

I. Un bassin versant, c'est quoi ?

Un bassin versant ou **bassin hydrographique** est une portion de territoire **délimitée par des lignes de crête (ou lignes de partage des eaux) et irriguée par un même réseau hydrographique** (une rivière, avec tous ses affluents et tous les cours d'eau qui alimentent ce territoire).

A l'intérieur d'un même bassin, **toutes les eaux reçues** suivent, du fait du relief, une pente naturelle et se concentrent vers un même point de sortie appelé exutoire.

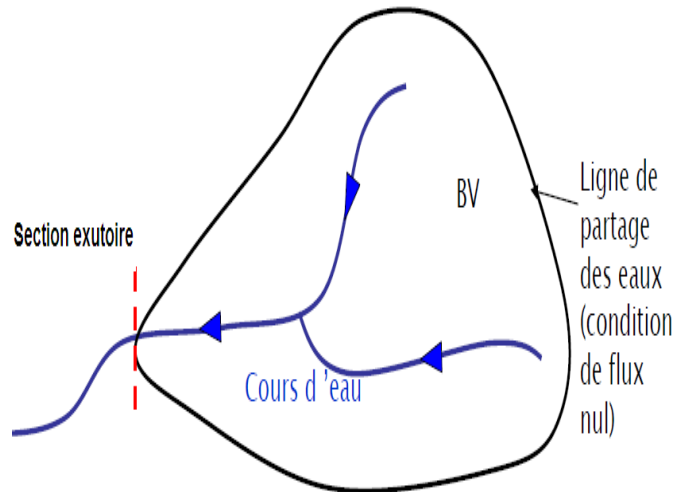


fig.1. Bassin versant

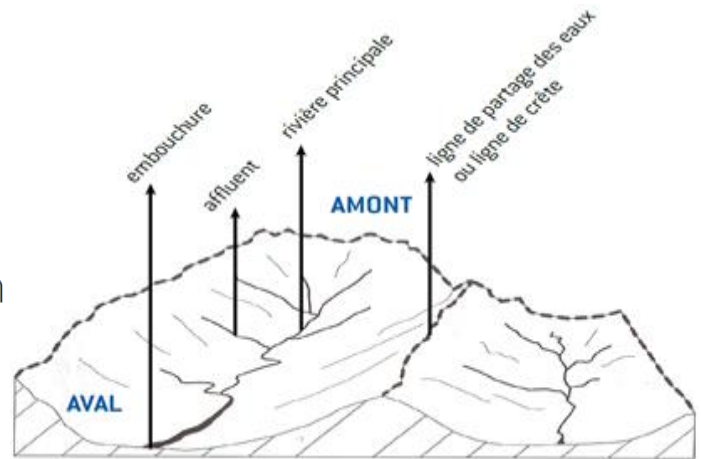


fig.2. Deux bassins versants voisins

- **Bassin Versant (BV) = L'unité de référence en hydrologie.**
 - Le bassin versant est une entité géographique fondamentale dans l'étude des eaux superficielles. Il correspond à l'aire de drainage naturel des eaux de surface.
 - Le bassin versant est une unité territoriale correspondant à l'ensemble du territoire qui alimente un cours d'eau en eau. Les **limites du territoire d'un bassin versant sont appelées les lignes de partage des eaux et sont constituées des sommets qui séparent les directions d'écoulement des eaux de ruissellement**. La direction d'écoulement des eaux dans un bassin versant implique que ces eaux se dirigeront vers un **exutoire** commun (cours d'eau, lac, fleuve, océan). Les eaux souterraines, au même titre que les eaux de surface, font partie intégrante du bassin versant.
 - **L'exutoire** d'un bassin est le point le plus en aval du réseau hydrographique par lequel passent toutes les eaux de ruissellement drainées par le bassin. La ligne de crête d'un bassin versant est la ligne de partage des eaux. La ligne ainsi définie, limite les bassins versants topographiques adjacents.
 - Le bassin versant est un espace géographique dans lequel toutes les eaux de pluie ou de ruissellement s'écoulent dans la même direction et se rejoignent pour former un cours d'eau ou un lac.
- **Il est entièrement caractérisé par son exutoire, à partir duquel on peut tracer le point de départ et d'arrivée de la ligne de partage des eaux qui le délimite.**
 - **Généralement, la ligne de partage des eaux correspond à la ligne de crête. On parle alors de bassin versant topographique.**
 - **BV = Région qui possède un exutoire commun pour tous ses écoulements de surface.**
 - **BV = Zone géographique (unique) drainée par un cours d'eau (et ses affluents) à son exutoire.**
 - **Un BV est toujours associé à :**
 - Un cours d'eau
 - Une section de ce cours d'eau : l'exutoire ou émissaire.
 - **Son rôle = Collecter les eaux de pluie et concentrer les écoulements vers les cours d'eau. Il permet ainsi la mise en relation des précipitations au sol et des débits observés dans les cours d'eau.**
 - **Bassin versant = Bassin topographique = bassin fluvial = bassin hydrographique parfois impluvium (sauf si eaux minérales)...**

- Aire BV : De qq ha à qq millions de km² :
 - BV Amazone : 6 300 000 km²
 - BV Roujan : 91 ha soit 0,91 km²
- Le bassin versant représente l'unité géographique sur laquelle se base l'analyse du cycle hydrologique et de ses effets.
- Délimitation limitation des frontières d'un BV topographique = Limites du BV = les LIGNES DE PARTAGE DES EAUX identifiées à partir des courbes de niveaux => lignes de crêtes, sommets et thalwegs, points hauts de la région...
 - Dans un bassin versant, l'écoulement des eaux se fait de l'**amont** vers l'**aval** au travers d'un réseau hydrographique (réseau de drainage) d'ordre plus ou moins important.
 - Chaque bassin versant est composé de plusieurs sous-bassins versants qui, à leur tour, sont également composés de sous-bassins versants.

II. Délimitation d'un bassin versant :

Toutefois, la **délimitation topographique** nécessaire à la *détermination en surface du bassin versant naturel* n'est pas suffisante. Lorsqu'un **sol perméable** recouvre un substratum imperméable, la division des eaux selon la topographie ne correspond pas toujours à la ligne de partage effective des eaux souterraines. Le bassin versant est alors différent du bassin versant délimité strictement par la topographie. Il est appelé dans ce cas **bassin versant réel**.

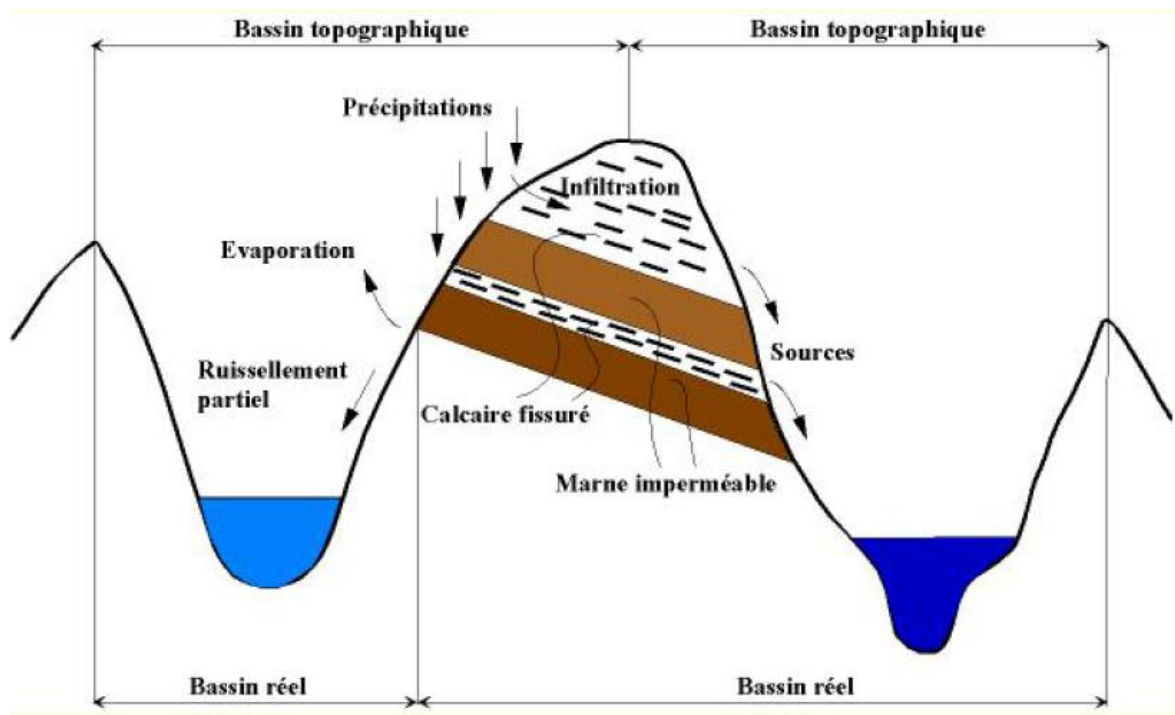


fig.3. Bassin versant topographique et bassin versant hydrogéologique.

En fait, la figure 4 montre qu'en cas d'averse abondante, les eaux ruisselées pourraient rejoindre le cours d'eau du bassin adjacent tandis que les eaux infiltrées se dirigeraient vers le bassin principal.

