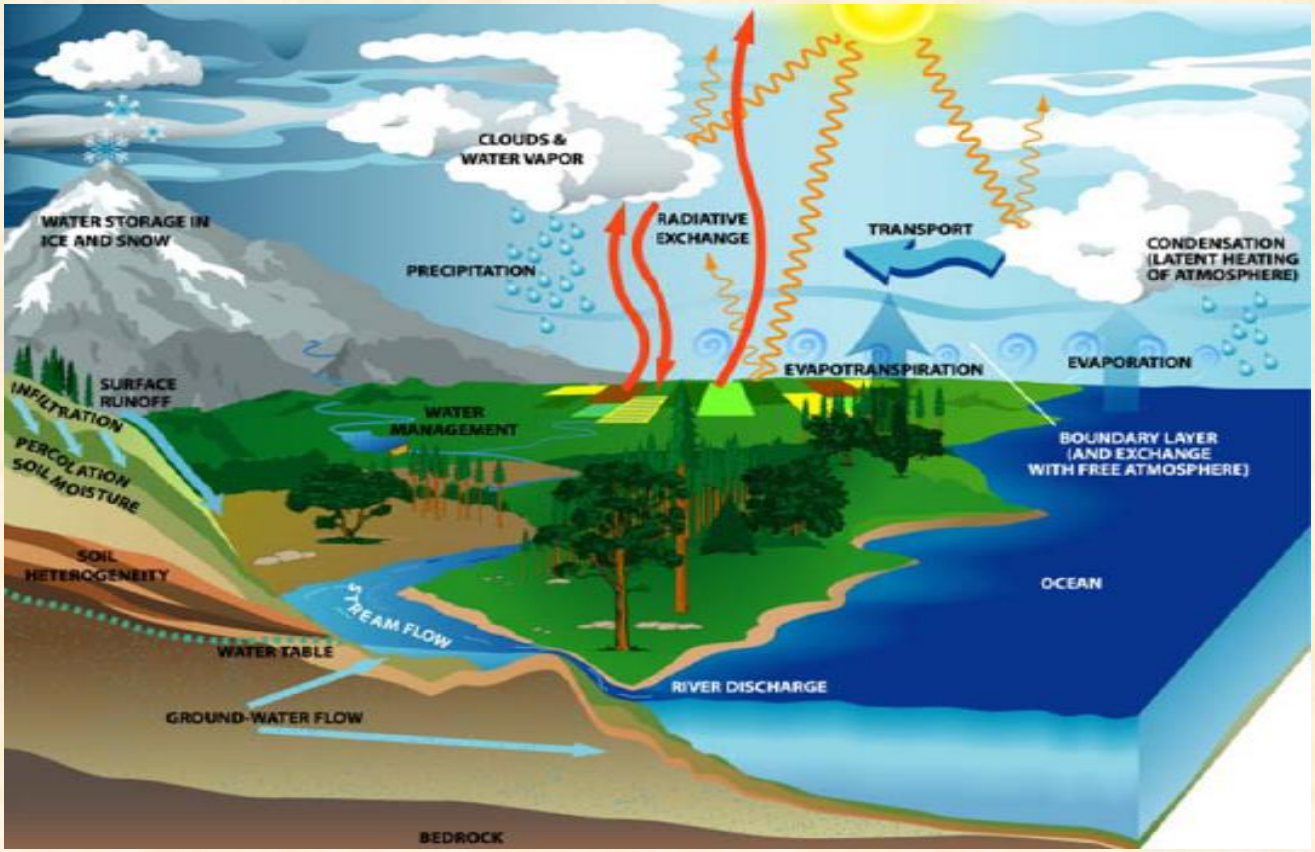
INSTITUT AGRONOMIQUE ET VETERINAIRE HASSAN II - RABAT

COURS D'HYDROLOGIE



Chapitre II :
Bassin versant

- 1. Définition
- 2. Comment délimiter un bassin versant ?
- 3. Caractéristiques morphométriques d'un bassin versant
- 4. Caractéristiques du réseau hydrographique
- 5. Caractéristiques agro-pédo-géologiques

Un bassin versant c'est

une **surface** parcourue par un **cours d'eau** et ses affluents

topographie

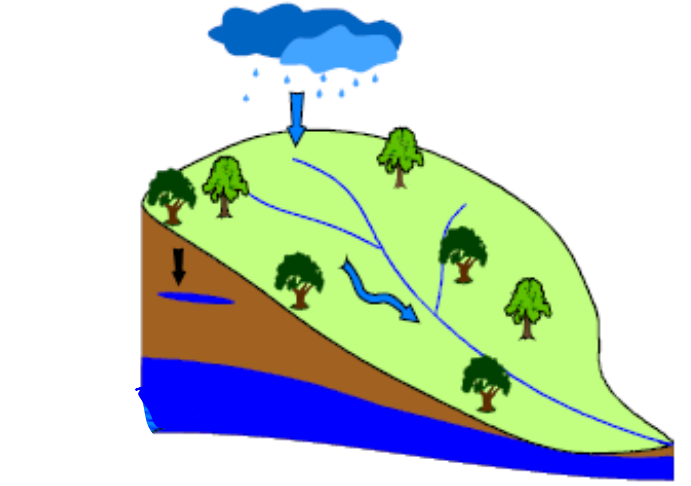
zone à reliefs à la source

convergence vers la section la plus basse

exutoire

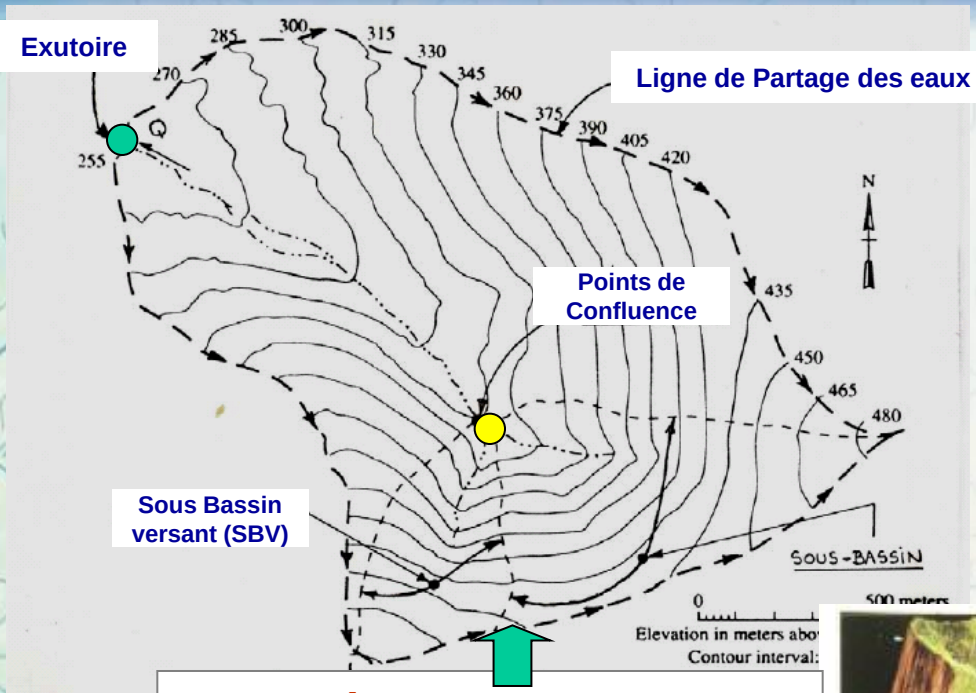
Un bassin versant

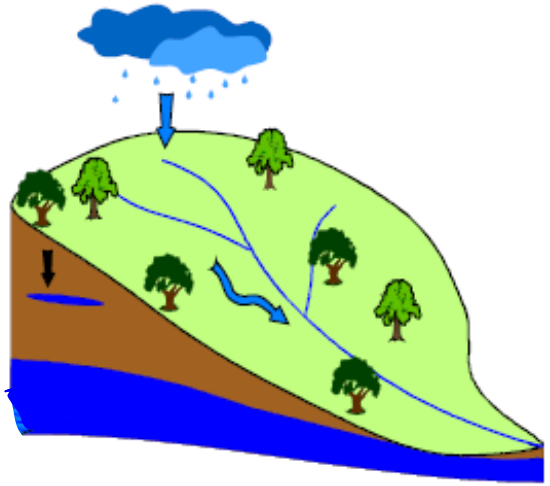
Le bassin versant est l'unité de base pour la détermination du bilan hydrologique, Il est défini comme la surface parcourue par un cours d'eau et ses affluents. Un cours d'eau prend généralement naissance dans une zone à reliefs et draine la surface topographique. Les écoulements convergent vers la section la plus basse du cours d'eau appelée exutoire.



Circulations souterraines drainant des eaux du bassin topographique hors de ce dernier

Bassin Versant (BV):





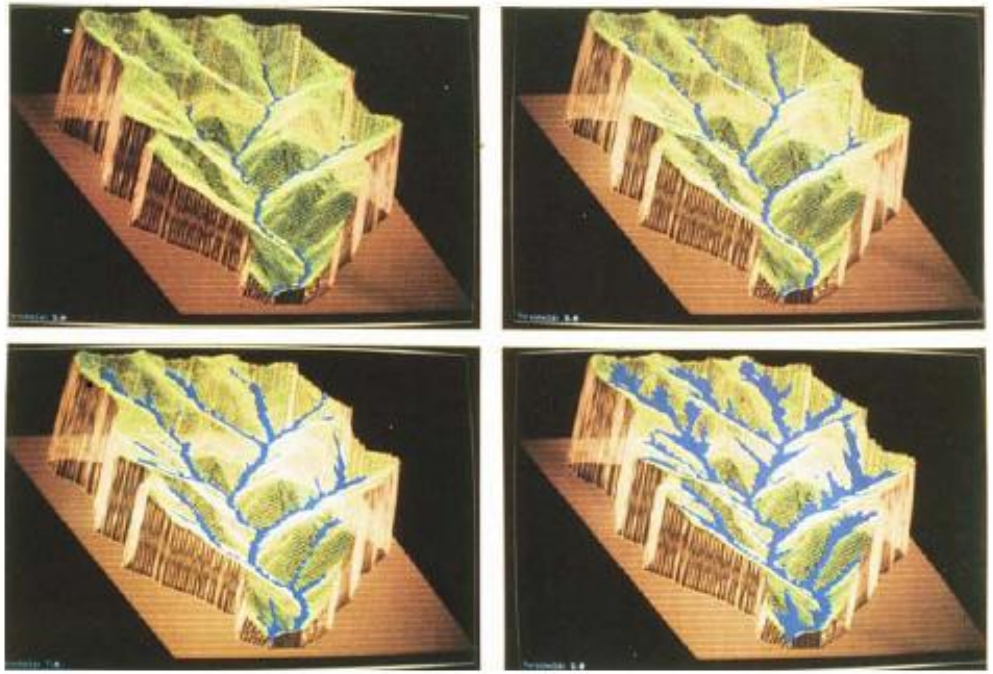
Présentations 3D d'un BV.

Présentation 2D & Méthodologie de délimitation de BV

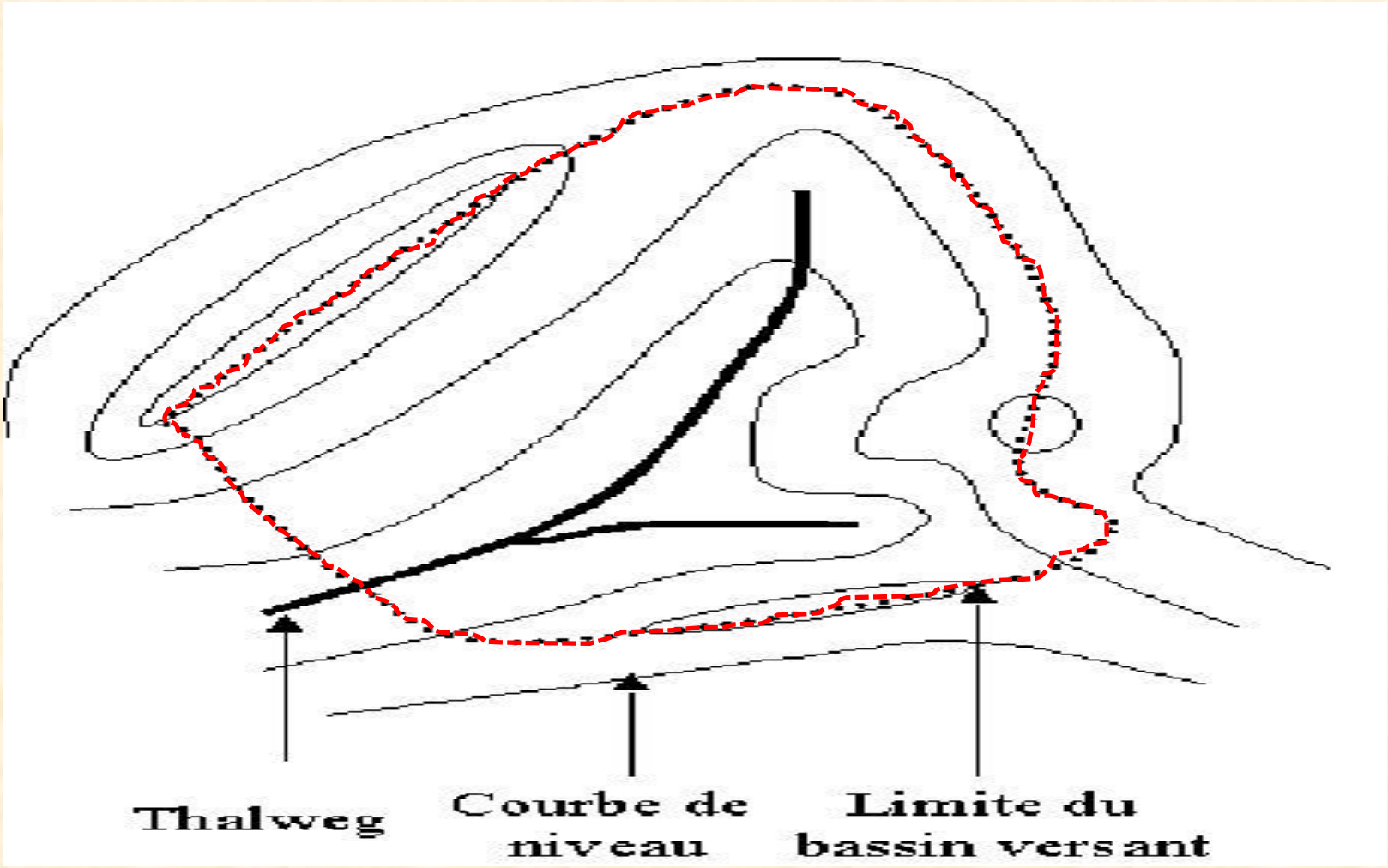
Réaction de BV au précipitation

Génération du Ruissellement (Ang.Runoff)

