

Chapitre II. Le Bassin versant

1. Définition : Le bassin versant en un point d'un cours d'eau est défini comme étant la surface topographique drainée par ce cours d'eau et ces affluents. Tous les écoulements prenant naissance à l'intérieur de cette surface doivent transiter par l'exutoire. Chaque bassin est séparé des autres bassins avoisinants par une ligne des partages des eaux (LPE) (Fig.1).

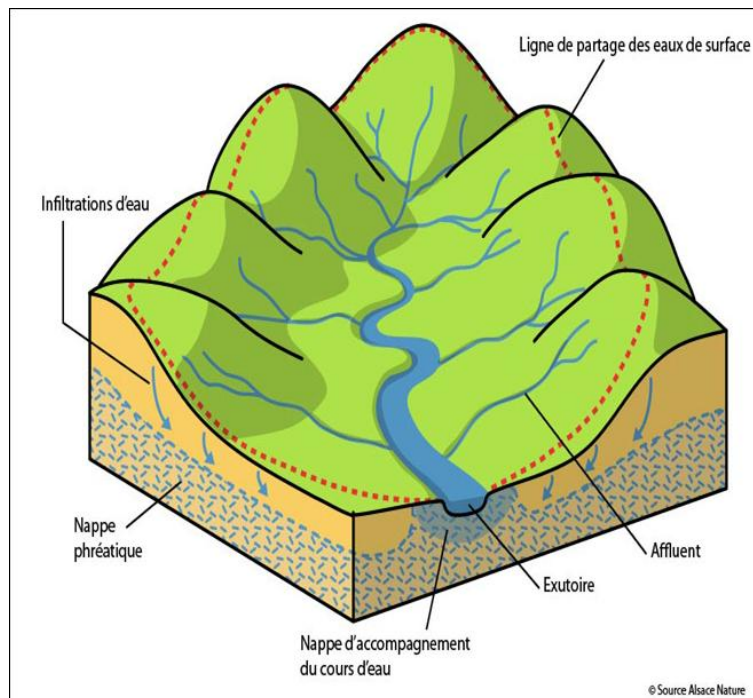


Fig.1 Schéma représentatif d'un bassin versant

- Le comportement hydrologique d'un bassin versant :

Il correspond à la réaction ou la réponse hydrologique d'un bassin versant face à une sollicitation donnée. Elle est mesurée par l'observation de la quantité d'eau qui s'écoule à l'exutoire du système (variation du débit en fonction du temps et on parle d'un hydrogramme de crue ou la variation de la cote de l'eau dans l'oued en fonction du temps et on parle ainsi d'un limnigramme).

***Les courbes isochrones :** Elles représentent les courbes d'égal temps de concentration. Ainsi la courbe isochrone la plus éloignée de l'exutoire correspond au temps mis pour que toute la surface du bassin contribue à l'écoulement à l'exutoire suite à une averse uniforme (Fig.2)

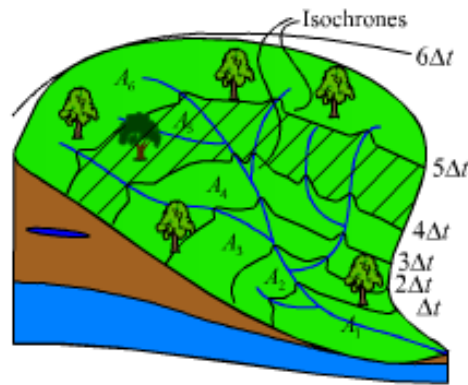


Fig.2 Courbe isochrone.

