

Lit majeur

*Espace de liberté ou
bande active du lit de
plein bord*

Roche
massive

Annexes
fluviales

Marais

Terrasse
alluviale

Lit mineur

Nappe alluviale

Lit de plein bord
(hautr de berge)

ENSNP 4^o année : les cours d'eau



ENSNP 4° année : les cours d'eau

Présentation

« Masse d'eau » = élément territorial de base des milieux aquatiques, unité d'évaluation de la Directive Cadre Européenne.

Env. 4 750 « masses d'eau » en France

- Env. 4 000 masses d'eau de surface
- 210 masses d'eau « littorales »
- 535 masses d'eau « souterraines »



ENSNP 4° année : les cours d'eau

Contenu du cours :

- Focus sur les cours d'eau = systèmes « ouverts »

Objectif du cours : dans le cadre d'un projet sur un cours d'eau, pouvoir intervenir en tant que paysagiste en ayant les notions permettant

1. d'appréhender les phénomènes en jeux, les types de situation.
2. D'intégrer la dynamique fluviale dans le projet de paysage.
3. D'être préparé au dialogue avec les spécialistes « cours d'eau »



ENSNP 4° année : les cours d'eau

Plan du cours

1. **Connaître pour comprendre.** Les cours d'eau – hydromorphologie fluviale et écologie

Rappels d'hydrologie, hydraulique, Transport solide → Hydromorphologie ; écologie – habitats - continuité écologique

2. → **Connaître pour agir.** L'évaluation de l'état d'une masse d'eau « cours d'eau ».

Les altérations

Qualité d'eau, morphologie, habitats, Méthode REH

Indicateur transversal : les faciès

3. → **Connaître pour agir.** notions de « renaturation » - aménagement

Définition(s), typologie, études de cas

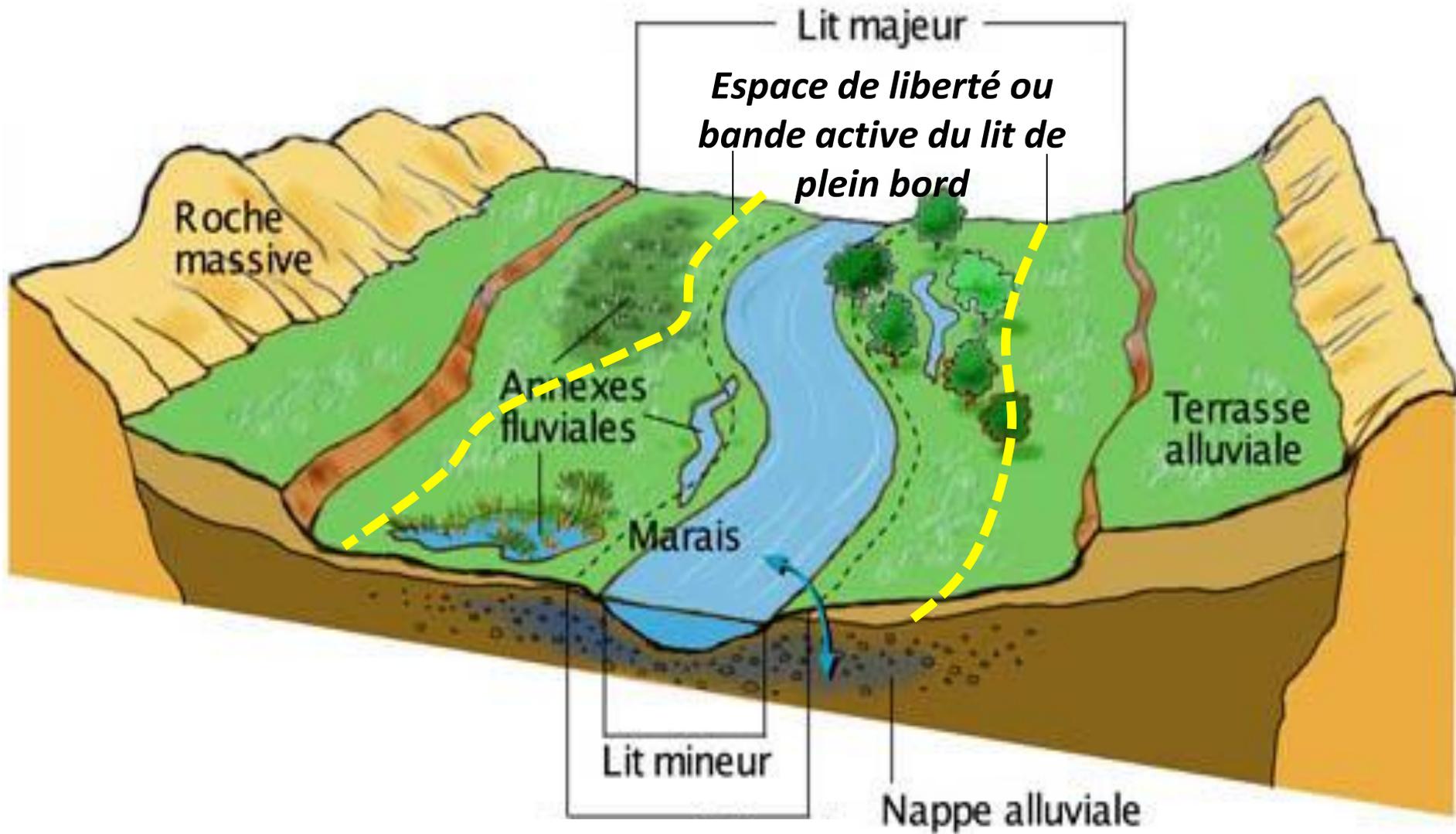
Principale ressource : ELEMENTS D'HYDROMORPHOLOGIE FLUVIALE

Jean-René MALAVOI – Jean-Paul Bravard, 2009, édité par l'ONEMA (désormais « OFB »)

Photos = JR Malavoi sauf indication contraire

ENSNP 4° année : les cours d'eau

1. Connaître pour comprendre. Les cours d'eau – hydromorphologie fluviale et écologie



Lit majeur

*Espace de liberté ou
bande active du lit de
plein bord*

Roche
massive

Annexes
fluviales

Marais

Terrasse
alluviale

Lit mineur

Nappe alluviale

Lit de plein bord
(hauteur de berge)

1. Les cours d'eau – hydromorphologie fluviale et écologie



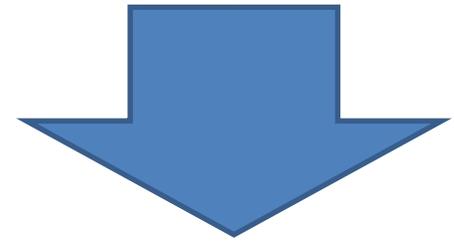
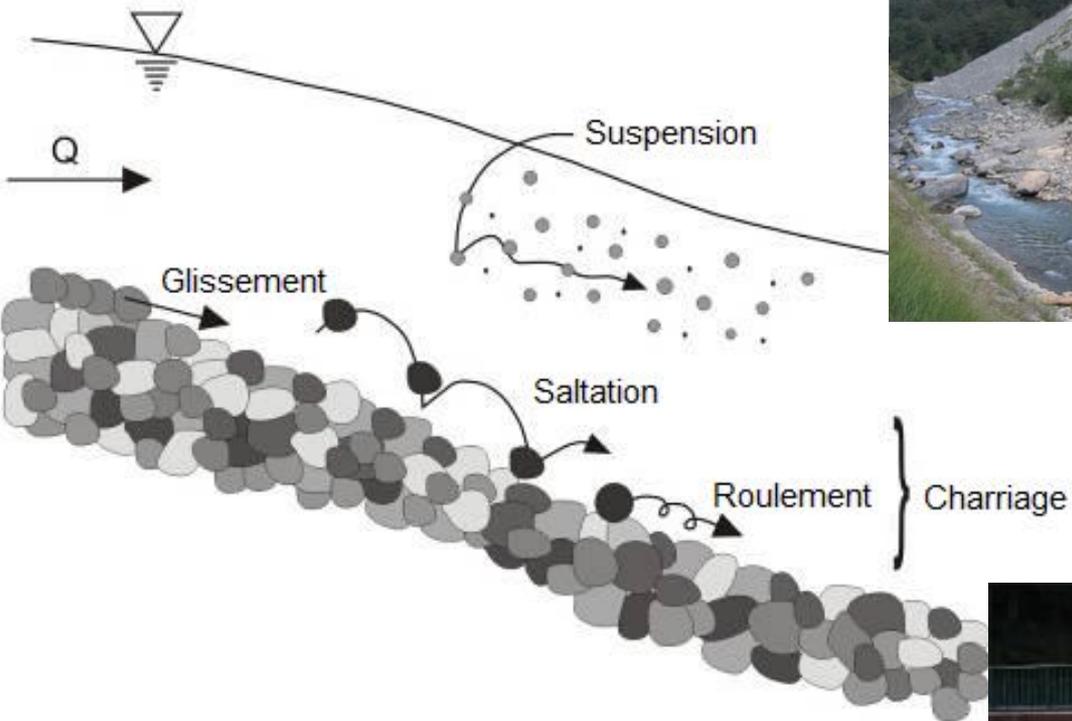
Différents faciès d'écoulement et styles fluviaux

1. Les cours d'eau – hydromorphologie fluviale et écologie



COURS D'EAU = TRANSPORT LIQUIDE + TRANSPORT SOLIDE

1. Les cours d'eau – hydromorphologie fluviale et écologie



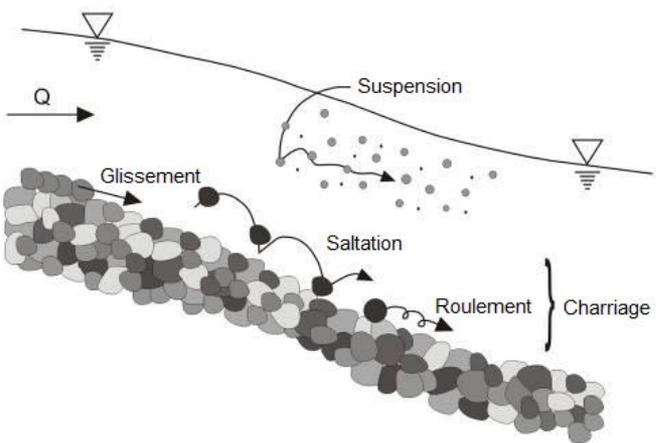
c. Transport solide

1. Les cours d'eau – hydromorphologie fluviale et écologie



Apports externes : Production primaire
= bassins versants

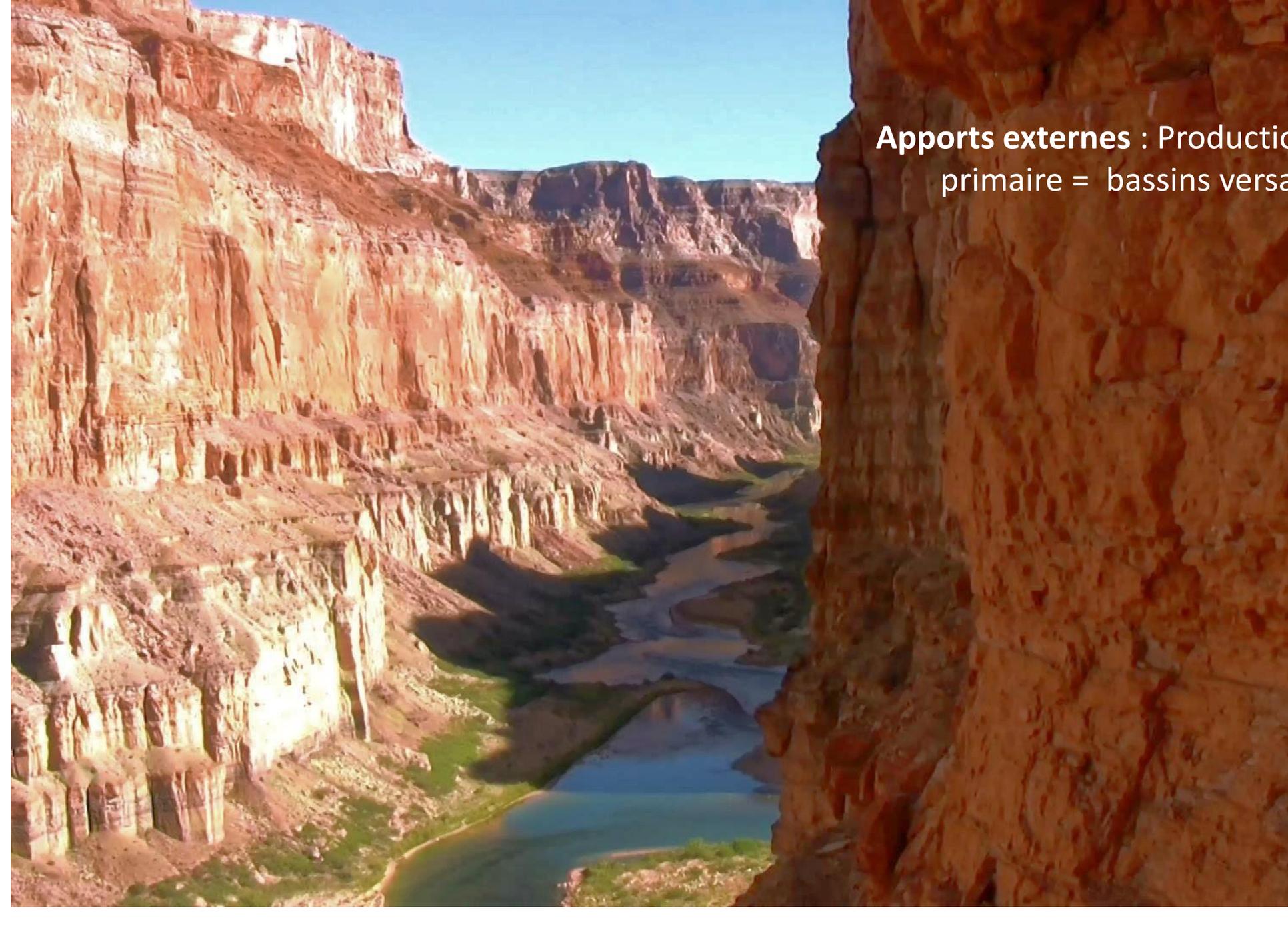
Production secondaire = affluents



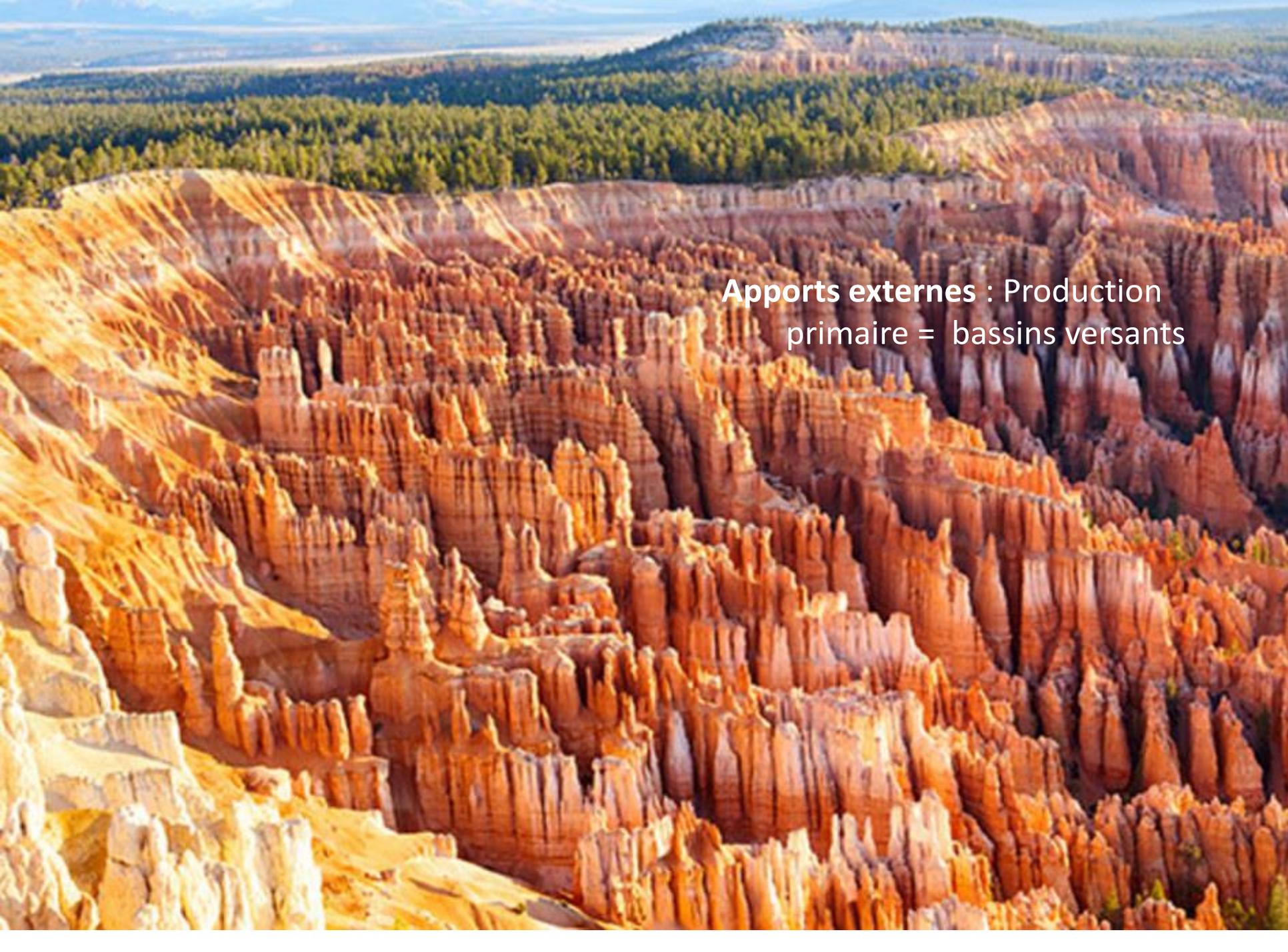
+ apports internes : berges, lit mineur

5 photos JR MALAVOI

c. Transport solide



Apports externes : Production
primaire = bassins versa



**Apports externes : Production
primaire = bassins versants**



+ apports internes par les glaciers

Formation de vallée par les glaciers

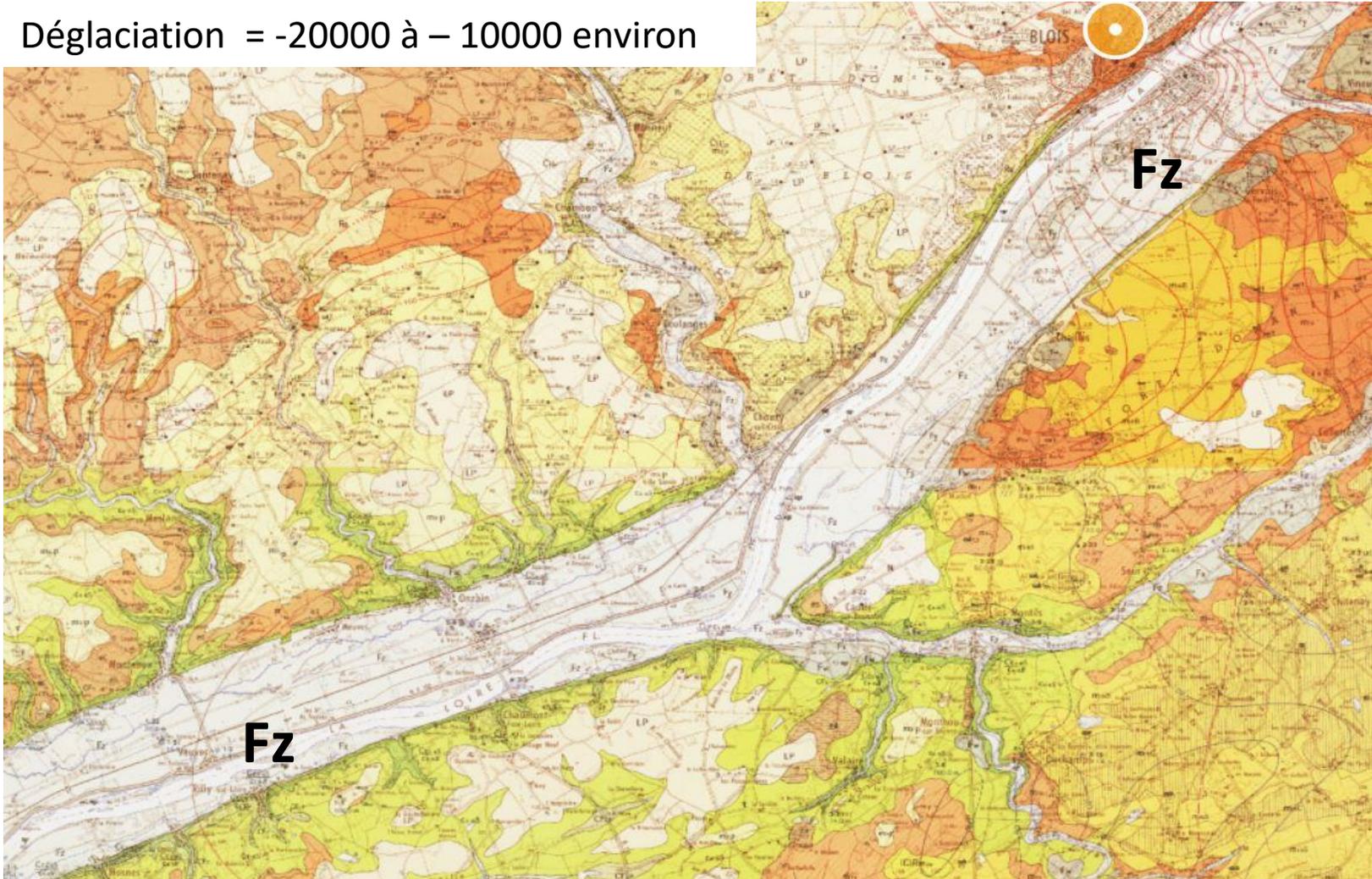


ation de vallée par les glaciers



1. Les cours d'eau – hydromorphologie fluviale

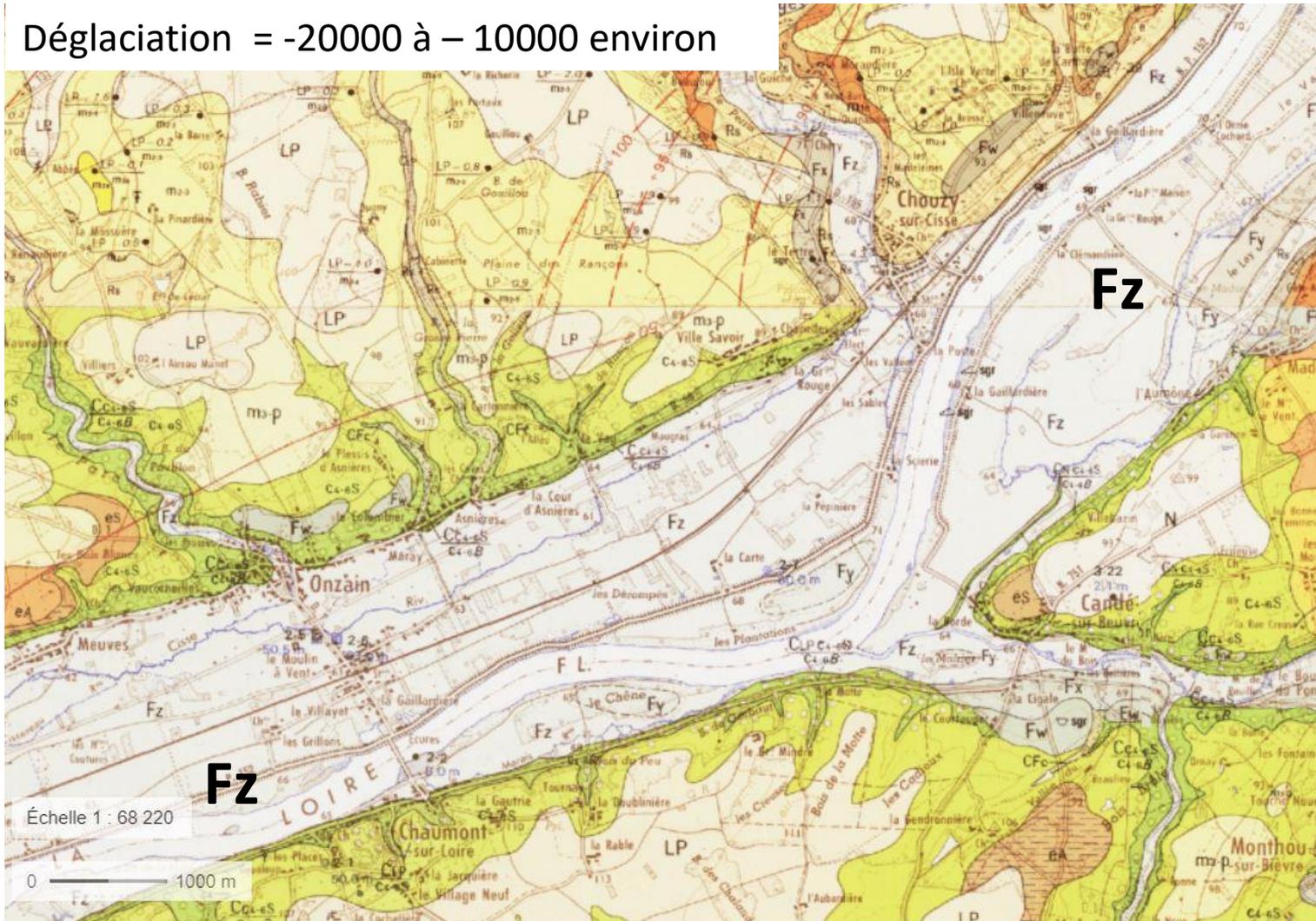
Déglaciation = -20000 à - 10000 environ



→ Dépôts alluvionnaires

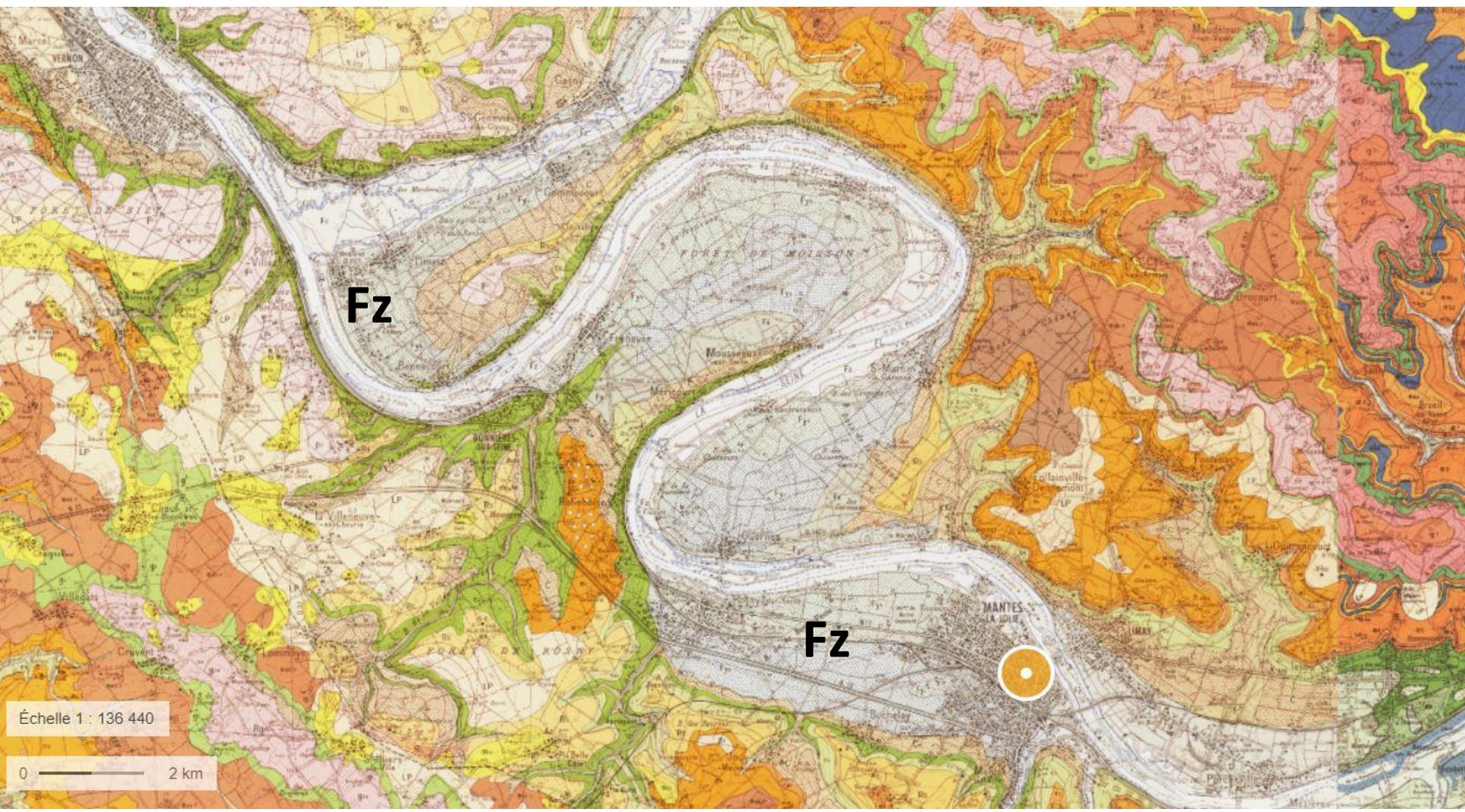
1. Les cours d'eau – hydromorphologie fluviale

Déglaciation = -20000 à -10000 environ



→ Dépôts alluvionnaires

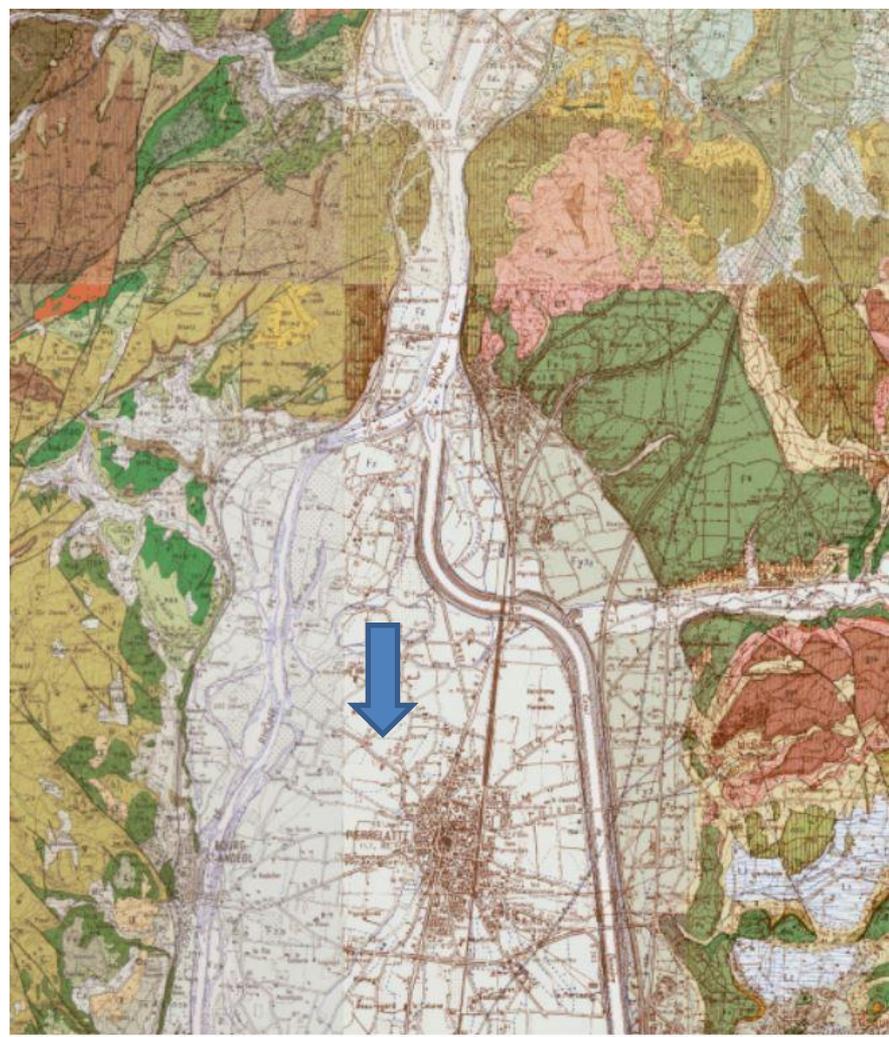
1. Les cours d'eau – hydromorphologie fluviale

