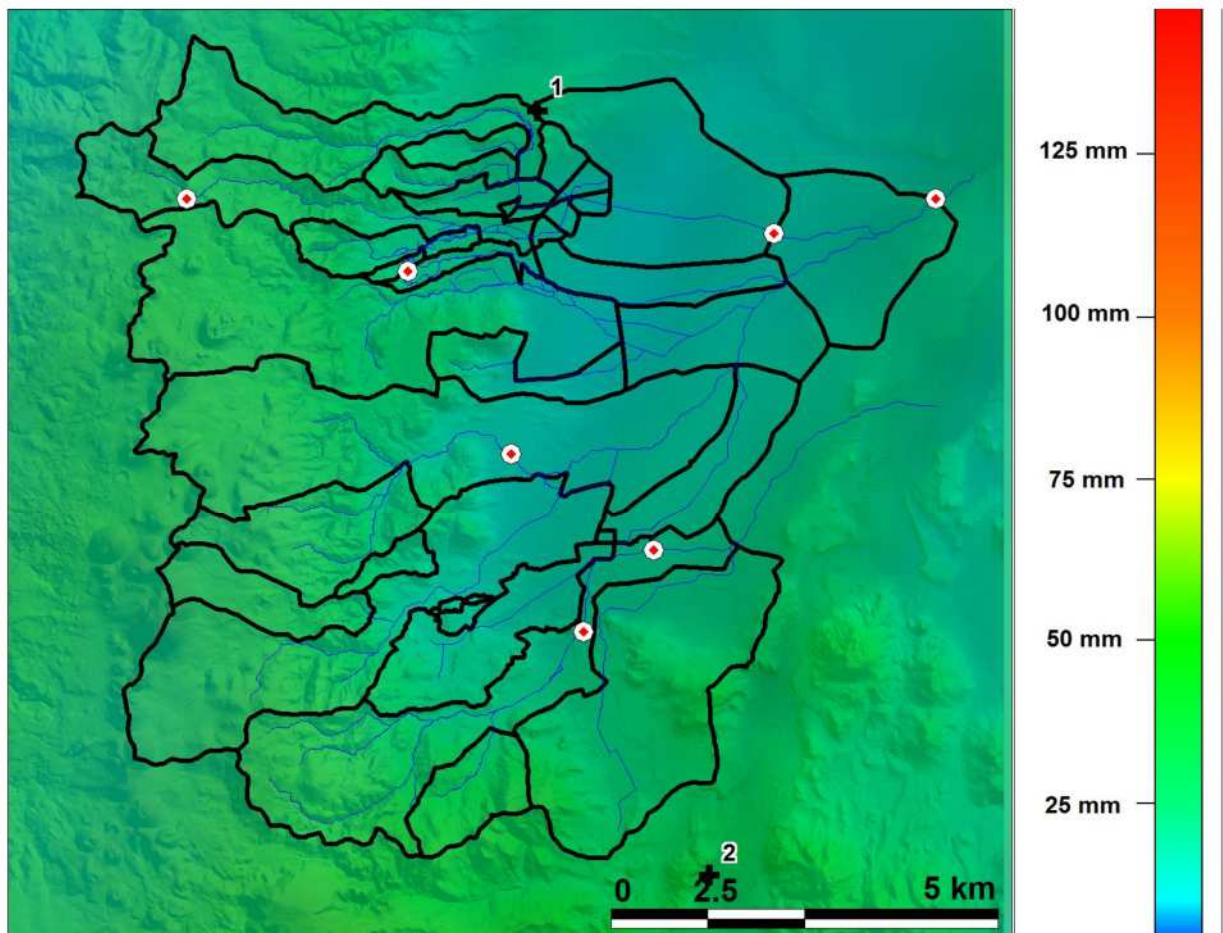
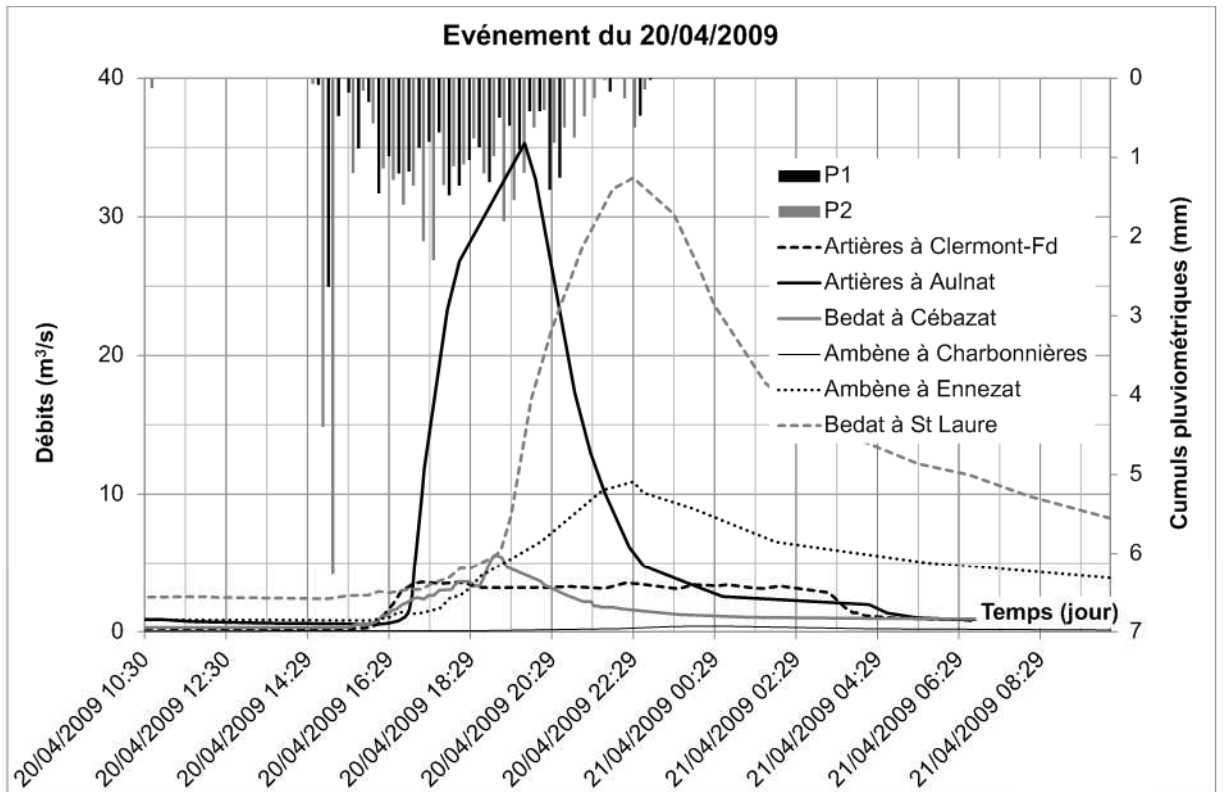


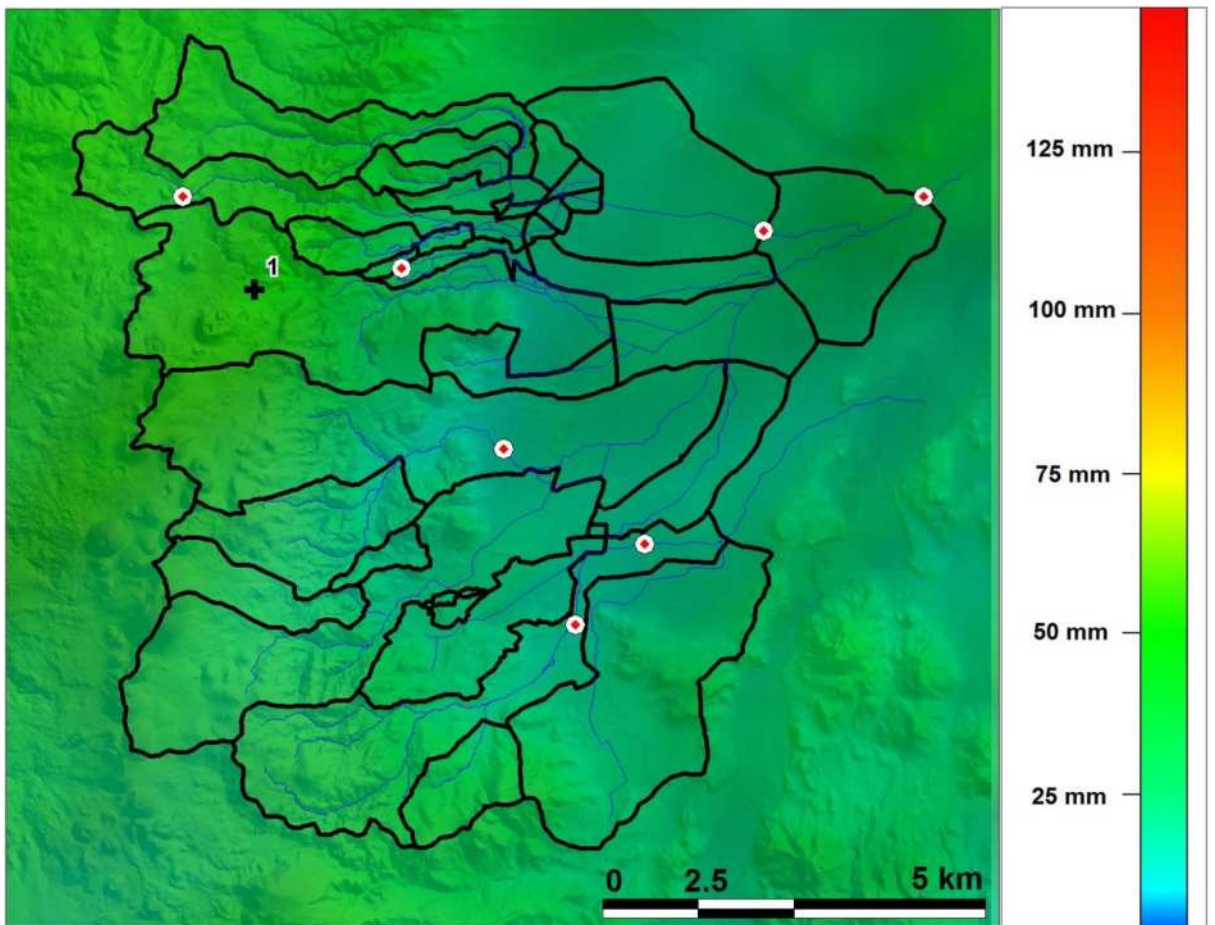
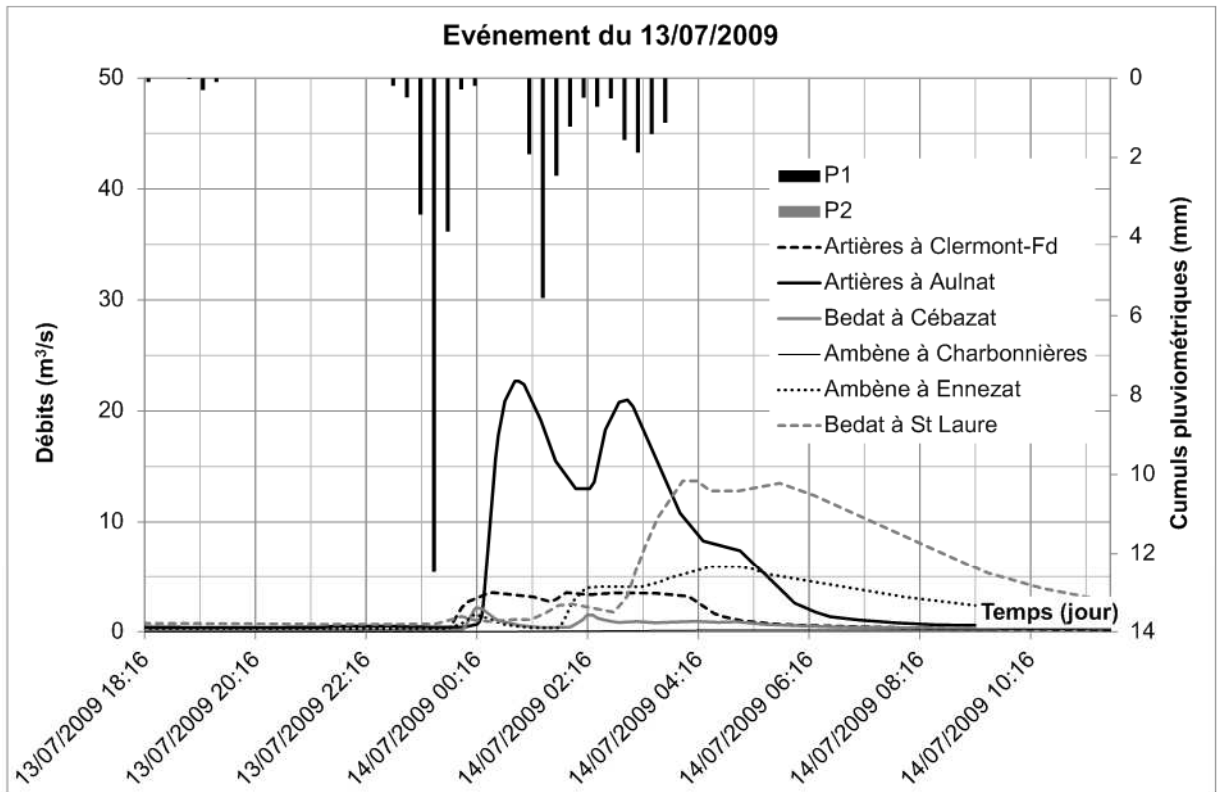


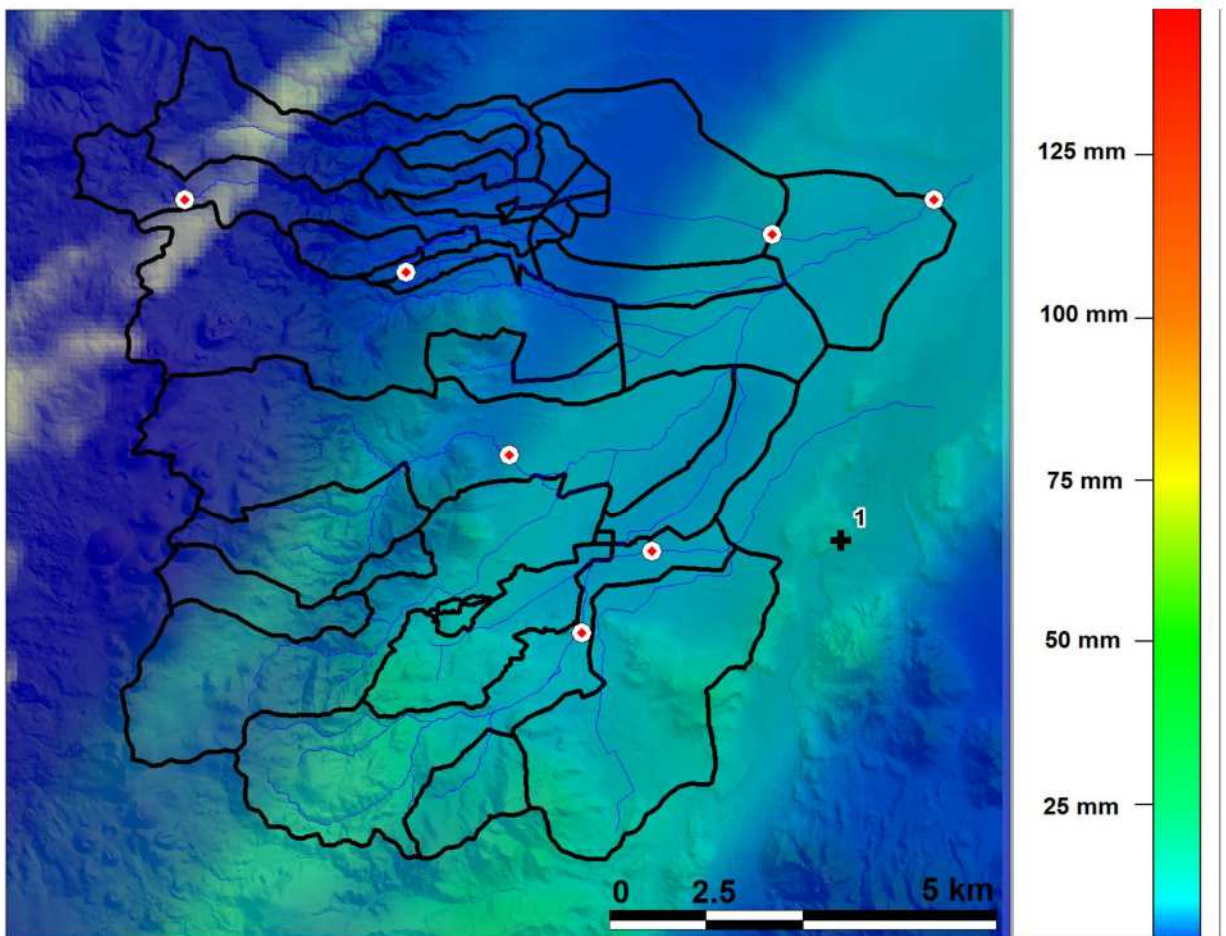
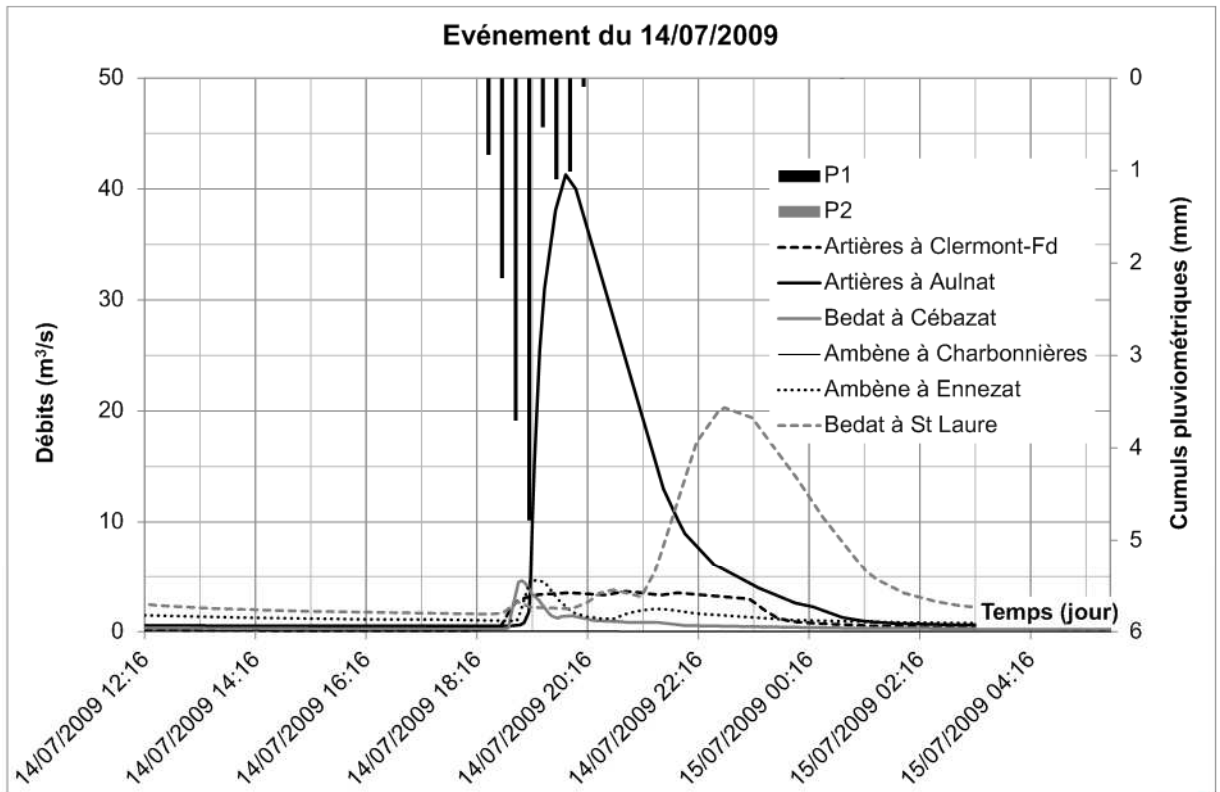


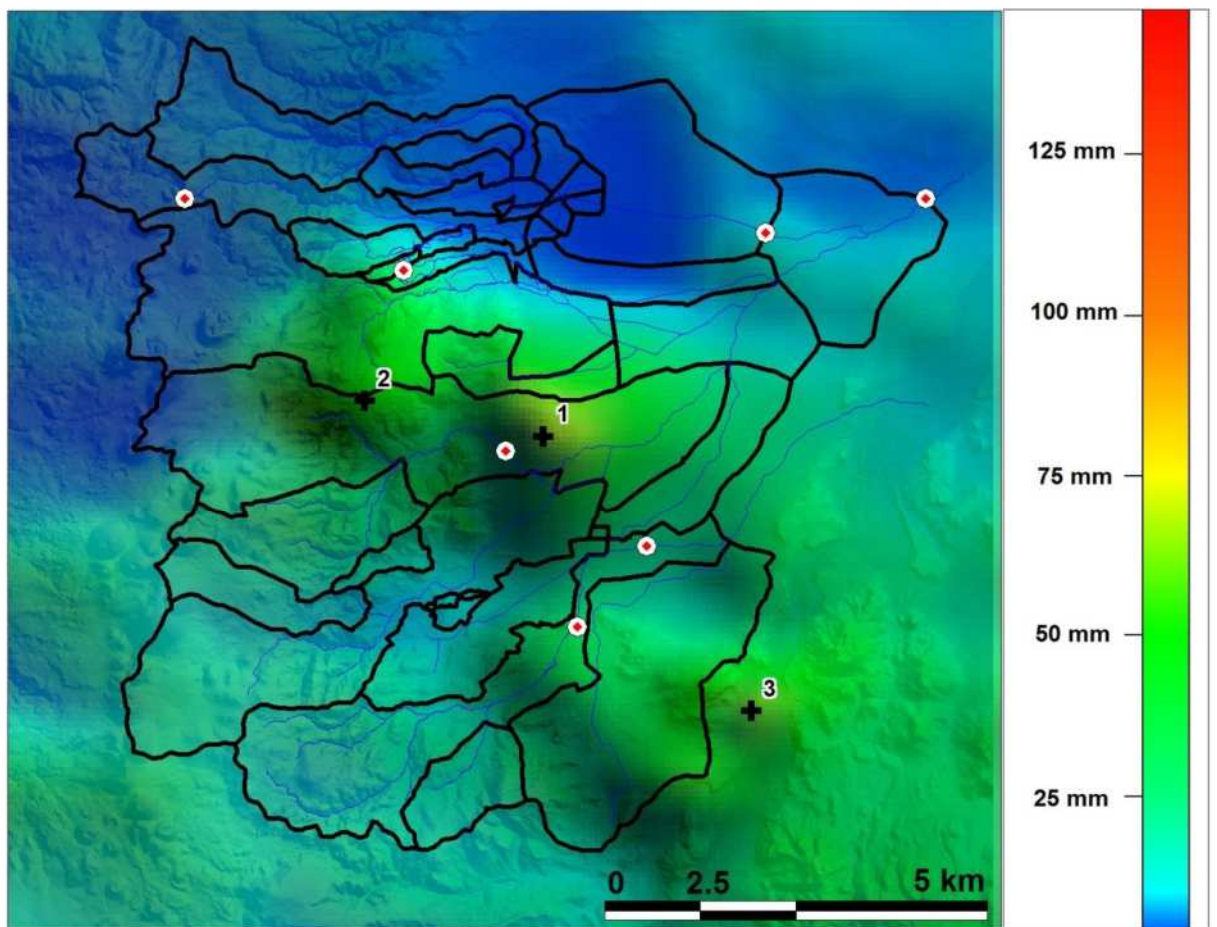
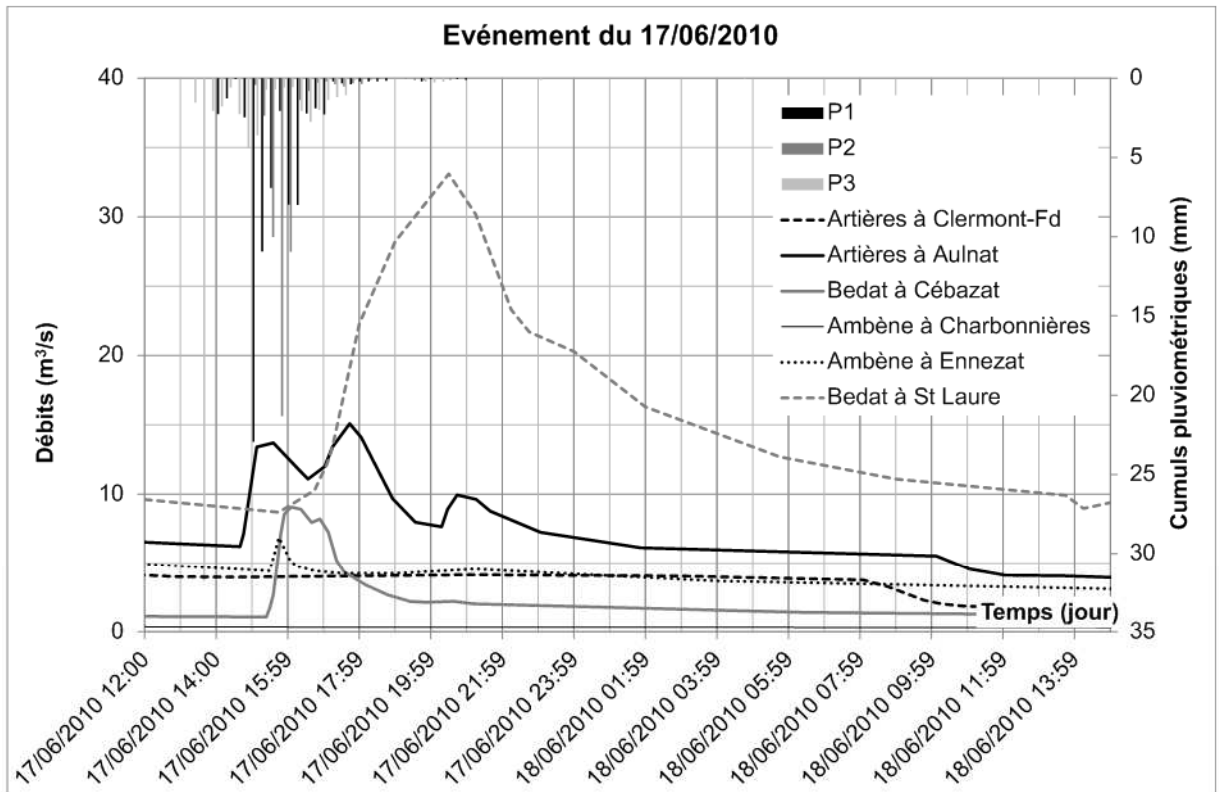


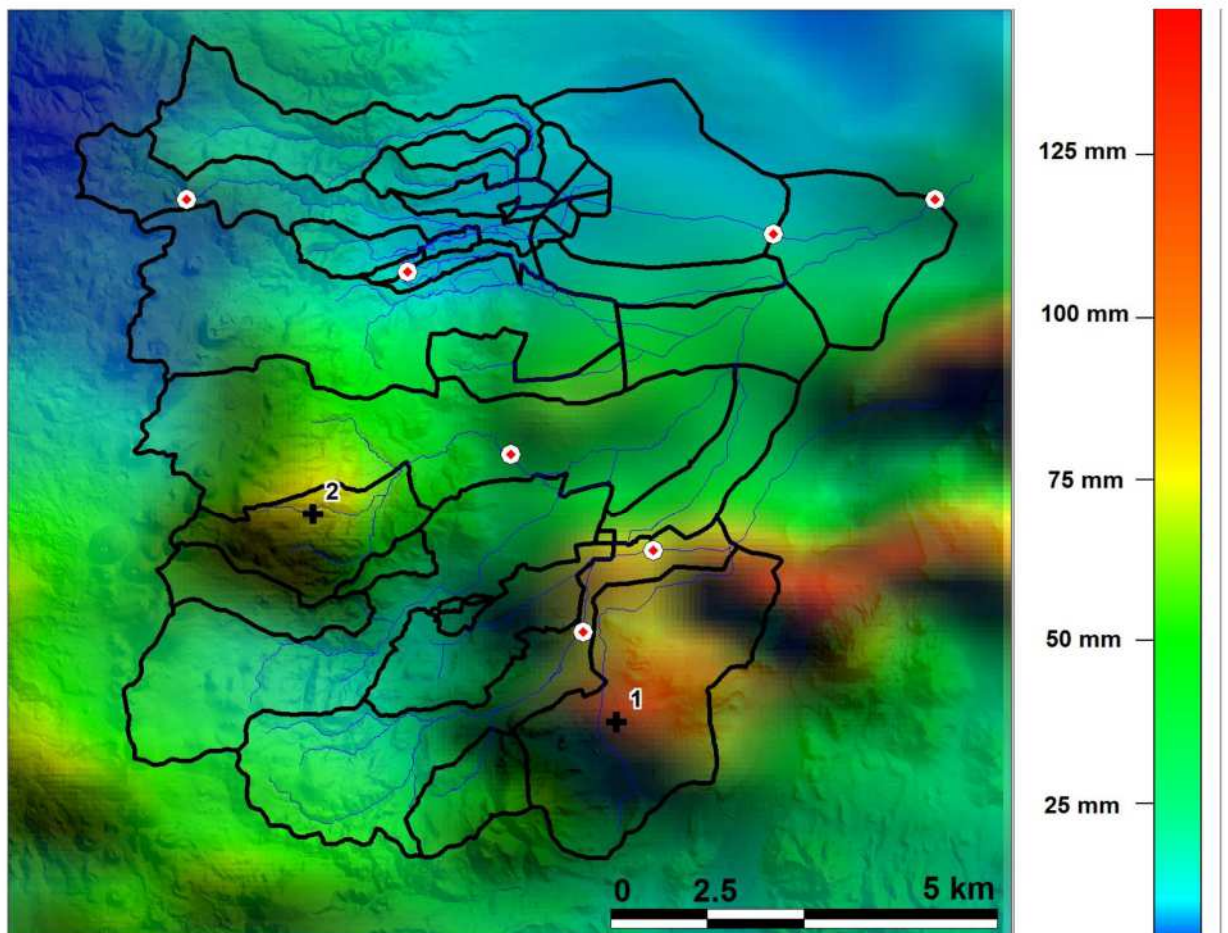
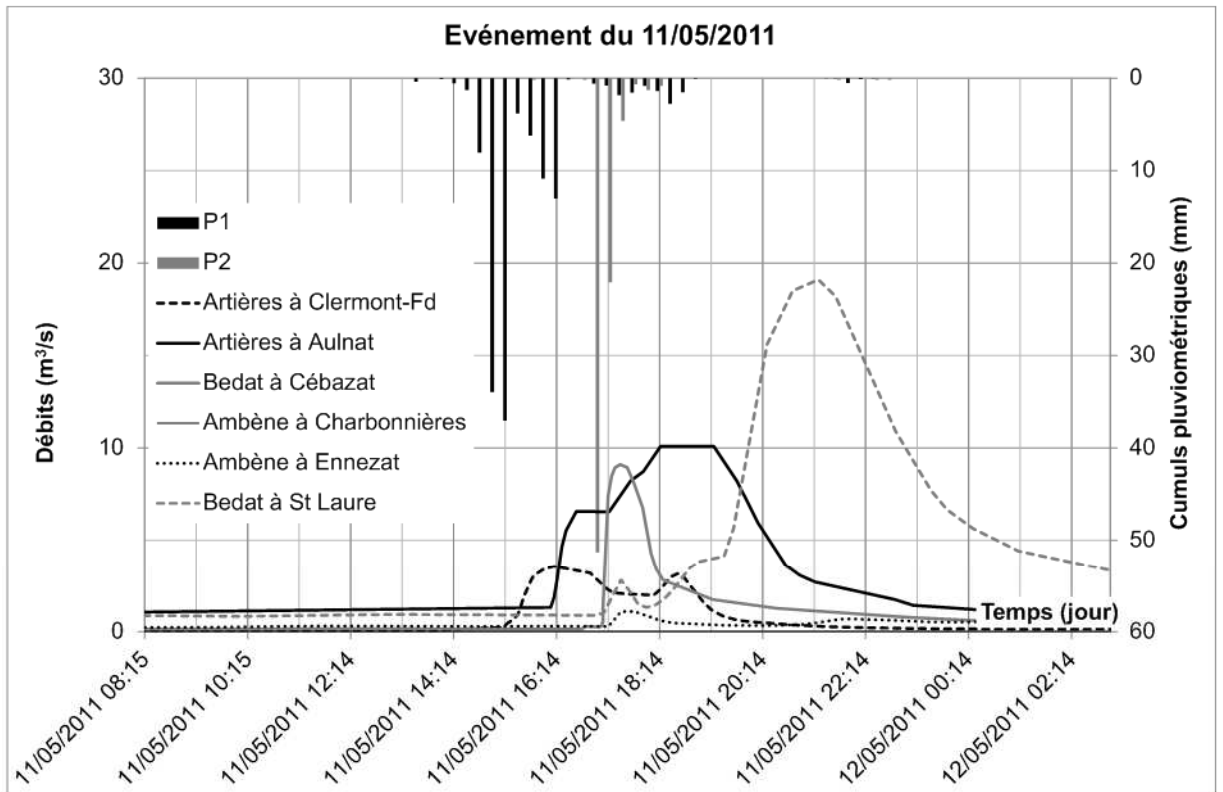


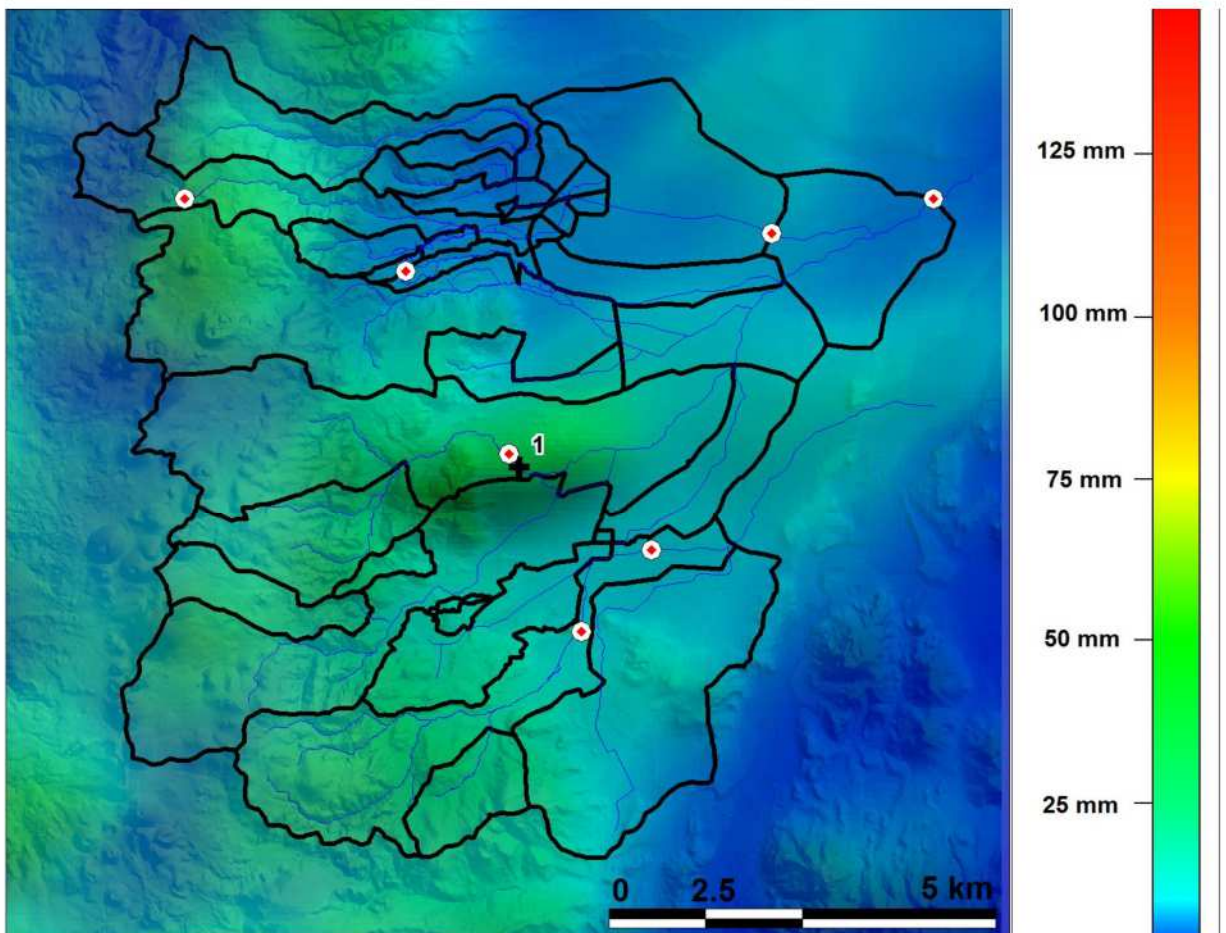
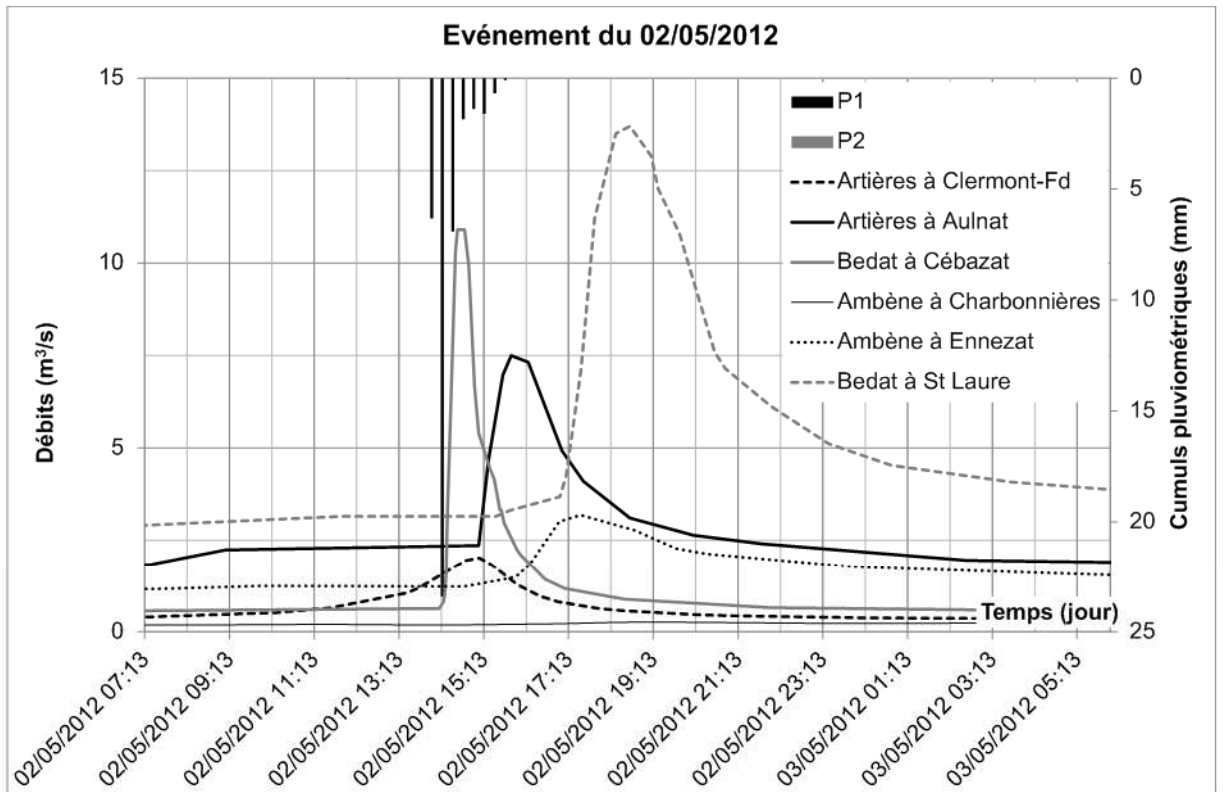




