



**HAL**  
open science

# Analyse des structures temporelles de pluies pour la définition de hyetogrammes en entrée de la chaîne de dimensionnement des bandes tampons végétalisées **BUVARD**

C. Catalogne, Claire Lauvernet, Etienne Leblois

► **To cite this version:**

C. Catalogne, Claire Lauvernet, Etienne Leblois. Analyse des structures temporelles de pluies pour la définition de hyetogrammes en entrée de la chaîne de dimensionnement des bandes tampons végétalisées BUVARD. [Rapport de recherche] irstea. 2016, pp.14. hal-02606460

**HAL Id: hal-02606460**

**<https://hal.inrae.fr/hal-02606460>**

Submitted on 16 May 2020

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

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



# Analyse des structures temporelles de pluies pour la définition de hyetogrammes en entrée de la chaîne de dimensionnement des bandes tampons végétalisées BUVARD

---

*Note technique*

*Clotaire Catalogne*

*Claire Lauvernet*

*Etienne Leblois*

Irstea (Centre de Lyon-Villeurbanne) - Équipe « Pollutions Diffuses », UR MAEP.  
5 rue de la Doua, CS70077 - 69626 VILLEURBANNE Cedex. 2016.  
Contact : [claire.lauvernet@irstea.fr](mailto:claire.lauvernet@irstea.fr)

# Table des matières

---

<b>1.</b>	<b>OBJECTIFS.....</b>	<b>3</b>
<b>2.</b>	<b>LA CLASSIFICATION EN ZONES CLIMATIQUES .....</b>	<b>4</b>
<b>3.</b>	<b>ANALYSE DES STRUCTURES TEMPORELLES DE PLUIES .....</b>	<b>7</b>
<b>3.1.</b>	<b>Données mobilisées.....</b>	<b>7</b>
<b>3.2.</b>	<b>Protocole.....</b>	<b>8</b>
3.2.1.	<i>Extraction des hyetogrammes empiriques.....</i>	<i>8</i>
3.2.2.	<i>Ajustement de modèles de hyetogrammes.....</i>	<i>11</i>
<b>3.3.</b>	<b>Résultats : paramètres pour la reconstitution des hyetogrammes .....</b>	<b>13</b>

# 1. OBJECTIFS

La chaîne de modélisation mise au point par l'équipe « pollution diffuse » pour le dimensionnement des bandes tampons végétalisées destinées à l'atténuation des transferts de pesticides par ruissellement nécessite de définir des scénarios d'évènements pluvieux avant la construction d'un hydrogramme de ruissellement émis par la zone contributive (versant intercepté par la bande tampon). Le calcul de l'hydrogramme de ruissellement s'effectue selon la méthode du SCS-CN et nécessite la définition d'un hyetogramme de pluie donnant la répartition des intensités pluvieuses sur la durée D de l'évènement.

Les évènements pluvieux considérés sont issus de la méthode de régionalisation SHYREG (Arnaud et Lavabre, 1999<sup>1</sup>), caractérisés par :

- une intensité I
- une durée D (= 1, 2, 3, 4, 6, 12, 24, 48, 72 h)
- une période de retour T de 1 an saisonnalisée (i.e. une valeur pour la période hivernale de décembre à mai et une valeur pour la période estivale de juin à novembre).

Les valeurs correspondantes sont disponibles à l'échelle de la France sur des mailles des 16 km<sup>2</sup>. Afin de limiter le nombre de scénarios explorés, quatre types d'évènements pluvieux ont été retenus pour le dimensionnement :

- épisode estival court (D = 1h), dénommé S01 par la suite
- épisode estival long (D = 6h), dénommé S06 par la suite
- épisode hivernal court (D = 2h), dénommé W02 par la suite
- épisode hivernal long (D = 12h), dénommé W12 par la suite

Jusqu'à présent la répartition des intensités pluvieuses sur la durée D était définie pour trois types d'évènements (Pic, Intermédiaire et Uniforme) quelle que soit la durée ou la maille considérée. Le type « Pic » était attribué de préférences aux épisodes courts et le type « Intermédiaire » aux épisodes longs. Ce choix était relativement arbitraire.

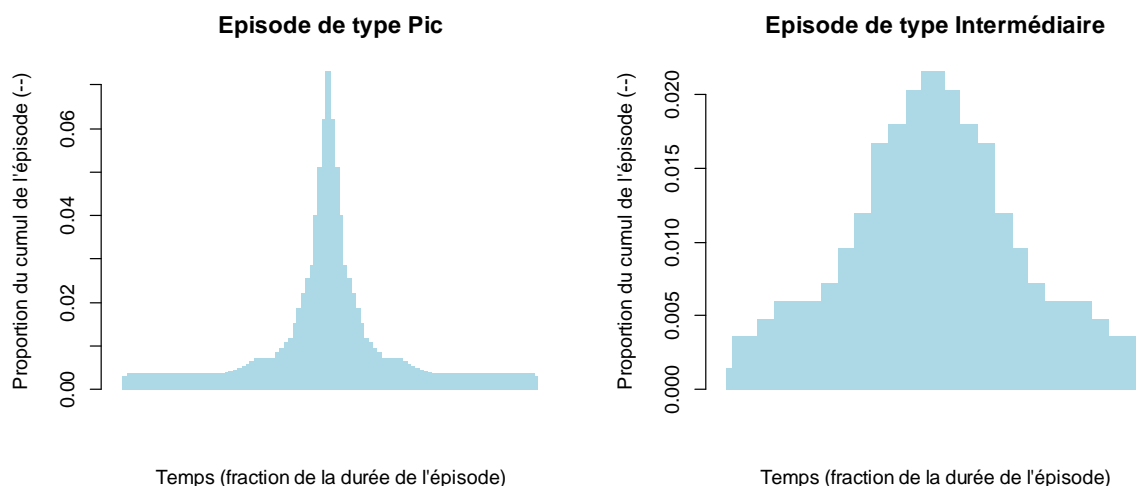


Figure 1 : Hyetogrammes implémentés par défaut dans la chaîne de dimensionnement des bandes tampons végétalisés pour deux types d'épisodes pluvieux dits « pic » et « intermédiaire »

Un travail a donc été entrepris afin d'affiner cette description et mieux différencier les structures temporelles des évènements pluvieux selon leur durée, la saison et la localisation géographique, en se basant sur des

<sup>1</sup> P. Arnaud et J. Lavabre (1999). *Nouvelle approche de la prédétermination des pluies extrêmes*. C. R. Acad. Sci., Sciences de la Terre et des planètes, Géosciences de surface, hydrologie-hydrogéologie 328, 615-620

données. Ce travail s'appuie sur l'analyse des observations à pas de temps fin réalisées par quatre postes pluviométriques jugés représentatifs de quatre grandes zones climatiques présentées ci-après.