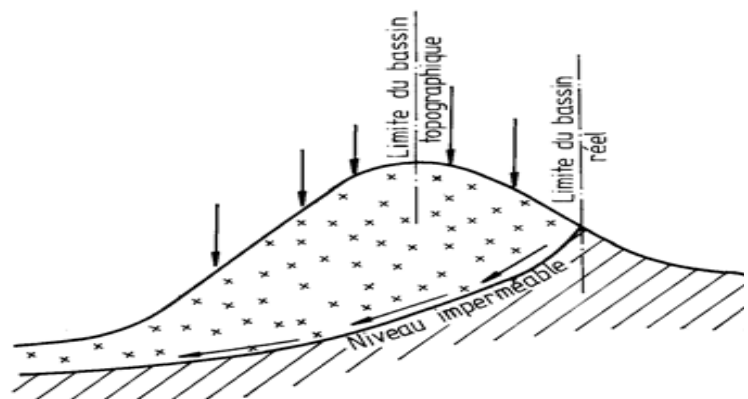
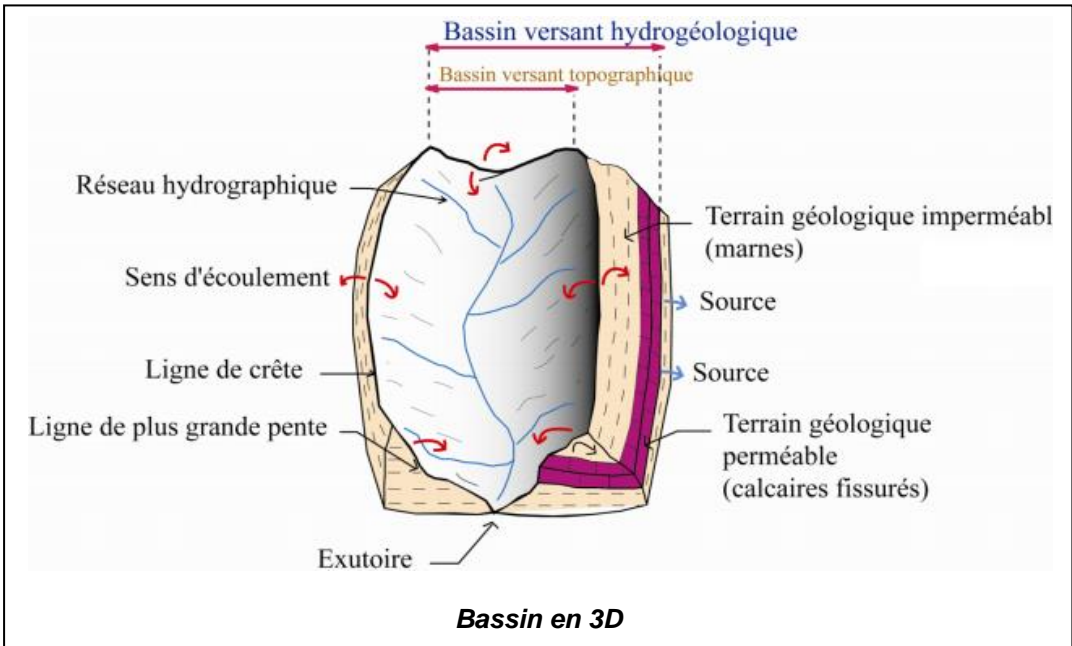
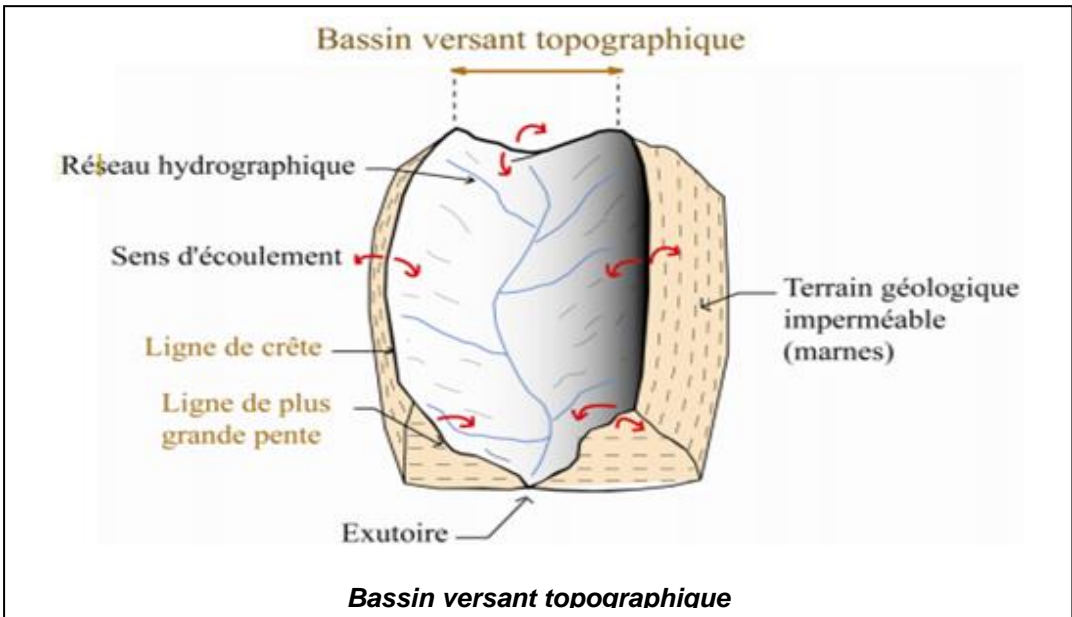
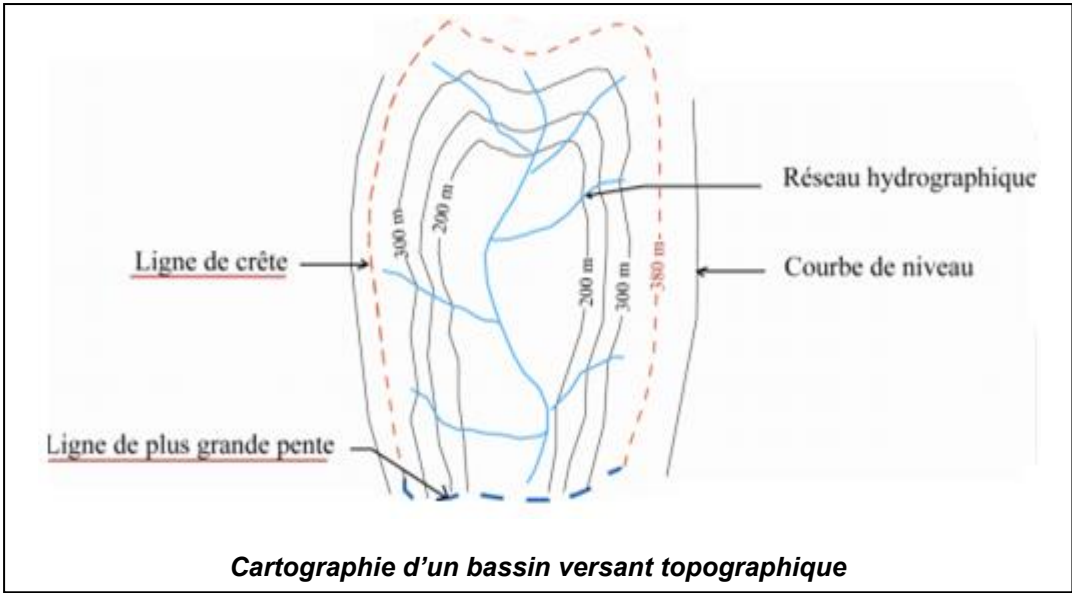


fig.4. Bv topographique / hydrogéologique.



BV topographique : Écoulement superficiel prédominant / Apport souterrain

BV hydrogéologique : Délimitation de la zone d'alimentation du cours d'eau à partir de la connaissance topographique et de la connaissance des formations géologiques du site (= Impluvium pour les eaux minérales).

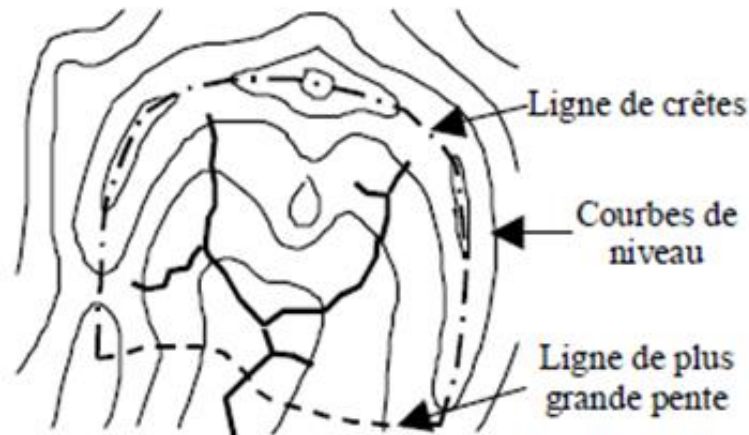
Un **impluvium** est un système permettant de capter et de transporter les **eaux de pluie** vers un lieu de stockage.