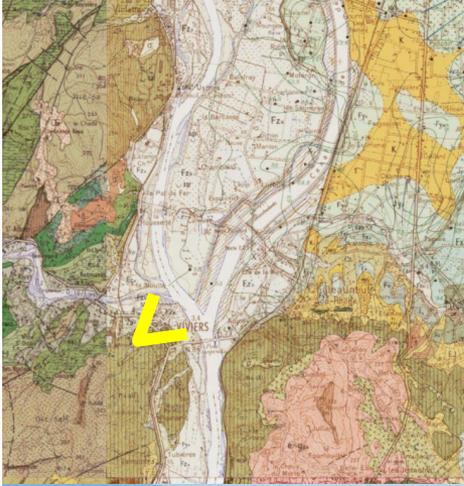


1. Les cours d'eau – hydromorphologie fluviale



1. Les cours d'eau – hydromorphologie fluviale





1. Les cours d'eau – hydromorphologie fluviale et écologie

Propagation de la charge de fond

Bancs, dunes



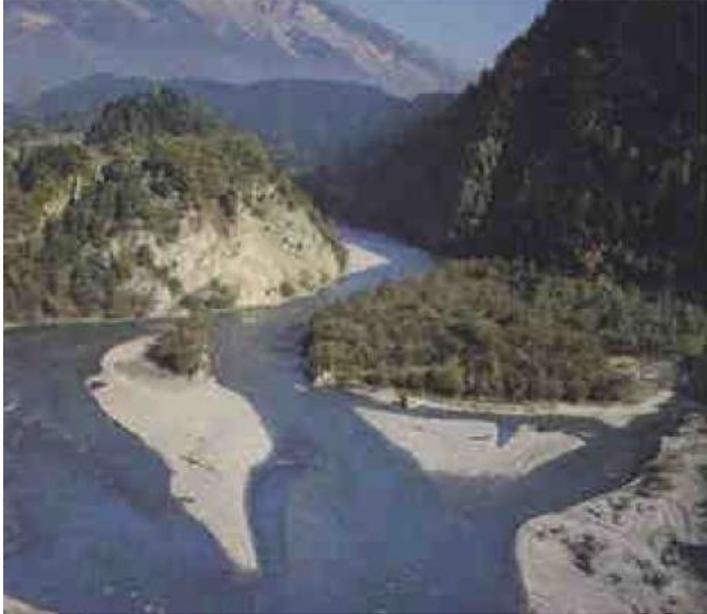
1. Les cours d'eau – hydromorphologie fluviale et écologie

Temps de transfert de la charge de fond

rivière	classe granulométriques	conditions de Q	durée Q	distance parcourue	auteur	année
Agly	galets	Q1.5an	1.30 h	120 m	BRL	1988
Agly	galets	Q2.4an	5 h	310 m	BRL	1988
Verdoble	galets	plusieurs crues dont Q5, Q2, Q4		850 m	Anguenot	1972
Ardennes	30 à 80 mm			en moyenne 3 km/siècle	Petit	1997
Hérault	galets			20 km/siècle	Tricart et Vogt	1967
Isère	galets			10 km/siècle	Salvador	1991

1. Les cours d'eau – hydromorphologie fluviale et écologie

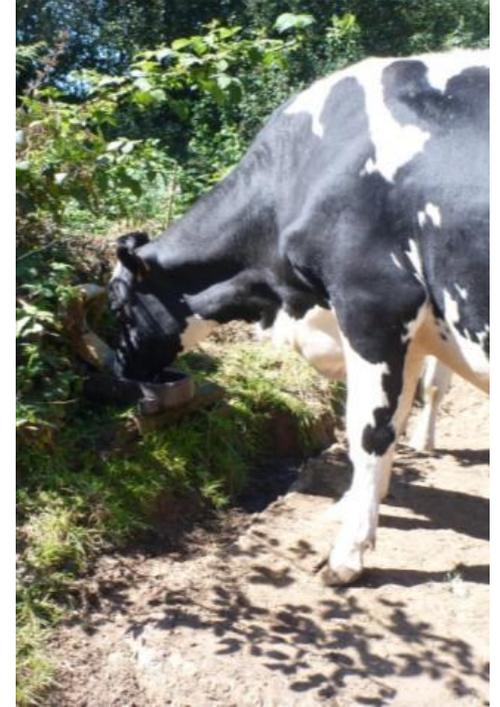
Rôle de la végétation dans la fixation/remobilisation de la charge de fond



c. Transport solide

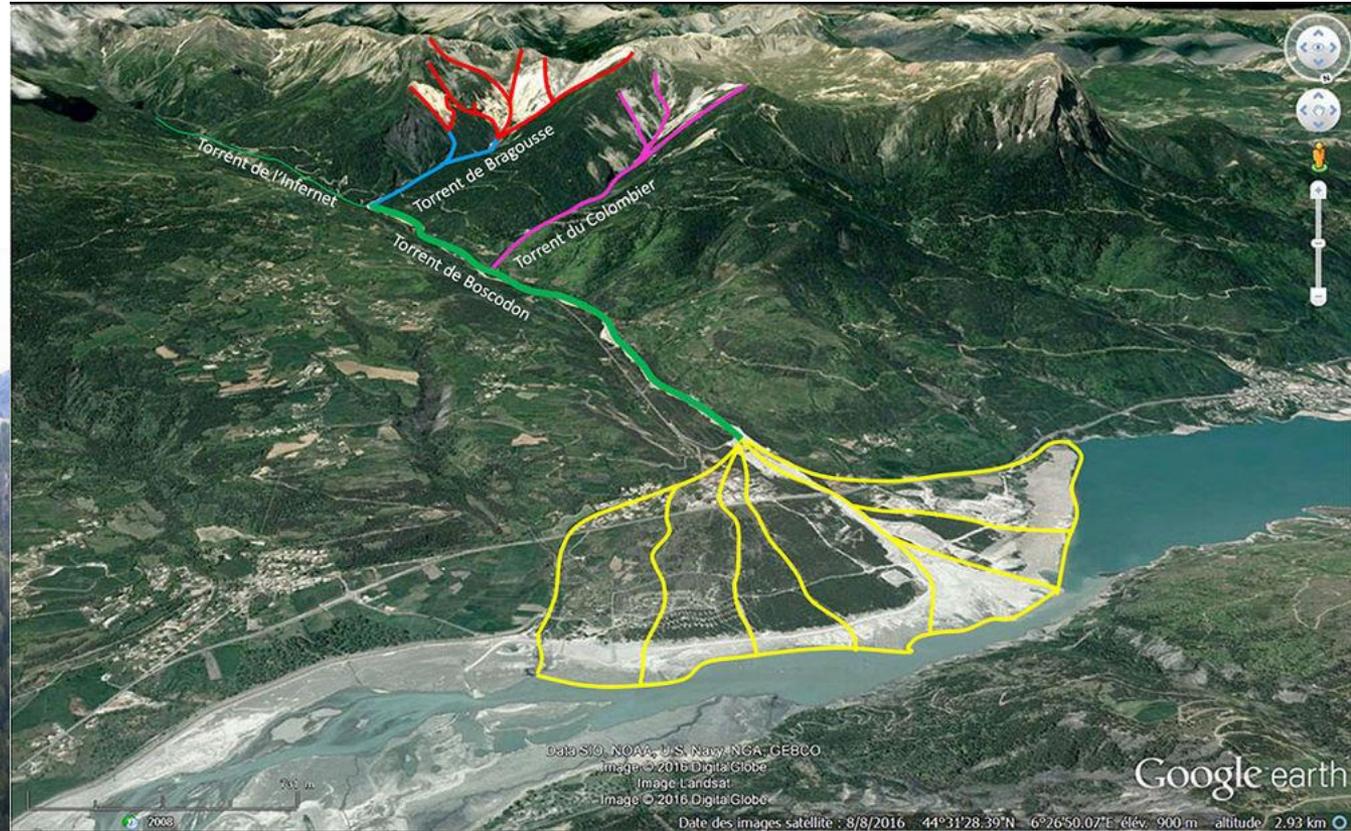
1. Les cours d'eau – hydromorphologie fluviale et écologie

Les fines en suspension, la
problématique du colmatage



c. Transport solide

1. Les cours d'eau – hydromorphologie fluviale et écologie



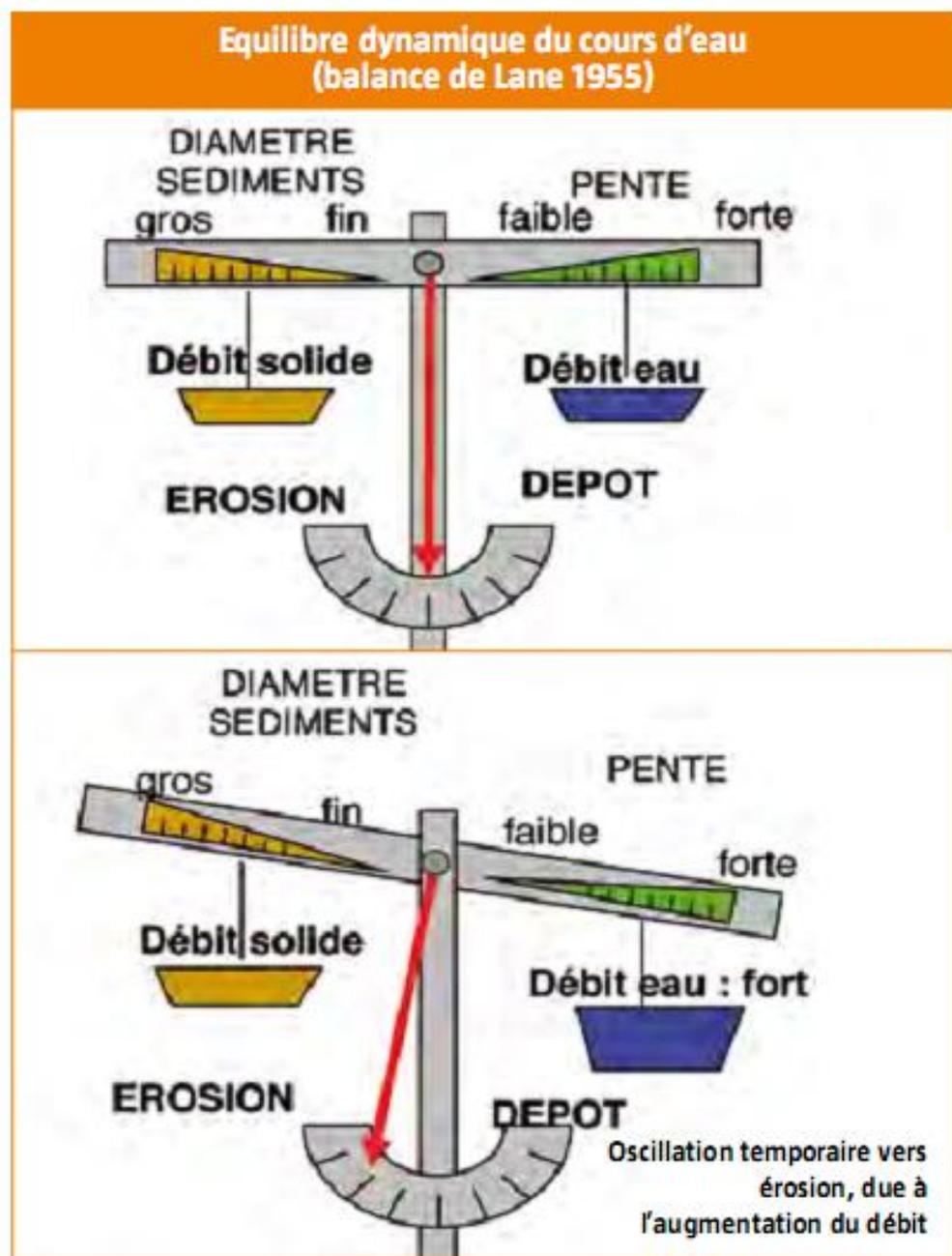
Photographie : Pierre Thomas

COURS D'EAU = TRANSPORT LIQUIDE + TRANSPORT SOLIDE

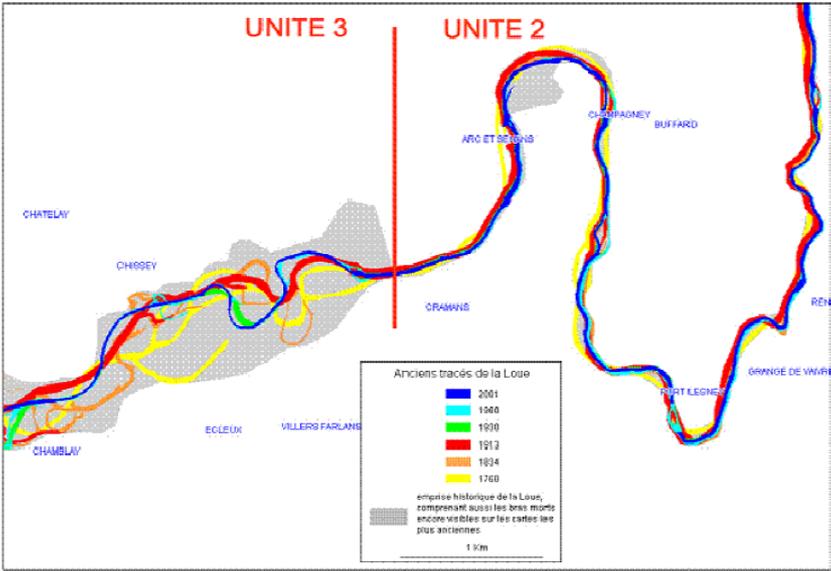
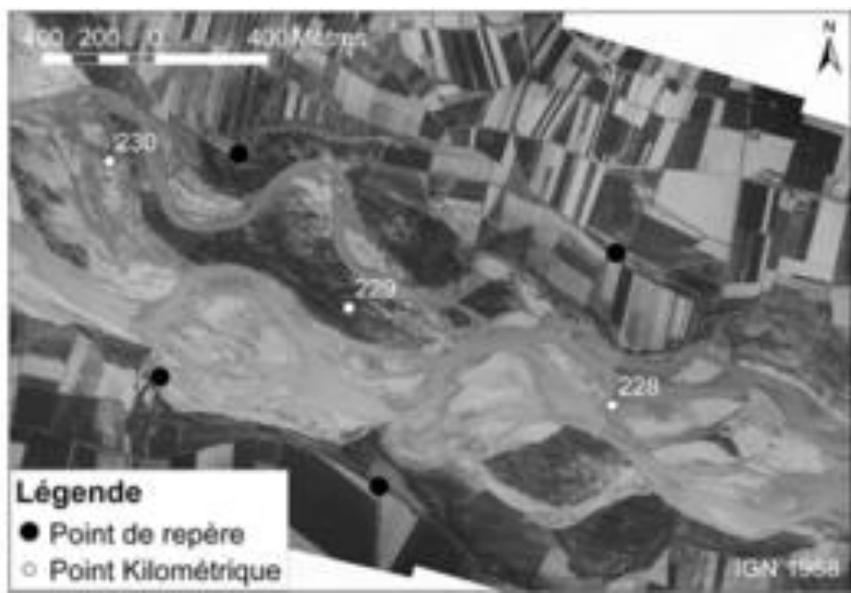
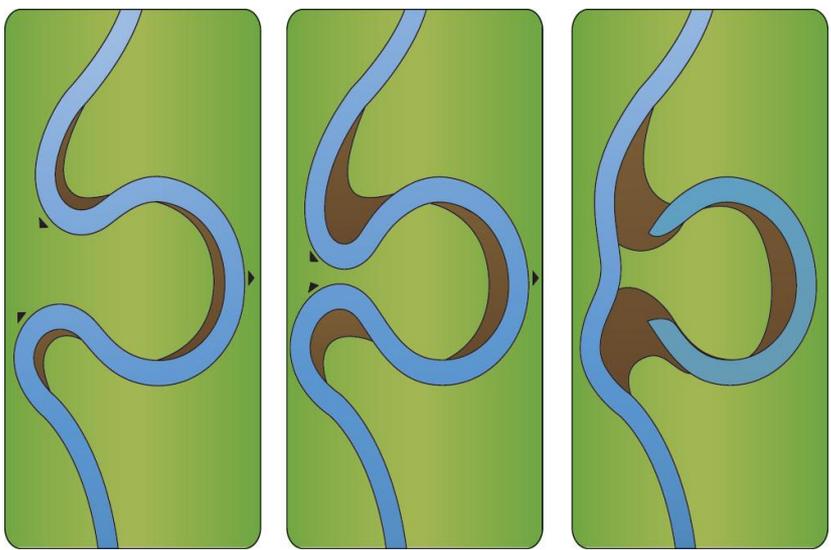
Cf. exemple extrême : le Boscodon, 400 000 tonnes
estimés lors d'une très forte crue (> décennale)

a. Introduction

1. Les cours d'eau – hydromorphologie fluviale et écologie



1. Les cours d'eau – hydromorphologie fluviale et écologie

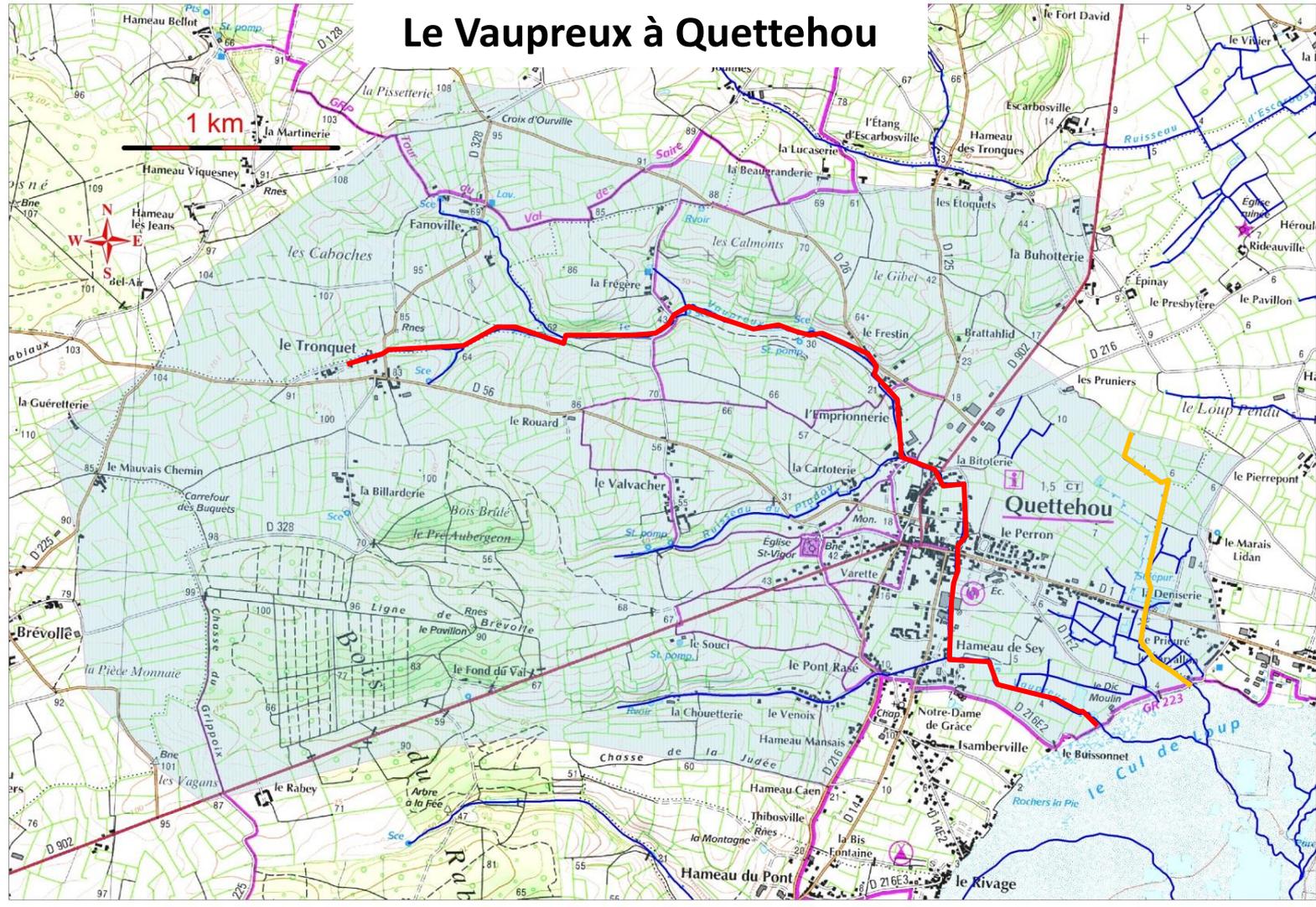


Dynamique, évolution, écosystèmes, usages

a. Introduction

1. Les cours d'eau – hydromorphologie fluviale et écologie

Hydrologie = débits produits par un bassin versant



b. Rappels d'hydrologie et notions d'hydraulique

1. Les cours d'eau – hydromorphologie fluviale et écologie

Hydrologie = débits produits par un bassin versant



Photo 5 - Piétinement des équins bordure de cours d'eau



Photo 6 - Piétinement des bovins en zone d'abreuvoir



Le Vaupreux à Quettehou

b. Rappels d'hydrologie et notions d'hydraulique

1. Les cours d'eau – hydromorphologie fluviale et écologie

Hydrologie = débits produits par un bassin versant

Données de stations hydrométriques = www.hydro.eaufrance.fr

Code station : I8923010

Bassin versant : 106 km²

Producteur : DREAL Basse-Normandie

E-mail : hydro-bn@developpement-durable.gouv.fr

SYNTHESE : données hydrologiques de synthèse (1994 - 2013)
Calculées le 08/08/2013 - Intervalle de confiance : 95 % - utilisation des stations antérieures

écoulements mensuels (naturels)

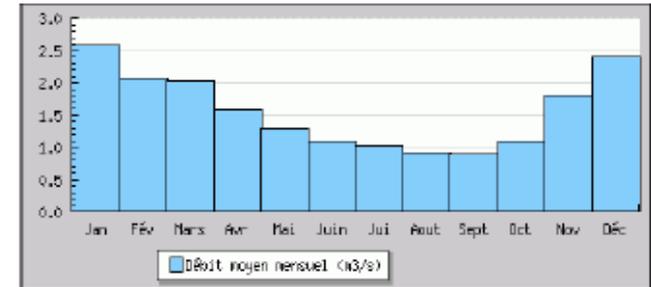
données calculées sur 20 ans

	janv.	fév.	mars	avr.	mai	juin	juil.	août	sept.	oct.	nov.	déc.	Année
Débits (m3/s)	2.580 #	2.080 #	2.020	1.570 !	1.280 !	1.090 !	1.030 !	0.913 #	0.884	1.100	1.800 #	2.410 #	1.560
Qsp (l/s/km2)	24.4 #	19.4 #	19.0	14.8 !	12.1 !	10.3 !	9.7 !	8.6 #	8.3	10.4	17.0 #	22.7 #	14.7
Lame d'eau (mm)	65 #	48 #	50	38 !	32 !	26 !	25 !	23 #	21	27	43 #	60 #	465

Qsp : débits spécifiques

Codes de validité :

- (espace) : valeur bonne
- ! : valeur reconstituée par le gestionnaire et jugée bonne
- # : valeur estimée (mesurée ou reconstituée) que le gestionnaire juge incertaine



modules interannuels (loi de Gauss - septembre à août)

données calculées sur 20 ans

module (moyenne)	fréquence	quinquennale sèche	médiane	quinquennale humide
1.560 [1.370;1.750]	débits (m3/s)	1.100 [0.890;1.300]	1.600 [1.300;1.900]	1.800 [1.600;2.100]

basses eaux (loi de Galton - janvier à décembre)

données calculées sur 20 ans

fréquence	VCN3 (m3/s)	VCN10 (m3/s)	QMNA (m3/s)
biennale	0.670 [0.620;0.720]	0.700 [0.650;0.750]	0.760 [0.700;0.840]
quinquennale sèche	0.580 [0.530;0.630]	0.610 [0.560;0.660]	0.650 [0.570;0.710]

crues (loi de Gumbel - septembre à août)

données calculées sur 16 ans

fréquence	QJ (m3/s)	QIX (m3/s)
biennale	7.800 [6.700;9.400]	11.00 [9.400;13.00]
quinquennale	11.00 [9.700;14.00]	16.00 [14.00;20.00]
décennale	13.00 [11.00;18.00]	19.00 [16.00;25.00]
vicennale	15.00 [13.00;21.00]	22.00 [19.00;30.00]
cinquantennale	non calculé	[:]
centennale	non calculé	non calculé

→ Définition et estimation des débits caractéristiques

b. Rappels d'hydrologie et notions d'hydraulique

1. Les cours d'eau – hydromorphologie fluviale et écologie

LA LOIRE A BLOIS

LA LOIRE à BLOIS

code station : K4470010 producteur : DREAL Centre
bassin versant : 38320 km² e-mail : hydromel-centre@developpement-durable.gouv.fr

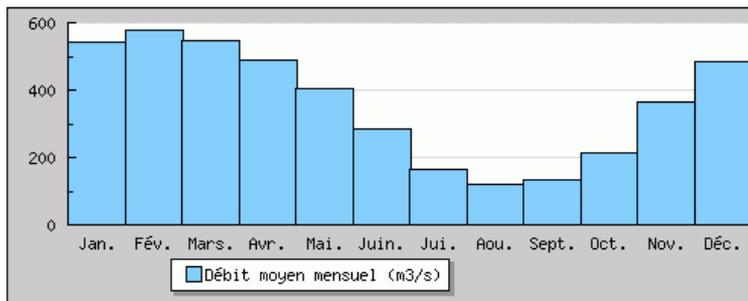
Calculées le 08/10/2013 - Intervalle de confiance : 95 %

écoulements mensuels (naturels) - données calculées sur 151 ans

	janv.	févr.	mars	avr.	mai	juin	juil.	août	sept.	oct.	nov.	dec.	année
débits (m3/s)	543.0 #	579.0 #	547.0 #	489.0 #	405.0 #	284.0 #	166.0 #	118.0 #	134.0 #	215.0 #	365.0 #	484.0 #	359.0
Qsp (l/s/km2)	14.2 #	15.1 #	14.3 #	12.8 #	10.6 #	7.4 #	4.3 #	3.1 #	3.5 #	5.6 #	9.5 #	12.6 #	9.4
lame d'eau (mm)	37 #	37 #	38 #	33 #	28 #	19 #	11 #	8 #	9 #	15 #	24 #	33 #	296

#: débits spécifiques

codes de validité affichés sont :
(espace) : valeur bonne
/ : valeur reconstituée par le gestionnaire et jugée bonne
* : valeur 'estimée' (mesurée ou reconstituée) que le gestionnaire juge incertaine



modules interannuels (loi de Gauss - septembre à août) - données calculées sur 151 ans

b. Rappels d'hydrologie et notions d'hydraulique

1. Les cours d'eau – hydromorphologie fluviale et écologie

LA LOIRE A BLOIS

basses eaux (loi de Galton - janvier à décembre) - données calculées sur 151 ans

fréquence	VCN3 (m3/s)	VCN10 (m3/s)	QMNA (m3/s)
biennale	64.00 [61.00;68.00]	67.00 [63.00;70.00]	80.00 [76.00;85.00]
quinquennale sèche	46.00 [43.00;49.00]	48.00 [45.00;51.00]	56.00 [52.00;60.00]

Les valeurs entre crochets représentent les bornes de l'intervalle de confiance dans lequel la valeur exacte du paramètre estimé a 95% de chance de se trouver.

crues (loi de Gumbel - septembre à août) - données calculées sur 151 ans

fréquence	QJ (m3/s)	QIX (m3/s)
biennale	1700. [1600.;1800.]	1700. [1700.;1800.]
quinquennale	2400. [2300.;2500.]	2400. [2300.;2500.]
décennale	2800. [2600.;3000.]	2800. [2700.;3000.]
vicennale	3200. [3000.;3500.]	3300. [3100.;3500.]
cinquantennale	3800. [3500.;4100.]	3800. [3600.;4100.]
centennale	non calculé	non calculé

Les valeurs entre crochets représentent les bornes de l'intervalle de confiance dans lequel la valeur exacte du paramètre estimé a 95% de chance de se trouver.