2. Caractéristiques géométriques d'un bassin versant

2.1 Forme du bassin versant

La forme du bassin affecte l'hydrogramme afférent à une averse donnée et en particulier le débit de pointe à l'exutoire dudit bassin. Plusieurs efforts ont été déployés afin de développer un facteur permettant de décrire la forme d'un bassin versant. Les bassins tendent en général vers la forme d'une " Poire plus ou moins ovale ". Cependant des contraintes géologiques peuvent modifier cette forme. Plusieurs indices sont utilisés pour décrire la forme d'un bassin :

*** Facteur de forme de Horton (Rf) :**

Ce facteur, sans dimensions, peut être calculé par la formule:

$$Rf = \frac{A}{Lp^2}$$

Dans laquelle A et Lp sont, respectivement, la superficie et la longueur du bassin mesurée à partir de l'exutoire jusqu'à la ligne de partage des eaux la plus proche de la source du plus long thalweg le long d'une ligne droite. Ce facteur est égal à 0,79 pour un cercle, 1 pour un carré dont l'exutoire se situe au milieu d'un côté, ou 0,5 si l'exutoire se situe au niveau de l'angle défini par deux côtés.

*** Indice de compacité de Gravelius (Kc) (Fig.3) :**

Cet indice, comme son nom l'indique, est sensé représenter la plus ou moins grande compacité du bassin. Autrement dit, ce paramètre doit rendre compte de la plus ou moins grande vitesse de concentration, à l'exutoire, des eaux de ruissellement en provenance des diverses parties du dit bassin. L'indice de compacité est donné par:

$$Kc = \frac{0.28 P}{\sqrt{A}}$$

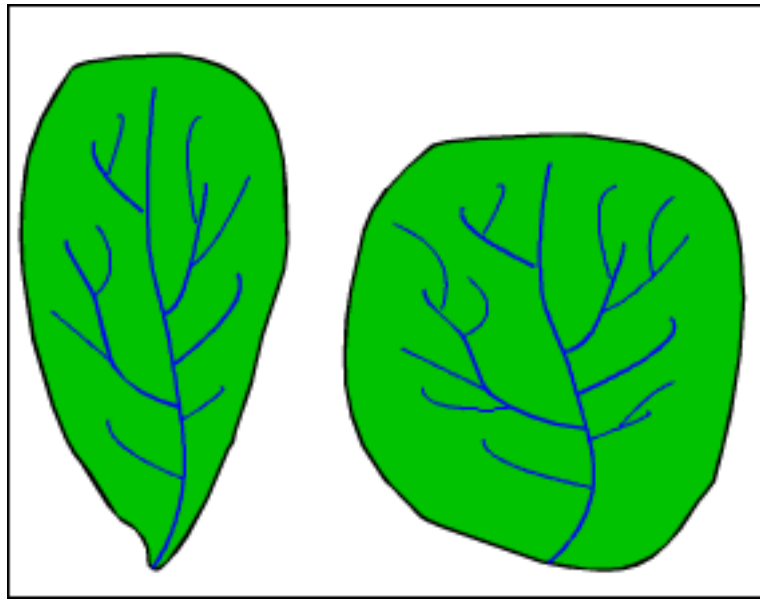


Fig.3 Indice de Compacité

Kc=1.2

Kc=1.1

Où A et P sont respectivement, la superficie (km²) et le périmètre stylisé (km) du bassin étudié. A titre indicatif, cet indice est égal à 1 pour un cercle et 1.128 pour un carré.

***Rapport de circularité de Miller (Rc) :**

Cet indice définit par le rapport de la superficie du bassin versant (A) à la superficie du cercle (Ac) ayant le même périmètre (P) que le bassin versant est donné par :

$$Rc = \frac{4 \pi A}{P^2}$$

Le rapport de circularité de Miller est égal à 1 pour un cercle et décroît au fur et à mesure que L'élongation du bassin est importante.

2.2 Périmètre

Ce paramètre; de faible importance en hydrologie; se mesure directement à partir de la carte Topographique à l'aide d'un curvimètre. L'exactitude des limites du périmètre du bassin porte toujours des erreurs à cause de la grande sinuosité de la ligne de partage des eaux. Pour cette raison on doit d'abord schématiser les limites du bassin considéré par un tracé géométrique Permettant d'évaluer non pas le *périmètre réel* mais le "*périmètre stylisé*".