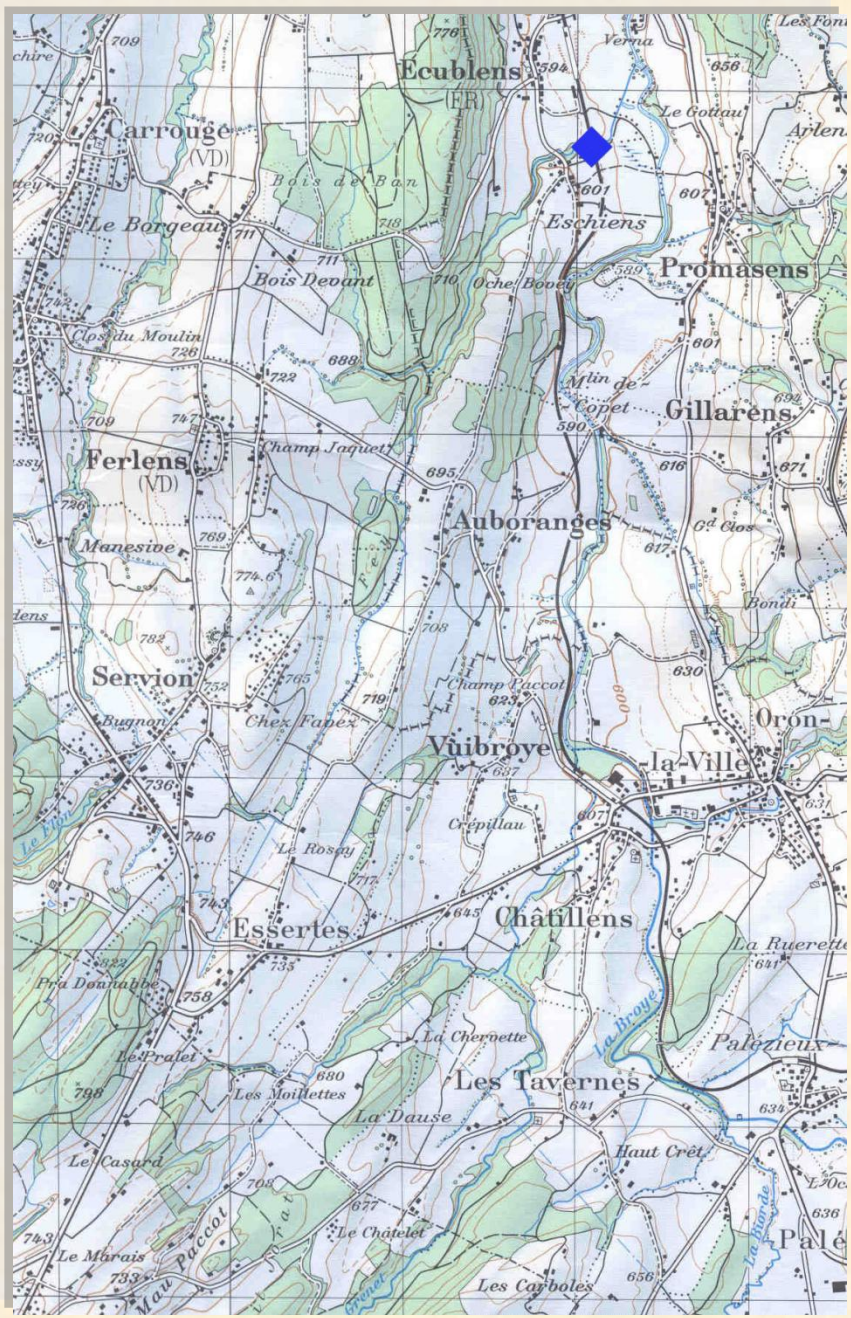
Comprendre le Processus

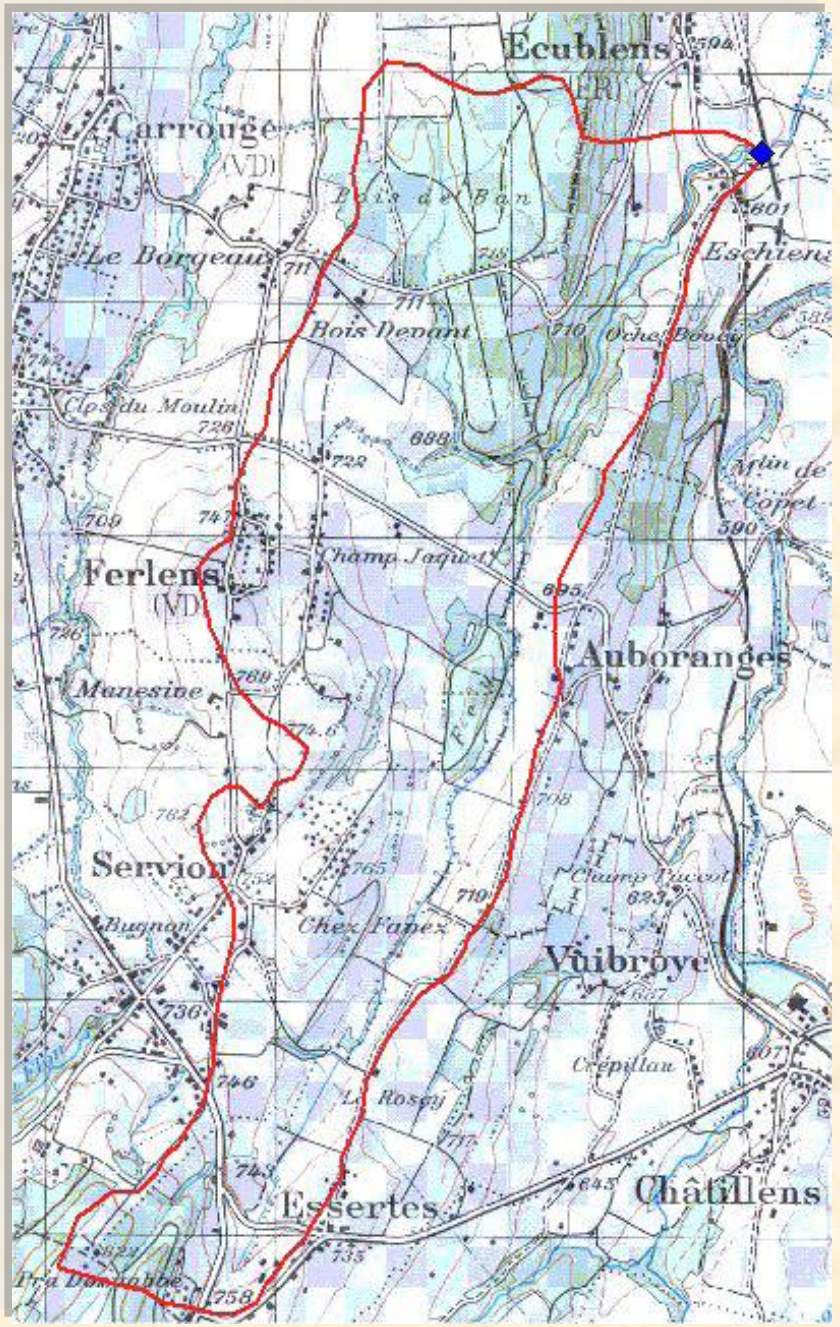


La notion de bassin versant

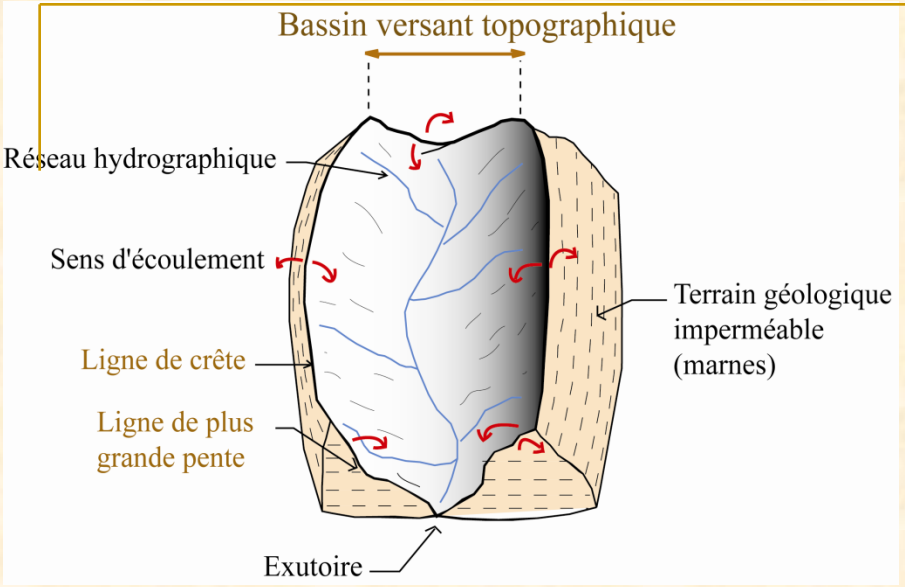


Tracé des contours à partir d'une carte topographique

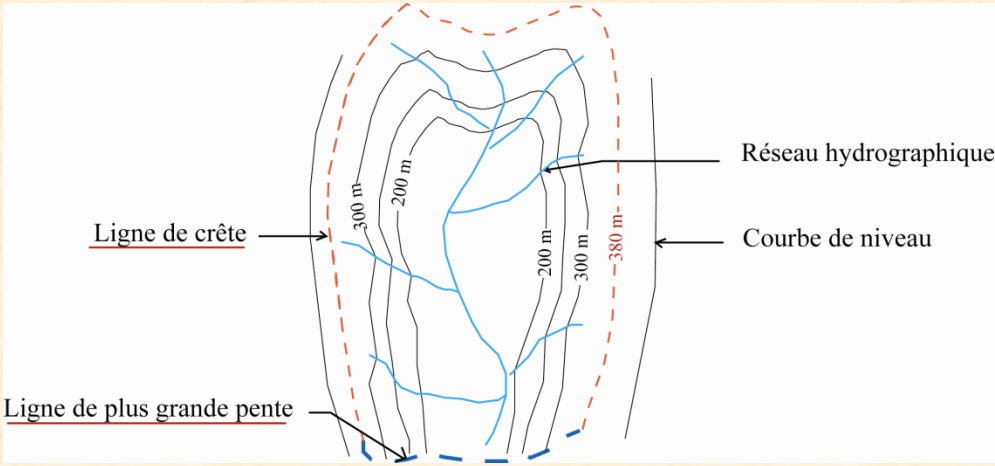




2. Comment délimiter un bassin versant ?



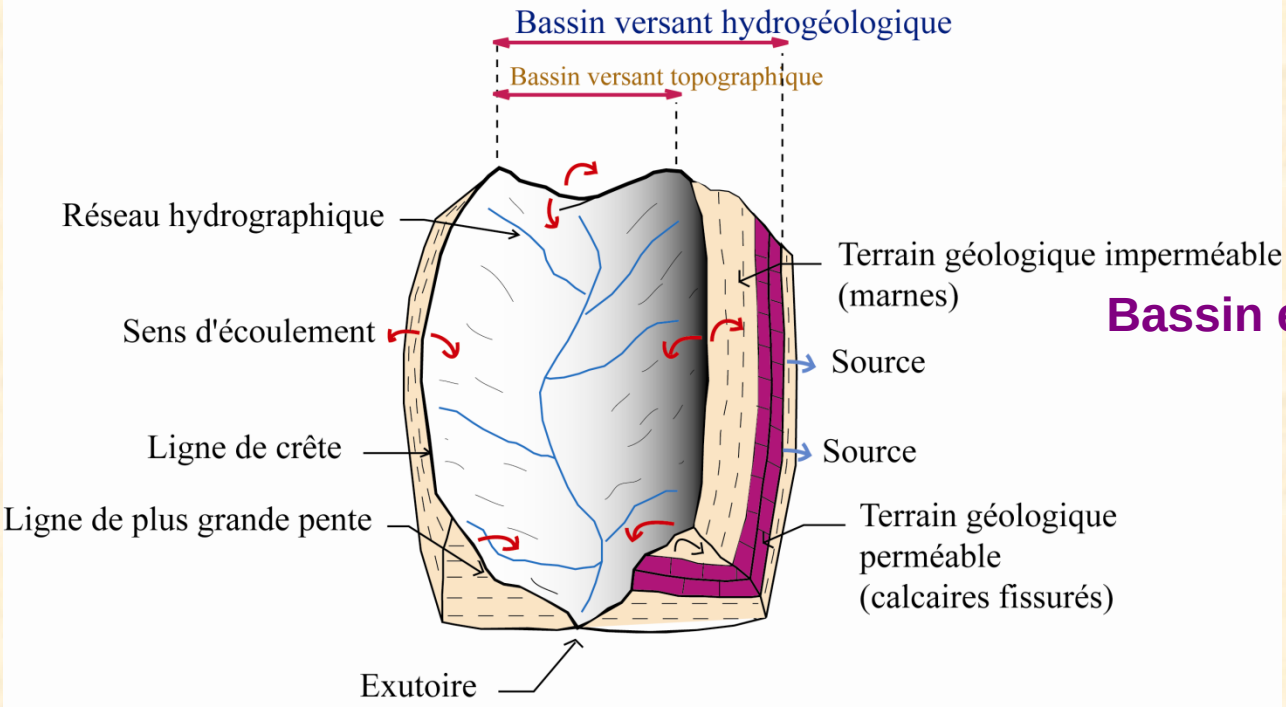
Bassin versant topographique



Cartographie d'un bassin versant topographique

Les terrains géologiques du bassin sont de nature imperméable, l'eau est alors acheminée selon la topographie. Dans ce cas les limites du bassin versant sont définies par la ligne de crête (ligne de plus grande altitude) et par la ligne de plus grande pente.

2. Comment délimiter un bassin versant ?

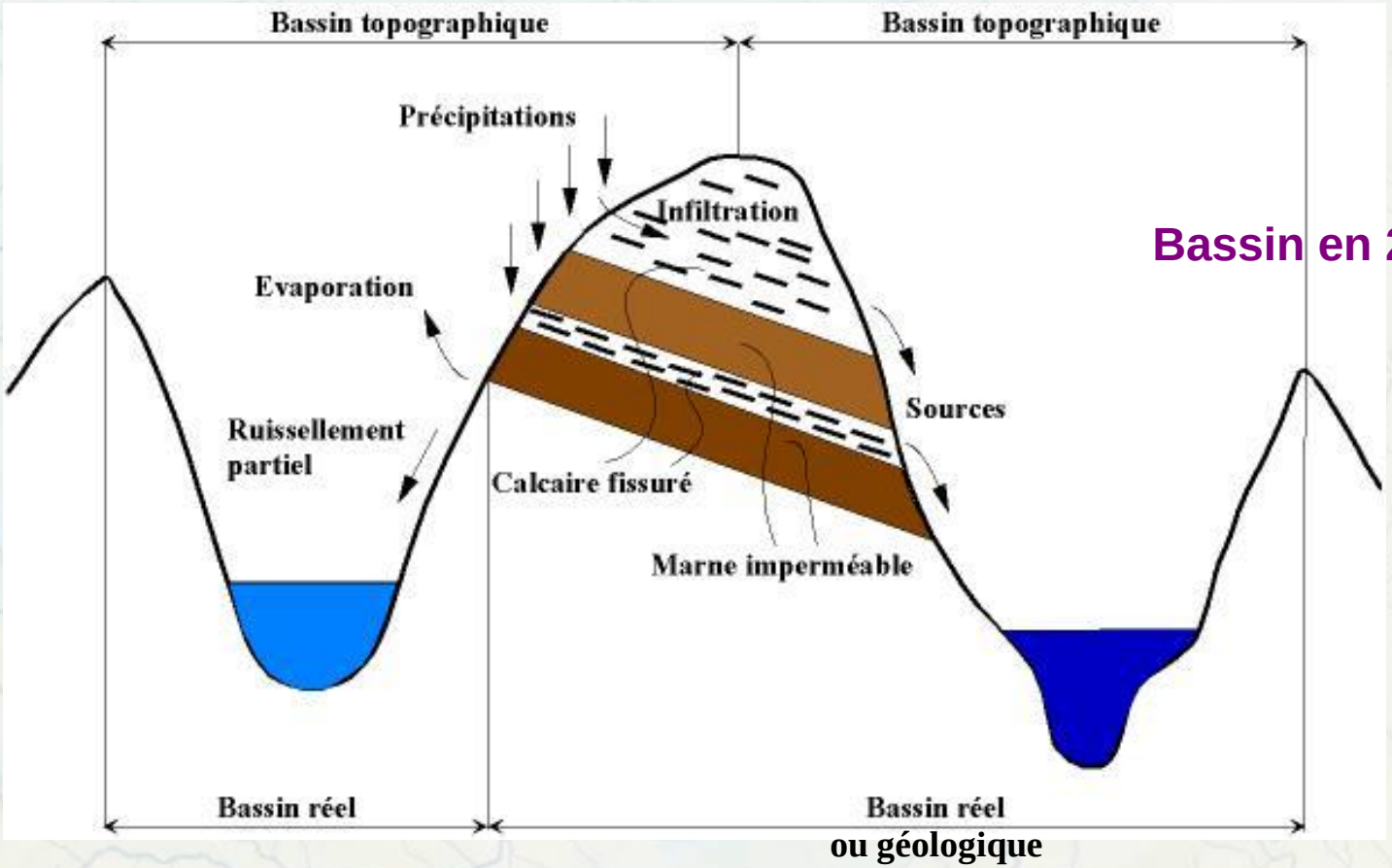


Bassin en 3D

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 frontières 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.

Dans le cas de bassin versant de grande taille, les apports et les pertes souterrains ont tendance à se compenser et le bassin versant hydrogéologique peut être confondu au bassin versant topographique.

Bassin topographique ou géologique ?



