

CHAPITRE II

Étude Hydrologique

CHAPITRE II: Étude Hydrologique

II.1. Introduction

Les ouvrages d'assainissement doivent assurer un degré de protection suffisant contre les inondations causées par la pluie. Une protection absolue nécessiterait la construction de réseaux aux dimensions excessives par les dépenses de premier établissement et d'entretien qu'elles impliqueraient de tels ouvrages seraient en outre d'une exploitation défectueuse parce qu'ils risqueraient de favoriser la formation de dépôts fermentescibles.

Le caractère plus ou moins exceptionnel d'un événement pluvieux (h millimètres pendant une Durée de t minutes) s'apprécie par sa fréquence de dépassement « F » ou sa période de retour « $T = 1/F$ »

L'estimation des débits des eaux pluviales a pour objectif de pouvoir dimensionner le réseau d'assainissement et les ouvrages annexes (déversoir d'orage, bassin de retenue ...) ainsi que les conditions favorables à leur fonctionnement dans le temps.

II.2. Choix de la période de retour :

La période de retour de suffisance du réseau d'assainissement est le résultat d'un compromis entre le coût de sa construction et celui de son entretien. Elle est généralement prise égale à 10 ans, cette période est prise comme base de calcul. [2]

II.3. Détermination de l'intensité moyenne des précipitations :

L'analyse de cette intensité moyenne maximale est très importante dans le dimensionnement des réseaux d'égout.

Lors de l'étude d'une averse, il convient de déterminer les intensités moyennes maximales qui se définissent par le rapport de la hauteur d'eau tombée et la durée Δt . [2]

Soit :

$$i_m = \frac{dh}{dt} \dots \dots \dots (II.1)$$

Avec :

- i_m : intensité moyenne en mm/h.
- Δh : hauteur de pluie tombée pendant la durée Δt .

Pour le calcul de l'intensité, on doit :

- Analyser les données pluviométriques et faire le choix du type de 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.

II.3.1. Analyse des données pluviométriques et choix de la loi d'ajustement :

II.3.1.1. Analyse des données statistiques :

Nous prenons comme base de calcul la série pluviométrique de la station pluviométrique de STATION CHELLAL dont le code est : 050701, sur une période de fonctionnement de 1980 à 2005 qui a été fournie par l'ANRH d'M'sila.

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 25 ans.

Tableau II. 1: précipitations mensuelles et maximales journalières à la station de CHELLAL.

Année	Sept	Oct	Nov	Dec	Janv	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout	Pmax	Pjannulle
1980 - 1981	16,3	0	18,6	11	0	12,5	2,6	4,6	1,9	3,6	8,3	3,4	18,6	82,3
1981 - 1982	7,4	6,8	0	8,9	3,8	4,6	9,5	17,4	19,9	0	0	0	19,9	78,3
1982 - 1983	2,8	15,6	17,9	1,3	0	5,3	0	16,3	3,5	3,8	0	27,2	27,2	93,7
1983 - 1984	0	0	1,3	1,4	13,1	2,4	4,7	5,9	6,4	4,2	0	5,9	13,3	45,3
1984 - 1985	0	7,2	11,3	0,7	15,5	15,6	9,4	5,9	5,3	2,3	1,5	0	15,6	74,7
1985 - 1986	10,4	9,3	9,1	11	5,3	3,4	10,8	7,5	0	14,4	0	4,3	14,4	85,2
1986 - 1987	4,3	6,9	5,8	7,8	12,4	6,7	9,9	8,9	6,2	6,5	3,9	7,9	12,4	87,2
1987 - 1988	0	12,9	21,5	4,2	3,8	0	4,8	24,5	17,8	18,3	0	0	24,5	107,8
1988 - 1989	0	3,8	9,4	5,3	0	4,6	0	4,8	6,8	12,5	0	7,2	12,5	54,4
1989 - 1990	22,4	14,2	6,9	6,9	9,3	0	9,7	20,2	26,4	5,7	9,2	0	26,4	130,9
1990 - 1991	8,9	0	8,6	9,5	0	6,2	22,9	0	20,3	0	0	0	22,9	76,4
1991 - 1992	6,6	27,8	14,7	6,9	9,5	5,6	9,9	4,5	16,5	4,3	18,2	0	27,8	124,5
1992 - 1993	5,6	0	5,6	0,5	0	11,5	1,3	3,9	14	1,4	0	0,4	14	44,2
1993 - 1994	20,1	0	19,3	15	3,8	3,9	3,5	0	0	0	0	0	20,1	65,1
1994 - 1995	12,5	6,9	1,7	2,8	14,2	0,4	24,6	4,5	0	3,9	0	0	24,6	71,5
1995 - 1996	6,7	1,2	2,6	12	22,7	10,1	16,8	17,1	26,7	31,4	21,8	10,5	31,4	179,7
1996 - 1997	8	11	4	4,3	10	10,7	2,5	5,3	11	16,9	28,5	9	28,5	120,7
1997 - 1998	17	2,9	2,5	11	13,2	10,7	15,7	16,8	38	23,1	13,7	2,6	37,7	204,4
1998 - 1999	12,5	1,2	13,1	6,8	11,42	3,4	3,4	7	3,3	3,5	0	13,1	13,1	33,7
1999 - 2000	17,5	30,4	8,5	15	0	0	4,9	1,7	30,4	5,9	0	4,3	30,4	118,7
2000 - 2001	9	6,7	3,4	8,9	29	4	2,1	10,5	10,6	0	0	1,7	29	85,9
2001 - 2002	10,9	12,5	6,6	6,9	2,7	0	2,4	2,6	2,7	7,9	1,8	3,3	12,5	60,3
2002 - 2003	7,9	6,3	5,4	6,8	42,5	7,4	1,3	5,1	9,3	9,1	1,9	0	42,5	103
2003 - 2004	11,2	22,6	13,1	11	0	1,7	13,1	26,4	29	7,1	4,5	8,9	29	148,2
2004 - 2005	12,6	8,1	14	16	8	10,3	11,9	3,5	0	6,7	5,6	1,9	15,6	98,2
Code de station 050701 CHELLAL						Nom De Station CHELLAL								

