

TD 1. ETUDE HYDROLOGIQUE

1. Détermination des caractéristiques cartographiques et morphologiques du bassin versant

1.1. Détermination des caractéristiques du bassin versant :

1.1.1 : La surface du bassin versant :

Après avoir délimité le contour du bassin versant, sur les cartes topographiques la surface est mesurée par «Auto CAD» ou manuellement par planimètre :

Un exemple AN : $S=16,51 \text{ km}^2$.

1.1.2 : Périmètre du bassin versant :

Le périmètre du bassin versant est mesuré par «Auto CAD», ou manuellement par curvimètre.

AN: $P=18,90 \text{ Km}$

1.2 :-Caractéristiques de forme

La forme du B.V influence fortement l'écoulement global et notamment le temps de réponse du bassin versant. C'est la configuration géométrique projetée sur un plan horizontal.

Indice de compacité de Gravelius K_c :

$$K_c = 0,28 \frac{P}{\sqrt{S}} \dots\dots\dots 1$$

P : périmètre du bassin versant (Km)

S : superficie du bassin versant (Km²)

Si : $K_c=1$; le bassin est ramassé.

$K_c>1$; le bassin est allongé.

$$K_c = 0,28 \frac{18,90}{\sqrt{16,51}} \quad \text{AN : } K_c = 1,3$$

Le K_c est supérieur à (1) alors il s'agit d'un bassin allongé.

Rectangle équivalent :

$$L, l = \frac{K_c \sqrt{S}}{1,12} \left[1 \pm \sqrt{1 - \left(\frac{1,12}{K_c} \right)^2} \right] \dots\dots\dots 2$$

AN: $L= 7,11\text{Km}$ ET $l= 2,32\text{Km}$

2.2.3 : Caractéristiques de relief :

2.2.3.1 : Répartition et courbe hypsométrique :

Elles sont d'une grande importance dans l'étude du relief d'un bassin versant. Sur un graphique, on porte en ordonnée l'altitude et en abscisse la surface souvent exprimée en %. Pour cela on doit mesurer des aires partielles comprises entre les courbes maîtresses et les différentes cotes, à l'aide de «L'Auto CAD».

Le tableau (1) donne la répartition des surfaces en fonction des côtes.

Tab. 1 : Répartition des surfaces en fonction des côtes.

Altitudes(m)	S _p (Km ²)	S _c (Km ²)	S _p %	S _{cum} %	H _i (m)	H _i .S _i
1080-1000	0.20	0.20	1.21	1.21	1040	208.00
1000-950	0.45	0.65	2.73	3.94	975	438.75
950-900	0.95	1.60	5.75	9.69	925	878.75
900-850	1.32	2.92	7.99	17.68	875	1155.00
850-800	1.82	4.74	11.02	28.70	825	1501.50
800-750	2.74	7.48	16.60	45.30	775	2123.50
750-700	2.94	10.42	17.81	63.11	725	2131.50
700-650	2.93	13.35	17.75	80.86	675	1977.75
650-600	1.83	15.18	11.08	91.94	625	1143.75
600-550	0.89	16.07	5.39	97.33	575	511.75
550-510	0.44	16.51	2.67	100.00	530	233.20