## 2. LA CLASSIFICATION EN ZONES CLIMATIQUES

---

Cette étape est destinée à identifier un nombre réduit de grandes zones climatiques (cinq au maximum), considérées comme « homogènes » et pour lesquelles seront définies des structures temporelles de pluie types à partir de postes pluviométriques jugés représentatifs de chaque zone.

Ces zones ont été définies à l'aide d'une classification ascendante hiérarchique (méthode de Ward) dont les variables d'entrée sont les valeurs d'intensité des quatre types d'épisode pluvieux sélectionnés précédemment parmi les quantiles SHYREG.

Après examen des résultats (arbre de classification et carte), une première segmentation en quatre classes (ou zones) a été retenue. La discrimination s'effectue de manière univoque pour les quatre variables d'entrée : les valeurs d'intensités sont croissantes pour toutes les durées de pluies entre la classe 1 (régimes pluvieux de faibles intensités) et la classe 4 (régimes pluvieux de fortes intensités). Les classes sont non recouvrantes (bonne discrimination). La variance intraclasse par rapport à la variance totale est raisonnable (bonne homogénéité des classes) ; au-delà de quatre classe le gain en termes de diminution de la variance intraclasse s'avère beaucoup moins significatif.

La cartographie des quatre zones montre que la discrimination est principalement liée au relief. A ce titre, la classe 4 (régimes pluvieux de fortes intensités), inféodée aux altitudes supérieures à 1200m (comme une partie de la classe 3), ne possède pas de réel intérêt dans le cadre de ces travaux compte tenu de l'absence d'activités agricoles (et des besoins de bandes tampons) aux altitudes considérées. Un regroupement des classes 3 et 4 est par conséquent envisagé.

En revanche, la classe 1 recouvre un territoire particulièrement vaste. L'intérêt d'une nouvelle segmentation dans cette classe a été examiné (bien qu'elle ne soit pas la première proposée dans l'arbre de classification, la variance intraclasse étant plus importante dans les autres groupes). Elle apparaît assez pertinente du point de vue climatique avec une bonne discrimination du bassin Parisien (et plus secondairement des vallées abritées : plaine du Rhin, limagne), moins arrosé<sup>2</sup>. Les deux nouvelles zones résultantes ont donc été conservées (dénommées zone 1a et zone 1b).

---

<sup>2</sup> Il apparaît indirectement ici un facteur de discrimination basé sur les cumuls pluviométriques sans que cette variable ait été explicitement introduite dans la classification.

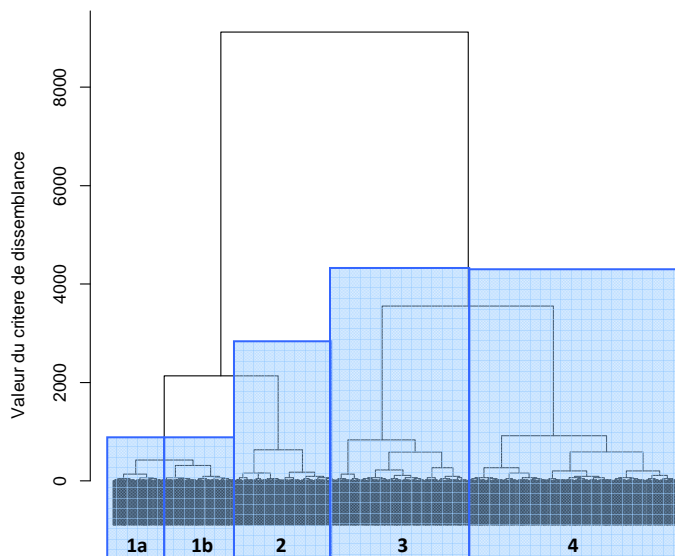


Figure 2 : Arbre de classification issu de la classification ascendante hiérarchique appliquée aux valeurs d'intensité S01, S06, W02, W12 extraites de la base SHYREG