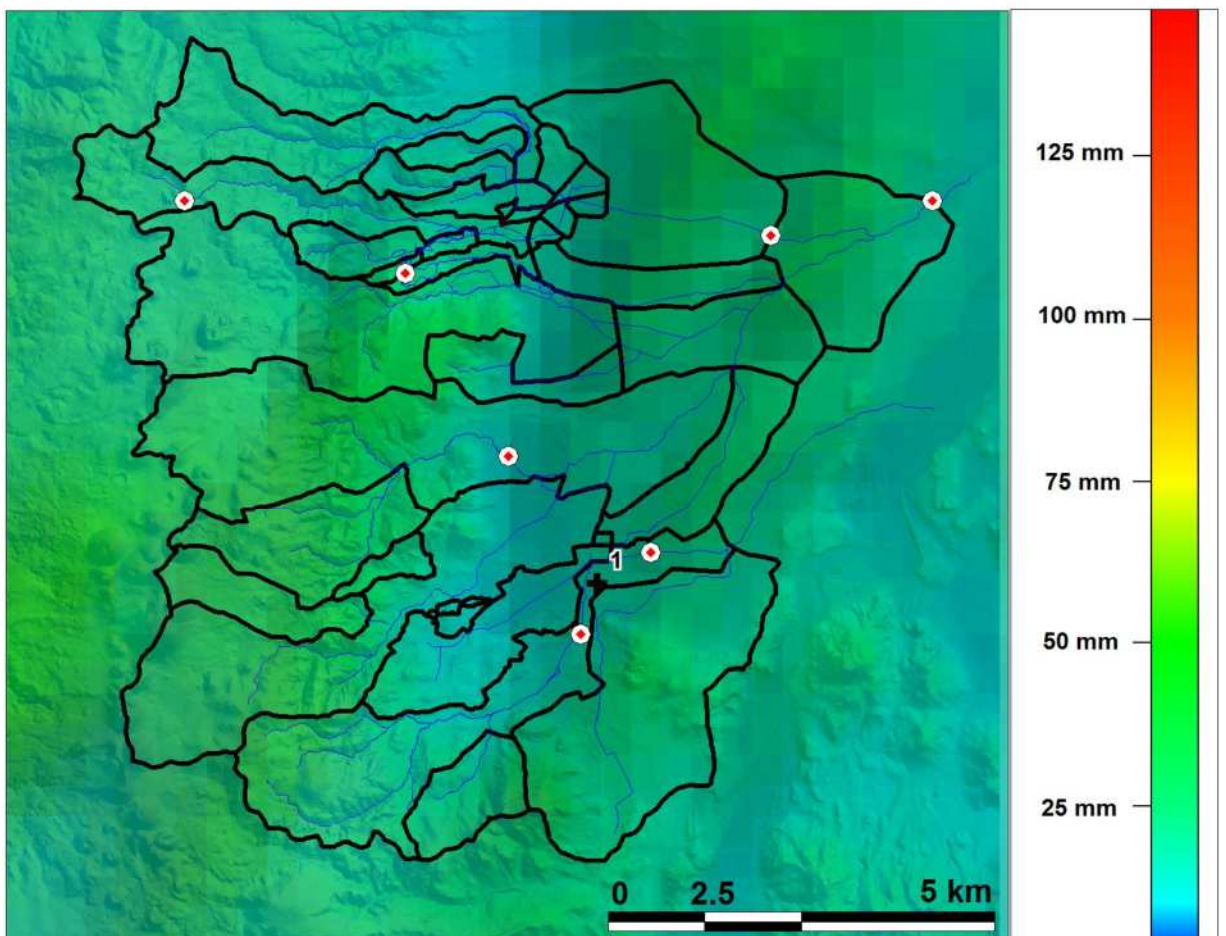
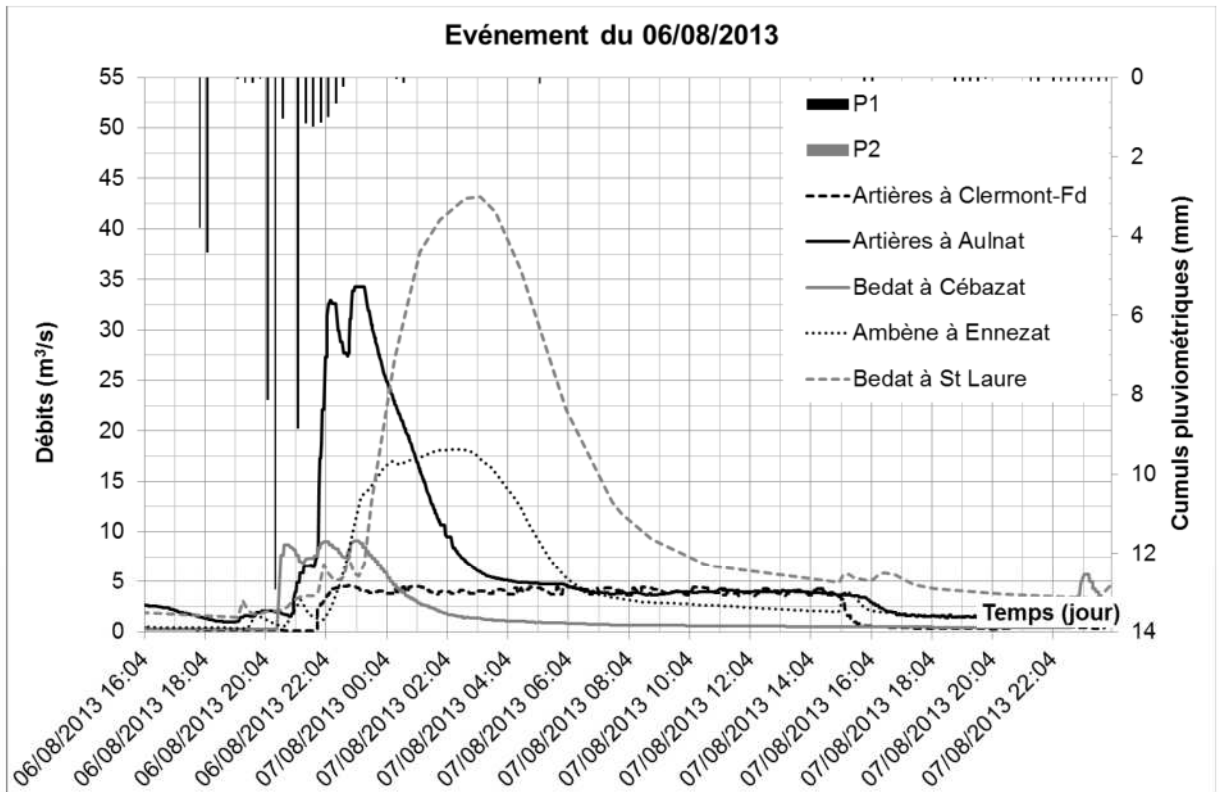


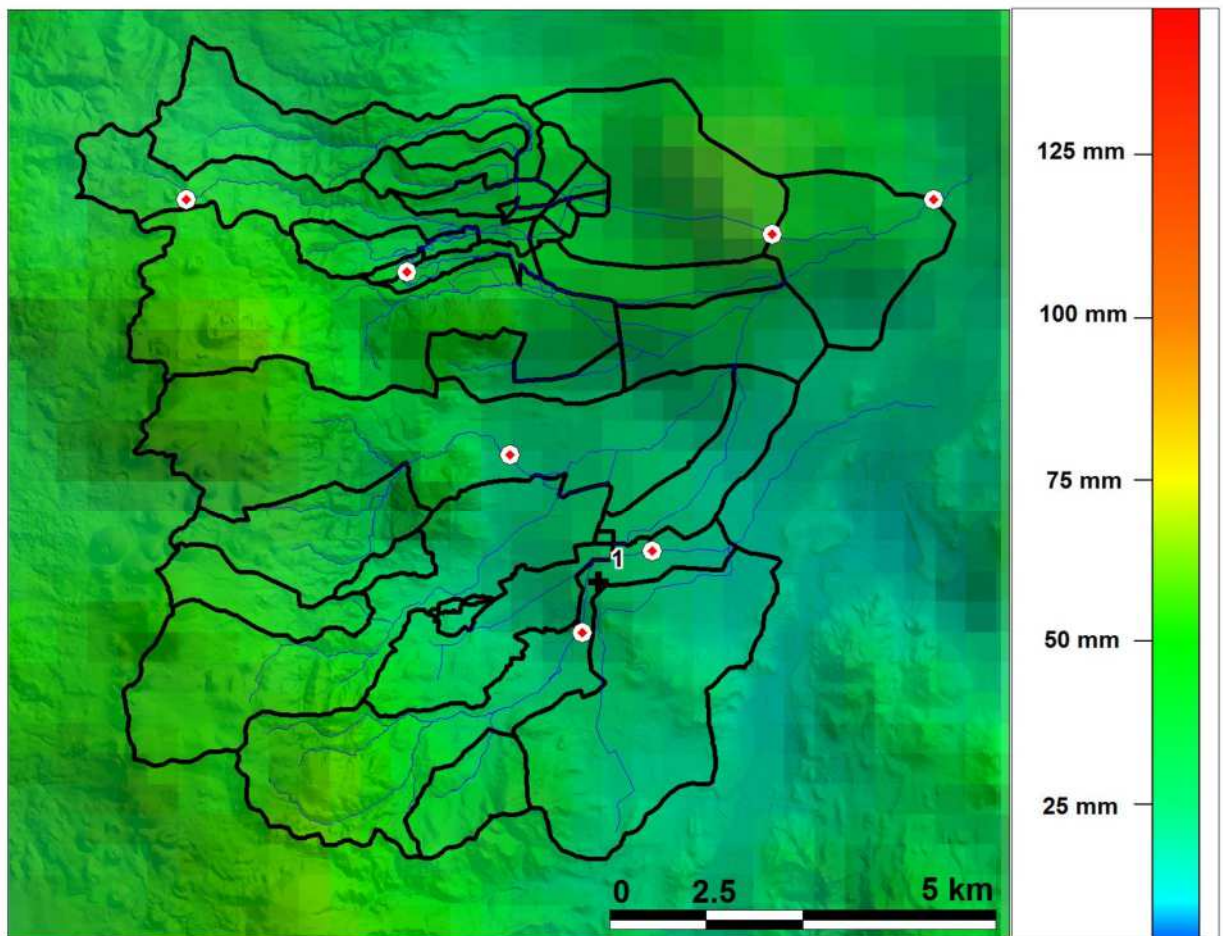
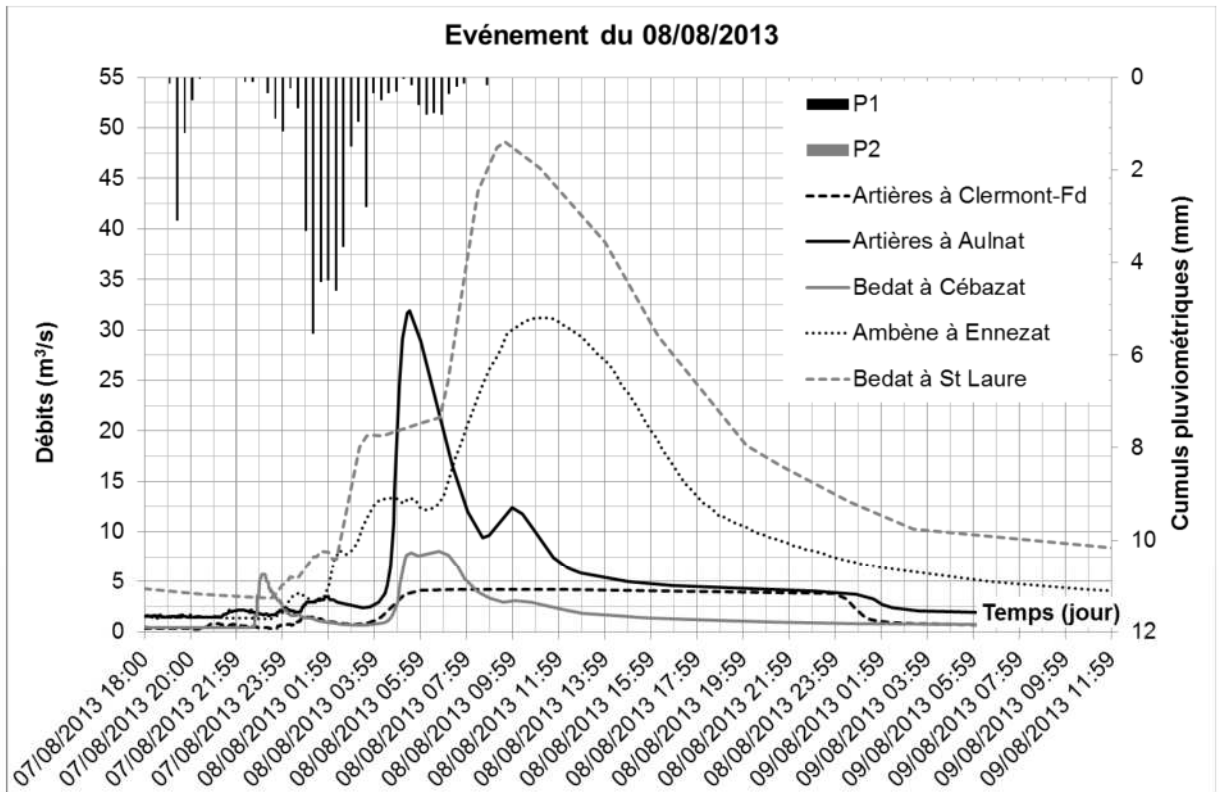










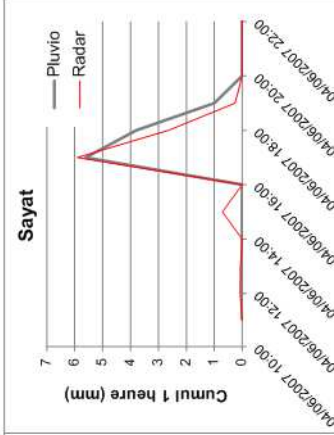
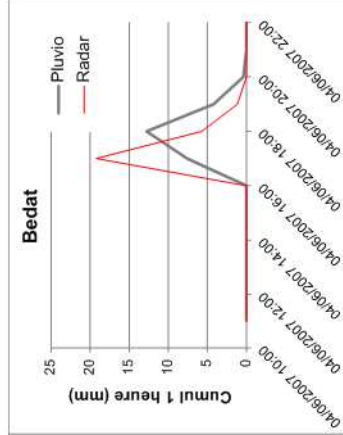
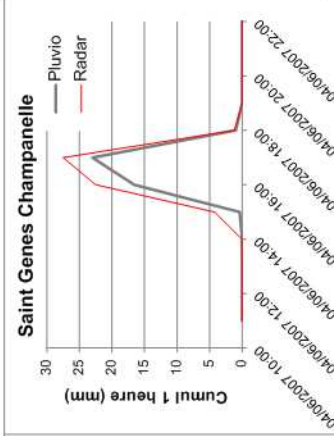
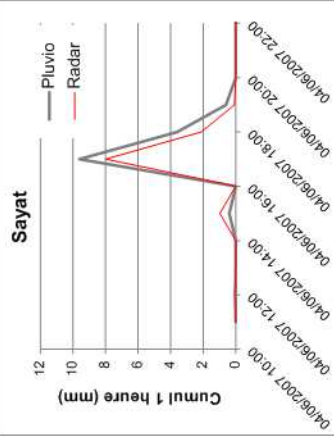
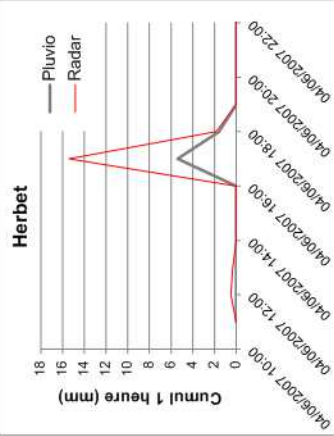
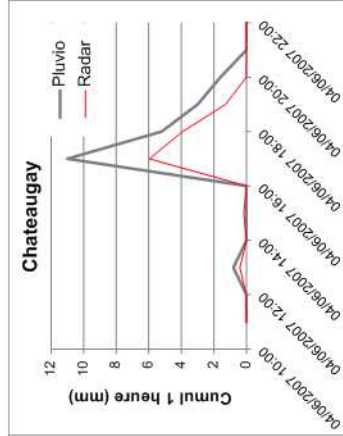
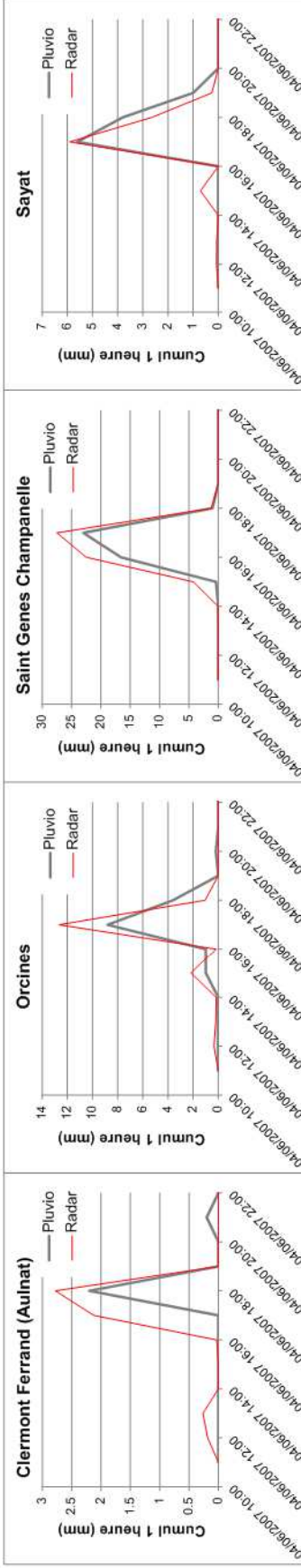
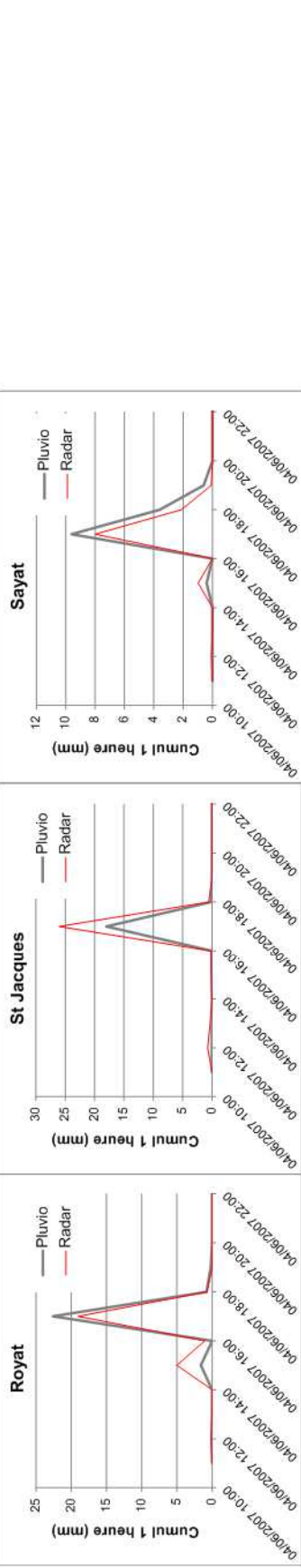
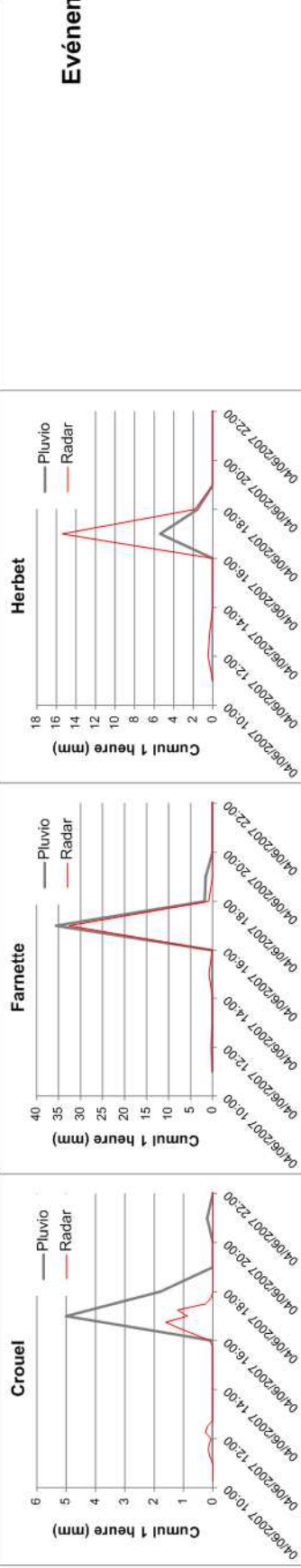
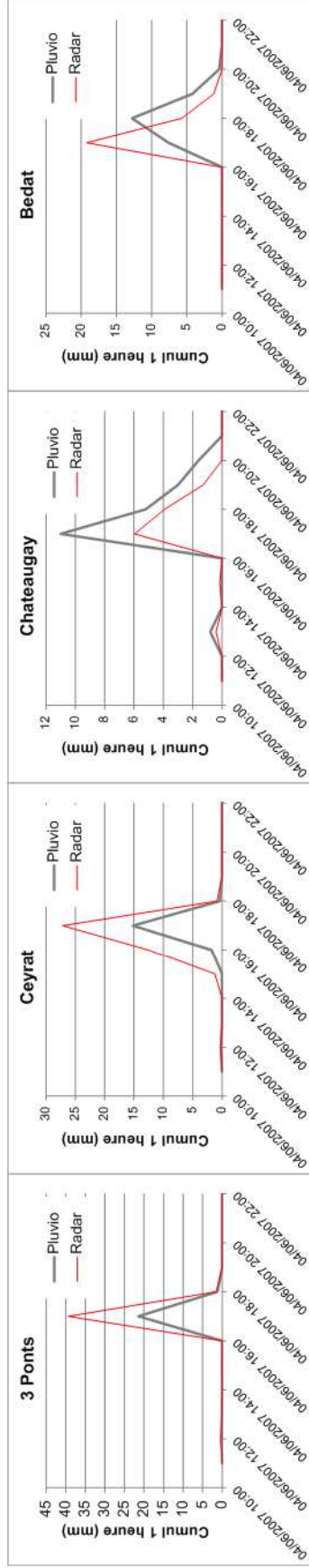


---

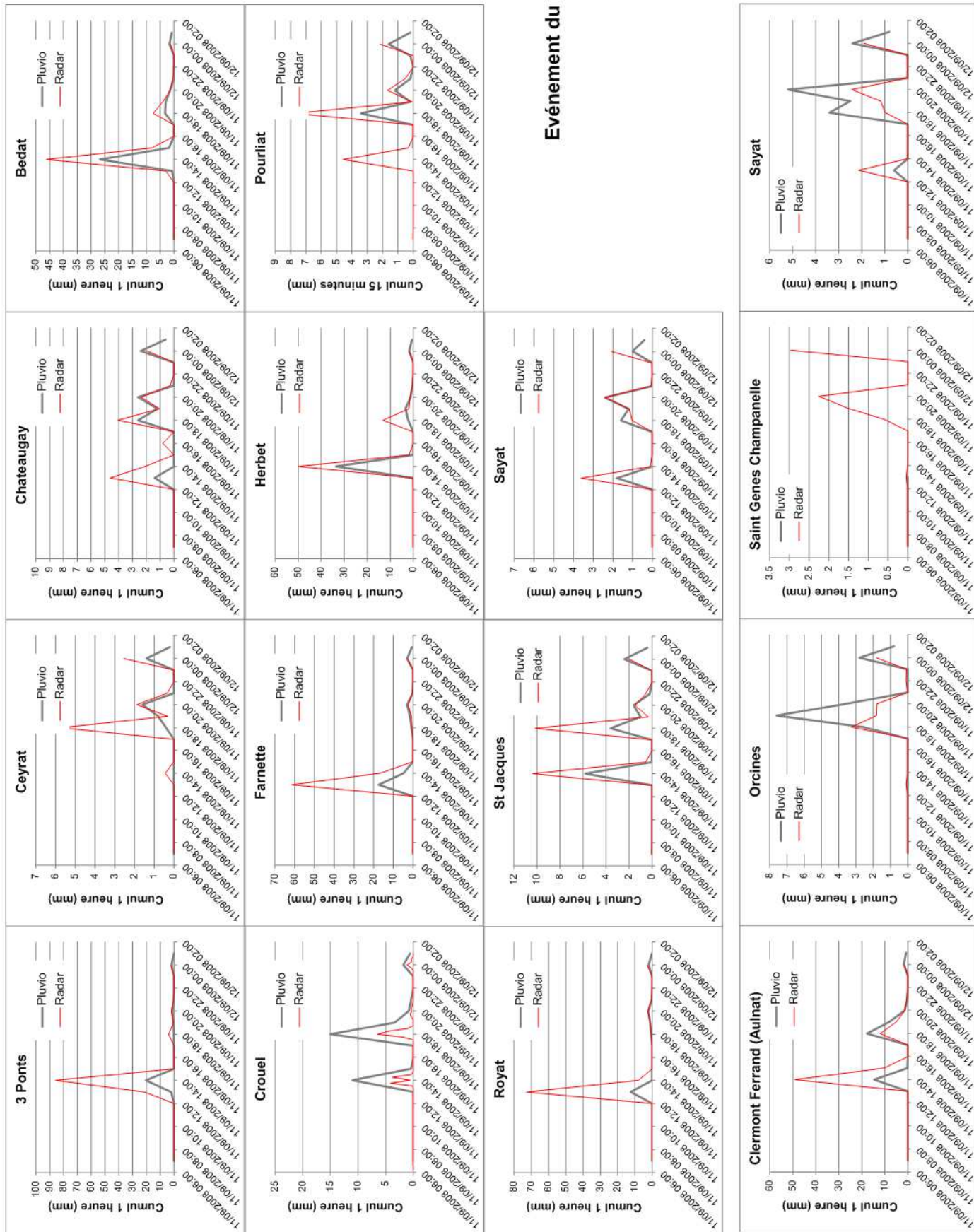
# ANNEXE 6

## EVENEMENTS RETENUS POUR LE CALAGE COMAPRAISON DES HYETOGRAMMES EXTRAITS DES IMAGES RADAR ET MESURES AU SOL

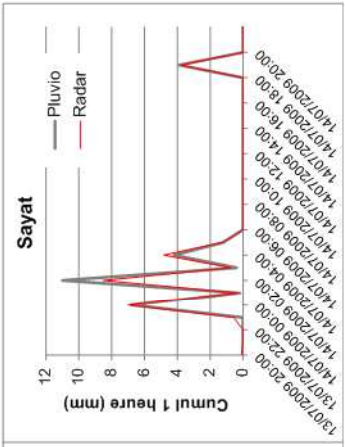
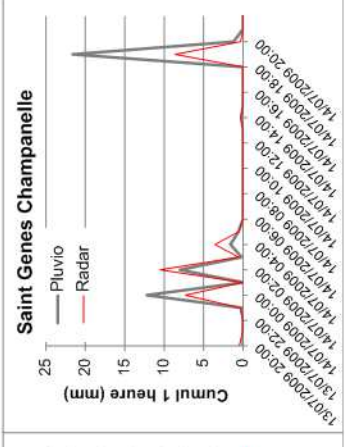
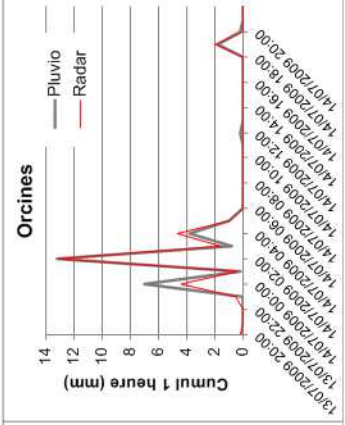
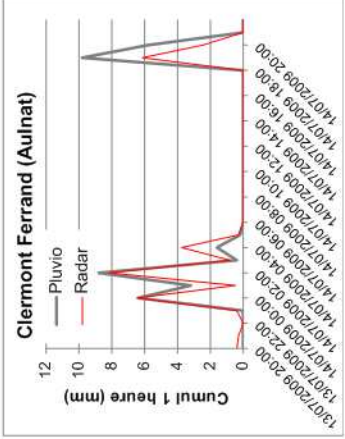
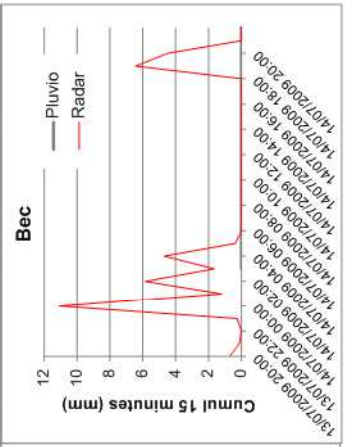
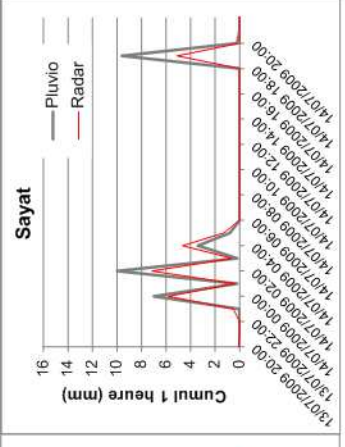
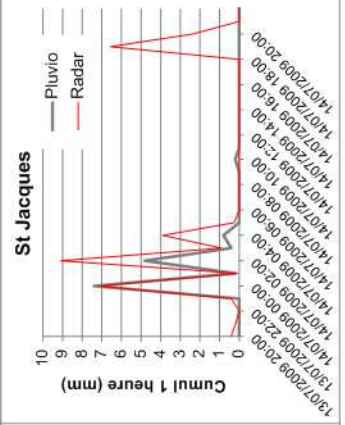
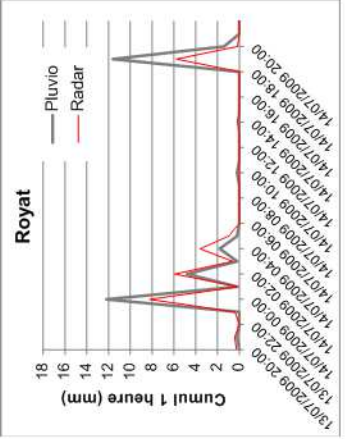
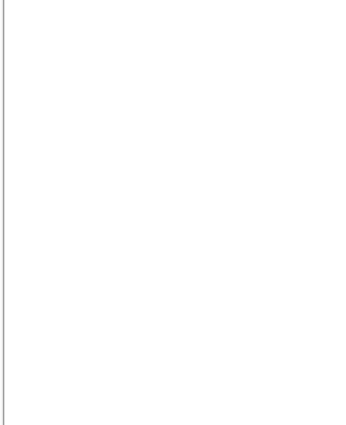
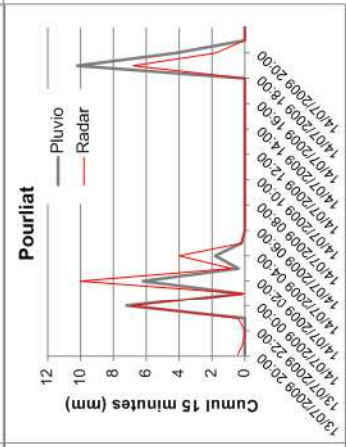
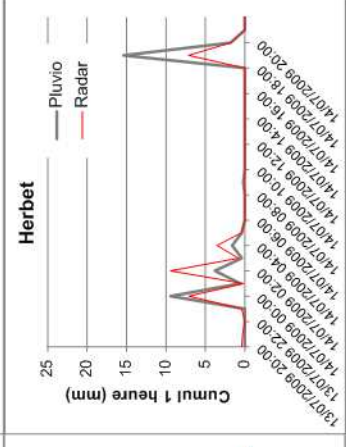
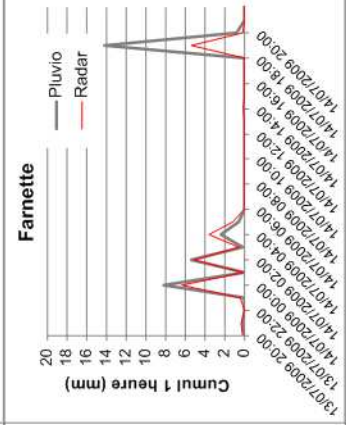
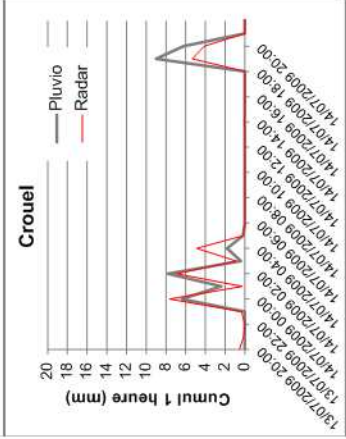
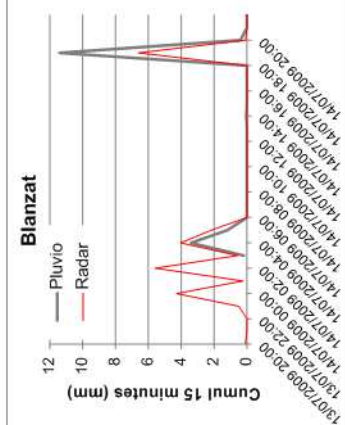
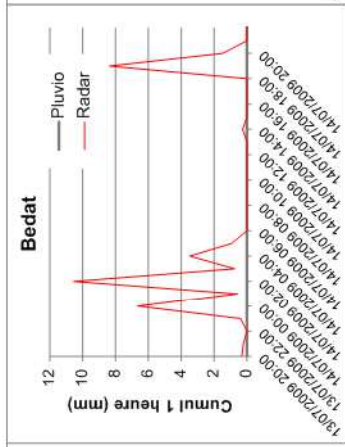
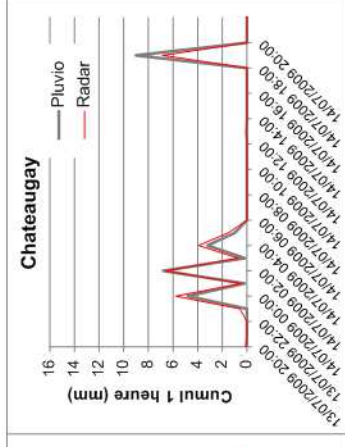
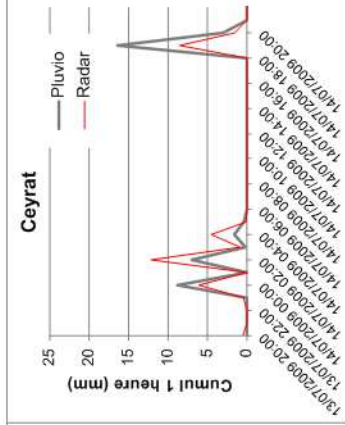
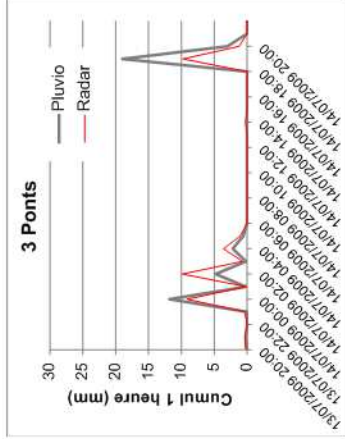
---



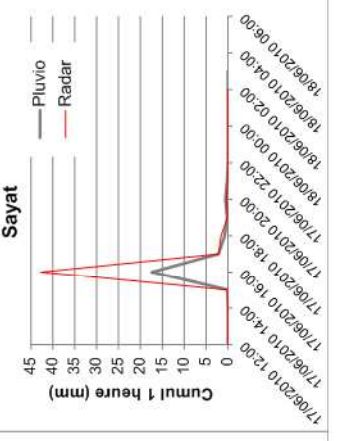
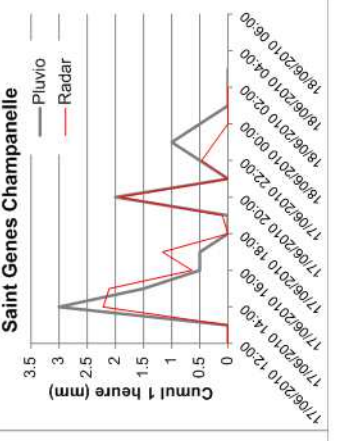
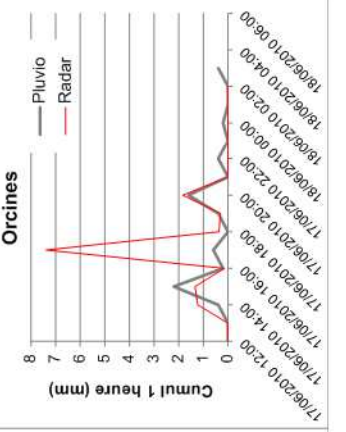
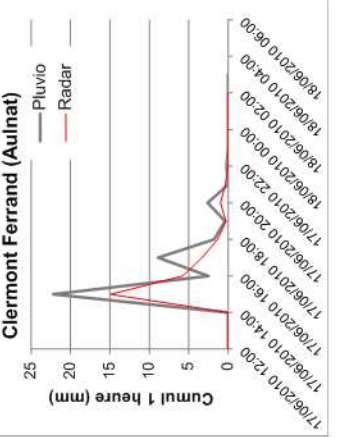
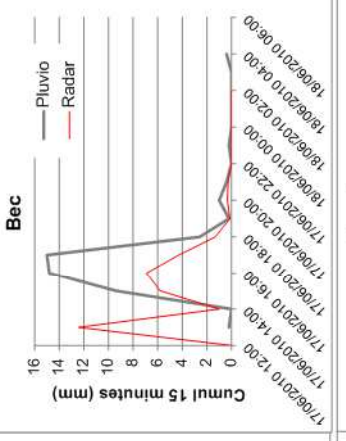
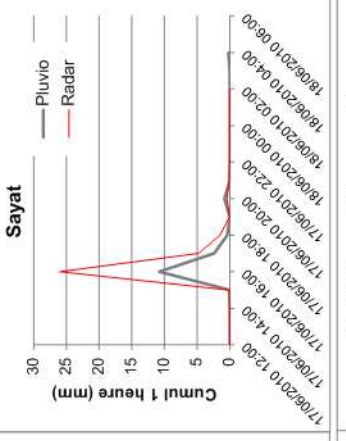
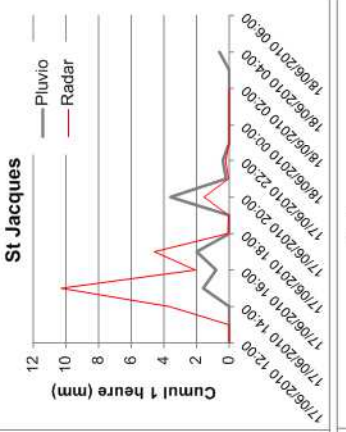
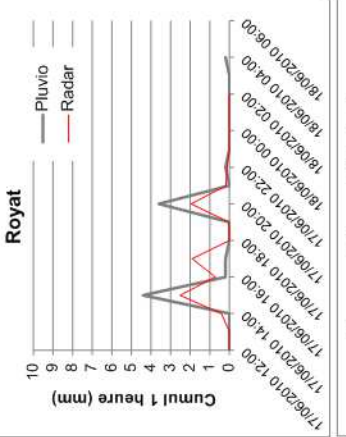
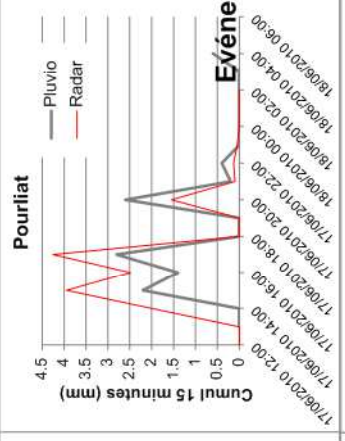
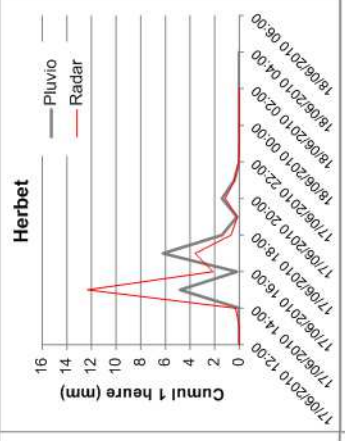
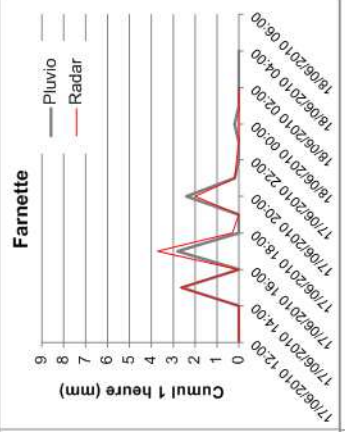
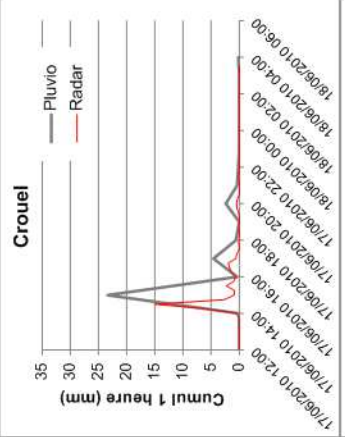
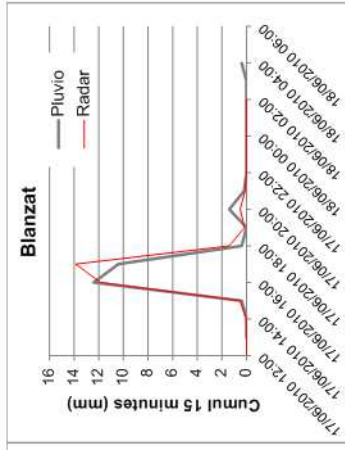
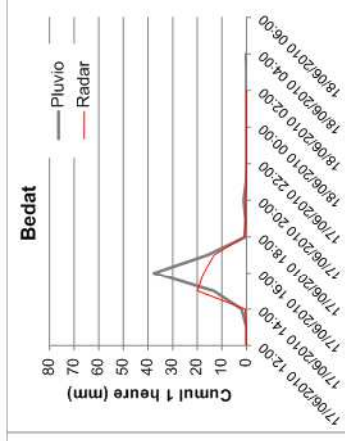
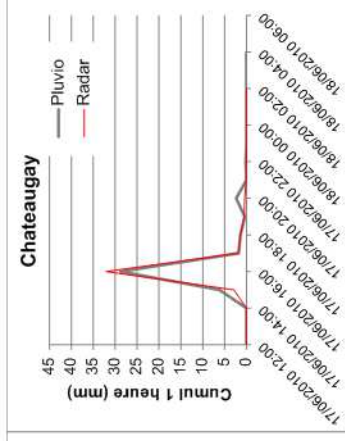
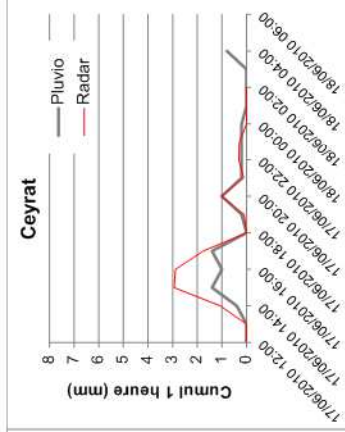
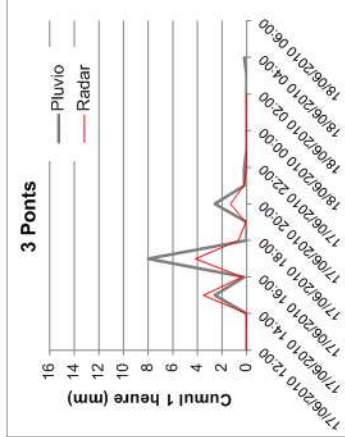
**Evénement du 4 juin 2007**



