

CHAPITRE 2 : LE BASSIN VERSANT ET SON COMPLEX

2.1. Définition du bassin versant

2.2. Comportement hydrologique

2.2.1. Le temps de concentration

2.2.2. Les courbes isochrones

2.3. Caractéristiques physiques et leurs influences sur l'écoulement des eaux

2.3.1. Les caractéristiques géométriques

2.3.1.1. La surface

2.3.1.2. La forme

2.3.1.3. Le relief

a. La courbe hypsométrique

b. Les altitudes caractéristiques

c. La pente moyenne du bassin versant

d. Rectangle équivalent

e. L'indice de pente i_p

2.3.2. Le réseau hydrographique

2.3.2.1. La topologie : structure du réseau et ordre des cours d'eau

2.3.2.2. Les longueurs et les pentes caractéristiques du réseau

2.3.2.3. Le degré du développement du réseau

2.3.3. Les caractéristiques agro-pédo-géologiques

2.3.3.1. La couverture du sol

2.3.3.2. La nature du sol

2.3.3.3. La géologie du substratum

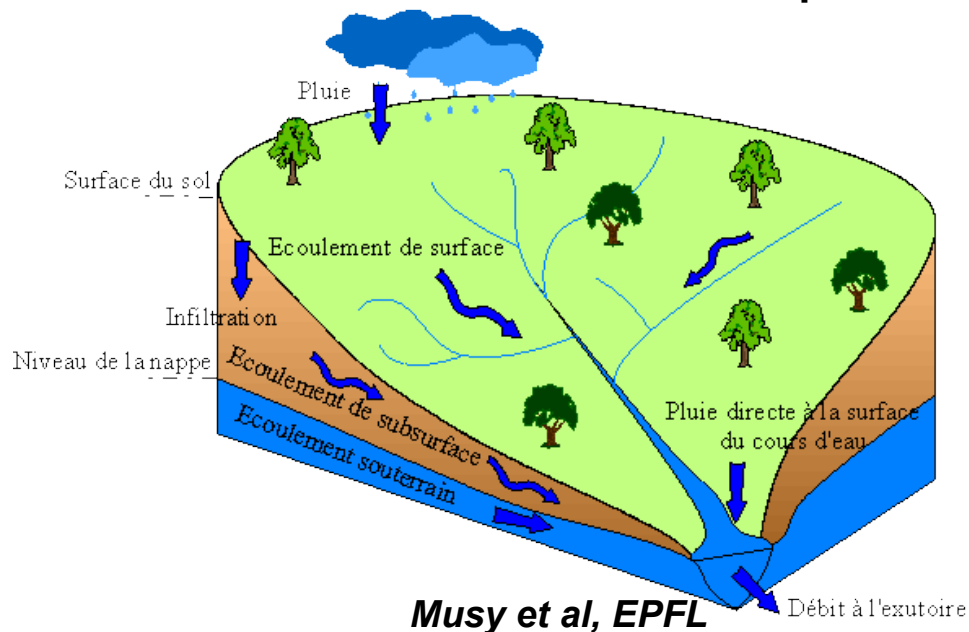
2.4. Informations digitales et modèles numériques

§ 2.1. Définition du bassin versant

- Le BV en un point ou plus précisément dans une section droite d'un cours d'eau
= totalité de la surface topographique drainée par ce cours d'eau et ses affluents à l'amont de cette section.
- Chaque bassin est séparé de ceux qui l'environnent par une ligne de partage des eaux.
- Généralement, la ligne de partage des eaux correspond à la ligne de crête.

On parle alors de *bassin versant topographique*

- Cette limite sera tracée sur une carte en CN en suivant les lignes de crête délimitant le bassin et ne traversera le cours d'eau qu'au droit de la section considérée.



Distinction **bassin versant topographique** / **bassin versant réel**

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 topographique.

Il est appelé dans ce cas *bassin versant réel*.

- La différence entre bassins réel et topographique est tout particulièrement importante en région karstique

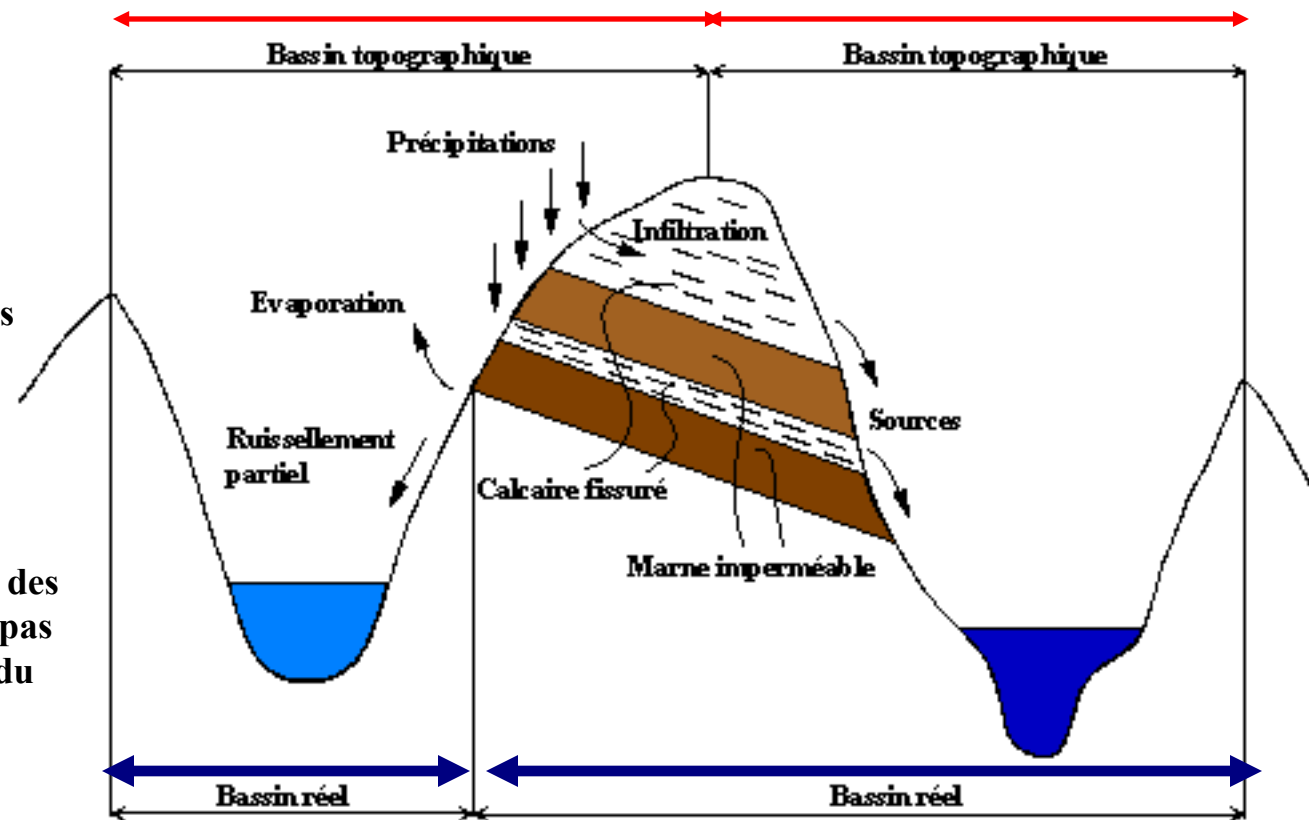
Exemple :

BV réel > BV topographique

le cours d'eau est alimenté par des circulations souterraines en provenance des bassins voisins.

BV réel < BV topographique

Les eaux de surface aboutissent à des gouffres ou à des lacs qui ne sont pas reliés au réseau hydrographique du cours d'eau principal.



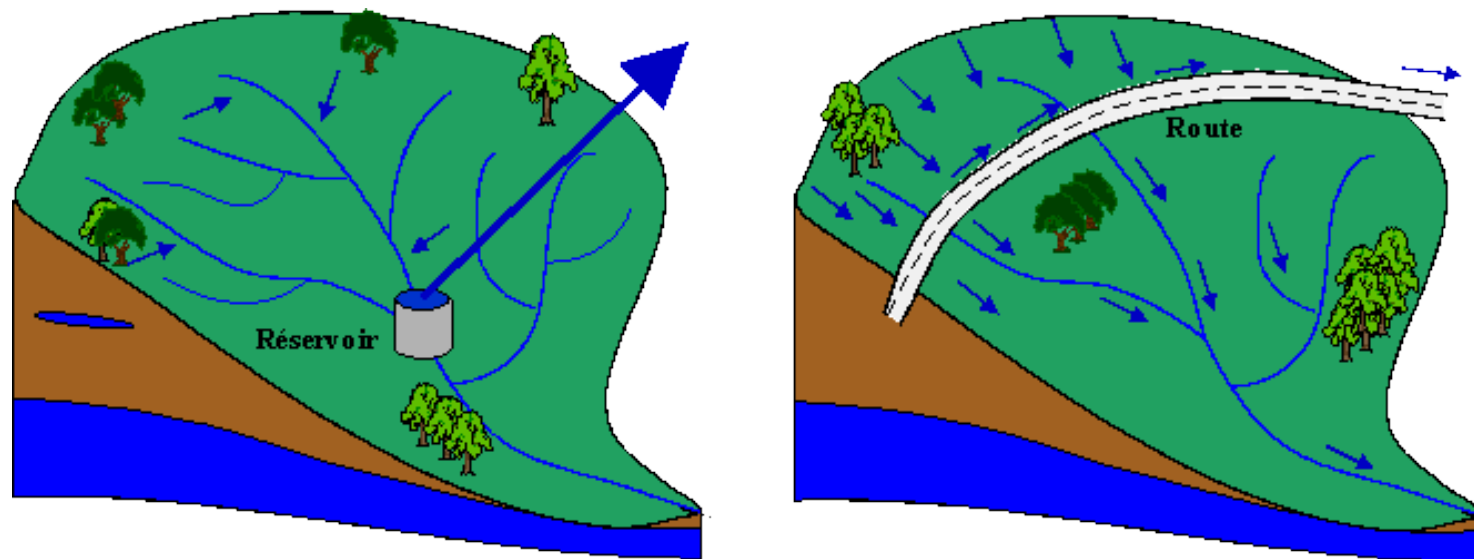
Exutoire du bassin versant

- En général un bassin possède un exutoire unique, mais il y a deux exceptions :
 - plus d'un exutoire lorsqu'ils sont pourvus d'un lac possédant plusieurs sorties (surtout lorsque les eaux sont hautes)
 - Aucun exutoire : accumulation de l'eau dans un lac, évapotranspiration et échanges souterrains (Mer d'Aral, Mer Morte, Grand Lac Salé)

BV naturel / BV anthropisé

Lorsque l'on s'intéresse au ruissellement, la délimitation du bassin versant doit aussi tenir compte des barrières artificielles (routes, chemins de fer, etc.).

L'hydrologie du bassin versant, et notamment la surface drainée, peuvent être modifiées par la présence d'apports latéraux artificiels (réseaux d'eaux usées ou potables, drainages, routes, pompages ou dérivations artificielles modifiant le bilan hydrologique).



§ 2.2. Comportement hydrologique du bassin face à une précipitation

- étudié par l'analyse de l'hydrogramme de crue (ou du limnigramme)

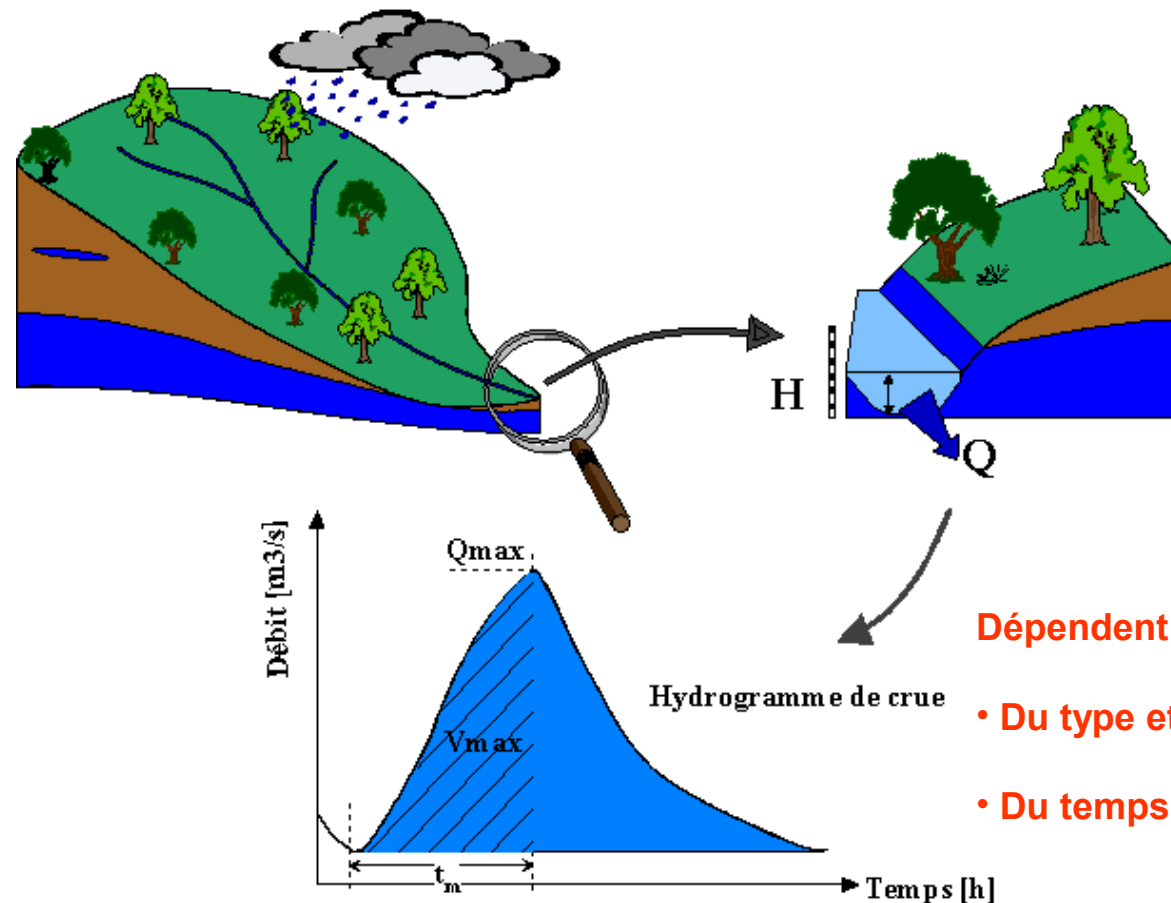
2 caractéristiques :

Vitesse
(t_m – temps de montée)