2.3 Superficie

La superficie du bassin; facteur essentiel; est obtenue par planimétrie sur les cartes Topographiques. Cette planimétrie peut être réalisée à l'aide d'un planimètre ou d'un papier quadrillé tel que le papier millimétré.

2.4 Largeur moyenne du bassin

Outre le périmètre et la superficie, la largeur moyenne B (km) du bassin versant constitue un autre paramètre géométrique. Elle peut être approximée par le rapport de la superficie (km^2) à la longueur du thalweg principal (L_p en km) ou celle du rectangle équivalent (L_e en km) :

$$B = \frac{A}{L_p} = \frac{A}{L_e}$$

2.5 Longueur du rectangle équivalent

Pour apprécier la forme, et par la suite les dimensions, du bassin versant, on assimile ce dernier à un rectangle ayant la même superficie, le même périmètre et la compacité. Ce rectangle, appelé rectangle équivalent, est caractérisé par sa longueur (L_e en km) qu'on peut calculer à l'aide de la formule ci-dessous :

$$L_e = \frac{Kc\sqrt{A}}{1.128} \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.128}{Kc} \right)^2} \right]$$

3. Caractéristiques hydrographiques du bassin

Le réseau hydrographique peut être différencié de point de vue forme (Fig 4) ou à partir de sa densité (Fig 5). Le rapport de confluence va permettre de différencier des réseaux en arête de poisson pour lesquels R_c est important et des réseaux dendritiques pour lesquels R_c est faible

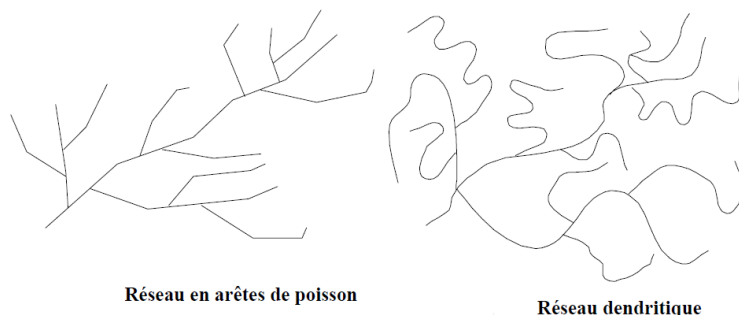


Fig.4 Séparation du réseau hydrographique d'après la forme.

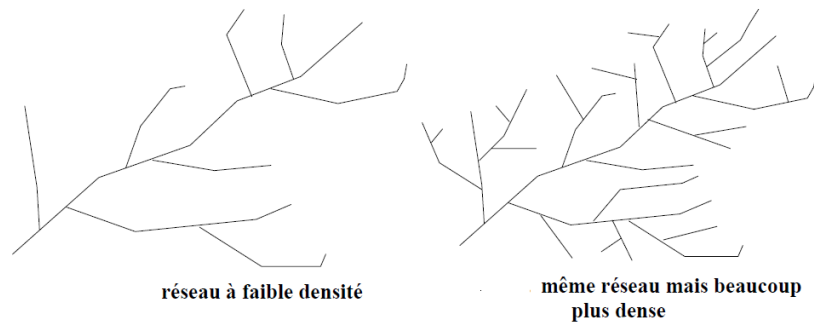


Fig.5 Séparation du réseau hydrographique d'après la densité.