***- Les caractéristiques de cette série sont :**

-La somme des précipitations maximales journalières durant 25 ans d'observations :

$$\sum_{i=1}^{n=27} X_i = 563.9 \text{ mm} \dots \dots \dots (II. 2)$$

-Moyenne des précipitations maximales journalières :

$$\bar{X} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n X_i = \frac{563.9}{25} = 22.56 \text{ mm} \dots \dots \dots (II. 3)$$

N : le nombre d'années d'observations (N= 25 ans).

-Ecart type $\hat{\sigma}_x$:

$$\hat{\sigma}_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2}{N - 1}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{27} (X_i - 22.56)^2}{25 - 1}} \dots \dots \dots (II. 4)$$

Donc :

$$\hat{\sigma}_x = 8.42 \text{ mm}$$

-Coefficient de variation :

$$C_v = \frac{\hat{\sigma}_x}{\bar{X}} = \frac{8.42}{22.56} \dots \dots \dots (II. 5)$$

Donc :

$$C_v = 0.37$$

-Exposant climatique :

Il est donné par l'A.N.R.H M'silab = **0,33**

II.3.1.2. Choix de la loi d'ajustement :

Les lois d'ajustement sont nombreuses et ne peuvent être appliquées à un échantillon que si les conditions homogénéité - stationnarité sont réunies.

- Loi de GUMBEL.
- loi de GALTON ou loi log normale.

Les critères de choix d'une loi sont liés à un ajustement graphique d'abord et ensuite à un test de dispersion. L'allure des points sur du papier à probabilité permet à prime abord d'accepter ou de rejeter la loi (Toute sinuosité, mauvaise courbure ou cassure de pente est considérée comme un mauvais ajustement).

II.3.2. Calcul des paramètres de la loi choisie :

II.3.2.1. Ajustement de la série pluviométrique à la loi de GUMBEL :

La fonction de répartition de la loi de GUMBEL est :

$$F(x) = e^{-e^{-\alpha(x-x_0)}} \dots \dots \dots (II. 6)$$

- **F(x)** : Fréquence au dépassement de la valeur de x.
- **α , x_0** : Coefficients d'ajustement.
- **x_0** : Paramètre de position (mode).
- **α** : Paramètre d'échelle différent de zéro et positif appelé aussi « gradex ».

Par un changement de variable $y = \alpha(x - x_0)$ donc la loi de GUMBEL s'écrit :

$$F(x) = e^{-e^{-y}} \dots \dots \dots (II. 7)$$

$y = \alpha(x - x_0)$ Est la variable réduite de Gumbel.

