

Chapitre II

LE BASSIN VERSANT

Les problèmes pratiques de l'hydrologie concernent, le plus souvent, une étendue de terrain limitée au bassin d'un cours d'eau en un point déterminé. Les caractéristiques orographiques, géologiques et pédologiques de ce bassin jouent un rôle essentiel dans son comportement hydrologique. Le bassin versant et son exutoire constituent, donc un ensemble d'éléments interdépendants (surface, forme, relief, réseau hydrographique, couvert végétal, etc.) qu'il convient de préciser dès le début de toute étude. Ce milieu naturel complexe exige une étude morphométrique permettant la mesure des facteurs caractéristiques du bassin et la quantification des paramètres physiques qui interviennent d'une façon continue dans l'écoulement. Ce chapitre expose les diverses méthodes de calcul, de mesure et de présentation employées pour décrire les principales caractéristiques physiques du bassin en question.

1. Définition et délimitation d'un bassin versant

Le bassin versant en un point ou plus précisément dans une section droite d'un cours d'eau est défini comme la **surface topographique** drainée par ce cours d'eau et ses affluents à l'amont de ladite section; tous les écoulements prenant naissance à l'intérieur de cette surface doivent traverser la section droite considérée pour suivre leur trajet vers l'aval. En d'autres termes, il s'agit d'un domaine dans lequel tous les écoulements des eaux convergent vers un même point, **exutoire** de ce bassin. Ainsi toute goutte d'eau qui tombe dans ce territoire délimité par des frontières naturelles se dirige vers le cours d'eau ou ses affluents, puis vers l'aval et son exutoire. Cette aire d'alimentation a des limites géographiques, qui ne tiennent pas compte des limites administratives.

Chaque bassin est séparé de ceux qui l'entourent par une **"ligne de partage des eaux"**.

Cette limite sera tracée sur une carte en courbes de niveau en suivant les lignes de crête bordant le bassin et ne traversera le cours d'eau qu'au droit de l'exutoire (**Fig. 1**). On définit ainsi le bassin versant topographique ou hydrographique pour les eaux superficielles qui peut parfois différer du bassin versant réel ou hydrogéologique.

Ce dernier se définit non pas à partir des lignes de crêtes topographiques, mais à partir des lignes de crêtes piézométriques ou hauteurs du plan d'eau dans le sol (**Fig. 2**).

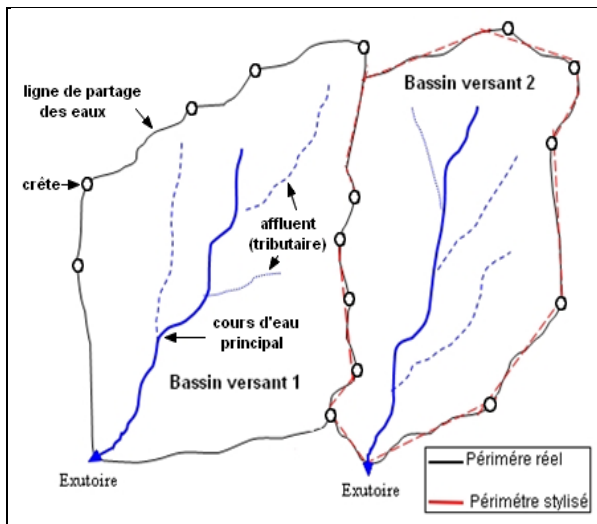


Fig. 1. Délimitation d'un bassin versant

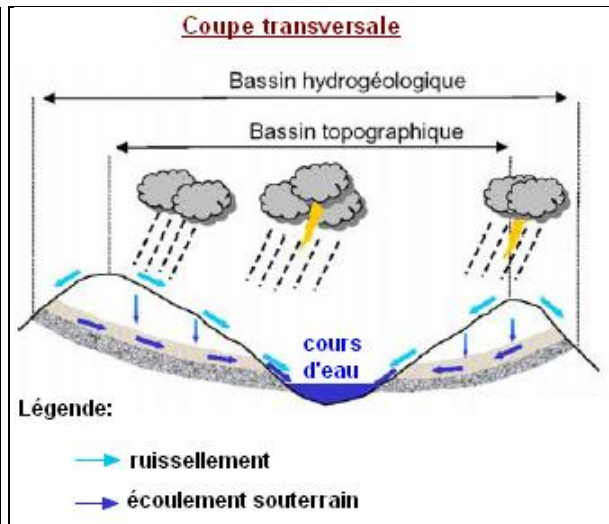


Fig. 2. Bassin versant topographique et bassin versant réel.