3.1 Longueur et nombre des thalwegs

La mesure des longueurs des thalwegs contribue aux différents calculs des paramètres morphométriques tels que les rapports de longueur et de confluence, la densité de drainage et le temps de concentration. La détermination des rapports de confluence et de longueurs nécessite une classification du chevelu hydrographique. La méthode de Strahler peut être utilisée pour accomplir cette dernière. Cette méthode consiste à classer les cours d'eau et d'affecter un ordre à chacun

d'entre eux suivant la règle: *"Est considéré d'ordre (x+1) tout cours d'eau formé par la réunion de deux cours d'eau d'ordre (x); tout cours d'eau sans affluent étant d'ordre 1"* (Fig.6)

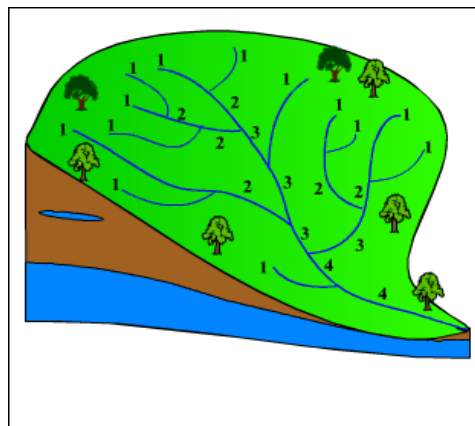


Fig.6 Ordre du bassin versant

Cette hiérarchisation, très sensitive à l'échelle de la carte, étant adoptée, on procède au dénombrement et à la mesure de la longueur des drains pour chaque ordre. L'ordre du bassin versant correspond à l'ordre du tronçon à l'exutoire.

3.2 Rapport de confluence

Ce rapport donne une idée sur l'érosion par ravinement et sur l'hétérogénéité lithologique du bassin versant. La progression géométrique des rapports de confluence partiels R_c s'obtient en divisant le nombre des thalwegs d'ordre (x) par celui d'ordre (x+1), soit:

$$R_c = \frac{N_x}{N_{x+1}}$$

Où N_x et N_{x+1} sont, respectivement, le nombre des thalwegs d'ordre x et x + 1 constituant le bassin. Les rapports de confluence au sein d'un même bassin versant tendent vers un même ordre de grandeur. Généralement, ces R_c varient entre 2 et 4 avec une moyenne de 3,5. Ces observations ont conduit à la loi des nombres de drains de Horton. Cette loi stipule que dans un bassin versant, les nombres de cours d'eau d'ordres successifs croissants forment une "série géométrique inverse", soit:

$$N_x = (R_c)^{S-x}$$

S : représente la valeur maximale de x ou l'ordre du bassin versant.

En effet les rapports successifs R_c sont vaguement égaux et plutôt que de chercher la moyenne de tous les R_c , il est préférable d'estimer directement la valeur moyenne de R_c dont le logarithme est la pente de la droite ajustée à l'ensemble des couples de points (N_x , x) portés sur un graphique semi-logarithmique, N_x étant en ordonnées logarithmiques. Il faut noter qu'en reportant ces couples de points (N_x , x) sur le papier semi-logarithmique, il serait préférable de tenir compte des points correspondants à l'ordre 1; la droite doit passer par ce point.

De plus, l'ajustement graphique ne serait possible que lorsque le réseau hydrographique est bien hiérarchisé; c'est pourquoi il est inutile de représenter les tronçons ayant des petits réseaux dispersés. Typiquement les rapports de confluence varient entre 3 et 5 pour les bassins dont la structure géologique déforme la configuration du drainage. La valeur minimale théorique de 2 est rarement approchée dans les conditions naturelles.

3.3 Rapport de longueur

Le rapport de longueur (R_l) est le rapport de la longueur des thalwegs d'ordre x à celle des drains d'ordre x+1:

$$R_l = \frac{L_{x+1}}{L_x}$$

Où l_x et l_{x+1} sont, respectivement, les longueurs moyennes des thalwegs d'ordre x et $x+1$. En fait, ce rapport, comme celui de confluence, est l'expression de la tendance moyenne, au sens statistique, des longueurs moyennes des thalwegs d'ordres successifs croissants à former "une série géométrique directe" :

$$L_x = L_1(R_l)^{x-1}$$

La représentation graphique des couples de points (l_x, x) sur une échelle semi-logarithmique (Fig.7) permet d'estimer la valeur moyenne de R_l dont le logarithme est égal à la pente de la droite d'ajustement obtenue.