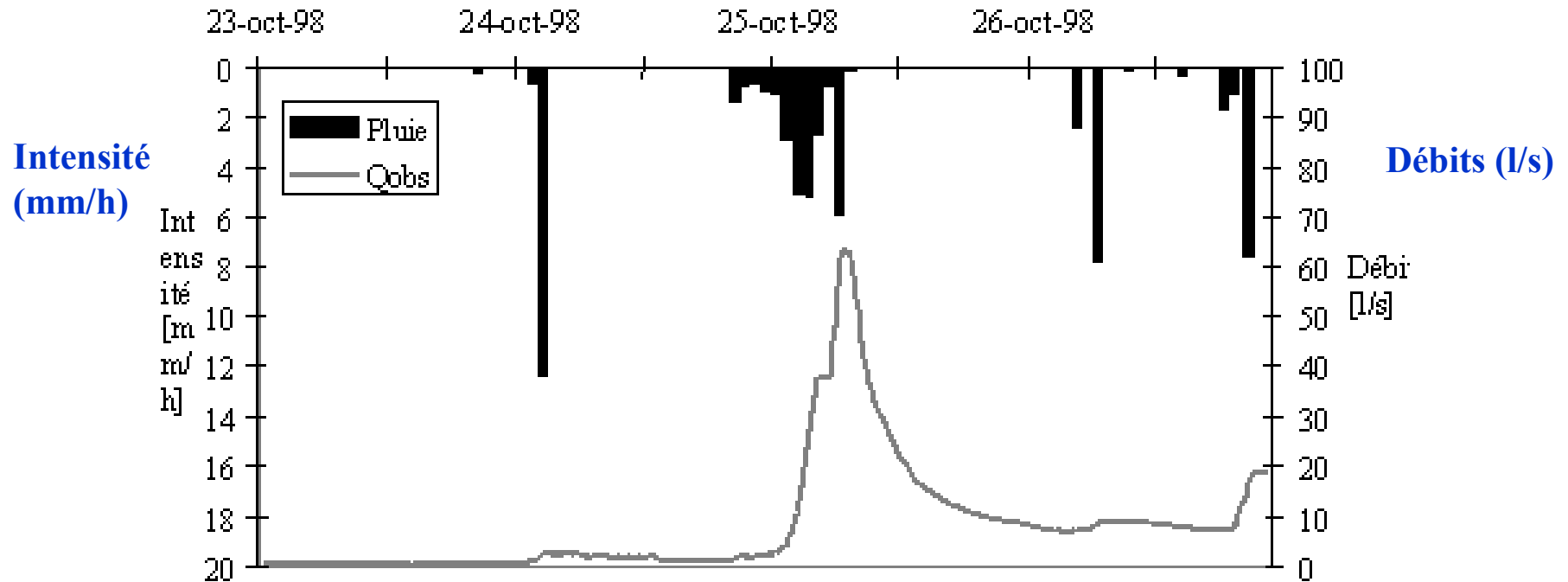
Intensité
(Q_{max} , Volume max)

Dépendent :

- Du type et de l'intensité des précipitations
- Du temps de concentration des eaux sur le bassin



Un exemple d'hydrogramme de crue résultant d'un hyétogramme donné



- **hydrogramme :** La représentation graphique de l'évolution du débit Q en fonction du temps t
- **limnigramme :** La représentation de la hauteur d'eau mesurée en fonction du temps
- **hyétogramme :** La représentation de l'intensité de la pluie en fonction du temps.

§ 2.2.1. Définition du temps de concentration des eaux sur un bassin (tc)

Tc = le maximum de durée nécessaire à une goutte d'eau pour parcourir le chemin hydrologique entre un point du bassin et l'exutoire de ce dernier.

$$T_c = T_h + T_r + T_a$$

Th = tmp nécessaire à l'imbibition du sol par l'eau qui tombe avant qu'elle ne ruisselle

Tr = tmp qui correspond à la durée d'écoulement de l'eau à la surface ou dans les premiers horizons de sol jusqu'à un système de collecte (cours d'eau, collecteur)

Ta = tmp mis par l'eau se déplacer dans le système de collecte jusqu'à l'exutoire

Détermination :

À partir de l'hydrogramme de crue

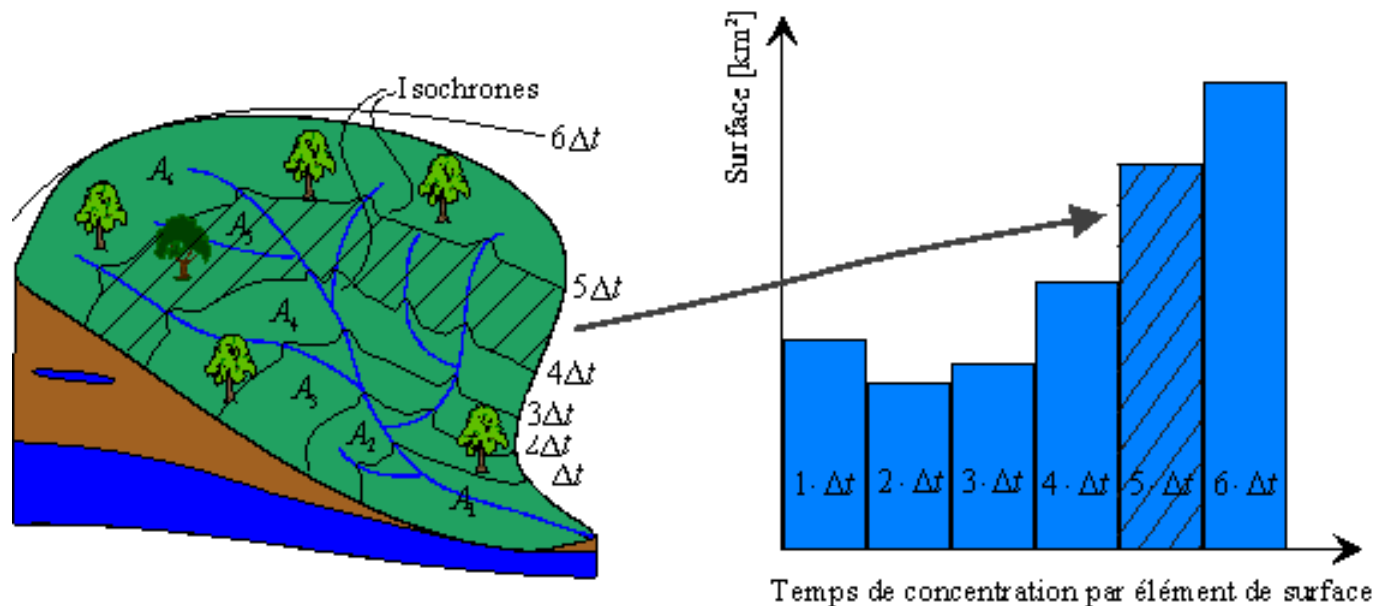
Formules empiriques

§ 2.2.2. Les courbes isochrones

Les courbes isochrones représentent les courbes d'égal temps de concentration des eaux sur le bassin versant.

Ainsi, l'isochrone la plus éloignée de l'exutoire représente le temps mis pour que toute la surface du bassin versant contribue à l'écoulement à l'exutoire après une averse uniforme.

Le tracé du réseau des isochrones permet donc de comprendre en partie le comportement hydrologique d'un bassin versant et l'importance relative de chacun de ses sous-bassins.



§2.3.1.1. Caractéristiques géométriques / Surface du bassin versant

Connaître la superficie du bassin versant : Pourquoi ?

- **toute étude hydrologique implique un calcul de bilan
les termes du bilan doivent être exprimés dans la même unité**
- **l'étendue du BV drainé par un cours d'eau commande directement le débit**

Pour un même fleuve :

- **le débit et le module s'accroissent vers l'aval avec la superficie drainée, alors que**
- **le débit spécifique ($l/s/km^2$) tend à diminuer vers l'aval**

Déterminer la surface du bassin versant :

- **mesure par superposition d'une grille dessinée sur papier transparent,**
- **utilisation d'un planimètre ou, mieux,**
- **utilisation des techniques de digitalisation.**

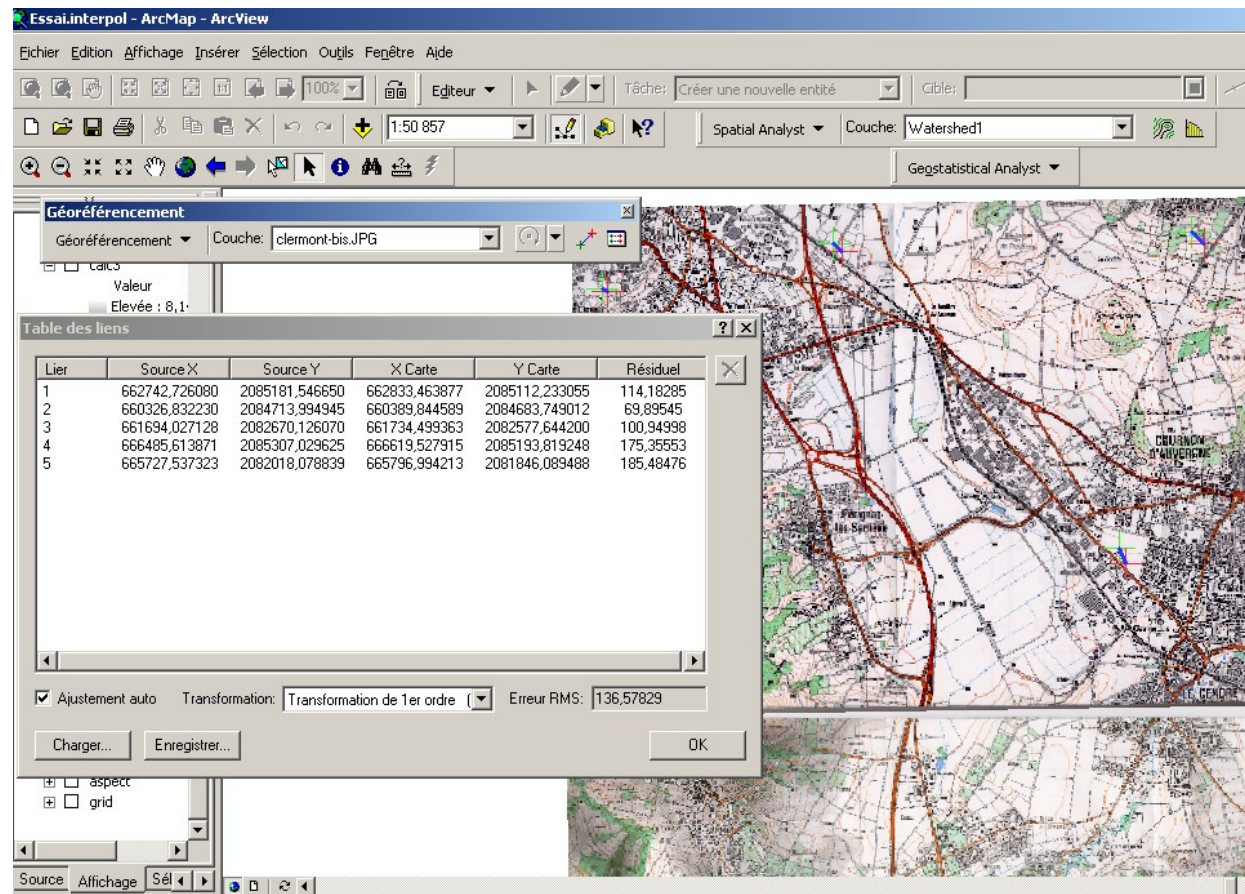
Unités : km^2 ou ha

Utilisation des techniques de digitalisation

1. Cartes topographiques IGN au 25/000 (1 cm sur la carte = 250 m sur le terrain)
2. Étude des limites du bassin sur un calque superposé à la carte topographique
3. Scanner les cartes IGN
4. Géoréférencement des images
5. Digitalisation du contour du bassin versant

Deux possibilités :

- Digitalisation sur une table à digitaliser à partir des cartes IGN
- Digitalisation à l'écran à partir des images scannées



Relief et réseau hydrographique du bassin de Vogüé



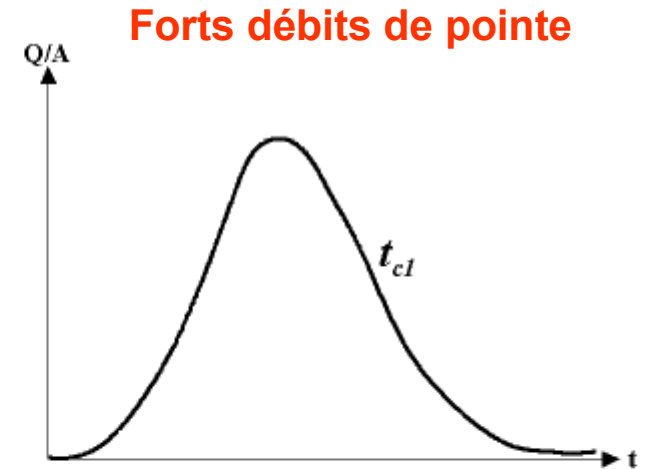
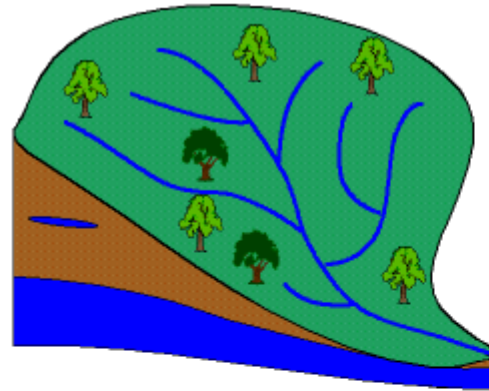
§ 2.3.1.2. La forme du bassin versant

La forme d'un bassin versant influence l'allure de l'hydrogramme à l'exutoire du bassin.

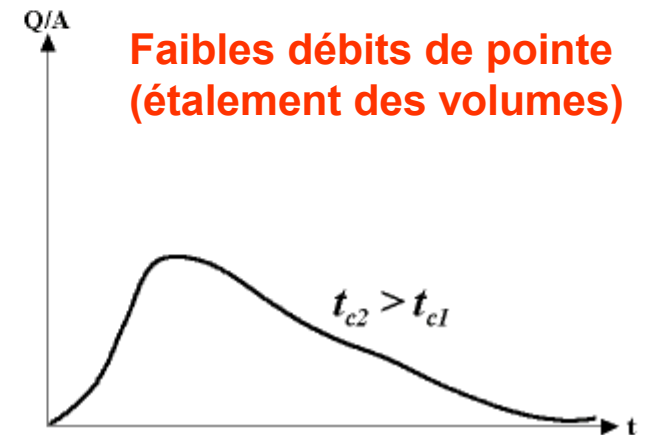
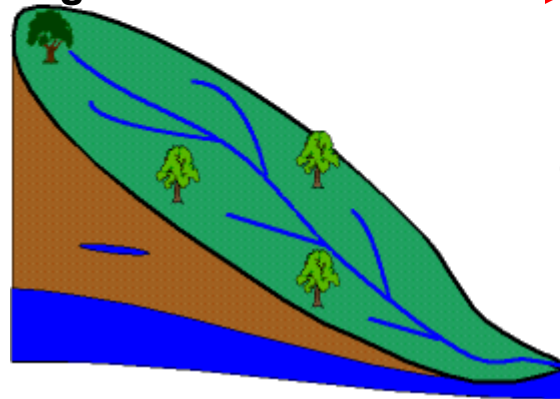
Pour une même superficie et pour une même averse :

hydrogramme très différent

- bassins en forme d'éventail



- bassins de forme allongée

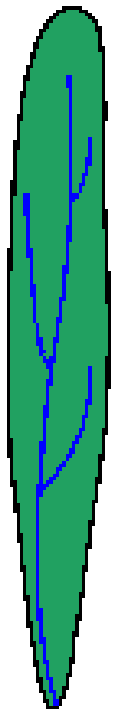


Ce phénomène est lié à la notion de temps de concentration.