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.

2.1.2. Indice de compacité de Gravelius (K_c)

Cet indice, comme son nom l'indique, est censé 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 dudit bassin. L'indice de compacité est donné par :

$$K_c = \frac{0.28 \times P}{\sqrt{A}}$$

où A et P sont respectivement, la superficie (km²) et le périmètre stylisé (km) du bassin étudié (**Fig. 2**). A titre indicatif, cet indice est égal à 1 pour un cercle et 1.128 pour un carré. **La figure 4** permet enfin de visualiser l'influence de la forme du bassin sur celle de l'hydrogramme. La superficie et l'intensité de la pluie étant supposées les mêmes pour les bassins A et C, les bassins circulaires semblent favoriser beaucoup plus les phénomènes de crues.

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 planimétrage sur les cartes topographiques. Ce planimétrage peut être réalisé à l'aide, parmi d'autres, d'un planimètre ou d'un papier quadrillé tel que le papier millimétré.

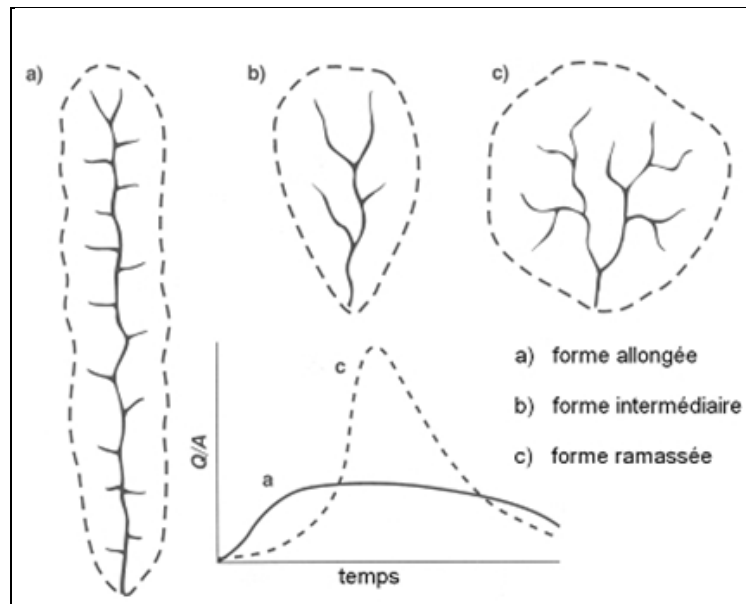


Fig. 3. Influence de la forme du bassin sur la nature de l'hydrogramme de crue

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 (km²) à la longueur du thalweg principal (L_p en km) ou celle du rectangle équivalent (L_e en km) et alternativement par la médiatrice à L_b (**Fig. 4**) :

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

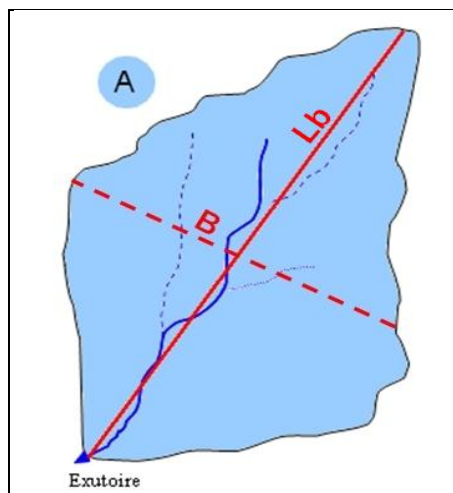


Fig. 4. Définition de la longueur du bassin selon Horton

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 (Le en km) qu'on peut calculer à l'aide de la formule ci-dessous :

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

3. Caractéristiques hydrographiques

3.1. Définition du réseau hydrographique :

- ensemble des canaux de drainage naturels ou s'écoulent les eaux provenant du ruissellement ou restituées par les nappes souterraines soit sous forme de source, soit par restitution continue le long du lit du cours d'eau (Roche, 1963)

- cours d'eau naturels ou artificiels, temporaire ou permanent (Musy, EPFL)

- Facteurs de contrôle du développement et de la géométrie d'un cours d'eau

- géologique,
- climatique,
- topographique (érosion/sédimentation)
- anthropique (drainage, barrages, endiguement)

ordres du BV: classification de Strahler

L'ordre d'un bassin versant correspond à l'ordre du tronçon à l'exutoire :

- 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 Strahler⁴ 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. 5).

