

Chapitre II. Analyse statistique de précipitation et de débit

I. Courbe IDF

La méthode statistique qui estime les lames précipitées de différents temps de retour T , nous a permis de tracer les courbes Intensité - Durée - Fréquence du BV à l'aide des données pluviométriques de 2001-2010.

Ces courbes représentent l'intensité pluviométrique i en fonction de la durée de l'averse et de son temps de retour T .

Le tableau 10 suivant nous donne la valeur des lames précipitées en fonction de la durée de l'averse et du temps de retour.

Tableau 10: Valeurs des intensités pluviométriques des différentes T

durée de la pluie	Intensité (T=2)	Intensité (T=5)	Intensité (T=10)	Intensité (T=20)	Intensité (T=50)
[h]	[mm/h]	[mm/h]	[mm/h]	[mm/h]	[mm/h]
5	3,46	5,09	6,20	7,28	8,68
10	2,73	3,87	4,63	5,37	6,33
15	2,38	3,30	3,91	4,50	5,27
20	2,15	2,94	3,46	3,97	4,62
30	1,87	2,50	2,92	3,32	3,84
60	1,48	1,90	2,18	2,45	2,80
90	1,29	1,62	1,84	2,05	2,33
120	1,17	1,45	1,63	1,81	2,04

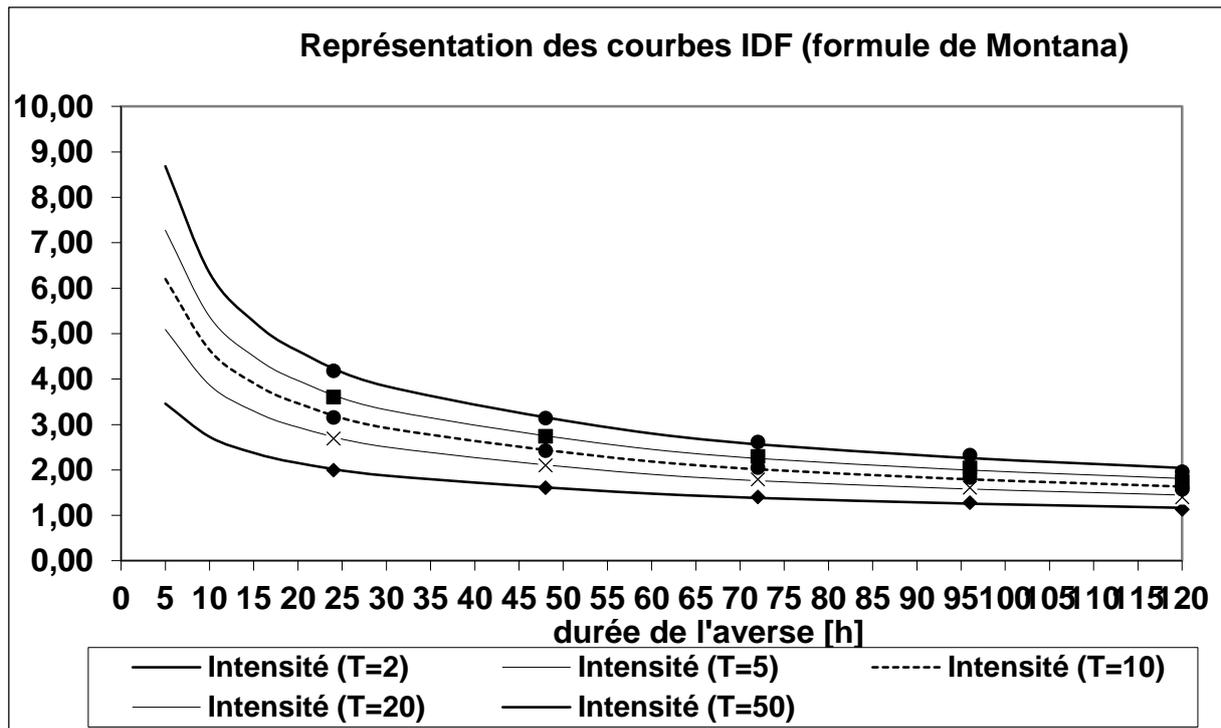


Figure 22: courbe IDF

Sur les différentes périodes de retour, nous observons une différence d'intensité de l'ordre de 1mm/h sur les averses de durée moins de 12h.

II. Hydrogrammes fréquents :

Par la méthode statistique, nous pouvons calculer les valeurs des débits de pointe pour chaque temps de retour donné. Nous tracerons chaque hydrogramme correspondant aux différentes valeurs de pointe.

II.1. Ajustement par la méthode de Gumbel :

Nous avons pris les valeurs maximums de débit de 1993 à 2010.

Tableau 11: Données et variables de Gumbel

Année	Débit de Pointe [m³/s]	rang r	fréquence empirique F	variable réduite u	temps de retour [an]
1993	144	1	0,03	-1,28	1,03
1994	223	2	0,08	-0,91	1,09
1995	229	3	0,14	-0,68	1,16
1996	251	4	0,19	-0,49	1,24
1997	257	5	0,25	-0,33	1,33
1998	276	6	0,31	-0,17	1,44
1999	288	7	0,36	-0,02	1,57
2000	289	8	0,42	0,13	1,71
2001	293	9	0,47	0,29	1,89
2002	308	10	0,53	0,45	2,12
2003	314	11	0,58	0,62	2,40
2004	364	12	0,64	0,80	2,77
2005	369	13	0,69	1,01	3,27
2006	372	14	0,75	1,25	4,00
2007	390	15	0,81	1,53	5,14
2008	423	16	0,86	1,90	7,20
2009	432	17	0,92	2,44	12,00
2010	534	18	0,97	3,57	36,00

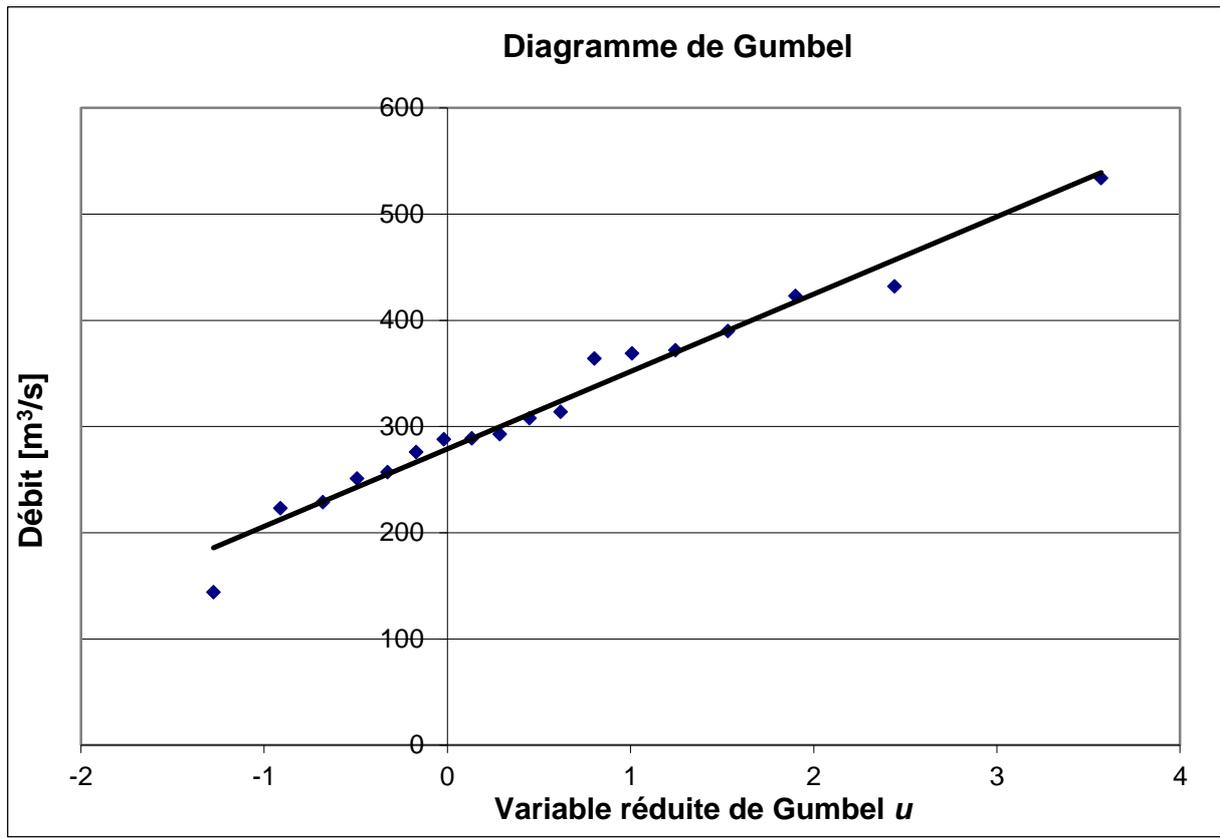


Figure 23: Diagramme de Gumbel

Le tableau 12 suivant représente la probabilité de dépassement fonction des périodes de retour ainsi que les valeurs des variables réduites de Gumbel.

Tableau 12: Variables réduites de Gumbel

période de retour T =	50	20	10	5	2
probabilité de non dépassement de Q	0,98	0,95	0,9	0,8	0,50
variable réduite de Gumbel u	3,9	3,0	2,3	1,5	0,4

A chaque période de retour correspond une valeur de débit de pointe. Ces valeurs de débit de pointe sont représentées dans le tableau 13 suivant :

Tableau 13: Débit de pointe par la méthode statistique

période de retour T	50	20	10	5	2
Débit de pointe [Statistique]	563,3	495,4	442,9	388,2	305,5

II.2. Hydrogrammes

A partir des valeurs des débits de pointe calculées précédemment, nous obtenons les hydrogrammes des différentes périodes de retour.