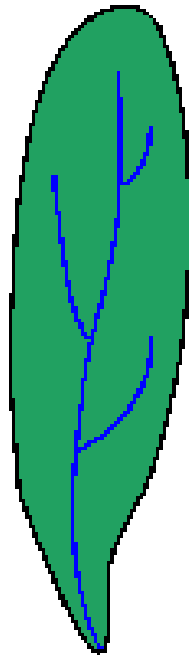
- caractériser la forme du bassin
- comparer les bassins versants entre eux

Indice de Gravelius (1914) = le rapport du périmètre du bassin au périmètre du cercle ayant la même surface

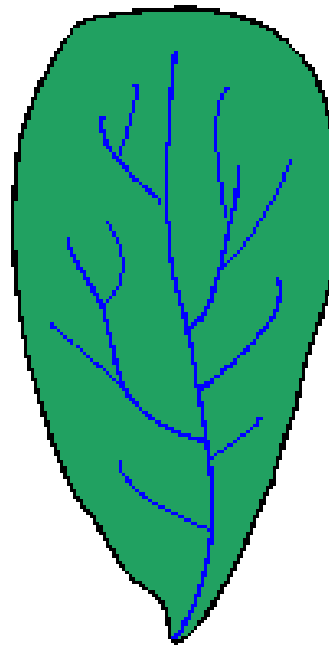
$$K_G = \frac{P}{P'} = \frac{P}{2 * \pi * R'} = \frac{P}{2 * \sqrt{\pi} * A} \approx 1,28 * \frac{P}{\sqrt{A}}$$



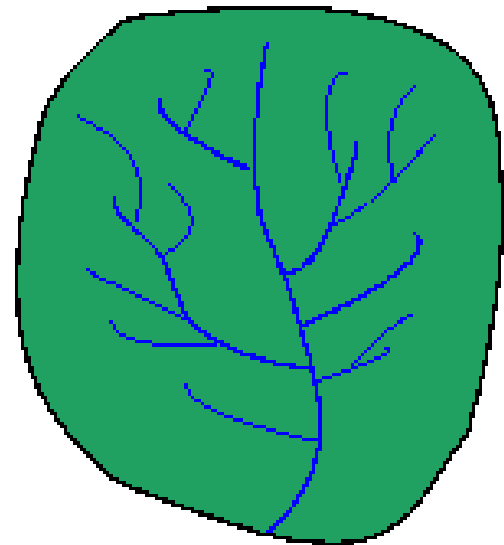
$$K_G = 1,6$$



$$K_G = 1,3$$



$$K_G = 1,2$$

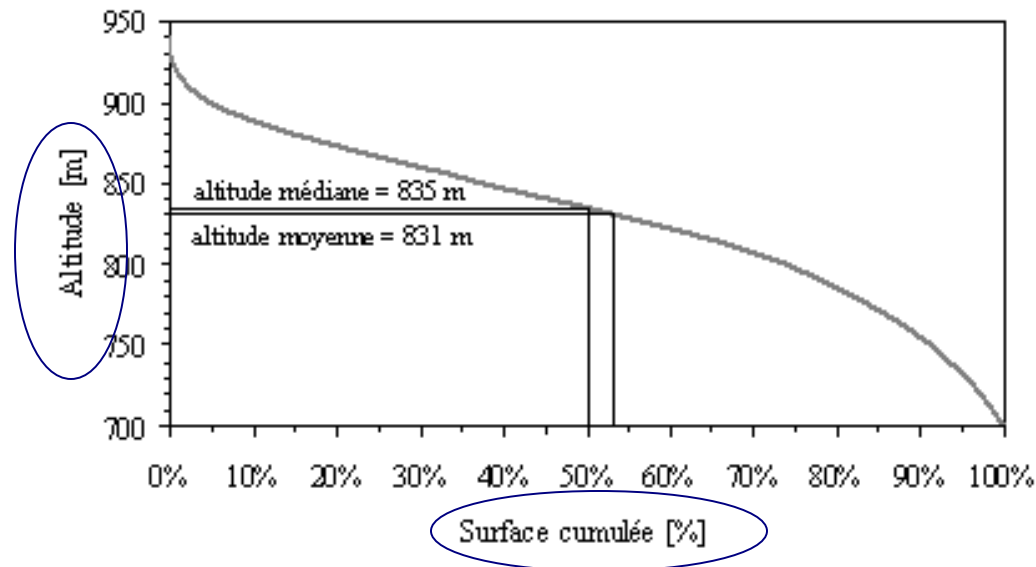


$$K_G = 1,1$$

Représente la répartition de la surface du bassin en fonction de son altitude.

- 1) Polygones des fréquences altimétriques
- 2) Courbe hypsométrique

2) Elle exprime la superficie du bassin ou le % de superf. au-delà d'une certaine altitude



Détermination de la courbe hypsométrique :

Planimétrie des surfaces comprises entre certaines tranches d'altitudes

Altitudes maximales et minimales

Elles sont obtenues directement à partir de cartes topographiques

Altitudes moyenne (cf . Démonstration)

$$\bar{h} = \sum \frac{A_i * h_i}{A}$$

Hmoy : altitude moyenne du bassin (m)

Ai : aire comprise entre deux courbes de niveau (km²)

hi : altitude moyenne entre deux courbes de niveau

A : superficie totale du bassin versant (km²)

Altitude médiane

Correspond à l'altitude lue au point d'abscisse 50 % de la surface totale du bassin, sur la courbe hypsométrique

La pente moyenne donne une bonne indication sur le temps de parcours du ruissellement direct - donc sur le temps de concentration t_c - et influence directement le débit de pointe lors d'une averse.

Méthodes d'évaluation :

⇒ Par lecture d'une carte topographique : des formules de calcul

$$1) \quad i_m = \frac{h_{\max} - h_{\min}}{P/\sqrt{2}}$$

i_m = pente moyenne [m/km ; ‰]

P = périmètre du bassin

$$2) \quad i_m = \frac{D * L}{A}$$

D = équidistance entre deux CN [m]

L = longueur totale des CN [m]

A = surface du bassin versant [km²]

⇒ A partir des données numériques représentant la topographie des bassins versants

(Modèle Numérique de d'Altitude)

Soit P le périmètre du bassin versant et A sa superficie.

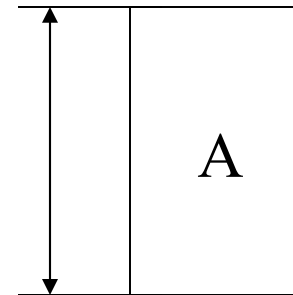
Le rectangle équivalent est un rectangle de longueur L et largeur I de même superficie A

et de même périmètre P que le bassin réel.

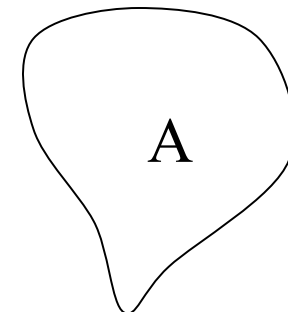
$$\begin{cases} 2(L + I) = P \\ L * I = A \end{cases}$$



$$L = ?$$

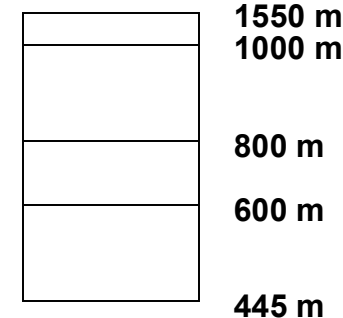
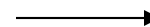


$$I = ?$$



échelle

On peut placer sur ce rectangle des lignes de niveau de telle sorte que le rectangle équivalent ait même répartition hypsométrique



Permet de comparer facilement des bassins versants entre eux.

Il se calcule à partir du rectangle équivalent.

Il est égal à la somme des racines carrées des pentes moyennes de chacun des éléments pondérés par la surface intéressée.

Soit x_i la distance qui sépare deux courbes de niveau sur le rectangle (m);

Soit L la longueur du rectangle équivalent (m);

$$Ip = \frac{1}{\sqrt{L}} \sum_{i=1}^n \left[x_i * \sqrt{\frac{h_{\gamma}^i - h_{\gamma}^i}{x_i}} \right]$$

[%]



Pente moyenne d 'un élément

[%]

② Variables morphométriques

- Aire de drainage (A) 

- Périmètre (P) 

- Longueur (Lo) et largeur (La) 

- Longueur du chenal principal (Lc) 

Loi de Hack (1957) : $L_c = 1.4A^{0.6}$

- La forme du bassin :

Circularité : $R_c = 4\pi A / P^2$

Élongation : $E = 2(A / \pi)^{0.5} / L_o$

- La pente (S)

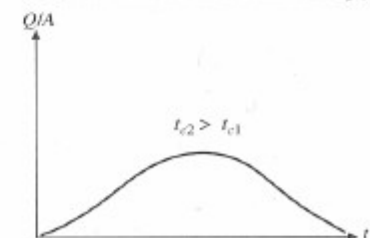
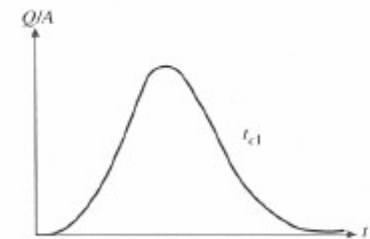
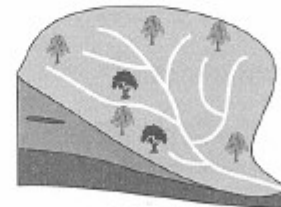
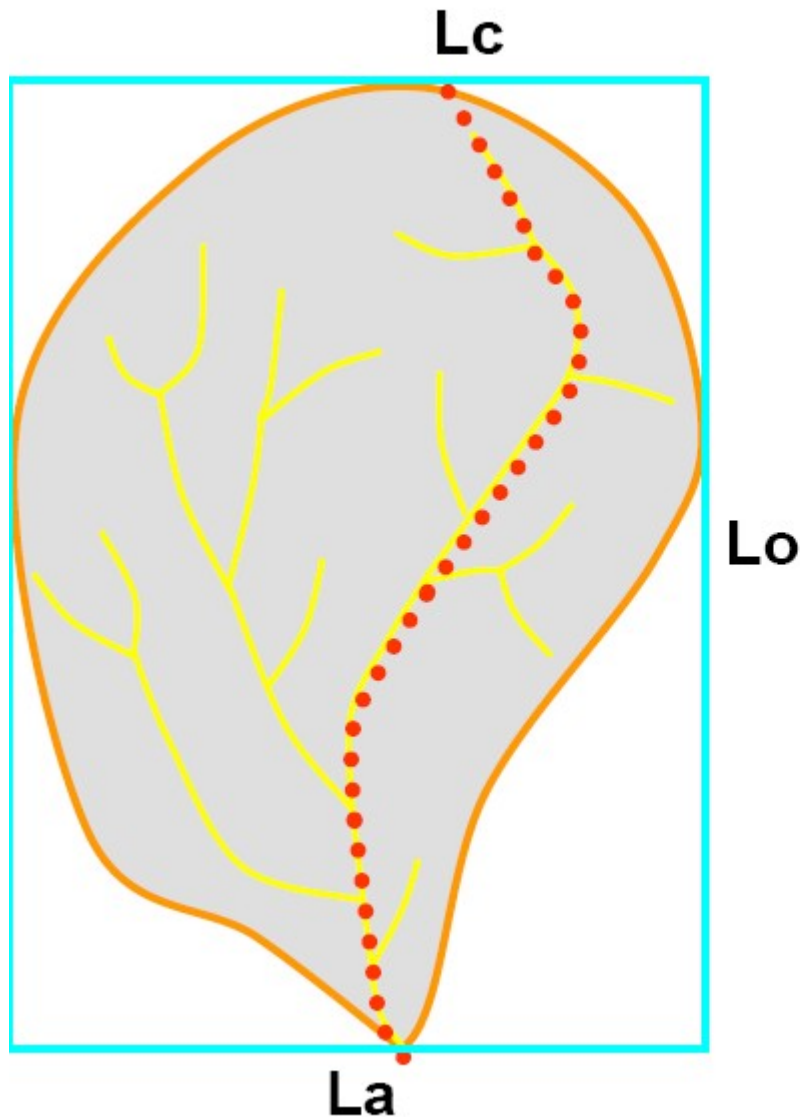
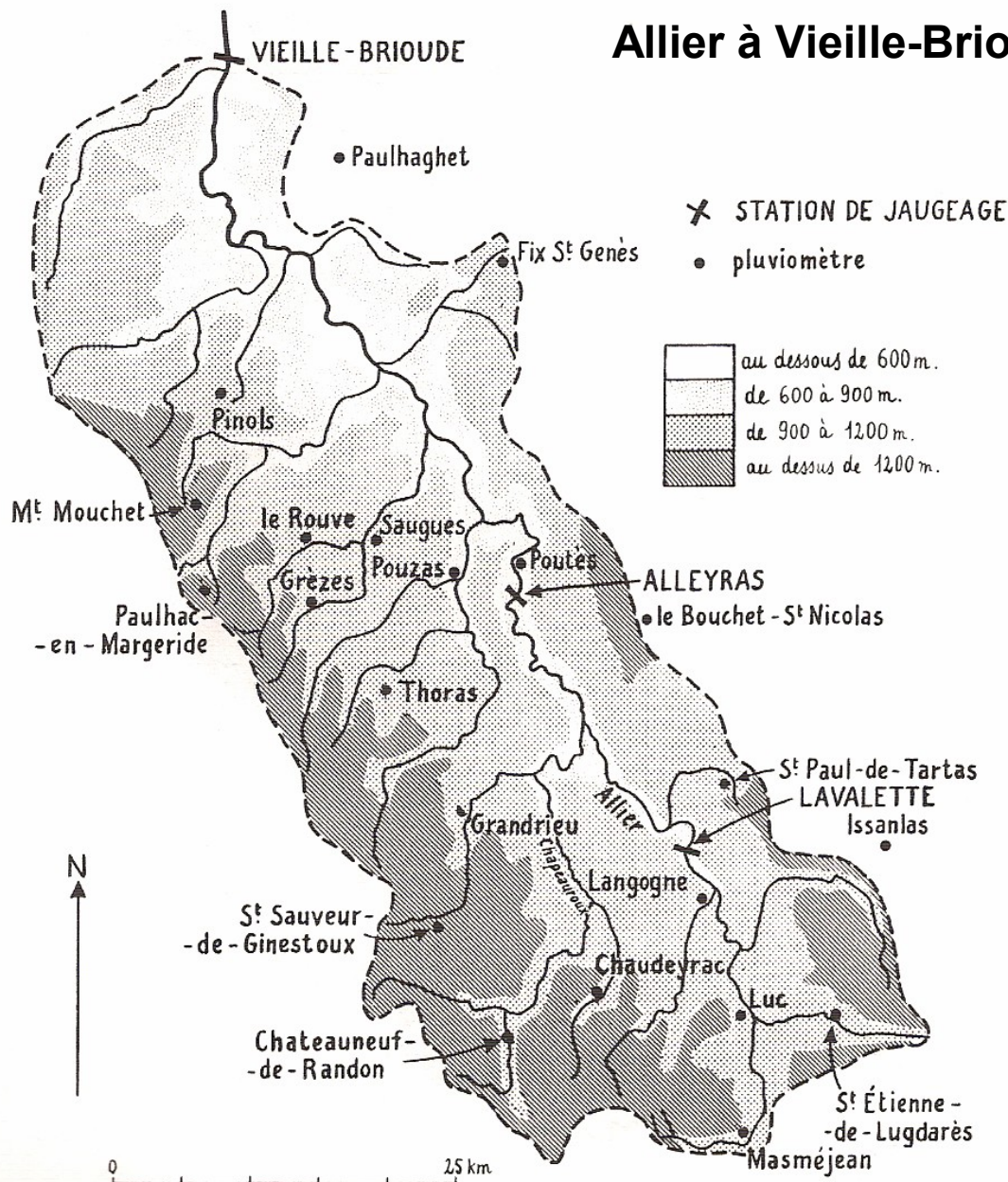


Fig. 3.9 Influence de la forme du bassin versant sur l'hydrogramme de crue.

