Chapitre III : Etude Hydrologique

Introduction :

L'étude hydrologique est une partie très importante dans le calcul d'un réseau d'assainissement. Cette partie prend toute son ampleur lorsqu'il s'agit de déterminer la quantité des eaux pluviales d'un bassin donné. Pour une étude hydrologique, qui à pour but le dimensionnement d'un réseau de collecte et d'évacuation des eaux pluviales, on est contraint de passer par certaines étapes qui seront illustrées ultérieurement. A cette fin, on définie les notions et termes suivant :

III.1.Les averses : [5]

Elles sont constituées par l'ensemble des précipitations issues d'une même perturbation météorologique; la durée de ce phénomène varie entre quelques minutes et plusieurs dizaines d'heures. Ces averses sont caractérisées par une forte intensité et un ruissellement important.

Le volume d'eau qui tombe est déterminé sur un hydrograme suite au dépouillement d'un pluviographe enregistrant la variation de la lame d'eau dans le temps.

III.2.Choix de la période de retour :

La période de retour est le temps que met une averse d'une intensité donnée pour se manifester. Une pluie de période de retour de 10 ans est une pluie qui peut se manifester une fois tous les 10 ans. Pour les projets d'assainissement, nous optons généralement pour une pluie décennale. Le choix d'une période de retour est le résultat d'un compromis entre le coût du réseau d'égout, l'entretien et la protection de ce dernier contre les risques auxquels il est exposé et ceux qu'il risque de provoquer en cas d'insuffisance.

III.3.Détermination de l'intensité moyenne de précipitation :

En hydrologie urbaine, l'ingénieur hydrologue est appelé à avoir des données spécifiques au projet étudié, mais dans certaines conditions il rare de recourir des données spécifiques. C'est la raison pour laquelle on est contraint à réunir une information de base , la plus complète possible, pour aider à analyser par la statistique les événement pluvieux tout en identifiant leurs paramètres.

Lors de l'étude d'une averse, il convient de déterminer les intensités moyennes maximales qui se définissent par rapport à la hauteur d'eau tombée pendant une durée t, soit :

$$\mathrm{Im} = \frac{h}{t} \qquad \text{(III-1)}$$

Im : intensité moyenne en mm/h.

h : hauteur de pluie tombée pendant la durée **t.**

Pour le calcul de l'intensité, on doit :

- Analyser les données pluviométriques et faire le choix du type de la loi à laquelle il faut ajuster nos résultats.
- Calculer les paramètres de la loi choisie et vérifier son adéquation.
- Calculer la valeur de l'intensité moyenne de précipitation.

L'absence de station d'observation pluviométrique couvrant la ville de SIDI HADJRES nous utiliserons les données de station avoisinante AIN KHERMANE indiqué sur le tableau suivant :

Tableau III.1 : Série d'observation de précipitations maximales journalières (station expérimentale AIN KHERMANE code : 050702)

