

1. DESCRIPTION DES LITS DES PRINCIPAUX TORRENTS DU BASSIN VERSANT

1.1. Objectif

On cherche ici à définir les possibilités d'apports en matériaux au Verdon. Il est donc nécessaire d'analyser les capacités de transport des principaux torrents affluents, puis la morphologie du lit du Verdon afin de mettre en évidence les tendances au dépôt ou à l'érosion, mais aussi le tri granulométrique.

Ces renseignements sont indispensables pour comprendre les comportements de la rivière et de ses affluents lors des crues.

*Les différents points critiques sont repérés par une lettre correspondant à la commune suivie d'un numéro d'ordre. Par exemple **B3** pour un point situé sur le Verdon à Beauvezet. Ces points sont repérés sur les cartes de zones inondables situées en annexe.*

1.2. Analyse des principaux torrents

1.2.1. Le Bouchier

Amont d'Allos

Le Bouchier se forme au niveau du hameau du Bouchier où il reçoit deux affluents majeurs :

- Le ravin de la Chancelaye qui draine un sous bassin versant assez étendu mais qui n'apporte pas une forte fraction de matériaux grossiers au Bouchier.
- Le ravin de la Sausse qui, au contraire, draine un petit bassin versant (guère plus de 1 km²) mais qui apporte au Bouchier une forte fraction de son transport solide (possibilité de transit de laves torrentielles). Le bassin versant est très dégradé mais, là encore, la fraction de blocs (plus d'un mètre) est très réduite. Dans sa partie terminale, les érosions de berges sont très développées.

Le Bouchier lui même, draine le bassin versant le plus étendu. C'est lui qui apporte la plus forte fraction des débits liquides. Par contre, les apports solides sont relativement modérés, comme le montre le lit pavé un peu en aval du hameau.

Le Bouchier s'enfonce dans des gorges rocheuses et étroites. Les apports solides et liquides, comme les possibilités de dépôt ou d'érosion sont très réduites. Le phénomène essentiel est alors le transit des sédiments avec, éventuellement une modification de la granulométrie par tri sélectif et par usure.

Traversée de la zone urbanisée

Le Bouchier sort des gorges au niveau du hameau du Plan. L'élargissement relatif de la vallée permet un dépôt lors des fortes crues et des amorces de divagations. On observe donc un dépôt de matériaux assez important au droit de l'ancien mini-golf et des érosions de berges en rive droite. Il s'agit d'une zone de régulation du transport solide et tout aménagement est à éviter dans cette zone. C'est visiblement le choix qui a été fait, l'aire de jeux constituant une excellente occupation de cet espace. Dans tous les cas, la largeur du lit dans cette zone ne doit pas être réduite par l'emprise d'éventuelles protections.

A11

Entre cet élargissement et le centre de secours, le chemin est surélevé, formant une dépression le long du versant de la rive gauche. D'éventuels débordements en amont seraient alors conduits directement vers les bâtiments, sans pouvoir retourner dans le lit.

A12

Le Bouchier forme un coude marqué en amont du bâtiment des pompiers. L'absence de protections de berge explique les érosions nettement visibles après la crue de Novembre 1994. Dans l'état actuel, des érosions importantes pourraient menacer d'abord les parkings mais aussi le bâtiment. Aucune érosion importante n'est visible le long de la rive droite.

La même situation se prolonge en aval, d'abord au niveau des bâtiments d'habitation puis des entrepôts. Les risques sont d'autant plus importants pour les bâtiments que le lit - trop étroit - s'est élargi au détriment de la rive gauche alors que la rive droite a bien résisté. Une nouvelle crue accroîtrait encore la dissymétrie, la rive gauche ayant été fragilisée lors des dernières crues. Une protection erratique le long de la rive droite (blocs de béton épars) ne semble avoir aucune utilité. Un recalibrage du lit devrait donc s'accompagner de l'enlèvement de ces blocs.

Dans la partie aval, l'entrepôt a été en partie gagné sur le lit du torrent, repoussant celui ci contre le versant rive droite. La route n'y est cependant pas menacée, le substratum étant affleurant.

Entre l'entrepôt et le pont du C.D. 908, le lit majeur s'élargit. Il s'agit d'une zone de dépôt potentiel en cas de forte crue, et toute réduction de la largeur de ce lit majeur doit être évitée.

Une prise d'eau est destinée à l'alimentation du plan d'eau de la base de loisir.

A13

Le pont du C.D. 908 est très largement dimensionné pour assurer l'écoulement des crues. En aval, la route d'accès à la zone de loisir forme une digue le long de la rive gauche. Elle est suffisamment haute pour éviter tout débordement dans la partie supérieure. Par contre, l'absence de protection de la rive ne permet pas d'exclure une érosion de la route et, éventuellement, une rupture de la digue en cas de forte crue (période de retour supérieure à 10 ans).

En rive droite, le Bouchier longe le cône de déjection des petits torrents des Auches. Le modelé naturel du terrain s'oppose donc à une extension de la zone inondable jusqu'aux bâtiments. Un cordon en tout venant a été dressé le long de la rive avec les matériaux du curage réalisé après la crue de Novembre 1994. Ce cordon - située en extradors - ne doit pas faire illusion : il serait facilement érodé et ses matériaux contribueraient à accroître la charge solide et donc au dépôt dans la partie aval du cône de déjection.

A14

La passerelle piétons (1420 m d'altitude) correspond à l'amont de la zone de dépôt massif. Elle offre à première vue un débouché suffisant pour permettre l'écoulement d'une forte crue mais une crue localisée du Bouchier provoquerait l'engravement du lit, ce qui réduirait la capacité d'écoulement. En outre, la protection en enrochement des culées, trop avancée par rapport à la berge, serait vraisemblablement détruite, conduisant à la ruine de l'ouvrage. Cette situation facilite donc l'inondation de la partie basse du cône de déjection (jusqu'au niveau de la base de loisir). Les bâtiments de la rive droite ne sont pas menacés par un débordement à ce niveau.

Une trentaine de mètres en aval de la passerelle, le Bouchier est traversé par une conduite, protégée par des enrochements de manière très ponctuelle (avec radier bétonné). Cette protection, en réduisant la largeur du lit, augmente les risques d'érosion.

A15

Dans la partie terminale du lit, les berges sont basses, et les enrochements, posés en sommet de berges, sont inefficaces pour protéger la berge.

Le Bouchier conflue ensuite avec le Verdon.

1.2.2. Le Chadoulin

La figure suivante indique le profil en long général de cet affluent rive gauche du Verdon à l'aval d'Allos :

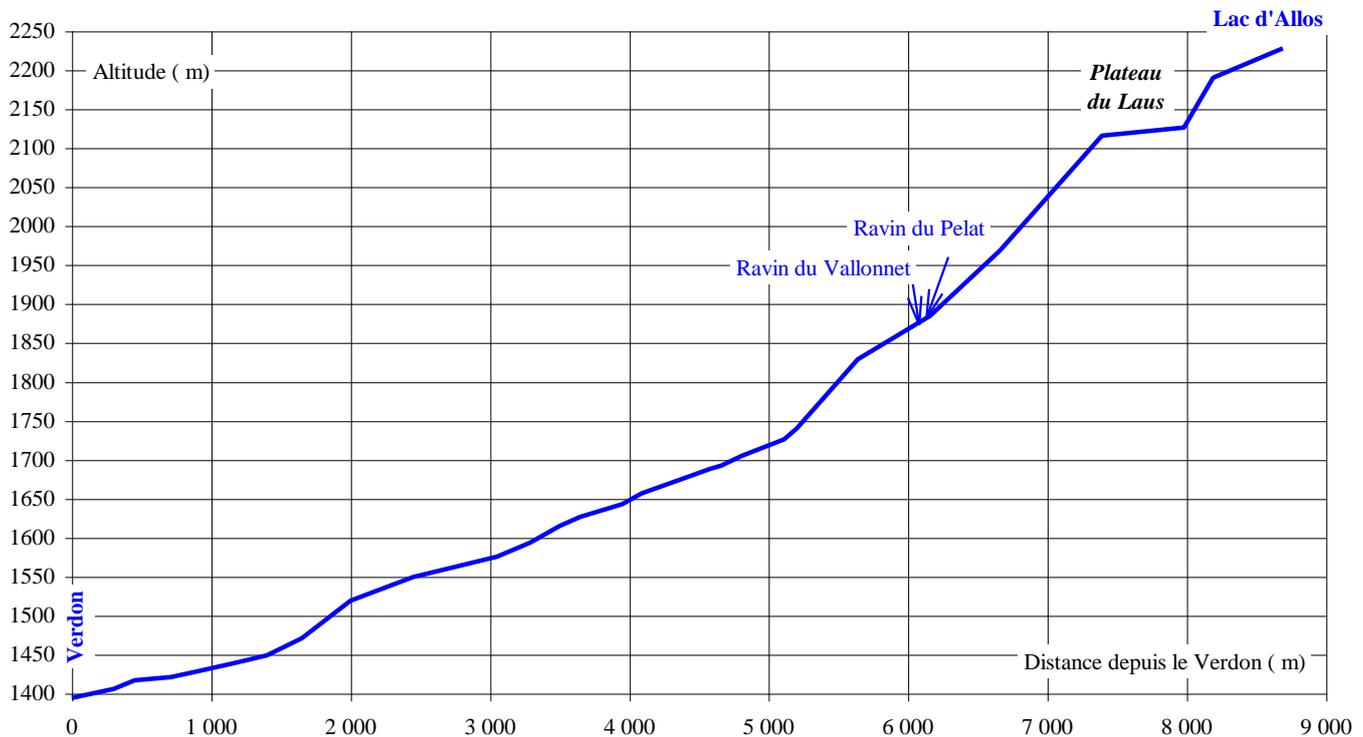


Figure 1 : Profil en long du Chadoulin.

