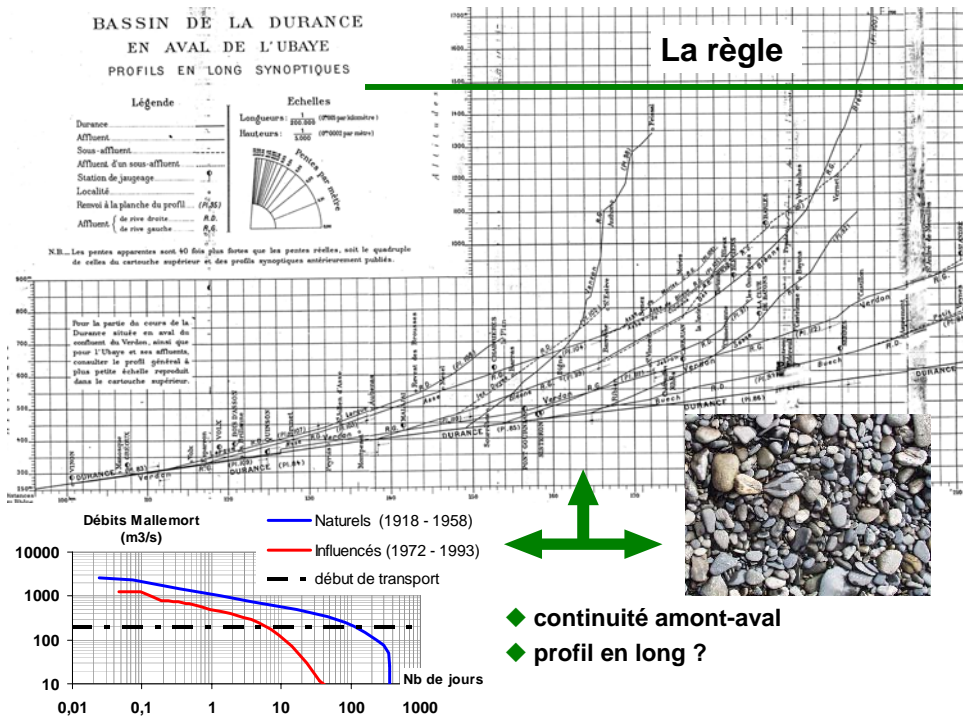


Le transport solide en rivière

- ◆ charriage et suspension, la notion d'entraînement
- ◆ débit, pente, diamètre et largeur
- ◆ analyse filaire : le profil d'équilibre
- ◆ différents types de rivières
- ◆ la continuité et sa rupture : quelques impacts
- ◆ outils et méthodes



la continuité et sa rupture

Toute rivière tend vers une pente qui assure le transport vers l'aval des matériaux solides provenant de l'amont

◆ érosion

$$\frac{dG}{dx} > 0$$

- ❖ la capacité de transport est localement plus forte que le flux venant de l'amont
- le fond et les berges fournissent les matériaux
 - érosion progressive
 - érosion régressive
- la pente diminue
- la capacité de transport diminue

◆ dépôt

$$\frac{dG}{dx} < 0$$

- ❖ la capacité de transport est localement plus faible que le flux amont
 - dépôt progressif
 - dépôt régressif
- la pente augmente
- la capacité de transport augmente localement

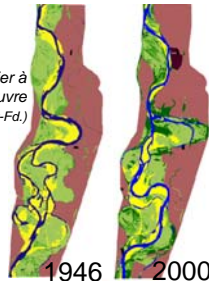
la continuité sédimentaire et sa rupture : les exceptions

◆ Une rupture de continuité s'accompagne de phénomènes d'érosion/dépôt

- ❖ du fond
- ❖ des berges

◆ mobilité n'implique pas déséquilibre !

exemple : divagations du lit de l'Allier à Châtel-de-Neuvre
(doc. J.L.Peiry, St.Petit, UBP Clermont-Fd.)



le Buech en amont de la Méouge (mars 2001)
après deux crues hivernales

◆ 2 phénomènes distincts

- ❖ 1. la respiration : variabilité des apports solides, variabilité hydrologique
- ❖ 2. l'évolution à long terme : altération du profil

la continuité sédimentaire et sa rupture : **Les exceptions**

◆ Les discontinuités d'origine naturelle

- ❖ rupture du profil en long
- ❖ confluent

◆ Les discontinuités qui sont la conséquence d'un aménagement

- ❖ L'interruption du transit
- ❖ La modification de la largeur du lit
- ❖ Les extractions profondes
- ❖ La modification du régime hydrologique

