

## RÉGIONALISATION D'UN MODÈLE DE GÉNÉRATION DE HYÉTOGRAMMES HORAIRES

E. RIBERO<sup>1</sup>, F. CERNESON<sup>2</sup>, J. LAVABRE<sup>3</sup>

---

### RÉSUMÉ

Dans le but de générer des scénarios de crues de fréquence courante à rare grâce à un modèle pluie-débit, un modèle de génération de hyétogrammes horaires a été mis au point. Ce modèle stochastique est actuellement opérationnel sur quelques postes du BVRE du Réal Collobrier, et permet de générer des chroniques de pluies horaires sur de longues périodes (entre 1 000 et 10 000 ans).

Le travail présenté concerne l'extension géographique d'application de ce modèle à la façade méditerranéenne. Il est nécessaire pour cela, de lier les paramètres du modèle à la seule information pluviométrique journalière afin de faciliter sa régionalisation.

---

<sup>1</sup>Ingénieur Esigec, Mastère Engref - stagiaire Cémagref Aix-en-Provence

<sup>2</sup>Ingénieur ISIM - Cémagref Aix-en-Provence

<sup>3</sup>Ingénieur ISIM - Cémagref Aix-en-Provence

## INTRODUCTION

Le dimensionnement d'ouvrages hydrauliques (barrages, ponts, ponceaux, réseaux d'évacuation des eaux pluviales, bassins écrêteurs, ...) est basé sur une connaissance précise des crues de fréquence courante à rare. Lorsque le projet se situe sur un bassin non jaugé, on peut utiliser les observations pluviométriques, *in situ* ou à proximité, l'hydrogramme de crue étant généré à partir des pluies grâce à un modèle pluie-débit. Pour les petits bassins versants et *a fortiori* les petits bassins méditerranéens, les temps de réponse étant rapides, les modèles pluie-débit nécessitent la connaissance de la pluie sur des pas de temps inférieurs à ce temps de réponse. Le pas de temps horaire convient dans la quasi-totalité des cas.

Si les données sur les pluies journalières sont disponibles, nombreuses et anciennes, les séries de pluies horaires sont rares et plus récentes. Pour pallier ce manque d'information, nous avons développé un modèle stochastique de simulation de hyétogrammes horaires.

Le développement de la méthode demande une banque de données relativement importante : pluies horaires et débits horaires digitalisés en continu. Cette information est rarement disponible pour l'hydrologue qui doit estimer la crue de projet d'un bassin versant donné.

Notre démarche est donc de régionaliser le plus grand nombre possible de paramètres du modèle, en étudiant leur variabilité spatio-temporelle et en les liant aux caractéristiques journalières. L'aménageur pourra alors mettre en oeuvre le modèle.

Nous ne présenterons ici que les travaux concernant le modèle de hyétogrammes horaires.

## PRÉSENTATION DU MODÈLE

### STRUCTURE DU MODÈLE

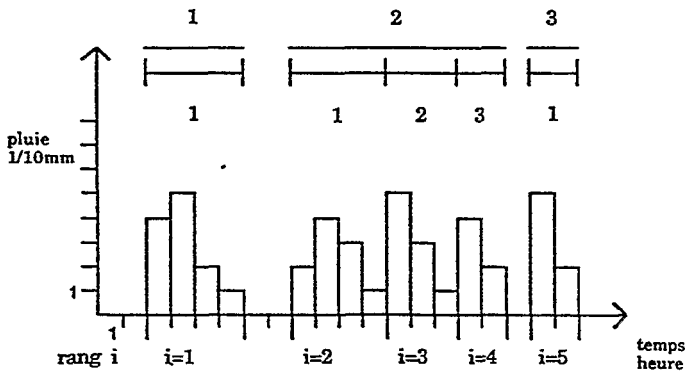
Le modèle présenté se classe dans la catégorie des modèles dits « simples » et repose sur l'hypothèse d'indépendance des variables descriptives du hyétogramme. Un épisode pluvieux est un phénomène intermittent qui présente une succession de périodes sèches et de périodes pluvieuses. Une période pluvieuse comprend une ou plusieurs averses.