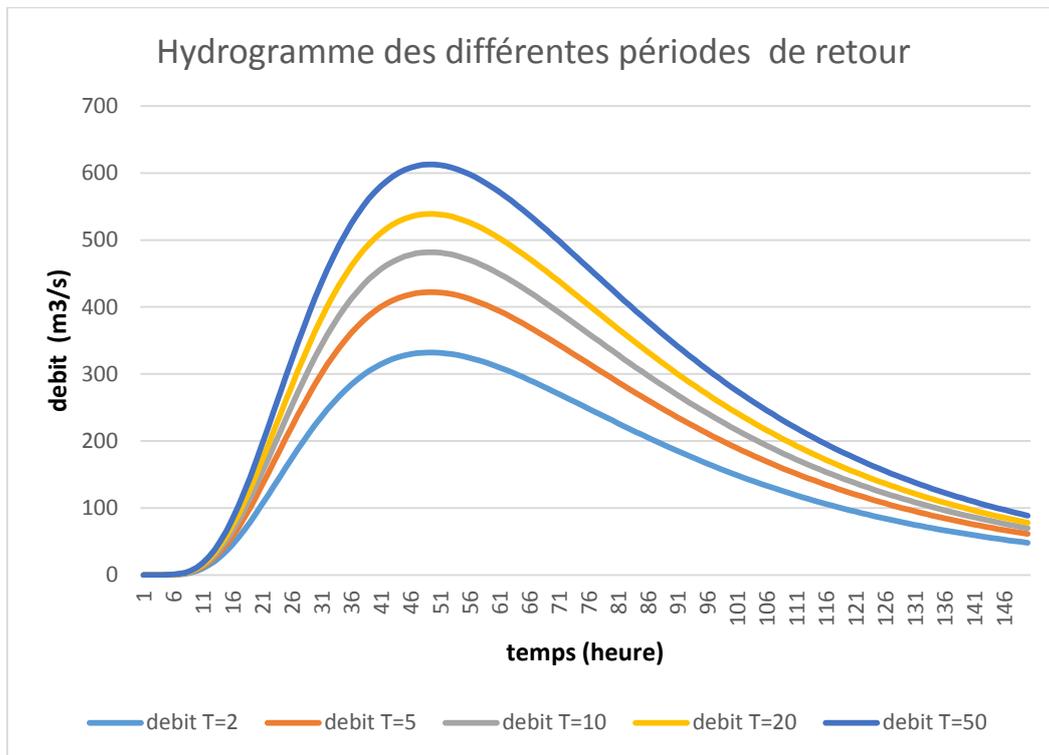


Figure 24: Hydrogrammes de différentes valeurs de T

Chaque courbe représente respectivement les hydrogrammes de période de retour 2 ans, 5 ans, 10 ans, 20 ans et 50 ans.

Chapitre III. Modèle Galton

I. Choix des évènements de référence :

Pour faciliter les comparaisons des hydrogrammes naturels avec les hydrogrammes théoriques du type Galton, nous avons choisi quelques évènements de crue. Le choix des évènements se base sur l'allure simplifiée de l'hydrogramme, c'est-à-dire des hydrogrammes présentant un seul pic (exemple cf figure 25).

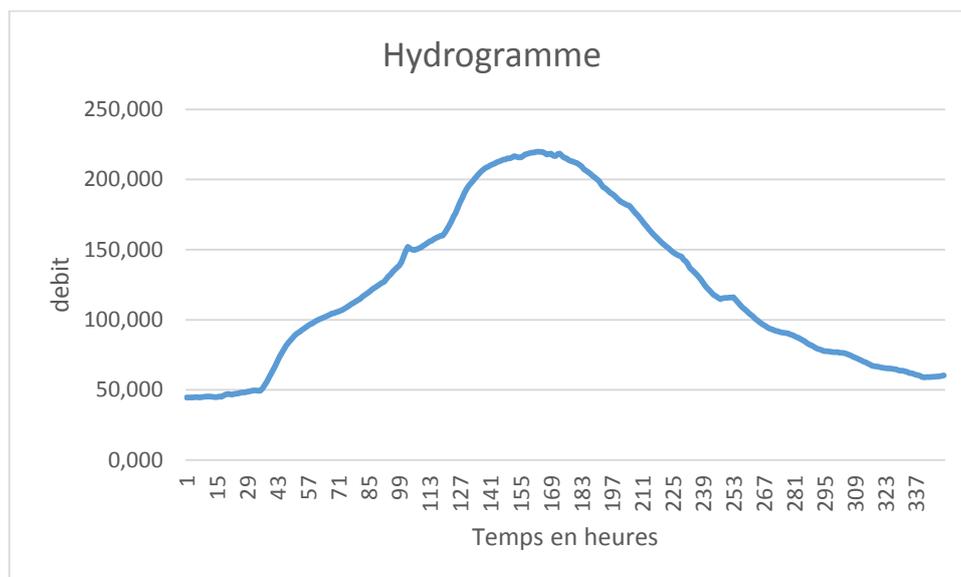


Figure 25: Crue Mars 2006

SOURCE : Auteur

Cette caractéristique nous est apparue intéressante pour la comparaison et est plus simple par rapport aux crues à plusieurs pics. Un tel évènement permettra d'étudier la réponse du bassin par rapport aux précipitations.

Nous avons choisi quelques évènements de référence dans le tableau 12 suivant :

Tableau 14: Quelques évènements de comparaison

N° évènement	Date	Caractéristiques (temps de montée et débit de pointe)
Evènement 01	Février 2002	T _m = 48 h Q _p = 288,59 m ³ /s
Evènement 02	Janvier 2005	T _m = 59 h Q _p = 276,57
Evènement 03	Mars 2006	T _m = 62 h Q _p = 220,837
Evènement 04	Novembre 2007	T _m = 49 h Q _p = 124,407

II. Etude paramétrique :

Afin de maîtriser et de voir l'influence de chaque paramètre, nous procédons à l'étude paramétrique. Le principe consiste à imposer une hypothèse de départ ou initiale. Dans l'hypothèse, nous ne varions qu'une fois une seule variable à la fois et nous fixons les valeurs des deux autres paramètres.

II.1. Le paramètre de forme k :

L'objectif est de déterminer une valeur de référence pour k permettant de reproduire des hydrogrammes plus proche des valeurs mesurées. Ceci permettra de voir l'influence de ce paramètre sur l'hydrogramme. Nous comparerons les hydrogrammes sur plusieurs évènements en variant k.

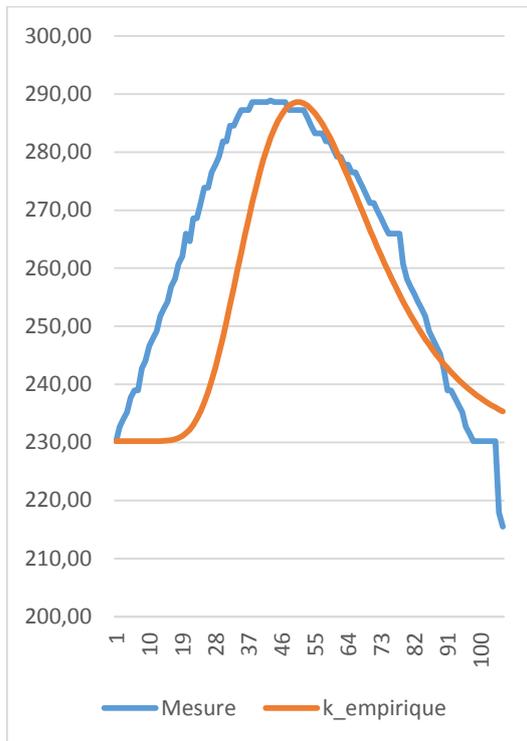
Hypothèse 01 :

- Temps de montée constant pour chaque évènement ;
- Débit pointe constant ;
- Valeurs de K variant.

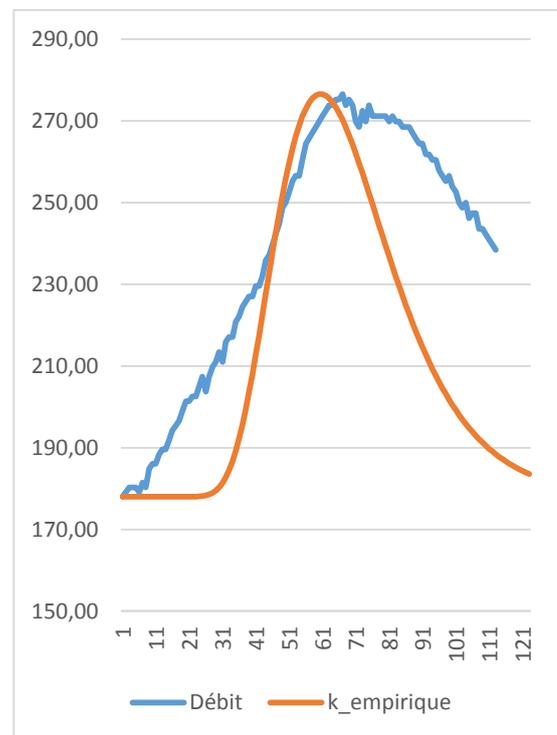
II.1.1. Calcul à partir de la méthode empirique :

A partir de la méthode empirique où k dépend seulement de la superficie du bassin, nous obtenons la valeur de **k = 0,486**.

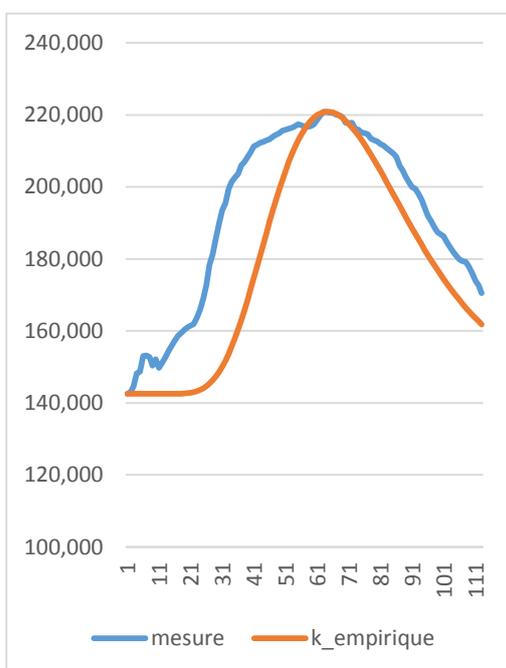
Les graphes suivants représentent les comparaisons des hydrogrammes naturels et synthétiques. Nous comparerons l'allure des hydrogrammes.