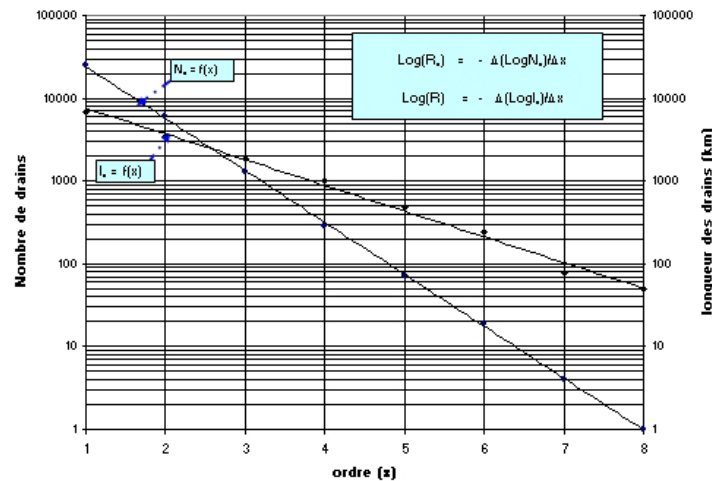


Fig.7 détermination Du R_c et R_l par la méthode graphique.

3.4 Densité de drainage

La densité de drainage (D_d); exprimée en km/km^2 ; se définit comme étant le rapport de la longueur totale (l_x), en km, des cours d'eau à la superficie totale du bassin versant (A), en km^2 , soit :

$$D_d = \frac{\sum L_x}{A}$$

Elle réunit en somme les densités de drainage temporaire (D_{dt}) et permanent D_{dp} . La densité de drainage permanent est formée des drains qui coulent en permanence et qui sont alimentés par l'écoulement de base de la nappe souterraine. La densité de drainage temporaire se forme du reste des thalwegs qui coulent par intermittence, seulement lors des pluies engendrant le ruissellement. La distinction entre ces deux densités partielles ne doit être évoquée que si l'objectif hydrologique visé en

a vraiment besoin. La densité de drainage dépend de plusieurs facteurs tels que la lithologie, la tectonique, l'exposition au vent, le couvert végétal, les pentes et le climat. L'élaboration et l'interprétation de la carte de densité de drainage permettent de donner un contenu à la notion du chevelu; chevelu dense ou lâche.

D'une manière générale, des faibles densités de drainage sont caractéristiques des régions où le sol et le sous-sol sont fortement résistants ou perméables, où la couverture végétale est dense et où le relief est faible. Dans les conditions inverses, on rencontre le plus souvent des densités très élevées.

3.5 Coefficient de torrentialité

Ce coefficient reflète le caractère torrentiel des averses dans le bassin. Il est fortement lié à la densité de drainage et à la fréquence des drains par la relation:

$$C_T = F_1 * D_d$$

Dans laquelle F_1 dénote la fréquence des drains d'ordre 1 définie par le rapport du nombre des drains d'ordre 1 à la superficie du bassin versant. Ce coefficient est d'autant plus élevé que la lithologie du terrain est peu ou pas perméable et/ou le couvert végétal n'est pas important.

3.6 Temps de concentration

C'est le temps mis par la première goutte de pluie tombée sur le point le plus éloigné du bassin pour atteindre l'exutoire. Ce paramètre; exprimé en heures dans l'équation ci dessous; peut être estimé par la formule de Giandotti, applicable pour les bassins étendus à pentes plus ou moins uniformes:

$$T_c = \frac{(4\sqrt{A} + 1.5L_p)}{0.8\sqrt{Z_{moy} - Z_{min}}}$$

Dans laquelle L_p est la longueur (en km) du thalweg principal et Z_{moy} et Z_{min} sont, respectivement, les altitudes moyenne et minimale du bassin (en m).