Hypsométrie des bassins versants

Allier à Vieille-Brioude



Superficie 2.260 km²

Altitude minimum 428 m

Altitude maximum 1554 m

Dénivellation 1126 m

Altitude moyenne 1037 m

Altitude maximum 1,50

Altitude moyenne

Indice de compacité Kc 1,53

Nature du substratum

Gneiss, Micaschistes 28%

Granite 52%

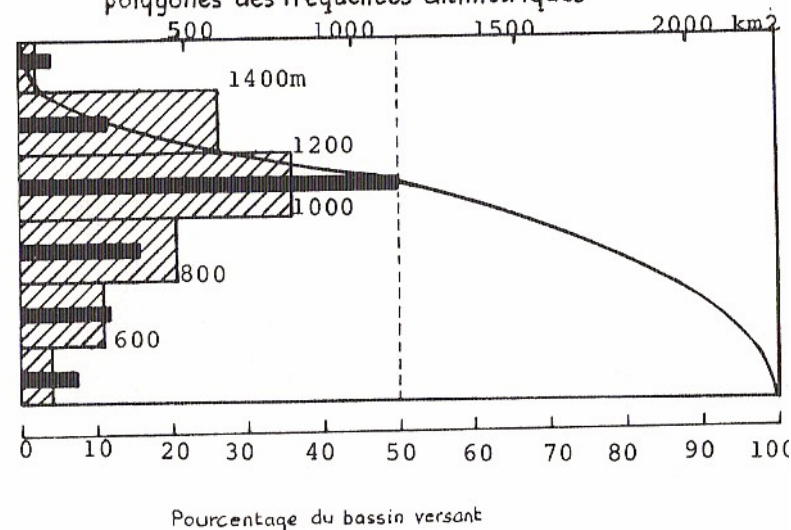
Basaltes 20%

Terrains sédimentaires

Alluvions récentes

Caractéristiques morphologiques

Courbe hypsométrique et
polygones des fréquences altimétriques



2.3.3.1. La couverture du sol

La couverture végétale

- la forêt régularise le débit des cours d'eau et amortit les crues de faibles et moyennes amplitudes ; action réduite sur les débits extrêmes
- le sol nu favorise un ruissellement rapide et une érosion imp.

Indice de couverture forestière K

$$K = \frac{\text{surface des forêts}}{\text{surface du bassin}} * 100$$

On peut calculer ce type d'indice avec d'autres couvertures végétales telle que les cultures.

Surfaces d'eau libre

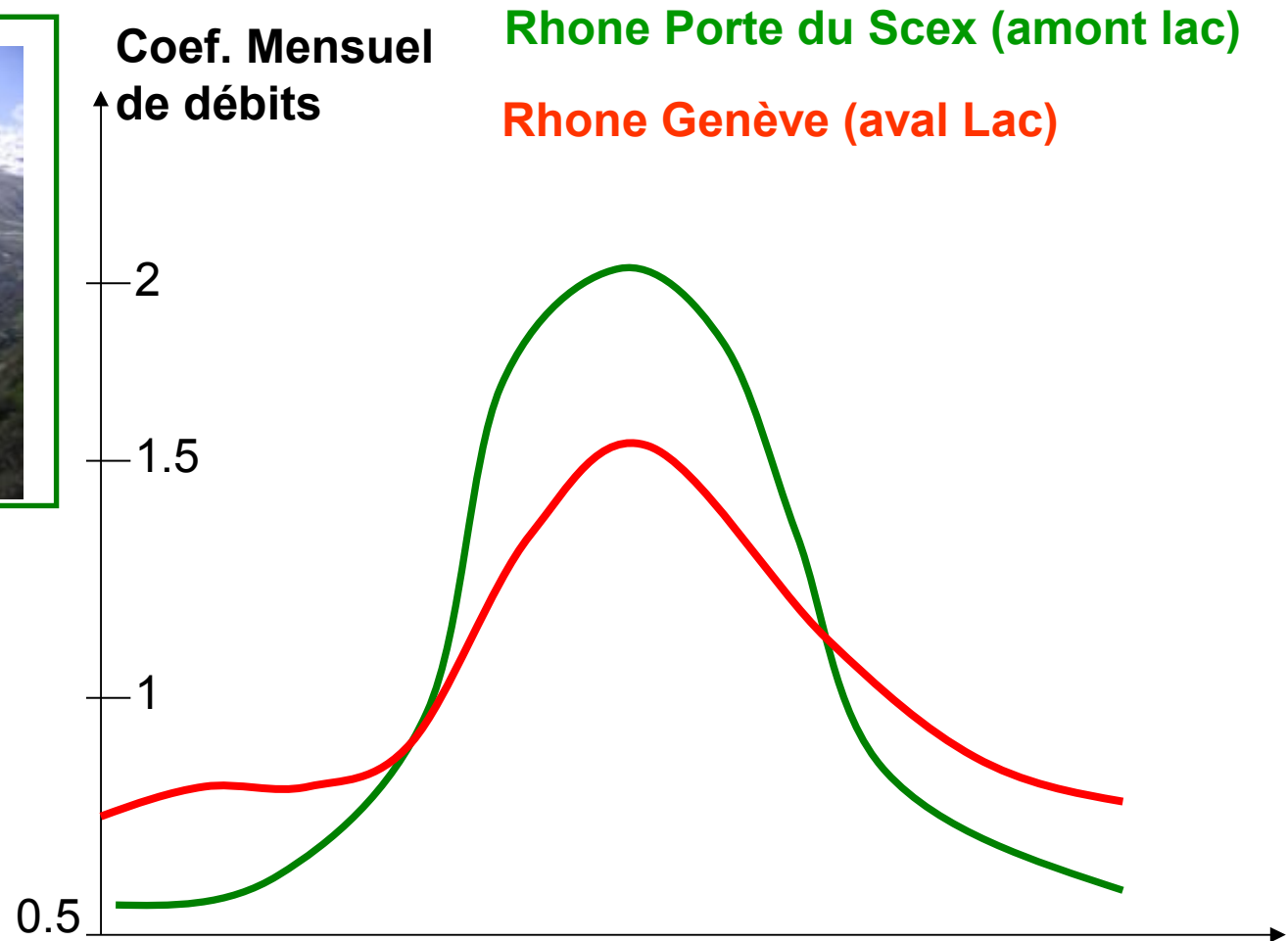
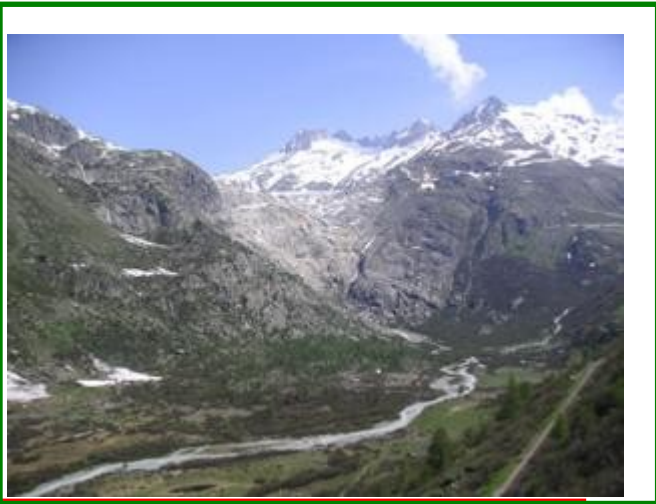
- jouent un rôle important du fait de leur capacité de stockage temporaire d'un certain volume d'eau.
- laminage des crues = réduction du débit de pointe de la crue

Un indice analogue à celui de la couverture forestière

La neige et les glaciers

- fonte rapide de la neige
- génèrent des crues de débâcle de glace ou d'embacle

Effet de laminage d'un plan d'eau



Rhone en amont et en aval du lac Lemman

2.3.3.1. La couverture du sol

Les surfaces urbanisées

- augmentent le volume écoulé
- diminuent le temps de concentration
- réduisent les infiltrations et la recharge des nappes

$$\text{Taux d'imperméabilité} = \frac{\text{surface imperméable}}{\text{surface du bassin}} * 100$$

Le coefficient de ruissellement

$$C_r = \frac{\text{Hauteur d'eau ruissellée (mm)}}{\text{Hauteur d'eau précipitée (mm)}} * 100$$

Bois	Cr = 10 %
------	-----------

Près, champs cultivés	Cr = 20 %
-----------------------	-----------

Vignes, terrains nus	Cr = 50 %
----------------------	-----------

Rochers	Cr = 70 %
---------	-----------

Routes sans revêtement	Cr = 70 %
------------------------	-----------

Routes avec revêtement	Cr = 90 %
------------------------	-----------

Villages, toitures	Cr = 90 %
--------------------	-----------

• valeurs à prendre avec précaution

• d'autres types de facteurs

2.3.3.2. La nature du sol

2.3.3.3. La géologie du substratum

La nature du sol intervient sur la rapidité de montée des crues et sur leur volume.

Le taux d'infiltration, l'état d'humidité, la capacité de rétention, le Cr sont fonction du type de sol et de son épaisseur.

	Cultures Cr	Paturages Cr	Bois, Forets Cr
Sols sableux ou graveleux Fort taux d'infiltration	20%	15%	10%
Limons Infiltration moyenne	40%	35%	30%
Sols argileux Sols peu profonds sur le substratum Faible taux d'infiltration	50%	45%	40%

L'état d'humidité du sol

- difficile à mesurer car très variable dans l'espace et dans le temps
- utilisation des indices caractérisant les conditions d'humidité antécédentes à une pluie : cumul de précipitation au cour d'une période précédant un événement

IPA = indices de Précipitations Antécédentes

La géologie du substratum

Écoulement souterrain et de surface

Nature lithologique et structure tectonique du substratum

Perméabilité du substratum (soutien d'étiage + concentration et volume crues)

2.3.2. Le réseau hydrographique

Le réseau hydrographique se définit comme l'ensemble des cours d'eau naturels et artificiels, permanents ou temporaires, qui participent à l'écoulement.

La différenciation d'un réseau hydrographique d'un bassin est due à quatre facteurs :

- **La géologie : nature du substratum, failles, plissements**
- **Le climat : densité de drainage régions humides vs. désertiques**
- **La pente du terrain : lit du cours d'eau en érosion vs. Lit où la sédimentation prédomine**
- **La présence humaine : drainage des terres agricoles, barrages, endiguements, Protection des berges, correction des cours d'eau**

→ Expression qualitative du réseau de drainage :