III. Types de bassins versants :

- Selon **le sous-sol**, on peut distinguer 2 types de bassins versants :

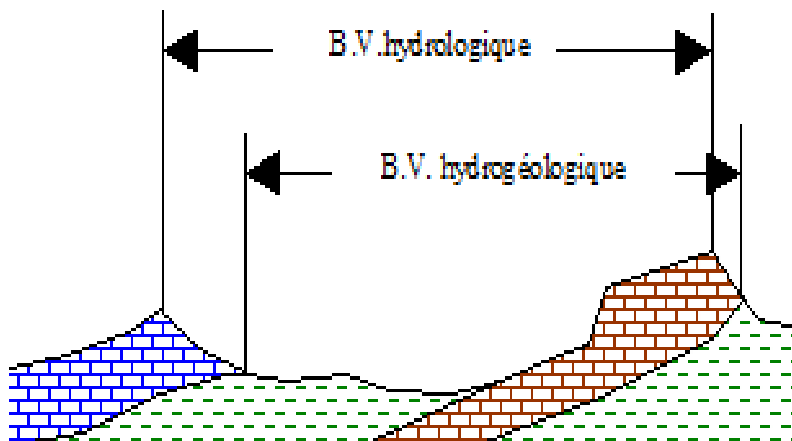
✓ **Bassin versant topographique :**

Si le **sous-sol est imperméable**, le cheminement de l'eau ne sera déterminé que par la topographie. Le bassin versant sera alors limité par des lignes de crêtes et des lignes de plus grande pente comme le montre la figure ci-jointe.



✓ **Bassin versant hydrogéologique :**

Dans le cas d'une région au sous-sol perméable, il se peut qu'une partie des eaux tombées à l'intérieur du bassin topographique s'infiltrer puis sorte souterrainement du bassin (ou qu'à l'inverse des eaux entrent souterrainement dans le bassin).



Les terrains géologiques qui forment le bassin sont en totalité ou en partie perméables. Une partie des eaux de précipitation peut s'infiltrer et alimenter souterrainement un autre bassin. De même dans le cas contraire un bassin versant peut recevoir des eaux souterrainement à travers la frontière avec un autre bassin sous forme de sources.

Dans ce cas la délimitation du bassin ne se base pas uniquement sur la topographie mais tient compte des limites réelles d'alimentation basées sur la nature géologique du terrain et le sens des écoulements souterrains.

Le bassin hydrologique est délimité par les lignes de crêtes topographiques isolant le bassin versant d'un cours d'eau et de ses affluents. Il correspond en surface au bassin hydrographique. Le bassin hydrogéologique correspond à la partie souterraine du bassin hydrologique

- Selon **le type de géométrie du réseau hydrographique**, on peut distinguer 3 types de bassins versants : Les trois types présentés dans la figure 1.7 sont des types simples d'organisation de réseaux hydrographiques. L'histoire géomorphologique et la structure géologique sont à l'origine de réseaux d'organisation plus complexe.

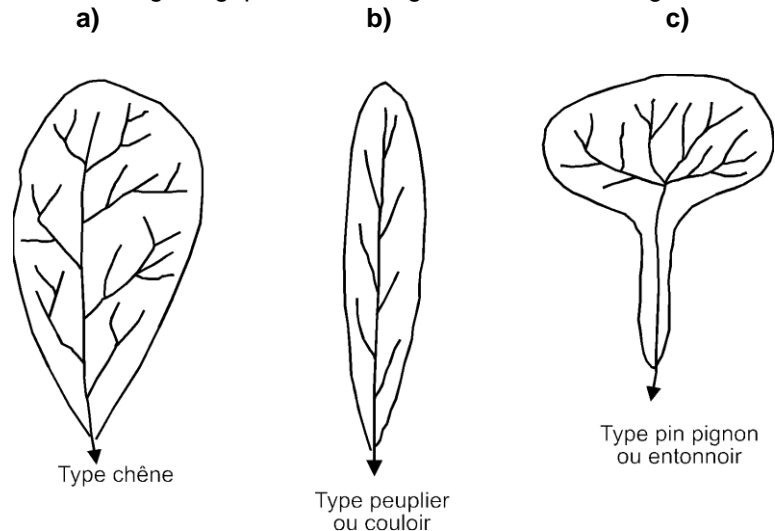


Fig. 4. Types de bassins versants.

IV. Le fonctionnement d'un bassin versant :

- **L'amont ou l'aval ?** **Amont** : vers la montagne / **Aval** : vers la vallée

Le bassin versant est constitué d'une rivière principale, qui prend sa source le plus souvent sur les hauteurs en amont, au niveau de ce qu'on appelle la « tête de bassin ». Cette rivière s'écoule dans le fond de la vallée pour rejoindre la mer ou se jeter dans un fleuve, en aval, à l'exutoire du bassin versant.

- **Un espace dynamique**

Sur son chemin, la rivière collecte l'eau provenant de tous les points du bassin versant : l'eau de ses affluents, l'eau de pluie, la fonte des glaciers, l'eau d'origine souterraine... L'eau de la rivière est donc chargée de toute l'histoire des pentes qu'elle a parcourues. En amont du bassin se produit principalement le phénomène d'érosion : la pente étant plus forte, la force de l'eau emporte des petites particules de terre. Le terrain est ainsi peu à peu creusé par l'eau. En aval, dans les zones plus calmes, où la pente et le courant sont plus faibles, ces particules se déposent, les plus grosses en premier, puis les plus fines : c'est la sédimentation.

- **A chaque bassin ses caractéristiques propres**

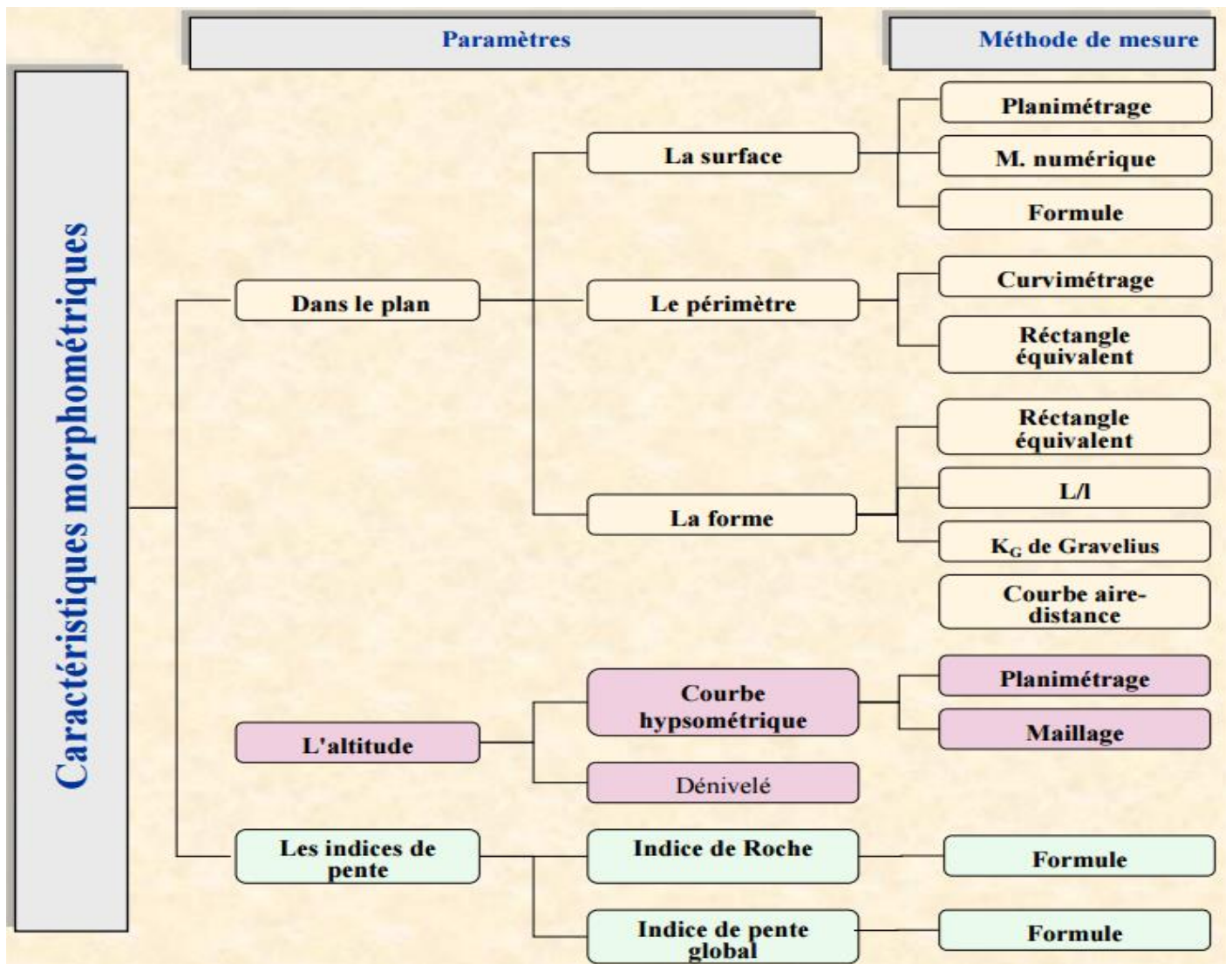
Chaque bassin versant est unique de par sa taille, sa forme, son orientation, la densité de son réseau hydrographique, le relief, la nature du sol, l'occupation du sol (cultures, haies, forêts, plans d'eau...), son climat..., mais également l'urbanisation et les activités humaines.