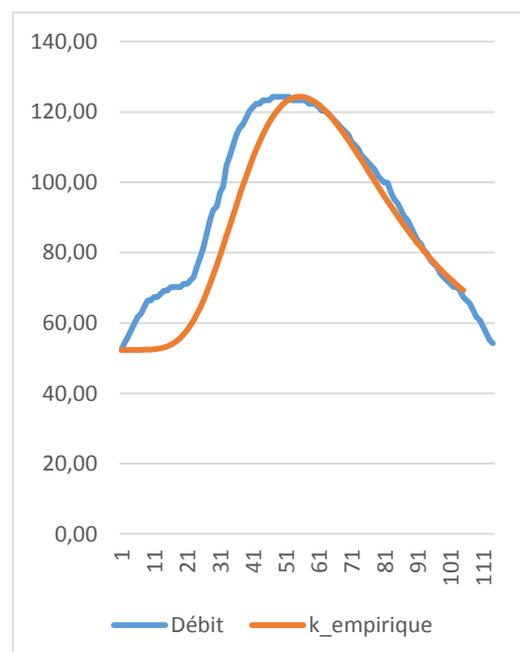
a) Evènement 01



b) Evènement 02



c) Evènement 03



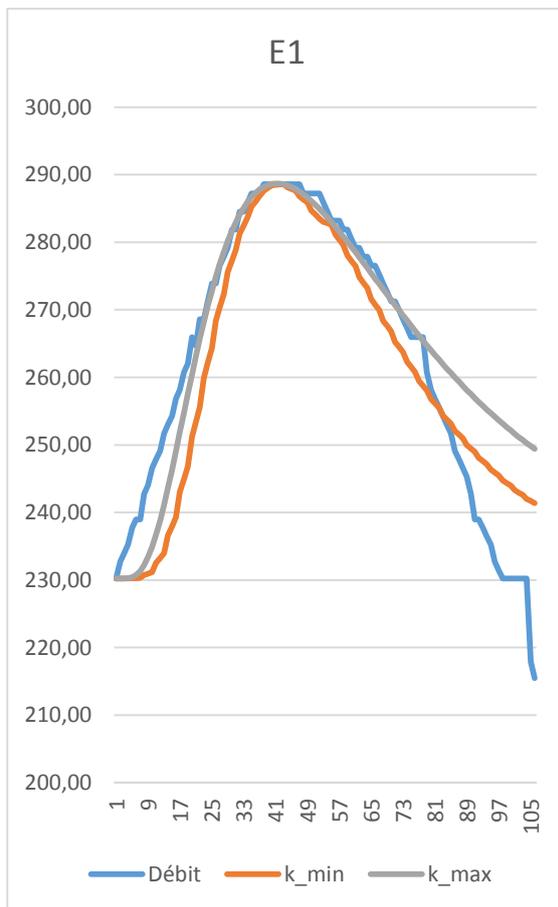
d) Evènement 04

Figure 26: Comparaisons des hydrogrammes pour la valeur empirique de k

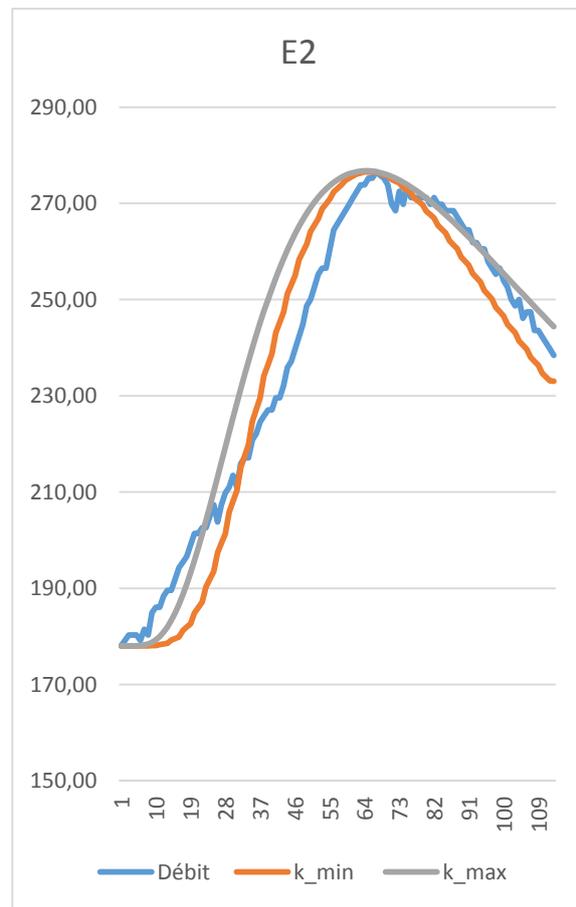
En analysant les différentes comparaisons entre les différents évènements, nous observons des écartements au niveau des montées. Nous pouvons donc dire que pour la valeur de k obtenue par la méthode empirique, les hydrogrammes naturels ne peuvent pas être reproduits.

II.1.2. Comparaison par la méthode statistique

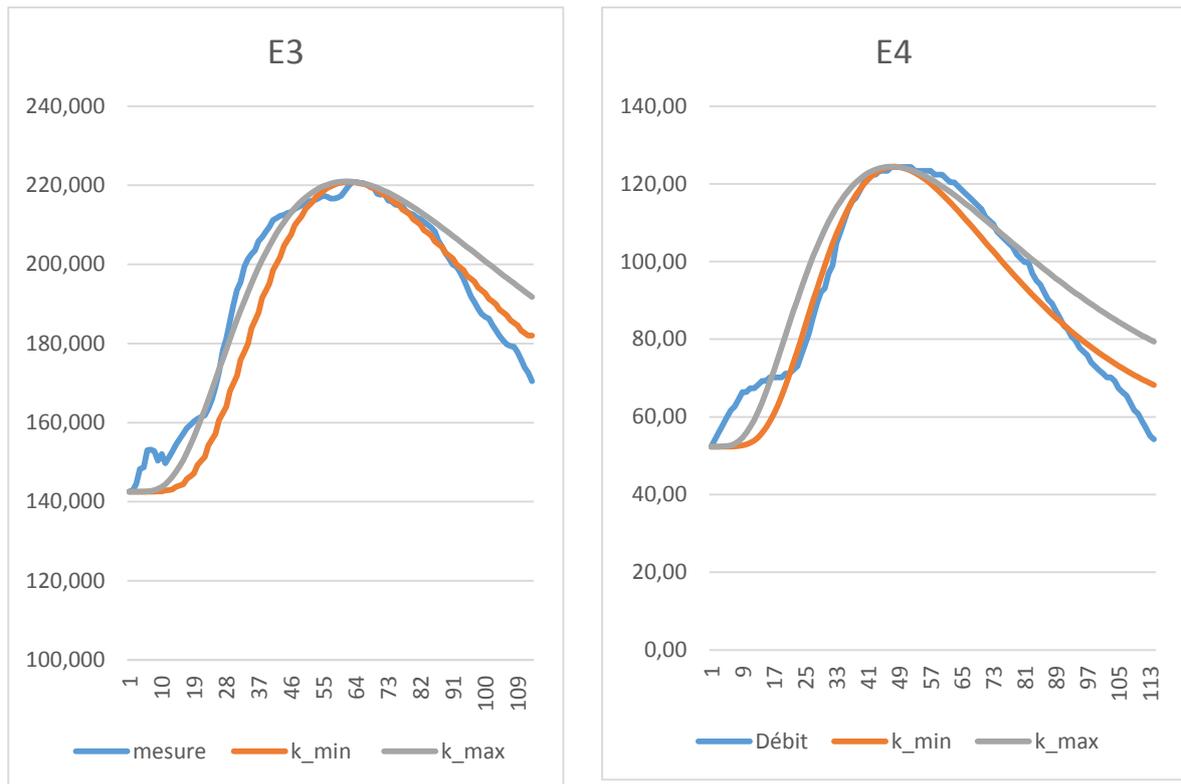
Sur la série de données de 2001 à 2010, nous avons obtenu des valeurs de k appartenant à l'intervalle [0,72 ; 0,91]. Ainsi nous avons pris les valeurs max et min pour la simulation.



a°) Evènement 01



b°) Evènement 02



c°) Evènement 03

d°) Evènement 04

Figure 27: Comparaisons des hydrogrammes de différentes valeurs de k

Le paramètre K a une influence sur l'élargissement ou le rétrécissement de l'hydrogramme. Avec les valeurs K_min et K_max, le modèle parvient à reproduire l'hydrogramme naturel.

Tableau 15: Tableau des coefficients de corrélation des évènements

	E1	E2	E3	E4	moyenne
K_min	0,91	0,97	0,96	0,97	0,95
K_max	0,89	0,96	0,96	0,94	0,94

En comparant les coefficients de corrélation, nous obtenons des hydrogrammes de coefficients de corrélation les plus élevés pour la valeur de **k=0,72**.

II.2. Comparaison des temps de montée :

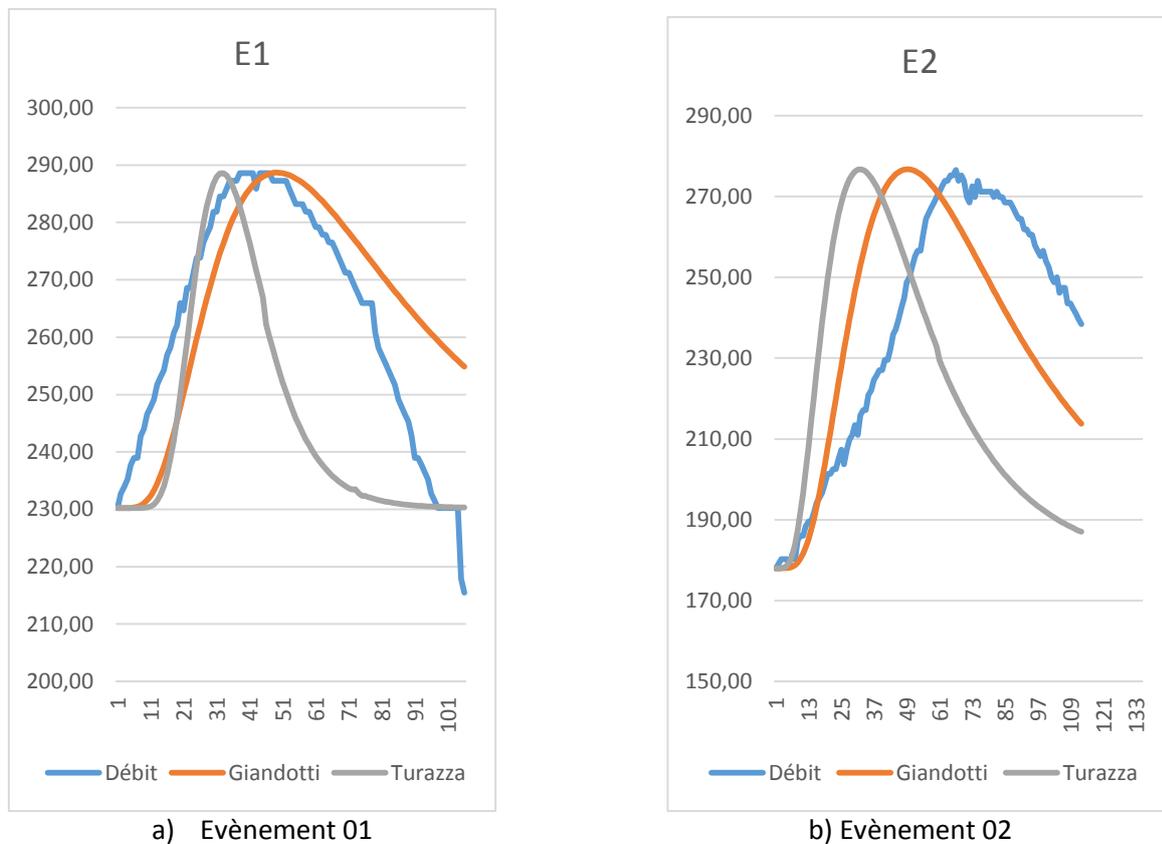
L'objectif est de déterminer laquelle des méthodes est la plus adaptée pour notre BV c'est-à-dire que nous allons comparer le temps de pointe entre certains évènements.