Bassin en 2D

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

Grands bassins fluviaux

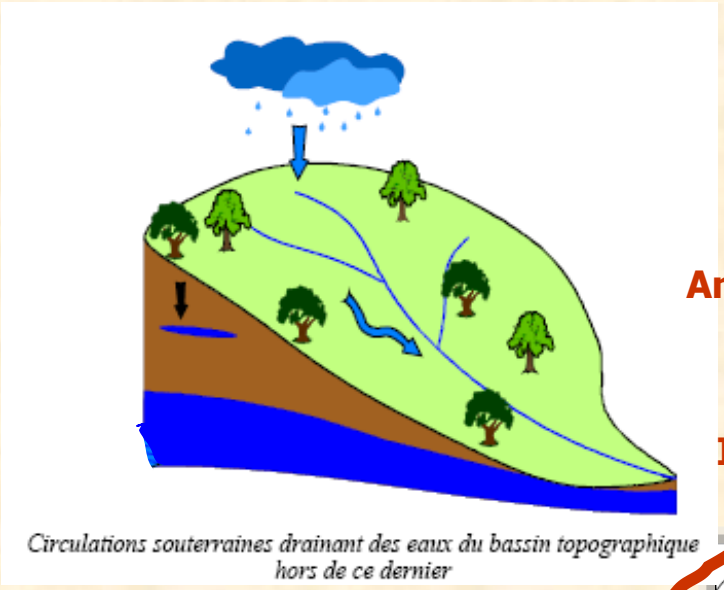
- **bassins exoréiques : exutoire à la mer ou l'océan (72 % des terres émergées)**
- **bassins endoréiques : pas d'exutoire maritime (11 % des terres émergées)**
- **bassins aréiques : zone sans écoulements (forte évaporation, peu de précipitations, forte perméabilité) (17 % des terres émergées)**

263 bassins fluviaux couvrent 45.3 % des terres émergées (231 millions de km²)

- **Amazone : 7 millions de km²**
- **Congo : 3,7 millions de km²**
- **Mississipi et Nil : 3,3 millions de km²**
- **Danube : 817 000 km²**
- **Rhin : 224 000 km²**

Bassin Versant:

Problématiques actuelles de BV: Anthropisation



Anthropisation de BV

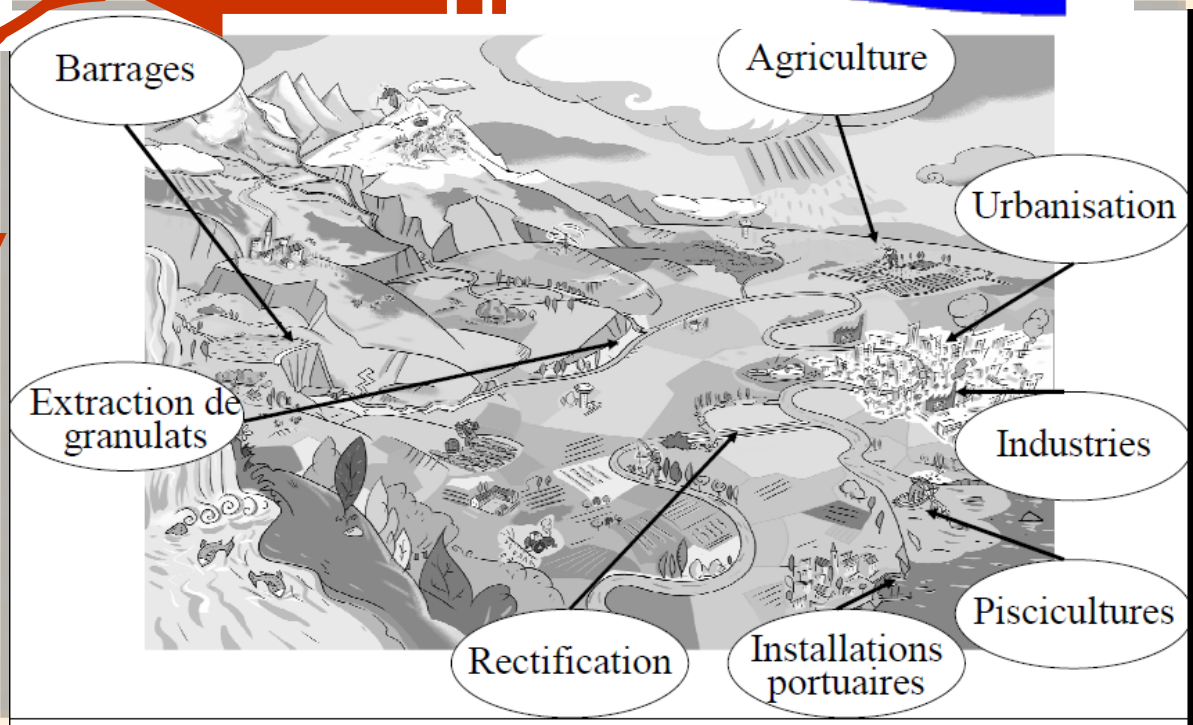
Impacts sur la réaction

càd:

-Changement du régime hydrologique,

-Imperméabilisation de la surface

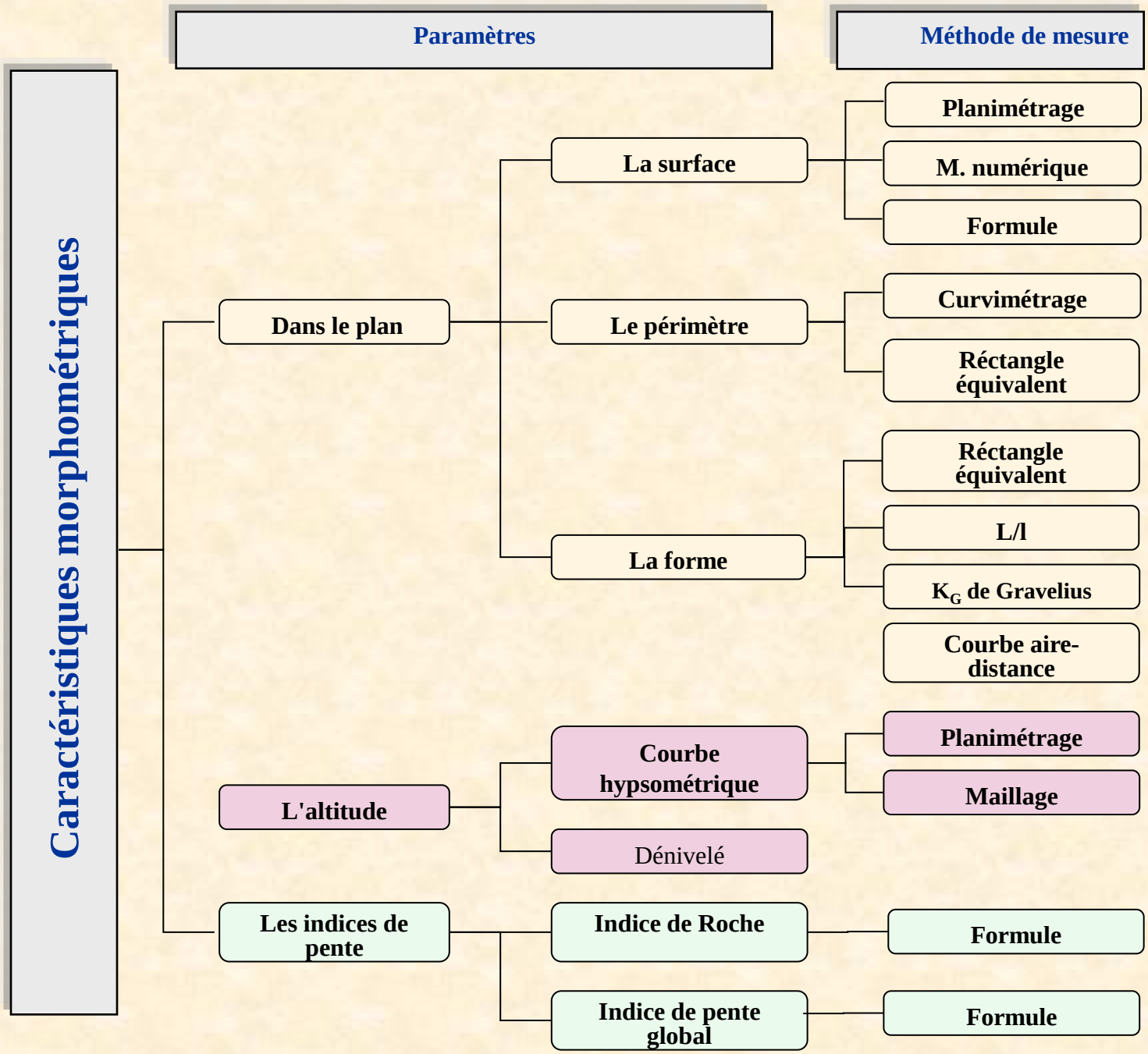
-inondations



3. 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.).

Organigramme des caractéristiques morphométriques mesurées pour un bassin versant

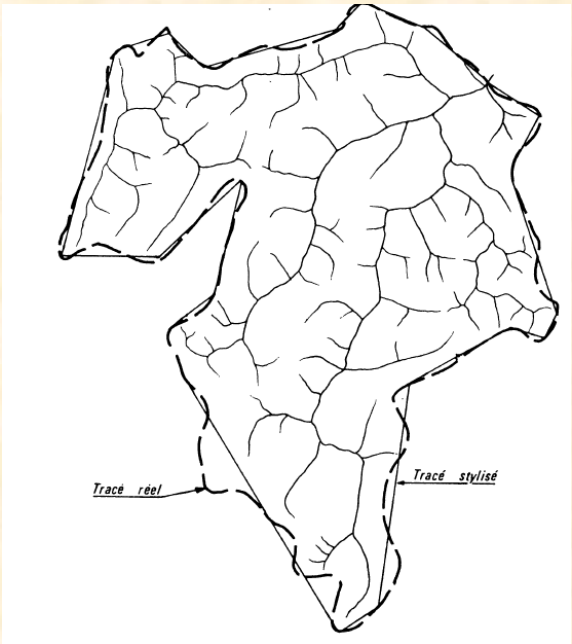


3. Caractéristiques morphométriques d'un bassin versant
3.1. Disposition dans le plan

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 km² 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.

Dans le plan → **La surface** → Planimétrage
→ M. numérique
→ Formule



Stylisation du tracé du périmètre

B- Le périmeter et rectangle équivalent

Le périmètre est la caractéristique de longueur la plus utilisée. Le périmètre peut être mesurée directement sur la carte topographique par curvimétrage ou de manière indirecte en utilisant la longueur du rectangle équivalent.

Dans le plan → **Le perimètre** → Curvimétrage / Rectangle equivalent

Rectangle equivalent

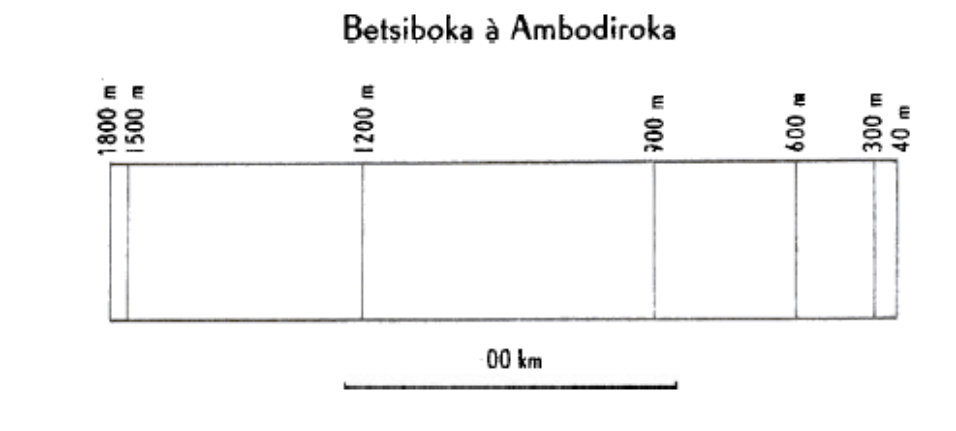
Est le rectangle de longueur L et de largeur l qui a la même surface et le même périmètre que le bassin versant:

$$P = 2\,(L + l) \quad \text{et} \quad A = L * l$$

P : périmètre du bassin versant (km),
L : longueur du rectangle équivalent (km),
l : largeur du rectangle équivalent (km),
A : surface du bassin versant (km^2).

B- Le rectangle equivalent

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 equivalent

$$P = \frac{K_G\sqrt{A}}{0.28} = 2(L+l)$$

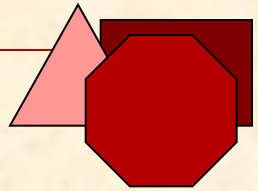
$$A = L*l$$

$$L = \frac{K_G\sqrt{A}}{1.12}\left[1+\sqrt{1-\left(\frac{1.12}{K_G}\right)^2}\right]$$

$$l = \frac{K_G\sqrt{A}}{1.12}\left[1-\sqrt{1-\left(\frac{1.12}{K_G}\right)^2}\right]$$

Définir le rectangle equivalent ?

3. Caractéristiques morphométriques d'un bassin versant



C- La forme

Dans le plan **La forme** → **Coefficient Kg de Gravelius**

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

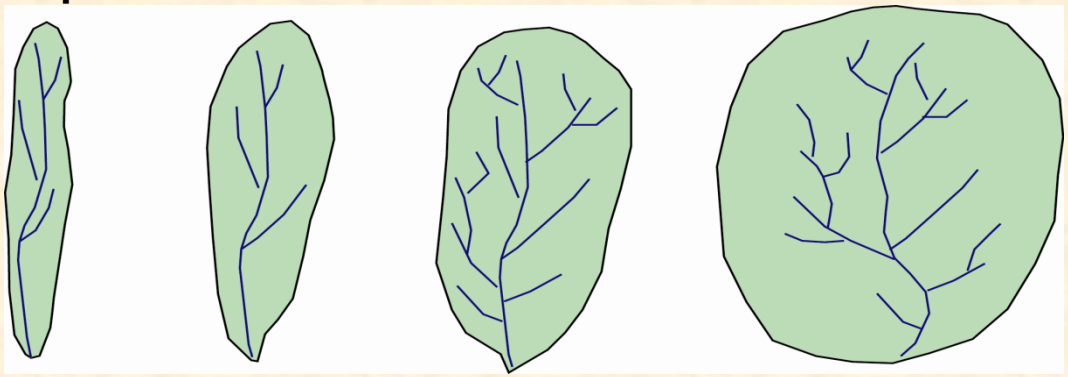
La forme du bassin versant a une grande influence sur l'écoulement global et surtout sur l'allure de l'hydrogramme résultant d'une pluie donnée, cette caractéristique est donnée par l'indice de Gravelius qui a proposé en 1914 le coefficient de compacité ("compactness coefficient") défini comme le rapport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

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

P= périmètre en km
A= aire en km²

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

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



K_G = 1.6 **K_G = 1.3** **type chêne**

K_G = 1.2 **type peuplier ou couloir**

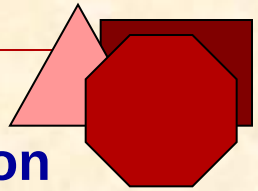
K_G = 1.1 **type circulaire**

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

3. Caractéristiques morphométriques d'un bassin versant

C- La forme

Dans le plan **La forme** → **Indice de forme de Horton**



Il exprime le rapport de la largeur moyenne du bassin versant à la longueur du cours d'eau principal (Horton, 1932).

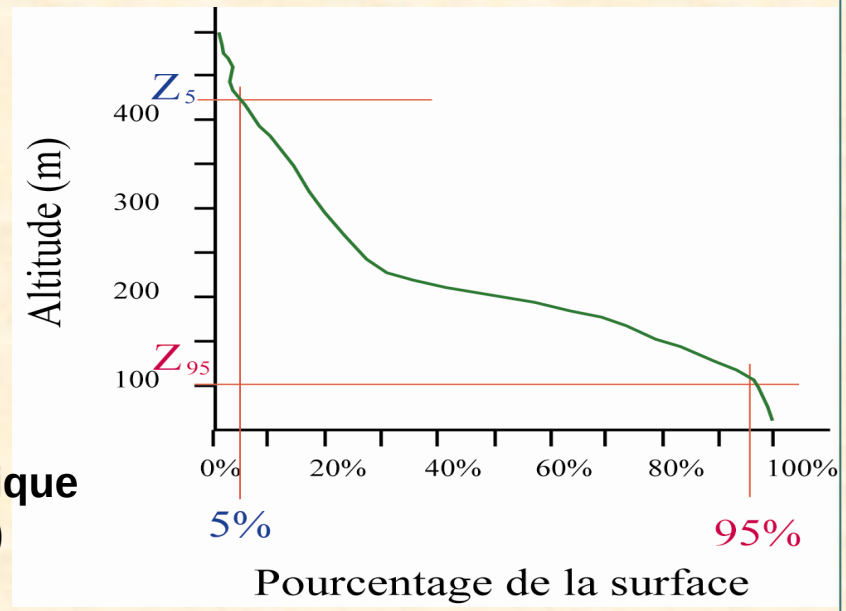
$$K_H = \frac{A}{L^2}$$

K_H : Indice de Horton sans dimension.
K_H < 1 : Bassin de forme allongée.
K_H > 1 : Bassin de forme ramassée.
A : Surface du bassin versant (*Km^2*).
L : Longueur du cours d'eau principal (Km).

3. Caractéristiques morphométriques d'un bassin versant
3.2. L'altitude

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.



