

HYDROLOGIE

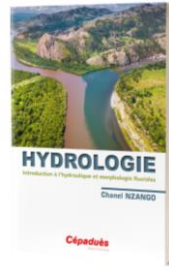
"Comprendre les rivières pour mieux les gérer"

Près de 60% de la population mondiale vivent près des lacs et cours d'eau afin d'exploiter leurs ressources de manière multiforme : **hydroélectricité, extraction de granulats, irrigation, navigation, alimentation en eau, pêche, loisirs, défense, etc.**

Ces diverses exploitations ne se font rarement **sans dommages sur les écosystèmes aquatiques et sur les sociétés humaines.**

Étiage (sécheresse) et **Crue** (inondation), 2 extrêmes jadis rares, deviennent de plus en plus une « **normale hydrologique** »

« **Action-réaction-rétroaction**, tels sont les processus usuels qui font des rivières des systèmes instables et résilients ».



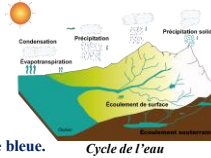
FONCTIONS PRINCIPALES DES RIVIÈRES

Parmi les nombreuses fonctions des rivières, l'une est d'épurer les continents : collecter les eaux pluviales, éroder la croûte terrestre, modéliser les versants, évacuer les eaux et sédiments vers la mer.

Les principales entrées d'eau dans les rivières sont les **précipitations** (pluie, neige).

En moyenne 30% des eaux précipitées s'écoulent vers un exutoire, le reste est intercepté, évaporé et infiltré.

L'hydrologie est de fait la grande discipline scientifique qui s'intéresse au cycle de l'eau sur la planète bleue.



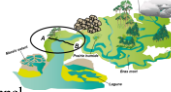
Cycle de l'eau

Différentes des habitats aquatiques

À l'état naturel les cours d'eau occupent différentes unités géomorphologiques (lit mineur, berge, lit majeur, plaine alluviale...) suivant les variations saisonnières du débit.

Les rivières riches sont celles qui présentent une mosaïque d'habitats dans un écosystème luxuriant et fonctionnel.

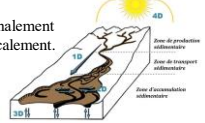
La diversité des rivières se traduit par la présence d'un **espace de mobilité, des faciès hétérogènes (radier, mouille, plat), des styles variés (tresse, méandre), des annexes (bras morts,), des embâcles (bois morts), des ripisylves, etc.**



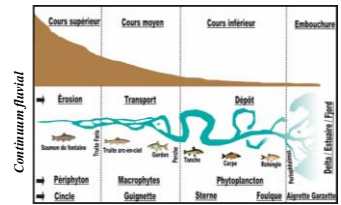
Connectivité des compartiments d'un cours d'eau

Le temps et l'espace sont 2 notions fondamentales dans la dynamique des cours d'eau.

Les cours d'eau se connectent longitudinalement (amont-aval), transversalement, et verticalement.



Dans le cas d'une connectivité longitudinale, il existe une discontinuité entre les parties supérieures (zone de production), moyennes (zone de transfert), et inférieures (zone d'accumulation).



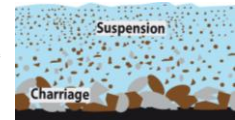
IMPORTANCE DES SÉDIMENTS EN RIVIÈRE

À l'image des poissons, les sédiments sont des bioindicateurs de la richesse écologique d'une rivière. En plus de participer à l'épuration des rivières, les sédiments offrent des habitats de reproduction aux espèces rhéophiles (truite fario) et lithophiles (Chabot).

Provenance des sédiments et leur mode de transport

Les sédiments peuvent être de provenance **exogène** (colluvion, moraine, coulée boueuse...) et **endogène** (érosion des berges et matelas alluvial).

L'entraînement des sédiments vers l'aval se fait sous 2 modes majeurs en fonction de la texture granulométrique : la **suspension** et le **charriage**.



Tri granulométrique – armurage – pavage

En raison du tri hydraulique qui s'opère d'amont-aval il est difficile de trouver une rivière naturelle à texture granulométrique homogène. La ségrégation granulométrique peut conduire aux phénomènes d'**armurage** et de **pavage**.

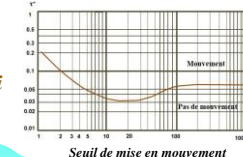


L'équation de Meyer-Peter et Müller (Φ_{MPM}) permet de prédire le charriage : $\Phi_{MPM} = 8(\tau^* - 0.047)^{1.5}$

La **force tractrice** est cette force de frottement exercée par le chenal sur son fond et ses parois afin d'arracher les grains et les mobiliser vers l'aval.