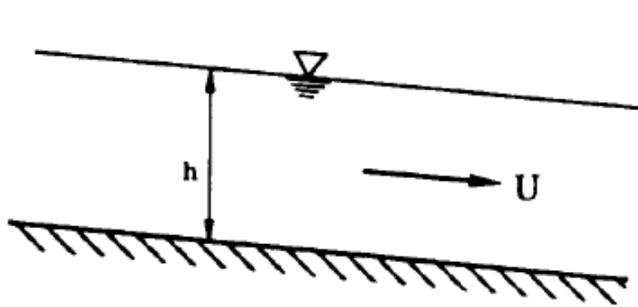
maximums connus (par la banque HYDRO)

débit instantané maximal (m3/s)	3050.	9 décembre 2003 08:20
hauteur maximale instantanée (cm)	505	11 janvier 1982 20:49
débit journalier maximal (m3/s)	6000.	29 septembre 1866

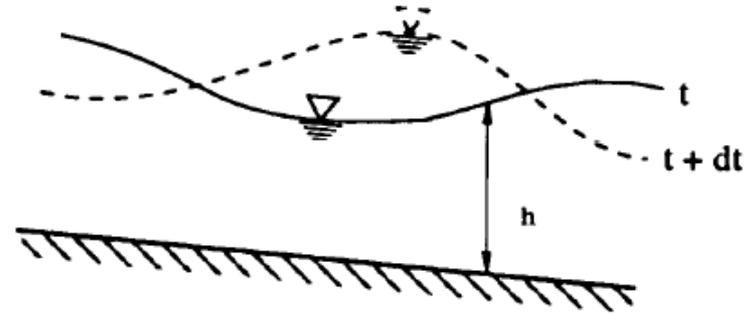
b. Rappels d'hydrologie et notions d'hydraulique

1. Les cours d'eau – hydromorphologie fluviale et écologie

Hydraulique = régimes d'écoulements du transport liquide sur un cours d'eau



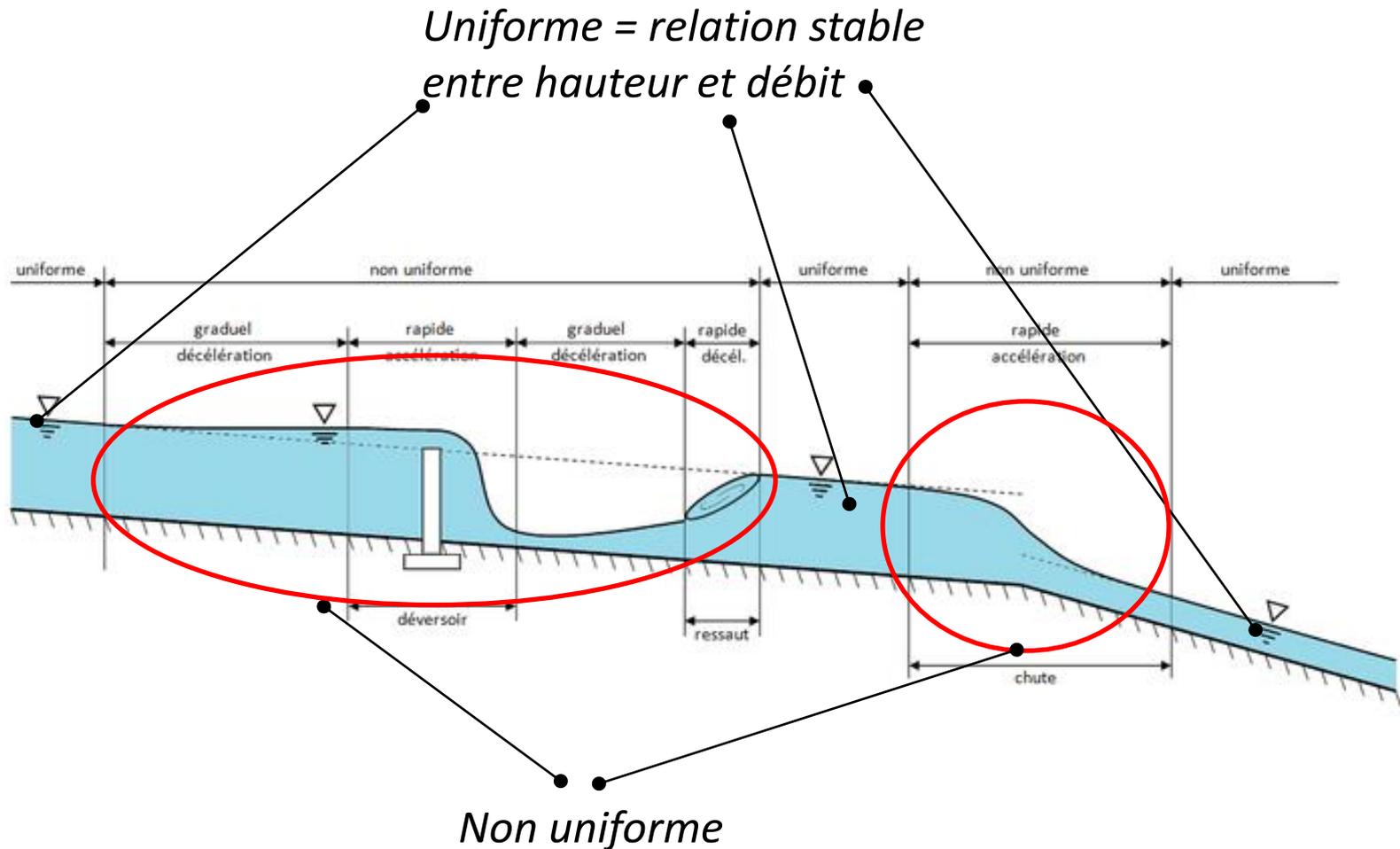
Ecoulement permanent



Ecoulement non-permanent

1. Les cours d'eau – hydromorphologie fluviale et écologie

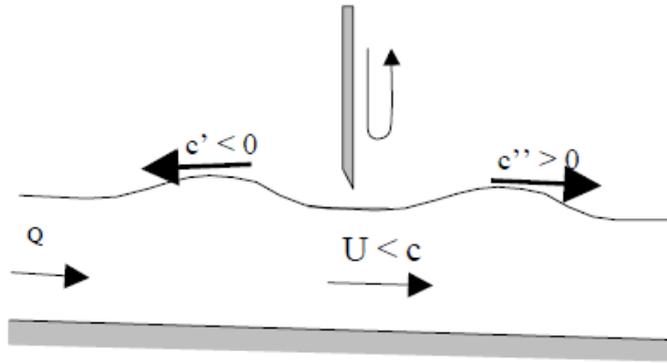
Hydraulique = régimes d'écoulements du transport liquide sur un cours d'eau



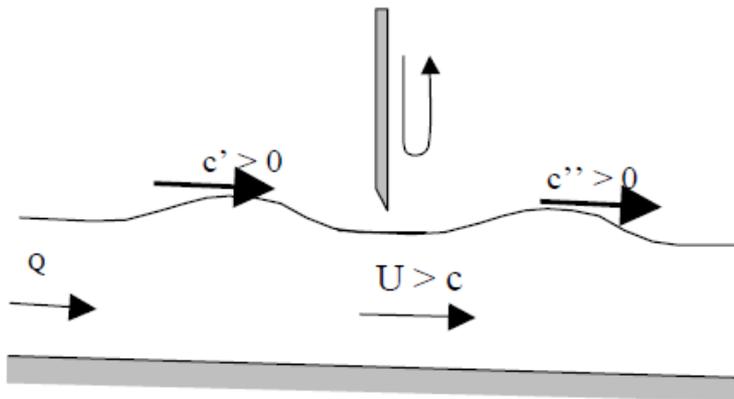
1. Les cours d'eau – hydromorphologie fluviale et écologie

Hydraulique = régimes d'écoulements du transport liquide sur un cours d'eau

Fluvial/torrentiel



Remontée de l'onde qui va perturber l'amont = **régime fluvial**, influence aval



La vitesse de l'eau est supérieure à la vitesse de l'onde $c \rightarrow$, l'amont n'est pas influencé par les conditions à l'aval = **régime torrentiel**

U : vitesse de l'écoulement
c : célérité des ondes
c' : vitesse de l'onde amont
c'' : vitesse de l'onde aval

b. Rappels d'hydrologie et notions d'hydraulique

1. Les cours d'eau – hydromorphologie fluviale et écologie

Hydraulique = régimes d'écoulements du transport liquide sur un cours d'eau

Fluvial/torrentiel



Remontée de l'onde qui va perturber l'amont = **régime fluvial**, « influence aval »



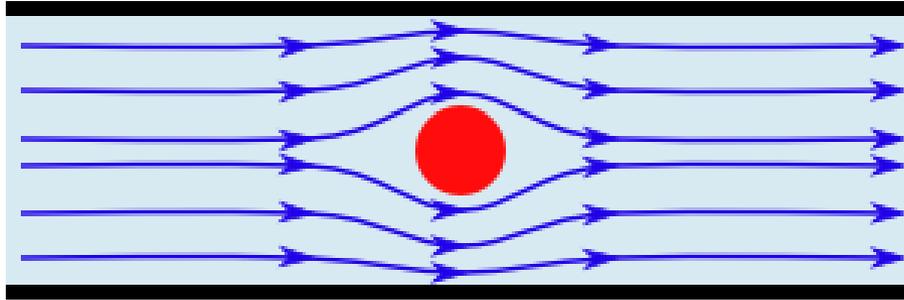
La vitesse de l'eau est supérieure à la vitesse de l'onde $c \rightarrow$, l'amont n'est pas influencé par les conditions à l'aval = **régime torrentiel**

b. Rappels d'hydrologie et notions d'hydraulique

1. Les cours d'eau – hydromorphologie fluviale et écologie

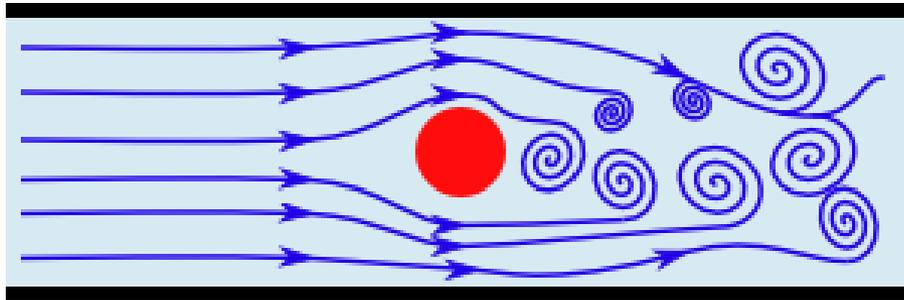
Hydraulique = régimes d'écoulements du transport liquide sur un cours d'eau

Laminaire/Turbulent



Filets d'eau parallèle les uns aux autres → Laminaire

$Re > 2000$ environ



Tourbillons → Turbulent

$Re < 2000$ environ

Nombre de Reynolds

$$Re = \frac{\rho v D}{\mu}$$

b. Rappels d'hydrologie et notions d'hydraulique

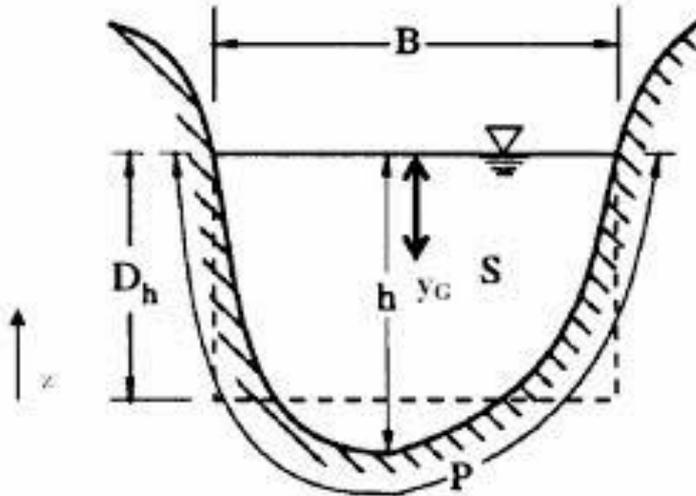
1. Les cours d'eau – hydromorphologie fluviale et écologie

Un lien « simple » entre hydrologie et hydraulique : la formule de Manning Strickler

- Connaissant l'hydrologie (débits caractéristiques produits par un bassin versant):
- quelle géométrie de cours d'eau ou d'ouvrage (pente, section) peut permettre d'écouler ces débits ?
 - Tel ouvrage existant est-il suffisant ?



La formule : $Q (m^3/s) = K \times S \times R_h^{2/3} \times I^{1/2}$

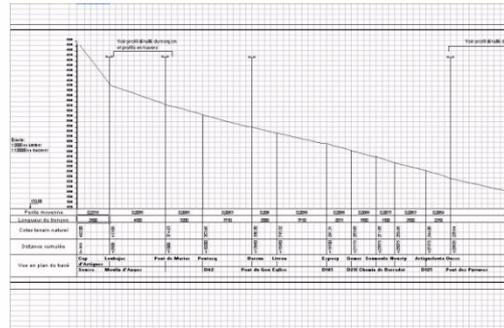


Profil en travers.

S = Section mouillée

P = Périmètre mouillée

Rh Rayon Hydraulique = S/P



Profil en long

I = pente d'énergie en m/m

= *pente cours d'eau*

b. Rappels d'hydrologie et notions d'hydraulique

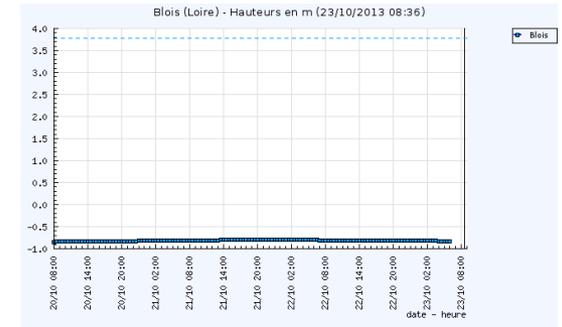
1. Les cours d'eau – hydromorphologie fluviale et écologie

Un lien « simple » entre hydrologie et hydraulique : la formule de Manning

Strickler

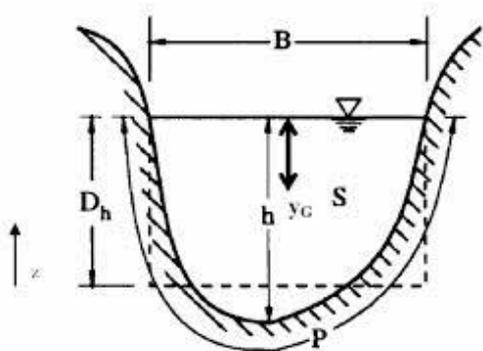


Largeur à pleins bords :
380 m



Hauteur crue 2003 : env
4.50

Pente : cf dia suivante

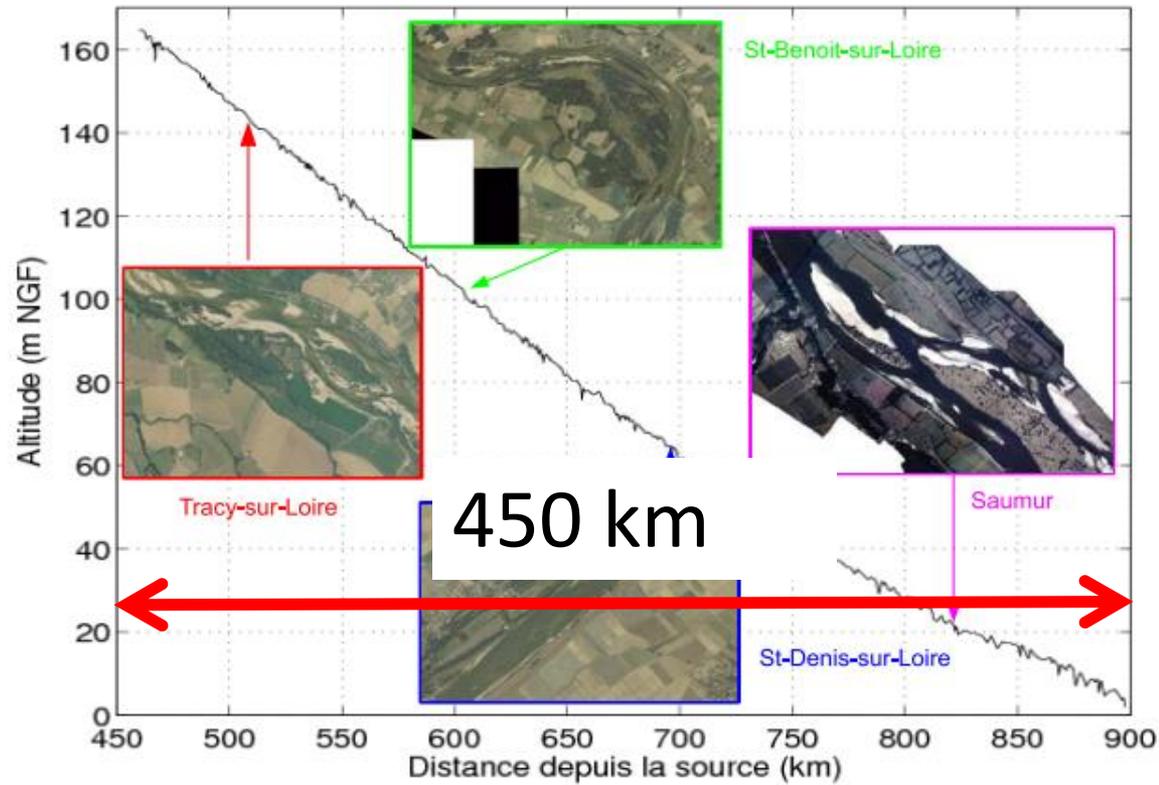


La formule : $Q \text{ (m}^3\text{/s)} = K \times S \times Rh^{2/3} \times l^{1/2}$

b. Rappels d'hydrologie et notions d'hydraulique

1. Les cours d'eau – hydromorphologie fluviale et écologie

Un lien « simple » entre hydrologie et hydraulique : la formule de Manning Strickler

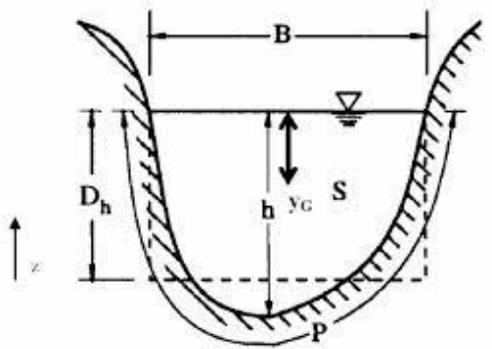


Largeur à pleins bords : 380 m

Hauteur crue 2003 : env 4.50

Pente :

160 m



La formule : $Q (m^3/s) = K \times S \times Rh^{2/3} \times I^{1/2}$

b. Rappels d'hydrologie et notions d'hydraulique

1. Les cours d'eau – hydromorphologie fluviale et écologie

LA LOIRE A BLOIS

basses eaux (loi de Galton - janvier à décembre) - données calculées sur 151 ans

fréquence	VCN3 (m3/s)	VCN10 (m3/s)	QMNA (m3/s)
biennale	64.00 [61.00;68.00]	67.00 [63.00;70.00]	80.00 [76.00;85.00]
quinquennale sèche	46.00 [43.00;49.00]	48.00 [45.00;51.00]	56.00 [52.00;60.00]

Les valeurs entre crochets représentent les bornes de l'intervalle de confiance dans lequel la valeur exacte du paramètre estimé a 95% de chance de se trouver.

crues (loi de Gumbel - septembre à août) - données calculées sur 151 ans

fréquence	QJ (m3/s)	QIX (m3/s)
biennale	1700. [1600.;1800.]	1700. [1700.;1800.]
quinquennale	2400. [2300.;2500.]	2400. [2300.;2500.]
décennale	2800. [2600.;3000.]	2800. [2700.;3000.]
vicennale	3200. [3000.;3500.]	3300. [3100.;3500.]
cinquantennale	3800. [3500.;4100.]	3800. [3600.;4100.]
centennale	non calculé	non calculé

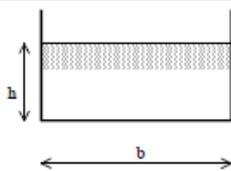
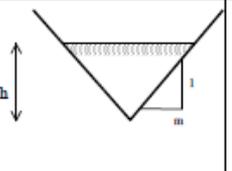
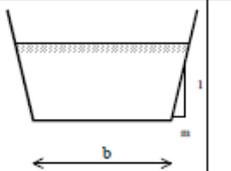
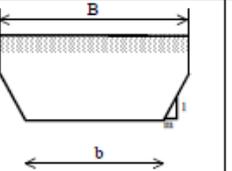
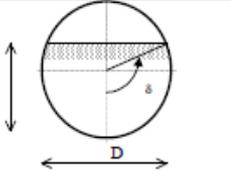
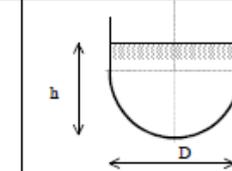
Les valeurs entre crochets représentent les bornes de l'intervalle de confiance dans lequel la valeur exacte du paramètre estimé a 95% de chance de se trouver.

maximums connus (par la banque HYDRO)

débit instantané maximal (m3/s)	3050.	9 décembre 2003 08:20
hauteur maximale instantanée (cm)	505	11 janvier 1982 20:49
débit journalier maximal (m3/s)	6000.	29 septembre 1866

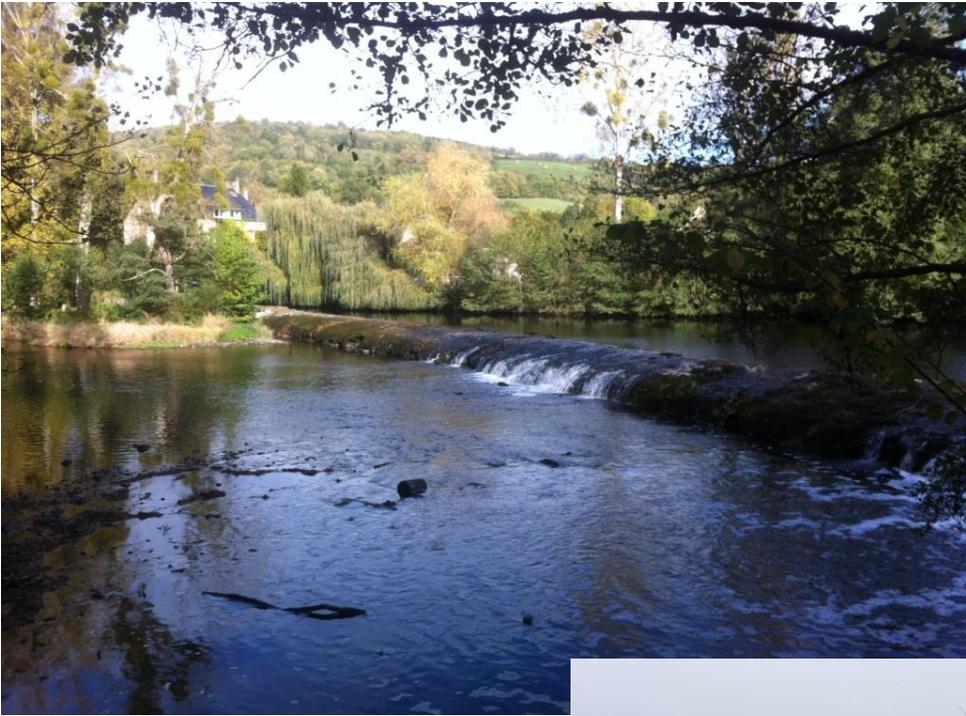
b. Rappels d'hydrologie et notions d'hydraulique

1. Les cours d'eau – hydromorphologie fluviale et écologie

					 $h = R(1 - \cos \delta)$	
Surface S		$S = mh^2$	$S = bh + mh^2$	$S = Bh - \frac{(B-b)^2}{4m}$	$S = \frac{D^2}{4}(\delta - \sin \delta \cos \delta)$	$S = Dh + D^2 \left(\frac{\pi}{8} - \frac{1}{2} \right)$
Périmètre mouillé P		$P = 2h\sqrt{1+m^2}$	$P = b + 2h\sqrt{1+m^2}$	$P = 2h + b + \frac{(B-b)(\sqrt{1+m^2} - 1)}{m}$	$P = D\delta$	$P = 2h + D \left(\frac{\pi}{2} - 1 \right)$
Rayon Hydraulique R_h		$R_h = \frac{mh}{2\sqrt{1+m^2}}$	$R_h = \frac{bh + mh^2}{b + 2h\sqrt{1+m^2}}$	$R_h = \frac{S}{P}$	$R_h = \frac{D}{4} \left(1 - \frac{\sin \delta \cos \delta}{\delta} \right)$	$R_h = \frac{S}{P}$

b. Rappels d'hydrologie et notions d'hydraulique

1. Les cours d'eau – hydromorphologie fluviale et écologie



*LA SUITE (cours du
16 novembre 2022)*

d. Hydromorphologie, variables de contrôle – variables de réponses

1. Les cours d'eau – hydromorphologie fluviale et écologie

**Les variables de contrôle d'un cours d'eau
= le contexte dans lequel le cours d'eau se forme
et évolue**

- *Débit Liquide*
- *Débit Solide*
- *Géométrie globale de la vallée*
- *Végétation*
- *Pour un fleuve : le niveau de la mer
(altimétrie de l'estuaire)*

1. Les cours d'eau – hydromorphologie fluviale et écologie

Une donnée essentielle :

La puissance spécifique du cours d'eau ω
(Watt/m²)

1) Puissance $\Omega = \rho \times g \times Qb$ (débit à plein bord) $\times l$ (pente)

ρ est la masse volumique de l'eau (1000 kg/m³)

g = accélération de la pesanteur = 9.81 m/s²

l = pente, en mètre par mètre (et non en %)

→ 2) Puissance spécifique ω

$\omega =$ puissance spécifique en W/m² = Ω /largeur

1. Les cours d'eau – hydromorphologie fluviale et écologie

Le « score géodynamique »
= la propension du cours d'eau à évoluer
En fonction de :

	1	2	3	4
Puissance spécifique- ω	< 10 W/m ²	10-30 W/m ²	30-100 W/m ²	> 100 W/m ²
Erodabilité des berges - B	Nulle	Faible	Moyenne	Forte

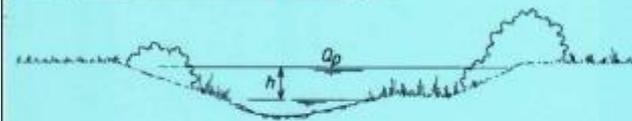
 Cours d'eau peu dynamique

 Cours d'eau très réactif et dynamique,

Domaine d'application des protections végétales sur les berges

Cours d'eau:
Tronçon:
Commune:

Valeurs moyennes généralement admises



Enrochements et végétaux $T = 350 \text{ N/m}^2$ (Zone montagne)

Couche de branches de saules $T = 300 \text{ N/m}^2$

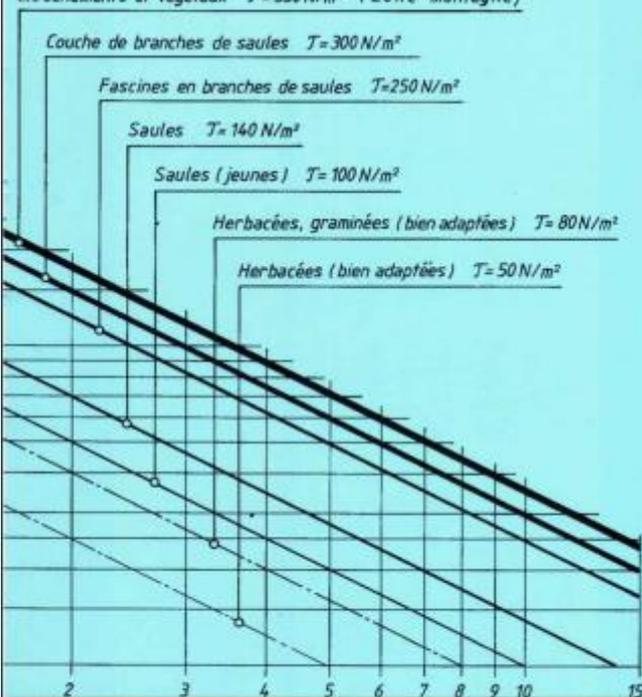
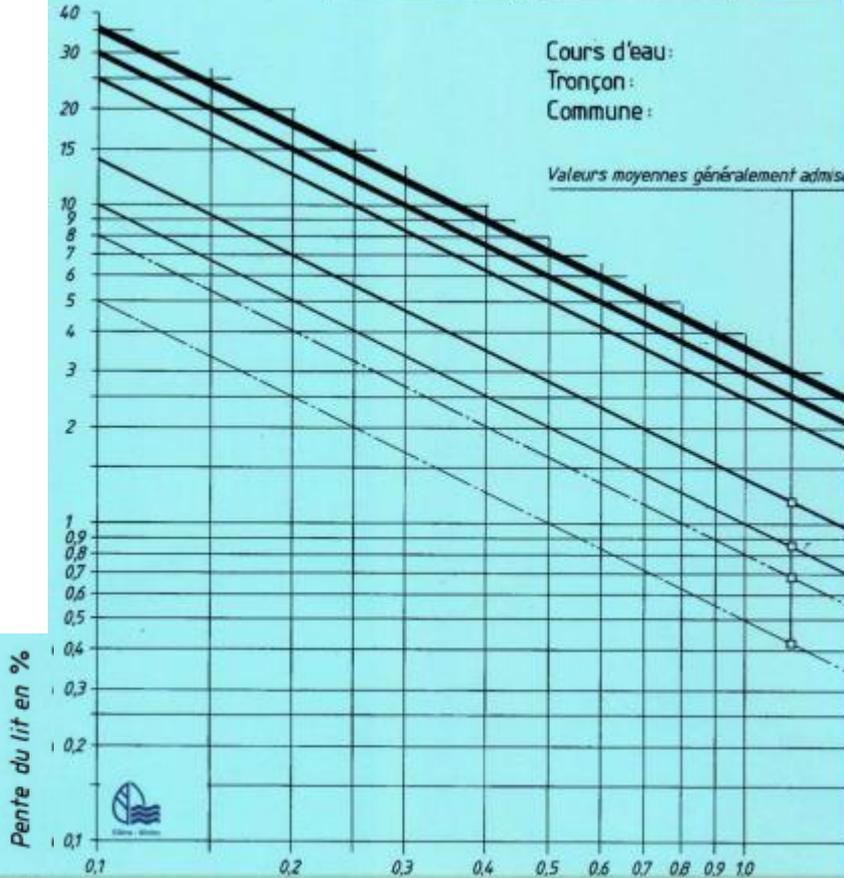
Fascines en branches de saules $T = 250 \text{ N/m}^2$

Saules $T = 140 \text{ N/m}^2$

Saules (jeunes) $T = 100 \text{ N/m}^2$

Herbacées, graminées (bien adaptées) $T = 80 \text{ N/m}^2$

Herbacées (bien adaptées) $T = 50 \text{ N/m}^2$



Profondeur limite de l'eau pour les protections végétales (h) en m.

1. Les cours d'eau – hydromorphologie fluviale et écologie

**Les variables « de réponse et d'ajustement »
= la façon dont le cours d'eau se forme et évolue**

- *Profil en long*
- *Largeur à plein bord*
- *Profondeur moyenne à plein bord*
- *Pente locale*
- *Sinuosité*

Exercice : calcul de puissance spécifique pour deux cas

CAS 1 : VAUPREUX :

- $Q_{pb} = 1.25 \text{ m}^3/\text{s}$

- Pente en long = 0.01 m/m

PUISSANCE = 122 W/m

Puissance spécifique (largeur 2m) = 60 W/m^2

CAS 2 : LOIRE

- $Q_{pb} = 1700 \text{ m}^3/\text{s}$

-Pente en long = $3.5 \times 10^{-4} \text{ m/m}$

-PUISSANCE = 5800 W/m

Puissance spécifique (largeur 380 m) = 15 W/m^2

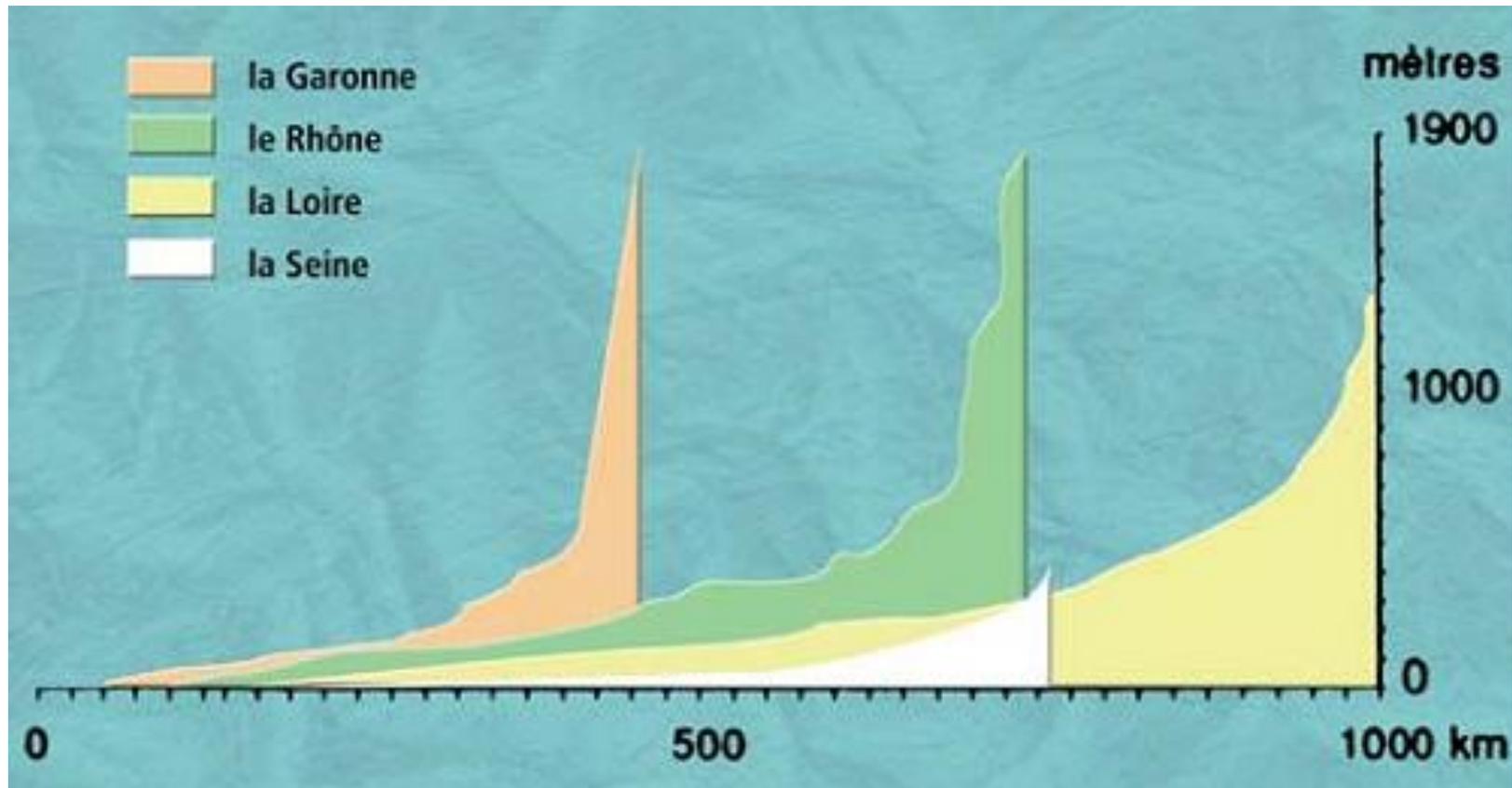
$$\Omega = \rho \times g \times Q_{pb} \times l(\text{pente})$$

$$\Omega = \Omega / \text{largeur}$$

1. Les cours d'eau – hydromorphologie fluviale et écologie

Variables « de réponse et d'ajustement »

