Syndicat Mixte Eyrieux Clair

Étude du transport solide et plan de gestion et de hiérarchisation des actions sur le bassin versant de l'Eyrieux

2. Diagnostic du transport solide

FÉVRIER 2012

Syndicat Mixte Eyrieux Clair

Eaux, Torrents & Rivières de Montagne

S.A.R.L. E.T.R.M.
Vincent KOULINSKI
Chef Lieu
73700 Les Chapelles

SOMMAIRE

1. INTRODUCTION 1

2. NATURE DES PHÊNOMÈNES 3

2.1. ANALYSE DE LA FOURNITURE PAR LE BASSIN VERSANT 3
2.1.1. Objectif 3
2.1.2. Érosion des terrains 4
2.1.2.1. Terrains granitiques 4
2.1.2.2. Autres géologies 5
2.1.3. Érosion par l'Eyrieux 6
2.1.4. Affluents 7
2.1.4.1. Saliouse et Eysse 7
2.1.4.2. Le Boyon 7
2.1.4.3. Autres affluents 7
2.1.5. Synthèse 7

2.2. MORPHOLOGIES ET TRANSPORT SOLIDE 8
2.2.1. Nature des phénomènes 8
2.2.2. Lit alluvionnaire 10
2.2.2.1. Fonctionnement équilibré 10
2.2.2.2. Régulation du transport solide 12
2.2.3. Lit pavé 14
2.2.3.1. Caractéristiques générales 14
2.2.3.2. Pavage exogène 15
2.2.3.3. Pavage endogène 17
2.2.4. Transit dans un lit partiellement pavé 19

3. ÉVOLUTIONS TOPOGRAPHIQUES 25

3.1. PENTES D'ÉQUILIBRE – ANALYSE DU PROFIL EN LONG 25
3.1.1. Ensemble du bassin versant 25
3.1.2. Secteur alluvionnaire aval 26

3.2. ÉVOLUTION DU LIT EN UN DEMI-SIÈCLE 28

3.3. ÉVOLUTIONS RÉCENTES (2000 - 2011) 34
3.3.1. Hydrologie 34
3.3.2. Confluence avec L'Eysse 37
3.3.3. Secteur du Cheylard 38
3.3.4. Dunière aval 39
3.3.5. Eyrieux aval 40
3.3.6. Synthèse 43

3.4. ÉVOLUTION DES PROFILS TRANSVERSAUX (2000 - 2011) 44
3.4.1. Méthodologie 44
3.4.2. Résultats obtenus 44
3.4.3. Synthèse 46

4. QUANTIFICATION DU TRANSPORT SOLIDE 47

4.1. GRANULOMÉTRIE DES MATÉRIAUX 47
4.1.1. Objectif 47
4.1.2. Importance de la morphologie 47
4.1.3. Estimation de la granulométrie sur trois sites 49
4.1.3.1. Site de Beauchastel 49
4.1.3.2. Pigeonnier à St Fortunat 50
4.1.3.3. Queue de retenue des Collanges 50
4.1.3.4. Synthèse 51

4.2. CALCUL DES VOLUMES TRANSITÉS EN CHARRIAGE 52
4.2.1. Méthode 52
4.2.2. Phénomènes de crue 54
4.2.2.1. Plaine alluvionnaire aval 54

4.2.2.2. Queue de retenue des Collanges 55
4.2.3. Débits intermédiaires 56
4.2.4. Bilan des apports par charriage 57

4.3. TRANSPORT EN SUSPENSION 57

4.4. ENSEMBLE DES MATÉRIAUX TRANSPORTÉS 60
4.4.1. Démarche retenue 60
4.4.2. Observations 61
4.4.2.1. Confluence avec le Rhône 61
4.4.2.2. Plan d'eau des Collanges 63

4.5. SYNTHÈSE 65

5. INFLUENCE DES SEUILS ET BARRAGES 67

5.1. TYPES D'OUVRAGES 67

5.2. FONCTIONNEMENT DES SEUILS 67
5.2.1. Types d'ouvrages 67
5.2.2. La pelle 68
5.2.3. Fonctionnement des seuils 71

5.3. CARACTÉRISTIQUES DES BARRAGES 72

5.4. PRINCIPAUX BARRAGES 73
5.4.1. Barrage du Chambon de Bavas sur le Boyon 73
5.4.2. Barrage du Nassier 74
5.4.2.1. Situation 74
5.4.2.2. Profil en long sur site 76
5.4.3. Barrage de Sarny 78

5.5. BARRAGE DES COLLANGES 82
5.5.1. Objectif 82
5.5.2. Caractéristiques de l'ouvrage 82
5.5.2.1. Le barrage 82
5.5.2.2. La retenue 83

5.5.2.3. Ouvrages de transit de l'eau 83
5.5.2.3.1. La vanne de vidange 83
5.5.2.3.2. Turbines 85
5.5.2.3.3. Vanne à jet creux 85
5.5.3. Analyse des sédiments 85
5.5.3.1. (Étude SOGREAH) 85
5.5.3.2. (Étude SDEA) 86
5.5.3.3. Synthèse 87
5.5.4. Engravement observé 87
5.5.4.1. Bilan de volume (rappel) 87
5.5.4.2. Dépôt en amont de la retenue 89
5.5.5. Impact en aval du barrage 92
5.5.5.1. Secteur des gorges (amont des Ollières) 92
5.5.5.2. Secteur alluvionnaire (aval de Terra) 96
5.5.5.3. Secteur intermédiaire (des Ollières à Terra) 96
5.5.6. Cartographie du déficit en matériaux 97

6. MODÉLISATION NUMÉRIQUE 98

6.1. OBJECTIF 98

6.2. MÉTHODOLOGIE 99

6.3. RÉSULTATS OBTENUS 100
6.3.1. État d'équilibre 100
6.3.2. Réduction de moitié des apports amont 102
6.3.2.1. Lit alluvionnaire 102
6.3.2.2. Lit pavé 105
6.3.3. Suppression totale des apports amont 107
6.3.3.1. Lit alluvionnaire 107
6.3.3.2. Lit pavé 109
6.3.4. Synthèse 111

7. DIVAGATIONS 112

7.1. NATURE DU PHÉNOMÈNE 112

7.2. BASSIN VERSANT AMONT ET AFFLUENTS 114

7.3. SECTEUR ALLUVIONNAIRE AVAL 115

7.3.1. Caractéristiques générales....115

7.3.2. Du méandre de Baffie à Dunière....116

7.3.3. De Dunière à l'aval de St Fortunat 117

7.3.4. De Terra à Royas....119

7.3.5. De Royas à St Laurent du Pape....120

7.3.6. Aval de St Laurent du Pape....122

7.4. ESPACE DE LIBERTÉ 123

7.4.1. Méthode 123

7.4.2. Résultats obtenus....126

7.5. TRONÇONNAGE DU SECTEUR AVAL 127

8. SYNTHÈSE SUR L'ÉTAT DES LIEUX 128

8.1. UNE ÉROSION MODÉRÉE....128

8.1.1. Un vaste bassin versant granitique....128

8.1.2. Des érosions périphériques 128

8.2. UN SUBSTRATUM OMNIPRÉSENT 128

8.3. UNE PLAINE TOTALEMENT ALLUVIONNAIRE EN AVAL....129

8.3.1. De lentes évolutions du tracé en plan....129

8.3.2. Des niveaux stables mais un lent enfoncement....129

8.3.3. Une modification du fonctionnement en aval 129

8.4. DES OUVRAGES TRÈS PRÉSENTS....130

8.4.1. Des protections de berge peu nécessaires 130

8.4.2. Des seuils nombreux et anciens 130

8.4.3. Quelques barrages récents....131

8.5. LE BARRAGE DES COLLANGES 132
8.5.1. Un dépôt massif en amont.....132
8.5.2. Une pénurie totale sur une morphologie robuste 132
8.5.3. Une très lente dégradation du lit alluvionnaire 133

8.6. NATURE DES ENJEUX 134
8.6.1. Méthode 134
8.6.2. Eyrieux à l'amont des Collanges et affluents 135
8.6.3. Retenue des Collanges 136
8.6.4. Gorges aval (Des Collanges à Dunière).....137
8.6.5. Secteur alluvionnaire aval (aval de Dunière).....138

ANNEXE 1 : VISITE À PEYCHÈRES CHEZ MR LADREYT BERNARD.ET SON FRÈRE

1. INTRODUCTION

L'Eyrieux draine un bassin versant à forte pente entre le rebord Est du massif central et le Rhône. Il a creusé, avec ses affluents, des vallées encaissées qui entaillent le massif.

La figure suivante montre la carte de l'ensemble du bassin versant :

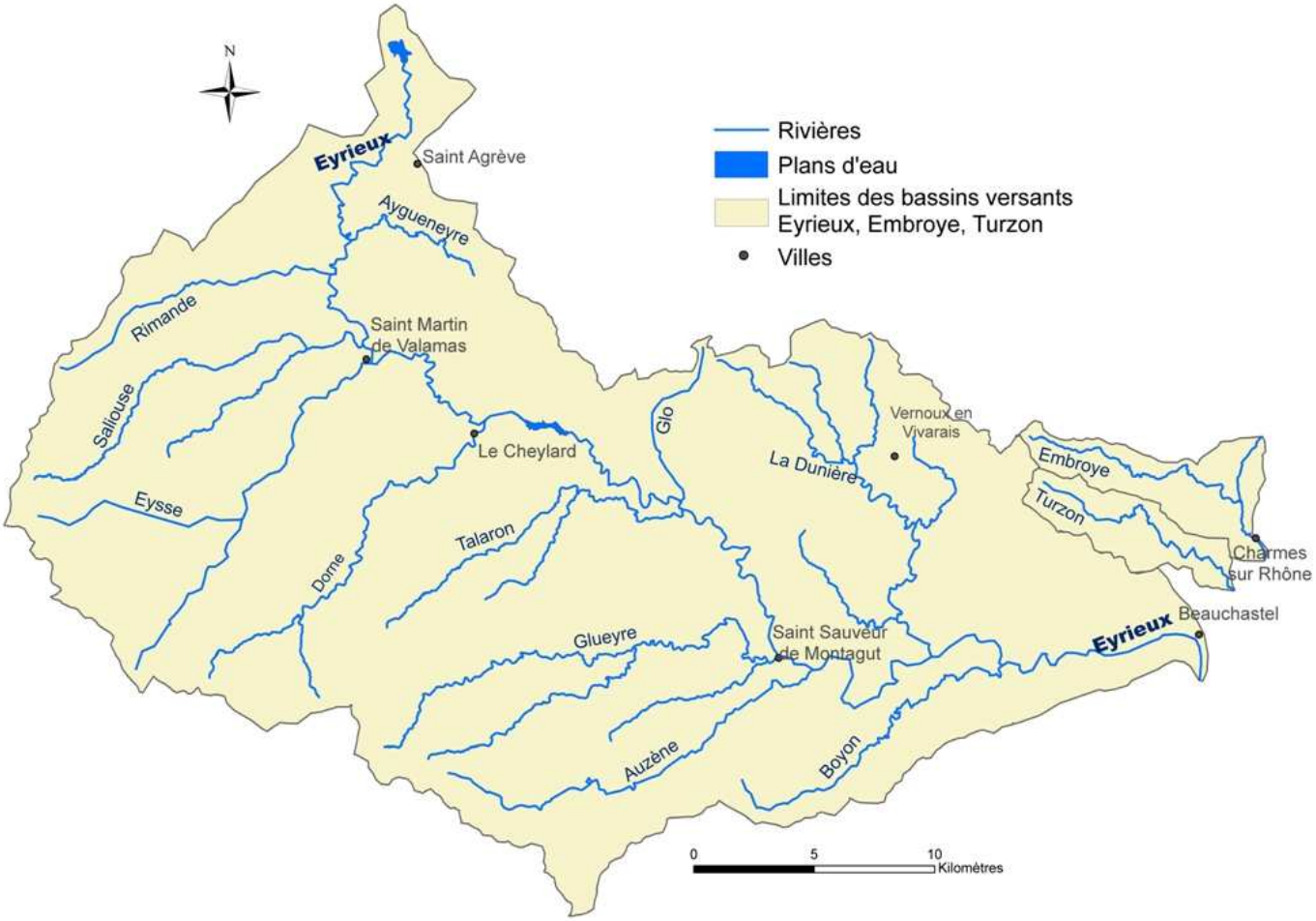


Figure 1 : Vue d'ensemble du bassin versant.

80 % du bassin versant est granitique. Cela explique deux caractéristiques du transport solide :

- D'une part, l'érosion est limitée à la fois par l'âge du relief mais aussi grâce à la résistance de la roche.
- D'autre part, l'érosion du granit fournit presque exclusivement des sables, comme il est possible de l'observer dans le bassin versant.

Deux tronçons peuvent être distingués :

- L'amont du bassin versant (au-dessus des Ollières) avec des pentes fortes pour l'Eyrieux et ses affluents (Saliouse, Eysse, Dorne amont). Dans la partie amont, les cours d'eau drainent directement les hauts reliefs et – en particulier – le massif du Mézenc. Les cours d'eau "subissent" alors le relief général et les affleurements de substratum. Seul l'Eyrieux est parvenu à imposer sa marque – même dans les gorges – et suit un profil en long relativement régulier mais essentiellement rocheux.
- Le cours aval qui concerne surtout l'Eyrieux en aval du défilé de Pontpierre. Celui-ci arrive alors dans sa plaine alluviale, jusqu'à la confluence avec le Rhône. La pente est faible et régulière et – fait unique dans le bassin versant – les affleurements de substratum disparaissent et n'ont plus aucun rôle sur le fonctionnement de la rivière.

De très nombreux seuils, sur l'Eyrieux et ses affluents, permettent – ou permettaient – des prélèvements d'eau destinés à l'irrigation ou à la production d'énergie.

Dans le cadre du second contrat de rivière, le syndicat Eyrieux Clair souhaite étudier le transport solide dans l'ensemble du bassin versant, analyser finement l'effet des barrages sur le transport solide et connaître le fonctionnement du secteur alluvionnaire qui a notamment subit des déséquilibres liés à des extractions de matériaux il y a quelques décennies.

D'autre part, l'évolution à long terme doit être analysée en prenant en compte l'évolution des apports solides et notamment l'influence des ouvrages hydroélectriques. Il est donc nécessaire de prendre en compte l'évolution du lit et les ouvrages sur l'Eyrieux mais aussi sur ses principaux affluents.

Une caractéristique de l'Eyrieux est de drainer un bassin versant dont le relief est très âgé. Ainsi, l'érosion est limitée et les évolutions sont très lentes, toutes les évolutions rapides du lit mais aussi – de manière plus générale – du bassin versant s'étant déjà produites.

L'érosion reste concentrée dans la partie amont du bassin versant.

2. NATURE DES PHÉNOMÈNES

2.1. Analyse de la fourniture par le bassin versant

2.1.1. Objectif

Le réseau hydrographique conduit au Rhône des volumes de matériaux que l'on cherche à quantifier. Ces matériaux peuvent avoir plusieurs provenances :

- Érosion dans le bassin versant, indépendamment du réseau hydrographique. Il peut s'agir par exemple de chutes de blocs, de glissements de terrain ou d'érosion de surface. Ces matériaux arrivent - plus ou moins directement - au réseau hydrographique.
- Érosion par l'Eyrieux. Il s'agit du cas d'une érosion directe, par exemple d'un versant par la rivière. Deux cas doivent alors être distingués :
  - L'érosion "extérieure" qui fournit des matériaux qui n'ont jamais été transportés par l'Eyrieux.
  - La reprise de matériaux déposés précédemment par la rivière et qui sont repris lors des changements de lit. Il ne s'agit alors pas de fourniture au réseau hydrographique mais plutôt d'échanges internes.
- Les affluents de l'Eyrieux ont le même type de fonctionnement que la rivière principale et lui apportent directement des matériaux lors des crues.

L'objectif est de faire un bilan des volumes ainsi apportés au réseau hydrographique afin de le comparer aux estimations de transport solide et d'en déduire des estimations à long terme (équilibre, déficit ou engravement). Surtout, il s'agit de permettre la compréhension des évolutions observées et des mécanismes intervenants et les confronter aux enjeux du territoire.

Les principaux cours d'eau du bassin versant sont décrits - essentiellement du point de vue de la fourniture en matériaux - dans le rapport suivant :

1. Description du bassin versant

2.1.2. Érosion des terrains

2.1.2.1. Terrains granitiques

Le granite couvre environ 80 % du bassin versant. Il est donc largement prépondérant. L'observation du bassin versant granitique montre que les phénomènes érosifs y sont très peu développés. Les grands mouvements d'ensemble sont visiblement absents.

Le substratum rocheux est généralement très présent, et les terrains de couverture facilement mobilisables ont été érodés depuis longtemps.

Le bassin versant étant essentiellement granitique, les processus érosifs sont très uniformes et conduisent à la production massive de sable.

On observe localement des érosions qui sont - la plupart du temps - liées à des activités humaines (mise en mouvement de remblais, déstabilisation de terrains en amont de terrassements, rupture de murs soutenant des terrasses, etc…). Les érosions sur les terrains agricoles (terrassement, labourage dans des terrains en pente…) peuvent être observées mais concernent des volumes et des granulométries très modérés. De plus, ils ne parviennent pas systématiquement au réseau hydrographique.

La photo suivante montre une érosion près des sources de la Dorne :



Photo 1 : Décomposition du granit en sable.

Ainsi, dans l'ensemble, l'érosion telle que l'on peut l'observer aujourd'hui est très modeste. Il est probable que lors des précipitations exceptionnelles que connaît le haut bassin versant, des érosions localisées mais intenses se manifestent, par exemple sous la forme de départ d'un glissement de terrain. Ces phénomènes demeurent cependant très exceptionnels.

2.1.2.2. Autres géologies

Les superficies concernées sont relativement marginales par rapport au granit. Cependant, ces zones contribuent de façon significative au transport solide de l'Eyrieux. Deux géologies doivent être relevées :

- **Les schistes** dans le haut bassin versant du Boyon. La nature des matériaux est alors très spécifique comme le montre la photo suivante prise sur un atterrissement en amont du seuil de Pont de Boyon :



Photo 2 : Matériaux schisteux du Boyon amont.

Ces matériaux sont beaucoup moins résistants que le granit et se fractionnent naturellement au contact de l'air. Ainsi, la fraction de schiste est élevée dans le haut bassin versant mais elle diminue très rapidement par la suite, les matériaux se transformant progressivement en fines. Le barrage du Chambon impose aujourd'hui une transition brutale en interceptant les matériaux du haut bassin versant.

- **Les matériaux volcaniques** sur le rebord du plateau du Velay. Ces apports concernent le haut bassin versant de L'Eysse et surtout de la Saliouse. Il s'agit de "volcanisme ancien" datant de 6 à 13 millions d'années. L'érosion est donc relativement modérée… mais bien active par rapport au reste du bassin versant. Elle se caractérise par la diversité des roches et des faciès. La description des cours d'eau concernés dans le rapport n°1 insiste sur les zones d'érosions concernées.

2.1.3. Érosion par l'Eyrieux

On ne traite pas ici des phénomènes de reprise par la rivière qui - sur le long terme - n'interviennent pas dans le bilan de la fourniture en matériaux. Il est probable cependant que l'on observe une très lente tendance à l'érosion (verticale et latérale) qui contribue à la formation de la vallée mais qui reste limitée par l'influence prépondérante des affleurements rocheux sur le comportement de la rivière.

D'autre part, en aval du Cheylard, l'arrêt des matériaux dans le barrage des Collanges génère en aval une situation de pénurie en matériaux. Il y a donc une tendance forte (mais limitée aux crues) de reprise des matériaux et d'érosion du fond du lit lorsqu'il est alluvionnaire et d'érosion des terrasses latérales. Ce phénomène, encore peu visible, devrait se développer dans les décennies à venir, la pénurie de matériaux se propageant lentement vers la zone alluvionnaire aval. La présence de substratum rocheux limite considérablement la reprise des matériaux qui sont dans les zones abritées, préservant un aspect alluvionnaire, mais très peu mobile.

L'érosion directe par l'Eyrieux est particulièrement limitée. Elle est actuellement restreinte à quelques éboulements – non causés par la rivière – et à de petits glissements de terrain. Les travaux routiers ont "mis à disposition" de la rivière quelques milliers de m³ sur l'ensemble du linéaire comme le montre la photo suivante :



Photo 3 : Apport de matériaux à l'Eyrieux par les travaux routiers.

La présence de substratum rocheux en berge sur la quasi-totalité du linéaire de l'Eyrieux explique en partie la faiblesse des apports directs à la rivière.

2.1.4. Affluents

2.1.4.1. Saliouse et Eysse

Sur ces deux affluents, l'érosion est particulièrement active notamment dans leur cours supérieur. Ainsi, la Saliouse érode directement de vastes glissements de terrain près de sa source. De même, l'Eysse reçoit directement des matériaux provenant d'éboulements.

D'autre part, l'érosion directe le long de berge est développée et apporte un volume significatif de matériaux.

Enfin, les affluents de ces deux rivières peuvent aussi apporter des volumes de matériaux significatifs (tel le Torrent d'Antraygues), surtout durant les précipitations extrêmes.

Ainsi, ces deux affluents apportent des volumes de matériaux significatifs (quelques milliers de m³ par an en moyenne) avec une granulométrie très étendue.

2.1.4.2. Le Boyon

Le Boyon, qui draine des schistes dans son haut bassin versant, joue un rôle spécifique dans le bassin versant de l'Eyrieux. Les volumes érodés dans la partie amont restent modérés et sont interceptés - pour l'essentiel - dans la retenue du Chambon de Bavas.

L'érosion des sables, plus classique, est nettement plus répandue dans le bas bassin versant, faisant du Boyon un des principaux pourvoyeurs en sables du bas Eyrieux.

2.1.4.3. Autres affluents

Les autres affluents ont un comportement intermédiaire suivant leur position dans le bassin versant :

- Ceux qui drainent la partie supérieure du bassin versant (Dorne ou Rimande) connaissent, dans leur cours amont une érosion significative, même si elle est inférieure à celle de la Saliouse. Cette érosion est souvent limitée à une fraction restreinte du bassin versant, près des sources.
- Dans la partie inférieure du bassin versant, l'érosion est très limitée, à l'image du cours de l'Eyrieux, avec des érosions très exceptionnelles, comme sur la Gluyère ou la Dunière.

2.1.5. Synthèse

Ainsi, l'Eyrieux et ses affluents reçoivent des volumes de matériaux limités. Le haut bassin versant, plus raide, plus arrosé et plus élevé fournit l'essentiel des matériaux, surtout les plus grossiers.

Le volume ainsi fourni est vraisemblablement de l'ordre de quelques dizaines de milliers de m³ par an en moyenne, toutes granulométries confondues. Il est très probable que cette fourniture en matériaux soit très irrégulière (encore plus que le transit dans l'Eyrieux aval) et qu'elle varie énormément d'une année sur l'autre, notamment en fonction des précipitations.

2.2. Morphologies et transport solide

2.2.1. Nature des phénomènes

Trois types de transport solide peuvent être observés sur l'Eyrieux et ses principaux affluents :

1. Le transport solide par **charriage** correspond aux éléments grossiers traînés ou roulés sur le fond par l'écoulement. Les interactions avec le lit sont alors prépondérantes et ce type de transport est directement lié à la morphologie du lit. D'autre part, il est nécessaire que les contraintes hydrauliques soient suffisamment élevées pour pouvoir assurer le transport des cailloux sur le fond. Un tel transport est donc exceptionnel et ne se produit que quelques jours par an, lorsque les débits sont particulièrement élevés. La forte interaction avec le lit explique que seul ce transport solide fasse l'objet d'une quantification et qu'il explique les évolutions observées (engravement, dépôts, divagation….).

2. Le transport solide par **suspension** correspond au déplacement des matériaux au sein de l'écoulement : ils sont assez fins pour que la turbulence de l'écoulement dépasse la vitesse de chute du grain. Ces matériaux très fins sont transportés sans contact avec le lit. Ils n'ont donc pas d'influence prépondérante sur le comportement de l'écoulement et la morphologie du lit mineur. Par contre, ils peuvent jouer un rôle prépondérant pour le développement des terrasses élevées ou l'envasement des retenues. Dans le cas d'un bassin versant essentiellement granitique, les apports de fines sont particulièrement faibles.

3. Le transport solide par **saltation** correspond à des matériaux assez fins pour que les interactions avec le fond ne soient pas prépondérantes mais trop grossiers pour que les matériaux restent durablement dans l'écoulement. Dans les rivières, il s'agit essentiellement de sables. Dans le cas d'un bassin versant granitique, comme l'Eyrieux, c'est ce type de transport qui est prépondérant.

   Or, sa quantification à partir des conditions d'écoulement n'est pas accessible. Cette lacune n'est généralement pas pénalisante car les interactions avec le lit sont très modérées, les sables se déposant, plutôt à la décrue, seulement dans les zones d'eau morte. Par contre, ces matériaux se déposent massivement lorsque la vitesse - et donc la turbulence - diminue, comme c'est le cas dans les retenues. Le remplissage des retenues - et donc le bilan d'apport - est alors totalement dépendant de ces apports de sables.

   Ce type de transport est très dépendant des débits mais aussi des conditions locales d'écoulement. Ainsi, pour les débits élevés dans les gorges de l'Eyrieux, le transport des sables sera presque exclusivement réalisé en suspension. Par contre, pour des débits modérés dans la plaine alluvionnaire, le transit des sables sera effectué par charriage. Le terme de saltation est donc un raccourci qui masque une grande diversité de situations.

La figure suivante schématise les trois types de transport solide, rencontrés dans le bassin versant :

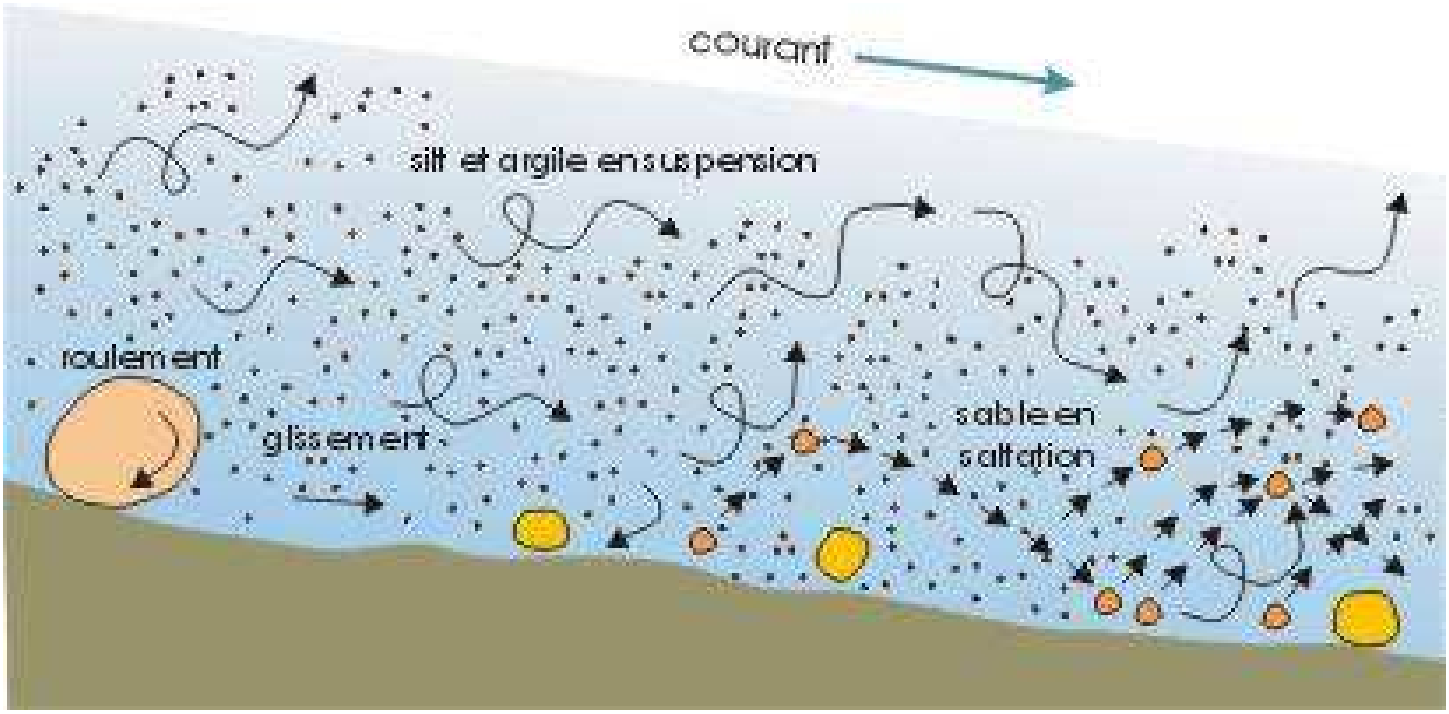


Figure 2 : Différents types de transport solide en rivière.

2.2.2. Lit alluvionnaire

2.2.2.1. Fonctionnement équilibré

Le lit alluvionnaire résulte d'un échange permanent entre le transport solide et le lit. Les matériaux sont de granulométrie comparable et la géométrie du lit résulte d'un équilibre dynamique sans cesse modifié par les conditions d'écoulement. Le schéma suivant montre un tel fonctionnement pour un tronçon de rivière :

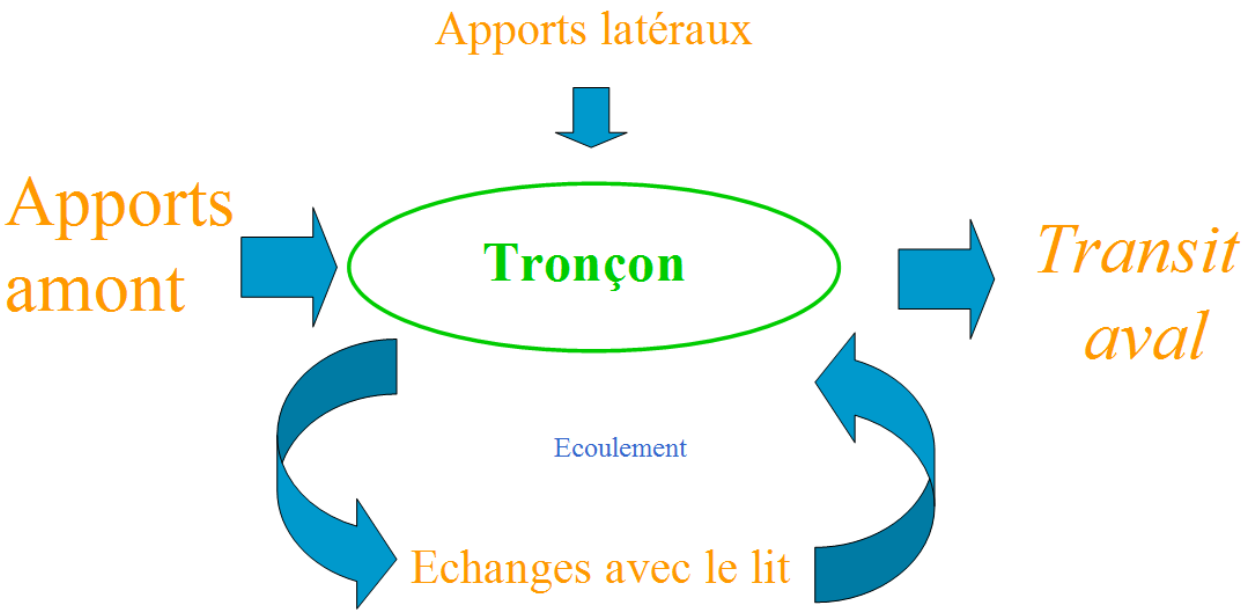


Figure 3 : Vue schématique d'un transport solide par charriage équilibré.

Le transit aval est ici imposé uniquement par les conditions d'écoulement, la géométrie du lit et la granulométrie. Dans un lit à l'équilibre, les apports et le transit aval sont globalement égaux. Les échanges avec le lit présentent alors un bilan nul. Par contre, ces échanges permettent une **régulation** du transport solide et un transit aval correspondant à la capacité de transport de l'écoulement.

Ces échanges permettent l'instauration d'une morphologie correspondant à un lit mobile, souvent en tresse. Les modifications du tracé en plan - même de grande ampleur - ne signifient absolument pas un déséquilibre du fonctionnement de la rivière, ni une modification du transport solide ni une modification du niveau du lit.

Cette morphologie apparaît naturellement dans les secteurs suivants :

- De façon généralisée sur l'Eyrieux dans le secteur aval (aval de Pontpierre).
- Localement sur l'Eyrieux (secteur de Dunière, de la Palisse (avant la construction du barrage), amont de St Martin Valamas).
- Sur quelques très rares tronçons des affluents et surtout sur la Saliouse.

Évidemment, le faible transport solide sur l'Eyrieux conduit à un tracé en plan lentement variable.

La photo suivante montre le lit-de l'Eyrieux en amont de Royas :



Photo 4 : Lit alluvionnaire mobile dans le tronçon aval.

La plupart des seuils ont imposés dans la zone de remous un dépôt de matériaux et une morphologie alluvionnaire. Il s'agit aujourd'hui - de loin - de la première source de secteurs alluvionnaires en amont de St Sauveur. C'est par exemple le cas au Bateau, dans le remous solide du barrage du Nassier :



Photo 5 : Lit alluvionnaire en amont d'un barrage.

2.2.2.2. Régulation du transport solide

Les échanges avec le lit permettent une régulation du transport solide. En effet, pour des apports donnés, la rivière va transporter un volume de matériaux imposé par l'écoulement. Le lit doit alors s'adapter pour rétablir un équilibre. Le schéma suivant montre la situation dans le cas d'un apport déficitaire :

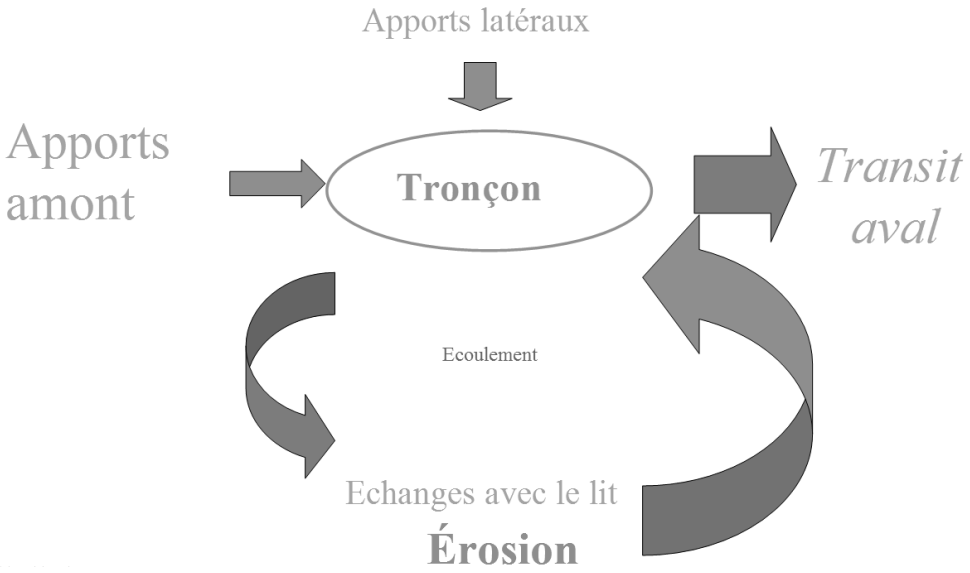


Figure 4 : Régulation du transport solide en cas de pénurie des apports.

Dans ce cas, le lit est érodé, même si localement des dépôts sont possibles, en rapport avec les divagations de la rivière qui restent possibles. Naturellement la rivière retrouve un équilibre :

- L'enfoncement du lit va conduire, pour un niveau aval fixe, à une réduction de pente.
- La réduction de pente va diminuer la capacité de transport.
- L'équilibre avec le lit amont va se rétablir.

La figure suivante schématise une telle évolution :

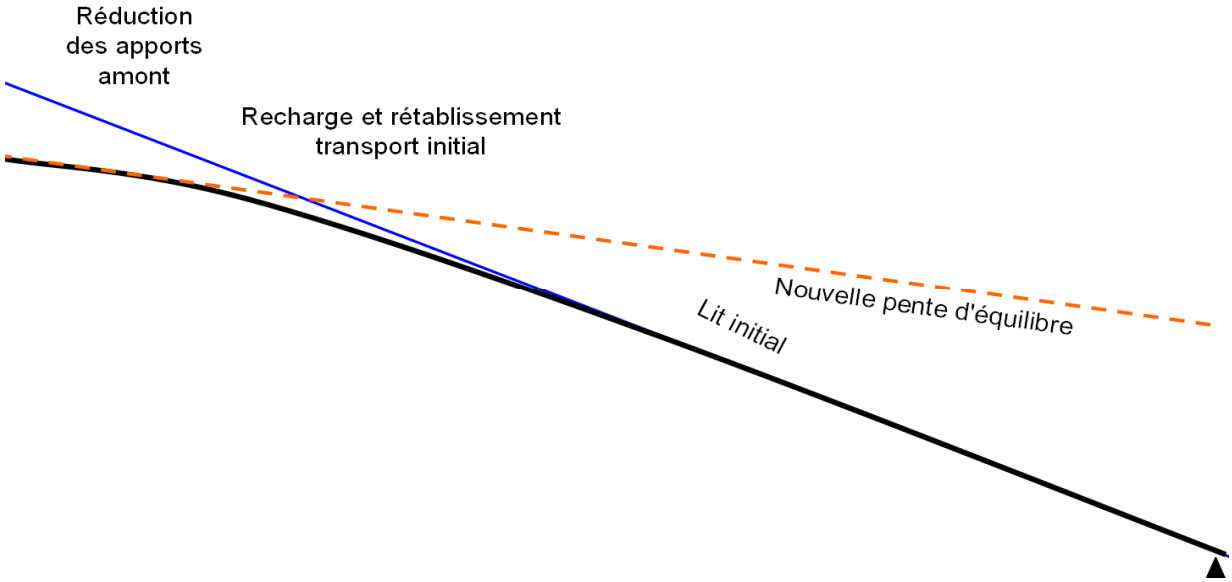


Figure 5 : Début de l'évolution du profil en long en cas de réduction des apports.

Ce graphique montre que l'adaptation du lit commence par l'amont. À l'extrémité amont du tronçon la pente du lit évolue rapidement vers la pente d'équilibre plus faible, correspondant aux nouveaux apports solides.

La fourniture de matériaux par le lit permet de retrouver un transport solide suffisant pour restaurer temporairement la pente initiale du lit. Cette fourniture entraine l'abaissement du lit amont et une érosion des berges.

Le phénomène se poursuit avec un abaissement du lit et une lente propagation vers l'aval, comme le montre le schéma suivant avec un état plus avancé que précédemment :

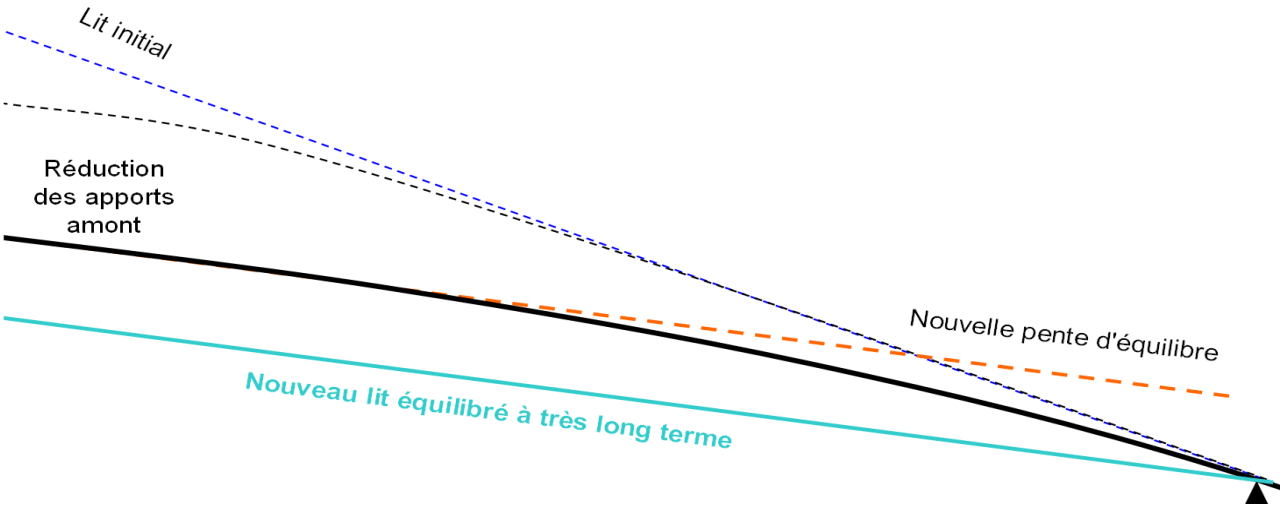


Figure 6 : Nouvelle pente d'équilibre en cas de pénurie de matériaux amont.

Sur le très long terme, le lit retrouve un équilibre avec la pente d'équilibre réduite correspondant aux nouveaux apports amont.

La réduction de pente est très lente et sa vitesse diminue au fur et à mesure que le lit se rapproche de l'équilibre. A long terme, un nouvel équilibre est atteint. Cela explique que, sur la plupart des rivières, la pente géométrique du lit corresponde à la pente d'équilibre.

Ainsi, chaque zone alluvionnaire atténue les variations de transport amont afin de préserver le transport solide aval. Ce n'est que lorsque la zone alluvionnaire amont voit sa pente changer sous l'effet de l'érosion que le transport solide aval est affecté.

Ce fonctionnement correspond uniquement aux matériaux transportés en charriage. En effet, le transport en suspension étant largement indépendant du lit, il n'y a pas de phénomène de régulation et les variations amont du transport solide sont très rapidement sensibles en aval.

D'autre part, cette évolution fait abstraction du phénomène de pavage, détaillé dans le chapitre suivant.

Évidemment, en cas d'apport solide excédentaire, le lit s'adapte à la nouvelle pente d'équilibre, plus forte, toujours en partant de l'amont.

2.2.3. Lit pavé

2.2.3.1. Caractéristiques générales

Le pavage du lit correspond à une rupture du lien entre le lit et le transport solide, comme le montre le schéma suivant :

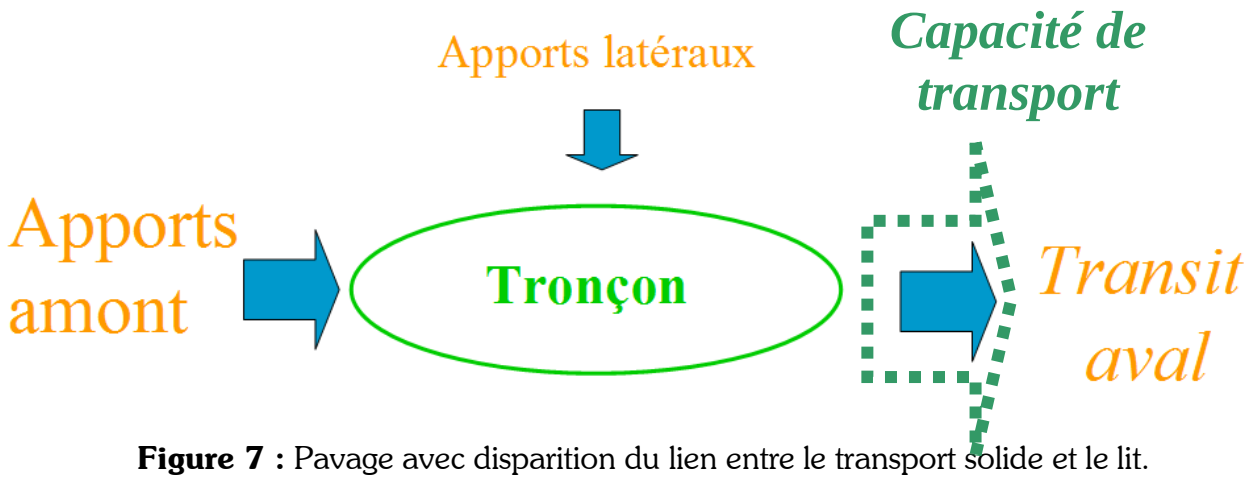


Figure 7 : Pavage avec disparition du lien entre le transport solide et le lit.

Dans ce cas, le transit aval ne dépend plus de la capacité de transport hydraulique mais seulement des apports amont. En effet, avec cette morphologie, la capacité de transport est toujours supérieure aux apports amont, car dans le cas contraire, on observerait un dépôt avec le rétablissement des échanges avec le lit et la formation d'un lit alluvionnaire. Cette capacité de transport, dépendant essentiellement de la pente et du débit liquide, est schématisée en pointillés.

Au contraire du cas précédent, un tel lit perd toute possibilité de régulation du transport solide et il transfert rapidement les évolutions de transport solide amont vers l'aval. Des échanges avec le lit restent possibles, mais sans lien avec les grands équilibres du transport solide. Il s'agit de matériaux qui s'arrêtent dans les zones abrités de l'écoulement, les volumes étant très faibles.

Le pavage couvre une grande variété de situations et plusieurs phénomènes peuvent être à l'origine de ces évolutions. Ils sont détaillés par la suite.

2.2.3.2. Pavage exogène

Il s'agit du cas "simple" d'un pavage formé par des éléments extérieurs au lit proprement dit. Le cas le plus courant dans le bassin versant de l'Eyrieux est le lit rocheux : il n'y a pas d'échange entre le lit et l'écoulement mais seulement un transit. La photo suivante montre l'Eyrieux dans ses gorges :



Photo 6 : Pavage rocheux.

Un autre exemple est celui du pavage par de très gros blocs. Ce cas est plus fréquent sur les affluents car l'Eyrieux, grâce au débit extrême de ses crues, est capable de transporter occasionnellement de gros blocs.

La photo suivante montre l'exemple du lit de la Gluyère dans son cours supérieur. Les blocs sont ici structurés de façon à stabiliser durablement le lit, seules des crues extrêmes pouvant - peut être - conduire à des mouvements des matériaux constituant le pavage.

Ce type de pavage causé par éléments extérieurs est particulièrement résistant et ne peut être remis en question que par des crues très extrêmes.



Photo 7 : Exemple de pavage formé par des blocs extérieurs au Lit.

Les blocs ont été en partie arrangés par l'écoulement, ce qui fait de ce tronçon un exemple mixte entre le pavage exogène (les blocs n'ont pas été apportés par la rivière) et le pavage endogène (ils ont été disposés par l'écoulement).

2.2.3.3. Pavage endogène

Le pavage endogène correspond à la formation d'une couche de matériaux grossiers à partir des matériaux du lit. En effet, le transport des matériaux grossiers est généralement plus difficile que celui des matériaux fins. En cas d'érosion, les matériaux fins sont - plutôt - plus facilement érodés. Cette évolution est associée à une redistribution des matériaux avec le regroupement des matériaux grossiers entre eux et la formation de facies variés (alternance de seuils et de mouilles notamment).

La figure suivante illustre - d'après Liebeau - la formation du pavage à partir d'un lit de granulométrie homogène :

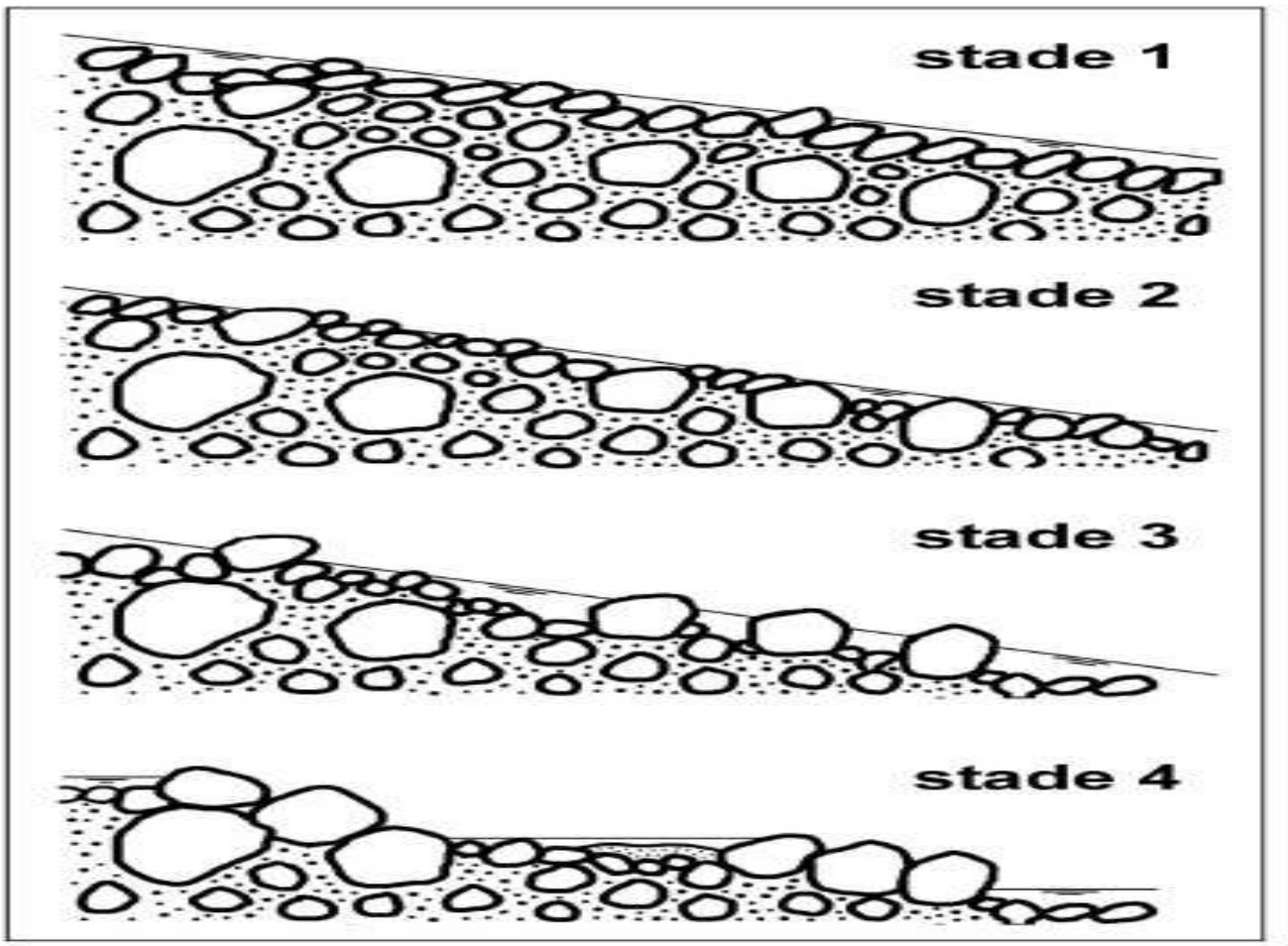


Figure 8 : Vue schématique d'un pavage endogène.

Ce type de pavage est formé par l'écoulement… qui peut aussi le détruire lors des fortes crues. Il s'agit donc d'un élément temporaire, beaucoup moins résistant que le pavage exogène. Les photos page suivante montrent :

- La granulométrie du lit pavé sur un banc en aval des Ollières.
- Le pavage qui bloque temporairement une érosion régressive à Beauchastel.

Dans les deux cas, les matériaux seront remis en mouvement lors d'une prochaine forte crue.



Photo 8 : Lit grossier et "tuillage" formé par la disposition des blocs.



Photo 9 : Pavage bloquant la reprise des dépôts.

2.2.4. Transit dans un lit partiellement pavé

Dans le cas de l'Eyrieux, l'essentiel du linéaire traduit le mélange de deux fonctionnements :

1. **Un substratum rocheux** qui structure le lit. Il s'agit de la plupart des versants en extrados, des affleurements réduisant les possibilités de divagation, des seuils rocheux… Ces points imposent le tracé du lit et l'écoulement, notamment lors des crues.
2. **Un remplissage alluvionnaire** qui comble les zones abritées. Ces remplissages connaissent des échanges avec l'écoulement. Leur comportement est assez semblable à celui d'un lit alluvionnaire. Cependant, la géométrie est imposée par le substratum rocheux : les dépôts ne peuvent pas se développer en dehors des zones à l'abri. Inversement, les matériaux très abrités ne peuvent pas être érodés.

   Le rôle de régulation du transport solide n'est donc que très partiel car les volumes d'échange sont limités.

La photo suivante montre le méandre en amont du pont de la Pimpie qui témoigne - en grand - de ce type de morphologie :



Photo 10 : Lit partiellement alluvionnaire en intrados.

Dans ce cas, les différentes zones apparaissent clairement :

- Le versant à l'extérieur du coude fixe le tracé du lit.
- L'intérieur du méandre est protégé par le coude et les contraintes hydrauliques y sont assez réduites pour que les matériaux puissent s'arrêter dans le coude. Les évolutions dans cette zone restent très limitées :
    - Un dépôt supplémentaire dans l'intrados va réduire la largeur du lit mineur, augmenter les contraintes hydrauliques… et causer une érosion.
    - Une érosion - ou un prélèvement de matériaux - en intrados va créer une dépression avec de très faibles contraintes hydrauliques : les matériaux vont préférentiellement s'y déposer jusqu'à retrouver la géométrie "initiale" en équilibre avec le lit.

À une échelle plus réduite, la photo suivante montre un tronçon des gorges en aval du Cheylard :

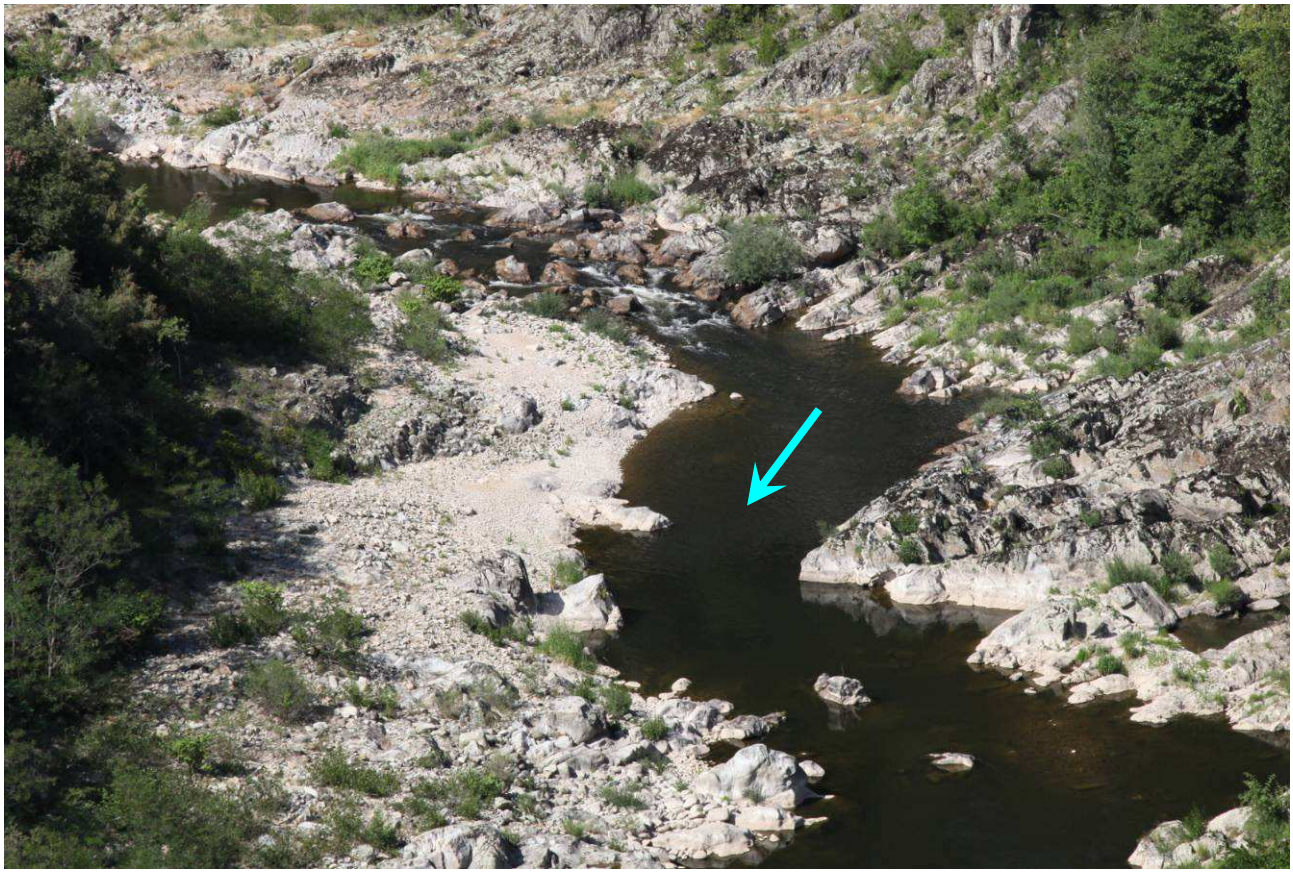


Photo 11 : Matériaux alluvionnaires à l'abri des affleurements rocheux.

Cette photo montre que le dépôt des matériaux - y compris des sables - tient à des singularités locales. Le dépôt est possible alors que le transport solide est ici notoirement réduit par les barrages en amont.

Ainsi, en première approximation, la géométrie est fixée par le substratum rocheux mais pas directement par le transport solide. En effet, la figure suivante montre le fonctionnement d'un tel tronçon :

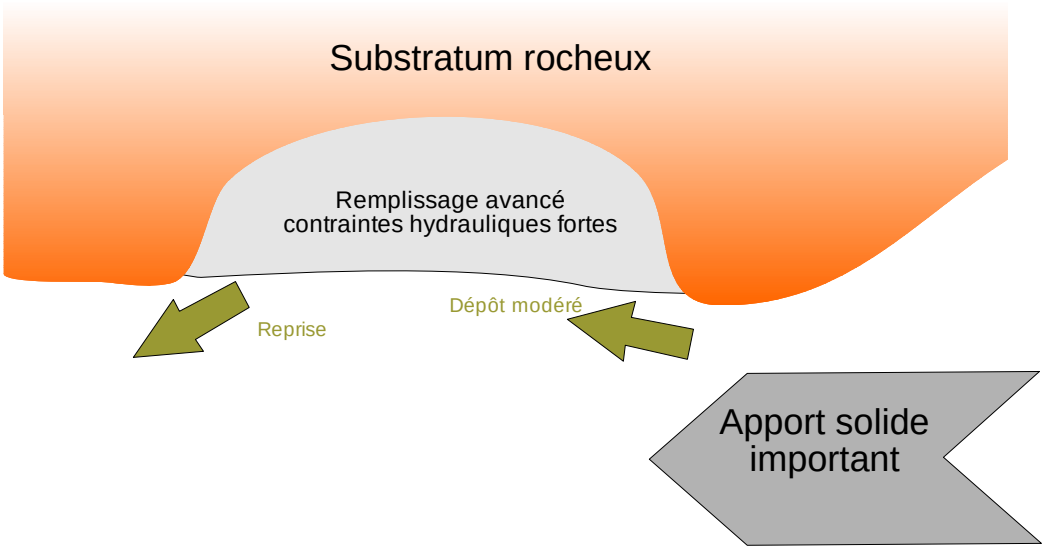


Figure 9 : Régulation d'un remplissage latéral avec fort transport solide.

Cette figure montre l'équilibre obtenu par le lit :

- Pour le dépôt, les matériaux susceptibles de s'arrêter sont nombreux. Mais, plus le remplissage est important plus la probabilité de dépôt est faible. Un équilibre dynamique se construit alors.
- L'érosion du remplissage est presque totalement indépendante du transport solide dans le lit. Là encore, plus le remplissage est important plus la probabilité d'érosion est forte car les matériaux sont moins protégés de l'écoulement par le substratum rocheux. Un nouvel équilibre se forme afin - pour un remplissage à l'équilibre - que l'érosion soit de même importance que pour le dépôt.

La figure suivante montre le même site mais avec un apport solide beaucoup plus faible :

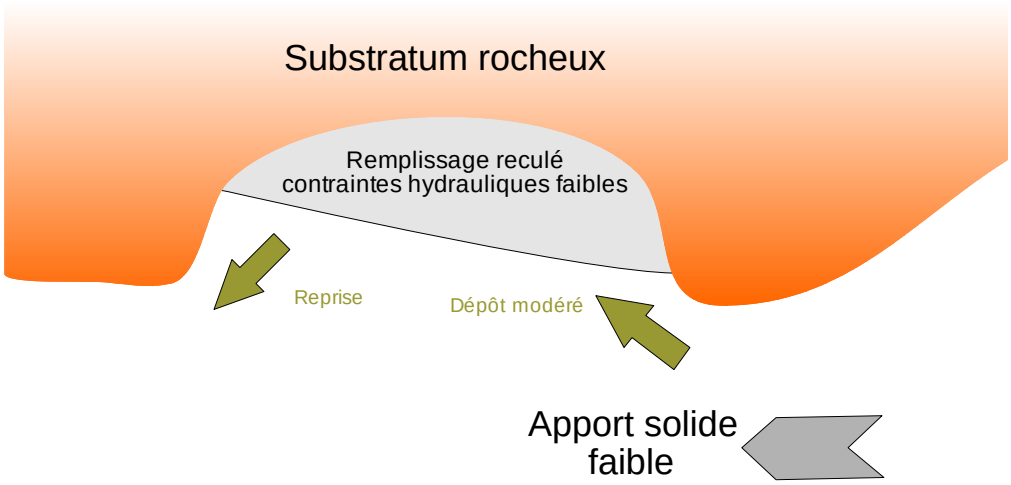


Figure 10 : Régulation d'un remplissage latéral avec faible transport solide.

Les mécanismes d'équilibre sont les mêmes, mais avec des contraintes différentes. L'évolution est alors la suivante :

- L'érosion est - dans un premier temps - inchangée : elle se poursuit d'abord au même rythme que dans l'état avec transport solide intense.
- Les apports amont étant plus faibles, le remplissage diminue car le nombre d'éléments arrivant de l'amont est plus faible que précédemment.
- L'érosion l'emporte sur le dépôt : le remplissage de la zone abritée recule. Il fournit globalement des matériaux à l'écoulement, compensant faiblement la réduction des apports solides. Ce recul dégage des zones moins exposées à l'écoulement.
- Ce recul facilite le dépôt des matériaux provenant de l'amont. Bien que les apports soient diminués, les dépôts sont peu diminués car la fraction qui s'arrête est augmentée.
- La réduction des contraintes hydrauliques sur les matériaux diminue l'érosion du remplissage.
- Un nouvel équilibre se crée avec un remplissage un peu plus réduit.

Ainsi, les dépôts restent globalement au même endroit mais avec une épaisseur et une étendue un peu plus faibles. La morphologie globale est conservée.

Ce recul du remplissage est associé à un pavage peu marqué. Cette évolution du substrat et de sa mobilité constitue vraisemblablement la principale évolution morphologique avec, plutôt, un appauvrissement du milieu.

Ainsi, le système est totalement stable - tant pour l'érosion que pour le dépôt - avec des équilibres dynamiques qui s'établissent en fonction de l'intensité du transport solide et qui en sont peu dépendants.

Les photos suivantes montrent des configurations comparables en amont et en aval du barrage des Collanges :



Photo 12 : Dépôt dans un coude en amont du Cheylard.



Photo 13 : Dépôt dans un coude en aval du Cheylard.

Bien que la comparaison directe soit difficile (l'amont se caractérise par un bassin versant nettement plus petit, une pente du lit à peine supérieure et une pente d'équilibre beaucoup plus forte) il apparait que la morphologie générale est la même avec toujours un remplissage alluvionnaire dans les secteurs abrités.

Cependant, les dépôts en amont paraissent plus étendus, plus gros et peut être un peu plus fins. En effet, la géométrie globale est la même (effet du substratum rocheux). Par contre, en l'absence d'apport solide amont, le dépôt est plus difficile alors que, pour une même géométrie, l'érosion des matériaux est inchangée.

La réaction du lit est donc de développer une nouvelle géométrie des dépôts, un peu moins exposés, pour retrouver un équilibre.

Ces dépôts alluvionnaires présentent une étonnante résistance à la pénurie amont, comme le montre la photo suivante prise quelques kilomètres seulement en aval du barrage des Collanges, dans un secteur presque intégralement privé de matériaux depuis près de 30 ans (de la même façon, un dépôt alluvionnaire subsiste en rive droite au pied du barrage !) :



Photo 14 : Dépôt alluvionnaire en aval immédiat des Collanges.

3. ÉVOLUTIONS TOPOGRAPHIQUES

3.1. Pentes d'équilibre – Analyse du profil en long

3.1.1. Ensemble du bassin versant

Le profil en long est un élément essentiel de l'analyse du transport solide. En effet, celui ci est d'abord dépendant de la pente qui est clairement mise en évidence sur le profil en long.

Ainsi, une analyse détaillée du profil en long et de son évolution est développée dans les chapitres qui suivent.

La figure suivante regroupe les profils en long de l'Eyrieux sur l'ensemble de son cours ainsi que celui de ses principaux affluents :

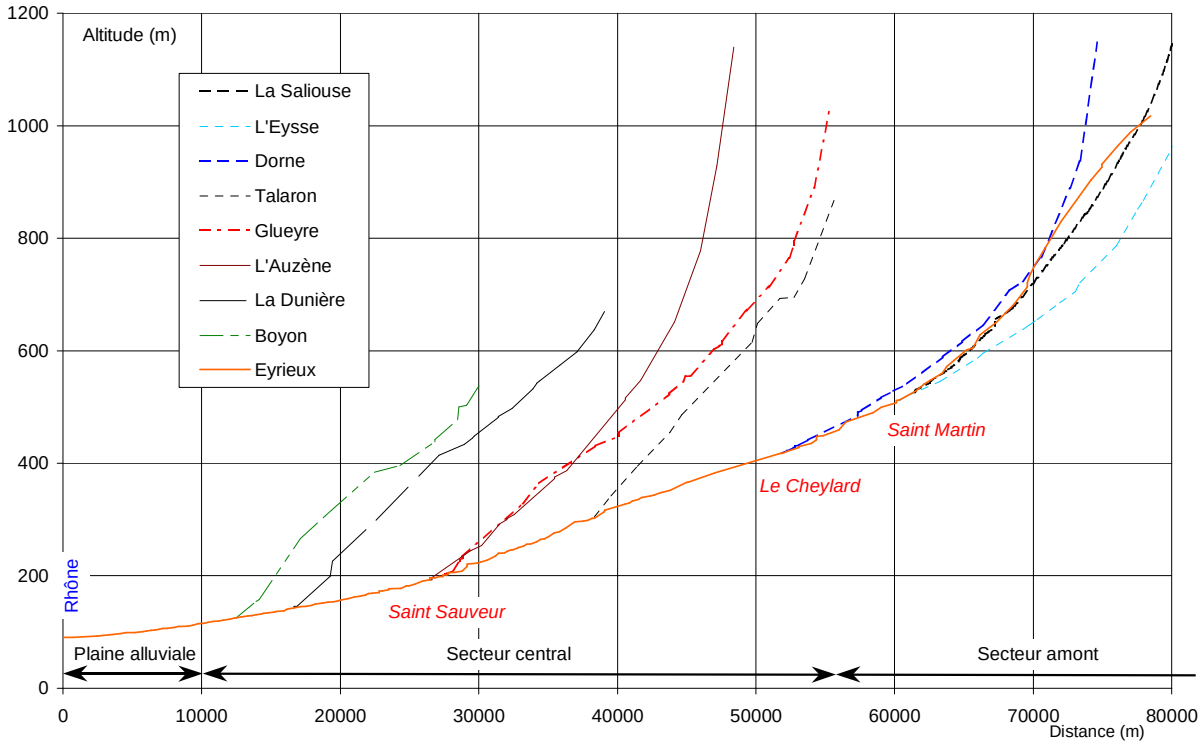


Figure 11 : Profil en long général de l'Eyrieux.

Ce graphique met nettement en évidence les trois tronçons principaux :

- Secteur amont avec des profils en long réguliers et raides.
- Secteur central plus chaotique sur les affluents, mais régulier sur l'Eyrieux avec une pente nettement plus faible.
- Plaine alluvionnaire en amont du confluent avec le Rhône. Il s'agit de la seule zone qui développe une morphologie purement alluvionnaire sur une longue distance. Elle est détaillée ci-dessous.

3.1.2. Secteur alluvionnaire aval

Il s'agit ici de l'étude de l'évolution du lit entre St Sauveur et le confluent avec le Rhône, c'est à dire dans la zone alluvionnaire. Dans la partie amont, surtout en amont des Ollières, le substratum rocheux, et les seuils, restent très présents.

La figure suivante est un profil en long du lit dans ce tronçon. Elle permet de mettre en évidence l'évolution des pentes à partir du profil en long des Grandes Forces Hydrauliques de 1948 :

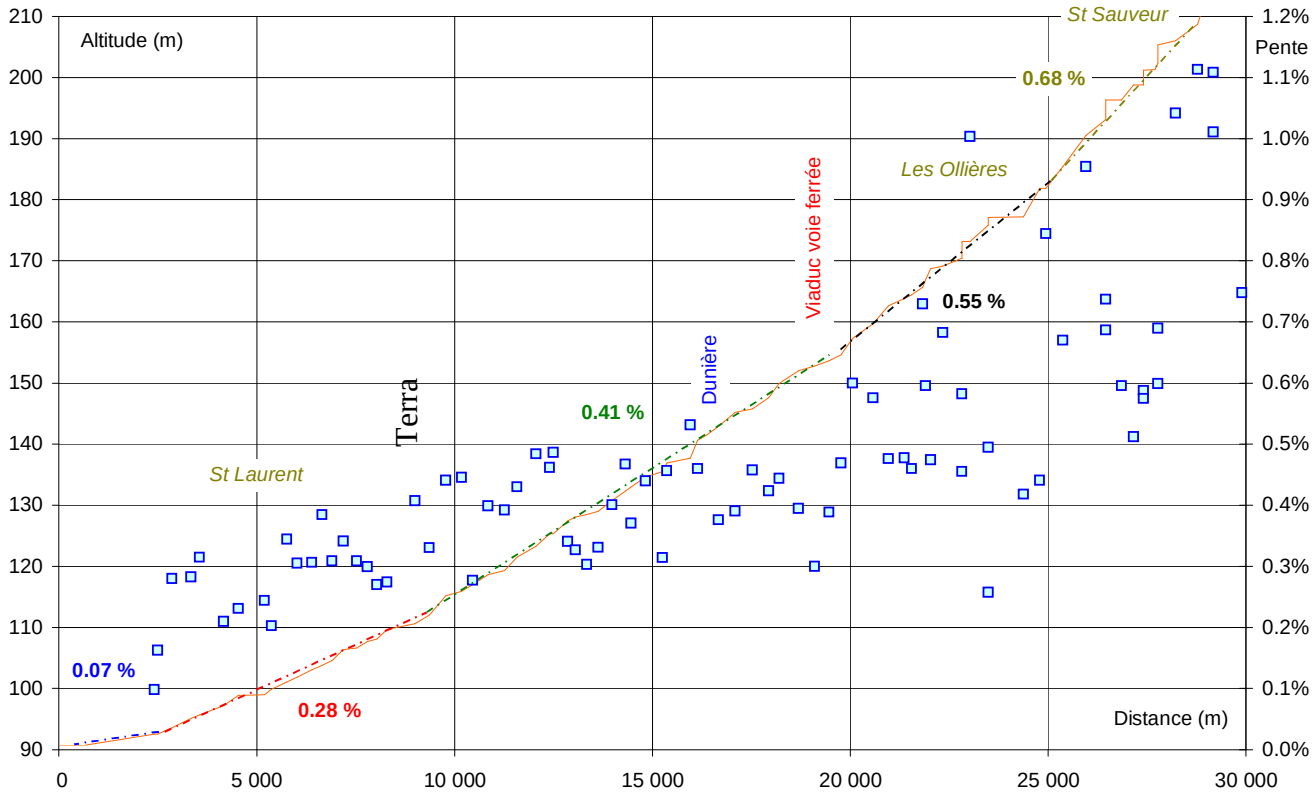


Figure 12 : Évolution des pentes dans la partie basse de l'Eyrieux.

Ce profil en long met en évidence une décroissance de la pente du lit de l'amont vers l'aval. Une telle évolution est classique, mais ici les évolutions entre tronçons homogènes sont brutales alors que l'on observe généralement une décroissance de pente régulière. Une telle évolution indique que l'Eyrieux subit d'abord des évolutions extérieures.

Le profil en long dégage cinq tronçons homogènes du point de vue des pentes :

1. De St Sauveur aux Ollières, la pente est forte (0.68 %) et correspond d'abord aux nombreux affleurements rocheux que l'on peut observer dans la traversée de St Sauveur ou dans les gorges en aval. On observe que les différents seuils ont une influence sur le fil d'eau d'étiage mais qu'elle reste très ponctuelle. Cette faible pente en amont des seuils montre que le transport solide est modéré.
2. Des Ollières au pont ferroviaire de la Pimpie, la pente est plus faible (0.55 %). Cela correspond à un lit plus alluvionnaire mais encore très marqué par des affleurements rocheux.
3. Du pont ferroviaire de la Pimpie au seuil de Terra en amont de St Laurent du Pape, la pente diminue faiblement (0.41 %). Cela correspond à une réduction des zones d'affleurement du substratum rocheux, les secteurs purement alluvionnaires étant de plus en plus importants.

4. Du seuil de Terra à Beauchastel, l'Eyrieux coule véritablement dans sa plaine alluvionnaire, avec une disparition quasi totale du substratum. La pente est alors faible (0.28 %) avec une brusque réduction en aval du seuil de Terra. Cette pente est très régulière sur l'ensemble du linéaire montrant ainsi un bon équilibre général de la rivière et l'absence de tendance systématique au dépôt ou à l'érosion. Notons que ce profil en long date de 1948, et ne prend pas en compte les derniers aménagements de la rivière, ce qui permet de dégager les principales caractéristiques de son fonctionnement naturel.
5. De Beauchastel au confluent avec le Rhône, l'Eyrieux s'écoule dans le lit majeur historique du Rhône. La pente est alors très faible, ce qui traduit à la fois les divagations du Rhône, capables de reprendre les matériaux apportés par l'Eyrieux à proximité de Beauchastel, ses probables variations historiques (avec une remontée du lit récente à l'échelle géologique). Le lit actuel, totalement artificiel, correspond à l'aménagement du Rhône par la CNR. Ainsi, une très forte fraction des matériaux se dépose dans la partie terminale du lit de l'Eyrieux, avant d'arriver au Rhône.

La photo suivante montre la partie terminale de l'Eyrieux en 1946, avec la formation de méandres très marqués à la place du lit rectiligne actuel :

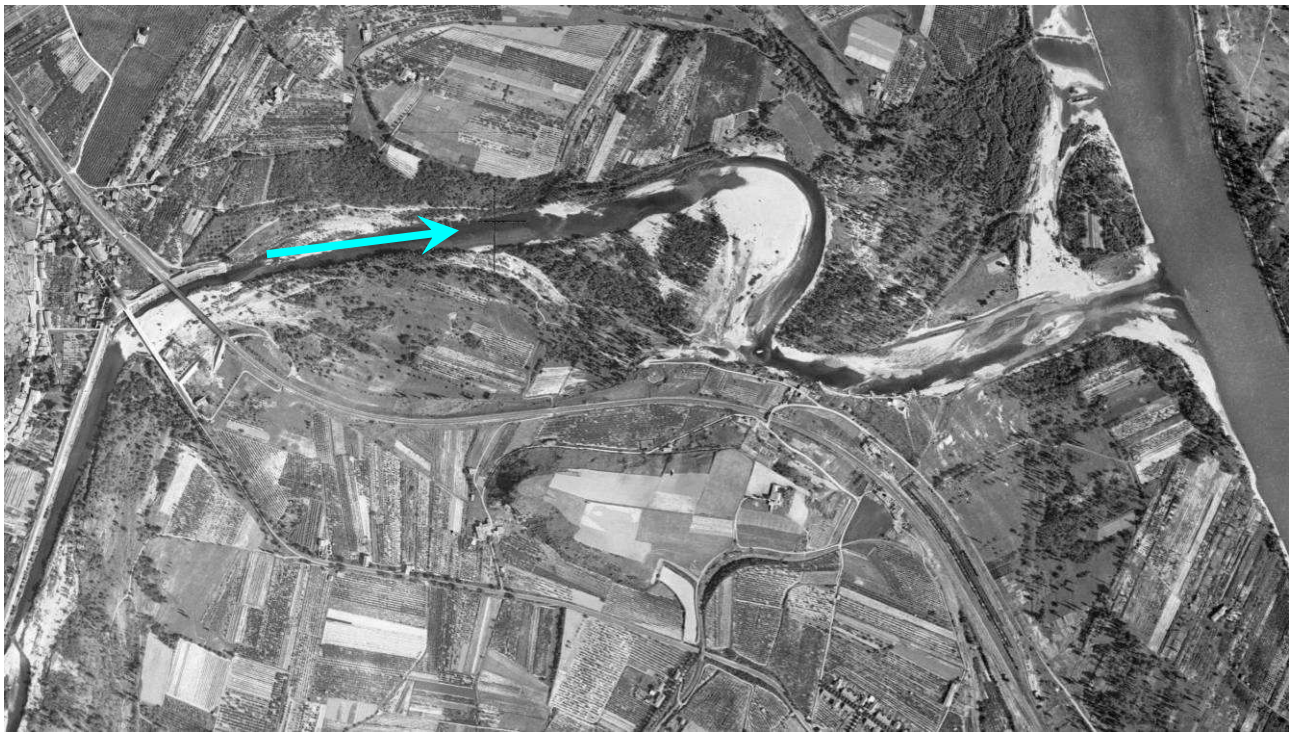


Photo 15 : Lit terminal de l'Eyrieux avant l'aménagement CNR.

3.2. Évolution du lit en un demi-siècle

Il est possible de mettre en évidence l'évolution du niveau du lit à partir des profils en long existants :

1. Levé de 1948 (1949 sur les affluents) réalisé par le Service de Nivellement Général de la France pour le compte du Service des Grandes Forces Hydrauliques. Ce profil en long présente l'avantage d'être exhaustif. Par contre, la densité des points est faible ce qui donne l'impression d'un profil en long beaucoup plus régulier qu'il ne l'était en réalité. De plus, localement, les évolutions du lit peuvent paraitre très importantes alors qu'il s'agit seulement d'une singularité qui n'a pas été levée.
2. Levé de 1985 pour l'étude[1] du BCEOM. Il convient de noter que ce profil est basé sur les niveaux du fond du lit à la différence des autres qui s'attachent au fil d'eau d'étiage (surface de l'eau pour un faible débit). Ainsi, pour une même situation, ce type de profil est systématiquement sous un profil en long correspondant au fil d'eau d'étiage. Il prend en compte les conditions d'écoulement (notamment avec des séquences seuils-mouilles) où la hauteur d'eau peut atteindre localement plusieurs mètres. Il traduit donc un profil beaucoup plus irrégulier. La comparaison des niveaux est alors délicate et imprécise.
3. Levé du fil d'eau d'étiage de 2000 réalisé à l'occasion de l'étude de 2000. Il s'agit d'un travail sur un linéaire important.
4. Levé du fil d'eau d'étiage dans les secteurs potentiellement très mobiles réalisé à l'occasion de cette étude. La densité des levées est alors particulièrement importante.

Après recalage des abscisses, il est possible de comparer les niveaux des quatre profils. Pour les deux premiers profils, le recalage n'est possible qu'au droit des singularités (affluents, ouvrages…) ce qui conduit à un maillage assez lâche.

Au contraire, pour les deux derniers profils en long, les abscisses ont été recalées à partir des tracés en plan, ce qui augmente considérablement la précision du recalage. Celui-ci reste délicat, surtout dans les zones alluvionnaires car les divagations du lit changent le linéaire réel du lit.

Pour faciliter la lecture et l'interprétation, ces deux profils en long récents feront l'objet d'une analyse spécifique dans les zones du levé de 2011.

Le recalage a été réalisé dans la seule zone permettant de dégager une évolution du lit significative entre les profils historiques et les profils récents, c'est-à-dire le lit en aval de St Sauveur.

[1] DDAF de l'Ardèche – Aménagement de la basse vallée de l'Eyrieux – BCEOM – 1985.

La figure suivante indique les trois profils en long entre St Sauveur et les Ollières :

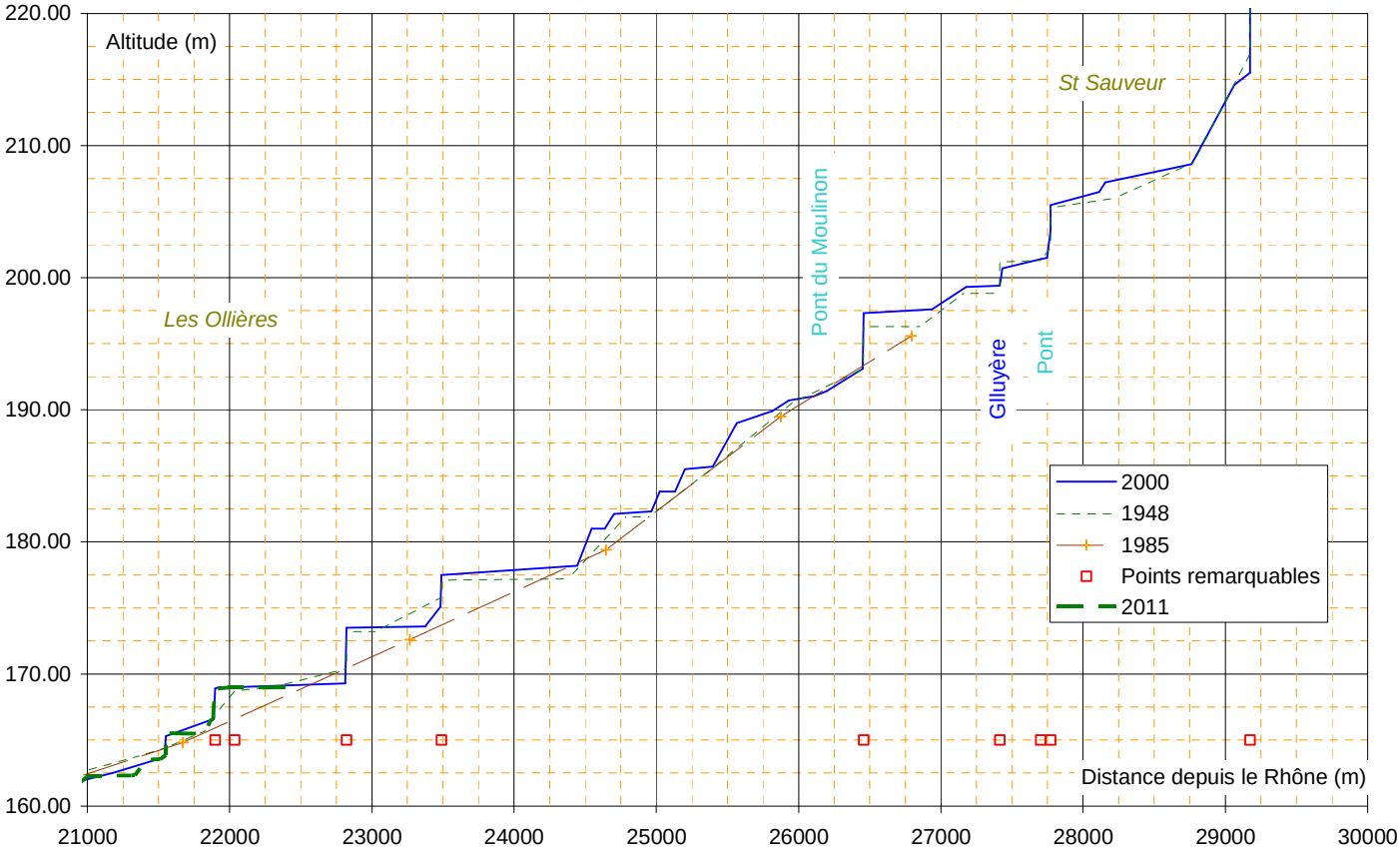


Figure 13 : Comparaison des profils en long en amont des Ollières.

Il semble à première vue que le profil en long ait évolué dans ce tronçon. Cependant, l'analyse plus détaillée montre qu'il s'agit d'abord d'écarts liés à la précision des levés :

- Le profil en long de 2000 est – de loin – le plus précis. Chaque chute a été levée, montrant ainsi un profil en long plus haché et souvent au-dessus du niveau de celui de 1948, certains seuils n'ayant pas été levés sur le profil en long le plus ancien.
- Il est probable que la crête de certains seuils ait été modifiée depuis un demi-siècle de quelques décimètres. Il convient aussi de garder à l'esprit que le débit n'était pas le même pour tous les levés, ce qui conduit à des variations sensibles des niveaux d'eau.
- Il est très difficile d'utiliser le profil en long de 1985 car il relie les points bas des profils transversaux levés à l'époque sans s'attacher à lever l'ensemble des seuils. Ce levé est donc particulièrement lâche ce qui rend une comparaison difficile.
- Le profil en long n'a pas été levé de nouveau en 2011 en amont des Ollières, les évolutions prévisibles étaient faibles et aucune variation d'altitude du fil d'eau d'étiage n'étant apparue lors des visites de terrain.

En conclusion, le lit de l'Eyrieux n'a pas connu d'évolutions significatives du lit dans ce tronçon depuis un demi-siècle. Ce résultat n'est pas surprenant, les seuils et le substratum rocheux - très présents - fixant le niveau du fond, indépendamment du transport solide dans la rivière.

La figure suivante montre le tronçon entre les Ollières et le pont de St Fortunat :

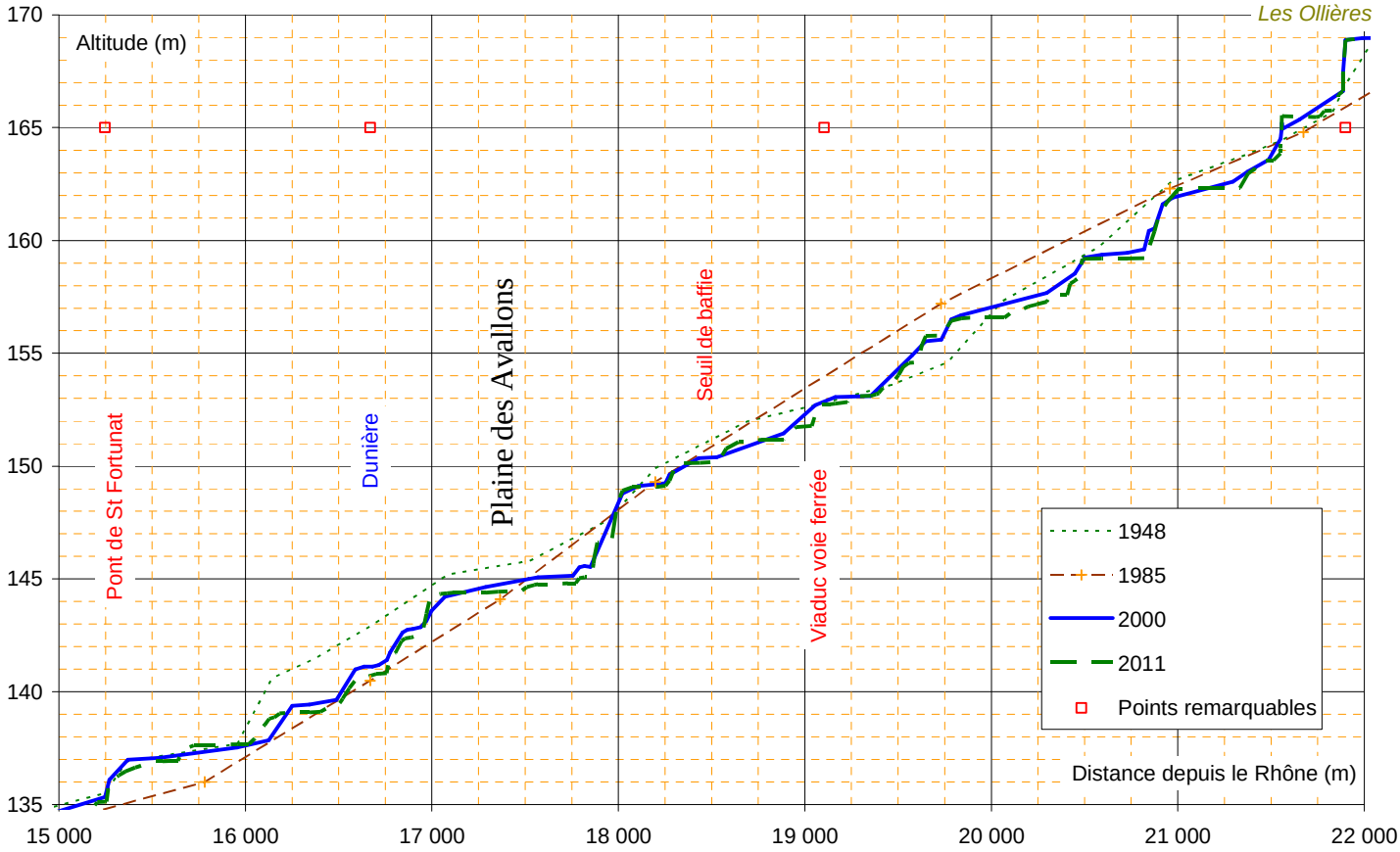


Figure 14 : Évolution du profil en long entre les Ollières et St Fortunat.

Dans ce tronçon, les profils en long récents paraissent très proches. Ce point sera détaillé par la suite. Les évolutions restent modérées :

- Entre les Ollières et le viaduc ferroviaire de la Pimpie, le lit se serait fortement engravé entre 1948 et 1985, puis il se serait abaissé par la suite. Cette évolution apparente correspond à un seul point du profil en long de 1985… qui introduit de fortes variations de pente. Le plus probable est une erreur de calage du point de 1985… et une grande stabilité du lit.
- Suite à la rupture du seuil de Baffie (alimentation du réseau d'irrigation de la plaine des Avallons), ce secteur du méandre présente aujourd'hui un secteur à forte pente durant l'étiage.
- La plaine des Avallons, en amont de Dunière, présente une pente faible (en rapport avec la faiblesse des érosions de berge) et une stabilité du niveau du lit.
- Au droit de la confluence avec la Dunière, le lit semble s'être enfoncé depuis 1948. Il est cependant difficile d'être affirmatif, le profil en long ancien présentant des niveaux particulièrement élevés dans ce tronçon.
- Entre Dunière et le pont de St Fortunat, le lit serait resté stable alors que l'observation de terrain suggère plutôt un faible enfoncement du lit. Ce secteur a connu de fortes évolution de tracé… et donc du linéaire du profil en long, rendant difficile le calage des abscisses.

Au final, ce tronçon entre les Ollières et St Fortunat montre des évolutions qui restent dans la fourchette d'incertitude de l'interprétation des profils en long anciens, sauf peut être au droit du confluent avec la Dunière.

De la même façon, le profil en long suivant indique l'évolution des niveaux fil d'eau d'étiage entre St Fortunat et le site de Terra :

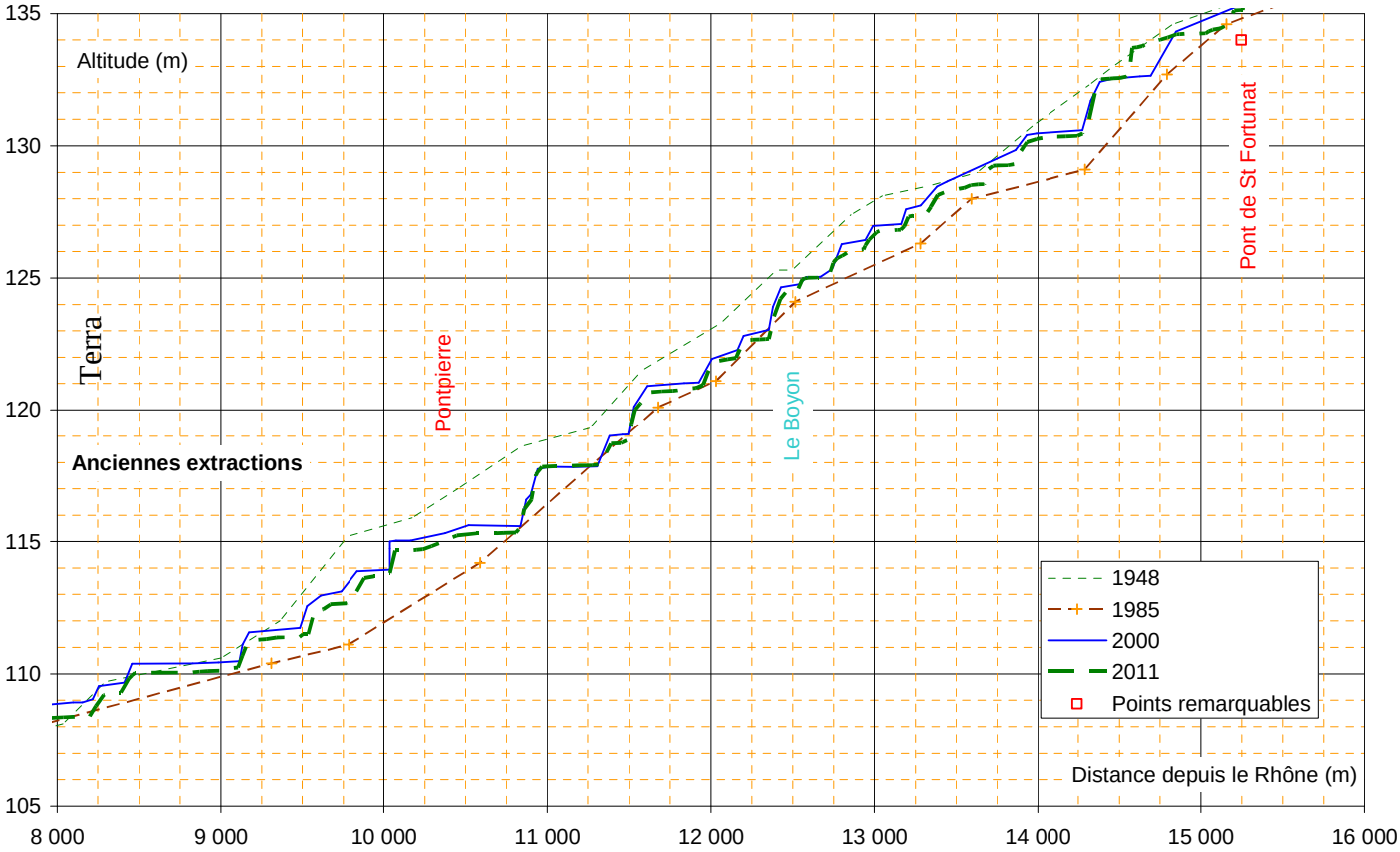


Figure 15 : Évolution du profil en long entre St Fortunat et Terra.

Ce profil en long permet de dégager les évolutions suivantes :

- Une relative stabilité en amont du Boyon même s'il semble que le lit se soit d'abord enfoncé jusque dans les années 1985 puis soit remonté depuis. Cette évolution, d'ampleur modérée, serait cohérente avec les extractions qui auraient été réalisées dans cette zone, les volumes prélevés restant modérés, le lit étant globalement étroit.
- Le profil en long de 1985 est nettement sous les deux autres profils dans le défilé de Pontpierre. Or, la très forte présence de substratum dans ce secteur permet d'exclure un enfoncement important du lit dans ce tronçon. Par contre, les berges rocheuses imposent des survitesses durant les crues qui créent des fosses très profondes. Le levé de 1985 correspond aux points bas du lit, avec une hauteur d'eau de plusieurs mètres.
- En aval, l'abaissement du lit serait de l'ordre du mètre depuis 1948, ce qui reste modéré. Cet abaissement s'explique par les prélèvements réalisés jusque récemment dans le secteur de Terra.

La figure suivante montre le lit en aval de Terra (méandre en amont de Royas) :

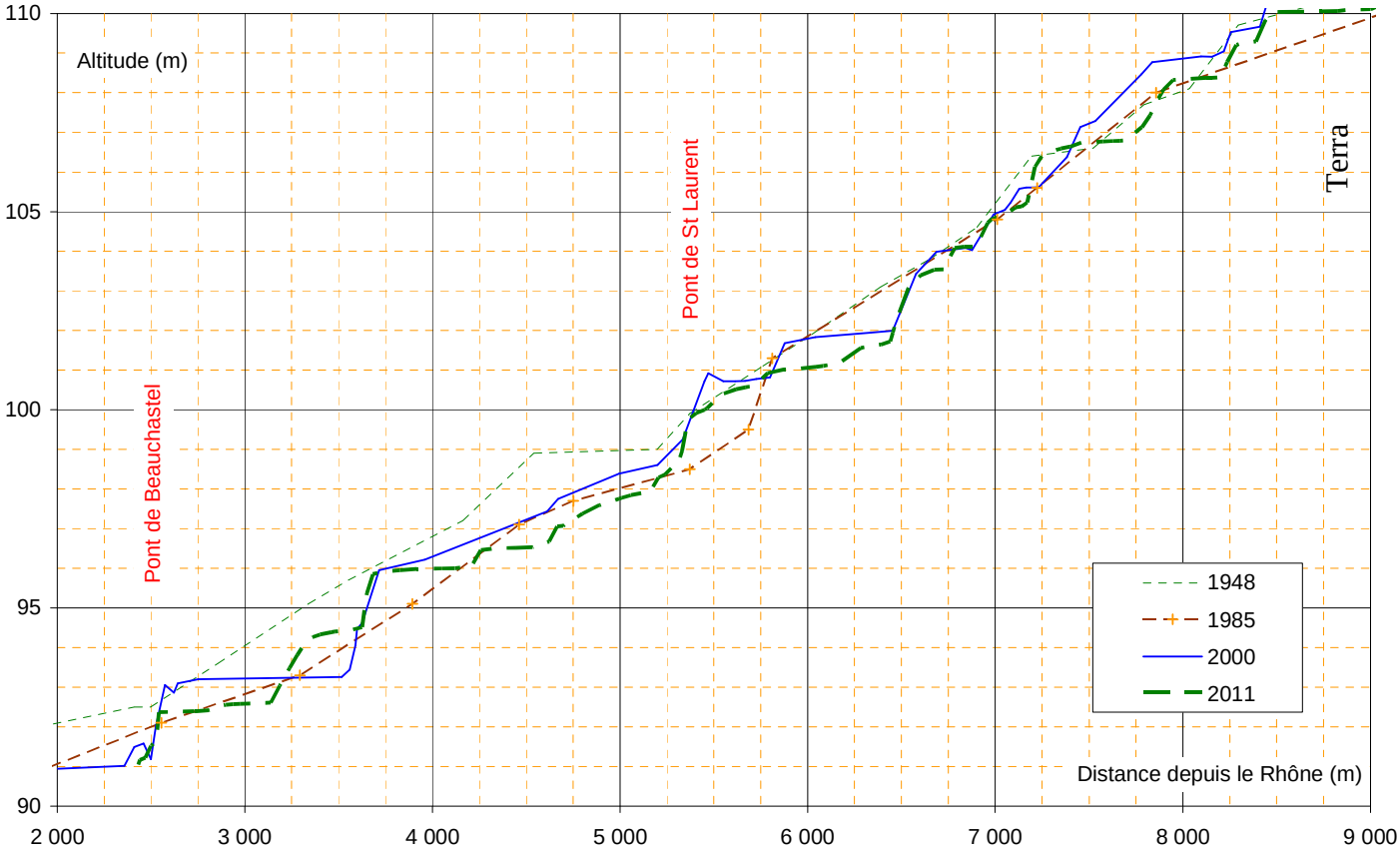


Figure 16 : Évolution du profil en long entre Terra et Beauchastel.

Ce tronçon traduit globalement une grande stabilité du lit, malgré de fortes divagations, depuis 1948. A Beauchastel, cette stabilité traduit avant tout la rigueur apportée à la gestion des curages dans la zone de remous du Rhône, ce qui favorise le maintien du niveau du lit en amont.

Le tronçon en aval de Beauchastel n'a pas été représenté :

- Ce secteur a été totalement perturbé par les aménagements de la CNR, le lit ayant été déplacé et fortement raccourci.
- Dans cette zone de dépôt systématique, des curages sont réalisés régulièrement afin de maintenir la capacité d'écoulement et le niveau du fond. Le profil en long n'est alors pas représentatif du fonctionnement de la rivière mais du respect des consignes de gestion. Ainsi, sous les ponts de Beauchastel, le niveau actuel est exactement celui de 1948.

Il convient de garder à l'esprit que cette comparaison ne peut prendre en compte les évolutions contraires qui se sont produites entre les levés de profils. Ainsi, le niveau aux ponts de Beauchastel est inchangé depuis un demi-siècle. Cependant, les riverains indiquent un engravement du lit.

Cette contradiction est seulement apparente :

- Après 1948, des extractions ont été réalisées en aval immédiat de ces ponts. Le niveau du lit s'est alors abaissé.
- Ces extractions ont été arrêtées en 1986. Depuis, le lit s'est engravé, ce qui explique l'observation des riverains.
- Les extractions réalisées depuis par la CNR, le syndicat Eyrieux Clair et la commune s'attachent à maintenir le niveau du lit à celui de 1948, ce qui explique qu'il n'y ait pas de différence entre les levés à ce niveau entre 1948 et 2000.

Deux points montrent cependant une évolution du niveau du fond depuis 1948 :

- Un enfoncement d'un à deux mètres au confluent avec la Dunière. Cette évolution est conforme aux observations de terrain. Cependant, ce résultat doit être relativisé, le lit ayant subit une évolution significative du tracé en plan dans cette zone.
- Un enfoncement du lit de 1 à 1.5 mètres dans la zone d'anciennes extractions en aval du seuil de Terra. Étant donnée la densité de points dans ce tronçon, cette évolution du lit est significative. Elle est cependant bien inférieure à celle qui ressort de la comparaison avec les profils en long du BCEOM. Il est possible que le lit se soit sensiblement engravé depuis 1985. Cependant, là encore, c'est surtout la différence de méthode de mesure qui explique un tel écart.

Le paragraphe suivant indique les évolutions récentes - et modérées - du lit.

3.3. Évolutions récentes (2000 - 2011)

3.3.1. Hydrologie

Deux levés topographiques récents sont disponibles sur l'Eyrieux :

- Le premier réalisé en 2000.
- Le second réalisé pour l'essentiel en Mars et Mai 2011. Les niveaux des levés de mars 2011 ont été abaissés afin de corriger l'effet de la réduction du débit liquide au mois de mai.

La comparaison de ces levés permet de mettre en évidence l'évolution précise du lit en une décennie grâce à la comparaison des tracés en plan permettant un bon recalage des abscisses. Il est donc intéressant de comparer l'hydrologie sur cette période par rapport à une décennie "moyenne". La CNR a aimablement transmis les données suivantes :

- Les débits à la station de Beauvène entre 1953 et 2006 et le transfert au Cheylard (368 km²), peu en amont. Cette série parait fiable, mais ne couvre pas toute la période.
- Les débits à la station du Cheylard de 2006 à 2011. Les valeurs de cette station n'ont pas été validées et paraissent plus douteux. Ces débits n'ont pas été retenus par la suite.
- Les débits aux Ollières depuis 1992.
- Les débits à la station CNR de Pontpierre, un peu en aval, depuis 1996.

La figure suivante montre les observations disponibles sur l'ensemble de la période:

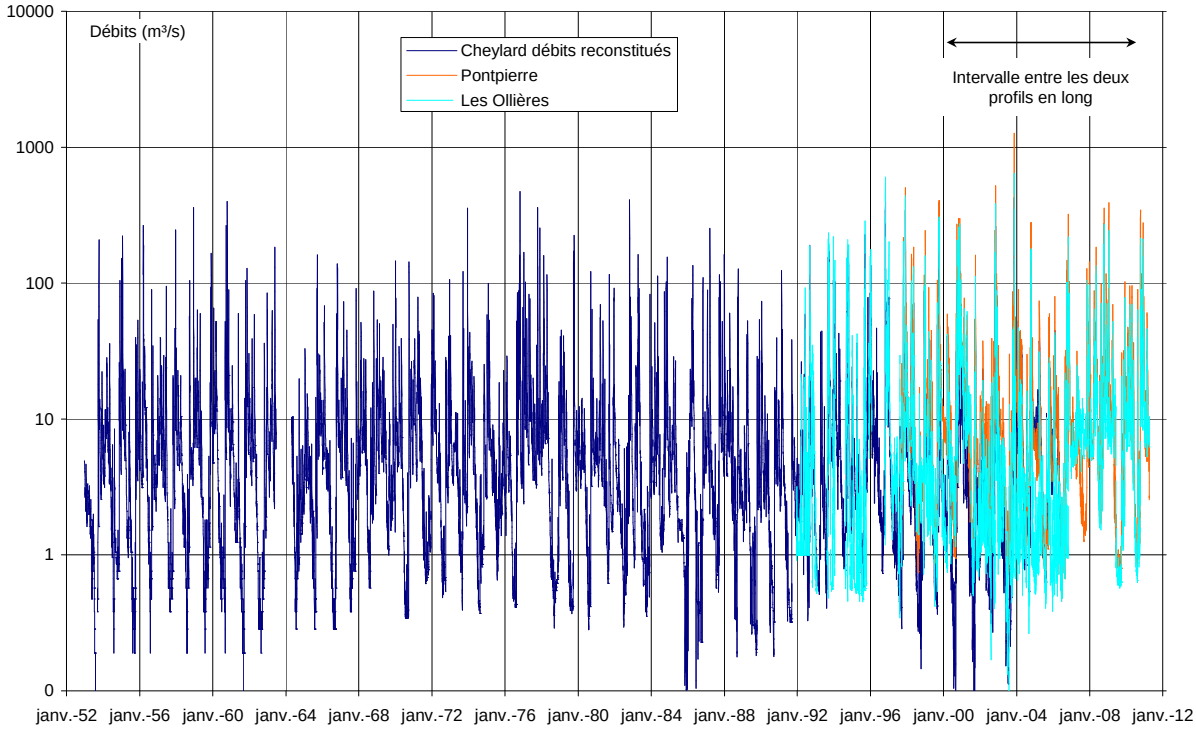


Figure 17 : Chronologie des débits moyens journaliers disponibles.

Ce graphique est tracé en utilisant une échelle logarithmique qui permet de mettre en évidence les débits intermédiaires.

L'absence d'une station couvrant toute la période d'observation rend difficile la mise en évidence d'une éventuelle particularité de la dernière décennie. Cependant, il n'apparaît pas d'évolution particulièrement marquée des débits sur l'ensemble de la dernière décennie. On observe que le débit de la crue de 2003 dépasse 1200 m^3/s à Pontpierre, ce qui correspond à une forte crue dont la période de retour parait proche de la décennie.

La figure suivante montre les observations sur la station des Ollières :



Figure 18 : Débits disponibles dans la partie aval du bassin versant.

Ce graphique montre que la décennie passée a connu des périodes d'étiage, notamment de 2003 à 2006, des périodes de hautes eaux (en 2007 et 2008 par exemple) et une forte crue presque décennale en 2003. Ainsi, la décennie étudiée ne parait ni particulièrement sèche ni particulièrement humide et semble représentative par rapport au transport solide.

Une autre question relative aux débits concerne les débits durant les périodes de mesures, le niveau du fil d'eau d'étiage étant évidemment sensible au débit liquide. La figure suivante regroupe les débits sur la station du Cheylard lors des périodes de mesures dans la partie aval de l'Eyrieux :

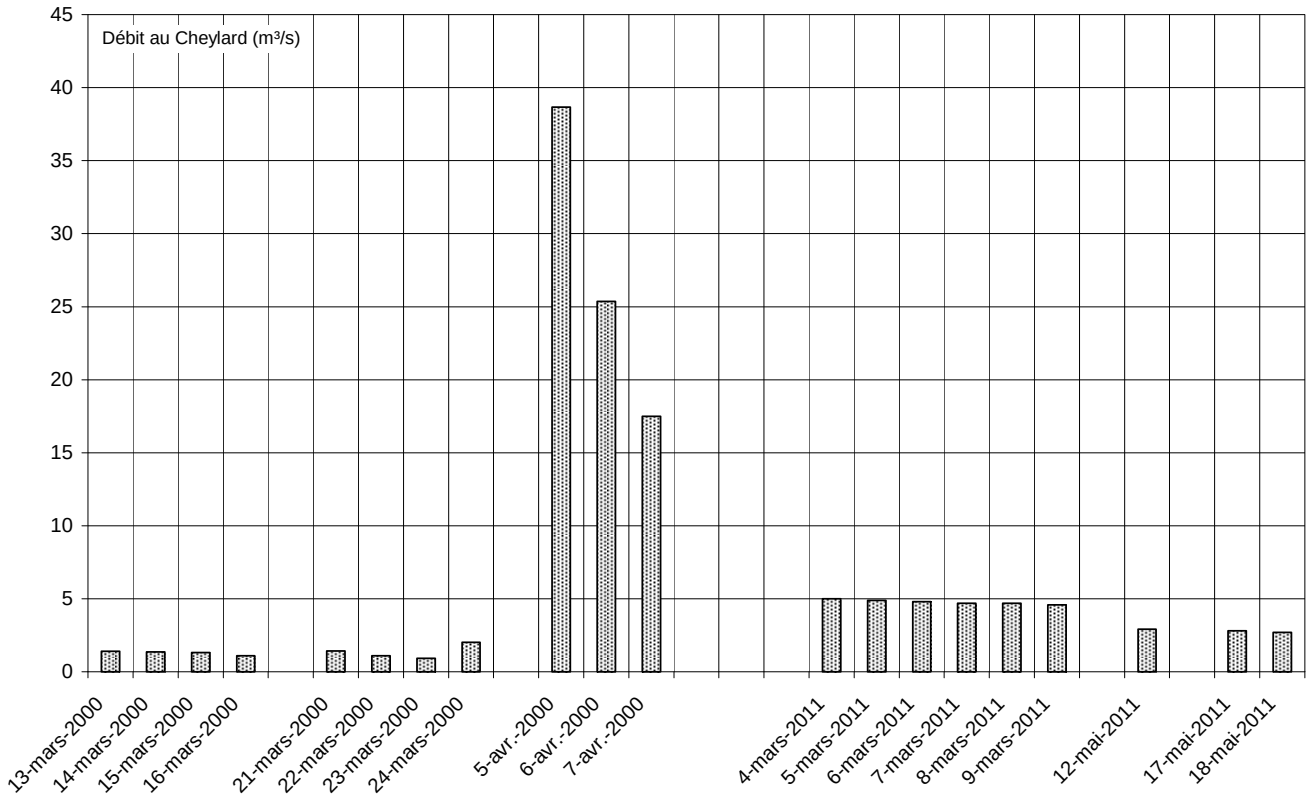


Figure 19 : Débits dans l'Eyrieux lors des relevés de profils en long.

Ce graphique montre que les débits sont faibles durant les mesures du niveau du fil d'eau d'étiage, sauf en avril 2000. Ces mesures correspondent au profil en long alors levé en aval de St Laurent du Pape. La surélévation du niveau d'eau serait alors un peu inférieure au mètre par rapport au niveau à l'étiage.

Ainsi, pour affiner la comparaison des niveaux, les relevés réalisés en avril 2000 ont été abaissés de 0.75 m, ce qui correspond à l'écart des niveaux pour un lit en eau d'une trentaine de mètres de largeur.

3.3.2. Confluence avec L'Eysse

Ce secteur, situé à St Martin de Valamas présente un long linéaire alluvionnaire grâce à la présence d'un seuil de grande hauteur en aval de la confluence avec l'Eysse. Les évolutions dans ce secteur permettraient de mettre en évidence une éventuelle variation des apports amont entre 2000 et 2011 par une modification de la pente du lit.

La figure suivante montre les profils en long de l'Eysse et de l'Eyrieux dans cette zone alluvionnaire :

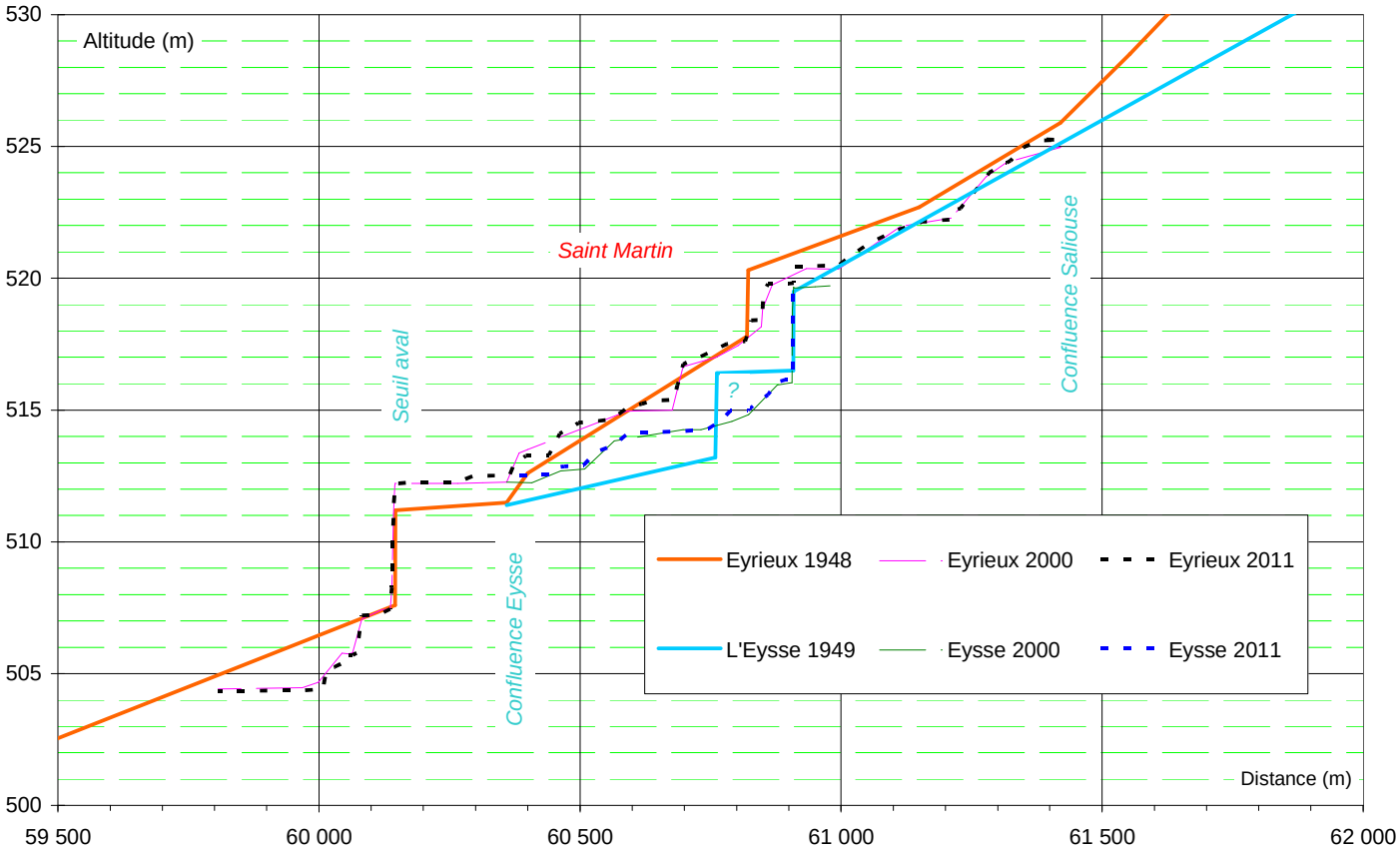


Figure 20 : Évolution du lit à la confluence avec l'Eysse.

Le profil en long des Grandes Forces Hydrauliques parait très différents essentiellement car la densité des points de mesures est beaucoup plus faible que pour les autres profils.

L'autre évolution est liée à la remontée d'environ 1 mètre du barrage en aval de la confluence et la rupture de seuils sur l'Eyrieux et sur l'Eysse. Le profil en long de 1949 sur l'Eysse est difficilement interprétable dans cette zone, les indications relatives au seuil aval étant visiblement erronées.

La comparaison des profils en long de 2000 et 2011 ne permet de dégager aucune évolution du lit malgré la crue - pourtant significative - de 2003.

3.3.3. Secteur du Cheylard

Il s'agit ici d'analyser l'évolution du lit de l'Eyrieux dans la traversée du Cheylard et particulièrement en queue de retenue du lac des Collanges, le secteur étant voué, en l'absence d'intervention, à un engravement chronique. Des évolutions significatives sont donc possibles dans la queue de retenue. La figure suivante montre l'évolution du lit dans ce tronçon :

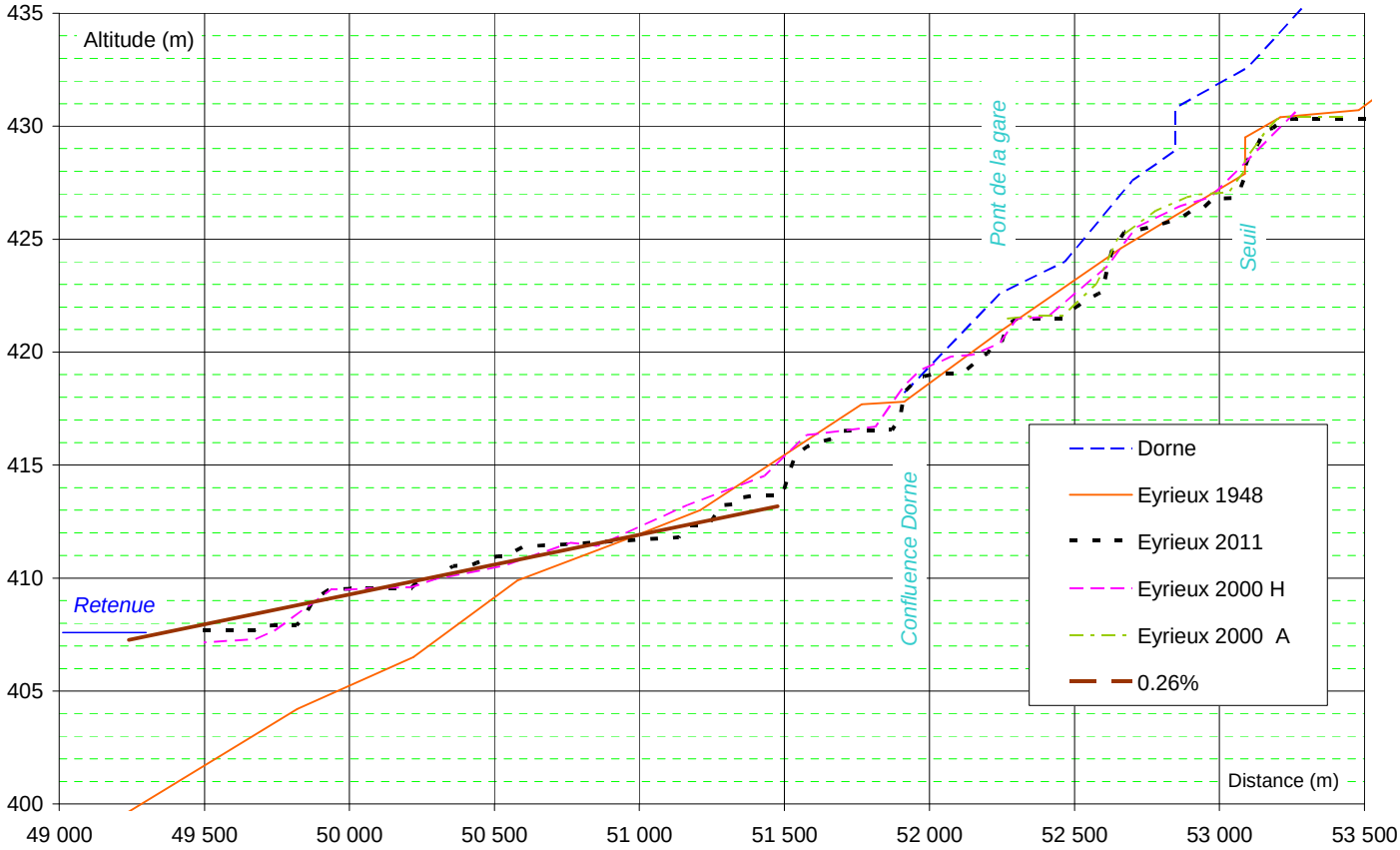


Figure 21 : Évolution du lit dans la traversée du Cheylard.

Deux profils en long ont été réalisés en 2000 dans le secteur en amont de la confluence avec la Dorne, l'un par Hydrétudes (H), l'autre par ARGEO (A). On observera que les deux profils en long ne sont pas parfaitement confondus, le choix de la localisation de la mesure influençant les niveaux, notamment au droit des interpolations entre deux points de mesures. Ce constat permet de relativiser les écarts entre les profils en long lorsqu'ils sont de l'ordre du décimètre.

Dans tout le linéaire amont, le profil en long ne montre aucune évolution significative. En effet, le substratum rocheux est très présent dans cette zone, ce qui conduit à une stabilisation du lit à long terme. On observe localement que le lit de 2011 est un peu plus bas, mais ce résultat ne parait pas significatif.

Dans la partie aval, les profils en long récents correspondent à un lit nettement plus élevé. Ce résultat traduit le dépôt de matériaux en queue de retenue des Collanges. La pente du lit - alors totalement alluvionnaire - est proche de 0.26 %, nettement plus faible que la pente en amont. L'engravement, en limite de la mesure du fil d'eau d'étiage serait de l'ordre de 5 mètres.

Cependant, le résultat le plus remarquable est la stabilité presque parfaite des niveaux alors que cette zone devrait subir un engravement important sur le long terme. Ce résultat ne signifie pas qu'il n'y a pas eu d'apports solides dans la retenue durant la dernière décennie, mais seulement qu'ils ont

été insuffisants pour conduire à un nouvel engravement, les matériaux se déposant plus en aval dans la retenue.

Cela montre que le remplissage de la retenue - bien réel sur la période - est difficilement observable : les matériaux sont d'abord poussés sur le fond de la retenue, l'engravement en amont étant "relativement" retardé, masquant l'évolution du site. L'évolution de la bathymétrie est abordée au paragraphe 5.5.4 page 87.

3.3.4. Dunière aval

Le seuil aval de la Dunière vient d'être détruit, vraisemblablement par affouillement. Cette rupture entraine une érosion régressive, comme le montre les profils en long suivants :

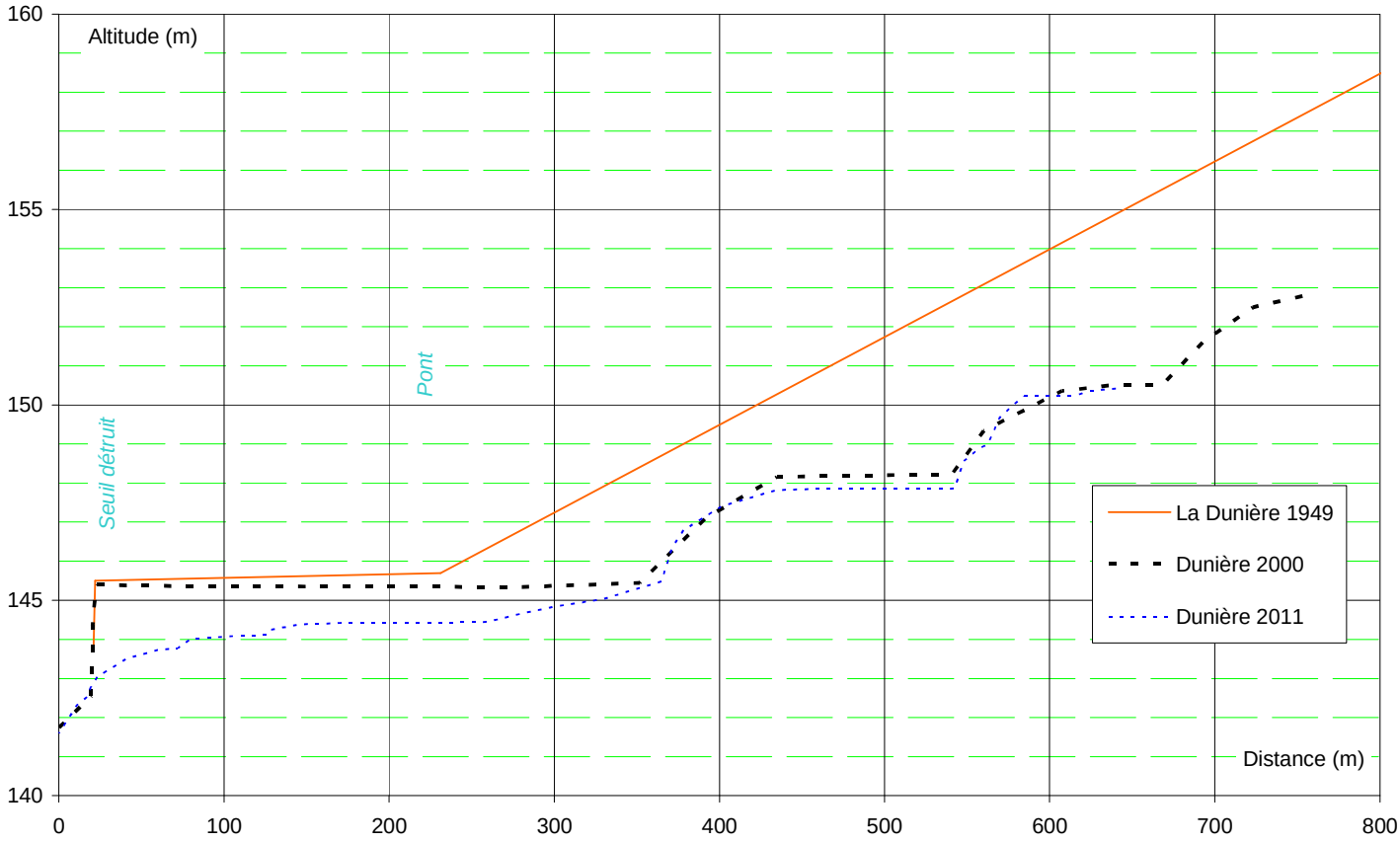


Figure 22 : Évolution du lit de la Dunière aval suite à la rupture du seuil.

Cette figure illustre de façon caricaturale l'effet de la faible densité des points du profil en long historique de 1949, la droite étant une interpolation entre le niveau sous le pont et celui en sortie des gorges. L'évolution est particulièrement nette entre les niveaux de 2000 et ceux de 2011, avec une érosion régressive qui est maximum au droit du seuil et qui diminue progressivement vers l'amont. Cette érosion se bloque en amont sur le substratum rocheux, le lit amont n'ayant évidemment subit aucune évolution.

L'érosion du lit devrait se poursuivre jusqu'au découvrement de substratum rocheux permettant d'assurer la stabilité du lit. On devrait donc observer la restauration du lit d'avant la construction du seuil avec une situation stable, tant sur le fond que sur les berges.

3.3.5. Eyrieux aval

C'est évidemment dans la partie alluvionnaire de l'Eyrieux, en aval des Ollières, que les évolutions devraient être les plus marquées. Les graphiques suivants mettent en évidence les évolutions observés entre 2000 et 2011, la forte densité des points et le calage plus précis des abscisses permettant de mettre en évidence des évolutions du niveau du fil d'eau d'étiage de quelques décimètres seulement.

La figure suivante montre les profils en long entre les Ollières et St Fortunat :

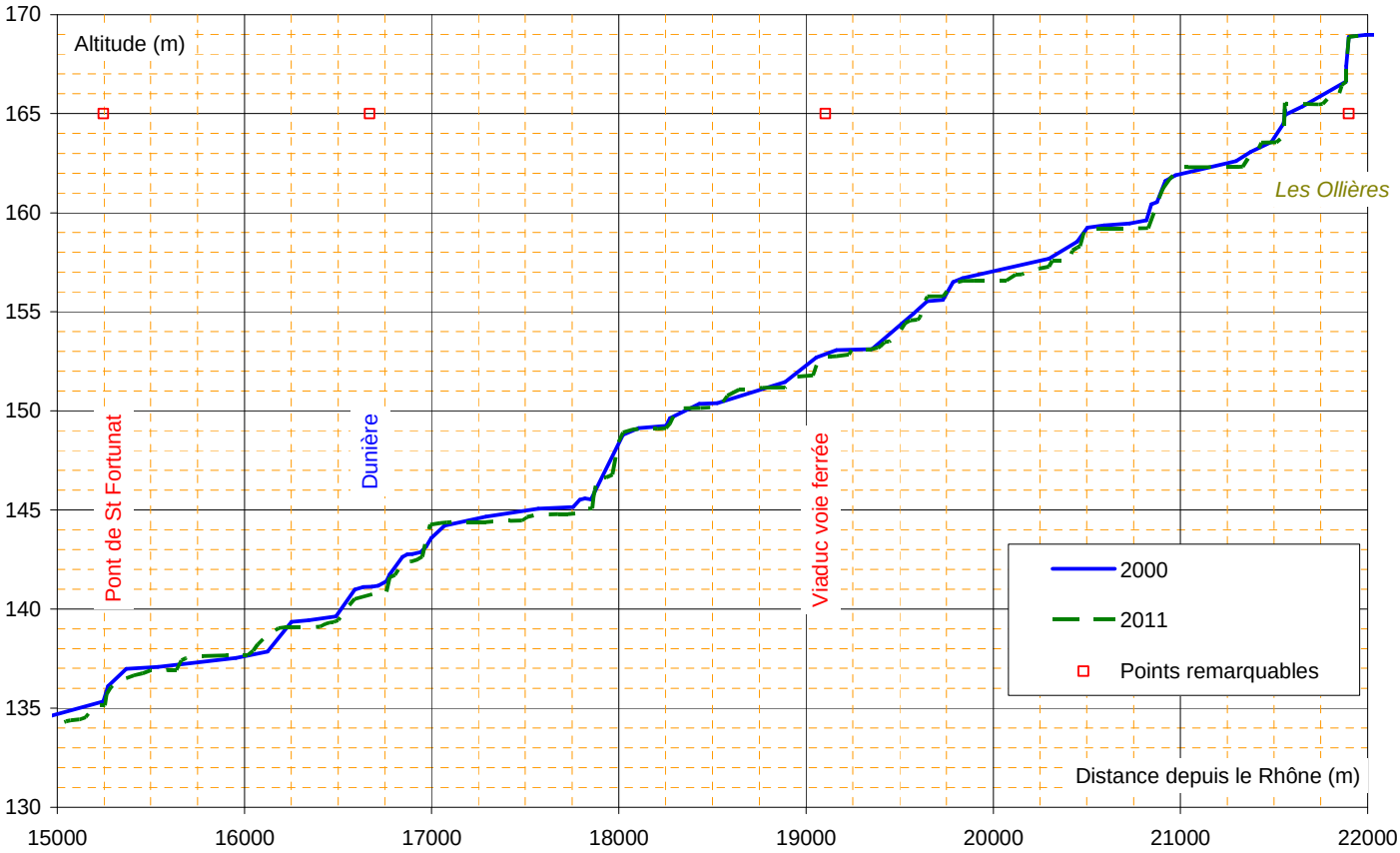


Figure 23 : Évolution lors de la dernière décennie entre Ollières et St Fortunat.

Ce graphique montre la faiblesse des évolutions du lit, les écarts étant très faibles et semblent d'abord liés à la localisation des mesures.

Il est remarquable que le système seuil-mouille qui est à l'origine des irrégularités locales de pente n'ait quasiment pas subit d'évolution. En effet, le substratum rocheux étant la première cause de la morphologie du lit (y compris les seuils et les mouilles), leur localisation est grandement imposée par le socle rocheux.

La principale discontinuité de pente, au PK 18 000 correspond, à l'aval de Baffie au choc brutal entre l'écoulement et le versant rive droite : lors des crues, les pertes de charge y sont particulièrement élevées et entrainent un dépôt en amont. Ce dépôt n'est que partiellement repris lors des crues. Il en résulte à l'étiage une forte dénivelée, qui n'est pas représentative du transport solide ordinaire.

En aval, le secteur de la confluence avec la Dunière montre une grande stabilité et un profil chahuté, en rapport avec les petits rapides formés - notamment - par des blocs isolés. La rupture du seuil de la Dunière n'a pas apporté des matériaux assez gros et en quantité suffisante pour permettre un engravement, même temporaire, du lit.

Entre Dunière et St Fortunat, un rapide aurait progressé d'une centaine de mètres vers l'aval, les affleurements rocheux étant moins marqué dans cette zone.

Le graphique suivant permet la même comparaison des profils en long récent dans la partie aval :

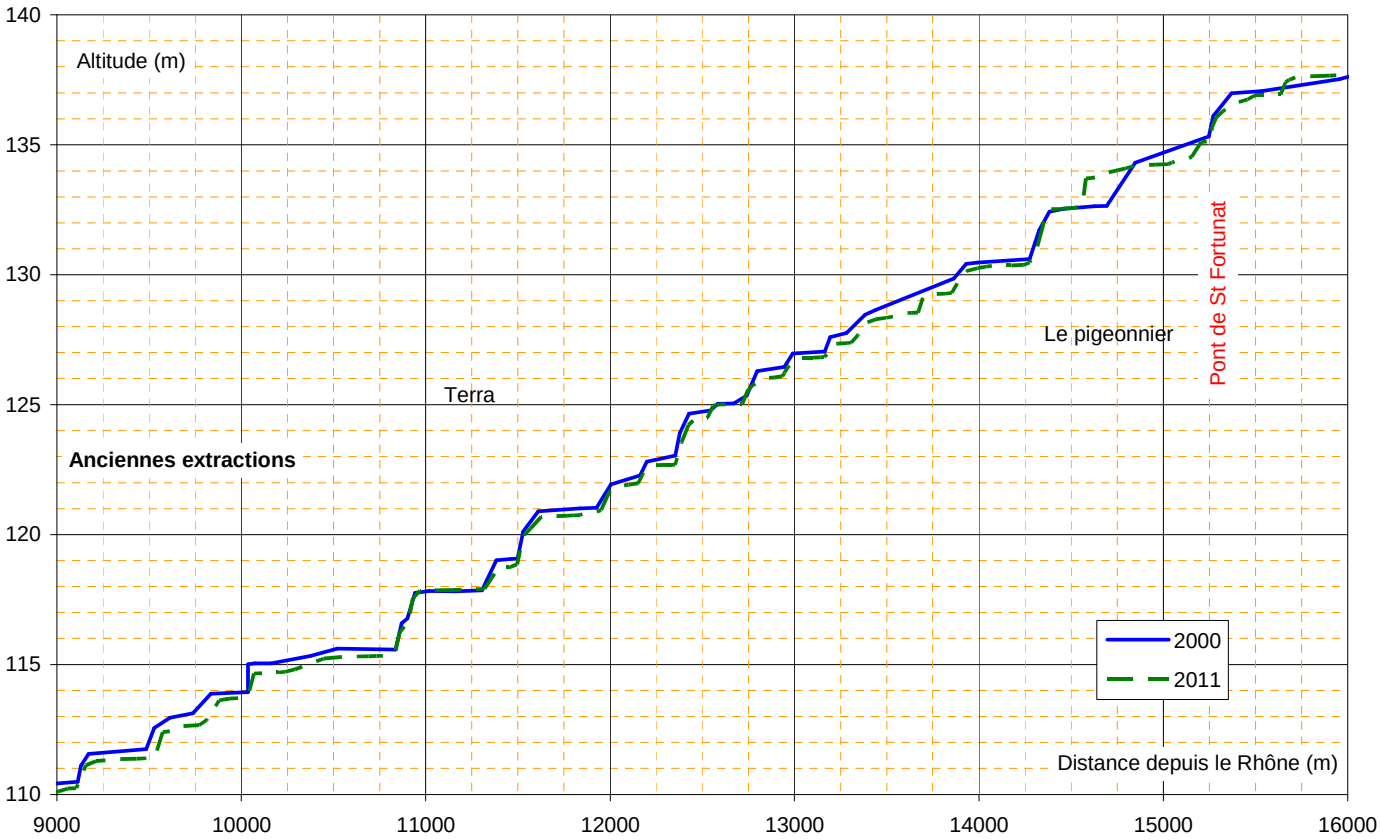


Figure 24 : Faible évolution du lit dans la partie centrale.

Les évolutions observées sont très faibles et essentiellement liés à un débit un peu supérieur en 2011 par rapport à 2000 :

- En aval de St Fortunat, dans le secteur du Pigeonnier, un engravement est localement perceptible. Il s'agit, là encore, d'une évolution locale du système seuil/mouille et non d'une tendance à l'engravement, le lit étant globalement très stable en altitude. Cette zone a connu une évolution marquée du tracé en plan, ce qui complique la comparaison directe des profils en long.
- Entre St Fortunat et le site de Terra, le niveau du fil d'eau d'étiage est remarquablement stable y compris pour la localisation des seuils.
- Au droit de Royas (voir graphique page suivante), l'enfoncement du lit semble significatif, même si les divagations naturelles du lit dans cette zone très large compliquent l'interprétation. Cette évolution parait trop locale pour correspondre à un enfoncement généralisé du lit sous l'effet d'une pénurie des apports en matériaux. Ce point est à surveiller.

La figure suivante montre le lit aval - de Royas à Beauchastel - avec la correction de l'effet du débit liquide, très supérieur dans la partie aval lors des levés de 2000 :

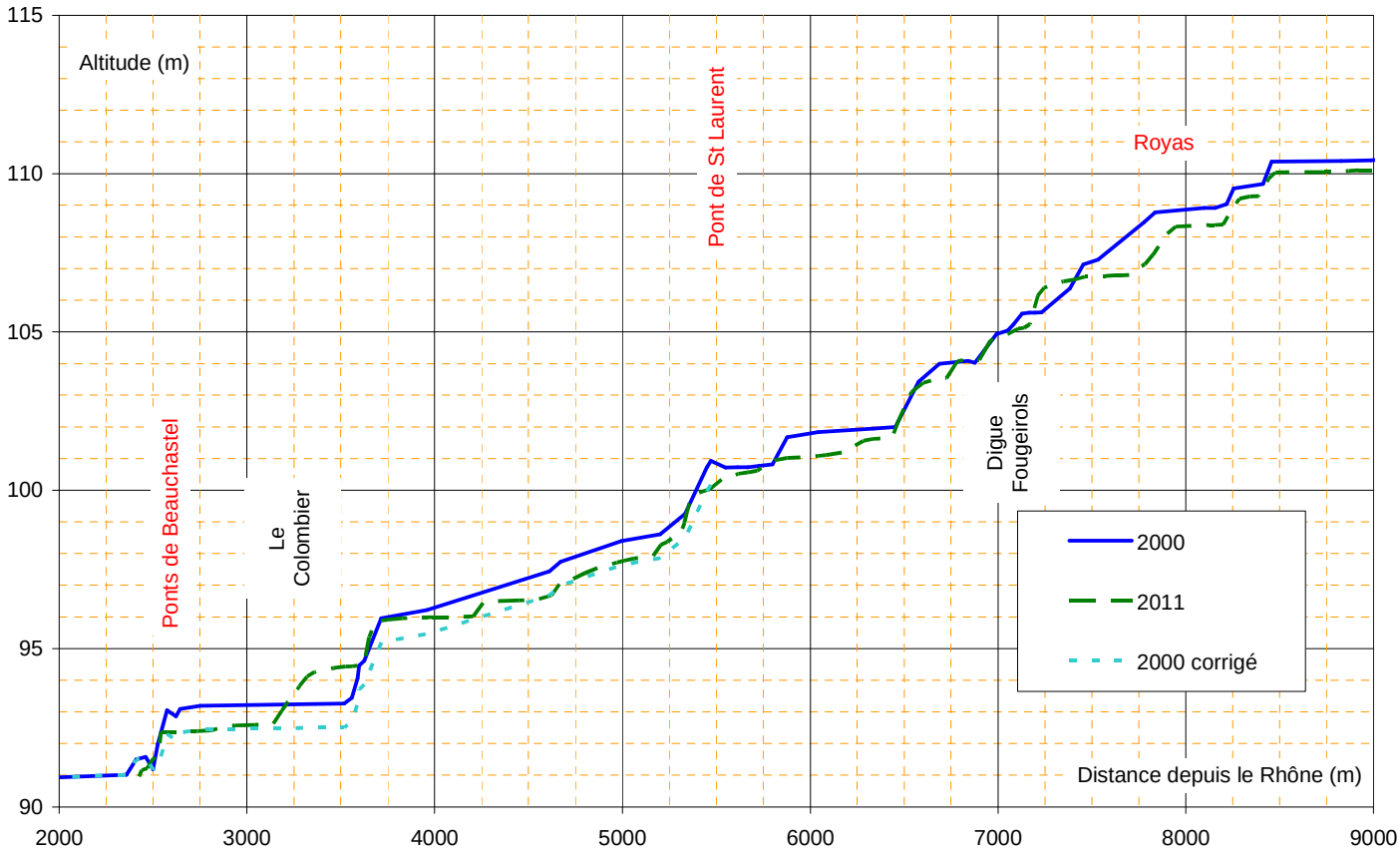


Figure 25 : Évolution du lit dans la partie aval de l'Eyrieux.

Les évolutions du lit sont là encore très faibles après correction de l'effet du débit liquide :

- Dans la zone de l'épi Fougeirol (nommé épis sur le graphique précédent), le lit est très stable malgré la ruine progressive de l'ouvrage.
- En amont du pont de St Laurent, un abaissement est localement visible, le lit retrouvant le niveau de 2000 peu en amont du pont.
- En aval de St Laurent, l'évolution est globalement insignifiante, montrant que le lit - là aussi - n'a pas connu d'évolution importante.
- En amont de Beauchastel, au lieu dit le Colombier, au niveau de la présence d'une zone de forte divagation et d'érosion de la berge rive droite, les niveaux de 2000 et de 2011 se croisent sans qu'une tendance nette puisse se dégager. C'est dans cette zone que des travaux ont été réalisés en vue de réduire l'érosion de la rive droite. Ces évolutions du niveau du lit correspondent à cette intervention.
- En amont immédiat des ponts de Beauchastel, le niveau semble aujourd'hui très proche de celui de 2000… ce qui témoigne avant tout des curages réalisés dans la dernière décennie.
- Dans la zone de remous depuis le Rhône, le niveau est - évidemment - inchangé.

3.3.6. Synthèse

Les observations réalisées montrent que, sur l'ensemble du linéaire, le lit de l'Eyrieux est globalement stable depuis une décennie. Si une tendance devrait être dégagée, elle serait plutôt à l'enfoncement du lit, mais l'évolution n'est pas structurée (l'enfoncement parait plutôt aléatoire) ni vraiment significative. De nouvelles mesures, dans une décennie, pourraient confirmer un éventuel enfoncement.

Deux raisons expliquent cette relative stabilité :

- Un lit globalement à l'équilibre. En effet, le lit de l'Eyrieux présentait un profil en long proche de l'équilibre en 2000. Les évolutions sont donc lentes. Les zones les plus perturbées correspondaient généralement à d'anciennes extractions où la tendance est généralement à la remontée du lit. La réduction des apports amont par le barrage des Collanges aurait plutôt une tendance inverse à long terme.
- Un transport solide faible qui conduit à des évolutions lentes du lit. Les volumes transportés en une décennie ne permettent pas de variations de grande ampleur, la régulation par le lit - dans les zones alluvionnaires - étant prépondérante.

3.4. Évolution des profils transversaux (2000 - 2011)

3.4.1. Méthodologie

L'évolution des profils en long étant à peine significative, des profils transversaux ont été levés sur le linéaire qui est susceptible de connaître les évolutions les plus considérables : l'aval des Ollières.

Ainsi, 25 profils transversaux ont été levés en **2011** au droit des profils levés en **2000** ou par le cabinet Dunogier en 2005. Cette approche permet de calculer les évolutions du niveau du lit de graviers, sans passer par le profil longitudinal du fil d'eau. Cette démarche présente notamment l'avantage de mettre en évidence un changement de morphologie du lit. La carte de la localisation des profils transversaux levés dans le cadre de cette étude est visible dans le rapport n°4 - Documents cartographiques. Cette analyse met donc en évidence, comme précédemment, les évolutions du lit entre **2000** et **2011**.

3.4.2. Résultats obtenus

Le graphique suivant présente les variations de sections obtenues sur chacun des profils reportés sur le profil en long :

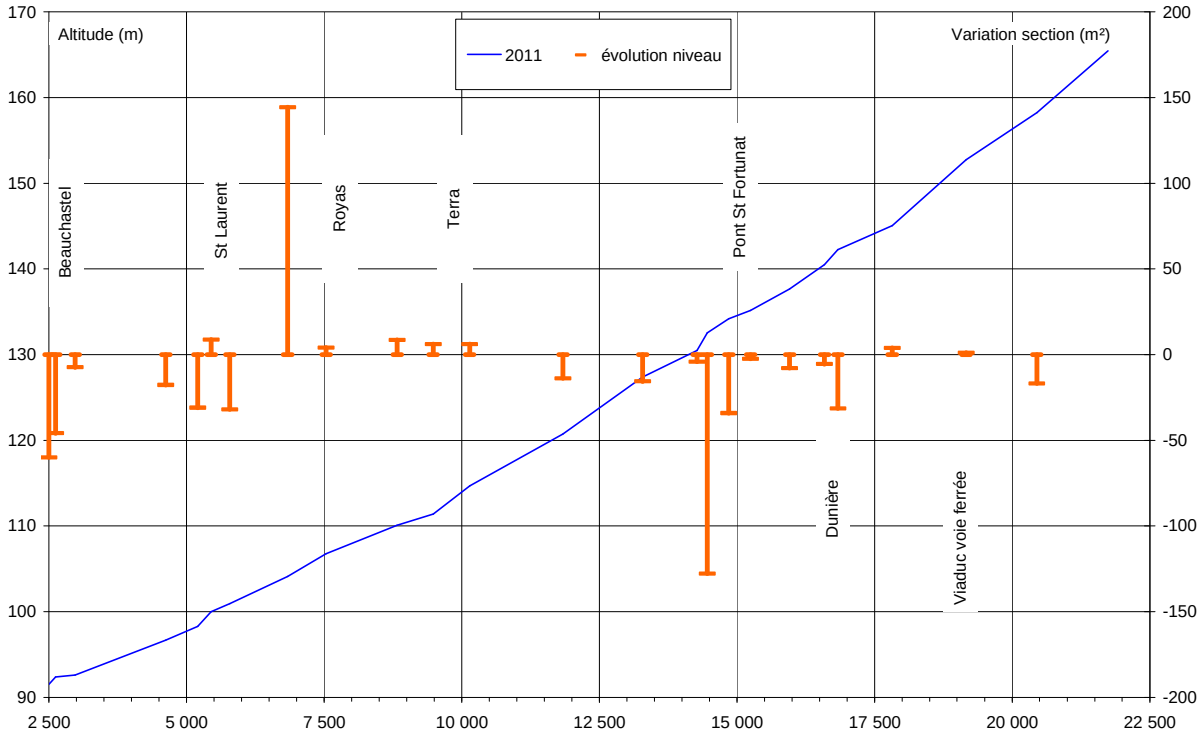


Figure 26 : Évolution des sections du lit dans la zone alluvionnaire.

Une variation de section positive correspond à un dépôt alors qu'une variation négative correspond à une érosion. Ce graphique conduit aux résultats suivants :

- Les variations de section sont globalement faibles.

- La faiblesse des écarts empêche de dégager une évolution globale du lit de l'Eyrieux. En effet, les écarts sont trop faibles pour générer une variation de pente significative.
- La tendance globale est plutôt à l'enfoncement du lit, ce qui est conforme à la tendance attendue.

La figure suivante montre l'évolution des niveaux moyens du lit mineur (matériaux) pour chacun des profils transversaux relevés :

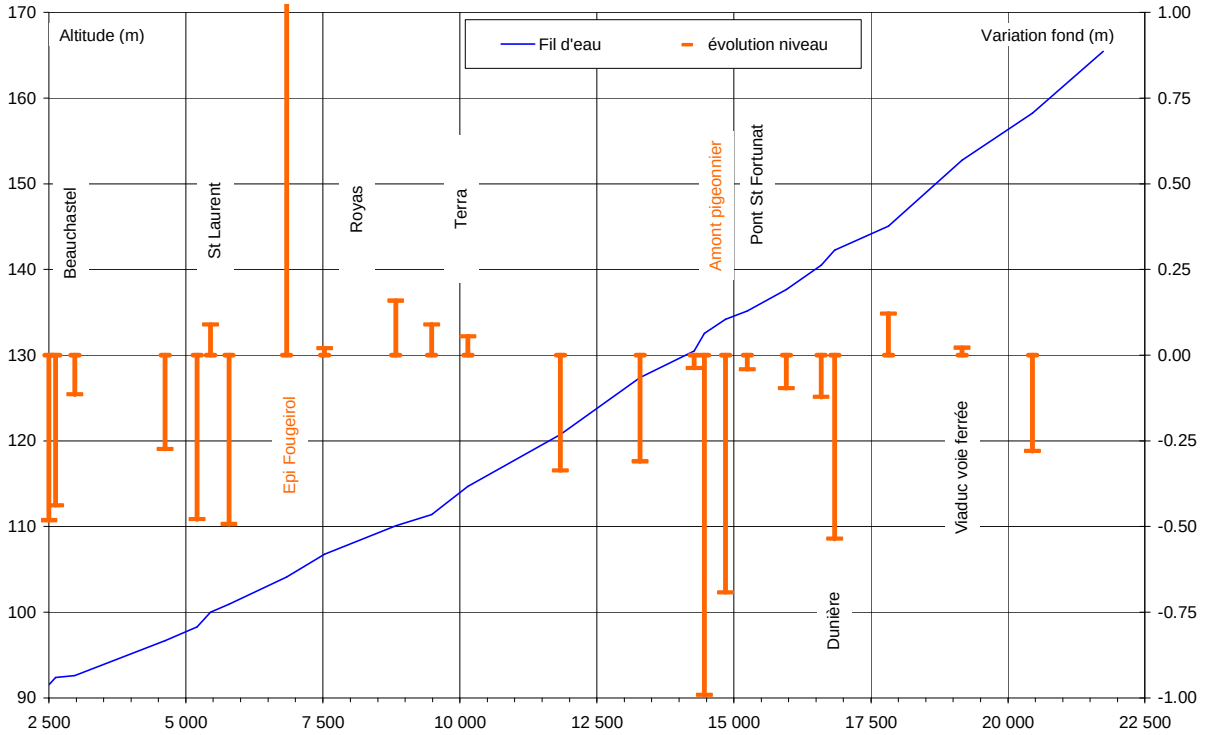


Figure 27 : Évolution des niveaux moyens dans le secteur alluvionnaire.

Ce graphique conduit évidemment aux mêmes évolutions que précédemment, avec un écart des niveaux moyens qui excède rarement quelques décimètres. Quelques points remarquables méritent d'être dégagés (de l'amont vers l'aval).

⇨ Au droit de Dunière, l'érosion correspond au recul de la berge rive gauche et à l'érosion du canal.

⇨ En amont du Pigeonnier, l'érosion correspond au recul déjà largement évoqué de la berge rive gauche. Cette divagation ne correspond pas à une pénurie en matériaux qui conduirait à un enfoncement généralisé du lit. Au contraire, les profils de part et d'autre de cette anse d'érosion n'ont pas connus de perte de volume significative. Il est même probable - mais pas mesuré - que certaines sections ait connu un remblaiement. Ces apports sont évidemment très positifs pour la zone de divagation en aval immédiat.

⇨ Dans le secteur de Terra, le lit connaît une très faible tendance au dépôt. Ce résultat était attendu, ce secteur devant connaître des évolutions contrastées :

  ~ Un engravement du lit pour compenser les extractions récentes et massives dans ce secteur. C'est l'évolution la plus rapide que l'on peut observer actuellement.

  ~ Un lent enfoncement du lit suite à la réduction des apports solides amont. Cette évolution est beaucoup plus lente et n'a - pour l'instant - par encore permis de contrer le comblement

des zones d'extractions. Il est cependant probable qu'en l'absence de réduction des apports amont, ce comblement aurait été de plus grande ampleur.

- En aval de Royas, au droit de l'épi Fougeirol, le bilan montre une forte tendance au dépôt. Cette évolution n'est pas significative.

3.4.3. Synthèse

Les levés des profils en travers confirment l'observation des profils en long et la vision générale du transport solide sur l'Eyrieux :

- La tendance - à peine significative - est plutôt à la pénurie de matériaux.
- Cette évolution est aujourd'hui très lente.
- Elle devrait se poursuivre à long terme, même si la formation d'un pavage devrait permettre de ralentir encore les phénomènes et dégager à très long terme un nouvel équilibre, avec un lit figé et beaucoup moins favorable au développement d'un milieu riche et diversifié.

4. QUANTIFICATION DU TRANSPORT SOLIDE

4.1. Granulométrie des matériaux

4.1.1. Objectif

Il s'agit ici de réaliser une mesure de la granulométrie des matériaux transportés en charriage pour permettre une quantification du transport solide. Cette mesure "exclut" les sables dont le mode de transport est différent.

4.1.2. Importance de la morphologie

Il a été possible de réaliser plusieurs dizaines de mesures de la granulométrie du lit de l'Eyrieux dans les zones alluvionnaires et dans les zones de dépôt. La figure suivante regroupe l'ensemble des mesures :

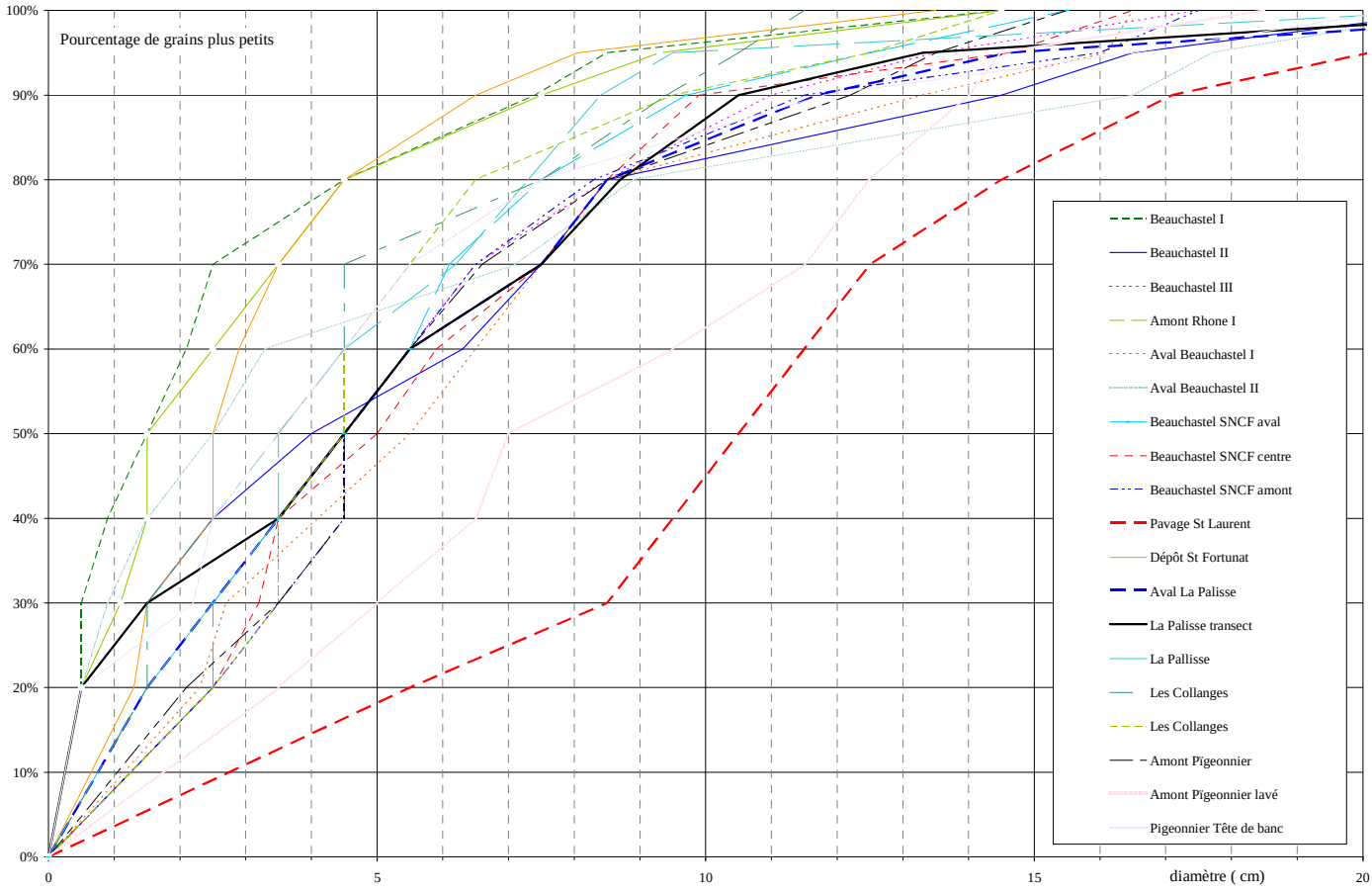


Figure 28 : Ensemble des mesures de granulométrie sur l'ensemble de l'Eyrieux.

Sur certains sites, les mesures ont été doublées ou triplées afin de réduire les incertitudes.

Ces mesures ont été réalisées en 2000 et complétées par d'autres mesures dans les zones les plus sensibles en 2011. Il n'apparait pas d'évolution mesurable de la granulométrie sur cette période.

Ces mesures sont difficilement exploitables si l'on ne prend pas en compte la morphologie du site de mesure. Ainsi, nous avons indiqué la morphologie observée sur le site lors des mesures :

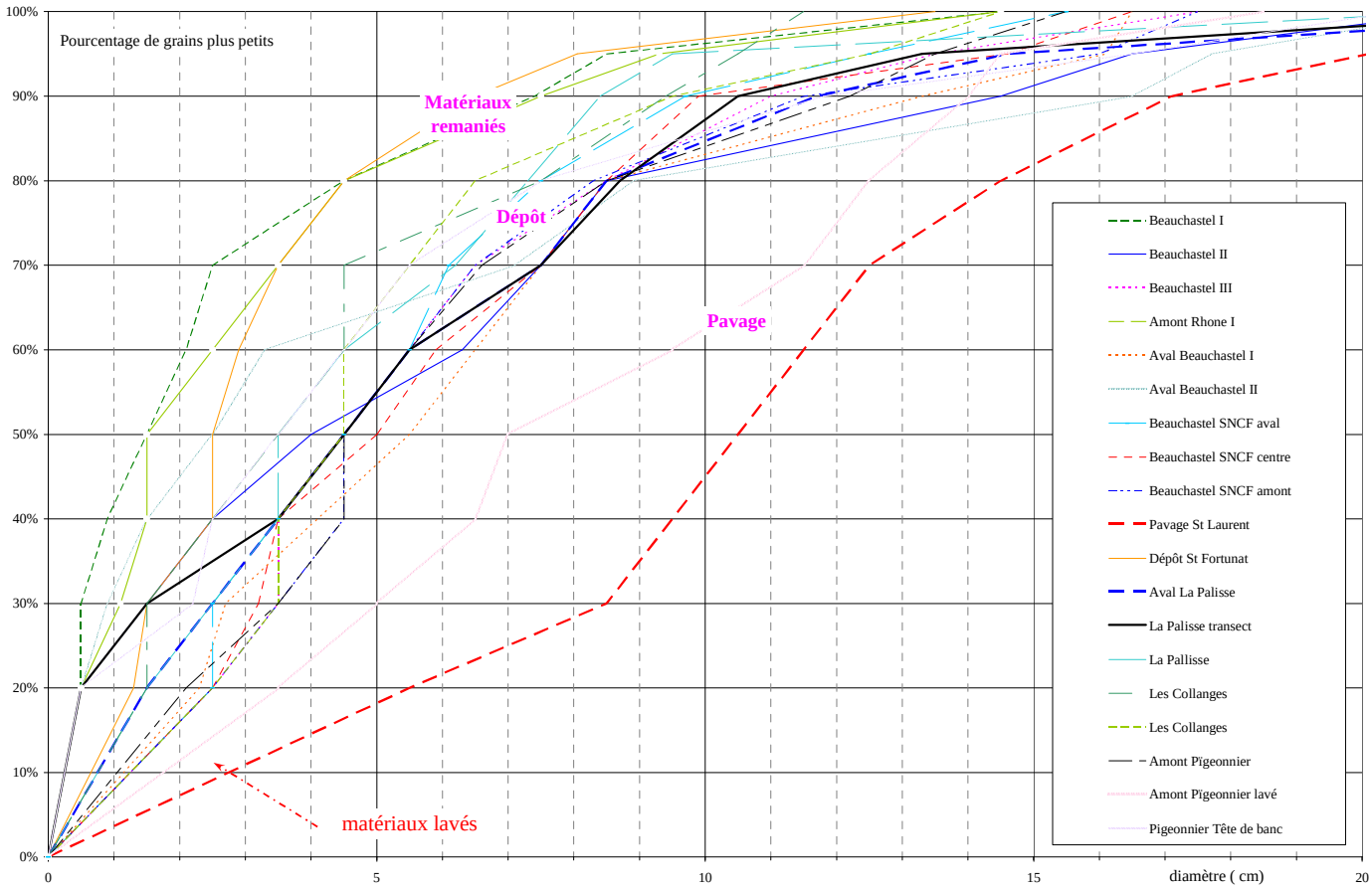


Figure 29 : Mesures de granulométrie en fonction de la morphologie.

Il apparaît que la granulométrie est directement liée à la morphologie des sites de mesure :

- Dans les zones remaniées mécaniquement, le pavage du lit a été totalement détruit. Les matériaux sont alors particulièrement fins, et incluent une fraction importante de sables et de graviers (80 % des matériaux – en poids – ont un diamètre inférieur à 5 centimètres).
- Les zones de curage correspondent à une forte tendance au dépôt, comme en aval immédiat de Beauchastel. Dans un tel cas, l'écoulement a permis un lavage du lit et un début de pavage. La granulométrie correspond à des matériaux nettement plus grossiers.
- Le pavage correspond à un tri des matériaux par l'écoulement, celui-ci apportant peu de matériaux de l'amont. Par contre, il est capable d'emporter les matériaux fins et moyens. On observe alors une structuration et un tri des matériaux afin de résister à l'écoulement. Dans un tel cas, les matériaux sont nettement plus grossiers. Une telle structure correspond généralement à une pénurie en matériaux.

Ces différentes morphologies sont abordées au paragraphe 2.2 page 8.

4.1.3. Estimation de la granulométrie sur trois sites

Il est cependant nécessaire de préciser les granulométries que l'on peut observer sur chacun des principaux sites de mesure :

- Beauchastel qui est révélateur du transport de matériaux dans la plaine alluvionnaire aval.
- Le Pigeonnier à St Fortunat qui présente une morphologie alluvionnaire totalement développée et équilibrée.
- La Palisse qui est représentative des apports dans le barrage des Collanges.

4.1.3.1. Site de Beauchastel

La figure suivante indique les mesures représentatives de la granulométrie transportée durant les crues à Beauchastel :

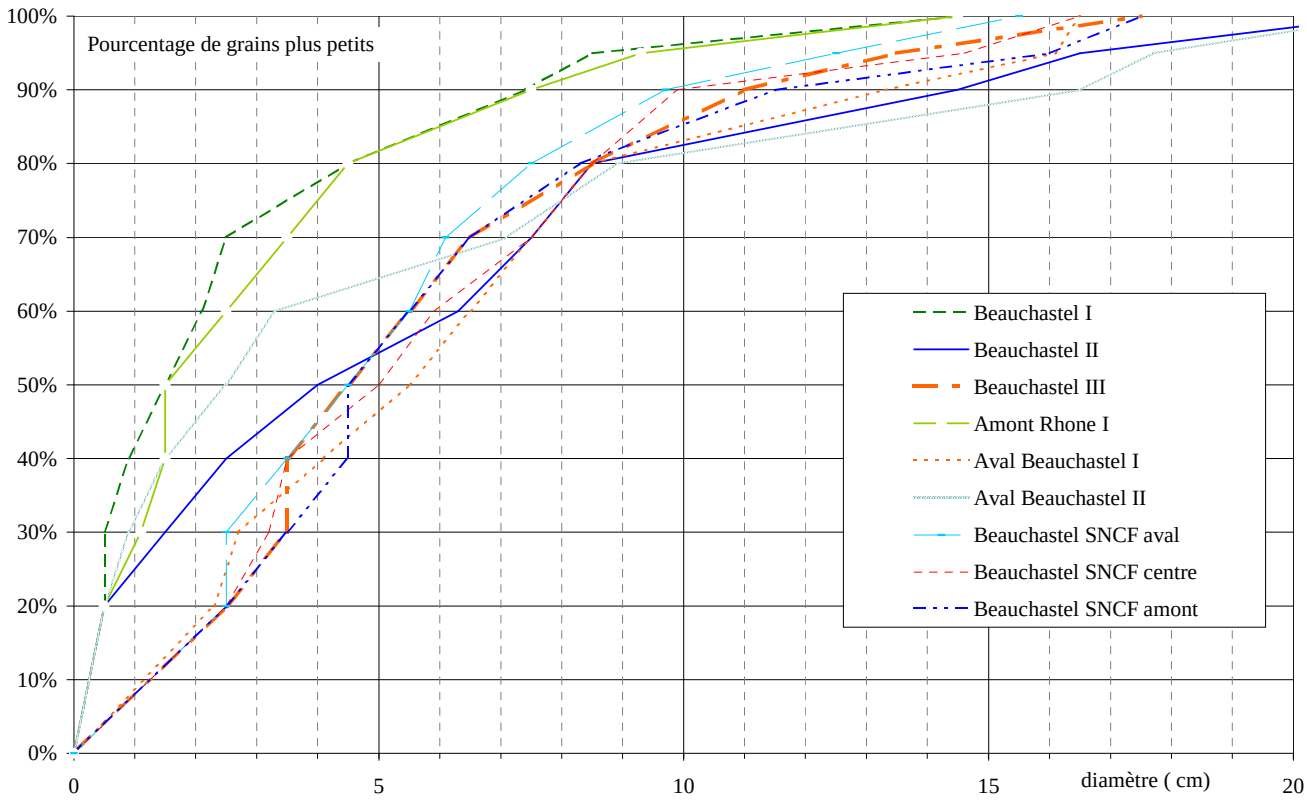


Figure 30 : Mesures sur le site de Beauchastel.

Afin de faciliter l'interprétation des mesures, des paramètres plus globaux sont retenus :

- Le d_{30} correspond au diamètre pour lequel 30 % des grains sont plus petits. Ce paramètre est représentatif des matériaux fins.
- Le d_{90} correspond au diamètre pour lequel 90 % des grains sont plus petits. Ce paramètre est révélateurs des matériaux grossiers.
- Le d_m correspond au diamètre moyen des grains de l'échantillon. Il s'agit d'un bon indicateur de la granulométrie d'ensemble.
- Le rapport d_{90} / d_{30} indique l'étendue granulométrique de l'échantillon.

L'observation de ce graphique conduit à retenir les paramètres suivants pour la granulométrie transportée lors des crues dans la zone aval :

d_{30}	d_m	d_{90}	d_{90}/d_{30}
2 cm	6 cm	14 cm	7

4.1.3.2. Pigeonnier à St Fortunat

La figure suivante montre les résultats obtenus sur ce site :

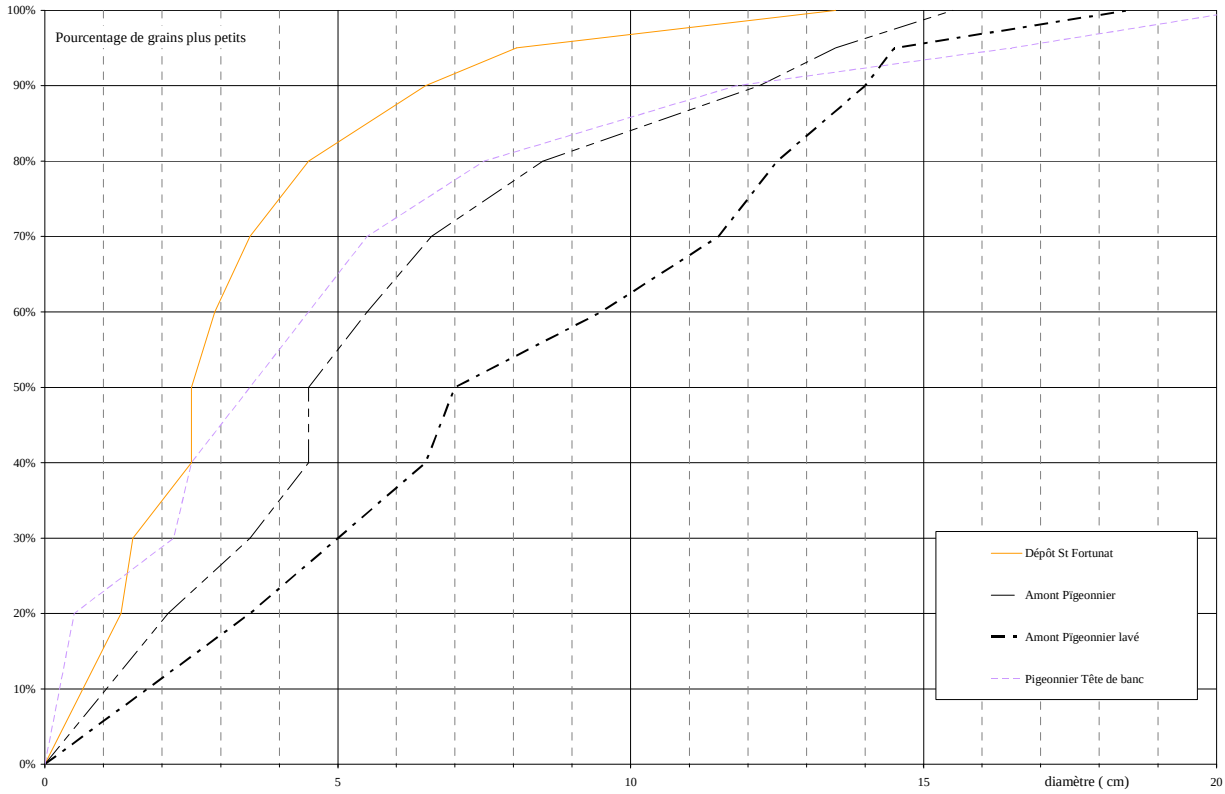


Figure 31 : Granulométrie à St Fortunat.

Ce graphique met en évidence l'effet de la morphologie avec des dépôts fins - et repérés comme tels - et une zone pavée dans un secteur à haute vitesse qui témoigne d'une surreprésentation de matériaux grossiers. L'observation de ce graphique conduit à retenir les paramètres suivants pour la granulométrie transportée lors des crues dans la zone aval :

d_{30}	d_m	d_{90}	d_{90}/d_{30}
2.5 cm	6 cm	12 cm	5

4.1.3.3. Queue de retenue des Collanges

De la même façon, il est possible de connaître la granulométrie des apports en amont du barrage des Collanges. L'observation du graphique page suivante conduit à retenir les paramètres suivants pour la granulométrie des matériaux transportés lors des crues dans la zone aval :

d_{30}	d_m	d_{90}	d_{90}/d_{30}
2.5 cm	6 cm	10 cm	4

Les courbes correspondantes sont regroupées dans le graphique suivant :

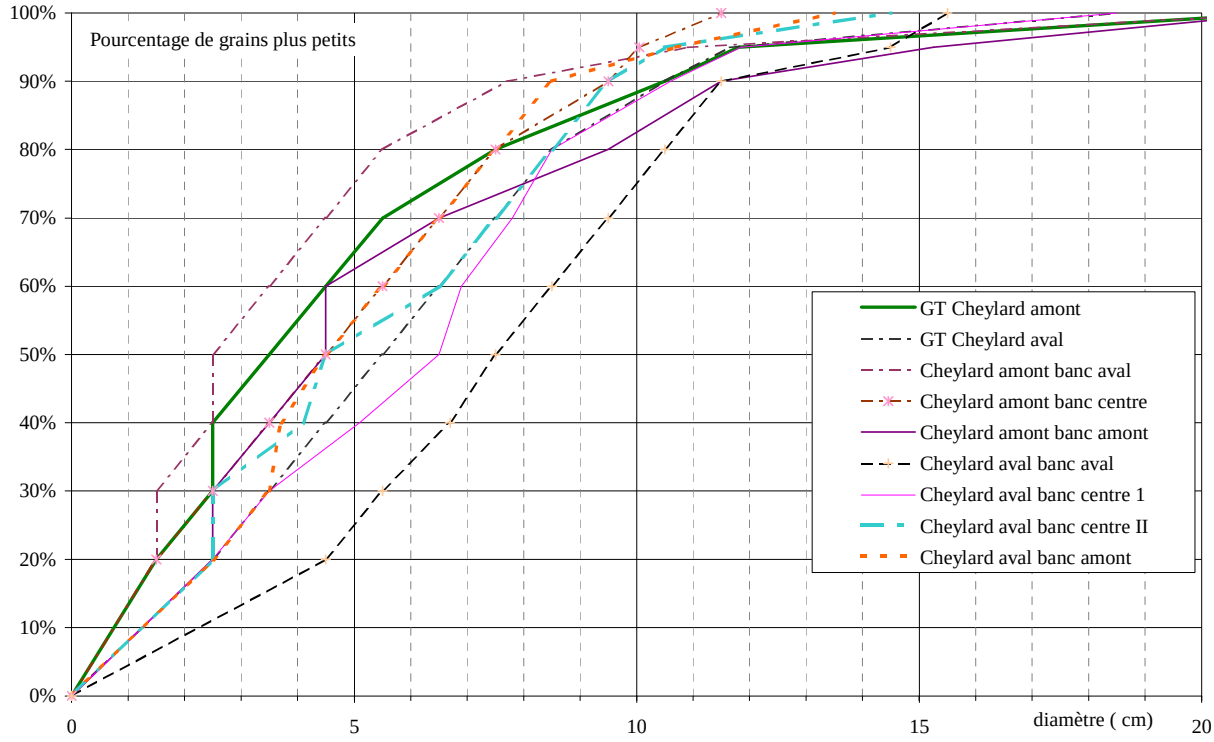


Figure 32 : Mesures de granulométrie aux Collanges.

4.1.3.4. Synthèse

On remarque que les caractéristiques granulométriques ne sont pas significativement différentes entre le Cheylard et Beauchastel. Cette constatation est – a priori – surprenante, la granulométrie des matériaux diminuant classiquement de l'amont vers l'aval.

Il est étonnant de constater que le rapport d_{90} /d_{30} augmente en allant vers l'aval alors que classiquement ce rapport - révélateur du tri des matériaux - a tendance à diminuer en allant vers l'aval Cette évolution s'explique peut être par un d_{90} supérieur en aval lié à un lavage plus intense et à un dépôt moins brutal que dans le secteur des Collanges.

Outre les incertitudes – importantes – liées à de telles mesures, deux explications permettent de mieux comprendre la faiblesse de cette différence :

- L'usure – par abrasion – des matériaux est visiblement très faible, ce qui montre que les matériaux arrivant au Cheylard ont déjà été triés dans le lit amont et sont très résistants, ce que l'observation de terrain confirme.
- Le tri sélectif n'est pas important dans les gorges aval, ce qui s'explique par la faible étendue des zones de dépôt potentiel, le lit majeur de l'Eyrieux étant souvent confondu avec son lit mineur.

4.2. Calcul des volumes transités en charriage

4.2.1. Méthode

Il est possible de calculer le volume de matériaux qui transite en charriage en fonction des conditions d'écoulement et de la granulométrie des matériaux. Ce calcul n'est possible que dans les zones alluvionnaires car, sur un lit pavé, la capacité de transport est supérieure au transport effectif.

Le calcul est donc réalisé dans une zone réunissant deux caractéristiques :

- Il est nécessaire que le secteur soit clairement alluvionnaire.
- On recherche une zone de dépôt où des bilans de volumes - éventuellement avec des curages - sont possibles.

Sur le bassin versant seuls deux sites réunissent ces caractéristiques :

⇒ L'amont de la retenue des Collanges où le barrage arrête des matériaux et a formé une vaste zone alluvionnaire.

⇒ L'amont de Beauchastel, très représentative du transport solide dans le secteur aval de l'Eyrieux.

Le calcul du transport solide est réalisé en considérant qu'il découle de l'addition de deux phénomènes :

- Le transit des matériaux lors des crues. C'est particulièrement le cas sur l'Eyrieux qui présente une hydrologie très tranchée.
- Le transit lors des périodes de hautes eaux. Le débit solide est alors modéré mais il se produit sur de longues périodes. Le phénomène caractéristique de cette situation est celui de la fonte des neiges, peu important dans le cas de l'Eyrieux.

Pour réaliser ce calcul, on utilise la formule de Lefort de 2005 qui est particulièrement bien adaptée au calcul du transit dans une rivière telle que l'Eyrieux.

Cette formule est issue d'un travail toujours en cours et devrait connaître encore des évolutions. Elle fournit cependant des résultats remarquables pour une très large gamme de situation (pente, granulométrie, morphologie…).

On verra qu'elle conduit à des résultats un peu plus faibles - mais plus fiables - que la formule employée dans l'étude ETRM de 2001.

Formule Lefort (2005)

1. NOTATIONS ET LIMITATIONS

B	**largeur du lit ou de la bande active (m)**
Q	**débit liquide de la bande active (hors zones boisées) en m^3/s**
Q_0	**débit de début de mouvement (m^3/s)**
J	**pente de la rivière suivant axe médian < 200/1000**
d_m	**diamètre moyen = Σ (d ΔP) /P > 0.1 mm**
d_{90}/d_{30}	**étendue granulométrique < 20**
d_{m*}	**diamètre adimensionnel = $d_m [g(s-1)/\nu^2]^{1/3}$**
s	**densité du matériau > 1.1**
kr	**coefficient de Strickler du matériau = 21.1 / $d_m^{1/6}$**
ks	**coefficient de Strickler du lit**

2. DÉBUT D'ENTRAÎNEMENT

$$\frac{Q_0}{\sqrt{g\left((s-1)d_m\right)^5}} = 0.02795\, C_{(d^*)} \left(\frac{B}{(s-1)\,d_m}\right)^{2/3} J^{-n}$$

Si $d_{m*} < 200$ $C_{(d^*)} = 1 + \frac{18.89}{1+d_m*} - 2.202\, e^{-0.0172\, d_m*}$ **sinon C(d*) = 1**

n = 1. 722 + 0.09 log J variation de l'exposant pente dans Qo

3. CONCENTRATION CPM (PPM =MG/LITRE)

$$Cpm = 3.593.10^6\, cor \left(\frac{d_{90}}{d_{30}}\right)^{0.22} \frac{S}{(S-1)^{1.375}}\, J^m \left[\log\left(\frac{Q}{Q_0}\right)\right]^Z$$

m = 1.887 + 0.09 log (J) variation de l'exposant pente dans Cpm

$$Z = 0.775 + \frac{4.22}{J^{1/9}\, d_{m*}^{0.8}}$$

4. CORRECTION DE DUNE

Si $d_m < 0.5$ mm et ks/ kr < 0.625 $cor = 1 - 0.875\, e^{\left(-0.0355 \left(\frac{Ks}{Kr}\right)^{2.4} \frac{Q}{Q_0}\right)}$ **sinon cor = 1**

4.2.2. Phénomènes de crue

4.2.2.1. Plaine alluvionnaire aval

A partir des résultats de l'étude hydrologique réalisée par Hydrétudes en 2000, il est possible de connaître la forme d'un hydrogramme moyen. Il convient de noter que, pour un même débit de pointe, certaines crues sont plus longues – et transportent plus de matériaux – alors que d'autres, plus courtes, en transportent moins. Le résultat présenté correspond à la durée la plus probable établie par l'étude hydrologique de Hydrétudes.

Pour chaque débit liquide, il est possible de calculer un débit solide correspondant en fonction de la géométrie du lit et de la granulométrie des matériaux.

Le graphique suivant indique le résultat pour une crue centennale :

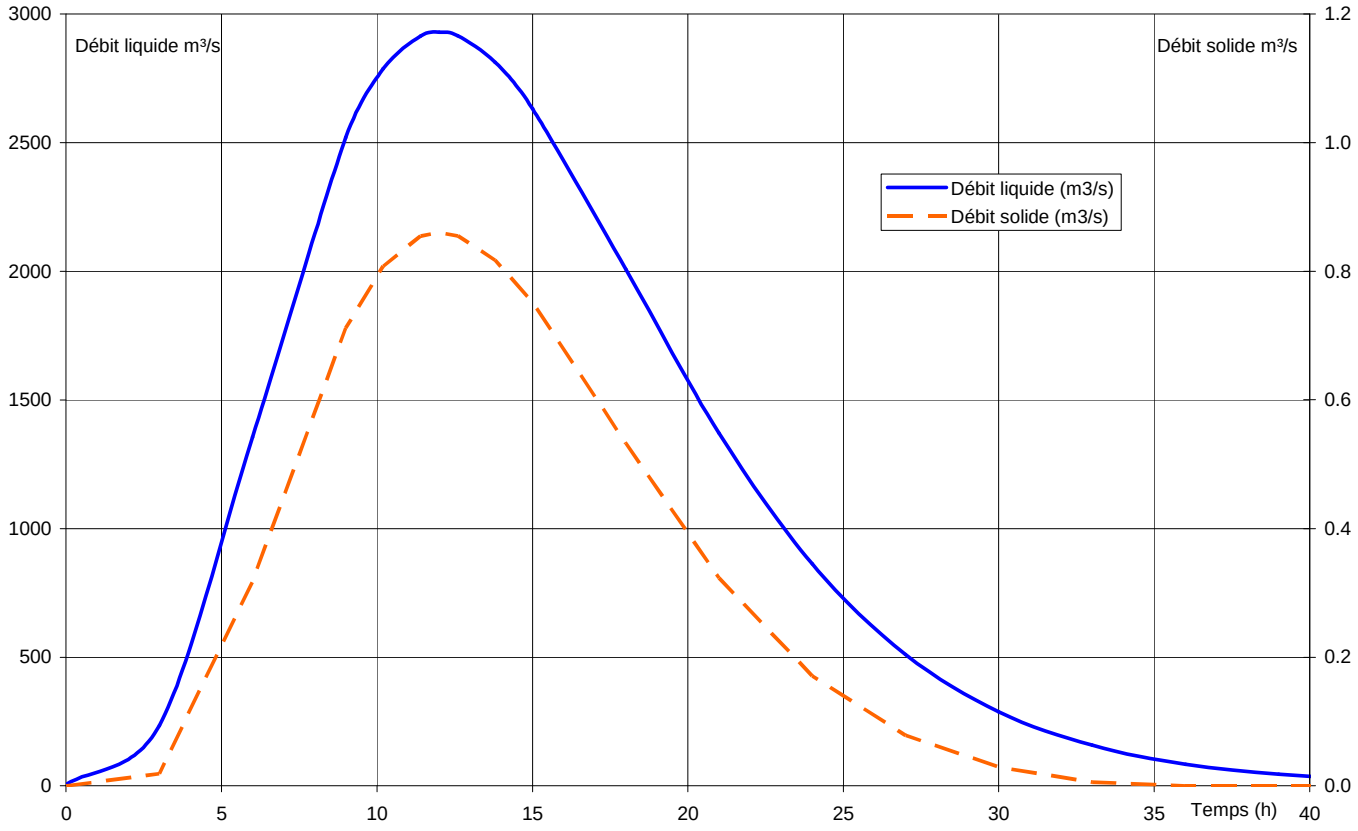


Figure 33 : Débits liquide solide pour une crue centennale en amont de Beauchastel.

Ce calcul est réalisé pour la plaine alluviale de l'Eyrieux, c'est-à-dire en amont de Beauchastel.

Le volume transité durant la crue est de l'ordre de 41 000 m³.

Il convient de noter qu'il s'agit d'un majorant du transport solide réel de matériaux, une fraction du débit s'écoulant dans le lit majeur sans participer au transport solide par charriage. Cet écoulement secondaire est très variable dans l'espace et ne concerne que les plus forts débits.

Seul le débit liquide dans le lit mineur contribue effectivement au transport solide par charriage, ce qui conduit à des fluctuations importantes de la capacité de transport le long de l'Eyrieux. De plus, la répartition des débits solides entre lit mineur et lit majeur varient fortement suivant les débits.

Il apparaît donc que le transport solide lors des crues est un phénomène complexe et variable dans le cas de débordements massifs, comme dans la plaine alluvionnaire aval.

4.2.2.2. Queue de retenue des Collanges

Le même calcul est possible à l'aval du Cheylard, comme le montre le graphique suivant :

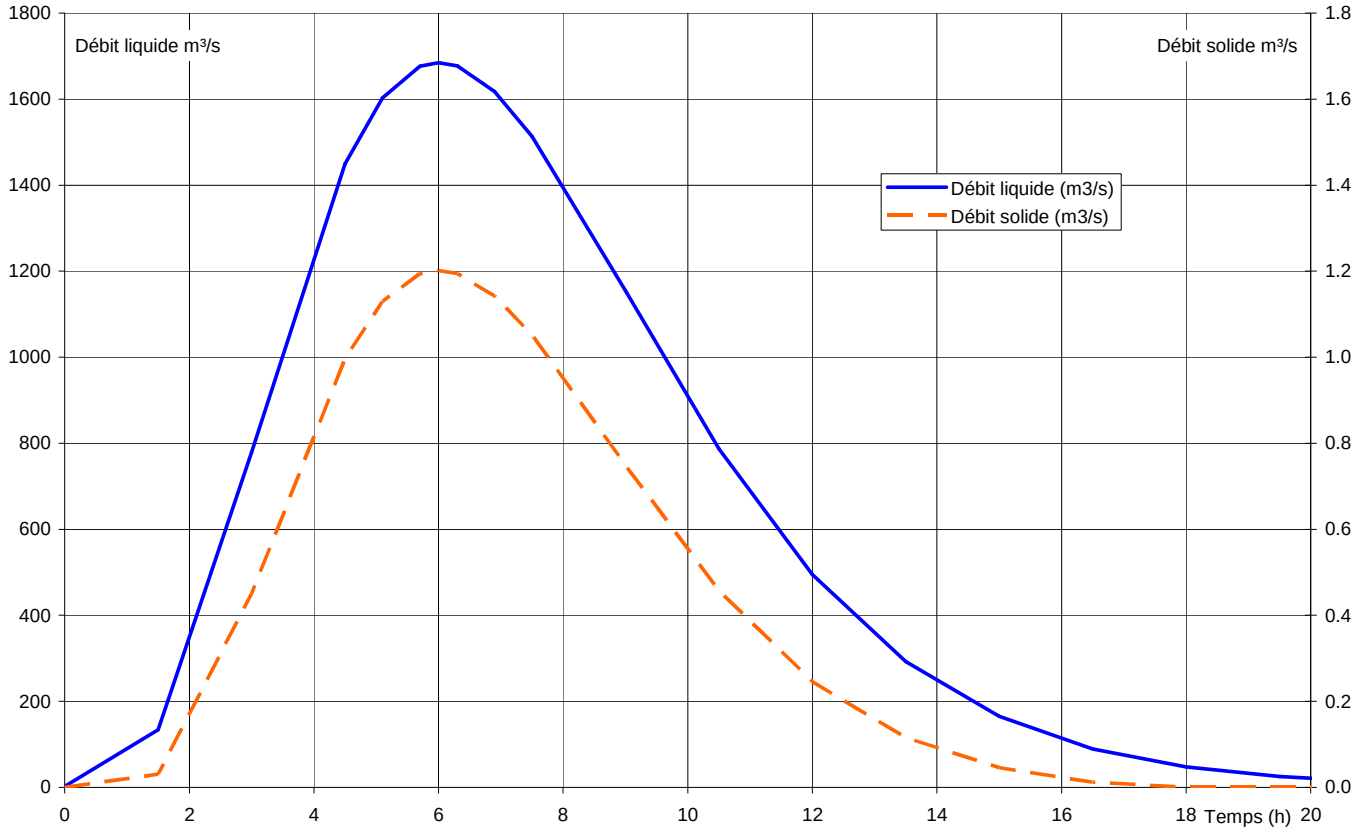


Figure 34 : Débits liquide et solide pour une crue centennale à l'aval du Cheylard.

Ce graphique met en évidence l'évolution du transport solide le long de l'Eyrieux : il est plus intense mais se produit moins longtemps que dans le cours aval, la crue étant plus courte.

Le volume correspondant à une telle crue est de l'ordre de 30 000 m³. Ici, l'incertitude liée à la répartition des débits entre lit mineur et lit majeur est plus faible. Par contre, la zone de dépôt correspondant à un comportement transitoire, la pente d'équilibre est beaucoup plus imprécise que dans le lit alluvionnaire aval.

4.2.3. Débits intermédiaires

Il est possible de réaliser le même type de calcul pour approcher le volume de matériaux transporté en moyenne chaque année. Cependant, dans le cas de l'Eyrieux, le pavage du lit réduit fortement le transport solide des matériaux grossiers et le limite aux phénomènes de crue.

Ainsi, la méthode utilisée ici pour la détermination des volumes moyens annuels est la suivante :

- Détermination statistique des 100 plus fortes crues en un siècle.
- Vérification que les crues les plus faibles de l'échantillon ne transportent pas de matériaux. En effet, dans le cas contraire, il est nécessaire d'utiliser la courbe des débits classés ou, plus classiquement, toutes les observations de débits sur plusieurs décennies.
- Calcul du volume transporté pour chacune des crues.
- Sommation des volumes transportés et calcul de la moyenne interannuelle.

La méthode employée montre que le débit solide est très variable d'une année sur l'autre en fonction de l'hydrologie. Ainsi, il peut être nul certaines années et dépasser 50 000 m³ les années exceptionnelles avec une très forte crue ou plusieurs petites.

La figure suivante indique l'évolution du volume solide transité en fonction de la période de retour en amont de Beauchastel :

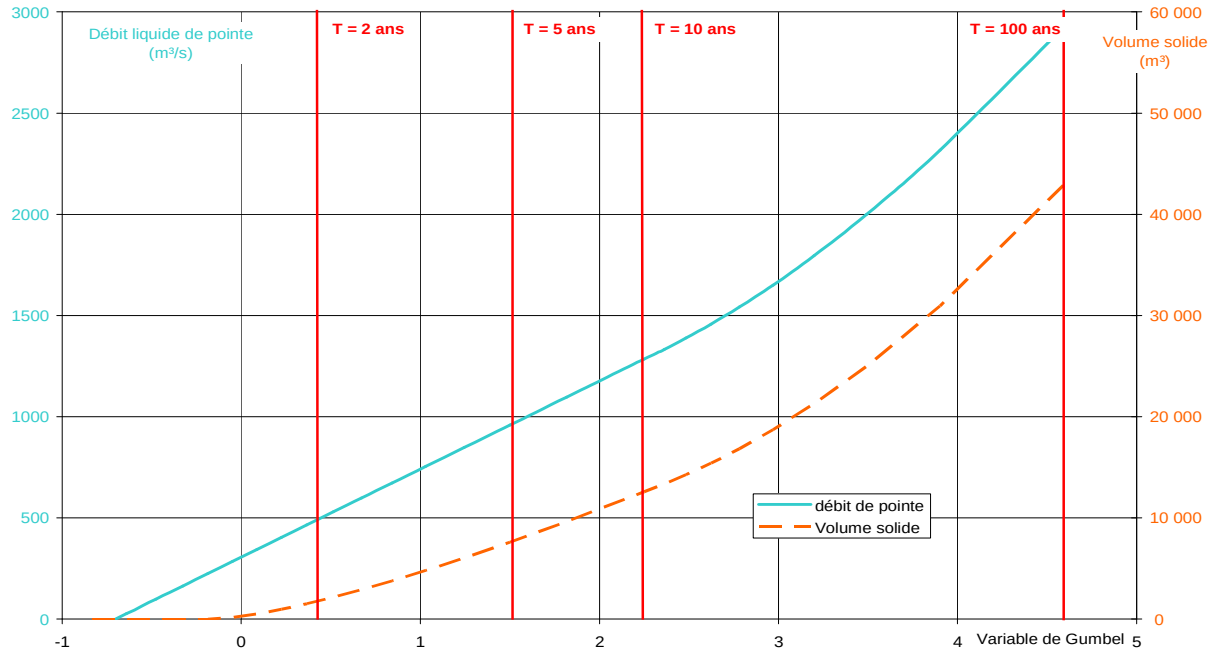


Figure 35 : Évolution du volume transité en fonction de la période de retour de la crue.

Ce graphique montre que le transport solide augmente plus vite que le débit liquide en fonction la période de retour. Cela est particulièrement vrai pour les petites crues qui n'atteignent pas le seuil de début de transport.

Pour les affluents, l'absence de lit alluvionnaire ne permet ni la détermination de la granulométrie des matériaux transportés, ni la connaissance de la pente d'équilibre. Une quantification est donc hors de portée.

4.2.4. Bilan des apports par charriage

En sommant les apports probables sur un siècle, il est possible de dégager une moyenne des apports moyens, sachant que le volume transporté par charriage est quasiment nul certaines années alors qu'il peut dépasser 50 000 m³ les "bonnes" années.

Le tableau suivant indique les volumes moyens annuels ainsi obtenus :

Aval du Cheylard	3 000
St Laurent du Pape	4 000

Les volumes de matériaux transportés sont modérés pour un bassin versant aussi étendu. Il convient de rappeler qu'il s'agit des volumes de matériaux grossiers transportés en charriage à l'exclusion - notamment - du sable.

4.3. Transport en suspension

Le transport solide en suspension est très mal connu sur l'Eyrieux. En effet, il est relativement faible, ce qui réduit encore son influence. Les enjeux par rapport aux fines sont très faible ce qui explique qu'il n'y ait pas, comme sur certaines rivières, de mesures continues de la concentration en fines.

Une mesure systématique de la concentration en fines a cependant été réalisée dans le cadre du mémoire[2] de Félicien Charrier en 2006. Le graphique suivant indique l'évolution de la concentration en fines sur la période mai 2005 - juillet 2006 :

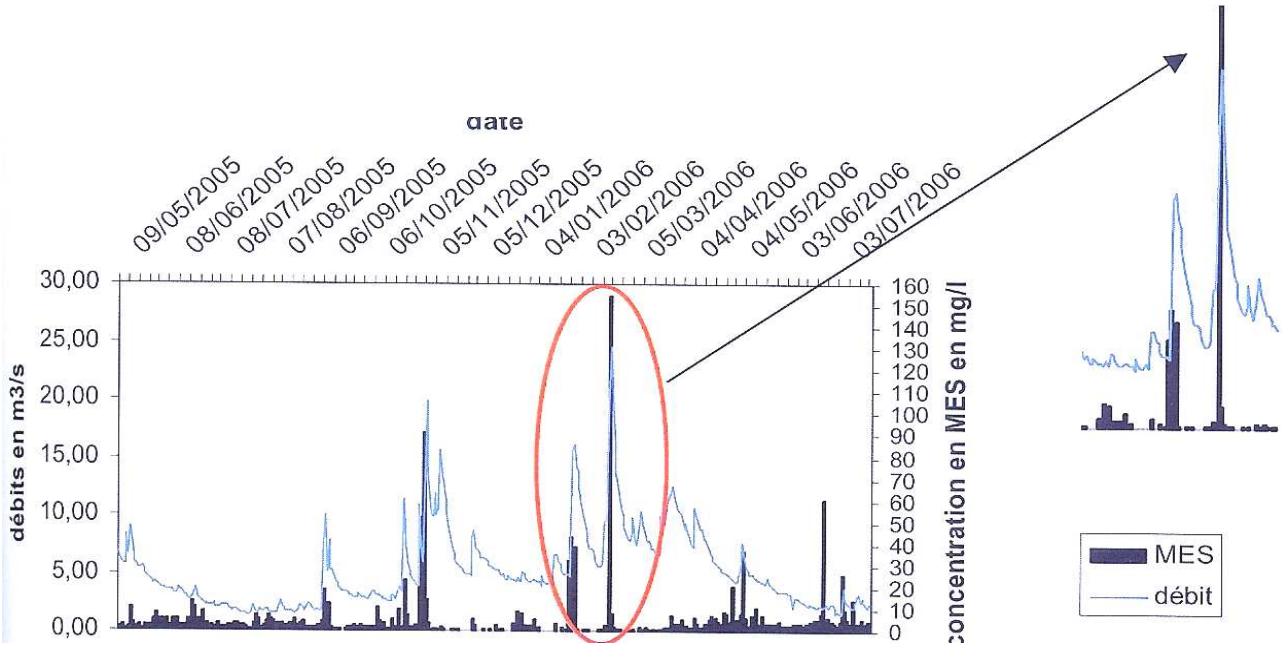


Figure 36 : Mesure de la concentration et du débit au Cheylard (F. Charrier-2006).

Ce graphique montre que la concentration en fines est très faible :

- Elle est quasi nulle la plupart du temps. Il est bien connu que l'eau de l'Eyrieux est généralement limpide si l'on fait abstraction des matières organiques.
- Même la plus forte mesure en un an (0.16 g/l) est faible. Cette faiblesse est normale dans un bassin versant granitique, la production de fines étant très réduite. Même si les prélèvements manuels ont pu laisser échapper des pointes de concentration, celle-ci reste faible même lors des épisodes les plus intenses.
- Il est probable que les cours d'eau drainant des terrains volcaniques ou schisteux (Boyon) peuvent connaître des concentrations plus fortes, mais la - très - faible superficie de badlands dans les bassins versants réduit l'ampleur des concentrations possibles. Les résultats présentés correspondent au site du Cheylard, qui concentre quasiment tous les matériaux volcaniques.

[2] Félicien Charrier - Master 2 EGEPM - Essai de caractérisation de la dynamique fluviale du haut Eyrieux (un système anthropisé) - Septembre 2006.

Le graphique suivant montre le lien entre concentration et débit liquide :

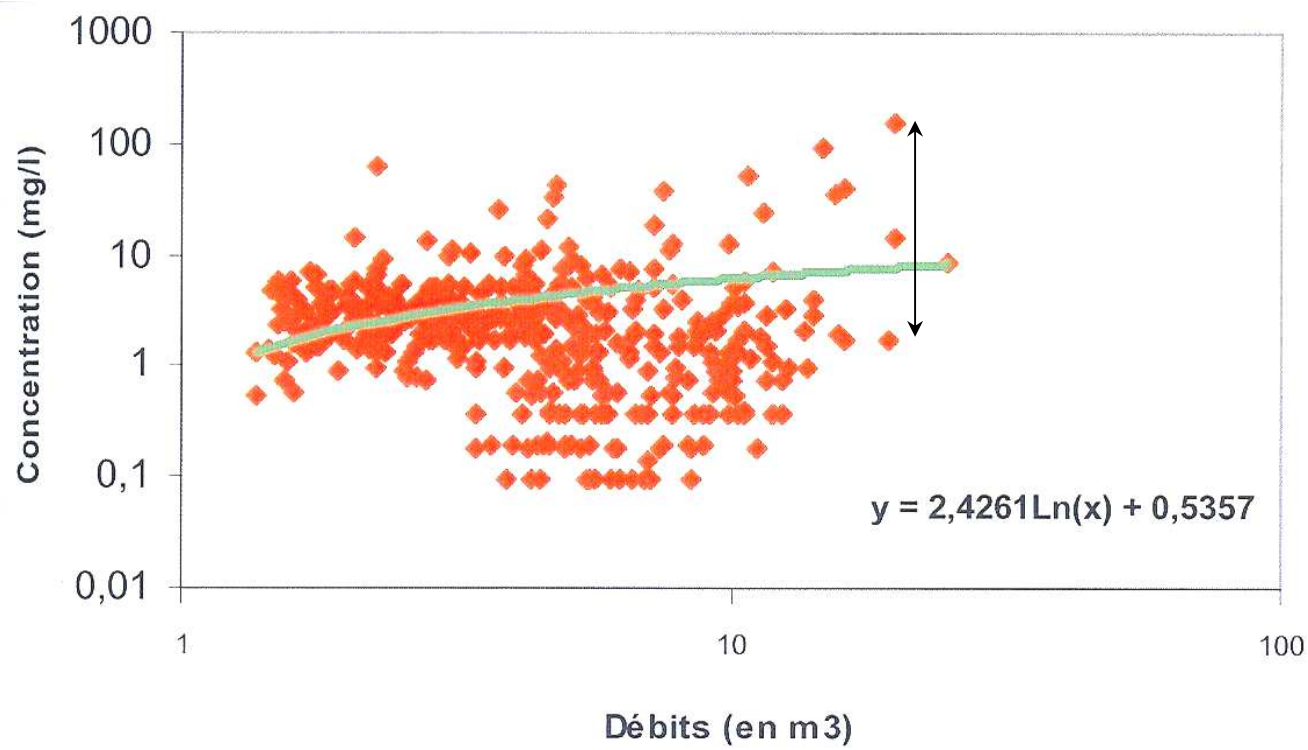


Figure 37 : Relation entre concentration en fine et débit liquide (F. Charrier-2006).

Ce graphique montre l'absence de corrélation entre débit liquide et concentration. Il est vrai que les débits liquides les plus élevés correspondent plutôt à de fortes concentrations. Cependant la flèche sur le graphique précédent montre qu'un même débit liquide peut conduit à un rapport de 1 à 100 sur les concentrations !

Ainsi, le transport en suspension reste modéré sur le bassin versant et aucune quantification n'est possible en l'absence de mesures systématiques sur le long terme.

Cette faiblesse du transport solide en suspension est confirmée par l'étude réalisée par ECO HYDRO SERVICE pour le SDEA en 2001 : deux mesures ont été réalisées durant des crues, avec des concentrations respectives de 1 et 5 mg/l, cohérentes avec les mesures précédentes… et très faibles pour des écoulements de crue.

Une caractéristique importante des dépôts de matériaux fins réside dans l'hystérésis très marqué entre les dépôts et la reprise des matériaux :

- Le dépôt ne peut se produire qu'avec une très faible turbulence. Pour fixer les idées, une contrainte de cisaillement inférieure à 0.2 Pa est souvent nécessaire pour obtenir le dépôt des fines. Cette valeur est très faible et le dépôt des fines est difficile.
- Par contre, une fois déposées, les fines sont très difficiles à reprendre. En effet, le dépôt devient cohésif et une contrainte de cisaillement de 6 Pa - voir 15 Pa - peut être nécessaire pour obtenir une reprise des matériaux, soit des valeurs au moins trente fois supérieures.

Ainsi, il est plus facile d'éviter le dépôt des fines que d'assurer leur reprise. Les zones de dépôt de fins sont d'ailleurs rarissimes dans le bassin versant de l'Eyrieux.

4.4. Ensemble des matériaux transportés

4.4.1. Démarche retenue

Le cas de l'Eyrieux est extrêmement délicat pour la quantification du transport solide à cause du rôle du sable qui a un comportement intermédiaire entre celui des matériaux en suspension dans l'écoulement et celui des matériaux charriés qui interagissent fortement avec le lit.

L'analyse des conditions d'écoulement ne permet que la détermination de la fraction de matériaux qui transitent en charriage. La majorité des matériaux en transit échappe donc au calcul alors qu'elle interagit en partie avec le lit !

La démarche retenue consiste à prendre en compte l'ensemble des données disponibles dans les deux secteurs où le dépôt des matériaux est presque complet :

- Dans la retenue des Collanges où la quasi-totalité des matériaux se déposent, seule une très faible fraction des matériaux en suspension pouvant passer sur le barrage.
- En amont de la confluence avec le Rhône où le dépôt des matériaux grossiers est presque complet. Par contre, il parait probable que lors des crues les fines poursuivent leur transit en suspension. Le dépôt des sables ne serait que partiel et très dépendant du débit liquide.

Cette méthode ne peut pas être étendue aux affluents car elle nécessiterait la connaissance

- de bilans volumétriques dans des retenues au niveau de chacun des points de calculs,
- de la pente d'équilibre correspondant au transport solide par charriage qui n'est généralement pas accessible par manque de zones alluvionnaires significatives.

A partir de ces données et du calcul de transport solide réalisé précédemment pour la seule fraction transportée en charriage, un bilan global du transport solide sera réalisé.

4.4.2. Observations

4.4.2.1. Confluence avec le Rhône

La CNR a aimablement communiqué les données dont elle disposait qui sont - a priori - très fiables et peuvent être reprises pour la quantification du transport solide :

- Les extractions en aval du viaduc SNCF ont été arrêtées en 1986. Elles avaient été au moins de 12 200 m³ entre 1971 et 1974 et de 78 000 m³ entre 1974 et 1986 soit une moyenne de 6 000 m³/an. Il s'agit de matériaux relativement grossiers car vendus aux entreprises.
- Aucun prélèvement entre 1986 et 1992 à l'exception d'un prélèvement de 24 000 m³ mentionné dans les factures de la CNR.
- De mai 1992 à septembre 1995, la CNR a prélevé 78 200 m³.
- De 1993 à 1997, des levés topographiques et le cubage des extractions conduisent à un apport moyen de 19 300 m³/an. Il convient de noter que l'Eyrieux a alors subit deux fortes crues en 1995 (T= 5 ans) et en 1996 (T= 10 ans). D'autres chiffres plus récents indiquent un dépôt de 33 000 m³ de 1995 à 1997 ce qui parait faible. La CNR considère un apport de l'ordre de 20 000 m³/an, volume qui inclut une forte majorité de sables.
- En 2004, la CNR a procédé à un curage massif de 190 000 m³.

La CNR retient un apport annuel moyen de 20 000 m³ en considérant la répartition suivante :

- 19 000 m³/an de "graviers". Il parait très probable que ce volume intègre une très forte fraction de sables.
- 1 000 m³/an de limons. Ce volume correspond au dépôt et non au transit. En effet, malgré une large section dans le cours terminal, l'essentiel des matériaux en suspension lors des crues poursuit son transit vers le Rhône.

L'estimation du BCEOM en 1985 est de 42 000 tonnes par an soit environ 25 000 m³. Cette estimation basée sur les formules de transport solide concernerait uniquement les matériaux transportés en charriage. Elle parait très excessive si ce calcul n'intègre pas les sables, ce point n'étant pas abordé dans le rapport.

SOGREAH (dans l'étude sur le transport solide du Rhône réalisée en 2000) considère un apport de 8 000 m³ par an par l'Eyrieux. Les apports en suspension serait de 40 000 T/an soit environ 24 000 m³ soit un total de 32 000 m³, tous matériaux confondus.

L'estimation réalisée au § 4.2.4 était de 4 000 m³.

Les extractions réalisées par la commune au niveau des ponts auraient été de :

- 900 m³ en 2000.
- 10 000 m³ en 2003. Ce curage a été remblayé lors de la crue de décembre 2003.
- La prévision d'extraction dans cette zone serait de 17000 m³ tous les 5 ans soit 3400 m³/an. Le dépôt concerne presque exclusivement les matériaux transportés en charriage, mais une partie de ces matériaux grossiers transitent plus en aval, dans la concession CNR.

De plus, le syndicat Eyrieux Clair a effectué des curages de 10 000 m³ en 2005 et 7 500 m³ en 2007.

A partir de ces estimations, les valeurs suivantes peuvent être dégagées :

- Apport de graviers et de galets (charriage) : 5 000 m³/an, cette valeur étant intermédiaire entre les estimations de SOGREAH et les calculs réalisés précédemment.
- Apport de sable (saltation) : 14 000 m³/an, ce qui permet d'atteindre l'estimation de 19 000 m³/an de la CNR. Le transport par sable est particulièrement élevé, à l'image d'un bassin versant granitique.
- Apport de fines (suspension) : 11 000 m^3 ce qui correspond aux 1 000 m³/an qui se déposent dans la concession CNR et à 10 000 m³/an qui transitent vers le Rhône. Cette estimation permet de retrouver les volumes solides estimés par SOGREAH. C'est très vraisemblablement sur ce type de transport solide que l'incertitude est la plus forte… mais qu'elle a le moins de conséquences, les fines en suspension transitant facilement.

Le volume total annuel moyen serait alors de **30 000 m³/an**.

Rappelons que les incertitudes sur ce type de détermination sont particulièrement importantes, avec une valeur réelle vraisemblablement comprise entre la moitié et le double de cette estimation.

La figure suivante illustre la réparation des volumes ainsi obtenue :

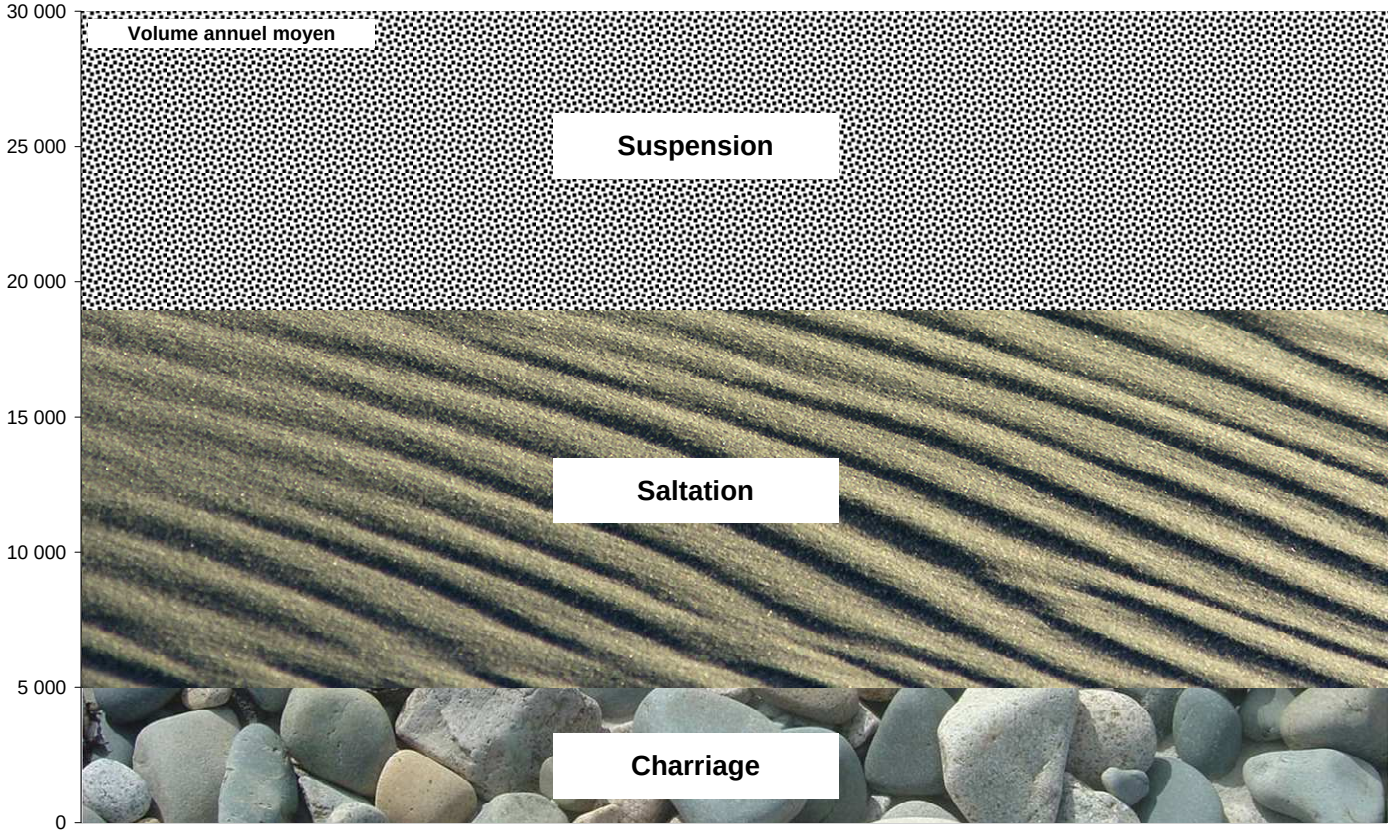


Figure 38 : Bilan de volume solide sur l'Eyrieux aval.

4.4.2.2. Plan d'eau des Collanges

Cet ouvrage est en service depuis 1980.

Un curage a été réalisé en 1989, avec le prélèvement de 14 000 m³. Un prélèvement de 80 000 m³ de matériaux était prévu en 2001 mais il n'a pas été réalisé, la retenue continuant son remplissage. Les données sur cet ouvrage sont relativement réduites.

Le mémoire[3] de Félicien Charrier de 2006 inclut un levé bathymétrique de la retenue.

Les figures suivantes montrent les niveaux correspondant aux levés de 1980 et 2006 et indiquent, classiquement, la progression du dépôt de l'amont vers l'aval.

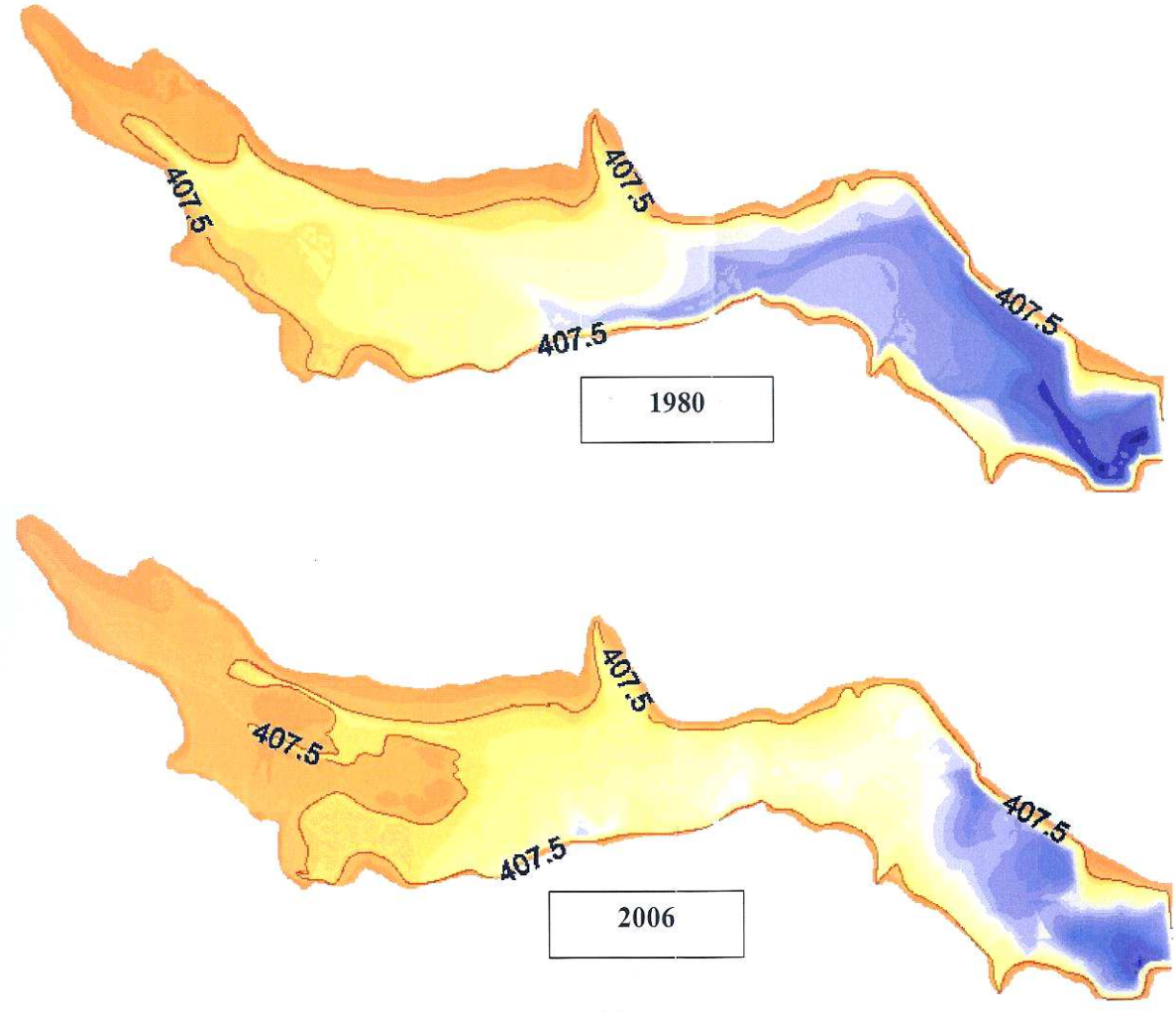


Figure 39 : Engravement de la retenue entre 1980 et 2006 (F. Charrier-2006).

[3] Félicien Charrier - Master 2 EGEPM - Essai de caractérisation de la dynamique fluviale du haut Eyrieux (un système anthropisé) - Septembre 2006.

Les chiffres annoncés dans ce rapport sont les suivants :

- Volume initial de la retenue en 1980 de 3.5 millions de m³. Ce volume a été recalculé à partir des plans de la retenue avant la mise en eau.
- Volume de la retenue en 2006 de 2.7 millions de m³. Ce volume a été déterminé à partir d'un levé bathymétrique.
- La perte de volume serait alors de 800 000 m³ en 26 ans, soit en moyenne **31 000 m³/an**.

Cette perte de volume correspond - évidemment - aux apports solides mais aussi aux apports organiques qui sont apportés ou produits dans la retenue. Ces apports organiques seraient de plusieurs milliers de m³ par an et sont d'autant moins négligeables que les apports solides sont faibles.

D'autre part, la CNR a fait réaliser en 2010 un nouveau levé bathymétrique. Les chiffres annoncés par cet organisme sont les suivants :

- Volume initial en 1980 de 3.15 millions de m³. Ce chiffre est celui correspondant aux dossiers établis en vue de la réalisation de ce barrage.
- Volume en 2010 de 1.8 millions de m³. D'après la CNR, ce volume a été déterminé par SOGREAH à partir d'un levé bathymétrique.
- Les apports seraient alors de 1 350 000 m³ en 30 ans, soit en moyenne **45 000 m³/an,** toujours en incluant les apports organiques.

La différence entre ces deux estimations ne peut s'expliquer par des apports massifs (550 000 m³ de 2006 à 2010) alors que cette période n'a pas connu d'apports très exceptionnels. L'écart des estimations illustre plutôt les incertitudes sur ce type de détermination.

En toute rigueur, il convient de tenir compte du dépôt au dessus de la cote nominale du barrage. Ce dépôt est - pour le moment - négligeable par rapport aux volumes de dépôt sous le niveau d'eau, même si l'absence de levé topographique ne permet pas une quantification très précise.

En tenant compte des apports organiques on retiendra un apport solide moyen annuel (très variable d'une année à l'autre, de **35 000 m³**).

Ces apports se décomposeraient de la façon suivante :

- 5 000 m³/an en charriage pour les matériaux grossiers.
- 20 000 m³/an pour les sables. En effet, ces apports paraissent nettement prépondérants sur l'Eyrieux.
- 10 000 m³/an pour les fines.

4.5. Synthèse

Les analyses précédentes permettent d'approcher les volumes transitant sur l'Eyrieux. Il ne peut s'agir que d'ordre de grandeur et le volume "réel" est vraisemblablement compris entre la moitié et le double de cette estimation, l'incertitude augmentant quand la granulométrie diminue.

Dans l'ensemble, les apports solides sont faibles et témoignent d'une érosion modérée dans un bassin versant granitique au relief ancien.

L'effet du barrage des Collanges sur le transit à Beauchastel doit être précisé, toujours en considérant la granulométrie. Ce barrage a été mis en eau il y a une trentaine d'années et son effet n'est pas forcement perceptible à Beauchastel :

- **Pour le transport solide par charriage,** la retenue des Collanges n'a pour l'instant aucun impact sur le transit à Beauchastel, le stock alluvionnaire étant pour le moment largement suffisant pour compenser en aval l'arrêt des matériaux au Cheylard. En effet, comme il a été longuement exposé précédemment, en cas de pénurie de matériaux provenant de l'amont, le lit compense la pénurie amont. Cette pénurie ne sera sensible à l'extrémité aval du lit alluvionnaire que sur le très long terme, voir paragraphe 5.5.6 page 97de la modélisation numérique.
- **Pour le transport du sable** la retenue des Collanges peut avoir un impact plus important. En effet, les sables se propagent beaucoup plus vite que les galets et le stock dans le lit est peu volumineux, surtout par rapport au volume qui transite. Il est cependant très difficile de quantifier le phénomène, la fourniture en sable continuant dans le bassin versant intermédiaire et la fourniture de matériaux grossiers (voir paragraphe précédent) est associée à une fourniture de sables et même de fines.
- **Le transport par suspension** est directement impacté par les dépôts dans la retenue des Collanges. En effet, le transit des fines est presque aussi rapide que celle de l'eau. La décantation des fines dans le barrage entraine presque immédiatement une réduction de la concentration en matière en suspension en aval. Le mécanisme de transport en suspension ne comporte - pour les concentrations rencontrés sur l'Eyrieux - pas de mécanisme de compensation des perturbations.

Les rares données sur les volumes transportés ne distinguent pas clairement l'avant et l'après barrage des Collanges. D'autre part, les données anciennes ont été établies alors que des extractions massives de graviers et de sables étaient réalisées dans le lit de l'Eyrieux et qui ont pu avoir - à Beauchastel - un impact sur le volume transité bien supérieur à celui de la retenue des Collanges.

Il est possible d'estimer un ordre de grandeur des apports dans la partie aval à l'état "initial", avant l'effet du barrage des Collanges. Pour cela, les apports à Beauchastel sont majorés de la façon suivante :

+ Pas d'apport supplémentaire de matériaux grossiers.
+ La moitié des sables déposés dans les Collanges, l'autre moitié de ce déficit provenant - dans l'état actuel - de la fourniture par le lit.
+ L'intégralité des dépôts de fines dans les Collanges.

Le graphique suivant regroupe les estimations réalisées :

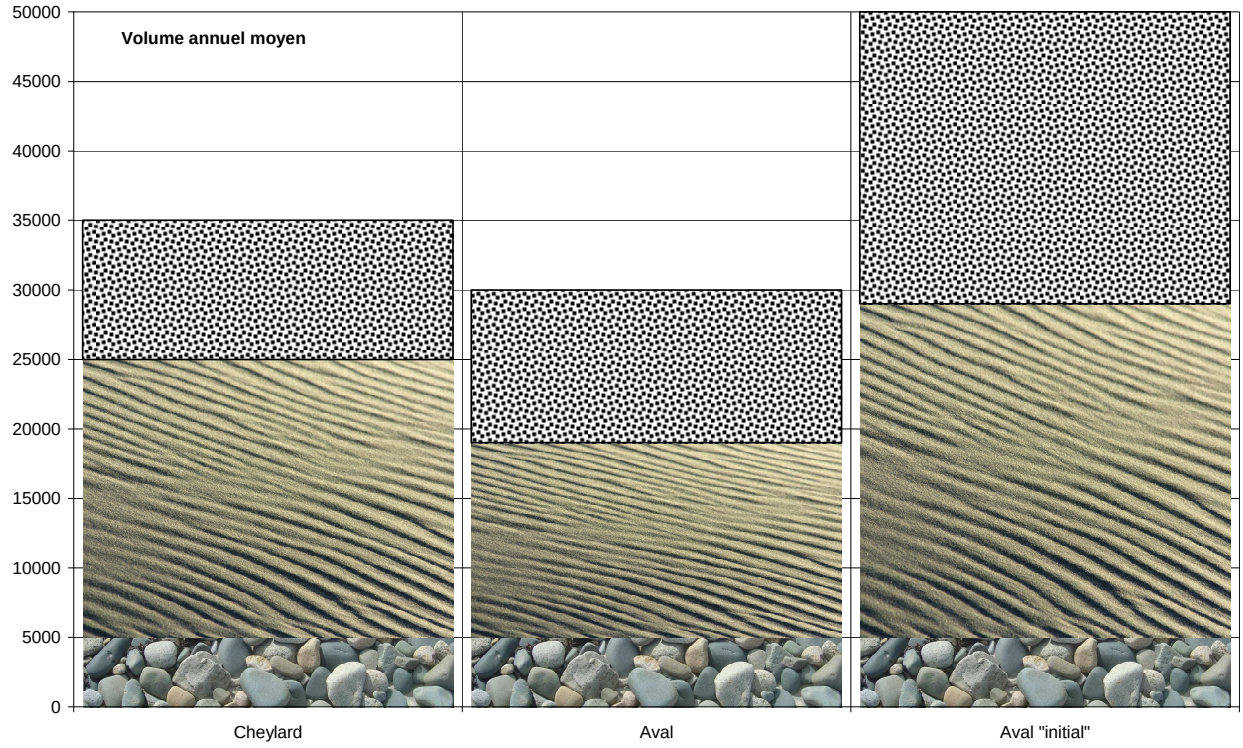


Figure 40 : Bilan de volume solide sur l'Eyrieux.

Ces résultats conduisent aux remarques suivantes en fonction des granulométries concernées :

- **Le transport solide par charriage** est faible, en rapport avec une pente d'équilibre modérée. Il peut paraitre choquant que le volume annuel soit le même au Cheylard et à Beauchastel alors que le bassin versant y est presque 2.5 fois plus faible. Cette particularité s'explique en partie par l'abrasion des matériaux grossiers qui fait "mécaniquement" diminuer leur volume de l'amont vers l'aval. Surtout cela montre que l'érosion et le transport par charriage se produisent préférentiellement en amont du Cheylard. Notons que, pour le charriage, la retenue des Collanges n'a pour l'instant aucun impact sur le transit à Beauchastel, le stock alluvionnaire étant suffisant pour compenser en aval l'arrêt des matériaux au Cheylard…. au prix d'une érosion des dépôts alluvionnaires anciens.
- **Le transport du sable** diminue faiblement. Au contraire du transport par charriage, il est probable que les apports à Beauchastel soient un peu diminués par l'arrêt des matériaux en amont. En effet, les sables se propagent beaucoup plus vite que les galets et le stock dans le lit est très peu volumineux. D'autre part, une sous estimation des apports de sables à Beauchastel durant les crues n'est pas à exclure, une partie des sables transitant directement jusqu'au Rhône lorsque les débits liquides sont élevés. Il n'est donc pas impossible qu'à l'état naturel le transit de sable à Beauchastel soit le double de ce qu'il est aujourd'hui. Cependant, l'estimation est délicate.
- **Le transport par suspension** est quasiment inchangé entre l'amont et l'aval. C'est pour lui que l'estimation est la plus imprécise. Là encore, le volume stocké dans la retenue des Collanges diminue d'autant les apports à Beauchastel.

Il ne s'agit que d'ordres de grandeur.

5. INFLUENCE DES SEUILS ET BARRAGES

5.1. Types d'ouvrages

Il est possible de distinguer deux types d'ouvrages le long de l'Eyrieux :

- Les seuils qui alimentent un canal de dérivation plus ou moins long.
- Les barrages qui forment une dénivelée importante et un vaste plan d'eau en amont.

Ces deux types d'ouvrages présentent un fonctionnement très différent, notamment par rapport au transport solide, c'est à dire durant les crues.

Les deux types d'ouvrages sont donc analysés et les principaux barrages sont décrits.

5.2. Fonctionnement des seuils

5.2.1. Types d'ouvrages

Il s'agit – de loin – des ouvrages les plus nombreux. En effet, ils permettent la dérivation de l'eau pour un coût relativement modeste. Dans la grande majorité des cas, il s'agit d'ouvrages très anciens (plus d'un siècle). La photo suivante montre un seuil et son canal de dérivation en amont des Ollières :



Photo 16 : Vue d'ensemble de l'aménagement de Londe avec la retenue en amont.

Sur l'Eyrieux, tous les seuils présentent un plan d'eau en amont. Ils paraissent donc susceptibles d'arrêter des matériaux durant les crues. En effet, le plan d'eau présente une très faible vitesse en amont.

Cependant, l'observation détaillée des ouvrages montre que la hauteur d'eau est généralement très faible (quelques décimètres) et reste assez uniforme sur l'ensemble du linéaire. Il s'agit là d'une caractéristique des seuils sur les rivières connaissant un fonctionnement franchement fluvial (nombre de Froude inférieur à 1).

Cette configuration est liée au phénomène de pelle.

5.2.2. La pelle

Il s'agit d'une évolution du lit en amont du seuil permettant d'assurer la continuité du transit des matériaux. Il est possible de distinguer deux types d'écoulements lors des crues :

1. Sur le seuil, sous réserve qu'il ne soit pas noyé, l'écoulement est critique (nombre de Froude = 1). La vitesse est importante, et la hauteur d'eau, comme la charge, sont faibles. Le régime critique correspond même à la hauteur de charge minimum pour un débit et une géométrie donnés.
2. En amont, l'écoulement est fluvial (nombre de Froude <1) et la vitesse est assez faible. La hauteur d'eau, et la charge sont alors plus importantes.

Or, la continuité du transport solide sur le seuil impose que la pente de la ligne de charge soit constante. L'égalité des niveaux de charge impose donc un lit plus profond en amont du seuil que sur le seuil : c'est la pelle. On observe donc, lors des périodes d'étiage, une hauteur d'eau sur les matériaux déposés en amont du seuil bien que lors des crues, les matériaux puissent "remonter" sur le seuil lors de leur transit.

La figure suivante illustre cette configuration :

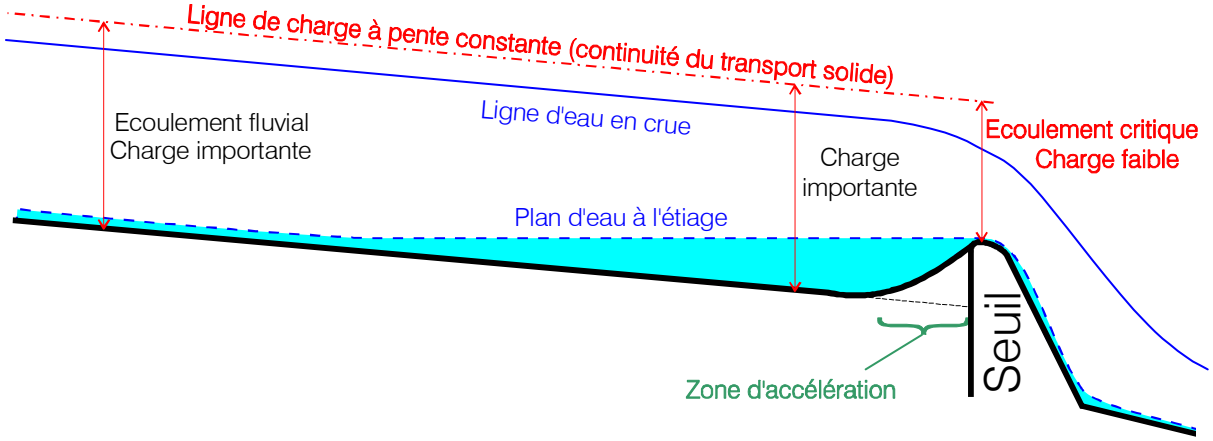


Figure 41 : Principe de la pelle en amont d'un seuil.

A titre d'exemple, il est possible de calculer la pelle pour les paramètres suivants :

- Largeur du lit : 80 mètres.
- Débit = 1150 m³/s soit le débit décennal aux Ollières.

Le calcul de la pelle est ensuite réalisé pour trois pentes différentes :

Pente	10 ‰	5 ‰	**0.25 ‰**
Pelle (cm)	2	33	**99**

La pente des atterrissements en amont des seuils est de l'ordre de 0.25 ‰. Cette pente est donc la plus représentative. Elle conduit à une pelle de l'ordre du mètre, ce qui est proche des hauteurs d'eau que l'on peut observer sur les seuils en amont des Ollières quand on y ajoute la hauteur d'eau sur le seuil pour le débit d'étiage.

Ce calcul montre donc que la hauteur d'eau peut être relativement importante en amont des seuils, sans qu'ils fassent obstacle au transport solide.

Il convient de noter que la pelle varie avec le débit. Il s'agit donc d'un équilibre dynamique, qui oscille autour d'une moyenne. C'est pourquoi il est préférable de retenir un débit relativement courant, comme le débit décennal, plutôt que le débit des crues extrêmes. Il convient de noter que le phénomène de pavage – très développé sur l'Eyrieux - réduit les variations autour du niveau moyen.

Lorsque la pente naturelle du lit augmente, l'écoulement en section courante se rapproche de l'écoulement critique. La pelle diminue et le plan d'eau à l'étiage en amont du seuil disparaît, le lit étant dans la continuité du seuil. Ainsi, l'engravement que l'on peut observer sur les seuils du haut bassin versant ne témoigne pas forcément d'un transport solide très intense, mais plutôt d'une augmentation de pente et de la vitesse des écoulements en crue.

La photo suivante montre un seuil sur la Dorne avec un atterrissement presque complet du lit en amont du seuil :



Photo 17 : Seuil atterri dans le secteur amont de la Dorne avec une pente élevée.

Le calcul suivant permet de calculer la pelle pour un lit avec un écoulement critique :

- Largeur du lit : 20 mètres.
- Débit = 200 m^3/s.
- Pente : 10 ‰.

La pelle est alors nulle tant que le seuil présente la même largeur que le lit amont.

Il est bien évident que la pelle dépend aussi de la variation de la largeur à proximité du seuil. Si le seuil est plus large que le lit en amont, la pelle est augmentée. Cependant, dans le cas de l'Eyrieux, les seuils ont une largeur proche de celle du lit en amont (même si ces ouvrages sont plutôt disposés dans les rétrécissements du lit).

La pelle crée un "effet plan d'eau".

5.2.3. Fonctionnement des seuils

Ainsi, même avec un plan d'eau en amont, le transport solide n'est pas modifié par les seuils sauf peut être temporairement pour les sables qui peuvent être stockés en amont des seuils pour les faibles débits, mais qui sont évacués dès que le débit augmente.

Ainsi, tous les seuils que l'on peut observer sur l'Eyrieux sont globalement transparents par rapport au transport solide. Plusieurs raisons expliquent cette situation :

- Les seuils sont très anciens. Ils ont donc largement eu le temps de stocker les matériaux permettant de modifier le fond afin d'assurer le transit des matériaux. Il est bien évident qu'un seuil qui serait construit aujourd'hui interromprait temporairement le transport solide.
- La présence de la pelle permet un fonctionnement correct du seuil sans nécessiter de curages. D'autre part, la forte présence de substratum rocheux (présentant une pente localement forte) explique que les remous solides et liquides se propagent peu en amont. En effet, la pente du lit rocheux est très supérieure à la pente d'équilibre du transport solide (proche de 2.5 ‰ sur l'Eyrieux aval). Ainsi, le curage ne présente aucune nécessité et les exploitants ont laissé s'établir un équilibre du transport solide.
- La faible hauteur de chute (diminuée de la pelle) et la pente relativement importante en amont limitent fortement le volume de matériaux retenu par chacun des seuils. Dans un tel cas, le comblement en amont du seuil afin de permettre la transparence de l'ouvrage nécessite des volumes modestes de matériaux. L'équilibre est donc rapidement atteint.
- Immédiatement après la réalisation du seuil, il piège très facilement les matériaux, même les plus fins. Il se remplit alors particulièrement vite avec les sables. La taille des matériaux augmente progressivement lorsque le nouveau lit se rapproche du niveau d'équilibre. Le début de comblement est donc particulièrement rapide.

La figure suivante schématise le profil en long en amont des seuils :

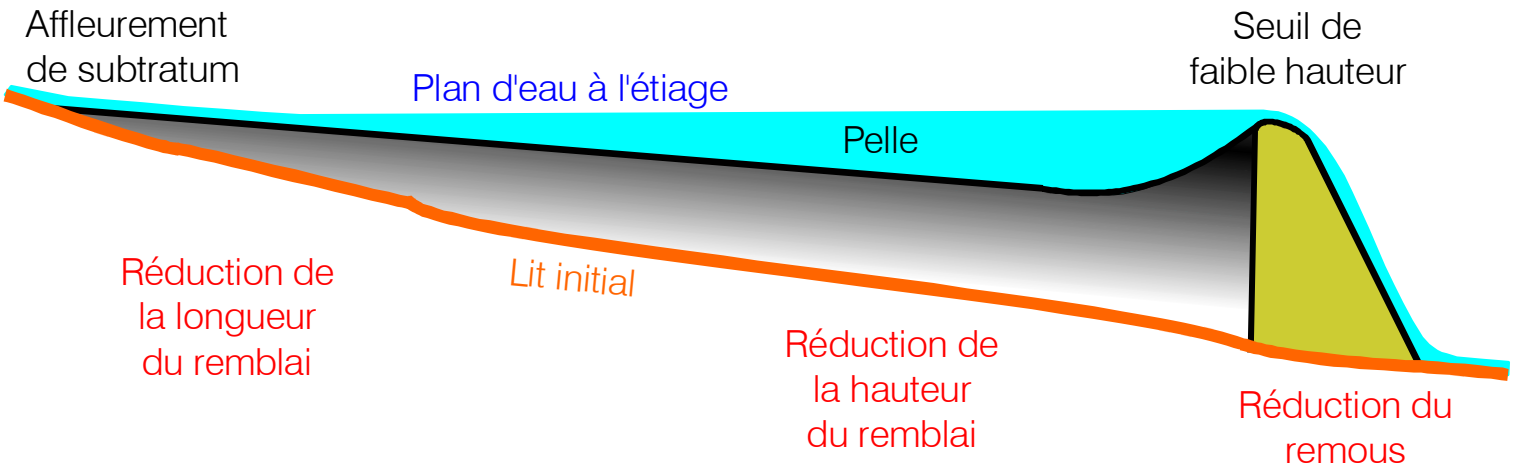


Figure 42 : Profil en long synthétique d'un seuil.

5.3. Caractéristiques des barrages

Les barrages diffèrent essentiellement des seuils par leur grande hauteur de chute. Cette hauteur importante est directement utilisée dans les turbines, sans ouvrages de dérivation.

Les phénomènes de base sont les mêmes que pour les seuils. Cependant, la grande hauteur du barrage conduit à des différences fondamentales :

- En général, l'engravement du lit n'est plus envisageable. En effet, en première approximation, l'engravement en amont de l'ouvrage, sur un lit alluvionnaire, est du même ordre que la hauteur du barrage. Il est bien évident qu'une remontée du lit de l'Eyrieux d'une vingtaine de mètres dans la traversée du Cheylard n'est pas acceptable. Heureusement, comme pour les seuils la pente du lit rocheux en amont est très supérieure à la pente d'équilibre des dépôts. Ainsi, le remous ne remonterait que sur quelques kilomètres en amont du barrage sur une hauteur lentement décroissante en allant vers l'amont.
- Le volume de stockage de matériaux en amont du barrage – nettement plus important que celui de l'eau à cause de la pente d'atterrissement – est très supérieur à celui que l'on observe en amont d'un seuil. Il faut donc un temps très supérieur pour que la rivière apporte un tel volume de matériaux.
- La section mouillée très importante conduit à un arrêt presque complet de l'eau, même durant les plus fortes crues. Le barrage stocke presque tous les matériaux tant qu'il n'est pas ensablé.
- Les trois barrages implantés sur l'Eyrieux sont relativement récents (quelques décennies). Ils n'ont donc pas pu se remplir totalement, d'autant que des curages ont été conduits sur certains sites en queue de retenue.

L'influence des barrages est cependant très différente en fonction de la nature des matériaux :

- **Les matériaux grossiers** sont intégralement piégés par les barrages, sauf en cas d'équipement spécifique.
- **Les sables** sont partiellement piégés par les ouvrages. Le fonctionnement dépend beaucoup des caractéristiques de la retenue. Par exemple, la vaste retenue des Collanges va arrêter presque tous les sables. Par contre, une retenue étroite et partiellement comblée comme celle du Nassier peut permettre d'assurer la quasi-continuité des sables.
- **Les fines** transitent généralement avec l'eau durant les crues. Pour des débits élevés, seule la retenue des Collanges peut arrêter une forte fraction des fines, les autres retenues connaissant une turbulence suffisante pour assurer le transit de la quasi-totalité du transport en suspension.

Ces barrages forment de sérieux obstacles à la continuité du transport solide, au contraire des seuils de prise d'eau, plus anciens.

5.4. Principaux barrages

5.4.1. Barrage du Chambon de Bavas sur le Boyon

Cet ouvrage sur le Boyon - destiné essentiellement à l'irrigation - présente plusieurs différences importantes par rapport aux autres barrages :

- Il s'agit d'un ouvrage ancien présentant une hauteur d'une dizaine de mètres.
- Il intercepte le Boyon, au sud de Pranles. Les débits sont alors beaucoup plus faibles que ceux rencontrés sur l'Eyrieux.
- Il est précédé, moins d'un kilomètre en amont, par un barrage plus petit qui peut intercepter tout le transport solide, cet ouvrage amont n'étant pas - non plus - entièrement engravé. On note par contre, en amont de ce petit ouvrage, un dépôt de matériaux de granulométrie relativement importante. Aucun dépôt significatif n'est visible en queue de retenue.

La photo suivante montre ce barrage :



Photo 18 : Vue du Barrage du Chambon de Bavas.

Ainsi, ce barrage subit des débits de crue beaucoup plus faibles. D'après les photographies aériennes, il a été construit entre 1964 et 1979. Surtout, bien qu'il ait une quarantaine d'années, aucune trace de transport solide n'est visible :

- Aucun dépôt significatif n'est présent en queue de retenue.
- Aucune trace d'érosion et d'enfoncement du lit n'est visible en aval.
- Dans l'ensemble, l'analyse du bassin versant montre un transport solide modéré avec une forte fraction de schistes qui se fractionne rapidement lors du transport.

Ainsi, il apparaît que cet ouvrage ne pose pas de problèmes du point de vue du transport solide. Il n'est pas impossible qu'à long terme un curage soit nécessaire à cause du dépôt de matériaux fins. Il parait en effet difficile d'effectuer des chasses qui risquent de colmater le lit en aval.

Ce curage n'est pas préjudiciable dans la mesure où ces matériaux n'ont aucune influence sur la dynamique du Boyon en aval du barrage.

5.4.2. Barrage du Nassier

5.4.2.1. Situation

Ce barrage, le plus ancien de l'Eyrieux, est situé à près de 12 kilomètres en aval du barrage des Collanges. Il a donc déjà subit des apports amont importants, d'autant que le Talaron apporte ses matériaux. Il a été mis en eau en 1982 peu après la réalisation du barrage des Collanges.

De nombreux curages ont été réalisés en queue de retenue jusqu'en 1994. Ces curages présentent des volumes modestes – souvent inférieurs à 1000 m³ - mais en 1988 un curage de 15 000 m³ a été réalisé. Ces matériaux ont très vraisemblablement été valorisés.

Suite au remplissage en matériaux lors d'une crue vers 1996, des chasses sont réalisées pendant l'été (ouverture de la vanne de fond) ce qui permet l'évacuation des matériaux en amont immédiat de l'ouvrage (depuis 3 ans, ouverture chaque année).

Ces opérations de vidange à l'étiage permettent vraisemblablement d'évacuer une partie importante des matériaux fins. La vanne de fond, d'une section de 4 m² n'est évidemment pas capable d'évacuer des matériaux grossiers.

La photo suivante montre le barrage lors d'une vidange en 2011 :



Photo 19 : Barrage du Nassier lors d'une vidange.

Le dépôt de matériaux atteint plusieurs mètres d'épaisseur. Là encore, le comportement parait très différent en fonction de la granulométrie :

- Les matériaux grossiers sont relativement rares et se retrouvent essentiellement dans le lit et en couverture. Il s'agit de matériaux de granulométrie relativement réduite (petits galets). Ils pavent le lit et réduisent la reprise des matériaux lors des chasses. Les volumes de matériaux qui pavent le lit sont très réduits mais concentrés en surface.
- Le sable constitue - de loin - le matériau prépondérant. Il est presque immédiatement repris par l'écoulement, même en étiage, ce qui explique qu'il n'apparaisse pas en contact avec l'écoulement.
- Les fins paraissent absentes. Cette situation traduit un apport faible (comme dans tout le bassin versant). Surtout l'arrêt des fines n'est guère possible dans une retenue de faible section où les vitesses sont assez importantes, même lors des petites crues.

La photo suivante montre la partie amont de cette retenue :



Photo 20 : Retenue du Nassier lors d'une vidange.

Cette vue confirme les éléments précédents. On note que le volume d'eau actuel est faible, la retenue étant à la fois étroite, peu profonde et courte. Le comportement actuel est finalement assez proche d'un seuil, si ce n'est que les vidanges permettent de dégager les ouvrages de prise d'eau.

Il est probable qu'en l'absence de tout curage, l'entrainement de matériaux devienne de plus en plus difficile, les matériaux grossiers finissant par paver le lit.

En queue de retenue, l'engravement parait modéré mais n'est pas négligeable. Aucune trace de curage n'y est aujourd'hui visible. Un engravement excessif pourrait conduire à une augmentation du risque d'inondation des riverains implantés peu en amont et des habitations les plus basses du hameau du Bateau.

Le lit est très rocheux en aval du barrage et sans trace d'érosion.

5.4.2.2. Profil en long sur site

La figure suivante montre le profil en long détaillé dans ce tronçon :

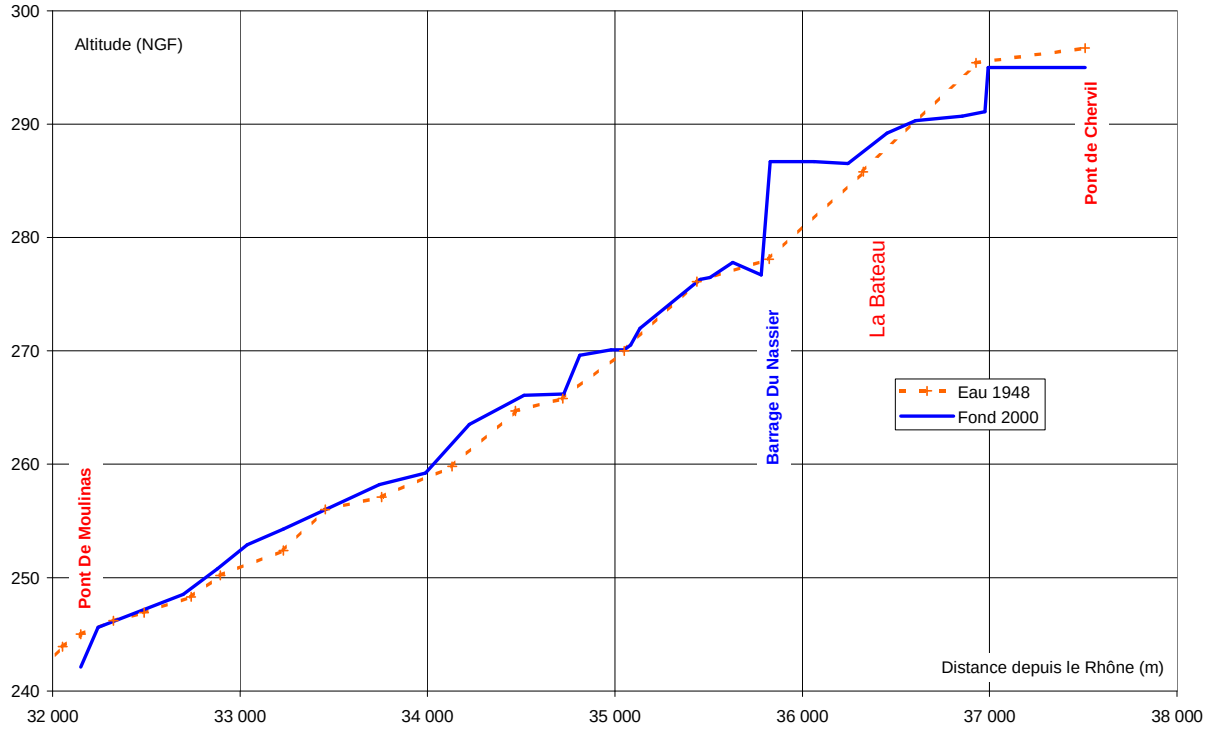


Figure 43 : Évolution du lit à proximité du barrage du Nassier.

Ce profil en long conduit aux remarques suivantes :

- En amont du barrage, le profil en long de l'Eyrieux a peut être été influencé par le barrage du Nassier, mais aussi par le seuil situé en amont et qui permet l'alimentation d'un canal d'arrosage.
- Les niveaux du lit au droit du village du Bateau semblent presque inchangés mais il est difficile de se prononcer étant donnée la faible densité des points du levé de 1948. Il semblerait que le remous solide s'arrêtait au droit du village.
- Le profil en long de la queue de retenue montre plutôt une remontée du niveau du fond. Cependant, la forme de cette évolution ne correspond pas à un engravement en queue de retenue. Il peut s'agir au contraire de l'effet de la reprise des matériaux suite à un curage. Ainsi, l'évolution du lit en queue de retenue suite à la réalisation du barrage ne peut être exclue. Elle est cependant très modeste (de l'ordre du mètre).
- En aval du barrage, le lit est remarquablement stable, ce qui correspond aux affleurements rocheux.

Ce barrage est largement indépendant de la gestion des deux ouvrages amont. Ainsi, il ne paraît pas acceptable sur cet ouvrage de s'opposer au transit des matériaux, d'autant que celui ci est sensiblement réduit par l'arrêt des matériaux au niveau du barrage des Collanges.

De plus, au contraire du barrage de Sarny, les enjeux menacés par un débordement en amont (village du Bateau) sont nettement plus importants. La solution consistant à y accepter un nouvel équilibre avec engravement ne paraît donc pas envisageable.

La seule solution qui paraît envisageable consiste donc à prélever les matériaux en queue de retenue (avec une opération tous les 5 ou 10 ans par exemple) et à les déposer dans le lit en aval de l'ouvrage (le dépôt en aval du barrage est surtout important pour les matériaux de plus de 5 centimètres de diamètre, c'est-à-dire pour des volumes très faibles). Ce curage peut être déclenché par la constatation d'un engravement en queue de retenue.

Les matériaux seront alors déposés en aval du barrage par exemple dans l'intrados du méandre du Chardonnet. Une telle situation permet d'éviter une reprise trop brutale des matériaux.

5.4.3. Barrage de Sarny

Il s'agit du barrage le plus récent établi sur l'Eyrieux, sa mise en eau datant de 1987. Ce barrage est situé à seulement quelques kilomètres en aval du barrage des Collanges. Les seuls matériaux y arrivant ont donc été érodés en aval du barrage des Collanges, ce qui correspond à un volume disponible particulièrement faible ou sont parvenus, pour les plus fins, à transiter à travers cet imposant barrage. Dans ce dernier cas, les matériaux qui sont parvenus franchir la retenue des Collanges transitent sans difficulté à travers la petite retenue de Sarny.

Il est donc probable que les apports en matériaux aient été particulièrement modestes depuis la réalisation de l'ouvrage. Deux actions permettent d'éviter le dépôt dans la retenue :

- Des vidanges sont effectuées régulièrement, mais elles ne peuvent être efficaces pour le transit des matériaux les plus grossiers car souvent réalisées en étiage. Elles peuvent permettre un transit significatif des sables et des matériaux fins, réduisant les dépôts en queue de retenue. Aucun curage n'a été réalisé en amont.
- Des chasses sont effectuées avec rigueur lors des crues. L'ouvrage est équipé de deux vannes de chasses :
  - ⇒ La vanne principale (1.75 m × 2 m) présente une capacité supérieure à 40 m^3/s pour la cote nominale mais de 20 m^3/s environ lors de l'abaissement du plan d'eau. Cette vanne est précédée d'un mur permettant de concentrer les écoulements (et la reprise des matériaux), au pied des prises d'eau et du batardeau.
  - ⇒ La vanne secondaire est implantée dans le batardeau et présente une capacité proche de 7 m^3/s pour le niveau nominal et d'à peine 3 m^3/s lors des vidanges du plan d'eau.

La photo suivante montre le barrage lors de la vidange d'aout 2007 :



Photo 21 : Vue du barrage de Sarny depuis l'amont.

Au total, ces vannes présentent une capacité cumulée proche de 50 m^3/s pour la cote nominale de la retenue mais d'à peine plus de 20 m^3/s lorsque le plan d'eau est assez abaissé pour permettre des chasses efficaces. Ces valeurs sont nettement inférieures à la capacité des vannes du barrage des Collanges.

L'observation du lit conduit au constat suivant :

- Aucun dépôt significatif n'est visible en queue de retenue. Ce résultat n'est pas très surprenant. En effet, la queue de retenue ne correspond pas – au contraire du barrage des Collanges – à un élargissement du lit majeur. Il n'y a pas de possibilités de débordement latéral pour les débits importants. Ainsi, la queue de retenue, ne correspond pas à une réduction sensible de la vitesse durant la crue. Il n'y a alors aucun dépôt. C'est seulement lorsque la hauteur d'eau à l'étiage dans la retenue devient importante que l'eau ralentit suffisamment pour permettre le dépôt. La retenue de Sarny, étroite et sinueuse est peu favorable au dépôt de matériaux.
- En aval du barrage, le lit est particulièrement raide et rocheux. Ainsi, il est probable qu'il ait toujours présenté la même morphologie qu'actuellement, avec très peu de matériaux alluvionnaires.
- Lors des vidanges, les dépôts paraissent insignifiants, comme le montre la photo suivante prise dans la retenue lors de la vidange d'aout 2010 :



Photo 22 : Dépôt très modéré dans la retenue de Sarny.

Le comportement dans cette retenue dépend évidemment de la granulométrie et des mécanismes qui sont associés au transport des matériaux :

- Aucun dépôt significatif de matériaux grossiers. Le rôle de la retenue des Collanges, quelques kilomètres en amont et plus ancienne, est ici prépondérant.
- Faible dépôt de sable dans les zones d'eau morte. Ce sable est facilement repris.
- Dépôt très faible de fines. Les vitesses restent importantes dans la retenue et expliquent la faiblesse des dépôts de fines.

La figure suivante correspond au profil en long détaillé de ce site dans l'état actuel ainsi que le profil en long de 1948 :

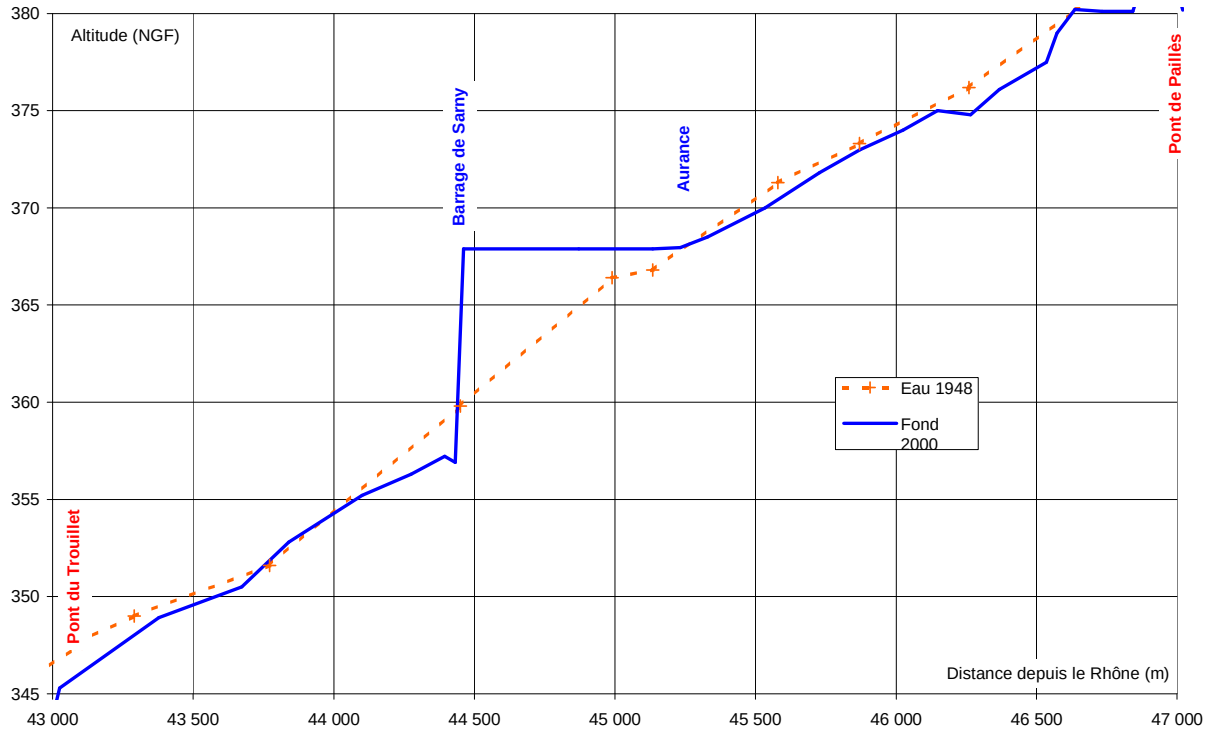


Figure 44 : Profils en long à proximité du barrage de Sarny.

Ce profil en long conduit aux observations suivantes :

- Entre le barrage des Collanges et celui de Sarny, le lit paraît globalement stable. On note cependant un enfoncement ponctuel et modeste du lit en aval du pont de Paillès. Il peut s'agir d'un effet du barrage des Collanges, mais le risque est important qu'il s'agisse d'un artifice lié à la densité des levés topographiques.
- En amont de la retenue, le lit paraît remarquablement stable. Il est alors possible, comme l'observation de terrain le montre, qu'il n'y ait pas d'engravement du lit en queue de retenue.
- A l'aval du barrage, la densité du profil de 1948 n'est pas suffisante pour conclure à un enfoncement du lit. Au contraire, la présence de rocher milite pour une stabilité du niveau du lit dans ce secteur.

Cette stabilité globale n'est pas étonnante dans un lit raide est rocheux comme c'est le cas ici.

A long terme, l'évolution de cet ouvrage est dépendante de la gestion de la retenue des Collanges en particulier pour les matériaux grossiers :

- Si les matériaux ne franchissent pas le barrage des Collanges, les apports amont au barrage de Sarny devraient rester très faibles. Les volumes correspondants paraissent très faibles. La situation correspondra ensuite à un équilibre : celui d'un Eyrieux sans transport solide, c'est-à-dire une faible évolution de la morphologie générale - déjà très rocheuse - mais un renouvellement des substrats très limité, appauvrissant encore le milieu. L'état du lit actuel montre qu'un équilibre peut être trouvé dans ce secteur pavé et très rocheux avec des faciès diversifiés.
- Si le transit est - vraisemblablement partiellement - rétabli au droit du barrage des Collanges, le barrage de Sarny posera les mêmes problèmes que l'ouvrage situé en amont. Deux solutions sont envisageables dans ce cas :
  - Assurer le transit des matériaux vers l'aval pour éviter tout engravement. La solution "hydraulique" ne parait accessible que si les apports amont sont fins (sables).
  - Accepter l'engravement en amont du barrage jusqu'au rétablissement d'un nouvel équilibre pourrait être une solution. Le volume relativement modeste de la retenue laisse penser que cette solution est envisageable. Par contre, il est nécessaire de vérifier que le barrage peut encore fonctionner correctement, ce qui est loin d'être acquis.

5.5. Barrage des Collanges

5.5.1. Objectif

Le barrage des Collanges constitue - de loin - l'ouvrage le plus imposant sur l'Eyrieux. Évidemment, il crée une vaste retenue en amont, dont le niveau est peu variable. Ces caractéristiques expliquent que ce barrage arrête la quasi-totalité du transport solide provenant du bassin versant amont, ce qui - à terme - n'est pas sans effet sur le cours aval.

Une analyse détaillée de cet ouvrage et de son fonctionnement est donc nécessaire.

5.5.2. Caractéristiques de l'ouvrage

En l'absence d'autre source de données, la plupart de ces données sont issues du rapport suivant qui est largement cité :

CN ' AIR

CENTRALE DU CHEYLARD (ARDECHE)

BARRAGE DE COLLANGES

AUDIT DES OUVRAGES ET DES EQUIPEMENTS

SOGREAH - JUIN 2010 - N° 1 36 0812

Cette étude est particulièrement détaillée par rapport au barrage des Collanges, et les éléments indiqués sont repris par la suite car considérés comme fiables.

5.5.2.1. Le barrage

L'ouvrage est un barrage à contreforts portant des dalles planes, raccordé aux rives par des culées poids. La partie supérieure de l'ouvrage est déversante sur toute la longueur de la vallée.

Hauteur (m)	27
Longueur en crête (m)	166 m dont 132 m de seuil déversant
Volume de béton (m³)	25 000
Fruit du masque amont	0,9
Épaisseur moyenne du masque	1,09 m à la base ; 0,56 m en crête
Cote de la retenue normale (RN) (m)	407,5 NGF
Période de construction	1978 à 1980
Date de mise en eau	1983
Vidange décennale	1989

5.5.2.2. La retenue

Les principales caractéristiques de la retenue sont les suivantes :

Niveau d'eau maximal normal	407,5 m
Volume d'eau à la cote 407,5 m	3,15 Mm³
Surface de la retenue à la cote 407,5 m	408 ha
Niveau des plus hautes eaux (PHE) (m)	412 m

5.5.2.3. Ouvrages de transit de l'eau

5.5.2.3.1. La vanne de vidange

La figure suivante est une coupe du barrage au droit de la vanne de vidange :

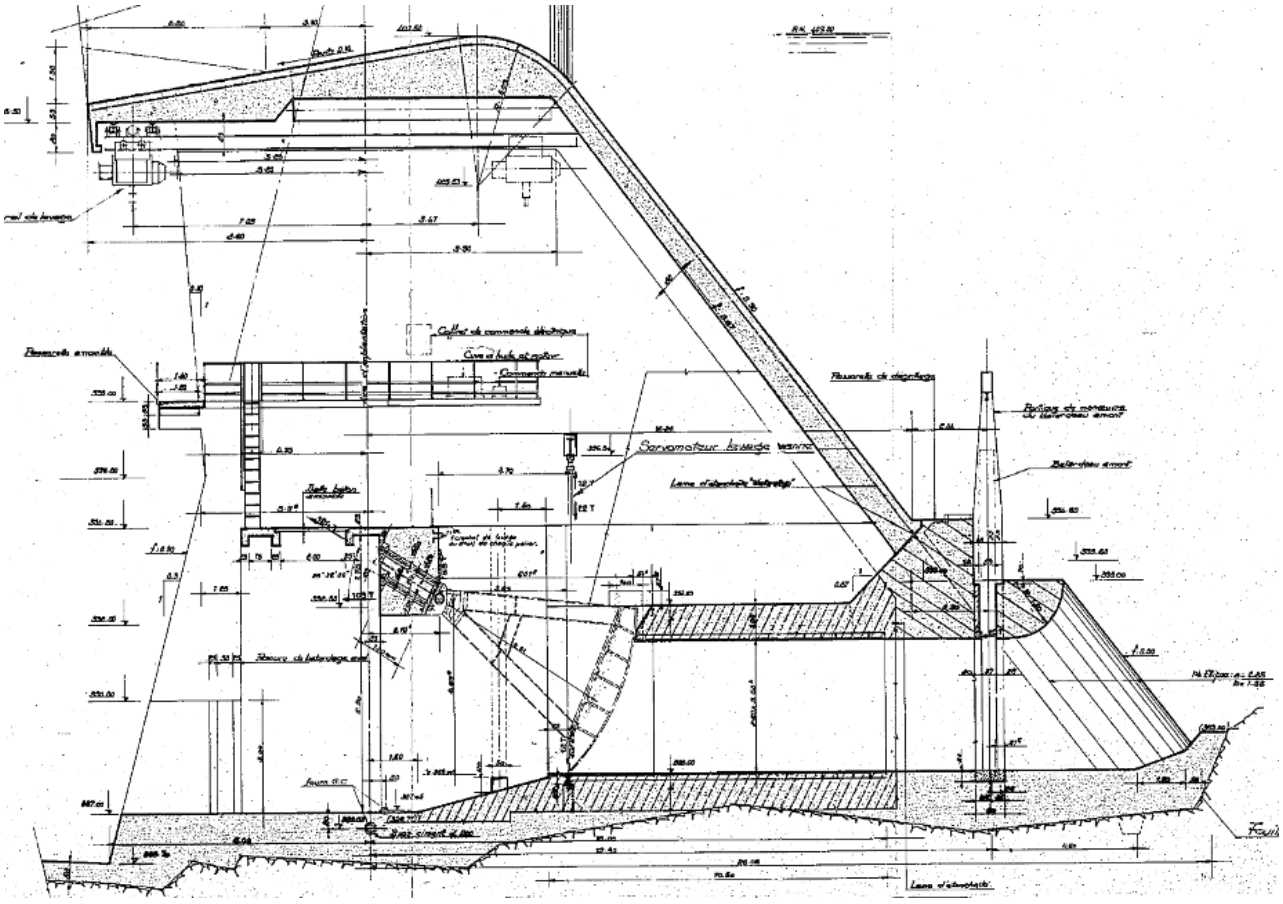


Figure 45 : Plan de la vanne de vidange du barrage des Collanges.

La vanne de vidange intègre les équipements suivants :

- *Une vanne secteur de 2,60 m de largeur par 3,50 m de hauteur.*
- *Un vérin hydraulique de manœuvre, en position verticale centrale.*
- *4 galets de guidage.*

- *1 capteur de fin de fermeture.*
- *1 mesure de position par roue dentée.*

La vanne de vidange permet d'évacuer un débit de l'ordre de 145 m³/s sous les conditions relatives au plan d'eau maximal normal (407,5 m).

Selon les informations recueillies, cette vanne n'a pas été manœuvrée depuis plus d'un an. Une manœuvre régulière des équipements est cependant la garantie du bon fonctionnement ultérieur, en particulier pour une vanne de vidange soumise à l'accumulation de sédiments à l'amont.

Il n'a pas été possible d'obtenir la loi hauteur / débit de cet ouvrage. Le radier semble être calé à 388 m d'altitude avec le seuil d'entrée vers 389 m d'altitude. Il est alors possible de tracer la relation probable entre la hauteur dans la retenue et le débit maximum de la vanne :

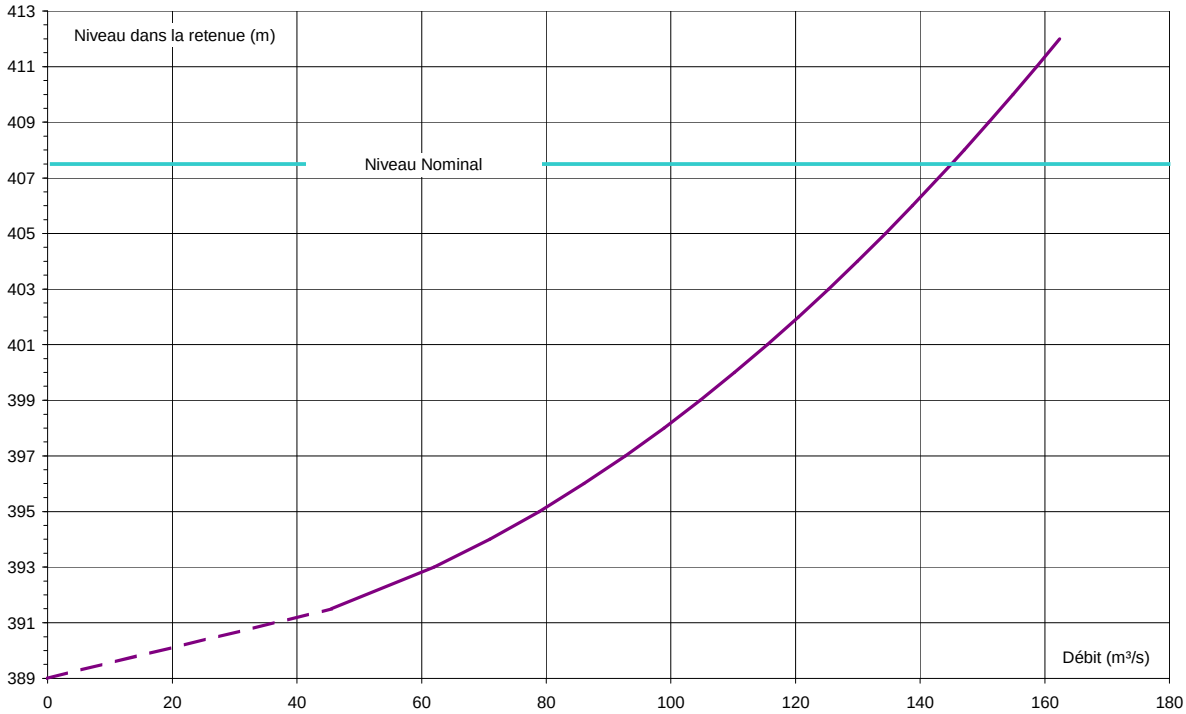


Figure 46 : Débitance de la vanne de vidange.

Ce graphique correspond à une mise en charge de l'ouvrage. On observe que le débit varie dans un rapport de l'ordre de 1 à 3 entre le débit correspondant à la mise en charge et le débit correspondant à la cote nominale.

Pour des niveaux inférieurs, la relation hydraulique est différente, mais un calcul précis nécessiterait des plans détaillés de l'ouvrage d'entonnement et du seuil correspondant. Un fonctionnement sans passage en charge de la retenue ne parait pas optimal car il conduit à des débits trop faibles.

Ce calcul montre néanmoins que pour une retenue presque vide (392.0 NGF), la capacité de la vanne atteint 50 m^3/s. D'après le levé bathymétrique réalisé par la CNR, le niveau du fond est supérieur à 393 NGF en amont du barrage.

Ainsi, le débit de 50 m^3/s peut être atteint avec un écoulement sans remous dans la retenue. Cet écoulement correspond évidemment à la condition la plus favorable pour permettre une chasse des matériaux, le risque étant alors plutôt une surcharge en matériaux.

5.5.2.3.2. Turbines

L'évacuation des eaux de la retenue est principalement effectuée au moyen de l'évacuateur de crues, et si nécessaire au moyen de la vanne de vidange. Cependant, il est utile d'indiquer les débits, somme toute mineurs, évacuables au moyen des divers autres dispositifs tel que mentionnés ci-après :

Unité	Puissance (kW)	Débit (m3/s)
Groupe A	380	5
Groupe B	1 000	9
Groupe C	1 000	9
Total	2 380	23

5.5.2.3.3. Vanne à jet creux

La vanne à jet creux permet d'évacuer un débit de l'ordre de 1,5 m^3/s sous les conditions relatives au plan d'eau maximal normal (407,5 m).

Pour un niveau inférieur (lors d'une chasse), le débit serait aussi inférieur. Il parait peu judicieux d'ouvrir alors cette vanne car on risque des dégradations importantes liées au transit des sables.

Cette vanne permet une nette amélioration de la qualité de l'eau en aval de l'ouvrage en favorisant l'oxygénation. Cet ouvrage ne peut avoir aucune influence sur le transit des matériaux.

5.5.3. Analyse des sédiments

5.5.3.1. (Étude SOGREAH)

Des prélèvements ont été réalisés par SOGREAH pour la CNR, pour l'essentiel au pied du barrage.

Ces prélèvements ont été réalisés à l'aide d'une benne à sédiment depuis un bateau. Cette technique d'échantillonnage présente la caractéristique de prélever sur la surface des sédiments. L'échantillonnage porte donc sur les sédiments les plus jeûnes.

Les sédiments prélevés ont une consistance noirâtre composés essentiellement de fines.
Les échantillons de sédiments présentent des traces d'hydrocarbures (110 à 240 mg/kg). Les teneurs en métaux sont de l'ordre du bruit de fond géochimique.
Les paramètres PCB, COHV et HAP sont en dessous des seuils de détection.
Les teneurs en métaux sont de l'ordre du bruit de fond géochimique.
Il est à noter des concentrations significatives en phosphore et en azote total.

5.5.3.2. (Étude SDEA)

Le SDEA a fait réaliser en mai 2001 une étude[4] concernant la retenue des Collanges dont les principales conclusions relatives à la qualité des sédiments sont reprises ci-dessous :

En été, les sédiments jouent un rôle important dans la dégradation de la qualité globale de la retenue. Cette dégradation est limitée grâce aux lâchers de restitution par l'intermédiaire de l'ouvrage de soutien des débits d'étiage.

En ce qui concerne les apports eutrophisants issus des sédiments, le secteur de la décharge n'a pas un comportement différent de celui des 2 autres stations.

Au vue des résultats de cette étude et en fonction des éléments recherchés dans l'eau interstitielle et dans la phase particulaire, les sédiments de la retenue du Cheylard ne semblent pas avoir accumulé d'éléments métalliques dont les concentrations considérées individuellement (en l'état actuel du fonctionnement de la retenue) seraient susceptibles de présenter un danger pour la santé publique.
Le secteur de la décharge ne semble pas, représenter un cas particulier par rapport aux autres stations de prélèvements.

Les apports de certains métaux à la retenue semblent se poursuivre encore actuellement. En effet, l'étude des concentrations en métaux dans les sédiments organiques de la Dorne et de l'Eyrieux réalisée dans le cadre du «Bilan de qualité des eaux du bassin de l'Eyrieux- programme 1998» met en évidence une «situation suspecte» pour le chrome, le cuivre et le plomb dans la Dorne, et une «pollution certaine» pour le mercure, dans l'Eyrieux.
Les 2 premiers tests effectués sur la phase aqueuse des sédiments mesurent la toxicité instantanée du milieu. Ils mettent en évidence l'absence de toxicité de l'eau surnageante et de l'eau interstitielle des 3 stations d'échantillonnages au moment des prélèvements.
Le test « Oligochètes» prend en considération les conditions générales du milieu (granularitê des sédiments, oxygénation, toxicité des métaux, toxicité de certains composés organiques....), à long terme. Les résultats obtenus indiquent qu'il existe une suspicion de toxicité des sédiments plus marquée dans la partie aval de la retenue à proximité de la digue.

---

[4] Syndicat Départemental d'équipement de l'Ardèche - Retenue des Collanges - Le Cheylard - Ardèche - Qualité des eaux de l'Eyrieux - Qualité des eaux de la retenue - Qualité des sédiments.

5.5.3.3. Synthèse

Les deux études conduisent à des résultats assez proches et plutôt rassurants. Les sédiments ne paraissent pas pollués et pourraient être rejetés en aval sans difficulté majeure.

Il apparaitrait donc que les apports actuels ne présentent pas de pollution particulière. Ce point complète l'étude sur la qualité de l'eau qui montre que depuis la mise en service de la vanne à jet creux, la retenue des Collanges n'apporte pas de dégradation de la qualité de l'eau et ne pose pas de problème particulier du point de vue qualité.

On retiendra que ces sédiments anciens n'ont pas d'impact notable sur la qualité actuelle de l'eau.

5.5.4. Engravement observé

5.5.4.1. Bilan de volume (rappel)

L'étude des données bathymétriques a déjà été réalisée au paragraphe 4.4.2.2 page 63. Croisée avec les autres données et les calculs de transport solide, elle conduirait aux ordres de grandeur suivants :

- 5 000 m³/an en charriage pour les matériaux grossiers.
- 20 000 m³/an pour les sables. En effet, ces apports paraissent nettement prépondérants sur l'Eyrieux.
- 10 000 m³/an pour les fines.
- 5 000 m³/an pour les matières organiques, cette valeur étant - elle aussi - très imprécise.

C'est donc un volume de **40 000 m³** qui comblerait annuellement la retenue. Il ne s'agit évidemment que d'une moyenne avec d'énormes fluctuations d'une année à l'autre.

A partir des levés bathymétriques, il est possible de construire un profil en long en suivant le talweg dans le fond de la retenue. Le profil en long page suivante permet de dégager trois tronçons :

- En amont, la pente de 0.5 % correspond vraisemblablement à la zone concernée par le marnage. En effet, l'abaissement du niveau lors des périodes de faible débit permet d'assurer le transit des matériaux avec une pente relativement forte (elle est double de la pente du lit amont). Il s'agit probablement de sables transportés en charriage par de faibles débits.
- Dans la partie centrale, le "front" du dépôt présente une pente beaucoup plus forte. Les matériaux ne sont pas transportés malgré la forte pente car ils sont immergés, dans un secteur sans courant important. Le front du dépôt progresse très lentement vers le barrage.
- La partie aval correspond vraisemblablement exclusivement à des matériaux fins qui se déposent notamment lors des crues en l'absence de courant important. Ces matériaux fins remplissent le pied du barrage. La pente est relativement forte et montre qu'il ne s'agit pas réellement d'un courant de densité, la fraction de fines étant globalement réduite.

La figure suivante montre ce profil en long et indique aussi le niveau de la vanne de fond, particulièrement bas :

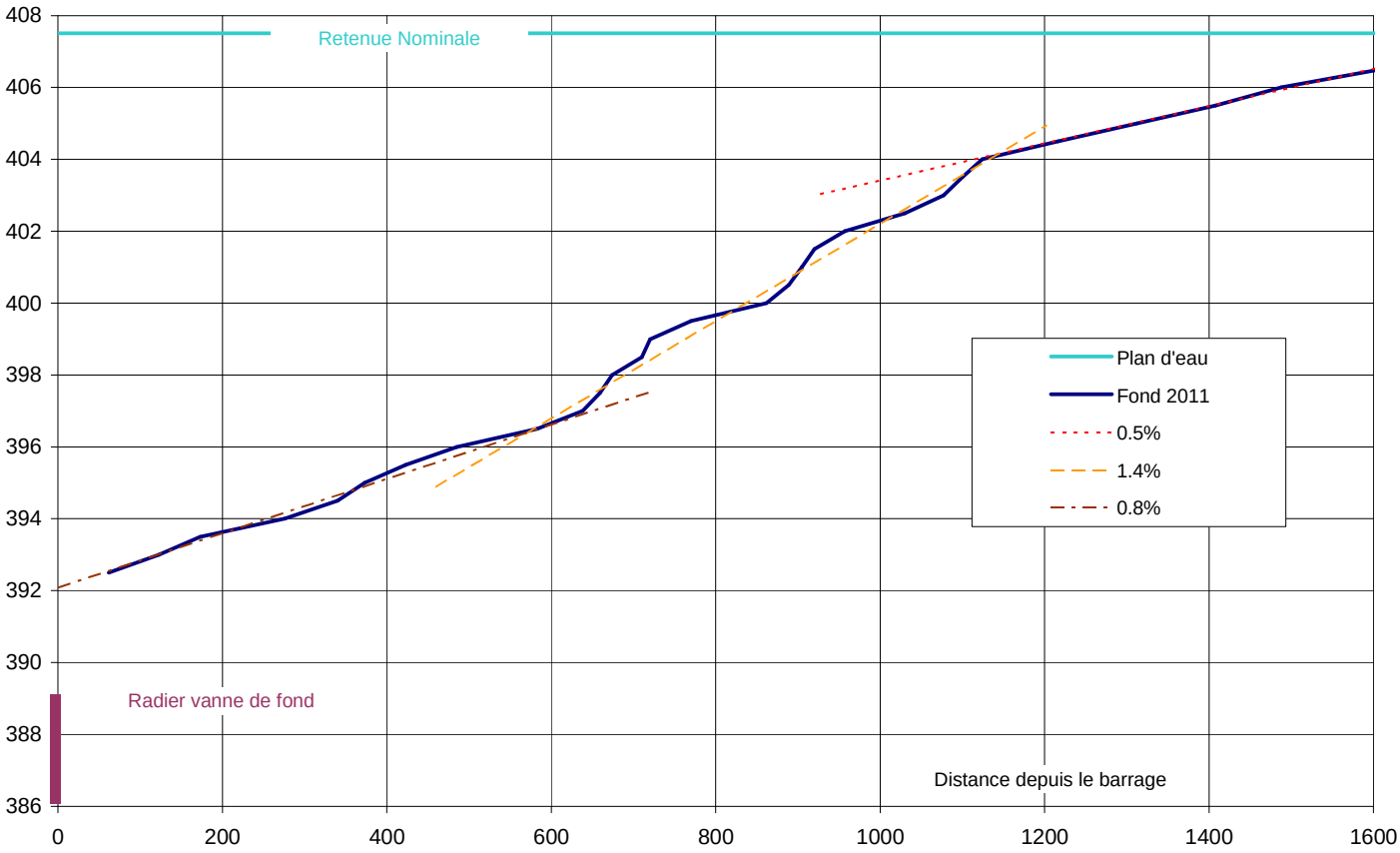


Figure 47 : Profil en long en queue de retenue.

Ce profil en long montre qu'une pente d'au moins 0.8 % est disponible pour permettre le transit des matériaux lors des chasses.

5.5.4.2. Dépôt en amont de la retenue

En amont du barrage, à proximité de la queue de retenue, le dépôt est très important. Le tri granulométrique est très net :

- Les matériaux grossiers s'arrêtant dans le lit en amont du barrage (là où la pente devient trop faible).
- Les sables poursuivent jusqu'à la limite du plan d'eau (avec une vitesse quasi nulle) et se déposent majoritairement sous le niveau nominal.
- Les fines ne sont pas visibles en queue de retenue mais doivent être concentrées dans la partie basse de la retenue.

Ce dépôt et les divagations qu'il impose à l'Eyrieux durant les étiages permettent le développement d'un milieu aussi riche qu'artificiel, avec notamment la multiplication d'habitats diversifiés.

La photo suivante montre un secteur alluvionnaire remarquable dans la queue de retenue, la granulométrie étant encore assez grossière et diversifiée :



Photo 23 : Dépôt en queue de retenue.

Outre les matériaux grossiers existants dans les dépôts amont, des sables sont clairement visibles dans la partie aval des dépôts. Deux prélèvements ont été réalisés en 2000 et analysés en laboratoire. Ils sont indiqués sur le graphique page suivante.

La caractérisation des matériaux montre qu'il s'agit de sables (les zones de graviers et de galets n'ont pas fait l'objet de mesures) avec une faible fraction de matériaux fins. De tels matériaux semblent aisément valorisables. D'autre part, il apparaît qu'il s'agit d'une granulométrie très resserrée qui témoigne d'un tri important et d'une fourniture assez homogène.

Un prélèvement a été réalisé en amont du dépôt de sable, l'autre à l'aval. Le tri granulométrique apparaît nettement. Il est donc probable que plus en aval (et donc sous l'eau), les matériaux soient un peu plus fins.

Le graphique suivant montre - avec une échelle logarithmique - les mesures de granulométrie réalisées sur ces deux échantillons :

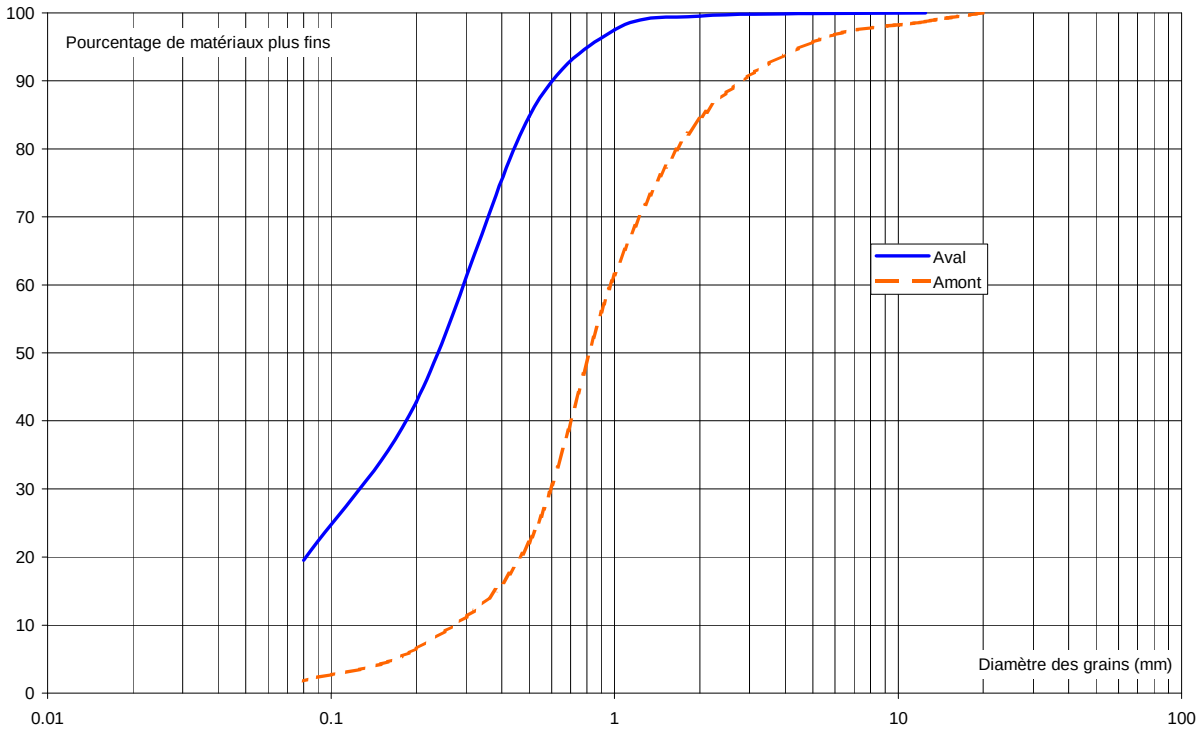


Figure 48 : Granulométrie des matériaux en queue de retenue.

Le graphique suivant regroupe les données actuelles sur l'engravement avec notamment le levé bathymétrique de 2010 et le fil d'eau d'étiage de 2011 :

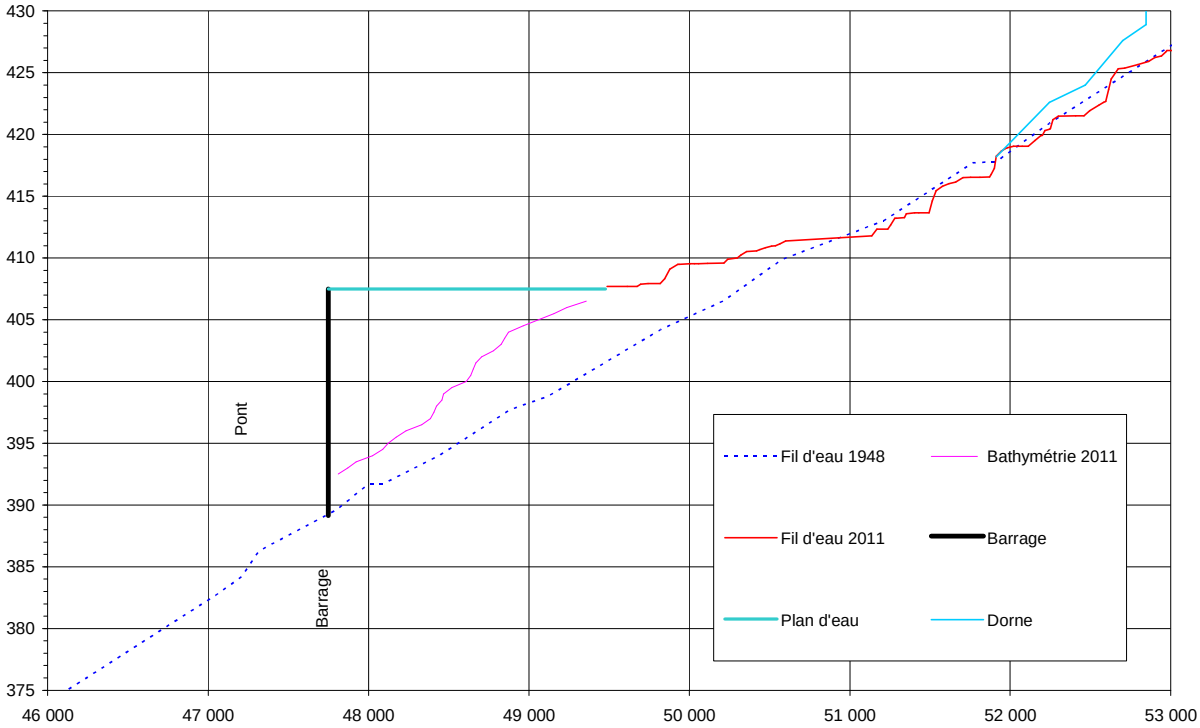


Figure 49 : Engravement en amont du barrage dans l'état actuel.

Ce graphique montre que le dépôt est presque intégralement calé sous le niveau de la cote nominale, c'est-à-dire qu'il est très peu visible aujourd'hui.

Il est étonnant que le lit en amont de la queue de retenue n'ai connu aucune évolution durant la dernière décennie. Cette absence d'évolution n'est pas incompatible avec un ensablement de la retenue, les matériaux fins étant "tirés" sous le niveau du plan d'eau, masquant l'engravement de la retenue.

Il est possible d'estimer un niveau ultime d'engravement, qui correspond à l'absence de tout curage et de toute transparence à long terme. Dans ce cas, le dépôt rempli toute la retenue et régresse en amont. Cette approche est très théorique dans la mesure où le barrage serait alors inutilisable.

La figure suivante montre le niveau d'équilibre du dépôt en amont du barrage :

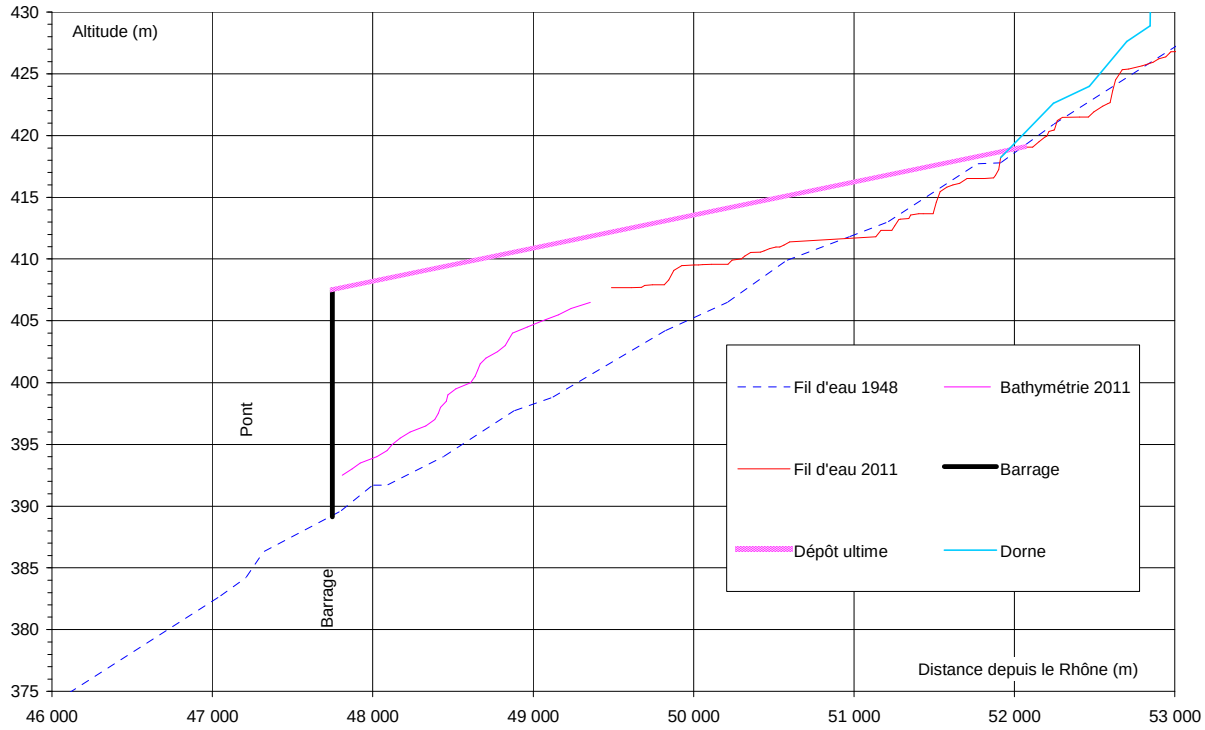


Figure 50 : Dépôt ultime en amont du barrage des Collanges.

Ce graphique montre que le dépôt diminue rapidement en allant vers l'amont, le lit pavé et rocheux de l'Eyrieux étant nettement plus raide que la pente d'équilibre. L'épaisseur du dépôt serait alors la suivante :

- ⇨ de l'ordre de 20 mètres en amont immédiat du barrage,
- ⇨ guère plus 6 mètres en queue de la retenue initiale.
- ⇨ Nulle dans la zone de confluence avec la Dorne (4 km en amont du barrage).

Ces calculs sont très théoriques et peu précis à cause de la pente d'équilibre qui n'est pas connue avec précision. Par contre, ils conduisent à une conclusion sans appel : un comblement complet du barrage sans aucun entretien n'est pas acceptable - en particulier pour la zone de la Palisse qui serait d'abord inondée pour des crues de plus en plus fréquentes puis - toujours en l'absence d'intervention - partiellement engravée.

Cet état correspond cependant à une évolution à très long terme et ne peut être atteint avant un siècle.

5.5.5. Impact en aval du barrage

5.5.5.1. Secteur des gorges (amont des Ollières)

Le barrage est situé à l'entrée des gorges rocheuses. Il est alors particulièrement difficile de mettre en évidence l'effet d'une pénurie de matériaux. En effet, le substratum rocheux est souvent présent – ce qui ne semble pas une nouveauté – et des dépôts de matériaux sont visibles dans les zones abritées.

L'arrêt quasi-total de ces apports n'entraine pas de modification de la morphologie globale dans ce tronçon. En effet, à l'état naturel, le transport solide présente un sévère déficit en matériaux dans les gorges :

- La capacité de transport, liée à la forte pente, est très forte en permettrait le transit de volumes de matériaux considérables.
- Les apports amont naturels du bassin versant sont relativement faibles et bien inférieurs à cette capacité de transport.

L'arrêt des matériaux ne fait donc que renforcer un déficit naturel en matériaux. Ainsi, même en aval immédiat du barrage, des dépôts de matériaux (où les fins sont évidemment sous représentés) sont visibles, comme le montre la photo suivante prise peu en aval des Collanges :



Photo 24 : Lit partiellement alluvionnaire en aval des Collanges.

Comme exposé précédemment au paragraphe 2.2.4 page 19, la réduction des apports des matériaux (surtout grossiers) à trois conséquences :

- Une réduction de la superficie - et dans une moindre proportion de l'épaisseur - des dépôts sédimentaires. Cette diminution du volume des dépôts permet une recharge de l'écoulement… réduisant ainsi la pénurie plus en aval. Cette recharge ne doit cependant pas faire illusion, les volumes étant très réduits. Elle est donc très temporaire. Notons que la réduction de ces apports diminue la mobilité des dépôts. Cependant, à l'état naturel cette mobilité est quasi nulle, la localisation des dépôts étant déjà imposée par la géométrie du substratum.
- Une modification de la granulométrie de ces zones alluvionnaires avec une tendance vers le pavage. Cette modification est secondaire car, à l'état naturel, le pavage était déjà présent. Il se retrouve renforcé.
- Une diminution des échanges et du renouvellement du substrat. Ce dernier, à l'état naturel, est relativement pauvre, notamment à cause d'un déficit en fines. La réduction du renouvellement est évidemment un élément défavorable mais qui parait difficile à quantifier.

Ainsi, il est probable qu'à moyen terme la quantité de matériaux alluvionnaire diminue encore sensiblement dans le lit mais sans évolution brutale et absolue. Dans les gorges, la morphologie est donc peu différente de l'état avant aménagement. Dans les gorges en amont des Ollières, les évolutions à venir sont probablement très faibles, le lit s'étant déjà adapté.

On trouvera en annexe 1 un témoignage sur les évolutions du lit en aval immédiat du barrage des Collanges qui nous a été transmis par le Syndicat Eyrieux Clair.

Cette évolution entraîne une faible réduction de l'étendue des frayères. Il est cependant très difficile de mettre en évidence une évolution de la situation en l'absence de données antérieures à la réalisation du barrage des Collanges ou de secteur comparable. Les gorges de l'Eyrieux en amont du Cheylard ou le cours du Doux permettrait peut être une confrontation fructueuse.

Ainsi, l'étude[5] piscicole de 2005 défini un indice frayères avec les résultats suivants :

- ⇨ Des Collanges à St Sauveur, l'indice n'est que de 0.08, ce qui est faible et témoigne d'une rivière peu favorable. Il est facile d'y voir l'effet désastreux du barrage des Collanges. Cependant ce tronçon très rocheux n'a vraisemblablement jamais été favorable au développement des frayères.
- ⇨ De St Sauveur aux Ollières, soit après les apports du Talaron et surtout de la Gluyère, c'est-à-dire après une forte augmentation relative du transport solide, cet indice s'écroule à 0.02. Ce secteur sensiblement moins impacté par le barrage des Collanges présente donc une moindre présence de Frayères.

Cet exemple montre que l'absence de mesures de référence rend difficile la mise en évidence de l'effet - bien réel mais difficile à quantifier - du barrage des Collanges.

---

5 CINCLE - Février 2005 - Étude piscicole des bassins de l'Eyrieux de l'Embroye -et du Turzon.

Cette étude a été l'occasion de mesure du peuplement piscicole sur deux sites dans les gorges :

+ À Peychères, quelques kilomètres en aval du barrage des Collanges. Cette mesure a été difficile à cause d'une forte turbidité de l'eau, ce qui laisse des doutes sur son efficacité. Cette mesure montre un net déficit par rapport à une population théorique. Le texte associé à cette mesure explique cette situation exclusivement par la pollution dans cette zone.
+ A pont de Chervil, plus en aval. L'efficacité de la mesure semble très supérieure. Ce point de mesure est aussi nettement déficitaire par rapport à une population théorique. Le commentaire indique que "les habitats seraient pourtant tout à fait optimaux pour les espèces considérées au pavage des fonds près, très lisible dans le radier considéré où les frayères manquent."

Ces déficits peuvent paraitre inquiétants. Cependant, l'étude de CINCLE conclu de 8 % seulement des stations donnent une diversité piscicole égale au potentiel théorique, pour des causes essentiellement naturelles (pentes, régime hydrologique très contrasté).

Le graphique suivante, issu de cette étude montre les résultats sur ces deux stations :

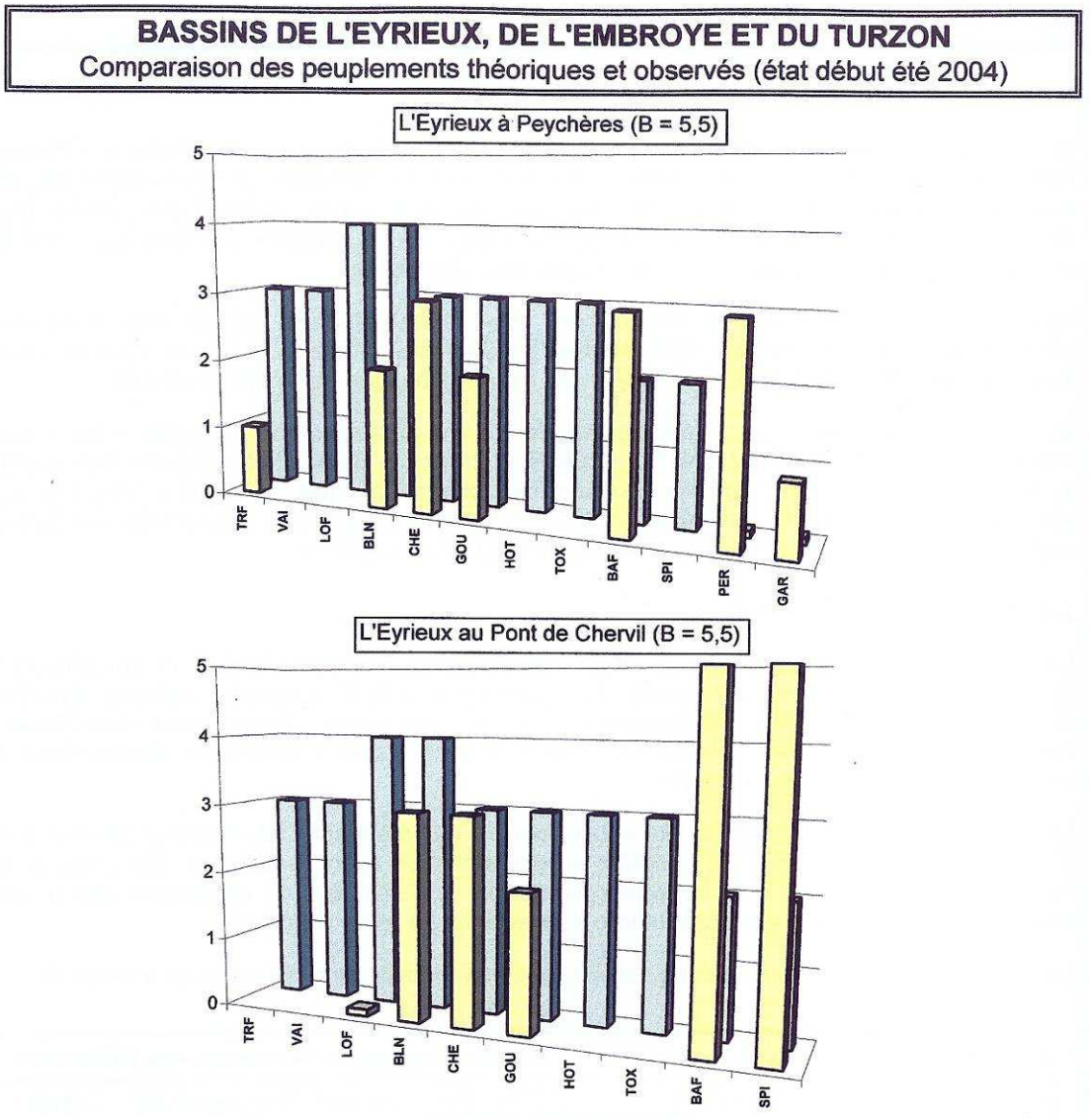


Figure 51 : Analyse des peuplements CINCLE - Février 2005)

Ces mesures permettent difficilement de tirer des conclusions quant au rôle du barrage des Collanges. Les peuplements sont déficitaires, mais il n'est pas possible d'isoler le rôle du barrage des Collanges par rapport à la réelle pollution de l'eau ou les contraintes hydrologiques, très pénalisants dans une zone étroite et raide comme les gorges.

La détermination des IBGN conduit à la même indétermination. L'analyse sur les deux stations est reprise ci-dessous :

L'EYRIEUX à Peychères

L'échantillon prélevé en aval de la STEP du CHEYLARD (et de la retenue des COLLANGES) trahit une baisse supplémentaire de diversité (33 taxons, soit encore 7 de moins). Pourtant, les habitats restent corrects sur cette station, si toutefois l'on excepte la disparition des fines (sables et graviers), qui a éliminé la faune inféodée (communauté appelée le « psammon »).
Tous les taxons vulnérables à la pollution ont disparu à ce niveau, même les Hydropsychidœ, pourtant réputés assez résistants, au profit des taxons les plus résistants et saprophiles, qui en profitent pour se développer exagérément, comme les Cturonomidœ, Duqesiiaœ, Asellidœ (des Crustacés remplaçant les gammares dans les rivières très polluées) et vers Oligochètes. Ces 4 familles représentent presque 80 % du peuplement, ce qui accentue son déséquilibre. L'élément le plus polluosensible représenté significativement appartenant au GI 5 (famille des Hydroptilidœ), cela donne une note IBGN de 14/20, le test de robustesse donnant par ailleurs un résultat moyen, là aussi très symptomatique de l'état de dégradation du peuplement.
Quoique la note ne puisse être considérée comme mauvaise, on en déduira que l'EYRIEUX est ici nettement pollué (confirmant le résultat obtenue en physico-chimie), à la fois par le rejet traité de la STEP du CHEYLARD et par l'eau, elle aussi contaminée, ayant séjourné (plus ou moins longtemps) dans le Lac des COLLANGES.
Paradoxalement, on enregistre une diminution de la productivité du benthos par rapport aux stations plus amont, ce qui suggère l'existence de facteurs inhibiteurs.

L'EYRIEUX au Pont de Chervil

La faune prélevée est aussi pauvre qu'à la station précédente (32 taxons), mais voit se développer à nouveau des taxons qui avaient disparu ou s'étaient raréfiés, comme les Hydropsychidœ, qui se remettent à grouiller, et les Ceenkiœ (75 % du peuplement à eux 2). On note parallèlement un recul des taxons les plus saprophiles (Dugesiidœ et Asellidœ).
La réapparition de (quelques) Plécoptères Leuctridœ (GI 7) permet à l'IBGN de prendre un point, en passant à 15/20. Mais aucun autre taxon sensible n'est présent, d'où un résultat au test de robustesse à nouveau seulement moyen, qui démontre que le peuplement est encore dans une situation précaire. On note, toutefois, un retour des Ephéméroptères Heptageniidœ, qui avaient déserté la rivière en amont, et des Coléoptères Elmidœ, qui s'y étaient raréfiés.
Ainsi, s'il y a quelques signes de reprise, bien timides (grâce à l'apport de petits affluents tels que l'AURANCE, le GLO et le TALARON, et sans doute aussi grâce au séjour des eaux dans la retenue du barrage de SARNY, où doit

se produire une certaine décantation de la pollution particulaire), l'EYRIEUX reste encore très abîmé à ce niveau.
De plus, on observe une ré-augmentation de la productivité du benthos", ce qui suggère une possible diminution de la toxicité de la pollution (moindre inhibition).

Plus encore que pour les peuplements piscicoles, la pollution de la station d'épuration du Cheylard masque l'évolution de la morphologie du lit dans le cas des IBGN.

Au final, pour les trois paramètres analysés, l'étude de CINCLE ne montre pas d'écart significatif entre l'état dans les gorges - où l'impact du barrage est établi - et celui à Terra où l'impact sur la morphologie du lit n'est pas sensible (toutes les granulométries sont présentes dans un lit qui est pour le moment alluvionnaire et mobile (voir ci-dessous).

En l'absence d'analyse détaillée des habitats et de données antérieures au barrage des Collanges, cette étude n'apporte guère d'éléments indiscutables relatifs à l'effet du barrage sur la morphologie du lit. Évidemment, aucun élément dans cette étude n'infirme l'impact de l'ouvrage.

5.5.5.2. Secteur alluvionnaire (aval de Terra)

Le lit alluvionnaire présente un comportement radicalement différent. Comme exposé précédemment au paragraphe 2.2.2, page 10, les échanges avec le lit permettent de compenser les variations des apports amont de matériaux grossiers transportés en charriage.

Cette compensation est obtenue au prix d'une érosion du lit avec un enfoncement et, à plus long terme, un élargissement du lit. Cependant, le pavage qui se forme dans ce cas, réduit l'ampleur de cette fourniture en matériaux.

L'érosion des anciens dépôts alluvionnaires protège le lit à l'aval. La perturbation de l'effet du transport solide se propage alors très lentement en aval. Elle commence aujourd'hui à être peine sensible en aval des Ollières, comme le montre l'évolution très faibles de la géométrie du lit.

L'étude piscicole ne montre cependant pas d'amélioration par rapport aux tronçons en amont même si le contexte est très différent, avec notamment une forte diminution de la pente. "La pollution déversée en aval du Cheylard est vraiment trop pénalisante et a du mal à se dissiper", masquant la dégradation modérée de la morphologie du lit dans les gorges.

Les modélisations réalisées au paragraphe suivant montrent la lente érosion prévisible du lit dans ce tronçon.

5.5.5.3. Secteur intermédiaire (des Ollières à Terra)

Le secteur intermédiaire montre une évolution intermédiaire entre les deux tronçons décrits précédemment :

- ⇨ Les dépôts alluvionnaires ont tendance à être érodés sous l'effet d'une réduction des apports amont. Les superficies de matériaux de granulométrie étendue sont beaucoup plus importantes que dans les gorges et la fourniture de sables est nettement augmentée par les apports du Talaron et surtout de la Gluyère, les apports grossiers étant limités aux crues exceptionnelles.
- ⇨ Les dépôts sont avant tout liés à la géométrie du substratum qui reste prépondérante sur les versants et localement sur le fond, surtout lors des crues.

La transition avec le lit alluvionnaire étant très progressive, elle ne permet pas de dégager d'évolution nette de la morphologie.

5.5.6. Cartographie du déficit en matériaux

La carte suivante (reproduite en annexe) montre la morphologie du lit et le déficit en matériaux sur l'ensemble du bassin versant :

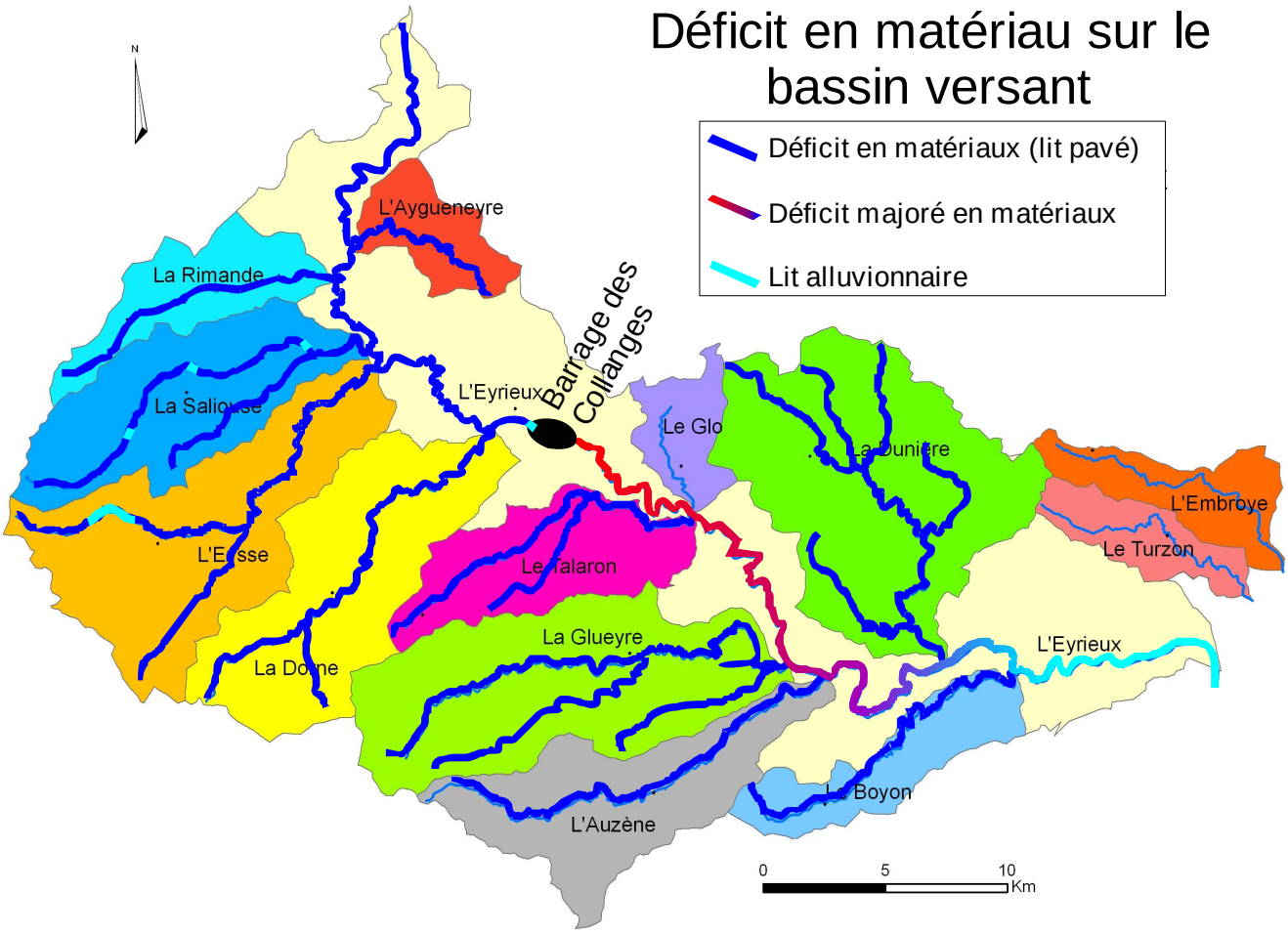


Figure 52 : Transit sédimentaire et morphologie dans le bassin versant.

Cette carte est reproduite dans le document n°4. Documents cartographiques avec un zoom sur les zones alluvionnaires de la partie amont du bassin versant. Ce document montre que le déficit en matériaux et le lit alluvionnaire concernent la quasi-totalité du bassin versant à l'exception de la zone alluvionnaire aval.

Il n'est pas possible de définir précisément la limite de la zone de déficit majoré suite à l'arrêt des matériaux dans la retenue des Collanges, ce qui explique un tracé en dégradé.

6. MODÉLISATION NUMÉRIQUE

6.1. Objectif

Il s'agit ici de modéliser l'évolution des fonds dans la zone alluvionnaires et de définir les tendances en fonction de différents scénarios d'apports. Une telle modélisation n'a de sens que dans un lit alluvionnaire car, pour un lit pavé, l'absence d'échanges entre le lit et le transport solide conduit à une indépendance des niveaux du lit aux évolutions du transport solide.

Cette modélisation ne correspond qu'au transport solide par charriage. En effet, comme exposé précédemment, seul ce phénomène entraine des évolutions de la géométrie du lit. Cette analyse n'apporte pas d'information sur l'évolution des substrats ou sur le tracé en plan. Il s'agit avant tout de réaliser une étude de sensibilité de l'effet des apports amont sur le niveau du lit.

Trois scénarios sont retenus :

- ⇨ État d'équilibre des apports amont, c'est-à-dire avec des apports solides correspondants à la pente d'équilibre. Cette simulation est proche de la situation actuelle dans la zone alluvionnaire aval.
- ⇨ Des apports amont réduits de moitié. Cela correspond à une forte réduction des apports, surtout si l'on prend en compte bassin versant en aval du barrage des Collanges dont la contribution n'est pas négligeable. Il s'agit du scénario le plus probable dans les prochaines décennies, les matériaux provenant des affluents aval mais aussi du lit de l'Eyrieux qui est faiblement érodé, comme indiqué précédemment.
- ⇨ Des apports nuls. Ce scénario parait très improbable. Il permet de maximiser les évolutions probables par un scénario clairement défavorable.

La simulation est réalisée sur une période de 150 ans, ce qui est suffisant pour dégager des tendances et assez raisonnable pour être réaliste.

6.2. Méthodologie

Le modèle numérique SELTEC - Simulation de l'Évolution d'un Lit Torrentiel En Crue - est basé sur une équation de transport solide et sur une expression de l'équation de continuité appliquée aux sédiments transportés. Il prend en compte exclusivement le transport solide par charriage, seul responsable des évolutions du lit suivant une modélisation monodimensionnelle.

Les simulations de crues récentes lors des études utilisant ce modèle ont permis la validation du modèle numérique, en particulier pour l'étude des confluences et de la réaction des rivières aux évolutions des apports solides. Le modèle a, par la suite, été couplé avec des modèles réduits physiques pour affiner les analyses, notamment en ce qui concerne les conditions aux limites.

Actuellement, le modèle est capable de traiter les phénomènes suivants :

- Modélisation de confluents (en particulier modélisation de la reprise par une rivière des matériaux apportés par un torrent);
- Prise en compte de l'effet du tri granulométrique;
- Modélisation du pavage;
- Fixation du fond par des seuils;
- Modélisation des dépôts - puis des reprises - à l'arrivée dans des lacs (cas des lacs de retenue).

Cette modélisation permet une approche fine des phénomènes mais aussi la réalisation de tests de sensibilité sur les hypothèses retenues et la mise en évidence de l'effet des aménagements.

Ce modèle est parfaitement adapté au lit mineur de l'Eyrieux en crue qui connaît un écoulement monodimensionnel.

Le pavage est simulé en considérant que l'érosion sélective des matériaux conduirait à un diamètre moyen de 15 centimètres pour un enfoncement du lit d'un mètre. Ces valeurs sont issues de l'analyse granulométrique réalisée précédemment.

Le calcul est réalisé en considérant des paliers correspondants au volume d'apport annuel de 5 000 m³.

L'hypothèse retenue à Beauchastel est le maintien des niveaux du lit par des curages. Cette gestion est la seule envisageable à long terme.

La simulation est basée sur les profils transversaux levés par ARGEO en 2011 dans le cadre de cette étude et déjà longuement analysés au paragraphe 3.4 page 44.

La carte de la localisation des profils transversaux levés dans le cadre de cette étude est visible dans le rapport n°4 - Documents cartographiques.

6.3. Résultats obtenus

6.3.1. État d'équilibre

Les simulations suivantes doivent montrer l'évolution du lit avec des apports amont correspondant à 5 000 m³ par an en aval du défilé de Pontpierre qui correspond à la limite amont du secteur purement alluvionnaire. Ces apports correspondent à l'état naturel et sont vraisemblablement proches de l'état actuel.

Le graphique suivant montre le profil en long dans la zone modélisée et son évolution au cours du temps (seuls quelques pas de temps ont été retenus pour faciliter la lecture du graphique) :

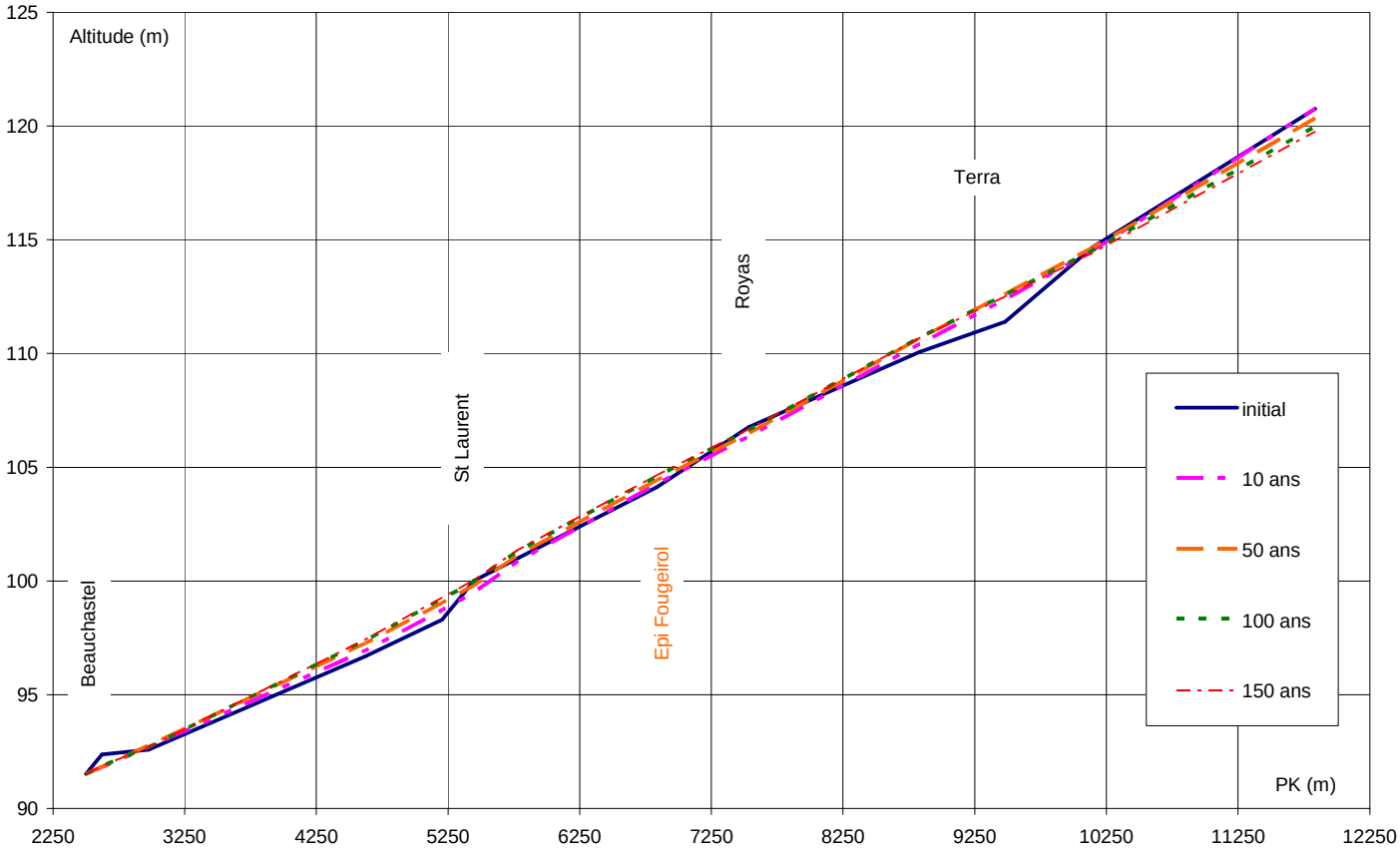


Figure 53 : Évolution des profils en long à l'état naturel.

Ce graphique montre que l'évolution du lit correspond avant tout à un lissage des pentes. En effet, le profil en long d'équilibre se traduit par un lissage de la pente. Ce lissage est rapide mais peu significatif car il correspond souvent à des singularités locales qui ne sont pas prises en compte dans le modèle, comme les versants rocheux dans le secteur de Terra. Cette évolution est pour l'essentiel réalisée en une décennie.

Une fois passé ce lissage des singularités, le modèle numérique est très représentatif et traduit avant tout la stabilité des niveaux. Les évolutions sont alors très lentes sur 150 ans.

Le graphique suivant montre l'évolution des niveaux pour chacun des profils en fonction du temps :

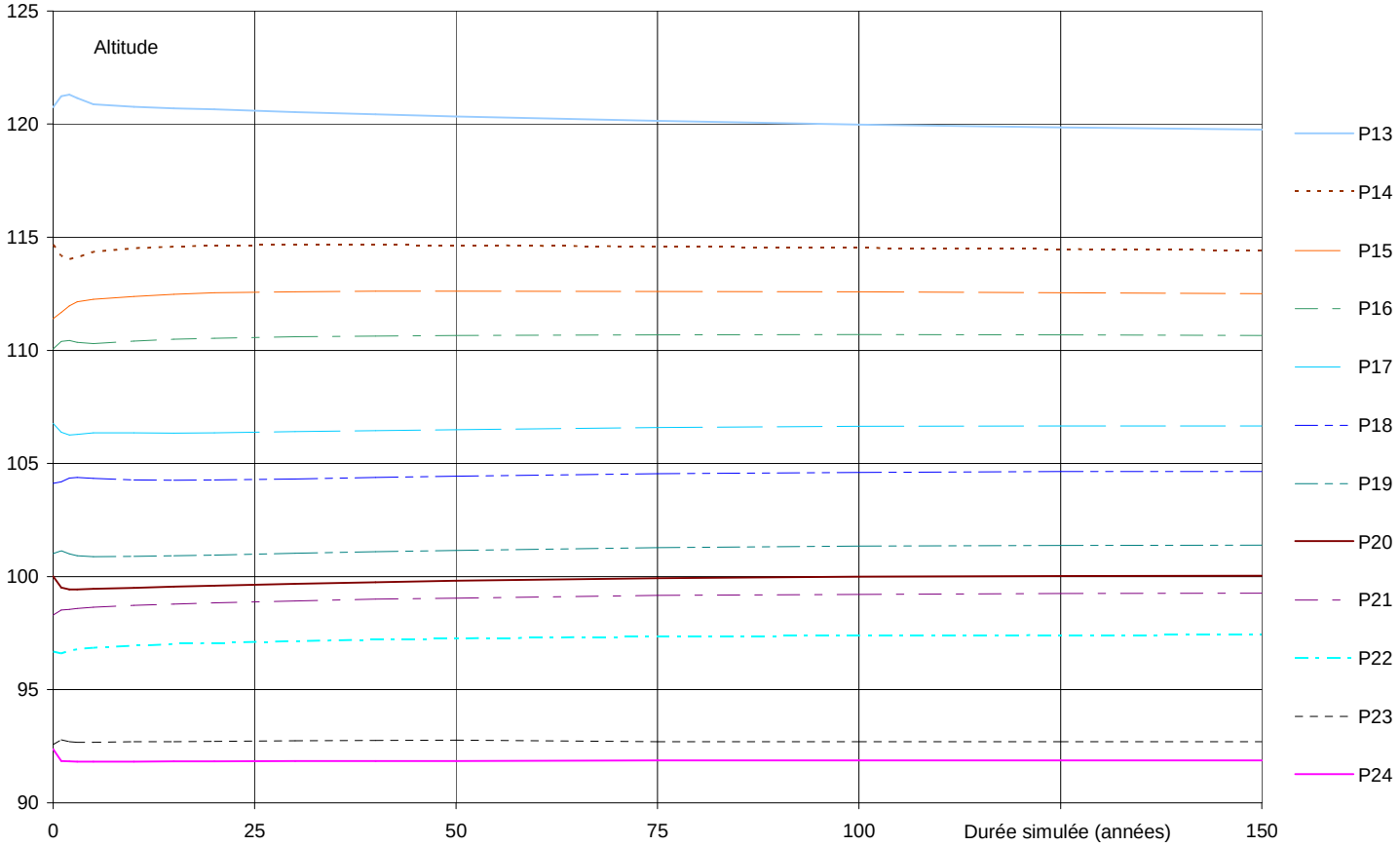


Figure 54 : Évolution des niveaux de chacun des profils à l'état naturel.

Ce graphique met clairement en évidence la faiblesse des évolutions du lit une fois passé le premier réajustement. Cette stabilité traduit un lit équilibré qui ne doit pas connaître d'évolution significative, comme c'est le cas depuis plusieurs milliers d'années.

En l'absence de pavage, un abaissement sensible peut être observé en amont de Terra sur le long terme.

Cette stabilité du profil en long ne signifie en rien un lit figé et un tracé en plan fixe. Au contraire, un lit à l'équilibre est associé à des divagations, des érosions de berge, des dépôts… dont le bilan est globalement nul.

Cette stabilité confirme le calage satisfaisant du modèle numérique.

La carte de la localisation des profils transversaux levés dans le cadre de cette étude est visible dans le rapport n°4 - Documents cartographiques.

6.3.2. Réduction de moitié des apports amont

6.3.2.1. Lit alluvionnaire

Les calculs réalisés ici correspondent à l'hypothèse - sévère - d'une réduction des apports solides amont de moitié. Le graphique suivant montre le profil en long dans la zone modélisée et son évolution au cours du temps :

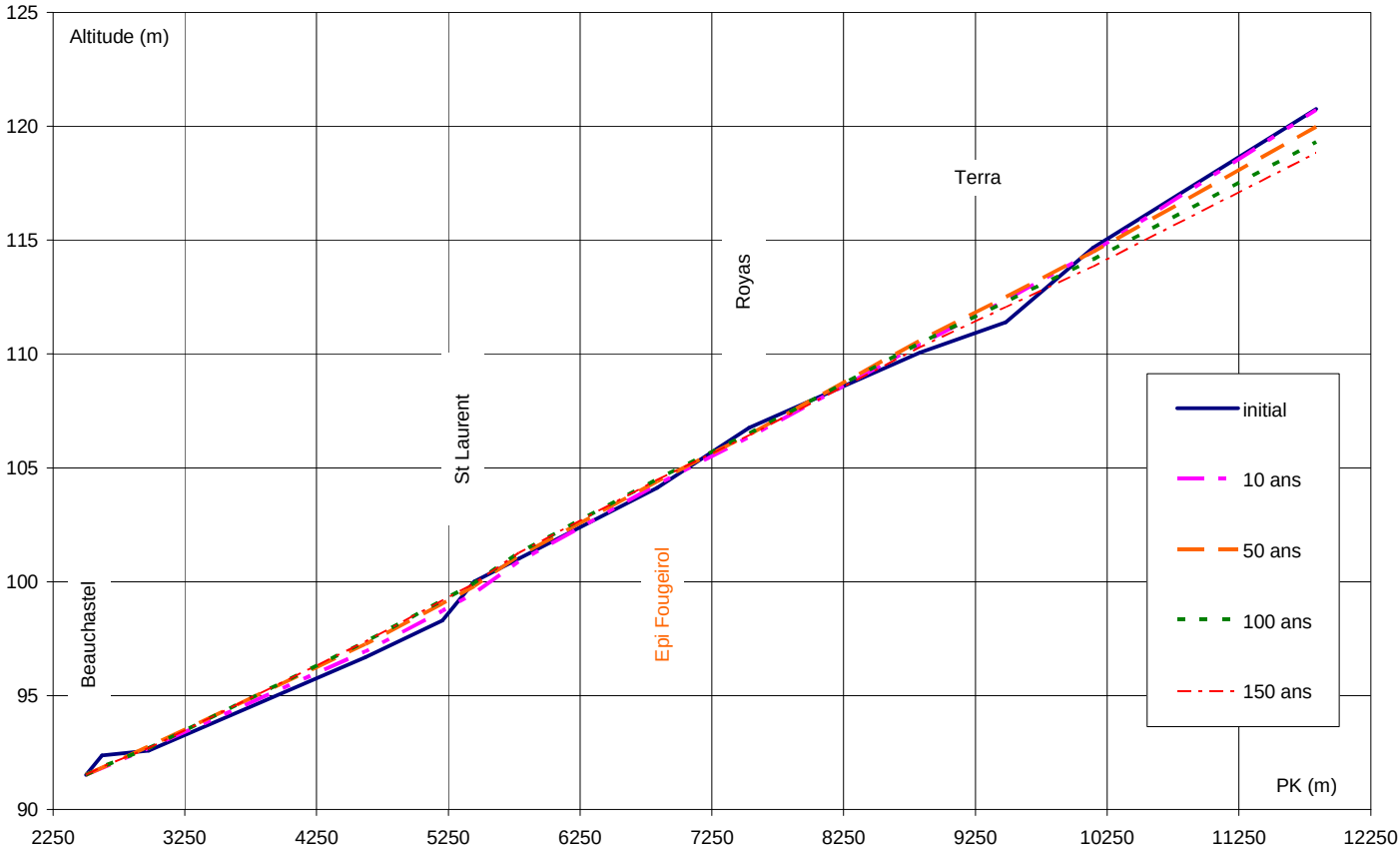


Figure 55 : Évolution des profils en long avec réduction de moitié des apports solides.

Les résultats sont ici radicalement différents avec un creusement important du lit amont sous l'effet de la pénurie en matériaux. Cet enfoncement dépasse 4 m en 150 ans à l'amont. Évidemment, cette érosion fournit des matériaux en aval…y réduisant temporairement la pénurie.

Ainsi, les profils aval ne subissent aucune variation significative des niveaux et même plutôt un engravement. Ce résultat illustre l'effet de régulation du transport solide par un lit alluvionnaire, comme décrit précédemment.

Le graphique suivant montre l'évolution des niveaux pour chacun des profils en fonction du temps :

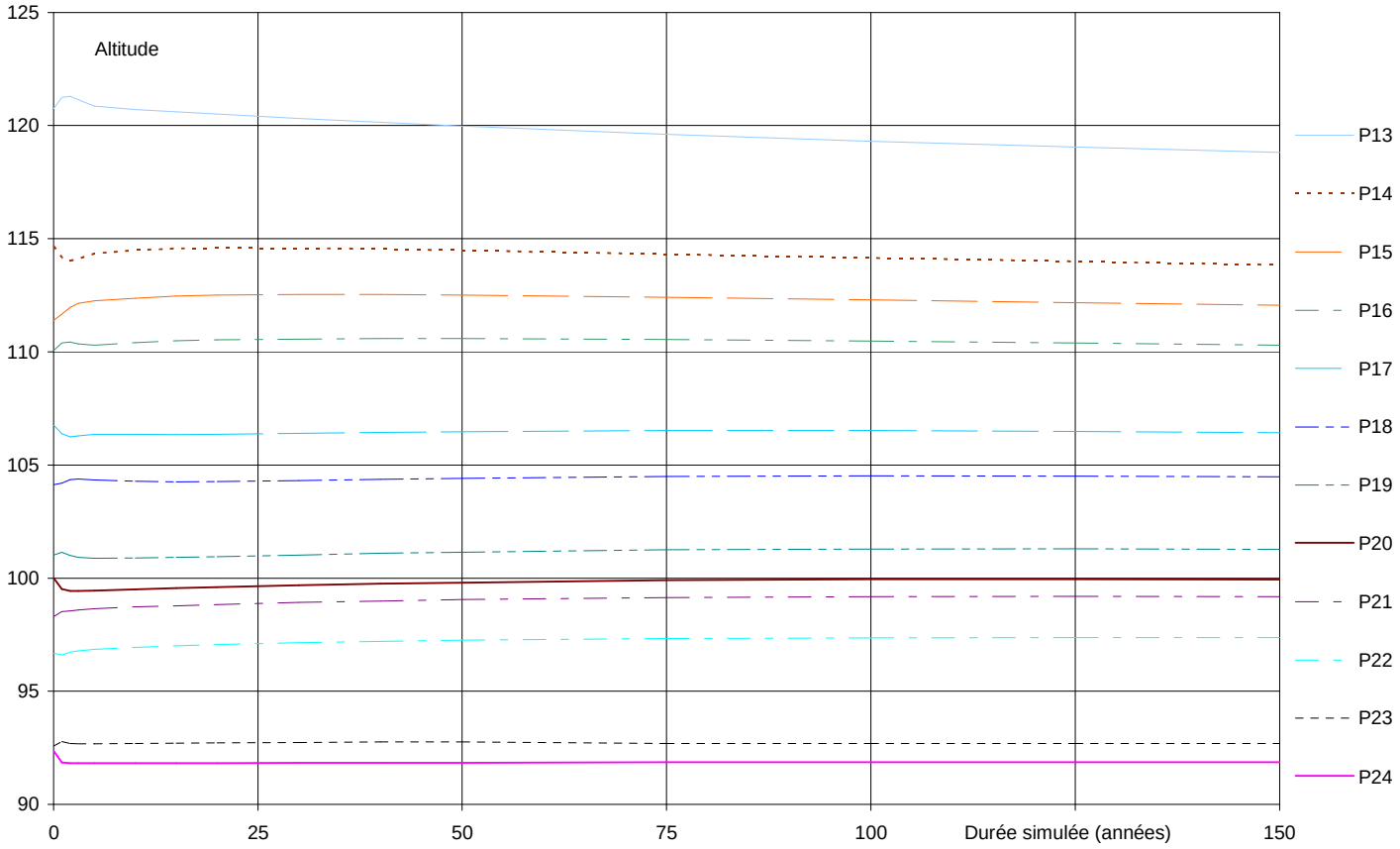


Figure 56 : Évolution des niveaux des profils avec réduction de moitié des apports solides.

Ce graphique illustre les différences d'évolution entre les profils :

- En amont, la tendance est clairement à l'abaissement du lit. Cette tendance diminue rapidement vers l'aval. D'autre part, il est intéressant de constater que l'évolution est d'abord rapide, puis de plus en plus lente. Pour mettre en évidence cette réduction naturelle de la vitesse d'érosion, le graphique page suivante correspond à un zoom sur le profil le plus amont seulement. Il montre qu'une fois la phase de réajustement (non significative) passée, la vitesse de creusement du lit ne fait que diminuer. Elle reste importante à la fin de la simulation, montrant que l'équilibre serait encore loin d'être atteint dans 150 ans.
- En aval, les évolutions du lit sont à peine significatives avec des évolutions très lentes. Le secteur amont joue pleinement son rôle de régulation.

La figure suivante montre l'évolution du profil le plus en amont (P13) et la réduction de la vitesse d'érosion :

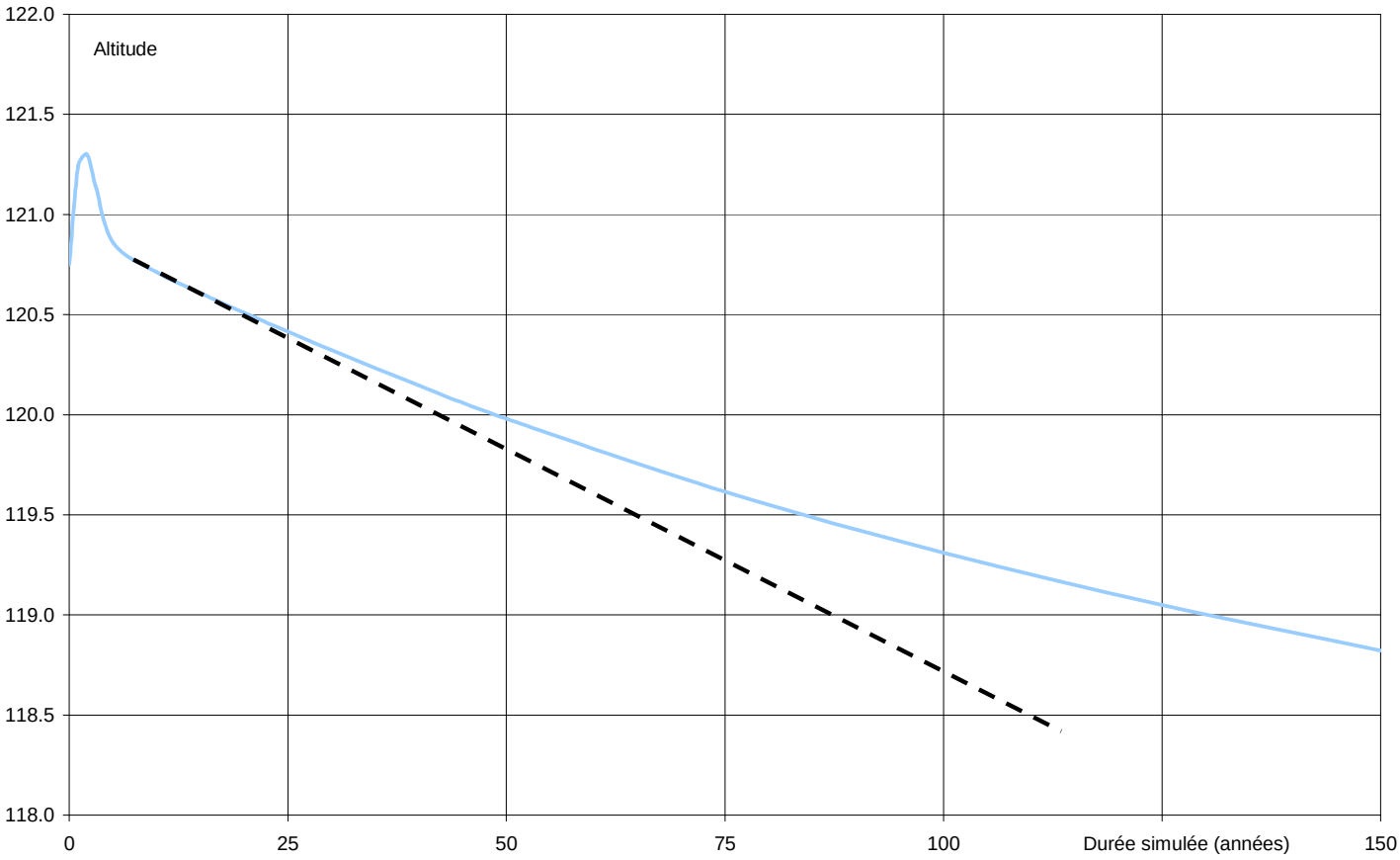


Figure 57 : Réduction très progressive de la vitesse d'érosion.

Ces résultats correspondent à l'évolution d'un lit totalement alluvionnaire. Cependant, la granulométrie étendue de l'Eyrieux et la relativement faible capacité de transport favorise, surtout dans le cas d'une érosion progressive, la formation d'un pavage défini et expliqué précédemment.

Ainsi, il parait intéressant de simuler cette évolution du lit.

6.3.2.2. Lit pavé

Il s'agit ici de prendre en compte le pavage du lit. Il est extrêmement difficile de connaître l'évolution réelle du pavage en fonction de l'érosion du lit et ce calcul doit être perçu comme un test de sensibilité par rapport à la situation sans aucun pavage, l'évolution réelle étant vraisemblablement située entre les deux calculs présentés.

Les calculs sont toujours réalisés avec l'hypothèse d'une réduction des apports solide amont de moitié. Le graphique suivant montre le profil en long dans la zone modélisée et son évolution au cours du temps :

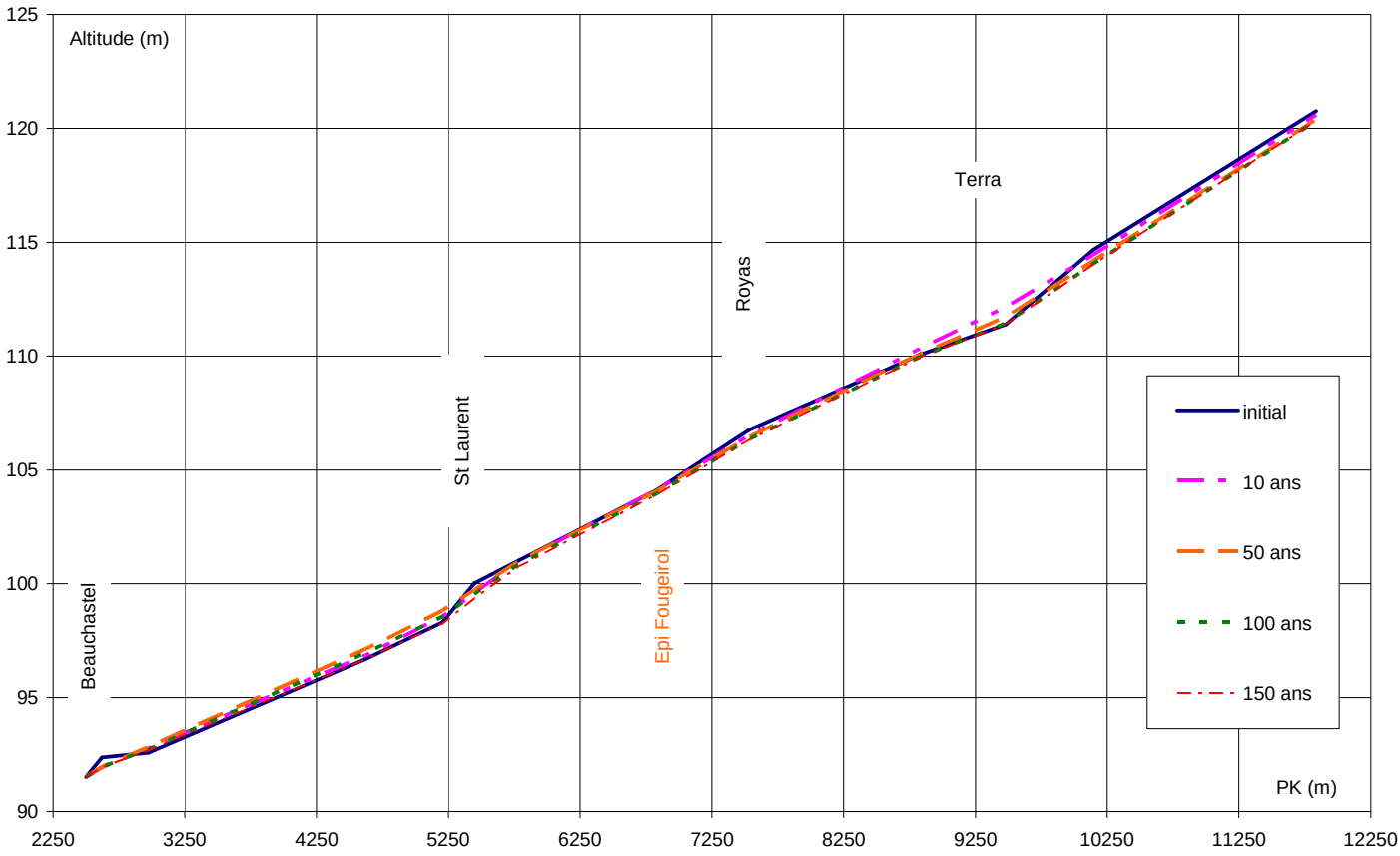


Figure 58 : Évolution des profils en long avec la moitié des apports solides et un pavage.

Les résultats sont très différents, le pavage bloquant l'érosion du lit. Ainsi, l'enfoncement dans la partie amont - qui dépassait 4 mètres dans la simulation précédente - n'est plus que d'une soixantaine de centimètres.

Cette réduction de l'érosion dans la partie amont n'est pas sans conséquences puisqu'elle permet la propagation de la pénurie en matériaux sur l'ensemble du linéaire. Dans ce cas, la régulation est bien présente mais d'une ampleur limitée. Ce fonctionnement est bien représentatif de ce qui se passe dans les gorges en amont avec une régulation encore plus limitée que ce qui est présenté ici.

Ainsi, les profils aval ne subissent aucune variation significative des niveaux et même plutôt un engravement. Ce résultat illustre l'effet de régulation du transport solide par un lit alluvionnaire, comme décrit précédemment.

Le graphique suivant montre l'évolution des niveaux pour chacun des profils en fonction du temps :

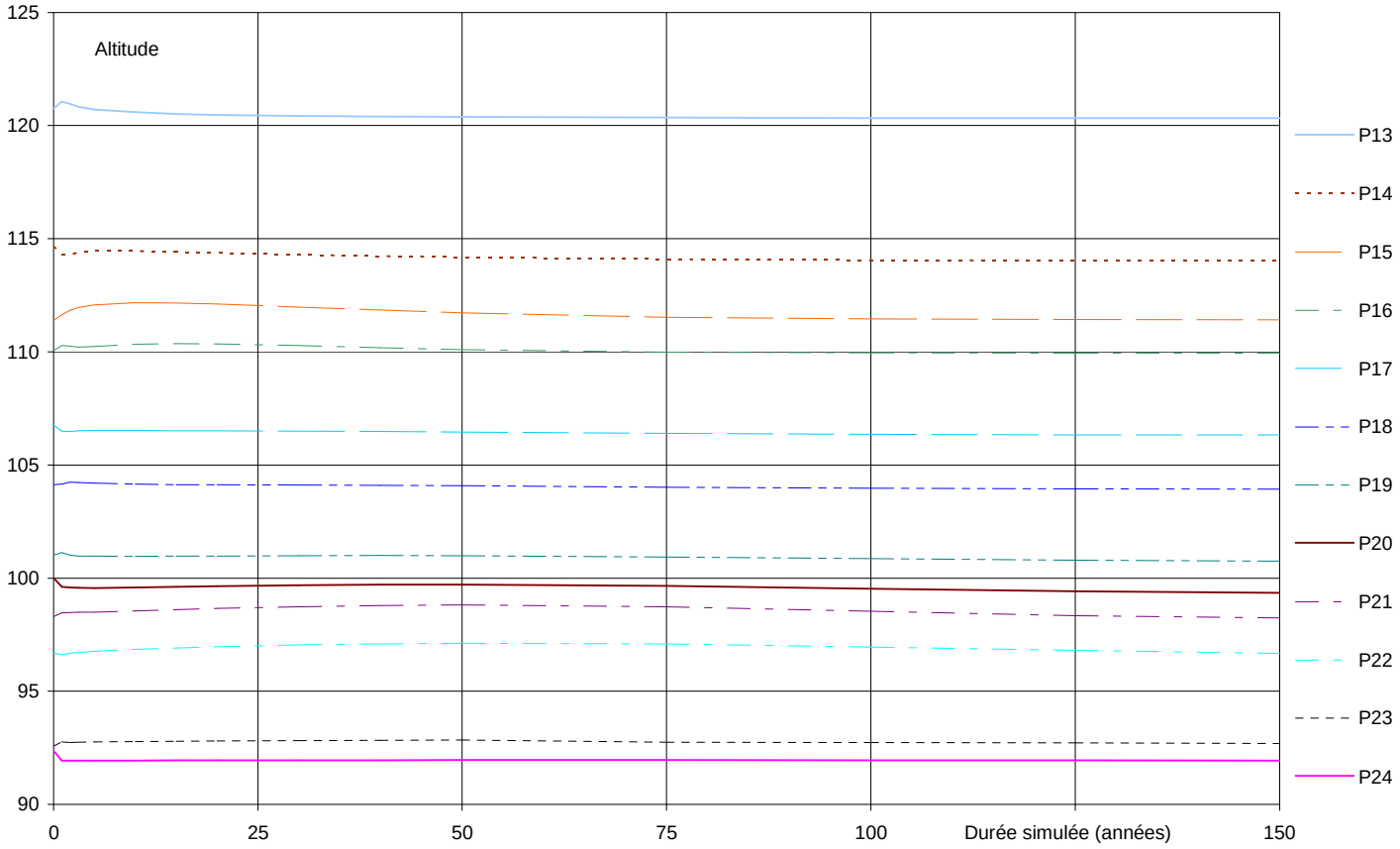


Figure 59 : Niveaux des profils avec la moitié des apports solides et un pavage.

Ce graphique montre que le lit amont atteint rapidement un nouvel équilibre et le creusement se propage vers l'aval. Les évolutions du lit sont beaucoup plus limitées.

Cette réduction de l'enfoncement du lit est ici associée à une réduction de la tendance à la divagation (le pavage concernant aussi les pieds de berge) avec

- Une réduction des érosions de berge - puisque le pied de berge se pave - qui ne manquerait pas d'être appréciée par les riverains.
- Un appauvrissement des milieux qui parait largement irréversible. Cet appauvrissement est ici beaucoup plus sensible que dans les gorges amont car le milieu actuel est particulièrement intéressant. Par contre, les gorges présentent à l'état naturel un milieu déjà appauvri par le déficit naturel en matériaux.

6.3.3. Suppression totale des apports amont

6.3.3.1. Lit alluvionnaire

Afin de cerner l'ensemble des évolutions possibles, il parait nécessaire de prendre en compte une suppression totale des apports amont. Cette situation parait irréaliste grâce aux apports des affluents en aval du barrage des Collanges et à la poursuite de la fourniture en matériaux par le lit dans le tronçon en aval du barrage (même si cette fourniture décroit progressivement).

Le graphique suivant montre le profil en long dans la zone modélisée et son évolution au cours du temps :

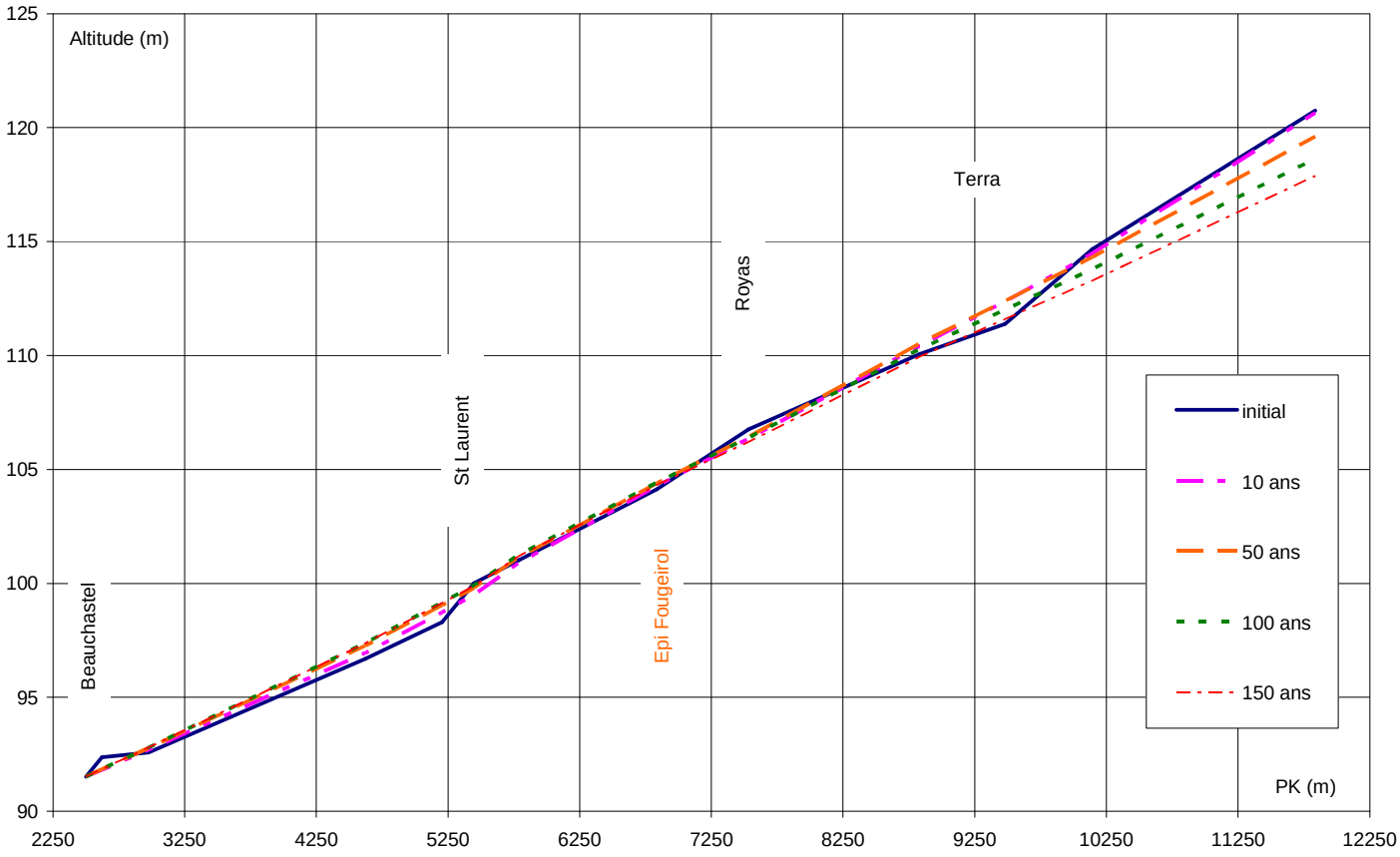


Figure 60 : Évolution des profils en long avec réduction totale des apports solides.

Les résultats sont proches de ceux obtenus avec une réduction de moitié des apports, mais ils sont encore plus marqués. L'enfoncement en amont passe de 4.3 m à 5.8 m en 150 ans. Évidemment, cette érosion fournit des matériaux en aval… y réduisant temporairement la pénurie, mais la zone impactée par l'enfoncement du lit est plus étendue vers l'aval.

Le graphique suivant montre l'évolution des niveaux pour chacun des profils en fonction du temps :

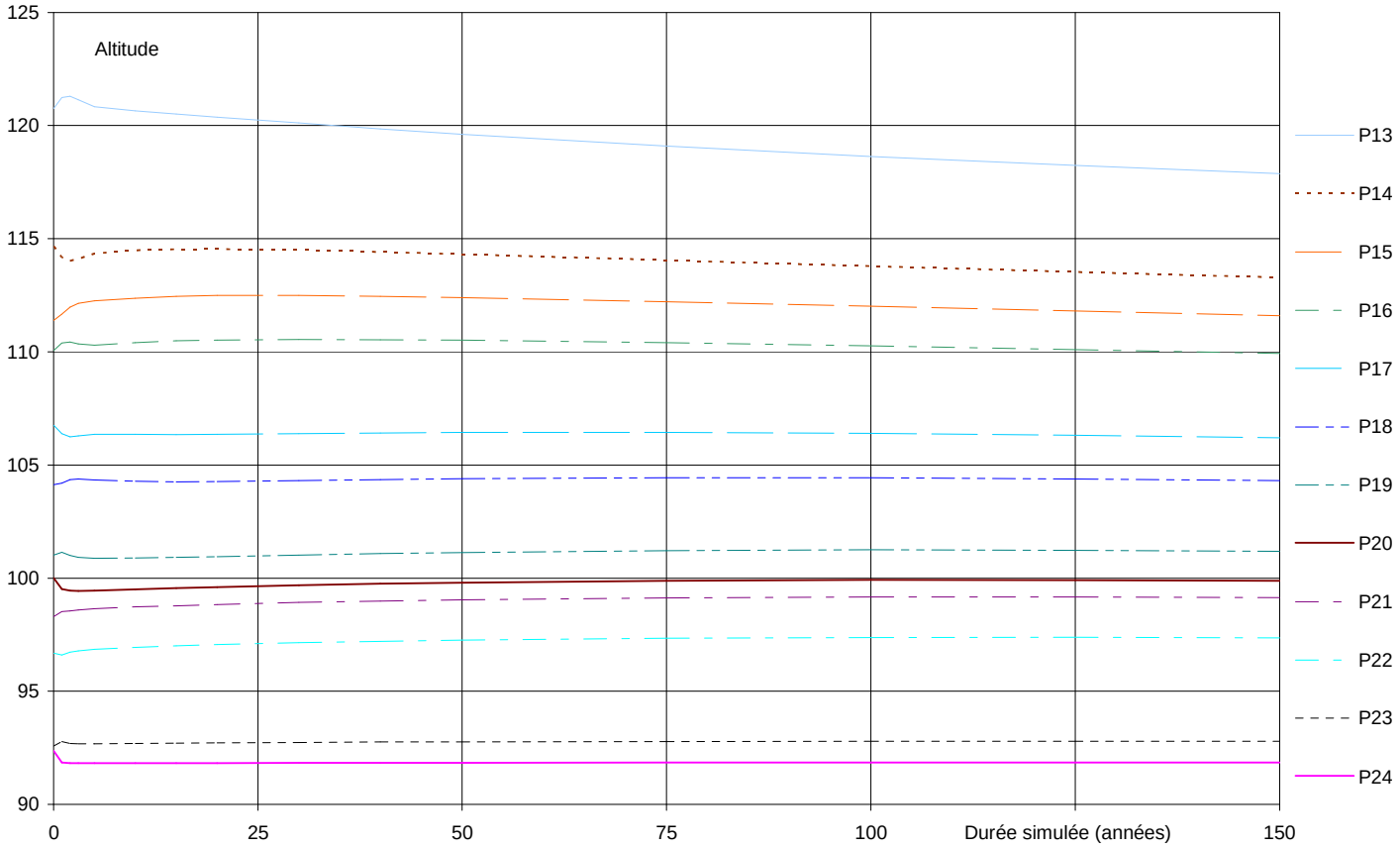


Figure 61 : Évolution des niveaux des profils avec réduction totale des apports solides.

Ce graphique illustre deux types d'évolutions majeures :

- Un affouillement amont plus important et loin d'atteindre un équilibre - en l'absence de pavage - dans la partie amont.
- Une propagation vers l'aval, lente mais plus étendue qu'avec une réduction de "seulement" la moitié des apports.

Dans l'ensemble, les évolutions sont ici les mêmes que pour une réduction de la moitié des apports, mais avec une ampleur majorée.

6.3.3.2. Lit pavé

Les calculs sont toujours réalisés en tenant compte ici d'un pavage du lit. Le graphique suivant montre le profil en long dans la zone modélisée et son évolution au cours du temps :

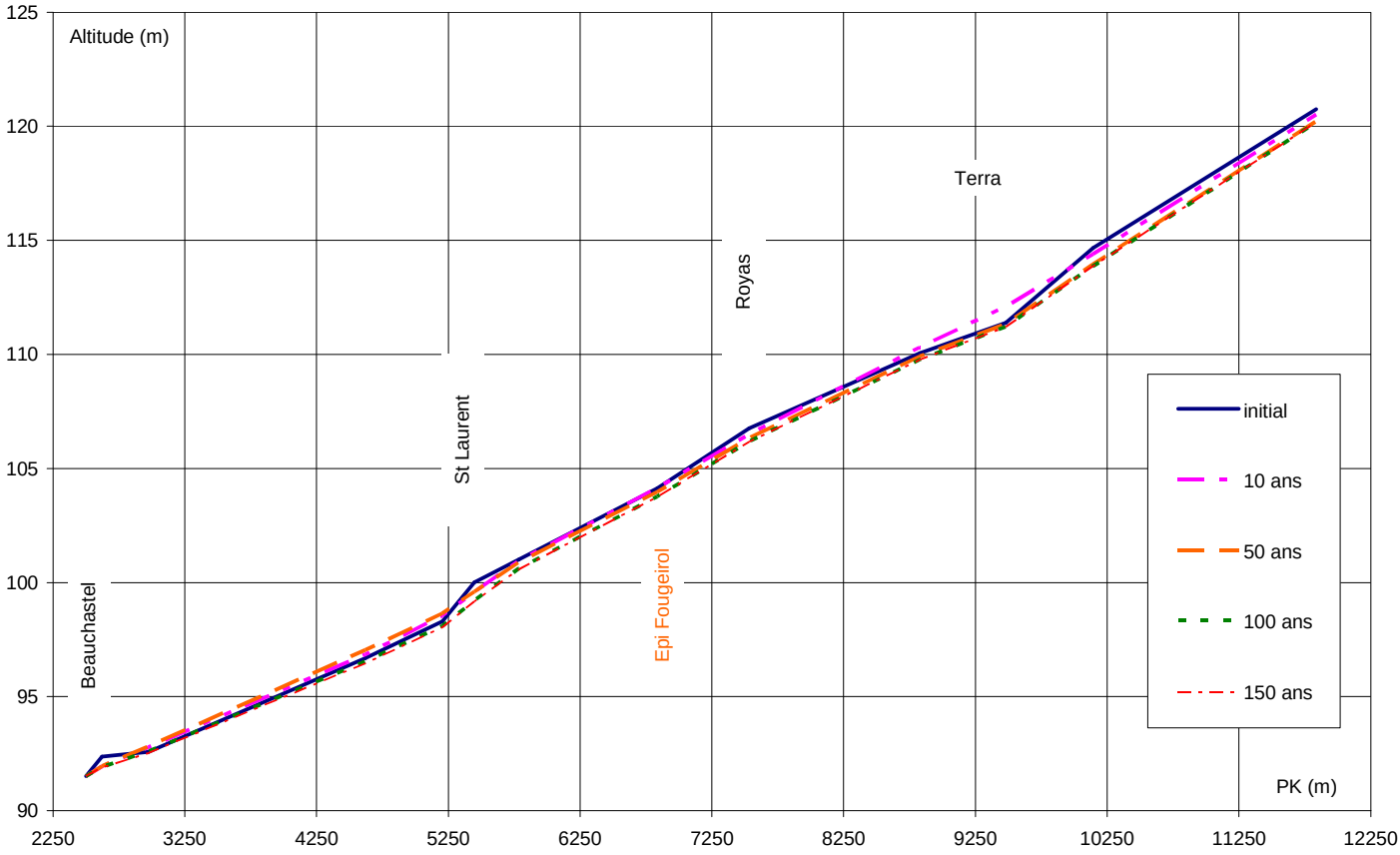


Figure 62 : Évolution des profils en long sans apports solides et avec pavage.

Comme précédemment, le pavage bloque l'érosion du lit. Ainsi, l'enfoncement dans la partie amont - qui approchait 6 m mètres dans la simulation précédente - n'est plus que de l'ordre de 70 centimètres. Ce résultat illustre un phénomène largement présenté précédemment :

- Dans un lit alluvionnaire, la pénurie en matériaux entraine un changement de morphologie.
- Dans un lit pavé, même une suppression totale des apports amont n'entraine qu'une évolution marginale du lit s'il est déjà impacté par une pénurie en matériaux. Cette très faible évolution d'un lit pavé correspond au pavage le plus fragile : le pavage endogène. Dans le cas d'un pavage rocheux, comme dans les gorges, l'effet de pénurie en matériaux est encore plus faible.

La réduction de la régulation du transport solide et l'ampleur de la pénurie explique que l'enfoncement se propage sur presque tout le linéaire.

Le graphique suivant montre l'évolution des niveaux pour chacun des profils en fonction du temps :

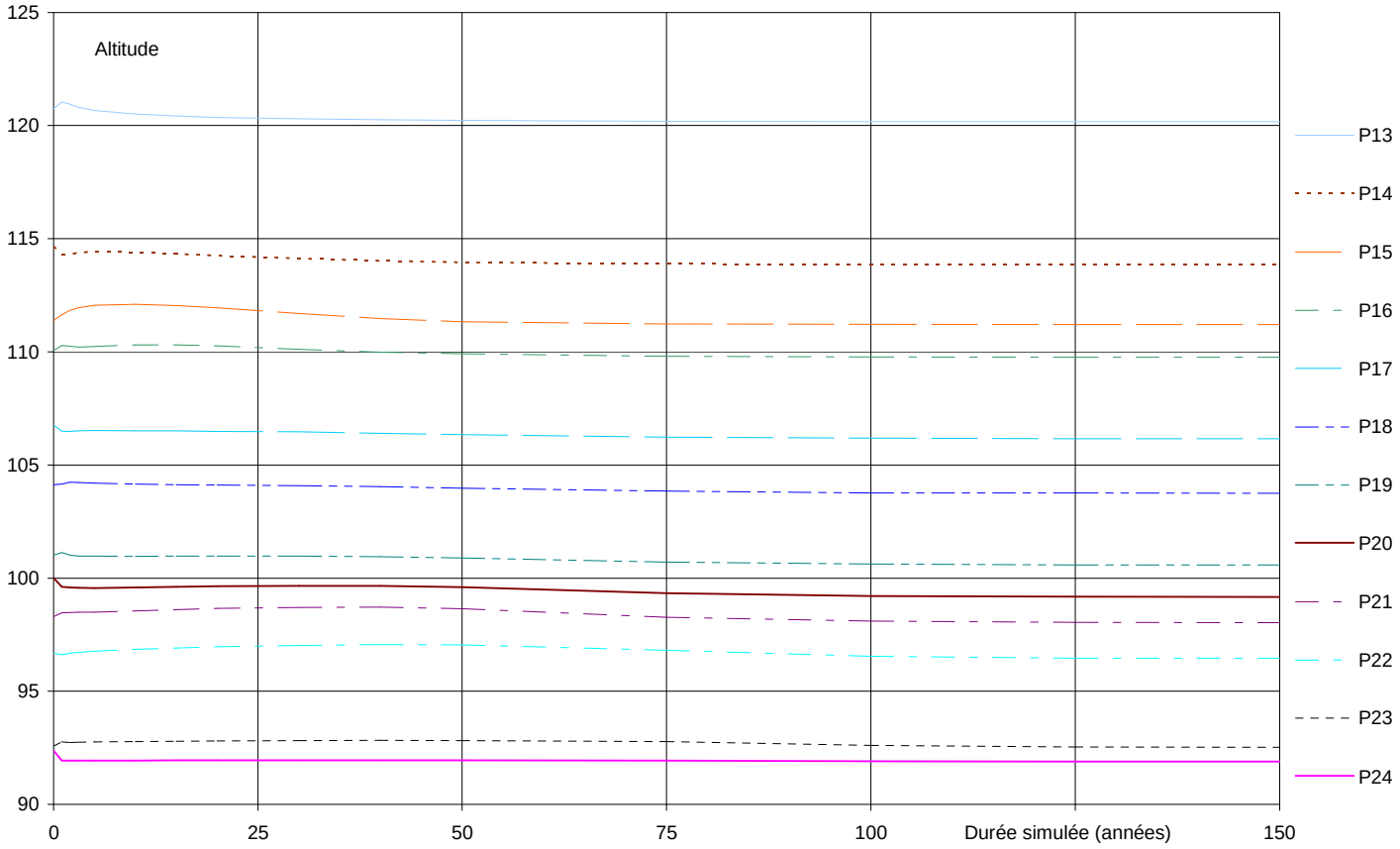


Figure 63 : Niveaux des profils sans apports solides et avec pavage.

Ce graphique montre que le lit amont atteint rapidement un nouvel équilibre et le creusement se propage vers l'aval. Les évolutions du lit sont beaucoup plus limitées et les écarts entre amont et aval s'estompent.

Comme précédemment, cette réduction de l'enfoncement du lit est ici associée à une réduction de la tendance à la divagation avec

- Une réduction des érosions de berge.
- Un appauvrissement des milieux qui parait largement irréversible. Cet appauvrissement est ici beaucoup plus sensible que dans les gorges amont car le milieu actuel est particulièrement intéressant.
- Une sensibilité à la réduction des apports solides beaucoup plus faible que lorsque l'on passe de l'état d'équilibre à la moitié des apports solides. Autrement dit, lorsque le lit est pavé, l'évolution du lit dépend du fait d'être en déficit ou non, mais peu de l'ampleur de ce déficit.

6.3.4. Synthèse

Les simulations numériques réalisées conduisent aux résultats suivants :

- Avec conservation des apports solides naturels, les évolutions du niveau du lit sont marginales.
- En cas de pénurie en matériaux, le lit alluvionnaire s'enfonce, d'abord en amont. Cette érosion amont protège le lit aval qui n'est que très tardivement et très lentement impacté.
- Les évolutions sont très lentes et d'ampleur modérée. En l'absence de pavage, le lit s'enfoncerait en 150 ans de quelques mètres dans les gorges en aval de Pontpierre, mais de quelques décimètres seulement au droit de Royas. Cet enfoncement ralentit progressivement, l'équilibre n'étant pas atteint après 150 ans.
- Avec prise en compte d'un pavage du lit, l'enfoncement du lit est très modéré mais concerne l'ensemble du linéaire. Les milieux particulièrement riches du lit alluvionnaire connaitraient un appauvrissement très net.
- L'écart d'évolution entre une réduction de moitié des apports solides amont et une suppression totale est particulièrement faible en cas de pavage.

7. DIVAGATIONS

7.1. Nature du phénomène

Naturellement, une rivière dans un lit alluvionnaire divague. Cette évolution est inévitable et correspond au comportement intrinsèque de l'écoulement qui génère des courants transversaux.

Des essais sur modèle réduit dans un milieu parfaitement pur (granulométrie uniforme, absence de végétation, lit initial rectiligne, débit liquide constant…) conduisent inévitablement à la formation de divagations.

Ces divagations se créent sans cause aggravante tels que des ouvrages ou des embâcles renvoyant l'écoulement sur la berge opposée. Ces causes aggravantes - souvent avancées pour expliquer localement les divagations - sont totalement secondaires et leur suppression - même si elle était possible - ne permettrait pas d'éviter la divagation.

L'ampleur des divagations augmente avec le volume de matériaux transporté par la rivière. Une rivière très active peut conquérir tout le fond de vallée, même si elle est très large, comme le montre la photo suivante de l'Eysse supérieure :



Photo 25 : Divagations de l'Eysse à Borée.

Par contre, plusieurs facteurs limitent - et surtout ralentissent - les divagations. Il s'agit notamment des éléments suivants :

- Un faible volume de matériaux transporté limite l'ampleur des érosions et donc la largeur du lit.
- La végétation peut fixer temporairement les terrains. Elle ne permet généralement pas de bloquer les grandes évolutions. Par contre, en favorisant la sédimentation sur les terrasses elle

favorise leur mise hors d'eau, y ralenti l'écoulement et réduit les érosions. Elle masque les anciennes divagations.

- Les protections de berges suppriment - ou limitent lorsqu'elles sont défectueuses - les érosions de berge et l'ampleur des divagations. En France, il s'agit - de très loin - de la principale cause de réduction de la largeur des lits.

En effet, ces divagations sont à l'origine de nombre de conflits entre la rivière et ses riverains, ces derniers n'acceptant évidemment pas de perdre des terrains. Ils oublient évidemment beaucoup plus facilement les terrains gagnés grâce aux divagations que ceux qui ont été emportés.

Ce conflit conduit à une réduction de la largeur de la rivière à long terme :

- Tout terrain "gagné" est valorisé et pérennisé, le mouvement de la rivière étant alors jugé comme naturel et comme une bien faible compensation des pertes antérieures.
- Tout terrain perdu doit être reconquis et pérennisé.

Ainsi, dans la mesure de leurs moyens, les riverains réduisent la largeur des lits pour gagner du terrain par les actions suivantes :

- Des protections de berge sont mises en place. Si les protections modernes sont très résistantes, des protections très partielles (gravats, arbres attachés, amas de blocs, carcasses de voitures…) ne permettaient pas de bloquer une anse d'érosion bien formée mais évitent les érosions de berges ordinaires, minimisant la dynamique de la rivière. Notons que tant qu'elle est résistante, une protection "douce" (protection végétale ou éléments en bois par exemple) a exactement le même effet sur la dynamique de la rivière qu'une protection "dure". Ces protections hétérogènes, en ralentissant l'érosion de la berge, facilite sa végétalisation. C'est l'une des causes du développement de la ripisylve.
- Les remblais, limitent directement la largeur de la rivière et sont "justifiés" par la restauration d'une situation antérieure idéalisée et perçue très localement.

Des mouvements de matériaux destinés à rectifier le lit de la rivière et à la recentrer sont largement illusoires. Les moyens mécaniques actuels les rendent aujourd'hui aussi faciles que peu onéreux. Cependant, le "remède" s'avère pire que le mal :

- Naturellement, une rivière divague. Dès que l'écoulement aura une puissance nécessaire, il reconstituera les divagations, même si le lit est rectiligne au départ.
- Le recalibrage du lit ne tient évidemment pas compte du fonctionnement de la rivière. Partant d'une situation totalement instable, les mouvements du lit seront plus importants que si le tracé naturel avait été conservé.
- En cas d'engravement, le ripage des matériaux sur le coté réduit progressivement la largeur du lit actif, majorant les hauteurs d'engravement et les divagations latérales lors des crues ultérieures.
- En remaniant les matériaux et en arrachant la végétation, les ripages réduisent la résistance des berges, accroissant encore les divagations. Ces opérations sont désastreuses pour le milieu comme pour le paysage.

7.2. Bassin versant amont et affluents

Il s'agit de l'Eyrieux en amont de Dunière et de tous ses affluents. Le bassin versant amont se caractérise par un déséquilibre marqué entre

- Une capacité de transport élevée à l'image de la pente,
- Des apports amont très limités.

Ce déséquilibre traduit une pénurie en matériaux et l'absence de berge réellement alluvionnaire, sauf très localement dans les hauts bassins versants de la Saliouse et de l'Eysse.

Les divagations sont généralement limitées par des berges résistantes, soit naturellement (substratum rocheux par exemple) soit artificiellement (protections de berges).

Dans le haut bassin versant, les berges exposées à l'écoulement sont presque toutes résistantes, les extrados étant très souvent rocheux. En intrados, les protections sont absentes… mais les contraintes hydrauliques y sont faibles et la tendance y est plutôt au dépôt de matériaux et à un équilibre à long terme. Ainsi, sauf cas particulier,

la protection de berge d'un intrados n'est pas nécessaire.

Les divagations sont donc très limitées dans le lit amont de l'Eyrieux et dans le lit de ses affluents, à l'image d'un lit qui n'est qu'exceptionnellement alluvionnaire. Des protections ont été localement mise en place, par exemple à la Palisse où une série d'épis protègent les près rive droite des divagations d'un Eyrieux coulant alors dans un lit alluvionnaire. En aval de St Martin Valamas, un épi massif protège aussi les près en retrait. Fondé sur le rocher, il est plus destiné à réduire la fréquence de la submersion qu'à éviter des divagations.

Des protections ont évidemment été mise en place, dans toutes les traversées urbaines - ou au droit des aménagements comme les moulinages - tant sur l'Eyrieux que sur ses affluents. Ces protections sont très souvent fondées sur le rocher, ce qui explique leur pérennité. Dans le cas général, il s'agit plus de murs de soutènement que réellement de protections de berge destinées à éviter l'érosion.

A titre indicatif, on trouvera dans le rapport n°4 - Documents cartographiques, les photographies aériennes du secteur des Collanges en 1948 et en 2007. Elles conduisent aux résultats suivants :

- Dans le secteur du barrage actuel, le lit était divaguant en 1948 confirmant le caractère alluvionnaire de l'aval du Cheylard. Cette divagation était permise par une réduction de pente mais surtout un élargissement du lit à ce niveau.
- Les dépôts actuelles de la queue de retenue sont - pour le moment - inscrits dans la zone de divagation potentielle.
- En aval immédiat du barrage, le dépôt a évidemment été modifié sous l'effet de la modification de la géométrie des écoulements par le déversement sur le barrage, mais il reste bien présent malgré la disparition du transport solide depuis une trentaine d'années. Le boisement est beaucoup plus marqué aujourd'hui et constitue la principale évolution visible.
- Dans les gorges, le zoom réalisé ne met en évidence aucun évolution, la géométrie du lit et des dépôts étant imposés par le substratum rocheux… qui n'a pas changé ! L'impact très réduit du barrage sur la géométrie des dépôts ne permet pas de dégager d'évolution significative, rendant stérile une analyse diachronique des photographies aériennes dans les gorges.

7.3. Secteur alluvionnaire aval

7.3.1. Caractéristiques générales

C'est évidemment dans le secteur alluvionnaire que les problèmes liés aux divagations apparaissent. Les premières divagations commencent réellement au méandre de Baffie (St Martin de Valamas) le substratum rocheux imposant le tracé du lit en amont.

Cette zone de divagation se poursuit jusqu'à Beauchastel, à l'exception des gorges entre l'aval de St Fortunat et Terra (St Laurent du Pape) où les divagations sont très limitées.

L'analyse suivante est basée sur les photographies aériennes avec les campagnes IGN suivantes :

- 1946 (ou 1948)
- 1979
- 1997
- 2007

Les photos correspondantes sont regroupées le rapport 4 - Documents cartographiques qui doit être consulté lors de la lecture de ce chapitre. La situation actuelle et les évolutions du lit sont décrites tronçon par tronçon. Chaque tronçon correspond au découpage de chacun des jeux de photos.

Les évolutions paraissent lentes et sont très progressives entre 1946 et 2007. Les jeux de photographies intermédiaires témoignent d'évolutions graduelles entre les deux états. Cette lenteur de l'évolution du lit n'est pas surprenante, le transport solide étant modéré. Ainsi, un recul moyen de la berge de 50 mètres sur 500 mètres de longueur et sur 3 mètres de hauteur correspond à un volume de 75 000 m³, soit le volume transporté durant 15 années moyennes. Or, seule une fraction du volume transité est échangée avec la berge dans une anse d'érosion. Une telle érosion n'est donc possible qu'en plusieurs décennies.

Des divagations génèrent classiquement, des zones humides, des milieux diversifiés et une forêt alluvionnaire remarquable qui doivent bien évidemment être préservés. La solution la plus rationnelle - mais pas la plus valorisante pour le gestionnaire - sur un cours d'eau aussi actif que l'Eyrieux consiste à minimiser les interventions et à laisser évoluer naturellement les milieux, d'autant plus qu'aucun dysfonctionnement de ces milieux ne nous a été rapporté. C'est ce principe qui est mis en œuvre dans les propositions de gestion de la plaine alluvionnaire aval.

On observe que, sur presque tout le linéaire, le lit de l'Eyrieux, parait aujourd'hui très végétalisée. Il s'agit d'une conséquence de la conquête très préoccupante du lit par la renouée du Japon. Elle est parvenue, en 2007, à conquérir tout le lit, seulement 3.5 ans après la crue décennale de 2003 !

Cette évolution est d'autant plus marquante que la ripisylve était quasiment absente en 1946. La recherche de bois de chauffage explique aisément cette situation avec depuis - comme presque partout en France - une tendance continue au boisement.

Pour chacun des tronçons, la présentation du rapport distingue systématiquement la rive droite et la rive gauche. La carte d'état major dressée au milieu du XIXème siècle et éditée en 1863 est aussi intégrée pour chacun des tronçons. Elle apporte des informations intéressantes au contraire de la carte de Cassini, beaucoup trop grossière dans la basse vallée de l'Eyrieux.

7.3.2. Du méandre de Baffie à Dunière

La carte d'état major correspondante est indiquée page suivante.

<table>
<tr><th>Rive gauche</th><th>Rive droite</th></tr>
<tr><td>Dans toute la moitié amont du méandre, le substratum rocheux est très présent. Il "guide" l’écoulement.</td><td>Entre le pont de la Pimpie et l'aval de Baffie, les terrains sont situés en intrados. Ils sont donc naturellement protégés contre les érosions.</td></tr>
<tr><td colspan="2">Le seuil de la prise d'eau était un élément prépondérant de l'aménagement. Il permettait une redistribution des écoulements en aval. Il a été partiellement détruit entre 1946 et 1979. Il permet de limiter les érosions de berges, notamment en rive gauche.</td></tr>
<tr><td>La plaine des Avalons, en amont de Dunière, est installée en extrados. Une protection de berge est donc nécessaire en amont. Cette protection est aujourd'hui dégradée, à l'image de l'ancien seuil.</td><td>Après le changement de concavité, la rive droite est potentiellement sollicitée par l’écoulement. Le mur de protection a été détruit mais l'évolution devrait être limitée, notamment grâce à la réduction des vitesses en crue liée au coude brutal en aval.</td></tr>
<tr><td>Le long de la plaine des Avalons, il n'y a pas d'ouvrages résistants et continus mais plutôt un renfoncement de la berge par des protections sommaires et hétérogènes et par la végétation. Cette protection est globalement suffisante - surtout étant donnée l'absence d'enjeux - grâce à la rive droite rocheuse qui "guide" l’écoulement. Le déplacement du lit au droit de la confluence avec la Dunière illustre la fragilité de cette situation.</td><td>Le long de la plaine des Avalons, l'Eyrieux longe le versant rocheux. Ces affleurements "guident" l’écoulement et réduisent la tendance à la divagation.

Ce tronçon parait stable à long terme et le tracé du XIXème siècle était déjà le même.</td></tr>
<tr><td>De part et d'autre de la confluence avec la Dunière, l'érosion des terrains, déjà marquée en 1946 s'est poursuivie. Elle est relativement lente mais a détruit le canal qui longeait le versant et - au final - a conduit à l'affouillement et à la destruction du seuil sur la Dunière.

Ce tracé était déjà clairement établi au milieu du XIXème siècle.</td><td>Au niveau de la confluence avec la Dunière l'Eyrieux s'éloignait déjà de la rive droite en 1946 et préservait un vaste dépôt. Ce dépôt a été préservé ou restauré malgré des curages qui y auraient été réalisés.</td></tr>
<tr><td>En aval de la Dunière, le lit est relativement stable depuis 1946. L'érosion n'est - comme en amont - que de quelques mètres mais elle a détruit le canal maçonné qui a facilité la résistance de la berge.</td><td>En aval de la Dunière, le lit de l'Eyrieux rejoint le versant rocheux.</td></tr>
</table>

Depuis un demi-siècle ce tronçon n'a connu que des évolutions de faible ampleur, souvent à peine visibles sur les photographies aériennes, mais qui ont conduit à la lente destruction des ouvrages (seuil et canal en rive gauche, mur de protection en rive droite). Des érosions de berge sont probables dans ce tronçon à moyen terme mais avec une ampleur modérée.



Figure 64 : Carte d'état major du secteur de Baffie à Dunière.

7.3.3. De Dunière à l'aval de St Fortunat

Le lit entre Dunière et St Fortunat correspond à l'un des tronçons qui a subit les évolutions les plus importantes. La carte suivante permet de situer ce tronçon :



Figure 65 : Carte d'état major de la moitié du XIXème siècle à St Fortunat.

<table>
<tr><th>Rive gauche</th><th>Rive droite</th></tr>
<tr><td>Une vaste anse d'érosion était formée - presque jusqu'à la RD 120 actuelle - en 1946. Elle était déjà clairement établie un siècle plus tôt. Elle dépassait 700 mètres de longueur et 150 mètres de largeur. Ce bras était abandonné en 1979 et une érosion de ces terrains paraitrait aujourd'hui comme une agression insupportable de la part l'Eyrieux. Une lente érosion de la berge est de nouveau possible.</td><td>Le versant rocheux reste présent jusqu'en amont de St Fortunat. Il "attire" l’écoulement mais la situation en 1946 montre qu'il ne s'agit que d'une tendance.</td></tr>
<tr><td colspan="2">Le pont de St Fortunat est à l'image du lit de part et d'autre : très large. Les écoulements ordinaires occupaient toute la largeur en 1946 mais les terrains en rive droite ont été progressivement cultivés. Le lit apparent est aujourd'hui beaucoup plus étroit.</td></tr>
<tr><td>En amont du verrou du Pigeonnier, le lit est très instable. Il était très étendu en 1946 et atteignait presque le versant rive gauche. Il est aussi tracé le long du versant sur la carte du milieu du XIXème siècle. La terrasse a, peu à peu, été abandonnée par l’écoulement… et conquise par l'homme. Elle est actuellement en cours d'érosion et le recul de la berge est aujourd'hui plus marqué qu'en 2007… mais encore beaucoup moins qu'en 1946.</td><td>La rive droite est structurée par deux éperons rocheux, peu visibles sur les photos aériennes, mais qui fixent la limite du lit mineur. La berge est donc très stable et particulièrement haute. La terrasse dans le lit mineur évolue au gré des crues.</td></tr>
<tr><td colspan="2">Le site du Pigeonnier correspond à un éperon rocheux qui impose un rétrécissement et un changement de direction à l’écoulement. Il crée une forte instabilité en amont mais aucune évolution de l'affleurement rocheux n'est visible sur les photographies aériennes.</td></tr>
<tr><td>La rive gauche est située dans le sillage de l'éperon du Pigeonnier. Elle subit peu de contraintes et des affleurements rocheux y sont très probables.</td><td>La rive droite présente une remarquable zone de divagation, en rapport direct avec l'orientation des écoulements causée par l'éperon du pigeonnier. Cette zone parait très mobile sur toutes les photographies.</td></tr>
</table>

Le lit suit ensuite des gorges rocheuses. Aucune évolution significative du tracé du lit n'est possible. On note seulement des évolutions - très secondaires et sans conséquences - de la végétation.

Le Boyon est un contributeur beaucoup trop faible pour apporter une perturbation au fonctionnement d'un Eyrieux contraint entre des versants rocheux.

7.3.4. De Terra à Royas

Ce site correspond à la disparition totale et quasi définitive de l'influence du substratum rocheux, l'Eyrieux arrivant dans la basse vallée alluvionnaire. La carte ancienne est indiquée page suivante.

Rive gauche	Rive droite
Dans la partie amont, le substratum est présent et impose le méandre de Terra, jusqu'au site de prise d'eau. Ce forçage du tracé par le substratum n'a connu aucune évolution autre que la disparition partielle du seuil.	L'intrados du méandre a favorisé le dépôt de matériaux… et les extractions qui ont été très actives dans cette zone. En amont du seuil, le lit a peu évolué.
En aval du seuil, la rive gauche est située en intrados d'un vaste méandre. Cette zone est particulièrement large, l'Eyrieux étant très mobile dans ce tronçon. Cet élargissement est d'ailleurs clairement illustré avec la présence d'un second bras le long du versant. Cette zone a fait l'objet d'extractions qui ont vraisemblablement conduit à un abaissement du lit et à un abandon de la terrasse. Celle-ci est aujourd'hui très boisée… et envahie de renouées du japon.	Le lit est aujourd'hui plaqué le long de la rive droite en aval du seuil. Cela est évidemment particulièrement net dans le coude très marqué qui caractérise cette zone. Des protections ont localement été nécessaires le long de la route. Dans la partie aval, un éperon très avancé dans le lit entraine la formation d'un surcreusement au tracé circulaire, visible sur toutes les photos.
L'éperon de la rive droite étale l'écoulement et renvoie l'écoulement vers la rive gauche. La digue de Niaque, mur très massif et ancien, protège donc le canal et les près en retrait. Bien que disloquée elle continue de jouer son rôle. Ce mur facilite la concentration des écoulements, au moins pour les débits modérés, et facilite la formation d'une profonde mouille. Il joue le même rôle que les versants rocheux.	Cette zone a connu une évolution considérable. Le lit était particulièrement large en 1946 ce qui a permis le développement d'extractions de matériaux. Ce site a ensuite été utilisé comme décharge puis comme aire de pique nique. Aujourd'hui, le lit est particulièrement étroit - et profond - dans cette zone.
Entre la digue de Niaque et Royas, le lit est aujourd'hui particulièrement étroit en amont et occupé par une ile centrale en aval.	
L'écoulement est actuellement concentré le long de la rive gauche. L'érosion de berge regagne une partie des terrains qui avaient été abandonnés par l'Eyrieux depuis 50 ans.	Le village de Royas est implanté en limite du lit mineur. Aucune protection n'est visible au droit du village ce qui parait très surprenant dans un site où la rivière est aussi mobile. Il est probable que des matériaux plus résistants (gravats, blocs, peut être substratum…) soient présents mais ils ne sont pas visibles. Les risques d'érosions pourraient être ici importants et menaceraient rapidement des bâtiments. Ce point doit faire l'objet d'une surveillance, particulièrement lors des crues.



Figure 66 : Carte d'état major de la moitié du XIXème siècle à Royas.

7.3.5. De Royas à St Laurent du Pape

La carte suivante montre cette zone :

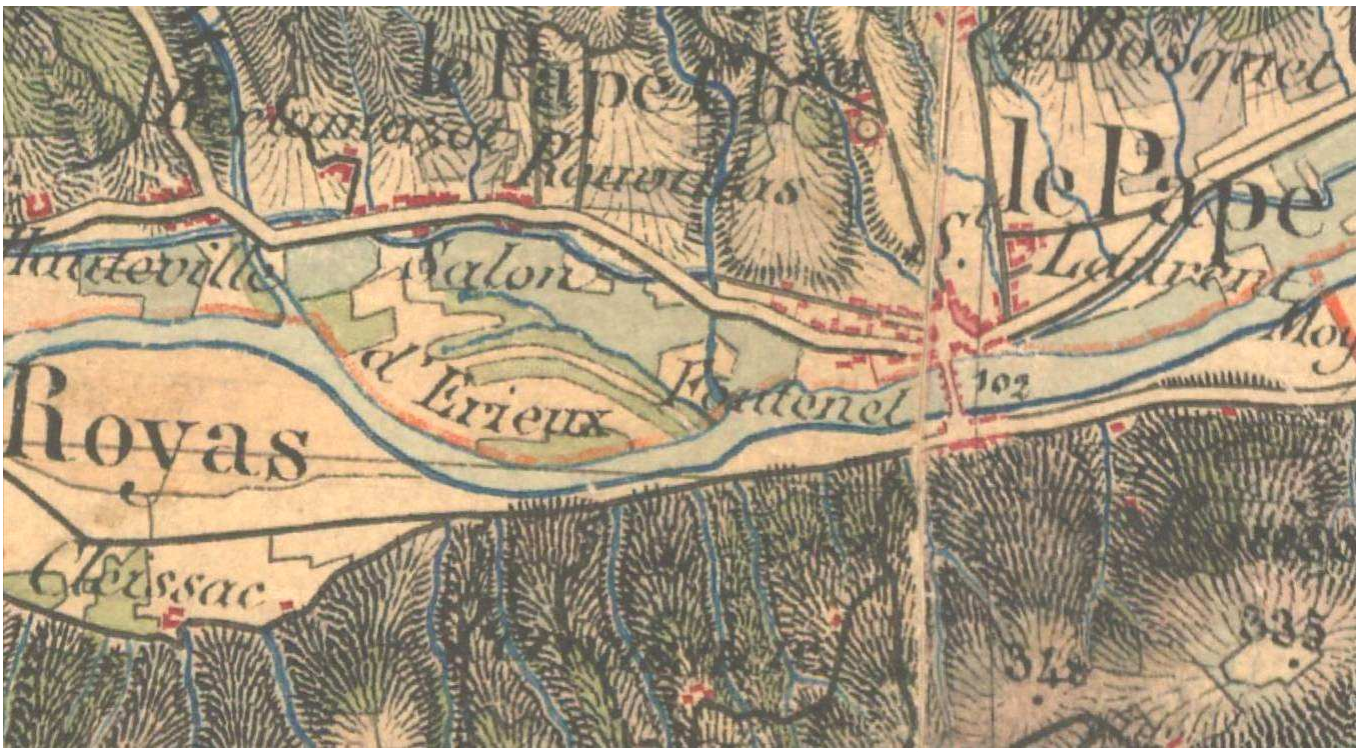


Figure 67 : Carte d'état major de la moitié du XIXème siècle à St Laurent.

Rive gauche	Rive droite
En aval de Royas, le lit est très mobile. Il n'est pas improbable que cette mobilité soit liée à la digue Fougeirol et à un épi très agressif qui y est associé. La carte du XIXème siècle montre des étangs très étendus dans cette zone. La conquête de ses zones humides explique la construction d'un ouvrage aussi massif que l'épi Fougeirol. L'effet de cet épi s'est accru ces dernières décennies. En effet, l'Eyrieux a eu tendance à se déplacer vers la digue et à dégager l'épi… qui est de plus en plus influent sur l'écoulement, causant une perte de charge importante. Cette forte influence est obtenue au prix d'un affouillement et d'une dégradation de l'épi, mais celui-ci reste efficace car il est très massif. La tenue de la digue ne parait pas assurée à moyen terme, mais, à l'image de l'épi, elle apporterait une résistance durable à l'affouillement de la berge.	L'Eyrieux forme un coude marqué dans cette zone. Les riverains souhaitent de longue date cultiver cette vaste superficie bien qu'elle soit naturellement parcourue par les crues qui recherchent un tracé plus direct. Une digue a donc été construite en aval immédiat du village de Royas pour réduire les débordements. La photo de 1946, qui montre un débordement généralisé dans cet intrados, indique que cette solution est peu efficace. L'analyse des photos montre un recul important de la berge dans l'état actuel, avec un écoulement plus direct - et plus brutal - vers la digue Fougeirol.
La digue Fougeirol renvoie l'écoulement vers le versant rive droite. Cette situation n'est que localisée car un retour vers la rive gauche formait, en 1946, une anse d'érosion marquée en amont de St Laurent. Cette anse d'érosion a été abandonnée par l'Eyrieux vraisemblablement sous l'effet d'interventions humaines.	Après le contact direct avec le versant rocheux, l'Eyrieux s'écarte du versant et permet l'exploitation de prés étroits mais ponctuellement menacés par les futures divagations.
La traversée de St Laurent se caractérise par des murs actuellement en retrait sur une terrasse élevée. La résistance de ces murs à un recul de la berge et à un affouillement n'est pas connue.	De part et d'autre du pont, des murs - ou des bâtiments ont été construits entre le versant et la rivière. Le risque principal est ici l'affouillement qui a déjà causé la destruction de quelques murs. On observe, en aval de St Laurent, un rétrécissement du lit. Il facilite le dépôt sous le pont, le lit y étant localement élargi.

7.3.6. Aval de St Laurent du Pape

<table>
<tr><th>Rive gauche</th><th>Rive droite</th></tr>
<tr><td colspan="2">L'aval de St Laurent se caractérise par un lit "naturellement" globalement rectiligne et étroit. Cette situation perdure depuis au moins 50 ans, la chenalisation réalisée par le pont en amont favorisant sans doute ce tracé. Cependant, des divagations restent possibles dans ce tronçon, comme l'atteste des boisements en rive droite qui témoignent sans doute d'anciennes anses d'érosion.</td></tr>
<tr><td>A mis chemin entre St Laurent et le Colombier, l'Eyrieux formait une anse marquée. Les terrains en extrados ont été figés.

Dans cette zone le lit a été considérablement rétréci.</td><td>A mis chemin entre St Laurent et le Colombier, l'Eyrieux formait une anse marquée. Les terrains en intrados, moins sollicité, ont été conquis par les riverains qui ont gagnés des superficies considérables qui paraissent aujourd'hui "définitivement" incluses dans les terrasses hautes du lit majeur.</td></tr>
<tr><td>Au droit du Colombier, l'Eyrieux formait en 1946 une anse d'érosion très marquée, presque jusqu'au versant rocheux.

Cette divagation à très faible rayon de courbure traduit vraisemblablement une évolution assez rapide. En effet, elle est totalement absente sur la carte du milieu du XIXème siècle.

La photo de 1979 montre que le lit a été artificiellement "redressé" jusqu'au raccordement avec la digue de Beauchastel.</td><td>La rive droite, en intrados dans cette zone, n'a pas subit d'évolution marquée.</td></tr>
<tr><td>La digue de Beauchastel constitue l'élément structurant dans le lit aval, incitant à un écoulement rectiligne.</td><td>La rive droite, d'abord très stable fait l'objet depuis une quinzaine d'années d'une lente érosion. Ce point a été étudié dans le rapport n°1 de description de l'état actuel. Cette érosion menace à terme les captages d'alimentation en eau potable de Beauchastel et un pylône moyenne tension.</td></tr>
<tr><td colspan="2">Le secteur des ponts de Beauchastel constitue un point fixe du tracé en plan, particulièrement à cause des protections de berge en rive gauche qui correspondent à un extrados marqué. Cette stabilité globale n'exclut pas l'érosion d'anciens remblais, comme observé un peu en aval.</td></tr>
<tr><td colspan="2">Le lit aval montrait initialement un lit divaguant, les variations de niveaux du Rhône facilitant les instabilités du tracé.

Au XIXème siècle plusieurs bras semblent même avoir pu se développer.

L'aménagement par la CNR a profondément - et "définitivement" - bouleversé ce secteur. La situation actuelle est stable au prix d'un entretien régulier, tant des protections de berge que du lit avec des curages réguliers. On observe, notamment sur le cliché de 1997, un engravement marqué du lit qui a été curé depuis.</td></tr>
</table>

La carte ci-dessous montre cette zone terminale :



Figure 68 : Carte d'état major de la moitié du XIXème siècle à Beauchastel.

7.4. Espace de liberté

Cette approche n'a évidemment un sens que dans les zones alluvionnaires, c'est-à-dire en aval de Dunière. Sur tout le linéaire amont, le rocher est prépondérant et rend cette approche stérile.

7.4.1. Méthode

La détermination de l'espace de liberté est réalisée conformément au guide édité par l'Agence de l'Eau :

Guide technique n° 2 - Novembre 1998

Bassin Rhône Méditerranée Corse

Détermination de l'espace de liberté des cours d'eau

La démarche consiste à réaliser la délimitation de deux espaces :

- L'espace de mobilité maximal. Il correspond ici à la plaine alluvionnaire, qui se distingue aisément des versants abrupts. La principale incertitude est alors liée à d'éventuels affleurements rocheux qui pourraient être masqués actuellement mais qui limiterait les divagations potentielles. Dans la partie aval, le fond de vallée est tellement large que cet espace perd de sa signification et n'a pu être cartographié.
- L'espace de mobilité fonctionnel, qui correspond à l'espace de liberté réglementaire. La démarche est alors réalisée en plusieurs étapes :
  - Concept d'amplitude d'équilibre. Ce concept correspond aux rivières à méandres. Ici, l'Eyrieux correspond plutôt à un fonctionnement en tresse peu actif pour lequel ce concept est mal adapté. On a évidemment pris en compte la direction préférentielle des déplacements des coudes existants.
  - Approche par la capacité de transport. Cette démarche est basée sur la confusion entre le transit des matériaux sous l'effet du transport solide et les volumes érodés en berges. Dans une rivière à l'équilibre, le transit peut être important alors que les érosions de berges, équilibrées par des dépôts, présentent un bilan nul. l'analyse diachronique des photographies aériennes montre que les évolutions du lit de l'Eyrieux sont lentes.
  - Approche géomorphologique historique. Cette démarche est particulièrement intéressante. Ce point a été développé au paragraphe précédent, en mettant en regard - sur l'ensemble du linéaire alluvionnaire - les évolutions observées et la nature des terrains et les causes d'évolution des lits. Cette analyse commence à partir des cartes d'état major dressées au milieu du XIXème siècle. Les éléments disponibles suggèrent cependant des évolutions relativement lentes, même sur une durée de l'ordre du siècle.
  - Zone d'érosion à 50 ans. Ce concept est vraisemblablement le plus pertinent dans le cas de l'Eyrieux, mais il est extrêmement difficile à appliquer. En effet, il est déjà difficile d'expliquer les évolutions passées du tracé en plan. La détermination des évolutions futures est encore plus complexe. Cette approche suggère un recul possible de la berge de 50 à 100 mètres… sauf en cas de protections de berge ou d'affleurement rocheux. La détermination de cet espace doit être réalisée en considérant "que les protections sont solides".
  - Enjeux écologique et paysager. Aucun élément justifiant de réduire la largeur de l'espace de liberté ne nous a été transmis. Inversement, il apparaît que les terrains en dehors de l'espace de liberté ne présentent pas d'intérêt particulier et sont largement déconnectés de l'Eyrieux. Par contre les milieux particulièrement riches liés aux divagations de la rivière ont été pris en compte et sont intégrés à l'espace de liberté, justifiant sa préservation.
  - Approche socio-économique. Il est bien évident que le fond de vallée a fait l'objet de multiples aménagements et notamment de voies de communication, d'habitations, d'exploitations agricoles ou de captages. Ces constructions ont nécessité rapidement la réalisation de protections de berges, un recul important de l'Eyrieux étant possible en l'absence d'ouvrages hydrauliques… ou de versant rocheux. Ces protections jouent un rôle majeur dans la détermination de l'espace de mobilité fonctionnel. Il apparaît cependant que la zone inondable de l'Eyrieux est particulièrement étendue, ce qui limite fortement les enjeux dans le lit majeur de la rivière. Les enjeux économiques pris en compte dans la délimitation et conduisant à une réduction de l'espace de liberté (depuis l'amont vers l'aval) sont les suivants:

- ⇨ Pont de St Fortunat. Il ne s'agit pas vraiment d'une contrainte par rapport aux enjeux sociaux économiques mais plutôt par rapport à un ouvrage qui parait très résistant et incontournable.
- ⇨ Digue de Niaque. En effet, cette digue très massive protège un canal d'irrigation, des terrains agricoles. Surtout, elle parait tellement massive qu'elle présente une résistance à la crue à très long terme. Enfin, le lit est particulièrement large dans ce secteur aucune protection n'étant construite sur la rive opposée.
- ⇨ Berge de Royas. Aucune protection n'est visible, mais sa présence est probable. Un recul de la berge menacerait le village.
- ⇨ Digue Fougeirol. Cet ensemble très massif protège des terrains agricoles et réduit l'inondation sur les terrains en retrait. Surtout, il parait tellement massif qu'il présente une résistance à la crue à très long terme. Enfin, le lit est particulièrement large dans ce secteur en l'absence de protection sur la rive opposée. La destruction de cet ouvrage entraînerait une déstabilisation du tracé en plan avec des érosions de terrains agricoles et l'augmentation de l'inondabilité de bâtiments… sans gain écologique car le lit est déjà large et divaguant.
- ⇨ Pont de St Laurent du Pape et son entonnement. Comme précédemment, il s'agit d'un ouvrage très résistant et incontournable. En rive droite, le versant rocheux apparaît.
- ⇨ Digues de Beauchastel. Ces digues protègent la ville, permettent l'entonnement des ponts de voies de communication de première importance. Elles supportent la RD 120dans leur partie amont.
- ⇨ **Pylône électrique et captage d'eau potable de Beauchastel**. Ces ouvrages implantés en rive droite ont un impact important sur l'espace de liberté. Il s'agit de la seule source d'alimentation en eau de la commune, ce qui en fait un équipement qui ne peut être négligé. Le pylône pourrait être déplacé, mais cette action n'a guère de sens, le captage étant à proximité immédiate. L'entonnement des ponts, lui aussi incontournable, est implanté quelques centaines de mètres seulement en aval.

Classiquement, les terrains agricoles ne sont pas considérés comme des enjeux justifiant une réduction de l'espace de liberté. C'est notamment le cas ici dans un contexte de déprise agricole.

On trouvera dans le rapport 4 - Documents cartographiques, deux cartes de la zone aval qui intègrent aussi les enjeux potentiellement menacés (les routes ne sont pas retracés car elles ne sont que trop visibles sur la carte).

Cette cartographie est destinée, dans le cadre d'un contrat de rivière à définir les zones qui doivent être préservées pour permettre les divagations naturelles de la rivière.

7.4.2. Résultats obtenus

La détermination de l'espace de liberté a été conduite au paragraphe précédent en mettant en évidence les évolutions passées et les points durs du tracé, qu'ils soient naturels ou qu'il s'agisse de protections.

La détermination de l'espace de liberté ne peut avoir un sens que dans un lit alluvionnaire. Elle reprend donc les secteurs précédemment cités entre le Pont de la Pimpie et la confluence avec le Rhône, à l'exception des gorges rocheuses de Pontpierre.

On trouvera dans l'annexe cartographique le tracé des deux espaces de mobilité sur l'ensemble de la zone étudiée. Il est reporté sur les photographies aériennes de 2007. Sur une large fraction du linéaire l'espace de mobilité maximal et l'espace de mobilité fonctionnel sont confondu. Il s'agit d'une caractéristique de l'effet des affleurements rocheux qui sont souvent en contact avec l'écoulement.

Les principaux points notables sont les suivants :

- Au droit de Dunière, le zonage considère que l'ancien canal qui longe l'Eyrieux, même très hétérogène, limitera les zones de divagation.
- En aval de Dunière, une nouvelle érosion de la rive gauche est possible mais elle devrait avoir une ampleur limitée dans les 50 prochaines années. Au-delà, un recul plus important pourrait menacer les terrains jusqu'à la route.
- Dans le secteur du Pigeonnier, le substratum rocheux devient prépondérant dans le tracé des espaces de liberté.
- A Royas, le zonage est très délicat au droit du village en raison de l'absence de protection apparente.
- A partir de Royas, l'espace de mobilité maximal couvre l'ensemble du fond de vallée. Il excède donc largement les extraits de photographies aériennes représentés. C'est encore plus net à partir de Beauchastel où les espaces de liberté du Rhône et de l'Eyrieux étaient autrefois mêlés.
- Le zonage est réalisé en considérant que, même dégradées, les protections massives limitent les divagations possibles. C'est le cas notamment de la digue de Niaque, de la digue Fougeirol ou encore de la traversée de St Laurent du Pape où des affouillements de murs sont probables.
- Au niveau des captages de Beauchastel, la brutale réduction de largeur de l'espace de liberté découle de la présence de ces captages mais aussi de celle d'un pylône EDF actuellement en limite du lit mineur.

Ces éléments sont cartographiés dans le rapport 4. Documents cartographiques.

7.5. Tronçonnage du secteur aval

La zone alluvionnaire (en aval des Ollières) a été découpée en 13 tronçons qui - évidemment - recoupent l'analyse précédente. On trouvera dans le rapport 4 - Documents cartographiques, deux cartes de la zone aval qui intègrent aussi les enjeux potentiellement menacés (les routes ne sont pas retracés car très visibles sur la carte).

Les érosions latérales considérées comme dommageables sont indiqués ainsi que le dépôt dans les deux tronçons aval. Les autres dépôts - ou érosions - correspondant à un fonctionnement équilibré d'une rivière dans un lit alluvionnaire ne sont évidemment pas cartographiés.

Les tronçons sont les suivants :

T1 Boutonnière des Ollières avec un élargissement du lit majeur mais un lit mineur qui reste figé le long de la rive gauche.

T2 Gorges rocheuses.

T3 Méandre de Baffie avec l'effet prépondérant de la concavité.

T4 Lit calé contre le versant rocheux rive droite et limité par des protections hétérogènes en rive gauche. Les apports de la Dunière ne modifient pas le fonctionnement de l'Eyrieux ni sa morphologie.

T5 Chenalisation du pont de St Fortunat.

T6 Divagation en amont du verrou du Pigeonnier.

T7 Gorges rocheuses. Les apports du Boyon ne modifient pas le fonctionnement de l'Eyrieux ni sa morphologie.

T8 Retour à un lit alluvionnaire mais tracé figé par des méandres très marqués. Anciennes extractions.

T9 Véritable zone alluvionnaire avec un lit mobile sans restriction de largeur.

T10 Chenalisation de St Laurent du Pape. Par le versant rocheux rive droite puis par les protections de berge.

T11 Véritable zone alluvionnaire avec un lit mobile sans restriction de largeur.

T12 Franchissements restreignant la largeur.

T13 Anthropisation totale du lit et effet du remous du Rhône.

A l'exception des tronçons T12 et surtout T13, la caractéristiques générale du transport solide est à la continuité.

8. SYNTHÈSE SUR L'ÉTAT DES LIEUX

8.1. Une érosion modérée

8.1.1. Un vaste bassin versant granitique

Le bassin versant de l'Eyrieux est composé à près de 80 % de matériaux granitiques. L'érosion y est globalement faible avec une forte fourniture de sables. De nombreuses zones d'érosions sont liées à des actions anthropiques.

8.1.2. Des érosions périphériques

Les érosions sont plus présentes dans les secteurs périphériques :

⇒ Les schistes du haut bassin versant du Boyon fournissent des matériaux arrêtés pour la plupart dans le barrage du Chambon de Bavas.

⇒ Surtout, les érosions des terrains volcaniques sur le rebord du plateau du Velay constituent une large fraction des matériaux apportés. Les processus d'érosions sont alors multiples les matériaux présentent des caractéristiques très diversifiées. Cette érosion concerne essentiellement les hauts bassins versants de l'Eysse et de la Saliouse.

8.2. Un substratum omniprésent

Sur la quasi-totalité du bassin versant, le substratum est affleurant. Il est donc prépondérant sur la morphologie du lit. Ce lit pavé témoigne d'un profond déséquilibre entre :

- Des apports solides amont modérés, en particulier pour les matériaux grossiers (plus gros que les sables) qui peuvent interagir avec le lit.
- Une forte capacité de transport permise à la fois par une forte pente et des débits liquides élevés en crue.

A l'état naturel, le lit montre donc une morphologie témoignant d'une nette pénurie d'apport en matériaux. Les zones "alluvionnaires" avec une granulométrie étendue sont limitées aux zones abritées (sillage des blocs et des éperons, intrados…). Ces lits présentent donc des milieux globalement assez pauvres du point de vu écologique, surtout dans les secteurs à forte pente où les fortes vitesses se conjuguent avec de rares substrats alluvionnaires et un renouvellement des milieux très limité, le lit étant figé par le substratum rocheux.

Cette morphologie concerne :

⇒ L'Eyrieux en amont de Dunière. Ce type de phénomènes se prête mal à une sectorisation, la transition étant progressive entre les gorges (amont de St Sauveur) et le lit purement alluvionnaire (aval de Terra).

⇒ L'ensemble des affluents à l'exception de cours tronçons dans les parties amont de l'Eysse et de la Saliouse.

8.3. Une plaine totalement alluvionnaire en aval

8.3.1. De lentes évolutions du tracé en plan

Le seul secteur réellement alluvionnaire correspond au lit aval avec une transition progressive entre les gorges (amont de St Sauveur) et le lit purement alluvionnaire (aval de Terra). Évidemment, ce secteur présente la pente la plus faible du bassin versant (moins de 3 ‰).

Le transit des matériaux grossiers dans ce tronçon est de l'ordre de 5 000 m³/an. Ce faible transport solide entraine de lentes évolutions, avec notamment des divagations qui se développent durant plusieurs décennies et qui peuvent être de grande ampleur.

Actuellement, les principaux problèmes liés aux divagations sont les suivants :

+ Une large anse d'érosion en rive droite en amont de Beauchastel qui menace réellement la station de pompage alimentant Beauchastel en eau potable.
+ Un déplacement du lit mineur en amont du Pigeonnier à St Fortunat qui menace une conduite d'eau usée, audacieusement implantée dans le lit.

Les autres érosions - moins actives - menacent des champs agricoles dans un contexte de déprise.

8.3.2. Des niveaux stables mais un lent enfoncement

Comme la plupart des rivières, le profil en long de l'Eyrieux dans sa zone alluvionnaire est très stable en l'absence de perturbations. Les profils en long levés à l'occasion de cette étude et recalés précisément sur les levés réalisés en 2000 suggèrent une grande stabilité du lit avec cependant une tendance à un enfoncement, très hétérogène, de l'ordre du décimètre. Cette évolution pourrait être en lien avec la réduction d'apports solides amont.

Évidemment, la pénurie d'apports amont va conduire à une lente érosion du lit. Ces phénomènes sont très lents mais sont cumulatifs. En 150 ans, les simulations montrent que ces érosions devraient conduire à un enfoncement de plusieurs mètres en aval du défilé de Pontpierre… mais de quelques décimètres au droit de Royas et encore moins en aval. Dans le cas probable d'un pavage du lit, l'enfoncement serait plus modéré (de l'ordre du mètre en 150 ans) mais réparti sur l'ensemble du linéaire.

8.3.3. Une modification du fonctionnement en aval

Dans le cours aval de l'Eyrieux, les aménagements du Rhône ne permettent plus la continuité du transport solide. L'Eyrieux change alors totalement de nature avec - en dehors des fortes crues - un écoulement extrêmement lent.

Un curage est donc indispensable pour compenser ce changement de fonctionnement, préserver l'équilibre du lit amont et prévenir des débordements sur les quartiers densément urbanisés en rive gauche.

8.4. Des ouvrages très présents

8.4.1. Des protections de berge peu nécessaires

Dans un lit rocheux, les protections de berge ne sont généralement pas nécessaires, et les ouvrages correspondent plutôt à des ouvrages de soutènement permettant de caler les bâtiments et les infrastructures au dessus du niveau des crues. Ces ouvrages sont généralement fondés sur le rocher et ne posent pas de problème.

Dans le lit alluvionnaire aval, les ouvrages sont indispensables lorsque l'on souhaite protéger les terrains du lit majeur. Ces ouvrages sont très anciens et permettent la fixation du lit. Ils sont sévèrement affouillés mais tellement massifs qu'ils bloquent durablement l'érosion de la berge. Les principaux ouvrages sont les suivants de l'amont vers l'aval :

⇒ Digue de Niaque, affouillée mais encore très résistante. Elle permet d'éviter la divagation dans toute la plaine tout en préservant la morphologie de l'Eyrieux.

⇒ Protection de Royas. Il parait très probable qu'une protection existe (elle est indispensable pour la protection du hameau) mais elle n'est pas visible. Il s'agit vraisemblablement d'un ouvrage très hétérogène… ou d'un affleurement rocheux recouvert par les dépôts en périphérie du village.

⇒ Digue Fougeirol très affouillée mais encore résistante. Un épi est très agressif mais il est lentement détruit. Elle permet le basculement du lit vers le versant rive droite tout en préservant la morphologie de l'Eyrieux.

⇒ Traversée de St Laurent du Pape et entonnement du pont.

⇒ Protection du vieux village de Beauchastel, des quartiers associés et de la RD 120.

⇒ Ouvrages CNR en aval.

On notera qu'à l'exception de la traversée de St Laurent du Pape et de l'ouvrage CNR où l'Eyrieux est dénaturé, ces ouvrages sont implantés sans aucun vis-à-vis. Les surcreusements causés par ces ouvrages - notamment les plus agressifs et les plus anciens - créent des zones profondes qui apportent une diversité des écoulements et offrent un refuge bienvenu à la faune lors des étiages les plus sévères.

8.4.2. Des seuils nombreux et anciens

De très nombreux seuils barrent les lits de l'Eyrieux et de ses affluents. Ces seuils ont permis la dérivation d'eau et l'installation d'industries, permettant le développement et l'enrichissement de l'Ardèche au XIXème siècle. La plupart de ces seuils sont abandonnés et certains alimentent des microcentrales.

Ces ouvrages sont transparents par rapport au transport solide, le transit solide étant assuré. Dans le haut bassin versant, ces ouvrages constituent - de loin - la première source de zones alluvionnaires avec une diversification et un enrichissement ponctuel des milieux. Par contre, il s'agirait souvent d'ouvrages infranchissables pour le poisson et la destruction de certains seuils est envisagée.

La tendance générale est à la réduction du nombre de seuils sous l'effet de la lente dégradation d'ouvrages à l'abandon.

8.4.3. Quelques barrages récents

Ces ouvrages récents (quelques décennies) présentent une grande hauteur avec une retenue d'eau significative en amont. En général, l'engravement du lit n'est pas envisageable car la grande hauteur entraine un dépôt étendu et épais en amont. Le volume solide stocké est important ce qui entraine des perturbations en amont.

Les principaux ouvrages sont les suivants :

- Barrage du Chambon de Bavas. Ce barrage, destiné à l'irrigation, retient les apports amont. Son comblement a été retardé par les prélèvements de matériaux en amont.
- Barrage du Nassier. Cet ouvrage est presque totalement atterri, formant un lit alluvionnaire en amont. Des curages permettaient d'éviter un engravement au droit du village du Bateau. Une certaine transparence est obtenue, d'autant plus que les apports amont sont aujourd'hui réduits. Il parait probable qu'exceptionnellement des curages soient nécessaires localement à cause de la formation du pavage limitant la reprise des matériaux stockés dans la retenue.
- Barrage de Sarny. Cet ouvrage a été mis en eau en 1987. Les dépôts sont marginaux dans cette retenue grâce à la conjonction de trois phénomènes :
    - Des apports solides amont fortement limités grâce à la retenue des Collanges distant de 6 km en amont.
    - Une retenue étroite, sinueuse et peu volumineuse facilitant le transit des fines lors des fortes crues.
    - Une gestion très rigoureuse de la retenue avec notamment des chasses lors des crues.
- Barrage des Collanges. Il s'agit - de loin de l'ouvrage le plus important sur l'Eyrieux. Il offrait lors de sa mise en eau une capacité de stockage de 3.15 Mm^3. Il cristallise la quasi-totalité des conflits sur le bassin versant. Il est donc analysé en détail au paragraphe suivant. Les usages de cet ouvrage sont les suivants :
    - Soutien d'étiage notamment pour l'agriculture. Cela facilite aussi la dilution des rejets de la station d'épuration du Cheylard.
    - Production hydroélectrique. Cet aspect est relativement secondaire, la puissance de la centrale étant faible par rapport à la taille de l'ouvrage.
    - Développement touristique. Cet aspect a jusque là été limité à cause d'une qualité de l'eau jugée insuffisante et du marnage estival.
    - Rappelons que cet ouvrage ne permet aucun laminage des crues.

8.5. Le barrage des Collanges

8.5.1. Un dépôt massif en amont

La retenue est presque toujours calée à un niveau proche de la cote nominale. Ce niveau est dépassé lors des crues, le déversement étant réalisé sur le barrage. Ainsi, les vitesses sont très faibles et permettent le dépôt de quasiment toutes les granulométries. Ce dépôt entraine les conséquences suivantes :

- ⇨ Perte de capacité de stockage de la retenue. Depuis la mise en eau du barrage, la perte de capacité serait - d'après la CNR - de 1.3 millions de m³. Or, le stockage d'eau pour le soutien d'étiage constitue une fonction majeure de cet ouvrage.
- ⇨ Dépôt régressif dans la zone de la Palisse augmentant les risques de débordement. L'extension de ce dépôt est fortement limité par le lit pavé - et donc raide - en amont.
- ⇨ Développement d'un milieu remarquable et très diversifié en queue de retenue. Ce lac permet le développement de l'activité pêche par l'introduction d'espèces spécifiques.

La poursuite de la gestion actuelle de l'ouvrage - qui consiste à ne pas éviter son remplissage par les matériaux - le condamne d'ici à peine un demi-siècle, les problèmes de gestion apparaissant avant**.**

8.5.2. Une pénurie totale sur une morphologie robuste

L'ouvrage entraine une pénurie totale en aval. Cependant, l'effet est difficile à mettre en évidence. En effet, à l'état naturel, les gorges de l'Eyrieux subissent un net déficit d'apports solides générant un lit pavé et souvent rocheux.

Dans ce contexte, un renforcement du déficit n'a qu'un impact modéré :

- ⇨ Les rares zones alluvionnaires existantes correspondaient à des secteurs abrités où l'érosion est difficile. La réduction des apports amont ne fait que diminuer l'ampleur de ces secteurs mais pas leur présence.
- ⇨ La faiblesse du transport solide conduit à un moindre renouvellement des matériaux des zones alluvionnaires avec une lente évolution vers un renforcement du pavage et une augmentation de la granulométrie. Il s'agit d'évolutions du second ordre (dans la mesure où le lien avec le transport solide est très lâche). Par contre, cette évolution renforce encore l'appauvrissement du milieu et une réduction de l'intérêt des frayères et constitue l'impact majeur du barrage dans les gorges par rapport au transport solide. L'absence d'élément de référence dans ce tronçon ne permet pas une approche plus précise et plus rationnelle.

8.5.3. Une très lente dégradation du lit alluvionnaire

Pour le lit alluvionnaire - à partir des Ollières et surtout de Terra - l'impact du barrage est beaucoup plus fort… mais extrêmement lent. En effet, dans une zone alluvionnaire, l'arrêt des apports solides amont entraine un creusement du lit. Ce creusement peut être de plusieurs mètres avec de graves conséquences (abaissement de la nappe d'accompagnement, affouillement des ouvrages, réduction de la connectivité le long de la rivière…).

Heureusement, plusieurs éléments ralentissent considérablement - et même limitent - cette évolution :

- Le lit de l'Eyrieux entre les Collanges et le secteur de Terra permet une certaine recharge en matériaux amortissant l'effet amont. Cependant, le lit y étant pavé, le stock alluvionnaire mobilisable est faible. Ainsi, cet effet a joué les premières décennies après la mise en eaux, mais il s'estompe et la pénurie se propage vers l'aval.
- Les affluents en aval des Collanges, même s'ils ne correspondent pas aux zones où l'érosion est la plus active, permettent une fourniture en matériaux. Elle est faible et concerne essentiellement le sable et les graviers, réduisant l'impact sur les substrats.
- Le transport solide de l'Eyrieux est très faible (5000 m³/an en moyenne pour les matériaux grossiers). L'évolution est donc très lente. Les simulations numériques suggèrent un enfoncement de quelques décimètres au droit de Royas… après 150 ans. Cette évolution diminue nettement en allant vers l'aval.
- Le pavage du lit par une érosion préférentielle des fins limiterait considérablement l'enfoncement du lit, vraisemblablement à moins d'un mètre. Par contre, cet enfoncement se propagerait assez vite en aval. La formation - probable - d'un pavage est associée à une réduction des divagations et un renouvellement des milieux encore ralenti dans le cours aval. L'impact écologique serait nettement plus fort dans un lit alluvionnaire que dans les gorges rocheuses amont.

L'évolution du lit aval est aujourd'hui - trente ans après la mise en eau de l'ouvrage - à peine sensible en aval de Terra (la comparaison des profils transversaux suggère un enfoncement d'à peine 10 à 20 centimètres durant la dernière décennie).

Ainsi, les évolutions du lit aval sont très lentes mais elles sont cumulatives. À l'image du remplissage de la retenue, une intervention est nécessaire à moyen terme pour éviter une dérive du fonctionnement de la rivière. De la même façon, plus l'intervention sera tardive, plus elle devra être de grande ampleur.

8.6. Nature des enjeux

8.6.1. Méthode

Il s'agit ici de lister les différents enjeux en rapport avec le transport solide et surtout ses variations ou ses perturbations. Par exemple, l'absence de réduction prévisible du transport solide dans le haut bassin versant enlève toute pertinence à des enjeux qui seraient liés à un enfoncement chronique du lit.

Pour tenir compte de la variété des morphologies, le bassin versant est découpé en quatre tronçons. Afin de permettre une lecture plus synthétique et éviter les répétitions, les enjeux sont présentés sous forme de tableau, comme ci-dessous :

Enjeux	Importance et relation avec le transport solide
Écologique	Il s'agit de mettre en évidence les modifications de richesse du milieu et de capacité de renouvellement par rapport au transport solide.
Paysage Tourisme	Ces deux aspects correspondent à une forte attente des riverains surtout dans le haut bassin versant. Un lit divaguant avec un transport solide équilibré est globalement très rare dans le bassin versant.
Qualité de l'eau	Le transport solide intervient essentiellement de deux façons sur la qualité de l'eau : sur la capacité d'autoépuration et sur la concentration en matières en suspension, cette dernière étant globalement faible dans un tel bassin versant granitique. On peut rajouter le fait que la présence d'un matelas ou de dépôts alluvionnaires agit à l'étiage estival sur la température de l'eau. En l'absence de ces dépôts, les écoulements se font sur la roche mère et se réchauffent fortement en été.
Nappe	Ce point aborde la dégradation relative aux nappes d'accompagnement, par exemple sous l'effet d'un enfoncement de la rivière ou du colmatage du lit. Le fait qu'une suppression ou limitation des échanges entre la nappe et la rivière (causée par exemple par un enfoncement du lit), entraîne une dégradation des milieux annexes latéraux et a donc des effets sur l'enjeu écologique (habitats, biodiversité…) et l'enjeu qualité (rôle épuratoire des milieux annexes).
Production hydroélectrique	Les variations du transport solide peuvent évidemment impacter les ouvrages hydroélectriques et leur gestion.
Production agricole	L'interaction avec le transport solide est faible et correspond essentiellement aux érosions de berge et aux divagations.
Risque d'inondation	Il s'agit ici de mettre en évidence les évolutions des risques d'inondation sous l'effet des évolutions du lit, notamment en cas d'engravement.
Ouvrages	Ce point correspond aux risques de dégradation ou de destruction des ouvrages en cas d'évolution du lit.

8.6.2. Eyrieux à l'amont des Collanges et affluents

Ce secteur est pour l'essentiel constitué de gorges plus ou moins marquées.

Aucune perturbation significative du transport solide n'est prévisible. Les enjeux sont donc réduits car il n'y a pas de restriction significative de l'espace de liberté, sauf très localement au droit des franchissements.

Enjeux	Importance et relation avec le transport solide
Écologique	Peu d'évolution à long terme si ce n'est la dégradation et suppression de seuils avec deux conséquences : ⇨ Amélioration du franchissement. ⇨ Réduction des zones alluvionnaires.
Paysage Tourisme	En l'absence d'évolution du transport solide, les enjeux sont ici très faibles. Le dépôt de matériaux est localement perçu comme un obstacle à la baignade, comme au niveau du seuil du Chambaud.
Qualité de l'eau	Pas d'évolution attendue.
Nappe	Nappes d'accompagnement marginales dans le haut bassin versant. Pas d'évolution attendue, en particulier pour les niveaux du fond.
Production hydroélectrique	Transport solide relativement modéré et chroniquement en déficit. Pas de problème généralisé.
Production agricole	Érosion de berges ponctuelles et limitées sur le haut bassin versant de l'Eysse et de la Saliouse.
Risque d'inondation	Le risque d'engravement du lit est faible, l'érosion étant modérée et les lits en déficit de transport solide. Des dépôts avec débordement peuvent être observés dans le haut bassin versant de l'Eysse (Coin de la Scie où une route forestière est menacée) et sur la Saliouse en aval du confluent avec le torrent d'Antraygues (élevage).
Ouvrages	Les ouvrages sont presque tous fondés sur le rocher. L'érosion des terrains dans le cirque amont de la Saliouse pourrait menacer des habitations et la route **à très long terme**. Quelques murs de soutènement pourraient être menacés dans le haut bassin versant mais aucune dégradation n'a été signalée.

Les enjeux liés au transport solide dans le haut bassin versant sont globalement très faibles.

8.6.3. Retenue des Collanges

Au contraire du précédent secteur la retenue des Collanges connaît de fortes évolutions suite au dépôt massif de matériaux.

Enjeux	Importance et relation avec le transport solide
Écologique	Le barrage a entrainé la création d'un milieu aussi riche qu'artificiel avec la création d'un vaste lac - très spécifique - et d'une vaste zone de dépôts aux milieux diversifiés et en constant renouvellement. La création de la retenue a entraîné sur toute sa longueur, la disparition des milieux aquatiques initialement en place, à savoir des eaux courantes aux faciès diversifiés, et une modification de la qualité et de la température de l'eau. Une gestion de ces dépôts menace fortement ces milieux, quelque soit la solution retenue.
Paysage Tourisme	Le remplissage de la retenue réduit la taille du lac, réduisant son attrait paysager et touristique. La zone de dépôt amont est perçue comme un "no man's land".
Qualité de l'eau	Les récentes analyses ne montrent pas de dégradation mais un réchauffement est probable. Lac eutrophe.
Nappe	Nappes d'accompagnement non exploitées. Tendance à la remontée des niveaux qui serait contrarié par un abaissement du lit en cas de curage.
Production hydroélectrique	Risque de perte de production en cas de vidange partielle de la retenue. Production très difficile à long terme en cas d'engravement généralisé.
Production agricole	Augmentation des risques de submersion - voir engravement et divagation - des terrains les plus proches de la retenue. Perte de la capacité de soutient d'étiage par le comblement de la retenue pour l'aval de la vallée.
Risque d'inondation	Engravement dans la queue de retenue avec augmentation du risque d'inondation notamment dans la zone artisanale de la Palisse.
Ouvrages	Les anciens épis risquent d'être submergés en cas de remontée du lit, menaçant les terrains agricoles.

Dans tous les cas, cette zone va connaître des évolutions importantes dans les décennies à venir. Les enjeux humains y sont faibles et les enjeux "naturels" sont forts mais concernent un milieu très artificiel. Rappelons de nouveau que la création de la retenue a entraîné sur toute sa longueur, la disparition des milieux aquatiques initialement en place et qui correspondaient localement à un lit alluvionnaire.

8.6.4. Gorges aval (Des Collanges à Dunière)

Il s'agit ici des gorges - essentiellement rocheuses - où la réduction du transport solide est la plus marquée.

Enjeux	Importance et relation avec le transport solide
Écologique	Dans leur cours amont, les gorges sont très peu riches et ont même été - hâtivement - qualifiées d'abiotiques, la station d'épuration ayant, au moins par le passé, un rôle considérable sur la dégradation d'un milieu déjà peu riche. Le constat est moins sévère dans la partie aval des gorges. C'est dans ce tronçon que l'effet de l'arrêt du transport solide est aujourd'hui le plus marqué avec une réduction de la qualité des substrats. En l'absence de rétablissement du transport solide, les évolutions devraient être faibles. L'organisation de chasses peut être pénalisante si elles ne s'accompagnent pas de mesure de réduction d'impact.
Paysage Tourisme	L'effet de la réduction du transport solide est à peine perceptible du point de vue paysager. La réduction actuelle de plage de sable peut être perçue comme une dégradation, mais le lit est très peu accessible dans les gorges.
Qualité de l'eau	La qualité de l'eau est beaucoup plus liée au fonctionnement de la station d'épuration du Cheylard (et au soutien d'étiage) qu'au transport solide. Amélioration suite à l'oxygénation de l'eau restituée et aux travaux d'amélioration de la station d'épuration. Réduction de la capacité autoépuratrice.
Nappe	Pas de nappe d'accompagnement exploitée. Pas d'évolution sensible du niveau du lit.
Production hydroélectrique	Gestion des centrales de Sarny et du Nassier à revoir en cas de rétablissement d'un fort transport solide. Des modifications des ouvrages de chasses pourraient être très coûteuses. Risque de perte de production en cas de chasses.
Production agricole	Pas de production en lien avec l'Eyrieux.
Risque d'inondation	Déficit de transport solide même à l'état naturel. Risque d'engravement préoccupant en amont de la retenue du Nassier avec menace sur le hameau du Bateau (Beauvène).
Ouvrages	La quasi-totalité des ouvrages sont fondés sur le rocher. D'autre part, les variations des niveaux du lit sont faibles grâce au pavage rocheux. Les seuils entre St Sauveur et les Ollières sont localement fondés sur les matériaux alluvionnaires avec un risque d'affouillement un peu majoré par l'arrêt du transport solide amont. Menace sur le captage d'AEP aux Ollières.

Les enjeux liés au transport solide sont ici plus importants, notamment à cause de la quasi suppression du transport solide puis de son éventuel rétablissement.

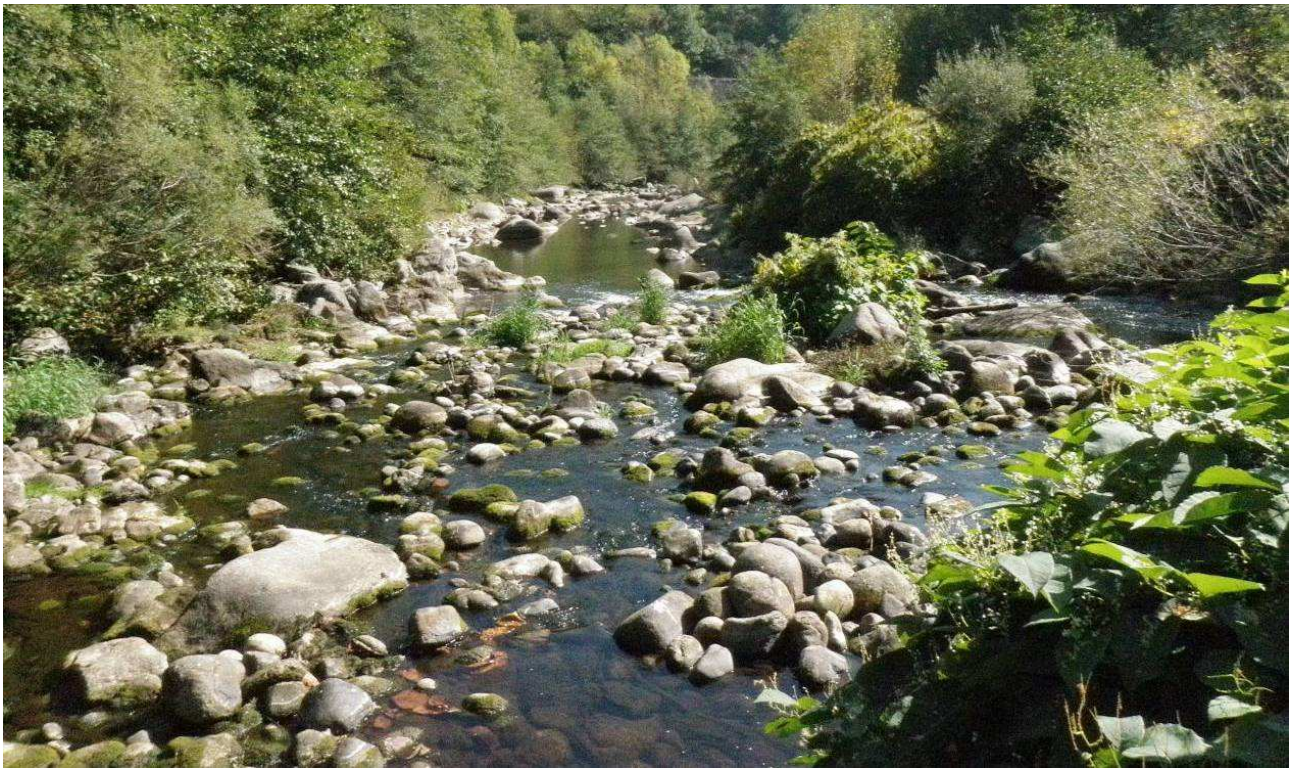
8.6.5. Secteur alluvionnaire aval (aval de Dunière)

Le secteur alluvionnaire aval est très sensible à des évolutions du transport solide, même si les évolutions ont été faibles jusqu'à aujourd'hui. Elles devraient être croissantes à long terme.

Enjeux	Importance et relation avec le transport solide
Écologique	Pavage et réduction du renouvellement conduisent à une réduction de la richesse actuelle des milieux. Ces milieux très intéressants ont évidemment plus à perdre que les secteurs de gorges en amont. Une banalisation des milieux annexes parait probable à très long terme. Certaines zones alluvionnaires dans les gorges entre Dunière et Terra pourraient disparaitre ou diminuer fortement. La connectivité latérale du cours d'eau avec les berges et les annexes hydrauliques serait réduite en cas d'enfoncement du lit.
Paysage Tourisme	Réduction des plages de sable dans un secteur fréquenté. Disparition possible du style en tresse, déjà peu dynamique.
Qualité de l'eau	Impact faible.
Nappe	Enfoncement probable associé à l'abaissement du lit. Ampleur limitée (plusieurs décimètres en plus d'un siècle). Cette évolution semble trop réduite et trop lente pour menacer la végétation, mais risque d'être plus important sur les captages. Ces risques sont maximaux en amont et diminuent vers l'aval.
Production hydroélectrique	Pas d'équipement dans ce tronçon (hors aménagement CNR du Rhône).
Production agricole	Conflit entre le fonctionnement de la rivière et la perte de terrains suite aux divagations. Situation très dommageables pour les agriculteurs dont les prés sont érodés, particulièrement à Beauchastel et St Laurent du Pape.
Risque d'inondation	Crues largement débordantes, relativisant l'effet des variations de section du lit mineur. Très faible réduction des risques d'inondation par enfoncement du lit mineur.
Ouvrages	Menace sur les ouvrages suivant par les divagations ⇨ Conduite d'eaux usées à St Fortunat ⇨ Captage d'alimentation en eau potable et pylône à Beauchastel. Protections de berge menacées par affouillement, mais globalement assez massives pour remplir leur fonction. Secteur potentiellement critique de la traversée de St Laurent du Pape. Faibles risques liés aux très lentes évolutions attendues (généralement inférieures au mètre) pour les ouvrages de franchissement.

ANNEXE 1 : VISITE À PEYCHÈRES CHEZ MR LADREYT BERNARD.ET SON FRÈRE

Témoignage sur les modifications de la morphologie du lit depuis 30 ans :



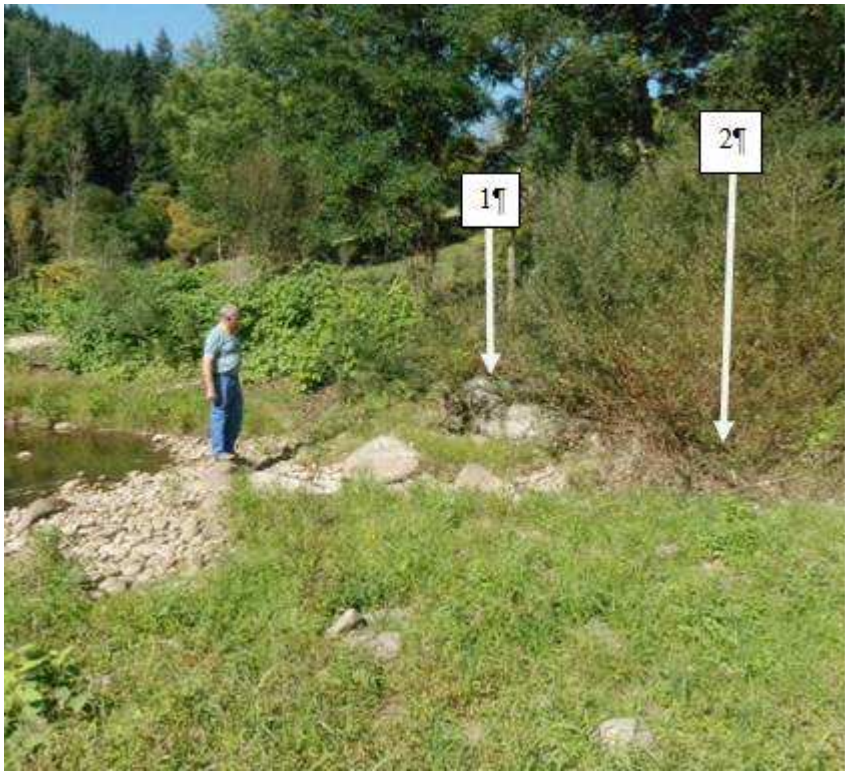
la berge en rive gauche était formée de plages de sable et galets entre les affleurements rocheux.

Le rocher sur lequel est monté le propriétaire n'était pas visible (sous les alluvions).

le niveau d'eau à l'étiage affleurait le rocher (1) sous lequel était installée une crépine.

Les propriétaires fauchaient l'ancienne prairie en haut de berge jusqu'au niveau de l'actuel nez de berge (2)…au-delà une large plage de sable et galets s'étendait en pente douce.

Le haut de la berge serait descendu d'environ 1.5 m de hauteur.





Les propriétaires pouvaient traverser, en été, à pied selon le tracé, d'un rocher à l'autre. Le fond était constitué de sable et de galets. Actuellement, les bancs de galets des berges sont pavés, le fond du lit est constitué de blocs et la profondeur au milieu du lit dépasse les 2 m.



Ancien emplacement d'un radier d'une centaine de mètres dont la limite amont était au rocher caractéristique en double pointe (1). Actuellement le fond du lit est constitué de gros blocs. Les rochers en rive droite ont été jetés depuis la route au dessus lors de travaux routiers.