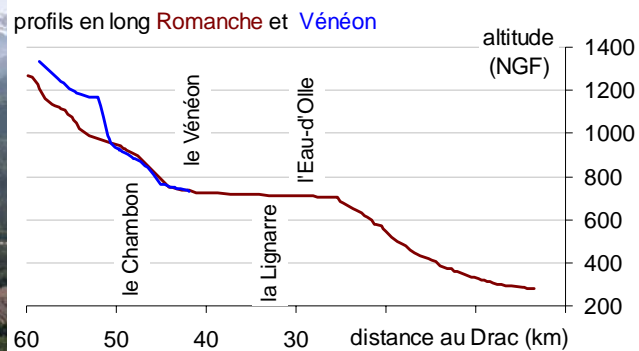
La discontinuité sédimentaire est directement couplée avec une variabilité du trio (pente, granulométrie, écoulement)

Toute rivière tend vers une pente qui assure le transport vers l'aval des matériaux solides provenant de l'amont

origine naturelle : **La rupture du profil en long** ^{1/3}

◆ exemple 1 : origine géologique

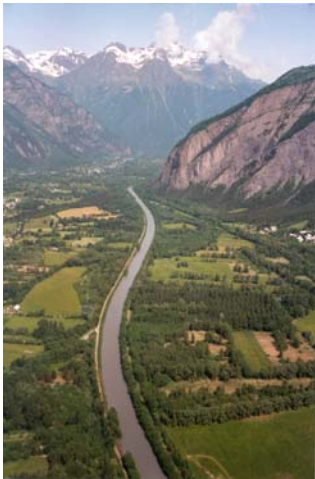
la plaine de Bourg-d'Oisans vers l'amont



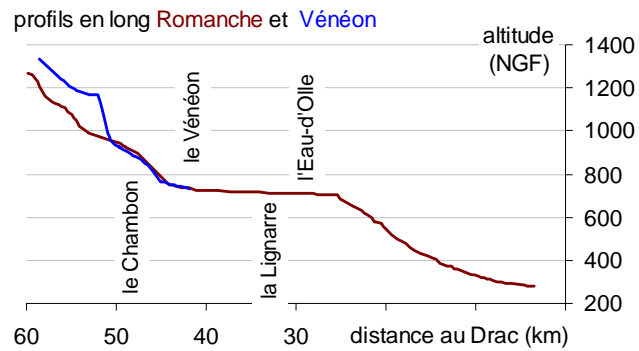
origine naturelle : La rupture du profil en long 2/3

◆ exemple 1 : origine géologique

la plaine de Bourg-d'Oisans vers l'aval



la plage des Buclets



origine naturelle : La rupture du profil en long 3/3

◆ exemple 2 : blocage par un affluent aval : Drac-Isère

❖ les « Sablons »

carte de Cassini (doc : <http://gallica.bnf.fr>)



origine naturelle : **Le confluent**

◆ **exemple 3 : Danube et Isar en Bavière**

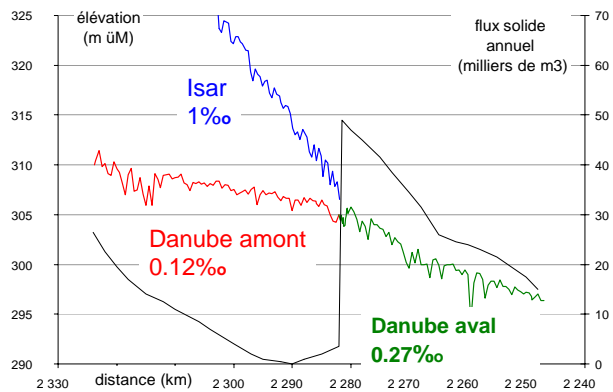


◆ **nécessairement un point de continuité du transport**

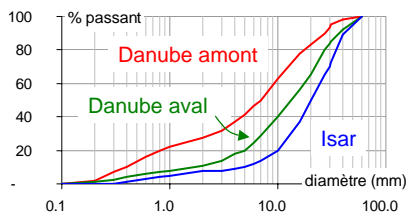
$$\int_{\text{année}} G_{\text{Danube amont}} dt + \int_{\text{année}} G_{\text{Isar}} dt = \int_{\text{année}} G_{\text{Danube aval}} dt$$

origine naturelle : **Le confluent (exemple Danube et Isar)**

- ◆ **nécessairement un point de continuité du transport**
- ◆ **adaptation de la pente, de la largeur au régimes liquide et solide des affluents**



le Danube et l'Isar en Bavière (données BAW)