On retrouve à l'intérieur d'un bassin versant des caractéristiques qui lui sont propres, soit : Hydrographie et hydrologie, géomorphologie et reliefs, pédologie et géologie, utilisation et couverture des sols, écologie, etc.

V. Caractéristiques morphologiques d'un bassin versant :

1. Caractéristiques morphométriques d'un bassin versant:

La détermination des caractéristiques morphométriques (physiographiques), est nécessaire pour déterminer et analyser le comportement hydrologique d'un bassin versant (lame d'eau précipité, débit de la rivière, bilan. etc.).



➤ 1.1. Disposition dans le plan (Caractéristiques géométriques) :

A- La surface :

La surface constitue l'aire de réception des précipitations qui alimentent un cours d'eau par écoulement. Le débit du cours d'eau à l'exutoire dépend donc en partie de la surface. La surface peut être mesurée en km^2 par l'utilisation d'un planimètre en superposant la surface à une grille dessinée sur papier transparent, par des méthodes numériques ou par l'intermédiaire de formules.

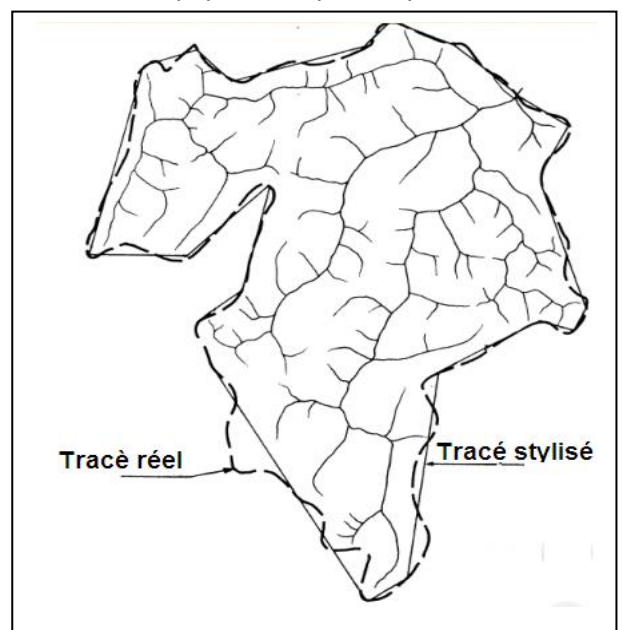
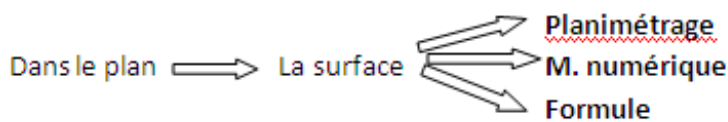
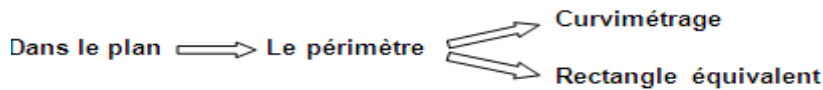


Fig. 5. Stylisation du tracé du périmètre

B- Le périmètre et rectangle équivalent :

- Le **périmètre** est la longueur, généralement exprimée en km, de la ligne de contour du bassin; sa mesure est faite à l'aide d'un curvimètre. Pour certaines applications on trace le *périmètre stylisé* du bassin en *lissant* son contour.



- **Rectangle équivalent :**

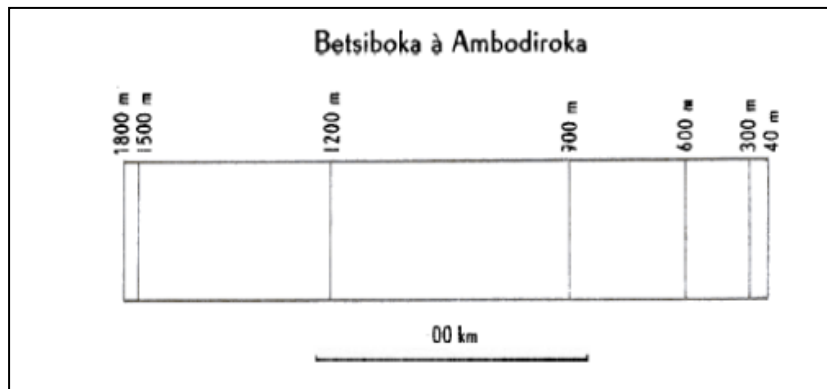
Cette notion a été introduite pour pouvoir *comparer des bassins entre eux* du point de vue de l'influence de leurs caractéristiques géométriques sur l'écoulement.

Le rectangle équivalent : Est le rectangle de longueur L et de largeur I qui a la même surface et le même périmètre que le bassin versant :

$$P = 2(L + I) \text{ et } A = L \times I ;$$

- P : Périmètre du bassin versant (km),
- L : Longueur du rectangle équivalent (km),
- I : Largeur du rectangle équivalent (km),
- A : Surface du bassin versant (km²).

Le bassin versant rectangulaire résulte d'une transformation géométrique du bassin réel dans laquelle on conserve la même superficie, le même périmètre (ou le même **coefficient de compacité**) et donc par conséquent la même répartition hypsométrique. Les courbes de niveau deviennent des droites parallèles au petit côté du rectangle. La climatologie, la répartition des sols, la couverture végétale et la densité de drainage restent inchangées entre les courbes de niveau.



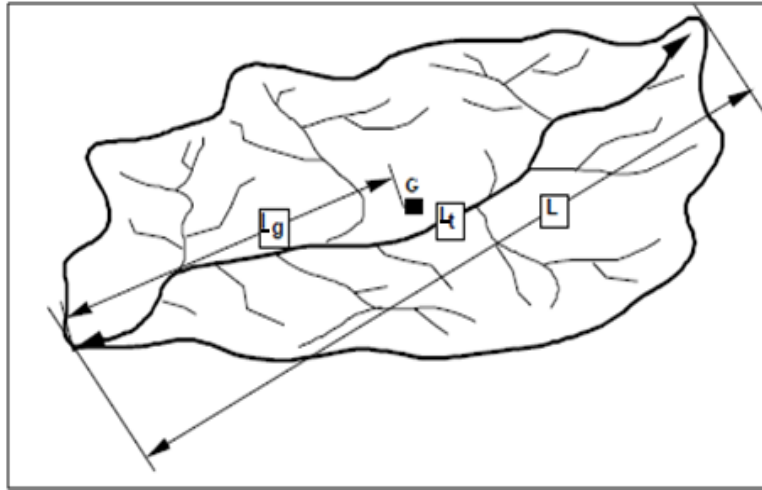
**Rectangle
équivalent**

$$P = \frac{K_G \sqrt{A}}{0.28} = 2(L + I) \implies \begin{cases} L = \frac{K_G \sqrt{A}}{1.12} \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{K_G}\right)^2} \right] \\ I = \frac{K_G \sqrt{A}}{1.12} \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{K_G}\right)^2} \right] \end{cases}$$

- L : Longueur du rectangle équivalent (km),
- I : Largeur du rectangle équivalent (km),
- A : Surface du bassin versant (km²).
- K_G : L'indice (Coefficient) de compacité de Gravélius.

A la suite de ces remarques critiques sur l'utilisation du périmètre comme critère de longueur, il a fallu définir d'autres caractéristiques et en particulier :

- **La longueur du plus long thalweg (L_t) :** Cette caractéristique n'amène guère de remarques si ce n'est que dans la plupart des cas, on admet qu'il faut poursuivre le thalweg indiqué sur les cartes topographiques, vers l'amont jusqu'à la limite du bassin. De même, si le cours aval présente des méandres, on curvimètre en général tous les méandres.



- **La distance de l'exutoire au centre de gravité du bassin (Lg)** : Ceci paraît être une bonne caractéristique de longueur mais elle nécessite l'évaluation de la position du centre de gravité du bassin ;
- **La plus grande longueur entre deux points de la frontière (L)** : On utilise cette caractéristique surtout en association avec la "plus grande largeur" (l) perpendiculaire à la plus grande longueur.

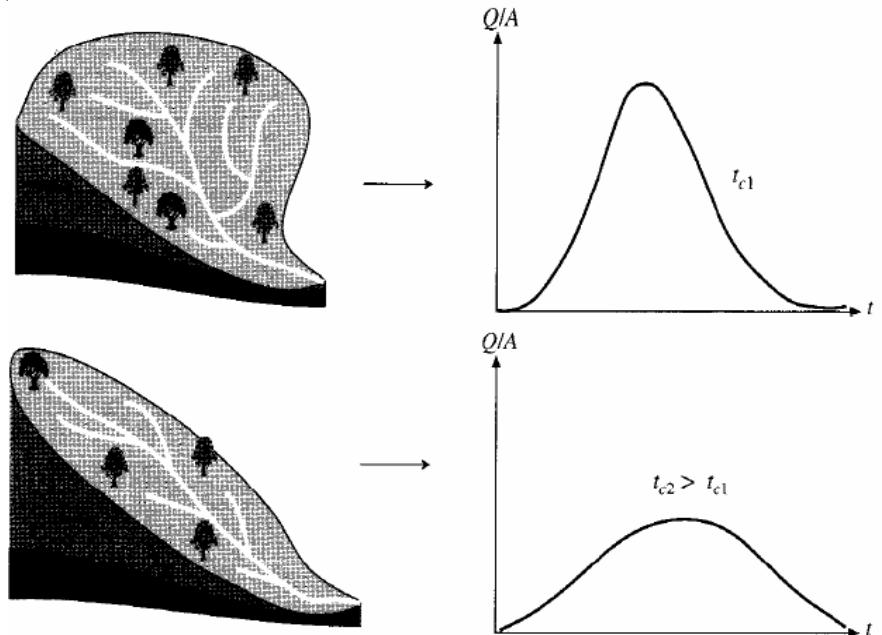
C- La forme :

Dans le plan \implies La forme \implies Coefficient K_G de Gravelius

Sachant que le **Coefficient K_G de Gravelius = Coefficient de compacité**

La forme d'un bassin versant influence l'allure de l'hydrogramme à l'exutoire du bassin versant. Par exemple, une forme allongée favorise, pour une même pluie, les faibles débits de pointe de crue, ceci en raison des temps d'acheminement de l'eau à l'exutoire plus importants.