ANNEE	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUN	JUI	AUT	Pmaxj
1980	2	3,9	15,7	24,6	0	13,9	3,5	11,3	0	8,5	3,9	0	24,6
1981	11	6,7	0	15,4	4,2	11,7	17	15,2	15,3	7,8	0	0	17
1982	2,5	8,2	20,9	1,8	0	6,5	0	22,4	4	3,6	0	40,5	40,5
1983	0	2,5	0	0	18,4	2,8	7,2	10,4	6,8	1,3	0	11	18,4
1984	1,2	2,4	15,5	2,8	16,2	4	8,2	3,7	7,5	3,7	2,3	0	16,2
1985	19,4	12,9	7,8	8,2	4,5	4,5	16,2	3,2	3,2	50,4	0	0	50,4
1986	6,7	11,8	8,1	4,3	12,2	11	2,7	5,3	10,2	5,5	23,9	9,2	23,9
1987	0	4,5	11,7	3,2	6,5	0	5,5	18,4	15,7	21,4	0	4,5	21,4
1988	1,6	0	11,2	10,5	0	3,5	0	0	15,7	12,9	3,8	26,1	26,1
1989	6,1	10	8,5	6,7	7,8	0	16,1	17,7	46,5	0	2,5	0	46,5
1990	10,5	13,5	4,5	5,5	0	8,2	39,3	4,5	9,3	0,9	5,5	8,9	39,3
1991	15,2	31,7	11,7	4,7	8,4	6,2	6,5	3,9	25,1	8,2	15	0	31,7
1992	0	2	22,4	0	0	8	2,3	3	21,1	0	0	0	22,4
1993	26,4	0	18,7	11,7	2,2	5,8	19	0	0	0	0	4,5	26,4
1994	14	26,1	2,3	0	3,2	2,7	16,7	1,9	1,9	5,7	0	0	26,1
1995	16,6	2,9	2,5	11,4	13,2	10,7	15,7	16,8	37,7	23,1	13,7	2,6	37,7
1996	6,5	0	1,8	12,7	6,7	8,2	1,3	12,7	7,6	3,9	1	34,6	34,6
1997	0	5,3	14,7	3,5	2,8	17,3	27,6	0	16,4	3,4	0	2,3	27,6
1998	11,7	0	1,5	1,8	22,4	7,8	7,2	7,2	2,9	6	0	2	22,4
1999	8,1	30,3	6	28,2	0	0	3	1	24,6	0	0	26,6	30,3
2000	5,9	2,4	3,4	8,9	7,1	2,5	17,3	0	10,6	0	0	1,7	17,3
2001	7,3	8,2	5,9	7,8	6	0	0	3	32	1,3	6,1	6,2	32
2002	8,7	20,6	5,8	11,1	32,8	8,2	1,2	6,3	3,5	5,4	1,3	5,2	32,8
2003	5,4	28,2	27,3	8,4	0	1,6	10,2	11,9	24,2	0	0	19,6	28,2
2004	8,3	3,9	13,7	8,3	0,5	10,4	9,9	2,9	0	16,4	9,9	0	16,4
2005	16,7	3,5	11,7	2,3	14,5	46,2	0	14,6	14,1	2	11,5	0	46,2

III.3.1. Analyse des données pluviométriques et le choix du type de loi d'ajustement :

III.3.1.1. Analyse des données statistiques :

Pour l'étude des précipitations en assainissement on a besoin d'une série pluviométrique qui comporte les précipitations maximales journalières pour la période la plus longue possible.

Nous prenons comme base de calcul la série pluviométrique de la station expérimentale d'AIN KHARMANE dont les caractéristiques sont les suivantes :

Code : 050702

X= 631,7

Y= 238,9 et Z= 520m

La série a une période de fonctionnement de 1980 à 2005 qui a été fournie par l'A.N.R.H

L'analyse statistique des données pluviométriques consiste à déterminer les caractéristiques empiriques d'un échantillon d'une série d'observations de précipitations mensuelles et maximales journalières, de 26 années.

Les caractéristiques de cette série sont :

- La moyenne interannuelle des précipitations maximales journalières $\overline{\mathbf{P_{max,j}}}$ durant 26 ans d'observations :

$$\overline{\mathbf{P_{max,j}}} = \frac{\sum_{\mathbf{i=1}}^{\mathbf{n}} \mathbf{P_{max,j}}}{\mathbf{n}} \qquad \text{(III-2)}$$

$$\overline{P_{\max,j}} = \frac{\sum_{i=1}^{n} P_{\max,j}}{n} = \frac{756,4}{26} = 29,092mm$$

n : le nombre d'années d'observations (n= 26 ans).