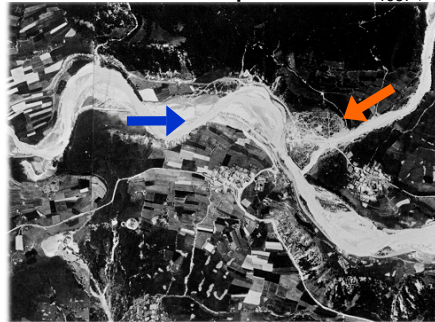


- ◆ **respiration éventuellement**
 - ◆ **variabilité des apports**

le confluent : un exemple de respiration à court terme



déc.2000 doc. V. Kouliniski - ETRM↑ 1957↓



◆ le Torrent de l'Envers et l'Arc

- ❖ discontinuité de la source sédimentaire (affluent) →
- ❖ variabilité des débits →
- ❖ un équilibre « dynamique »



la continuité sédimentaire et sa rupture : **Les exceptions**

- ◆ **Les discontinuités d'origine naturelle**
 - ❖ rupture du profil en long
 - ❖ confluent
- ◆ **Les discontinuités qui sont la conséquence d'un aménagement**
 - ❖ L'interruption du transit
 - ❖ La modification de la largeur du lit
 - ❖ Les extractions profondes
 - ❖ La modification du régime hydrologique

La discontinuité sédimentaire est directement couplée avec une variabilité du trio (pente, granulométrie, écoulement)

Toute rivière tend vers une pente qui assure le transport vers l'aval des matériaux solides provenant de l'amont

conséquence d'un aménagement : l'interruption du transit 1/4

◆ en amont

- ❖ interruption du transit par charriage
- ❖ les matériaux fins arrivent jusqu'au barrage
 - envasement de la retenue : les gros à l'amont, les fins à l'aval
 - transit des fins vers les ouvrages dans le cas d'une dérivation

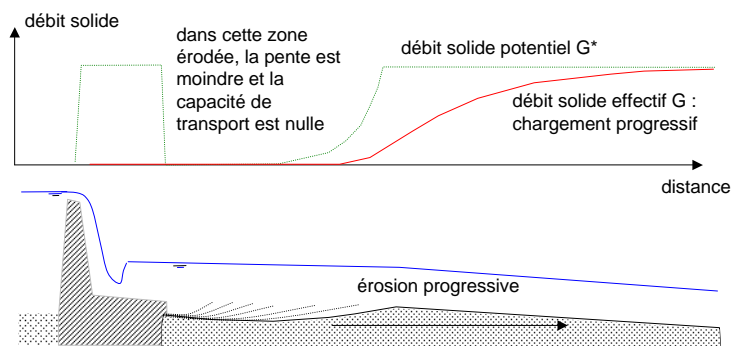


la Durance au barrage de l'Escalade (Château-Arnoux)

conséquence d'un aménagement : l'interruption du transit 2/4

◆ en aval

- ❖ la pente s'adapte au flux solide (et liquide) venant de l'amont
- ❖ la rivière satisfait sa capacité de transport → érosion
- ❖ si flux liquide réduit → moindre transit solide → modification morphologique



conséquence d'un aménagement : **l'interruption du transit** 3/4

◆ **en cas de destruction de la couche alluviale**
 découverte du substratum

exemple 1 : l'Ebron à Treminis :

interruption du transit par plage de dépôt en amont



doc.Ph.Lefort

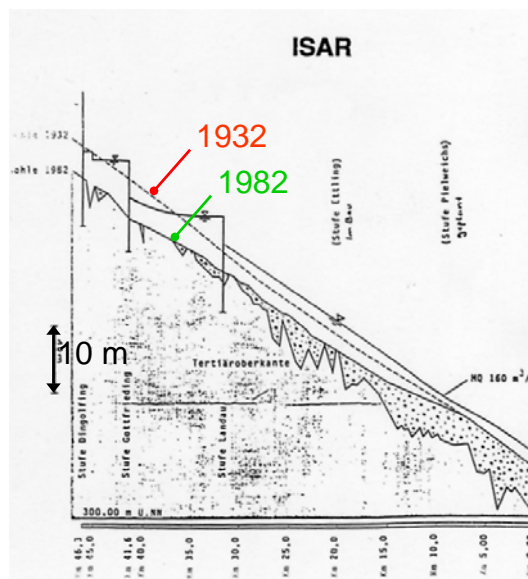
suspecter et expliquer toute situation où la rivière ne coule pas sur ses alluvions

conséquence d'un aménagement : **l'interruption du transit** 4/4

◆ **en cas de destruction de la couche alluviale**
 découverte du substratum

exemple 2 : l'Isar en Bavière :

interruption du transit par ouvrages en amont



suspecter et expliquer toute situation où la rivière ne coule pas sur ses alluvions