Dans la partie amont, en aval du lac d'Allos, les variations très importantes de pente indiquent un lit pavé et un très faible transport solide. L'alimentation en matériaux est donc réalisée dans la partie intermédiaire.

Amont du Pont du C.D. 908

Le Chadoulin naît de la résurgence du lac d'Allos. Les débits sont alors relativement réguliers et le transport solide très faible. Le torrent reçoit ensuite des apports de ses affluents rive droite (ravin de Pelat et du Vallonnet) et de rive gauche (ravin de Valplane dont l'activité a nécessité la construction d'une série de seuils par le RTM).

D'autre part, le Chadoulin reçoit directement les apports des versants et de petits ravins (en particulier de la rive droite). Les apports sont donc relativement importants même si, au moins en amont de l'église d'Allos, ils sont plus faibles que la capacité de transport effective.

Ainsi, dans toute la partie supérieure, le lit est bien pavé, et des affleurements de substratum contribuent à la stabilité du profil en long.

Les érosions consécutives à la crue de Novembre 1994 (mais aussi à la crue de Septembre 1994 d'ampleur très comparable) sont importantes à proximité de la zone urbaine.

A21

Ainsi, en amont immédiat du pont du C.D. 908, le talus routier rive gauche a été fortement érodé, réduisant la superficie du parking. Ce remblai est très menacé (car situé en extrados) et

son éventuelle destruction entraînerait la coupure du C.D. 908 et la destruction du bâtiment en aval.

Le substratum est nettement visible sous le pont du C.D. 908 ce qui permet d'éviter les affouillements de l'ouvrage et d'assurer la stabilité du profil en long.

Du pont du C.D. 908 à l'Eglise

En aval du pont, la rive droite est protégée par des enrochements dont la résistance à une forte crue (période de retour supérieure à 10 ans) est douteuse. Cette protection est justifiée par une conduite d'eaux usées longeant le Chadoulin en rive droite sur l'ensemble de son cône de déjection.

Lors des récentes crues, l'eau était arrivée au sommet de ces protections. Le lit est étroit et la rive gauche pourrait être érodée en cas de nouvelle crue.

Le C.D. 908 longeant ensuite le Chadoulin, des enrochements quasi-verticaux protègent la rive gauche. Le lit s'est enfoncé d'une cinquantaine de centimètres depuis leur construction (postérieure à Novembre 1994) ce qui a mis à nu un substratum de marnes noires. La stabilité de cet ensemble est douteuse en cas de crue.

La station DIREN de mesure de débit est établie en rive droite. Elle a été mise en service en 1978. Elle a été contournée lors de la crue de Novembre 1994 et le débordement, vraisemblablement moins important s'est aussi produit le 24 Septembre 1994. La relation hauteur / débit a été probablement modifiée par les crues et les travaux qui ont suivi.

En amont du pont communal, des dépôts sauvages réduisent encore la largeur du lit, toujours bien pavé. Le substratum est encore affleurant au droit de ce pont.

A22

En aval du pont, en rive gauche, des constructions ont été partiellement déchaussées lors des récentes crues. Elles sont actuellement soutenues par des moyens de fortune, et seraient très menacés par une nouvelle crue.

Le mur du cimetière, qui correspond à une extension relativement récente, a été détruit lors des crues, mettant à jour un ancien mur de protection.

Le pont de l'église supporte un trafic très réduit. Il présente un angle assez important avec l'axe de l'écoulement dans cette zone. On observe un affouillement de la culée rive droite. Un recalibrage du lit en reculant la rive droite permettrait de réduire l'angle ainsi formé, l'entonnement étant dans l'axe de la culée rive droite.

Ce pont marque une nette réduction de pente : la tendance à l'érosion en amont devient, assez rapidement, une tendance au dépôt lors des crues.

Aval de l'Eglise

En aval de l'église, les risques de débordement sont nettement supérieurs, la tendance générale étant au dépôt. Les enjeux sont très réduits et le Chadoulin s'écoule entre des champs et des bois.

A23

Une anse d'érosion s'est développée le long de la rive gauche emportant un terrain agricole.

Ensuite, le Chadoulin divague fortement et a déposé une grande quantité de matériaux, jusqu'au confluent avec le Verdon. Le lit majeur (zone boisée entre les champs) est très large, ce qui est très bénéfique pour la régulation du transport solide au niveau de la confluence. Aucun rétrécissement du lit n'est donc acceptable dans cette zone.

L'ensemble du cône de déjection peut être menacé en cas de crue.

Les aménagements au confluent ne sont pas adaptés à des apports de matériaux par le Chadoulin :

- Le pont de la piste de ski de fond est facilement contourné en cas de crue. Le changement de lit au niveau du pont de la piste de ski de fond ne semble pas être réellement problématique, des travaux réduits permettant le rétablissement du lit après une crue.
- La grande digue longeant le Verdon à l'aval du confluent s'oppose au retour des écoulements dans la rivière en cas de débordement du Chadoulin en rive gauche.

Ces dysfonctionnements sont clairement apparus lors de la crue de Novembre 1994.

1.2.3. La Lance

L'analyse du torrent de la Lance a montré que les apports solides lors de la crue de Novembre 1994 avaient été particulièrement importants. Il ne s'agit pas d'une situation nouvelle et des photographies du début du siècle suggèrent déjà un fort transport solide. De même, la forte digue qui protège Colmars (et qui a été rompue en Novembre 1994) indique que des débordements s'y sont vraisemblablement déjà produits.

En Amont des Cascades

Le bassin versant de la Lance longe la crête séparant la vallée du Verdon de celle du Var. Il est donc particulièrement exposé à de fortes précipitations. De plus, des dalles rocheuses couvrent de vastes surfaces, ce qui permet un très fort ruissellement, vraisemblablement insuffisamment compensé par les vastes zones couvertes de forêts.

Dans la partie supérieure du bassin versant (au-dessus de 2000 m d'altitude) l'érosion est très active, en particulier sur le Ravin de Carton. Il est très vraisemblable que la plupart des matériaux proviennent de cette zone.

Le lit est très influencé par les affleurements rocheux déterminant d'importantes ruptures de pente. Les érosions sont finalement assez limitées. Les divagations ne sont visibles que dans les zones de replat relatif comme au Pont de la Serre.

L'analyse du lit dans cette zone n'indique pas le passage d'une crue très exceptionnelle, du point de vue des débits.

Aval des Cascades

Après le passage des gorges rocheuses, la Lance divague en amont du confluent avec le Ravin du Chastelas. Ce torrent est potentiellement très actif et, malgré un bassin versant peu étendu, il peut apporter des volumes importants de matériaux à la Lance (et peut être des laves torrentielles). La dernière forte crue sur ce torrent daterait d'environ 80 ans. Son cône de déjection a été fortement érodé en Novembre 1994, ce qui suggère que la crue de la Lance était assez exceptionnelle.

En aval, le lit de la Lance est plus étroit, limité en rive gauche par des affleurements rocheux et en rive droite par les gros matériaux du cône de déjection du Ravin du Chastelas.