Les variables retenues doivent donc permettre de rendre compte d'une part, du caractère discontinu du phénomène et d'autre part, de la structure de l'averse. Neuf variables sont définies :

**Tableau 1**  
Variables du modèle.

Nom	Définition	Unité	Dimension
NE	nombre d'épisodes par an		
NG	nombre de périodes pluvieuses		
NA	nombre d'averses par période pluvieuse		(NG)
DIA	durée sèche	h	(NT)
DA	durée de l'averse	h	(NT)
HMA	intensité moyenne	1/10 mm/h	(NT)
RX	rapport de l'intensité maximale à l'intensité moyenne		(NT)
RPX	position relative au maximum		(NT)
TSE	origine de l'épisode		

A titre d'exemple, la figure 1 représente un épisode pluvieux de trois périodes pluvieuses (NG=3) dont deux averses isolées (NA=1) et un groupe de trois averses (NA=3).



Rang de l'averse	DA	HMA	RPX	RX	DIA
1	4	3	0,5	1,666	2
2	4	2,5	0,5	1,6	0
3	3	3	0,333	1,666	0
4	2	3	0,5	1,333	1
5	2	3,5	0,5	1,428	0

**Figure 1**  
Exemple d'épisode pluvieux

La seule entrée du modèle proprement dite est le nombre d'années pour lesquelles on veut générer des épisodes pluvieux (50, 100, 1 000 ans).

Pour chaque épisode, les caractéristiques le décrivant sont générées par un tirage aléatoire dans leur loi de probabilité, et les hyétogrammes au pas de temps horaire sont fabriqués en suivant des règles de répartition triangulaires ou trapézoïdales.

## ANALYSE DES DONNÉES

C'est à partir de trois postes pluviographiques appartenant au BVRE du Réal Collobrier, que l'élaboration et la généralisation du modèle ont été effectuées (ANDRE (1991), LABORDE (1991), CERNESSON (à paraître)).

L'analyse des séries pluviographiques impose un traitement saisonnier qui permet de tenir compte de la typologie des pluies. Trois saisons ont été déterminées :

- la saison **hiver** : de décembre à mai, avec de longs épisodes de faible intensité ;
- la saison **été** : de juin à septembre, caractérisée par des épisodes de type orageux ;
- la saison **automne** : d'octobre à novembre, les épisodes présentent alors les caractères des 2 autres saisons.

Le but du modèle est de générer des épisodes et non de fonctionner en continu. Pour l'élaboration du modèle, les critères de sélection des épisodes pluvieux ont été les suivants :

- un épisode n'est retenu que si :
  - au moins une pluie journalière (7h-7h, heure d'hiver) est supérieure à 40 mm ;
  - aucune lacune d'information n'affecte la chronique de l'épisode ;
  - la séparation des épisodes est d'une durée de vingt quatre heures (7h-7h, heure d'hiver) présentant moins de 4 mm de pluie.

Après un traitement préliminaire des données recueillies, l'étude statistique des variables caractéristiques de l'épisode pluvieux conduit à la détermination de leur loi de probabilité.

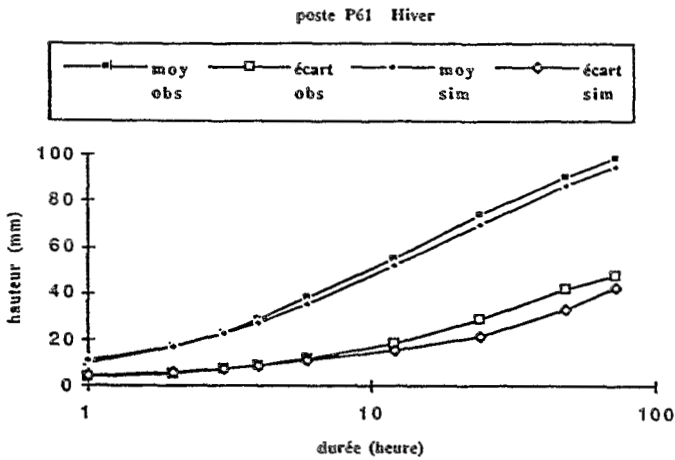
**Tableau 2**  
Lois de distribution sélectionnées  
HMA1 : averse isolée, HMAG : averses groupées