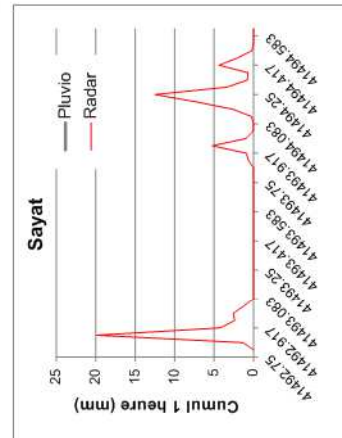
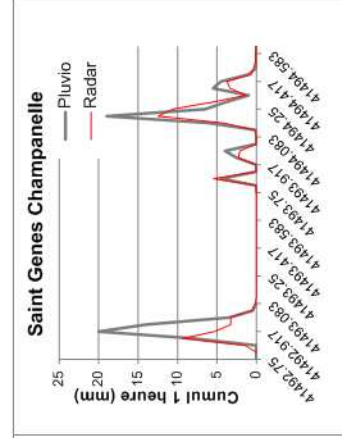
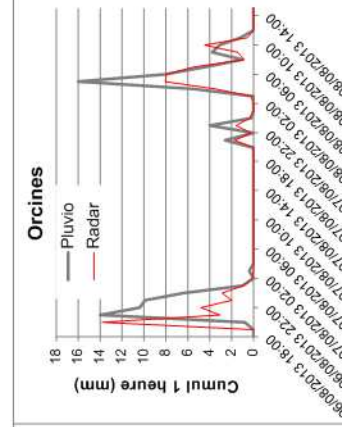
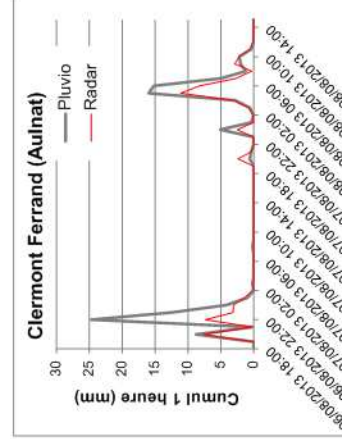
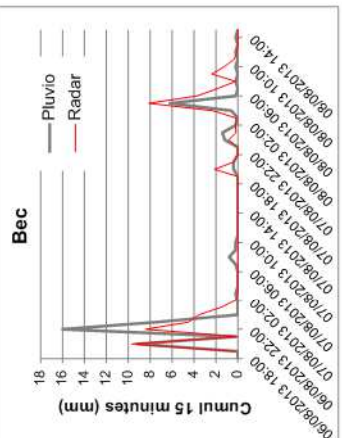
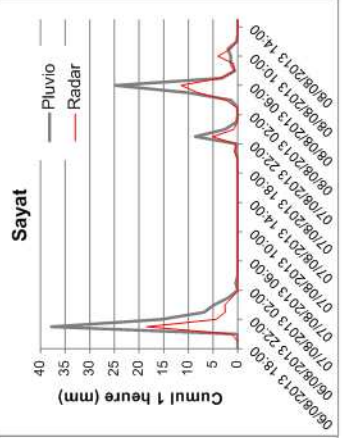
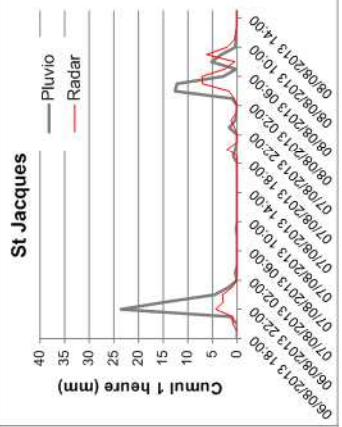
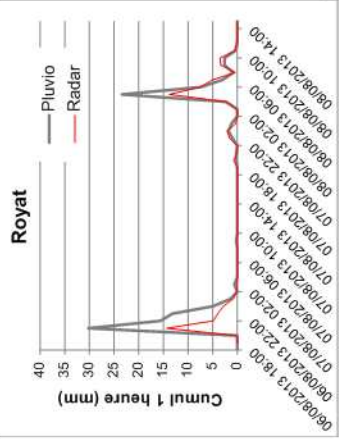
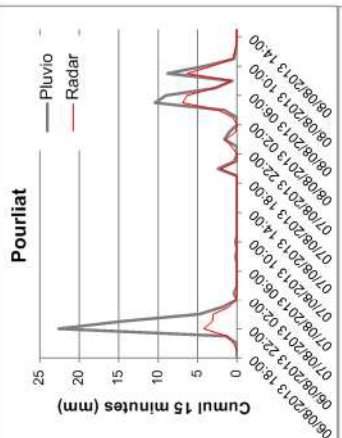
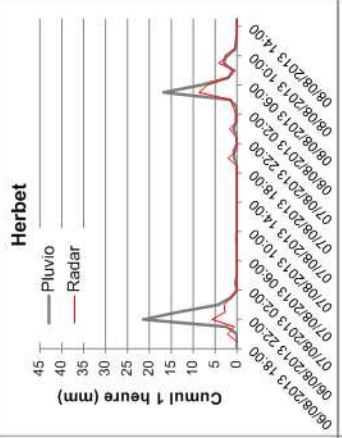
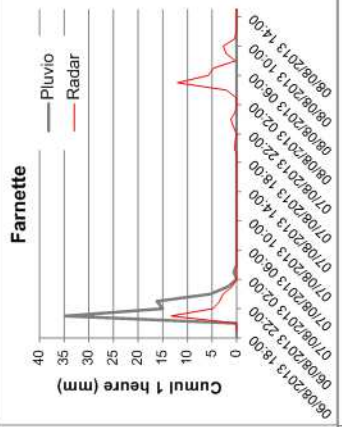
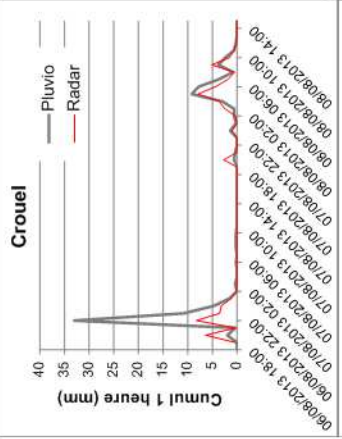
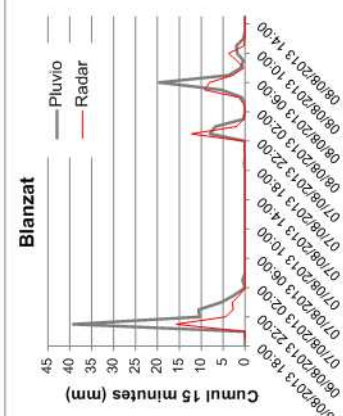
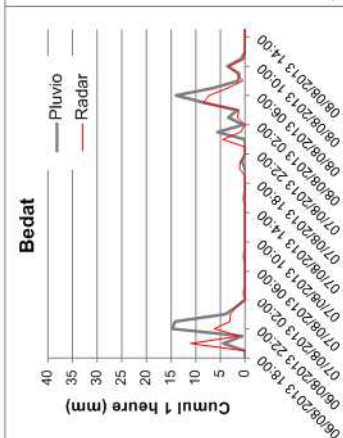
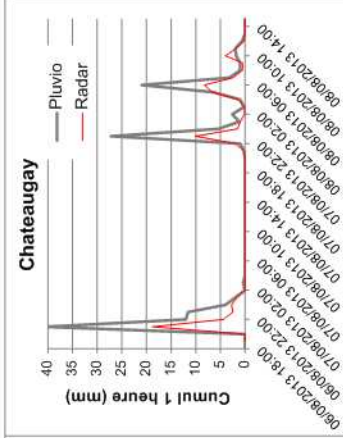
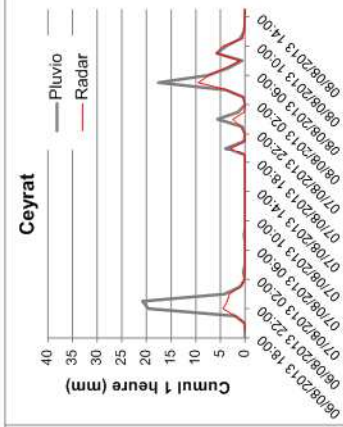
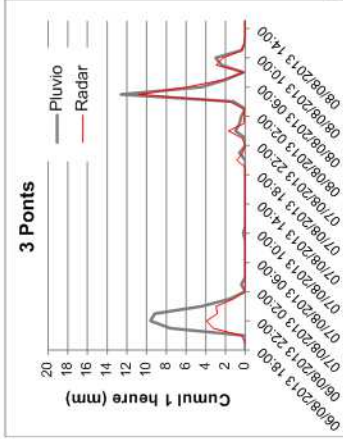
**Evénement du 11 septembre 2008**



## Evénements des 13 et 14 juillet 2009



**Événement du 17 août 2010**



### Evénements des 6 et 7 août 2013



---

**A N N E X E 7**

**POUR UNE APPROCHE GEOSTATISTIQUE DES  
COEFFICIENTS D'ABATTEMENT DES  
PRECIPITATIONS**

**LA HOUILLE BLANCHE, N°3 1986**

---

# Pour une approche géostatistique des coefficients d'abattement des précipitations

## *Concerning a geostatic approach as regards the lowering coefficients of precipitations*

J.P. Laborde

Maitre de conférence à l'Institut national polytechnique de Lorraine

---

*La méthode traditionnelle de Brunet-Moret et de Roche a permis, durant de nombreuses années, d'évaluer les coefficients d'abattement des précipitations sur une surface. Par contre, elle ne permet pas de préjuger de l'évolution de ces coefficients selon la surface ou la fréquence des précipitations. Quelques hypothèses simples et généralement admises permettent une formulation géostatistique du coefficient d'abattement, qui permet :*

- de s'affranchir de l'intégration explicite des pluies sur une surface;*
- d'utiliser les données traditionnellement employées;*
- d'abandonner l'empirisme pour le choix de la formulation des variations du coefficient d'abattement avec la fréquence et la surface, voire avec la durée;*
- de mettre en évidence l'influence non pas seulement de la surface, mais de la forme du domaine d'intégration des pluies.*

*L'intérêt essentiel de cette approche est donc de fournir une méthodologie cohérente de détermination des coefficients d'abattement et de leurs lois de variation.*

---

*For many years, the traditional method of Brunet-Moret and Roche has enabled the lowering coefficients of precipitations over a given surface area to be evaluated. On the other hand, it does not enable a prejudgment of these coefficient to be made according to the surface involved or the frequency of the precipitations. Some simple and generally accepted hypotheses allow for a geostatic formulation of the lowering coefficient, which makes it possible to :*

- ignore the explicit integration of rain over a given surface;*
- apply the data traditionally employed;*
- to abandon empiricism as regards the choice of formulation concerning variations of the lowering coefficient with frequency, surface and even duration;*
- to demonstrate the influence of both the surface and the form of the rain integration field.*

*Therefore, the main purpose of this approach is to provide a coherent methodology for determining the lowering coefficients and the laws of variation relating to them.*

---

LA HOUILLE BLANCHE/N° 3 - 1986

De longue date, les hydrologues se sont intéressés au passage des pluies ponctuelles aux pluies sur un bassin versant. L'approche la plus classique a consisté à introduire la notion de coefficient d'abattement, ce coefficient  $K$  étant le rapport de la pluie moyenne sur une surface à la pluie ponctuelle de même fréquence. Ainsi défini,  $K$  dépend de la durée  $t$  sur laquelle on mesure la pluie, de la fréquence  $F$  de la pluie considérée et du domaine  $S$  sur lequel on détermine la pluie moyenne.

Cette définition du coefficient d'abattement suppose implicitement que la loi de distribution des pluies est la même en tout point de la surface  $S$ ; les hydrologues diront que la pluie est « isotrope ».

Sur cette idée, de nombreuses études expérimentales ont été menées; elles ont permis d'aboutir à des formulations du type :

$$K = a S^b \quad (a \text{ et } b \text{ fonction de } t \text{ et } F)$$

ou :

$$K = \frac{1}{1 + a \frac{S^b}{[(1-F)t]^c}}$$

ou :

$$K = f[\text{Log } S, \text{Log } \{1/(1-F)\}]$$

ou :

$$K = 1 - e^{-a S^b} [1 - e^{-F t}]$$

ou encore :

$$K = e^{-\frac{a S^b}{\alpha(1-F) + \beta(1-F)^{\alpha+\beta}}}$$

Manifestement, les auteurs n'ont pas manqué d'imagination dans le choix des formules. Il est d'ailleurs certain que ces différentes expressions sont plus ou moins équivalentes dans leurs domaines de validité.

Les méthodes d'estimation des valeurs de  $K$  ont été plus ou moins codifiées en France par Brunet-Moret et Roche (dès 1966). Cette démarche a été suivie ou a largement inspiré les hydrologues qui se sont par la suite intéressés à ce problème. Grosso-modo, l'idée était que d'après les observations faites sur un nombre important de postes de mesures, on pouvait évaluer, pour chaque événement pluvieux, la pluie moyenne sur une certaine surface  $S$ . Généralement, la période pour laquelle un grand nombre de points d'observations sont disponibles est assez brève. Cependant, cette période est la seule sur laquelle on puisse étudier les variations spatiales de la pluie (données « surface »). Par contre, la statistique des pluies ponctuelles est généralement bien connue sur un nombre restreint de postes pluviométriques où l'on dispose de séries longues d'observations (données « série longue »). Brunet-Moret et Roche proposaient de corriger les observations « surface » des observations « durée ». Cette méthodologie a été très largement adoptée bien qu'elle présente au moins deux difficultés :

- nécessité d'interpoler les précipitations sur le domaine  $S$  (au départ par la méthode de Thiessen puis par des méthodes de plus en plus évoluées);
- nécessité de corriger les observations « surface » des données « série longue ».

Aujourd'hui, comme nous allons le voir, il nous paraît possible de sauter ces deux difficultés et de proposer une

méthode qui, sans prétendre être plus précise dans ses résultats (ils dépendront toujours de la qualité de l'information disponible), est certainement plus simple et plus élégante.

### 1. Fonctions aléatoires, éléments de vocabulaire et résultats principaux

Soit  $R(\omega, \bar{x})$  une valeur numérique en un point noté  $\bar{x}$  d'un domaine  $D$  pour un événement  $\omega$  d'un ensemble  $\Omega$ , et soit  $P$  une mesure de probabilité (telle que  $P(\Omega) = \int_{\Omega} P(d\omega) = 1$ ): on admettra que  $R(\omega, \bar{x})$  est une fonction aléatoire.

Par exemple,  $R$  sera la hauteur de pluie tombée sur un pluviomètre situé en  $\bar{x}$  dans la région étudiée  $D$  et pour un intervalle de temps de durée  $t$  débutant à la date  $\omega$  de la nuit des temps  $\Omega$ .

- Si maintenant on considère un point particulier fixé  $\bar{x}$ , les valeurs  $R^i(\omega) = R(\omega, \bar{x})$  constituent les réalisations d'une variable aléatoire. (Dans notre exemple, ce serait la loi de distribution des hauteurs de pluie ponctuelle sur une durée  $t$ ).

- Si on se fixe un événement  $\omega_i$ , la fonction  $\varphi_i(\bar{x}) = R(\omega_i, \bar{x})$  est une trajectoire de  $R(\omega, \bar{x})$ . (Dans notre exemple,  $\varphi_i(\bar{x})$  serait représenté par les courbes isohyètes des quantités de pluies tombées sur une durée  $t$  débutant à la date  $\omega_i$ ).

On appelle moyenne de la fonction aléatoire  $R(\omega, \bar{x})$  au point  $\bar{x}$  la fonction  $m_x(\bar{x})$  telle que :

$$m_x(\bar{x}) = E \{ R^i(\omega) \} = \int_{\Omega} R^i(\omega) P(d\omega)$$

De même, on peut définir une fonction de covariance  $C_{xx}(\bar{x}_i, \bar{x}_j)$  (si elle existe) :

$$C_{xx}(\bar{x}_i, \bar{x}_j) = E \{ R^i(\omega) R^j(\omega) \} - m_x(\bar{x}_i) m_x(\bar{x}_j)$$

Une fonction aléatoire est dite d'ordre 2 si moyenne et fonction de covariance existe :

$$R(\omega, \bar{x}) \text{ d'ordre 2} \Leftrightarrow \begin{cases} - m_x(\bar{x}) \text{ existe} \\ - C_{xx}(\bar{x}_i, \bar{x}_j) \text{ existe} \end{cases}$$

On en déduit que si la fonction aléatoire est d'ordre 2, elle a en tout point une variance  $\sigma^2(\bar{x})$  finie [ $\sigma^2(\bar{x}) = C_{xx}(\bar{x}, \bar{x})$ ].

Enfin, on dira qu'une fonction aléatoire est stationnaire d'ordre 2 s'ils existent des constantes  $\sigma^2$  et  $m$  ainsi qu'une fonction  $\gamma$  de type positif telles que :

$$\begin{aligned} - m_x(\bar{x}) &= m \quad \forall \bar{x} \in D \\ - C_{xx}(\bar{x}_i, \bar{x}_j) &= \sigma^2 - \gamma(x_i^* - x_j^*) \end{aligned}$$

Posons  $h = \bar{x}_i - \bar{x}_j$ ; la fonction  $\gamma(h)$  est appelée variogramme. Cette fonction est symétrique  $\gamma(h) = \gamma(-h)$  et l'on a nécessairement  $\gamma(0) = 0$  [ $C_{xx}(\bar{x}, \bar{x}) = \sigma^2 = \sigma^2 - \gamma(0)$ ].

Si par ailleurs on appelle corrélogramme la fonction  $\rho(h)$ , coefficient de corrélation entre deux points distants de  $h$ , on aura :

$$\rho(h) = \frac{C_{xx}(h)}{\sigma^2} = \frac{\sigma^2 - \gamma(h)}{\sigma^2} = 1 - \frac{\gamma(h)}{\sigma^2}$$

Soit maintenant une fonction aléatoire stationnaire d'ordre 2; on appellera  $R_S(\omega)$  la moyenne des  $R(\omega, \bar{x})$  sur un domaine  $S$  lors d'un évènement  $\omega$  :

$$R_S(\omega) = \frac{1}{S} \int_S R(\omega, \bar{x}) d\bar{x}$$

Par définition de l'opérateur espérance mathématique  $E(\cdot)$ , on aura :

$$E\{R_S(\omega)\} = \int_{\Omega} R_S(\omega) P(d\omega)$$

$$E\{R_S(\omega)\} = \int_{\Omega} \left\{ \frac{1}{S} \int_S R(\omega, \bar{x}) d\bar{x} \right\} P(d\omega)$$

En admettant que le théorème de Fubini s'applique, on a alors :

$$E\{R_S(\omega)\} = \frac{1}{S} \int_S \left\{ \int_{\Omega} R(\omega, \bar{x}) P(d\omega) \right\} d\bar{x}$$

$$E\{R_S(\omega)\} = \frac{1}{S} \int_S m_x(\bar{x}) d\bar{x}$$

Mais la fonction étant stationnaire :  $m_x(\bar{x}) = m \forall \bar{x} \in D$  :

$$E\{R_S(\omega)\} = \frac{1}{S} \int_S m d\bar{x}$$

$E\{R_S(\omega)\} = m$

 (1)

Evaluons maintenant la variance  $\sigma_S^2$  de  $R_S(\omega)$  :

$$\sigma_S^2 = E\{R_S(\omega)^2\} - m^2$$

$$\sigma_S^2 = \int_{\Omega} R_S(\omega)^2 P(d\omega) - m^2$$

$$\sigma_S^2 = \int_{\Omega} \left\{ \frac{1}{S} \int_S R(\omega, \bar{x}) d\bar{x} \right\}^2 P(d\omega) - m^2$$

$$\sigma_S^2 = m^2$$

$$+ \int_{\Omega} \frac{1}{S^2} \int_S \int_S R(\omega, \bar{x}) R(\omega, \bar{x}') d\bar{x} d\bar{x}' P(d\omega) - m^2$$

$$\sigma_S^2 = \int_{\Omega} \frac{1}{S^2} \int_S \int_S C_{xx}(\bar{x}, \bar{x}') d\bar{x} d\bar{x}' P(d\omega)$$

$$\sigma_S^2 = \int_{\Omega} \frac{1}{S^2} \int_S \int_S [\sigma^2 - \gamma(\bar{x}, \bar{x}')] d\bar{x} d\bar{x}' P(d\omega)$$

$\sigma_S^2 = \sigma^2 - \frac{1}{S^2} \int_S \int_S \gamma(\bar{x}, \bar{x}') d\bar{x} d\bar{x}'$

 (2)

En revenant à notre exemple des pluies, l'expression (1) indique que si la pluie est une fonction aléatoire stationnaire d'ordre 2, la moyenne des pluies sur une surface  $S$  est égale à la moyenne des pluies ponctuelles. L'expression (2) signifie que la variance  $\sigma_S^2$  des pluies sur une surface  $S$  est inférieure ou égale à la variance des pluies ponctuelles. Cette variance  $\sigma_S^2$  peut se calculer à partir de

la variance  $\sigma^2$  des pluies ponctuelles du variogramme  $\gamma(h)$  et du domaine d'intégration  $S$ .

**2. Les précipitations sur une durée  $t$ ; une fonction aléatoire stationnaire d'ordre 2**

Dans les conditions habituelles où on évalue les coefficients d'abattement, on peut admettre que la pluie est isotrope; nous dirons maintenant que la fonction est stationnaire. Par ailleurs, les lois de distribution des pluies ponctuelles ont un comportement au moins asymptotiquement exponentiel, donc elles admettent une variance finie. Ainsi peut-on considérer que les pluies ponctuelles sur une durée  $t$  constituent une fonction aléatoire stationnaire d'ordre 2, de moyenne  $m$  et de variance  $\sigma^2$ . Dans ces conditions, la pluie moyenne sur une surface  $S$  pour une durée  $t$  est une variable aléatoire de même moyenne  $m$  et de variance  $\sigma_S^2$  :

$$\sigma_S^2 = \sigma^2 - \frac{1}{S^2} \int_S \int_S \gamma(x, x') dx dx'$$

Manifestement, cette variance  $\sigma_S^2$  dépend à la fois du variogramme et du domaine  $S$ .

**3. Lois de distribution des pluies ponctuelles et des pluies moyennes sur un domaine  $S$**

Pour la suite, nous allons être amené à faire deux hypothèses faciles à accepter; elles ne sont pas indispensables mais permettent de faciliter l'écriture de  $K$  :

1) Les pluies ponctuelles sont distribuées selon des lois de Gumbel (dans le cas général, il suffit que les lois soient à 2 paramètres) :

$$\text{Prob}(R < p) = e^{-e^{-\frac{p-m}{g}}}$$

Cette loi a deux paramètres :  $p_0$  le mode et  $g$  le « gradex », qui sont liés à la moyenne  $m$  et à la variance  $\sigma^2$  par les relations :

$$g = 0.78 \sigma; p_0 = m - 0.45 \sigma$$

2) Les pluies moyennes  $R$  sur un domaine  $S$  suivent également une loi de Gumbel; il y a alors conservation en loi (dans le cas général, il suffit que les  $R_S$  suivent une loi à 2 paramètres) :

$$\text{Prob}(R_S < p) = e^{-e^{-\frac{p-p_0}{g'}}$$

avec évidemment :

$$g' = 0.78 \sigma_S$$

$$= 0.78 \sigma \sqrt{1 - (1/\sigma^2 S^2) \int_S \int_S \gamma(\bar{x}, \bar{x}') d\bar{x} d\bar{x}'}$$

et :

$$p_0 = m - 0.45 g'$$

Ces deux hypothèses admises, il est alors possible d'expliciter le coefficient d'abattement  $K$  pour les pluies de durée  $t$ , en fonction de leur fréquence ou non-dépassement  $F$  et du domaine  $S$ .

La pluie ponctuelle de fréquence  $F$  est :

$$R_p = p_0 + U_p g \text{ en posant } U_p = - \text{Ln}[- \text{Ln}(F)]$$

De même pour la pluie sur une surface  $S$  de fréquence  $F$ :

$$R_{SF} = p_f + U_f g'$$

Le coefficient d'abattement s'exprime alors ainsi :

$$K(S, F) = R_{SF} / R_F = \frac{p'_f + U_f g'}{p_f + U_f g}$$

$$\begin{aligned} K(S, F) = R_{SF} / R_F &= \frac{m - 0.45 \sigma_f + U_f 0.78 \sigma_f}{m - 0.45 \sigma + U_f 0.78 \sigma} \\ &= \frac{m - \sigma_f (0.45 - 0.78 U_f)}{m - \sigma (0.45 - 0.78 U_f)} \end{aligned}$$

d'où en posant :

$$\sigma_f^2 = \sigma^2 g(S)^2$$

avec  $g(S)$  une fonction dépendant de la formulation du variogramme et du domaine  $S$  d'intégration.

$$[g(S) = \sqrt{1 - (1/\sigma^2 x^2) \int_S \int_S \gamma(\vec{x}, \vec{x}') d\vec{x} d\vec{x}'}]$$

$$K(S, F) = \frac{m - \sigma g(S) (0.45 - 0.78 U_f)}{m - \sigma (0.45 - 0.78 U_f)}$$

En faisant intervenir le coefficient de variation  $CV = \sigma/m$ :

$$K(S, F) = \frac{1/CV - g(S) (0.45 - 0.78 U_f)}{1/CV - (0.45 - 0.78 U_f)}$$

Dans ces conditions, on constate que la formulation mathématique de  $K(S, F)$  ne dépend plus que de la formulation de  $g(S)$  (soit celle du variogramme).

#### 4. Hypothèses sur la forme des variogrammes

Le variogramme est lié à la covariance entre les pluies en deux points. Nous admettons que cette covariance ne dépend en fait que de la distance entre ces deux points (indépendamment de la direction). Le variogramme sera alors isotrope. Par ailleurs, comme on le vérifie dans les

cas usuels, lorsque la distance  $h$  augmente indéfiniment, la covariance tend vers 0 et le variogramme vers  $\sigma^2$ .

Parmi les fonctions de ce type, les plus fréquemment utilisées sont le modèle sphérique et le modèle exponentiel.

##### 4.1. Modèle exponentiel

Son expression mathématique est :

$$\gamma(h)/\sigma^2 = 1 - e^{-h/a}$$

Comme le montre la figure 1, ce variogramme se caractérise par l'existence d'une asymptote à  $\gamma(h)/\sigma^2 = 1$  pour  $h$  tendant vers l'infini.

Dans la pratique, on peut admettre, dès que  $h > 3a$ , que l'on a  $\gamma(h)/\sigma^2 \approx 0.95 \approx 1$ ;  $3a$  est donc la portée pratique du modèle exponentiel et au-delà de cette portée, on peut admettre qu'il y a indépendance.

##### 4.2. Modèle sphérique

Dans ce modèle, le palier à  $\gamma(h)/\sigma^2 = 1$  est atteint pour une valeur finie  $h = p$ , la portée du modèle.

La formulation mathématique est alors la suivante :

$$\begin{aligned} \text{si } h < p: \gamma(h)/\sigma^2 &= 3/2 h/p - 1/2 h^3/p^3 \\ \text{si } h \geq p: \gamma(h)/\sigma^2 &= 1 \end{aligned}$$

#### 5. Évaluation de la fonction $g(S)$

C'est la fonction qui caractérise la variabilité spatiale de la pluie sur le domaine considéré  $S$  dans la formule donnant  $K(S, F)$ .

Nous avons posé :

$$g(S) = \sqrt{1 - (1/\sigma^2 x^2) \int_S \int_S \gamma(\vec{x}, \vec{x}') d\vec{x} d\vec{x}'}$$

En appelant  $h$  la distance entre les points  $\vec{x}$  et  $\vec{x}'$ , la fonction  $g(S)$  est donc :

$$g(S) = \sqrt{1 - (1/\sigma^2 x^2) \int_S \int_S \gamma(h) d\vec{x} d\vec{x}'}$$

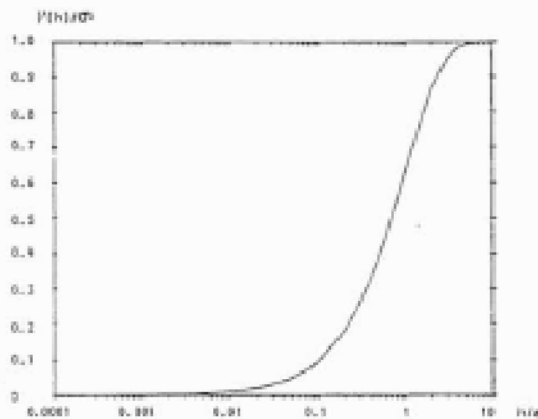


Figure 1. — Variogramme de modèle exponentiel.

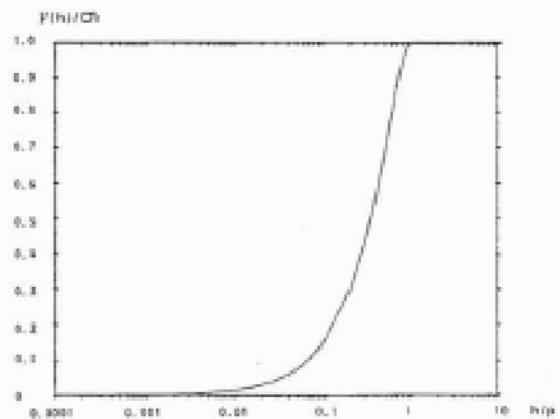


Figure 2. — Variogramme de modèle sphérique.

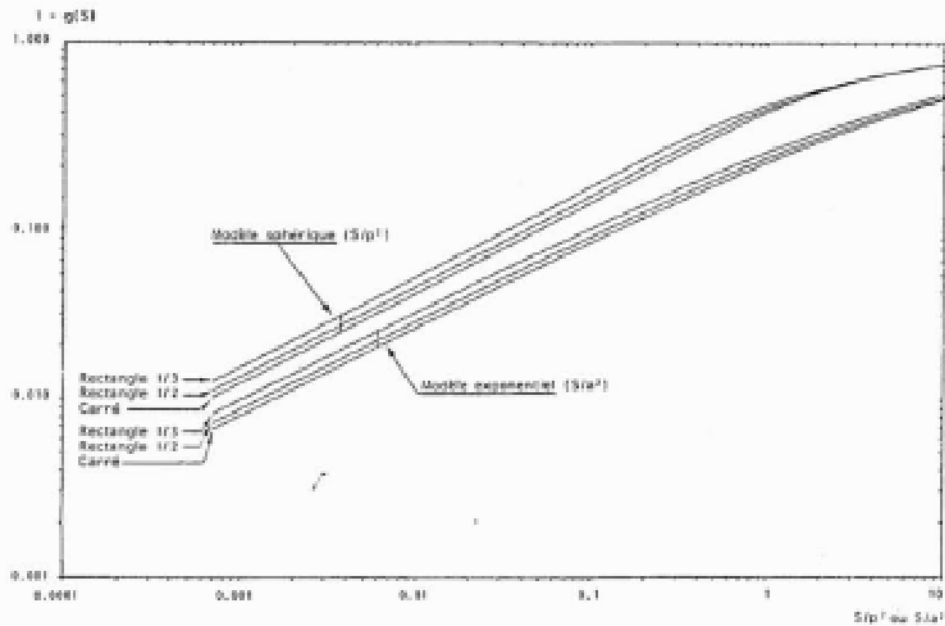


Figure 3. — Evolution de  $1 - g(S)$  avec  $S$ .

Le calcul analytique de  $(1/\sigma^2 s^2) \int_S \int_S \gamma(h) dx' dx''$  est possible pour les deux schémas exponentiel et sphérique dans le cas où  $S$  correspond à une forme simple (rectangle; voir J. Serra, 1967). Les expressions sont suffisamment complexes pour qu'il ne soit pas utile de les expliciter ici. Nous nous contenterons de présenter quelques valeurs de  $g(S)$  lorsque  $S$  est un rectangle.

On constate pour le schéma sphérique comme pour le schéma exponentiel que l'on peut approcher avec une bonne précision  $\{1 - g(S)\}$  par une fonction puissance de  $S$  tant que la surface du domaine est relativement faible par rapport à la portée ( $S < p^2$ ).

\* *Modèle sphérique :*

- $1 - g(S) = 0.399 (S/p^2)^{0.5}$  (carré)
- $1 - g(S) = 0.434 (S/p^2)^{0.5}$  (rectangle de côtés 2 pour 1)
- $1 - g(S) = 0.484 (S/p^2)^{0.5}$  (rectangle de côtés 3 pour 1)

\* *Modèle exponentiel :*

- $1 - g(S) = 0.245 (S/a^2)^{0.5}$  (carré)
- $1 - g(S) = 0.265 (S/a^2)^{0.5}$  (rectangle de côtés 2 pour 1)
- $1 - g(S) = 0.295 (S/a^2)^{0.5}$  (rectangle de côtés 3 pour 1)

Ces expressions peuvent se résumer ainsi, pour une surface carrée :

$$1 - g(S) \approx 0.4/p \sqrt{S}$$

$$1 - g(S) \approx 0.25/a \sqrt{S}$$

Il y a équivalence des deux schémas sphérique et exponentiel lorsque  $p \approx 1.6 a$ . On majorera le terme  $1 - g(S)$  de 8 % pour un rectangle de 2/1 et de 21 % pour un rectangle de 3/1.

Comme l'illustre la figure 4, la relation  $p = 1.6 a$  correspond à une équivalence des variogrammes sphériques et expérimentaux dans la zone des faibles distances.

Une règle simple pour le calcul de la fonction  $1 - g(S)$  pourrait être de prendre  $1 - g(S) = 0.04/r \sqrt{S}$  où  $r$  est la distance à laquelle on a  $\gamma(h) = 0.15 \sigma^2$  (ou  $P(h) = 0.85$ ).

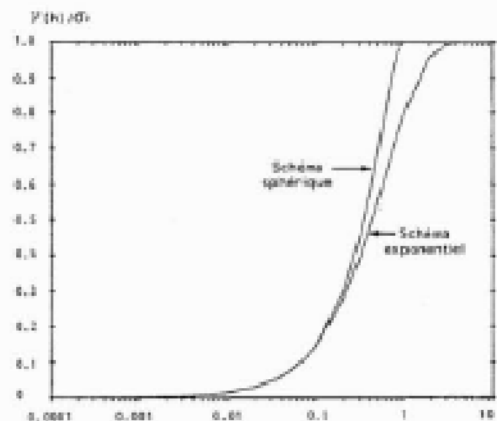


Figure 4. — Equivalence des variogrammes sphérique et exponentiel pour les faibles distances  $h$ .

Nous venons de voir que la fonction  $1 - g(S)$  ne dépendait pratiquement que d'un seul paramètre de distance (la portée  $p$  dans le schéma sphérique ou le paramètre  $a$  dans le schéma exponentiel, ou encore  $r$  distance entre deux postes pluviométriques dont le coefficient de corrélation est de l'ordre de 0.85).

Plusieurs auteurs comme T. Lebel (1984), T. Leviandier (1980),... ont étudié les corrélogrammes ou les variogrammes entre différents postes pluviométriques et pour différentes durées d'averse.

Lebel, pour des durées de 1 h à 72 h dans la région cévennoise, constate que la portée varie comme la durée à la puissance 0.3. Leviandier, sur des pluies de 1 h à 24 h, propose de relier le coefficient de corrélation  $\rho$  à la durée  $t$  et à la distance  $d$  par la relation :

$$\rho = \frac{1}{1 + a d^{0.3} / \sqrt{t}}$$

Compte tenu des relations entre variogramme et corrélogramme, il faut que le paramètre de distance, (la portée par exemple) varie comme  $t^{0.3}$ .

On retiendra donc que les paramètres de distance figurant dans les variogrammes varient vraisemblablement comme des fonctions puissances de la durée.

Dans ces conditions, la fonction  $1 - g(S)$  varie avec la surface et la durée :

$$1 - g(S) = \frac{0.4}{a r} \sqrt{S}$$

#### 6. Formulation du coefficient d'abattement en fonction de la surface et de la fréquence

Nous avons établi précédemment la relation...

$$K(S, F) = \frac{1/CV - g(S) (0.45 - 0.78 U_r)}{1/CV - (0.45 - 0.78 U_r)}$$

... qui se met sous la forme :

$$K(S, F) = \frac{1}{1 + \frac{(0.78 U_r - 0.45) [1 - g(S)]}{1/CV + (0.78 U_r - 0.45) g(S)}}$$

$K(S, F)$

$$= \frac{1}{1 + \frac{(0.78 U_r - 0.45) 0.4 \sqrt{S}/p}{1/CV + (0.78 U_r - 0.45) (1 - 0.4 \sqrt{S}/p)}}$$

Cette formule dépend uniquement de deux paramètres  $CV$  et  $p$ . Manifestement,  $CV$  sera calculé d'après les observations longues durées et  $p$  d'après les observations surfaces.

#### 7. Proposition d'une méthodologie d'évaluation de $K(S, F)$

A partir d'une station pluviographique disposant d'une série longue (> 15 ans), on peut évaluer à partir des pluies maximales mensuelles sur une durée  $t$  (plus de 180 observations), leurs lois de distribution. On constate généralement que ces pluies sont à peu près gumbelliennes et il est aisé d'en tirer la loi de distribution des pluies maximales annuelles sur cette durée  $t$ . Connaissant le

gradex  $g$  et le mode  $p_t$  des pluies maximales annuelles sur une durée  $t$ , on en tire une estimation du coefficient de variation :

$$CV = 1.28 g / (p_t + 0.577 g)$$

L'étude des observations sur une vingtaine de postes pluviographiques de l'Est du bassin parisien, des Vosges et de l'Alsace montre que pour des durées de 1 h à 24 h, le coefficient  $CV$  est de l'ordre de 0.2 à 0.3.

Si par ailleurs on dispose pour quelques années, d'observations pluviographiques sur plusieurs sites peu distants (de l'ordre de quelques centaines de mètres à quelques kilomètres d'après nos travaux en cours), il est possible d'évaluer la portée  $p$ .

A l'heure actuelle, il nous semble que la meilleure façon d'estimer  $p$  est de calculer, pour tous les postes pris deux à deux, les coefficients de corrélation entre les pluies sur des durées  $t$  concomitantes lorsque sur au moins un des postes la pluie a dépassé un certain seuil (ce seuil peut être fixé par exemple à partir de la statistique sur une série longue, de telle façon qu'il soit dépassé une dizaine de fois par an).

On reporte alors les différentes valeurs du coefficient de corrélation en fonction de la distance entre ces postes. La portée  $p$  est alors estimée à 10 fois la distance  $d_{0.85}$  à laquelle les coefficients de corrélation sont de l'ordre de 0.85 (ou à 5 fois la distance  $d_{0.7}$  à laquelle les coefficients sont de l'ordre de 0.7). Ainsi, il n'est pas nécessaire « a priori », de faire le choix entre modèle sphérique ou exponentiel qui sont équivalents dans cette zone de distance.

Connaissant  $CV$  et  $p$ , on évalue alors  $K(S, F)$  par la relation...

$K(S, F)$

$$= \frac{1}{1 + \frac{(0.78 U_r - 0.45) 0.4 \sqrt{S}/p}{1/CV + (0.78 U_r - 0.45) (1 - 0.4 \sqrt{S}/p)}}$$

... avec  $U_r = -Ln[-Ln(F)]$ .

Si la forme de la surface  $S$  s'écarte nettement d'un carré, on remplacera les deux coefficients 0.4 par 0.43 pour un rectangle de 2/1 ou par 0.48 pour un rectangle de 3/1.

#### 8. Comparaison avec les formules actuellement en vigueur

##### 8.1. Comparaison avec les résultats du Ministère de l'Agriculture

Jusqu'en 1983, le Ministère de l'agriculture utilisait, tout au moins pour le bassin parisien, la formule suivante calée pour les pluies décennales :

$$K(S, t) = \frac{1}{1 + \frac{\sqrt{S}}{30 \sqrt{t}}} \quad (\text{pour } F = 0.9)$$

Pour comparer cette formule à ce que nous proposons, il convient de faire intervenir la durée  $t$  qui pour nous, peut intervenir dans l'évaluation de  $CV$  et de  $p$ . Toutes les études de courbes durée-intensité-fréquence montrent que

pour des pluies supérieures à 1 h, on peut admettre des formulations du type « Montana » :  $P(t) = at^b$ ; le paramètre  $a$  varie beaucoup avec la fréquence mais  $b$  varie très peu avec cette fréquence. Si en première approximation, on admet que  $b$  est une constante par rapport à  $F$ , le coefficient  $CV$  est lui une constante par rapport à  $t$ .

Nous avons vu que différents auteurs ayant étudié les portées en fonction de la durée, proposent des lois de variation en fonction puissance :

$$p = at^n$$

La formule du Ministère de l'agriculture sous-entend que  $\alpha$  est de l'ordre de 1/3, ce qui correspond aux résultats enregistrés par T. Lebel ( $\alpha \approx 0.3$ ). Ce n'est donc pas une très grosse violence que de poser  $\alpha \approx 1/3$ ; on obtient alors par notre formulation :

$$p = a\sqrt[3]{t}, F = 0.9 - U_t = 2.25$$

$$K(S, t) = \frac{1}{1 + \frac{0.522 \sqrt[3]{S/a/t}}{1/CV + 1.305 [1 - 0.4 \sqrt[3]{S/a/t}]}}$$

On est alors frappé par l'analogie des deux formulations. Elle sont identiques si on suppose que :

$$30 = a/0.522 [1/CV - 1.305 (1 - 0.4 \sqrt[3]{S/a/t})]$$

En faisant varier les surfaces de 0.01 km<sup>2</sup> à 100 km<sup>2</sup>, les durées de 1 h à 24 h et les  $CV$  de 0.1 à 0.2, on trouve que la fonction précédente varie autour de 30 et entre 21 et 42 lorsque l'on prend  $a = 3.5$  km.

Or,  $a$  représente les portées des événements pluvieux observés en 1 h et de fréquences assez rares, typiquement des orages d'été. Cet ordre de grandeur de 3 à 4 km paraît subjectivement raisonnable.

Fin 1982, le Ministère de l'agriculture a proposé une nouvelle formule obtenue à partir des observations sur les bassins de l'Orgeval :

$$K(S, t, F) = e^{-\frac{\sqrt[3]{3}}{2.7(1-F) + 14.8 + 7.5(1-F)^{0.4}}}$$

( $S$  en km<sup>2</sup>;  $t$  en h;  $F < 0.96$ ).

Nous n'avons pas cherché à vérifier les relations qu'il pourrait y avoir entre les résultats de cette formule et les paramètres que nous proposons d'utiliser. Cette comparaison étant rendue plus difficile par le fait que les pluies locales sont ici ajustées à des lois log-normales tronquées. Il faut cependant noter que dans cette étude, le choix de la formulation de  $K$  en fonction de  $S$ ,  $t$  et  $F$  est empirique et n'est nullement guidé par des considérations géostatistiques (les pluies sur le domaine  $S$  sont évaluées par la méthode classique de Thiessen).