Et l'équation de la droite de GUMBEL est $= \left(\frac{1}{\alpha}\right)y + x_0$.

*- Procédé d'ajustement :

- Classement des valeurs par ordre croissant en leur affectant un numéro d'ordre.
- Calculer la fréquence expérimentale en utilisant la formule de HAZEN qui s'applique pour les lois normales et quasi normales :

$$F(x) = \frac{m - 0.5}{n} \dots \dots \dots (II. 8)$$

m : Numéro d'ordre.

n : Taille de la série.

- Calculer les caractéristiques empiriques de la série (moyenne, écart type ...).
- Calculer la variable de GUMBEL pour chaque valeur observée.

$$y = -[\ln(-\ln f(x))] \dots \dots \dots (II. 9)$$

- Reporter les valeurs observées sur papier GUMBEL.
- Calculer le coefficient de corrélation entre les valeurs observées et la variable de GUMBEL dont la formule générale est :

$$r = \frac{\sum_{i=1}^{n=25} (x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{25} (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^{25} (y_i - \bar{y})^2}} \dots \dots \dots (II. 10)$$

\bar{x} et \bar{y} : Sont respectivement les moyennes arithmétiques des variables x et y.

- Si la corrélation est bonne, Calculer les paramètres d'ajustement de la droite de GUMBEL .la droite de régression ou droite de GUMBEL est : $x = \left(\frac{1}{\alpha}\right)y +$

$\frac{1}{\alpha}$: Pente de la droite et x_0 est l'ordonnée à l'origine. y : Variable de GUMBEL pour une probabilité donnée.

$\frac{1}{\alpha}$: Pente de la droite et x_0 est l'ordonnée à l'origine. y : Variable de GUMBEL pour une probabilité donnée.

Les paramètres $\frac{1}{\alpha}$ et de « x_0 » peuvent être aussi déterminés par la méthode de moindres carrés.

- Tracer la droite de régression sur papier GUMBEL.
- Calculer l'intervalle de confiance.[2]

***- Calcul des paramètres d'ajustement par la loi de GUMBEL :**

$$\frac{1}{\alpha} = \left(\frac{\sqrt{6}}{\pi} \right) \sigma_x = 0.78 * \sigma_x$$

$$\Rightarrow \frac{1}{\alpha} = 0.78 \times \sigma_x \Rightarrow \frac{1}{\alpha} = 0.78 \times 8,42 = 6,56 \text{ mm}$$

\bar{y} : Moyenne de la variable réduite de GUMBEL :

$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^{n=25} y}{n} = \frac{14.15}{25} = 0,56 \text{ mm}$$

x_0 : Représente l'ordonnée à l'origine :

$$x_0 = \bar{x} - \left(\frac{1}{\alpha} \right) \bar{y}$$

$$x_0 = 22.56 - 6.56 * 0.56$$

$$\Rightarrow x_0 = 18.88 \text{ mm.}$$

Donc : la droite de GUMBEL devient :

$$x = 6.56 y + 18.88$$

D'où :

$$P_{max}(P\%) = 6.56 y + 18.88$$

- *Coefficient de corrélation :*

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2 \sum (y_i - \bar{y})^2}} = 0.98$$

La corrélation est satisfaisante donc à 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 II.1).

La variable réduite est égale à :

$$y = -\ln(-\ln F(90\%)) = 2,25$$

L'intervalle de confiance du quantile :

$P_{\max j, 10\%} \Rightarrow p [26.6 < 33.5 < 40.4] = 95\%$ (voir tableau II.1)

***- Résultats de l'ajustement par la loi de GUMBEL :**

- GUMBEL (Méthode des moments)

Nombre d'observations : 25

Quantiles

$q = F(X)$ (probabilité au non dépassement)

$T = 1 / (1 - q)$

Tableau II. 2: Ajustement de la série pluviométrique à la loi de GUMBEL

T	q	XT	Ecart-type	Intervalle de confiance (95%)
1000	0.999	64.1	9.74	45-83.2
200	0.995	53.5	7.55	38.7-68.3
100	0.99	49	6.61	36-61.9
50	0.98	44.4	5.67	33.3-55.5
20	0.95	38.3	4.44	29.6-47
10	0.9	33.5	3.52	26.6-40.4
5	0.8	28.6	2.6	23.5-33.7
3	0.6667	24.7	1.96	20.8-28.5
2	0.5	21.2	1.55	18.1-24.2

Avec :

- **T** : période de retour (T=10ans).
- **Q** : probabilité au non dépassement.
- **XT** : précipitation maximale journalière.