La sortie de ce cône permet à la Lance d'amorcer la formation de son propre cône de déjection

La figure suivante, issue des mesures topographiques réalisées par le service RTM, montre la rupture de pente au niveau de l'arrivée de la Lance sur son propre cône, après avoir longé celui du Ravin de Chastelas :

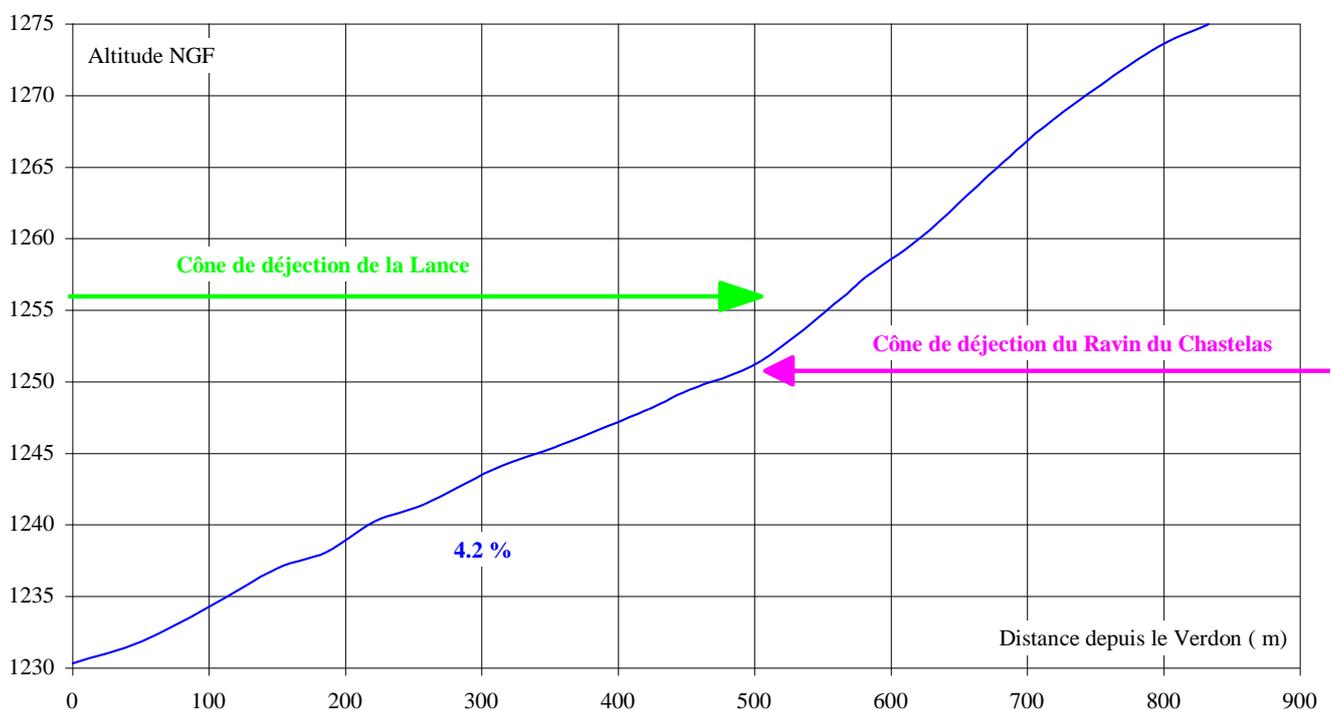


Figure 2 : Profil en long de la Lance en amont immédiat de Colmars

Les risques de dépôt sont essentiellement localisés dans la partie inférieure, la pente y est nettement plus réduite. D'autre part, il apparaît un surcreusement sur les 100 derniers mètres du profil en long (entre le pont et le Verdon). Ce surcreusement est directement lié aux

travaux après la crue, qui ont cherché à augmenter autant que possible la section dans une zone qui apparaît, après endiguement de l'amont, particulièrement sensible.

Cette particularité du profil en long doit être considérée avec attention : c'est là que le dépôt en cas de crue risque d'être le plus important, réduisant alors considérablement la section d'écoulement. D'autre part, on risque une érosion régressive pouvant déstabiliser les protections de berges.

Cône de déjection

L'observation actuelle du lit est peu instructive. En effet, suite aux importants dégâts de la crue de Novembre 1994, l'ensemble du cône de déjection a fait l'objet d'aménagements lourds et d'endiguements. La morphologie du lit après la crue et - a fortiori - celle d'avant la crue ont donc disparu.

L'analyse est donc limitée aux observations réalisées quelques semaines après la crue (Décembre 1994) et aux travaux réalisés depuis. D'autre part, l'analyse des photographies aériennes de 1962 montrent que le lit de la Lance divaguait largement dans une zone boisée, et confirme que les anciens bâtiments de la ville en étaient protégés par une forte digue.

Une nouvelle digue largement dimensionnée en rive droite contient le lit de la Lance jusqu'au nouveau pont du centre de secours. Son rôle est essentiel pour la protection des habitations de Colmars.

D'après les plans qui nous ont été communiqués par le service RTM, la largeur du lit est comprise entre 12 et 40 mètres. Cette configuration présente l'avantage de permettre un dépôt significatif de matériaux en amont du confluent avec le Verdon. En effet, pour une longueur de 600 mètres environ, un dépôt de 1 mètre de hauteur en moyenne aurait un volume supérieur à 15 000 m³.

C12

Cet aménagement est donc bien adapté au caractère torrentiel de la Lance. Ponctuellement, les enrochements présentent un fruit beaucoup trop faible, et l'absence de fondations en pied ne permet pas d'assurer leur résistance à une crue, même si la tendance d'ensemble est au dépôt dans cette zone. En effet, on observe fréquemment des affouillements le long des ouvrages de protections, liés à une survitesse localisée alors que, globalement les dépôts sont importants dans le lit. Cette tendance est accrue ici, la digue étant située en extrados.

Crue de Novembre 1994

Dans la partie amont, en aval de la résidence secondaire construite sur le cône de déjection du Ravin du Chastelas, la Lance a quitté son lit en Novembre 1994 et érodé le versant. L'anse d'érosion a mobilisé d'autant plus de matériaux que le versant est très raide. Cette zone est aujourd'hui entièrement protégée par la nouvelle digue. Par contre, le risque demeure d'un changement de lit du ravin. Dans ce cas, les eaux prendraient la digue à revers. Les débits sont vraisemblablement trop faibles pour entraîner une dégradation importante de l'ouvrage. Par contre, ils ne peuvent retourner que difficilement dans le lit de la Lance au niveau de l'ancien bras, maintenant court-circuité par le nouveau lit et la digue en enrochements.

En rive droite, plusieurs habitations ont été détruites par la crue. La Lance a divagué sur l'ensemble de son cône de déjection, en particulier sur le camping, y détruisant un bâtiment. Ce camping est maintenant supprimé.

Une digue ancienne protège les habitations de Colmars contre les crues de la Lance. Cette digue a été attaquée frontalement et a cédé. L'ensemble des habitations en aval a été inondé, l'écoulement étant particulièrement rapide. Les eaux ont atteint et érodé le cimetière avant de rejoindre directement le Verdon en déchaussant le bâtiment de la gendarmerie.

En rive gauche, la Lance suit le versant. Les dégâts ont été très limités en amont du pont, le seul bâtiment menacé étant le centre de secours et le bâtiment de la DDE. S'y ajoute un parc à moutons, reconstruit depuis la crue de Novembre 1994.

Au niveau de l'ancien pont sur la Lance, sous-dimensionné pour une telle crue, l'écoulement a débordé sur les deux berges. Les bâtiments au niveau de la confluence avec le Verdon ont été affouillés, sans qu'il soit possible de distinguer nettement le rôle du Verdon de celui de la Lance.

1.2.4. La Chasse

Le bassin versant de la Chasse au confluent du Verdon couvre une superficie de 38 km². La figure suivante indique le profil en long du torrent levé pour le service des Grandes Forces hydrauliques en 1910 :