... aménagement : la modification de la largeur du lit

◆ généralement : érosion ou un exhaussement

- ❖ retour vers un équilibre
- ❖ même pente dans une rivière torrentielle
- ❖ **pas de rupture du transit à long terme**

le Var en amont de Puget-Thénières



◆ exceptions :

- ❖ modification importante du débit de début d'entraînement
- ❖ modification des conditions de débordement

Le rétablissement de conditions d'équilibre entraîne alors une altération du débit solide des sédiments grossiers

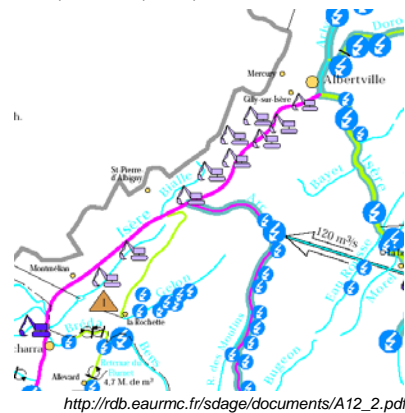
conséquence d'un aménagement : les extractions profondes

rupture de transit équivalente à celle d'une retenue

◆ en amont : augmentation de la pente

- ❖ érosion régressive
 - ex. pont des Mollettes (Isère, près Montmélian), Tours (Loire)
- ❖ mise à nu du substratum
- ❖ impact sur la nappe
 - ex. Var, Drac

◆ dans la souille : arrêt des sédiments

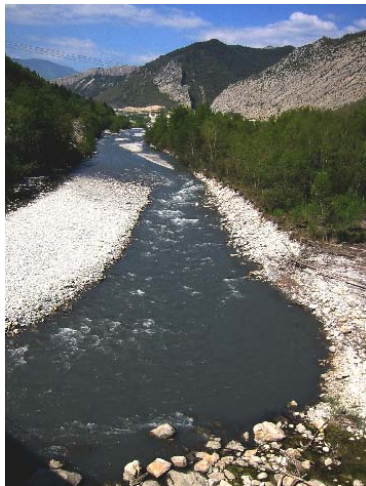


Le pont de Mollettes sur l'Isère
doc. Ph. Lefort

conséquence d'un aménagement : les extractions profondes

◆ en aval : déficit

- ❖ transformation du style morphologique à l'aval
- ❖ érosion progressive



autres types :

◆ protections par seuils

- ❖ extraction en fosse profonde
- exemple Var inférieur
- risque de colmatage

◆ arasement des bancs hors d'eau

- ❖ déficit !

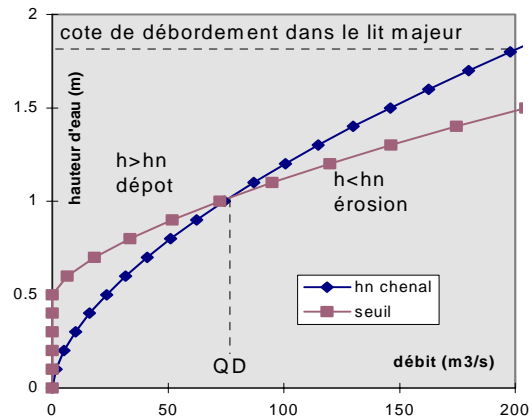
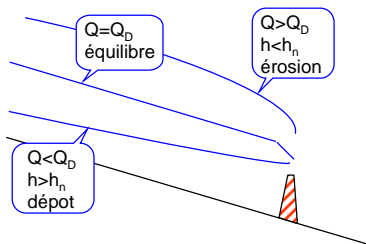


Le Var en aval de Pont de Gueydan

exercice : comment caler un seuil en rivière ?

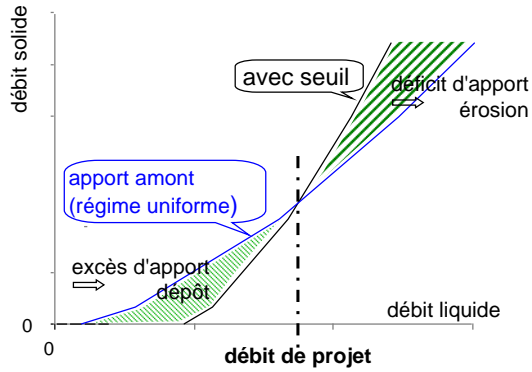
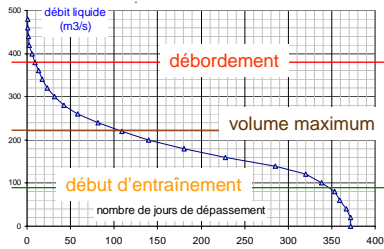
◆ équilibre : volume déposé cumulé = volume érodé