## 8.2. Recherches en cours

Actuellement, nous étudions la forme des variogrammes; en particulier, nous pensons que la formulation du variogramme, ou tout au moins les portées, varient avec la nature du phénomène météorologique engendrant les précipitations.

Cette étude est en cours sur cinq pluviographes disposant de sept années d'observations sur le site de Nancy. Même si l'on devait trouver des variogrammes ni sphériques ni exponentiels, la formule du paragraphe III reste

valable et quelle que soit la formulation choisie du variogramme  $\gamma(h)$ , on peut aisément estimer la fonction...

$$\frac{1}{\sigma^2 S^2} \int_S \int_S \gamma(h) d\vec{x} d\vec{x}'$$

... par discrétisation avec 36 points  $\vec{x}$  répartis uniformément (maillage carré par exemple) sur le domaine  $S$  (cf. A. Journel, 1980). Il suffit d'approcher cette expression par la moyenne des valeurs  $\gamma(h)$  lorsque  $\vec{x}$ , et  $\vec{x}'$ , parcourent chacun les 36 points  $\vec{x}$  [on effectue la moyenne sur 36<sup>2</sup> valeurs de  $\gamma(h)$ ]. Ainsi, toutes les formes de  $S$  et tous les types de variogrammes peuvent être traités aisément.

Une deuxième difficulté est de déterminer le nombre minimum de postes pluviométriques et la durée minimum d'observations pour évaluer correctement le variogramme. Notons cependant qu'avec cinq postes, on a déjà dix points dans le graphique des coefficients de corrélation en fonction des distances.

Un troisième écueil réside dans le choix des épisodes pluvieux que l'on traite : faut-il prendre les pluies supérieures à un seuil ? Si oui, lequel ? Comment assurer une indépendance temporelle ou sinon comment tenir compte de la dépendance ?...

Enfin, le dernier but que nous poursuivons est d'essayer de définir les lois de variation des « portées » en fonction de la durée de la pluie.

## 9. Conclusions

Jusqu'à présent, la méthode d'évaluation des coefficients d'abattement proposés par Brunet-Moret et Roche permettait d'aboutir à des résultats corrects mais elle nécessitait des calculs longs et une couverture spatiale suffisamment dense pour permettre l'intégration des pluies sur le domaine  $S$ . L'approche géostatistique que nous proposons paraît plus séduisante par sa formulation « déterministe ». Il est d'ailleurs surprenant que ce déterminisme n'ait pas été utilisé plus tôt car il découle d'hypothèses simples que la méthode traditionnelle faisait implicitement.

Rappelons donc les hypothèses de base que nous avons faites :

- les pluies sont isotropes (même loi de distribution des pluies ponctuelles);
- la loi de distribution des pluies ponctuelles est une loi à 2 paramètres;
- il existe un variogramme isotrope;
- les distributions des pluies ponctuelles et moyennes se conservent en loi (même formulations des lois de distribution).

Dans ces conditions, connaissant le variogramme et le domaine  $S$ , on peut évaluer la variance des pluies sur  $S$  et en déterminer les paramètres de la loi de distribution (moyenne et variance permettent d'évaluer les deux paramètres de la loi de distribution par la méthode des moments).

Si, comme hypothèse supplémentaire, on admet que la loi de distribution est gumbelienne, on formulera explicitement la variation de  $K$  avec la fréquence  $F$ :

$$K(S, F) = \frac{1/CV^2 - g(S) (0.45 - 0.78 U_t)}{1/CV - (0.45 - 0.78 U_t)}$$



Si on admet en plus que les variogrammes sont sphériques ou exponentiels, la variation de  $K$  avec la surface  $S$  devient simple...

$$K(S, F) = \frac{1}{1 + \frac{(0.78 U_r - 0.45) 0.4 \sqrt{S} / p}{1/CV + (0.78 U_r - 0.45) (1 - 0.4 \sqrt{S} / p)}}$$

... et on sait dans les cas simples l'influence de la forme du domaine de surface  $S$ .

Enfin, si on admet que les portées varient comme des fonctions puissances de la durée et que le paramètre  $b$  des lois de Montana sur des pluies ponctuelles ne varie pratiquement pas avec la fréquence, on démontre alors que le coefficient d'abattement varie en fonction de  $S$ ,  $t$ ,  $F$ , selon la formulation :

$$K(S, t, F) = \frac{1}{1 + \frac{(0.78 U_r - 0.45) 0.4 S / (a t^b)}{1/CV + (0.78 U_r - 0.45) [1 - 0.45 / (a t^b)]}}$$

En conclusion, nous retiendrons que l'approche géostatistique des coefficients d'abattement :

- permet un formalisme plus satisfaisant;
- dispense d'intégrer explicitement les pluies sur le domaine  $S$ ;
- sépare nettement les points à étudier sur les observations durées (types de loi et paramètres) et les observations surface (nature et paramètre du variogramme);
- permet de mettre en évidence l'influence de la forme du domaine  $S$ ;
- prédétermine la formulation de  $K(S, F)$  en fonction des hypothèses faites sur les lois de distribution et sur les variogrammes.

### Bibliographie

- BRUNET-MORET Y., ROCHE M. (1966). — Etude théorique et méthodologique de l'abattement des pluies. *Cahiers O.R.S.T.O.M., série Hydrologie*, n° 4, mai.
- GALEA G., MICHEL C., OBERLIN G. (1982). — *Abattement sur une surface des avenes de 1 h à 24 h*. CEMAGREF, étude 54.
- JOURNEL A., HUIJBREGTS C. (1980). — *Mining geostatistics*. Academic Press, London, England.
- LABORDE J.P. (1984). — *Analyse des données et cartographie automatique en hydrologie. Eléments d'hydrologie locale*. Thèse d'Etat, I.N.P.L.
- LAHAYE J.P., MEUNIER M., TARTES R. (1979). — Méthode d'étude des pluies de courtes durées. *La Houille Blanche*, n° 4-5.
- LEBEL T. (1984). — *Moyenne spatiale de la pluie sur un bassin versant : estimation optimale, génération stochastique et grades des valeurs extrêmes*. Thèse de Docteur-Ingénieur, Institut National Polytechnique de Grenoble.
- LEVIANDIER T. (1980). — *Liaison spatiale entre postes pluviométriques, corrélation en fonction de la distance et du temps — un modèle de simulation*. *La Météorologie*, 6<sup>e</sup> série, n° 20.
- MALLEY J.L. (1974). — *Présentation d'un ensemble de méthodes et techniques de la cartographie automatique numérique*. *Sciences de la Terre, série Informatique géologique*, n° 4.
- MATHERON G. (1970). — *La théorie des variables régionalisées et ses applications*. *Cahiers du Centre de Morphologie mathématique de Fontainebleau*, fascicule 5.
- MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE (1980). — *Synthèse nationale sur les crues des petits bassins versants*. Fascicule 1 : éléments de pluviométrie.
- ROYER J.J. (1983). — *Géostatistique*. Cours E.N.S.G., Nancy.
- SERRA J. (1967). — *Echantillonnage et estimation locale des phénomènes de transition minéral*. Thèse de Docteur-Ingénieur, Institut de Recherche de la Sidérurgie.
- TOUCHERELUF de LUSSIGNY P. (1970). — *Calcul automatique de l'abattement des pluies journalières*. *Cahiers O.R.S.T.O.M., série Hydrologie*, vol. VII, n° 1.
- VUILLAUME G. (1974). — *L'abattement des précipitations journalières en Afrique tropicale. Variabilité et précision de calcul*. *Cahiers O.R.S.T.O.M., série Hydrologie*, vol. X.1, n° 3.

---

# ANNEXE 8

## RESULTAT DE CALAGE DU MODELE HYDROLOGIQUE

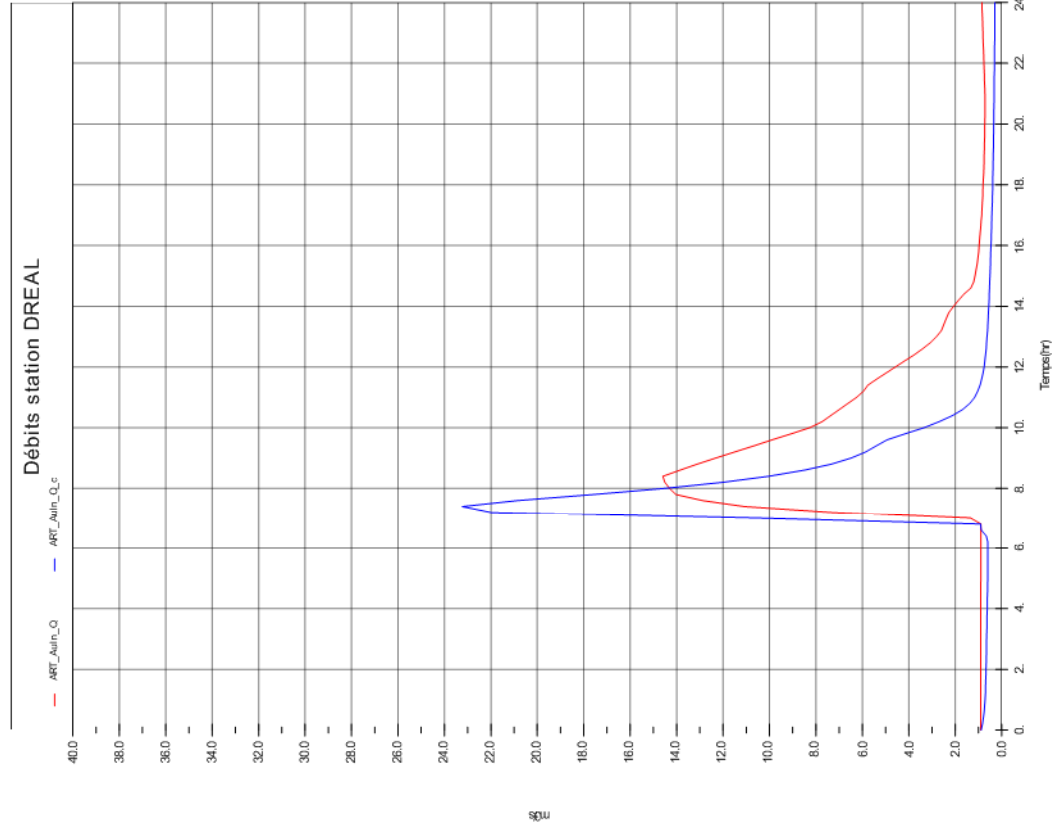
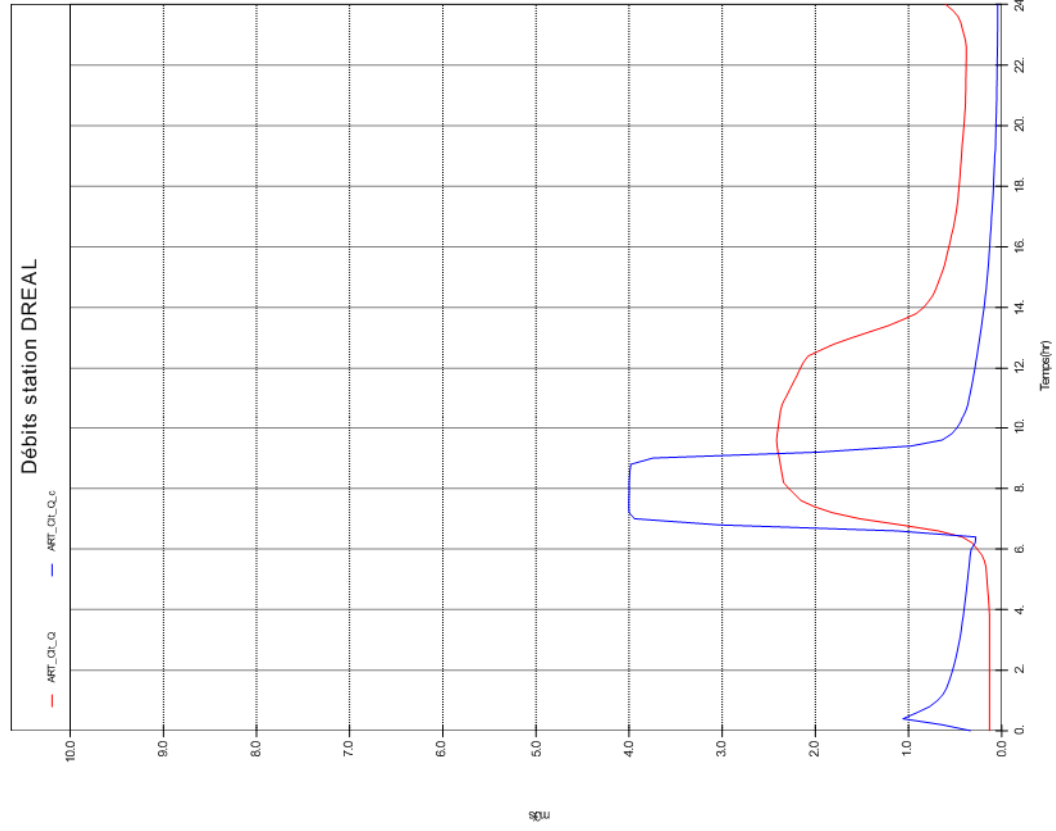
---

---

**ANNEXE 8 A**  
**RESULTAT DE CALAGE DU MODELE**  
**HYDROLOGIQUE**  
**EVENEMENT DU 04/06/2007**

---

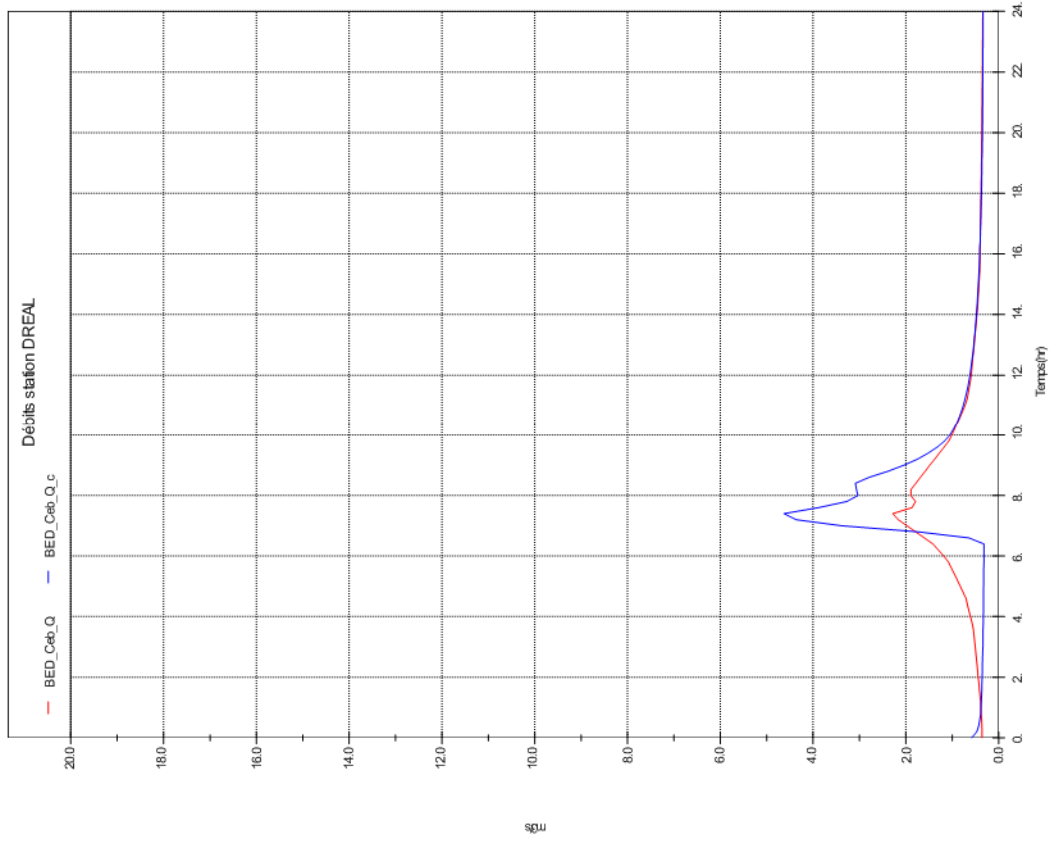
4 JUIN 2007



### Hydrogrammes



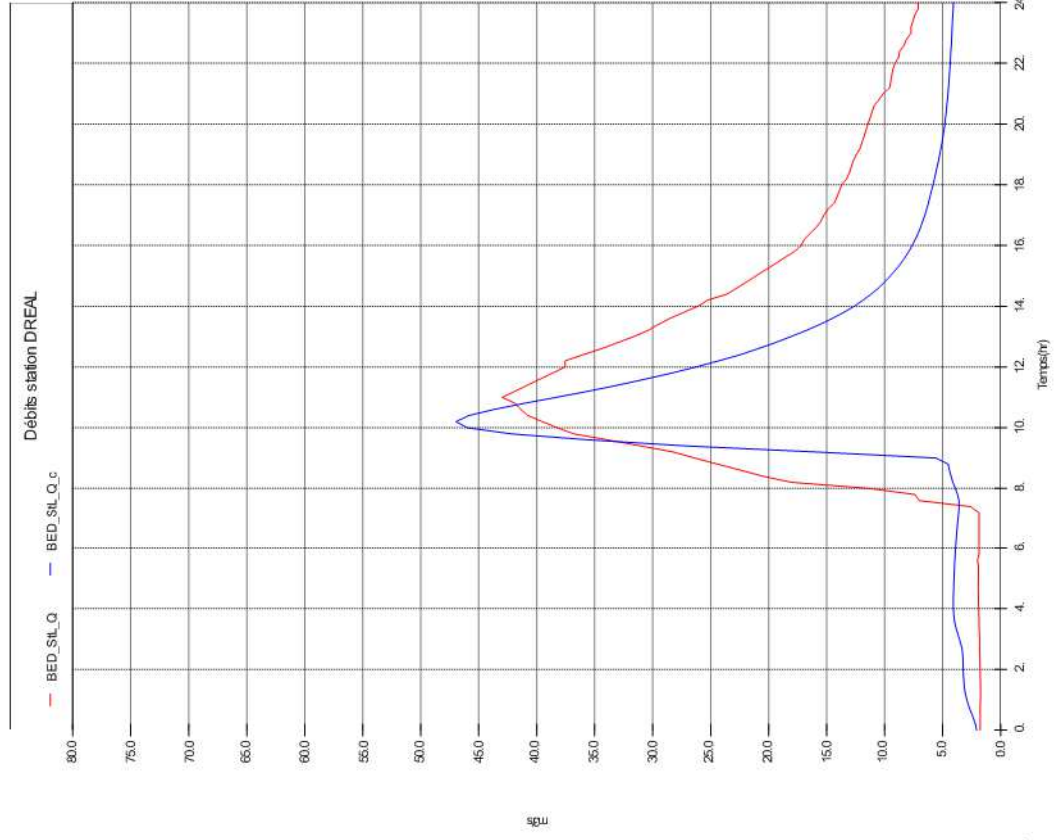
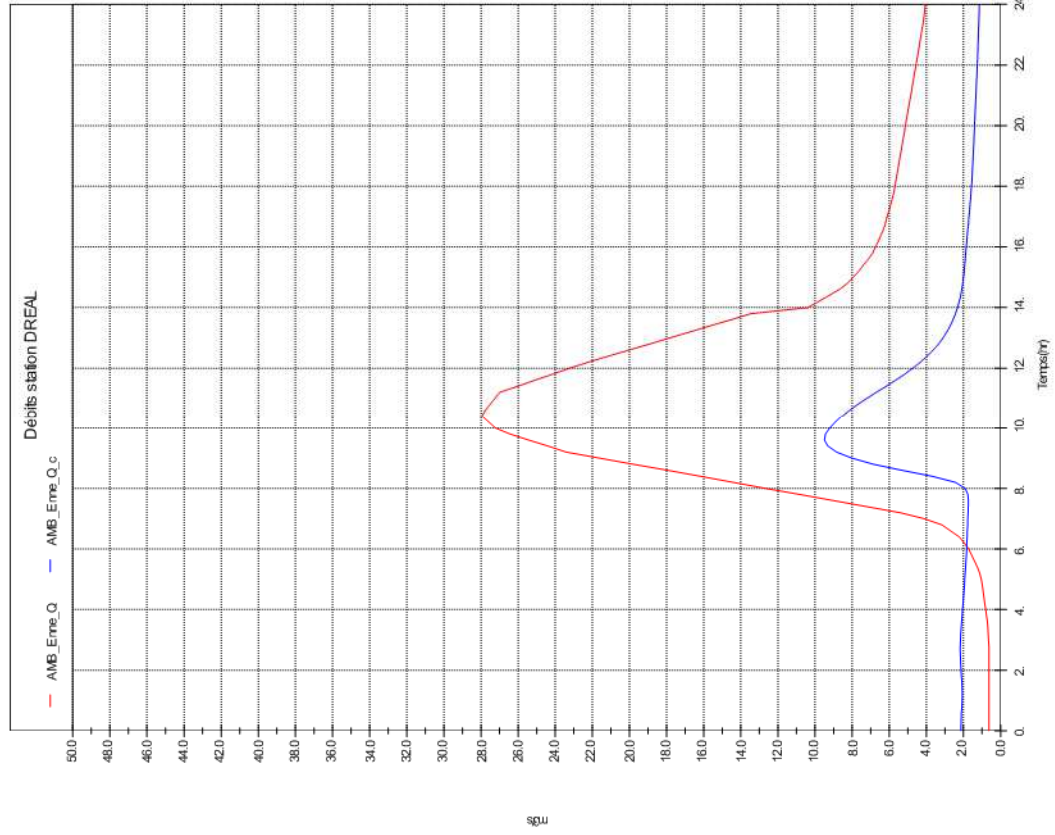
4 JUIN 2007



### Hydrogrammes



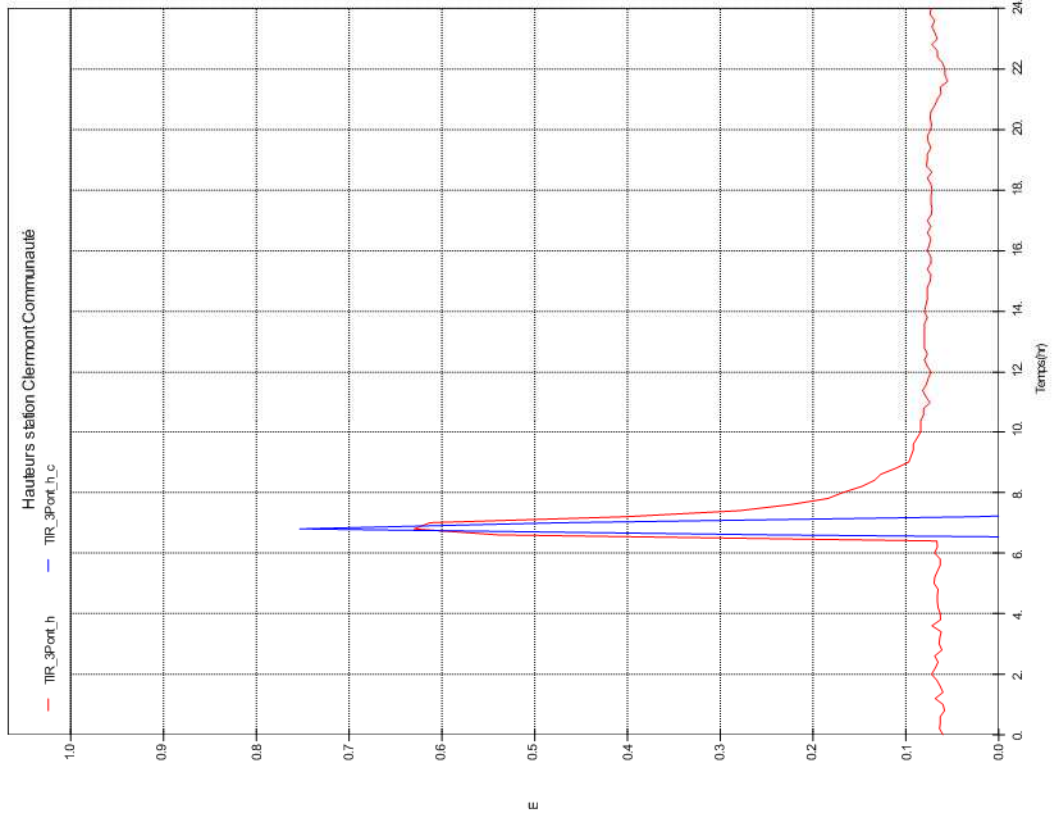
4 JUIN 2007



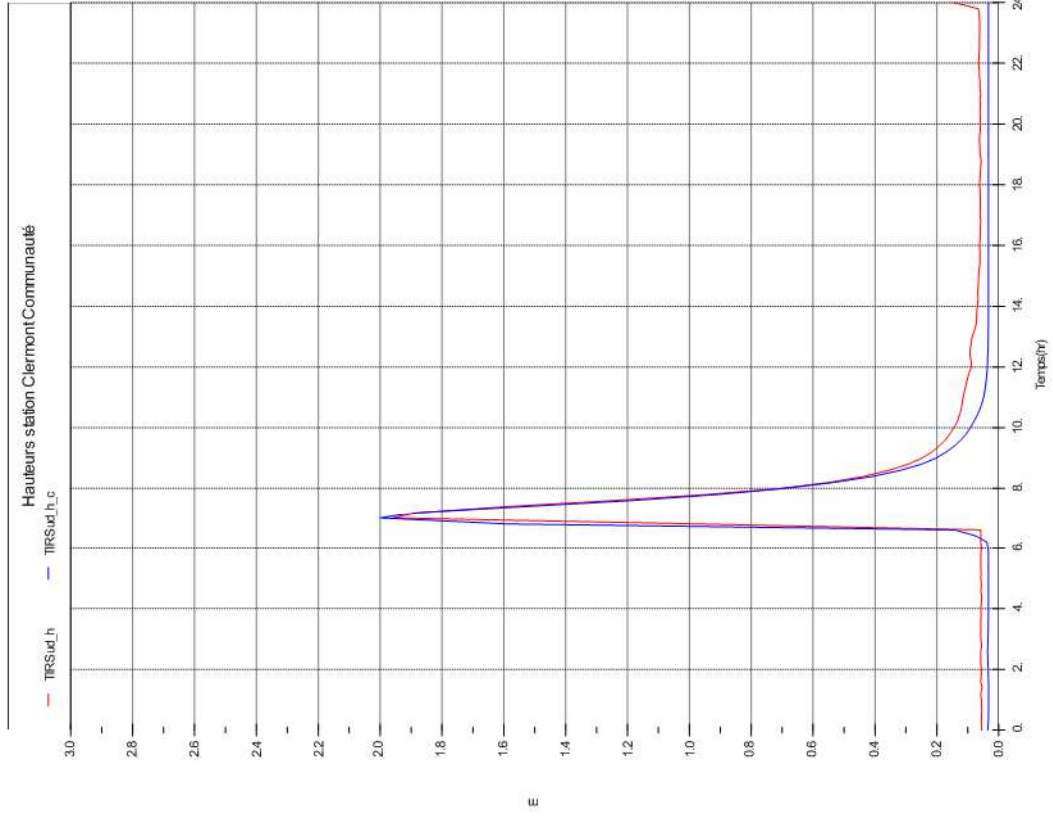
### Hydrogrammes



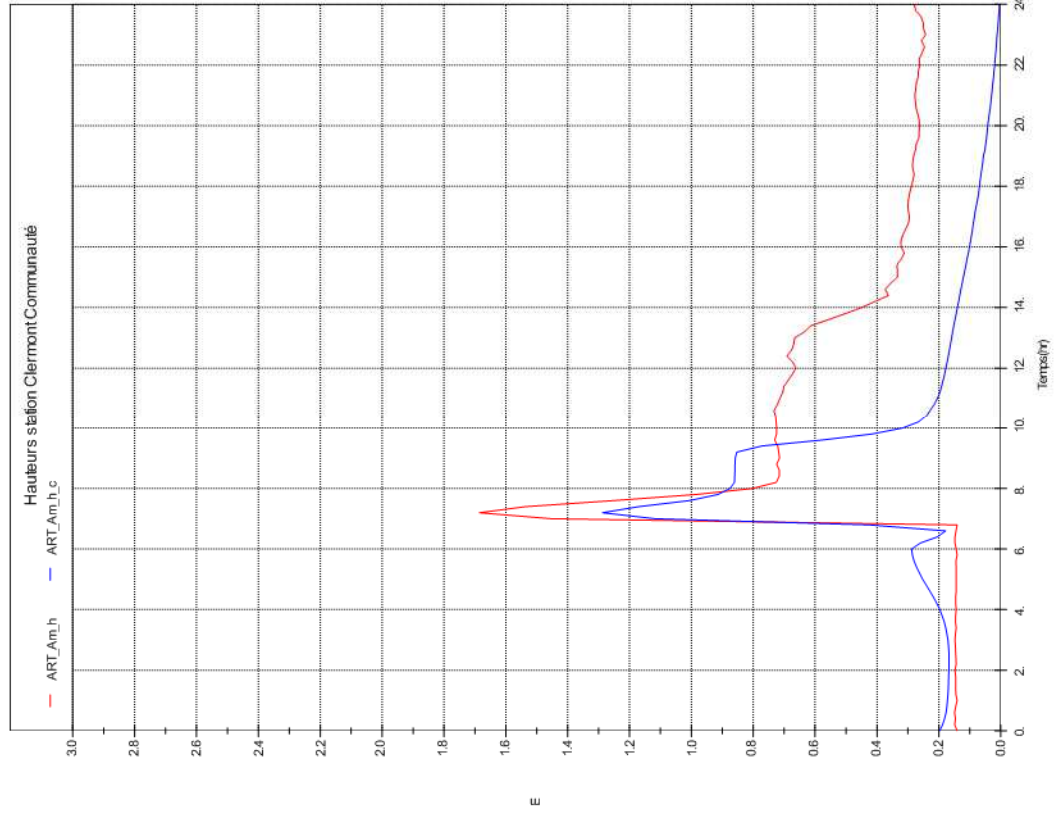
4 JUIN 2007



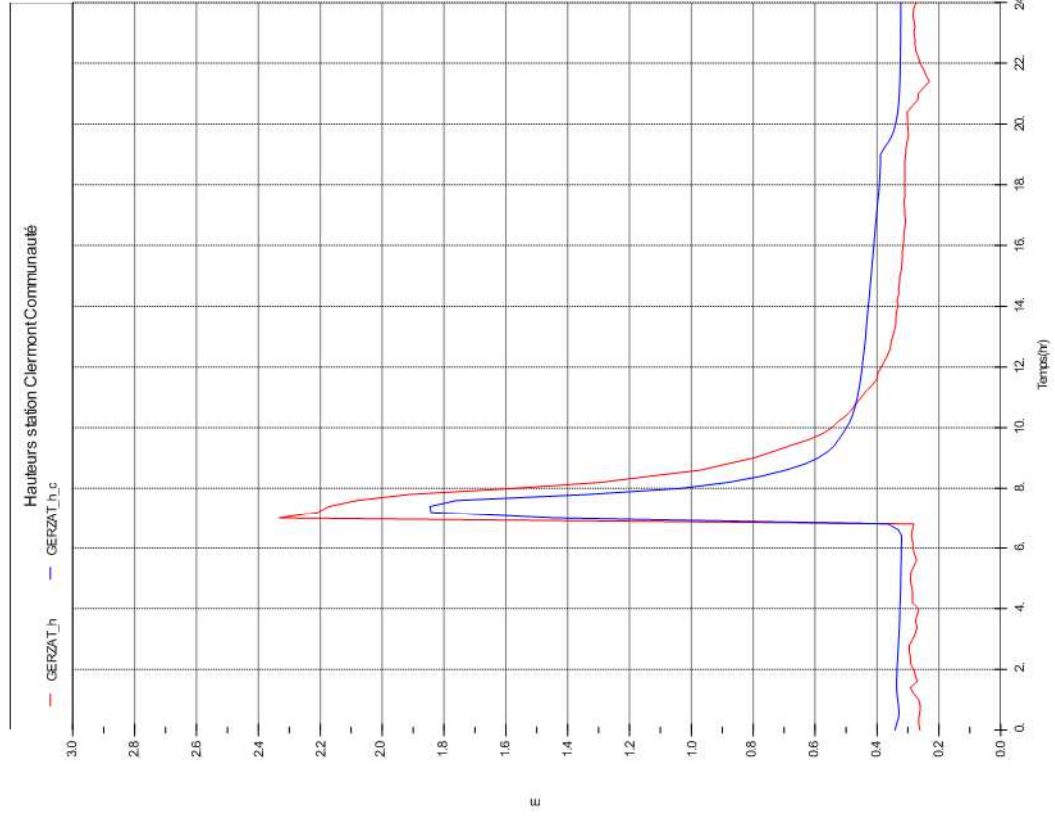
Limnigrammes



4 JUIN 2007

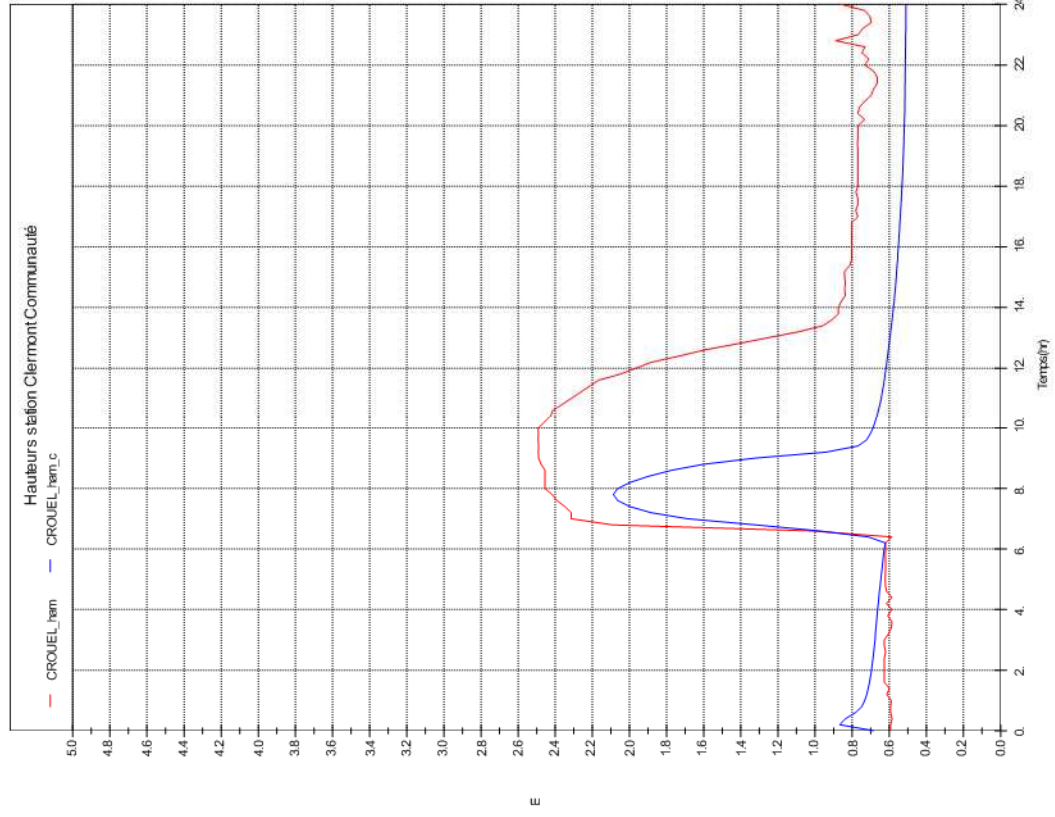


### Limnigrammes

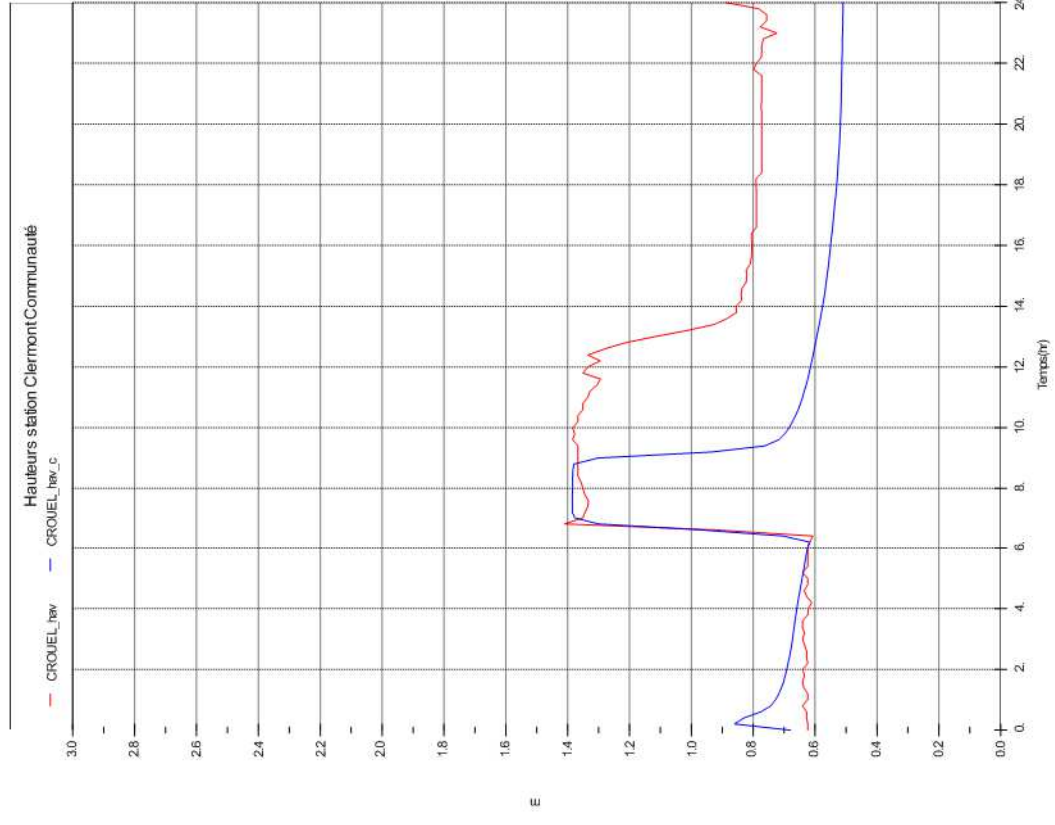




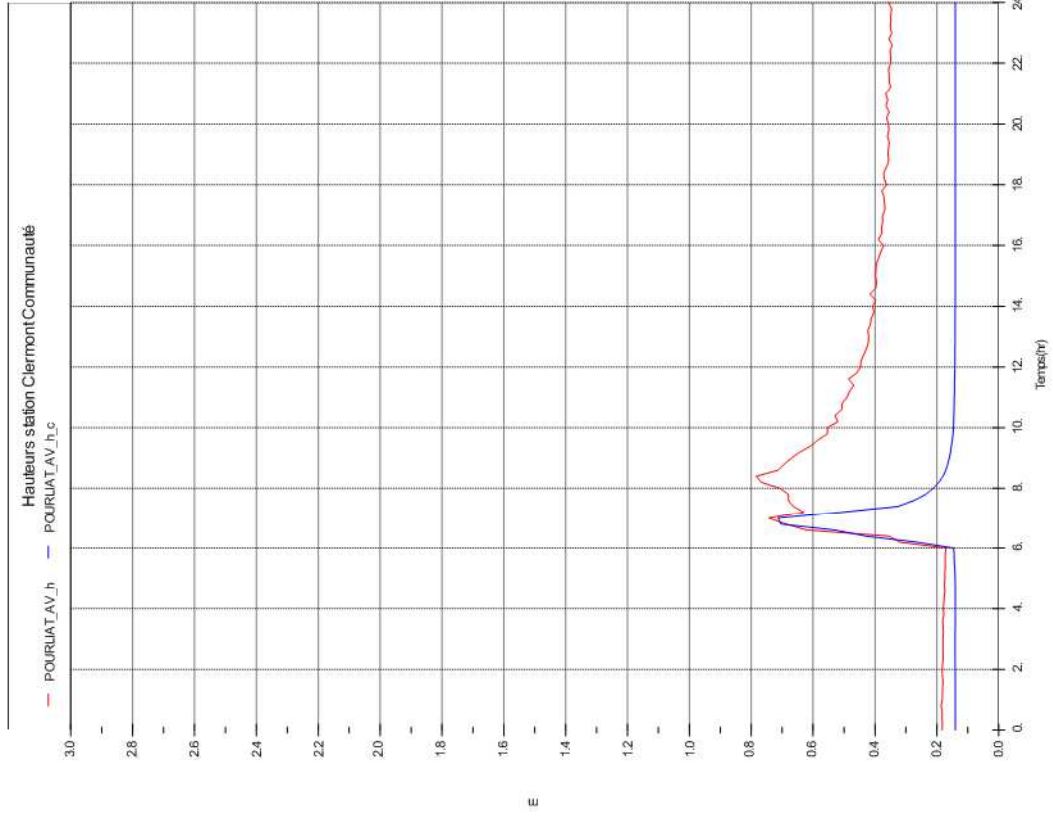
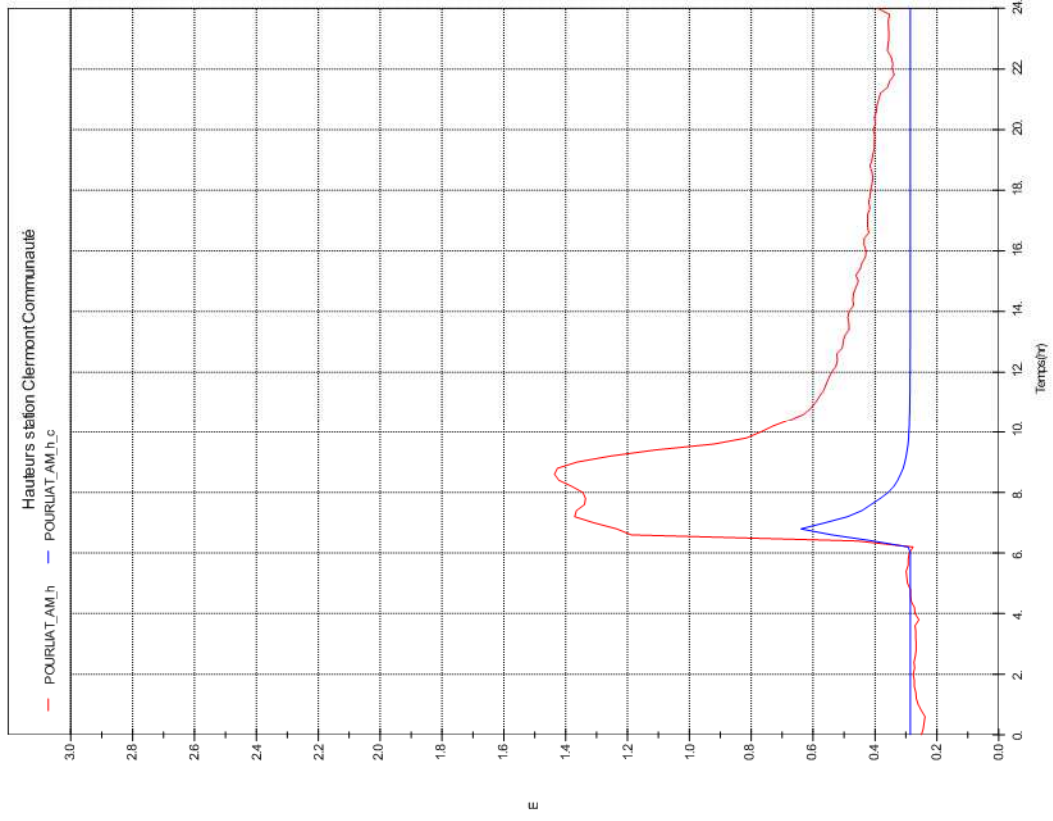
4 JUIN 2007