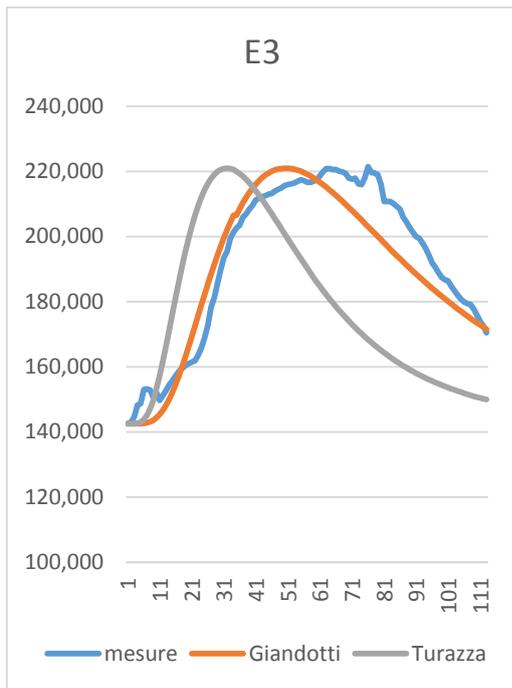
Hypothèse 02 :

- Prendre les valeurs des débits mesurés pour avoir les valeurs des débits de pointe et les valeurs de k.
- Débit pointe constant pour chaque évènement;
- Valeurs de K fixe et égale 0,82 ;
- Temps de montée variable ;

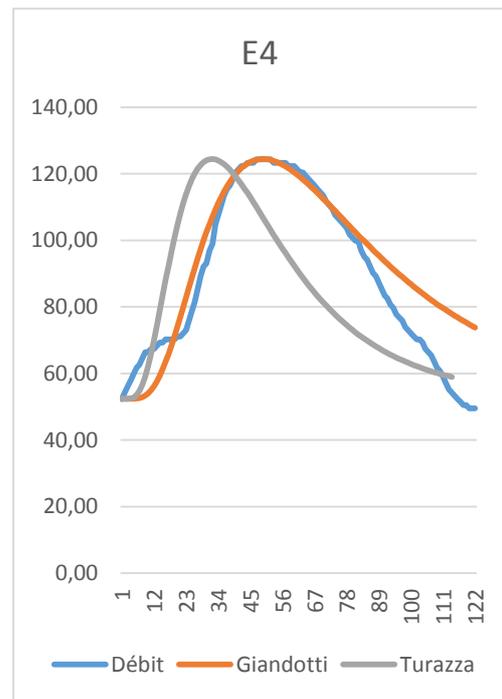
Nous avons calculé les t_p sur deux méthodes différentes : la méthode de Giandotti et de Turazza (cf figure 28).

Représentation des hydrogrammes sur les deux valeurs de temps de montées





c) Evènement 03



d) Evènement 04

Figure 28: comparaison suivant différentes valeurs de t_p

En analysant les hydrogrammes, nous observons des décalages sur les temps de montée.

Par la méthode de Turazza, nous obtenons des hydrogrammes de pointe atteints en avance par rapport aux hydrogrammes observés. Nous constatons une avance de plus de 24 heures.

Par la méthode de Giandotti, l'erreur sur le temps de montée est moins de 10 heures c'est-à-dire que la pointe est atteinte 10 heures avant ou après celle de la méthode de Giandotti.

II.3.Comparaison des débits de pointe :

D'après la méthode rationnelle, le débit de pointe peut s'obtenir par l'intensité moyenne de l'averse dans le tableau 10.

D'où nous pouvons obtenir la valeur des débits de pointe en fonction de la durée de l'averse et du temps de retour sur le tableau :

Tableau 16: Débits de pointe des différents T par la méthode rationnelle

durée de l'averse	débit (T=2)	débit (T=5)	débit (T=10)	débit (T=20)	débit (T=50)
5	761,4	1120,4	1364,4	1601,4	1911,5
10	600,7	851,6	1020,0	1182,6	1394,2
15	522,9	725,3	860,4	990,4	1159,2
20	473,9	647,3	762,5	873,3	1016,9
30	412,5	551,3	643,2	731,4	845,5
60	325,5	419,1	480,9	540,1	616,7
90	283,3	356,9	405,6	452,3	512,8
120	256,8	318,5	359,5	398,9	449,8

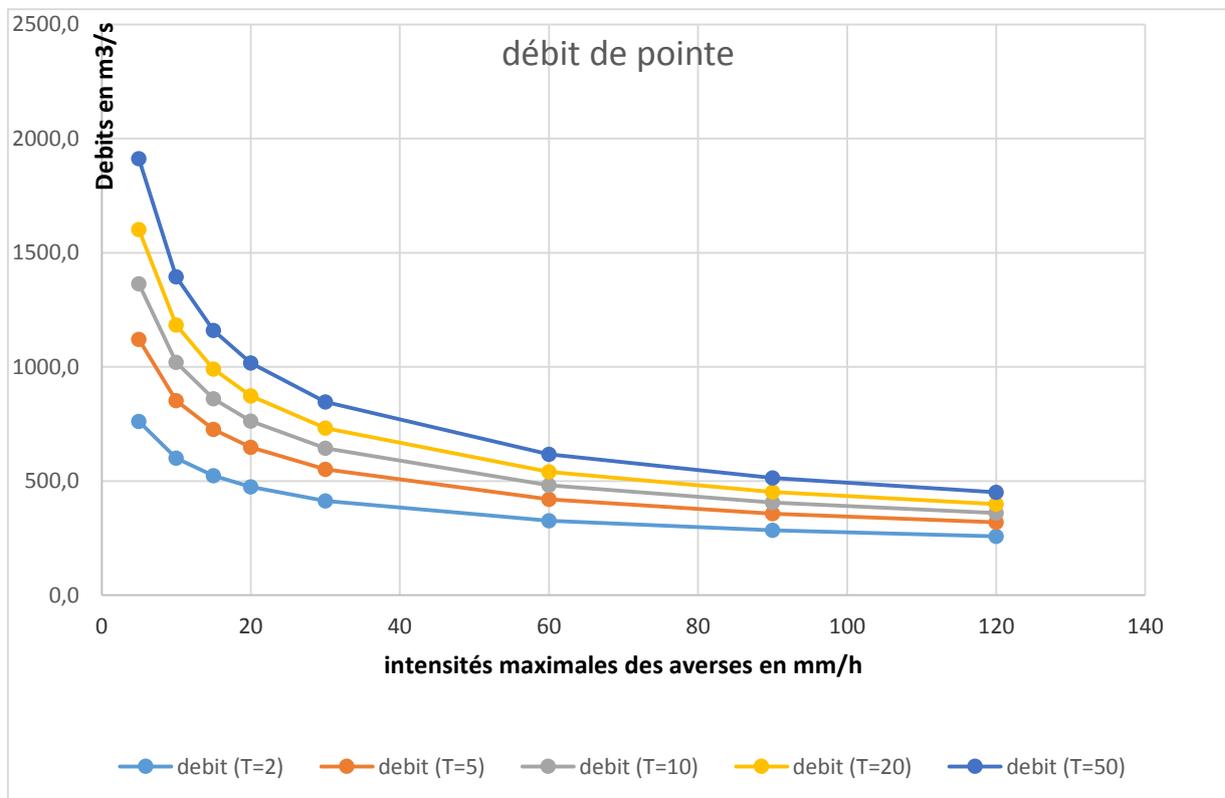


Figure 29: Courbe représentant les débits de pointe en fonction des intensités et leurs périodes de retour

Pour une averse d'intensité et de période de retour données, nous pouvons lire directement sur les courbes la valeur du débit de pointe correspondante.

Pour les différentes valeurs de temps de concentration calculées en **Chap I – IV**, nous obtenons les différentes valeurs de débit de pointe selon le tableau 17 suivant :

Tableau 17: Comparaison des valeurs des débits de pointe des différentes méthodes.

Méthode de calcul du débit de pointe	T = 2 ans	T = 5 ans	T = 10 ans	T = 20 ans	T = 50 ans
Méthode statistique (Gumbel)	563,3	495,4	442,9	388,2	305,5
Méthode rationnelle pour tc = 76h	612,0	538,2	481,2	421,7	331,7
Méthode rationnelle pour tc = 51h	721,1	630,1	559,8	486,4	375,2

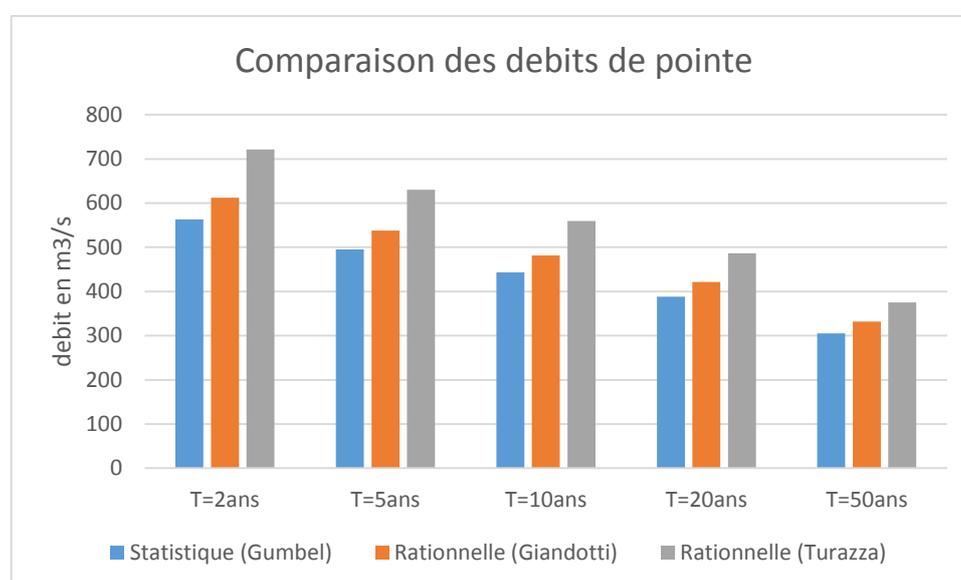


Figure 30: Comparaison des débits de pointe

Par la figure 30, nous avons les valeurs des débits de pointe de la méthode statistique et des pointes obtenues sur les deux valeurs de temps de concentration.

Nous constatons que nous pouvons avoir les débits de pointe par la méthode rationnelle et pour la valeur de tc=76heures.

D'après la comparaison des débits de pointe de mesure avec celles calculées par la méthode rationnelle, nous pouvons introduire un coefficient de correction de pointe **Cp=0,92**.

D'où :

$$Q_p = 0,92.Q_{pr}$$

Avec :

Q_p le débit de pointe ;

Q_{pr} le débit de pointe par la méthode rationnelle.

A partir des études comparatives effectuées précédemment, nous obtenons les valeurs optimales sur les différents paramètres de l'hydrogramme synthétiques :

- ✚ Pour le paramètre de forme k, nous prendrons la valeur $k=0,72$;
- ✚ Pour la valeur du temps de montée, la valeur obtenue par la méthode de Giandotti est la valeur optimale ou $t_m=51$ heures ;
- ✚ Pour le calcul des débits de pointe, nous appliquerons la méthode rationnelle avec le coefficient de correction de pointe $C_p=0,92$.

III. Création de l'Interface Graphique d'Utilisateur (IGU)

Après validation par comparaison des différentes méthodes, nous avons obtenus les paramètres optimaux de l'hydrogramme de Galton. Ceci nous a permis de créer une interface de calcul rapide. L'interface contient les différentes étapes de calcul en tenant compte de ces paramètres optimaux.