Variable	Loi de distribution	Formulation
NE	Poisson	$P(x = k) = \exp(-p_1) * \frac{p_1^k}{k!}$
NG	Géométrique	$P(x = k) = 1 - (1 - p_1)^k$
NA	Géométrique	
DIA	Géométrique tronquée	
DA	Poisson tronquée	cf. NE
HMAI	Weibull	$F(x) = 1 - \exp\left(-\left(\frac{x - p^3}{p^2}\right)^{p_1}\right)$
HMAG	Weibull	cf. HMA1
RX	Exponentielle	$F(x) = 1 - \exp\left(-\left(\frac{x - p_2}{p_1}\right)\right)$
RPX	Normale	$N(m = P1; \sigma = P2)$
TSE	Géométrique	cf. NG

Le modèle comporte donc 18 paramètres dont 3 constants (du fait des domaines de définition des variables HMA1, HMAG et RPX) et 1, celui de la variable NE, entièrement défini par le critère de sélection des épisodes. Et ceci pour chacune des trois saisons.

### PERFORMANCE DU MODÈLE

L'étude de la performance du modèle effectuée par CERNESON (*à paraître*), sur les trois postes du BVRE du Réal Collobrier, a montré (figure 2) que le modèle reconstitue fidèlement les distributions des variables caractéristiques et qu'il génère des hauteurs et durées totales d'épisodes ainsi que des pluies maximales de diverses durées (1,2,3, ... 72h) conformes aux valeurs observées.



variables	unité	valeurs observées		valeurs simulées	
		moyenne	écart-type	moyenne	écart-type
hauteur totale	l/10 mm	1031	531	1058	646
durée totale	jour	2,7	1,3	2,8	1,9

pluies maximales en :

1 heure	mm	9,8	3,7	11,3	4,9
2 heures	mm	17,1	5,4	17,4	6,0
3 heures	mm	23,2	7,4	22,9	7,4
4 heures	mm	28,8	9,1	27,7	8,7
6 heures	mm	38,3	12,1	35,8	10,9
12 heures	mm	55,6	18,5	52,5	15,4
24 heures	mm	74,1	28,5	70,0	21,7
48 heures	mm	90,4	42,1	86,8	33,6
72 heures	mm	98,9	48,0	95,1	42,8

Figure 2

Poste 61 - Le Gour de l'Astre Hiver

## RÉGIONALISATION DU MODÈLE

### GÉNÉRALISATION DU MODÈLE À LA FAÇADE MÉDITERRANÉENNE

La première étape de la régionalisation est de tester les performances du modèle sur plusieurs postes de la façade méditerranéenne :