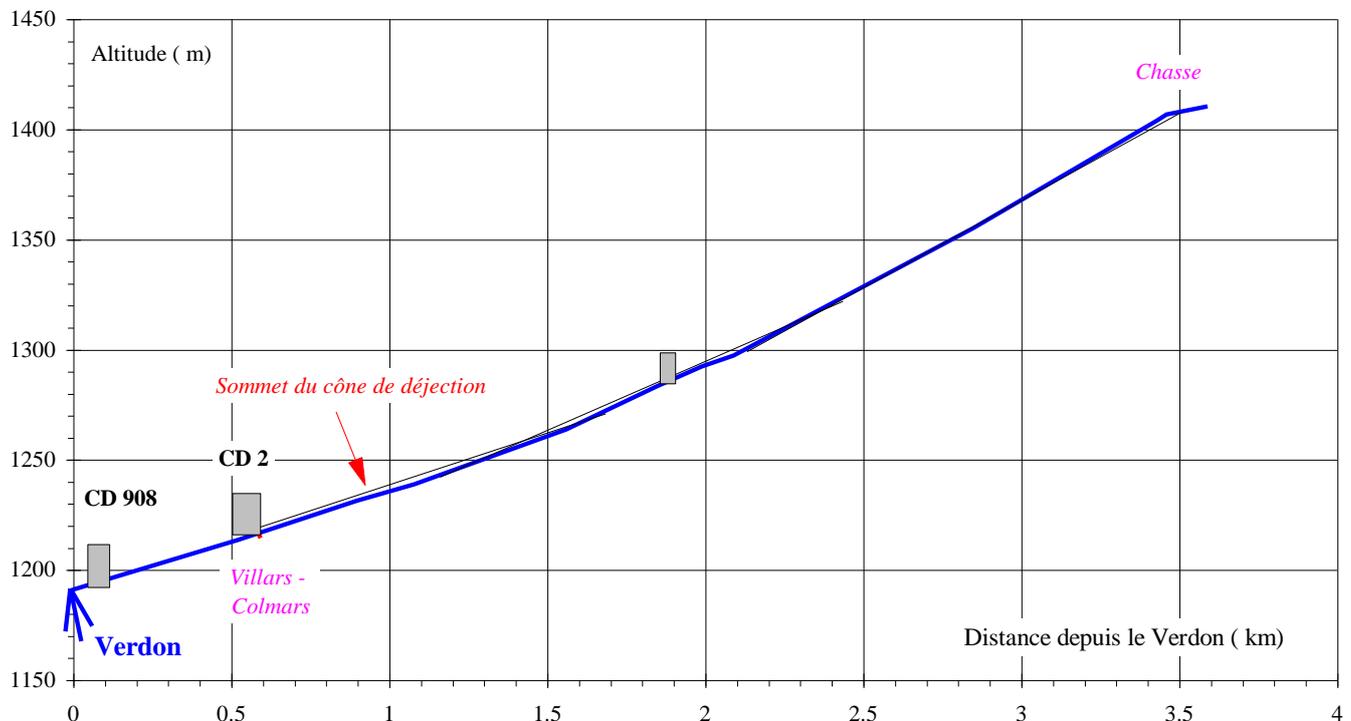


Figure 3 : Profil en long de la Chasse.

Ce profil se découpe facilement en trois parties :

1. En amont de l'altitude de 1300 mètres environ (pont de la route d'accès à Chasse) la pente est forte. Le torrent reçoit des matériaux depuis les versants et s'écoule sur un substratum rocheux ou dans des zones pavées de très gros blocs.
2. Entre 1300 et 1240 m d'altitude, la Chasse arrive dans une zone où le transport solide est en "équilibre global" avec les conditions hydrauliques. Suivant la concentration en matériaux dans la partie amont, elle dépose ou érode dans cette zone. On observe ainsi de très fortes variations du niveau dans le lit majeur et même des variations brutales de la pente du fil d'eau. Cette zone est essentielle pour la régulation du transport solide et la sécurité des installations en aval.
3. Une seconde diminution de la pente est visible vers 1240 m d'altitude. Elle correspond au sommet du cône de déjection. La pente est ensuite assez régulière jusqu'au Verdon. Les enjeux essentiels sont concentrés dans cette zone.

Amont du cône de déjection

Dans la partie amont du bassin versant (au dessus de 1600 m d'altitude), l'érosion est particulièrement développée, en particulier dans le Ravin de Sarraire et le vallon de Sangraure. Il s'agit essentiellement de ravines très actives qui apportent des matériaux aux torrents principaux. Ces matériaux, temporairement stockés lors des orages aux confluent avec les ravines (formation de crue - et éventuellement de laves torrentielles - dans les ravines) sont ensuite repris lors des fortes pluies qui engendrent les crues de la Chasse.

Dans la partie inférieure du bassin versant, l'érosion est plus modérée. Cependant, environ 1.5 kilomètres en amont du village de Chasse, le torrent érode la base de glissements de terrain. L'érosion est active, mais les volumes apportés demeurent relativement faibles. On doit pouvoir observer, lors de très fortes précipitations, des apports brutaux de matériaux. La pente est nettement suffisante pour qu'il n'y ait pas de stockage de volumes importants d'eau (et de risque de rupture d'embâcles). Le transport solide peut temporairement être très important. Or, la pente jusque vers 1300 m d'altitude est soutenue et permet un transport solide exceptionnel. Dans cette zone, les apports des versants, comme les possibilités de dépôts sont très faibles.

Au dessous de 1300 m d'altitude, la pente diminue et la vallée s'élargit. Le torrent a alors la capacité de déposer et trier les matériaux lorsque les concentrations en matériaux sont exceptionnelles. On observe très bien, dans le lit majeur, les restes de dépôts très importants et massifs.

Tous les aménagements (route et bâtiments) sont construits très au dessus du fil d'eau. Seule une habitation, au Foulon, pourrait être menacée en cas de crue exceptionnelle (période de retour supérieure à 100 ans).

A 1230 m d'altitude, la zone de régulation a joué son rôle, et les "respirations" du lit deviennent beaucoup plus faibles. Vers 1220, la vallée s'élargit. Une ancienne prise d'eau est implantée en rive gauche. Il s'agit d'un site privilégié pour les débordements. Une ancienne digue limite ces risques. Elle est cependant nettement sous dimensionnée pour les fortes crues

de la Chasse. Une digue de protection a été réalisée au printemps 1997 afin de réduire les risques.

Dans la configuration actuelle, le torrent se dirige vers le versant rive droite, laissant un vaste lit majeur boisé en rive gauche. Des gabions en rive droite protègent une propriété. Dans cette zone, le lit est peu marqué et divagant. Des modifications importantes du lit peuvent donc se produire en cas de crue exceptionnelle (période de retour supérieure à 50 ans).

Sur l'ensemble du cône de déjection, la Chasse est capable d'arracher de grandes quantités d'arbres qui peuvent conduire à la formation d'embâcles.

Traversée de Villars-Colmars

V11 - V12

Un bâtiment (atelier) en rive gauche peut être menacé en cas de changement de lit. En aval, la mairie est protégée par une ancienne digue. Cette protection, similaire à celle construite anciennement sur la Lance, résisterait assez mal à une crue, surtout à son extrémité aval.

La Chasse est franchie par le C.D. 2, ancienne route de desserte de la vallée. Le pont est correctement dimensionné. Par contre, la Chasse risque, en cas de changement de lit en amont, de passer à côté du pont, vers la Poste et le centre commercial, construits récemment dans le lit majeur du torrent. Les dégâts seraient alors importants.

V13

En aval du C.D. 2, le système de digues est hétérogène et discontinu. Or, la Chasse s'écoulant au sommet de son cône de déjection (ce qui est facile à observer au niveau du pont du C.D. 908) les eaux débordées s'éloigneraient du lit et menaceraient une surface importante sur le cône de déjection.

En aval immédiat du pont de C.D. 2, le lit a été partiellement remblayé en rive gauche afin de faciliter l'accès au centre commercial. Ce remblai est menacé en cas de crue et favorise les érosions sur la rive opposée.

En rive droite, les débordements sont limités par un ancien mur maçonné en bon état. Par contre, il pourrait être détruit par affouillement en cas de forte crue. Il est donc indispensable de vérifier le niveau des fondations par sondage et d'en renforcer le pied si cet ouvrage est fondé moins de 2 mètres sous le fil d'eau.

Cette protection se termine brutalement : la scierie, et donc l'ensemble du cône de déjection en rive droite, sont menacés par le débordement. Le bâtiment de la scierie est aussi directement menacé par la Chasse, l'érosion du remblai le long du torrent pouvant être très rapide en cas de crue.

En rive gauche, en aval du centre commercial, une habitation est directement menacée par les écoulements de crue et à partir de là, l'ensemble du cône de déjection en rive gauche. La menace s'est aggravée lors de la crue de 1993.

Deux digues ont été construites pour permettre l'entonnement sous le pont du C.D. 908 :

- En rive gauche, cette digue est insuffisamment haute et peut être facilement contournée par l'amont.
- En rive droite, la hauteur de la protection est plus satisfaisante, mais le contournement par l'amont (écoulement suivant la route au niveau de la scierie) est possible.
- Dans les deux cas, le niveau des fondations est douteux et doit être vérifié. De plus, les protections en amont immédiat du pont sont presque intégralement détruites. Or, la route faisant office de digue, un débordement menacerait des terrains - et des constructions - très éloignées du torrent et le C.D. 908 serait vraisemblablement coupé.

A l'aval du pont, un seuil de grande hauteur évite la déstabilisation du lit suite à l'enfoncement très net du lit au confluent avec le Verdon.

Une photo ancienne montre que le lit de la Chasse était nettement plus haut au début du siècle. Le Verdon a fortement érodé le cône de déjection, comme l'indique actuellement la hauteur des berges du Verdon au niveau du confluent et la dénivelée au droit du seuil. Cet enfoncement est surtout lié à un déplacement du Verdon au droit du confluent (au début du siècle, il était repoussé par la Chasse le long de la rive gauche).

Cette évolution, même si elle est particulièrement importante, ne permet pas de conclure à une forte réduction de l'activité de la Chasse. En effet, la zone de confluence a un rôle de régulateur du transport solide : fort dépôt lors de la crue du torrent et reprise lors des crues de la rivière.