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

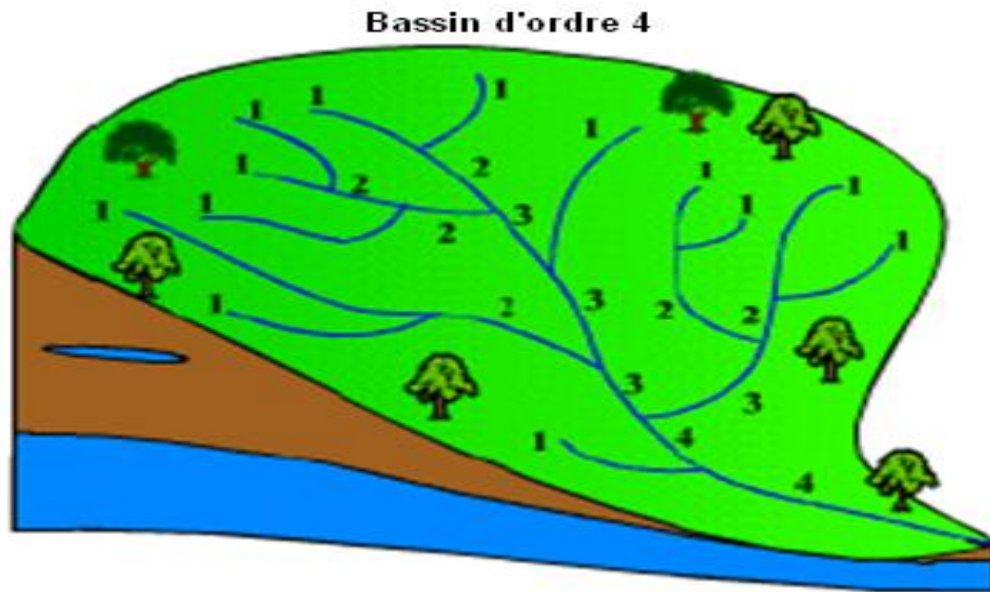


Fig. 5. Classification du chevelu hydrographique (Règle de Strahler)

- Longueurs et pentes caractéristiques:

- longueur du cours d'eau principal
- profil en long/longitudinal
- pente moyenne du cours d'eau
- densité de drainage $Dd = \Sigma li / A$
- densité hydrographique $Dh = \Sigma ni / A$

3.2.La densité de drainage (Dd); exprimée en km/km² ; 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 km²,

$$D_d = \sum_{x=1}^s l_x$$

La densité de drainage dépend de plusieurs facteurs tels que la lithologie, la tectonique, l'exposition, 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.

3.3. 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:

$$C_T = F_1 \cdot D_d$$

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.

3.4. 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:

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

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.

4.Caractéristiques topographiques ou de relief

► intérêt de l'étude du relief

- rôle déterminant dans le comportement hydrologique du bassin
- influence sur les facteurs hydro climatologiques (précipitations, températures, vents, ruissellement.

► critères descriptifs du relief

Les critères descriptifs du relief d'un bassin versant sont donnés ci-dessous.

- altitudes: exutoire, points culminants, courbe hypsométrique
- pentes: moyenne, maxi et mini, distribution (carte), exposition du bassin

4.1. Répartition altimétrique de la superficie: *notion d'hypsométrie*

L'analyse hypsométrique est très utile pour l'étude du relief. Elle permet de comprendre la relation entre les paramètres hydroclimatiques (précipitations, écoulement de surface et bilan d'eau) et l'altitude du bassin. Il devient donc impératif d'étudier la répartition de la superficie du bassin par classe d'altitude.