Profil en long

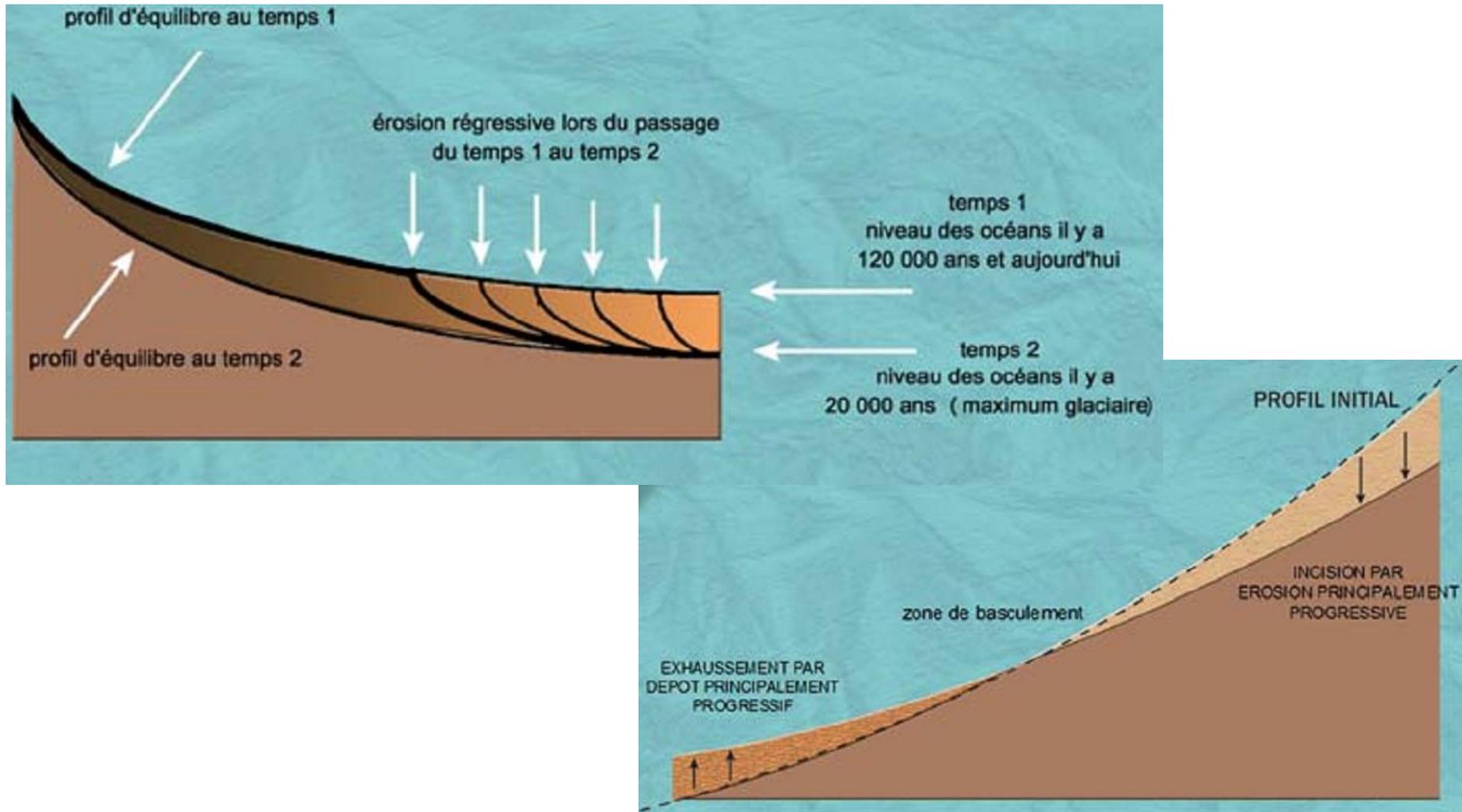


d. Hydromorphologie, variables de réponse

1. Les cours d'eau – hydromorphologie fluviale et écologie

Variables « de réponse et d'ajustement »

Profil en long

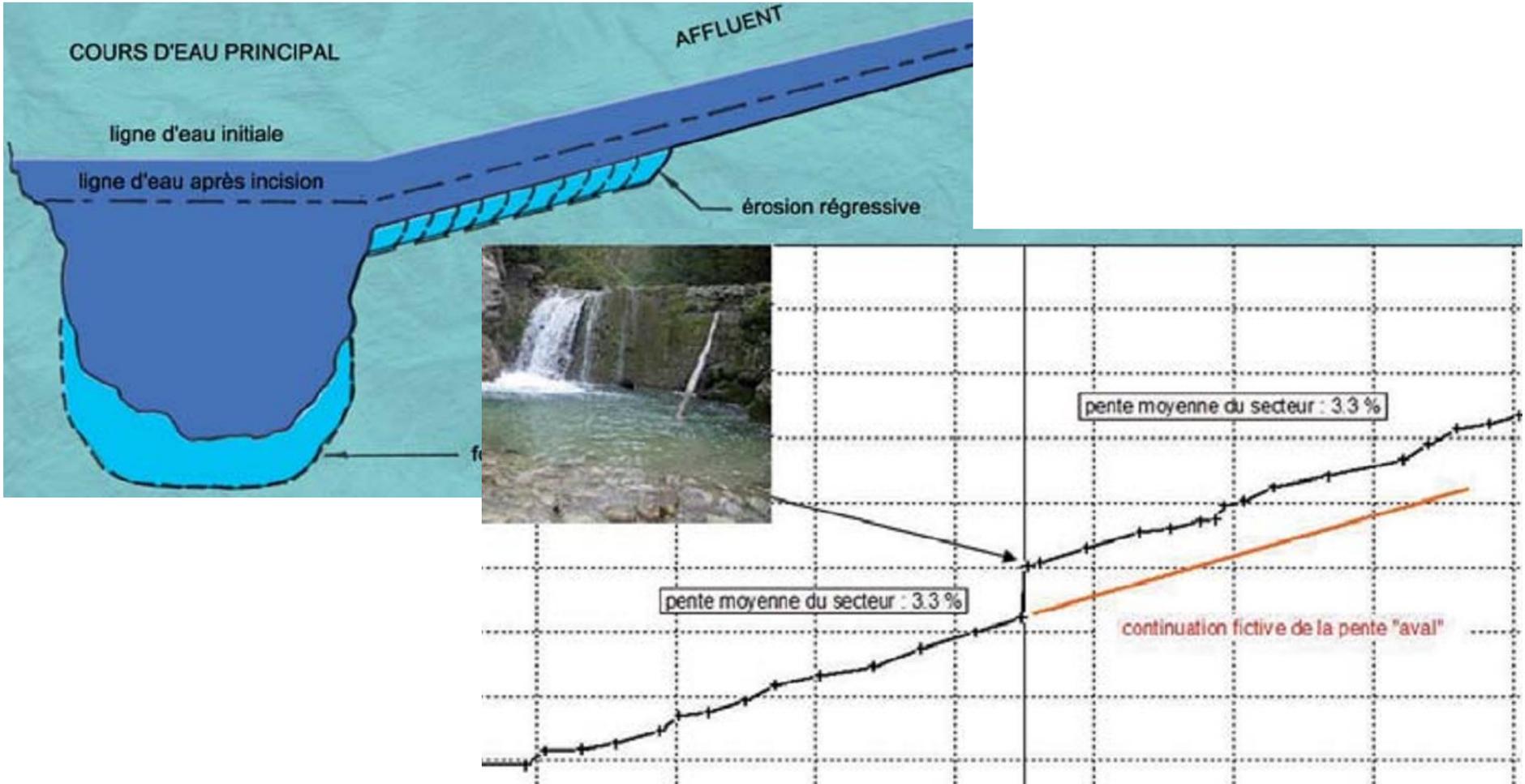


d. Hydromorphologie, variables de réponse

1. Les cours d'eau – hydromorphologie fluviale et écologie

Variables « de réponse et d'ajustement »

Profil en long – exemple de réponse locale suite à une action anthropique : érosion régressive suite à la suppression d'un ouvrage



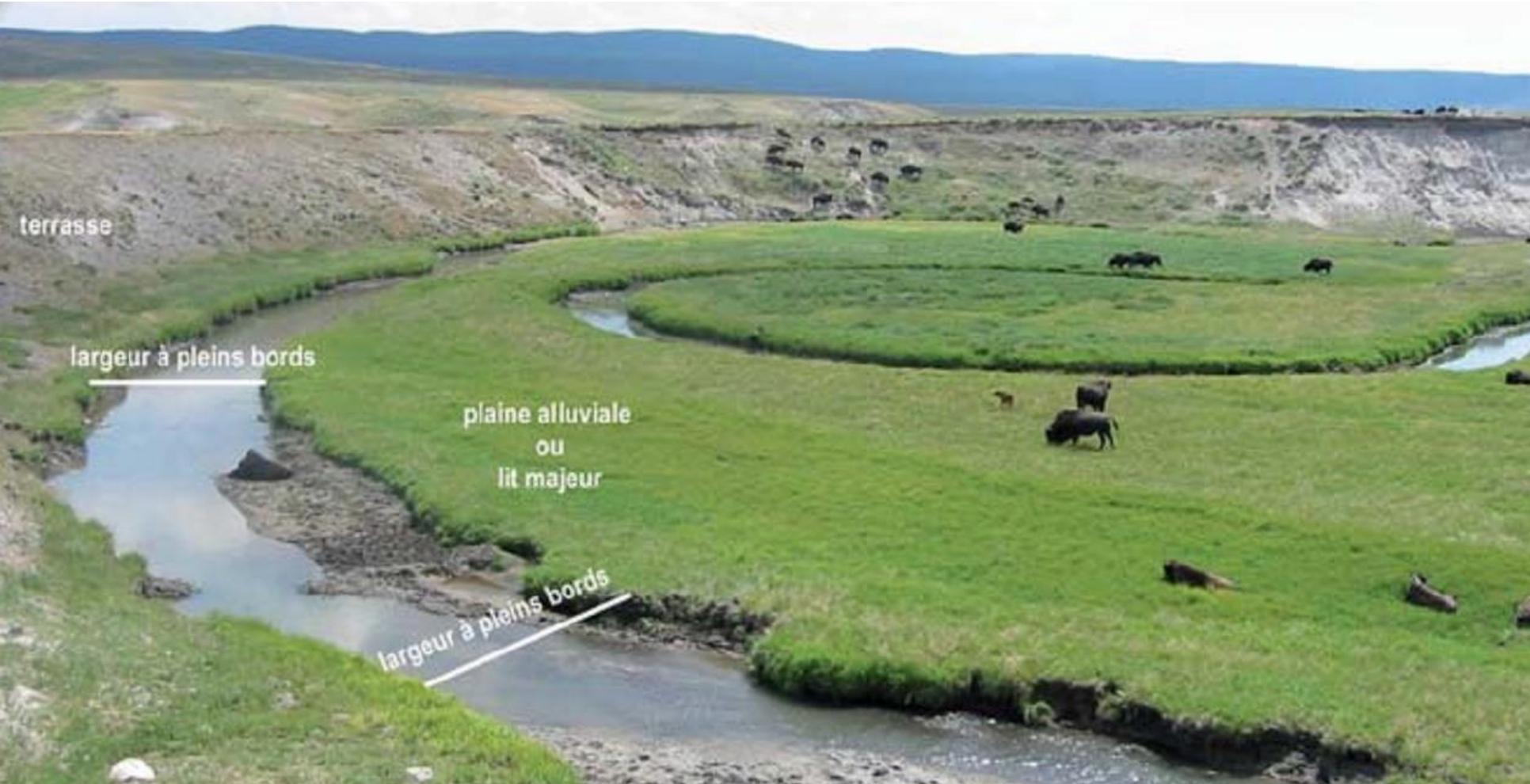
d. Hydromorphologie, variables de réponse

1. Les cours d'eau – hydromorphologie fluviale et écologie

Variables « de réponse et d'ajustement »

Profil en travers : une géométrie d'équilibre

Un indicateur clé : la largeur à plein bord (= avant débordement vers le lit majeur)



d. Hydromorphologie, variables de réponse

1. Les cours d'eau – hydromorphologie fluviale et écologie

Variables « de réponse et d'ajustement »

Le débit de plein bord, un débit morphogène.

Quelle récurrence ?

En général, le débit de plein bord correspond au débit d'une crue de récurrence comprise entre 1 et 2 ans (selon la texture des berges et le bassin versant), dans le cas de cours d'eau naturel plutôt méandriformes (*cf. plus loin les styles fluviaux*)

Si le débit de plein bord dépasse largement le « Q2ans », c'est sans doute que la rivière a été rectifiée

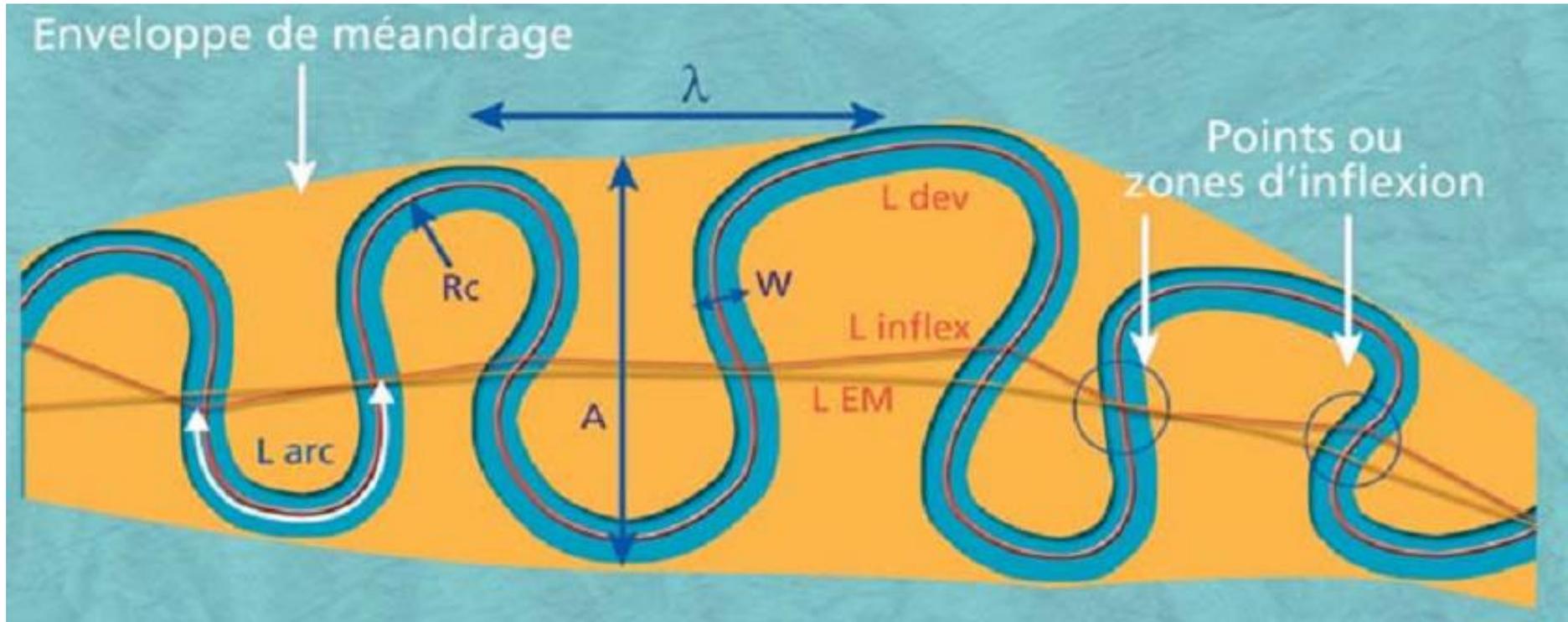


d. Hydromorphologie, variables de réponse

1. Les cours d'eau – hydromorphologie fluviale et écologie

Variables « de réponse et d'ajustement » → styles fluviaux

1) le méandrage, morphométrie

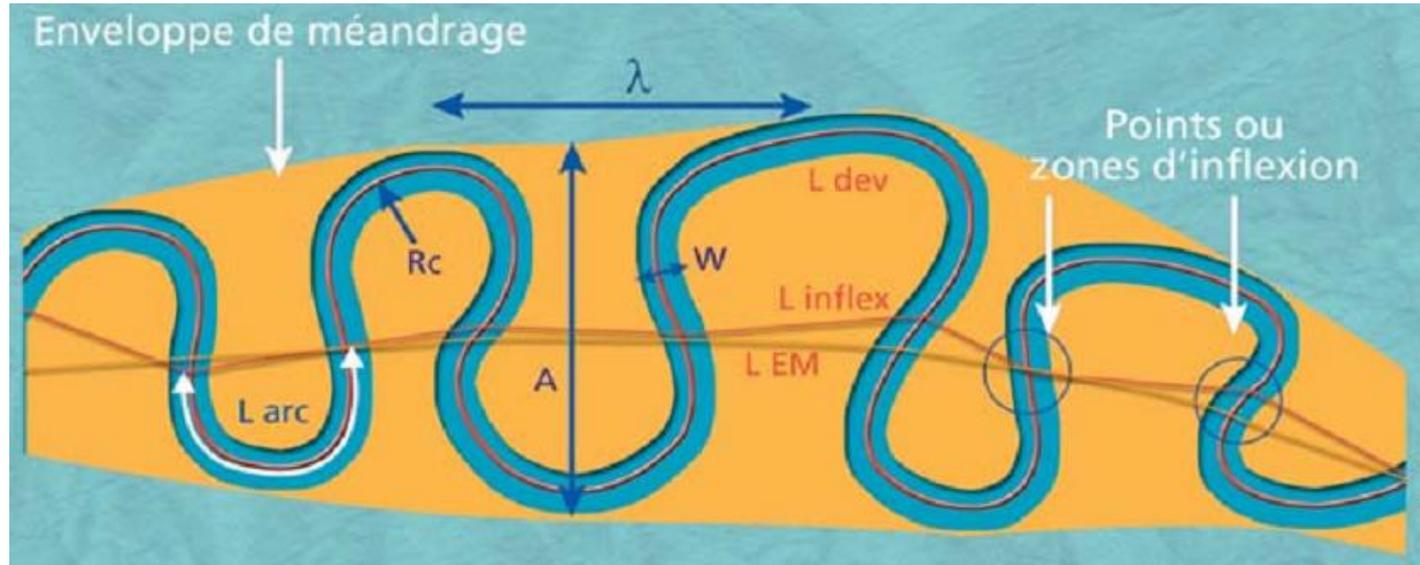


L dev= longueur développée ; LEM et Linflex : en suivant l'axe de la vallée ;
W = largeur à plein bord (= correspond environ au débit de crue 1 à 2 ans) ;
 λ = longueur d'onde ; A = amplitude ; Rc = rayon de courbure

1. Les cours d'eau – hydromorphologie fluviale et écologie

Variables « de réponse et d'ajustement » → styles fluviaux

1) le méandrage, morphométrie



Coefficient de sinuosité $SI = L_{dev}/L_{EM}$ ou L_{dev}/L_{inflex}

$SI < 1.05$ = rivière rectiligne

$1.05 < SI < 1.25$: cours d'eau sinueux

$1.25 < SI < 1.5$: cours d'eau très sinueux

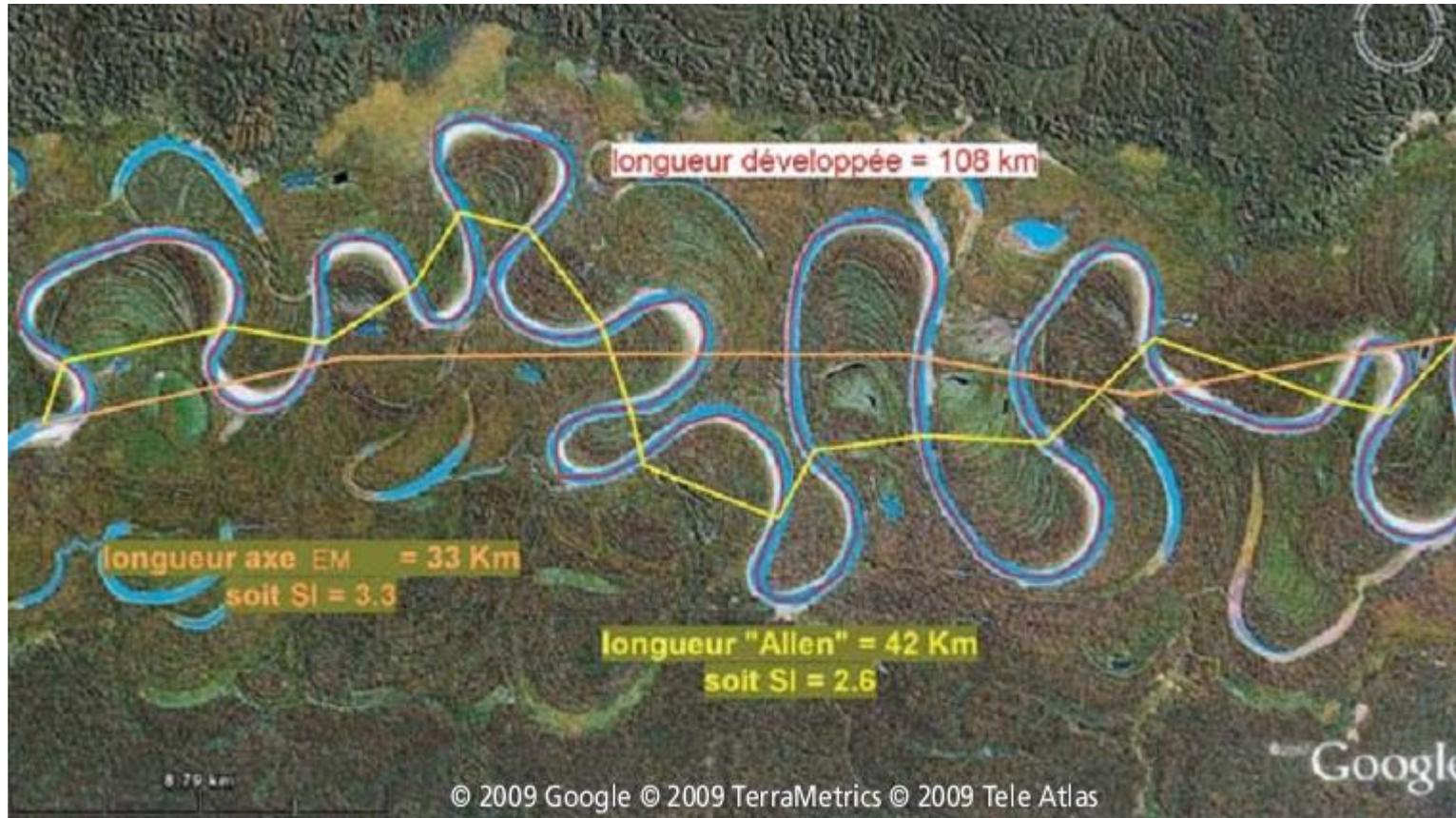
$SI > 1.5$: cours d'eau méandriforme

Plus « SI » augmente, moins la rivière est active et/ou plus les berges sont cohésives

1. Les cours d'eau – hydromorphologie fluviale et écologie

Variables « de réponse et d'ajustement » → styles fluviaux

1) le méandrage, morphométrie

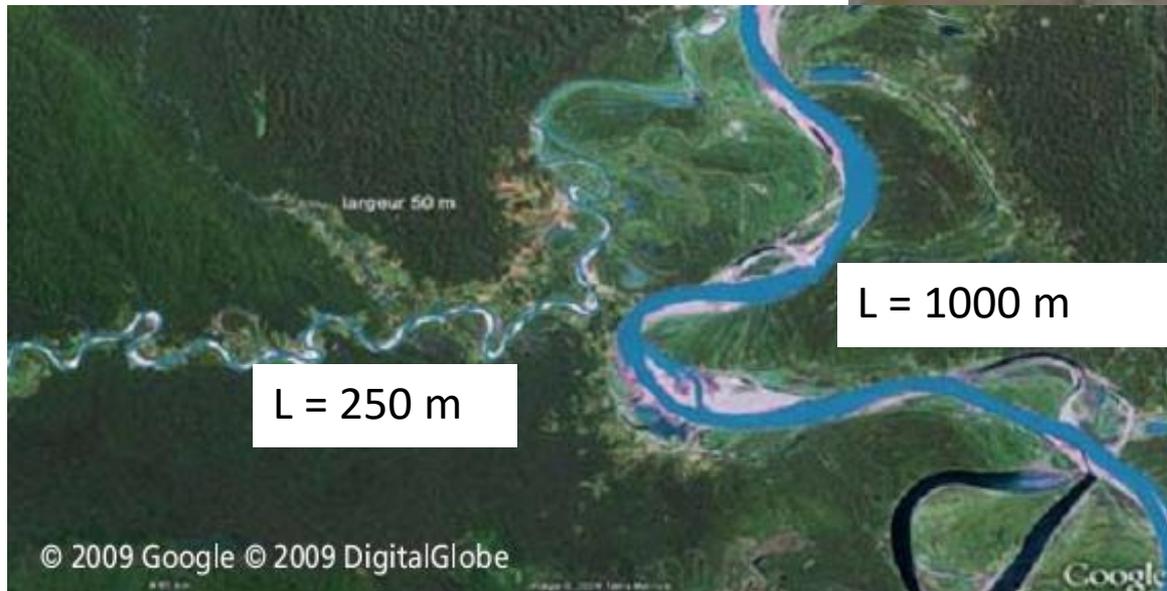
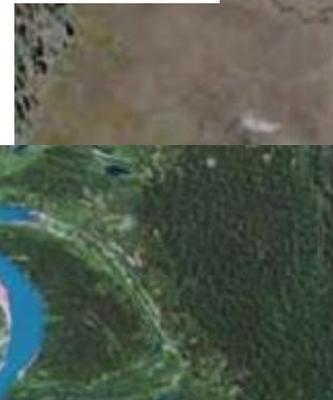


1. Les cours d'eau – hydromorphologie fluviale et écologie

Variables « de réponse et d'ajustement » → styles fluviaux

1) le méandrage, morphométrie

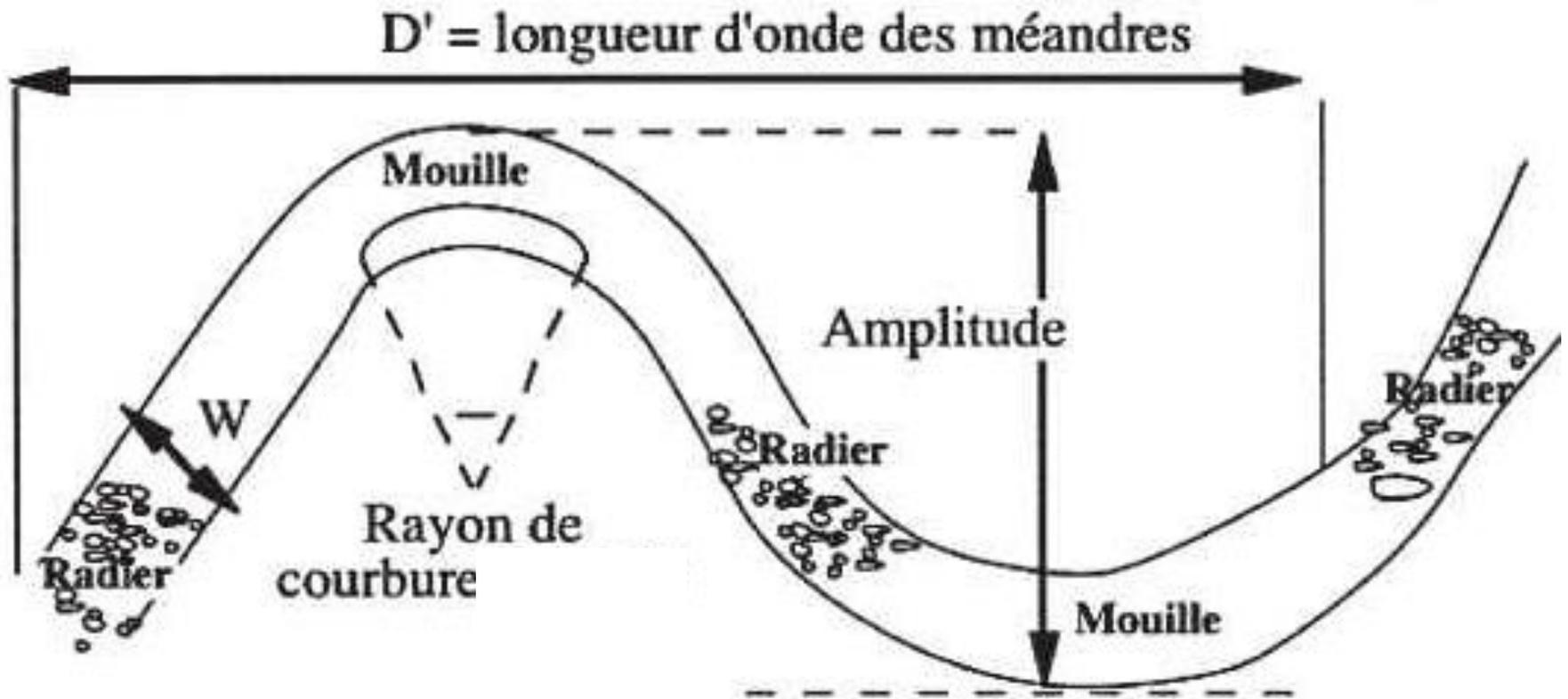
→ Loi de proportionnalité



1. Les cours d'eau – hydromorphologie fluviale et écologie

Variables « de réponse et d'ajustement » → styles fluviaux

1) le méandrage, alternance de mouilles (sur profondeurs dues à l'érosion en extrados) et radiers (sur les tronçons rectilignes)



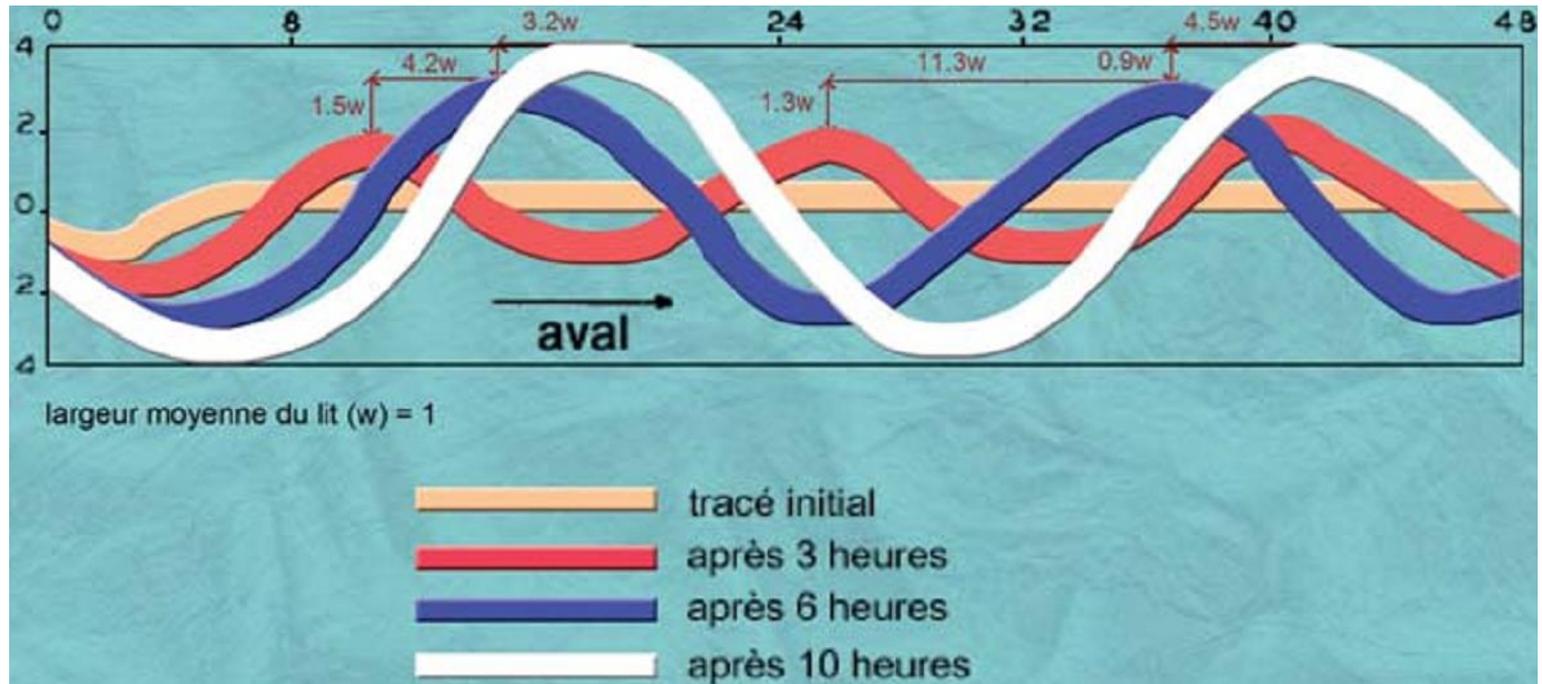
1. Les cours d'eau – hydromorphologie fluviale et écologie

Variables « de réponse et d'ajustement » → styles fluviaux

1) le méandrage, évolution des méandres

→ Mobilité

→ Erosion



Tendances :

- Rivière active – berges non cohésives (« SI » < 1.5) → translation
- Rivière peu active – berges cohésives → extension, expansion