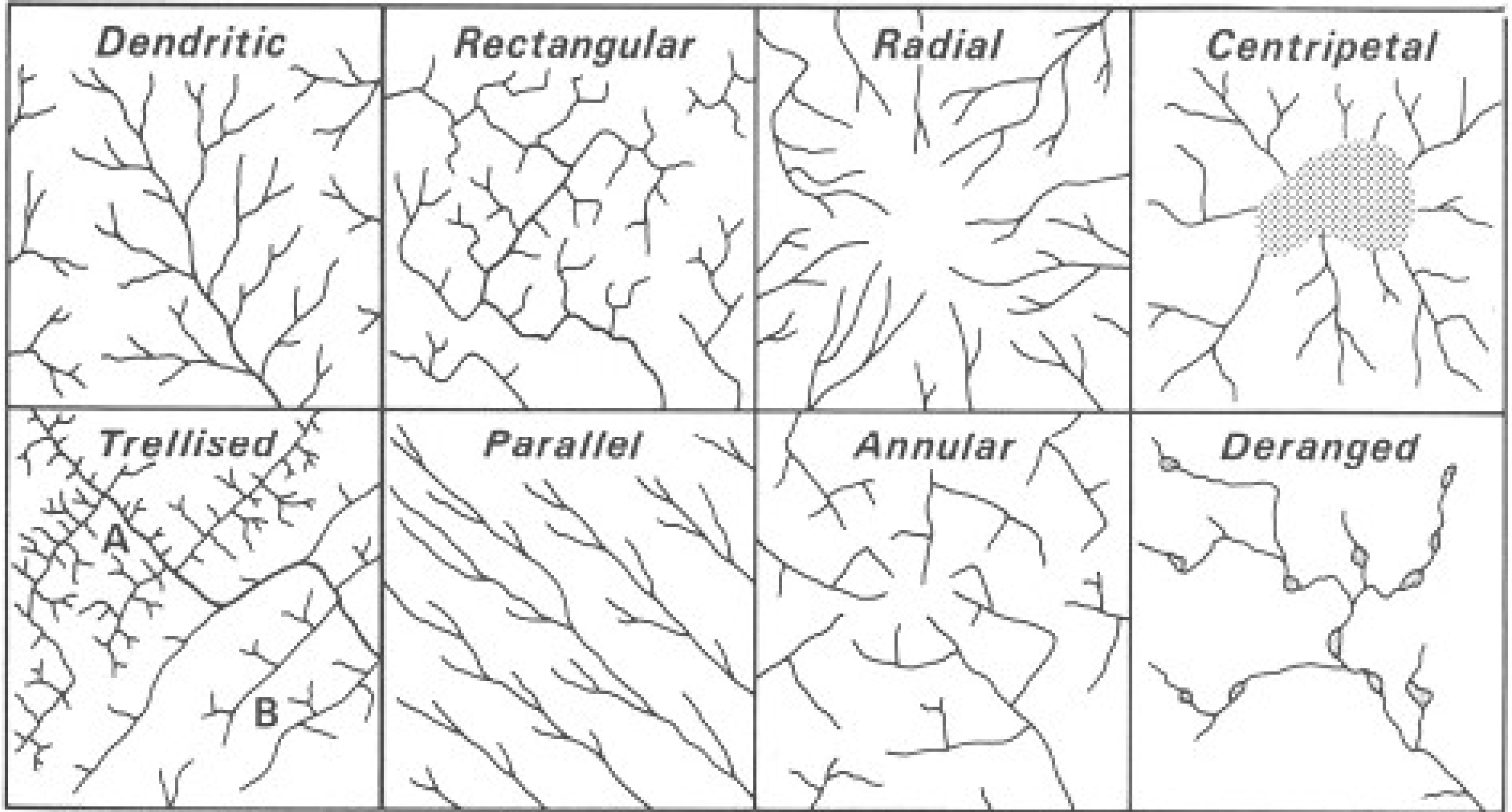
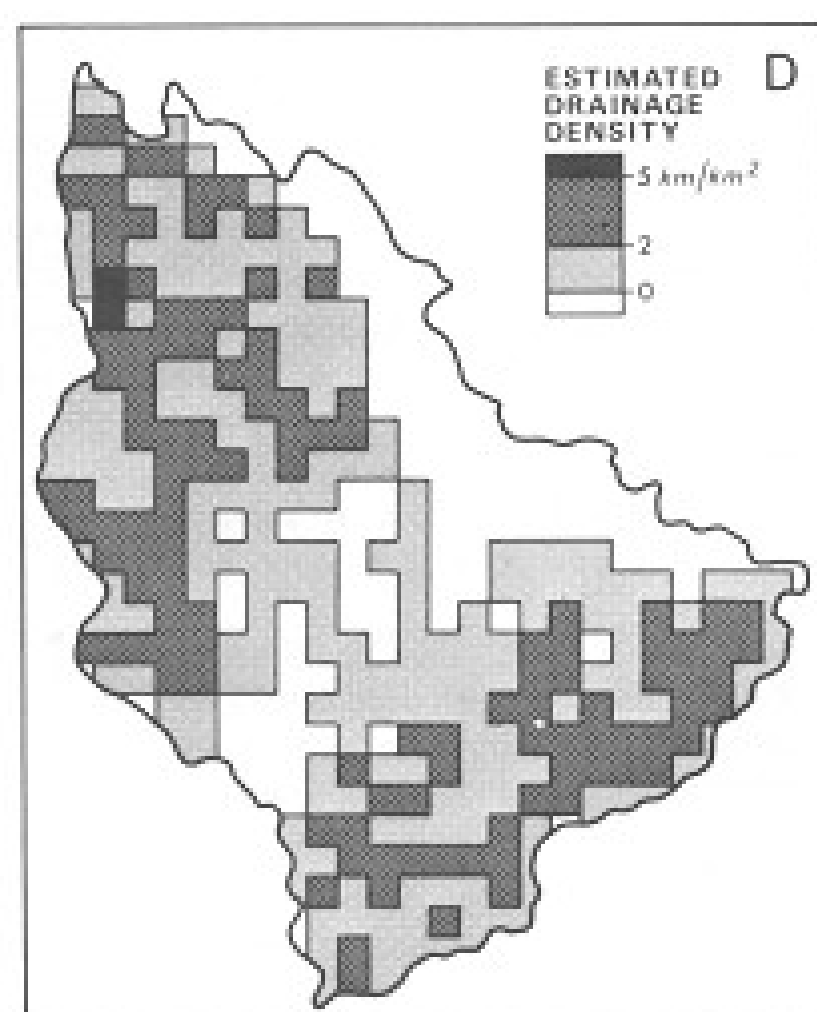
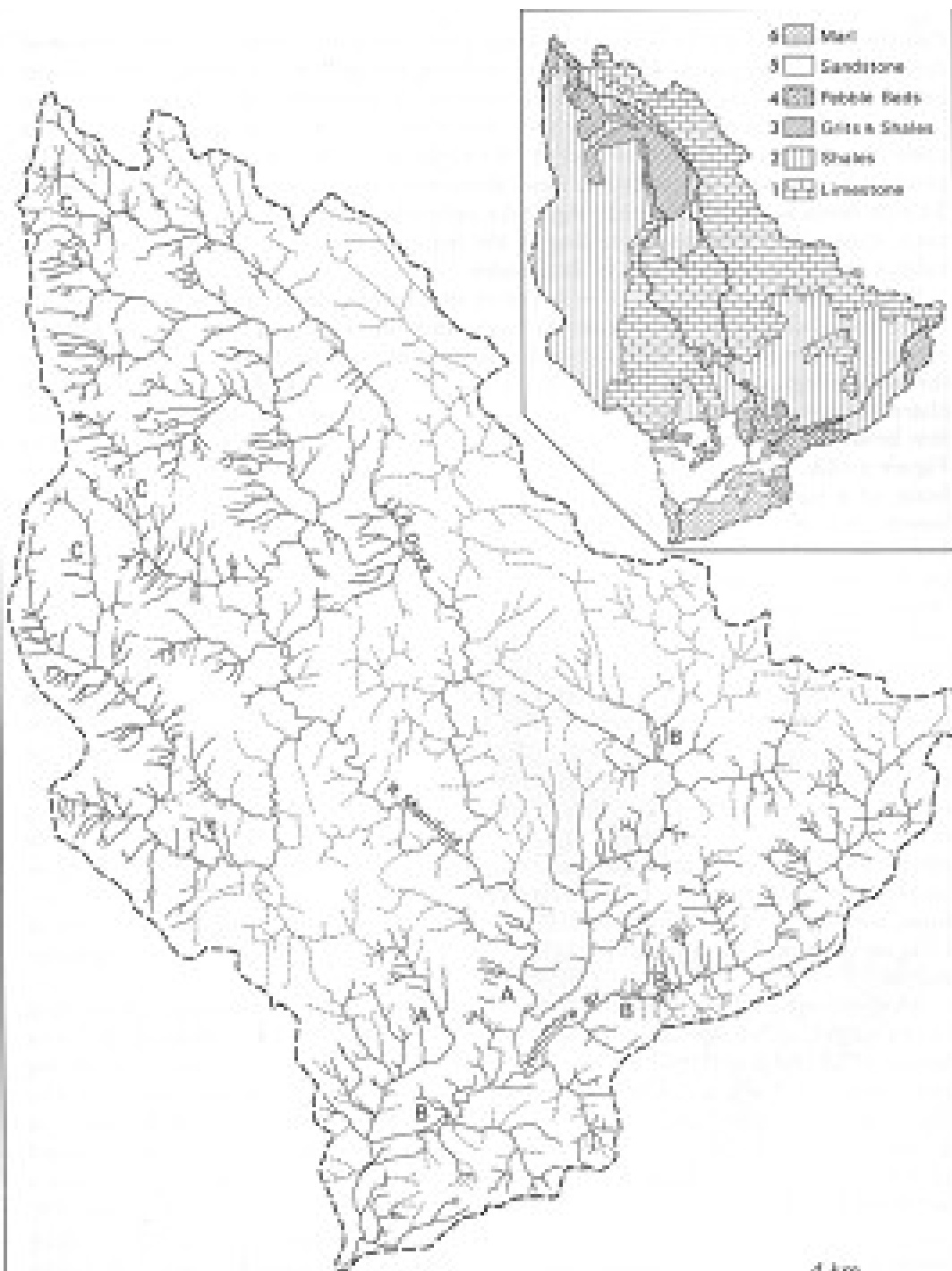
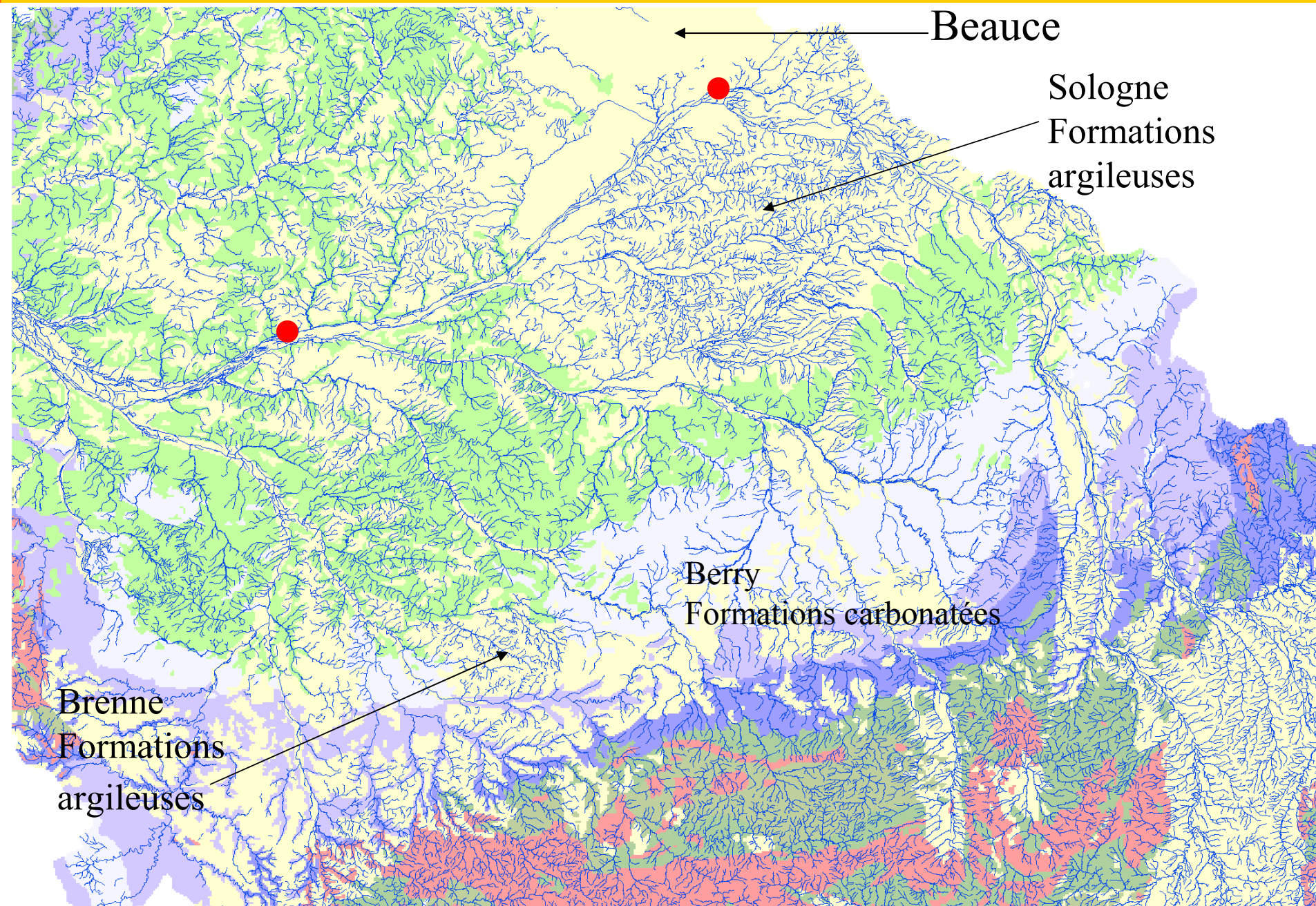


Figure 2.5 Morphological classifications of drainage pattern



- Effet de la lithologie sur D_d

Un chevelu moins dense à certains endroits : Pourquoi ?

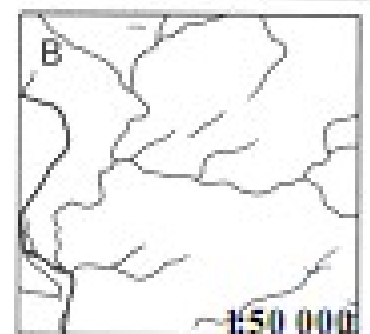
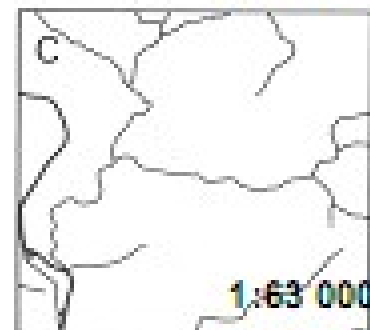
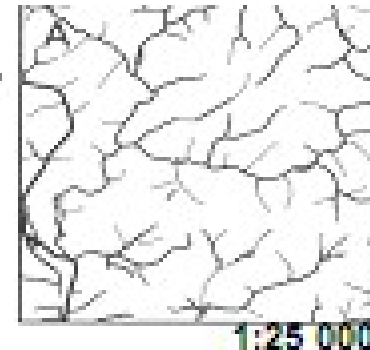
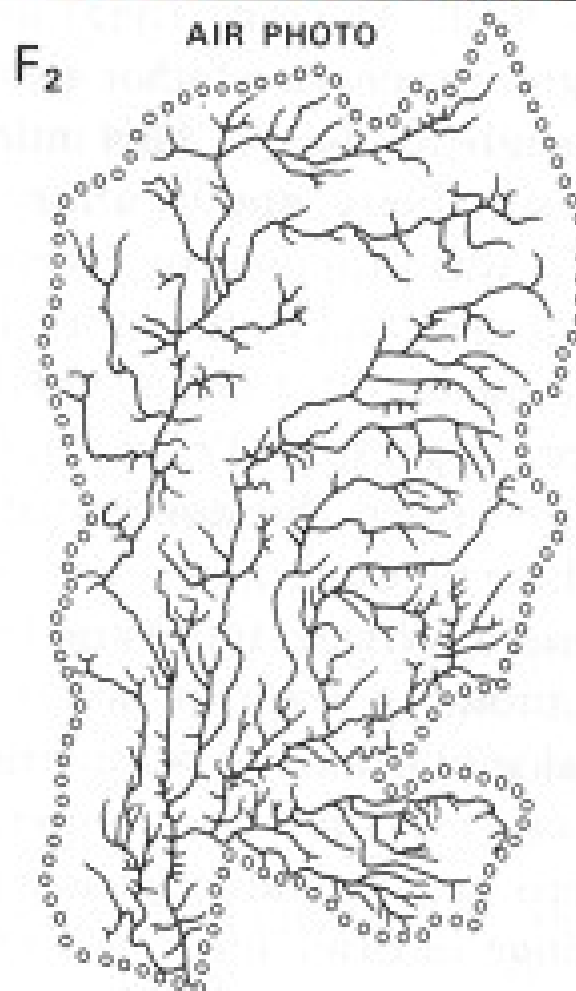
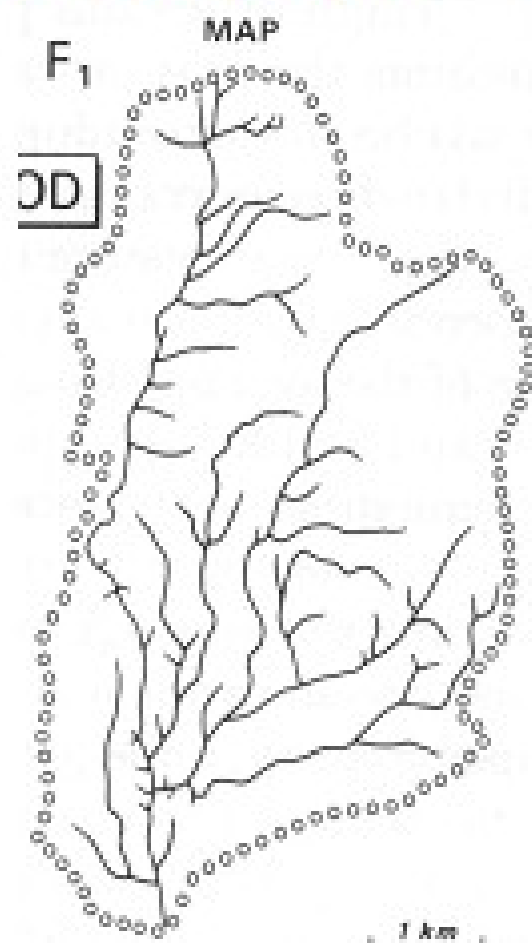


B1. Organisation et caractérisation du bassin versant

● Délimitation du bassin versant et de son réseau de drainage

- l'échelle de la carte
- résolution spatiale

- sources d'information
- méthode de cartographie



2.3.2.1. Ordre des cours d'eau

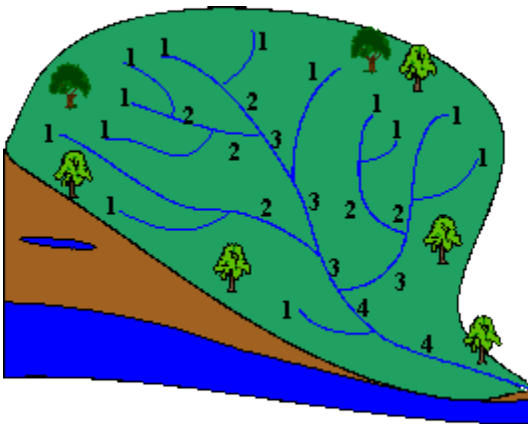
Classification des cours d'eau est facilitée par un système de numérotation des tronçons de cours d'eau.