On remarque que le temps de concentration est d'autant plus élevé que l'allongement du bassin est marqué. La lithologie et le couvert végétal influe également sur le temps de concentration en jouant le rôle d'entrave empêchant l'eau de s'écouler.

3.7 Profil en long du cours d'eau et pente du thalweg principal

Le profil en long d'un cours d'eau permet de définir sa pente moyenne. Il traduit une représentation graphique de la variation de la côte du lit de l'oued; entre la source et l'exutoire; en fonction de la distance. On porte en abscisses les longueurs développées du lit de l'oued et en ordonnées l'altitude du

fond (ou la côte de l'eau); ces paramètres étant obtenus par nivellement sur le terrain. A défaut, on dressera des profils approximatifs à partir des cartes en courbes de niveau de la région. Typiquement, les profils présentent une concavité vers le haut. La pente du chenal affecte la vitesse d'écoulement et doit jouer un rôle capital dans la forme de l'hydrogramme. La pente moyenne (I_m) est celle de droite ainsi tracée et est alors donnée par:

$$I_m = \frac{\Delta Z}{\Delta L}$$

Où Z et L correspondent à la variation d'altitude par unité de variation de la longueur.

Taylor et Schwarz ont également défini un indice de pente simple (**Rs**) dont la méthode de calcul consiste à diviser le chenal principal en **n** segments égaux ayant chacun sa propre pente (**si**). L'indice de pente (**Rs** en m/km) sera alors donné par:

$$R_s = \left[\frac{\sum_{i=1}^n \sqrt{s_i}}{n} \right]^2$$

4. Caractéristiques du relief :

Le relief influence sur les facteurs météorologiques et a un rôle important dans le conditionnement du comportement hydrologique du bassin versant.

4.1 Notion d'hypsométrie : C'est l'étude de la répartition de la superficie du bassin versant en fonction des classes d'altitude (Fig.8). Elle permet de comprendre la relation entre les paramètres hydro climatiques (Précipitations, écoulement de surface et bilan de l'eau). Donc, il est impératif de réaliser une courbe hypsométrique du bassin versant.

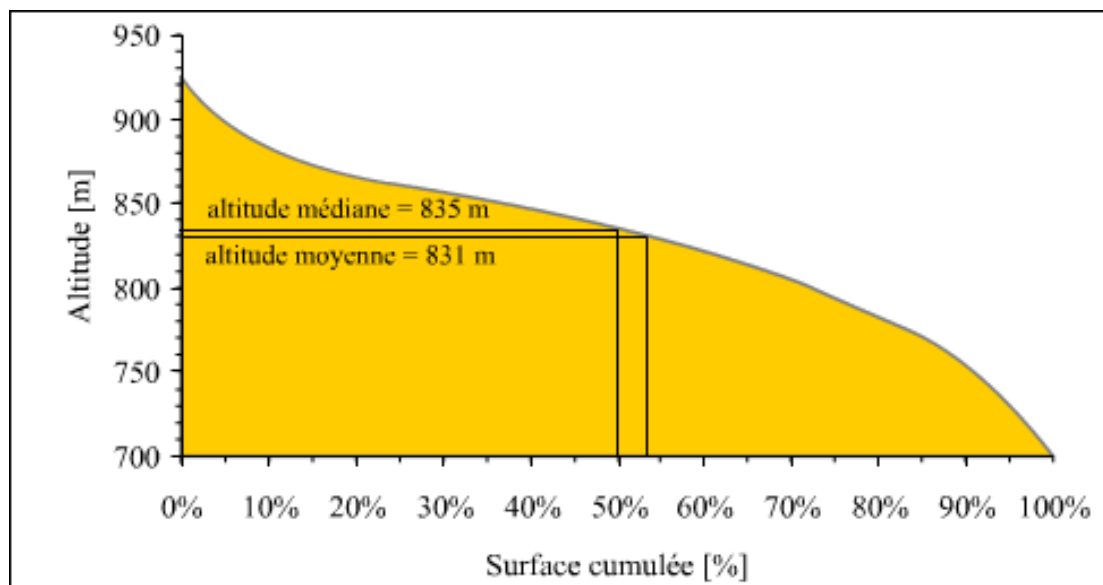


Fig.8 Exemple d'une courbe d'hypsométrie.