Fig. 6. Effet de la forme du BV sur les écoulements (Musy, 2005)



La forme du bassin versant a une grande influence sur l'écoulement global et surtout sur l'allure de l'hydrogramme résultant d'une pluie donnée, cette caractéristique est donnée par l'indice de Gravelius qui a proposé en 1914 le coefficient de compacité ("compactness coefficient") défini comme le rapport du périmètre du bassin à celui d'un cercle de même surface.

L'indice admis par les hydrologues pour caractériser la forme d'un bassin versant est l'indice de compacité de GRAVELIUS qui est le rapport du périmètre du bassin à celui d'un cercle de même surface.

$$K_G = \frac{P}{2 \cdot \sqrt{\pi \cdot A}} \approx 0.28 \cdot \frac{P}{\sqrt{A}}$$

KG : L'indice de compacité de Gravelius,
A : Surface du bassin versant [km²],
P : Périmètre du bassin [km].

1.5 < KG < 1.8 : Bassin de forme allongée.
 1.0 < KG < 1.15 : Bassin de forme ramassée.

Le coefficient KG de Gravelius est supérieur à 1 lorsque la forme du bassin est allongée, et proche de 1 pour un bassin versant de forme circulaire.

Cet indice se détermine à partir d'une carte topographique en mesurant le périmètre du bassin versant et sa surface.

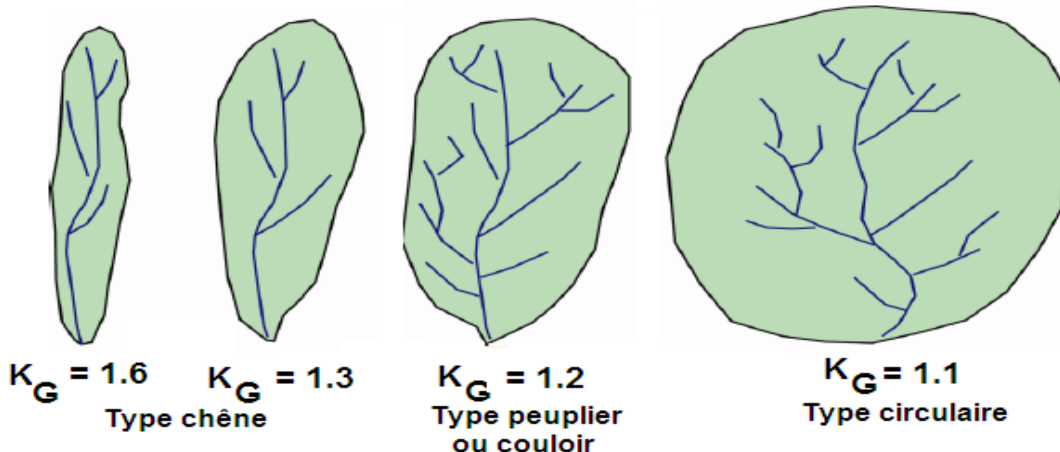


Fig. 7. Indice de Gravelius et caractérisation de la forme des bassins versants (Musy, 2005)

➤ **1.2. L'altitude (Relief = Caractéristiques topographiques):**

- Le relief d'un bassin est souvent **caractérisé par la courbe de sa répartition hypsométrique.**
- La plupart des **facteurs météorologiques et hydrologiques sont fonction de l'altitude.** La **courbe hypsométrique traduit la répartition des altitudes à l'intérieur du bassin versant** et permet, en outre, de déterminer les altitudes caractéristiques.

L'altitude est décrite par la courbe hypsométrique qui représente la surface en km² (ou le pourcentage de la surface) en fonction des altitudes supérieures à une côte Z donnée.

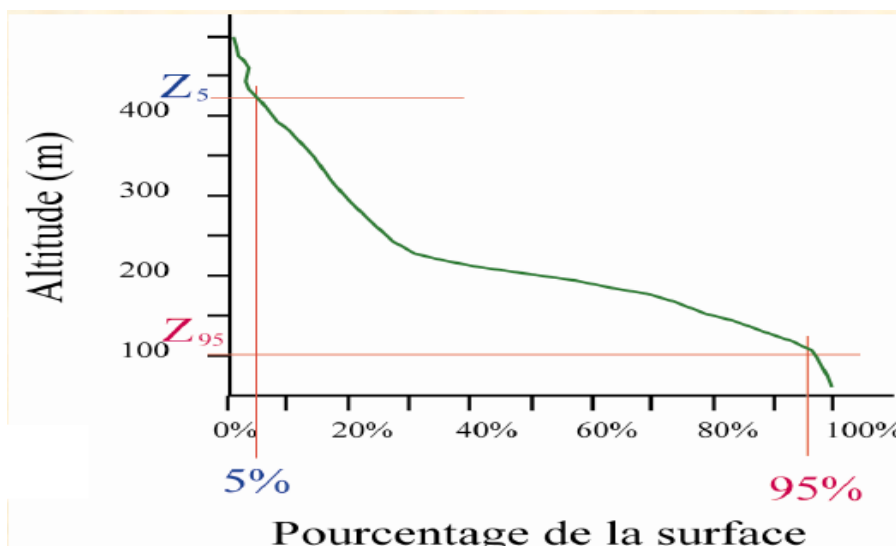


Fig. 8. Courbe hypsométrique (Laborde, 2000)

La **courbe hypsométrique** fournit une vue synthétique de la pente du bassin, donc du relief. Cette courbe **représente la répartition de la surface du bassin versant en fonction de son altitude.**

Exemple :

Elle est tracée sur la figure Fig. 8. Et Fig. 9. En reportant en ordonnée l'altitude Y, et, en abscisse le pourcentage de la surface du bassin dont l'altitude est à supérieure ou égale à Y, rapportée à la surface totale du bassin.

La répartition hypsométrique est donnée par le pourcentage de la surface comprise entre les différentes courbes de niveau à la surface totale (tab.).

Tableau : Exemple de courbe hypsométrique

Elévation courbe de niveau (m)	Superficie entre les courbes (m ²)	Pourcentage du total	Pourcentage au-dessus de la limite inférieure % Cumulatif
170 - 300	500	2,4	100,0
300 - 400	1700	8,2	97,6
400 - 500	1900	9,2	89,4
500 - 600	2400	11,6	80,2
600 - 700	3000	14,5	68,6
700 - 800	2970	14,3	54,1
800 - 900	2270	11,0	39,8
900 - 1000	2180	10,5	28,8
1000 - 1100	1500	7,2	18,3
1100 - 1200	640	3,1	11,1
1200 - 1300	610	3,0	8,0
1300 - 1400	410	2,0	5,0
- 1800	620	3,0	3,0

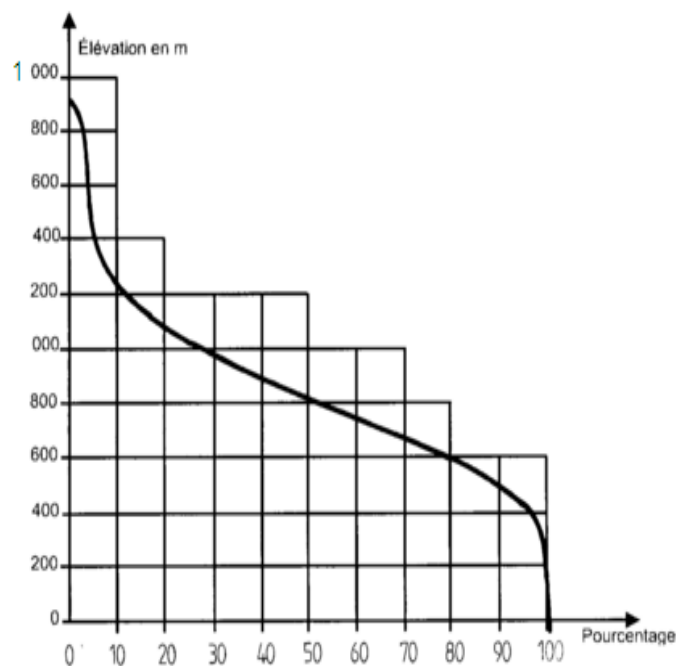


Fig.9. Courbe hypsométrique.