L'ordre des cours d'eau = classification qui reflète la ramification du cours d'eau utilisé pour la codification des stations de mesure

- ✓ Plusieurs types de classifications
- ✓ Classification de Strahler (1957) est la plus utilisée

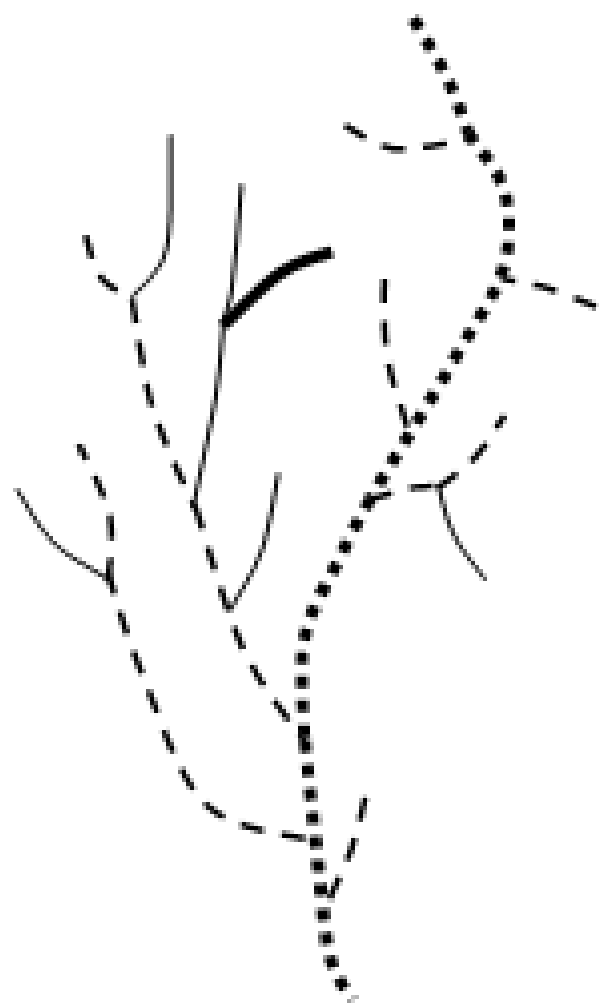
Règles :

- Tout cours d'eau dépourvu de tributaires est d'ordre un.
- Le cours d'eau formé par la confluence de deux cours d'eau d'ordre différent prend l'ordre du plus élevé des deux.
- Le cours d'eau formé par la confluence de deux cours d'eau du même ordre est augmenté de un.

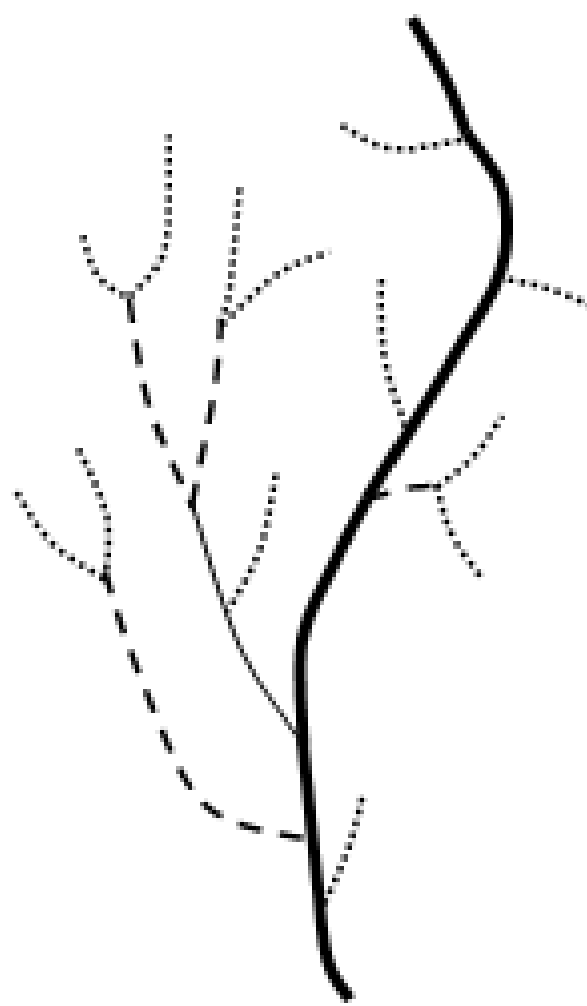


Système de hiérarchisation des cours d'eau : A) Ordre

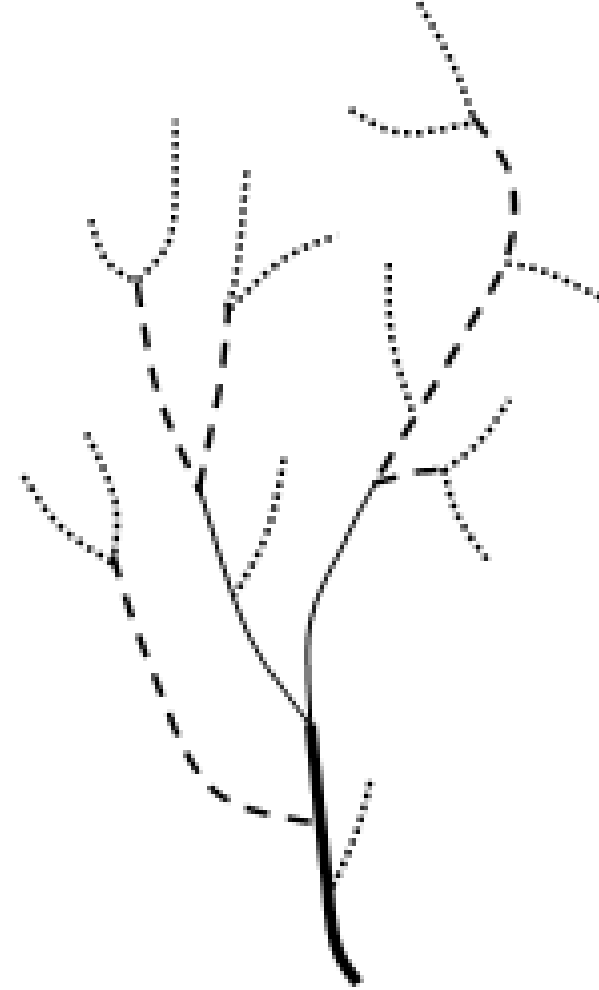
..... 1 - - - - 2 _____ 3 _____ 4



Gravelius (1914)

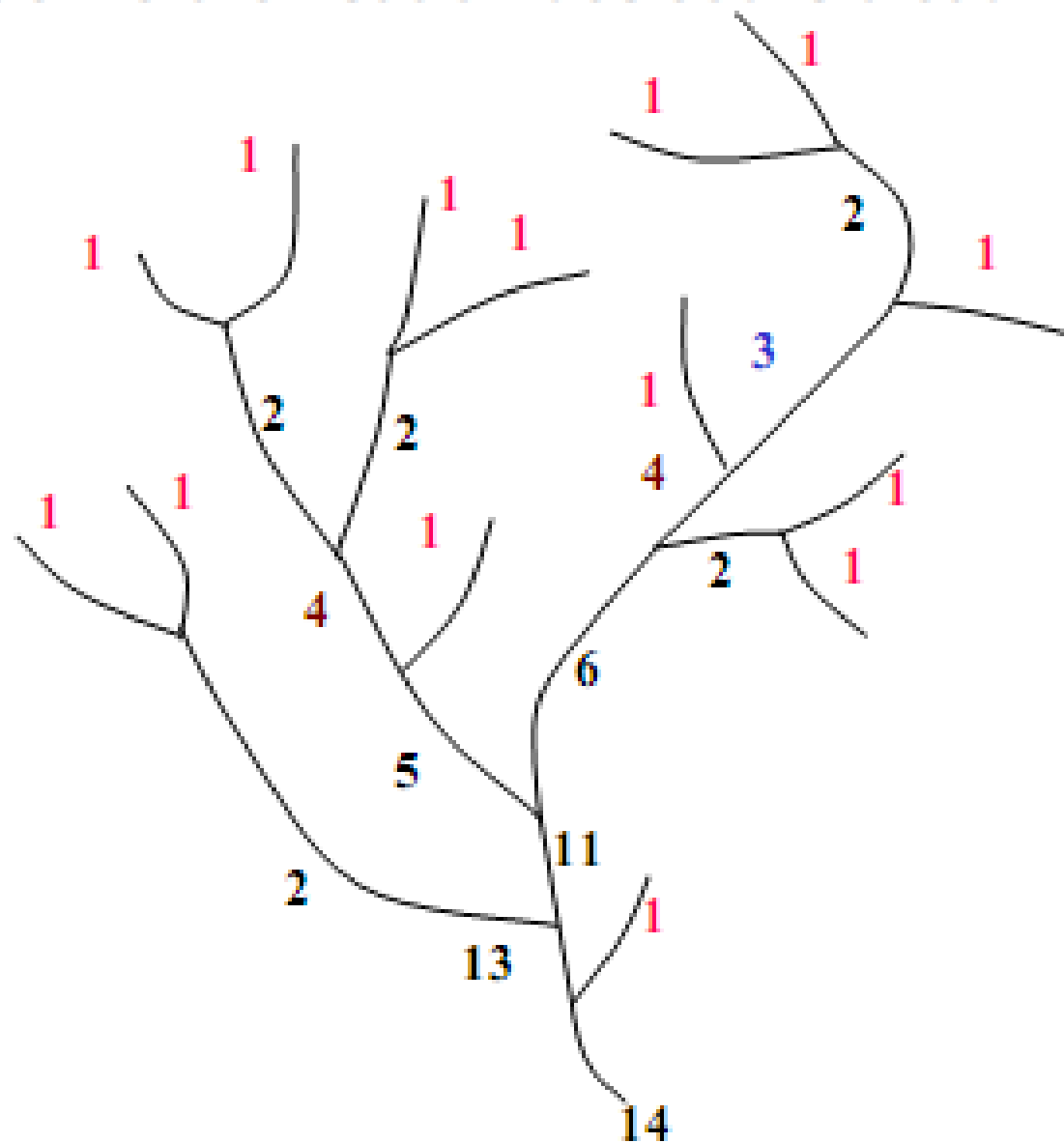


Horton (1945)

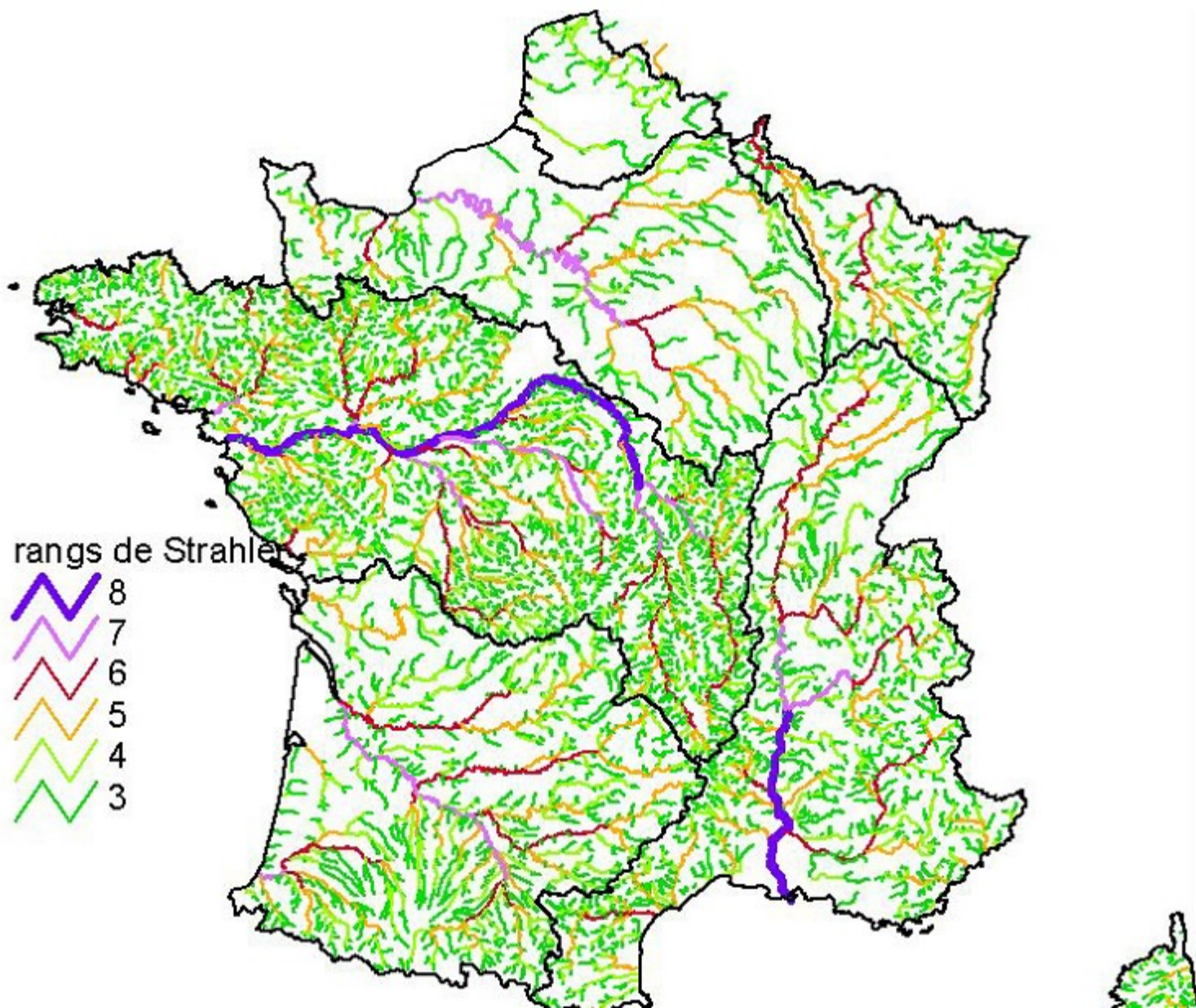


Panov (1948) &
Strahler (1952)