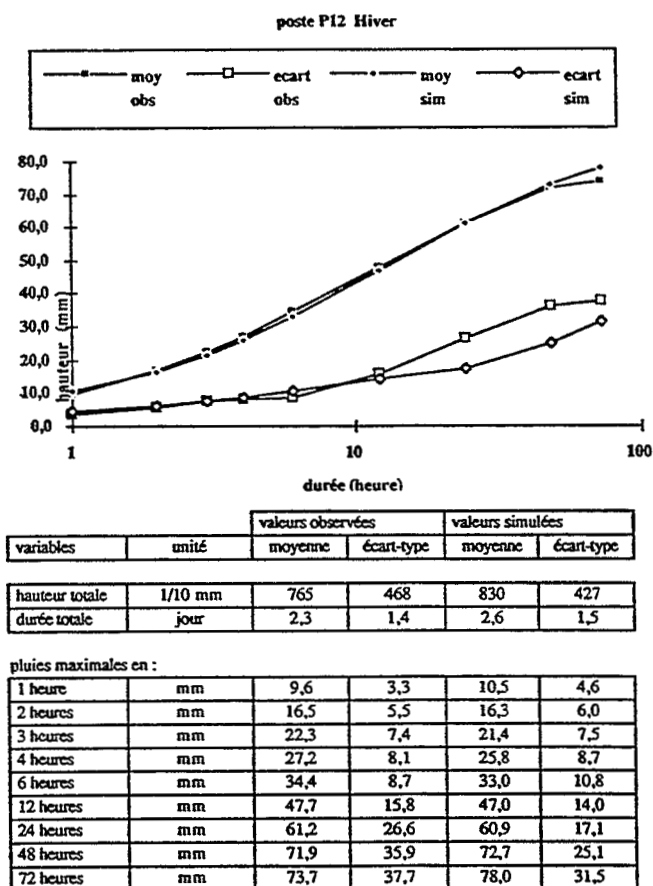
- 7 postes supplémentaires du BVRE du Réal Collobrier ;
- 12 postes des Bouches-du-Rhône ;
- 7 postes du Languedoc-Roussillon.

S'est alors posé le problème de l'échantillonnage. En effet, le seuil de sélection de 40 mm ne permet pas, en particulier pour les postes pluviographiques des Bouches-du-Rhône, de retenir un nombre suffisant d'épisodes pluvieux pour

procéder à un traitement statistique. Ce seuil permet en fait de retenir des épisodes entraînant un écoulement significatif et ne présente un intérêt réel que pour le modèle pluie-débit. Nous avons donc décidé de baisser ce seuil et de le fixer à 20 mm.

Nous avons appliqué ce critère de sélection aux postes déjà étudiés. Aucun changement notable des paramètres, sauf pour les paramètres de la loi des HMA, n'a été remarqué.

L'analyse des variables test montre une bonne performance du modèle sur la totalité des postes étudiés (figure 3).



**Figure 3**  
Poste 12 - Aubagne Hiver

D'autre part, nous pouvons remarquer que certains paramètres du modèle (tableau 3), correspondant aux lois de probabilité des variables DA, DIA, RPX, RX et TSE, variaient très peu d'un poste à l'autre. La deuxième étape de la régionalisation a donc été de tenter de fixer ces paramètres.

**Tableau 3**  
Paramètres des variables du modèle

Poste	Variable	hiver			Poste	Variable	hiver		
		P1	P2	P3			P1	P2	P3
P12	NE	4,125			P57	NE	3,1818		
	NG	0,3				NG	0,2341		
	NA	0,5528				NA	0,5017		
	DIA	0,3308	0,851			DIA	0,2996	0,904	
	DA	2,0303	0,9237			DA	2,166	0,8815	
	HMA1	0,9771	12,6488	1		HMA1	0,9186	14,9441	1
	HMAG	1,2542	24,5929	1		HMAG	1,4773	32,6341	1
	RPX	0,5713	0,1953			RPX	0,5802	0,2211	
	RX	1,4538	1			RX	1,5273	1	
	TSE	0,1467				TSE	0,1201		
P18	NE	3,5			P61	NE	2,5		
	NG	0,3066				NG	0,2227		
	NA	0,6447				NA	0,5718		
	DIA	0,3129	0,916			DIA	0,3092	0,89	
	DA	1,8475	0,928			DA	2,0866	0,8668	
	HMA1	0,8864	16,9529	1		HMA1	1,176	18,0924	1
	HMAG	1,4055	23,9797	1		HMAG	1,5768	33,6218	1
	RPX	0,5913	0,2097			RPX	0,5909	0,2139	
	RX	1,5121	1			RX	1,4652	1	
	TSE	0,129				TSE	0,1188		
Pmont	NE	1,35			P12, P18 : Postes des Bouches-du-Rhône P57, P61 : Postes du Réal Collobrier Pmont : Poste de Montpellier				
	NG	0,2269							
	NA	0,5174							
	DIA	0,3247	0,96						
	DA	1,8756	0,9454						
	HMA1	0,8974	10,0434						
	HMAG	1,2903	27,9351	1					
	RPX	0,5488	0,2131	1					
	RX	1,5234	1						
	TSE	0,1247							