Limnigrammes



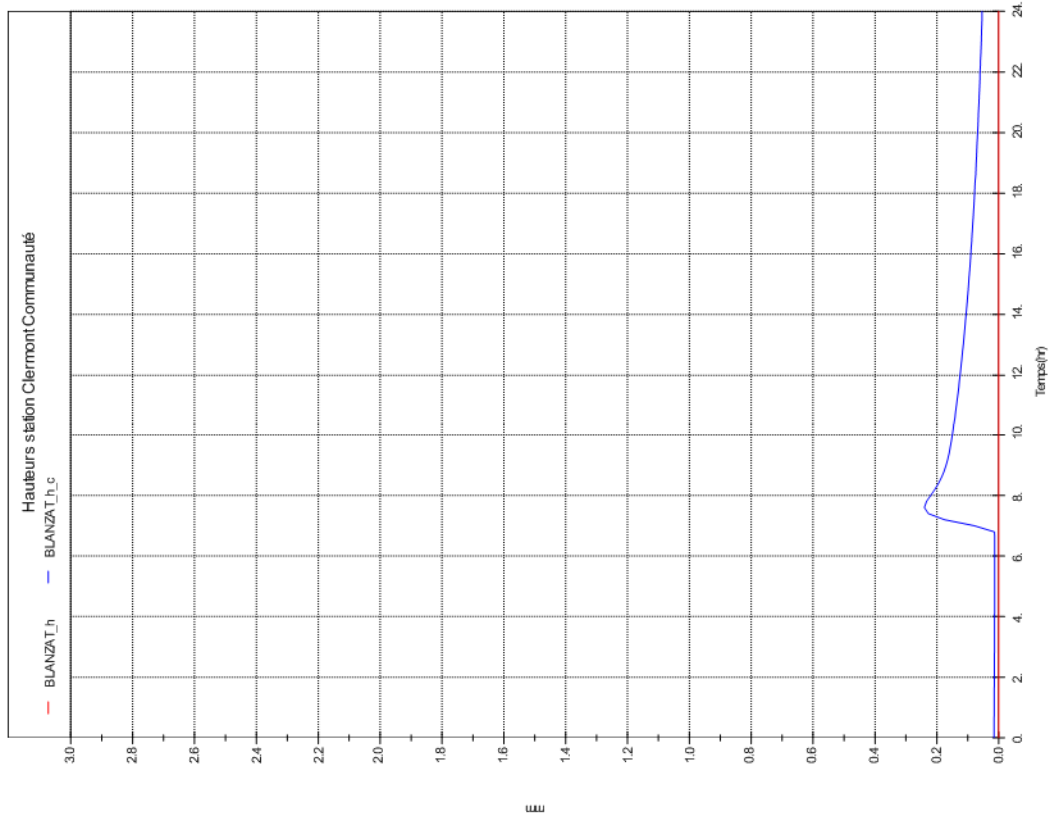
4 JUIN 2007



### Limnigrammes



4 JUIN 2007



### Limnigrammes

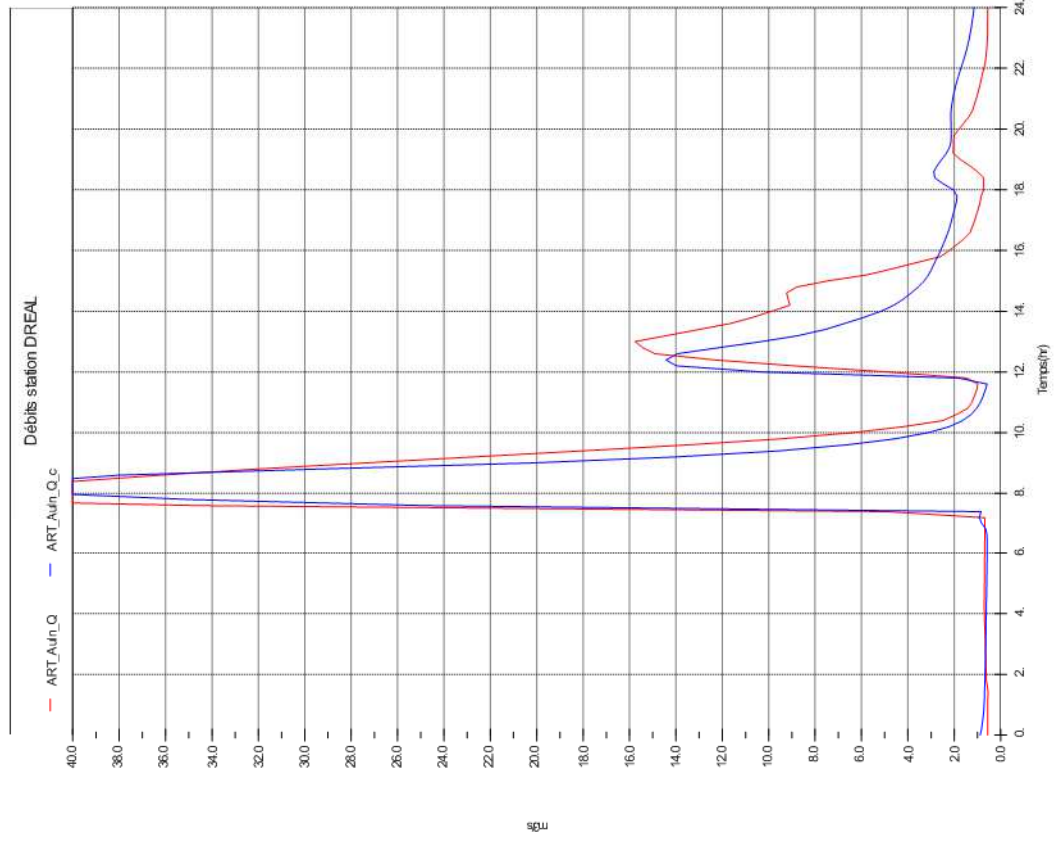
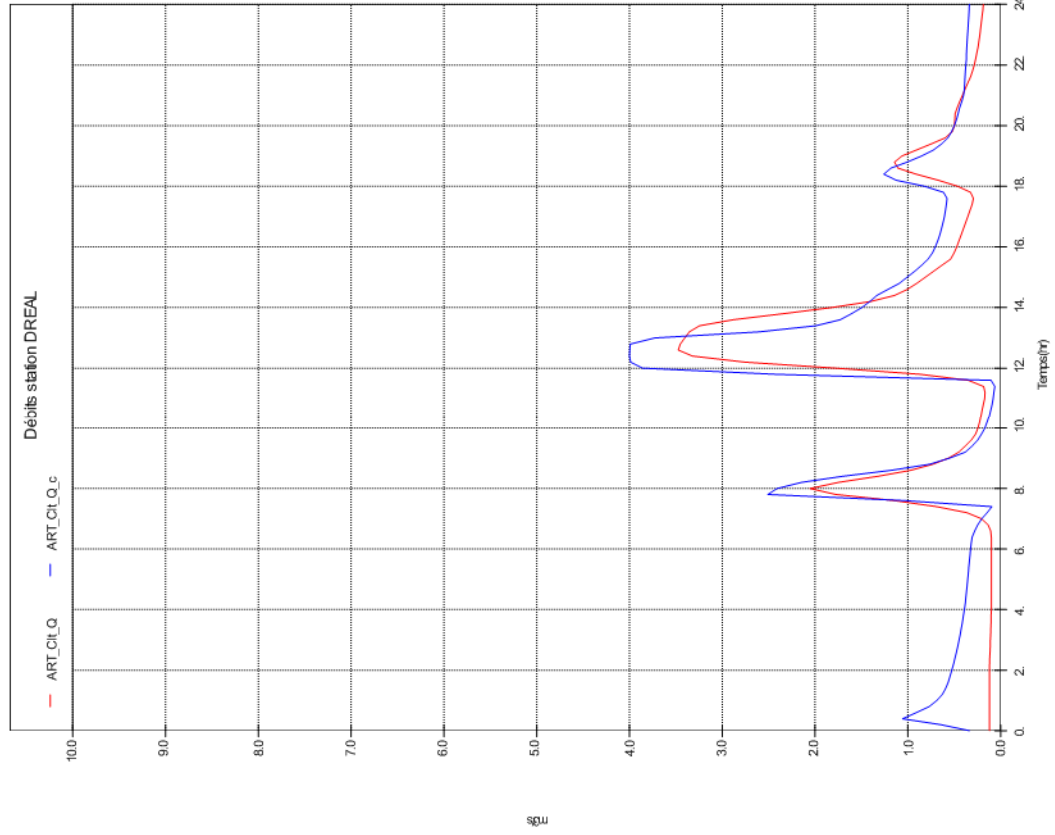


---

**A N N E X E 8 B**  
**RESULTAT DE CALAGE DU MODELE**  
**HYDROLOGIQUE**  
**EVENEMENT DU 11/09/2008**

---

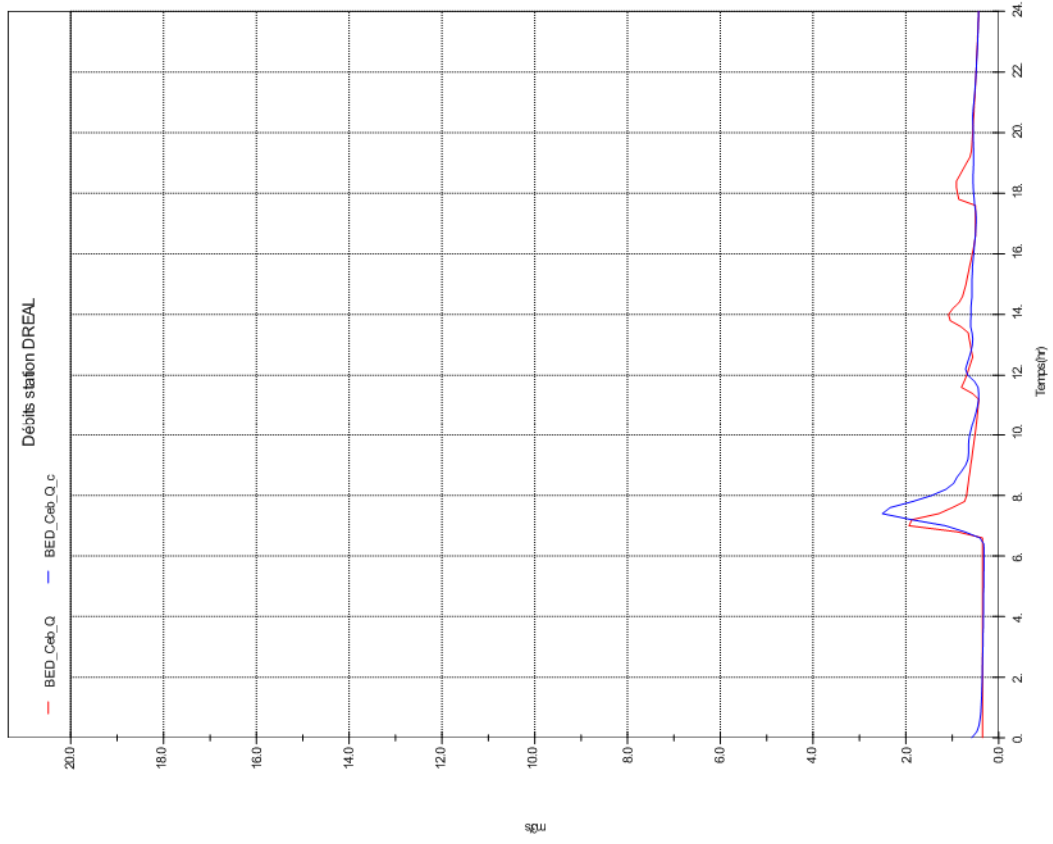
11 SEPTEMBRE 2008



### Hydrogrammes



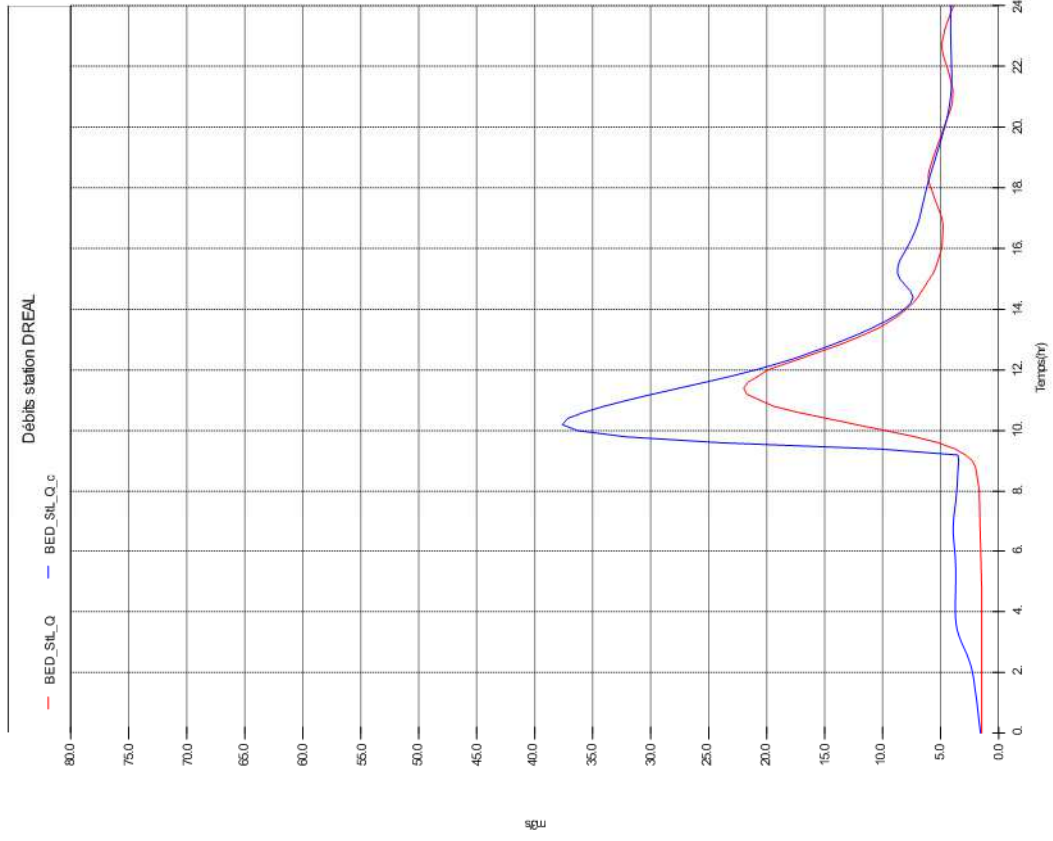
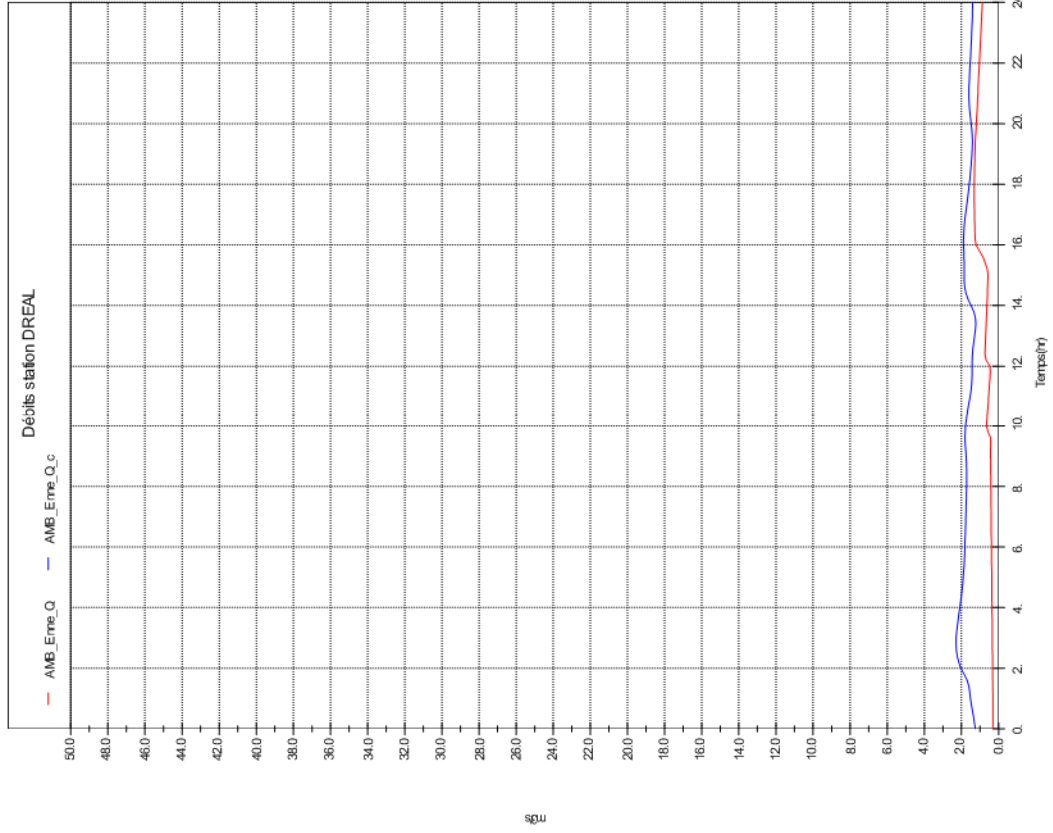
11 SEPTEMBRE 2008



## Hydrogrammes



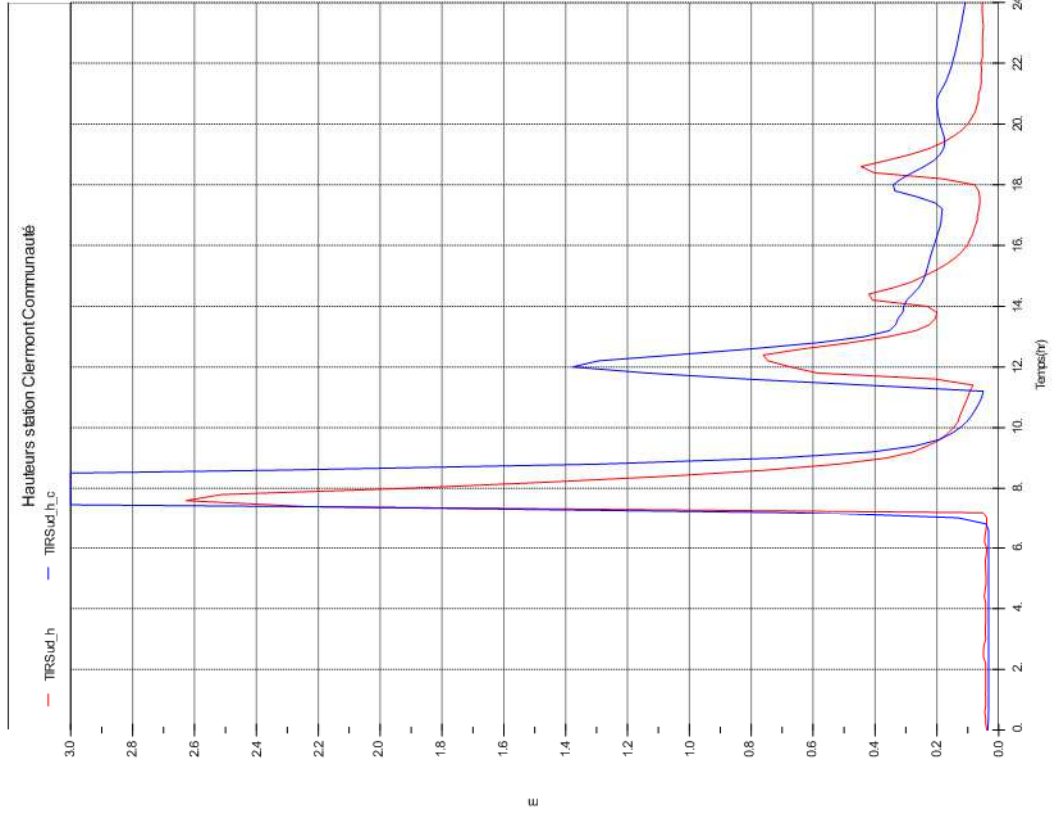
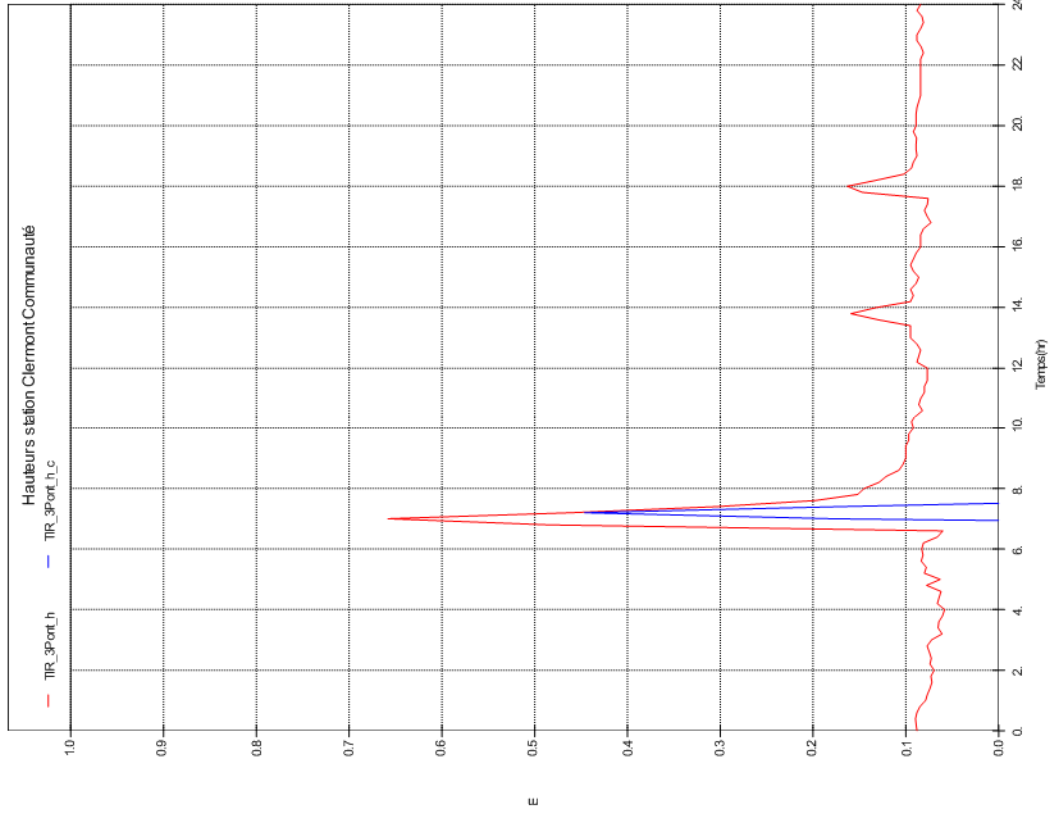
11 SEPTEMBRE 2008



### Hydrogrammes



11 SEPTEMBRE 2008

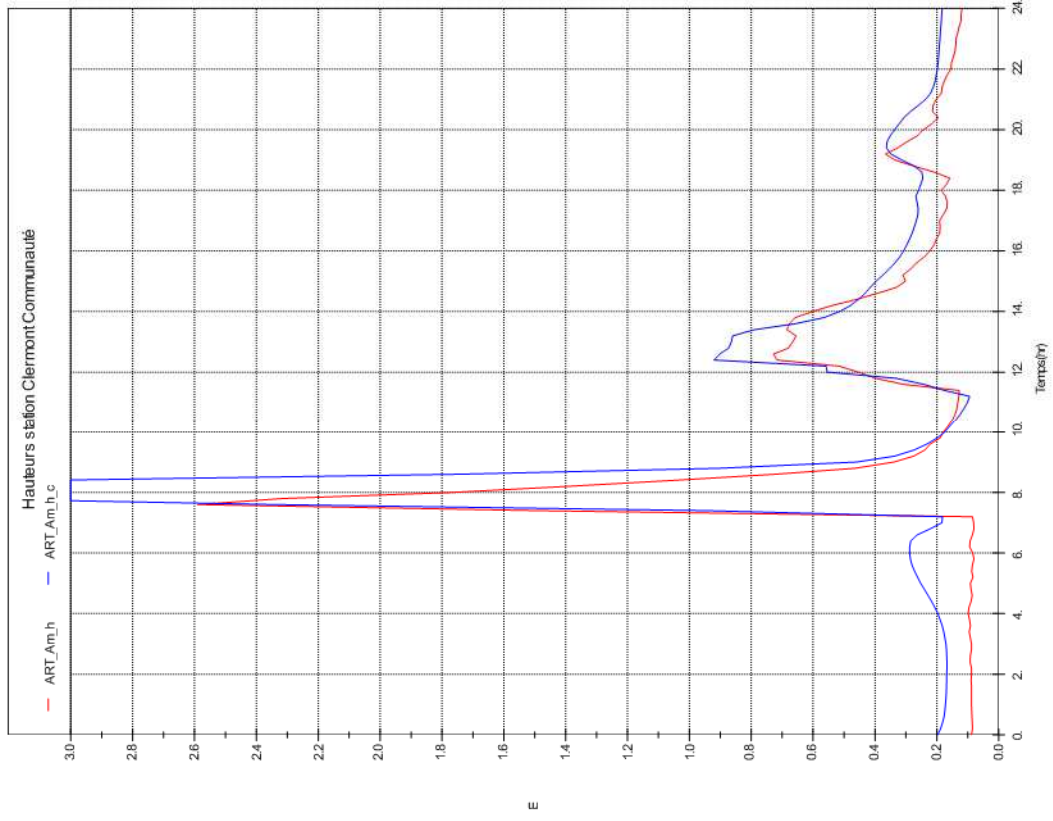


Limnigrammes

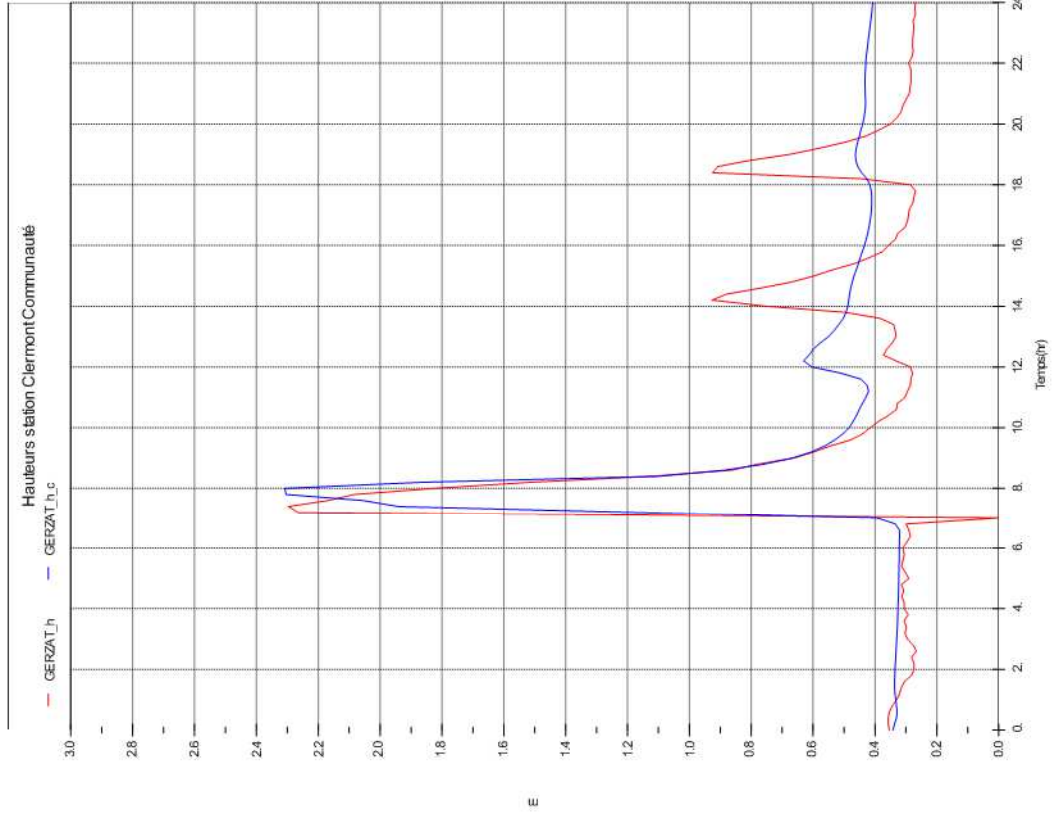




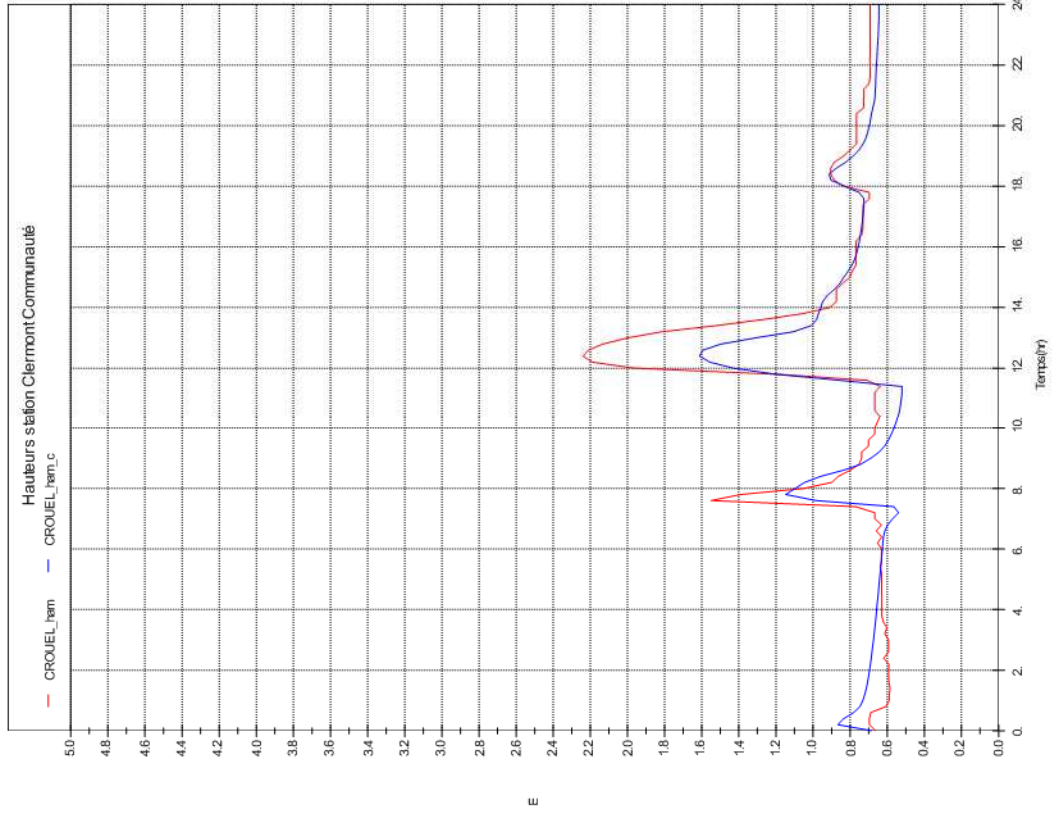
11 SEPTEMBRE 2008



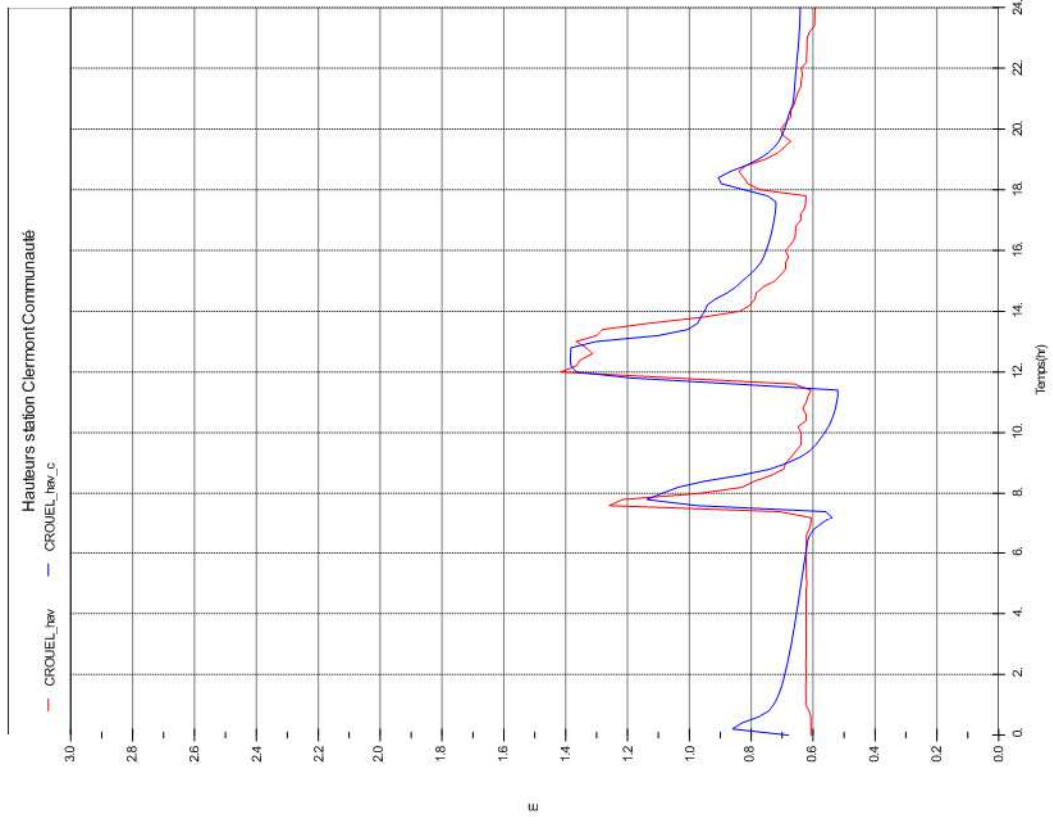
Limnigrammes



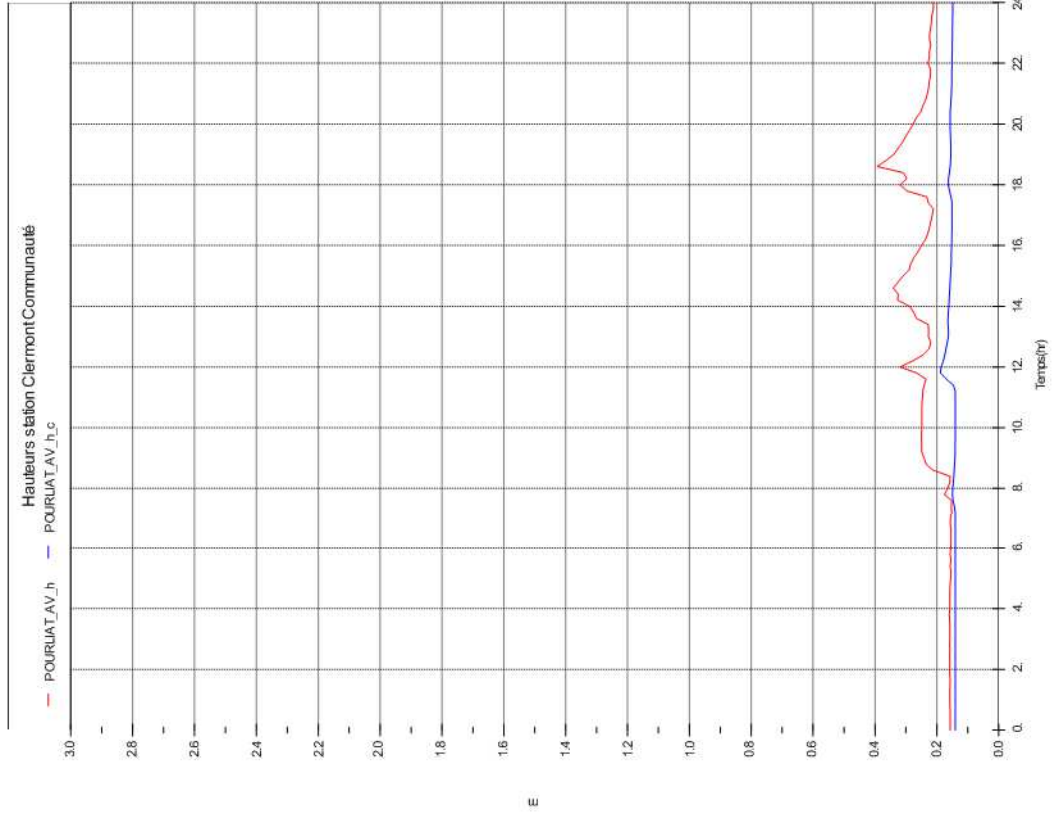
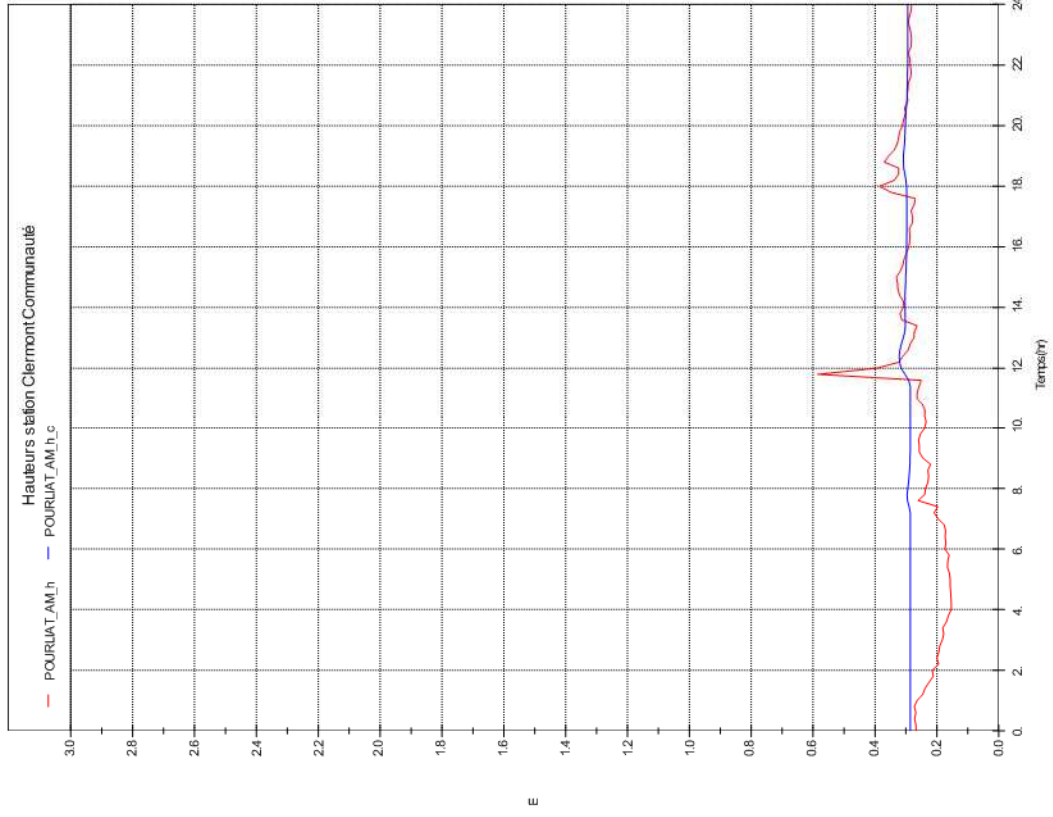
11 SEPTEMBRE 2008