Système de hiérarchisation des cours d'eau : C) Magnitude



Shreve (1965)



2.3.2.1. Ordre des cours d'eau

ru	< 10 km²	Ordre 1 - 2
ruisseau	10 – 100 km²	Ordre 3 - 4
rivière simple	100 – 1000 km²	Ordre 5 - 6
grande rivière	1000 – 10 000 km²	Ordre 7 - 8
fleuve	10 000 – 100 000 km²	Ordre 9 - 10
grand fleuve	100 000 – 1 000 000 km²	Ordre 11 - 12
très grand fleuve	> 1 000 000 km²	Ordre 13 - 14

Lambert, 1996

**Réseau hydrographique de la Loire :
ordination réalisée à partir du BD Carthage
de l'Agence de l'Eau Loire Bretagne
(références les cartes IGN 1: 50 000ème)**



Ordre 1 :	57 % du linéaire
Ordre 2 :	20 %
Ordre 3 :	11 %
Ordre 4 :	6 %
Ordre 5 :	4 %
Ordre 6 :	2 %
Ordre 7 :	1 %
Ordre 8 :	1 %

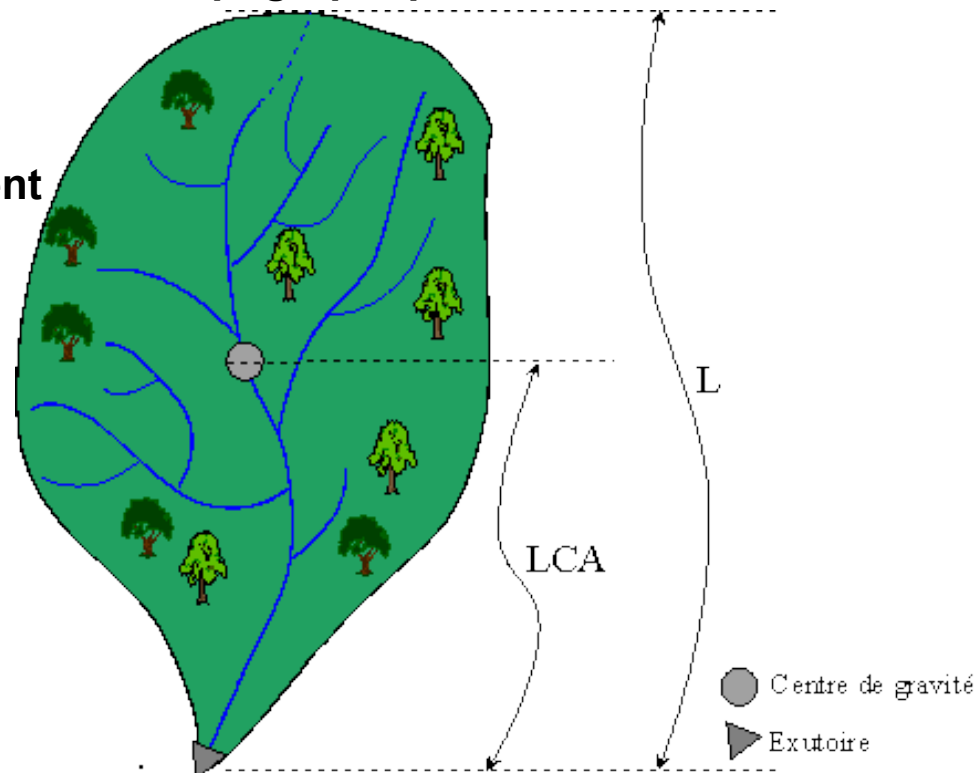
- 77 % occupés par les seuls rangs 1 et 2 ;
- Linéaires de cours d'eau souvent oubliés par les réseaux de surveillance

2.3.2.2. Les longueurs et les pentes caractéristiques du réseau

- La longueur d'un bassin versant (LCA)
- La longueur du cours d'eau principal L

= distance curviligne depuis l'exutoire jusqu'à la ligne de partage des eaux, en suivant toujours le segment d'ordre le plus élevé lorsqu'il y a un embranchement et par extension du dernier jusqu'à la limite topographique du bassin versant.

Si les deux segments à l'embranchement sont du même ordre, on suit celui qui draine la plus grande surface.

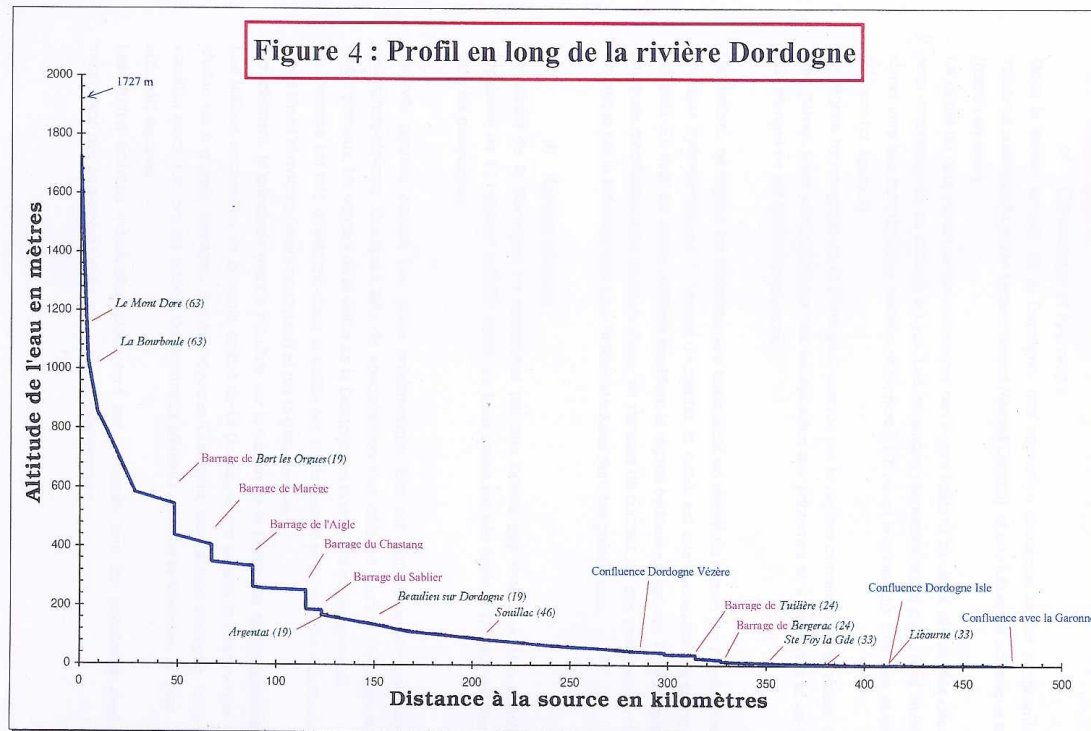


2.3.2.2. Les longueurs et les pentes caractéristiques du réseau

Le profil longitudinal du cours d'eau

= représentation graphique de la variation altimétrique du fond du cours d'eau en fonction de la distance à l'émissaire.

**On reporte le cours d'eau principal et les affluents avec des couleurs différentes
(rives gauche ou droite)**



Source : VILLATE, 1997

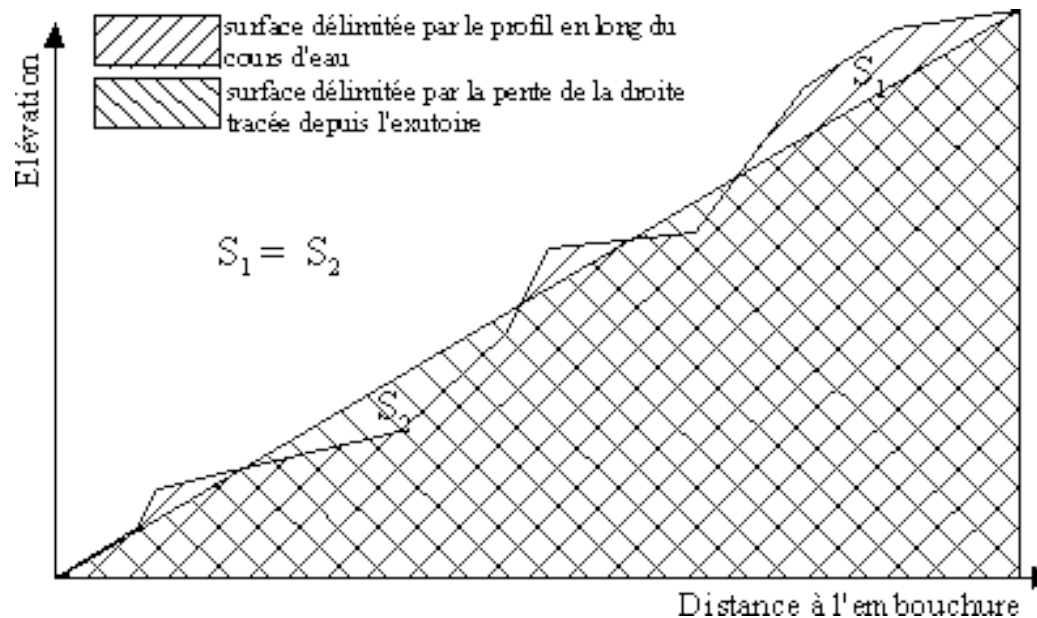
2.3.2.2. Les longueurs et les pentes caractéristiques du réseau

La pente moyenne d'un cours d'eau

✓ méthode la plus fréquemment utilisée : $\overline{Pente} = \frac{h_{\max} - h_{\min}}{L}$ en (m/km)

✓ méthode plus représentative : méthode Linsley (1982)

La pente de la ligne tracée entre depuis l'exutoire,
dont la surface est identique à la surface sous le profil en long.



2.3.2.3. Le degré de développement du réseau

La densité de drainage = la longueur totale du réseau hydrographique par unité de surface de bassin versant

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

Dd : densité de drainage [km / km²]

Li : longueur de cours d'eau [km]

A : surface du bassin versant [km²]

Elle dépend de :

- la géologie (structure et lithologie)
- des caractéristiques topographiques du bassin versant
- des conditions climatologiques et anthropiques

La densité hydrographique = nombre de canaux d'écoulement par unité de surface

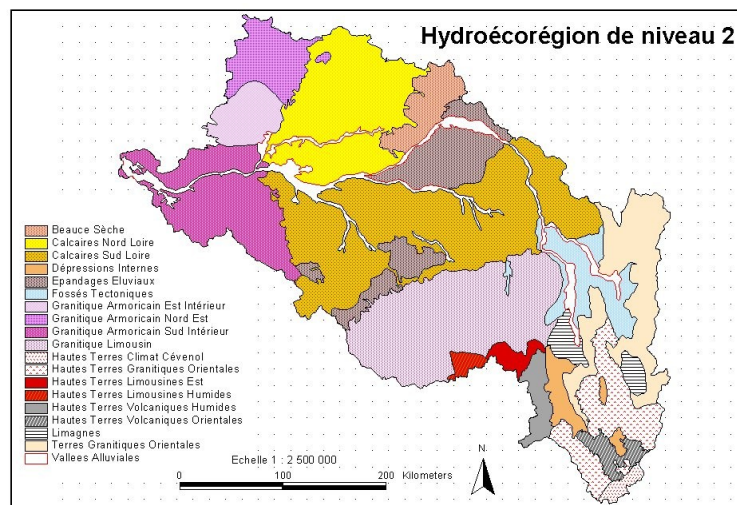
$$F = \frac{\sum N_i}{A}$$

F : densité hydrographique [km⁻²]

Ni : nombre de cours d'eau

A : surface du bassin versant [km²]

Densité de drainage importante : roche mère imperméable, couvert végétal restreint et relief montagneux



Statistiques descriptives de la densité du réseau de drainage (en km/km²) par hydro-écorégion

	<i>Linéaire total (km)</i>	<i>Superficie (km²)</i>	<i>Densité de drainage (km/km²)</i>
Hautes Terres Volcaniques Orientales	1040	1364	0.76
Hautes Terres Volcaniques Humides	1488	1667	0.89
Hautes Terres Granitiques Orientales	6302	6128	1.03
Terres Granitiques Orientales	8735	8831	0.99
Hautes Terres Climat Cévenol	788	641	1.23
Dépressions Internes	1783	1967	0.91
Fossés Tectoniques	4433	4370	1.01
Limagnes	1563	1789	0.87
Granitique Limousin	15712	16478	0.95
Hautes Terres Limousines Humides	710	598	1.19
Beauce Sèche	615	3160	0.19
Epandages Eluviaux	6423	8102	0.79
Calcaires Nord Loire	10262	13644	0.75
Calcaires Sud Loire	15126	24621	0.61
Granitique Armoricaire Nord Est	4871	4430	1.10
Granitique Armoricaire Est Intérieur	2966	3193	0.93
Granitique Armoricaire Sud Intérieur	8486	10358	0.82

Réalisation du Modèle Numérique de Terrain

3. Digitalisation des courbes de niveau

Editeur

Tâche: Créer une nouvelle entité Cible: Newtopo+altMarais

Couches

- ☒ Newtopo+altMarais

Attributs de Newtopo+altMarais

FID	Shape*	X	Y	Z
13932	Point	667362,735	2080820,922	355
13933	Point	667369,592	2080859,492	355
13934	Point	667351,593	2080913,49	355
13935	Point	667347,307	2080964,06	355
13936	Point	667369,592	2081000,916	355
13937	Point	667367,878	2081066,056	355
13938	Point	667368,735	2081153,481	355
13939	Point	664064,784	2080237,623	350
13940	Point	664185,564	2080344,073	350
13941	Point	664263,355	2080354,308	350
13942	Point	664420,983	2080475,088	350
13943	Point	664451,689	2080550,831	350
13944	Point	664537,668	2080614,292	350