Tableau II. 3: Caractéristiques de l'échantillon

	Caractéristiques. de l'échantillon
• Minimum	12.4
• Maximum	42.5
• Moyenne	22.65
• Ecart-type	8.42
• Médiane	22.9
• Coefficient de variation (Cv)	0.37
• Coefficient d'asymétrie (Cs)	0.52

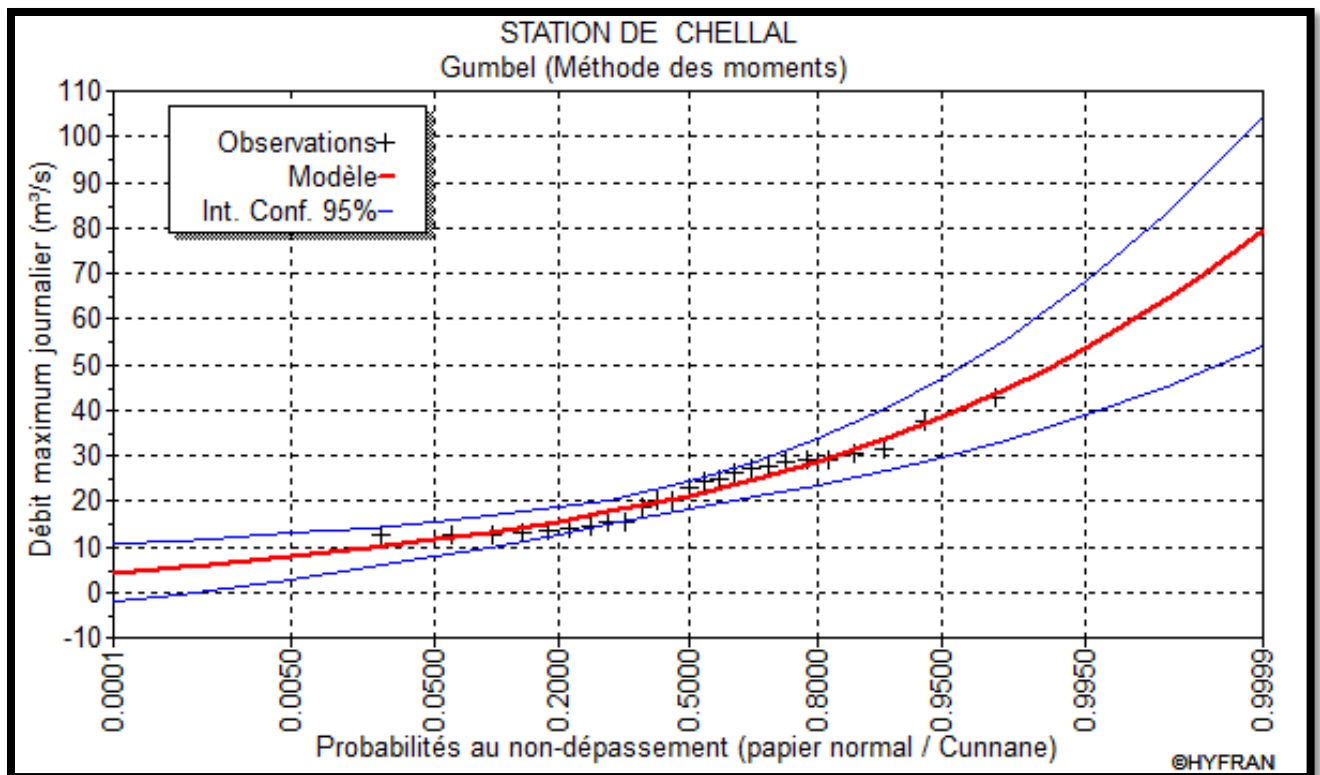


Figure II. 1: Ajustement de la série pluviométrique à la loi de GUMBEL

II.3.2.2. Ajustement de la série pluviométrique à la loi de Galton :

Une variable aléatoire a une distribution log normale lorsque $y = \ln(x)$ est normale. La loi de Galton résulte de la loi normale mais est rendue dissymétrique par un changement de variables. Sa fonction de répartition est donnée par :

$$F(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^u e^{-\frac{1}{2}u^2} du \dots \dots \dots (II. 12)$$

$F(x)$: Fréquence au non dépassement.