III.1 Données d'entrées

- I_{moy} : Intensité moyenne de pluie ;
- D : la durée de l'averse ;
- Q_b : débit de base

L'hydrogramme synthétique de Galton suppose un débit nul à l'exutoire à l'instant initial. Pour l'application de la méthode, nous allons considérer le débit initial à l'exutoire pour pouvoir comparer les hydrogrammes synthétiques avec les hydrogrammes naturels.

En absence de mesure des débits initiaux, nous prendrons comme valeur de référence la moyenne mensuelle des débits de base qui sera supposée constante et nous comparerons les débits de la formule avec ceux mesurés.

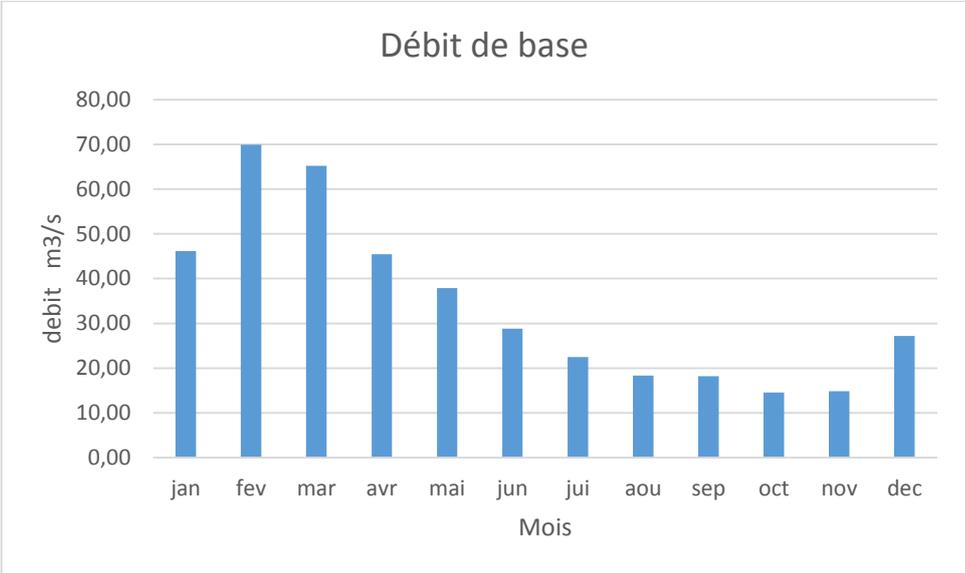
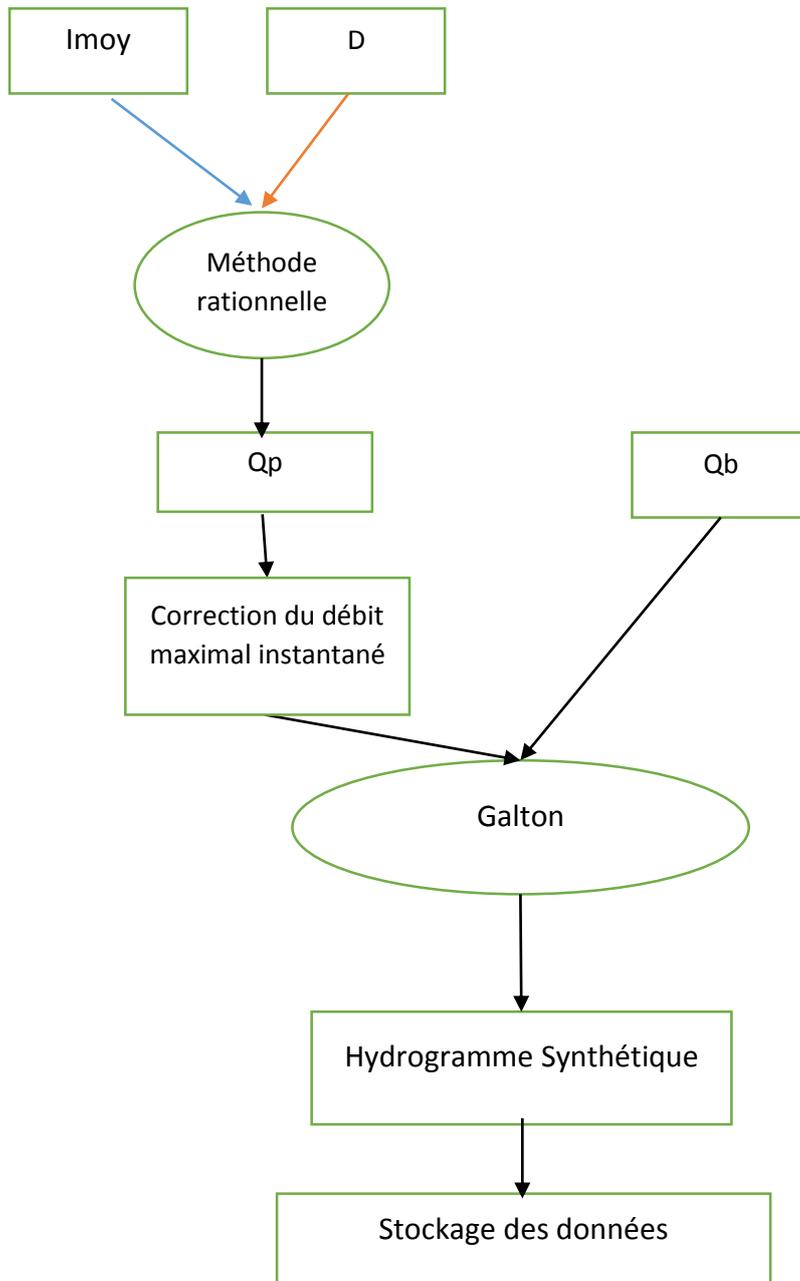


Figure 31: Débit de base mensuel

III.2 Schéma de la structure du programme



III.3 Présentation de l'interface graphique (GUI)

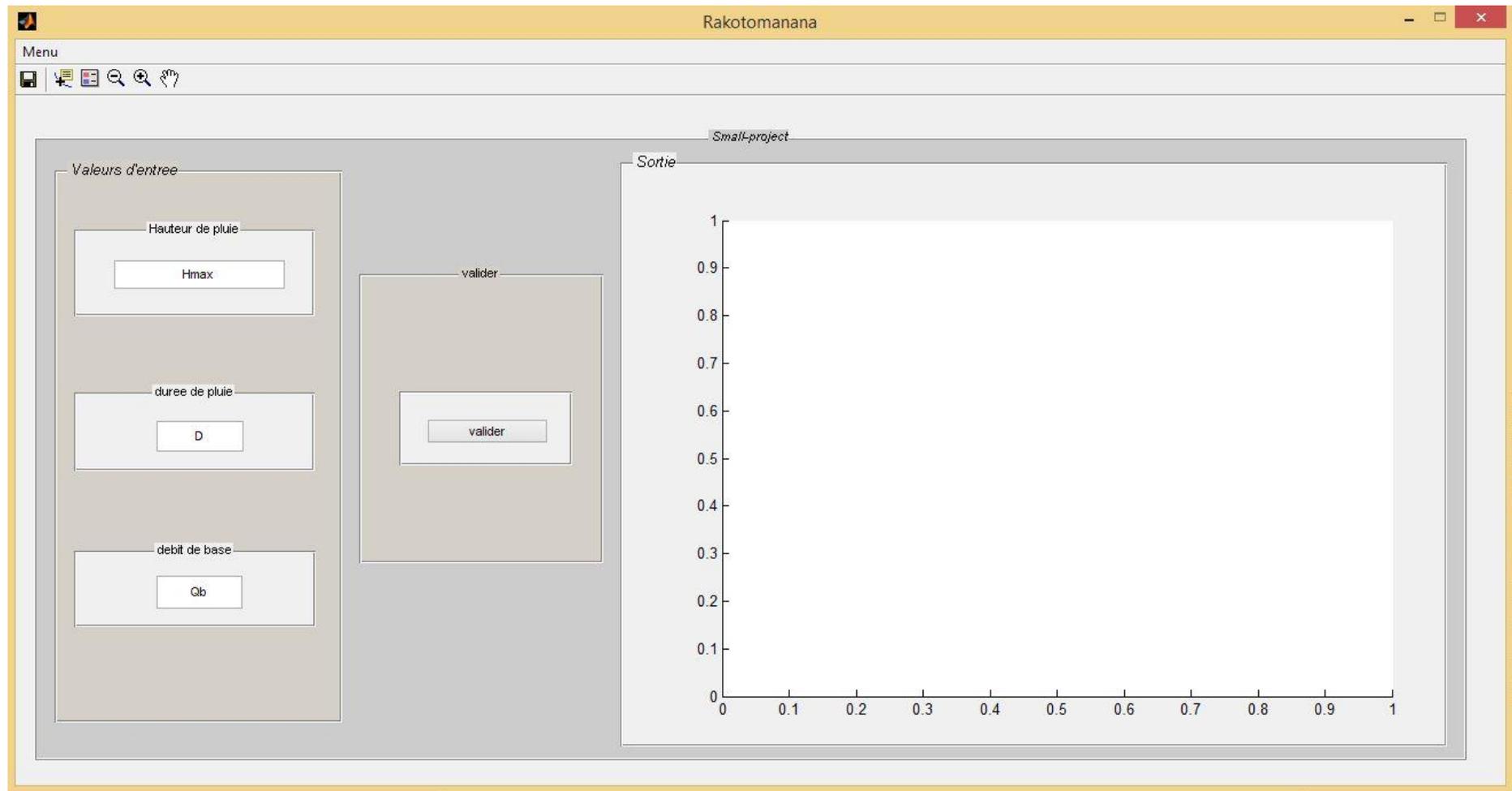


Figure 32: Interface graphique

IV. Validation et étude des erreurs :

Dans les paragraphes qui suivent, nous procéderons à la reconstruction de plusieurs évènements. Nous pouvons ensuite définir les erreurs relatives et faire les calculs des coefficients de corrélation entre les hydrogrammes synthétiques et mesurés.

IV.1 Reconstruction des hydrogrammes :

Considérons plusieurs évènements de validation pour les calculs d'erreur des hydrogrammes synthétiques.