1. Les cours d'eau – hydromorphologie fluviale et écologie

Variables « de réponse et d'ajustement » → styles fluviaux

1) le méandrage, évolution des méandres

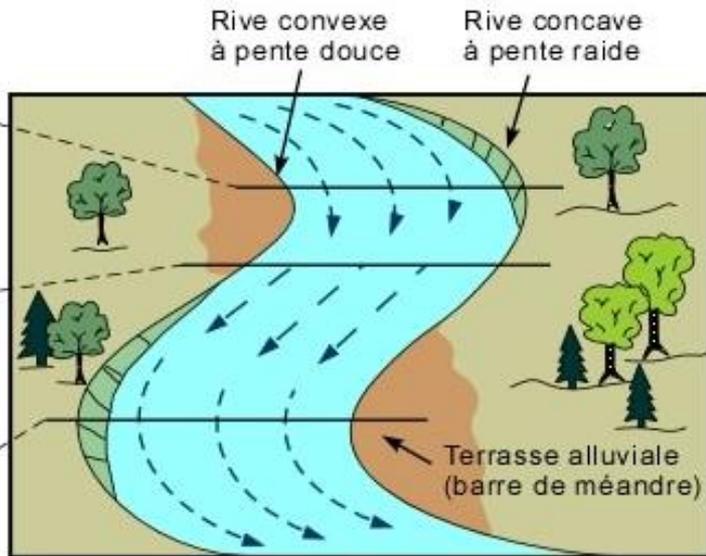
→ Mobilité, érosion, mesure de flèches d'érosion entre deux tracés (1950, 2002)

Taux d'érosion à exprimer en %age annuel de la largeur à plein bord



→ < 1%, rivière très peu active

→ > 15%, rivière extrêmement active

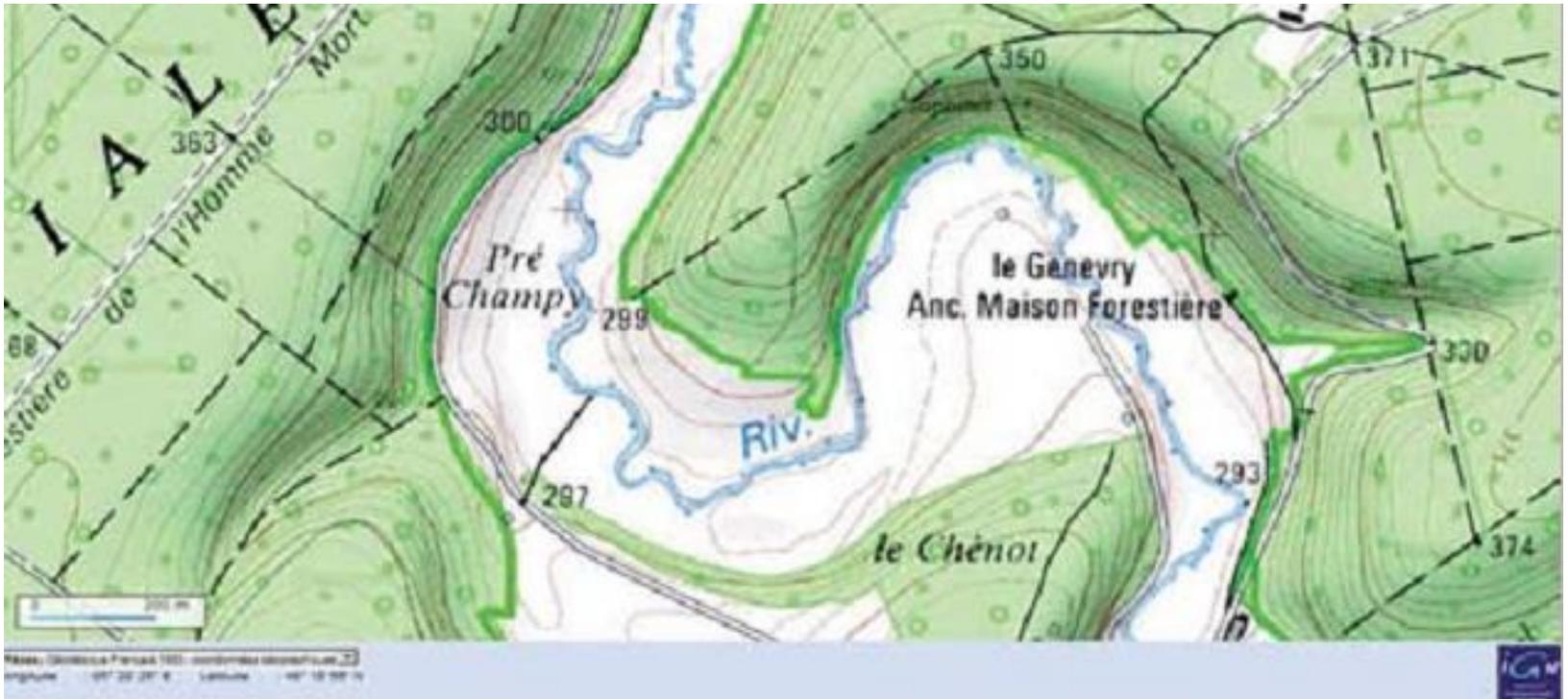


1. Les cours d'eau – hydromorphologie fluviale et écologie

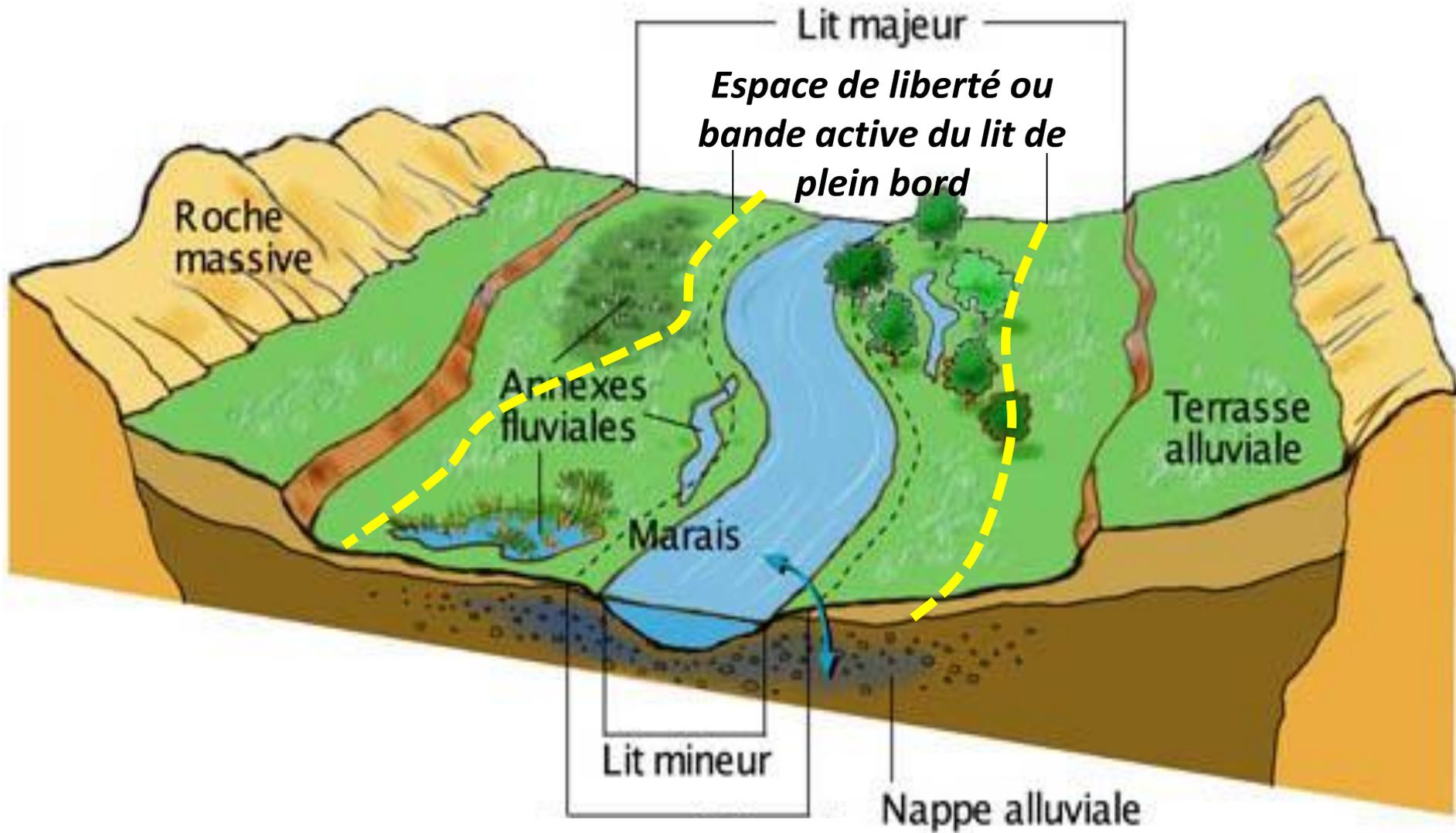
Variables « de réponse et d'ajustement » → styles fluviaux

1) le méandrage, évolution des méandres

Exemple de superposition de deux âges d'une rivière : un cours d'eau aujourd'hui modeste méandre dans une vallée méandrique large formée à une époque où le débit morphogène devait être beaucoup plus élevé



d. Hydromorphologie, styles fluviaux – le méandrage



**Lit de plein bord
(haut de berge)**

1. Les cours d'eau – hydromorphologie fluviale et écologie

Variables « de réponse et d'ajustement » → styles fluviaux

2) *le tressage*. Des rivières très larges et peu profondes ; un transport solide grossier très intense et observable

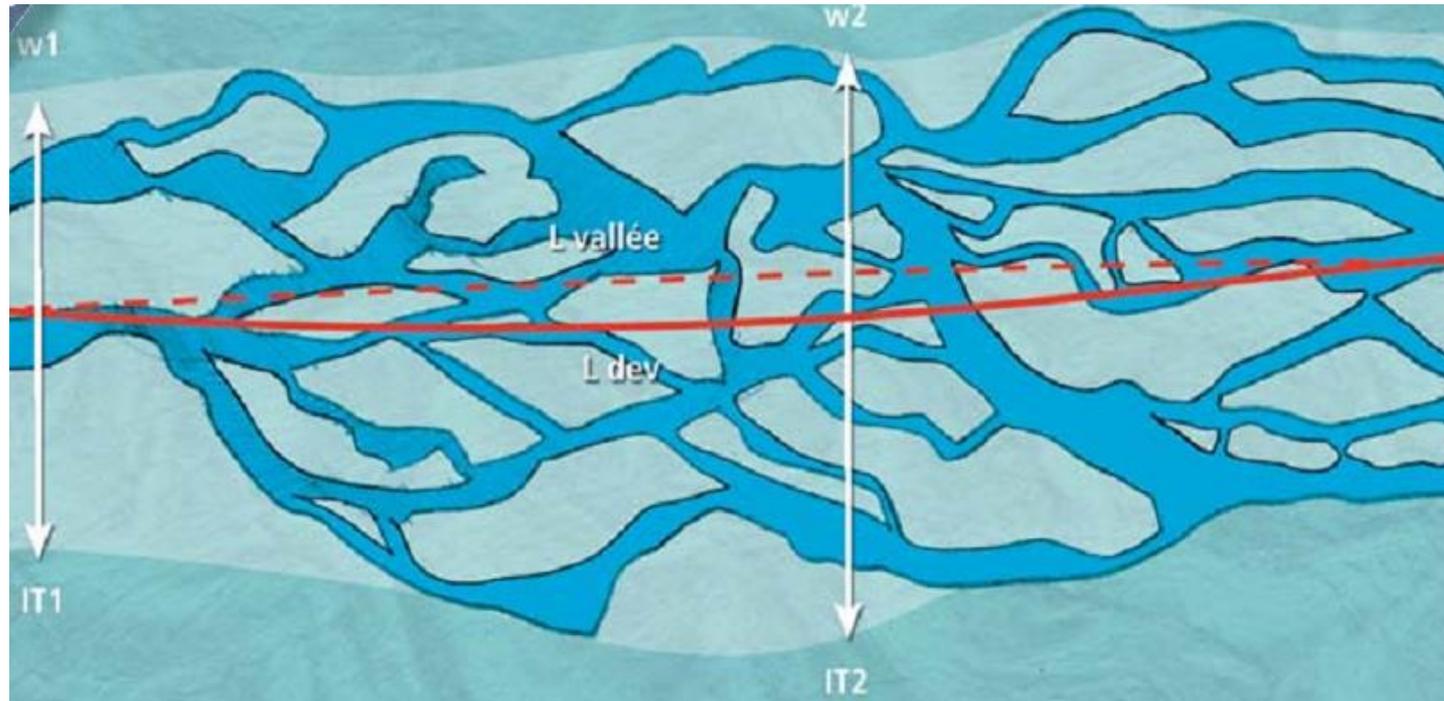


d. Hydromorphologie, styles fluviaux – le tressage

1. Les cours d'eau – hydromorphologie fluviale et écologie

Variables « de réponse et d'ajustement » → styles fluviaux

2) le tressage. morphométrie



Indice de tressage « IT » = nombre de chenaux. Si en un endroit donné et à débit équivalent, IT augmente, c'est plutôt une indication d'augmentation des apports solides

Ou $IT = \frac{\text{somme de la longueur des chenaux}}{\text{longueur d'écoulement}}$

d. Hydromorphologie, styles fluviaux – le tressage

1. Les cours d'eau – hydromorphologie fluviale et écologie

Variables « de réponse et d'ajustement » → styles fluviaux

3) Changement de style fluvial

Ex. l'holocène (de - 10000 à aujourd'hui post-glaciation

→ augmentation des débits ET des charges solides. De nombreux cours d'eau passent du méandrage au tressage

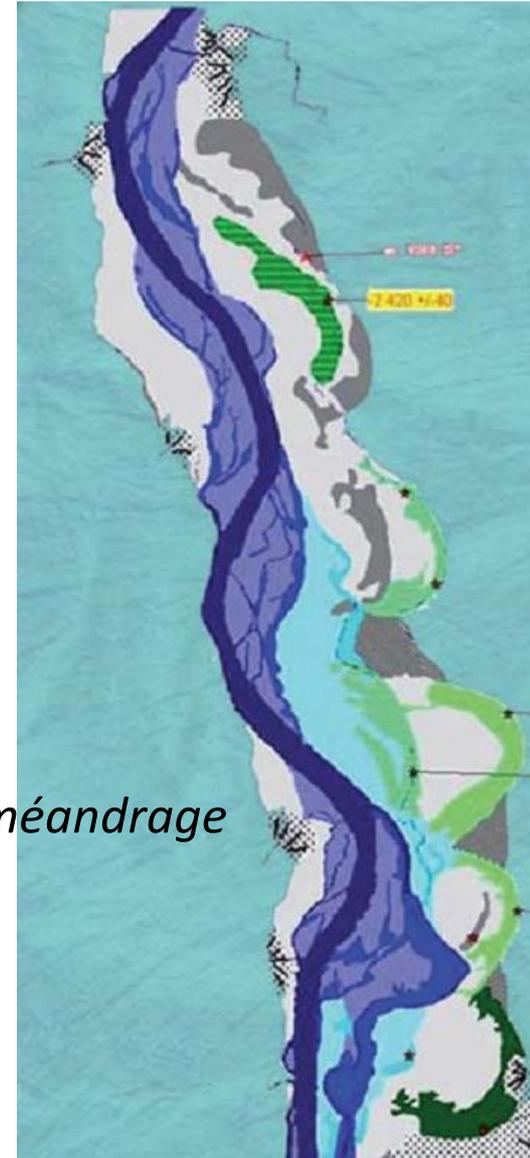
*Baisse de la production du bassin versant
(baisse de pluviométrie)*

Stabilisation des versants (forêts, cultures)

Interruption de flux par des barrages

Prélèvement de graviers

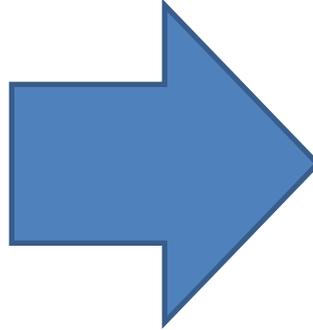
= → re méandrage



Synthèse :

Des variables de contrôle

= le contexte dans lequel le cours d'eau se forme et évolue



Des variables « de réponse et d'ajustement »

= la façon dont le cours d'eau se forme et évolue

- *Profil en long*
- *Pente locale*
- ***Largeur à plein bord***
- ***Profondeur moyenne à plein bord***
- ***Sinuosité et évolution des méandres (voire changement de style fluvial)***

• ***Débit Liquide***

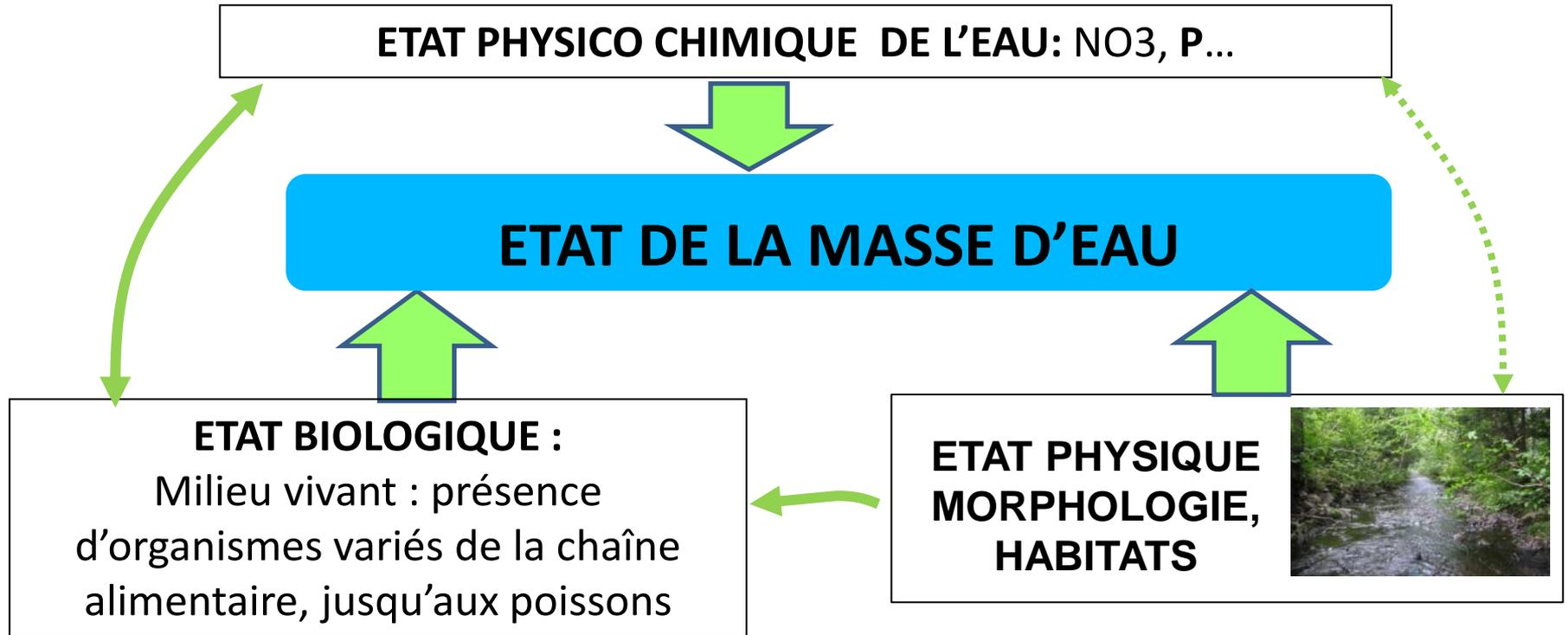
• ***Débit Solide***

• *Géométrie globale de la vallée*

• *Végétation*

• *Pour un fleuve, niveau de la mer*

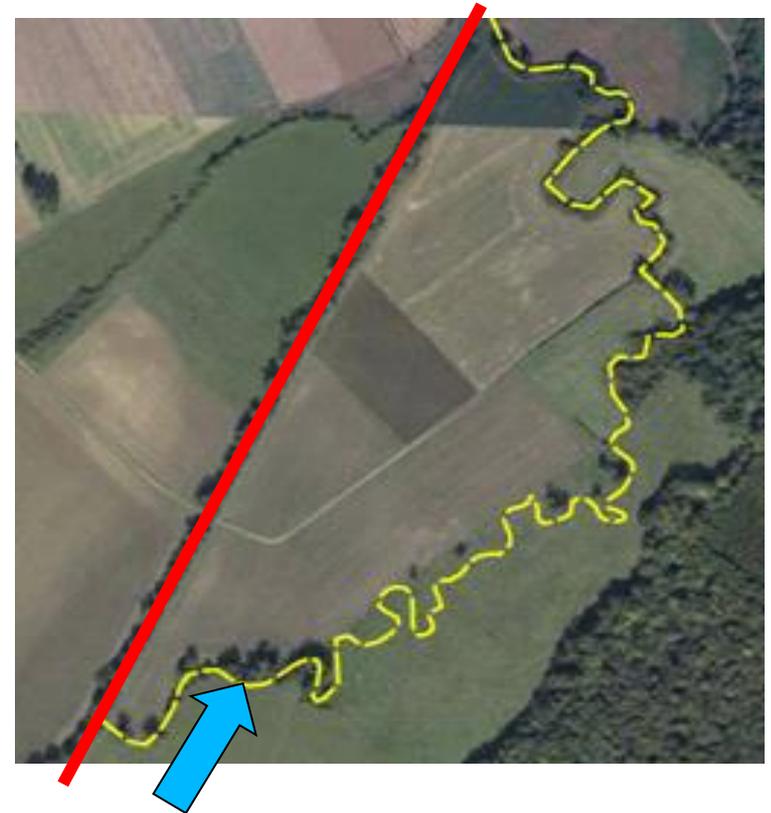
1. Les cours d'eau – hydromorphologie fluviale et écologie



1. Les cours d'eau – hydromorphologie fluviale et écologie



même si la qualité de l'eau est bonne, la morphologie est pauvre, les habitats resteront très limités



Longau (54) : restauration sur l'ancien tracé
1) diversité morphologique

- diversité de l'exposition
- interface eau - terre plus longue
- diversité de faciès d'écoulement
- diversité sédimentaire (dépôt / charriage)

→ 2) potentiel pour une diversité biologique

e. Ecologie – continuité écologique

1. Les cours d'eau – hydromorphologie fluviale et écologie

Quelles sont les conditions d'un « bon état »

- bonne qualité physico chimique de l'eau + bonne qualité biologique
 - bonne qualité physique *des habitats* = « *gîte, couvert, reproduction* »
- *Hétérogénéité + variabilité + connectivité*

Ecotone efficace
(interface terre-
eau)

faciès variés,
oxygénation
zones de repos,
mouilles
protégées des
hausses de
température



Substrats non colmatés → pontes ; Frayères

Ripisylve =
ombrage,
fraîcheur
insectes,
avifaune

Caches dans le
cours d'eau, en
berge

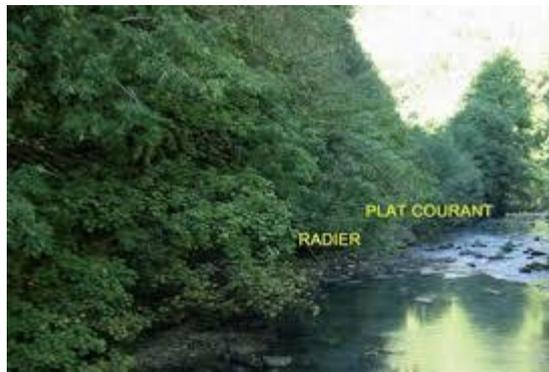
→ Écosystème pour un large panel de la chaîne alimentaire

1. Les cours d'eau – hydromorphologie fluviale et écologie

Un indicateur transversal : les faciès

Les faciès caractérisent l'écoulement. On les distingue principalement sur les critères de vitesse et de profondeur :

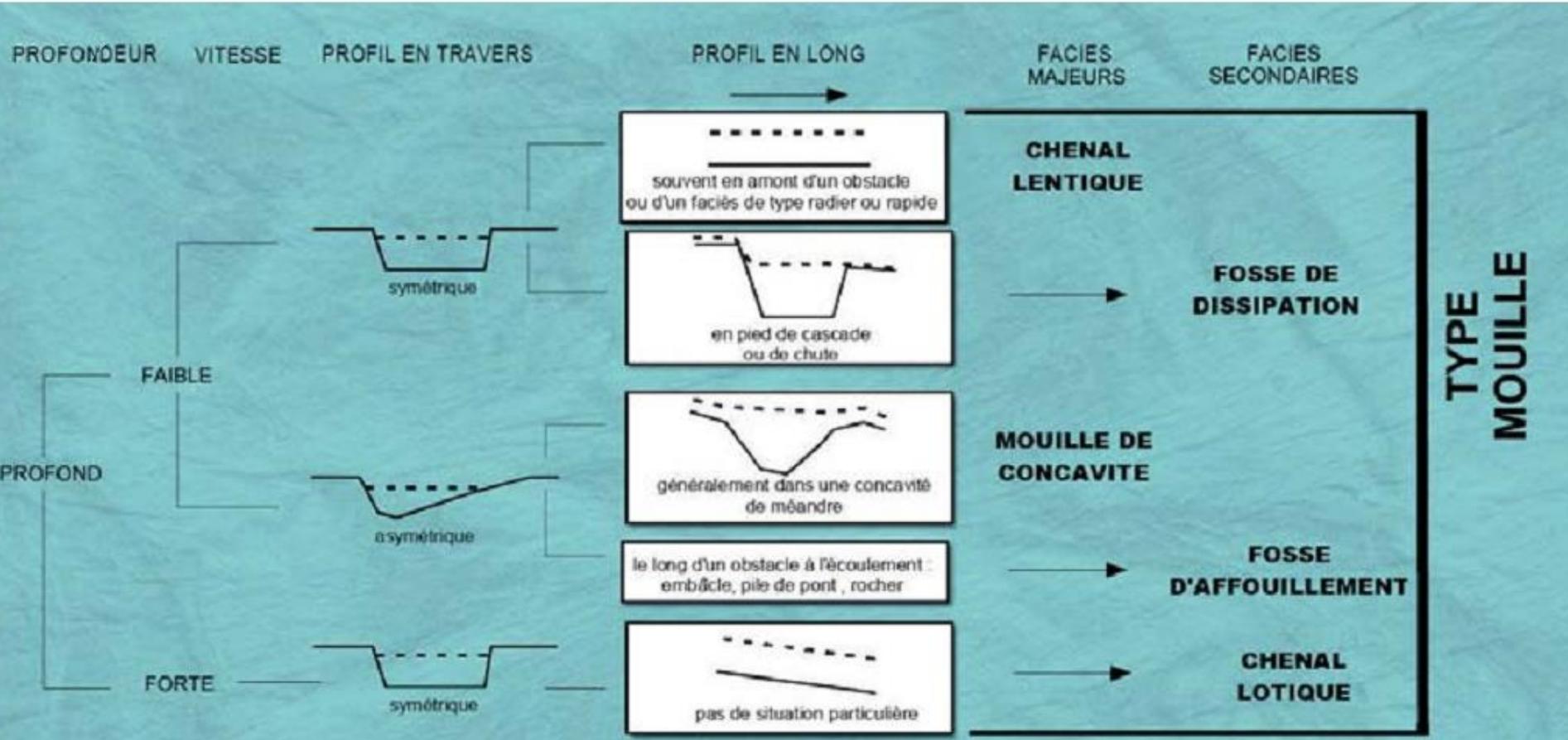
- Vitesse < 30 cm/s = faciès lent ou lentiques
- Vitesses > 30 cm/s : faciès lotiques, voire rapides
- profondeur < 60 cm = faciès de type radier, ou plat
- profondeur > 60 cm = faciès de type chenal, ou mouille (si la profondeur est ponctuelle, localisée)



e. Ecologie –
continuité
écologique

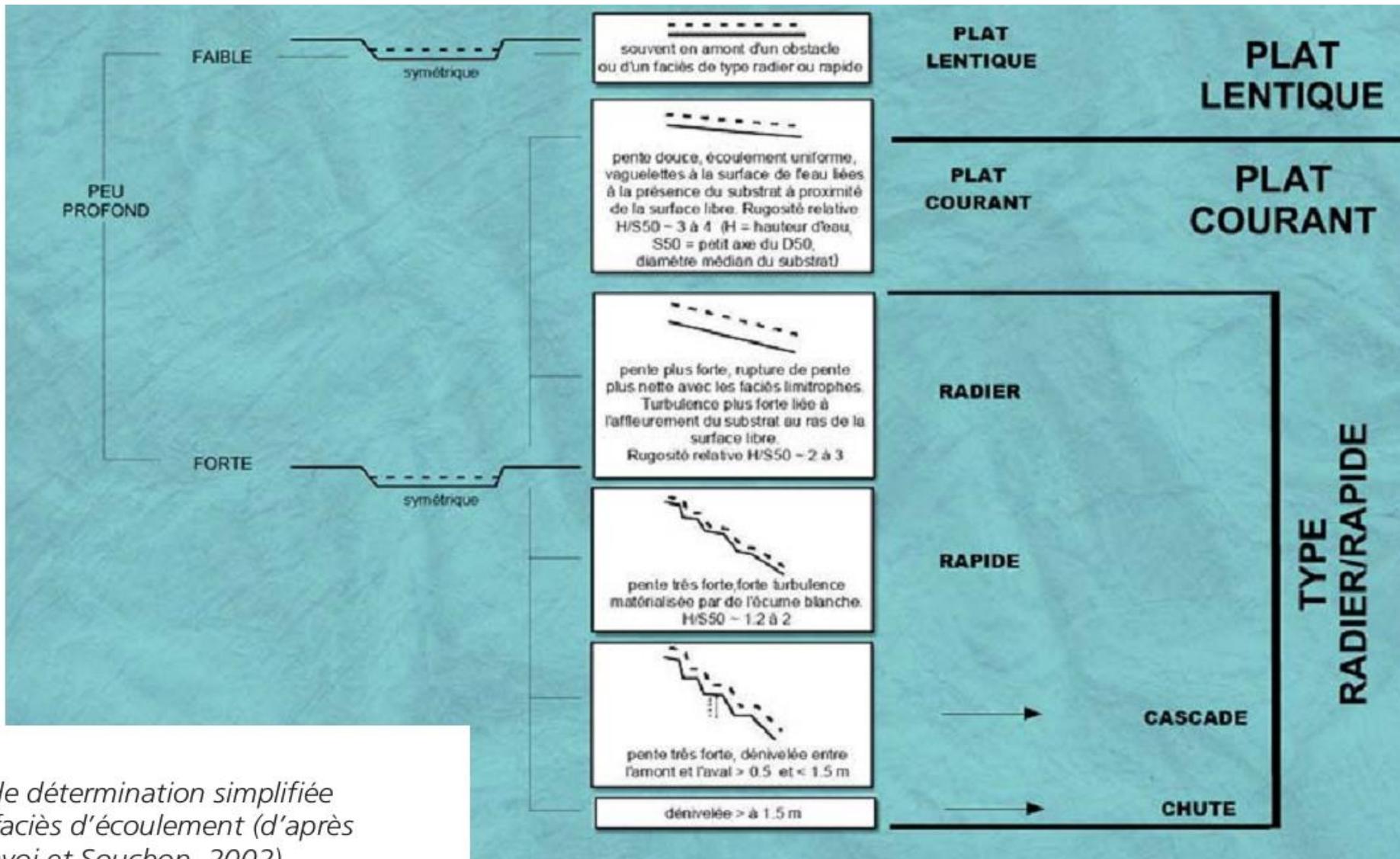
1. Les cours d'eau – hydromorphologie fluviale et écologie

Un indicateur transversal : les faciès



1. Les cours d'eau – hydromorphologie fluviale et écologie

Un indicateur transversal : les faciès



Clé de détermination simplifiée des faciès d'écoulement (d'après Malavoi et Souchon, 2002).