4.1.1. Détermination de la courbe hypsométrique

Afin de décrire et d'expliquer les formes du relief, on doit réaliser des courbes dites "hypsométriques". Pour cela, on dispose de cartes topographiques à partir desquelles on procède à la répartition de la superficie du bassin par tranche d'altitude (**Tableau 3**). Ensuite, le report du cumul des aires élémentaires et des valeurs altimétriques sur une échelle arithmétique permet de tracer la courbe hypsométrique du bassin. Cette dernière est susceptible de changer avec le temps au fur et à mesure que le bassin est consommé par l'érosion.

Dans certains cas, il convient d'utiliser, au lieu de la surface cumulée, le cumul du pourcentage, par rapport à la superficie totale, des aires élémentaires (**Fig. 8**).

Le plus souvent, une courbe hypsométrique peut être remplacée sinon associée à un histogramme des fréquences altimétriques.

Tableau 3. Répartition altimétrique du bassin de l'oued El Ahrach à Tamalous

Répartition altimétrique du bassin de l'oued El Ahrach à Tamalous		
Altitude (m)	A _i (Km ²)	A _i (%)
39-100	2,20	7,26
100-200	4,30	14,19
200-300	6,70	22,11
300-400	7,00	23,10
400-500	5,00	16,50
500-600	5,10	16,83
Somme	30,30	100,00

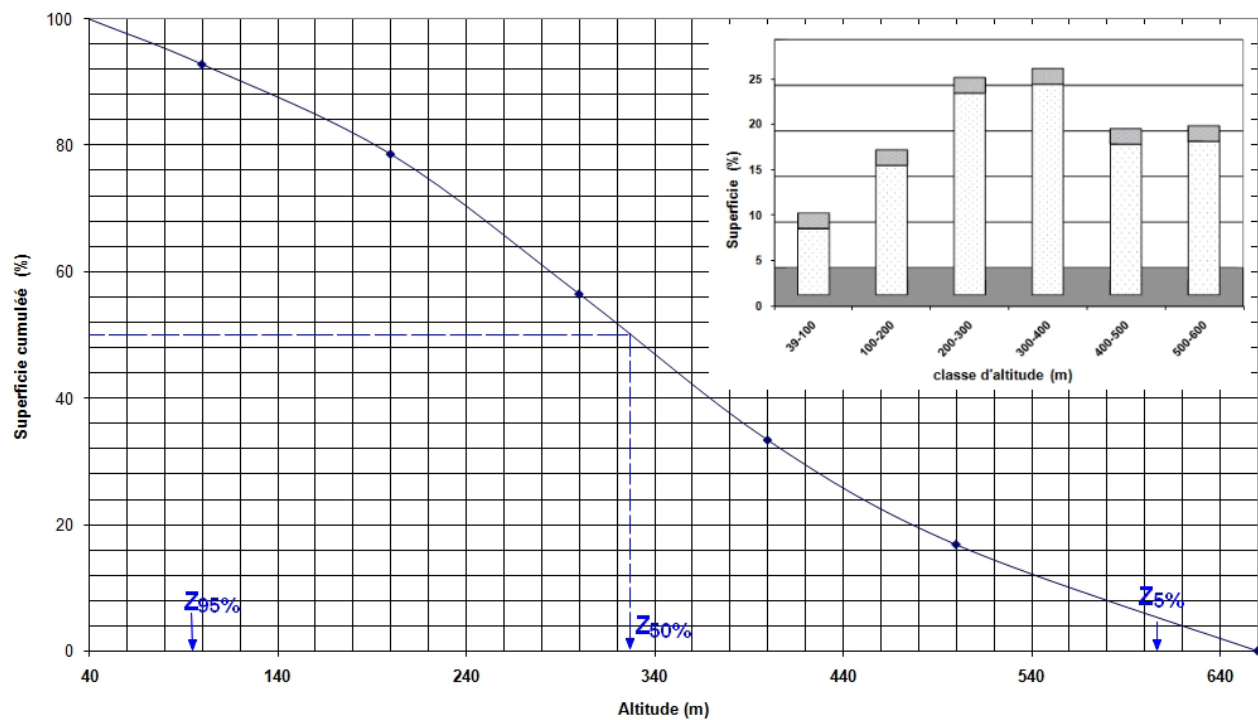


Fig. 8. Courbe hypsométrique du bassin de l'oued El Ahrach à Tamalous (Superficie: 32 Km²)

2. tracer la courbe hypsométrique et l'histogramme des fréquences altimétriques.