$$\sum_{i=1}^n S_i H_i = 12303.45$$

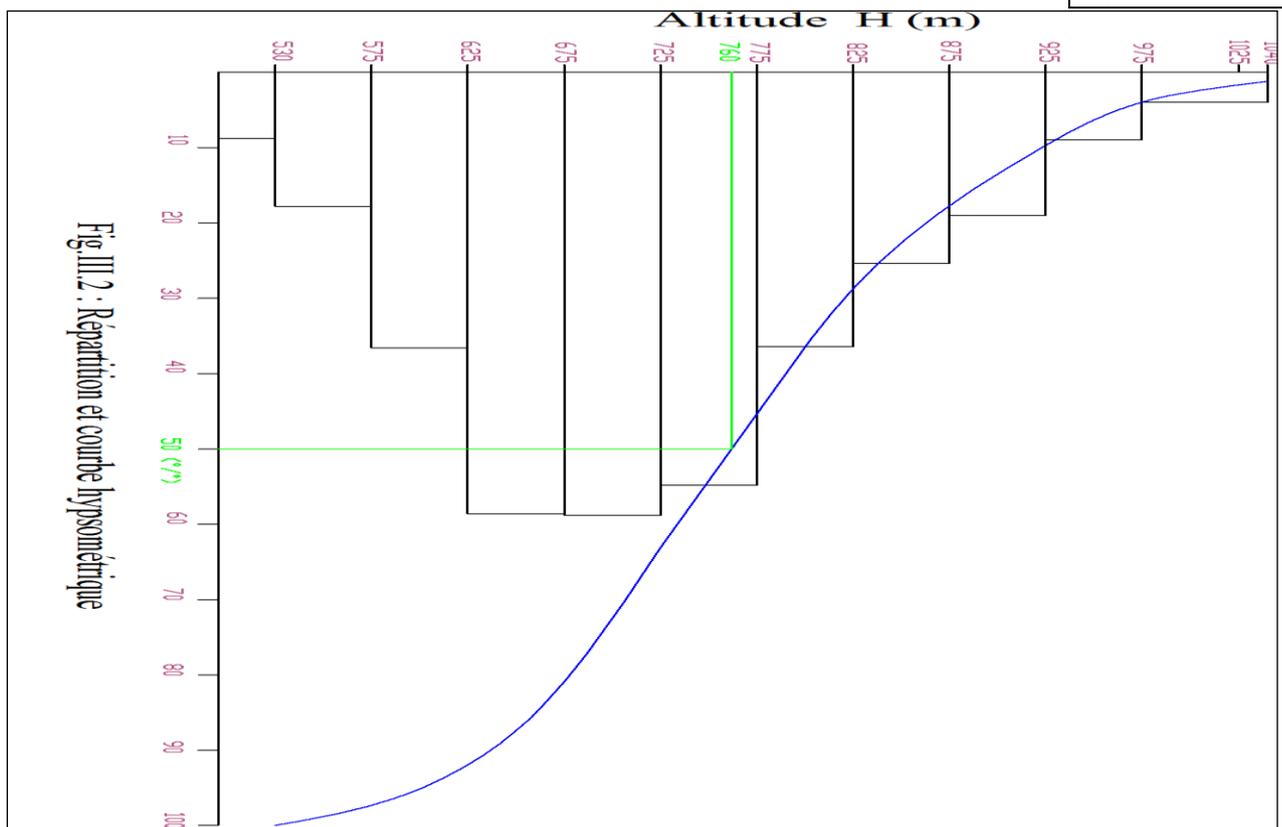


Fig.2 : Répartition et courbe hypsométrie :

2.2.3.2 : Altitude moyenne du bassin versant :

L'altitude moyenne du bassin est un indice important qui intègre et présente l'influence de la zonalité climatique verticale et elle est déterminée par la somme du produit des surfaces partielles S_i comprises entre les courbes de niveau, et des altitudes moyennes correspondantes H_i . Le tableau 4 contient les éléments des calculs.

* Analytiquement : L'altitude moyenne du bassin versant est calculée par l'expression

$$\text{suivante : } H_{moy} = \frac{\sum_{i=1}^n S_i H_i}{S}$$

AN : $H_{moy}=745.211 \text{ m}$

Où : Si - Superficie partielle comprise entre 2 courbes de niveau consécutives en (Km²);
 Hi - Altitude moyenne correspondante en (m);
 S - Superficie totale du bassin versant en (m) ;

* Graphiquement :

Sur la courbe hypsométrique, l'altitude médiane ou H_{50%} est déterminée : $H_{50\%}=760 \text{ m}$

2.2.3.3 : Indice de pente globale Ig :

Il définit comme étant le rapport entre l'altitude comprise entre 5% et 95% de la surface du bassin versant et la longueur du rectangle équivalent.

Il donné par la formule suivante :

$$I_g = \frac{D}{L} = (H_{5\%} - H_{95\%}) / L \dots\dots\dots 5$$

Avec : D : Dénivelée entre H_{5%} et H_{95%} en (m).
 L : Longueur du rectangle équivalent en (Km).
 H_{5%} et H_{95%} sont respectivement les altitudes correspondantes à S_{5%} et S_{95%}..