La plupart des facteurs météorologiques et hydrologiques sont fonction de l'altitude, il est intéressant d'étudier l'hypsométrie du bassin versant par tranche d'altitude :

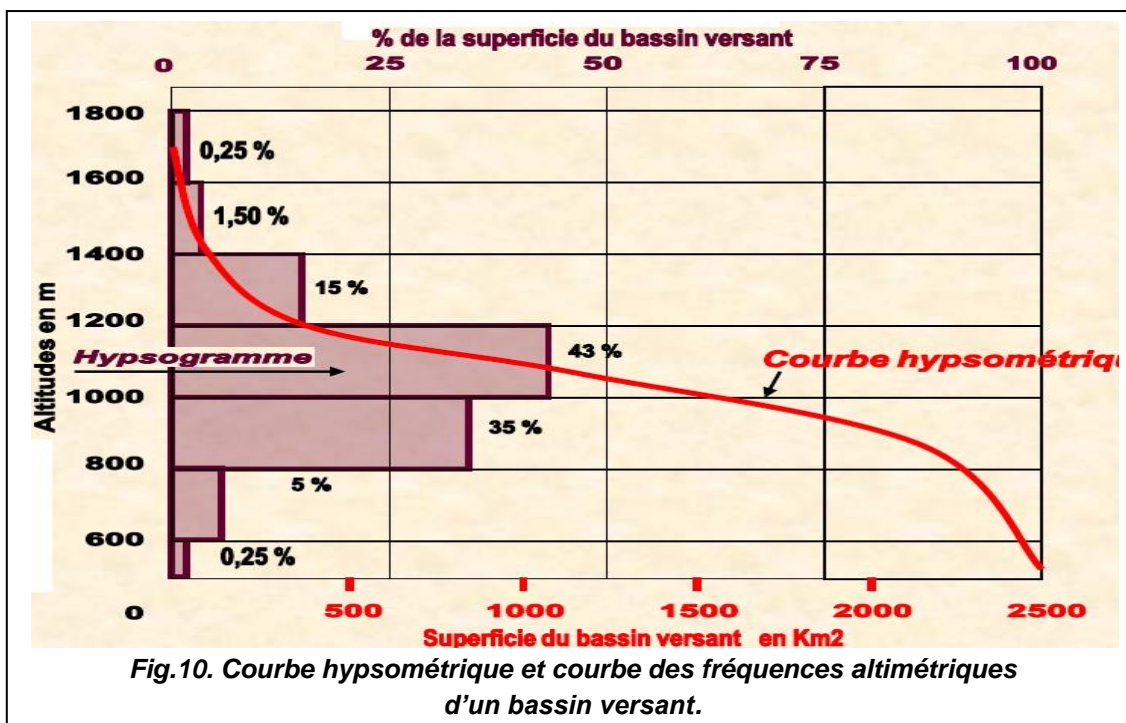


Fig.10. Courbe hypsométrique et courbe des fréquences altimétriques d'un bassin versant.

❖ **Courbe hypsométrique et altitude caractéristiques:**

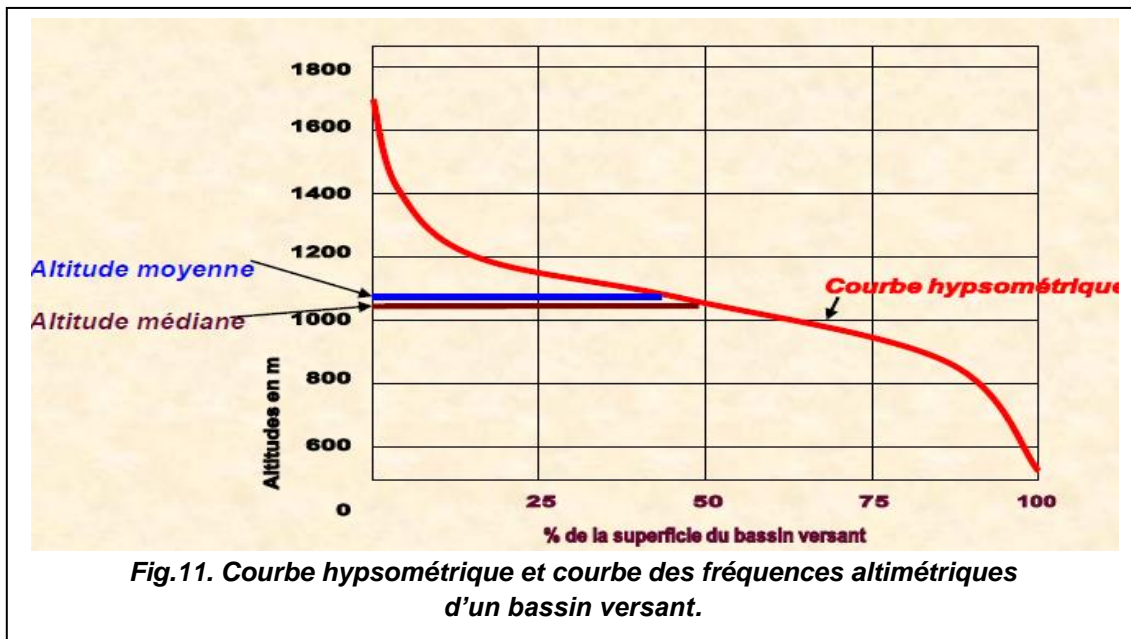


Fig.11. Courbe hypsométrique et courbe des fréquences altimétriques d'un bassin versant.

En ce basant sur les données hypsométriques nous pourrons calculer l'altitude moyenne du bassin versant (H_{moy}):

Altitude Moyenne (H_{moy}):

$$H_{moy} = \frac{1}{A} \sum_{i=1}^n \left[S_i \frac{h_i + h_{i+1}}{2} \right]$$

$$H_{moy} = \frac{\sum_{i=1}^n h_i \cdot S_i}{A}$$

H_{moy} : Altitude moyenne du bassin versant en (m).

A : Surface totale du bassin versant en (Km²).

S_i : La surface comprise entre deux courbes de niveau en (Km²).

h_i, h_{i+1} : Altitudes haut et bas qui délimite la surface S_i en (m).

Altitude médiane : Correspond au point d'abscisse 50 % sur la courbe hypsométrique.

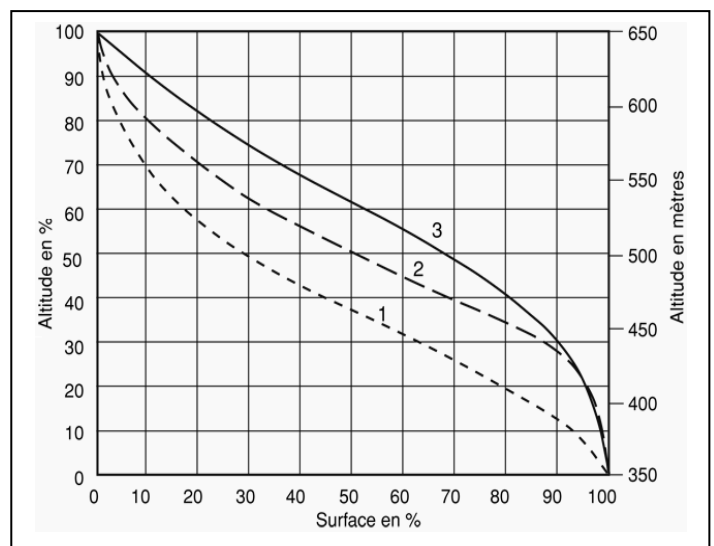
L'altitude maximale et minimale du bassin :

Altitude la plus fréquente : C'est l'altitude correspondante au maximum (minimum) de superficie sur la courbe hypsométrique.

❖ **Courbe hypsométrique : Interprétation**

Des recherches récentes ont montré l'aspect général des courbes selon l'état d'érosion du bassin versant :

- **Bassin jeune :** Superficie faible par rapport au changement d'altitude initiale, ce qui est caractéristique des bassins abrupts.
- **Vieux bassin :** Plaine douce près d'un cours d'eau où l'altitude varie très peu malgré une superficie importante.
- **Bassin « mature » :** Intermédiaire.



❖ **Le dénivelé, ou la dénivelée,** est la différence d'altitudes entre deux points de la surface terrestre, dans la plupart des cas relativement proches.

$$D = Z_{a\%} - Z_{b\%}$$

D: Dénivelé c'est la différence entre $Z_{a\%}$ et $Z_{b\%}$.

$Z_{a\%}$: Altitude élevée supérieur à une hauteur donnée qui représente $a\%$ (Z_5) de la surface du bassin.

$Z_{b\%}$: Altitude basse supérieur à une hauteur donnée qui représente $b\%$ (Z_{95}) de la surface du bassin.

➤ **1.3. Les indices de pente (Caractéristiques topographiques):**

Les **indices de pentes** permettent, comme pour certaines caractéristiques géométriques, de comparer les bassins versants entre eux. On peut distinguer 4 types de pentes:

- La pente orographique;
- La pente topographique;
- La pente hydrographique;
- La pente stratigraphique.

○ **Pente orographique** : caractérise le relief. Elle favorise l'élévation des masses d'air en mouvement au dessus des reliefs et provoque la condensation de l'humidité qu'elles contiennent.