Evènement	Date
1	Pluie du 15 au 18 janvier 2002
2	Pluie du 17 au 19 avril 2002
3	Pluie du 27 février au 02 mars 2003

Evenement 1

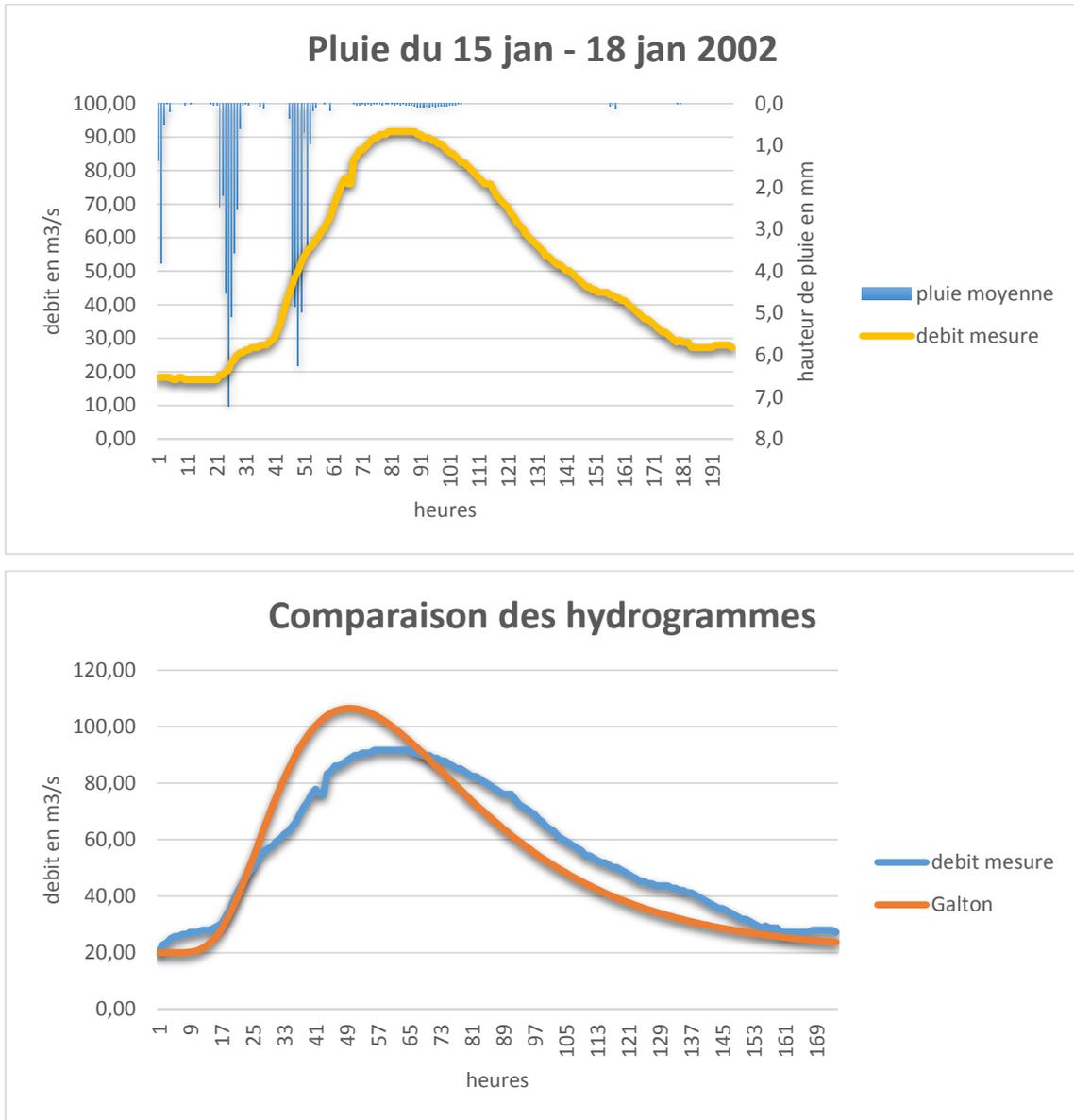


Figure 33: Comparaison de l'hydrogramme naturel et de l'hydrogramme de Galton (évènement 1)

Tableau de la moyenne des erreurs relatives et du coefficient de corrélation

Erreur relative (%)	Coefficient de corrélation
16	0,94

Evenement 2

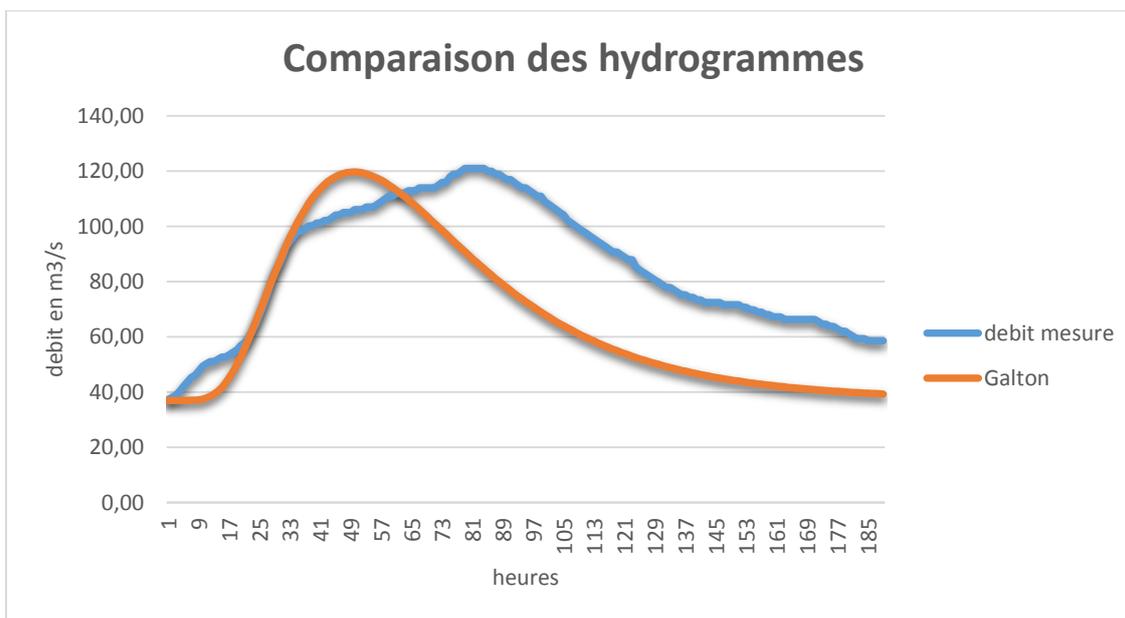
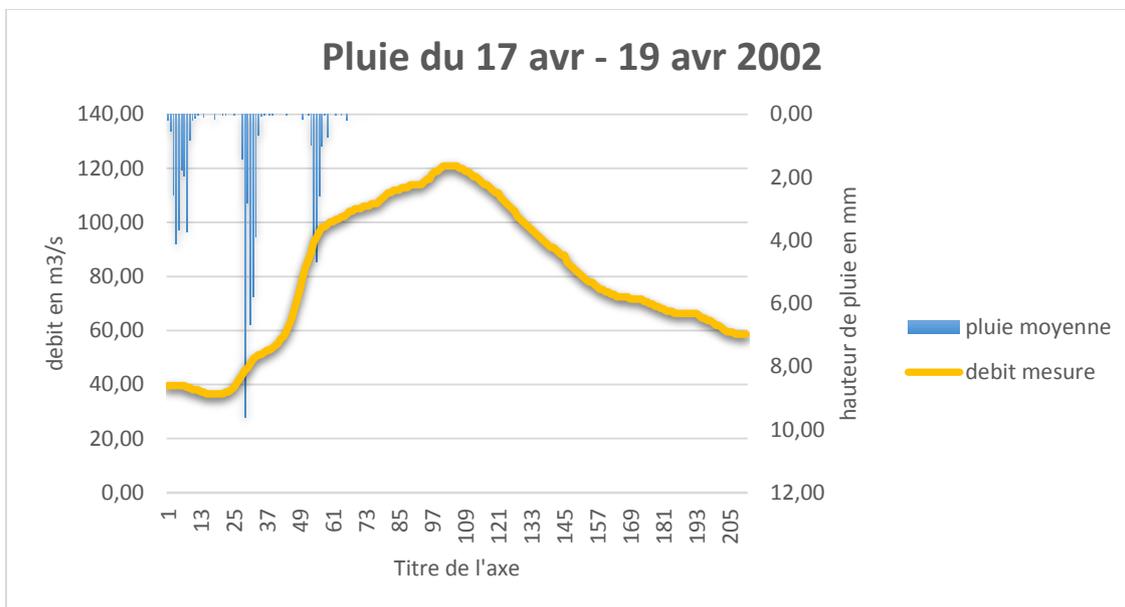


Figure 34: Comparaison de l'hydrogramme naturel et de l'hydrogramme de Galton (évènement 2)

Tableau de la moyenne des erreurs relatives et du coefficient de corrélation

Erreur relative (%)	Coefficient de corrélation
25	0,80

Evenement 3

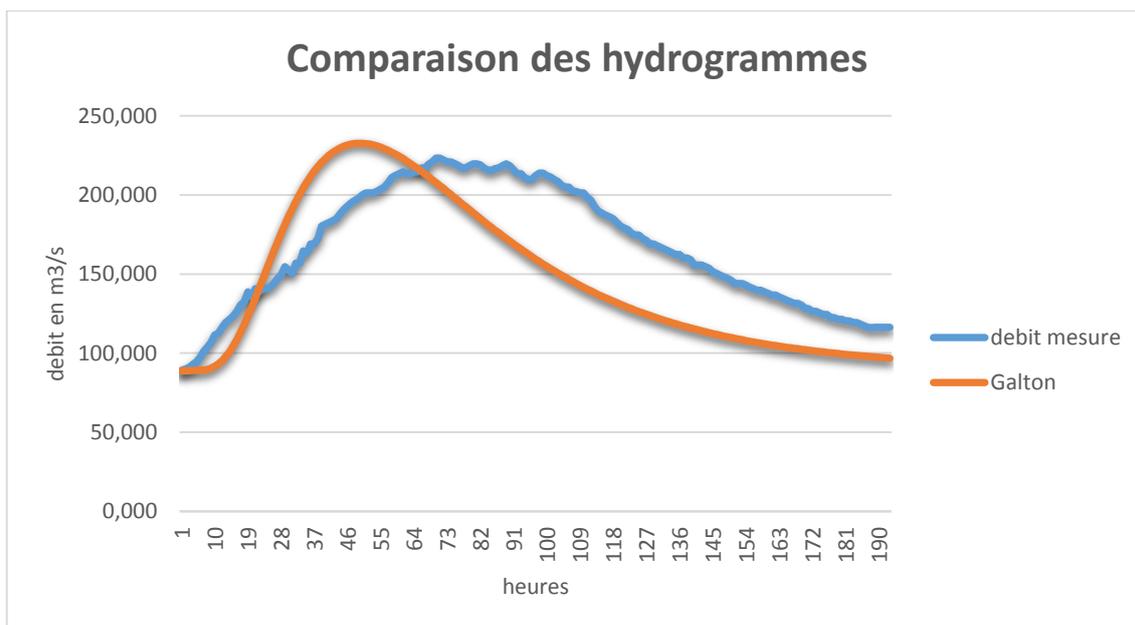
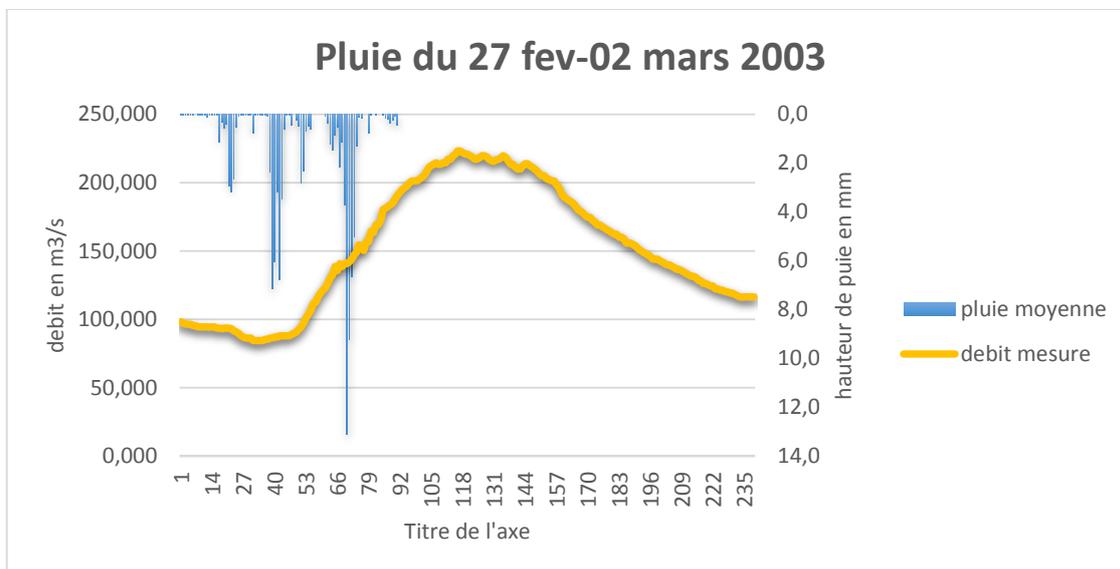