◆ Q_D : débit dominant ?



exercice : **comment caler un seuil en rivière ?**

◆ **méthode optimale**



◆ **dans la pratique**

- ❖ $G(Q)$ mal connu
granulométrie réelle, etc.
- ❖ si seuil trop bas \rightarrow érosion
- ❖ si seuil trop haut \rightarrow dépôt
- ❖ si on cherche à éviter l'érosion des berges : $Q_{\text{projet}} = Q_{\text{débordant}}$
- ❖ si on cherche à améliorer la capacité d'écoulement :
 $Q_{\text{projet}} = Q_{\text{début_d'entraînement}}$

exercice : **quelques impacts**

◆ **seuil de même largeur que la rivière (calé au fond)**

- ❖ adaptation du lit pour que le débit normal corresponde au débit du seuil :
creusement du lit
érosion des berges et élargissement

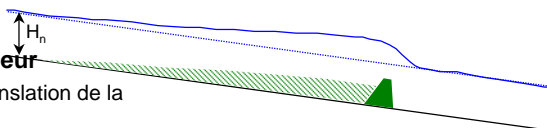
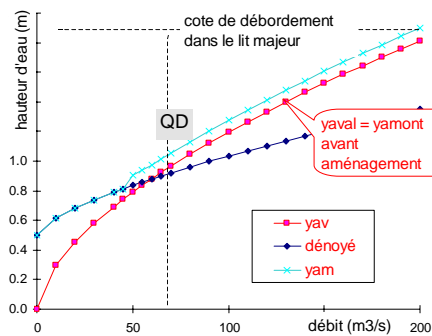
◆ **fonctionnement d'un seuil d'étiage en régime noyé**

- ❖ production d'énergie, irrigation, loisirs

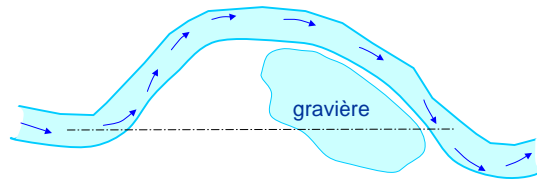
⚡ **exhaussement du lit en amont pour que le niveau imposé par le seuil soit « normal »**

⚡ **débordement dans le lit majeur**

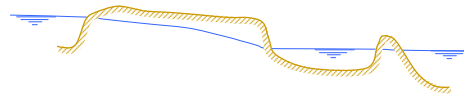
- ❖ si bourrelet (végétation) translation de la rivière vers le haut
- ❖ sinon chenal alternatif
+ atrophie



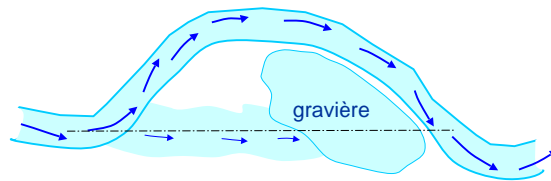
mécanisme de capture d'une gravière en lit majeur



profil en long

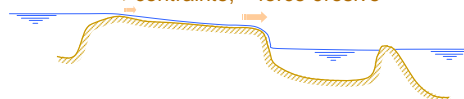


mécanisme de capture d'une gravière en lit majeur

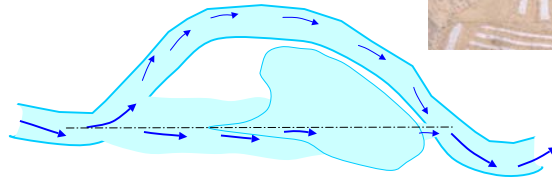


profil en long

Vitesse, pente
->contrainte, « force érosive »