L'évolution du confluent de la Chasse indique donc un déficit des crues du torrent ces dernières décennies, ce qui correspond bien à l'état général du cône de déjection (boisé par des arbres de grande hauteur). A part la crue de 1993, qui est vraisemblablement restée assez modeste étant donné les dégâts observés, la forte crue la plus récente date de 1926. Il est d'ailleurs très probable que la photo ancienne ait été prise peu après cette crue, comme l'indique la reprise de matériaux particulièrement active par le Verdon.

Ces remarques montrent que le confluent de la Chasse et du Verdon peut subir de fortes évolutions.

1.2.5. Le ravin de Notre Dame

Ce ravin est un affluent mineur du Verdon. Il est d'autant moins influent sur le Verdon qu'il a été isolé de la rivière par la digue du C.D. 908 : ses eaux doivent longer la digue en suivant un tracé à faible pente avant de rejoindre le Verdon. Les apports solides sont négligeables et se déposent presque intégralement sur le cône de déjection en amont du C.D. 908.

A la demande de la commune de Beauvezer, une analyse de ce torrent a été effectuée. Les principaux points critiques sont indiqués ci dessous.

Chapelle Notre Dame

Au niveau de la Chapelle Notre Dame, le lit est étroit, les berges ne sont pas protégées contre les affouillements. De plus, deux routes franchissent le ravin par de petits dalots. Le risque d'obstruction par les flottants est alors fort. Or, un débordement à ce niveau conduirait

directement les eaux vers le chef lieu, via le C.D. 352. Les dégâts, dans ces très fortes pentes, seraient importants. Les travaux à réaliser sont alors les suivants :

1. Amélioration des entonnements au niveau des dalots afin de réduire le risque d'obstruction.
2. Renforcer ponctuellement les berges.
3. Remodeler les terrains et les chaussées pour que les eaux débordantes soient reconduites - relativement rapidement - vers le lit. Un dévers sur le C.D. 352 et une contre pente sur la route communale peuvent conduire à ce résultat.

Partie endiguée

Le torrent est depuis fort longtemps endigué entre deux murs en pierres sèches. Il est remarquable que cet endiguement ménage un lit particulièrement large (une quinzaine de mètres) permettant ainsi les divagations du torrent.

Les murs en pierres sèches ont été affouillés. Ils résistent très mal à ce type de contrainte, les pierres tombant dans le lit et étant facilement emportées. Ainsi, de nombreuses brèches se sont formées dans les extrados du lit mineur.

Or, le lit s'est exhaussé et est actuellement calé plusieurs mètres au-dessus des terrains environnants. La rupture de la digue conduirait donc à un changement de lit complet et brutal.

Les dégâts seraient alors très importants car l'ensemble des terrains est urbanisé et les pentes sont encore très fortes.

Deux actions doivent être combinées :

- L'abaissement du lit par curage (en particulier sur le cône de déjection).
- Le confortement des digues et surtout de leur fondation.

A l'extrémité aval de l'endiguement, les digues ont été percées pour le passage d'une voie communale. De plus, des habitations ont été construites entre les digues et le torrent.

Un recalibrage du lit dans cette zone permettant, d'offrir une section cohérente et de prévoir des écoulements de moindre dommage dans le lit majeur, doit être prévu.

Toute nouvelle urbanisation dans les zones menacées est à proscrire.

Cône de déjection inférieur

Le C.D. 2 constitue la limite inférieure des digues.

En aval, le Ravin de Notre Dame a formé un cône de déjection relativement récent, les matériaux ne pouvant plus être emportés par le Verdon depuis la construction du C.D. 908. L'exhaussement est donc important dans cette zone et le dépôt régressif est maintenant nettement en amont de la route. Ainsi, le pont du C.D. 2 est très engravé et presque complètement obstrué.

Une forte crue conduirait à l'obstruction du pont du C.D. 2, au débordement dans le lit majeur et à un dépôt important en amont de la route.

Les interventions souhaitables sur ce site sont les suivantes :

- Curer le lit autant que possible sans menacer les fondations du pont.
- Disposer un volume de stockage entre le C.D. 2 et le C.D. 908. Il s'agit d'une plage de dépôt sommaire obtenue par curage préventif. Un volume d'un millier de m³ semble suffisant pour des crues moyennes. Un seuil avec un radier en enrochements sous le pont pourra être nécessaire à l'amont pour éviter une érosion régressive. Aucun ouvrage ne doit être prévu en aval.
- Toute urbanisation à moins de 30 mètres du ravin doit être proscrite (ce qui correspond approximativement à la limite de la zone de dépôt qui doit être aménagée). Au-delà, un remblaiement sera vraisemblablement indispensable. Le remblaiement est nettement préférable à un endiguement car la submersion en cas de dépassement de la crue de projet est progressive.

1.2.6. Le Ravin de St Pierre

Le ravin de St Pierre est composé de quatre sections :

1. La partie amont où l'érosion est développée malgré un fort couvert de forêt.
2. La partie centrale où le torrent a taillé des gorges très profondes et où le phénomène prépondérant est le transit des matériaux,
3. Le chenal aval qui permet le transit des sédiments et reçoit directement des matériaux des versants,
4. Le cône de déjection où sont regroupés enjeux menacés par le torrent.

Le torrent est très encaissé dans son cône de déjection. Cette caractéristique peut correspondre à une réduction de l'activité du torrent par rapport à une période très ancienne de forte érosion dans le bassin versant. Il semble cependant qu'il s'agit plutôt d'une très vieille modification du niveau du Verdon au droit de Thorame, un encaissement du même type pouvant être observé sur le Riou d'Ondres et, dans une moindre mesure, sur la Chasse.

B11

Des érosions consécutives à cet enfoncement se sont développées le long des berges, en particulier en rive droite. Elles menacent à moyen terme le hameau du Plan et ont détruit une piste agricole longeant la rive droite.

Une conduite d'eaux usées est prévue dans cette zone. Il semble prudent d'en prévoir l'implantation à plusieurs dizaines de mètres du torrent afin de réduire les risques d'érosion de la conduite et les coûteux travaux de protection qui en résulteraient.

Le lit mineur, très encaissé dans le cône, est assez large pour permettre une régulation du transport solide et un tri des matériaux. Ainsi, les apports au Verdon sont relativement réguliers et assez facilement repris, comme le montre l'épisode de Novembre 1994 qui a connu une forte crue du Ravin de St Pierre. La largeur de la zone de divagation au confluent permet de réduire considérablement la hauteur d'engravement dans cette zone. Cette largeur doit donc être conservée.

1.2.7. Le Ravin d'Ondres

Le ravin d'Ondres conflue avec le Verdon en rive gauche vers 1100 m d'altitude. L'érosion est active dans le bassin versant, mais les enjeux y sont très faibles. Les premiers aménagements sont situés au sommet du cône de déjection à 1148 m d'altitude.

La route en rive droite, au niveau du pont, fait office de digue. Dans cette zone, le lit est pavé et l'on n'observe aucune divagation. Le lit est bien encaissé et les quelques habitations riveraines ne peuvent être menacées par des inondations. Par contre, il demeure un risque d'érosion et d'affouillement des habitations pour une crue au moins centennale.

La morphologie du cône de déjection de ce torrent indique que, très anciennement, son lit était beaucoup plus haut. On distingue nettement avec les photographies aériennes trois niveaux :

1. La partie supérieure du cône (rive gauche cultivée).
2. Une ancienne zone de divagation et de reprise (rive droite boisée) calée nettement plus bas que la terrasse supérieure.
3. Le lit actuel encore plus encaissé.

Cette morphologie particulière pourrait correspondre à une ancienne surélévation du lit du Verdon. Cette évolution pourrait être en rapport avec un cheminement du Verdon dans la vallée de l'Issole en passant par le col de Thorame. Elle explique un lit très encaissé et vraisemblablement, les fortes érosions de la partie aval du cône de déjection par le Verdon.

TH11

Ce n'est qu'à l'extrémité aval de son cône que le torrent dépose des matériaux lors des crues. Les divagations sont alors très importantes. Ainsi, le pont qui franchit le ravin d'Ondres vers 1110 m d'altitude a été contourné et détruit lors des récentes crues, au contraire du pont amont qui est beaucoup moins sollicité.

Au confluent, le lit du Verdon est très large. La rivière est d'autant moins influencée par le ravin d'Ondres que les matériaux apportés ont une faible granulométrie. Par contre, ces apports accroissent les divagations du Verdon en aval.

L'observation du confluent le lendemain de la crue de Novembre 1994 montre, comme sur le ravin de S^t Pierre, que les débits ont été particulièrement importants (fort dépôt au confluent malgré la crue du Verdon).

1.2.8. L'Ivoire

L'Ivoire est formé de la confluence, en aval d'Allons, du Ravin du Défens et du Ravin des Garrets.

Ravins principaux

En amont d'Allons, les ravins drainent des reliefs modérés (point culminant : le Sommet de Montagnone à 1775 m d'altitude). L'érosion est peu développée et la pente des talwegs est assez faible, alors que les versants sont beaucoup plus raides et les vallées encaissées. Le

transport solide est donc modéré et le profil en long est essentiellement imposé par les nombreux affleurements rocheux.

Les pistes de ski de fond sont menacées par les crues des ravins, mais peuvent facilement être remises en service après la crue.

La tendance au dépôt est bien marquée à la sortie de la zone rocheuse. Des curages importants ont donc été réalisés dans les lits au droit d'Allons dans le Ravin de Défends et surtout sur le Ravin des Garrets.

Ces curages sont rendus indispensables par la nette rupture de pente à l'arrivée dans la vallée principale.

Ivoire en amont du Ravin de St Domin

L'Ivoire serpente à faible pente au fond de la vallée. Les enjeux à proximité sont essentiellement constitués de champs et, dans la partie aval, du C.D. 52.

Dans la partie supérieure, les berges ne sont pas protégées, et l'Ivoire, lors des crues, divague largement. Le pont de la Forêt offre une ouverture de 4 m × 1.5 m, ce qui n'est pas suffisant en cas de crue excédant une crue décennale mais bien adapté au faible trafic sur cette route. En aval de ce pont, les érosions marquées se sont développées et des terrassements récents ont restauré le tracé du lit. Ces travaux, peu coûteux, sont d'une faible efficacité et une nouvelle crue remobiliserait une forte fraction des matériaux.

On note, à l'aval des divagations, la création d'une décharge qui serait érodée en cas de crue. Une protection, ou mieux, un éloignement de la décharge, sont donc à prévoir.

Vers 1030 m d'altitude, le C.D. 52 se rapproche de l'Ivoire. Les risques d'érosion sont réduits par les affleurements de substratum rocheux.

A partir de 1010 m d'altitude, la vallée se resserre : l'Ivoire et le C.D. 52 sont très proches. Ce resserrement correspond à la multiplication des affleurements rocheux dans le lit du torrent et à une augmentation de la pente.

La chaussée est protégée par divers ouvrages (enrochements, gabions, murs maçonnés...). Elle demeure menacée en cas de très forte crue, comme la crue de Novembre 1994 l'a montré. Les risques et les dégâts sont cependant très limités.

Gorges aval

Le rocher devient de plus en plus présent, et les matériaux alluviaux ne sont plus observés que ponctuellement.

En rive droite, une digue en enrochements resserre le lit de l'Ivoire avant le confluent avec un ravin. Elle semble fondée sur le substratum mais n'est pas liaisonnée par du béton. Elle repousse l'écoulement sur la berge opposée.

Un seuil, partiellement dégradé, fixe le niveau du ravin affluent entre le pont et le confluent. Le ravin est assez actif et érode ses berges. On note une niche d'érosion et des gabions détruits à l'aval en rive droite de l'Ivoire en aval du pont sur le ravin.

Le lit de l'Ivoire est constitué du substratum, ce qui correspond à l'entrée des gorges rocheuses, celles ci se prolongeant jusqu'au confluent avec le Verdon.

1.3. Description de l'Issole

L'Issole rejoint le Verdon en amont immédiat du pont de Méouilles. Elle a une influence d'autant plus faible sur celui-ci que sa pente est un peu plus réduite et que ses apports en matériaux sont moins importants. Cette confluence traduisait une réduction sensible de la pente du Verdon avant que la retenue de Castillon ne modifie l'aval.

1.3.1. Analyse générale du profil en long

Le profil en long général de l'Issole, relevé en 1910, montre une lente décroissance de la pente comme le montre la figure suivante :

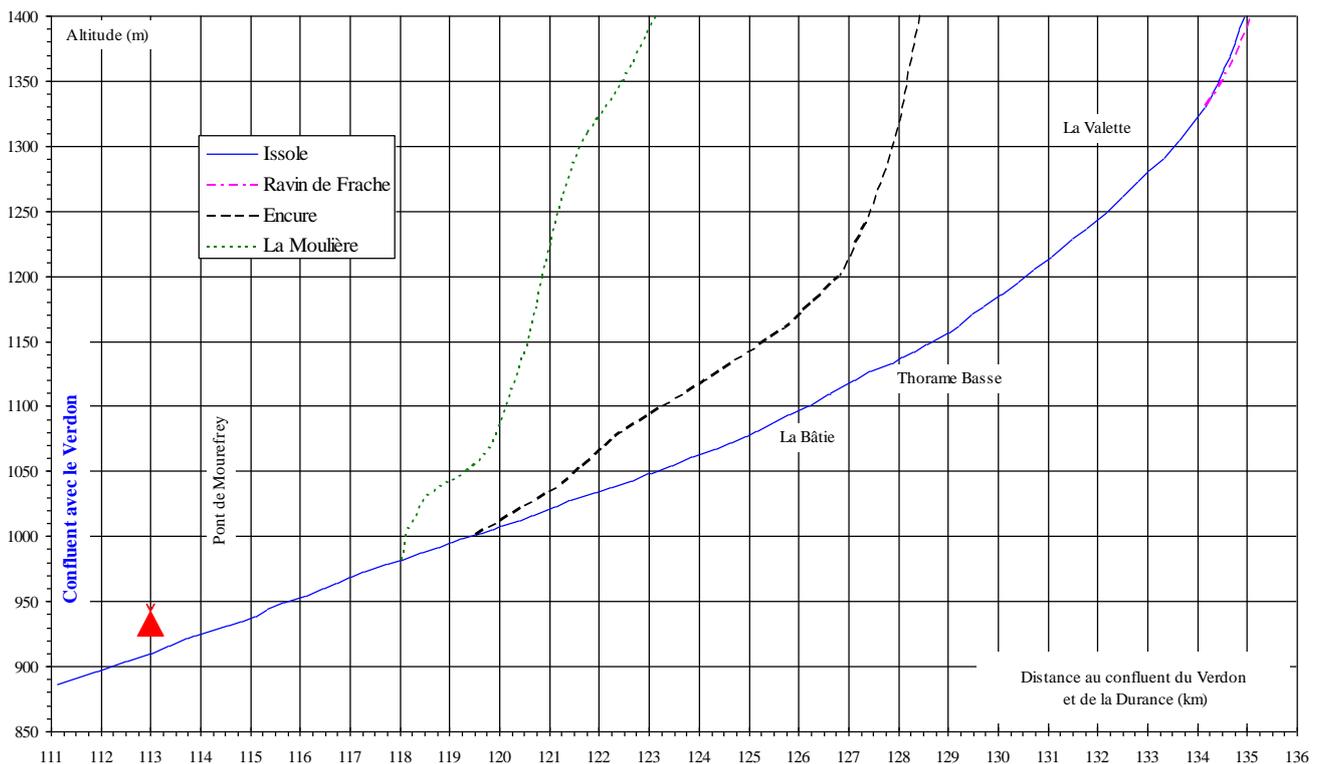


Figure 4 : Profil en long général de l'Issole

La très forte régularité de ce profil s'explique par l'absence d'affleurement important de substratum et la taille réduite des matériaux (en particulier ceux apportés par les affluents). On peut cependant distinguer deux zones :

- La partie amont, jusqu'à la Bâtie, qui correspond à une zone de montagne avec fort apport de matériaux et une augmentation rapide des débits. La pente diminue régulièrement et dans de fortes proportions (3 % à la Valette et seulement 1.5 % à proximité de la Bâtie).
- La partie aval où le phénomène prépondérant est le transit. La pente est alors presque constante.

1.3.2. En amont de la Bâtie

Amont de la Valette

A 1392 m d'altitude, l'Issole reçoit le ravin de Martinon. Ce dernier apporte l'essentiel des matériaux, son lit large est rempli de matériaux, sa pente importante permettant le transit d'importantes quantités de sédiments. L'Issole, en aval de ce confluent, est donc un véritable torrent avec une granulométrie très étendue et de fortes érosions de berge.

La pente diminue en amont du confluent avec le ravin de la Frache. Ce dernier apporte, là encore, une très forte fraction des matériaux. On peut observer une large zone de divagation au confluent qui correspond à la "régulation" des apports des deux torrents. En aval, la pente et la granulométrie diminuent et l'Issole divague et dépose des matériaux.

Vers 1300 m, le torrent érode les matériaux de la berge rive gauche.

De la Valette au confluent avec le ravin de L'Estelle

En aval du pont de la Valette, altitude 1277 m, le lit mineur est engravé par des matériaux de granulométrie réduite et homogène. Cet engravement conduit, même en période d'étiage, à un débordement dans le lit majeur.

L'Issole rejoint ensuite son lit (à nouveau couvert de blocs) qui correspond aux écoulements de crue. En aval, le torrent érode le cône des ravins qui débouchent en rive gauche. On note aussi des érosions en rive droite. Dans toute cette zone, les enjeux sont très réduits.

Au niveau du pont de Thorame, la section d'écoulement est relativement réduite. La section à droite de la pile centrale est très engravée et végétalisée. La pile est affouillée.

Il semblerait que, dans cette zone, le lit se soit enfoncé de quelques décimètres lors des récentes crues.

Les débordements ne menacent qu'une caravane et un cabanon, même en cas de très forte crue (période de retour supérieure à 100 ans), le village étant épargné. Il semble essentiel d'éviter toute construction dans cette vallée.

TB1

L'Issole arrive au sommet d'un cône de déjection en amont de Château Garnier. Elle menacerait donc le village si, en rive droite, une digue - très ancienne - n'évitait les divagations. La section d'écoulement est largement suffisante pour une crue centennale et le risque de dépôt est limité étant donnée la régularité du profil longitudinal. Par contre, la digue est mal protégée contre les érosions (enrochements absents, sauf en crête de digue). Il est probable que, depuis plusieurs décennies, la rivière se soit enfoncée dans cette zone. Cet enfoncement est vraisemblablement limité à quelques décimètres.

Le risque de rupture de digue ne peut donc être exclu en cas de crue, même si dans l'état actuel, il n'y a pas de point particulièrement sensible.

Des remblais récents, en particulier au niveau du pont du C.D. 2, réduisent la section d'écoulement de façon dangereuse et facilitent les divagations et donc les érosions de berge. Il est indispensable de restaurer la section d'écoulement (en particulier sous le pont) et d'en

profiter pour protéger les berges. La section du pont serait alors de 18 m × 2.6 m, ce qui permet l'écoulement de crue dépassant la centennale.

En aval du pont, l'Issole s'écoule entre de très anciennes digues, de moins en moins hautes, jusqu'au confluent avec le Ravin de l'Estelle. Le chenal est rectiligne et la végétation assure une bonne protection des berges malgré l'absence d'enrochements. Au contraire de la digue en amont du pont, la rupture ne causerait pas de dégâts très importants dans cette zone. Par contre, il faut y interdire toute construction.

Un entretien de la végétation des berges semble souhaitable. D'autre part, une visite après chaque crue permettrait de détecter des dégradations des berges et d'agir avant que les érosions, puis les divagations ne deviennent importantes. Ce type d'intervention permet de réduire au minimum les coûts d'intervention le long de la rivière.

Ravin de l'Estelle

Il s'agit de l'un des principaux affluents de l'Issole. Il draine un bassin versant assez important et est formé par la confluence du ravin de Favier et le Ravin de la Mastre. L'érosion dans ces bassins était vraisemblablement relativement importante au début du siècle.

Cependant, les reboisements (forêt domaniale de l'Issole) et la fin du surpâturage ont réduit la fourniture en matériaux, conduisant plutôt à une tendance à l'enfoncement du lit.

Ainsi, en amont de l'Adrechon (1110 m d'altitude), le lit est bien pavé mais peu encaissé. Une crue dans cette zone conduirait à des débordements massifs, vraisemblablement des dépôts importants de matériaux, ce qui est bénéfique, les enjeux menacés étant réduits et le débordement protégeant les terrains en aval.

A partir de l'Adrechon, le torrent arrive sur son cône de déjection. Le lit s'est alors notablement enfoncé (entre 1 et 2 mètres). Un seuil a donc été construit à l'extrémité amont de ce cône de déjection afin d'éviter une érosion régressive qui pourrait menacer la piste desservant la vallée.

Une forte digue, vraisemblablement très ancienne, repousse le lit le long du versant rive droite. L'utilité de cette digue est actuellement très réduite suite à l'enfoncement du lit. Celui-ci est très encombré par la végétation.

1.3.3. Vallée entre la Bâtie et S^t André

A l'altitude 1070 m, l'Issole est une rivière assez rectiligne, coulant dans un lit relativement étroit sans divagation. Le pont de la D2 (1064 m d'altitude) matérialise l'entrée dans une vallée encaissée.

Partie en amont du confluent avec l'Encure

Dans cette zone, le C.D. 2 est implanté dans le lit majeur de la rivière. Il est donc menacé sur l'ensemble de son cours. Des protections en enrochements ont été mises en place au fil des crues. Après la crue de Novembre 1994, quelques confortements ont été nécessaires, semblables à ce qui avait déjà été réalisé.

Notons que, lors de la crue de Novembre 1994, la route était fermée en amont du confluent avec l'Encure. Or, les inondations les plus gênantes n'étaient pas liées à l'Issole proprement dite mais à la multitude de ravins latéraux qui traversent la route par de petits aqueducs (il s'agit généralement de simples buses). Ces aqueducs sont insuffisants pour l'écoulement

liquide mais surtout pour le transport solide. La reprise de l'ensemble de ces ouvrages pour leur donner une section suffisante, et surtout une pente plus forte imposerait la surélévation de la chaussée.

De tels travaux semblent disproportionnés avec l'intérêt de cette route (qui est aisément doublé par le C.D. 955, beaucoup moins sensible au risque inondation). Ainsi, plutôt que d'éviter une submersion lors des fortes crues, il semble plus judicieux de se contenter d'éviter les érosions de la chaussée par l'Issole afin de permettre une remise en service rapide.

En aval du pont du C.D. 2, quelques enrochements ont été repris. Leur fruit est très faible. Un élargissement important du lit permet des dépôts relativement importants et surtout une régulation du transport solide dans la partie aval.

A l'altitude 1055 m, la digue en enrochements est légèrement dégradée : des blocs sont partis en pied d'ouvrage provoquant un léger affaissement de la partie supérieure. Ceci montre que la digue ne possède pas de fondations. En aval de la digue en enrochements, la route est protégée par des gabions. La rive droite est assez érodée, beaucoup d'arbres morts sont prêts à tomber.

Vers 1040 m d'altitude, en rive gauche, on note la présence d'un épi à l'aval duquel une digue en enrochements, partiellement dégradée, protège la route.

Vers 1030 m d'altitude, la route en rive gauche est protégée de nouveau par une digue en enrochements à faible fruit. A l'amont d'une érosion en rive gauche l'extrados de la rivière s'approche du C.D. 2, alors qu'il n'y a pas de protections de berges.

150 mètres à l'amont du confluent avec l'Encure, le lit est assez large, peu profond et divaguant. La rivière vient attaquer en rive gauche la route qui la surplombe mais dont les fondations ne sont pas protégées. Un peu à l'amont du pont et du confluent, un bras de l'Issole vient éroder la route non protégée.

Partie en aval du confluent avec l'Encure

L'Encure a très peu d'influence sur l'Issole. Les apports solides de ce torrent doivent être assez réduits (substratum fréquemment affleurant dans le lit) et les débits restent modérés. D'autre part, les matériaux de l'Encure ne semblent pas nettement plus grossiers que ceux de l'Issole.

On observe, en aval comme en amont du confluent avec l'Encure, des érosions latérales qui apportent un faible volume de matériaux à l'Issole. Il n'apparaît pas de fourniture significative de matériaux grossiers. Ainsi, le transport solide est-il modéré et alimenté essentiellement par l'amont.

A 980 m d'altitude, le ravin de la Moulière débouche en rive gauche. Il apporte quelques gros blocs. Le cône de déjection de ce torrent montre qu'il est capable de crues très chargées en matériaux. Les divagations sur le cône de déjection sont alors importantes et le pont actuel n'est absolument pas adapté à ce type de phénomène. Heureusement, la forte couverture forestière du bassin versant explique que le seuil de début de ruissellement est très rarement atteint et que ce type de crue est très exceptionnel.

Vers 950 m d'altitude, une anse d'érosion s'est développée en rive gauche. Elle est limitée par deux épis. Le premier est très affouillé et son extrémité a été partiellement emportée. Le deuxième est aussi affouillé. La tête s'est détaché du reste de l'épi. On observe ensuite encore un grand épi et trois plus petits, plus ou moins dissimulés dans la végétation.

1.3.4. Amont de St André

Du Pont de Mourefrey au Pont des sept Arcades

Le Pont de Mourefrey marque la sortie de la vallée étroite. Cet élargissement permet des divagations et de fortes érosions latérales. Il ne semble pas, au contraire de l'aval, que le lit se soit significativement enfoncé sous le pont.

Une station hydrométrique, gérée par la DIREN, est installée en amont immédiat du pont. Cet ouvrage a une portée de 15 mètres et le lit mineur une largeur de 12 mètres. Il n'y a pas de risque de contournement durant les crues. Le lit est pavé par de gros blocs et sa pente augmente localement en aval du pont.