Figure 35: Comparaison de l'hydrogramme naturel et de l'hydrogramme de Galton (évènement 3)

Tableau de la moyenne des erreurs relatives et du coefficient de corrélation

Erreur relative (%)	Coefficient de corrélation
19	0,77

IV.2 Erreurs et corrélation

En analysant les hydrogrammes, nous constatons qu'à la montée des courbes, les caractéristiques des hydrogrammes sont similaires. Mais dans la phase de décrue, les hydrogrammes synthétiques s'écartent des hydrogrammes naturels. Il est donc nécessaire de faire les calculs d'erreur en séparant les hydrogrammes en phase de concentration et phase de décrue.

Dans les deux paragraphes qui suivent, nous allons procéder aux calculs des erreurs moyennes et des erreurs en séparant les hydrogrammes.

IV.2.1. Erreurs moyennes

Nous avons les valeurs moyennes des erreurs et les coefficients de corrélation dans le tableau 18 suivant :

Tableau 18: Erreur relative et coefficient de corrélation

Erreur relative (%) moyenne	Coefficient de corrélation moyenne
20	0,84

Sur les différents hydrogrammes synthétiques, les comparaisons avec les débits mesurés nous montrent une erreur moyenne de 20%. Plusieurs paramètres peuvent modifier ces valeurs de débit, il faut donc faire l'analyse de certains points comme :

- ❖ La variation temporelle du coefficient de ruissellement ;
- ❖ Le degré d'humidité initial du sol ;
- ❖ La répartition spatiale des stations pluviométriques ;
- ❖ La variation du temps de réponse du bassin suivant l'aspect des averses.

En analysant la forme des hydrogrammes, nous avons un coefficient de corrélation moyenne de 0,84 ce qui implique une forte corrélation entre les hydrogrammes de mesures et des hydrogrammes de Galton.

IV.2.2. Séparation des hydrogrammes

En séparant les hydrogrammes, nous obtenons les valeurs moyennes des erreurs en phase de concentration et en phase de décrue.

Tableau 19: Valeurs des erreurs par séparation des hydrogrammes

Erreur relative à la phase de concentration	13 %
Erreur relative à la phase de décrue	22%

V. Interprétations des résultats :

À partir des hydrogrammes que nous avons comparés précédemment, nous constatons une faible différence entre les valeurs des débits maximales instantanées. Le débit de pointe qui dépend du temps de concentration et du coefficient de ruissellement, a pu être établi à partir de la méthode rationnelle. Donc l'hypothèse du coefficient de ruissellement constant est valable sur le calcul du débit.

La comparaison des hydrogrammes de crue modélisés et des hydrogrammes de crue mesurés a permis de voir l'efficacité et la performance du modèle utilisé. Les débits de pointes sont presque tous atteints. En effet, le gradient des valeurs débits de pointe dépend de la valeur du débit de base choisi lors de la création du modèle de crue. On observe quelque décalage pour l'allure générale des courbes. Ce décalage est quantifié par l'erreur relative. Les courbes se ressemblent plus en phase de montée que de décrue.

Pendant les phases de concentration, l'erreur relative moyenne est de l'ordre de 13%. Le décalage de l'allure de la courbe de concentration est dû aux variations du temps de réponse du bassin et du paramètre de forme de l'hydrogramme qu'on a supposé constants.

Pendant les phases de décrue, l'erreur relative moyenne est de l'ordre de 22%. Le décalage de l'allure de la courbe de décrue est dû à la durée et à la valeur de l'intensité de précipitation utilisée. Dans le solveur, on utilise la valeur moyenne des précipitations pour un événement. Or on sait très bien que l'intensité varie en fonction du temps même pour un seul événement.

Si on arrive à intégrer la variation temporelle de l'intensité de précipitation, les variations événementielles du temps de réponse et du paramètre de forme des hydrogrammes, on pourra ajuster les hydrogrammes ainsi créés.

CONCLUSION

La gestion de crue constitue un outil de développement d'un pays comme Madagascar. En effet, la connaissance de comportement hydrologique permet aux acteurs de développement de prendre les décisions dans divers domaines comme : le plan d'urbanisme, protection contre l'inondation, gestion des ressources en eau, etc.

L'intérêt de cet ouvrage est de donner un outil de calcul pour la prédiction et comportement de crue du bassin de Bevomanga. Ainsi, différentes étapes de calcul, de calage et de validation ont été élaborées afin de fixer certains paramètres capitaux pour l'élaboration d'un hydrogramme de crue.

L'étude que nous avons faite nous a conduits à avoir les caractéristiques hydrologiques et de comprendre le processus de transfert pluie – débit de notre BV. Les caractéristiques du BV ont été établies à partir du traitement sous Arcview du Modèle numérique du terrain. Ce qui a démontré l'importance du SIG sur le domaine de l'hydrologie.

Le débit de pointe qui dépend du temps de concentration et du coefficient de ruissellement, a pu être établi à partir de la méthode rationnelle.

Nous avons pris la valeur obtenue par la méthode de Giandotti vu que celle-ci se rapproche plus de la réalité, mais nous avons vu que le temps de montée des hydrogrammes n'est pas constant. Mais suite à plusieurs comparaisons des hydrogrammes, on peut valider la méthode de Giandotti mais il est recommandé de faire une étude sur la variation du temps de réponse du bassin.

Les résultats de la méthode de Galton permettent d'obtenir l'hydrogramme synthétique, ce qui contribuera à l'amélioration des prévisions et l'estimation de l'évolution des débits. Sur ce, nous devons tenir compte de certaines limites, à savoir l'évolution de l'occupation du sol du BV qui aura des effets sur le ruissellement.

Ceci étant, il est possible de faire la même étude à partir d'autres méthodes et de tester notre méthode sur les petits bassins mais ceci constitue un autre projet de travail.

BIBLIOGRAPHIE ET WEBOGRAPHIE

- [1] <https://hydrologie.org/glu/FRDIC/DICHYDROL.HTM>
- [2] <http://echo2.epfl.ch/e-drologie/chapitres/chapitre2/chapitre2.html>
- [3] <https://water.usgs.gov/edu/watercyclefrench.html>
- [4] <http://echo2.epfl.ch/e-drologie/chapitres/chapitre5/chapitre5.html>
- [5] <http://www.ecosociosystemes.fr/regime.html>
- [6] Gnouma, R. 2002. *Étude du fonctionnement hydrologique du bassin versant*. Cemagref, DEA Hydrologie, Hydrogéologie, Géostatistique et Géochimie / ENGREF Paris.
- [7] <https://fr.mathworks.com/discovery/matlab-gui.html>
- [8] <http://www.marocmeteo.ma/?q=fr/climato/courbeintensitdurefrquence>
- [9] MICHEL C. (1978), *Étude statistique d'événements hydrologiques*, ministère de l'Agriculture, CTGREF, 22 -Étude, p.15-17.
- [10] COLINE., MICHEL C. (1980), *Approche statistique du coefficient d'écoulement et utilisation pour la prédétermination des crues*, La Houille Blanche, 4, p. 252-257.
- [11] Réméniéras, G. (1972) *L'Hydrologie de l'Ingénieur* (troisième édn). Collection du Centre de Recherches et d'Essais de Chatou, Eyrolles, France.
- [12] Composition ethnique de la Région Analamanga ; livre de Communes Tana ; p127- 209

ANNEXES

Annexe 1 : Délimitation du BV

La délimitation se fait suivants les différentes étapes suivantes :

- **Fill Sinks** : dans le menu « DEM Manipulation », pour la numérisation du MNT.
- **Flow Direction** : pour déterminer le sens de l'écoulement dans chaque partie du terrain.
- **Flow Accumulation** : pour déterminer les cours d'eau majeurs.
- **Stream Definition** : pour classifier les cours d'eau et les faire apparaitre suivant les tailles voulus.
- **Stream Segmentation** : pour diviser le terrain suivant des parties ayant les mêmes exutoires suivant les différents cours d'eau.
- **Catchment Grid Delineation** : pour délimiter les sous-bassins
- **Catchment Polygon Processing**
- **Drainage Line Processing**
- **Adjoint Catchment Processing**
- **Batch Point Generation** : pour définir l'exutoire du BV.
- **Data Management Watershed Delineation** : pour procéder à la délimitation par rapport à l'exutoire défini précédemment.