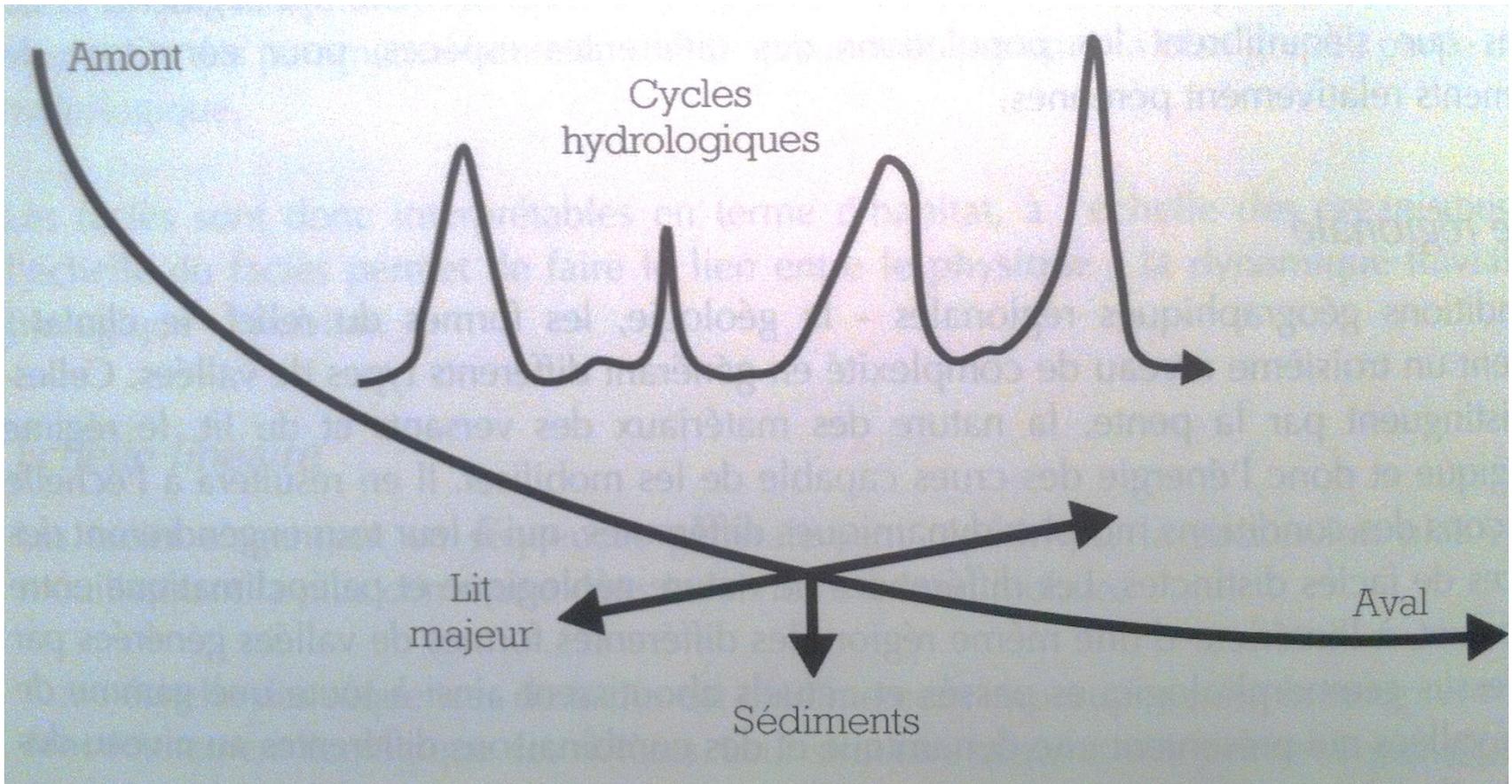
ENSNP 4° année : les cours d'eau

1. Connaître pour comprendre...connaître pour agir → Savoir évaluer la qualité des habitats en vue de décisions et projets

1. Les cours d'eau – hydromorphologie fluviale et écologie

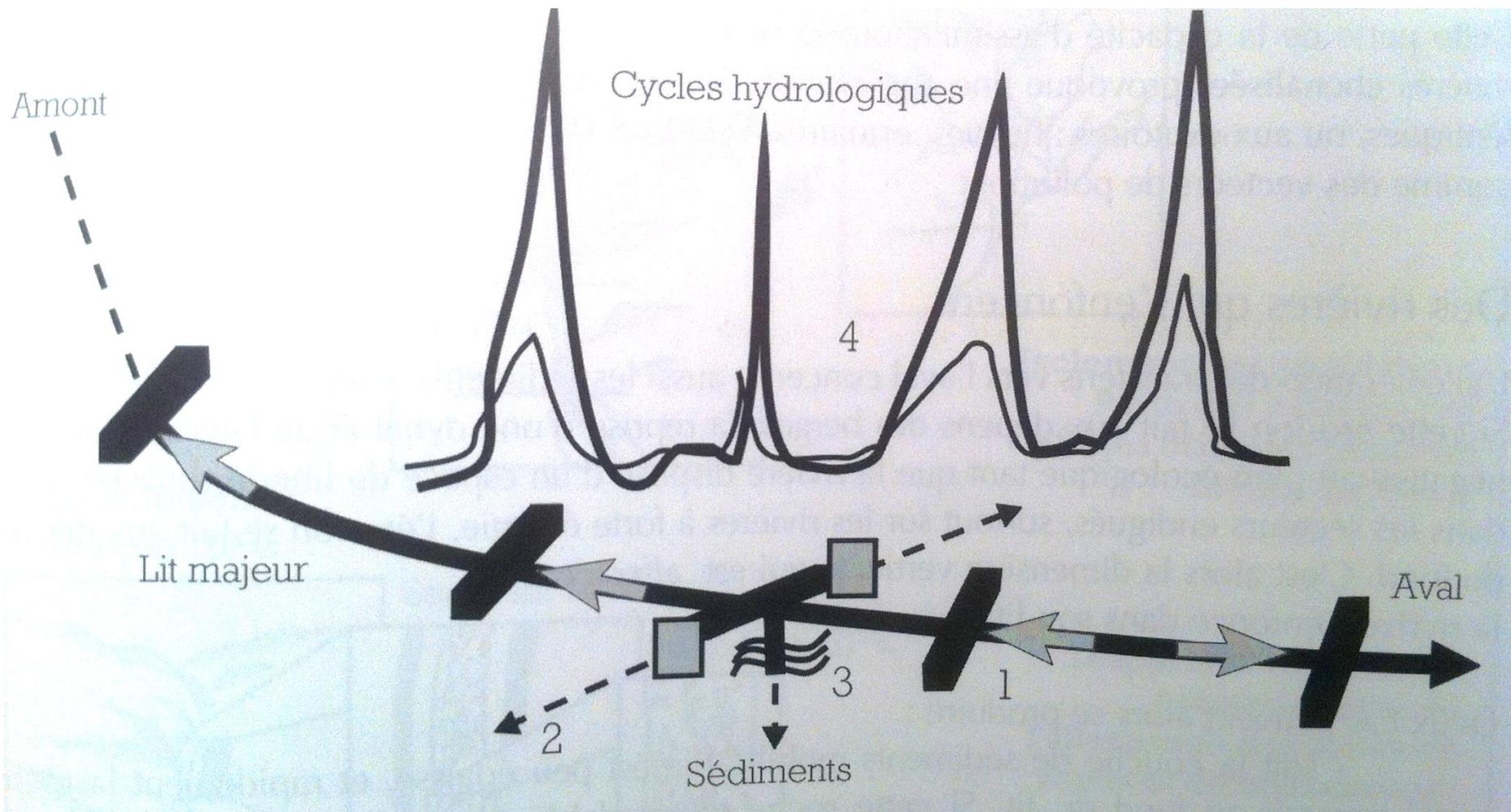
Les quatre dimensions en jeu pour un bon équilibre des habitats

- Spatiale 1 : axe amont – aval ; enjeu de continuité longitudinale
- Spatiale 2 : enjeu de continuité transversale lit moyen – lit majeur et annexes
- 3 : Eau – sédiments et substrats
- 4 temporelle : les cycles et variations hydrologiques



2. Evaluation des habitats sur un cours d'eau

...altérations sur les quatre dimensions sous l'effet de rectification, chenalisation, recalibrages, présence d'ouvrage



a. Vision synthétique des altérations

Les animaux caractéristiques du cours supérieur

1. Ancyle
2. Gammare
3. Larve de trichoptère
4. Larve d'éphémère
5. Larve de simulié
6. Truite fario
7. Chabot
8. Vairon
9. Loche franche
10. Ombre
11. Goujon
12. Cincle plongeur
13. Chevalier guignette
14. Musaraigne aquatique



**Habitat....pour qui ?
Animaux (poissons,
oiseaux) et leurs cortèges
de microfaune associée**

Cours supérieur = pente,
faciès rapides et lotiques

e. Ecologie – continuité écologique

Les animaux caractéristiques du cours moyen

1. Margaritifera

2. Écrevisse

3. Barbeau commun

4. Hotu

5. Vandoise

6. Petit gravelot

7. Sterne pierregarin

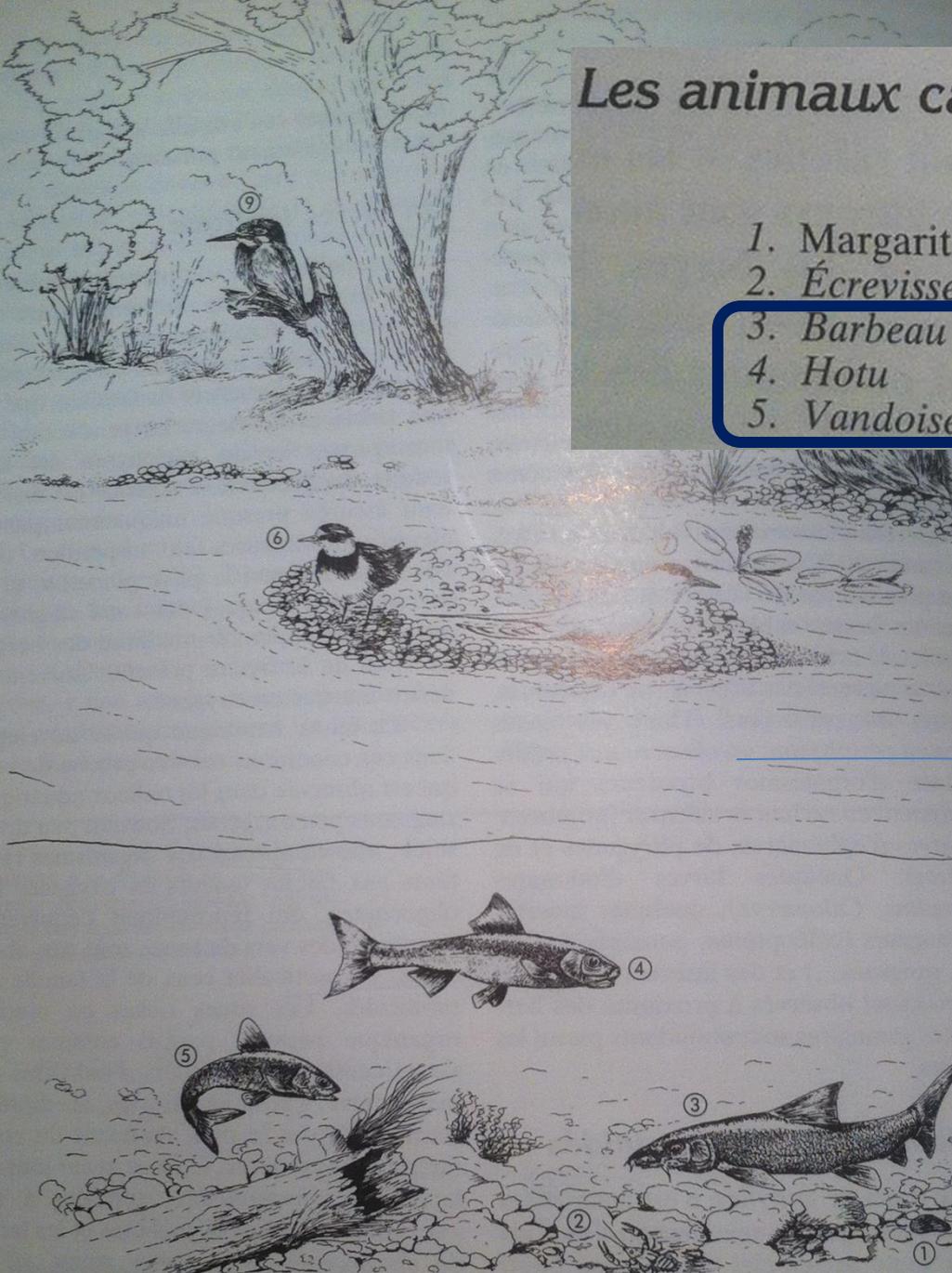
8. Oedicnème criard

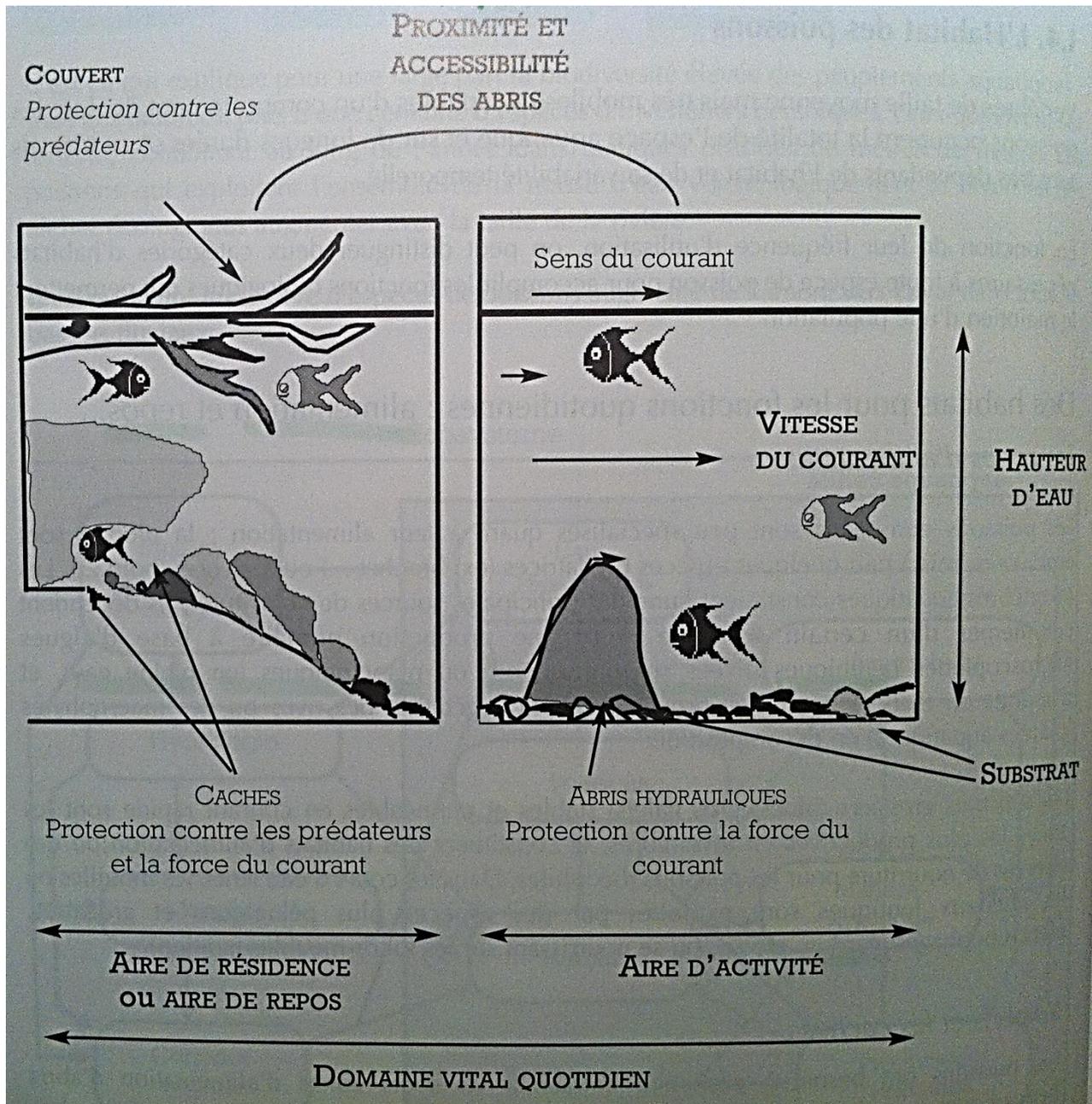
9. Martin-pêcheur

**Habitat....pour qui ?
Animaux (poissons,
oiseaux) et leurs cortèges
de microfaune associée**

Cours moyen, intermédiaire

e. Ecologie – continuité écologique





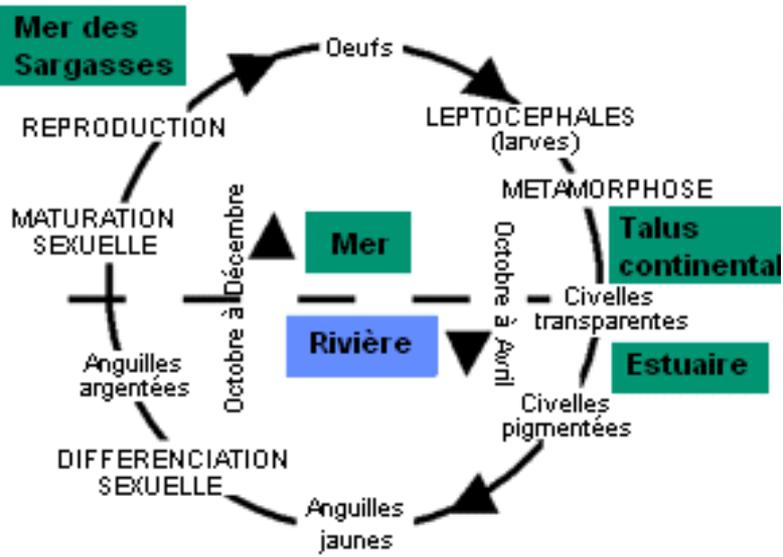
L'importance des caches pour un poisson : refuge, repos vis-à-vis du courant...

1. Les cours d'eau – hydromorphologie fluviale et écologie

Les migrations piscicoles



L'ANGUILLE



LE BROCHET

Migration de l'adulte vers les zones de frayères

FEVRIER

dès que la rivière déborde sur les prairies



Migration de l'alevin vers les nurseries

AVRIL - MAI

dès que la taille atteint 20 mm

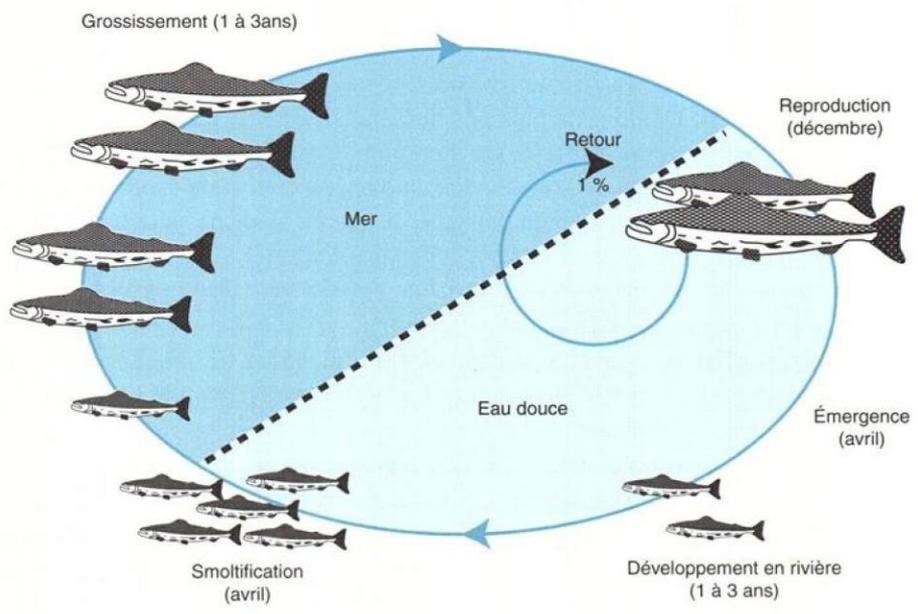
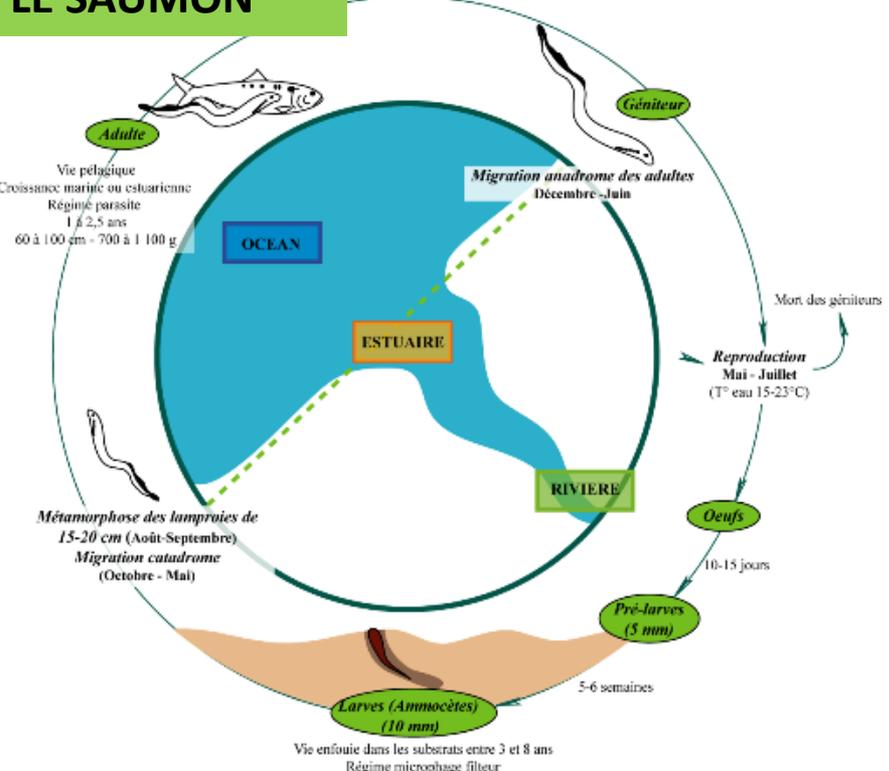


1. Les cours d'eau – hydromorphologie fluviale et écologie

Les migrations piscicoles



LE SAUMON



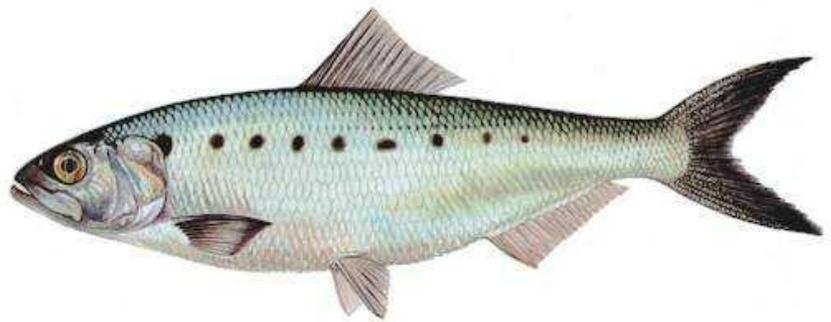
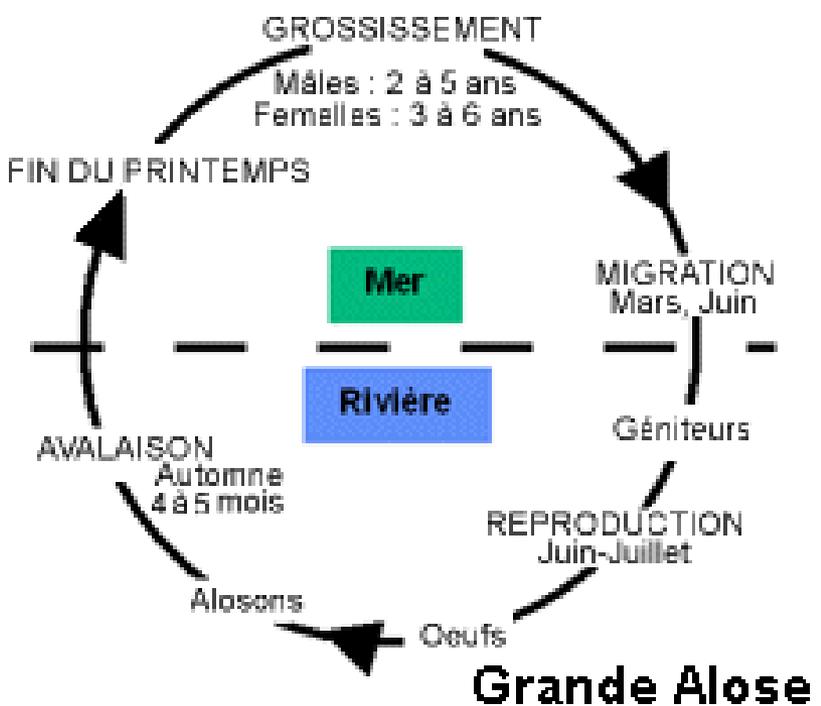
LA LAMPROIE MARINE



e. Ecologie – continuité écologique

1. Les cours d'eau – hydromorphologie fluviale et écologie

Les migrations piscicoles

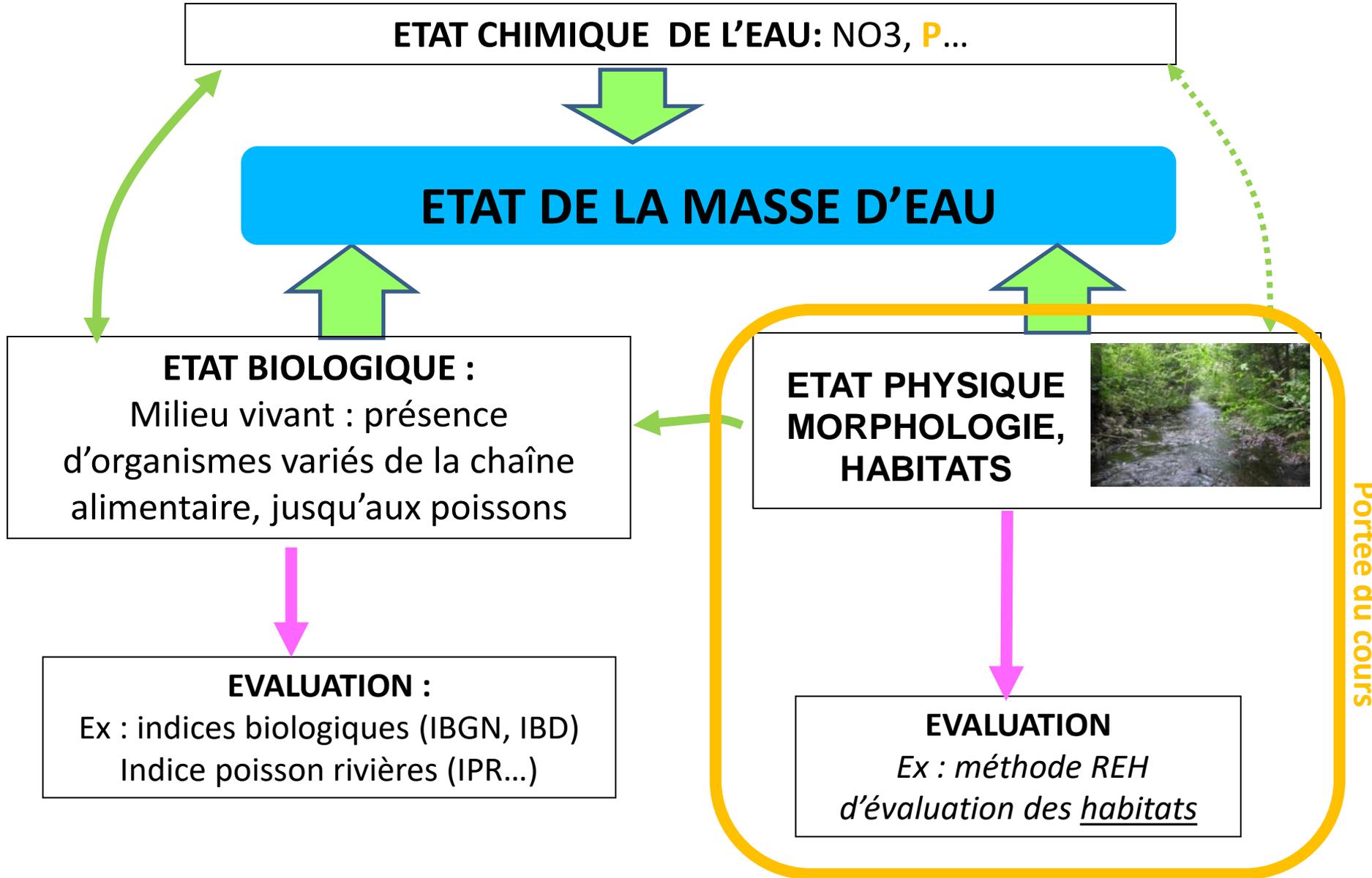


LA GRANDE ALOSE

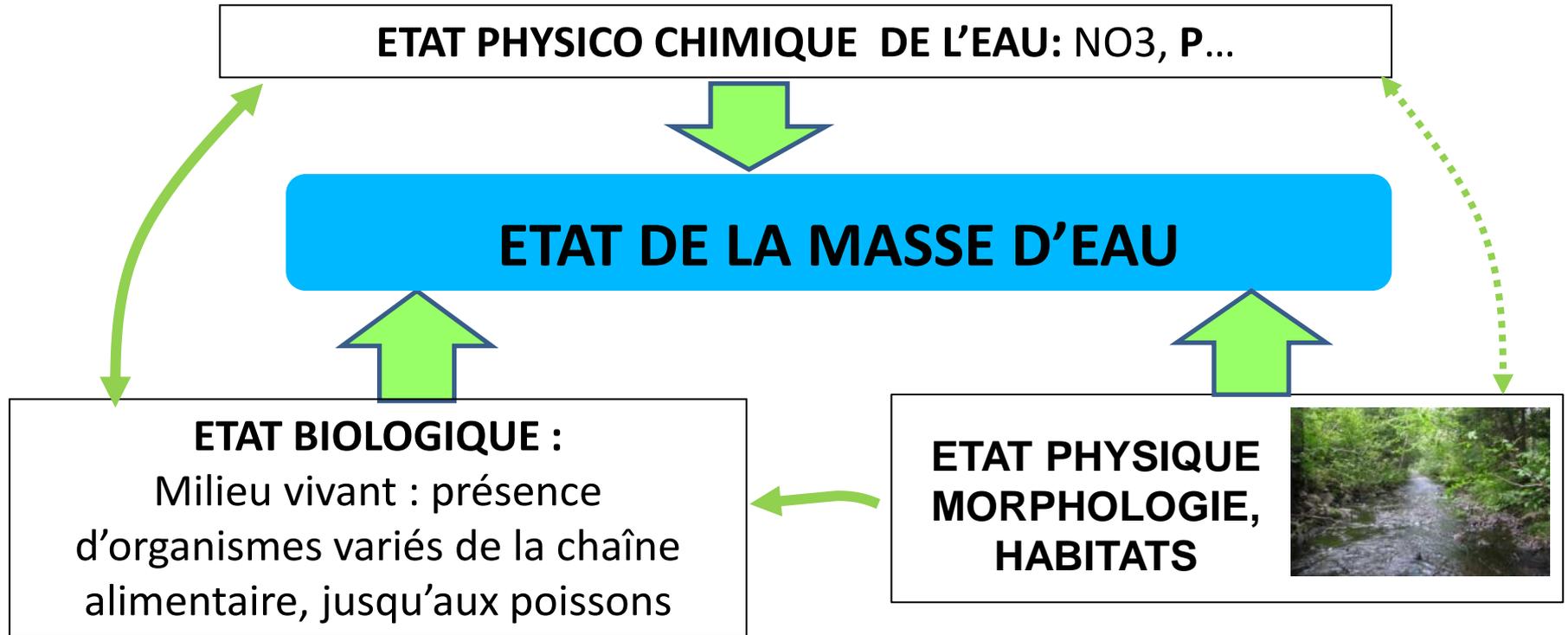
ENSNP 4° année : les cours d'eau

1. Connaître pour comprendre...connaître pour agir → Savoir évaluer la qualité des habitats en vue de décisions et projets

2. Evaluation des habitats sur un cours d'eau



1. Les cours d'eau – hydromorphologie fluviale et écologie



2. Evaluation

ETAT CHIMIQUE DE L'EAU:

- OXYGENE : O₂ dissous, DBO₅
- TEMPERATURE
- NUTRIMENTS (N, P)
- ACIDITE (Ph)

ETAT BIOLOGIQUE :