○ **Pente topographique** : C'est la pente qui influence l'écoulement superficiel des eaux: ruissellement de surface et écoulement hypodermique. Elle accélère le ruissellement sur les versants et détermine en partie le temps de réponse du cours d'eau aux impulsions pluviométriques.

○ **Pente hydrographique** : Ou profil en long du cours d'eau, peut-être déterminée sur la carte ou mesurée sur le terrain par un nivellement de précision. Cette pente exprimée généralement en m/km conditionne :

- La vitesse de l'eau dans le chenal;
- La vitesse de l'onde de crue;
- Le tirant d'eau de la rivière: pour un même débit et une même largeur une rivière plus pentue a une vitesse d'écoulement plus grande et donc, généralement, une profondeur plus faible.

La pente hydrographique varie plus ou moins irrégulièrement pour un même cours d'eau selon les structures géologiques traversées et diminue en général d'amont en aval (forme concave des profils en long) .

○ **Pente stratigraphique** : C'est la pente qui influence l'écoulement superficiel des eaux: ruissellement de: Elle contrôle le chemin des eaux infiltrées qui alimentent les aquifères. Elle détermine la direction de l'écoulement des eaux souterraines.

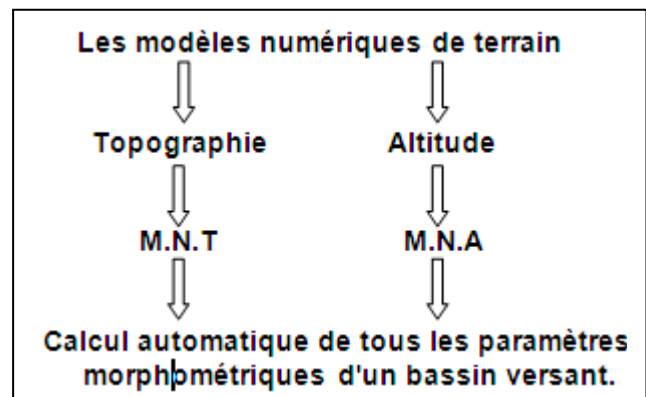
Indice de pente global, I_g : $I_g = \frac{D}{L}$; *D : Dénivelée $Z_a\% - Z_b\%$ définie sur la courbe hypsométrique entre 5% et 95% ou à l'oeil sur la carte topographique.*
L : Longueur du rectangle équivalent.

Relief très faible	$I_g < 0.002$
Relief faible	$0.002 < I_g < 0.005$
Relief assez faible	$0.005 < I_g < 0.01$
Relief modéré	$0.01 < I_g < 0.02$
Relief assez fort	$0.02 < I_g < 0.05$
Relief fort	$0.05 < I_g < 0.1$
Relief très fort	$0.1 < I_{gl}$

1.4. Modèles numériques de terrain :

Il existe actuellement un ensemble de programmes informatiques qui permettent de développer des modèles numériques de terrain. Les **modèles numériques de terrain** traitent la topographie c'est le **M.N.T.** (au sens strict) et traitent également les altitudes aux nœuds d'un maillage régulier couvrant une région donnée c'est le **M.N.A. (modèle numérique d'altitude)**.

Ces modèles permettent de calculer automatiquement tous les paramètres morphométriques d'un bassin versant.



2. Caractéristiques du réseau hydrographique:

Le réseau hydrographique est l'ensemble des cours d'eau naturels ou artificiels, permanents ou temporaires qui drainent les eaux d'un bassin versant vers l'exutoire.

La description d'un réseau hydrographique nécessite la détermination de plusieurs paramètres.

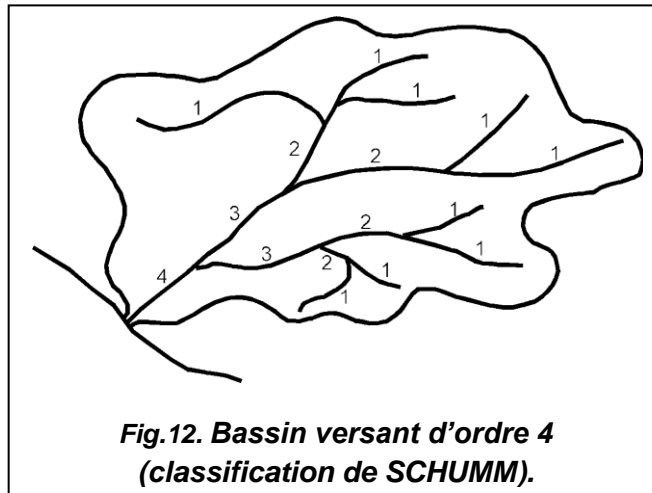
Un réseau hydrographique est donc l'ensemble des cours d'eau, affluents et sous-affluents d'une rivière ou d'un même fleuve. A l'état naturel tous les réseaux sont hiérarchisés, de nombreux auteurs ont proposé des classifications de ces réseaux.

➤ **2.1. Classification de HORTON :**

Tout cours d'eau sans affluent est d'ordre 1, tout cours d'eau ayant un affluent d'ordre x est d'ordre $x + 1$, et garde cet ordre sur toute sa longueur. A la confluence de deux talwegs d'importance égale, on donne l'ordre supérieur au plus long.

➤ **2.2. Classification de SCHUMM :**

Est d'ordre $x + 1$ tout tronçon de rivière formé par la réunion de deux cours d'eau d'ordre x .



➤ **2.3. Rapport de confluence:**

Le rapport de confluence R_C est égal au quotient du nombre de talwegs d'ordre x par celui des talwegs d'ordre supérieur ($x + 1$).

Les réseaux hydrographiques sont toujours dendritiques, c'est-à-dire ramifiés comme les branches d'un arbre.

Certains auteurs distinguent 3 principaux types de réseaux:

- *Chêne*: la ramification est bien développée avec un espacement régulier des confluences. Le rapport R_C est inférieur à 5 (exemple Amazone);
- *Peuplier*: le bassin versant nettement plus long que large, présente de nombreux affluents parallèles et un rapport de confluence élevé, R_C supérieur à 10;
- *Pin*: le bassin se caractérise par une concentration des confluences dans le secteur amont d'où sort un tronç qui ne reçoit plus d'affluents importants. Le rapport R_C est faible (exemple le Nil).

Cette organisation est très importante pour la formation des crues du cours d'eau principal. Selon le type de géométrie du réseau, les crues des différents affluents confluent plus ou moins rapidement dans l'espace et dans le temps. Elles se superposent plus ou moins les unes sur les autres, ou au contraire se succèdent les unes après les autres. Les risques de superposition croissent du type peuplier au type pin parasol. Ceci est vrai pour les bassins qui sont globalement affectés par un événement pluvieux

Les trois types présentés sont des types simples d'organisation de réseaux hydrographiques. L'histoire géomorphologique et la structure géologique sont à l'origine de réseaux d'organisation plus complexe.

➤ **2.3. La densité de drainage:**

C'est le quotient de la somme des longueurs de tous les cours d'eau $\sum L$ à la superficie du bassin drainé:

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

La détermination de la densité de drainage suppose d'adopter certaines conventions quant à la définition des chenaux de drainage:

- talwegs nettement marqués et empruntés par des écoulements temporaires sur les rivières non pérennes;
- ou ruisseaux toujours en eau des grands bassins versants.

➤ **2.4. Endoréisme:**

Il s'agit d'une forme spéciale du bassin versant dans laquelle l'eau est concentrée en un point du bassin lui-même, soit sous forme de lac ou de mare, soit par accumulation souterraine.

On peut distinguer deux types d'endoréisme:

- *l'endoréisme de ruissellement*: les apports des différents éléments du réseau se concentrent à la limite du bassin, s'infiltrent et peuvent cheminer encore longtemps dans le sol pour éventuellement se mêler aux nappes provenant d'autres bassins;
- *l'endoréisme total*: les apports se concentrent en un point situé à l'intérieur du bassin ou quelquefois à sa périphérie; ils forment en général un lac ou une mare permanente ou temporaire, sans infiltration notable vers l'extérieur du bassin. Dans ce cas, tous les apports sont consommés sur place par évapotranspiration.

L'endoréisme peut être plus ou moins généralisé: bassins de quelques kilomètres carrés ou de plusieurs milliers de kilomètres carrés. Il est rare que dans ce dernier cas l'endoréisme soit total. Le bassin du lac Tchad peut cependant être considéré comme totalement endoréique, mais quand on atteint de telles superficies de drainage, la notion d'endoréisme est toute relative: le lac Tchad joue en fait le rôle d'une mer intérieure. Signalons enfin, que l'endoréisme est généralement caractéristique des zones arides et souvent présent dans les régions karstiques.

➤ 2.5. Le terrain:

Le terrain est au contact terre/atmosphère; on peut donc le schématiser par trois types de matériaux:

- Le sol qui fixe et nourrit les plantes;
- Le manteau de dépôts superficiels plus ou moins épais (altérites, colluvions, alluvions...);
- Le substratum ou roche en place, structure géologique supérieure du bassin versant.

Ce dernier est toujours présent, alors que le sol et le manteau peuvent ne pas exister.

L'hydrologue s'intéresse à ces trois types de matériaux dans leur rapport avec le déroulement du cycle de l'eau. Nous ne traiterons pas du substratum, traité en hydrogéologie.

Le sol et le manteau exercent vis à vis de l'eau deux rôles principaux:

- Un rôle de stockage => porosité;
- Un rôle de transfert => perméabilité.