Nous avons testé la sensibilité des lois de probabilité correspondantes aux variables DA, DIA, RPX, RX et TSE à une variation de leurs paramètres respectifs. Pour cela (figure 4), nous avons calculé l'écart maximum entre la loi de paramètre médian et les lois de paramètres extrêmes observés.

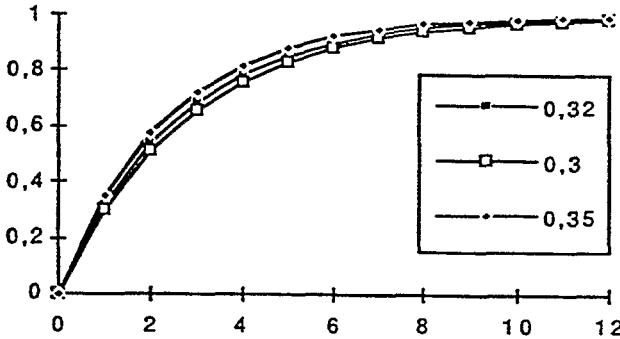


Figure 4  
Loi géométrique variable DIA

Notons, sur l'exemple de la variable DIA, que cet écart reste faible (inférieur à 4%). Des résultats analogues ont été déterminés pour les quatre autres variables.

Pour les variables DIA, RPX, RX et TSE, des simulations effectuées sur 1 000 ans, en remplaçant les paramètres correspondant aux lois de ces variables par des variables médianes, montrent (figure 5) que le modèle est peu ou pas sensible à ces actions.

Nous avons donc décidé de fixer ces paramètres aux valeurs suivantes :

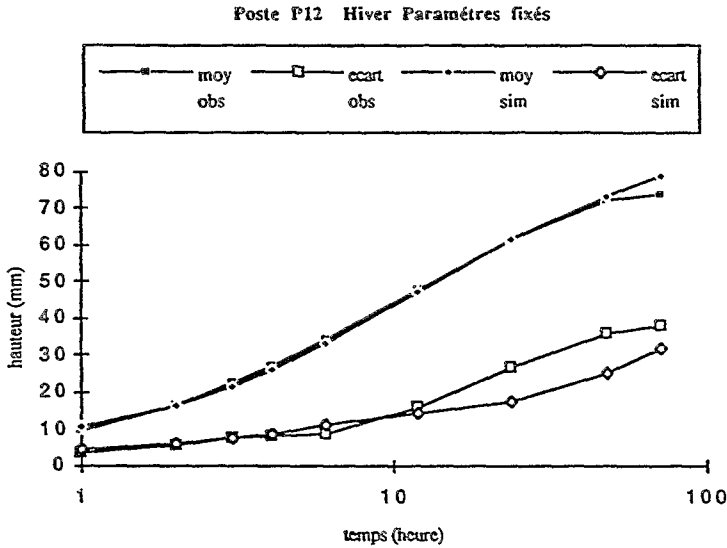
	p1	p2
DIA	0,3	0,9
RPX	0,6	0,21
RX	1,5	1
TSE	0,13	

Pour la variable DA, les résultats des simulations font apparaître une sensibilité plus marquée du modèle aux variations des paramètres de cette variable.

Pour les variables NA et NG, nous notons une homogénéité des paramètres, mais au niveau local et non pas au niveau de la façade méditerranéenne.

Pour les variables HMA1 et HMAG, nous remarquons une grande disparité, en particulier pour les paramètres  $p_1$  de HMA1 et  $p_2$  de HMAG.