Limnigrammes



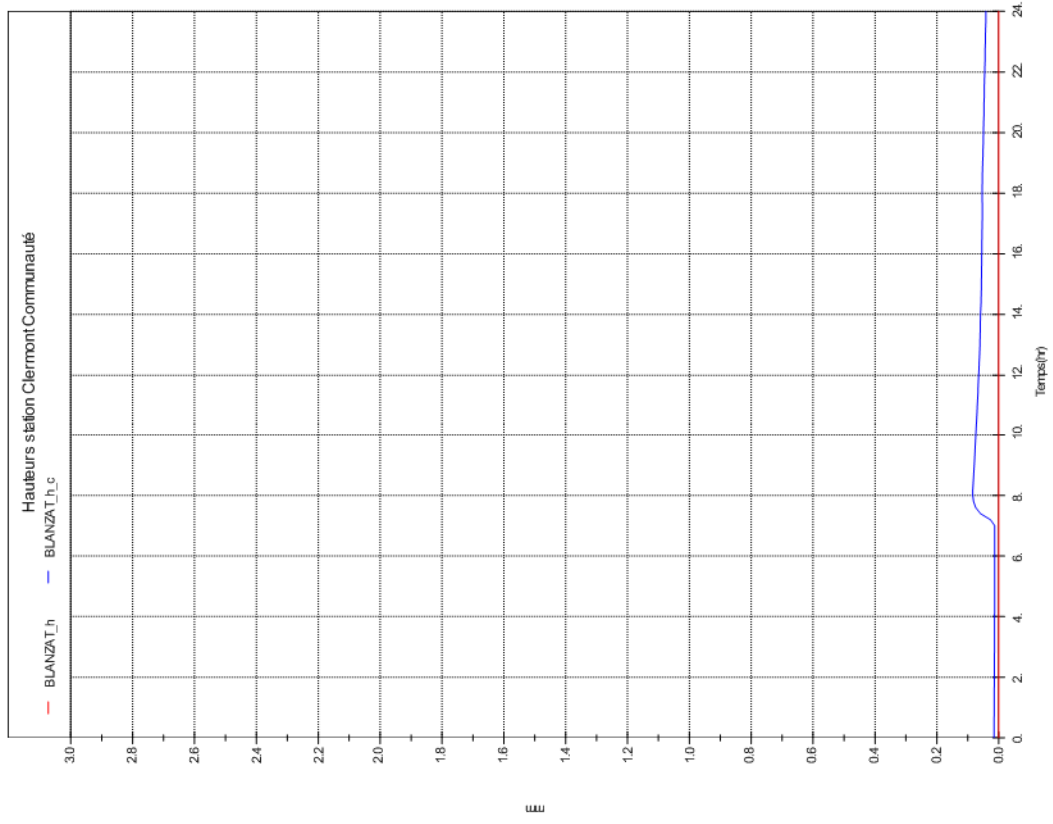
11 SEPTEMBRE 2008



### Limnigrammes



11 SEPTEMBRE 2008



Limnigrammes

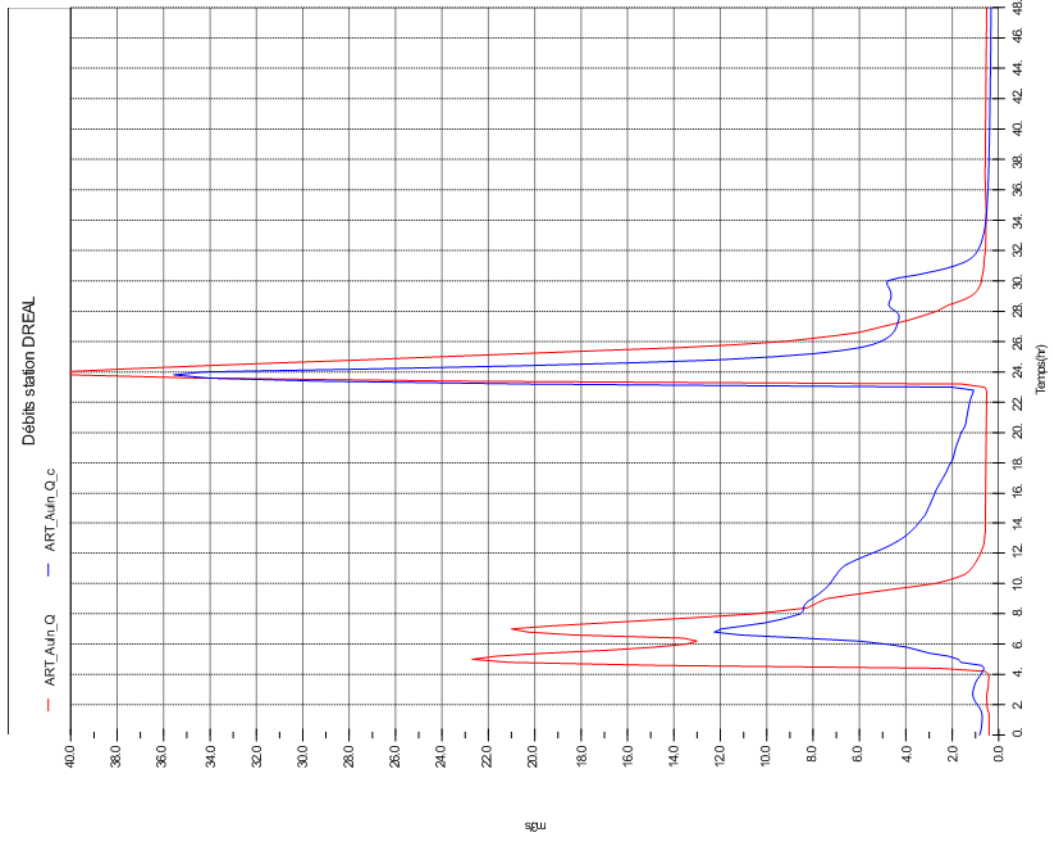
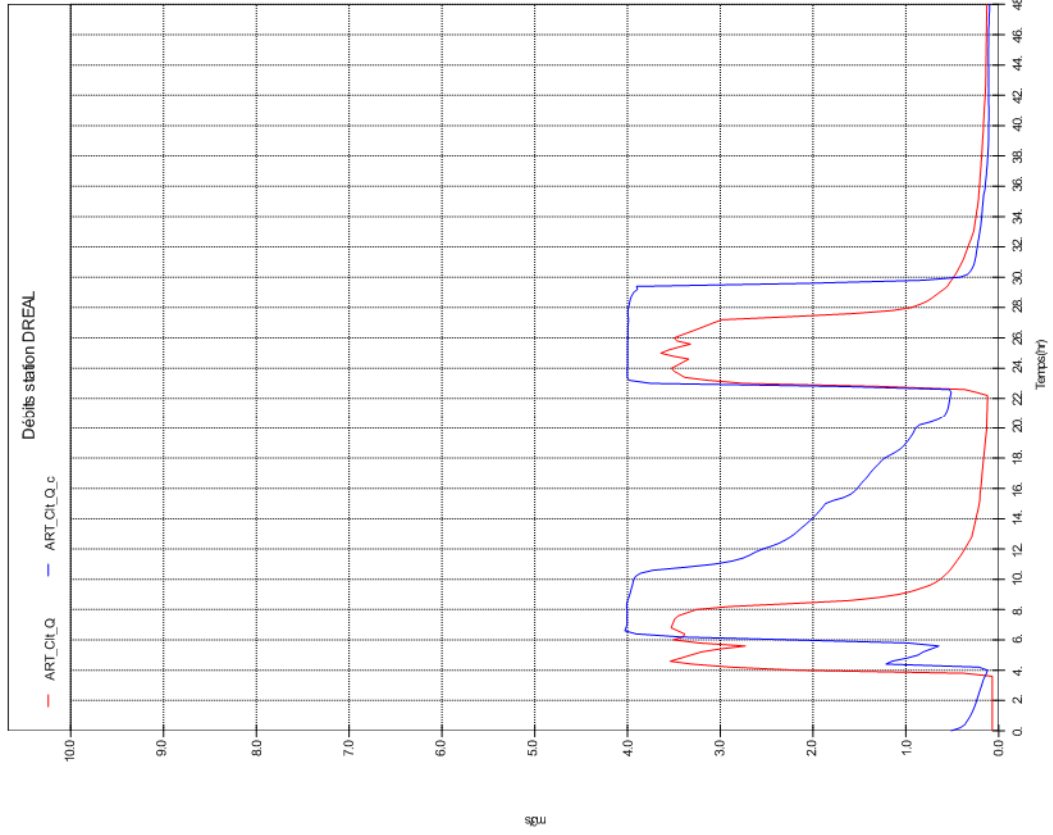


---

**ANNEXE 8 C**  
**RESULTAT DE CALAGE DU MODELE**  
**HYDROLOGIQUE**  
**EVENEMENT DU 14/07/2009**

---

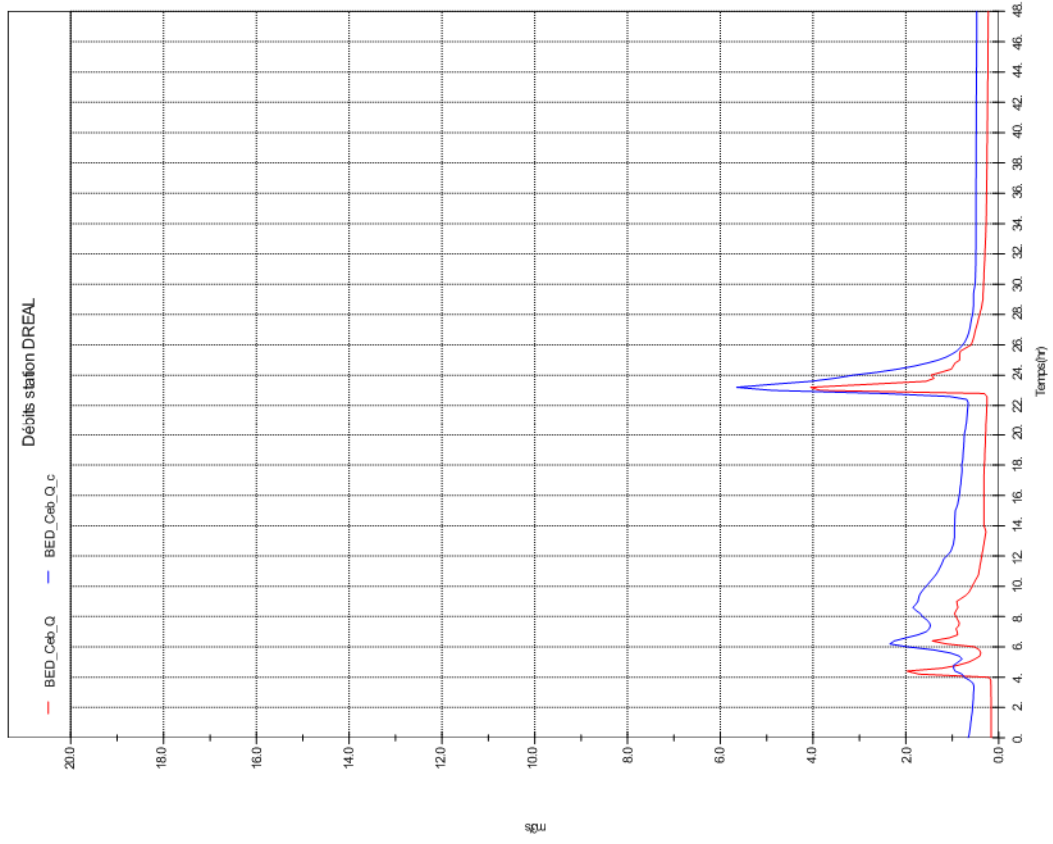
14 JUILLET 2009



### Hydrogrammes



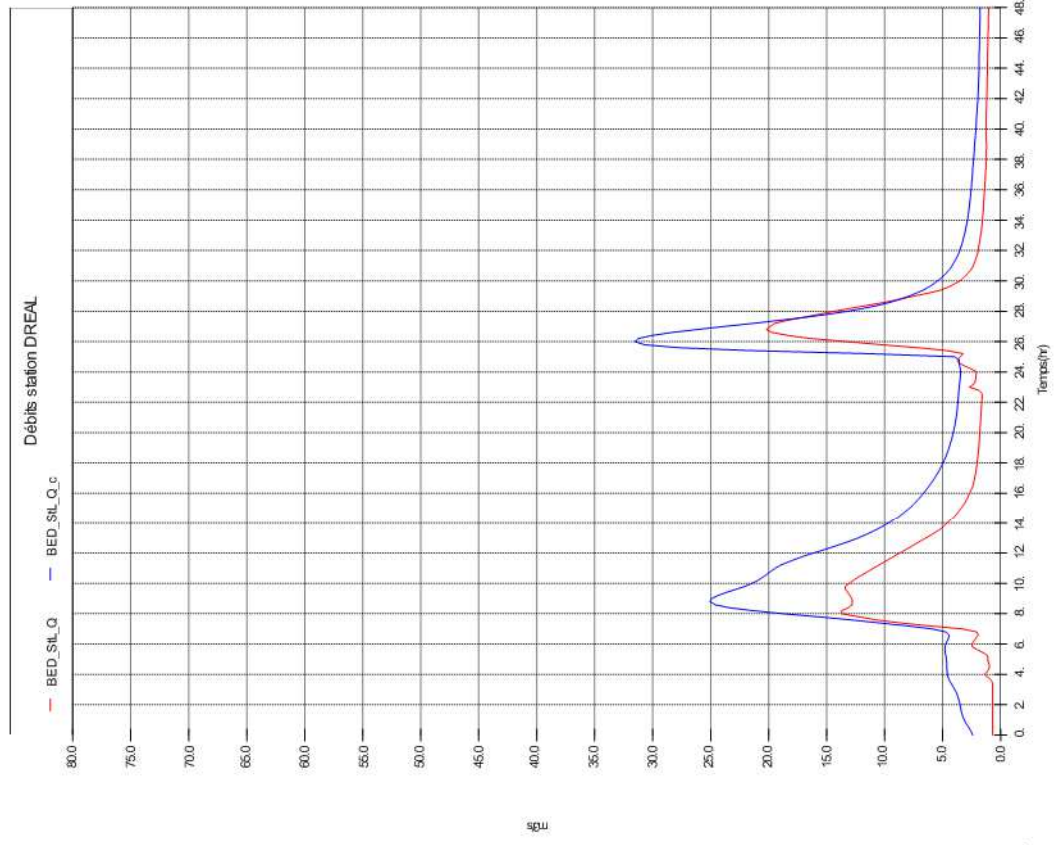
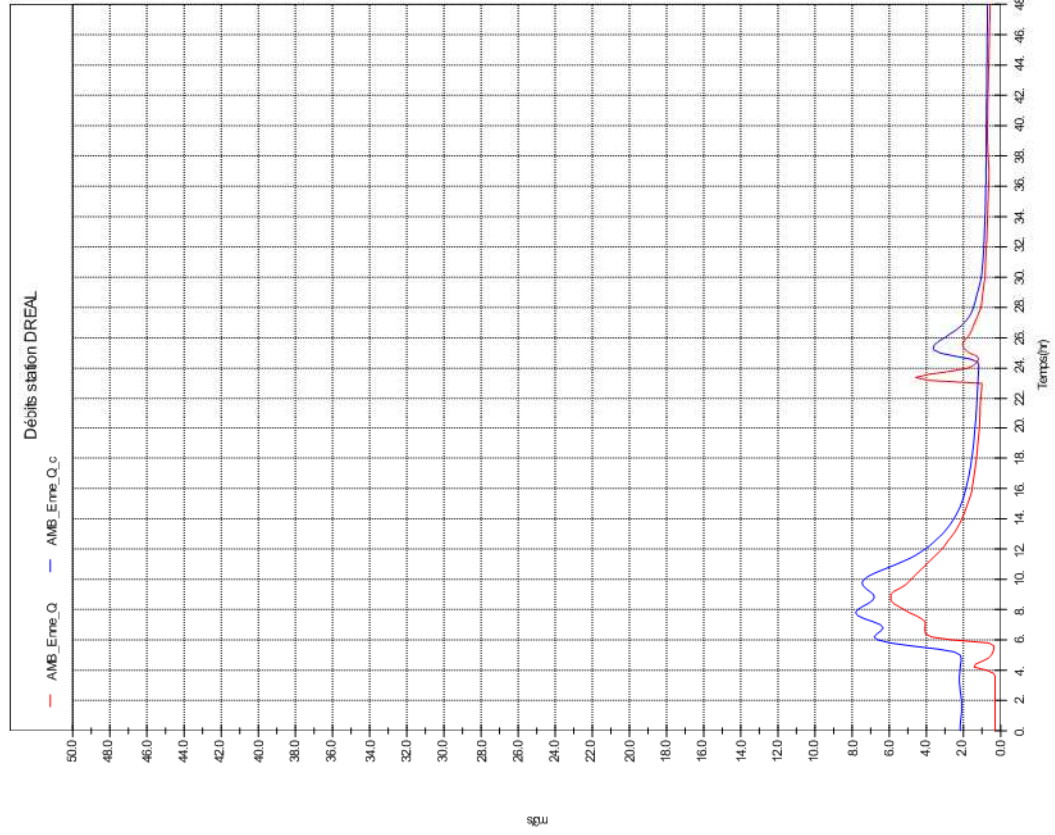
14 JUILLET 2009



## Hydrogrammes



14 JUILLET 2009

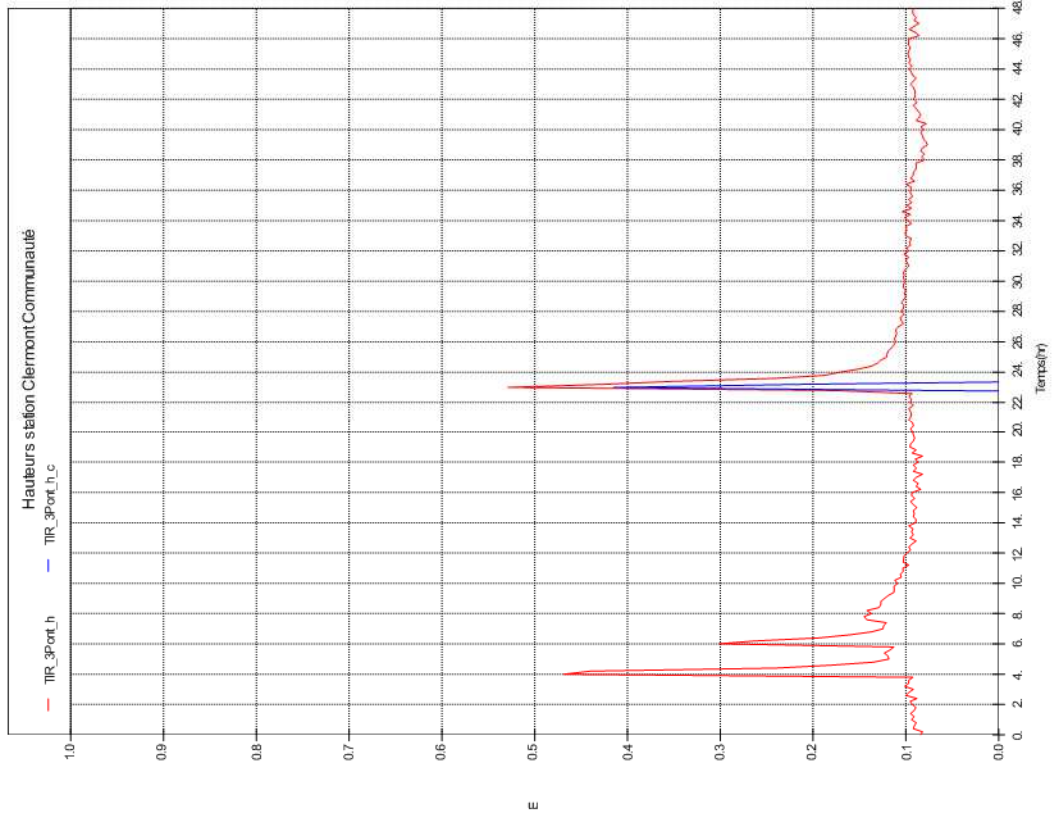


### Hydrogrammes

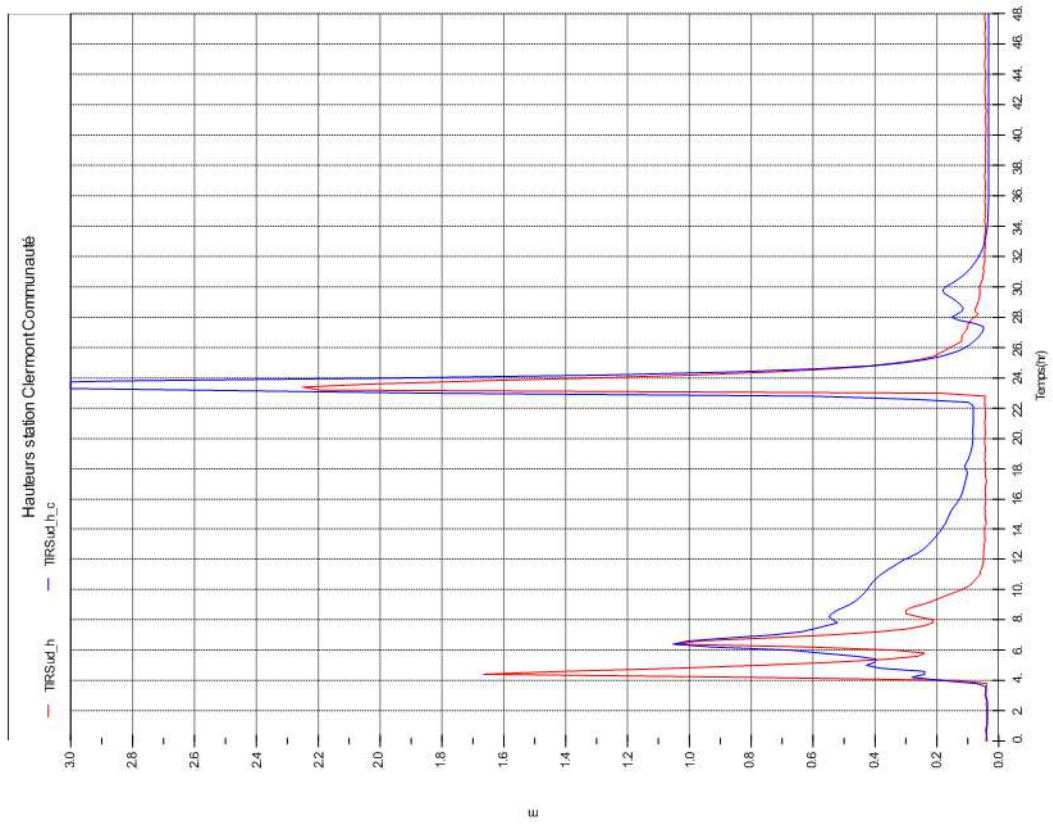




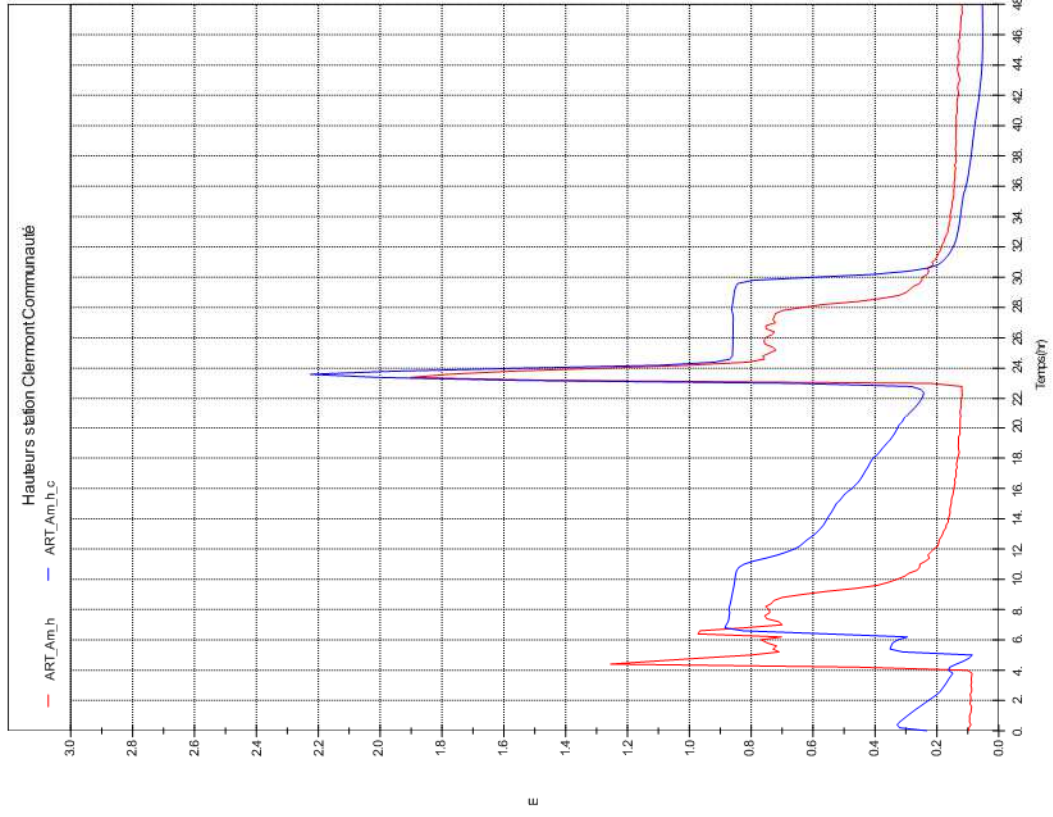
14 JUILLET 2009



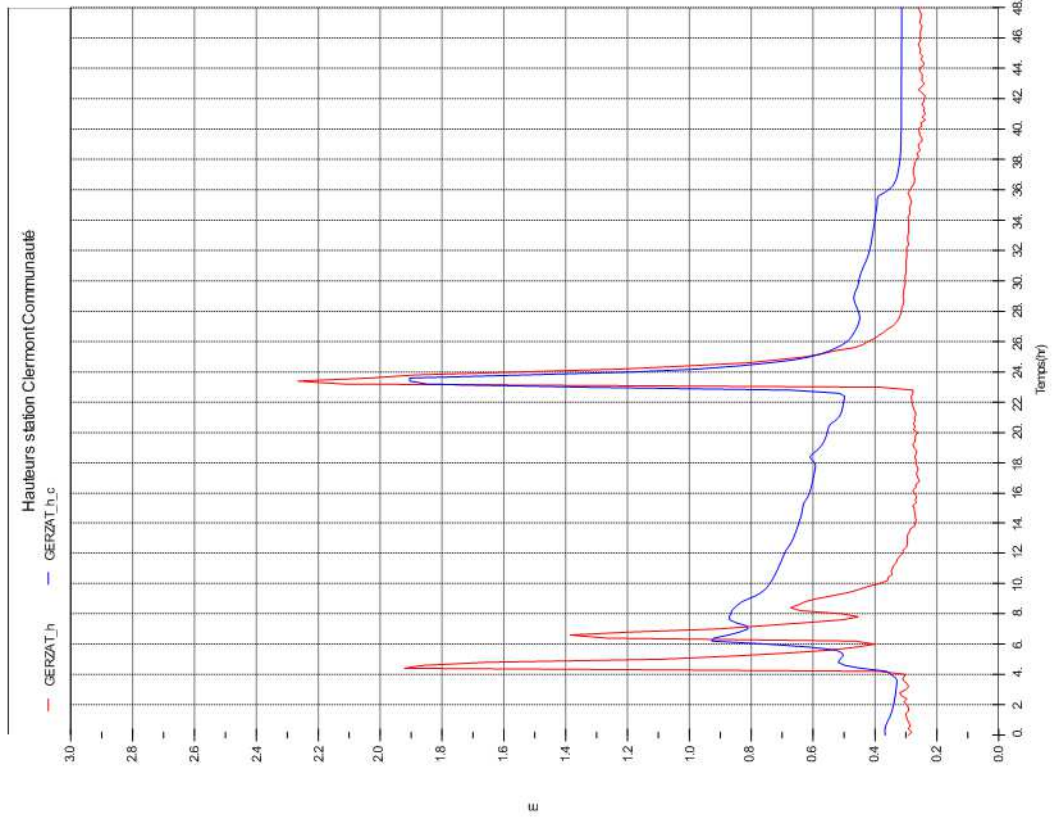
Limnigrammes



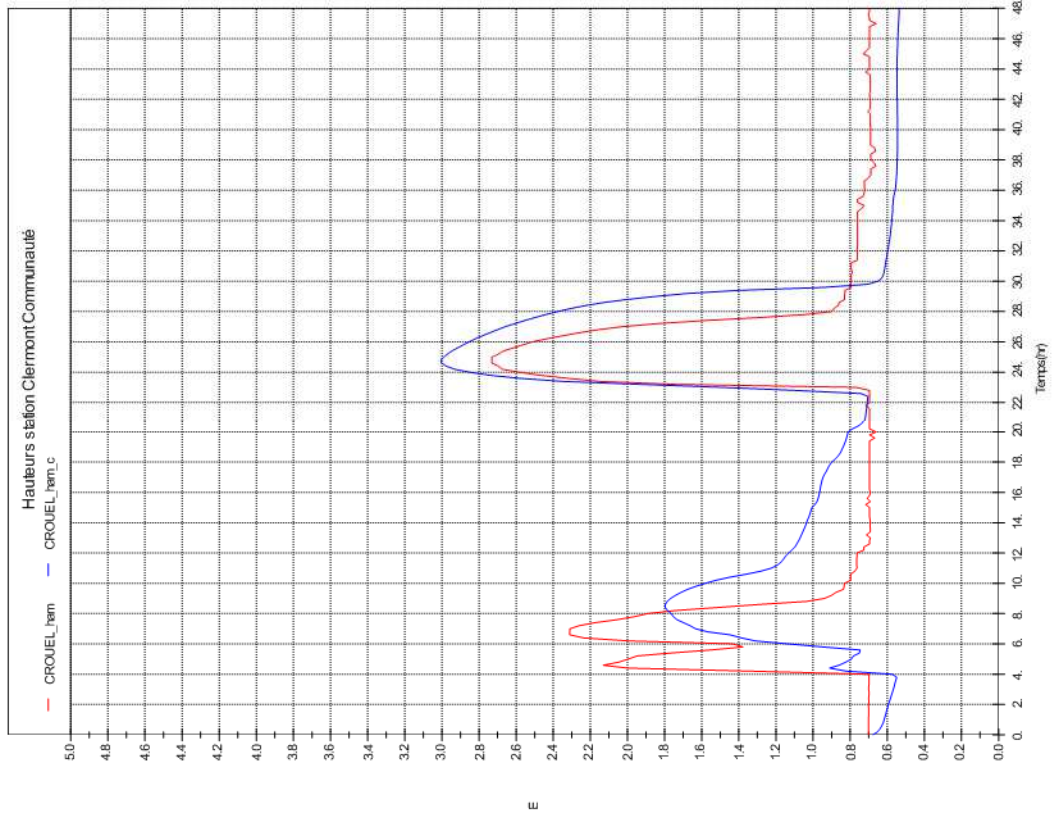
14 JUILLET 2009



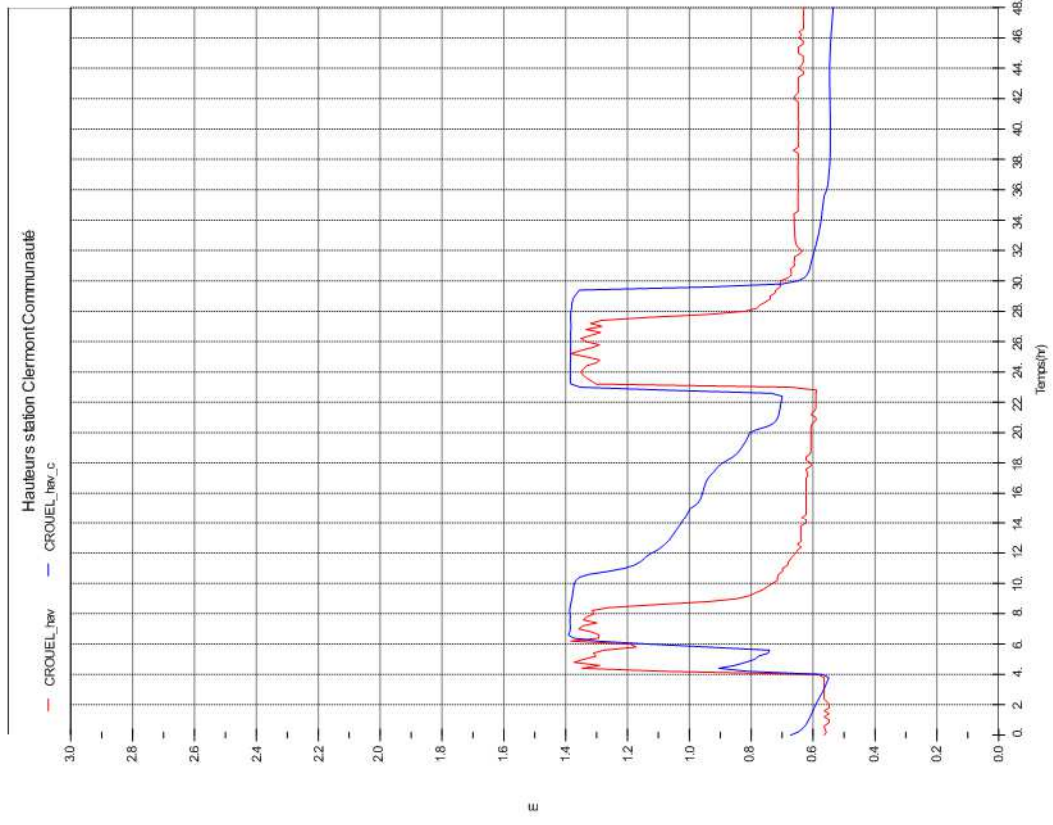
Limnigrammes



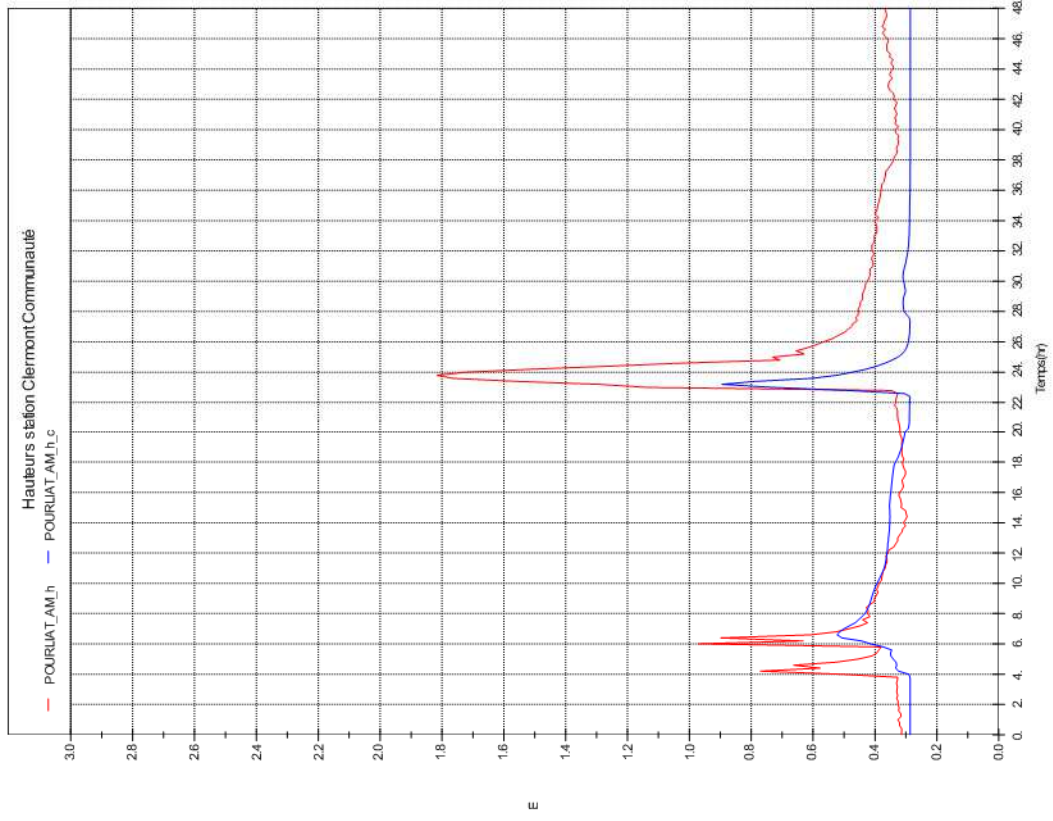
14 JUILLET 2009



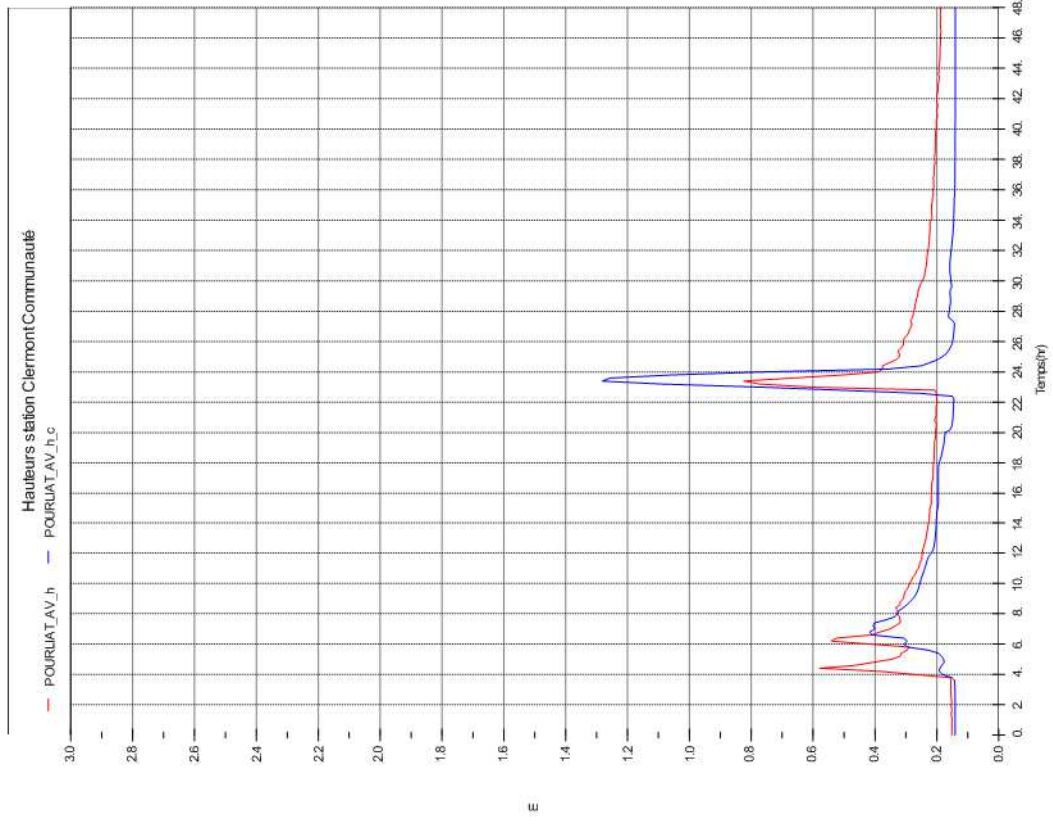
Limnigrammes



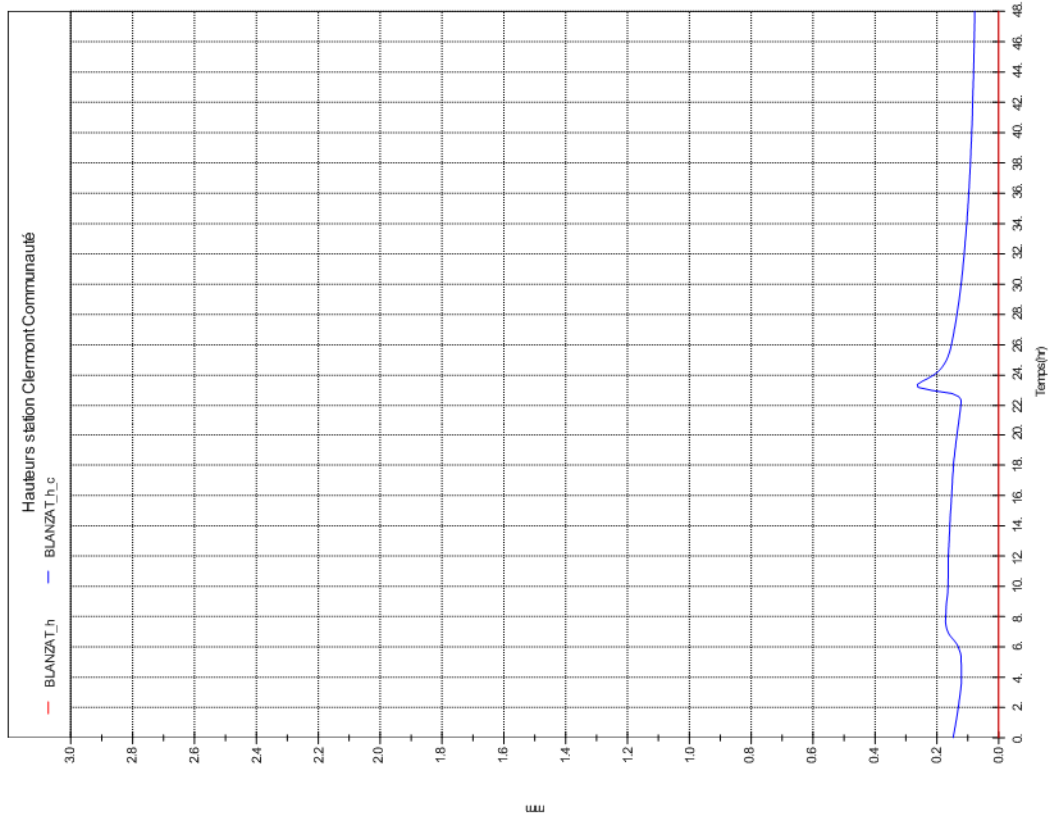
14 JUILLET 2009



Limnigrammes



14 JUILLET 2009



Limnigrammes

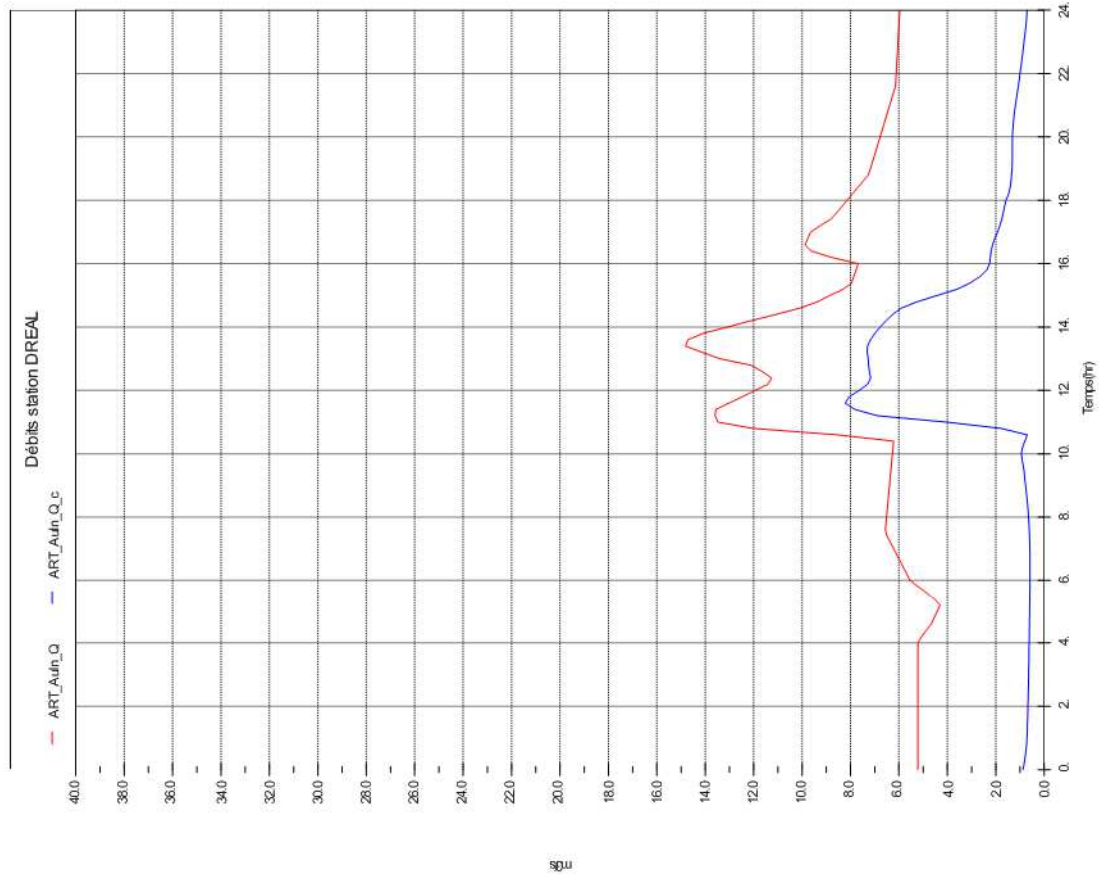
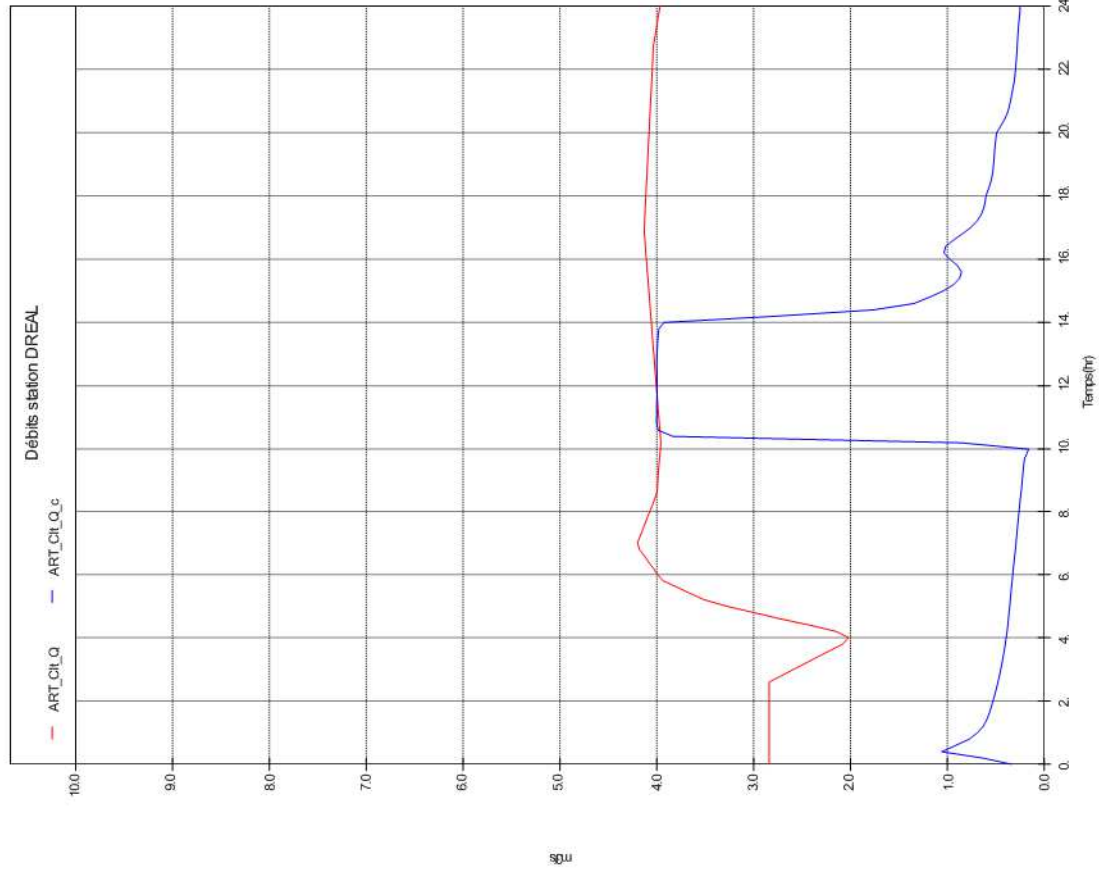