Tous les lits des rivières exercent une force de stabilité (τ) afin d'estomper la vitesse d'écoulement et s'opposer à la déstabilisation des matériaux granulaires. $\tau = \gamma_w \cdot g \cdot R_h \cdot i$

C'est au-delà d'un seuil critique (τ^*) que les grains sont mis en mouvement.



IMPORTANCE DES CRUES EN RIVIÈRE

Une rivière est en crue lorsque son débit augmente plus ou moins brutalement. Il y a lieu de distinguer les crues modestes (fréquentes) des crues exceptionnelles (rares).



Les crues font parties intégrantes du fonctionnement naturel des rivières. Elles créent, détruisent et recréent des formes fluviales (banc, île, méandre) nécessaires à la biodiversité aquatique.

Toutefois, il existe des crues « inondantes » qui peuvent être dommageables pour les sociétés humaines.

En effet, les inondations ont causé plus de 150 000 morts sur la planète lors de ces 20 dernières années, c'est le risque le plus représenté à l'échelle planétaire.

La fréquence des crues est déterminée par la méthode empirique (Crupeix, Rationnelle) et la méthode probabiliste (Loi statistique) Loi de Gumbel

$$F(x) = \exp[-\exp(-u)]$$

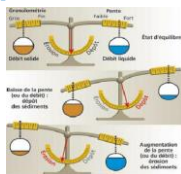
$$Méthode Rationnelle \\ Q(t) = Cr \cdot Ip \cdot A$$

ÉQUILIBRE DYNAMIQUE EN RIVIÈRE

L'instabilité est caractéristique des rivières [...] l'équilibre parfait en rivière n'existe pas, celle-ci doit constamment ajuster ses formes pour établir un "équilibre dynamique".

Auto-ajustement = réponses des rivières aux perturbations internes et externes.

Les réponses aux perturbations ne sont rarement immédiates, car il existe un temps de réaction entre les perturbations et le retour à l'équilibre initial. Dans des cas de perturbations irréversibles, l'équilibre initial ne sera jamais atteint et la rivière évoluera dans un **nouvel équilibre** et peut parfois changer d'état (métamorphose fluviale).



APPORTS DE L'HYDRAULIQUE À LA QUANTIFICATION DES RIVIÈRES

Dans le domaine fluvial, l'hydraulique, plus précisément la **mécanique des fluides**, permet de caractériser le mouvement de l'eau sous l'action des forces qui la sollicite : pression, frottement, traînée, pesanteur (\vec{F}_v). $\vec{F}_v = \rho_w \cdot g \cdot V$

Pente (i), Vitesse (U), Viscosité (V), débit (Q) puissance (Ω) sont les agrégats traditionnels permettant de quantifier le mouvement de l'eau en rivière.

Toutefois, le débit reste la grandeur phare pour décrire les flux d'une rivière. Quantifier le débit est essentiel pour dimensionner les infrastructures (ponts, barrages, bassins de rétention, etc.).

Quantifier par la relation de Manning-Strickler $Q = A \cdot U \Leftrightarrow U = K \cdot R_h^{2/3} \cdot i^{1/2}$

Quantifier le débit par le jaugeage au courantomètre



Formule	Unité
$Q = A \cdot U$	m³/s
$U = \frac{Q}{A}$	m/s
$\Omega = \frac{1}{2} \rho_w \cdot g \cdot Q \cdot H$	W
$R_h = \frac{A}{P}$	m
$i = \frac{H}{L}$	m/m
$K = \frac{U}{R_h^{2/3} \cdot i^{1/2}}$	s/m¹/³

La démocratisation des programmes informatiques a contribué à la **modélisation** des écoulements complexes.

Les équations usuelles en modélisation hydraulique sont : celles de **Bernoulli (1D)** et de **Barré-de-Saint-Venant (2D)**.

Équation de Bernoulli

$$EA_1 = EA_2 + \Delta h \Leftrightarrow \rho_w \cdot g \cdot Z_1 + \frac{1}{2} \rho_w \cdot U_1^2 + P_{r1} = \rho_w \cdot g \cdot Z_2 + \frac{1}{2} \rho_w \cdot U_2^2 + P_{r2} + \Delta h$$

La finalité des modèles hydrauliques est de simuler les écoulements, de comparer différentes options d'aménagement, ou d'étudier la sensibilité d'un système à différents paramètres.