- L'écart type « $\sigma_{Pmax,j}$ » ;

Pour n inférieur à 30 ans on a :

$$\sigma_{\mathbf{P_{max,j}}} = \left[\sqrt{\frac{\sum_{\mathbf{i=1}}^{\mathbf{i=n}} \left(\mathbf{P_{max,j}} - \overline{\mathbf{P_{max,j}}}\right)^2}{\mathbf{n-1}}} \right] \qquad \text{(III-4)}$$

D'où :

$$\sigma_{P_{\max,j}} = \left[\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{26} \left(P_{\max,j} - 29.092\right)^2}{26-1}} \right] = 9,73$$

- Coefficient de variation « **Cv** » :

$$C_V = \frac{\sigma_{P,max,j}}{\overline{P_{max,j}}} \quad \text{(III-5)}$$

$$C_V = \frac{\sigma_{P\max,j}}{\overline{P_{\max,j}}} = \frac{9.73}{29.092} = 0.334$$

❖ L'exposant climatique :

Selon les études régionales de l'A.N.R.H on a b= 0,24

III.3.2.Choix de la loi d'ajustement :

On voit que les régimes pluviométriques sont très irréguliers, les deux lois généralement utilisées sont :

la loi de GUMBEL

la loi de GALTON

III.3.2.1.Calcul des paramètres de la loi choisie et vérification de son adéquation

A)-Ajustement de la série pluviométrique a la loi de Gumbel :

Cette loi a une fonction de répartition qui s'exprime selon la formule suivante :

$$F(x) = e^{-e^{-y}} \quad \text{(III-6)}$$

Tel que : $y = a\,(x - x0)$ (III-7)

Avec :

F(x) : fréquence au dépassement de la valeur de **x ;**

Y : variable réduite de **GUMBEL** ;

X : précipitation maximale journalière (mm) ;

X0 : ordonnée à l'origine en (mm) ;

On peut écrire : $y_i = -\ln(-\ln(F(x_i)))$ (III-8)

Avant de procéder à l'ajustement il faut suivre les étapes suivantes :

- classer les valeurs des précipitations par ordre croissant avec attribution d'un rang 1, 2,3……m .
- calculer pour chaque valeur de précipitation la fréquence expérimentale par la formule de HAZEN.

$$F(x) = \frac{m - 0.5}{n} \quad \text{(III-9)}$$

m : rang de précipitation

n : nombre d'observations

- calculer la variable réduite de GUMBEL donnée par la formule suivante :

$$\mathbf{Yi = - ln (-ln (F(xi)))} \qquad \text{(III-10)}$$

- calculer les paramètres d'ajustement « a » et « x »
- représenter graphiquement les couples (xi, yi) sur papier GUMBEL

➢ **Calcul des paramètres de l'ajustement de la loi de Gumbel:**

La droite de GUMBEL est donnée par la formule :

$$x = (1/a)y + x_0 \qquad \text{(III-11)}$$

Avec :
$$\frac{1}{\mathbf{a}} = \left(\frac{\sqrt{6}}{\pi}\right)\sigma_x \qquad \text{(III-12)}$$

(1 / a) : la pente de la droite de GUMBEL

$$\frac{1}{\mathrm{a}} = \left(\frac{\sqrt{6}}{\pi}\right)\sigma_x = (0{,}78)(9{,}73) = 7{,}59mm$$

et $\mathbf{x_0}$ représente l'ordonnée à l'origine

$$\mathbf{X}_0 = \overline{\mathbf{X}} - \frac{1}{\mathbf{a}}\overline{\mathbf{y}} \qquad \text{(III-13)}$$

$\overline{\mathbf{y}}$**:** Moyenne de la variable réduite de GUMBEL

$$\overline{\mathbf{y}} = \frac{\sum_{i=1}^{N=26} \mathbf{y}i}{\mathbf{n}} \qquad \text{(III-14)}$$

$$\overline{\mathbf{y}} = \frac{\sum_{i=1}^{N=26} \mathbf{y}i}{\mathbf{n}} = 0{,}566\ \mathrm{mm}$$

$$\sigma_Y = \left[\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{26} (\mathbf{yi} - 0.56)^2}{26-1}} \right] \qquad \text{(III-15)}$$

$$\sigma_Y = \left[\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{26} (\mathbf{y}_i - 0.56)^2}{26-1}} \right] = 1.25$$

$$\mathbf{C_v} = \frac{\sigma}{\mathbf{y}} \qquad \text{(III-16)}$$

$$C_V = \frac{\sigma}{y} = \frac{1.25}{0.566} = 2.20$$

$\mathbf{X_0}$ = 29,09 – (7,59). (0,566) = 24,79

Donc la droite de GUMBEL devient :

$\mathbf{X}$ = 7,59y + 24,79

$\mathbf{P_{max,j}}$ **(p%)** = 7,59y +24,79

A partir du graphe nous tirons la précipitation maximale journalière pour une fréquence au non dépassement de 10%, Le tracé de la droite est représenté sur papier GUMBEL (voir graphe N°IV.1) à l'aide du logiciel (Hydrolab).