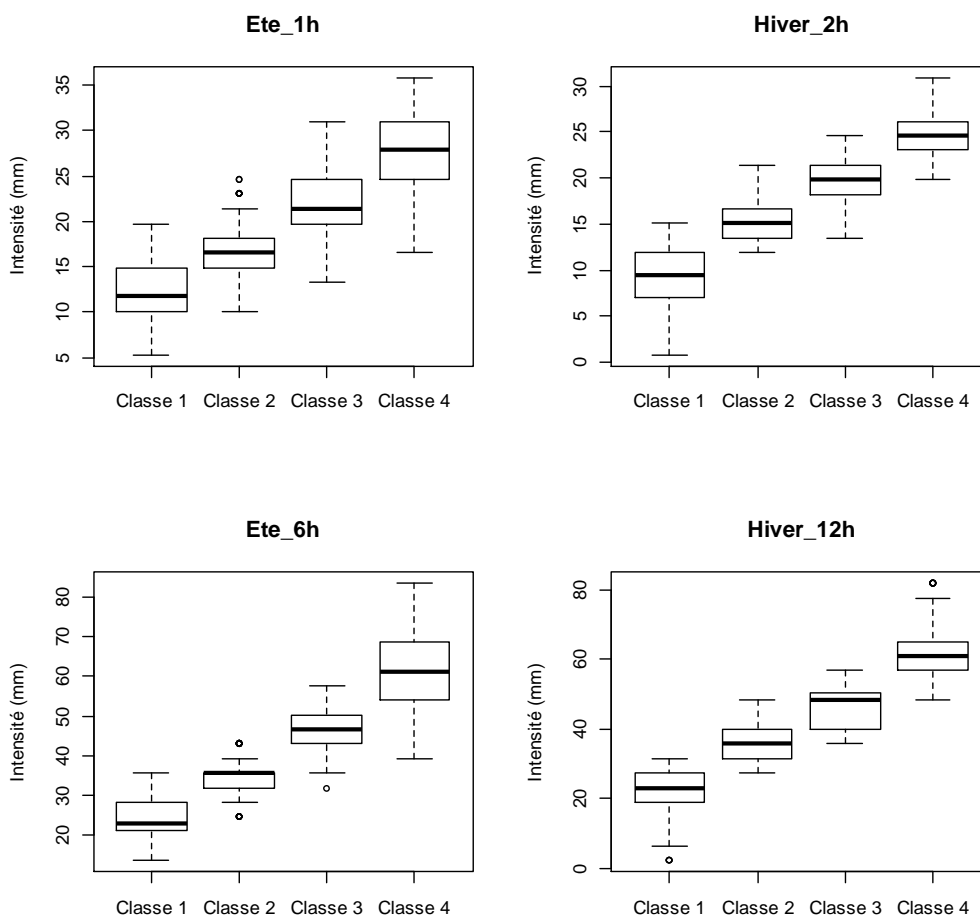


Figure 3 : Discrimination entre les classes climatiques pour les quatre types d'épisode étudiés

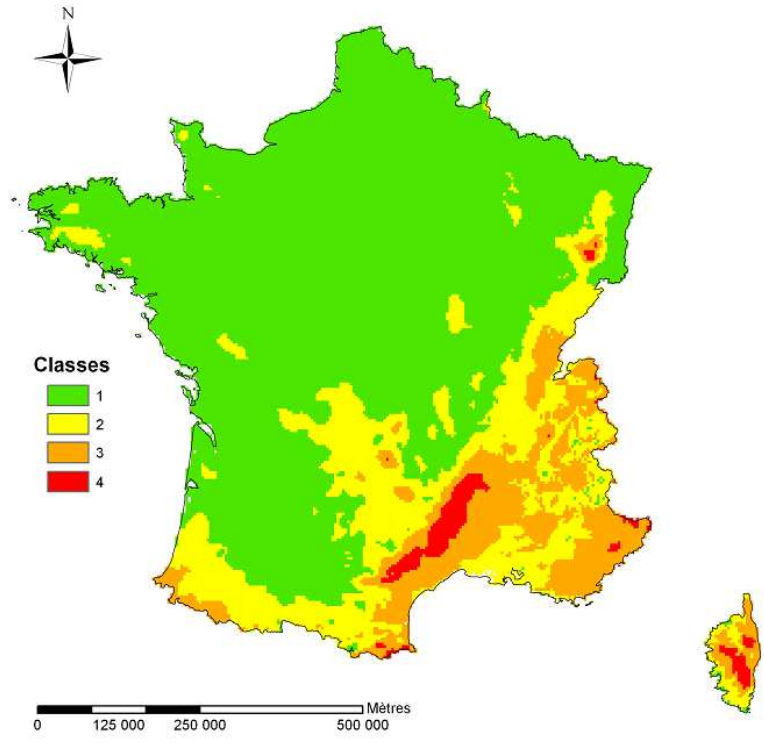


Figure 4 : Première cartographie des quatre classes climatiques obtenues suite à la classification ascendante hiérarchique

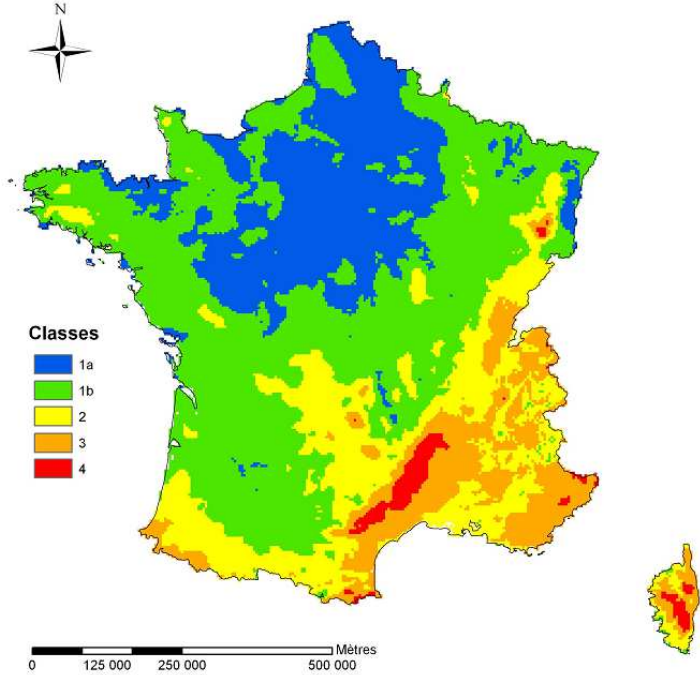


Figure 5 : Cartographie finale des cinq classes climatiques obtenues suite à la classification ascendante hiérarchique expertisée

### 3. ANALYSE DES STRUCTURES TEMPORELLES DE PLUIES

#### 3.1. Données mobilisées

Le protocole d'analyse a été appliqué sur quatre postes pluviométriques répartis dans les quatre zones climatiques présentées précédemment et disposants d'observations à pas de temps fin (pas de temps variable agrégé au pas de temps 5 minutes) sur au moins 15 années de manière à obtenir des résultats suffisamment stables du point de vue statistique. Ces postes sont jugés représentatifs de chaque zone climatique. L'analyse pourrait gagner en robustesse et en représentativité à élargissant la procédure à d'autres pluviomètres situés dans une même zone.