Indice Poisson Rivière

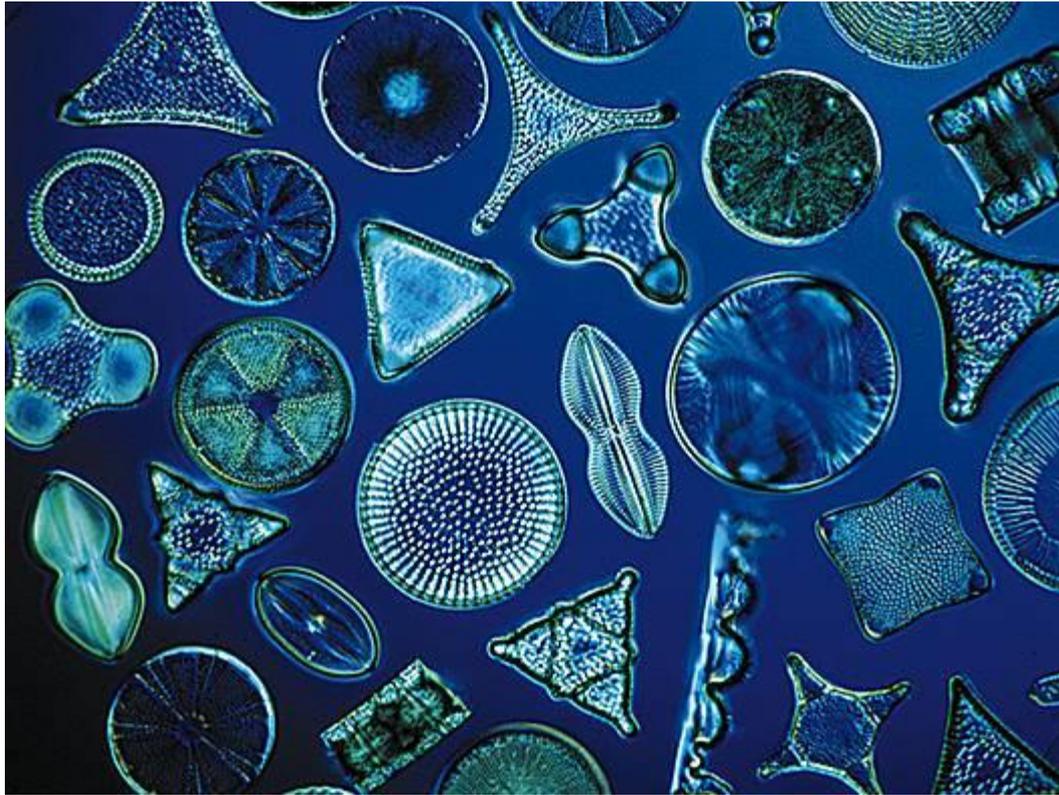
Indice biologique général normalisé (= microfaune)

Indice biologique diatomée (= algues)

Indice Biologique Macrophytique en Rivière (= plantes macrophytes)

HABITATS

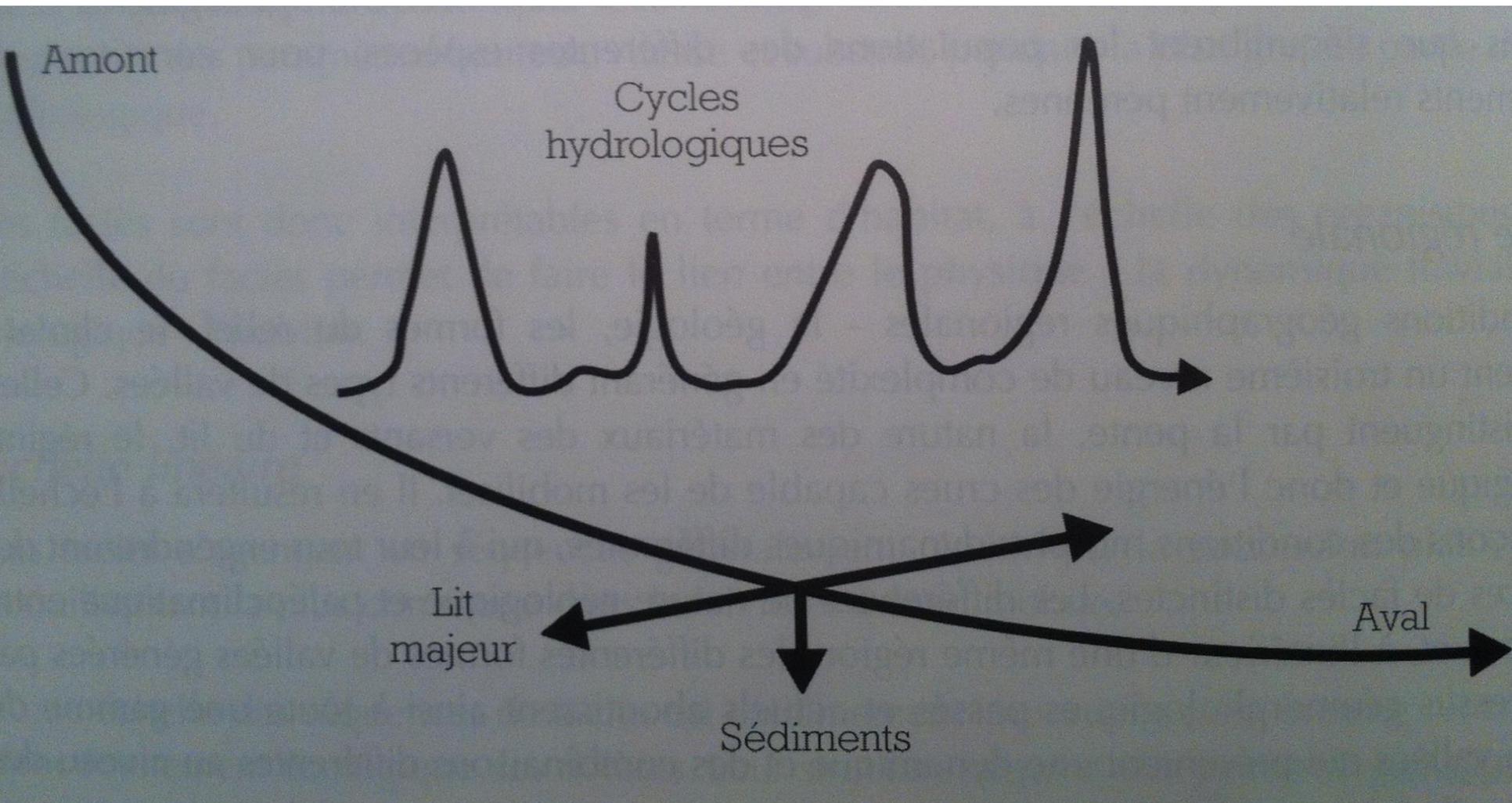
...



Diatomée, exemple

2. Evaluation des habitats sur un cours d'eau

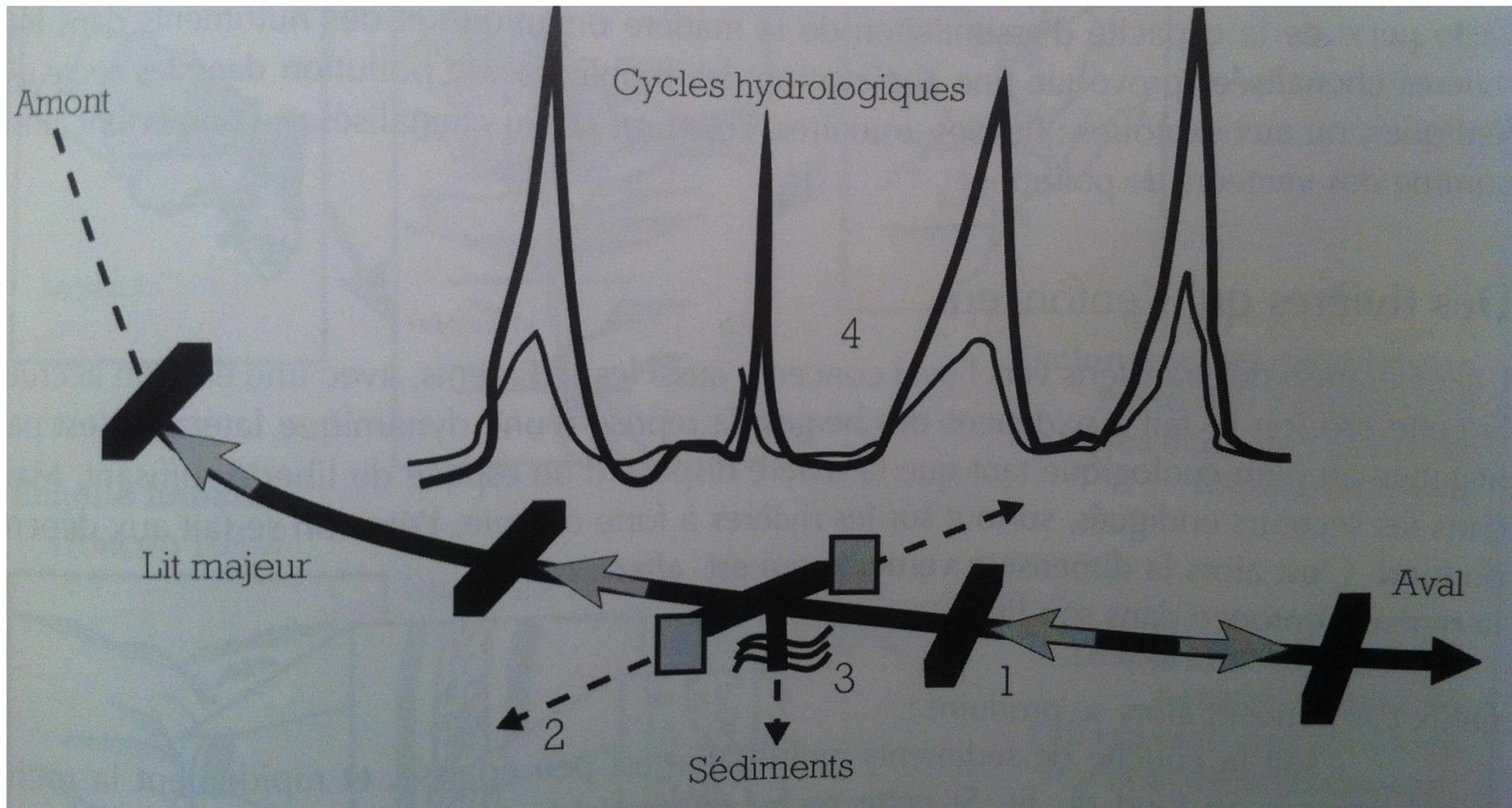
Les quatre dimensions en jeu pour un bon équilibre des habitats.....



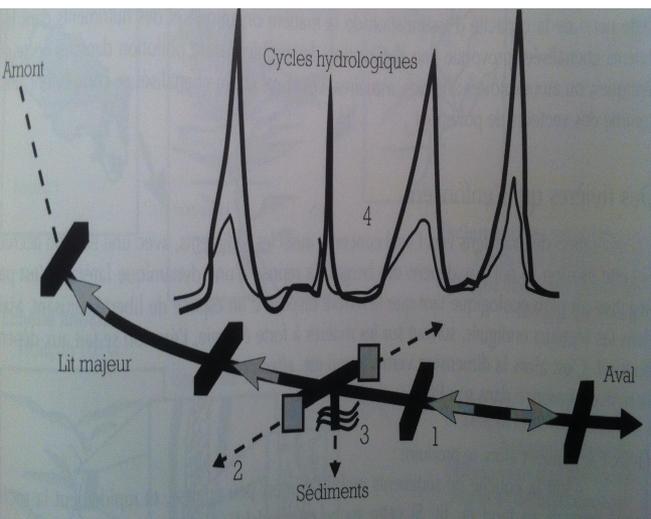
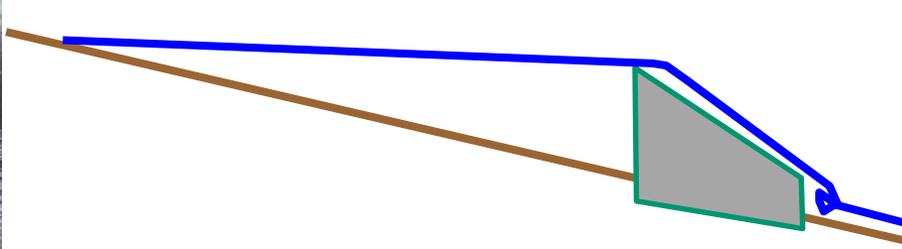
a. Vision synthétique des altérations

2. Evaluation des habitats sur un cours d'eau

...altérations sur les quatre dimensions sous l'effet de rectification, chenalisation, recalibrages, présence d'ouvrage

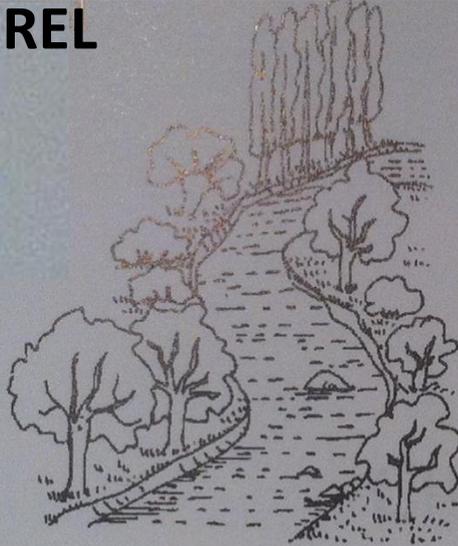


a. Vision synthétique des altérations



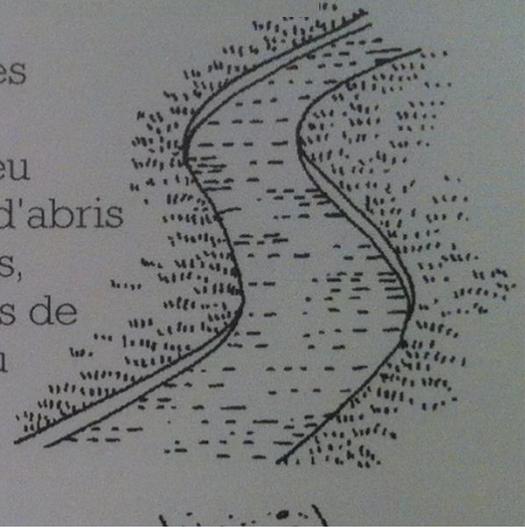
2. Evaluation des habitats sur un cours d'eau

LIT NATUREL



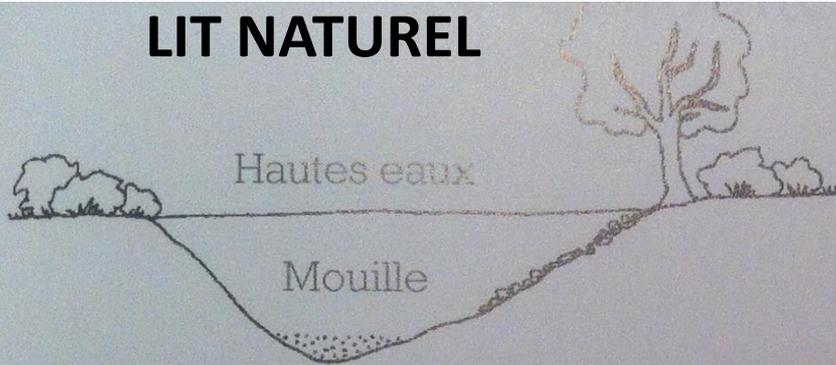
LIT AMENAGE

Augmentation des températures en étiage, pas ou peu d'ombrage, pas d'abris pour les poissons, fortes fluctuations de température, peu de fourniture en feuilles.



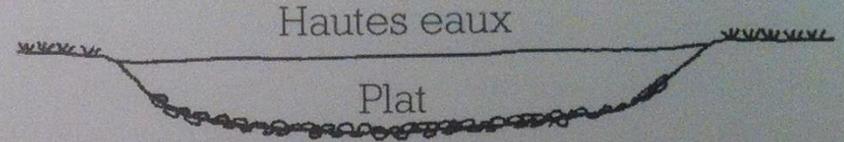
2. Evaluation des habitats sur un cours d'eau

LIT NATUREL



Vitesses d'écoulement variée selon les faciès, nombreuses zones de repos en bordure ou derrière les gros éléments

LIT AMENAGE



Vitesses souvent trop élevées pour un maintien des organismes aquatiques.
Peu de zones de repos.

2. Evaluation des habitats sur un cours d'eau

Méthode « REH » (réseau d'évaluation des habitats)

= exemple d'aide à l'organisation d'un diagnostic de terrain

6 Compartiments thématiques

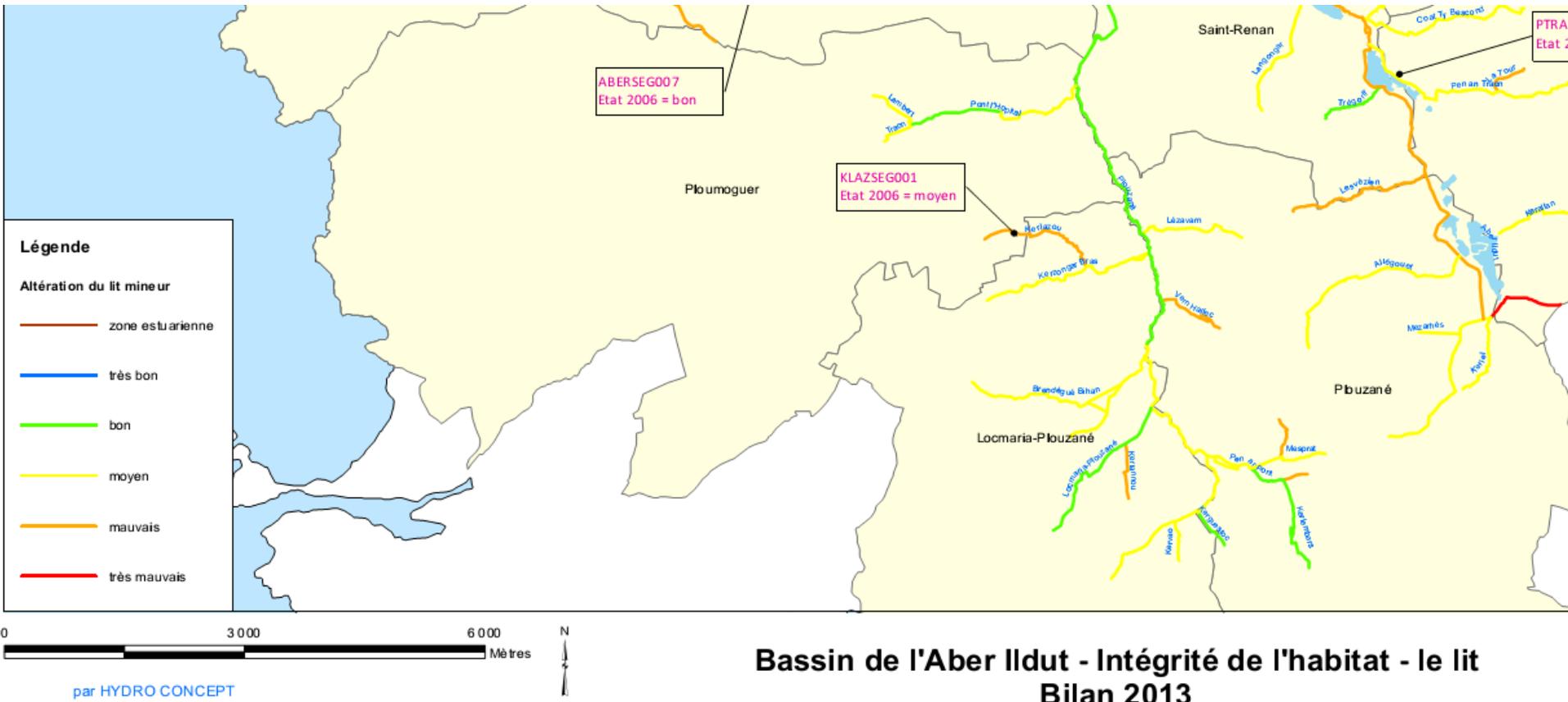
- Lit mineur
- Berge ripisylve
- Continuité
- Ligne d'eau
- Débit
- Annexes hydrauliques
– lit majeur

Notation du cours
d'eau par séquences
relativement
homogènes

Repérage
d'éventuelles
altérations

Notation sur une
échelle allant de « très
bon » à « très
mauvais »

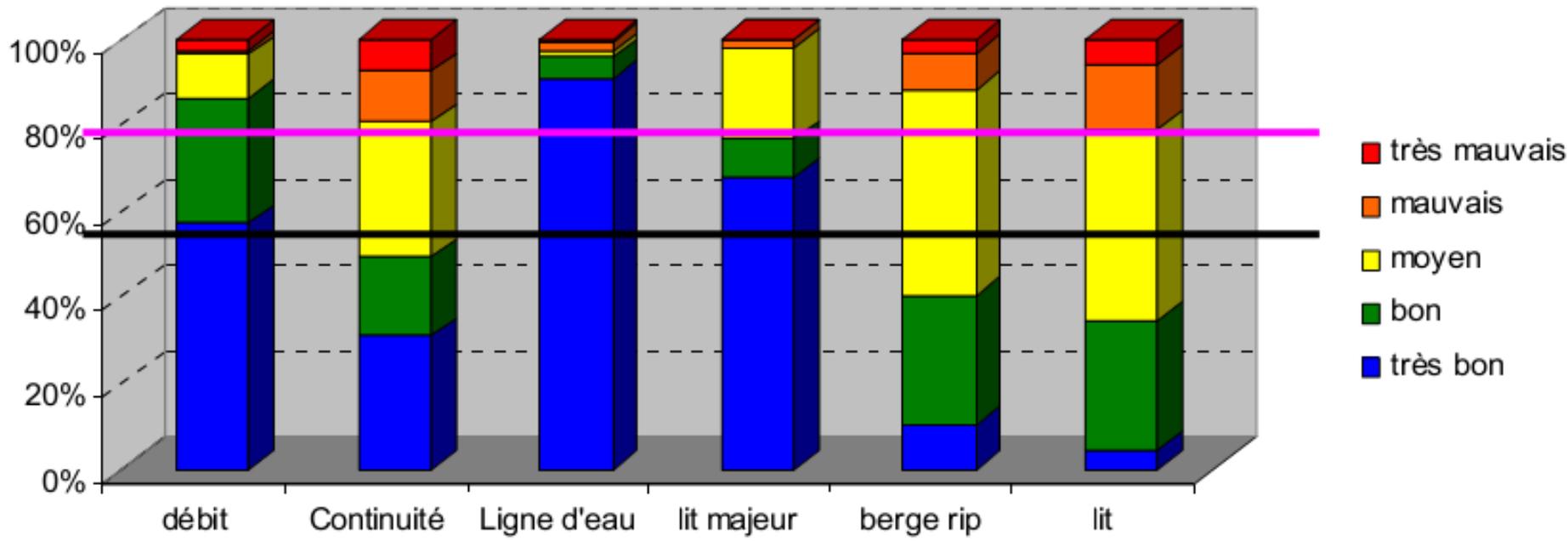
2. Evaluation des habitats sur un cours d'eau



2. Evaluation des habitats sur un cours d'eau

Exemple de résultat par histogrammes.

Bilan comparatif des niveaux de qualité des compartiments de l'Intégrité de l'Habitat

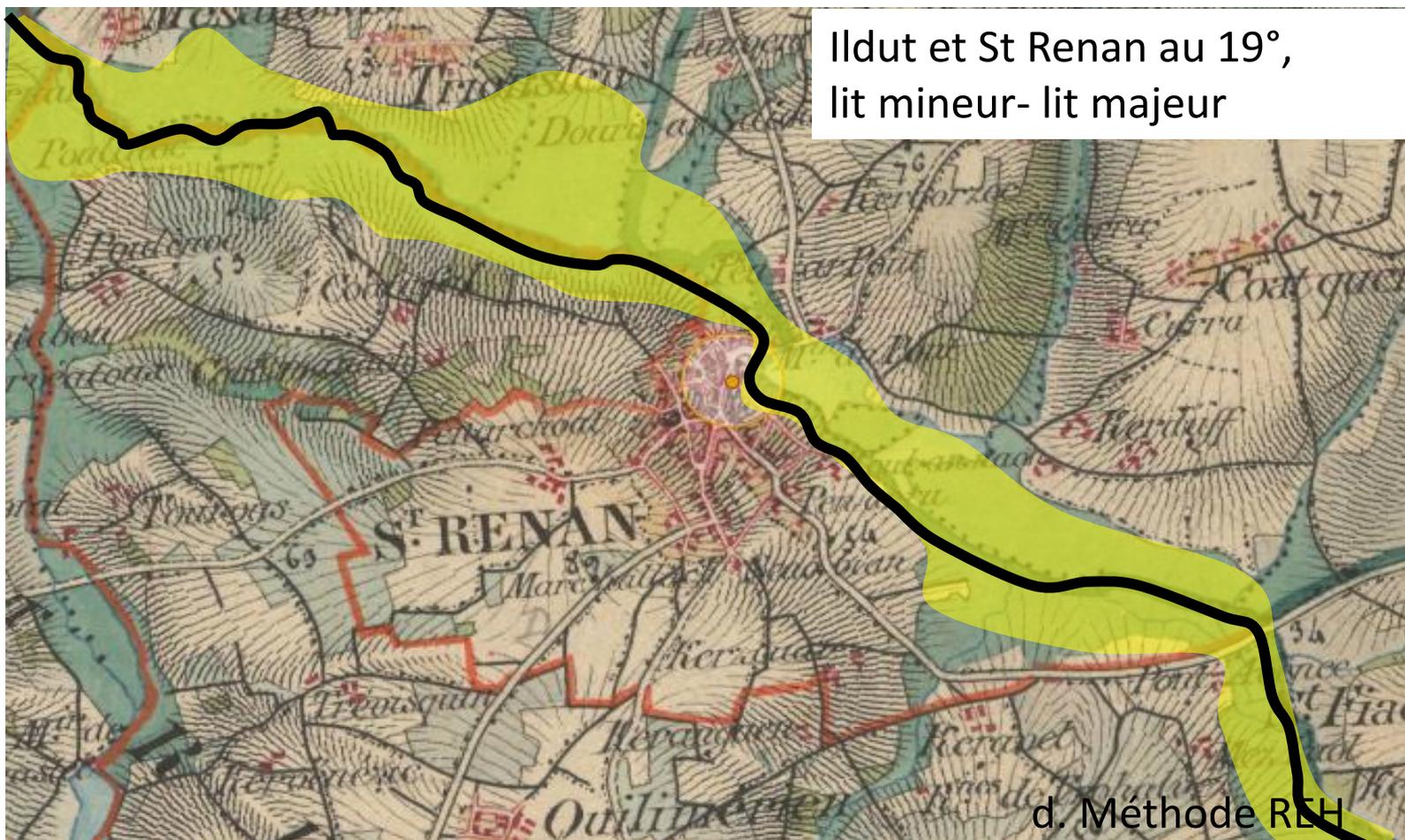


2. Evaluation des habitats sur un cours d'eau

Compartiment « lit mineur » - altérations

Altération du **profil en long**. Impacté par la rectification du lit ou son incision, par le passage dans un plan d'eau, par des ouvrages transversaux (seuils ...), etc.

L'importance des CARTES ANCIENNES pour juger de l'évolution d'un cours d'eau notamment dans son tracé en plan donc son profil en long



2. Evaluation des habitats sur un cours d'eau

Compartiment « lit mineur » - altérations

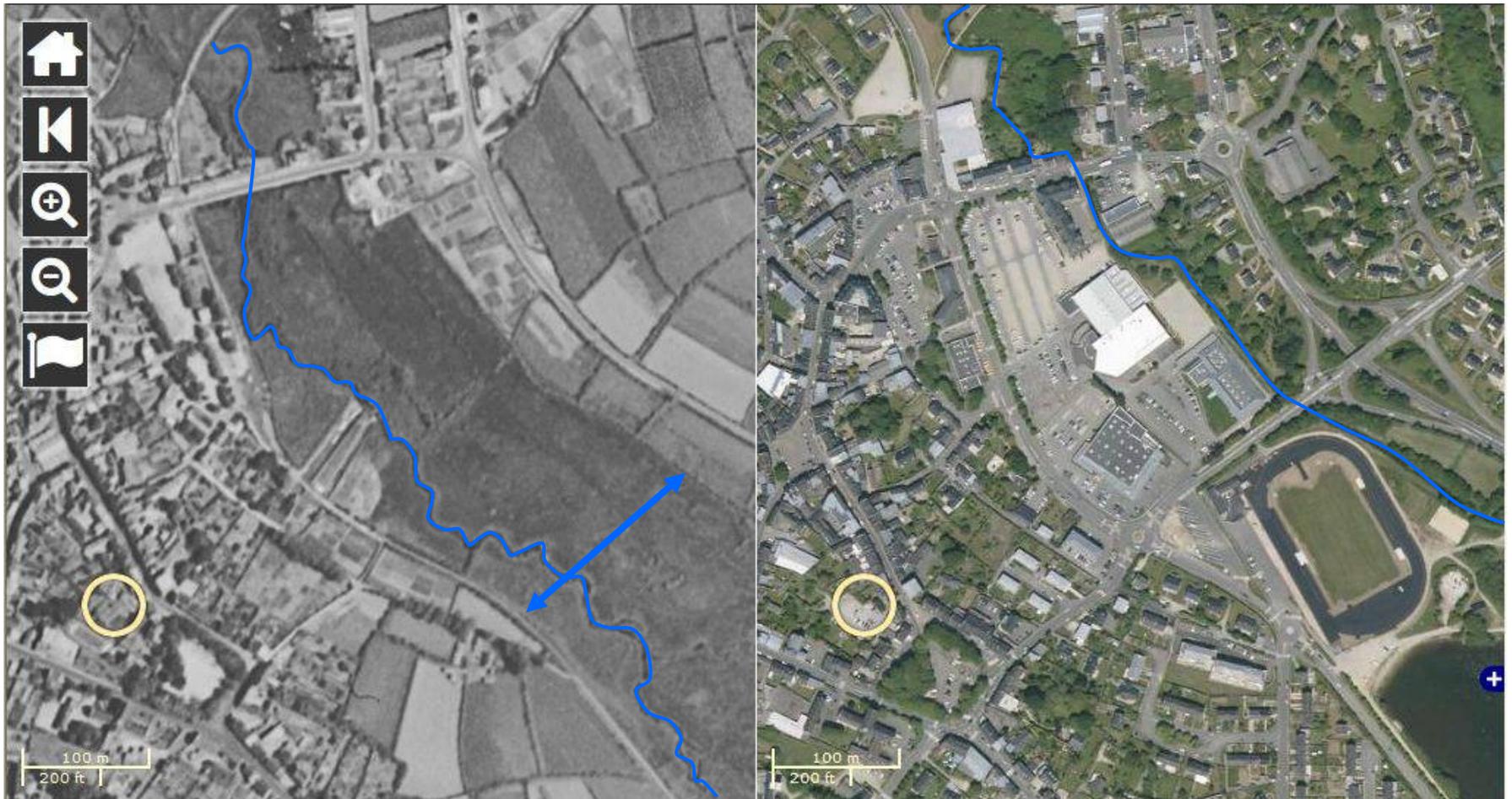
Altération du **profil en long**. Impacté par la rectification du lit ou son incision, par le passage dans un plan d'eau, par des ouvrages transversaux (seuils ...), etc.