---

**ANNEXE 8 D**  
**RESULTAT DE CALAGE DU MODELE**  
**HYDROLOGIQUE**  
**EVENEMENT DU 17/06/2010**

---

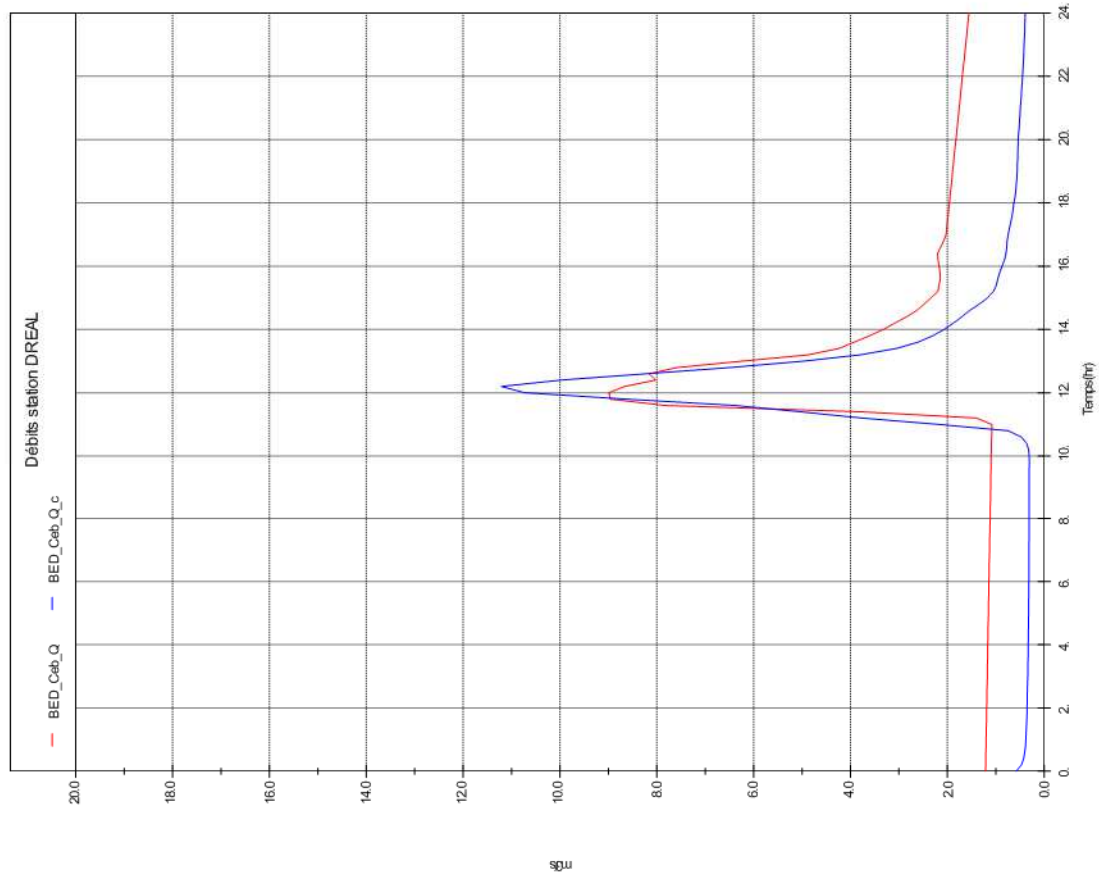
17 JUN 2010



### Hydrogrammes



17 JUN 2010

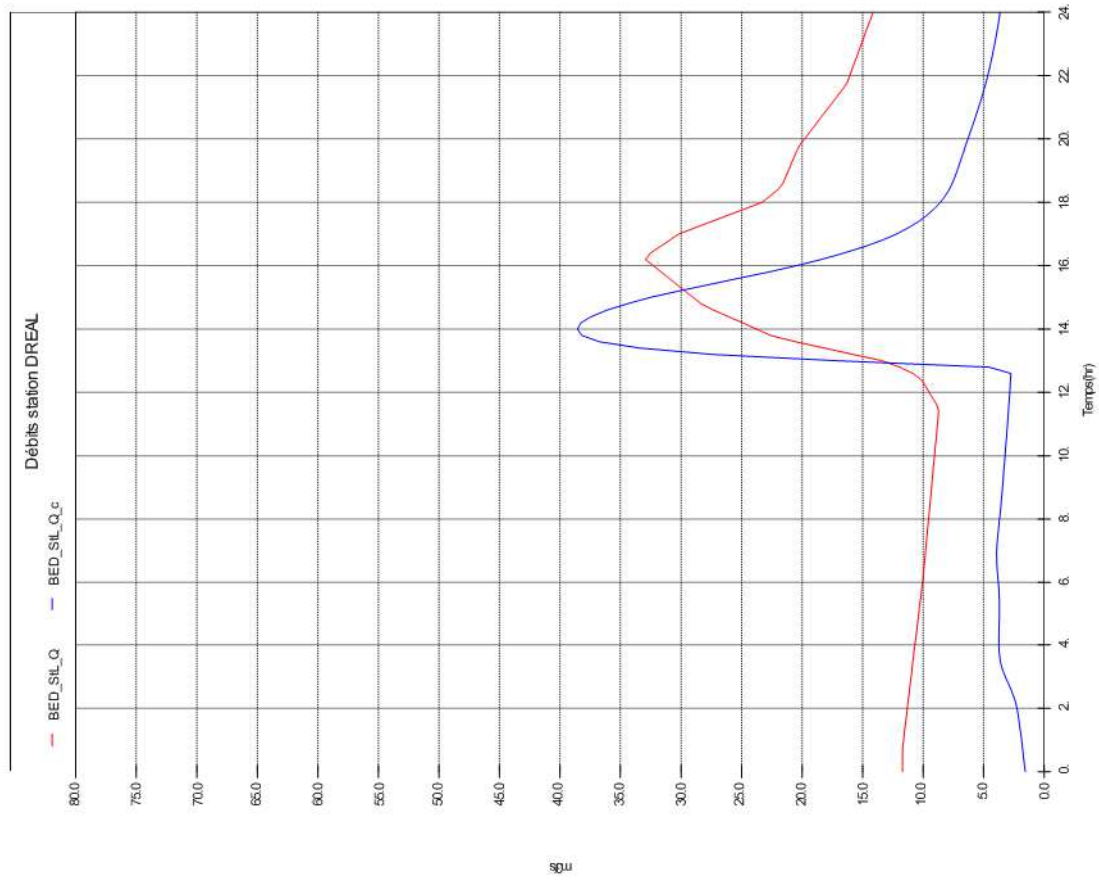
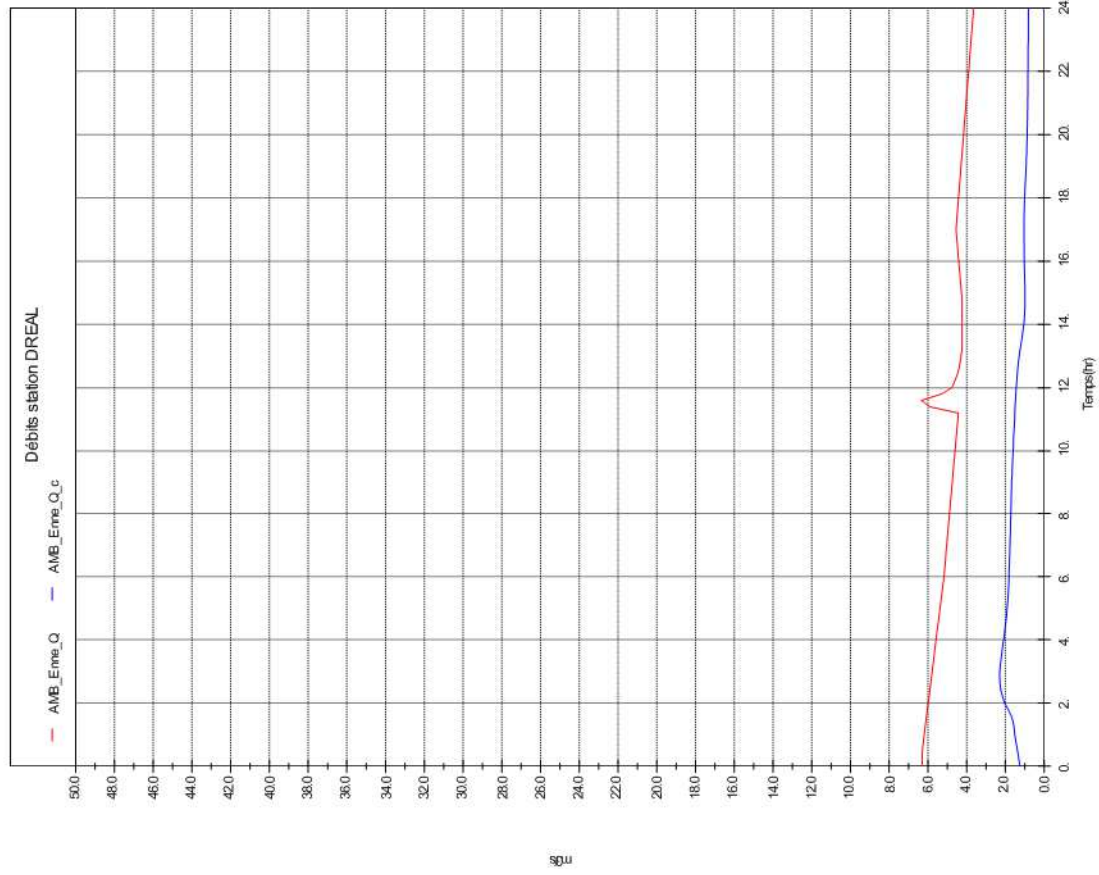


### Hydrogrammes





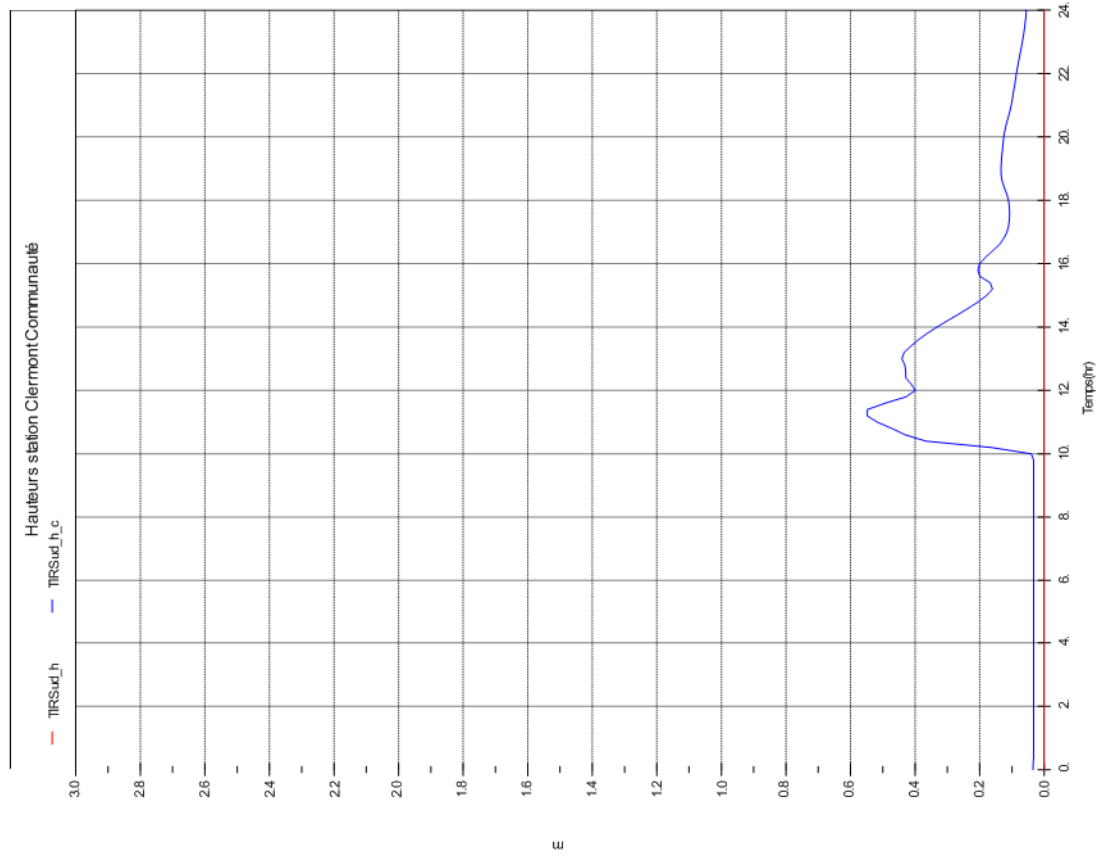
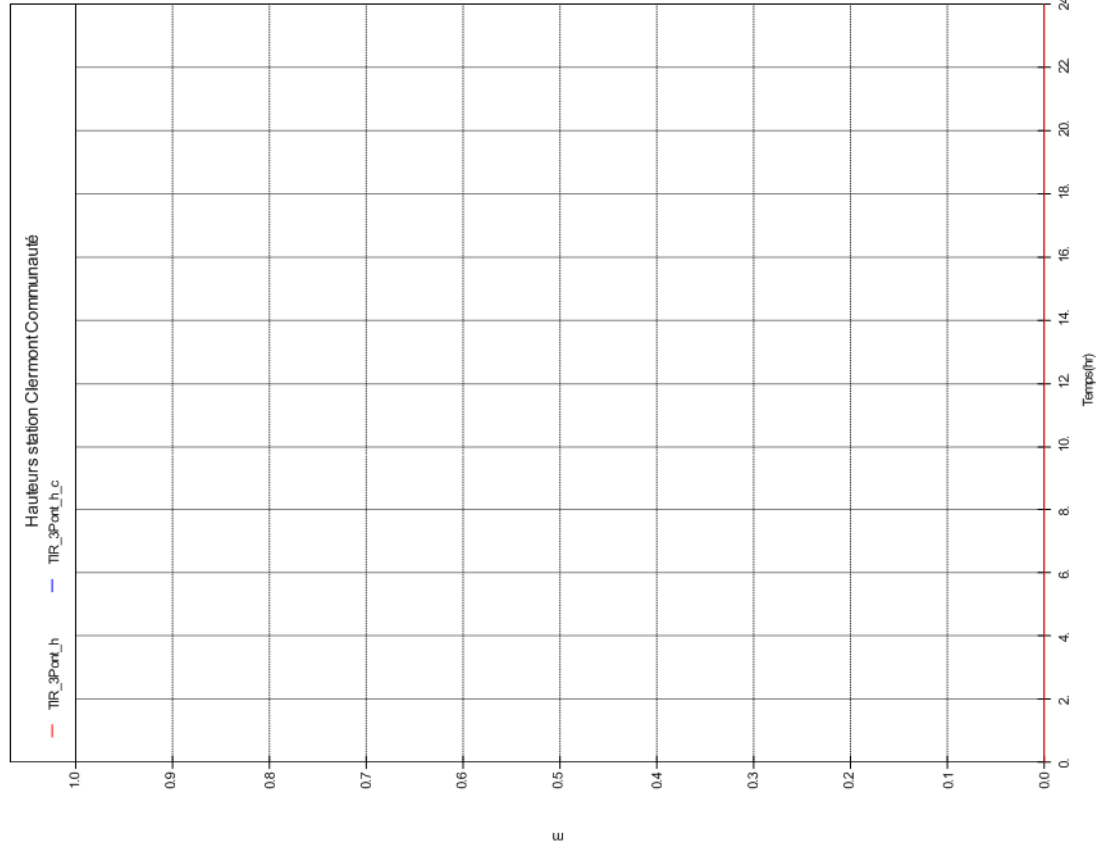
17 JUN 2010



## Hydrogrammes



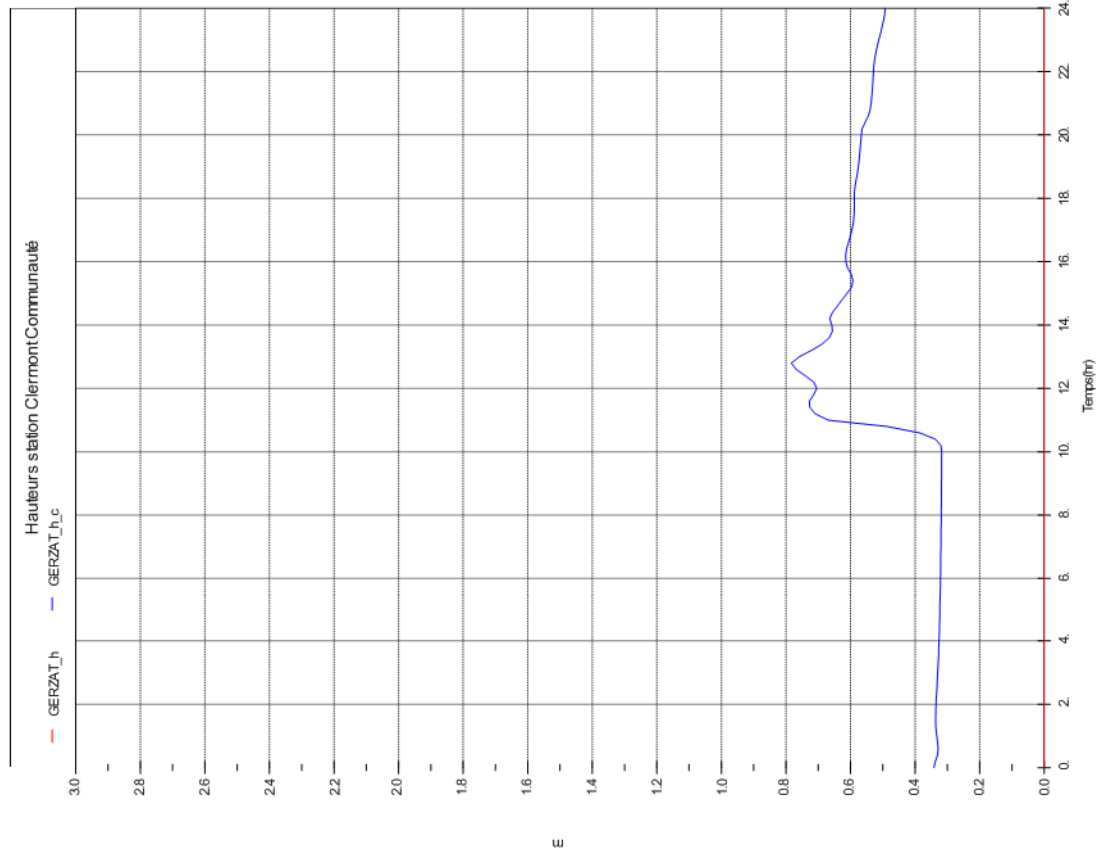
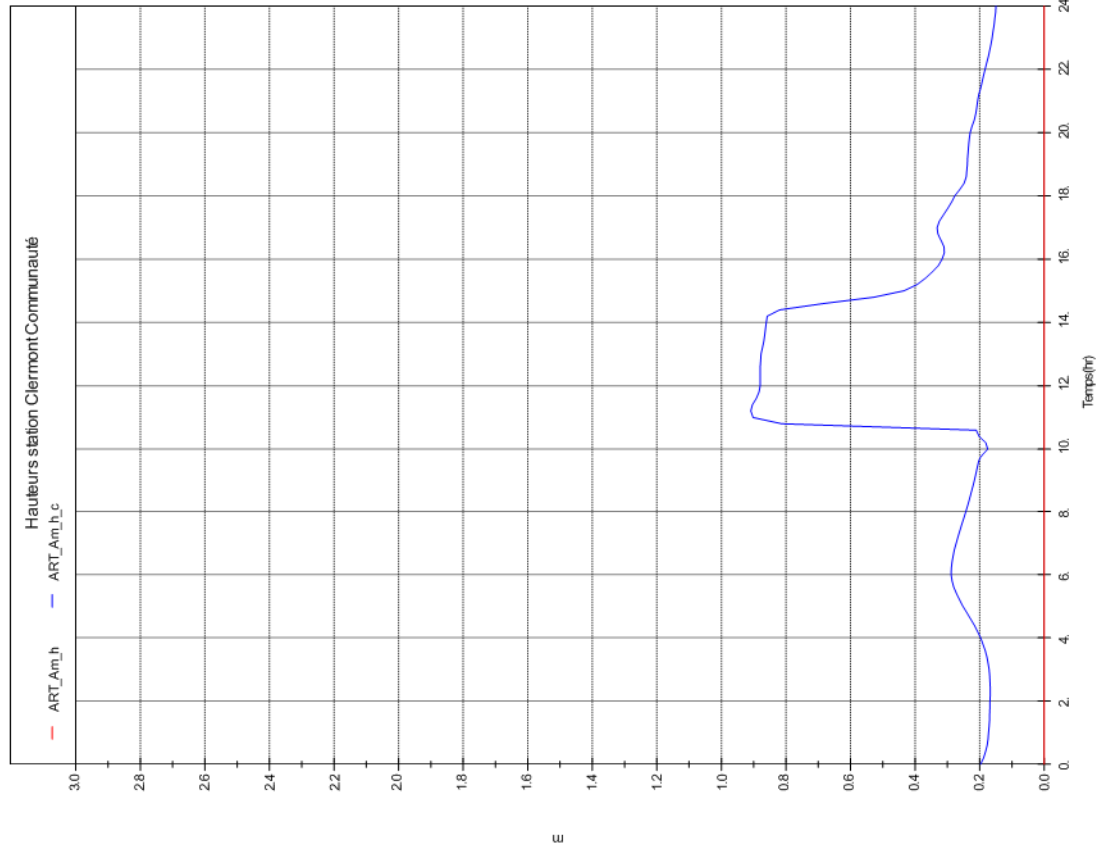
17 JUNIN 2010



### Limnigrammes



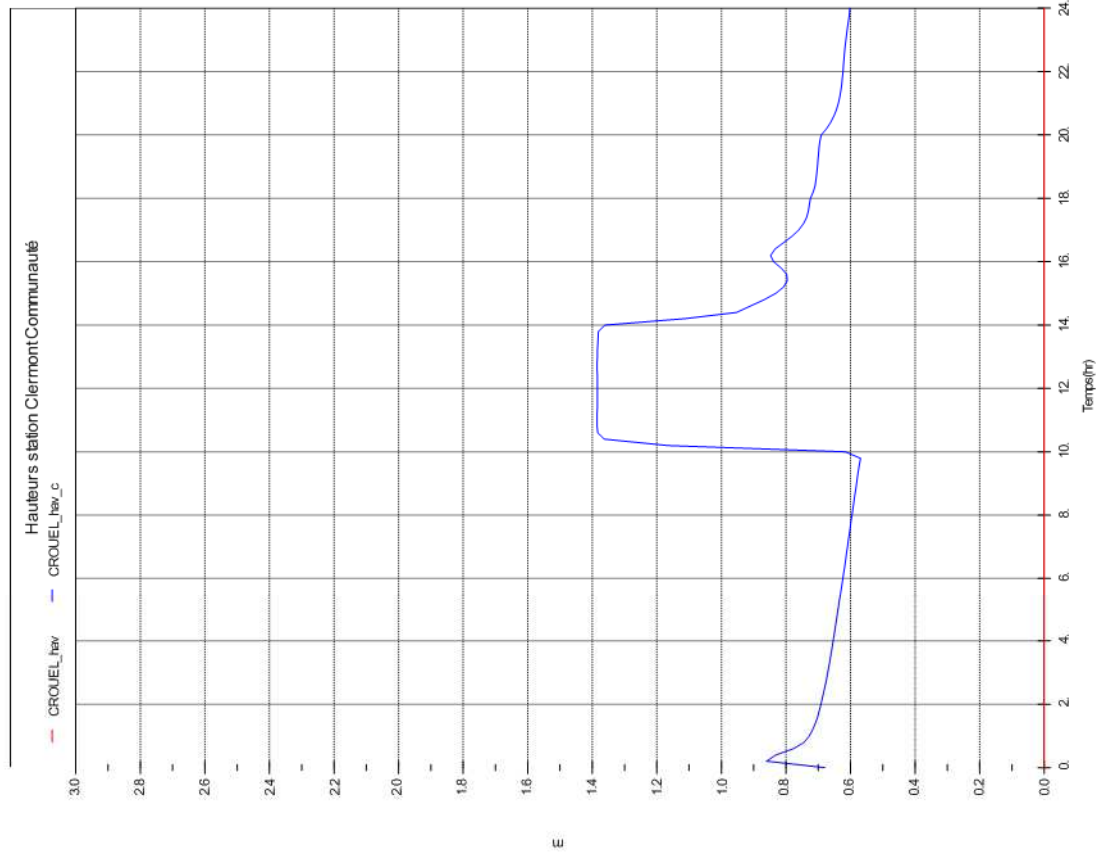
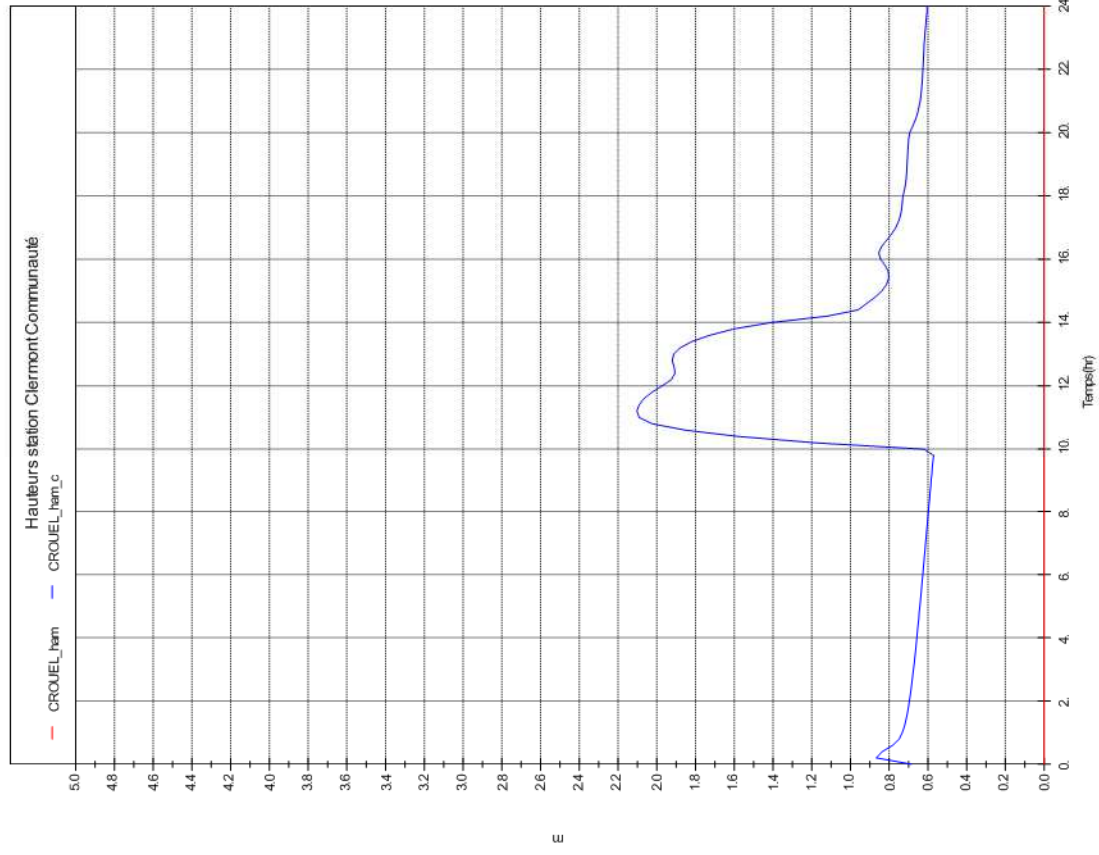
17 JUNI 2010



### Limnigrammes



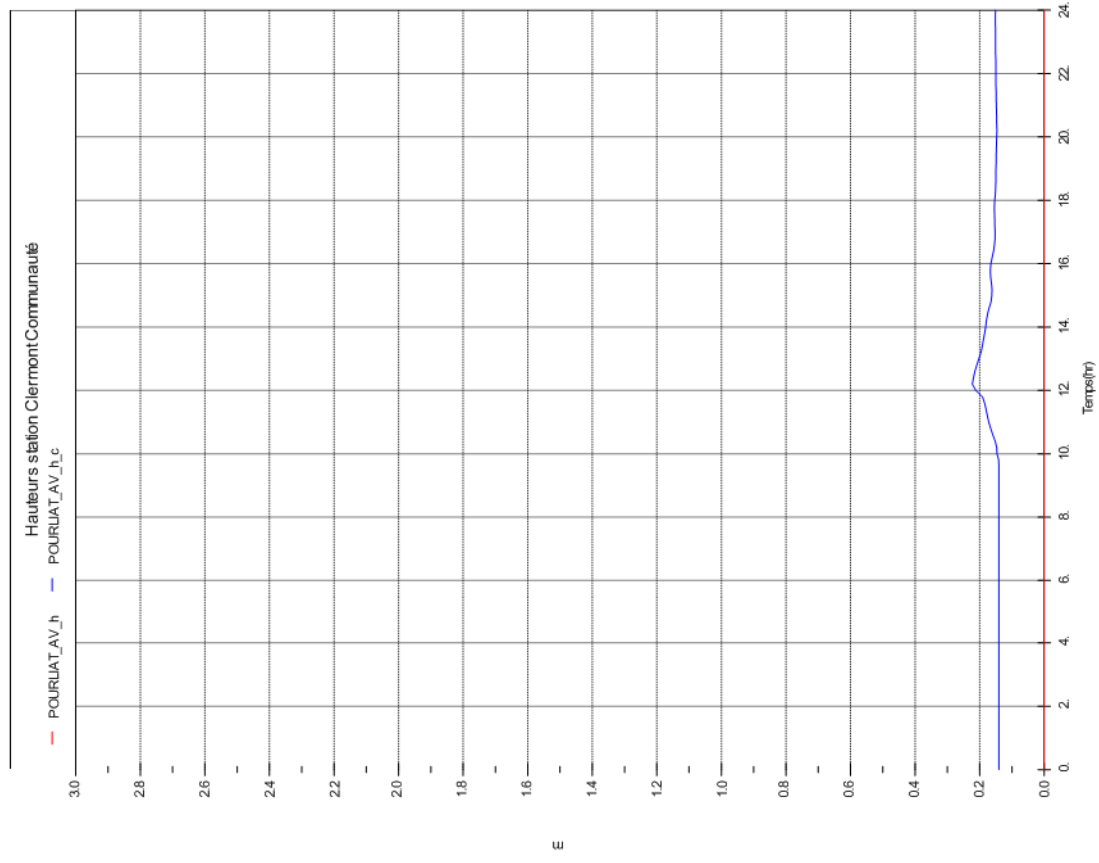
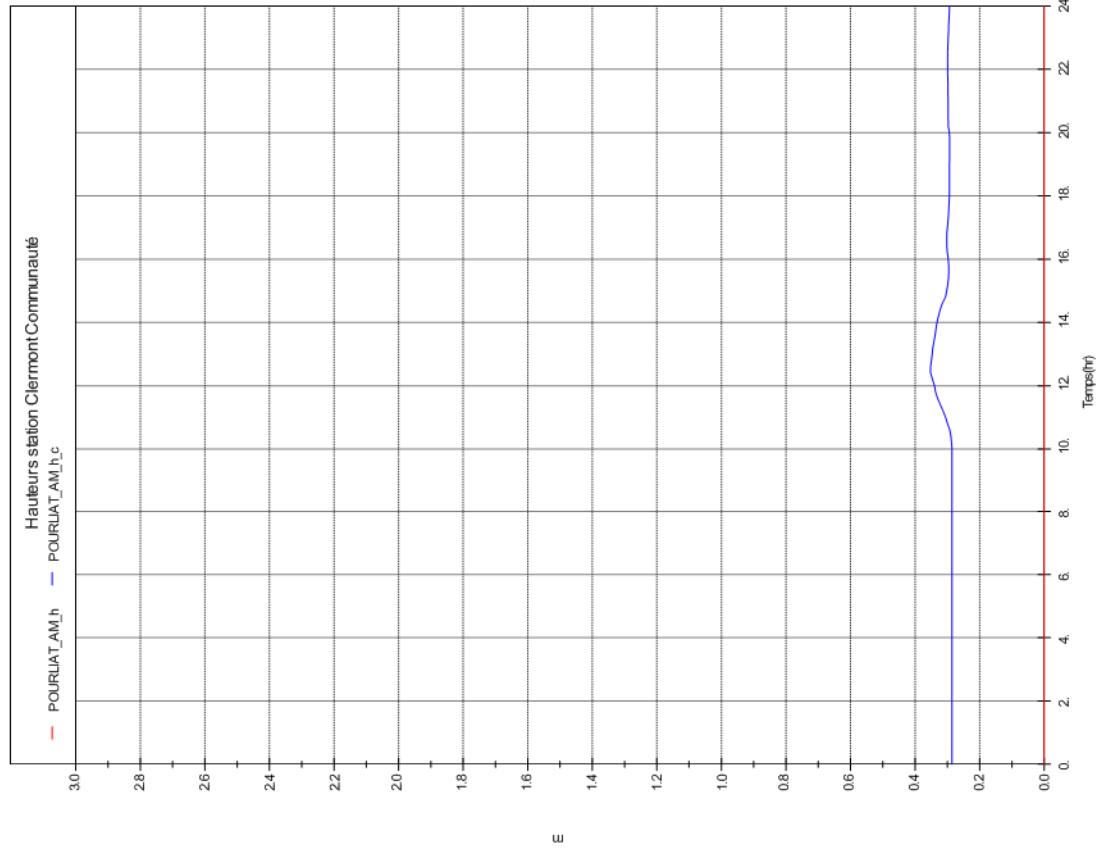
17 JUN 2010