Les données mobilisées sont présentées dans le tableau suivant :

Zone	Dénomination du site	Coordonnées (Lambert II étendu)	Période d'observation utilisée	Sources et références
1a	Orgeval (77) (Station « BOISSY-P28 - BOISSY_P28 »)	X = 657 500 Y = 2426 500	1994 - 2015	<a href="http://data.datacite.org/10.17180/OBS.ORACLE">http://data.datacite.org/10.17180/OBS.ORACLE</a> <a href="http://gisoracle.irstea.fr/">http://gisoracle.irstea.fr/</a>
1b	Bourville (76)	X = 490 500 Y = 2534 500	1995 - 2015	Richet J-B., Ouvry J-F (2013). Programme PESTICEROS I – Observatoire des transferts de pesticides dans les eaux de ruissellement du bassin versant érosif de Bourville (76). Rapport AREAS, 328 pp.
2	Yzeron (69) (Station « 69154011 - Pluviomètre Pollionnay »)	X = 785 500 Y = 2086 500	1997 - 2015	Lagouy, M.; Branger, F.; Thollet, F.; Breil, P.; Dramais, G.; (2015): Suivi hydrologique du bassin versant périurbain de l'Yzeron; Irstea. <a href="http://dx.doi.org/10.17180/OBS.YZERON">http://dx.doi.org/10.17180/OBS.YZERON</a>
3 (4)	Roujan (34) (Station pluviographique ROG3)	X = 677 500 Y = 1834 500	1992 - 2015	OMERE observatory ( <a href="http://www.obs-omere.org">http://www.obs-omere.org</a> ) - funded by french institutes INRA and IRD and coordinated by INAT Tuis, INGRES Tunis, UMR Hydrosociétés Montpellier and UMR LISAH Montpellier.



Les quantiles issus de la base de données SHYREG pour les quatre types d'épisodes pluvieux considérés associé à chacun des quatre postes pluviométriques sont présenté dans le tableau suivant :

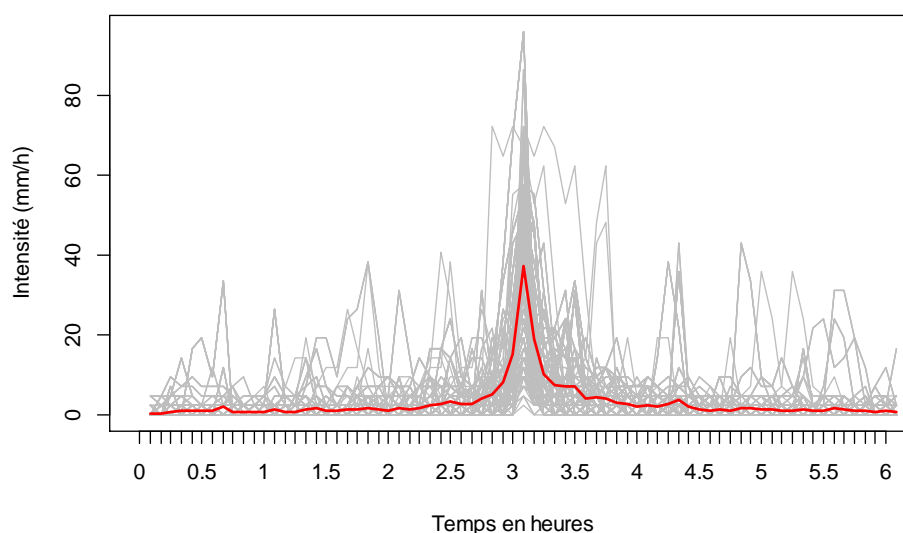
Zone	Dénomination du site	S01	S06	W02	W12
1a	Orgeval (77)	10.1	21.1	8.7	18.9
1b	Bourville (76)	11.7	24.7	8.7	23.1
2	Yzeron (69)	18.1	35.7	11.9	27.3
3 (4)	Roujan (34)	23	46.7	18.2	48.4

## 3.2. Protocole

### 3.2.1. Extraction des hyetogrammes empiriques

Le protocole d'analyse consiste à extraire l'ensemble des épisodes de durée D et d'intensité I pour la saison considérée (été ou hiver) observés dans les chroniques pluviométriques à pas de temps fin (cumuls sur 5 minutes). Afin d'obtenir un échantillon suffisamment large et statistiquement exploitable, une tolérance de 30% autour de la valeur d'intensité I est adoptée. Les épisodes sélectionnés sont ensuite recentrés sur la valeur maximale observée à pas de temps fin (pic d'intensité) puis superposés<sup>3</sup>. Une moyenne est ensuite calculée pour obtenir la structure d'un épisode type (en intensité et en cumul sur la durée D), en s'assurant que le cumul obtenu s'éloigne peu de la valeur I. Un exemple de résultat obtenu selon ce protocole est présenté ci-dessous.

**Saison = S - Durée = 6h - Intensité = 21.1mm**



<sup>3</sup> On note qu'il est fréquent d'inclure des « épisodes parasites » avant ou après le pic d'intensité.