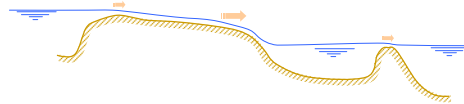


mécanisme de capture d'une gravière en lit majeur

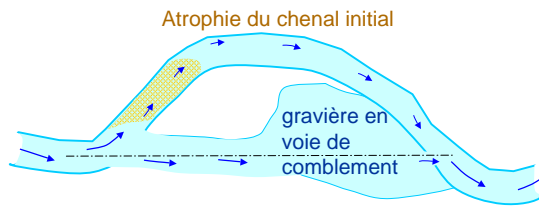


profil en long

« griffe » d'érosion

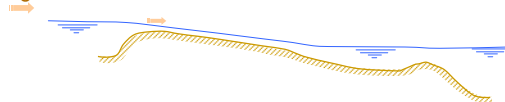


mécanisme de capture d'une gravière en lit majeur



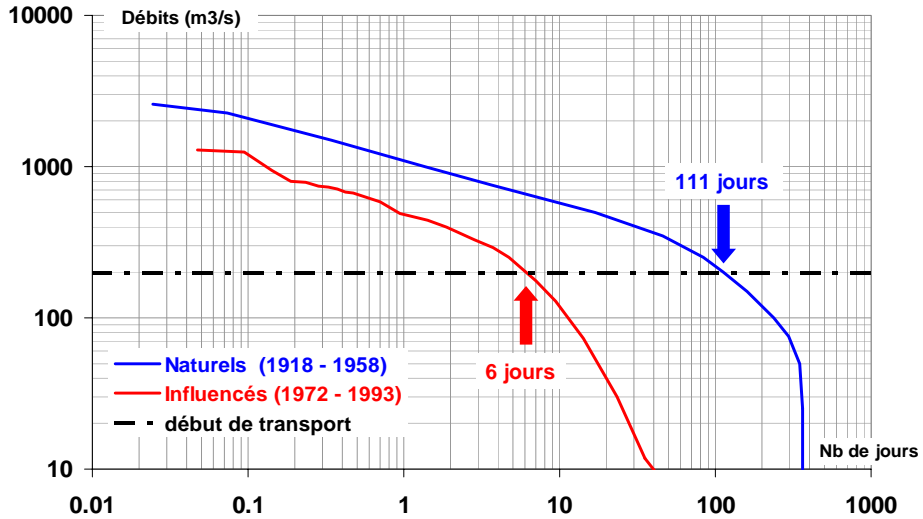
profil en long

Erosion régressive à l'amont



... aménagement : **La modification du régime hydrologique**

◆ **exemple 1 : débits classés de la Durance à Mallemort**

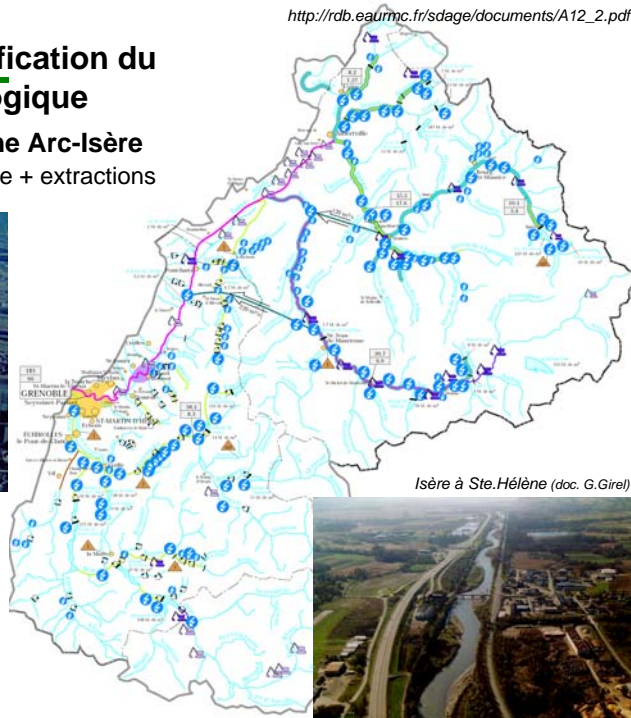


... aménagement : **modification du régime hydrologique**

◆ **exemple 2 : le système Arc-Isère**
modification du régime + extractions



Rhin supérieur (doc. Martin Jaeggi)



Isère à Ste.Hélène (doc. G. Girel)



la continuité sédimentaire et sa rupture : **enlimonage des bancs**

◆ déficit en matériaux grossiers

- ❖ incision du lit
- ❖ peu de renouvellement des matériaux
- ❖ bancs perchés

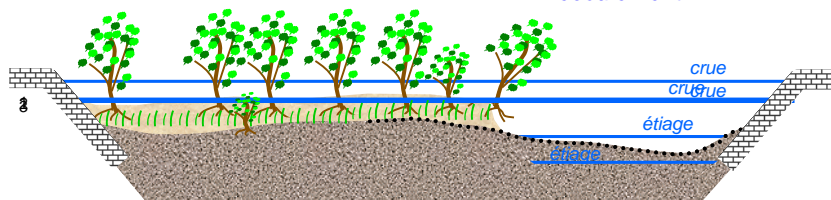
*1 état non perturbé
grande capacité en crue*