AN : On à H_{5%}=970 m, H_{95%}=588 m. Donc : $I_g=0.054$

D'après les classifications (O.R.S.T.O.M) on peut classer notre relief comme suite :

On à : $I_g > 0,05$. Donc : **Le Relief est très fort.**

III.2.2.3.4 : Pente moyenne du bassin versant I_m :

$$I_m = \frac{\Delta H (l_1 + l_2 + l_3 + \dots + l_n)}{S} \dots\dots\dots 6$$

Avec : l₁, l₂, l₃, l_n. Les longueurs des courbes de niveau.
 ΔH : Dénivelée (équidistance) en (m).

Li	550	600	650	700	750	800	850	900	950	1000	1050
Valeur(m)	3255	6205	11367	15360	15313	12216	8235	5426	3321	2131	367

AN : $I_m=24.6\%$

2.2.4.2 : Estimation du temps de concentration :

Le temps de concentration est une caractéristique importante dans la formation de la crue pluviale et son débit de pointe. Il intègre l'influence complexe des processus hydrauliques et hydrologiques sur les versants et dans le lit du thalweg. Pour les crues, cette variable caractérise la vitesse de propagation de la phase maximale. Les méthodes et les formules utilisées sont d'un caractère régional, traduit par des paramètres propres à la région dans laquelle sont développées ces méthodes ou ces formules. Normalement on donne la priorité à celles élaborées dans les conditions physico géographiques analogues à celles de la partie Nord de l'Algérie.

Il existe plusieurs formules pour le calcul on distingue :

- **Formule de Giandotti :**

$$T_c = \frac{4\sqrt{S} + 1,5L_{CP}}{0,8\sqrt{H_{Moy} - H_{Min}}}$$

Où: S – Superficie du bassin versant, en km^2 .

$l_{c.p}$ – Longueur du thalweg principal, en km.

H_{moy} – Altitude moyenne, en m .

H_{min} – Altitude minimale, en m .

AN : $T_c=2,25$ h

- Formule de Befani A. N. :

Le temps de concentration est exprimé par : $T_c = \frac{L}{V_c}$

Où : L - La longueur du cours d'eau principal exprimée en Km

V_c - La vitesse de concentration de la phase maximale de la crue, en km/h.

La vitesse de concentration, par Befani A.N., pour les petits bassins versants, est exprimée comme suit :

$$v_c = 0.75 S^{1/5} I^{1/3}$$

Où: v_c – Vitesse de concentration, en km/h.

S – La superficie du bassin versant, en km^2 .

I – La pente moyenne du talweg principal, en %. $I_c=62,85\%$

AN : $V_c=3,77$ Km/h $T_c=1,85$ h

- Formule de L'A.N.R.H. (Sogreah 1986/89)

Une autre formule a été développée par Sogreah sur demande de l'ANRH, elle est vérifiée et applicable pour les petits bassins versants de l'Algérie, s'écrit :

$$T_c = \left[\frac{SL_{CP}}{(10i_{CP})^{3/2}} \right]^{1/2}$$

Où: t_c – Temps de concentration, en (h).

S – Superficie du bassin versant, en Km^2 .

L_{cp} : Longueur du talweg principal, en Km.

i_{cp} : Pente du talweg principal, en %.

AN : $T_c=1,27$ h

-La formule de KIRPICH :

$$T_c=0,6615(L_{cp})^{0,77} I_g^{0,385}$$

Avec : I_g : Indice de pente globale :

AN : $T_c=0,962$ h

Dans le tableau .2, on récapitule les valeurs calculées par les différentes formules.

Tab.2 : - Temps de concentration en estimé par différentes formules

Giandotti	2.25
Befani	1.85
Sogreah –ANRH	1,27
Kirpich	0,96

La valeur adoptée est celle estimée par la formule de Befani qui, à notre avis, est justifiée théoriquement par une stabilisation de la vitesse maximale au tour d'une valeur constante quand il y a débordement des eaux sur le lit majeur, soit l'accroissement excessif du périmètre mouillé pour une augmentation relative des niveaux d'eau.

Donc : $T_c = 1,85 \text{ h}$

3. Etudes des apports :

Le manque de longues séries hydrométriques d'observations hydrologiques (n=30) au niveau des bassins limitrophes nous conduit à utiliser certaines méthodes et formules empiriques pour l'estimation des apports.