Courbe hypsométrique (Laborde, 2000)

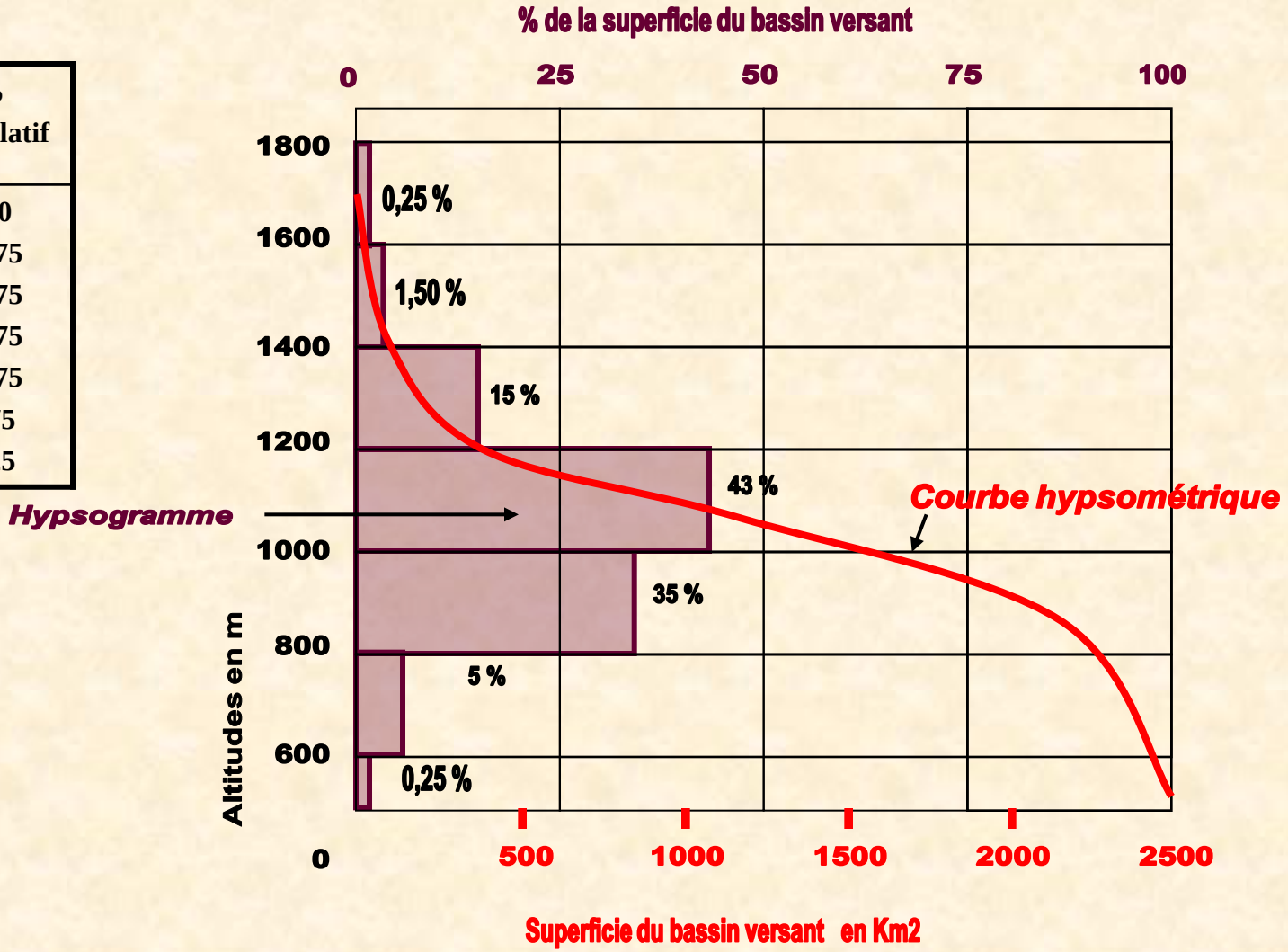
Cette courbe est établie en planimétrant pour différentes altitudes les surfaces situées au dessus de la courbe de niveau correspondante. Une autre méthode consiste à échantillonner les altitudes selon un maillage carré, l'altitude au centre d'une maille étant considérée égale à l'altitude moyenne de la maille.

L'altitude → Courbe hypsométrique
- **Planimétrage**
- **Maillage**

3. Caractéristiques morphométriques d'un bassin versant
3.2. L'altitude

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

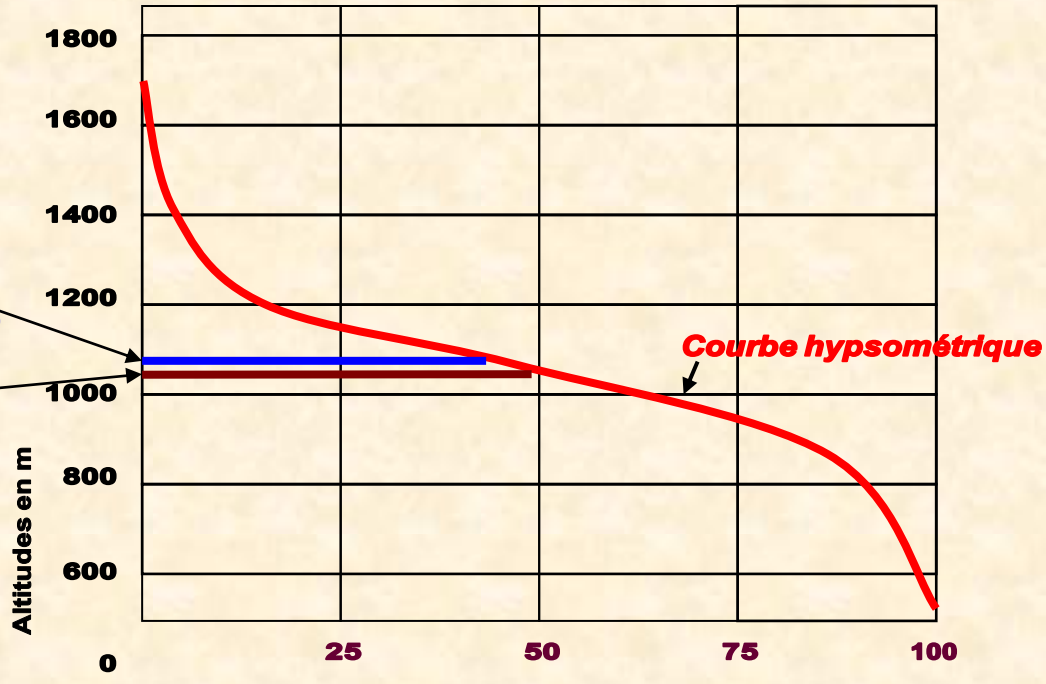
Altitude	% Surface totale	% cumulatif
0-600	0.25	100
600-800	5	99.75
800-1000	35	94.75
1000-1200	43	59.75
1200-1400	15	16.75
1400-1600	1.5	1.75
1600-1800	0.25	0.25



Courbe hypsométrique et courbe des fréquences altimétriques du bassin versant de la Truyère Sarrans (superficie 2462 km2)

3.3. Courbe hypsométrique et altitude caractéristiques

Altitude	% Surface totale	% cumulatif
0-600	0.25	100
600-800	5	99.75
800-1000	35	94.75
1000-1200	43	59.75
1200-1400	15	16.75
1400-1600	1.5	1.75
1600-1800	0.25	0.25



Courbe hypsométrique et courbe des fréquences altimétriques du bassin versant de la Truyère Sarrans (superficie 2462 km2)

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

-H_{moy} : Altitude moyenne du bassin versant en (m).
- A :Surface totale du bassin versant en (Km^2).
- S_i : La surface comprise entre deux courbes de niveau en (Km^2).
- h_i, h_{i+1} : Altitudes haut et bas qui délimite la surface Si en (m).

Altitude médiane :Correspond au point d'abscisse 50 % sur la courbe hypsométrique.
L'altitude maximale et minimale du bassin

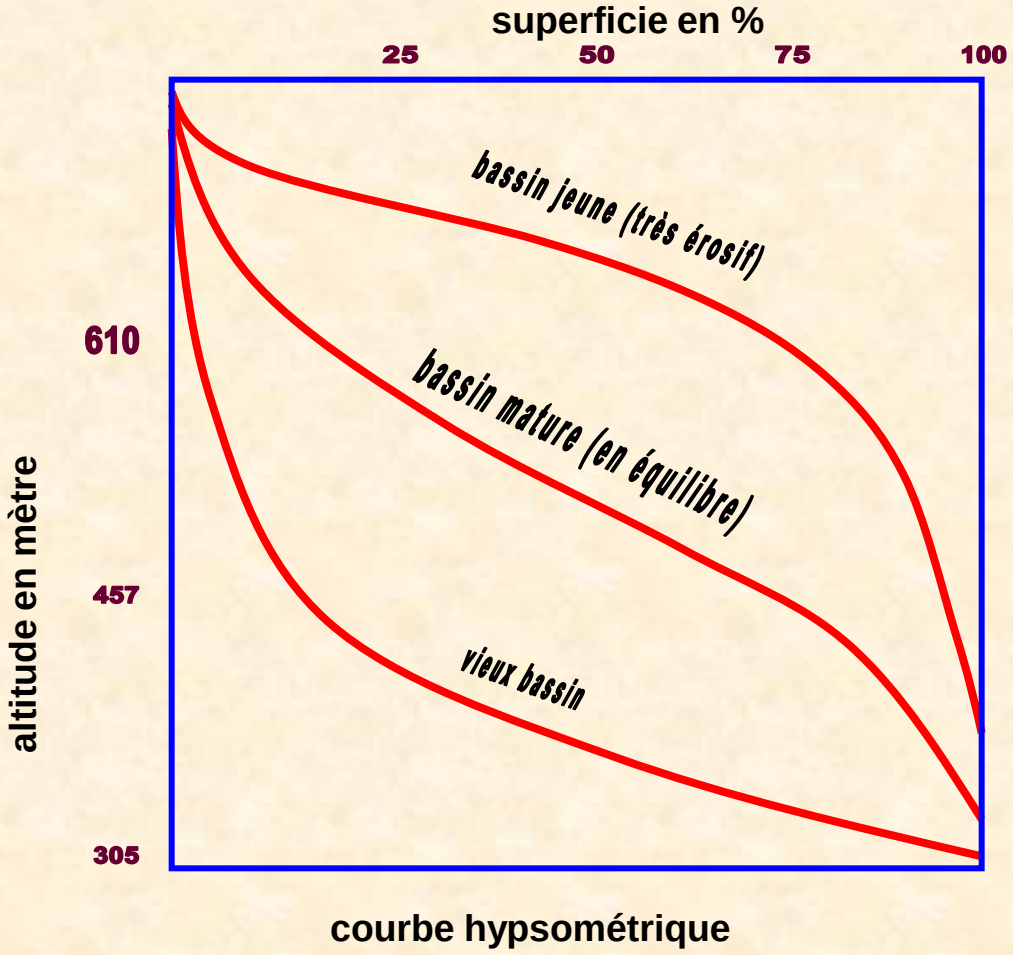
Altitude la plus fréquente :c'est l'altitude correspondante au maximum de superficie sur la courbe hypsométrique

Courbe hypsométrique : interprétation

- 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

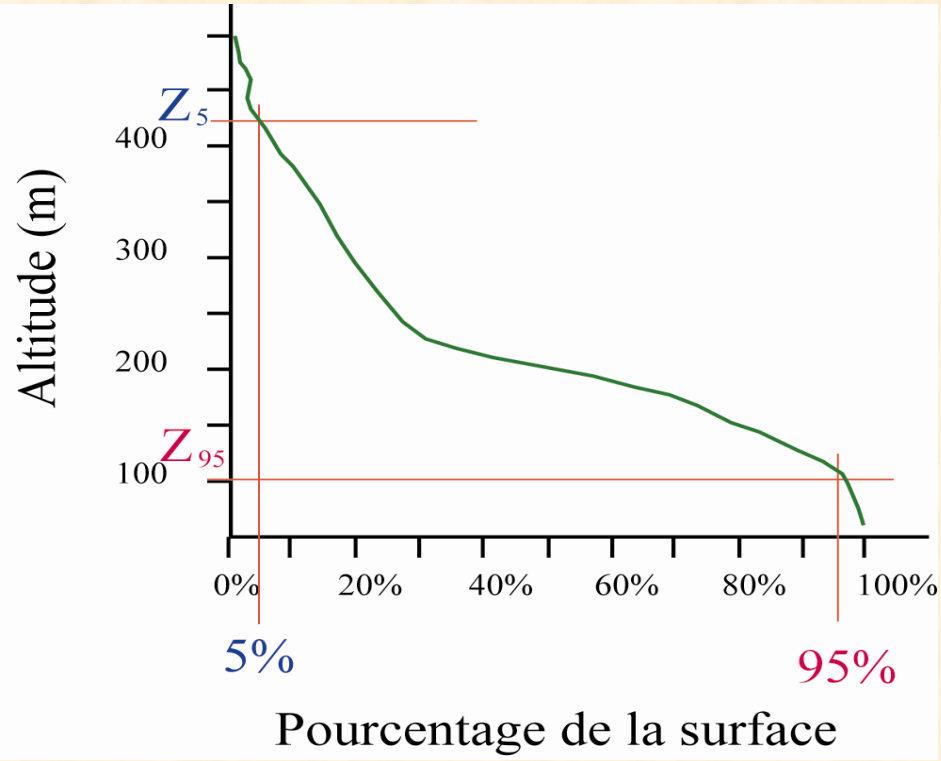
- bassin « mature » 'intermédiaire'



courbe hypsométrique

profil d'un cours d'eau dans un bassin

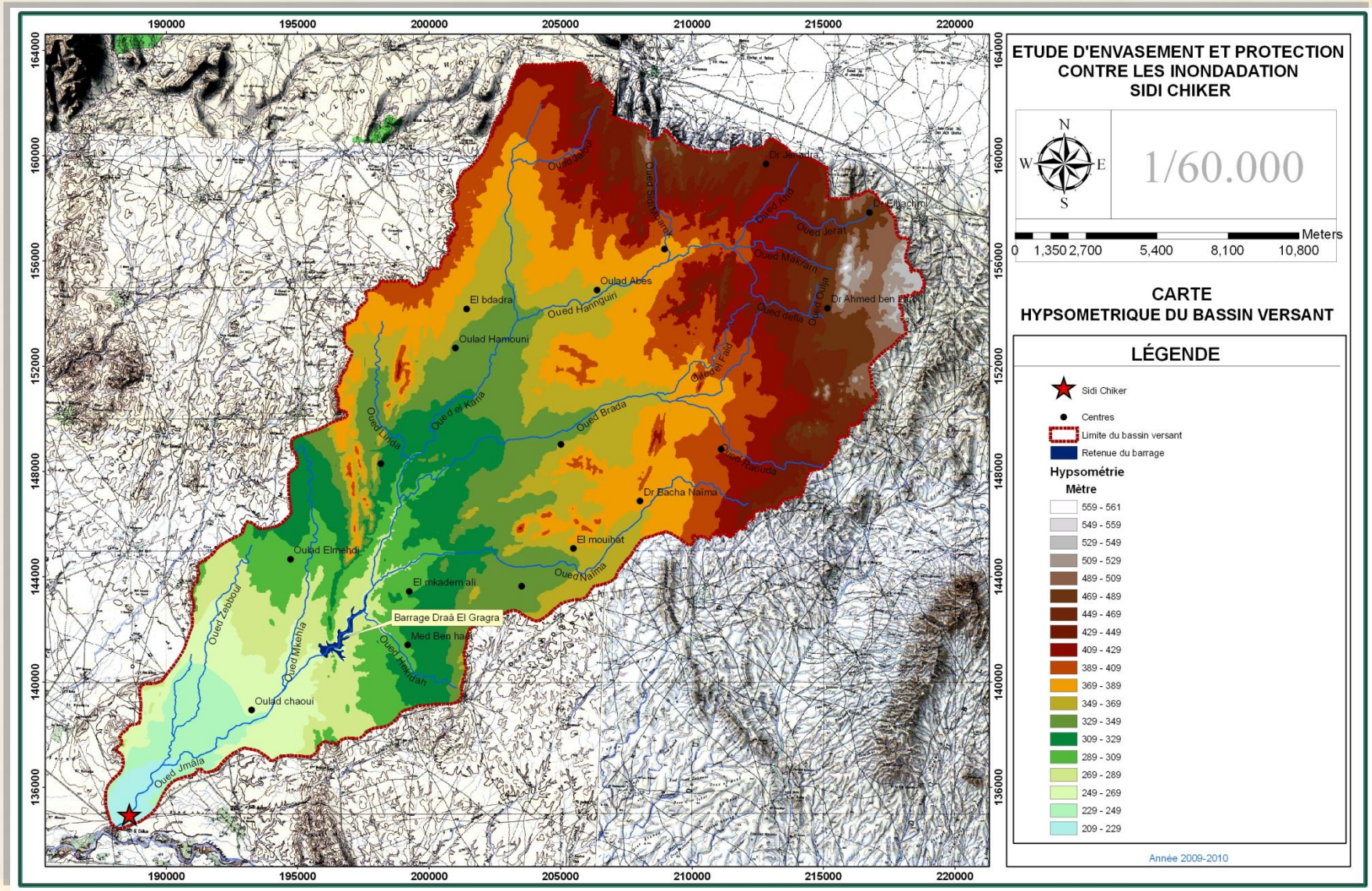
L'altitude → **Dénivelé**



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.

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

Définissez le dénivelé ?


ETUDE D'ENVASEMENT ET PROTECTION
CONTRE LES INONDADATION
SIDI CHIKER
N
W
E
S
1/60.000
Meters
0 1,350 2,700 5,400 8,100 10,800
CARTE
HYPSOMETRIQUE DU BASSIN VERSANT
LÉGENDE
Sidi Chiker
Centres
Limite du bassin versant
Retenue du barrage
Hypsométrie
Mètre
559 - 561
549 - 559
529 - 549
509 - 529
489 - 509
469 - 489
449 - 469
429 - 449
409 - 429
389 - 409
369 - 389
349 - 369
329 - 349
309 - 329
289 - 309
269 - 289
249 - 269
229 - 249
209 - 229
Année 2009-2010
190000
195000
200000
205000
210000
215000
220000
164000
160000
156000
152000
148000
144000
140000
136000
Oued Jaloul
Oued Sidi Mbarek
Dr Jenadra
Oued Ahd
Dr Elhachm
Oued Jerat
Oued Makram
Oulad Abes
El bdadra
Oued Hannguiri
Dr Ahmed ben Eaïd
Oued Oulja
Oued defla
Oulad Hamouni
Oued el Faïd
Oued el Karia
Oued Brada
Oued Linda
Oued Raouda
Dr Bacha Naima
El mouihat
Oulad Elmehdi
Oued Naima
El mkadem ali
Barrage Draâ El Gragra
Med Ben hadi
Oued Zebboul
Oued Mkehla
Oued Hekidah
Oulad chaoui
Oued Jmâla

Les indices de pente

Leur connaissance est d'une grande importance car il est évident que les eaux ruissellent d'autant plus que la pente des versants est grande, c'est ainsi qu'en montagne on rencontre, pour une averse donnée, des crues plus importantes qu'en plaine ou les pentes sont beaucoup plus faibles.