4.2 : Altitudes caractéristiques d'un bassin versant : La courbe hypsométrique permet de calculer :
L'altitude moyenne du bassin versant (Z_{moy}), l'altitude médiane (Z_{med}) et l'altitude modale (Z_{mod}).

- Z_{moy} = Le volume montagneux dans le bassin versant sur la surface

$$Z_{moy} = \frac{V}{A} = \frac{\sum \left[\left(\frac{Z_i + Z_{i+1}}{2} \right) * A_i \right]}{A}$$

- Z_{mod} : c'est l'altitude la plus fréquente. Elle correspond au maximum de l'histogramme des fréquences altimétriques.
- Z_{med} : c'est l'altitude de fréquence ½. Elle est donnée par la valeur de la cote correspondant à une fréquence de 50%.

4.3 : Indice de pente global (I_g) : Il est exprimé en m/Km et donné par le rapport suivant :

$$I_g = \frac{D}{L_e}$$

D : La dénivelée utile, $D = |Z_{5\%} - Z_{95\%}|$. L_e : Longueur du rectangle équivalent.

Selon la classification adoptée par L'ORSTOM (France), le relief est dit assez fort si l'indice de pente global est compris entre 20 et 50 m/Km. L'indice de pente global ne permet de comparer entre les bassins de superficies différentes.

**Classification du relief selon L'ORSTOM
(Basins versants de 25 Km²)**

<i>Classe de relief</i>	<i>Type de relief</i>	<i>I_g (m/km)</i>	<i>D_s (m)</i>
R_1	<i>Très faible</i>	<i>< 2</i>	<i>< 10</i>
R_2	<i>Faible</i>	<i>2 – 5</i>	<i>10 – 25</i>
R_3	<i>Assez faible</i>	<i>5 – 10</i>	<i>25 – 50</i>
R_4	<i>Modéré</i>	<i>10 – 20</i>	<i>50 – 100</i>
R_5	<i>Assez fort</i>	<i>20 – 50</i>	<i>100 – 250</i>
R_6	<i>fort</i>	<i>50 – 100</i>	<i>250 – 500</i>
R_7	<i>Très fort</i>	<i>> 100</i>	<i>> 500</i>

4.4 Dénivelée spécifique : Elle est exprimée en mètre et donne la possibilité de comparer entre les valeurs des différents bassins. Elle est donnée par le rapport suivant :

$$D_s = I_g * \sqrt{A}$$

4.5. Pente moyenne du bassin versant : elle est donnée par la formule suivante :

$$\bar{I}_{BV} \cong \frac{Z_{max} - Z_{min}}{\sqrt{A}} \cong \frac{Z_{max} - Z_{min}}{L_e} \cong \frac{Z_{max} - Z_{min}}{L_p}$$

4.6. Carte des pentes : Les pentes sont parmi les facteurs descriptifs des bassins versants qui déterminent les conditions de ruissellement et d'érosion. Le relief et les pentes sont autant de facteurs qui conditionnent la configuration des filets d'eau, des lignes d'écoulement et de ruissellement formées par la pluie. Ainsi, La caractérisation des pentes des bassins versants est un critère important puisque la pente détermine la vitesse d'écoulement et donc l'érosion. La cartographie des pentes s'appuie sur la méthode dite de carroyage où on procède à un maillage carré sur l'ensemble du bassin dont la taille de chaque maille dépend de l'échelle de la carte et de la précision recherchée de la pente moyenne du bassin. Au milieu de chaque maille on détermine la valeur de la pente en divisant la différence d'altitude matérialisée par deux courbes de niveau à l'intérieur de la maille par la distance séparant perpendiculairement ces deux courbes. La carte est construite en utilisant un Modèle Numérique de Terrain (M.N.T.).