Fortes modifications de l'Ildut depuis 1950

Urbanisation

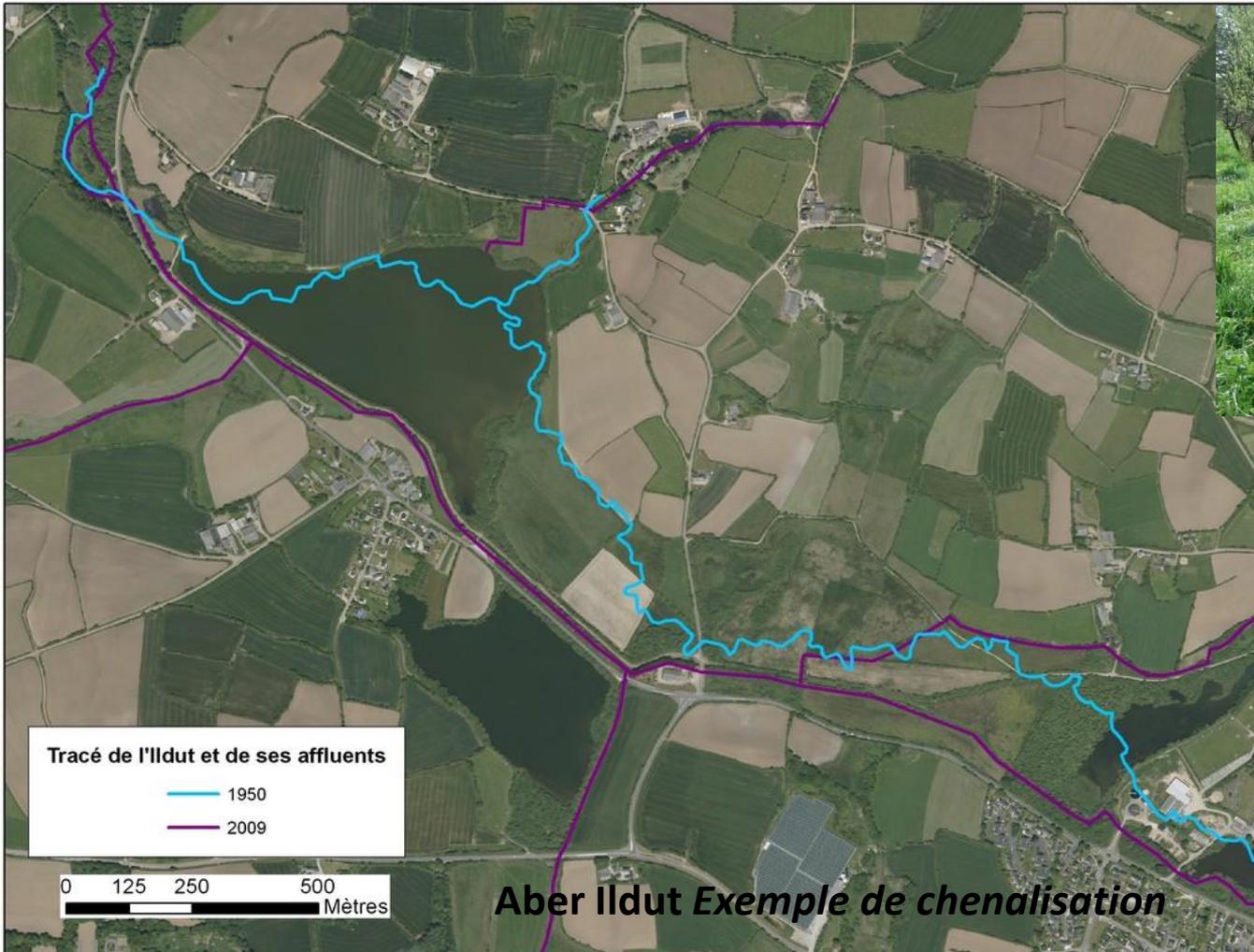
→ Disparition du lit majeur, lit mineur très contraint



Fortes modifications de l'Ildut depuis 1950

Extraction de l'étain

→ Disparition du lit majeur, lit mineur linéarisé et contraint



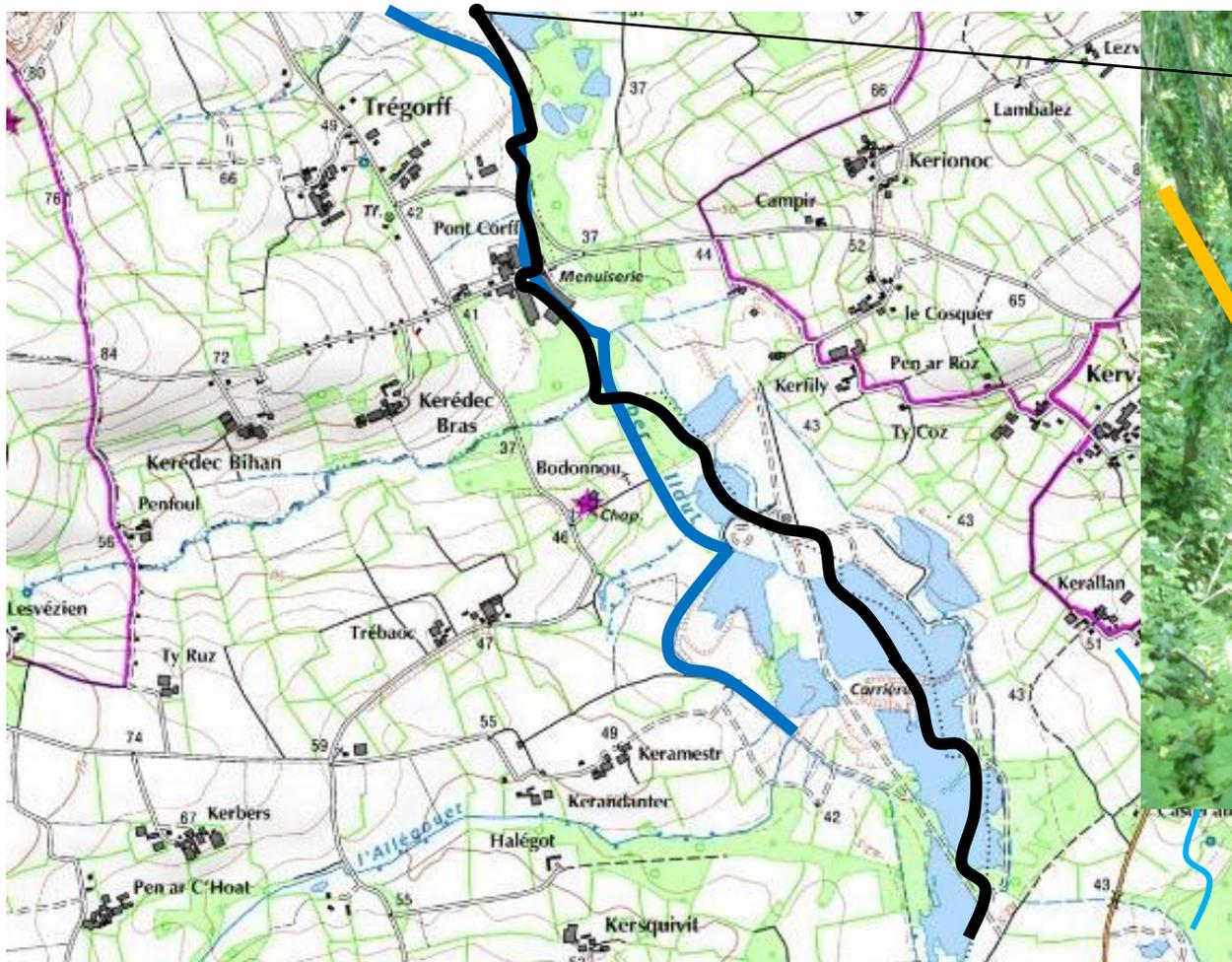
Aber Ildut Exemple de chenalisation



2. Evaluation des habitats sur un cours d'eau

Compartiment « lit mineur » - altérations

Altération du profil en long → altération du profil en travers par incision



L'Ildut le long du lac de Pontavenec

a. Méthode REH

2. Evaluation des habitats sur un cours d'eau

Compartiment « lit mineur » - altérations

Altération du **profil en travers**. Cours d'eau rectifiés avec berges en U et absence d'hélophytes en berges : Ildut contraint, petits affluents rectifiés.



Aber Ildut
*Chenalisation entre étang
et route*



Aber Ildut
Profil en U

2. Evaluation des habitats sur un cours d'eau

Compartiment « lit mineur » - altérations

Réduction de la diversité de la granulométrie)



Colmatage du substrat d'origine végétale (algues) ou sédimentaire

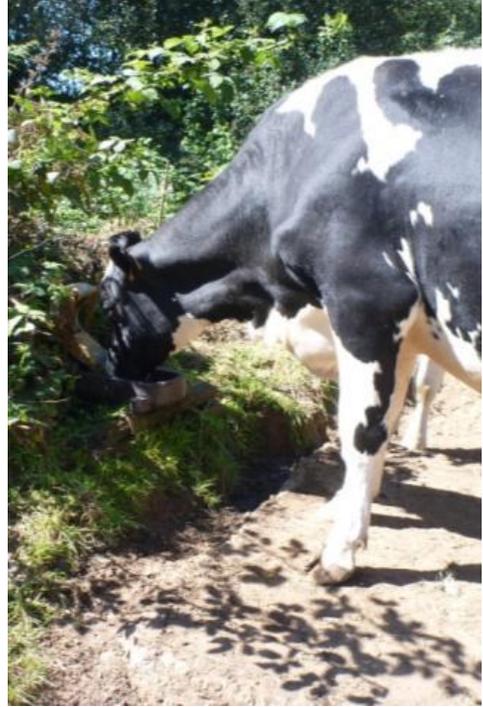


2. Evaluation des habitats sur un cours d'eau

Compartiment « lit mineur » - altérations



Colmatage du substrat



c. Transport solide

2. Evaluation des habitats sur un cours d'eau

Compartiment « berges – ripisylve » - altérations

- **Habitats** = insuffisance de sous-berges, branchages, embâcle, racines, herbiers, mouilles, atterrissements....



- **Pente des berges** trop forte

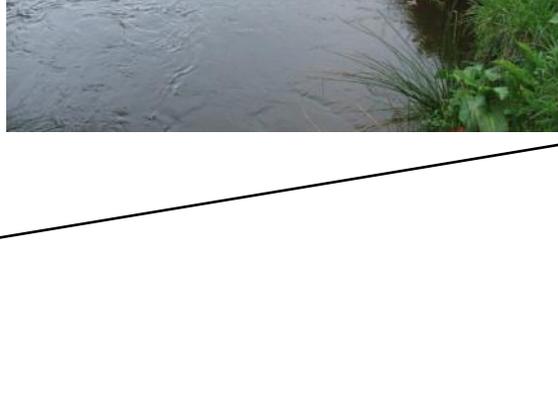
- **Hauteur trop élevée**

- **Manque de diversité** de la forme des berges



- **Instabilité** des berges

- **Végétation** de rive très discontinue voire absente.



- Manque de **diversité** de la ripisylve

2. Evaluation des habitats sur un cours d'eau

Compartiment « débit » - altérations

Débits excessifs du fait des apports extérieurs augmentés ou accélérés

-du fait des drainages agricoles

- du fait de l'urbanisation

Débits excessifs du fait des rectification des cours d'eau amont

Débits diminués

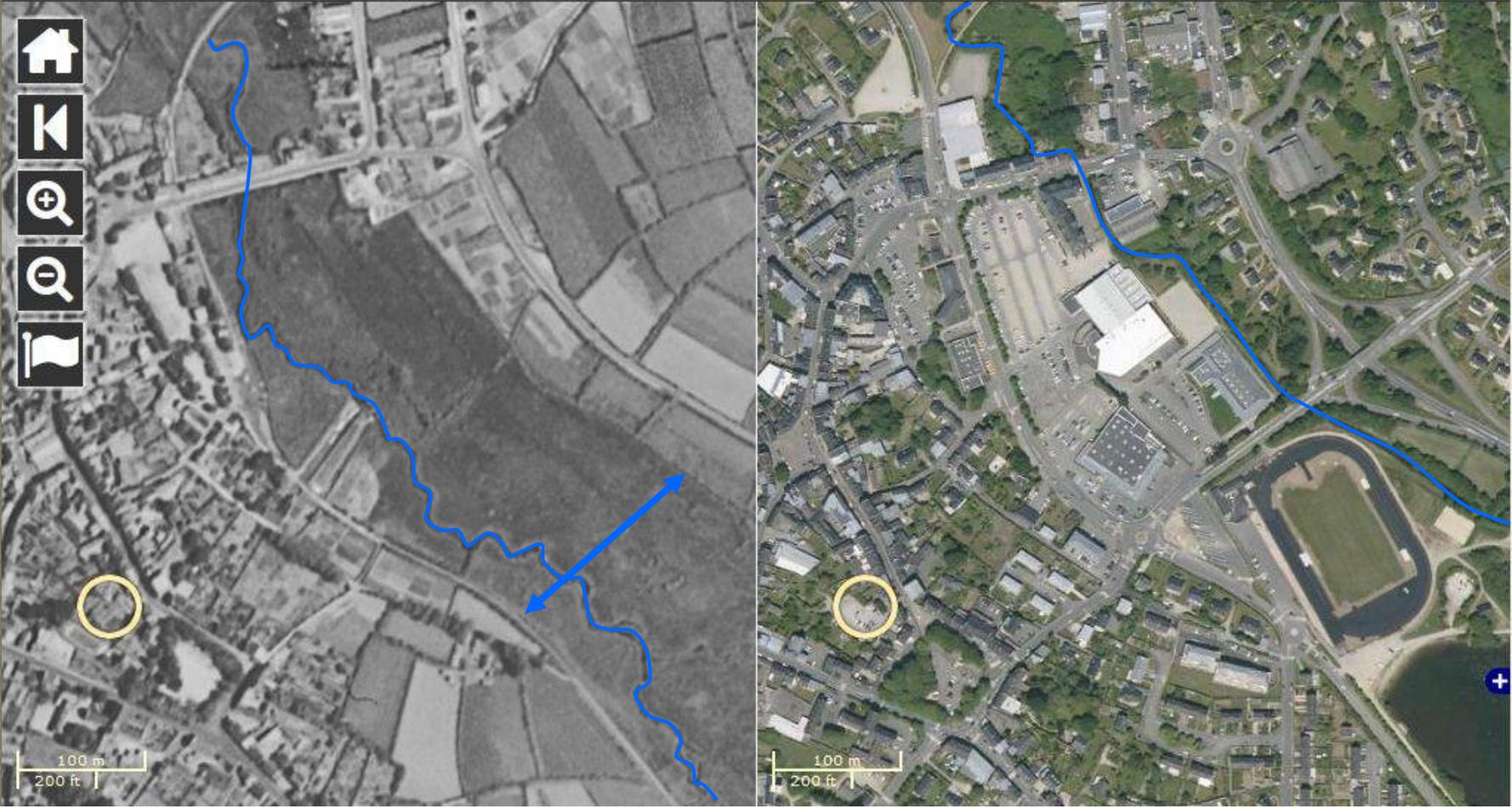
- Du fait des prélèvements (irrigation, process)

- du fait de la baisse de niveaux de nappe

- du fait du détournement de sources

2. Evaluation des habitats sur un cours d'eau

Compartiment « lit majeur et annexes » - altérations



a. Méthode REH

2. Evaluation des habitats sur un cours d'eau

Compartiments « continuité » - enjeux et altérations

1) Enjeu longitudinal



Écoulement libre

Zone d'influence ou « remous »



Obstacle → problème de franchissabilité piscicole et de transport sédimentaire

mais aussi parfois d'altération morphologique amont

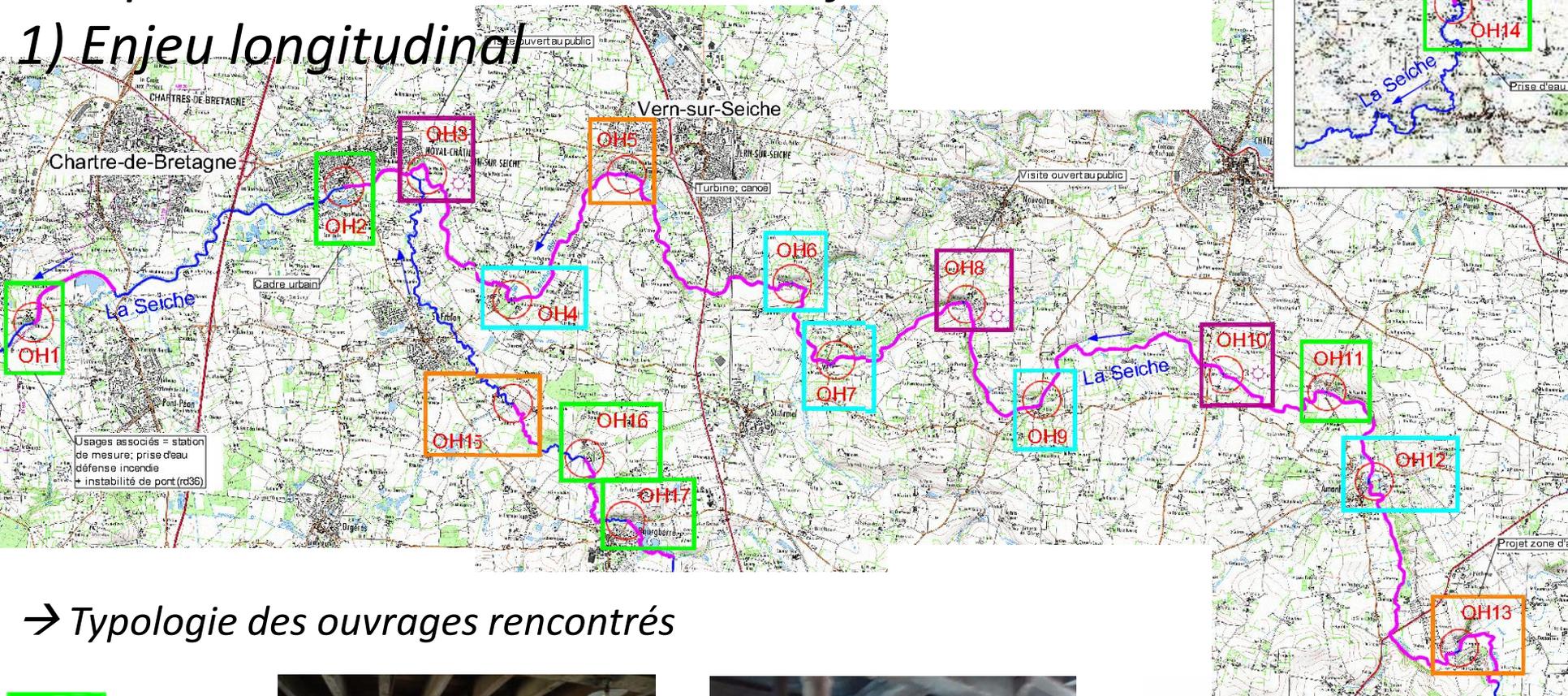
a. Méthode REH ; continuité écologique



2. Evaluation des habitats sur un cours d'eau

Compartiment « continuité » - enjeux et altérations

1) Enjeu longitudinal



→ Typologie des ouvrages rencontrés

- Pas d'usage
- Pas d'usage
- Pas d'usage
- Roue opérati



a. Méthode REH ; continuité écologique

2. Evaluation des habitats sur un cours d'eau

Comp

1) Enj



→ Typo

- Pas
- Pas
- Pas
- Roue operationnelle

- Linéaire de cours d'eau non influencé
- Linéaire de cours d'eau sous influence d'une reten

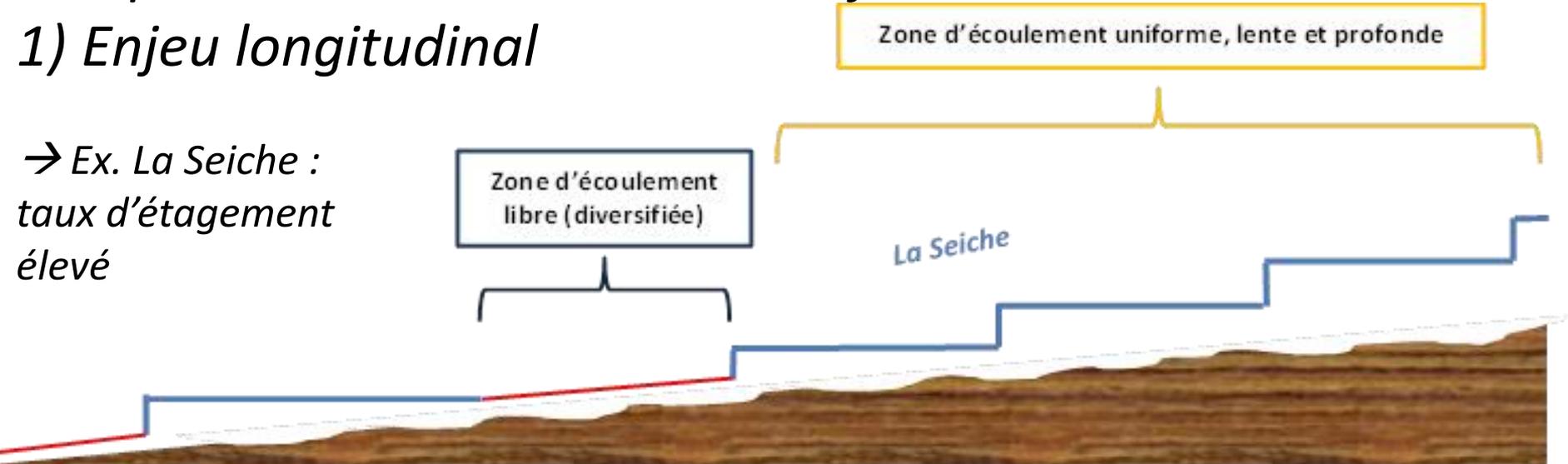
a. Méthode REH ; continuité écologique

2. Evaluation des habitats sur un cours d'eau

Compartiment « continuité » - enjeux et altérations

1) Enjeu longitudinal

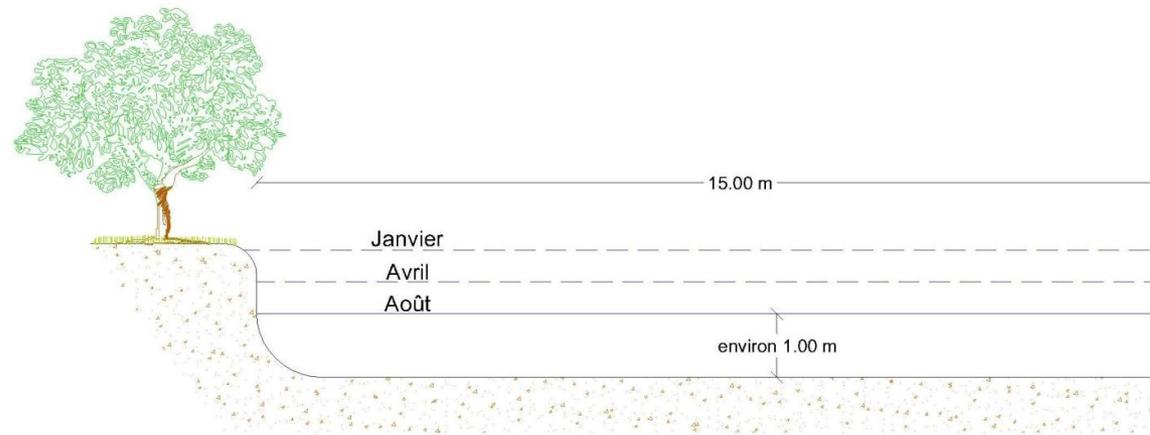
→ Ex. La Seiche :
taux d'étagement élevé



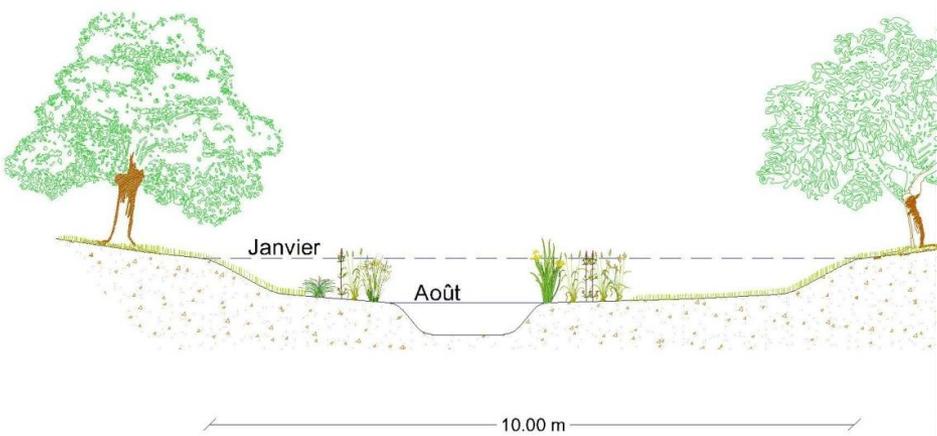
-Seiche
mm
nivé
s obst
05 m
m
m
a



2. Evaluation des habitats sur un cours d'eau



Profil en travers de la Seiche

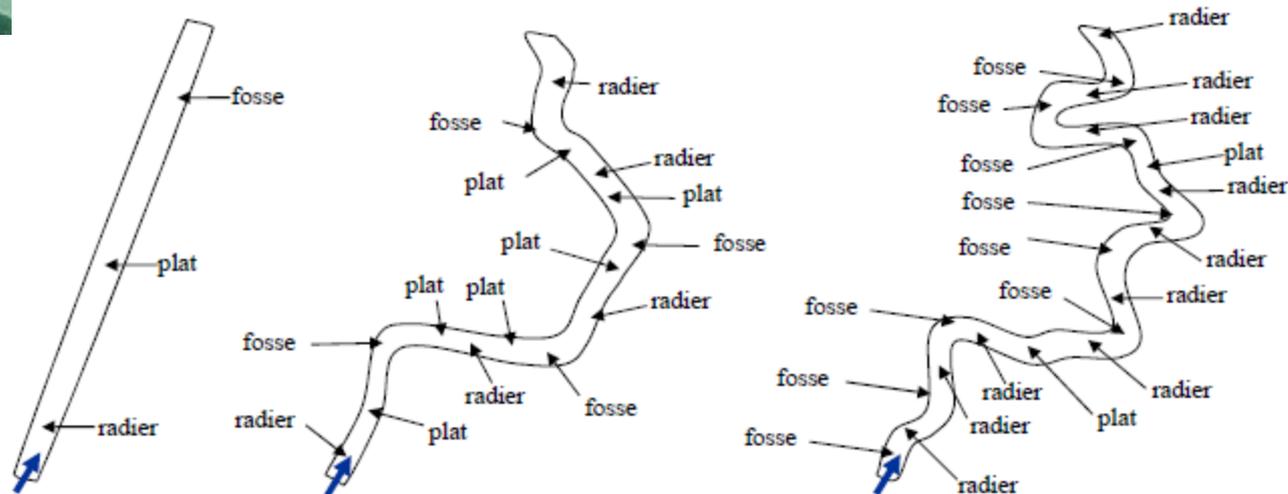


Profil en travers d'une rivière libre de même pente

a. Méthode REH ; continuité écologique

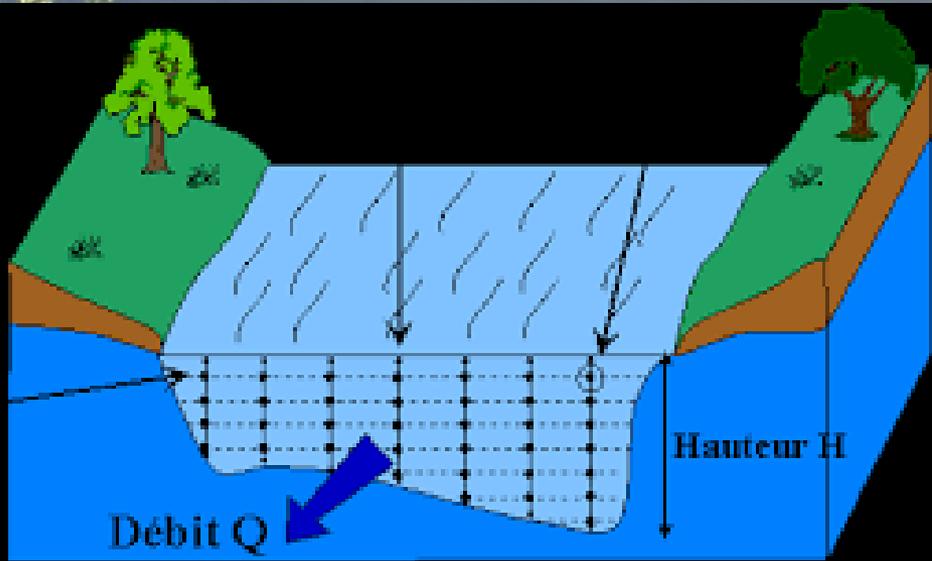
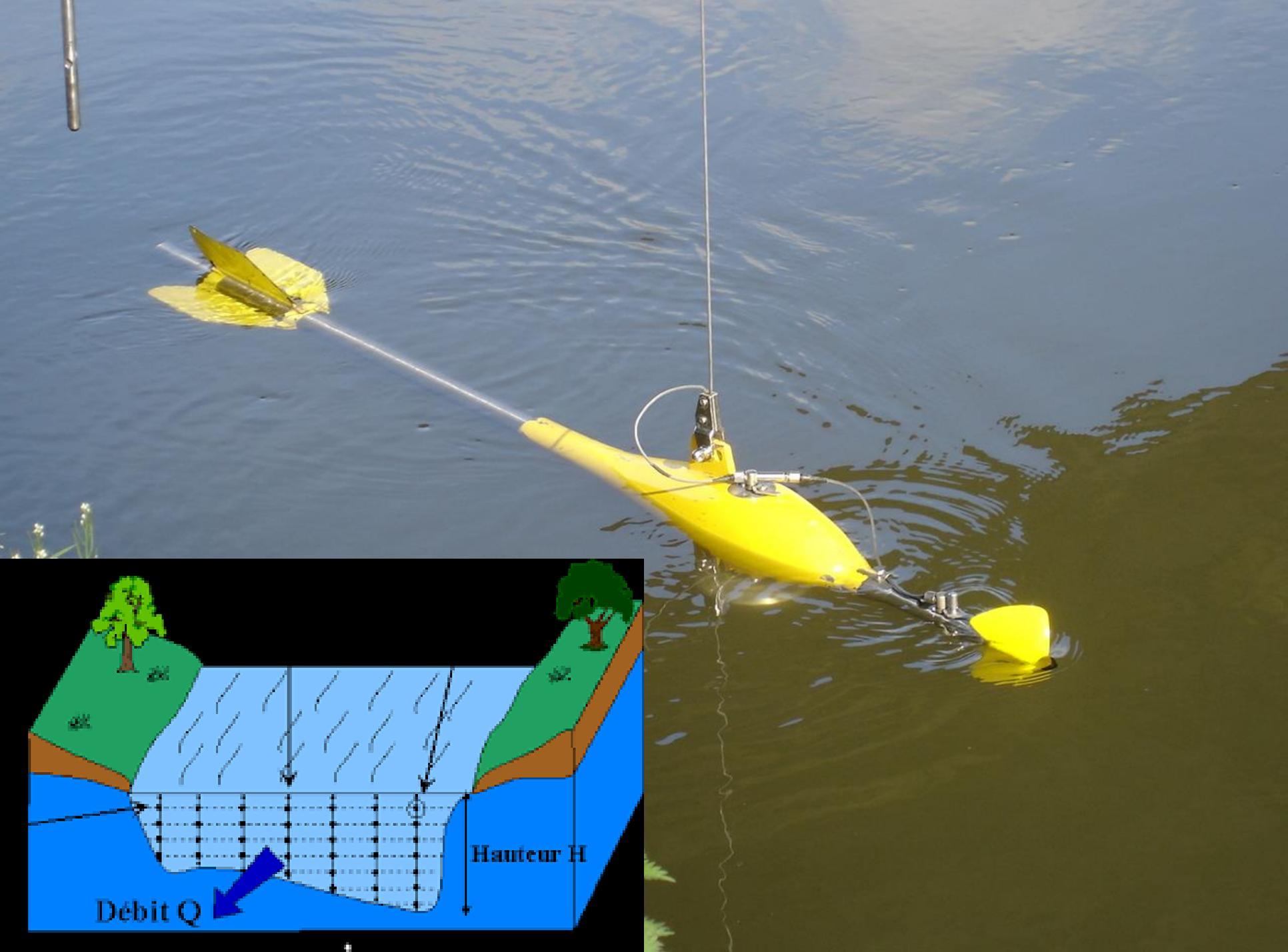


COMPARAISON DE TROIS PROFILS EN PLAN



Plus le tracé en plan est diversifié (macro et micro sinuosités), plus la quantité et la qualité des faciès d'écoulement et des habitats augmentent.





1) Déterminer ce que sera le débit à plein bord → choisir une largeur à plein bord cohérente, par exemple en s'aidant de la formule de Hey :

Largeur à plein bord en fonction du débit de plein bord « l_{pb} » = $2.73QPb^{0.5}$ (Hey)

2) Faire des choix de longueur d'onde et amplitude, en s'aidant des formules suivantes ET d'enquête cartographique

Longueur d'onde en fonction du débit de plein bord :

$$\lambda = 8.3 QPb^{0.62} \text{ (Leopold et Wolman)}$$

Longueur d'onde en fonction de la largeur à plein bord « l_{PB} »:

$$\lambda = 6 \text{ à } 10 \times l_{PB} \text{ (Yalin et Hickin)}$$

Amplitude en fonction de la longueur d'onde

$$A = \lambda/2.5 \text{ ou } A = 2.37 \times \lambda^{0.58} \text{ (Leopold et Wolman ; Petit)}$$

+ analyse cartes et cadastres historiques et secteur méandriques actuels sur ce cours d'eau ou sur un cours d'eau proche et de pente similaire

→ **Monter un tableau d'hypothèses basse et hautes de λ et A. Pour votre projet, λ et A peuvent varier en fonction du foncier disponible**

→ **!! Le méandrage augmente votre pente en long → revisiter vos sections mouillées (Manning) en fonction de cette nouvelle pente**

Inondations

MARAIS BLANC :

<https://youtu.be/BMByWYI617E>

Le PGRI est arrêté par **le préfet coordonnateur de bassin**. Les objectifs du PGRI sont déclinés au sein de stratégies locales de gestion des risques d'inondation (SLGRI) pour les TRI.