Plusieurs méthodes sont appliquées pour calculer la pente.

la pente moyenne → **peu utilisée**

l'indice de pente de Roche → **long à évaluer**

l'indice de pente globale → **simple à appliquer**

3. Caractéristiques morphométriques d'un bassin versant

La pente moyenne

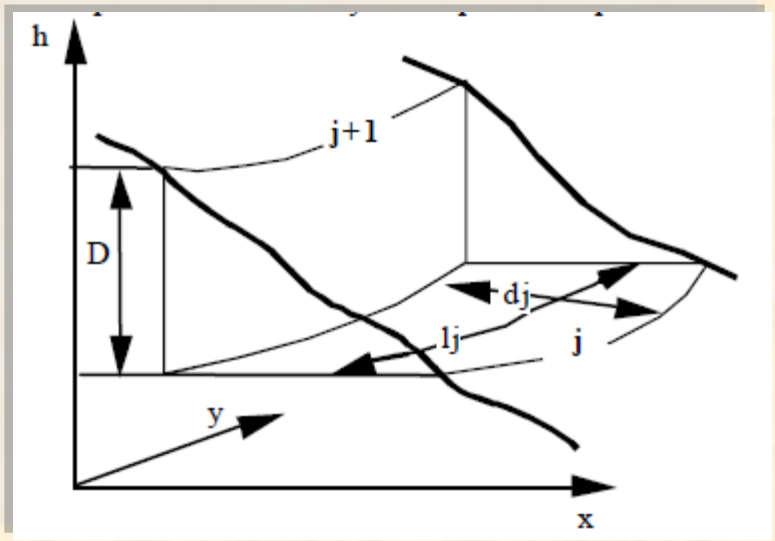
Cet indice se calcule à partir du rectangle équivalent

L' indice de pente moyen i_{pmoy}

$$\text{La pente moyenne } n_j = \frac{D}{d_j}$$

$$\text{La surface de la bande } j \text{ est } d_j l_j = a_j$$

$$i_{pmoy} = \frac{\sum n_j a_j}{a_j} = \frac{\sum \frac{D d_j l_j}{d_j}}{d_j l_j} = \frac{D \sum l_j}{A}$$



- i_{Pmoy} : indice de pente moyen en (%).
- L : Longueur du rectangle équivalent(Km).
- x_i : distance qui sépare 2 courbes sur le rectangle (m) largeur étant constante.
- d : distance entre 2 courbes de niveau successives(m).
- d/x_i pente d'un élément

3. Caractéristiques morphométriques d'un bassin versant
3.1. Indices de pente

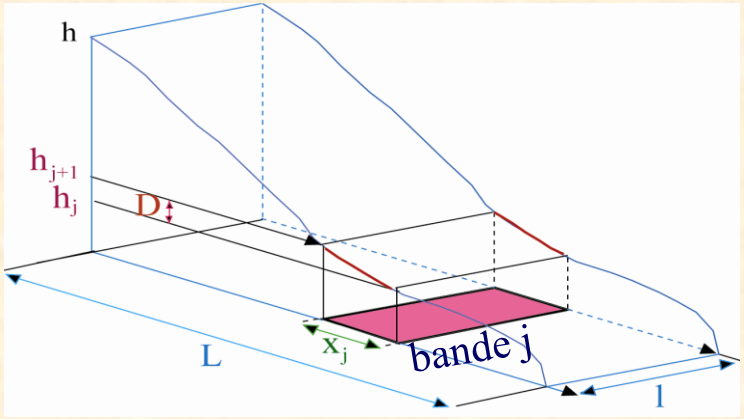
Les indices de pente → Indice de Roche

Le calcul de l'indice de pente I_r de Roche nécessite:

- **le rectangle équivalent,**
- **la courbe hypsométrique.**

$$I_r = \frac{1}{L}\sum_{j=1}^{n} X_j \sqrt{\frac{h_{j+1} - h_j}{X_j}}$$

Ir est exprimé par la moyenne de la racine carrée des pentes, mesurées sur le rectangle équivalent et pondérées par les surfaces.



- ***D : Dénivelé utile (m).***
- ***$L_{éq}$: Longueur équivalente.***
- ***$l_{éq}$: Largeur équivalente.***
- **X_i : distance qui sépare les deux courbes sur le rectangle équivalent.**

L'indice de pente peut être calculé à partir de la répartition hypsométrique (pourcentage de la superficie entre les courbes de niveau)

$$I_r = \frac{1}{\sqrt{L}}\sum \sqrt{a_i}.d_i$$

a_i est le pourcentage de la superficie entre les courbes de niveau.
d_i est la distance entre les courbes de niveau appelée aussi dénivelée.

Zones altimétriques ou hypsométriques	Surface partielle		Dénivellation	
	A (km^2)	a_i (%)	d_i (m)	
< 300	21551,53	3,45	7	4,9
300 – 350	94452,20	15,10	50	27,5
350 – 400	58118,95	9,29	50	21,6
400 – 500	149826,61	23,96	100	48,95
500 – 600	53383,54	8,54	100	29,2
600 – 800	79364,30	12,67	200	50,34
800 – 900	107051,47	17,12	100	41,4
900 – 1000	35764,40	5,72	100	23,9
> 1000	25930,40	4,15	127	22,9
TOTAL	625443.30	100		**270,69**

$$\mathbf{L} = \sqrt{625443,3}\mathbf{x}\frac{1,29}{1,12}\left[1+\sqrt{1-\left(\frac{1,12}{1,29}\right)^2}\right] = 1363,1127\text{km}$$

$$\mathbf{I_r} = \frac{1}{\sqrt{\mathbf{L}}}\sum\sqrt{\mathbf{a_i}}.\mathbf{d_i} = \frac{1}{\sqrt{1363,1127}}\sqrt{270,69}$$

L'indice de pente de Roche du bassin est donc de 0,45%.

3. Caractéristiques morphométriques d'un bassin versant

3.1. Indices de pente

Les indices de pente → **Indice de pente global**

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

D : Dénivelée Za% - Zb% 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	$0.1 < I_g$

Classification sur la base de l'indice global des bassins versants d'une surface de l'ordre de 25 km²

Pour un même bassin, l'indice global Ig décroît lorsque la surface augmente.

Il existe une relation entre l'indice global et l'indice de Roche (avec un coefficient de corrélation de 0.99)

$$I_g = 0.8 I_r^{\,2}$$

relation entre l'indice global et l'indice de Roche

3. Caractéristiques morphométriques d'un bassin versant

3.1. Indices de pente

Les indices de pente → Dénivelée spécifique Ds

A la différence de l'indice global I_g , la dénivelée spécifique Ds est indépendante de la surface et permet alors de comparer des bassins de tailles différentes.

$$D_s = I_g \sqrt{A} = \frac{D}{L}\sqrt{L\,l} = D\sqrt{\frac{l}{L}}$$

La dénivelée spécifique Ds ne dépend que de l'hypsométrie (D) et de la forme du bassin (l/L)

Relief très faible	Ds < 10 m
Relief faible	10 m < Ds < 25 m
Relief assez faible	25 m < Ds < 50 m
Relief modéré	50 m < Ds < 100 m
Relief assez fort	100 m < Ds < 250 m
Relief fort	250 m < Ds < 500 m
Relief très fort	500 m < Ds

la dénivelée spécifique Ds est indépendante de la surface et permet alors de comparer des bassins de tailles différentes

3. Caractéristiques morphométriques d'un bassin versant

3. 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 noeuds 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.

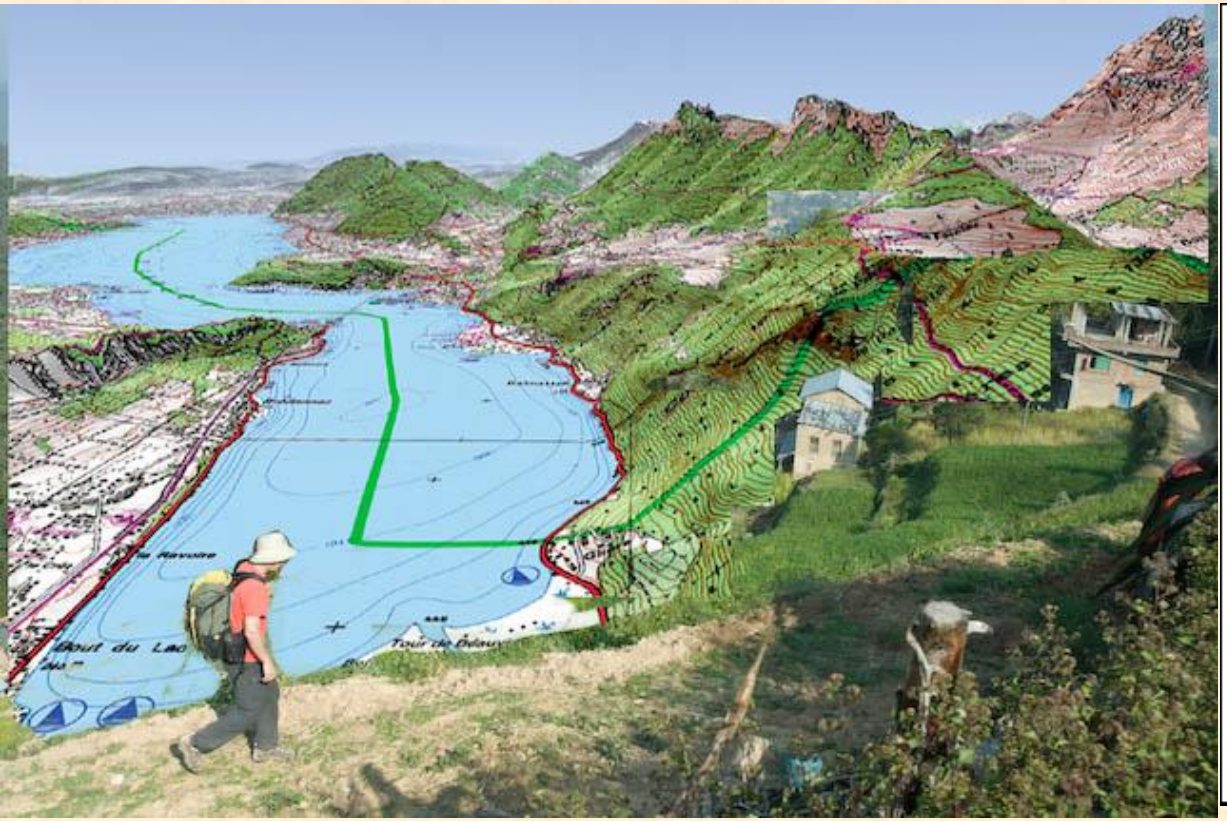
Les modèles numériques de terrain

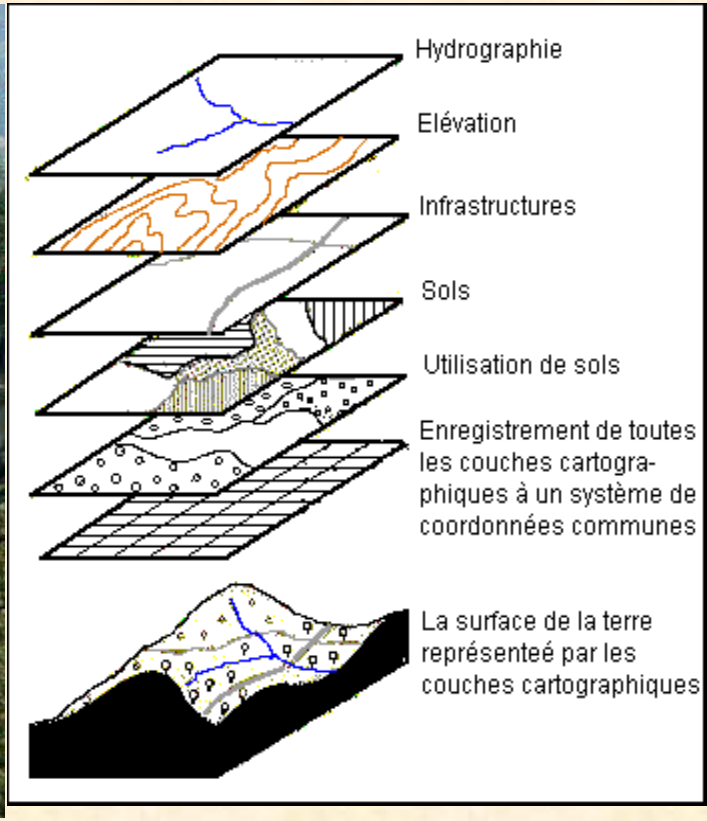
Topographie → **M.N.T**

Altitudes → **M.N.A.**

calcul automatique de tous les paramètres morphométriques d'un bassin versant

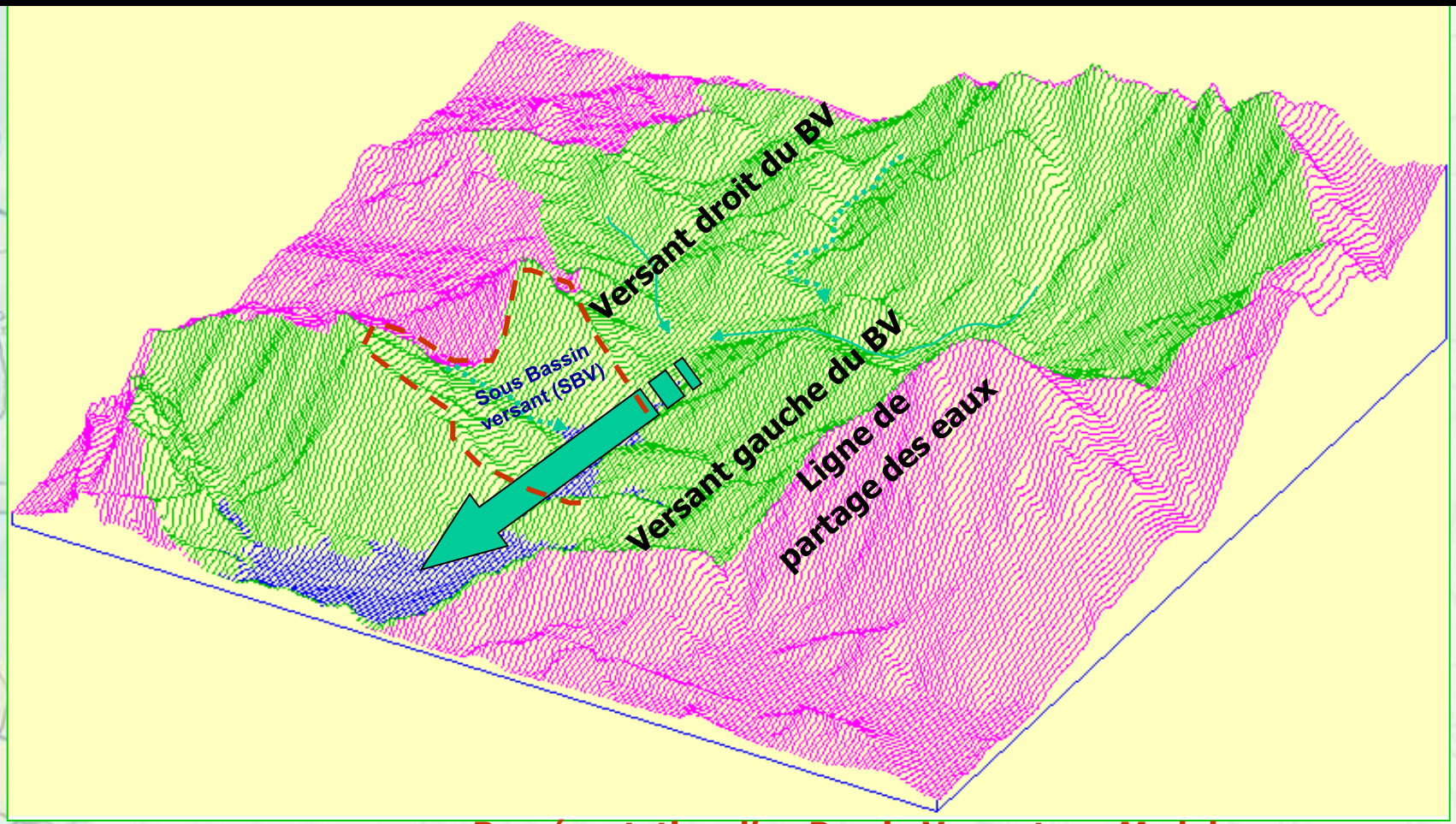
Outils numériques (SIG, Modèles,…).