Au stade actuel de l'étude, seulement 17 postes sur 26 ayant été étudiés, il nous est difficile de conclure, ici, sur la possibilité de fixer d'autres paramètres.



variables	unité	valeurs observées		valeurs simulées	
		moyenne	écart-type	moyenne	écart-type
hauteur totale	1/10 mm	765	468	843	434
durée totale	jour	2,3	1,4	2,6	1,6

pluies maximales en :

1 heure	mm	9,6	3,3	10,4	4,4
2 heures	mm	16,5	5,5	16,4	5,8
3 heures	mm	22,3	7,4	21,5	7,5
4 heures	mm	27,2	8,1	25,9	8,8
6 heures	mm	34,4	8,7	33,1	11,0
12 heures	mm	47,7	15,8	47,2	14,3
24 heures	mm	61,2	26,6	61,2	17,4
48 heures	mm	71,9	35,9	73,4	25,2
72 heures	mm	73,7	37,7	78,9	31,6

**Figure 5**

Poste 12 - Aubagne Hiver Paramètres fixés

## RELATIONS PLUIES JOURNALIÈRES - VARIABLES MODÈLE

L'étude étant en cours, les résultats présentés ne sont que provisoires.

La troisième étape, l'idée maîtresse de la régionalisation, est de relier les variables du modèle dont les paramètres des lois ne peuvent être fixés, aux caractéristiques des pluies journalières dont la disponibilité est beaucoup plus importante.

Les caractéristiques des pluies journalières choisies sont les suivantes :

- HTOT : moyenne des hauteurs totales des épisodes sélectionnés ;
- DTOT : moyenne des durées totales des épisodes sélectionnés ;
- PLAN : pluie annuelle moyenne sur les  $x$  années d'observation ;
- PJ10 : pluie journalière décennale observée par saison.

Après une analyse des corrélations entre ces caractéristiques et les paramètres des lois des variables DA, HMA1, HMAG, NG et NA, il apparaît une forte corrélation entre le paramètre  $p_1$  de NG et DTOT ( $r^2=0,66$ ), et entre  $p_2$  de HMAG et PJ10 ( $r^2=0,74$ ).

Entre les paramètres  $p_1$  de DA,  $p_1$  de NA et ceux de la variable HMA1, la corrélation est plus faible ( $r^2 < 0,6$ ). Aucune liaison n'est remarquée entre le deuxième paramètre de DA, le premier de HMAG et les caractéristiques journalières ( $r^2 < 0,3$ ).

## CONCLUSION

Nous l'avons vu, le modèle simple de hyétogrammes horaires présenté donne des résultats satisfaisants.

Actuellement, nous avons pu réduire le nombre de ses paramètres à 8 par saison sans en atténuer les performances. L'étude de la totalité des postes et de toutes les saisons permettra, sans doute, de réduire encore ce nombre.

Pour affiner l'étude, nous procéderons par la suite, à une Analyse en Composantes Principales. Cette analyse fera apparaître plus clairement les liaisons avec les caractéristiques pluviométriques journalières. Une cartographie des paramètres est envisageable. Le modèle sera alors opérationnel pour son utilisation par l'aménageur.

**BIBLIOGRAPHIE**

ANDRE G., 1991. Modèle stochastique de construction de hyétogrammes horaires. Rapport d'avant-projet ISIM, Montpellier, 42 p.

CERNESSON F. Modèle simple de prédétermination de crues de fréquence courante à rare sur petits bassins versants méditerranéens. Thèse Université de Montpellier II, Cémagref, à paraître.

LABORDE S., 1991. Modèle stochastique de hyétogrammes horaires. Mémoire ISIM, Cémagref, Aix-en Provence, 37 p.

Cette étude fera l'objet d'un mémoire :

RIBERO E. Régionalisation d'un modèle de hyétogrammes horaires. Rapport Mastère Engref, Montpellier, Cémagref, Aix-en Provence.