*** La variable réduite est de la forme :**

$$u = \frac{x_i - \bar{x}}{\sigma_x} \dots \dots \dots (II. 13)$$

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

$$\text{Log } x(p\%) = \text{Log } \bar{x} + \sigma \text{Log } u(p\%)$$

Est l'équation d'une droite sur papier GAUSSO-LOGARITHMIQUE avec en abscisse l'échelle gaussienne et en ordonnée l'échelle logarithmique.[2]

***- Procédé d'ajustement :**

- 1- Classement des valeurs par ordre décroissant (fréquence au non dépassement).
- 2- Calcul de la fréquence expérimentale.
- 3- Calcul des caractéristiques empiriques de la série initiale \bar{x} et $\sigma_{\log x}$
- 4- Calcul des caractéristiques de la série transformée en logarithme $\text{Log} \bar{x}$ et $\sigma_{\log x}$.
- 5- Report des valeurs sur papier GAUSSO LOGARITHMIQUE.
- 6- Détermination de la droite de Galton : $\text{Log } x = \text{Log } \bar{x} + u \sigma_{\log x}$
- 7- Détermination de la valeur extrême soit graphiquement sur la droite, soit analytiquement par :

$$xp \% = 10^{\text{Log } xp \%}$$

$$\text{d'ou: } xp \% = 10^{\text{Log} \bar{x} + u p \% \sigma_{\log x}} \dots \dots \dots (II. 13)$$

***- Calcul des paramètres d'ajustement par la loi de Galton :**

$$\text{og } \bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^{25} \text{Log } x_i}{n} \Rightarrow \text{Log } \bar{x} = \frac{76.20}{25} \text{ donc : } \text{Log } \bar{x} = 3.05 \text{ mm}$$

Ainsi on aura :

$$\sigma_{\log x} = 0.38 \text{ mm}$$

*** L'équation totale devient :**

$$\text{Log } x = \text{Log } \bar{x} + u \sigma_{\log x}$$

Avec : $u = 1.96$

$$\Rightarrow \text{Log } x = 3.05 + 0.96 * 0.38$$

$$\Rightarrow \text{Log } x = 3.41$$

$$xp \% = 30.26$$

*** L'intervalle de confiance du quantile :**

- P_{maxj} (10%) : $27.3 < 34.2 < 41.2 = 95\%$ (voir tableau N.4)

a- Résultats de l'ajustement par la loi de Galton :

Log normale (Maximum de vraisemblance)

Nombre d'observations : 25.

Quantiles :