Modèle Numérique de terrain (MNT):

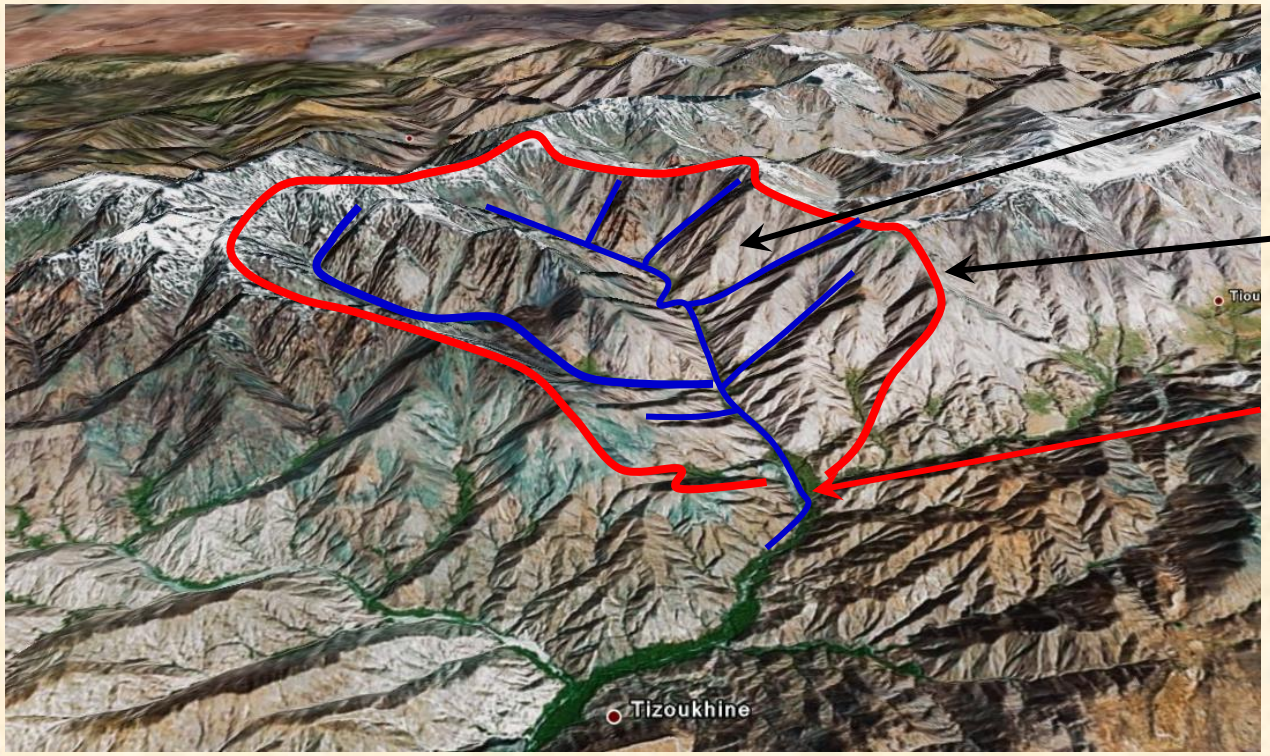
La 3ème dimension des bases des données géographiques est décrites par les MNT (modèle Numérique de Terrain) pour le relief, et par le MNE (Modèle Numérique d'Élévation) pour les bâtiments et le sur-sol.



Représentation d'un Bassin Versant par Module Numérique de Terrain(MNT):

Utilisation actuelle des Systèmes d'information Géographique pour produire ces types de figures

Bassin versant 3D



bassin versant unitaire

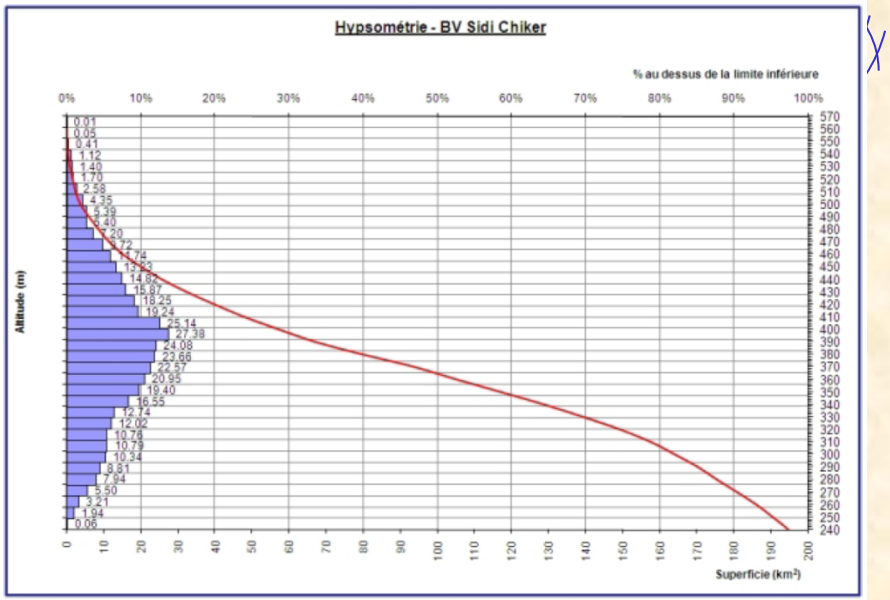
ligne de crête

Embouchure (= exutoire)

3. Caractéristiques morphométriques d'un bassin versant

Surface (Km^2)	396,31
Périmètre (Km)	107,79
Longueur du plus long talweg (Km)	43,66
Indice de Gravelius K_G	1,53
Indice de Horton K_H	0,21
Longueur équivalent $L_{éq}$ (Km)	45,62
Largeur équivalent $l_{éq}$ (Km)	8,69

Caractéristiques géométriques du bassin versant de Sidi Chiker.



Courbe hypsométrique du bassin versant de Sidi Chiker.

Altitude moyenne (m)	363
Altitude mediane (m)	364
Altitude la plus fréquente (m)	370
Altitude minimale (m)	200
H5% (m)	480
H95% (m)	255

Altitude caractéristique du bassin versant de Sidi Chiker.

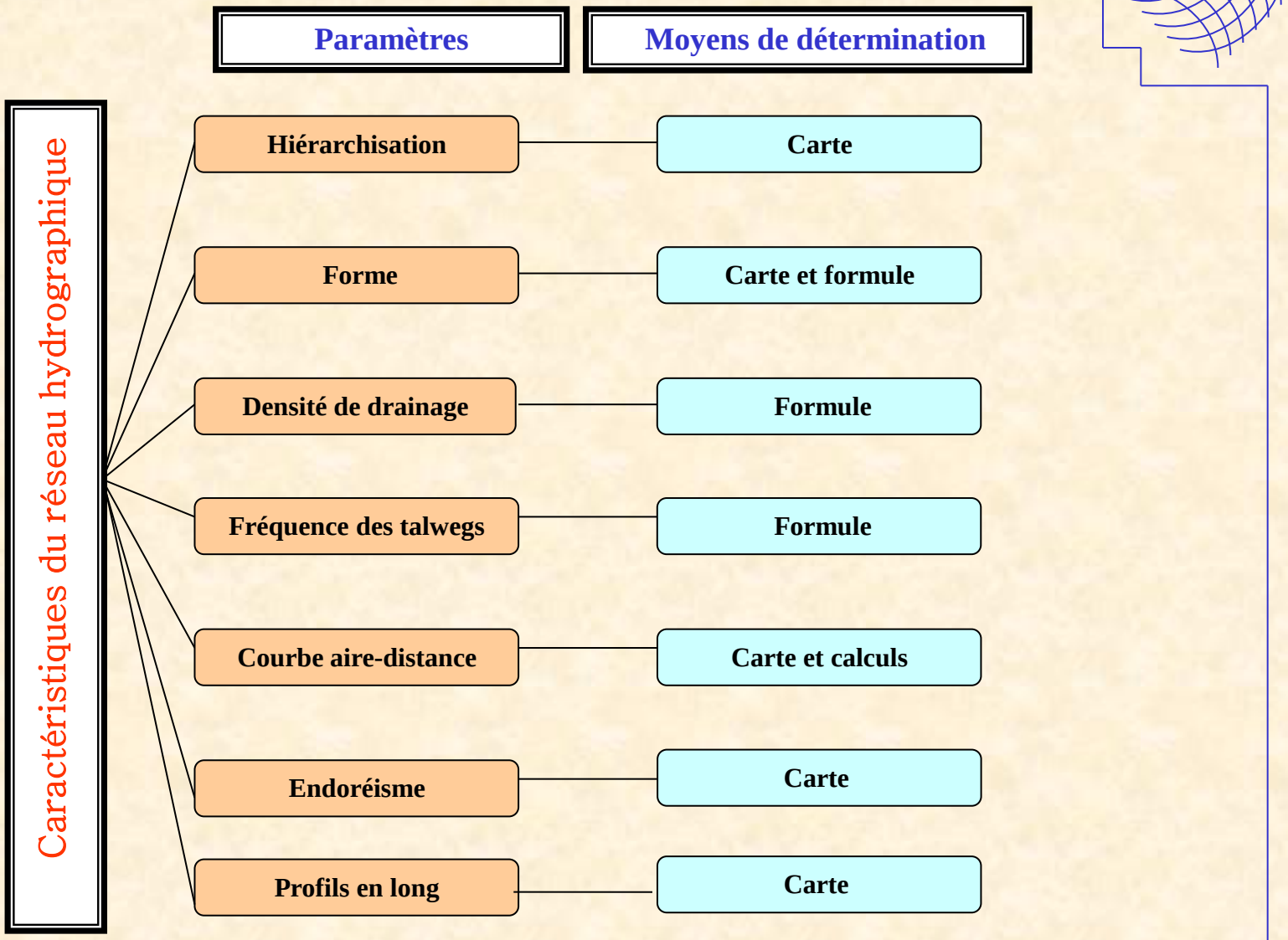
Pente moyenne	1,66%
Indice de pente Global (I_g)	0,81%
Indice de pente de Roche (I_r)	25,50%
Pente moyenne de Carlier et Leclerc	6,92%

Indices de pente du bassin versant de Sidi Chiker

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.

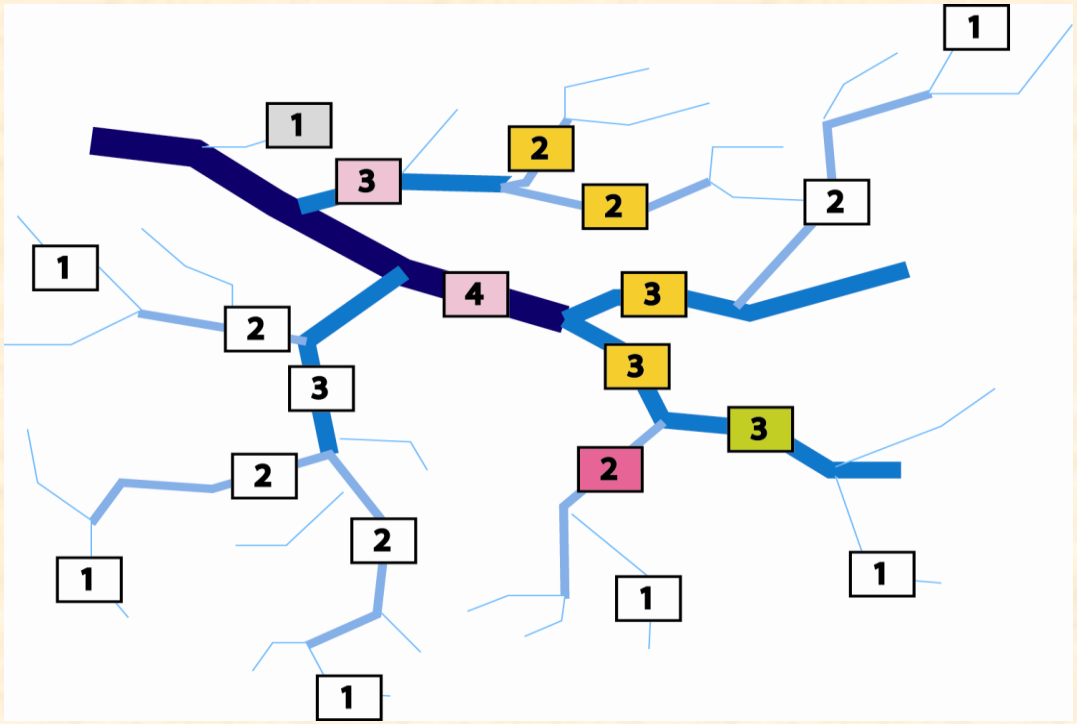
4. Caractéristiques du réseau hydrographique



4. Caractéristiques du réseau hydrographique

4. 1. Hiérarchisation du réseau hydrographique

Classification du réseau hydrographique selon Strahler (1957)



Hiérarchisation du réseau hydrographique

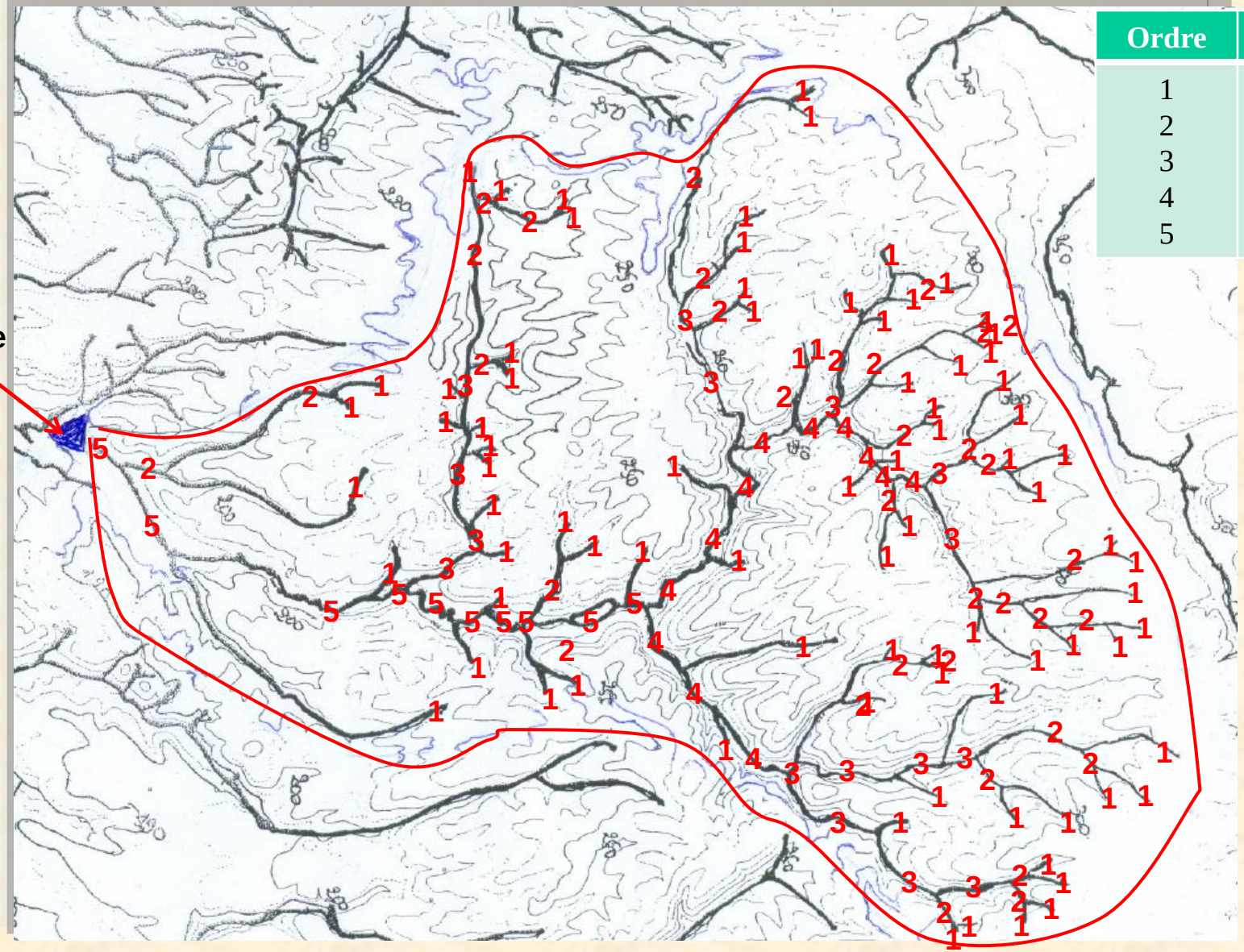
La ramification d'un cours d'eau est établie en affectant un système de numérotation à chaque tronçon du cours d'eau en fonction de son importance. Selon la classification de Strahler(1957).

- Tout cours d'eau dépourvu d'affluent est d'ordre 1
- Au confluent de deux cours d'eau de même ordre n, le cours d'eau résultant est d'ordre n + 1
- Le cours d'eau formé par la confluence de deux cours d'eau d'ordre différent prend l'ordre du plus élevé des deux

Un bassin versant a l'ordre du plus élevé de ses cours d'eau, soit l'ordre du cours d'eau principal à l'exutoire.