### Limnigrammes



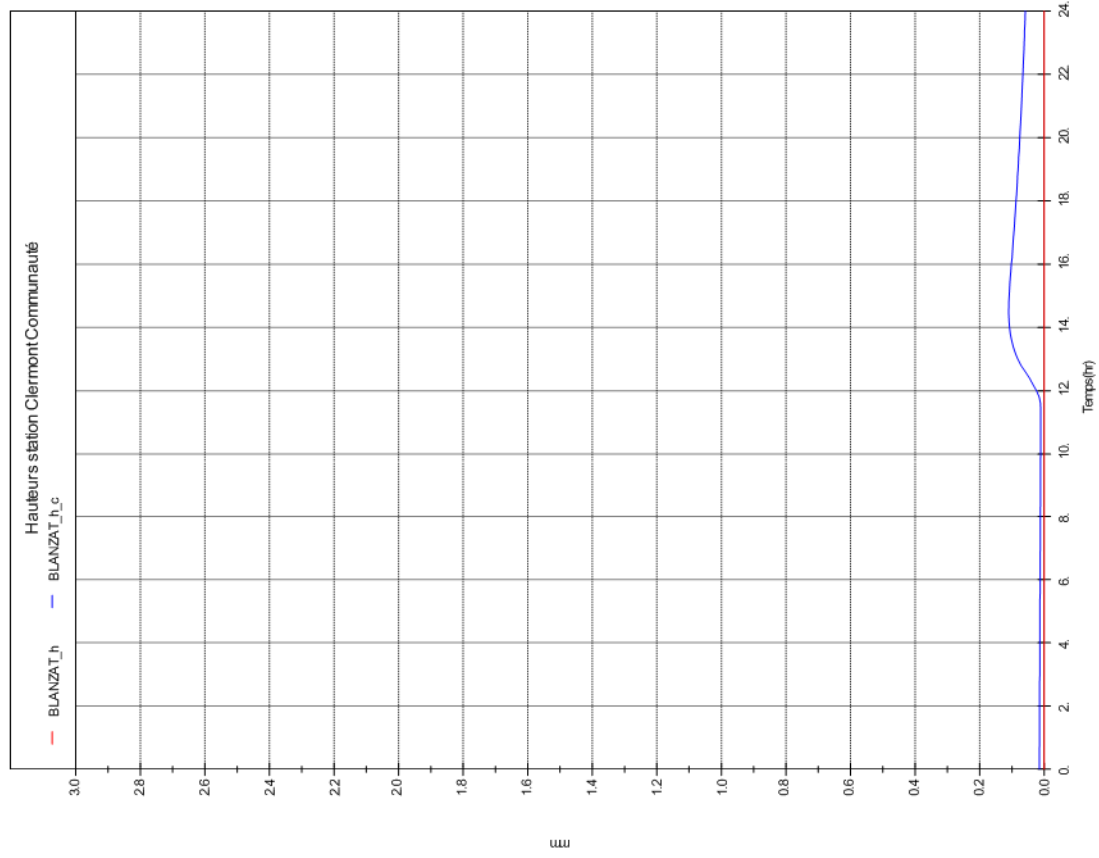
17 JUNI 2010



### Limnigrammes



17 JUN 2010



### Limnigrammes

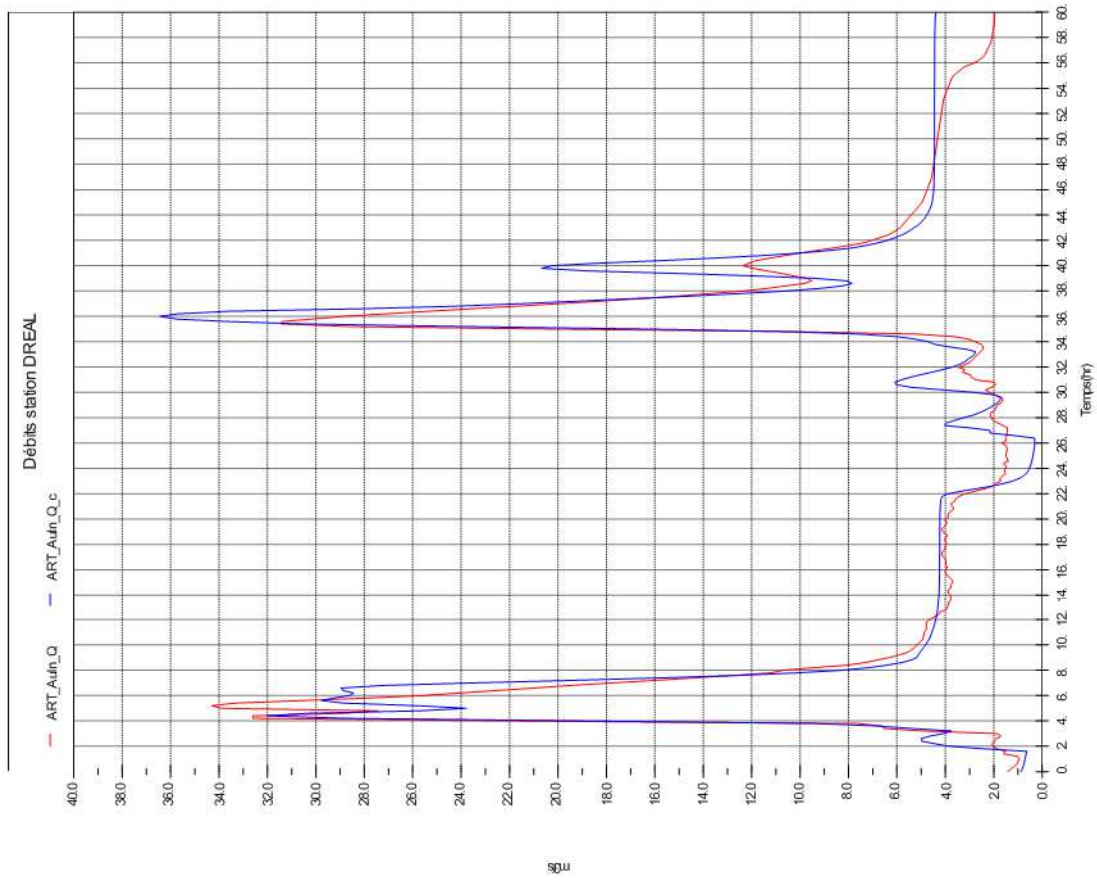
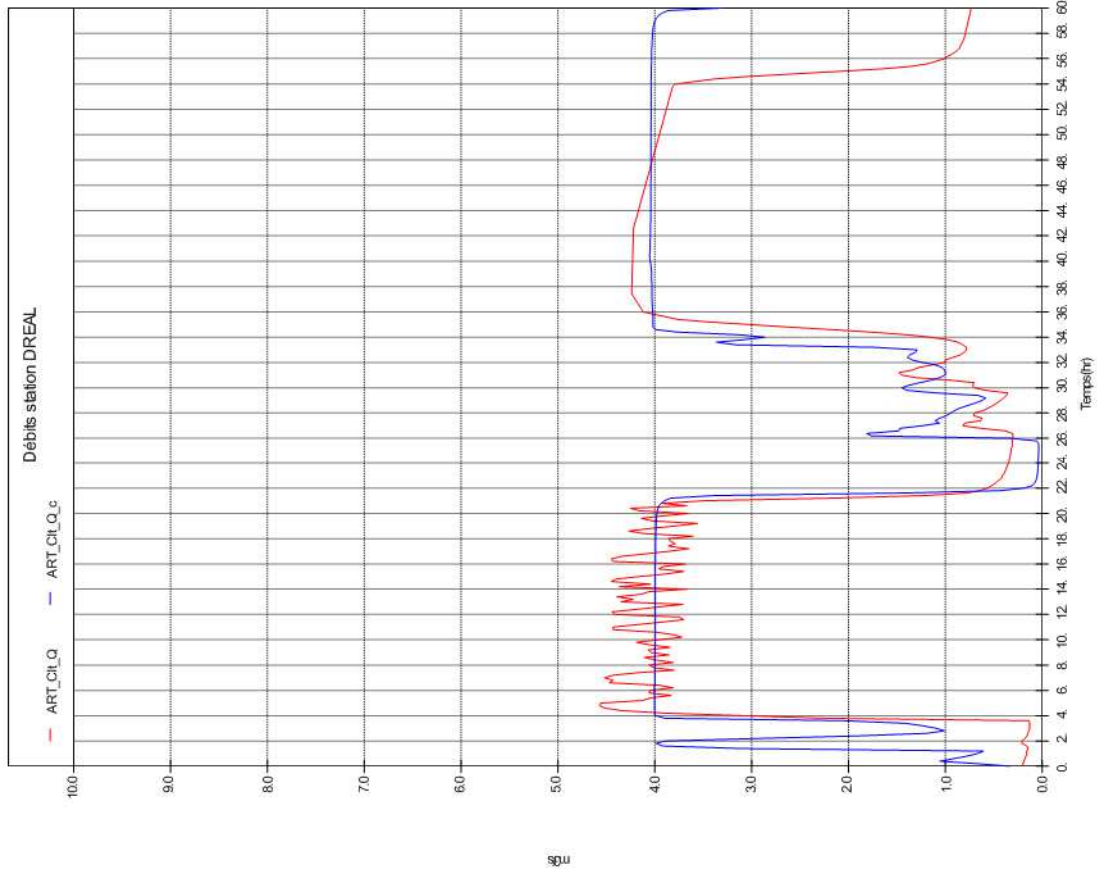


---

**ANNEXE 8 D**  
**RESULTAT DE CALAGE DU MODELE**  
**HYDROLOGIQUE**  
**EVENEMENT DU 06/09/2013**

---

6 AOUT 2013

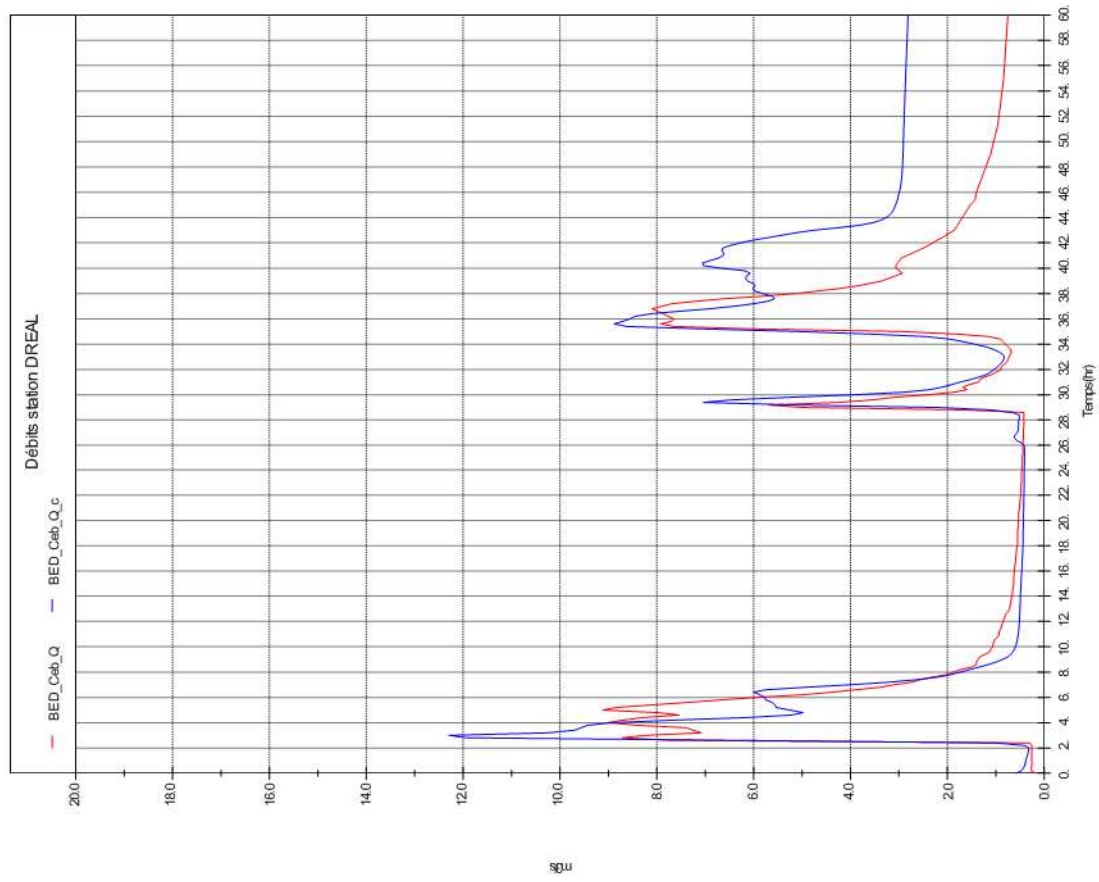


## Hydrogrammes



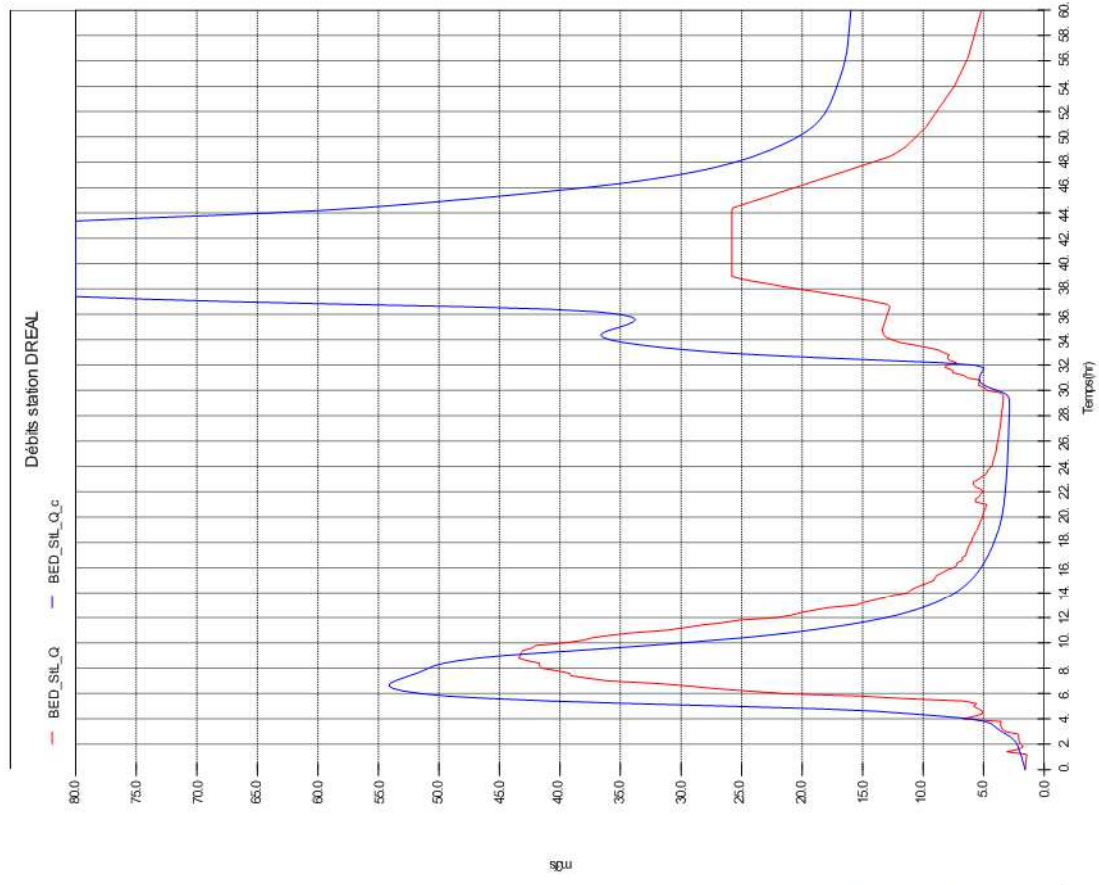
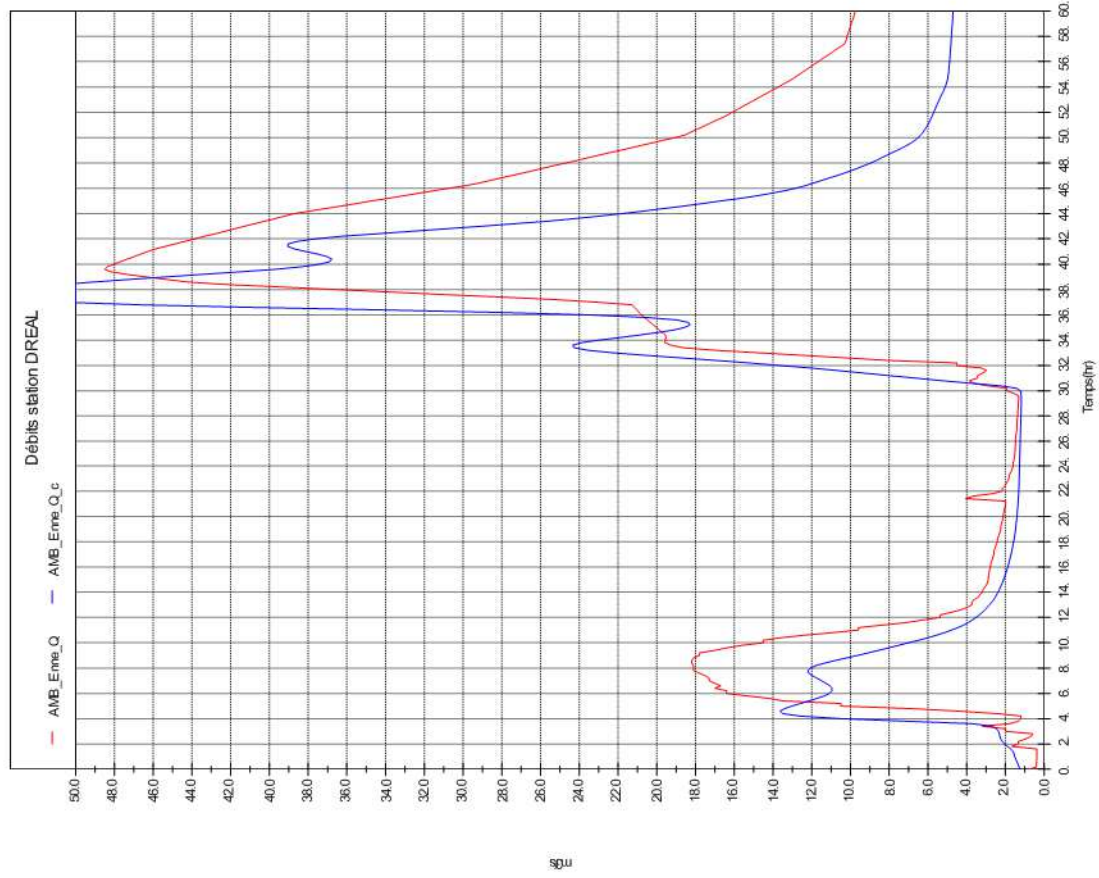


6 AOUT 2013



## Hydrogrammes

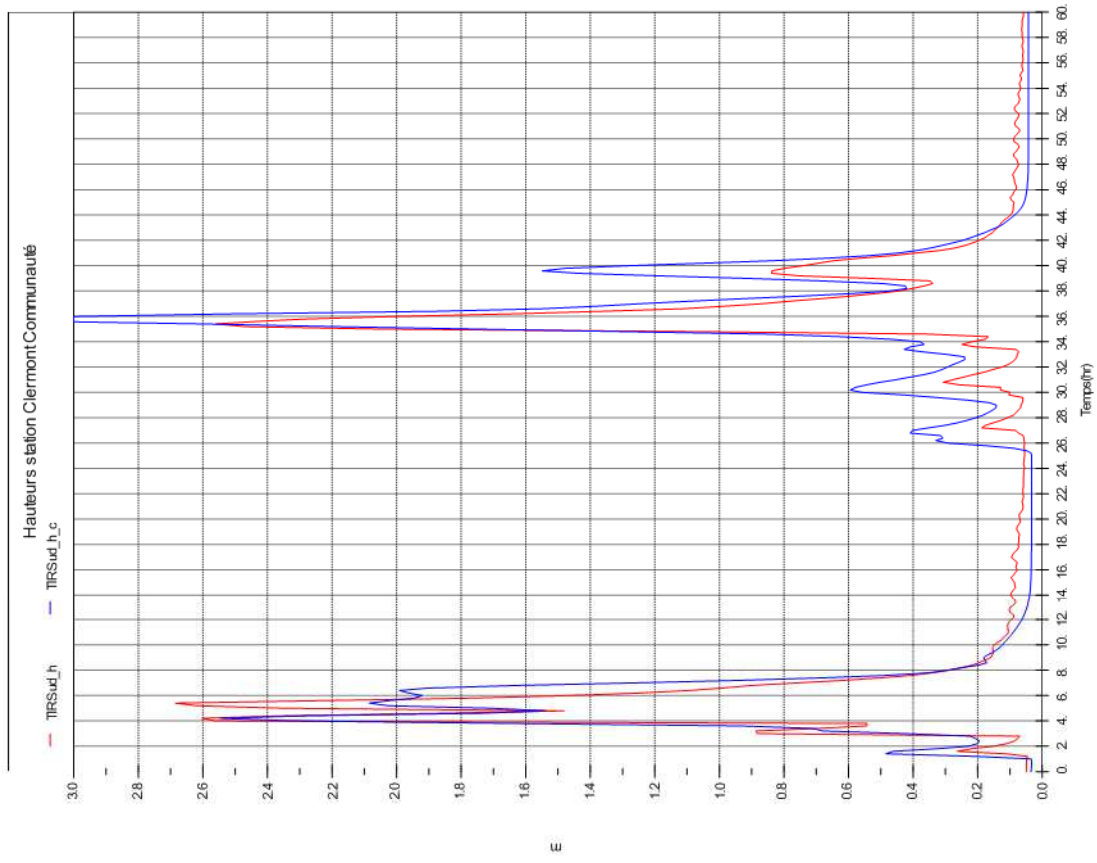
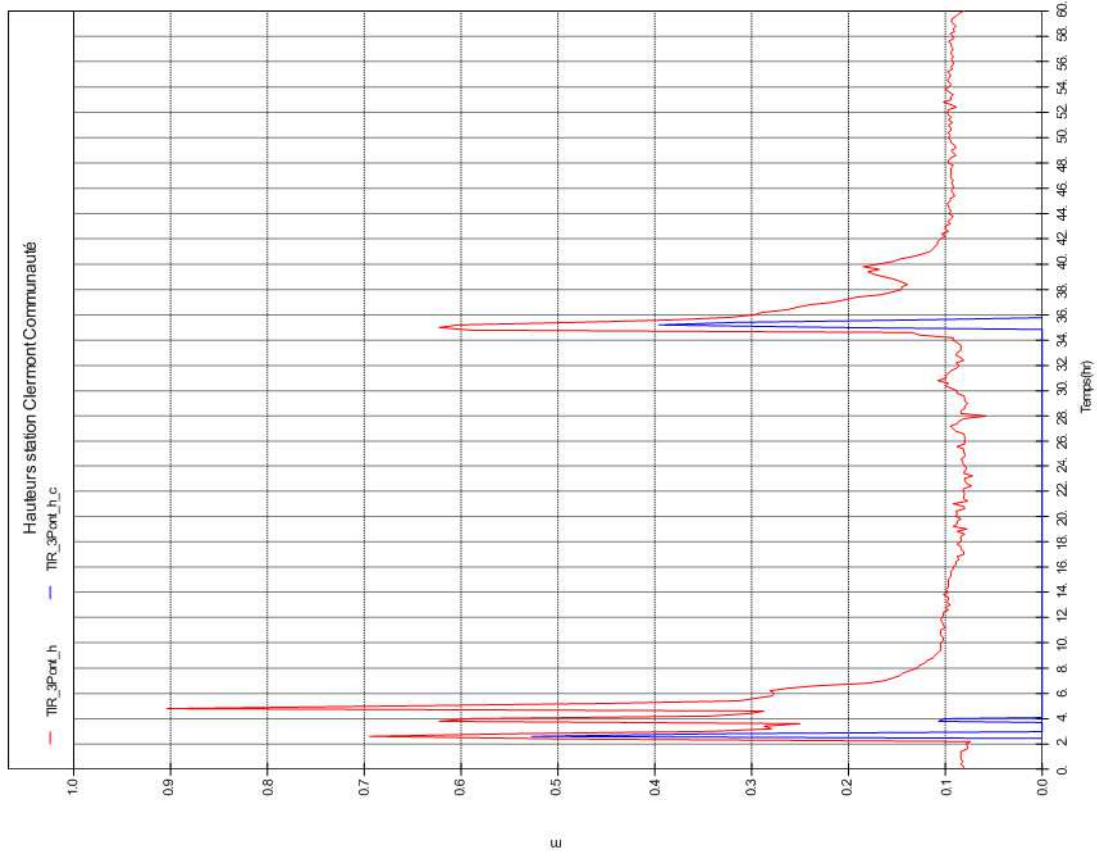
6 AOUT 2013



## Hydrogrammes



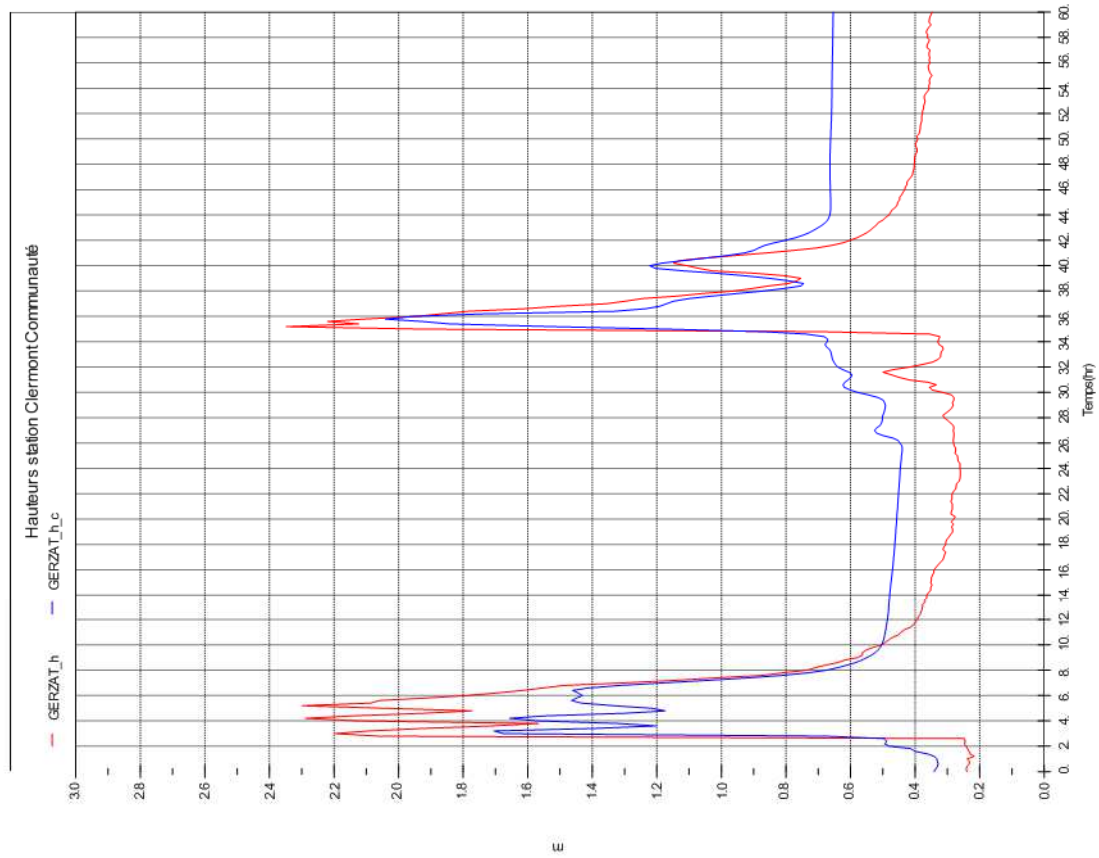
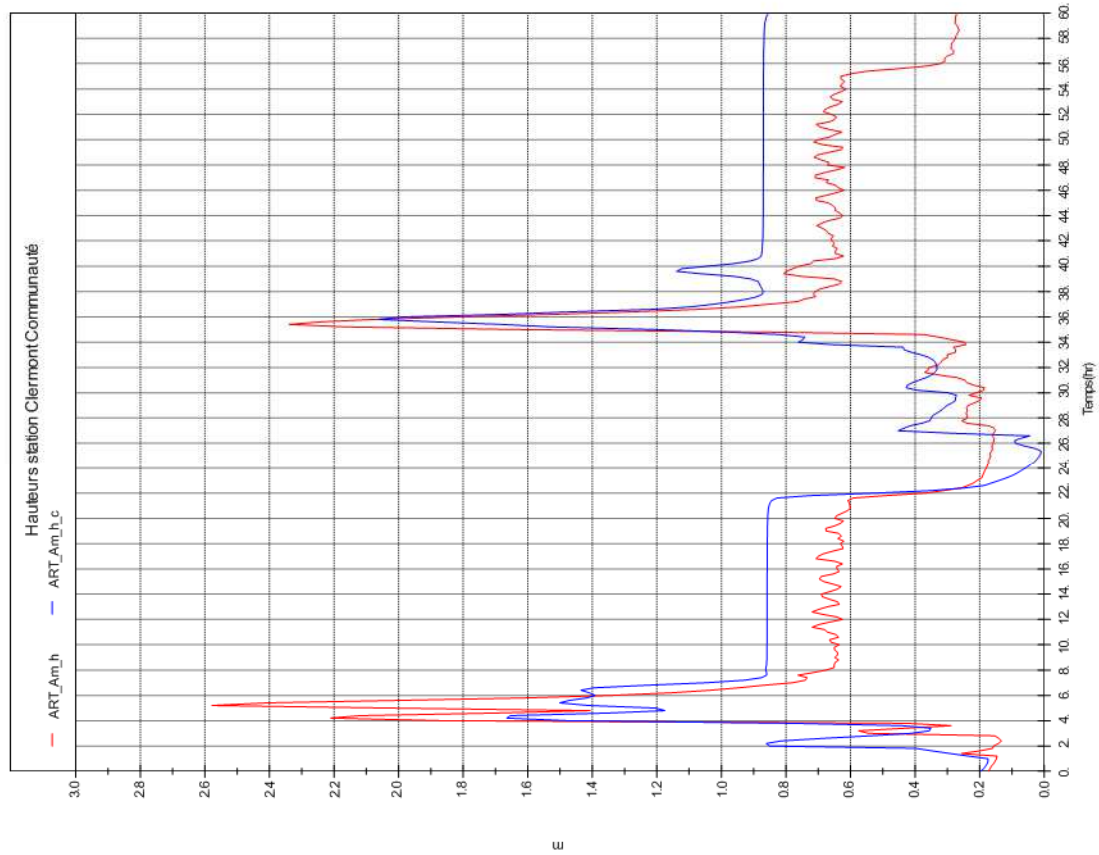
6 AOUT 2013



### Limnigrammes



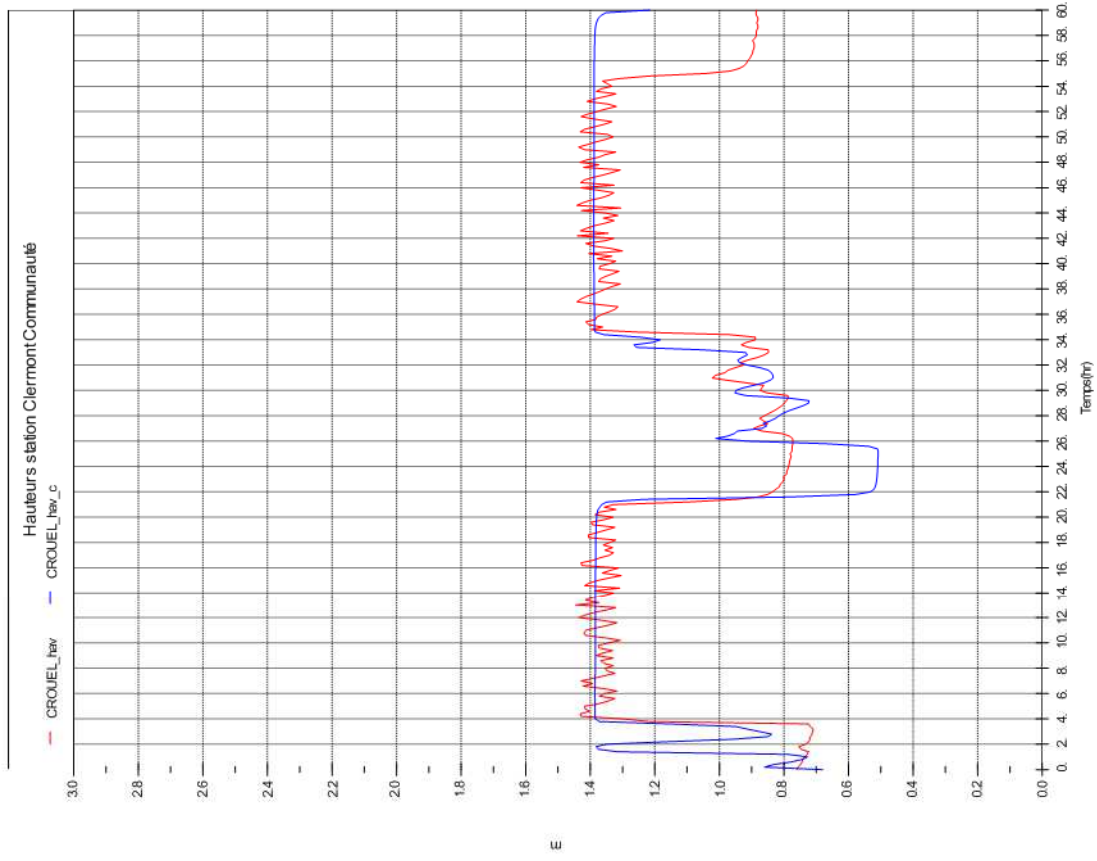
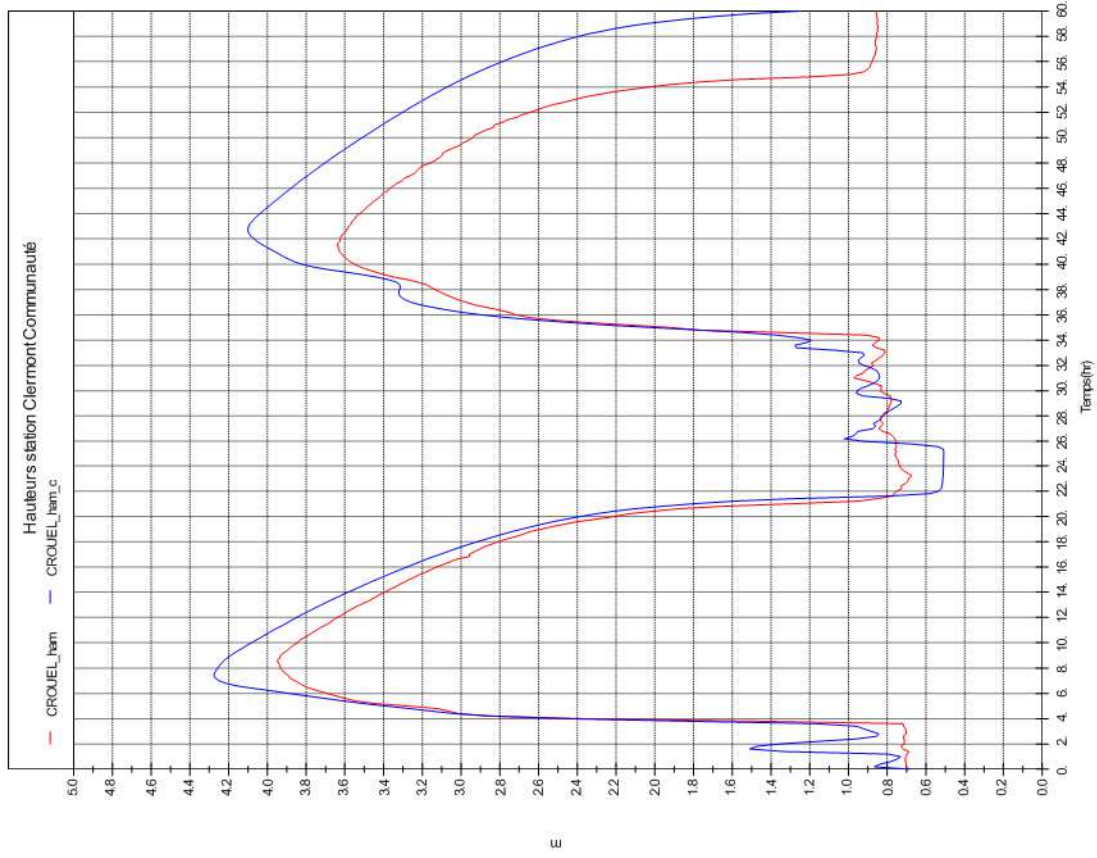
6 AOÛT 2013



### Limnigrammes



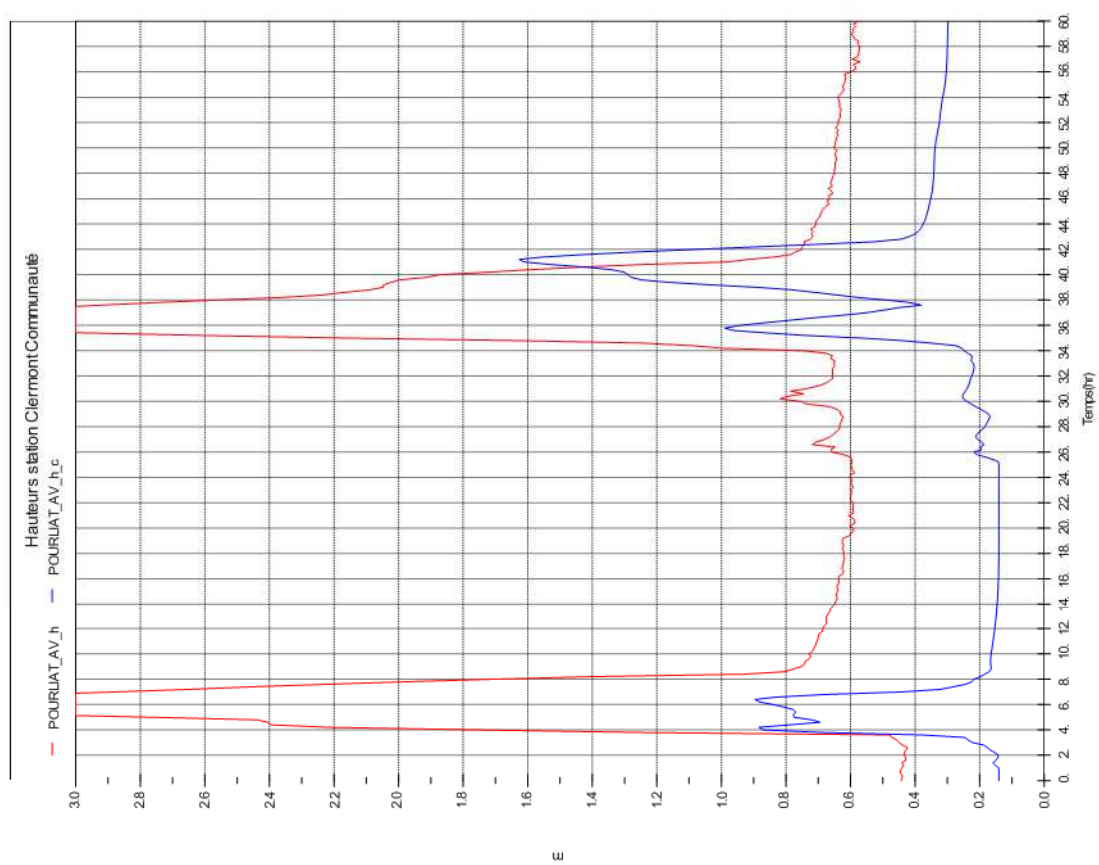
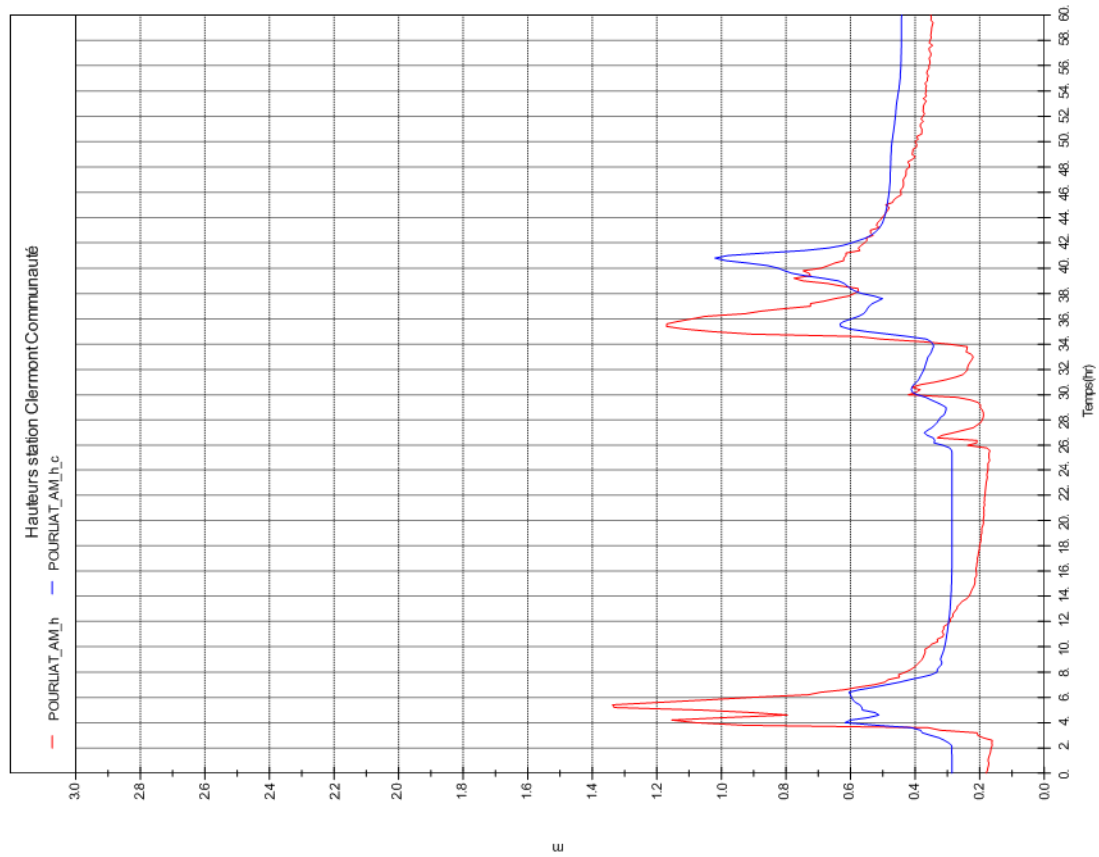
6 AOUT 2013



### Limnigrammes



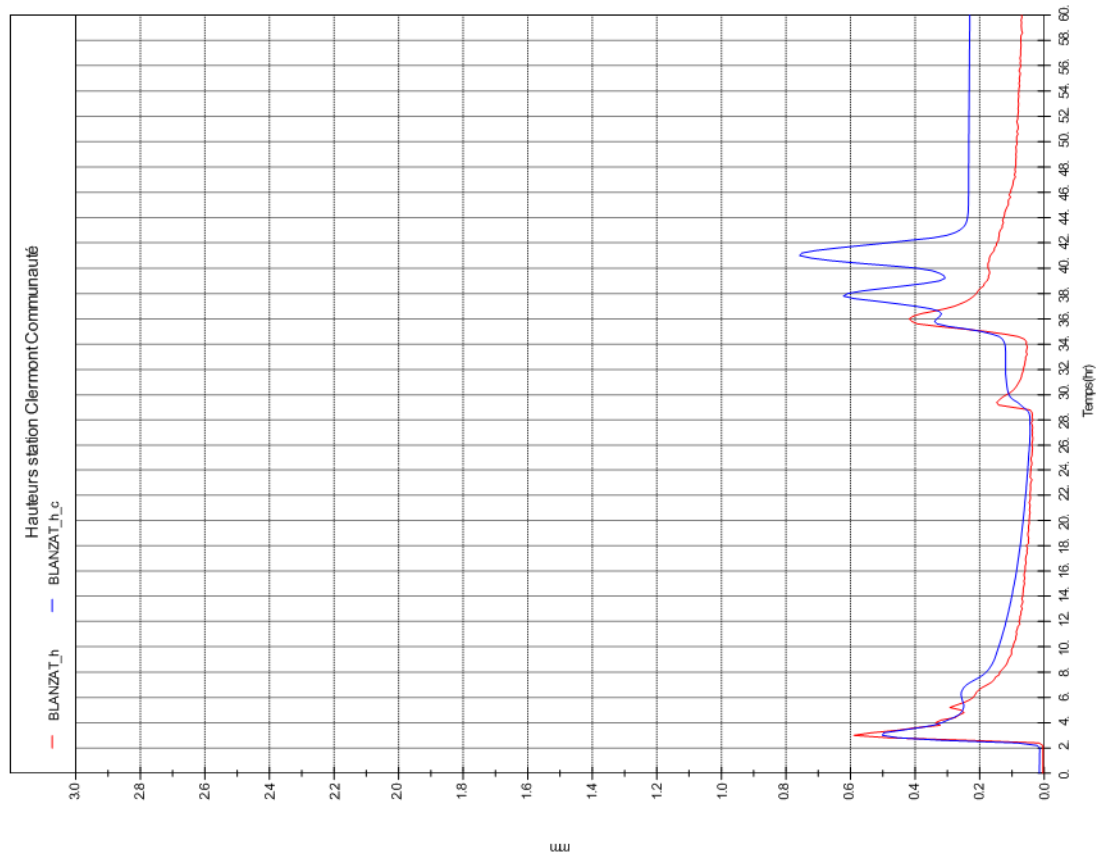
6 AOUT 2013



### Limnigrammes



6 AOUT 2013



## Limnigrammes