La variable réduite égale :

y= - ln (- ln F (90%)) = 2.25

L'intervalle de confiance du quantile :

Pmax, j, 10% : P (35,92 < 41,8 < 54,57) = 95%

-Ajustement à la loi de Gumbel

Tableau III-2 Ajustement à une loi de Gumbel

Taille n= 26 Xo= 24,71

g= 7,59 I.C. à (en%)= 95 UGauss= 1,9604

Valeurs de départ	Valeurs classées	Ordre de classement	Fréquence expérimentale	Variable réduite	Valeur expérimentale	Valeur théorique	Borne inférieure	Borne supérieure
24,6	16,2	1	0,019	-1,374	16,2	14,27548	6,323148	18,42526
17	16,4	2	0,058	-1,048	16,4	16,74963	10,15848	20,50015
40,5	17	3	0,096	-0,851	17	18,24815	12,41393	21,82433
18,4	17,3	4	0,135	-0,696	17,3	19,42612	14,13782	22,91436
16,2	18,4	5	0,173	-0,562	18,4	20,44301	15,58279	23,89852
50,4	21,4	6	0,212	-0,440	21,4	21,36571	16,85307	24,83235
23,9	22,4	7	0,250	-0,327	22,4	22,22978	18,00272	25,74679
21,4	22,4	8	0,288	-0,218	22,4	23,05719	19,06398	26,66204
26,1	23,9	9	0,327	-0,112	23,9	23,86307	20,05816	27,59292
46,5	24,6	10	0,365	-0,007	24,6	24,65886	21,0007	28,55134
39,3	26,1	11	0,404	0,098	26,1	25,454	21,90384	29,54764
31,7	26,1	12	0,442	0,204	26,1	26,25694	22,77802	30,59149
22,4	26,4	13	0,481	0,311	26,4	27,07579	23,6329	31,69268
26,4	27,6	14	0,519	0,422	27,6	27,91897	24,47796	32,86179
26,1	28,2	15	0,558	0,538	28,2	28,7957	25,32295	34,11111
37,7	30,3	16	0,596	0,659	30,3	29,71669	26,17849	35,45561
34,6	31,7	17	0,635	0,788	31,7	30,69501	27,05665	36,91444
27,6	32	18	0,673	0,927	32	31,74733	27,97189	38,51297
22,4	32,8	19	0,712	1,078	32,8	32,89596	28,9425	40,28619
30,3	34,6	20	0,750	1,246	34,6	34,17217	29,99305	42,28423
17,3	37,7	21	0,788	1,437	37,7	35,62244	31,15894	44,58271
32	39,3	22	0,827	1,661	39,3	37,32081	32,49534	47,30336
32,8	40,5	23	0,865	1,934	40,5	39,3972	34,0977	50,66104
28,2	46,2	24	0,904	2,292	46,2	42,11424	36,15737	55,09178
16,4	46,5	25	0,942	2,823	46,5	46,14975	39,16556	61,72356
46,2	50,4	26	0,981	3,942	50,4	54,64392	45,38878	75,79106

Fréqence	U.Gumbel	Val.théo.	Borne inf.	Borne sup.	Valeur	Fréq. théo.	Pér. Ret.
0,9	2,250	41,800	35,921	54,578	41,80047	0,90	10,00