4. Caractéristiques du réseau hydrographique
4. 1. Hiérarchisation du réseau hydrographique

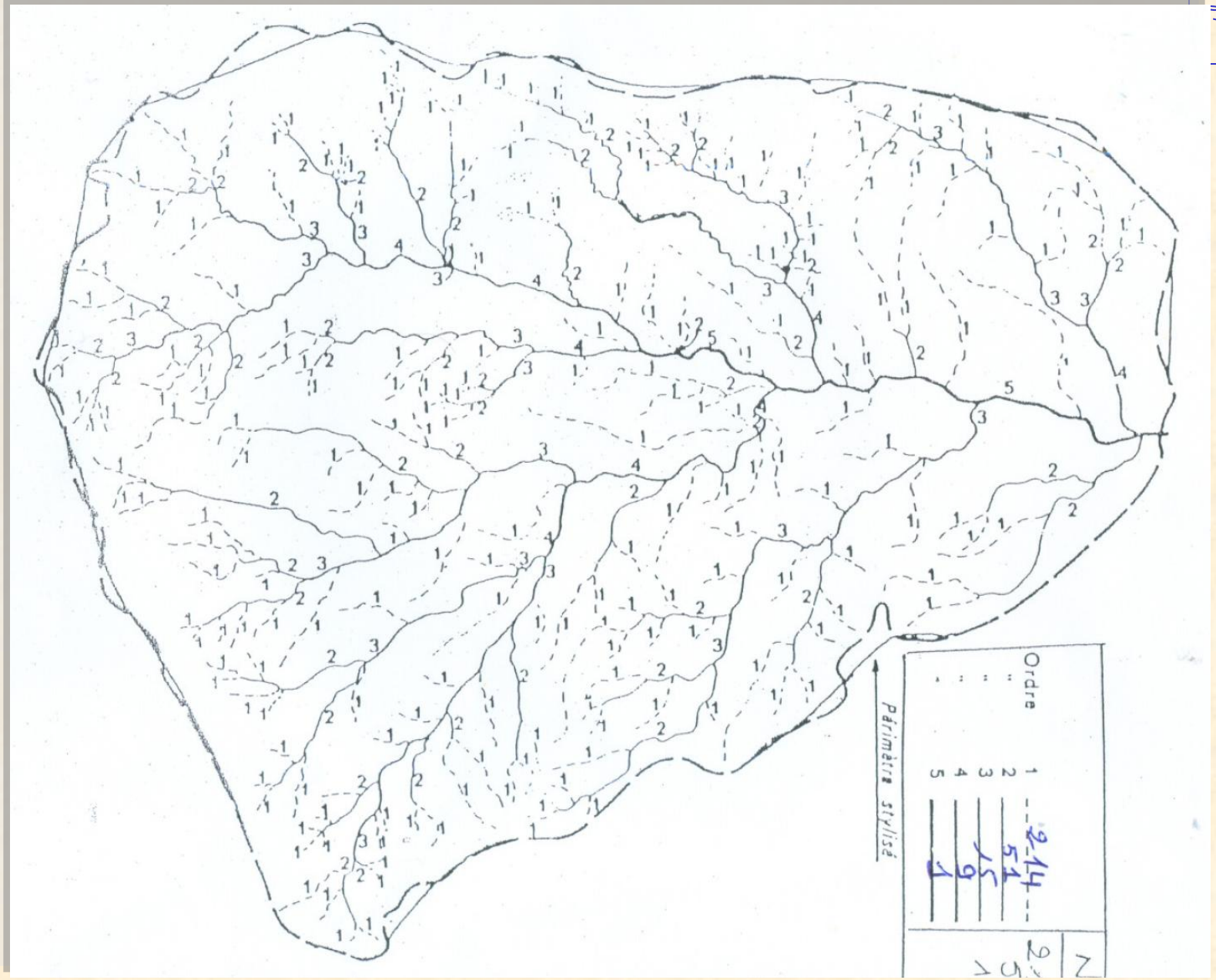
utoire



Ordre	Nombre
1	89
2	26
3	7
4	2
5	1

4. Caractéristiques du réseau hydrographique

4. 1. Hiérarchisation du réseau hydrographique



Hiérarchisation du réseau hydrographique

Problème de l'échelle de la carte

En pratique l'ordre du thalweg peut changer selon l'échelle de la carte utilisée. Une correspondance peut être établie entre l'échelle et l'ordre réel révélé par la photographie aérienne

Ordre réel	Ordre lu sur la carte	Echelle de la carte
2	1	1/20 000
3	1	1/50 000
4	1	1/100 000
5	1	1/200 000

Correspondance entre l'ordre réel et l'ordre établi d'après la carte (Laborde,2000)

Parmi ces cartes quelle est celle qui montre plus de détail du terrain?

4. Caractéristiques du réseau hydrographique
4. 2. Formes du réseau hydrographique

La forme du réseau hydrographique dépend d'un complexe de facteurs qui agissent en interaction. Les plus importants sont:

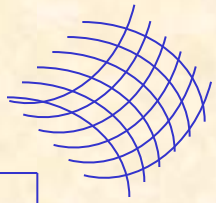
*** la géologie agit par la nature lithologique des terrains traversés par l'eau ainsi que par les structures (failles, plis) qui orientent le courant et déterminent les pentes régionales, (agit sur la forme)**

*** le climat par le biais du régime des précipitations, détermine la densité du réseau hydrographique, dense dans les régions montagneuses très humides et tend à disparaître dans les régions désertiques.**

Le climat agit également sur la couverture végétale qui limite le ruissellement superficiel. régularise le débit des cours d'eau et amortit les crues. (agit sur la densité)

*** l'activité de l'Homme dans les domaines de l'agriculture et de l'aménagement (barrages) peut également modifier le débit et le tracé du réseau hydrographique. (agit sur le tracé)**

A quoi sont liés ces différents types d'organisation?

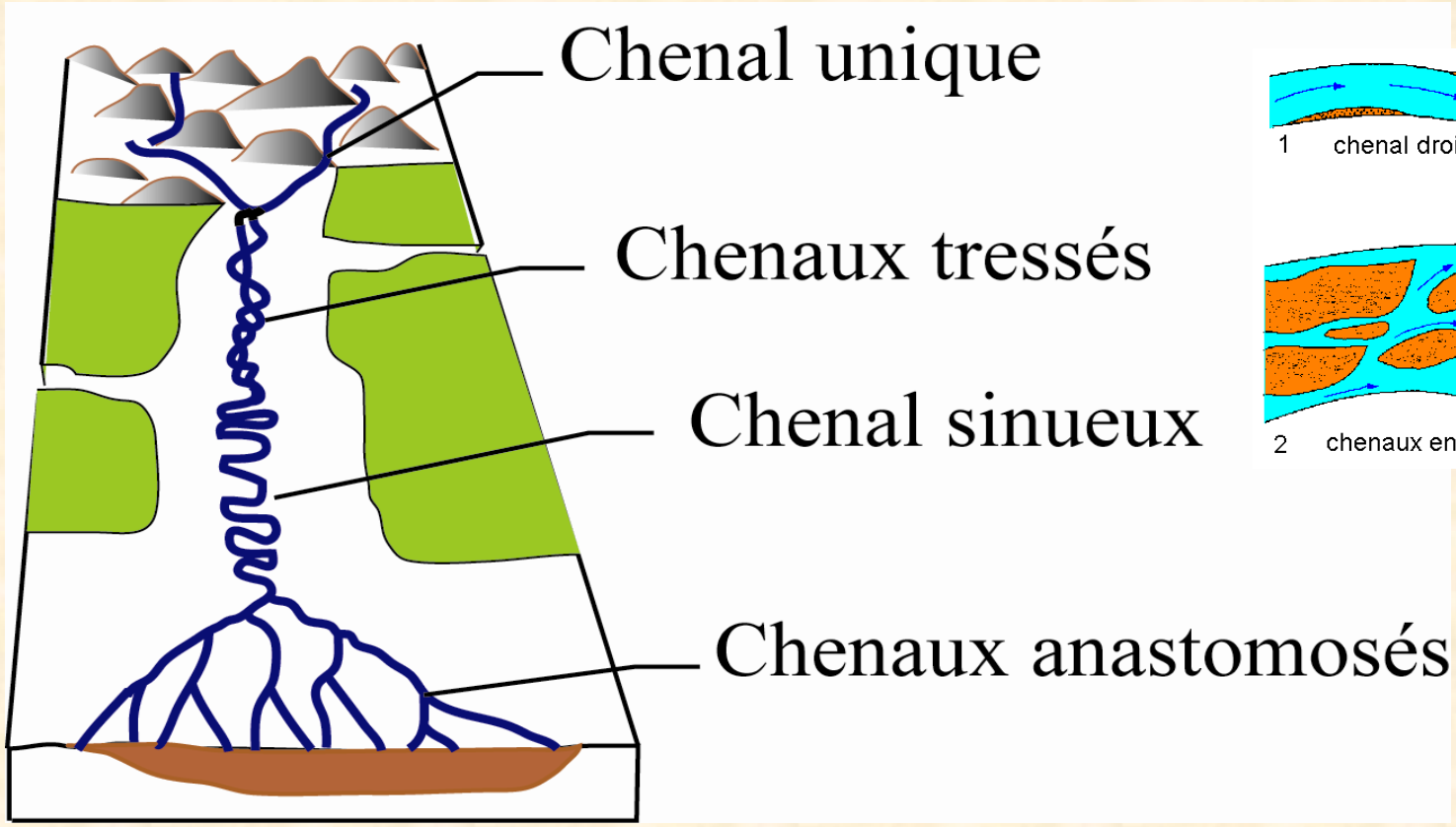


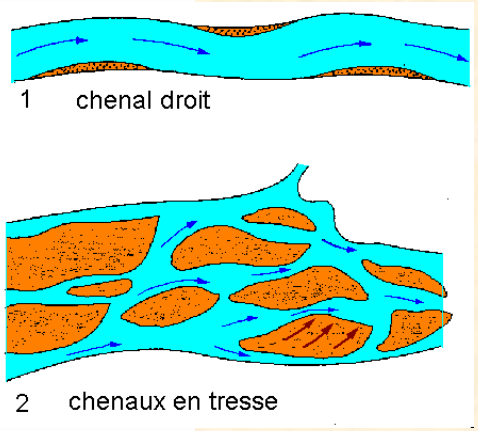
La forme du réseau hydrographique dépend de

- **La géologie**
  - nature lithologique
  - structures
  - → forme du r. h.
- **Le climat**
  - régime des précipitations
  - couverture végétale
  - → densité du r. h.
- **L'activité de l'Homme**
  - agriculture
  - aménagement
  - → tracé du r. h.

Organisation des réseaux hydrographiques

Il existe quatre principaux types d'organisation des chenaux fluviatiles: le chenal unique, les chenaux tressés, le chenal sinueux et les chenaux anastomosés (Derruau, 1974)





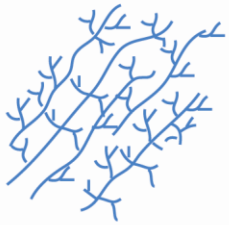
A quoi sont liés ces différents types d'organisation?

Classifications descriptives du réseau hydrographique

Plusieurs classifications descriptives du réseau hydrographique ont permis de définir différentes classes de formes

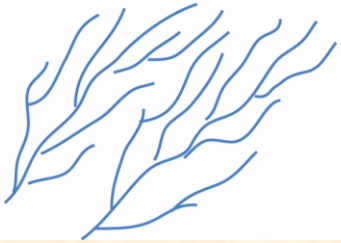
Forme dendritique :

- Sédiments uniformément résistants, horizontaux ou roches cristallines.
- Pente régionale faible.



Forme en treillis

- Roches sédimentaires, volcaniques ou métamorphiques.
- Pendage net.



Forme parallèle

- Structures topographiques allongées et parallèles.
- Pente moyenne à forte.

Les lois de Horton: rapport de confluence et rapport de longueur sont des formules empiriques qui permettent de différencier les formes du réseau hydrographiques.

Les lois de Horton

Rapport de confluence → R_c

Rapport de longueur → R_l

Formules empiriques qui permettent de différencier les formes du réseau hydrographiques

Formes du réseau hydrographique

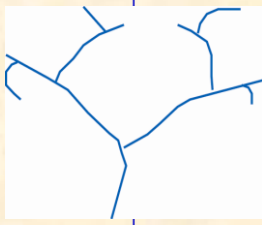
lois de Horton → **Rapport de confluence**

c'est le rapport du nombre de cours d'eau d'ordre n au nombre de cours d'eau d'ordre n + 1

$$R_{c(n)} = \frac{\text{nombre de cours d'eau d'ordre } n}{\text{nombre de cours d'eau d'ordre } n+1} = \frac{N_n}{N_{n+1}} = Cte$$

R_c exprime le développement du réseau de drainage

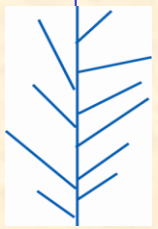
R_c = 2.25 à 5 → bassin circulaire avec un réseau dendritique
Type chêne : Ramification bien développée
avec un espacement régulier des confluences
Géologie sans influence



R_c sup à 5 → Bassins allongé avec une vallée étroite et pentue

-Type peuplier (*5 < Rc < 10*) : BV nettement plus long que large, présente de nombreux affluents parallèles.

- Type pin (*10 < Rc < 20*): Caractérisé par une concentration des confluences dans le secteur amont d'où sort un tronc qui ne reçoit plus d'affluents importants.



réseau en arête de poisson

Formes du réseau hydrographique

lois de Horton → **Rapport de confluence**

Quelque *soit n, le rapport* R_c *est à peu près constant et exprime le développement du* réseau de drainage.

R_c varie de 3 à 5 pour une région où la géologie n'a aucune influence pour un bassin circulaire c'est un rapport faible avec un réseau dendritique.

Le rapport de confluence est élevé pour les bassins de forme allongé et présentant une vallée étroite et pentue avec un réseau en arête de poisson.

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.

Formes du réseau hydrographique

lois de Horton → **Rapport de longueur**

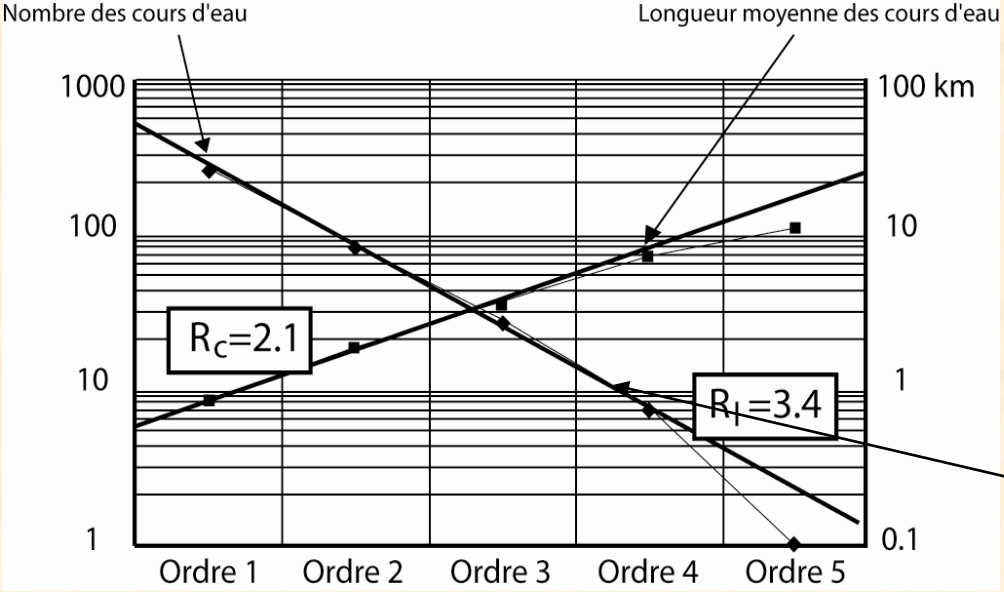
c'est le rapport des longueurs moyennes des cours d'eau d'ordre n aux longueurs moyennes des cours d'eau d'ordre n - 1

$$R_{l(n)} = \frac{longueur\ moyenne\ des\ cours\ d'eau\ d'ordre\ n}{longueur\ moyenne\ \text{des}\ cours\ d'eau\ d'ordre\ n-1} = \frac{L_n}{L_{n-1}} = Cte$$

Formes du réseau hydrographique

lois de Horton

La détermination de R_c et de R_l se fait par voie graphique en portant l'ordre des cours d'eau en fonction du nombre de cours d'eau et de leurs longueurs moyennes sur un graphique semi-logarithmique. La pente de la droite, moyenne permet de déterminer la raison de la progression géométrique.



Détermination de R_c et de R_l par voie graphique

Pente de la droite moyenne

4. Caractéristiques du réseau hydrographique
4. 2. Densité de drainage

La densité du drainage D_d est exprimée par le rapport de la longueur totale des cours d'eau (somme des L_i) permanents et temporaires à la surface du bassin versant (A). C'est un paramètre qui reflète la dynamique du bassin et le type de ruissellement.

$$D_d = \frac{\Sigma L_i}{A} (km^{-1})$$

Avec :
D_d : densité de drainage [km/km^2] ;
L : longueur de cours d'eau [km] ;
A : surface du bassin versant [km^2].

La densité de drainage dépend de la géologie, des caractéristiques topographiques du bassin et des conditions climatologiques et anthropiques.

Si D_d de l'ordre de 3 à 4 pour des régions à développement très limité

Si D_d dépasse 1000 pour des zones où l'écoulement est très ramifié avec peu d'infiltration

4. Caractéristiques du réseau hydrographique

4. 3. Densité hydrographique

La densité hydrographique représente le nombre de canaux d'écoulement par unité de surface.

$$F = \frac{\Sigma Ni}{A}$$

$$F = aD_d^2$$

Avec:
F **: densité hydrographique [km²] ;**
Ni **: nombre de cours d'eau ;**
A **: superficie du bassin [km²].**

Où *a* est un coefficient d'ajustement.

Les régions à haute densité de drainage et à haute densité hydrographique ont une roche mère imperméable, un couvert végétal restreint et un relief montagneux.

L'opposée concerne les zones à substratum très perméable, à couvert végétal important et à relief peu accentué

4. 3. **Fréquence des thalwegs d'ordre 1**

La fréquence des talwegs d'ordre 1 est le rapport du nombre total des thalwegs d'ordre 1 (n_1) à la surface du bassin versant (A).

$$F_1 = \frac{n_1}{A}(km^{-2})$$

n_1 : nombre total des thalwegs d'ordre 1

A : surface du bassin

L'endoréisme

Fréquent dans les zones arides ou karstiques pour lesquels le réseau hydrographique n'est relié à aucun autre réseau.