Annexe 2 : coefficients de ruissellement

Valeur du coefficient de ruissellement en fonction de la nature et du type d'occupation du sol

Occupation du sol	Coefficient de ruissellement
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Commercial ▪ Résidentiel <ul style="list-style-type: none"> Aménagements Collectifs Habitats dispersés ▪ Industriel ▪ Parcs et jardins publics ▪ Terrains vagues ▪ Terres agricoles <ul style="list-style-type: none"> drainées non drainées 	<p style="text-align: center;">$0,70 < C_r < 0,95$</p> <p style="text-align: center;">$0,30 < C_r < 0,50$</p> <p style="text-align: center;">$0,50 < C_r < 0,75$</p> <p style="text-align: center;">$0,25 < C_r < 0,40$</p> <p style="text-align: center;">$0,50 < C_r < 0,80 \text{ à } 0,90$</p> <p style="text-align: center;">$0,10 < C_r < 0,25$</p> <p style="text-align: center;">$0,50 < C_r < 0,15 \text{ à } 0,20$</p> <p style="text-align: center;">$0,10 < C_r < 0,13$</p> <p style="text-align: center;">$0,03 < C_r < 0,07 \text{ à } 0,10$</p>
Type de surface	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Pavage, chaussées revêtues, pistes ciment ▪ Toitures et terrasses ▪ Sols imperméables avec végétations <ul style="list-style-type: none"> Pente < 2 % Pente = 2 à 7 % Pente > 7 % ▪ Sols imperméables avec végétations <ul style="list-style-type: none"> Pente < 2 % Pente = 2 à 7 % Pente > 7 % 	<p style="text-align: center;">$0,70 < C_r < 0,95$</p> <p style="text-align: center;">$0,75 < C_r < 0,95$</p> <p style="text-align: center;">$0,13 < C_r < 0,18$</p> <p style="text-align: center;">$0,18 < C_r < 0,22 \text{ a } 0,25$</p> <p style="text-align: center;">$0,25 < C_r < 0,35$</p> <p style="text-align: center;">$0,05 < C_r < 0,10$</p> <p style="text-align: center;">$0,10 < C_r < 0,15$</p> <p style="text-align: center;">$0,15 < C_r < 0,20$</p>

Annexe 3 : Pluviométrie et débit

Pluie moyenne mensuelle 2001-2010

Janv	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juillet	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec
0,72	0,55	0,13	0,11	0,02	0,015	0,012	0,05	0,04	0,13	0,12	0,65

Source : APIPA

Valeurs des pluies extrêmes

heures	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
3	1,12	1,18	1,09	2,98	1,98	3,01	2,54	1,57	1,25	1,48
6	1,45	1,92	2,45	1,85	2,05	1,09	2,95	1,04	1,24	1,32
9	3,15	1,91	2,14	2,07	2,89	1,69	1,76	1,81	1,72	1,68
12	2,01	2,27	2,41	2,11	2,36	2,18	2,63	3,04	3,35	2,99
15	2,98	2,01	3,01	1,96	2,42	1,75	1,51	1,67	3,5	1,44
19	3,04	1,25	1,01	2,35	2,8	2,68	2,5	2,75	2,31	1,95

Source : APIPA

Débit maximum

1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982
255	249	323	408	306	302	326	408	393	642	300	343	205
1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995
318	345	367	243	358	227	364	484	377	400	364	372	534
1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
144,68	288,59	390,409	314,12	308,43	257,88	423,43	369,86	276,92	250,96	223,3	287,86	292,76
2009	2010											
229,64	432,94											

Annexe 4: lame d'eau tombée – lame d'eau ruisselée

Evènement	Année	Total de lame d'eau tombée (mm)
1	2001	92,7428
2	2002	512,6761
3	2003	539,1133
4	2004	285,9686
5	2005	63,1204
6	2006	127,6554
7	2007	61,6531
8	2008	88,4415
9	2009	330,4045
10	2010	63,0793

Evènement	Année	Volume d'eau ruisselé [m³]
1	2001	37 513 563,4863
2	2002	299 834 824,6507
3	2003	370 487 299,3171
4	2004	202 961 688,0337
5	2005	47 641 406,9511
6	2006	100 342 904,6139
7	2007	49 773 311,6865
8	2008	73 280 794,4858
9	2009	306 006 454 398,855
10	2010	61 156 958 322,5

Annexe 5 : Etude de la relation entre deux variables

C'est une technique qui permet d'étudier la relation qui pourrait exister entre deux variables quantitatives X et Y: - Corrélation positive, c'est-à-dire à toute augmentation au niveau de X correspond une augmentation au niveau de Y. Les deux variables varient dans le même sens et avec une intensité similaire. Exemple: la taille et le poids - Corrélation négative, c'est-à-dire à toute augmentation au niveau de X correspond une diminution au niveau de Y. Les deux variables varient dans deux sens opposés et avec une intensité similaire.

Le coefficient de corrélation de Bravais-Pearson

Le coefficient de corrélation de Bravais-Pearson est un indice statistique qui exprime l'intensité et le sens (positif ou négatif) de la relation linéaire entre deux variables quantitatives. C'est une mesure de la liaison linéaire, c'est à dire de la capacité de prédire une variable x par une autre y à l'aide d'un modèle linéaire. Il permet de mesurer l'intensité de la liaison entre deux caractères quantitatifs. C'est donc un paramètre important dans l'analyse des régressions linéaires (simples ou multiples). En revanche, ce coefficient est nul ($r = 0$) lorsqu'il n'y a pas de relation linéaire entre les variables (ce qui n'exclut pas l'existence d'une relation autre que linéaire). Par ailleurs, le coefficient est de signe positif si la relation est positive (directe, croissante) et de signe négatif si la relation est négative (inverse, décroissante). Ce coefficient varie entre -1 et +1 ; l'intensité de la relation linéaire sera donc d'autant plus forte que la valeur du coefficient est proche de +1 ou de - 1, et d'autant plus faible qu'elle est proche de 0.

- une valeur proche de +1 montre une forte liaison entre les deux caractères. La relation linéaire est ici croissante (c'est-à-dire que les variables varient dans le même sens);
- une valeur proche de -1 montre également une forte liaison mais la relation linéaire entre les deux caractères est décroissante (les variables varient dans le sens contraire);
- une valeur proche de 0 montre une absence de relation linéaire entre les deux caractères.

Le calcul :

Le coefficient r de Bravais-Pearson entre deux variables X et Y se calcule à partir de la covariance et des écart-types en appliquant la formule suivante :

$$r_{x,y} = \frac{\text{COV}_{x,y}}{\delta_x \times \delta_y}$$

Avec

$$\text{COV}_{x,y} = \frac{\sum_i (x_i - m_x)(y_i - m_y)}{n}$$

L'erreur relative

Par définition l'erreur relative est le quotient de l'erreur absolue à la valeur vraie : sa valeur en % s'obtient par la formule suivante en posant respectivement $Q_g(t)$ et $Q_m(t)$ les débits instantanés simulés et mesurés.

$$\varepsilon = \frac{|Q_g(t) - Q_m(t)|}{Q_m(t)} \times 100$$

Table des matières

REMERCIEMENTS	i
SOMMAIRE	ii
LISTE DES ABRÉVIATIONS	iii
LISTE DES FIGURES.....	iv
LISTE DES TABLEAUX	vi
LISTE DES ANNEXES	vii
GLOSSAIRE	viii
INTRODUCTION	
PARTIE I. GÉNÉRALITÉS SUR L'HYDROLOGIE	1
Chapitre I. Quelques définitions.....	2
I. L'hydrologie	2
II. Le bassin versant	2
Chapitre II. Cycle de l'eau	4
I. Définition	4
II. Mécanisme	5
II.1 Les précipitations	6
II.2 Évaporation et évapotranspiration.....	6
II.3 L'interception et les stockages dans les dépressions	7
II.4 L'infiltration et la percolation	7
II.5 Les écoulements	8
Chapitre III. Régimes hydrologiques	11
I. Les régimes hydrologiques en fonction de l'apparition et de la fréquence d'évènements hydrologiques extrêmes : crues et étiages.....	11
II. Classification des régimes en fonction des variations saisonnières des débits :	13
II.1 Le régime simple	13
II.2 Le régime mixte ou complexe originel.....	14
II.3 Le régime complexe changeant	15
Chapitre IV. Hydrogramme de crue.....	16
I. Généralités.....	16
II. Description d'un hydrogramme	16
III. Classification des hydrogrammes	17
PARTIE II. APPROCHES MÉTHODOLOGIQUES.....	19

Chapitre I. Méthodologie du travail	19
I. Approche générale	19
II. Structure	20
III. Le modèle de Galton sous Matlab	21
Chapitre II. Cadre Théorique	22
I. Délimitation du bassin versant	22
II. Comportement hydrologique du BV	22
II.1 Réaction hydrologique	22
II.2 Le temps de concentration du BV.....	24
II.3 Le temps de réponse du BV	25
II.4 Le temps de montée	25
III. Les caractéristiques physiques et leurs influences sur l'écoulement des eaux	25
III.1 . Les caractéristiques géométriques	26
III.2 . Le réseau hydrographique	31
IV. Intensités pluviométriques	36
IV.1 Mesure des précipitations	36
IV.2 Evaluation régionale des précipitations.....	36
IV.3 Estimation de la lame précipitée	36
IV.4 Les courbes Intensité – Durée – Fréquences IDF.....	37
V. Le coefficient de ruissellement	39
VI. Modèle type Galton	40
VI.1. Loi de Galton	40
VI.2. Les paramètres de l'hydrogramme.....	41
Chapitre III. Présentation de la zone d'étude	44
I. Caractéristiques de la zone d'étude	44
II. Le modèle numérique de terrain.....	47
PARTIE III. RÉSULTATS, INTERPRÉTATIONS ET DISCUSSIONS	48
Chapitre I. Caractéristiques physiques du BV	49
I. Délimitation	49
II. Paramètres de forme.....	50
III. Réseau hydrographique et ordre des cours d'eau	50
IV. Courbe hypsométrique	53
V. Pédologie et occupation du sol	55
Pédologie.....	55
Occupation du sol	57

VI.	Le coefficient de ruissellement	59
VII.	Temps de concentration – Temps de réponse – Temps de montée :	60
VIII.	Les stations pluviométriques – Polygones de Thiessen.....	61
Chapitre II.	Analyse statistique de précipitation et de débit	63
I.	Courbe IDF	63
II.	Hydrogrammes fréquentiels :	64
Chapitre III.	Modèle Galton	68
I.	Choix des évènements de référence :	68
II.	Etude paramétrique :	69
III.	Création de l'Interface Graphique d'Utilisateur (IGU).....	77
IV.	Validation et étude des erreurs :	81
IV.1	Reconstruction des hydrogrammes :	81
IV.2	Erreurs et corrélation.....	85
V.	Interprétations des résultats :	87
CONCLUSION	.....	88
BIBLIOGRAPHIE ET WEBOGRAPHIE	.....	89
ANNEXES.....	.....	A
<i>Annexe 1 : Délimitation du BV</i> .....	.....	A
<i>Annexe 2 : coefficients de ruissellement</i> .....	.....	B
<i>Annexe 3 : Pluviométrie et débit</i> .....	.....	C
<i>Annexe 4: lame d'eau tombée – lame d'eau ruisselée</i>.....	.....	D
<i>Annexe 5 : Etude de la relation entre deux variables</i>.....	.....	E
Table des matières .....	.....	G

Titre : « Création d'un outil de prédiction de crue, basée sur le modèle Galton du bassin de Bevomanga »



Auteur : RAKOTOMANANA Andriamampionona Zoherilalaina

Contact : +261 34 74 253 14

zoherymto@gmail.com

Nombres de pages : 88

Nombres de tableaux : 15

Nombres de figures : 30

Nombres d'annexes : 7

RESUME :

La maîtrise des crues est un des préalables fondamentaux au développement durable. Cette maîtrise nécessite la caractérisation de crue. Ce qui nous fait appel aux différentes méthodes de calcul sur le transfert pluie – débit. L'objectif de l'étude est d'avoir l'hydrogramme par l'application du modèle Galton, ceci en passant par l'analyse des paramètres du bassin versant.

Mots clés : crue, modèle Galton, hydrogramme

ABSTRACT:

The rise in water level control is one of the fundamental preconditions to a durable development and requires characteristics. We have to call on different methods of calculation about transfer rain – flow. This research work aims at obtaining hydrogramme with the model Galton application after analyses of the catchment area parameters.

Keywords: rise in water level, model Galton, hydrogramme

Directeur de mémoire : Mr RAMANAKOTO Toky, Maître de Conférences à l'Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo