

transport solide et morphologie fluviale

1. notions générales d'hydraulique
2. l'écoulement fluvial
3. écoulements non stationnaires et crues
4. quelques éléments de morphologie fluviale
 - transport solide
 - origine des matériaux
 - mécanismes de transport: charriage et suspension
 - analyse filaire
 - débit, pente, granulométrie
 - variabilité
 - le profil d'équilibre
 - la continuité et sa rupture
 - impacts et rythmes



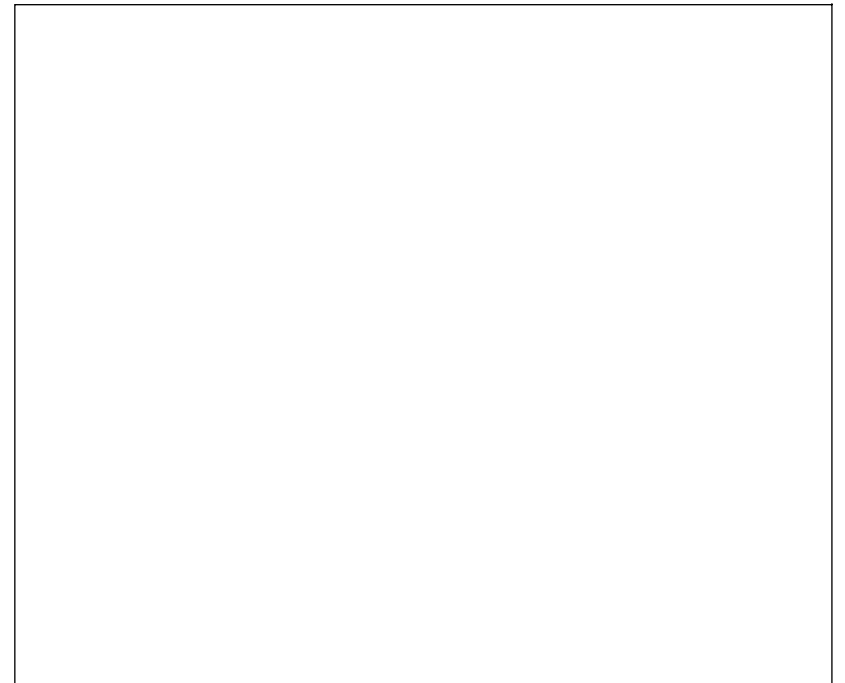
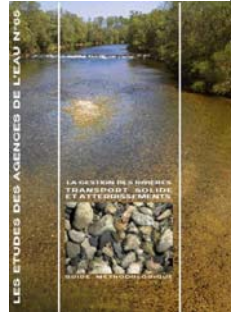
la Loire au bec d'Allier; doc DIREN Centre

Première partie :
 Notions générales d'hydraulique
 Éléments essentiels sur les écoulements à surface libre

Le transport solide en rivière

◆ bibliographie

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



origine des matériaux

- ◆ **érosion des versants**
- ◆ **les torrents**
une alimentation
discontinue



plateau de loess, Shaanxi, RPC (doc. YRCC)



Première partie :
Notions générales d'hydraulique
Éléments essentiels sur les écoulements à surface libre

origine des matériaux : le lit

- ◆ **le fond et les berges**
érosion et dépôt
un processus de substitution si équilibre



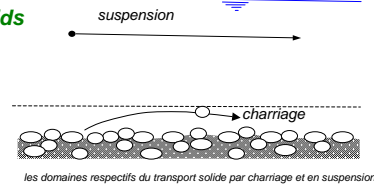
*le Buech en amont de la Méouge
(mars 2001) après deux crues
hivernales*

Première partie :
Notions générales d'hydraulique
Éléments essentiels sur les écoulements à surface libre

mécanismes du transport

agitation turbulente, frottement, poids

- ◆ charriage
- ◆ suspension
- ◆ (solution)
- ◆ charriage hyperconcentré : laves et boues



la Durance à Manosque



la Durance en crue : charriage et suspension (doc.Ph.Lefort)

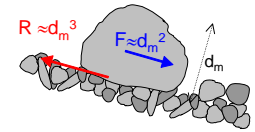
exemple: la Durance
l'équilibre est déterminé par le transport par charriage.
Durance, crue de nov. 1994, (Ph. Lefort)

Les différents modes de transport (charriage, suspension, solution, laves torrentielles)

◆ Charrriage, roulage et saltation

transport sur le fond d'un matériau non cohésif

- ❖ à proximité du fond, les matériaux du fond
- ❖ un phénomène à seuil: « contrainte critique »
- ❖ débit critique de début de transport, pente critique, diamètre critique



$$\theta = \frac{hS_f}{(\rho_s - \rho) d_m} > \theta_c = 0.047$$

- ❖ ordres de grandeur:

$l=100d$

Gs en kg/s

un grain de Loire: 10m/jour

migration des bancs du Rhin:

150m/an en moyenne

Rhin supérieur (doc.Martin Jaeggi)



charrriage : style morphologique type : la rivière torrentielle

$0.0015 < \sigma_y < 0.02$
 $F_r < 1$ sauf aux bas débits sur les seuils

- graviers et galets
- un ou plusieurs bras vifs
- bancs de gravier recouverts en crue
- seuils (matériaux alluvionnaires) et mouilles




la Bléone au Chaffaut (doc. G. Degoutte)

INPG Formation continue hydrométrie / 4 Transport solide et morphologie fluviale / 8 Philippe Belleudy - 09/2005

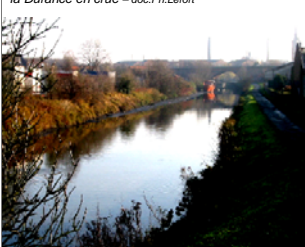
Les différents modes de transport (charrriage, suspension, solution, laves torrentielles)

◆ Suspension

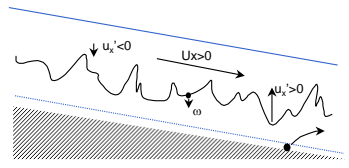
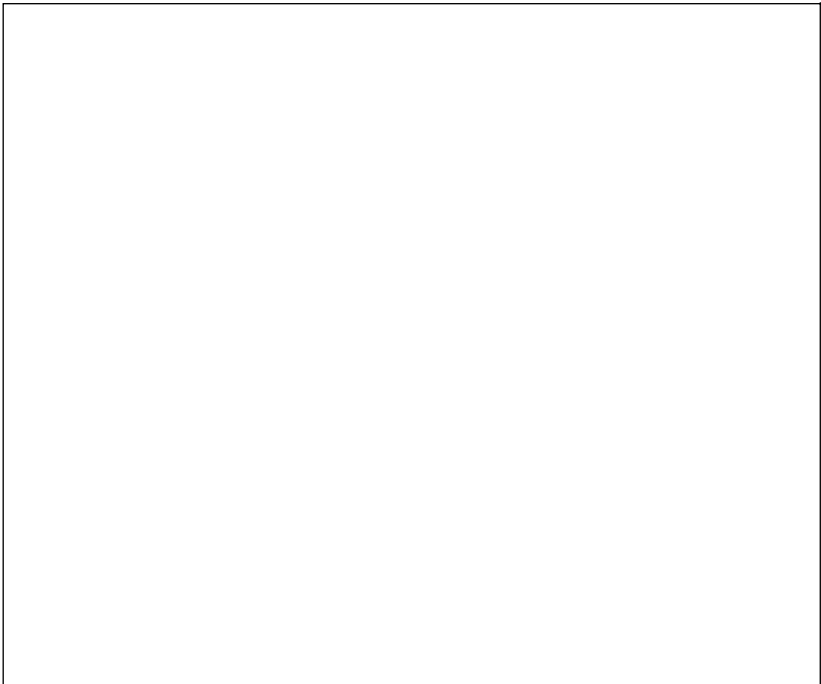
- ❖ dans la veine fluide
- ❖ action de la pesanteur
- ❖ action de la turbulence
- ❖ moindre dépendance / débit et fond
- ❖ quelques ordres de grandeur :
 - vitesse de propagation : celle du courant
 - concentration Isere 5 g/l, Colorado : 100 g/l, Fleuve Jaune : amont : 1600 g/l aval 300 g/l (lave ?)
 - flux : Isère : $5 \text{ g/l} * 200 \text{ m}^3/\text{s} * 86400 \text{ s} = 87 \text{ t/j}$



la Durance en crue - doc. Ph. Lefort



la Marque canalisée - nov. 2002

exemple: la Durance, crue de nov. 1994 (Ph. Lefort)
 Le transport en suspension, très intense n'intervient pas ici

INPG Formation continue hydrométrie / 4 Transport solide la morphologie fluviale / 9 Philippe Belleudy - 09-2005

transport en suspension

◆ **distribution dans la section en travers**

$Z = \frac{\omega}{0.4U^*}$: nombre de Schmidt - Rouse = $\frac{\text{gravitation}}{\text{turbulence}}$

$U^* = \sqrt{ghS_f}$

◆ **exemple: Isère, 4 juillet 1998**

Stéphane Veyrat-Charvillon, 1998, DEA « Gestion des Espaces Montagnards, UJF

INPG Formation continue hydrométrie / 4 Transport solide la morphologie fluviale / 10 Philippe Belleudy - 09-2005

suspension : style morphologique type : la rivière torrentielle

- ◆ **seuils et mouilles**
 - ❖ vallée en toit
- ◆ **importance de la végétation**
 - ❖ stabilisation des berges
 - ❖ limitation de la capacité
 - ❖ embâcles
- ◆ **parfois le résultat d'une transformation**
 - ❖ exemple: VAR

$S_0 < 0.002$
 $F_R < 1$

*la Meuse
lit profond, symétrique
le transport en suspension joue un rôle
dans la formation et la résistance des berges*

*le Suran (Ain)
charge en suspension: dépôt sur berges
érosion des berges (quelques mètres au cours d'une crue)*

*pas forcément en plaine !
torrent de Montcalm, Ariège*

Les différents modes de transport (charriage, suspension, solution, laves torrentielles)

Rhéologie des boues et laves torrentielles - Etude de dispersions et suspensions concentrées -
Philippe Coussot - CEMAGREF - Collection Etudes Montagne - 1992
ETRM : <http://etrm.chez.tiscali.fr/>

◆ laves torrentielles, charriage hyperconcentré

- ❖ écoulement liquide modifié par la présence de matériaux fortes concentrations, viscosité prépondérante
- écoulement par bouffées, arrêt en masse
- ❖ mélange partiel biphasique granulaire
 - ❖ mélange total boues
 - ❖ fortes pentes torrents

bourrelet frontal corps de lave queue de lave



le Boscodon - doc RTM05



Sixt-Fer-à-cheval 19-08-2003



torrent de Faucon, août 2003

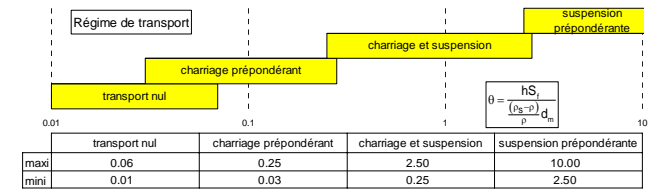
lave torrentielle : le torrent de Saint-Antoine (Bourg-d'Oisans)



lave torrentielle : le Manival



les différents modes de transport : granulométrie et pente



- ◆ les différents modes de transport peuvent coexister

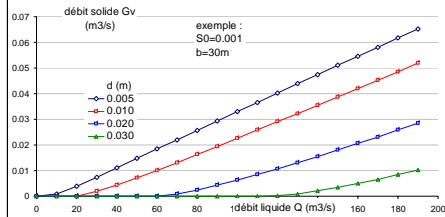
$$\theta = \frac{hS_f}{\frac{(\rho_s - \rho)}{\rho} d_m}$$

- ◆ il existe des formules empiriques

- ❖ à choisir en fonction du type de transport
- ❖ exemple charriage: Meyer-Peter et Müller (1948)

$$G_v = 8b \sqrt{g \left(\frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w} \right) d_m^3 (\theta - \theta_c)^{3/2}}$$

capacité de transport, granulométrie et pente



- ◆ pour le même débit, le transport des matériaux fins reste possible quand la pente décroît
- ◆ dans des conditions données, le transport n'est possible que si $d < d_c$
- ◆ aux débits intermédiaires, les fins sont mieux transportés



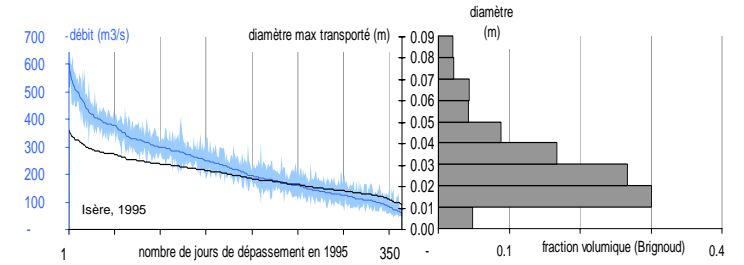
la Durance au barrage de l'Escalade (Château-Arnoux)

→ tri granulométrique

capacité de transport, granulométrie et pente

◆ dans des conditions données, le transport n'est possible que si $d < d_c$

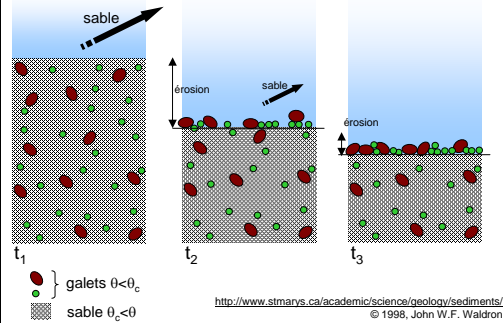
exemple : l'Isère à Brignoud



pavage dynamique, pavage statique

◆ aux débits intermédiaires, les fins sont mieux transportés

- ❖ la granulométrie en surface est généralement + grossière que la granulométrie transportée et que la granulométrie du lit



banc pavé de l'Allier, doc. G. Degoutte



l'Isère à Brignoud



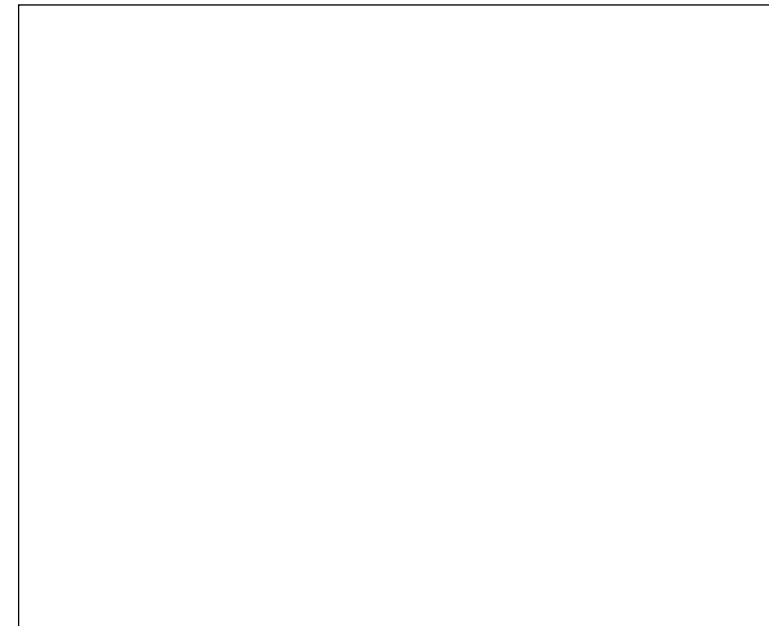
La photo du milieu montre le fond du lit de l'Isère en étiage. On remarque le tuilage des galets qui ont adopté une disposition qui offre le maximum de résistance.

tri granulométrique dans la section

◆ la variabilité granulométrique (et morphologique) dans la X-section est une conséquence du tri



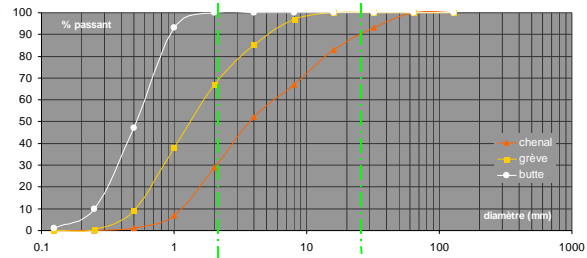
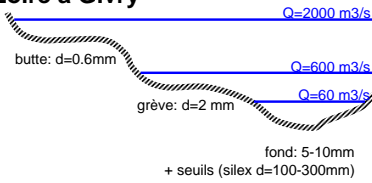
l'Ubaye en amont de Barcelonnette



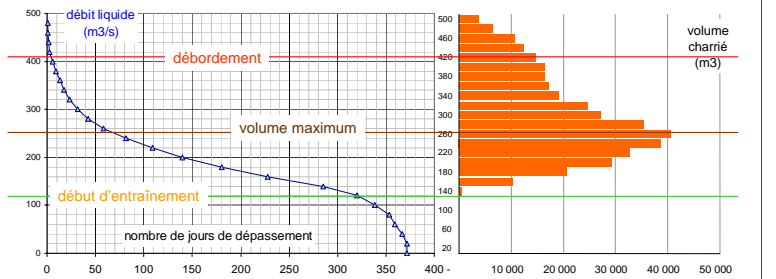
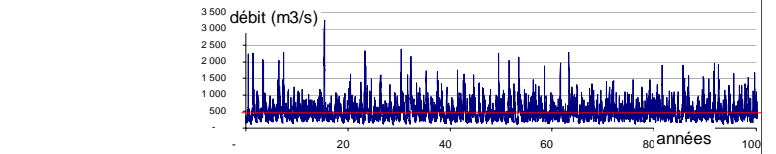
tri granulométrique dans la section

◆ la variabilité granulométrique est une conséquence du tri

◆ exemple : la Loire à Givry



variabilité annuelle du transport solide



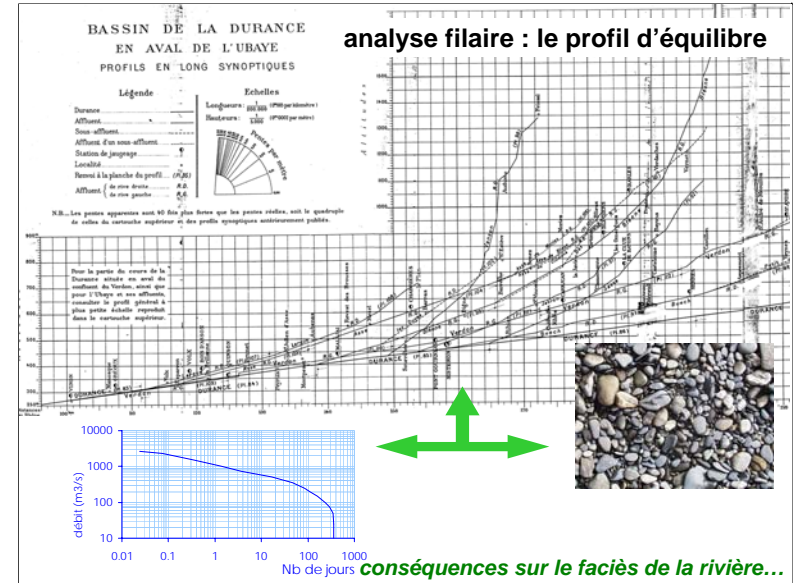
◆ existe-t'il un débit morphogène ?

variabilité annuelle du transport solide

- ◆ les extrêmes bouleversent
- ◆ les petites crues façonnent



au pont du Gard (sept.2002) (doc. Cl.Burtin, <http://www.inondations-gard.com>)

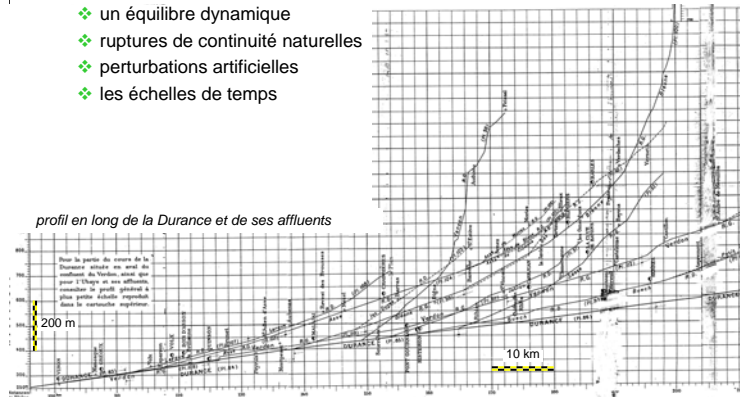


La décroissance de la pente provoque un dépôt progressif des sédiments les plus grossiers. Ce dépôt et l'abrasion sont responsables du tri longitudinal (mais il est parfois difficile de distinguer la contribution respective de chacun des phénomènes). Les apports de sédiments fins (en suspension généralement) transitent facilement vers l'aval. Compte tenu de la décroissance et du dépôt progressif des sédiments grossiers, ces sédiments fins prennent une grande importance et modifient progressivement le faciès de la rivière.

la continuité sédimentaire et sa rupture

◆ qu'est-ce que "l'équilibre morphologique" du lit d'une rivière?

- ❖ la règle
- ❖ un équilibre dynamique
- ❖ ruptures de continuité naturelles
- ❖ perturbations artificielles
- ❖ les échelles de temps



La « règle » implique et traduit une continuité sédimentaire de l'amont vers l'aval
Les effets de l'abrasion s'ajoutent mais sont difficiles à distinguer

remarque méthodologique

talweg ou ligne d'eau ?

les profils des « Forces hydrauliques » constituent un témoin de l'état des rivières avant les « grandes perturbations » du XXème siècle.

la continuité et sa rupture

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

◆ érosion

- ❖ la capacité de transport est localement plus forte que le flux venant de l'amont

$$\frac{dG}{dx} > 0 \quad \begin{array}{l} \rightarrow \text{le fond et les berges fournissent les matériaux} \\ \text{érosion progressive} \\ \text{érosion régressive} \end{array}$$

- la pente diminue
- la capacité de transport diminue

◆ dépôt

- ❖ la capacité de transport est localement plus faible que le flux amont

$$\frac{dG}{dx} < 0 \quad \begin{array}{l} \text{dépôt progressif} \\ \text{dépôt régressif} \end{array}$$

- la pente augmente
- la capacité de transport augmente localement



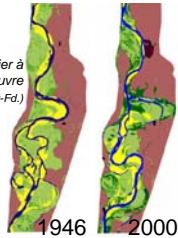
la continuité et sa rupture

◆ 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

Une rupture de continuité sédimentaire s'accompagne de phénomènes d'érosion/dépôt. Le flux solide provenant de l'amont, s'il n'est pas transporté vers l'aval, se déposera dans le lit. Inversement, une augmentation de la capacité de transport vers l'aval se fera au détriment de lit (et des berges) de la rivière.

La capacité de transport varie dans le temps, comme le débit de la rivière. Les apports solides (qui proviennent des versants et des affluents) ne sont pas continus non plus.

On observera donc deux phénomènes qui se complètent :

- une variabilité à court et moyen terme qui répond à la variabilité de la capacité de transport et à la discontinuité des apports solides. Cette variabilité se traduit par une 'respiration' du lit.
- une tendance à plus long terme qui forme le profil général du cours d'eau. Ce profil est le bilan moyen (sur plusieurs dizaines d'années) des variations à court et moyen terme. Il traduit l'adaptation du cours d'eau aux conditions de transport solide.

Ces deux phénomènes traduisent la continuité sédimentaire et sa rupture. Nous avons déjà illustré la variabilité à court terme, nous nous attacherons essentiellement par la suite au deuxième phénomène, c'est à dire à la description des différents facteurs de discontinuité à long terme.

la continuité et sa rupture

◆ Les discontinuités d'origine naturelle

1. rupture du profil en long
2. confluent
3. coupure de boucle

◆ Les discontinuités qui sont la conséquence d'un aménagement

- ❖ interruption du transit
- ❖ modification de la largeur du lit
- ❖ extractions profondes
- ❖ seuil en rivière
- ❖ modification du régime hydrologique

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

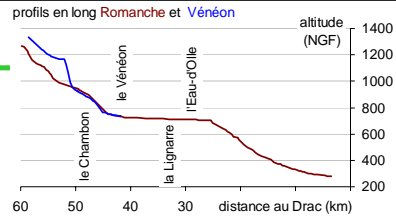
La discontinuité sédimentaire à long terme a dans certains cas des origines naturelles, elle a le plus souvent des origines artificielles liées aux activités humaines et aux aménagements.

Comme la continuité, cette discontinuité sédimentaire est directement couplée aux facteurs principaux qui déterminent le transport solide : la pente, la granulométrie des matériaux du fond, l'hydraulicité.

Par l'érosion ou l'engrèvement, la rivière va modifier sa pente pour mettre en conformité le transport solide local avec les apports liquide et solide (quantité et granulométrie) arrivant de l'amont.

1. rupture du profil en long

◆ exemple 1 : origine géologique : la plaine de Bourg d'Oisans



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



Vénéon: la plage des Buclets

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

Les discontinuités du transit se rencontrent généralement dans le cas d'une rupture "concave" : la pente aval est plus faible que la pente amont.

La plaine de Bourg-d'Oisans a une origine géologique.

origine naturelle : 1. rupture du profil en long



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

◆ le Dragon et le Serpent

◆ les « Sablons »

Ce type de situation peut provenir aussi du blocage provoqué par un affluent aval dont la charge sédimentaire est importante et qui provoque un "remous solide" dans la rivière principale. Celle-ci n'arrive pas à conduire les matériaux grossiers jusqu'à la confluence.
Confluence Isère-Drac

Les apports volumineux du Drac (avant perturbations) se sont déposés à la confluence. Ces dépôts diminuent la pente de l'Isère à l'amont de Grenoble : développement de méandres + dépôt des sédiments les plus fins.

origine naturelle : **2. confluent**

◆ exemple 3 : Danube et Isar en Bavière



◆ nécessairement un point de continuité du transport

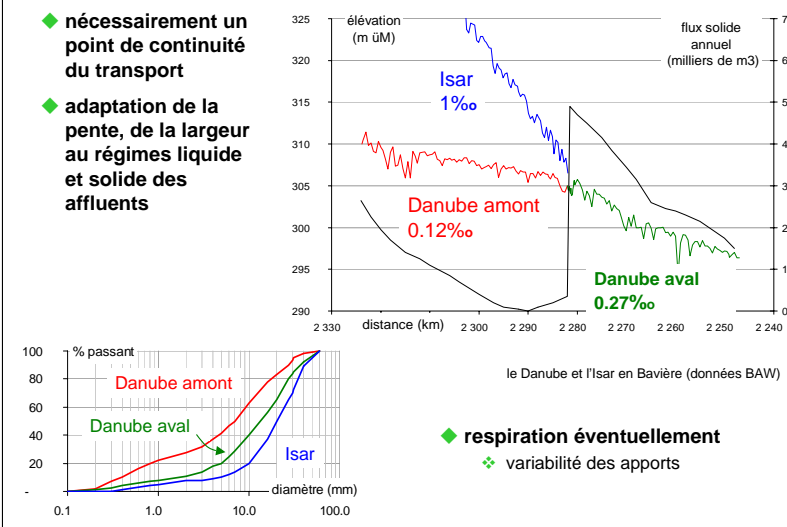
$$\int_{\text{année}} G_{\text{Danube amont}} dt + \int_{\text{année}} G_{\text{Isar}} dt = \int_{\text{année}} G_{\text{Danube aval}} dt$$

Le confluent lui-même est nécessairement un point de continuité du transport. La pente et la largeur du cours d'eau en aval du confluent s'adaptent pour répondre à l'addition des régimes liquide et solide des deux cours d'eau affluents.

origine naturelle : **2. 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



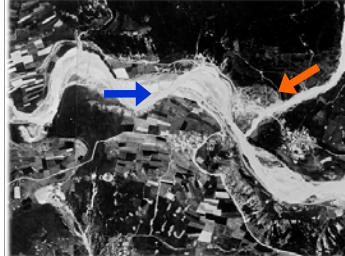
Par exemple le profil en long du Danube en Bavière est fortement perturbé par les apports solides de l'Isar qui descend des Alpes bavaroises (en moyenne $50 \cdot 10^3 \text{ m}^3/\text{an}$). La granulométrie en aval du confluent est plus grossière qu'à l'amont et le fleuve au cours des siècles a construit une pente plus importante à l'aval du confluent pour assurer le transport des matériaux provenant de l'amont. L'équilibre n'est-il pas encore atteint ? ou bien est-il perturbé par les aménagements du Danube ? On constate sur le profil en long du flux solide annuel que le Danube, en amont et en aval de la confluence, continue à accumuler les sédiments provenant de l'amont et de l'Isar.

Le seul phénomène particulier que l'on pourra observer à la confluence sera parfois une respiration due à une différence de régime hydrologique des deux rivières. Par exemple ici l'Isar apporte ses sédiments au cours des crues de fonte nivale. Au printemps, ces sédiments se déposent au confluent et ne sont repris par les crues du Danube (de régime pluvial) qu'à l'automne. La formation et la disparition d'un banc de dépôt de ces sédiments modifie de façon régulière la configuration de la confluence.

le confluent : un exemple de respiration à court terme



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



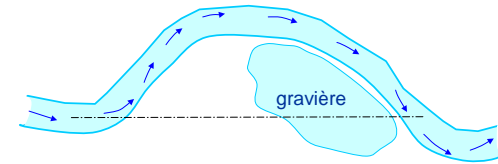
◆ le Torrent de l'Envers et l'Arc

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

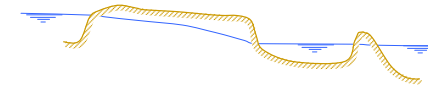


origine naturelle : 3. coupure de boucle

◆ gravière en lit majeur : mécanisme de la capture

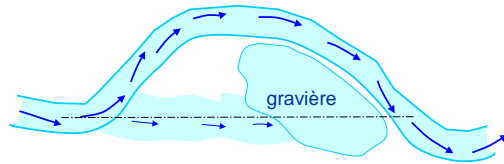


profil en long



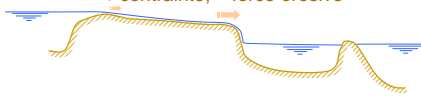
origine naturelle : 3. coupure de boucle

◆ gravière en lit majeur : mécanisme de la capture



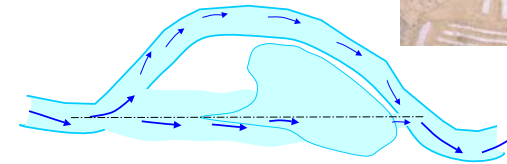
profil en long

Vitesse, pente
->contrainte, « force érosive »



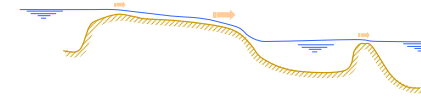
3. coupure de boucle

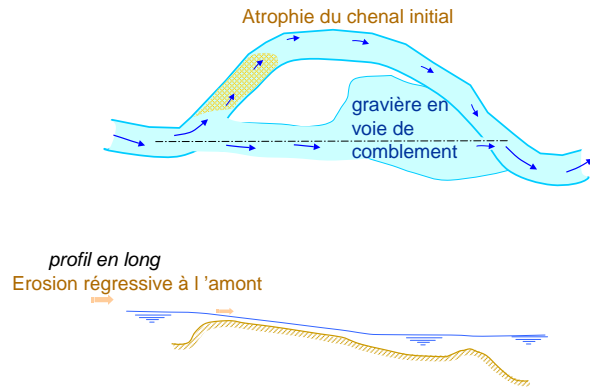
◆ gravière en lit majeur : mécanisme de la capture



profil en long

« griffe » d'érosion



origine naturelle : **2. coupure de boucle**◆ **gravière en lit majeur : mécanisme de la capture****la continuité et sa rupture**◆ **Les discontinuités d'origine naturelle**

- ❖ rupture du profil en long
- ❖ confluent
- ❖ coupure de boucle

◆ **Les discontinuités qui sont la conséquence d'un aménagement**

1. interruption du transit
2. modification de la largeur du lit
3. extractions profondes
4. seuil en rivière
5. 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

La discontinuité sédimentaire à long terme a dans certains cas des origines naturelles, elle a le plus souvent des origines artificielles liées aux activités humaines et aux aménagements.

Comme la continuité, cette discontinuité sédimentaire est directement couplée aux facteurs principaux qui déterminent le transport solide : la pente, la granulométrie des matériaux du fond, l'hydraulicité.

Par l'érosion ou l'engrèvement, la rivière va modifier sa pente pour mettre en conformité le transport solide local avec les apports liquide et solide (quantité et granulométrie) arrivant de l'amont.

conséquence d'un aménagement : 1. interruption du transit

◆ 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

◆ 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



◆ chasses ?

Une retenue provoque en général une interruption du transit par charriage. Les matériaux fins arrivent jusqu'au barrage.

La capacité du barrage de l'Escale sur la Durance est fortement réduite par ces dépôts. Dans le cas où le barrage dérive une partie du débit, la charge en suspension va pénétrer dans les ouvrages à l'aval de la dérivation (par exemple le canal d'amenée de l'usine et les turbines).

conséquence d'un aménagement : 1. interruption du transit

◆ exemple 1 : ruisseau de Donnières

en amont : seuils de correction torrentielle sur le torrent des Fraches (Trièves)



le ruisseau de Donnières (Trièves) doc. Ph. Lefort



◆ exemple 2 : le Rhin au barrage d'Iffezheim

- ❖ recharge artificielle 200 000 m³/an

conséquence d'un aménagement : 1. interruption du transit

◆ en cas de destruction de la couche alluviale

découvrement du substratum

exemple 1 : l'Ebron à Treminis :

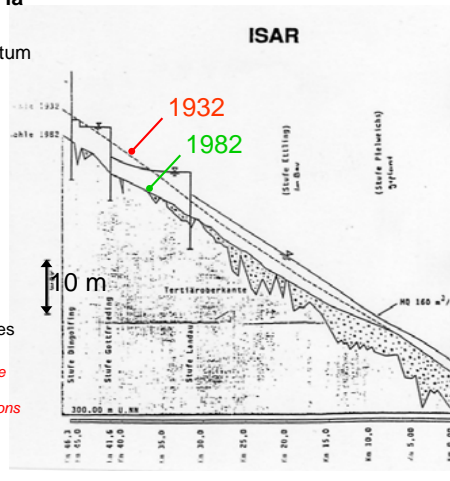


doc. Ph. Lefort

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 : 2. modification de la largeur du lit

◆ généralement : érosion ou un exhaussement

❖ retour vers un équilibre

altération temporaire du débit solide des sédiments grossiers

❖ impacts sur la stabilité des ouvrages : exemple Grenoble

❖ même pente dans une rivière torrentielle

❖ pas de rupture du transit à long terme

le Var en amont de Puget-Théniers



La modification artificielle de la largeur du lit entraîne généralement une discontinuité du transport des matériaux grossiers, et donc l'apparition d'érosion (rétrécissement) ou de dépôts (élargissement). Le rétablissement de l'équilibre (continuité du transit) nécessite généralement une variation de la pente. Celle-ci peut être réelle si le tronçon perturbé est long : basculement du profil, méandrage. Si le rétrécissement (resp. l'élargissement) est limité en longueur, l'abaissement de la pente (motrice) se traduit par une variation locale de la cote du fond. (exemple : les voies sur berges et leur conséquence sur la stabilité des piles de pont).

Pour les rivières torrentielles cependant, la pente restera constante si la modification permet encore une adaptation de la rivière dans son nouveau confinement (comme pour le Var entre Entrevaux et Puget-Théniers).

La continuité solide n'est donc pas durablement altérée par ce type d'aménagement.

Des exceptions importantes sont cependant à noter :

- l'aménagement modifie notablement le débit de début d'entraînement ;
- l'aménagement modifie les conditions de débordement (et donc perturbe localement le régime hydrologique du lit actif).

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

L'espace de liberté:

La rivière est-elle capable de l'occuper ?

conséquence d'un aménagement : 3. extractions profondes

rupture de transit équivalente à celle d'une retenue

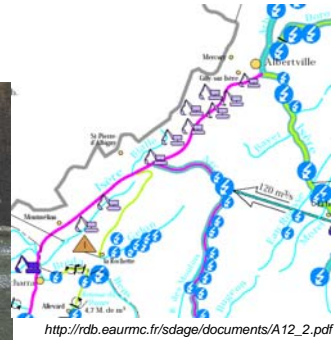
◆ en amont : augmentation de la pente

- ❖ 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

◆ en aval : déficit

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



http://rdb.eaurmc.fr/sdage/documents/A12_2.pdf

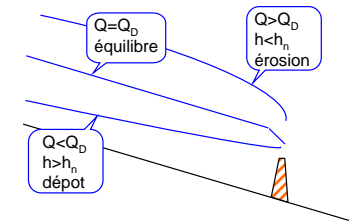
Le pont de Mollettes sur l'Isère
doc. Ph. Lefort

Les extractions profondes provoquent une rupture comparable à celles de la retenue à son aval. En amont de la zone où sont réalisées ces extractions, on remarquera une augmentation de la pente et donc le déclenchement d'un processus d'érosion régressive : le transit sédimentaire croît ; mais ces matériaux seront arrêtés peu après dans la souille d'extraction.

conséquence d'un aménagement : 4. seuil en rivière

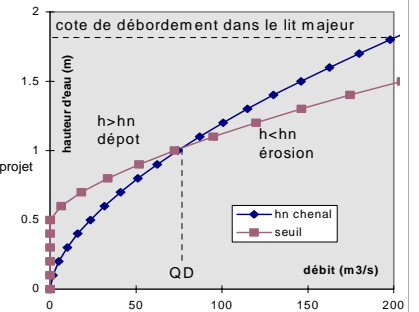
◆ équilibre : volume déposé cumulé = volume érodé

◆ Q_D : débit dominant ?



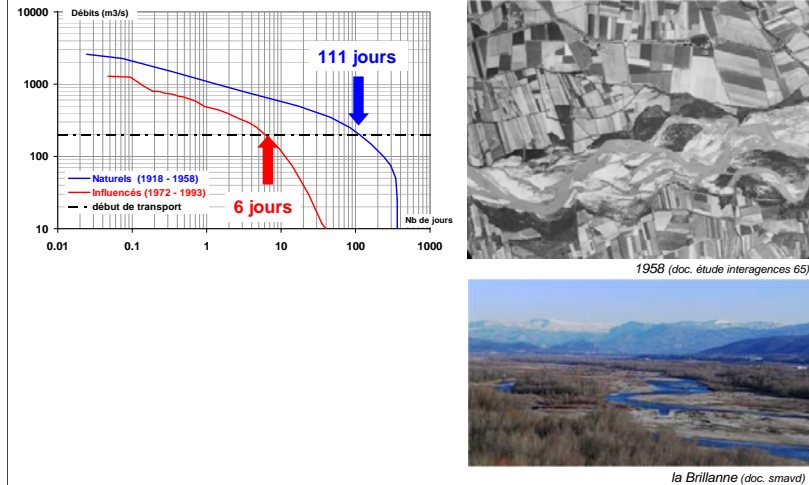
◆ dans la pratique

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



... aménagement : 5. modification du régime hydrologique

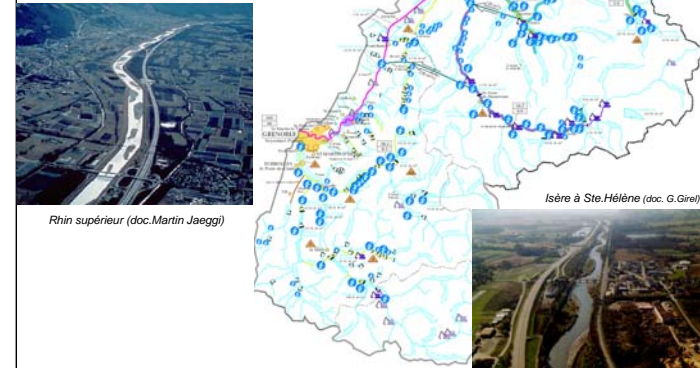
◆ exemple 1 : débits classés de la Duranc à Mallemort



La modification du régime hydrologique, par des ouvrages en amont qui régulent les crues ou par des ouvrages de dérivation/restitution, ne modifie pas le flux solide, bien que le transit puisse être altéré par les ouvrages eux-mêmes. Les conséquences seront donc celles qui résultent de l'établissement d'une nouvelle condition d'équilibre. La rivière à l'aval du point perturbé va adapter sa géométrie pour retrouver une capacité de transport compatible avec le nouveau régime hydrologique, c'est à dire avec un bilan sédimentaire nul à l'échelle de l'année. Bien entendu, comme pour toutes les autres perturbations, les dépôts ou emprunts de matériaux se feront par incision ou élévation du fond moyen mais aussi éventuellement au détriment des berges. Il en résultera en conséquence une altération de la continuité du flux sédimentaire pendant plusieurs années ou dizaines d'années éventuellement

... aménagement : 5. modification du régime hydrologique

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



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

◆ déficit en matériaux grossiers

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

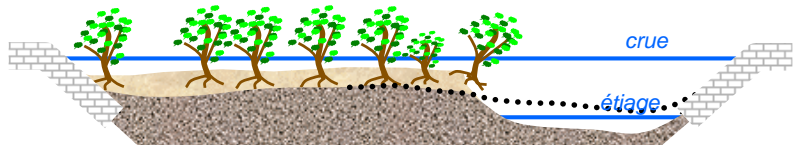
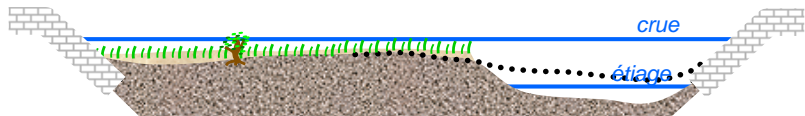
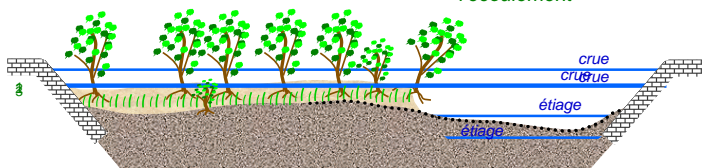
◆ apport continu de fins

- ❖ peignage par la végétation

1 *état non perturbé*
grande capacité en crue

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

Les phénomènes observés sur de nombreux cours d'eau où le transit sédimentaire de la charge de fond a été fortement diminué est le suivant :

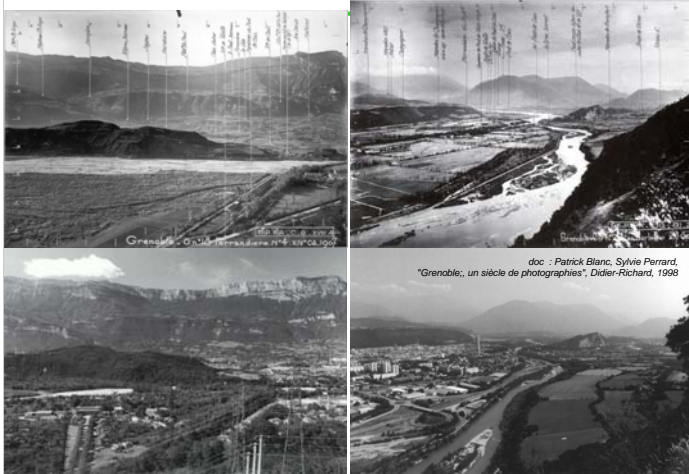
- enfoncement (« incision ») du lit actif,
- moindre submersion et remaniement du matériau des bancs,
- végétalisation de ces bancs,
- peignage de la charge en suspension lors des crues importantes.

La discontinuité sédimentaire de la charge de fond provoque donc à terme une certaine discontinuité des sédiments fins en suspension.

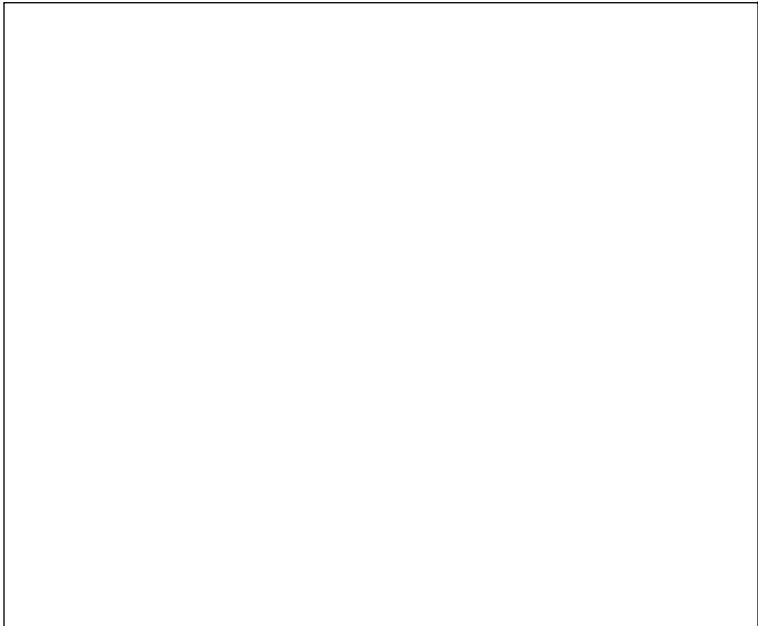
La photo montre les dépôts de limons sur l'île de Brignoud dans le Grésivaudan au cours de la crue du 22 mars 2001. Ces dépôts qui peuvent atteindre 1m d'épaisseur par endroit seront rapidement fixés par la végétation arbustive.

Les enjeux liés à ce processus sont la diminution de la capacité d'écoulement en crue et dans une certaine mesure l'aggravation des risques d'embâcles.

... modification du régime hydrologique, exemple 3 : le Drac



doc : Patrick Blanc, Sylvie Perrard, "Grenoble, un siècle de photographes", Didier-Richard, 1998



à quel rythme ?

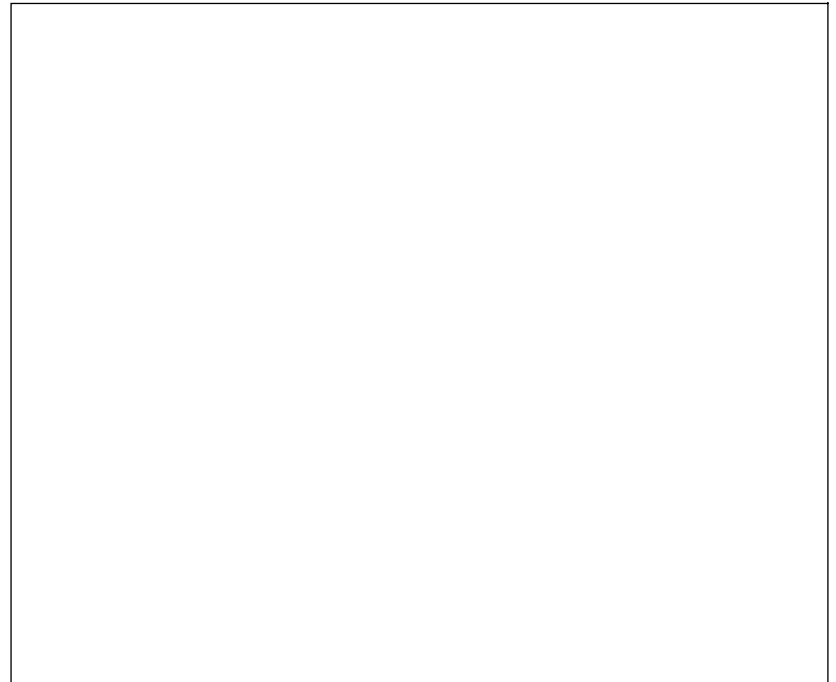
◆ **dépend du flux solide**

- ❖ un diagnostic indispensable pour étudier les impacts !

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	

◆ **exemples:**

- ❖ Isère : 50 cm de hausse des lignes d'eau de crue entre 1995 et 2000
- ❖ Drac : évolution accélérée à partir de 1960
- ❖ Var
établissement d'un nouvel équilibre
irréversibilité ?





de Rivière / 49

Philippe Belleudy - 09-2000

le Var

des apports
sédimentaires puissants

◆ 1967 : exploitation
« forcenée » :

→ lit unique



Philippe Belleudy - 09-2000

le Var

des apports
sédimentaires puissants

◆ 1967 : exploitation
« forcenée » :

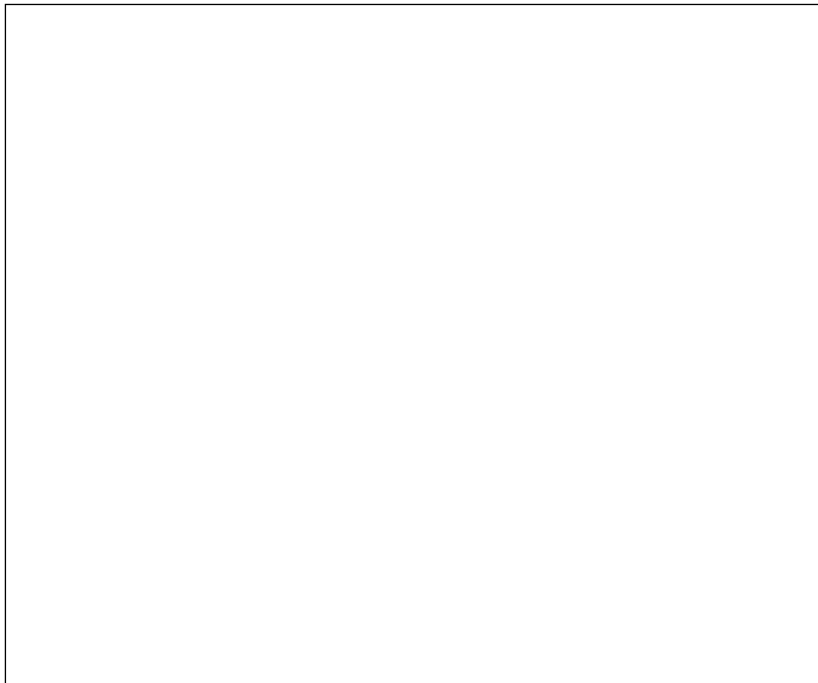
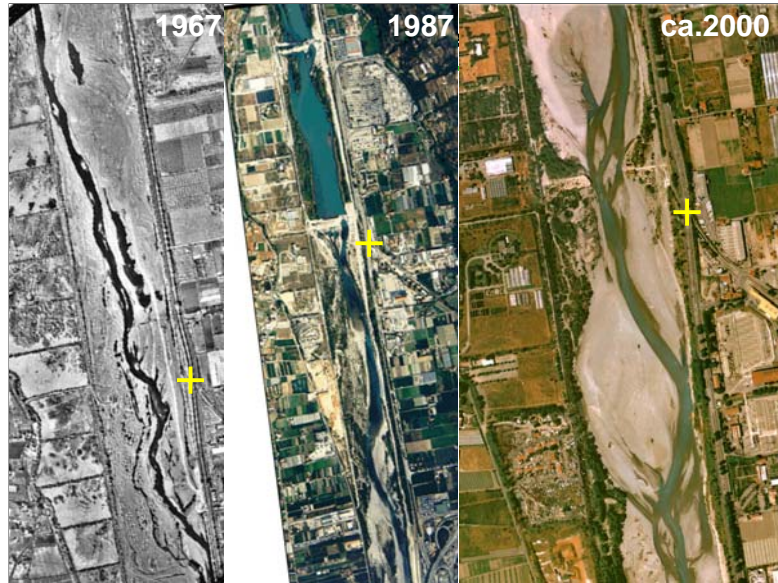
→ lit unique

◆ 1970 : cascade de seuils
de protection

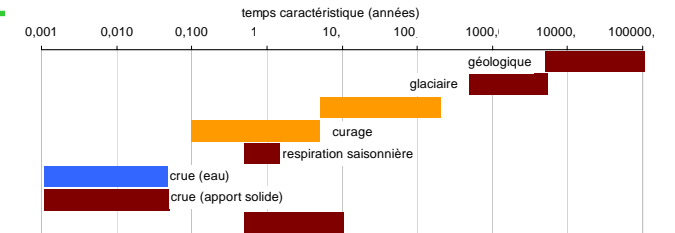
→ une rivière « de plaine »

◆ 1995 : crue centennale
→ destruction des seuils
aval

→ retour vers un lit tressé



la perception des phénomènes

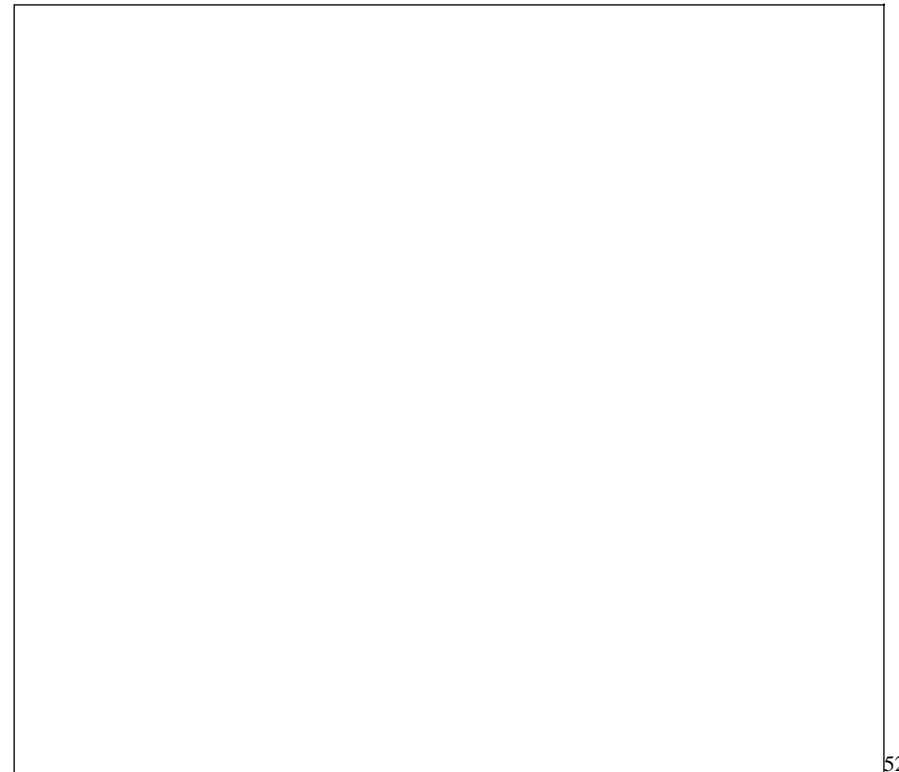


◆ urgence et rapidité de l'onde de crue

- ❖ 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) ➔ **actions qui règlent le court-terme**
en contradiction parfois avec le but recherché
- ❖ torrents, rivières torrentielles, plaine
 - perception locale ➔ **relation amont-aval souvent négligée**
rupture de continuité
 - exemple : érosion de berge



quelques conséquences en métrologie

- ◆ **section stable ?**
 - ❖ validité des courbes de tarage en basses eaux
- ◆ **ensablement**
 - ❖ des échelles, des limnis, des seuils
- ◆ **le bois flottés**
- ◆ **mesurer les eaux très chargées ?**
- ◆ **courants secondaires**



Station de jaugeage sur la Traxenne, affluent de la Lys (Pas-de-Calais, France) - photo Pierre Hubert



écoulement chargé, ORE Draix, doc CEMAGREF

échelle ensablée sur l'Isère à Villard-Bonnot



Le professeur Wood, en déplacement en Amérique latine, a photographié la rivière Tequila. Il a malheureusement égaré ses notes. Il demande à nos fidèles amis de l'aider à commenter cette image.

- Andouillette : « La rivière coule de A vers B »
- Boudin : « La rivière coule de B vers A »
- Cervelas : « C'est une rivière soumise aux influences de la marée. Elle coule alternativement dans les deux sens. Cette photo a été prise à marée basse »
- Diot-de-Savoie pense que cette photo ne comporte pas d'élément caractéristique qui permette de trancher.

Qui a raison ?

mesurer le transport solide ?

mesures directes

- ◆ **granulométrie**
- ◆ **flux : charriage et suspension**



mesurer le transport solide ?

mesures indirectes

- ◆ basculement de profil
- ◆ chaînes d'érosion
- ◆ bilan sur les sections
- ◆ analyse « diachronique » des photos aériennes

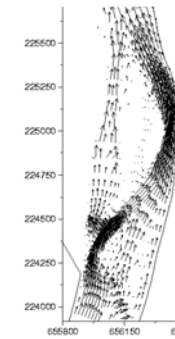
divagations du lit de l'Allier à Châtel-de-Neuvre
entre 2000 et 2002
(doc. J.L. Peiry, St.Petit, UBP Clermont-Fd.)



des besoins métrologiques

comprendre les phénomènes, valider les modèles

- ◆ vitesse d'écoulement



- ◆ début du transport solide

la Loire à Givry, 01/1994 Q=1820 m³/s, n=2ans

des besoins métrologiques

que se passe-t-il au moment de la crue ?

- ◆ **mobilisation des sédiments**
 - ❖ dans un lit en tresse
 - ❖ zones secondaires d'écoulement
- ◆ **migration et influence des formes**
- ◆ **décrire la couche en transport**



île de Brignoud, Isère, 16/10/01



Pallion, crue 11/1940



aval Brignoud, Isère