3. déterminer les altitudes caractéristiques du bassin

- exutoire : Z_{\min} - point culminant : Z_{\max} - dénivelée totale : $D = Z_{\max} - Z_{\min}$

a- **altitude moyenne du bassin** : rapport du volume montagneux (V) à la superficie du bassin (A)

Ce volume est la somme des volumes partiels (V_i) de chaque tranche de surface comprise entre les isohypses choisies pour la planimétrie. Les volumes élémentaires s'obtiennent en multipliant les surfaces partielles (A_i) par la moyenne arithmétique des altitudes Z_i et Z_{i+1} des courbes qui les limitent. Pour un système d'unité consistant on a : (k dénote le nombre de classes d'altitude).

$$Z_{\text{moy}} = \frac{\sum_1^k \frac{1}{2} (Z_i + Z_{i+1}) \times A_i}{\sum_1^k A_i} = \frac{V}{A}$$

b- **altitude médiane** (ou altitude de fréquence $\frac{1}{2}$) :

Il s'agit de la valeur de l'altitude qui divise l'aire du bassin de façon à ce que 50% de la superficie du bassin se caractérise par des côtes supérieures et l'autre moitié par des côtes inférieures. Sur une courbe hypsométrique, l'altitude médiane est donnée par la valeur de la côte correspondant à une fréquence de 50%.

Afin de pouvoir interpréter l'évolution du relief du bassin, on procède souvent au calcul du volume montagneux restant appelé " Intégrale hypsométrique (IH) ". Ce paramètre est fortement lié à la forme de la courbe hypsométrique. Trois cas de figures peuvent être distingués :

- cas où la convexité prédomine avec $IH > 60\%$,
- cas où l'allure est convexo-concave avec $35\% < IH < 60\%$,
- cas où la concavité prédomine avec $IH < 35\%$.

Ces trois cas correspondent respectivement aux stades d'évolution du relief "jeune-début maturité, maturité et fin-maturité". Un relief est enfin dit en équilibre s'il y a une balance entre les agents d'érosion et d'accumulation.

c- altitude la plus fréquente:

Elle correspond au maximum de l'histogramme des fréquences altimétriques. On parlera alors de classe modale ou classe d'altitude la plus répandue sur le bassin.

4.2. Indices de pentes

- *La pente moyenne détermine la vitesse avec laquelle l'eau se rend à l'exutoire du bassin donc le temps de concentration.*
- *Cette variable influence donc le débit maximal observé.*
- *Une pente abrupte favorise et accélère l'écoulement superficiel et l'action érosive de l'eau.*
- *Une pente douce ou nulle donne à l'eau le temps de s'infiltrer, entièrement ou en partie, dans le sol et favorise le dépôt de la charge solide dans l'eau.*

● **Indice de pente global I_g (m/km):**

Cet indice présente l'avantage d'être très simple et facile à calculer. L'indice de pente global (I_g), exprimé en m/km, est donné par le rapport de la dénivelée utile (D , en m); estimée à partir de la courbe hypsométrique; à la longueur du rectangle équivalent en km (L_e), d'où:

$$I_g = \frac{D}{L_e} = \frac{|Z_{95\%} - Z_{5\%}|}{L_e}$$

avec

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

La dénivelée utile (D) est estimée, à partir de la courbe hypsométrique, par la différence des altitudes correspondant à 5 et 95% de la superficie totale du bassin étudié; altitudes dénotées, respectivement, par $Z_{5\%}$ et $Z_{95\%}$ (Fig. 8). Ceci dit que 90% de la superficie s'étend entre ces altitudes. 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 (Tableau 4).

Malgré sa simplicité, l'indice de pente global présente l'inconvénient de décroître pour un même bassin lorsque la superficie croît. Il permet la classification mais on ne peut pas s'en servir pour comparer des indices de pente des bassins versants de superficies différentes. Pour palier à cette lacune, il serait préférable d'utiliser la dénivelée spécifique.