Saison = S - Durée = 6h - Intensité = 21.1mm

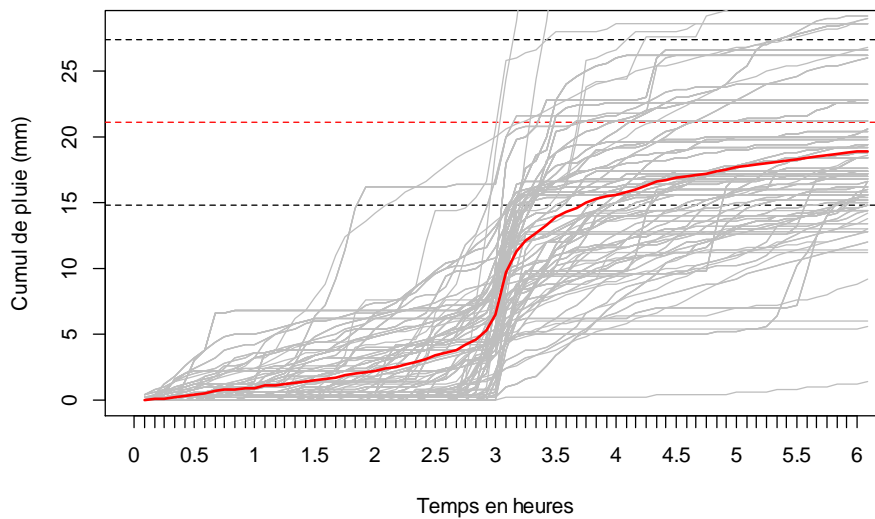


Figure 6 : Exemple de hyetogramme empirique moyen (en rouge) obtenu après extraction de tous les épisodes d'intensité  $I = 21.1\text{mm}$  observés sur  $D = 6\text{h}$  pour l'Yzeron (exprimé en intensité en haut et sous la forme de cumul de pluie depuis le début de l'épisode en bas)

Quel que soit le site, l'analyse des hyetogrammes empiriques obtenus aux quatre postes pluviométriques montre que :

- La répartition des pluies dans le temps est généralement dissymétrique par rapport au pic avec une montée plus brutale que la descente. Cette dissymétrie est plus marquée pour les épisodes hivernaux. Elle n'était pas restituée avec les modèles de hyetogrammes utilisés par défaut jusqu'à présent.
- A durée égale, les épisodes estivaux présentent des pics d'intensité relative plus forts que les épisodes hivernaux. La pluie est donc « mieux répartie » sur la durée  $D$  durant les épisodes hivernaux. La différence entre les deux saisons s'avère toutefois nettement moins évidente qu'attendu.
- De même, les pics d'intensité relative diminuent lorsque la durée de l'épisode augmente. Dans tous les cas, la forme de pic reste marquée quelle que soit la durée, invalidant ainsi le modèle de hyetogramme « Intermédiaire » utilisé par défaut jusqu'à présent pour les épisodes « longs ».

La comparaison entre sites montre que les différences liées à la zone géographique s'avèrent relativement mineures (mêmes ordres de grandeur)<sup>4</sup> par rapport aux différences entre saisons ou durées d'épisode. Contre toute attente, les épisodes pluvieux observés sur le bassin de Bourville (climat océanique) et de l'Orgeval (climat océanique dégradé) présentent les pics d'intensité les plus forts sur au moins trois des types d'épisode ; les bassins de Roujan (climat méditerranéen) et de l'Yzeron (climat continental et semi-montagnard) s'avèrent relativement similaires avec des pics d'intensité plus faibles.

<sup>4</sup> Attention, les coefficients étant adimensionnels, ils masquent les différences d'intensité et de cumul sur la durée  $D$