L’eau est alors acheminée et concentrée en une surface d’eau libre; un lac ou une mare soumise à l’évaporation.

Dans d’autres cas où le substratum est perméable l’eau s’infiltre et s’écoule vers l’extérieure du bassin par les nappes souterraines.

4. Caractéristiques du réseau hydrographique

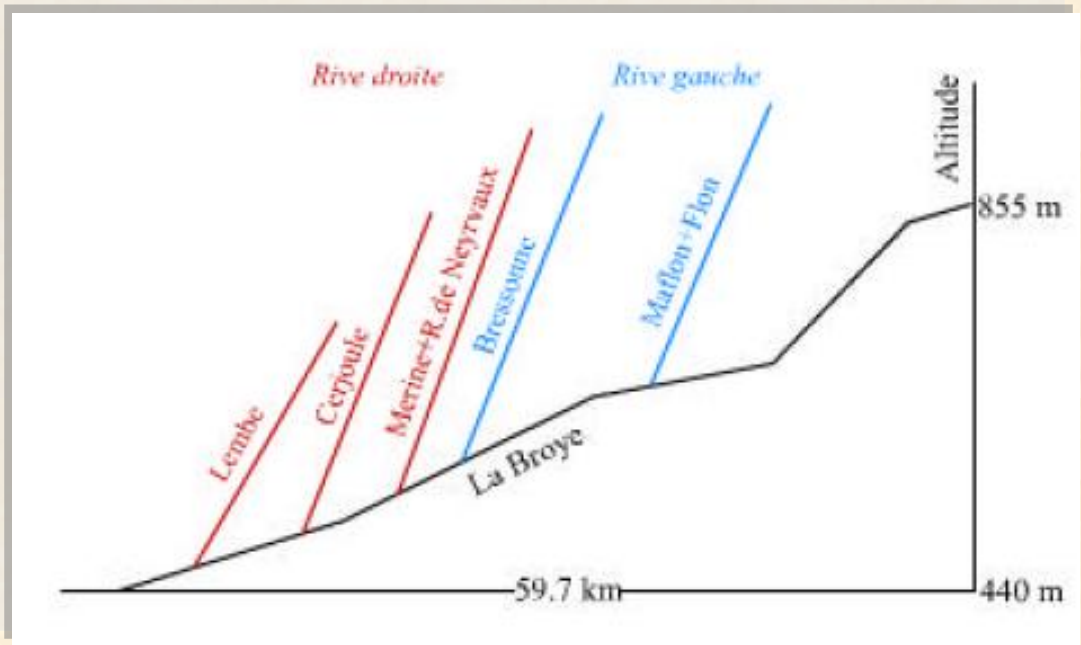
0rdre	Nombre N_x	Longueur L_x	Longueur moy l_x	Rapport conf R_c	Densité de drain D_d
3	2985	707,99	0,24	4	3.83
4	1590	432,32	0,27		
5	654	180,92	0,28		
6	260	111,73	0,43		
7	47	51,74	1,10		
8	3	33,23	11,08		

Indices de pente du bassin versant de Sidi Chiker.

4. Caractéristiques du réseau hydrographique

4. 5. Profil en long

Le profil en long d'un réseau hydrographique est une représentation graphique qui porte en abscisses les longueurs développées à partir d'un point donné de référence et en ordonnées les altitudes de l'eau dans le cours d'eau principal et dans ses affluents (soit par nivellement sur le terrain ou à partir des cartes topographiques).



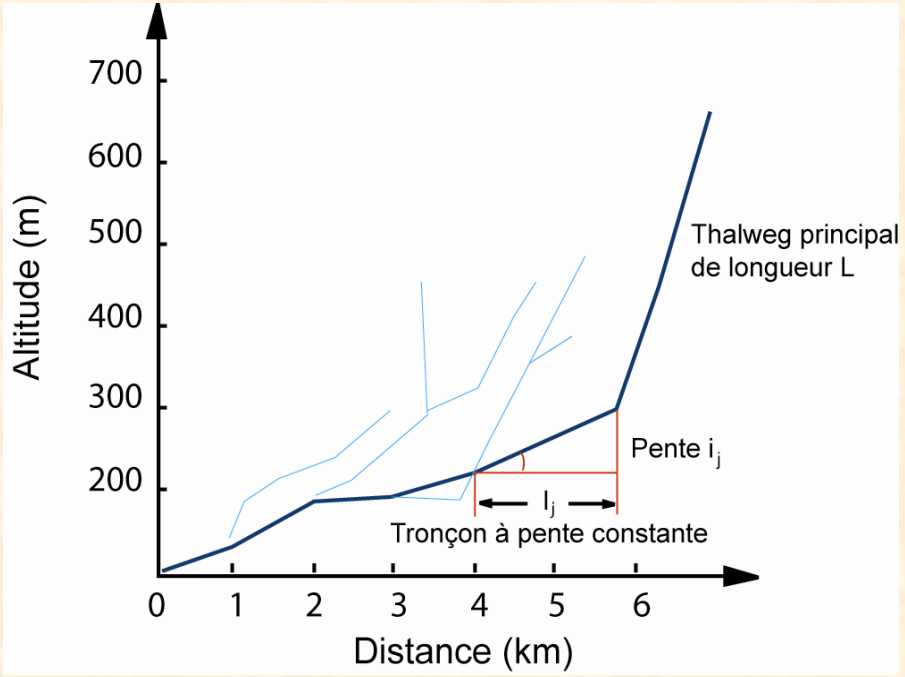
Profil en long de la Broye avec représentation de ses affluents

4. Caractéristiques du réseau hydrographique
4. 5. Profil en long

Le profil en long permet de calculer la pente moyenne du cours d'eau qui détermine la vitesse avec laquelle l'eau arrive à l'exutoire. Cette vitesse permet d'estimer le temps de concentration qui influence le débit maximal observé

Profil en long → **permet de calculer la pente moyenne du cours d'eau qui détermine la vitesse avec laquelle l'eau arrive à l'exutoire** → **estimation du temps de concentration qui influence le débit maximal observé**

Une pente forte favorise et accélère l'écoulement superficiel, tandis qu'une pente douce ou nulle donne à l'eau le temps de s'infiltrer, entièrement ou en partie, dans le sol.



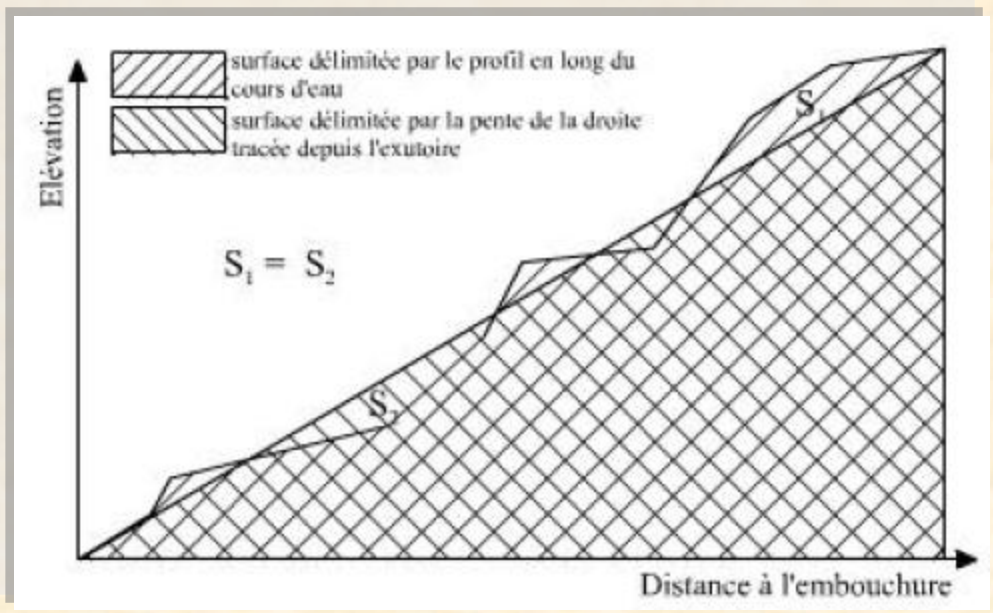
4. Caractéristiques du réseau hydrographique

4. 5. Profil en long

Deux méthodes de calcul de la pente

La pente moyenne du cours d'eau 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, tandis qu'une pente douce ou nulle donne à l'eau le temps de s'infiltrer, entièrement ou en partie, dans le sol.

La première méthode de calcul des pentes moyennes ou partielles de cours d'eau consiste à diviser la différence d'altitude entre les points extrêmes du profil par la longueur totale du cours d'eau.



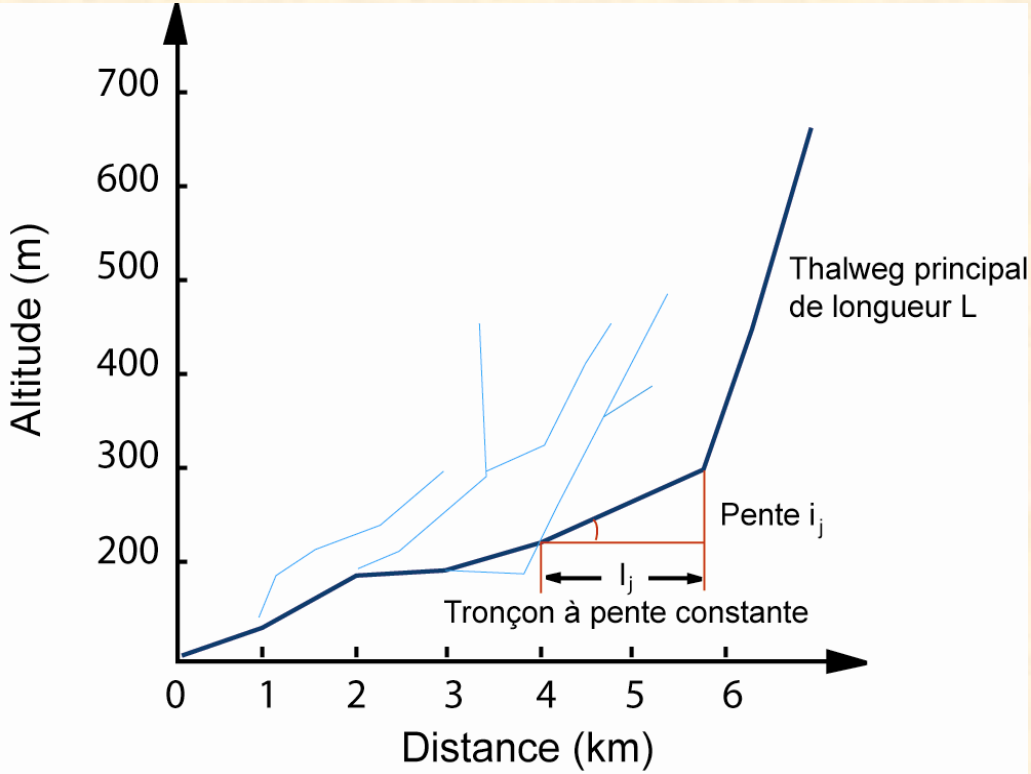
$$P_{moy} = \frac{\Delta H_{max}}{L}$$

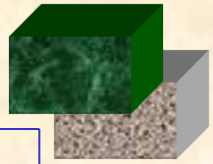
4. Caractéristiques du réseau hydrographique
4. 5. Profil en long

Une deusième méthode consiste à décomposer le profil en long en tronçons de pente, constante. La pente moyenne est considérée comme étant la pente qui provoquerait la même vitesse de propagation V. Comme V varie en fonction de la racine carrée de la pente du bassin versant $\sqrt{I}$, *le temps T varie en fonction de 1/2 donc comme* $\frac{1}{\sqrt{I}}$ la pente moyenne est donc calculée par la formule suivante:

$$\frac{1}{\sqrt{I}} = \frac{1}{L}\sum_{j=1}^{n}\frac{l_j}{\sqrt{i_j}}$$

I : pente moyenne,
L : longueur total découpée en n tronçons j
l_j : longueur du tronçon j,
i_j : pente constante du tronçon





La couverture végétale

La couverture végétale protège le sol de l'érosion et influence considérablement l'écoulement de surface. Son action se joue à deux niveaux:

Interception d'une partie des eaux des précipitations dont une part est restituée à l'atmosphère par l'évapotranspiration,

Retardement du ruissellement et atténuation des crues par un couvert végétal dense

L'action du couvert végétal peut être également décelé à travers le coefficient de ruissellement (C_r).

Le coefficient de ruissellement :

$$C_r = \frac{Hauteur\ d'eau\ ruisselée\ (mm)}{Hauteur\ d'eau\ précipitée\ (mm)}$$

Comparé pour différents types de couvertures de sols,
Il est faible (0.1 à 0.2) pour des régions boisées ou cultivée
Il est élevé pour les rochers et les routes (0.7 à 0.9).
Ce coefficient dépend également de la pente du type de sol et son épaisseur.

La géologie et la pédologie du bassin versant

nature lithologique

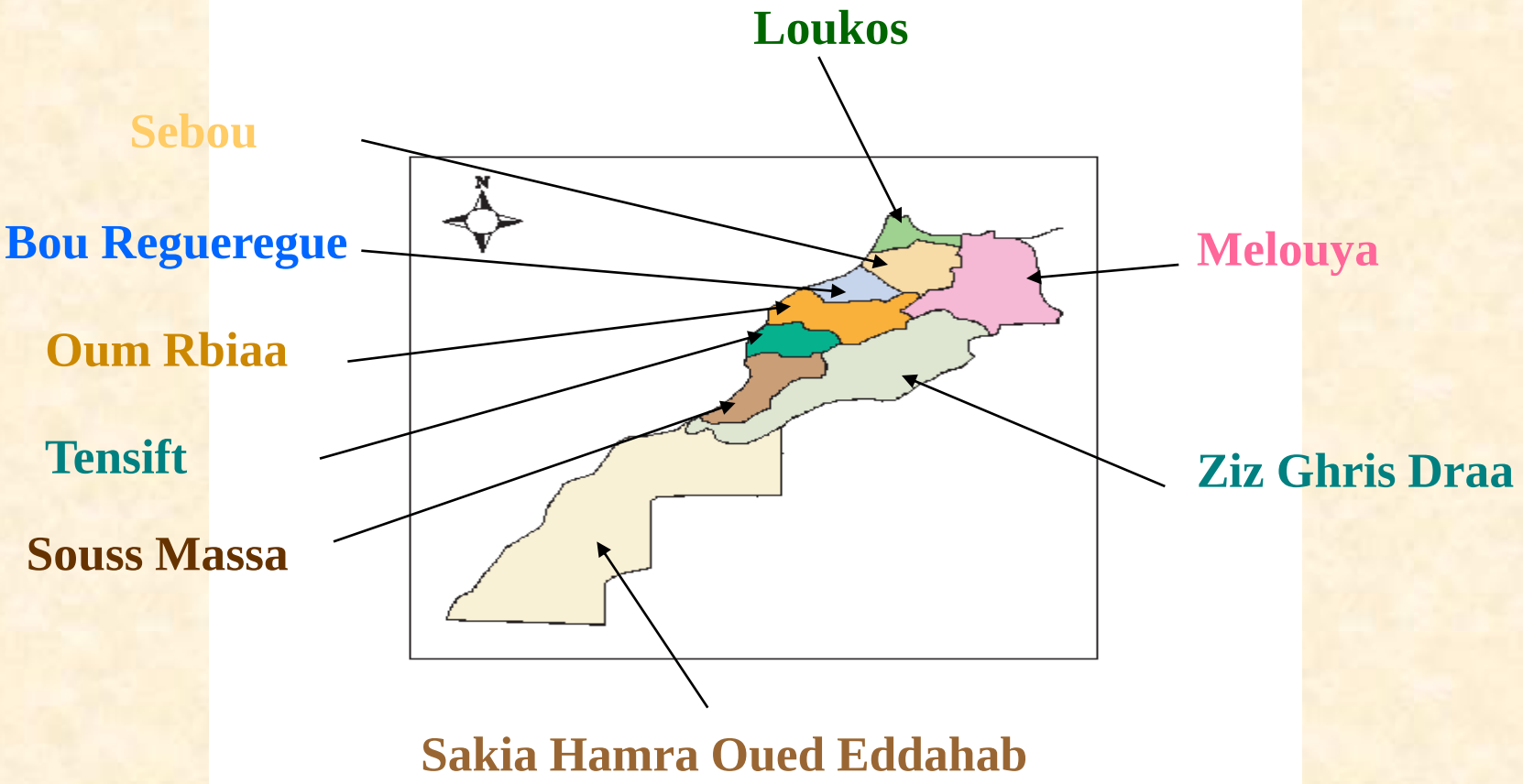
perméabilité du terrain

vitesse et volume du ruissellement

maintient du débit de base en période d'étiage

La géologie agit sur le ruissellement superficiel et sur l'écoulement souterrain. La nature lithologique détermine la perméabilité du terrain.

Pour une même averse le ruissellement est plus violent et la crue plus rapide pour un bassin imperméable que pour un bassin perméable.

En plus de la vitesse et du volume du ruissellement, la perméabilité agit également sur le débit de base en période de sécheresse. Dans un bassin perméable les nappes souterraines maintiennent plus longtemps, le débit de base des cours d'eau en période d'étiage.

6. bassins versant au Maroc