● **dénivelée spécifique (D_s): exprimée en mètre :**

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

La dénivelée spécifique peut servir pour comparer le relief des bassins versants de superficies différentes

**Classification du relief selon l'ORSTOM
(Bassins versants de 25 km²)**

<i>Classe de relief</i>	<i>Type de relief</i>	<i>I_g (m/km)</i>	<i>D_z (m)</i>
<i>R₁</i>	<i>Très faible</i>	<i>< 2</i>	<i>< 10</i>
<i>R₂</i>	<i>Faible</i>	<i>2 – 5</i>	<i>10 – 25</i>
<i>R₃</i>	<i>Assez faible</i>	<i>5 – 10</i>	<i>25 – 50</i>
<i>R₄</i>	<i>Modéré</i>	<i>10 – 20</i>	<i>50 – 100</i>
<i>R₅</i>	<i>Assez fort</i>	<i>20 – 50</i>	<i>100 – 250</i>
<i>R₆</i>	<i>fort</i>	<i>50 – 100</i>	<i>250 – 500</i>
<i>R₇</i>	<i>Très fort</i>	<i>> 100</i>	<i>> 500</i>

● **Pente moyenne du bassin versant: approximations rapides**

$$I_{BV} = \frac{Z_{\max} - Z_{\min}}{\sqrt{A}} = \frac{\text{dénivelée totale}}{\sqrt{A}} \quad \text{ou bien} \quad I_{BV} \approx \frac{Z_{\max} - Z_{\min}}{L_e} \approx \frac{Z_{\max} - Z_{\min}}{L_p}$$

Attention : Ce type d'approximation peut masquer des réalités importantes

● **Pente moyenne du bassin versant : carte des pentes (plus précise)**

4.2.4. Établissement de la carte des pentes

La carte des pentes est un élément fondamental dans toute étude morphométrique d'un bassin versant car les pentes constituent un des facteurs essentiels de l'écoulement des eaux et un élément important influant sur l'érosion hydrique. Cette carte peut être obtenue par la méthode dite de carroyage. Cette méthode consiste à procéder 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. On trace ensuite la carte d'égale pente en utilisant un logiciel appropriée (Surfer par exemple) ou, à défaut, la méthode d'interpolation triangulaire.

Les aires élémentaires comprises entre deux valeurs successives de la pente sont obtenues par planimétrie à un pas donné et les résultats, consignés dans un tableau, permettent de calculer la pente moyenne pondérée du bassin versant ainsi que de tirer quelques informations utiles sur la distribution des pentes et, par conséquent, les caractéristiques du relief dans le bassin étudié (Fig. 10 et Tableau 5).