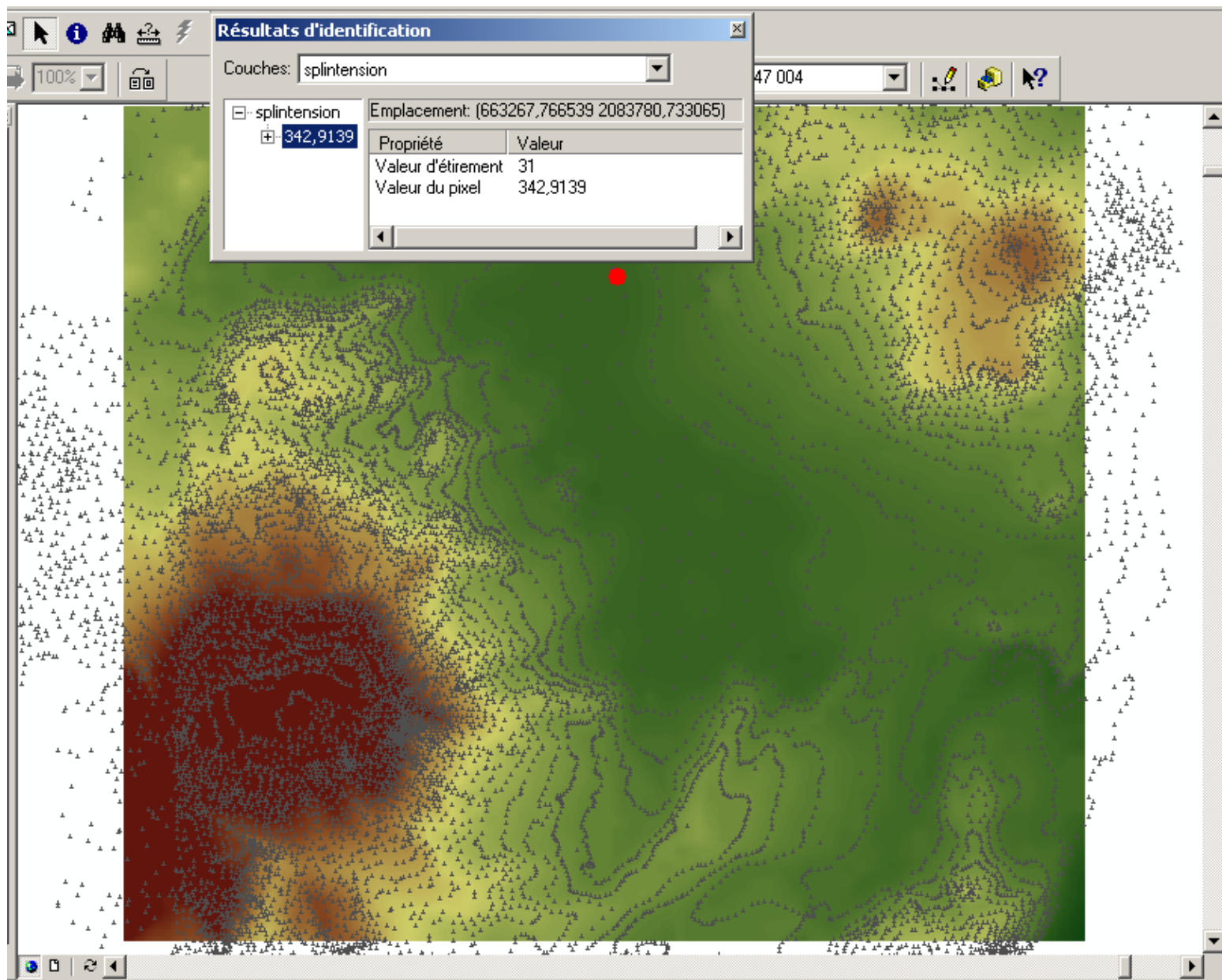
Enreg: 1 Afficher: Tout Sélection

Outils

Affichage Source

Réalisation du Modèle Numérique de Terrain

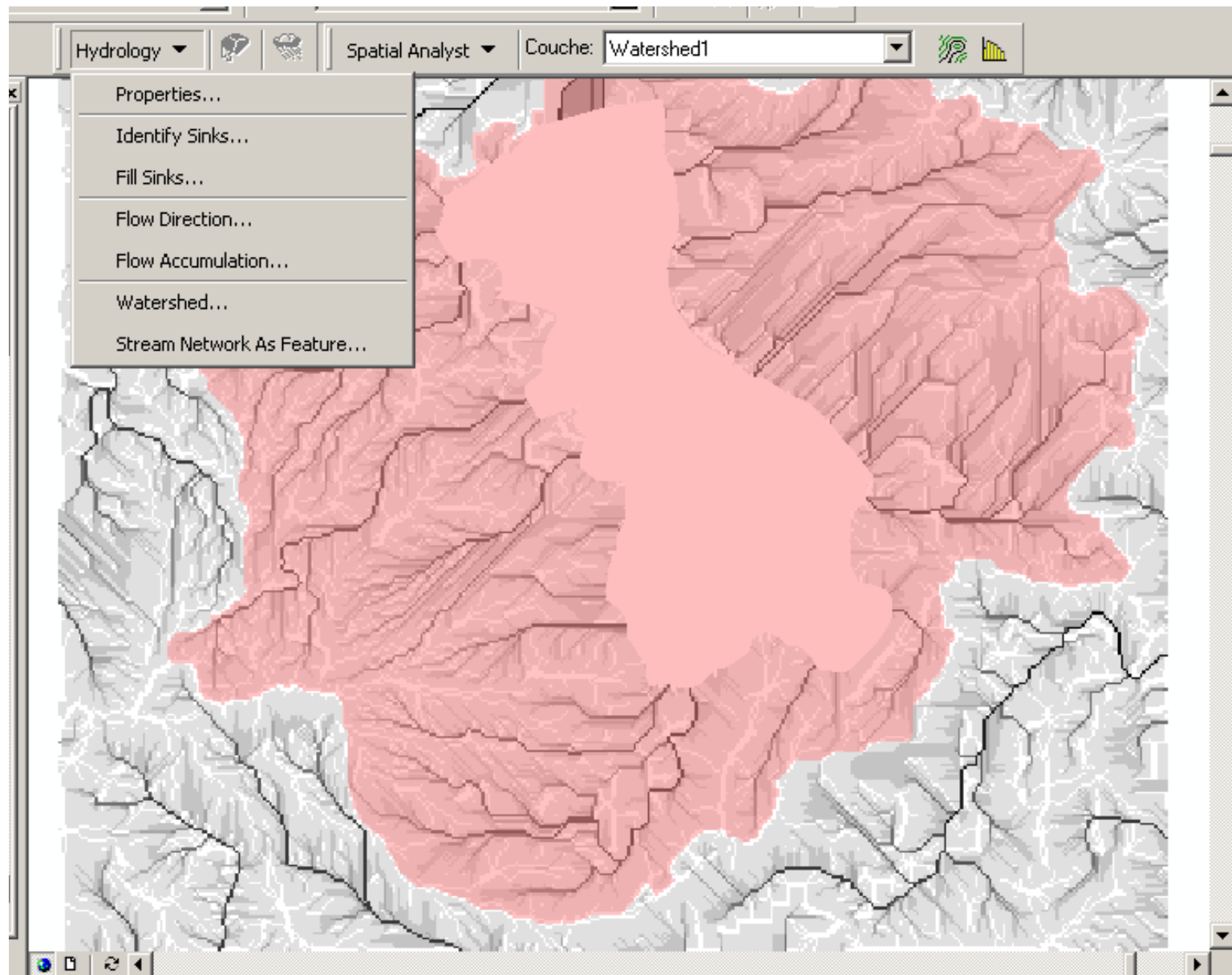
4. Intégration des points dans un maillage régulier (par exemple 30 m X 30 m)



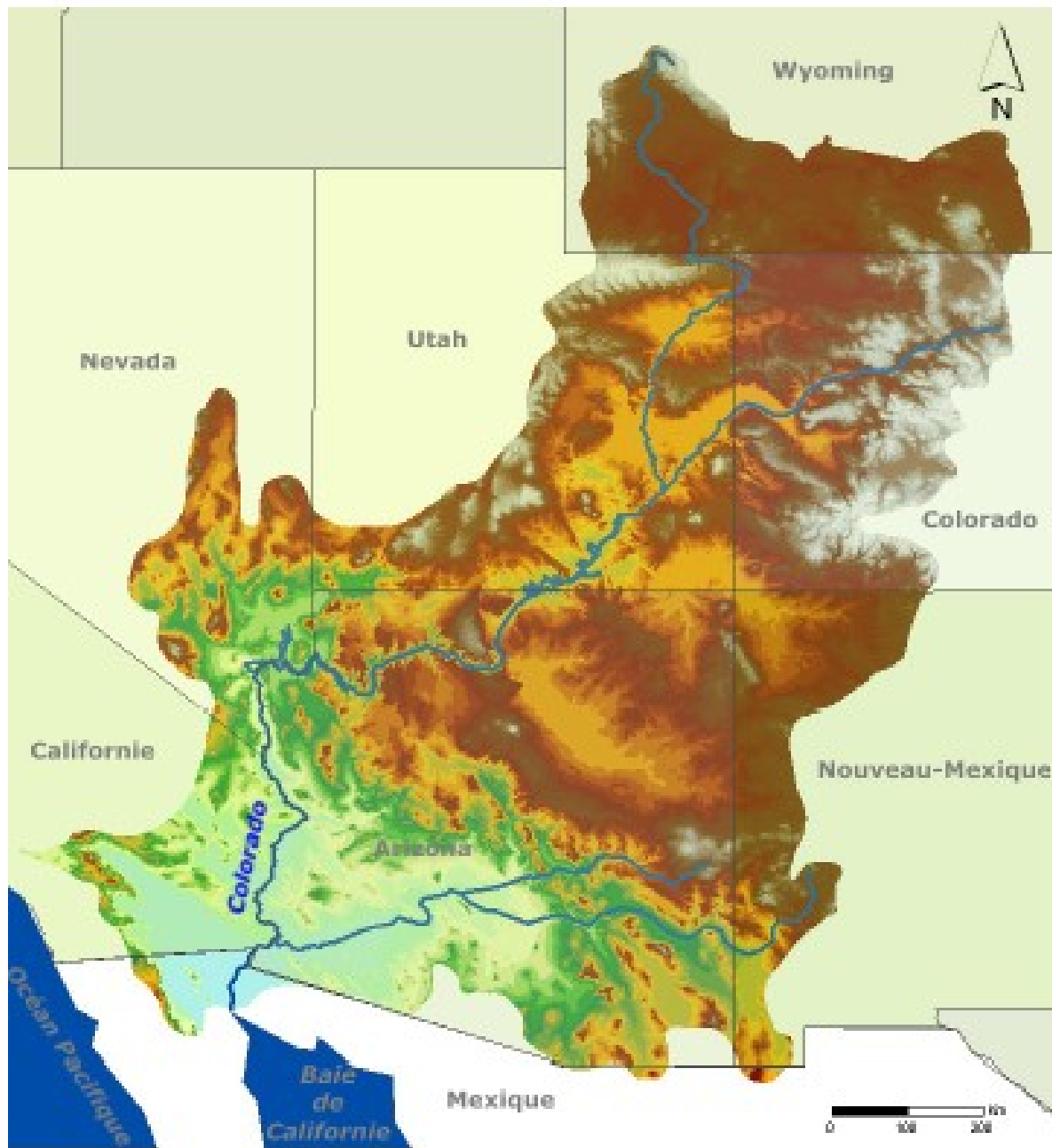
Modèle Numérique de Terrain : Applications

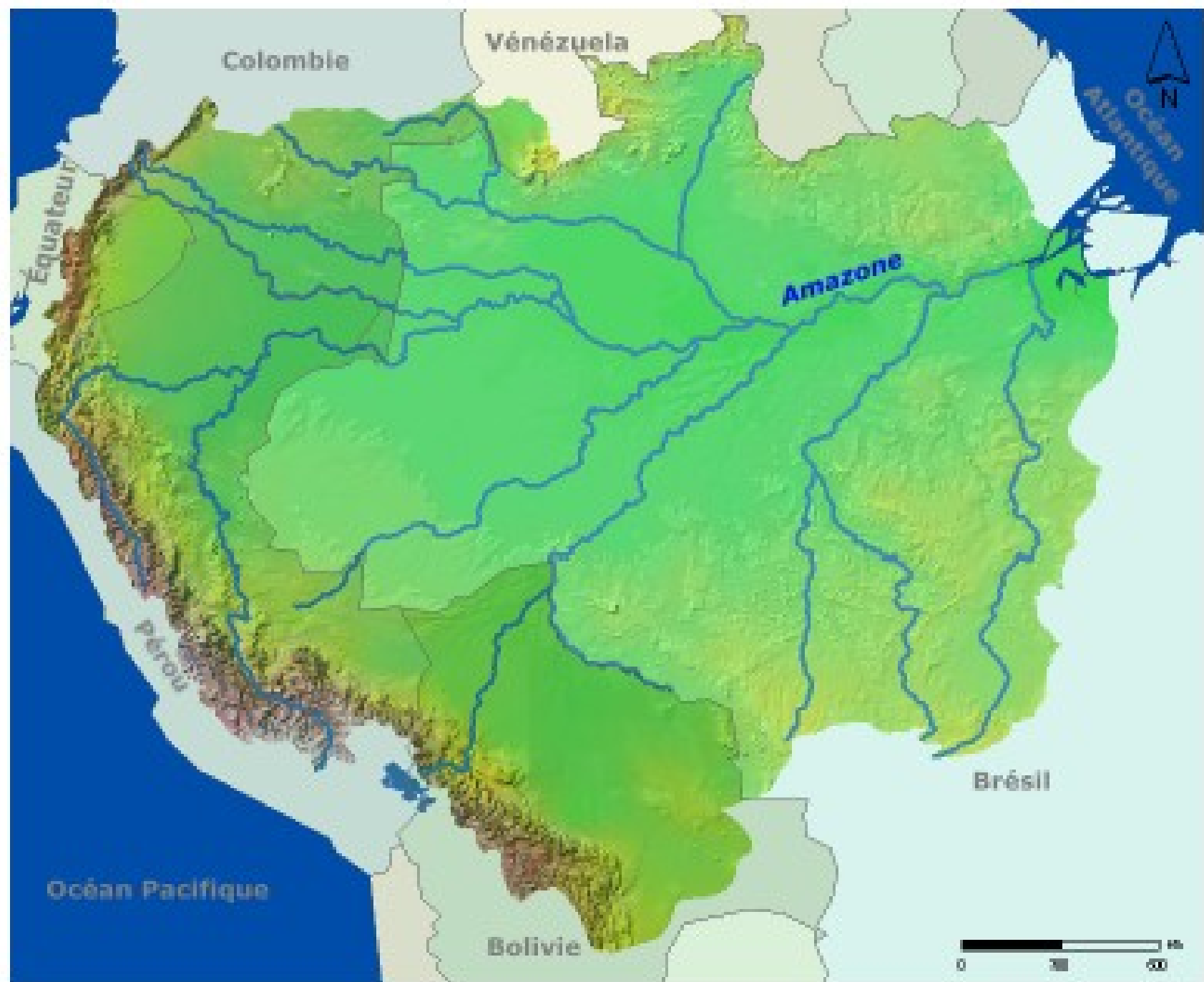
Extraction des lignes de crête du bassin versant

Extraction du réseau des thalwegs









Distinction **bassin versant topographique** / **bassin versant hydrogéologique**