3.1 : Apports liquides :

3.1.1 : Apport moyen annuel (A_0) :

L'apport moyen annuel est donné par formule suivante : $A_0 = L_e \cdot S$

Différentes formules empiriques sont utilisées pour le calcul de l'apport moyen annuel A_0 .

A-Formule de l'ANRH [3] :

$$A_0 = 0,915 \cdot P_{\text{moy}}^{2,684} \cdot S^{0,842} \quad [10^6 \text{ m}^3]$$

P_{moy} : Pluie moyenne annuelle [m].

S : Superficie du bassin versant [Km²].

AN : $A_0 = 0,915 \cdot 0,685^{2,684} \cdot 16,51^{0,842} = 3,51 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ D'où : $A_0 = 3,51 \cdot 10^6 \text{ m}^3$

B-Formule de MEDINGUER [3] :

$$L_e = 1,024(P_{\text{moy}} - 0,26)^2$$

L_e : Lamme d'eau écoulée [mm].

P : Pluie moyenne annuelle [m].

AN : $L_e = 1,024 \cdot (0,685 - 0,26)^2 = 184,96 \text{ mm}$

On a encore : $A_0 = L_e \cdot S = 184,96 \cdot 10^{-3} \cdot 16,51 \cdot 10^6 = 3,054 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ D'où : $A_0 = 3,054 \cdot 10^6 \text{ m}^3$

C- Formule de TURC [3] :

$$L_e = P_{\text{moy}} - D$$

P_{moy} : Pluie moyenne annuelle [mm].

D : Déficit de l'écoulement [mm] tel que :

$$D = \left(\frac{P_{\text{moy}}}{\sqrt{0.9 + \left(\frac{P_{\text{moy}}}{L} \right)^2}} \right)$$

L : Variable théorique tel que : $L = 300 + 25 T_{\text{moy}} + 0.05(T_{\text{moy}})^3$

T_{moy} : Température moyenne annuelle : $T_{\text{moy}} = 15,21\text{C}^\circ$

A.N : $L = 300 + 25 \cdot 15,17 + 0.05(15,21)^3 = 853,80 \Rightarrow$

$$D = \left(\frac{685}{\sqrt{0.9 + \left(\frac{685}{853,80} \right)^2}} \right) = 551,33 \text{ mm}$$

$$L_e = 685 - 551,33 = 133,67 \text{ mm} \Rightarrow A_0 = 133,67 \cdot 10^{-3} \cdot 16,51 \cdot 10^6 = 2,21 \cdot 10^6 \text{ m}^3$$

D'où : $A_0 = 2,21 \cdot 10^6 \text{ m}^3$

D- Formule de SAMIE [3] :

$$L_e = P_{\text{moy}}^2 (293 - 2,2\sqrt{S})$$

P_{moy} : Pluie moyenne annuelle en [m] ;

S : Surface du bassin versant en [km²] ;

L_e : Lame d'eau écoulée en [mm].

A.N : $L_e = 685^2 (293 - 2,2\sqrt{16,51}) = 212,54 \text{ mm}$

D'où : $A_0 = 3,51 \cdot 10^6 \text{ m}^3$

E- Formule de Mallet – Gauthier :

P_{moy} : Pluie moyenne annuelle en [m] ;

L_e : Lame d'eau écoulée en [m].

A.N : $L_e = 0,6 \cdot 0,685 (1 - 10^{-0,36 \cdot 0,685^2}) = 0,13 \text{ m}$

D'où : $A_0 = 2,15 \cdot 10^6 \text{ m}^3$

F-Formule de Deri II [3] :

$$A_0 = 0,513 \cdot P_{\text{moy}}^{2,683} \cdot D_d^{0,5} \cdot S^{0,842} [10^6 \text{ m}^3]$$

P_{moy} : Pluie moyenne annuelle [m].

S : Superficie du bassin versant [Km²].

D_d : Densité de drainage [km/km²].

A.N : $A_0 = 0,513 \cdot 685^{2,683} \cdot 4,09^{0,5} \cdot 16,51^{0,842} = 3,98 \cdot 10^6 \text{ m}^3$

D'où : $A_0 = 3,98 \cdot 10^6 \text{ m}^3$

Les résultats de calcul sont récapitulés dans le Tableau N° 3.

Tab. 3: l'Apport moyenne interannuelle.