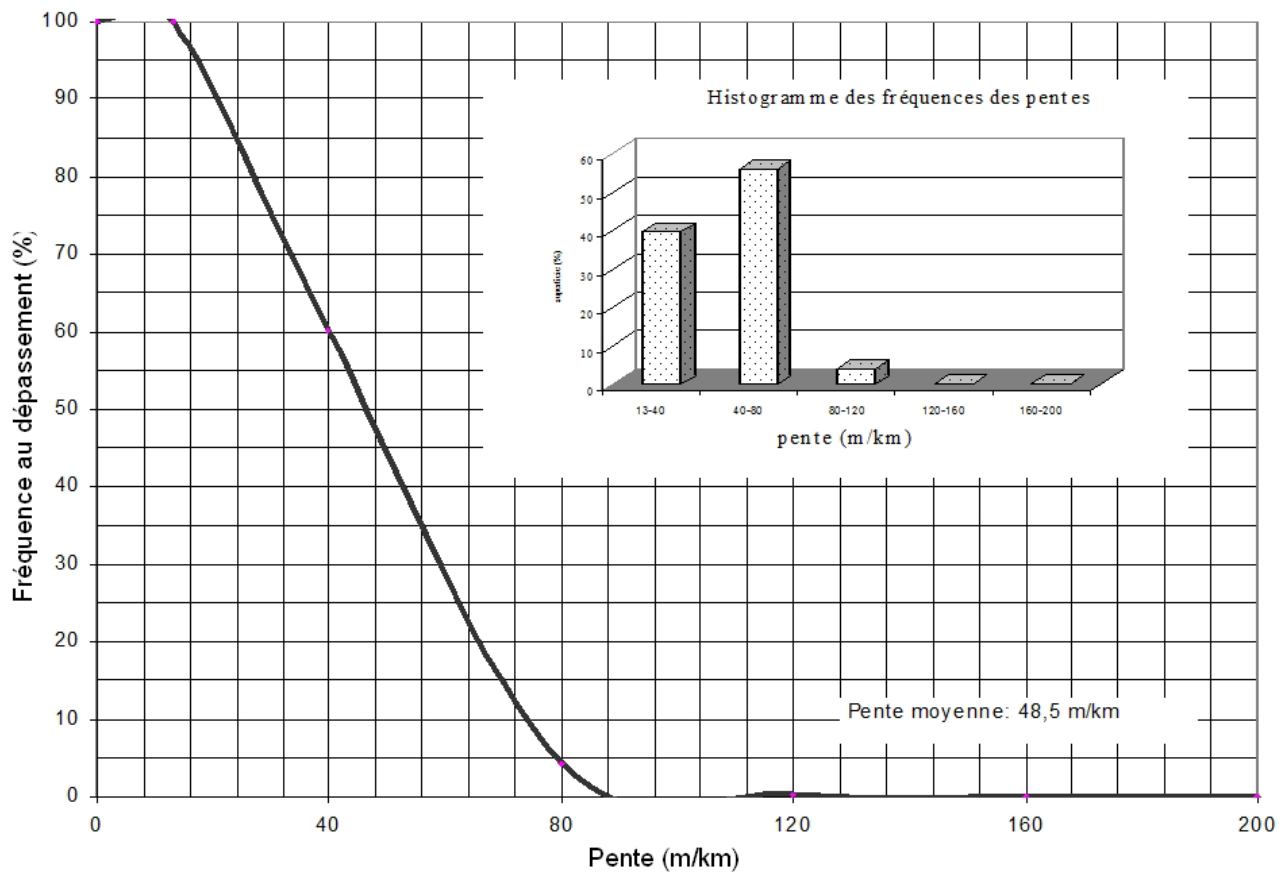


Fig. 10. Distribution de pentes dans le bassin de l'oued Bounamoussa à Med Tayeb

Tableau 5. Classification des pentes selon le Comité de l'Union Internationale des Géographes

Classe de pente (m/km)	Caractéristique du relief
0 - 35	Pente légèrement inclinée
35 - 90	Pente moyennement inclinée
90 - 270	Pente fortement inclinée
270 - 560	Pente raide à très raide

4.2.5. Exposition du bassin versant

Pour connaître l'orientation des versants, on construit également un maillage carré. Le sens d'écoulements dans chaque maille est tracé perpendiculairement aux courbes de niveau. On mesure la valeur de l'angle (généralement en degrés) formé par la flèche matérialisant l'écoulement et celle du nord géographique (Fig. 11).