◆ apport continu de fins

- ❖ peignage par la végétation

*2 incision du lit
végétalisation des bancs*

*3 enlimonage progressif
capacité réduite en crue
concentration de
l'écoulement*



la continuité sédimentaire et sa rupture : **enlimonage des bancs**

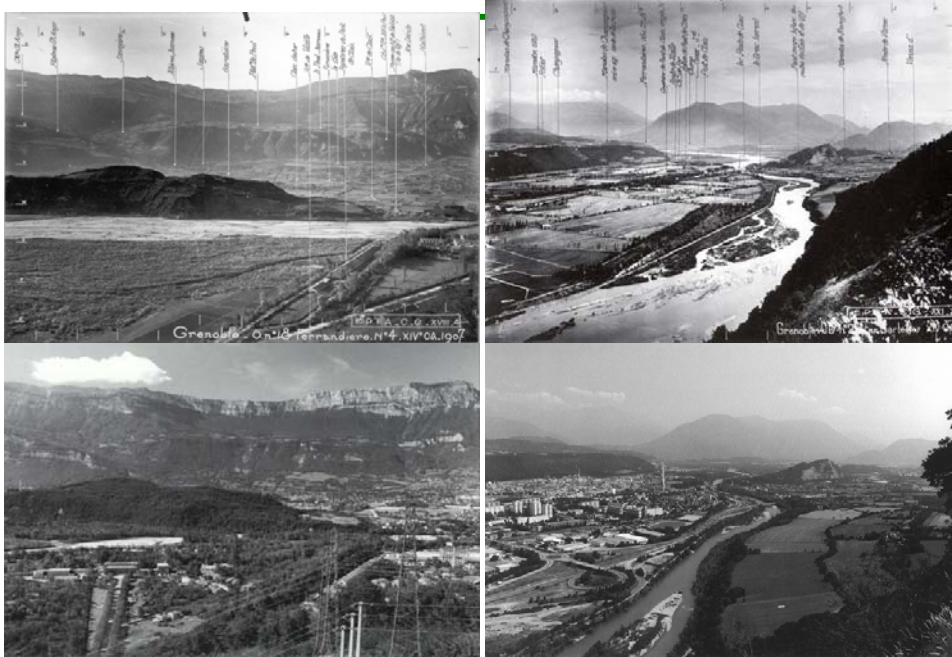


île de Brignoud, Isère, 22/03/01

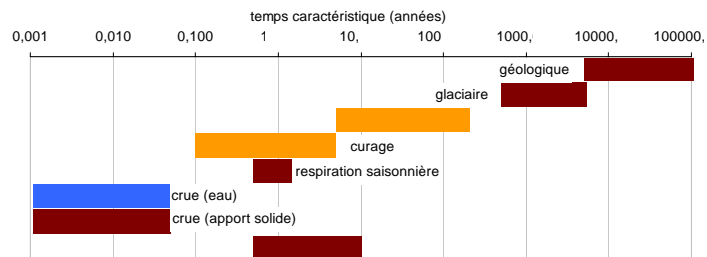


île de Brignoud, Isère, 24/03/01

... régime hydrologique, exemple 3 : le Drac "Grenoble, un siècle de photographies", Didier-Richard, 1998



La perception des phénomènes



◆ urgence et rapidité de l'onde de crue

- ❖ perception aiguë
- ❖ forte mobilisation
- ❖ décisions et réglementation en conséquence
 - règle du zéro impact
 - relation amont-aval relativement nouvelle

◆ faible perception du phénomène sédimentaire

- ❖ un obstacle pour la propagation de la crue
 - végétation
 - atterrissements (réduction de la section)
- ❖ torrents, rivières torrentielles, plaine
- ❖ perception locale
 - exemple : érosion de berge

- ⇒ actions qui règlent le court-terme
 - en contradiction parfois avec le but recherché
- ⇒ relation amont-aval souvent négligée
 - rupture de continuité

Gestion des atterrissements

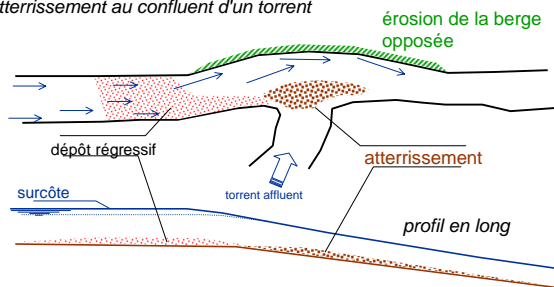
◆ banc d'alluvions "anormalement" développé

- ❖ subjectif
- ❖ une réaction de crise (après une inondation)
- ❖ respiration normale à la suite d'un événement exceptionnel
- ❖ évaluation par rapport à un lit parfois abaissé
- ❖ curage du banc : une action 'gratuite'