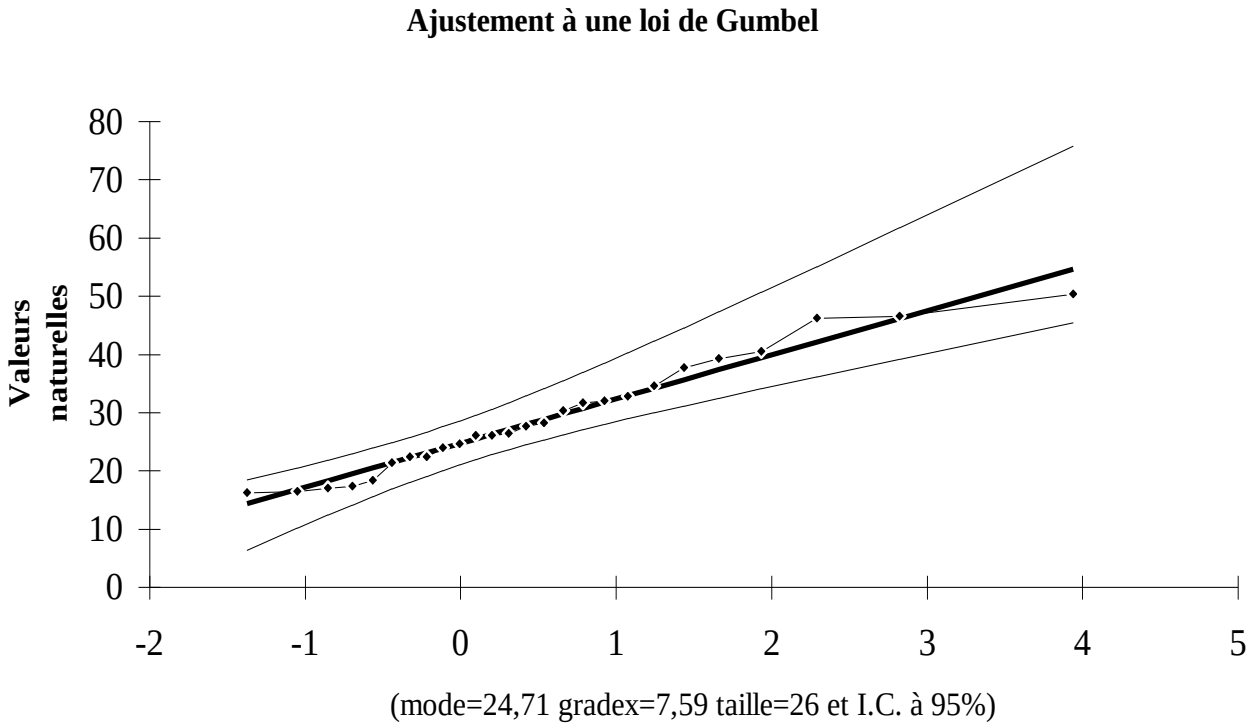

Figure III-1 : Ajustement à la loi de Gumbel

B) - Ajustement de la série pluviométrique à la loi de Galton (Log Normal) :

La loi de GALTON a une fonction de répartition qui s'exprime selon la formule suivante :

$$F(x) = \frac{1}{\sqrt{2\Pi}} \int_{u}^{+\infty} e^{-\frac{1}{2}u^2} du \qquad \text{(III-17)}$$

Ou :

u = $\frac{x_i - \bar{x}}{\sigma_x}$ (variable réduite de GAUSS)

L'équation de la droite de GALTON est la suivante :

$$Logx(p\%) = \overline{logx} + Logu(p\%) \qquad \text{(III-18)}$$

On dresse un tableau avec les log_{xi} ainsi que les fréquences correspondantes. (Voir tableau N°III-3)

$$\overline{logx} = \frac{\sum_{i=1}^{N} logx}{N} \qquad \text{(III-19)}$$

$$\overline{Logx} = \frac{\sum_{i=1}^{26} Logx}{N} = 1,44\text{mm}$$

$\sigma log x_i = 0.144$

Tableau III.3 : résumé des caractéristiques empiriques de la série

La moyenne de la série	$\overline{LogP_{max,j}}$ =1,44mm
La variance	$\sigma_{logPmax,j}$=0,144
La précipitation maximale journalière	$P_{max,j}$ (10%) = 42,26 mm

La droite de Galton est représentée sur papier Galton (voir graphe III.2)