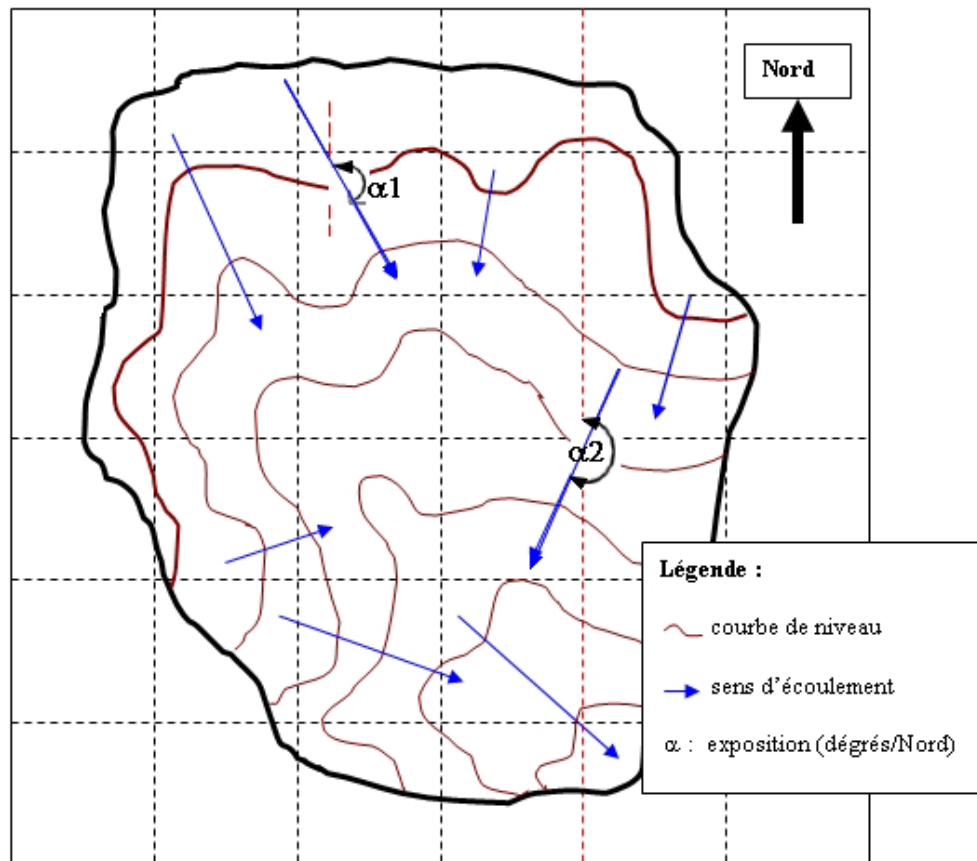


Fig. 11. Schéma montrant le calcul de l'exposition des versants

A partir de la Fig.12, il ressort que le bassin de l'oued Saf-Saf à Zardézas est dominé par les versants exposés, en grande partie, vers le Nord – Est, et à un degré moindre, vers le Sud-Est.

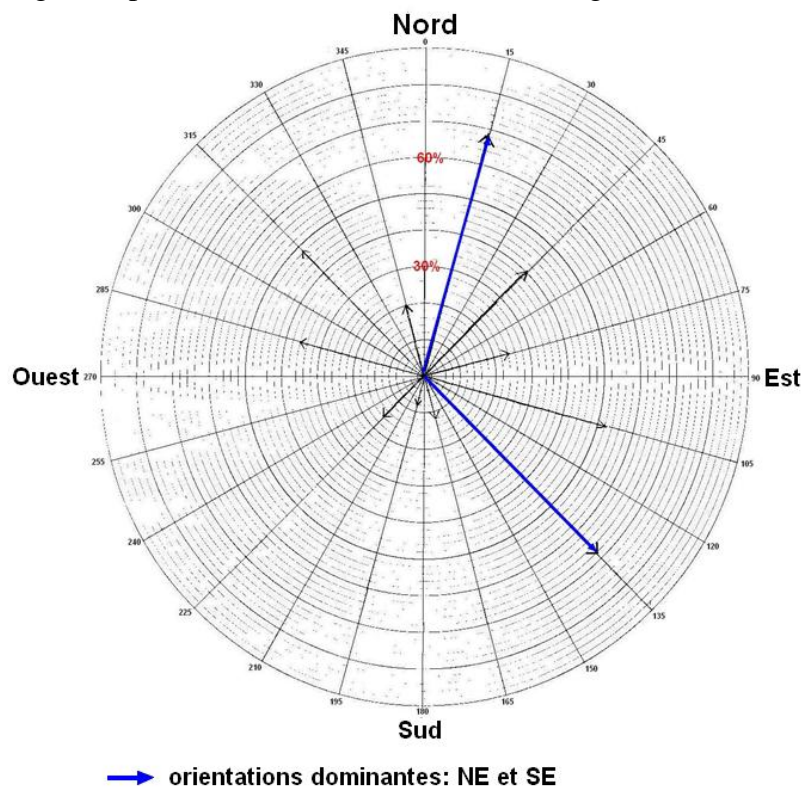


Fig. 12. Exposition des versants dans le bassin du Saf-Saf à Zardézas.

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

En plus des facteurs géométriques et morphométriques, 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) qu'il faut préciser au début de toute étude. La végétation et la lithologie ont une influence directe sur le phénomène de ruissellement.

La végétation peut être appréciée en dressant une carte du couvert végétal (ou carte de l'occupation des sols). A défaut d'une telle carte, on calcule le taux de forestation défini par le rapport, exprimé en pourcent, de la superficie recouverte de forêt à celle du bassin versant.

En effet, la végétation joue le rôle d'écran qui conditionne la rapidité du ruissellement superficiel et amortit son agressivité. Ainsi, les formes et l'importance de l'érosion hydrique sont directement liées, en plus d'autres facteurs, à la répartition de la couverture végétale dans le bassin.

L'étude géologique portera essentiellement sur l'identification, la délimitation et l'inclinaison des différentes couches lithologiques (perméables et/ou imperméables), 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.