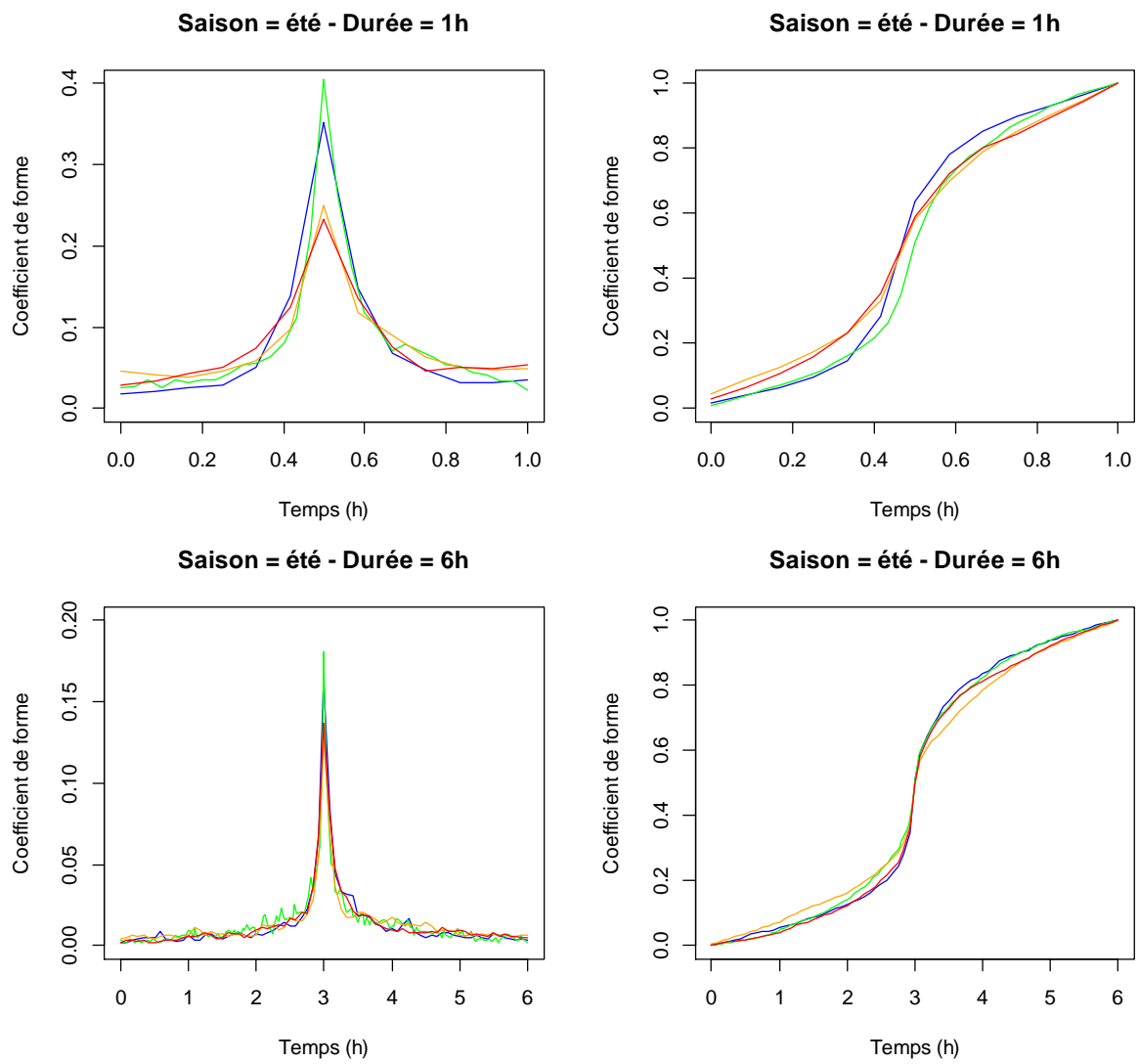


Figure 7 : Hyetogrammes empiriques bruts et cumulés obtenus pour Roujan (rouge), l'Yzeron (orange), Bourville (vert) et l'Orgeval (bleu) pour les épisodes S01 et S06

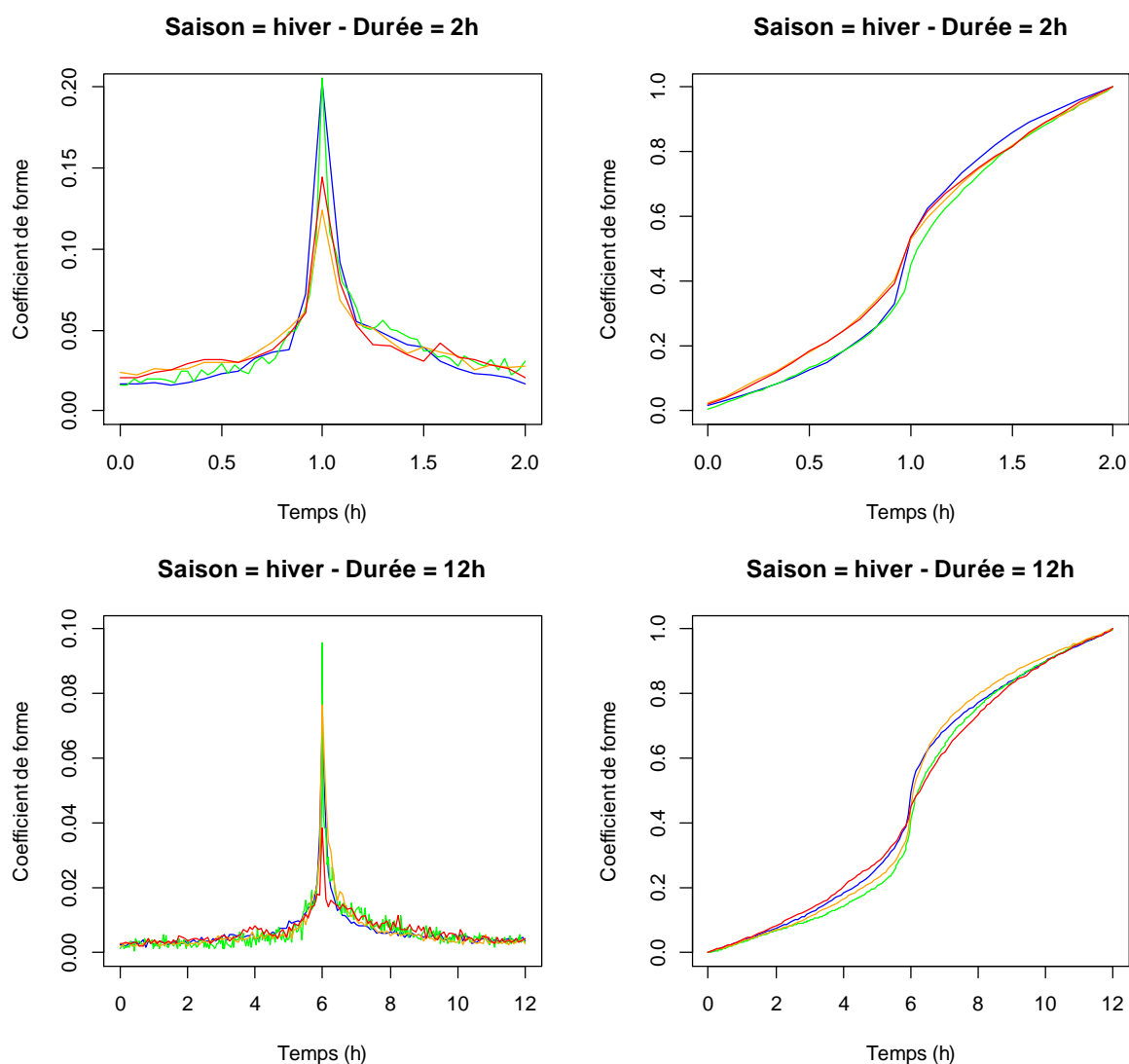


Figure 8 : Hyetogrammes empiriques bruts et cumulés obtenus pour Roujan (rouge), l'Yzeron (orange), Bourville (vert) et l'Orgeval (bleu) pour les épisodes W02 et W12

### 3.2.2. Ajustement de modèles de hyetogrammes

A partir des résultats obtenus pour chaque type d'épisode (S01, S06, W02 et W12), un modèle paramétrique est ajusté sur les observations de manière à définir un hyetogramme théorique continu et dérivable en tout point par une méthode des moindres carrés .