5. Autres caractéristiques du bassin : climat, couvert végétal et géologie :

Le bassin versant présente des caractéristiques hydroclimatologiques (pluies, évaporation, températures, humidité relative de l'air, vents, insolation, végétation, etc.) et géologiques (lithologie et activité tectonique) qui ont une influence directe sur le comportement hydrologique d'un bassin versant. La végétation et la lithologie ont une influence sur le phénomène de ruissellement. La végétation peut être appréciée par un indice de couverture forestière K défini par le rapport, exprimé en pourcent, de la superficie recouverte de forêt à celle du bassin versant. L'étude géologique portera essentiellement sur l'identification de la lithologie et la structure tectonique du substratum (la localisation et l'orientation des zones à forte fracturation (réseaux de failles) et des terrains fortement fissurés où la circulation des eaux est favorisée. Les terrains aquifères à forte activité tectonique peuvent présenter de nombreuses sources).

6. Les caractéristiques glaciologiques :

Elles se voient généralement dans les bassins d'altitude où la neige les recouvre durant l'hiver ou dans le cas des glaciers. Pendant le printemps la fonte de neige cause un important écoulement qui s'ajoute à celui de l'eau de précipitations. Pour les glaciers, la fonte génère des crues de débâcle de glace qui sont rapides et intenses.

7. Collecte de données dans un bassin versant :

Pour comprendre le fonctionnement d'un bassin versant, des données sont collectées à partir de stations météorologiques, de stations de jaugeage, de capteurs de qualité de l'eau, et d'autres instruments. Ces données permettent de surveiller le climat, le débit des cours d'eau, la qualité de l'eau, etc.

8. Applications des bassins versants :

Les bassins versants sont cruciaux pour de nombreuses applications, notamment :

- La gestion des ressources en eau : L'eau provenant des bassins versants est utilisée pour l'approvisionnement en eau potable, l'irrigation agricole, la production d'énergie hydroélectrique, etc.
- La prévision des crues : en surveillant les précipitations et le débit des cours d'eau dans un bassin versant.
- La conservation de l'écosystème : les bassins versants abritent une variété de flore et de faune, leur gestion appropriée est essentielle pour préserver ces écosystèmes.

9. Les défis de gestion des bassins versants :

Les pressions environnementales, la croissance démographique, la pollution de l'eau et les changements climatiques posent des défis importants pour la gestion durable des bassins versants.

10. Importance de la gestion intégrée :

Une gestion intégrée des bassins versants, qui prend en compte les aspects sociaux, économiques et environnementaux, est essentielle pour assurer la durabilité des ressources en eau.

Abstract:

In studying hydrology the most common spatial unit of consideration is **the watershed**, also known as a **drainage basin or a catchment area**. This can be defined as the area of land where all the water that falls as precipitation drains to a common **outlet**, such a river, lake or ocean. A catchment may range in size from a matter of hectares to millions of square kilometres.

Watershed Component:

The major components of the watershed are: Watershed boundary, Stream network, Watershed soils/land, and Land use system.

- **Boundary:** It defines the size and shape of watershed. Boundary of a watershed may be the any continuously elevated **ridge lines** covering a particular extent of land segment

- **Stream network:** The watershed within its boundary contains several interconnected streams leading to the outlet. It is a system that drains rain water. Drainage system is assessed by the term called **drainage density**.

Major Factors that determine a watershed's response to a given rainfall:

- Drainage area
- Channel slope
- Soil types
- Land use
- Land cover
- Main channel and tributary characteristics-channel morphology
- The shape slope and character of flood plain.