Nous donne Pmax,j (10%)=42,26 mm

L'intervalle de confiance du quantile

Pmax,j (10 %) : p (36,28 < 42,26 <52,68) = 95 %

-Ajustement à la loi de Galton

Tableau III-4 Ajustement à une loi de Galton

Taille n= 26 Moy.log(x-xo)= 1,4407413

xo= 0 E.T. log(x-xo)= 0,144478 I.C. à (en%)= 95 U Gauss= 1,960

Valeurs de départ	Valeurs classées	Ordre de classement	Fréquence expérimentale	Variable réduite	Valeur expérimentale	Valeur théorique	Borne inférieure	Borne supérieure
24,6	16,2	1	0,019	-2,070	16,2	13,856	10,266	16,75286
17	16,4	2	0,058	-1,575	16,4	16,339	12,744	19,2678
40,5	17	3	0,096	-1,304	17	17,879	14,313	20,83991
18,4	17,3	4	0,135	-1,105	17,3	19,103	15,569	22,10471
16,2	18,4	5	0,173	-0,942	18,4	20,167	16,662	23,21934
50,4	21,4	6	0,212	-0,801	21,4	21,136	17,655	24,25075
23,9	22,4	7	0,250	-0,674	22,4	22,046	18,583	25,23533
21,4	22,4	8	0,288	-0,558	22,4	22,919	19,467	26,19619
26,1	23,9	9	0,327	-0,448	23,9	23,769	20,32	27,14986
46,5	24,6	10	0,365	-0,344	24,6	24,609	21,154	28,10948
39,3	26,1	11	0,404	-0,243	26,1	25,447	21,977	29,08644
31,7	26,1	12	0,442	-0,145	26,1	26,292	22,796	30,09143
22,4	26,4	13	0,481	-0,048	26,4	27,151	23,617	31,13526
26,4	27,6	14	0,519	0,048	27,6	28,034	24,447	32,22988
26,1	28,2	15	0,558	0,145	28,2	28,951	25,295	33,39076
37,7	30,3	16	0,596	0,243	30,3	29,912	26,169	34,63453
34,6	31,7	17	0,635	0,344	31,7	30,931	27,079	35,98156
27,6	32	18	0,673	0,448	32	32,023	28,036	37,4584
22,4	32,8	19	0,712	0,558	32,8	33,211	29,057	39,10105
30,3	34,6	20	0,750	0,674	34,6	34,526	30,163	40,96065
17,3	37,7	21	0,788	0,801	37,7	36,012	31,388	43,11392
32	39,3	22	0,827	0,942	39,3	37,743	32,782	45,68437
32,8	40,5	23	0,865	1,105	40,5	39,845	34,435	48,89083
28,2	46,2	24	0,904	1,304	46,20	42,573	36,525	53,18101
16,4	46,5	25	0,942	1,575	46,5	46,587	39,505	59,7293
46,2	50,4	26	0,981	2,070	50,4	54,936	45,435	74,14278

Fréquence	U de Gauss	Valeur théo.	Borne inf.	Borne sup.	Valeur	Fréq. théo.	Pér. Ret.
0,9	1,282	42,259353	36,2871	52,6804641	42,259	0,900	10,0