Le modèle employé est dérivé de l'équation de Haan *et al.* (1994)<sup>5</sup>, traditionnellement utilisée pour décrire la forme d'épisodes pluvieux de durée 24 heures aux États-Unis et réadapté par la suite pour différentes durées et d'autres contextes climatiques. Le modèle comporte sept paramètres (notés *a* à *g*), ajustés sur les cumuls de pluie adimensionnalisés (i.e. divisé par le cumul total sur l'épisode) en fonction du temps  $t^*$ <sup>6</sup> :

$$C(t^*) = a + \frac{t^* - b}{c} \cdot \left( \frac{d}{e \cdot |t^* - b| + f} \right)^g \quad (\text{eq. 1})$$

<sup>5</sup> Haan, C.T., B. J. Barfield, and J. C. Hayes. 1994. Design hydrology and sedimentology for small catchments. Academic Press. New York

<sup>6</sup> Un changement de variable est réalisé pour revenir au cas d'un ajustement sur 24 heures ( $t/D*24$ )

Pour ajuster le modèle de Haan, différentes méthodes ont été testées convergeant sur des solutions similaires. La méthode choisie pour résoudre les moindres carrés (écart entre les valeurs observées et simulées par le modèle de Haan) est l'algorithme de Levenberg-Marquardt, qui s'est avéré le plus robuste aux valeurs de départ de l'algorithme. C'est une méthode de direction de recherche, interpolant la méthode de direction de Gauss-Newton et la méthode du gradient. En pratique, la solution a été déterminée avec la fonction `lsqcurvefit` (Nonlinear least-squares solver) de la toolbox Optimization de Matlab.

Un exemple d'ajustement réalisé sur les hyetogrammes empiriques obtenus sur le bassin de l'Yzeron pour les quatre types d'épisodes est présenté ci-dessous. Le résultat, sans être parfait, s'avère globalement satisfaisant (résidus très faibles). Le pic est parfois mal reproduit (par exemple sous estimé de 15% dans le cas de l'épisode S06 ci-dessous) ou légèrement décalé dans le temps en raison de la très forte sensibilité du résultat à l'ajustement de la pente locale au point d'inflexion de la courbe cumulée. Le reste de l'épisode est généralement bien restitué.

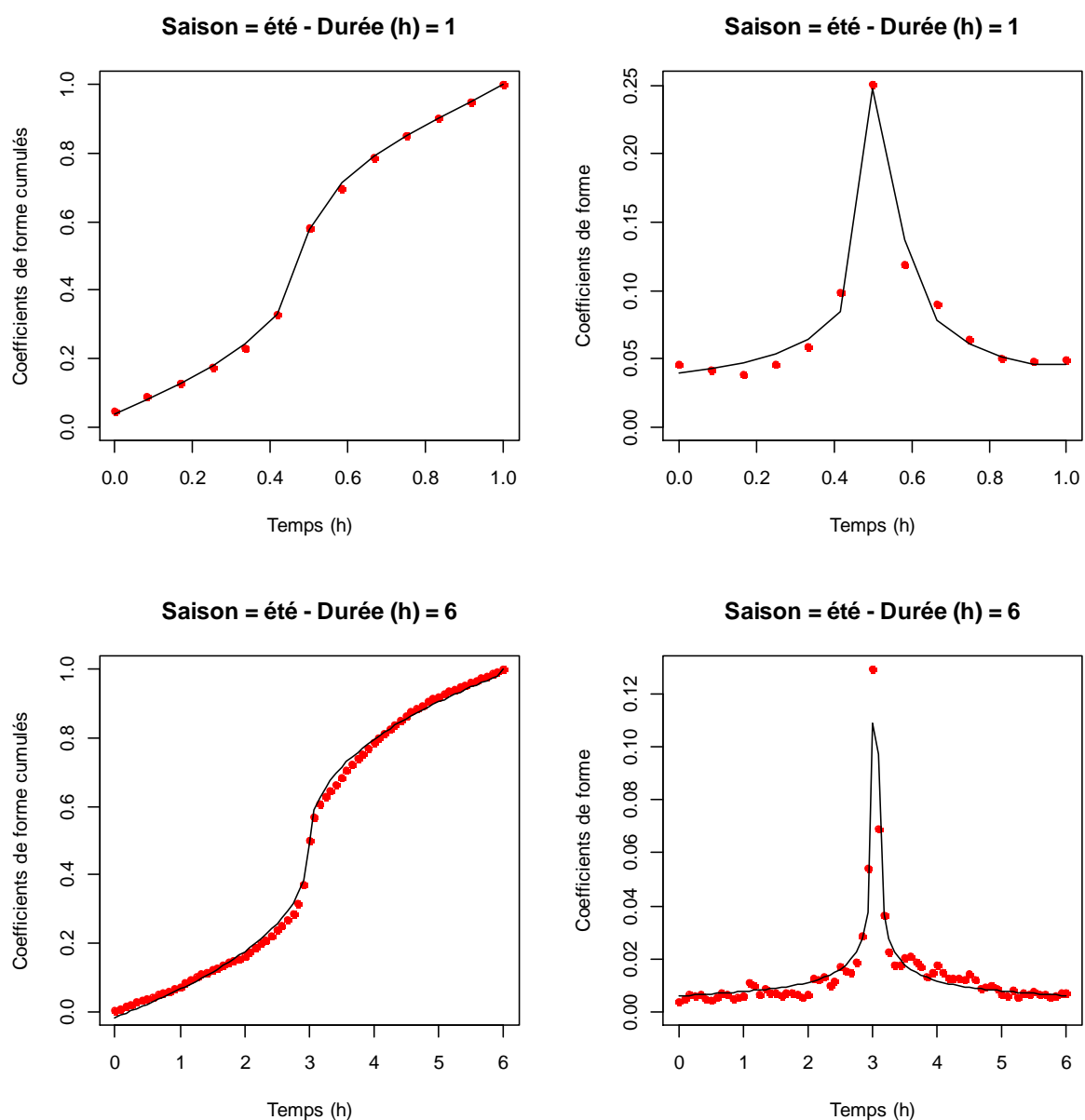


Figure 9 : Hyetogrammes empiriques (points rouges) et ajustés (trait plein) pour les épisodes S01 et S06 sur le bassin de l'Yzeron

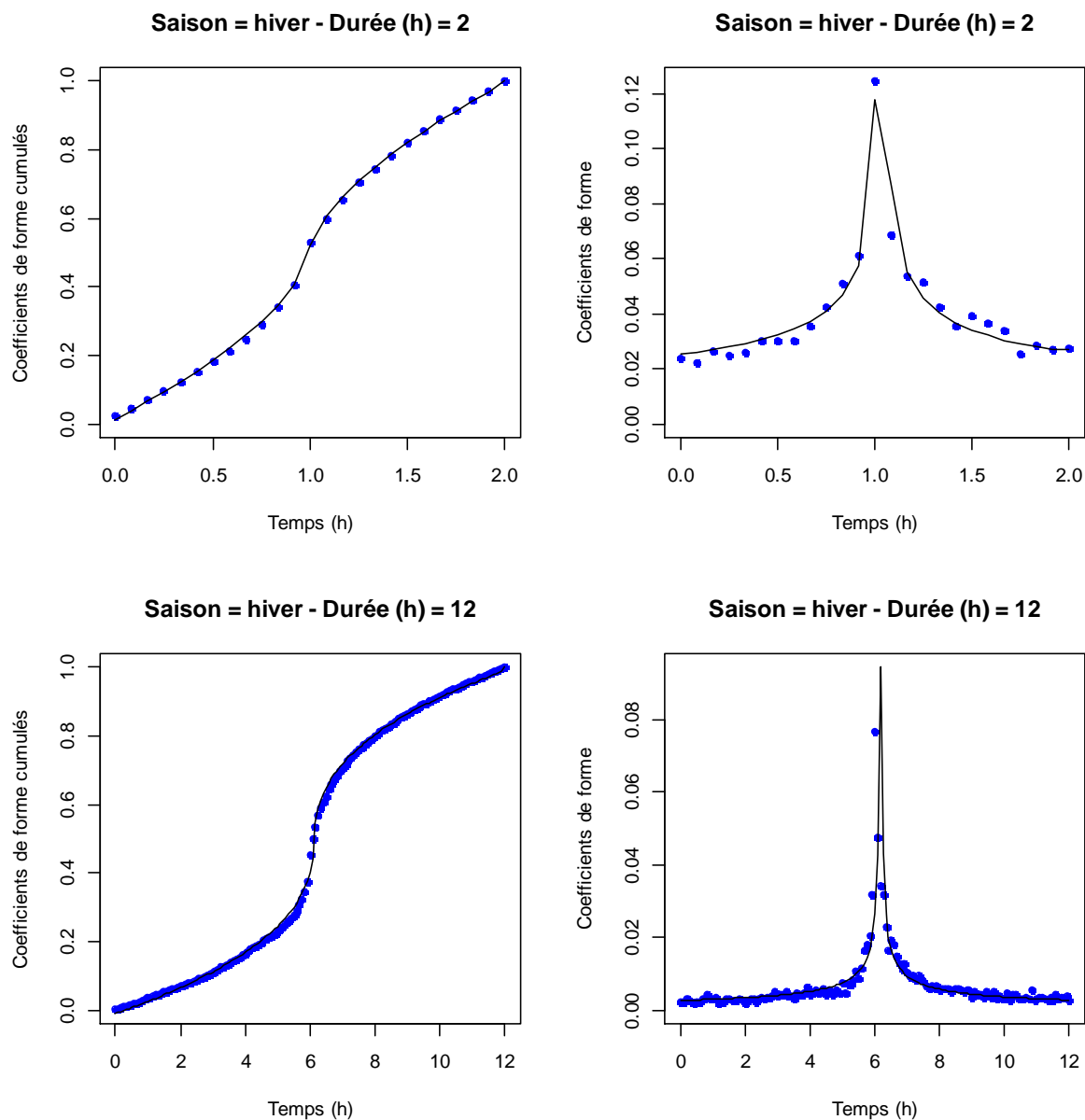


Figure 10 : Hyetogrammes empiriques (points rouges) et ajustés (trait plein) pour les épisodes W02 et W12 sur le bassin de l'Yzeron

### 3.3. Résultats : paramètres pour la reconstitution des hyetogrammes

Sont fournis dans les tableaux suivants les sept paramètres du modèle de hyetogramme ajusté sur les observations des quatre postes pluviométriques pour chaque type d'épisode pour permettre la reconstitution des hyetogrammes théoriques correspondants (à l'aide de l'équation 1).

<b>Zone 1a (Orgeval)</b>							
	a	b	c	d	e	f	g
S01	0.4963	13.6163	0.9493	10.5942	130.0004	0.5476	0.6475
S06	0.4881	12.3288	0.8345	10.5992	129.9924	1.644	0.671
W02	0.4915	12.9587	1.6901	10.5392	130.0049	0.5374	0.5315
W12	0.4844	12.1652	1.7678	10.5346	130.0053	0.5531	0.5222

<b>Zone 1b (Bourville)</b>							
	a	b	c	d	e	f	g
S01	0.4926	12.7915	1.3469	10.5667	130.0008	0.8848	0.5742
S06	0.4909	12.1318	0.981	10.5896	128.7961	18.367	0.6348
W02	0.4952	12.9911	2.4662	10.4709	128.7518	18.3535	0.4544
W12	0.4866	12.6337	1.5135	10.5544	129.7655	7.8973	0.5518

<b>Zone 2 (Yzeron)</b>							
	a	b	c	d	e	f	g
S01	0.5086	13.7491	2.1179	10.5034	130.0078	0.5396	0.4949
S06	0.4853	12.3312	1.456	10.5574	130.0035	0.5362	0.5604
W02	0.5012	12.9204	3.8119	10.3097	130.0233	0.5637	0.3703
W12	0.4941	12.4174	1.2487	10.5723	129.8343	8.1688	0.5917

<b>Zone 3 (Roujan)</b>							
	a	b	c	d	e	f	g
S01	0.4913	13.3178	2.2154	10.493	130.0086	0.5528	0.481
S06	0.4781	12.3294	0.9861	10.5912	130.0006	0.5654	0.6368
W02	0.501	12.8843	3.3437	10.3694	130.0186	0.5519	0.3965
W12	0.5081	12.8933	2.9439	10.4226	129.7706	7.9956	0.4144