✓ 2.5.1. Les sols :

Le sol agit de différentes manières sur le régime d'une rivière. Sa nature et surtout sa couleur interviennent dans le bilan thermique. Par son influence sur le développement et la nature de la végétation, il agit indirectement sur l'évapotranspiration. Ce sont surtout les propriétés mécaniques du sol qui intéressent les hydrologues.

Un sol peut-être compact (roche) et est généralement imperméable, sauf en cas de fissures, diaclases etc. Il peut être meuble, et il est alors nécessaire de l'analyser pour connaître en particulier les proportions d'éléments plus ou moins fins ou grossiers qui le composent. En effet, la dimension des particules constituant le matériau est le facteur déterminant des phénomènes d'infiltration.

En schématisant on dira que plus les particules seront d'une taille importante, plus le terrain sera perméable, c'est-à-dire favorable à l'infiltration. On adopte généralement la classification suivante:

Diamètre des particules:

- Gravier > 2 mm;
- Sable grossier 2 à 0,2 mm;
- Sable fin 0,2 à 0,02 mm;
- Limon 0,02 à 0,002 mm;
- Argile < 0,002 mm.

Ceci nous amène à définir quelques termes couramment utilisés :

Perméabilité: propriété d'un milieu solide poreux de se laisser traverser par l'eau.

Infiltration: passage d'un fluide de l'extérieur vers l'intérieur d'un milieu poreux. Pour qu'il y ait infiltration, il ne suffit pas que le milieu soit perméable, il faut que la surface qui le sépare de l'extérieur le soit aussi. En Hydrologie, cette remarque est très importante compte tenu du rôle joué par l'état de la surface du sol dans le processus du ruissellement.

Absorption: en hydrologie, processus général de rétention de l'eau précipitée sur un bassin versant, lorsque cette eau est définitivement soustraite au ruissellement. Elle comprend entre autres *l'infiltration*. Le sol par le biais de sa capacité de rétention capillaire et de sa perméabilité joue un rôle de filtre entre l'atmosphère et le sous-sol. Il va partager les quantités d'eau précipitées entre ruissellement, stockage, et infiltration. Le sol se recharge par la pluie et se vidange par ressuyage et par évapotranspiration.

Enfin, le sol et le manteau sont soumis aux aléas météorologiques saisonniers:

- | | |
|---------------|---|
| => gel | => imperméabilisation du bassin versant |
| | => immobilisation de l'eau |
| => dégel | => destockage des eaux gelées |
| => sécheresse | => dessiccation du sol |
| | => dans certains cas déshydratation et contraction des argiles (fentes de retrait des vertisols). |

✓ 2.5.1. La couverture végétale :

La couverture végétale d'un bassin versant joue un rôle primordial dans le déroulement du cycle de l'eau, souvent complexe et contradictoire.

La notion fondamentale est ici celle de *couverture*, plus ou moins continue, plus ou moins épaisse, plus ou moins *efficace* hydrologiquement.

La couverture végétale agit sur le cycle de l'eau par:

- Sa biomasse aérienne qui:
- Intercepte une plus ou moins grande partie des précipitations, et toute pluie faible en général;
- Capte plus ou moins brouillard et rosée;
- Protège plus ou moins efficacement le sol contre l'insolation donc l'évaporation et contre l'érosion pluviale;
- Sa biomasse souterraine qui:
- Pénètre la rhizosphère et structure celle-ci;
- Pompe l'eau du sol et des nappes qu'elle peut atteindre;
- Sa vie propre qui commande sa transpiration, proportionnelle à la biomasse totale;
- Ses propres déchets enfin, par la litière produite, devenant humus et matière organique. Une abondante litière annuelle ameublir les sols lourds, donne du corps aux sols trop légers, parce qu'elle accroît leur teneur en matière organique et avec elle, leur capacité de rétention capillaire et leur macro-porosité.

Mais cette action se différencie selon les formations et les associations végétales et selon l'intervention des agriculteurs. L'hydrologie des pays forestiers diffère de celle des pays de prairie, et plus encore des pays steppiques ou désertiques; et celle des bassins versants défrichés et cultivés diffère de celle des bassins versants naturels, toutes choses égales par ailleurs.

On peut distinguer cinq principaux types de couverture végétale:

- La forêt;
- La prairie;
- Les cultures;
- Les tourbières;
- La végétation désertique.

La carte de la couverture végétale du bassin versant constitue donc un document essentiel pour l'hydrologue. Celui-ci se montre soucieux moins des types de végétation distingués par les botanistes que:

- Des types de couvertures végétales;
- De l'efficacité de celles-ci face aux aléas météorologiques;
- De leur comportement hydrologique propre;
- De leur extension spatiale etc.

✓ 2.5.1.1. La Comportement hydrologique de la forêt :

La forêt est d'abord une *formation* végétale, généralement multi-strate (arbres, arbustes, arbrisseaux, herbe, mousse etc.) occupant une surface plus ou moins étendue de manière continue.

La forêt accroît les précipitations annuelles de 5 à 6% dans les pays tempérés océaniques:

- Par effet topographique en pays plat;
- Par effet thermique;
- Par effet d'écran sur les brouillards;
- Par sa masse même et sa puissance évaporatoire dans les grandes cuvettes forestières équatoriales.

La forêt diminue les précipitations réelles au sol :

- par interception d'une partie de la pluie, tranche de 1 à 5 mm qui se réévapore le jour même;
- par sublimation de la neige retenue sur le houppier des arbres;
- par rétention de la litière.

La forêt accroît les capacités d'emménagement des bassins versants:

- Par accroissement de la capacité de rétention du sol avec la litière devenant humus;
- Par diminution de l'évaporation au sol;
- Par une meilleure répartition de la couverture nivale au sol;
- Par réduction de la sublimation de la neige tombée au sol;
- Par une meilleure percolation des eaux gravifiques à travers les sols mieux aérés, rendus plus macroporeux par les conduits racinaires d'une rhizosphère généralement épaisse.

Finalement, les sols forestiers qui reçoivent moins de pluie et de neige que les sols découverts, reçoivent plus d'eau stockable que les espaces voisins découverts, mais la forêt accroît les pertes des bassins versants par sa transpiration, surtout si les racines atteignent la frange de capillarité de la nappe phréatique.

Il faut nuancer ces appréciations selon le type de forêt, mais dans l'ensemble on peut dire que:

- La forêt diminue la lame d'eau écoulée sous les climats pluviaux;
- La forêt accroît la lame d'eau écoulée sous les climats nivaux;
- Déboiser ou reboiser perturbe toujours la structure hydrologique initiale.

✓ 2.5.1.2. La Comportement hydrologique de la prairie :

Un tapis herbacé bien enraciné brise aussi l'énergie pluviale, bloque l'érosion ruisselante et l'empêche de devenir ravinant.

Lui aussi joue un rôle régulateur quoique moindre que celui de la forêt:

- Son ombre est moindre;
- Son horizon racinaire moins épais;
- Mais l'accumulation d'humus et de matière organique qu'il engendre accroît beaucoup la capacité de rétention du sol. Cette matière organique ne s'accumule pas sur le sol comme la litière forestière mais dans le sol, diffuse dans tout l'horizon racinaire parce que de nombreuses herbes sont des plantes annuelles dont les racines pourrissent dans le sol, et parce que la biomasse racinaire l'emporte sur la biomasse aérienne à la différence de la forêt.

✓ 2.5.1.3. La Comportement hydrologique des cultures:

Les cultures ont un rôle hydrologique certain, important, complexe et différencié en fonction :

- Du travail d'ameublissement du sol plus ou moins poussé, plus ou moins fréquent, plus ou moins profond;
- De la méthode de travail du sol: à la houe, par traction animale, avec un matériel lourd, en suivant les isohypses ou non;
- De la protection plus ou moins efficace des plantes cultivées maïs < blé < fourrage;
- Du stade végétatif de la plante au moment des fortes pluies;
- De la structure agraire:
- Méga-parcelle englobant tout un versant, voire plusieurs;
- Mini-parcelles morcelant un même versant avec rideaux.

✓ 2.5.1.4. La Comportement hydrologique des tourbières:

La tourbe, véritable formation éponge, peut contenir jusqu'à 80% de son volume en eau. Elle se comporte comme une éponge naturelle ou un spontex, gonflant en présence d'eau, en retenant une partie par capillarité, tandis que sa macro-porosité se sature avec la pluie et se vidange ensuite assez vite. Par là, les tourbières, plus manteau que couverture végétale par le comportement, écrètent les crues mais ne sauraient par elles-mêmes relever les étiages.

Elles jouent un rôle hydrologique important dans les pays froids et humides, elles y surélèvent les creux, tapissent les versants.

✓ 2.5.1.5. Déserts climatiques ou "déserts anthropiques" :

Dans les régions désertiques, seuls la localisation du substratum, la structure des sols et l'organisation des différents types de pentes déterminent la distribution de l'eau dans les divers compartiments :

- Les calcaires et autres roches compactes donnent des surfaces rocheuses structurales lavées à chaque rare pluie;
- Les sables donnent des dunes et des ergs modelés par le vent et absorbant toute pluie: ici s'observe l'aréisme absolu; (privé d'écoulement régulier);
- Les argiles et marnes sont ravinées en bad-lands, ou nivelées en glacis.