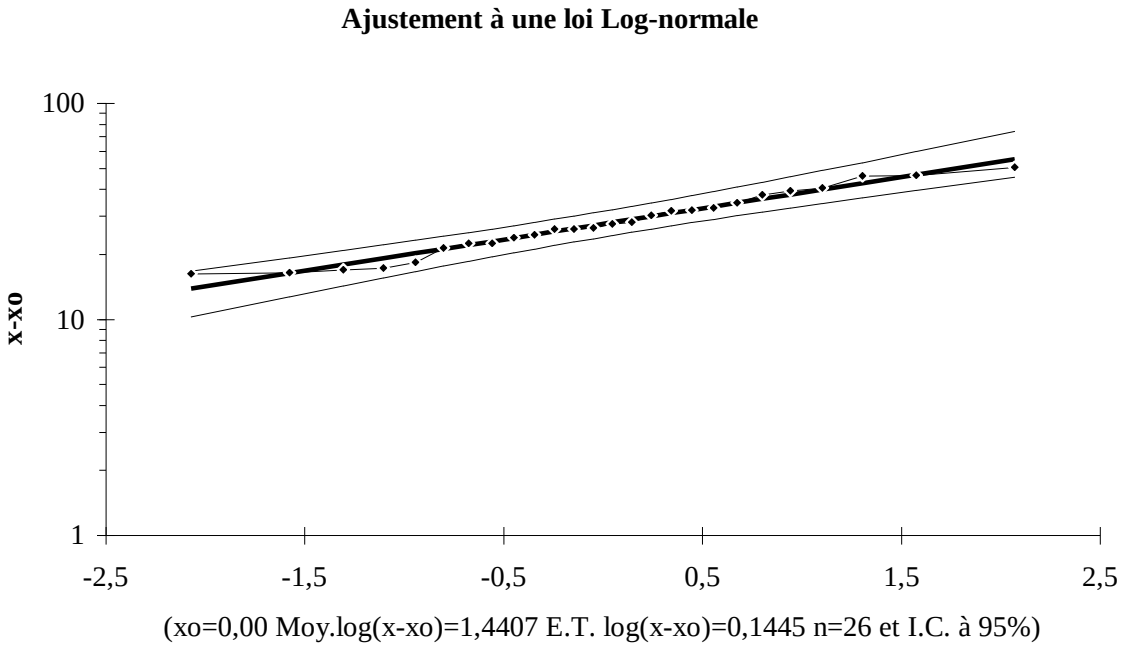

Figure N° III-2 : Ajustement à la loi de Galton

III.3.3. Calcul de l'intensité de pluie de durée de 15 minutes et de période de retour de 10 ans par la formule de MONTANARI :

Pour le calcul de l'intensité moyenne de précipitation nous utilisons la formule de MONTANARI :

$$I_{t(15\min),P\%} = I_{24,P\%}\left(\frac{t}{24}\right)^{b-1} \qquad \text{(III-20)}$$

Où :

$I_{t(15\ mn),p\%}$: Intensité moyenne de précipitation pour une averse de fréquence (p%).

I_{24} **(p%)** : Intensité moyenne de précipitation pour une journée de fréquence (p%) donnée.

t : durée de l'averse en heure, t=0.25h =15 min pour une période de retour de 10 ans.

b : exposant climatique de la région (b=0.24), il est donné par l'A.N.R.H.

Pour l'estimation de l'intensité, nous admettons qu'une averse ayant lieu une fois tous les 10 ans durant 15 mn, peut être la valeur optimale

Nous aurons donc :

$$I_{15\min,10\%} = I_{24.10\%}\left(\frac{t}{24}\right)^{b-1} = \frac{p_{24,10\%}}{24}\left(\frac{t}{24}\right)^{b-1}$$

- D'après la loi de **GUMBEL** :

$$I_{15min,10\%} = \frac{41,8}{24}\left(\frac{0,25}{24}\right)^{0,24-1} = 55,91 mm/h$$

$$I_{15min,10\%} = 55,91 mm/h$$

- D'après la loi de **GALTON** :

$$I_{15min,10\%} = \frac{42,26}{24}\left(\frac{0,25}{24}\right)^{0,24-1} = 56,52 mm/h$$

$$I_{15min,10\%} = 56,52 mm/h$$

Interprétation des graphes :

La projection des données expérimentales sur les graphes III-1et III-2 a permis de percevoir que la droite de Galton est meilleure.

III.3.4. Conclusion :

Dans la présente étude, la partie hydrologique nous aidés à déterminer l'intensité moyenne maximale de précipitation.

D'après la droite de Galton qui est notre cas la meilleure loi d'ajustement des précipitations maximales journalières, on s'aperçoit que pour le dimensionnement optimal de notre réseau, il convient de retenir la valeur donnés par la loi de Galton qui est ($I_{15min,\ 10\%}$=56,52mm/h). D'où on déterminera la valeur de l'intensité pluviale (I) qui est tout simplement un débit spécifique I est égal à 157 l/s/ha.