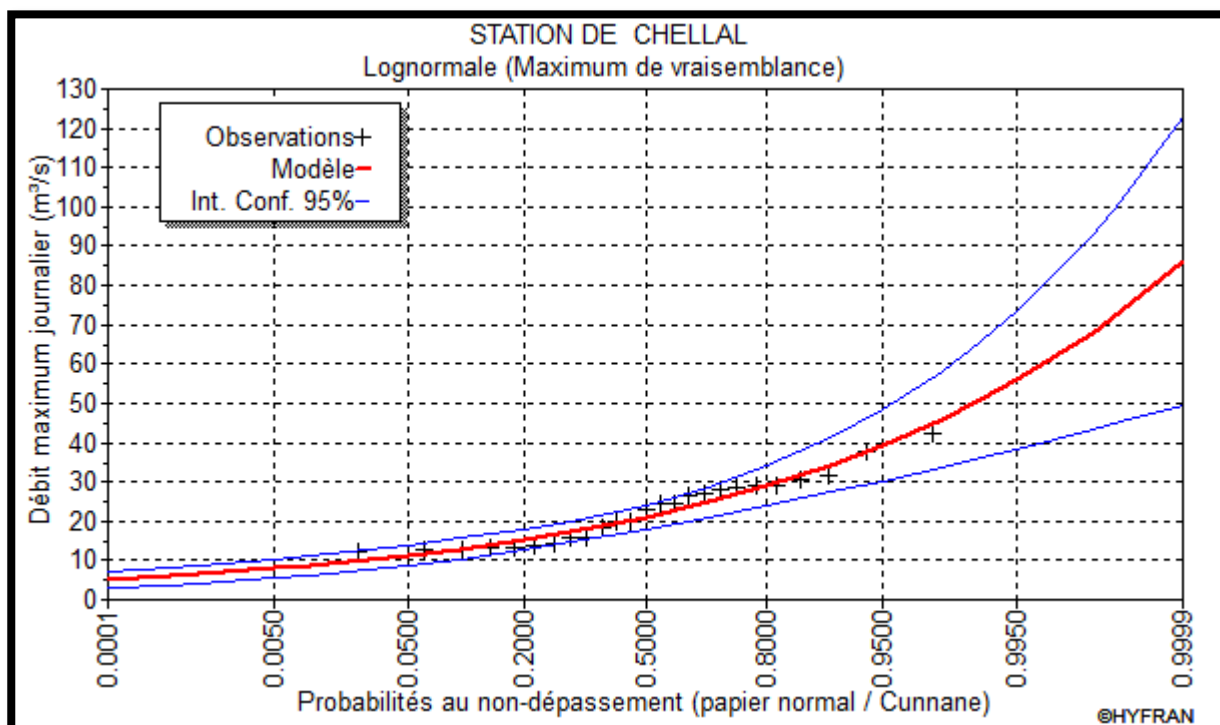
- $q = F(X)$ (probabilité au non dépassement)
- $T = 1 / (1 - q)$

Tableau II. 4: Ajustement de la série pluviométrique à la loi de Galton

T	q	XT	Ecart-type	Intervalle de confiance (95%)
1000	0.999	68	12.6	43.3-92.6
200	0.995	55.9	8.94	38.4-73.5
100	0.99	50.9	7.53	36.1-65.7
50	0.98	45.9	6.22	33.7-58.1
20	0.95	39.3	4.62	30.2-48.4
10	0.9	34.2	3.53	27.3-41.2
5	0.8	29	2.57	24-34
3	0.6667	24.8	1.97	20.9-28.7
2	0.5	21.1	1.6	17.9-24.2

Avec :

- **T** : période de retour (T=10ans).
- **Q** : probabilité au non dépassement.
- **XT** : précipitation maximale journalière.

**Figure II. 2: Ajustement de la série pluviométrique à la loi de Galton**

II.4. Calcul de l'intensité de pluie de 15min de durée 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 :

$$I_t(15\text{min})(p\%) = I_{24}(p\%) \left(\frac{t}{24}\right)^{b-1} \dots \dots \dots \text{(II.14)}$$

- $I_t(15\text{min})(p\%)$: 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 heures, $t = 0.25h = 15 \text{ min}$ pour une période de retour de 10 ans.
- b : Exposant climatique de la région ($b=0,33$) qui est donné par l'ANRH (M'Sila).

Pour l'estimation de l'intensité moyenne de précipitation, nous admettons qu'une averse ayant lieu une fois tous les 10 ans ; durant 15min, peut être la valeur optimale. Nous aurons donc:

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

a- D'après la loi de GUMBEL :

$$I_{15min,10\%} = \frac{33.5}{24} \left(\frac{0,25}{24} \right)^{-0,67} = 29.71 \Rightarrow I_{15min,10\%} = 29.71 \text{ mm/h}$$

b- D'après la loi de GALTON :

$$I_{15min,10\%} = \frac{34.2}{24} \left(\frac{0.25}{24} \right)^{-0.67} = 30.33 \Rightarrow I_{15min,10\%} = 30.33 \text{ mm/h}$$

II-5- Interprétation des graphes (II.1 et II.2) :

La projection des données expérimentales sur les graphes II.1 et II.2 a permis de voir que la loi de Galton est meilleure du moment que, la donnée expérimentale est proche de la droite théorique.

II.6.Conclusion :

L'étude hydrologique nous a permis de déterminer l'intensité moyenne des précipitations.

On observe que les résultats obtenus par les deux lois d'ajustement (loi de GUMBEL et loi de GALTON) soit analytiquement ou graphiquement sont très rapprochés.

Pour le dimensionnement de notre réseau d'assainissement on va prendre la valeur obtenue

par la loi de GALTON et on déterminera la valeur de l'intensité pluviale.