◆ impact

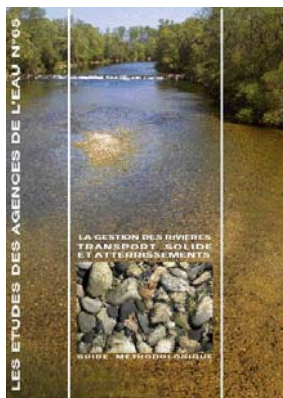
- ❖ diminution locale de la section d'écoulement ☒ relèvement des niveaux en crue
- ❖ augmentation de la vitesse, dévie le courant vers la berge
 - exemple : le Drac au pont du Vercors
 - exemple : dépôt d'un torrent affluent, érosion de la berge opposée

atterrissement au confluent d'un torrent



outils et méthodes pour les études sédimentaires : introduction

- « Guide méthodologique de gestion du transport solide et des atterrissements », B. Couvert, SOGREAH
 Les Etudes des Agences de l'Eau n°65 - 1999
<http://www.eaufrance.tm.fr/francais/etudes/pdf/etude65.pdf>



◆ diagnostic morphologique

- ❖ analyse des transformations et de la réponse du milieu
- ❖ la logique amont-aval
- ❖ les enjeux
 - impacts des évolutions morphologiques
 - choix de gestion
- ❖ suivi ultérieur

◆ les modèles

- ❖ analogiques
- ❖ numériques

analyse des transformations et de la réponse du milieu 1/2

◆ repérer les tronçons homogènes

- ❖ sectorisation

◆ déterminer le type morphologique

- ❖ type de cours d'eau
- ❖ type de transport solide

◆ analyser les transformations et les perturbations

- ❖ approche historique :
dynamique de référence
avant les grandes perturbations (1950) /
datation
- ❖ analyse de l'évolution morphologique : en
plan, en altitude

des bottes !
photos
profils
étiage, débit 'morphogène'
forces hydrauliques
anomalies des profils
rechercher la cause
perturbations
ouvrages structurants
analyses diachroniques
cartes, profils en long, X-
sections
limites communales à la
révolution

Le diagnostic géomorphologique : typologie des cours d'eau

	critères	caractéristiques	conséquences en terme de gestion
torrents non régulés	forte dépendance au BV pas de relation univoque Q-G _v	$S_0 > 0.02$ phénomènes brutaux et irréguliers forte respiration verticale du lit	intégrer la variabilité
torrents régulés	conditions d'écoulement toujours dominées par TS : $\Delta z > \Delta h$	idem + ∃ des zones de régulation	enveloppe de profil en long rétention et laminage des apports solides
rivières divagantes	relation Q-G _v	$0.03 > S_0 > 0.002$ (ordres de grandeur) mobilité morphologique lits : en tresse, unique divagant, méandres divagants souvent endiguées	quantification du TS possible problématique perçue par riverains
rivières de plaine	géométrie variant lentement	$0.005 > S_0$ lit unique peu mobile	quantification délicate logique amont/aval mal perçue



le Var à St-Isidore



barrage de l'Escale (Durance)



la Varezze (doc. SAGEFE)

Le diagnostic géomorphologique :
analyse des transformations et de la réponse du milieu 2/2

◆ **interpréter la morphologie actuelle**

- ❖ tressage → méandrage : déficit
- ❖ apparition du tressage : exhaussement
- ❖ contraction, végétalisation : réduction Q et G
- ❖ érosion de berges : à comparer avec référence



la Loire à Givry (doc. DIREN Centre)



Le diagnostic géomorphologique :
analyse des transformations et de la réponse du milieu 2/2

◆ **interpréter la morphologie actuelle**

◆ **prévoir les évolutions futures**

- ❖ le système morphologique n'a pas changé
 arrêt des perturbations → retour à l'équilibre
 (rythme ?)
- ❖ sinon ...



Le diagnostic géomorphologique :
analyse des transformations et de la réponse du milieu 2/2

- ◆ interpréter la morphologie actuelle
- ◆ prévoir les évolutions futures
- ◆ préciser le rythme :

court terme	10 ans	2 à 3 ans de forte hydraulité
moyen terme	30 à 50 ans	échelle de temps d'une politique globale
long terme	100 ans et plus	



Philippe Belleudy - 02-2005

le Var

des apports sédimentaires puissants

- ◆ 1967 : exploitation « forcée » :
- lit unique





le Var

- des apports sédimentaires puissants
- ◆ 1967 : exploitation « forcée » :
 - lit unique
- ◆ 1970 : cascade de seuils de protection
 - une rivière « de plaine »
- ◆ 1995 : crue centennale
 - destruction des seuils aval
 - retour vers un lit tressé