Formule	A ₀ (M m ³)
ANRH	3,51
MEDINGUER	3,054
TURC	2,21
SAMIE	3,51
Mallet – Gauthier	2,15
Deri II	3,98

On opte pour la qui calculer par la formule de "ANRH et SAMIE" par ce que les deux sont donne la même résultat. Donc : $A_0 = 3,51.10^6 \text{ m}^3$

3.1.2. Caractéristiques de l'écoulement :

a) Module de l'écoulement (M_e) [3] :

Il est donné par :
$$M_e = \frac{A_0}{T}$$

A₀ : Apport moyen annuel [litres].

T : Temps d'une année en [secondes] "T = 31,536.10⁶ secondes".

AN: $M_e = \frac{3,51.10^9}{31,536.10^6} = 111,30 \text{ l/s}$

D'où : $M_e = 111,30 \text{ l/s}$

b) Module de l'écoulement relatif ou spécifique (M₀) [3] :

On a :

$$M_0 = \frac{M_e}{S}$$

M₀ : Module de l'écoulement ([l/s].

S : Superficie du bassin [Km²].

AN: $M_0 = \frac{111,30}{16,51} = 6,74 \text{ l/s/km}^2$ D'où : $M_0 = 6,74 \text{ l/s/Km}^2$

c) Lame d'eau écoulee [3] :

On a :
$$L_e = \frac{A_0}{S}$$

S : Superficie du bassin.

AN: $L_e = \frac{3,51.10^6}{16,51.10^6} = 0,213 \text{ m} = 213 \text{ mm}$ D'où : $L_e = 213 \text{ mm}$

d) Coefficient de l'écoulement [3] :

Il est donné par :
$$C_e = \frac{L_e}{P_{\text{moy}}}$$

P_{moy} : Pluie moyenne annuelle en [mm] ;

L_e : Lamme d'eau écoulee en [mm].

AN: $C_e = \frac{213}{685} = 0,31$ D'où : $C_e = 0,31$

3.1.3 : Coefficient de variation :

Le coefficient de variation C_v caractérise la variation des valeurs annuelles des débits spécifiques maxima relativement (par rapport) à leur moyenne.

Plus est grand le coefficient de variation C_v plus on exige une série plus longue pour déterminer la moyenne avec une précision donnée.

Pour le calcul du coefficient de variation C_v et en absence d'une série d'observation, on doit utiliser les formules empiriques.

Formule de SOKOLOVSKY:

On a : $C_v = a - 0,063 \log_{10} (S + 1)$

Avec : $a = 0,78 - 0,29 \log_{10} (M_0)$

M_0 : Module de l'écoulement relatif [l/s/km²].

A.N: $a = 0,78 - 0,29 \log_{10} (6,74) = 0,54$

⇒ $C_v = 0,54 - (0,063 \log_{10} (16,51 + 1)) = 0,46$ D'où : **Cv= 0,46**

Formule de L'ANTONOV:

On a : $C_v = \frac{0,7}{(S + 1000)^{0,097}}$

S : Superficie du bassin en [km²].

AN: $C_v = \frac{0,7}{(16,51 + 1000)^{0,097}} = 0,36$ D'où : **Cv= 0,36**

Formule de KRISTEKLY MENKEL:

On a : $C_v = \frac{0,83}{(S^{0,06} \cdot M_0^{0,27})}$

M_0 : module de l'écoulement relatif [l/s/km²].

S : Superficie du bassin en [km²].

AN: $C_v = \frac{0,83}{(16,51^{0,06} \cdot 6,74^{0,27})} = 0,42$ D'où : **Cv= 0,42**

Les résultats de calcul sont récapitulés dans le Tableau N° 4.

Tab.4 : récapitulatif des résultats des coefficients des variantes.

Formule	C_v
SOKOLOVSKY	0,46
L'ANTONOV	0,36
KRISTEKLY MENKEL	0,42

Coefficient de variation moyen calculé à base des formules empiriques sera donc

$$C_{v,moy} = \frac{0,46 + 0,36 + 0,42}{3} = 0,41$$

Donc on prend le coefficient proche de moyenne c'est-à-dire qui calculé avec KRISTEKLY MENKEL et plus de ça cette formule elle contient de deux paramètres très important (la surface du B.V et le module spécifique M_0). D'où : **$C_v = 0,42$**