S11

L'Issole forme ensuite un méandre marqué avec une érosion en extrados et un dépôt en intrados. La route est menacée à moyen terme par une érosion en rive droite. Ces érosions sont vraisemblablement liées à un enfoncement du lit.

A 930 m d'altitude, en rive gauche, des enrochements protègent la prise d'eau de la Mure. Ils sont complétés par une levée de tout venant permettant de capter les eaux à l'étiage. Cette levée est détruite à chaque crue, mais sa restauration est très facile.

S12

Une décharge est installée dans le lit majeur de la rivière en rive droite. Elle gagne sur le lit mineur et repousse l'Issole en rive gauche; l'attaque de la rive gauche a détruit le canal de la Mure en Novembre 1994. Un volume important de matériaux de la décharge a été emporté lors des récentes crues.

Après l'anse d'érosion en rive gauche, l'Issole se rapproche la rive droite et donc de la route. Celle-ci est protégée par une demi-douzaine d'épis en gabions (les deux premiers étant détruits) puis par une digue en enrochements fortement dégradée suite à des affouillements. Ces dégradations sont amplifiées par les divagations excessives dues à la décharge.

Le lit s'élargit et la rivière arrive au sommet de son cône de déjection. La rive gauche est assez érodée.

On note, sur la rive droite trois épis, qui protègent le C.D. 2 avant qu'il ne s'éloigne de l'Issole. Ils ont été contournés lors de la dernière crue et une forte érosion s'est développée en rive droite et un cabanon risque d'être emporté à la prochaine crue. L'enfoncement de l'Issole dans son cône de déjection est déjà perceptible.

Des enrochements en rive gauche protègent le canal de la Mure après les érosions de la crue de Novembre 1994.

Il est souhaitable de préserver les zones de divagation de l'Issole au sommet de son cône de déjection afin de permettre une régulation du transport solide.

En amont du pont des Sept Arcades, le lit est très large et les érosions se sont développées à la suite des divagations. Suite aux crues de Novembre 1994, trois épis fortement ancrés protègent la rive et permettant l'alimentation du canal de S^t André.

Evolution du profil en long à l'aval pont des Sept Arcades

Une photographie communiquée par la commune indique que depuis le début du siècle, le lit s'est enfoncé d'un à deux mètres au niveau du pont.

De même, la comparaison des lignes d'eau levées en 1910 et 1996 montre que l'Issole a subi un enfoncement sur l'ensemble de son cône de déjection :

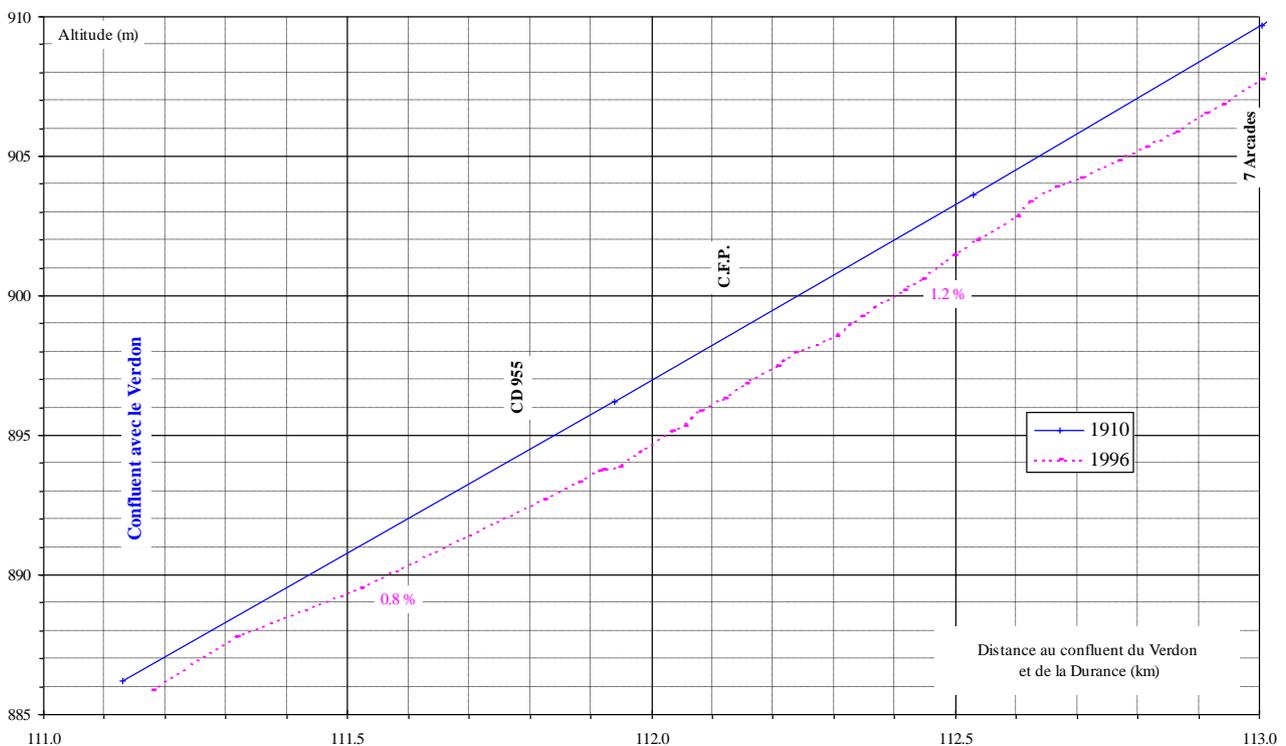


Figure 5 : Evolution des profils en long de l'Issole sur son cône de déjection.

L'enfoncement très important depuis 1910 s'explique de la façon suivante :

- ⇒ Déficit en matériaux lié en grande partie au reboisement dans le haut bassin versant. Cette évolution correspond probablement à une conquête par la végétation, et surtout par la forêt, d'une superficie importante.
- ⇒ Abaissement du lit,
- ⇒ Végétalisation des rives et des terrasses, leur submersion étant d'autant moins fréquente que le lit mineur est encaissé.
- ⇒ Rétrécissement du lit et des possibilités de débordement lors des crues. Les eaux sont donc concentrées lors des débits importants et le transport solide est facilité.

⇒ Encaissement du lit suite à l'augmentation des vitesses lors des crues et réduction de la pente à l'aval. On observe ainsi une pente réduite à 0.8 % en aval du pont des C.F.P. contre 1.2 % en amont.

Cette évolution a deux conséquences sur les risques de débordement :

1. L'abaissement du lit réduit les risques de débordement,
2. Le rétrécissement augmente la hauteur d'eau.

Description du lit à l'aval pont des Sept Arcades

A l'aval du pont des Sept Arcades, le lit se rétrécit malgré les érosions de la rive gauche. La réduction excessive de largeur entre deux piles du pont concentre les écoulements et augmente localement les contraintes hydrauliques. Les risques d'érosion de la rive gauche étaient donc importants et pouvaient menacer le canal de la Mure. Très récemment, une protection en enrochements a été construite.

Le lit s'est enfoncé d'environ 2 mètres dans cette zone, l'ancien seuil protégeant les fondations du Pont des sept Arcades ayant été détruit suite à l'enfoncement du lit en aval.

D'anciens gabions en rive droite, désormais totalement inefficaces, témoignent de l'enfoncement du lit qui est - à partir de cet ouvrage - particulièrement rétréci.

En rive droite un épi est maintenant très au-dessus du niveau de la rivière. De même une digue d'environ 1 m de hauteur est complètement recouverte de végétation. Une digue suivant le canal de S^t André évitait les débordements vers le Bourg. Elle est maintenant très haute par rapport au fil d'eau d'étiage.

Un camping est installé en rive droite. Une série de trois épis protège alors la berge de l'érosion. Ils sont construits dans le lit mineur et ont été sollicités lors des dernières crues : deux d'entre eux ont été dégradés. Ces trois épis sont installés dans une anse d'érosion et évitent son développement.

En amont du pont des C.F.P., le lit majeur est très encaissé, le lit s'étant enfoncé d'environ deux mètres. Ainsi, un mur en maçonnerie en rive gauche en aval du pont est déchaussé.

S13 - M11

En aval du pont le lit est plus large une anse d'érosion s'étant développée en rive droite lors des récentes crues. La hauteur de berge est alors localement plus réduite qu'en amont. Une érosion prononcée de la rive gauche menace un ancien moulin. On remarque les restes d'un épi en rive droite à l'aval de l'anse d'érosion.

M12

L'érosion se poursuit le long de la rivière. Elle est particulièrement importante en rive gauche, au droit d'un garage en amont du premier pont routier. L'épi en gabions semble insuffisant en cas de crue.

En rive droite, une maison en amont du pont est protégée par un mur maçonné et des enrochements en pied. La même protection se poursuit jusqu'à l'ancien pont.

S14 - M13

L'affouillement ponctuel au niveau de la culée rive droite est très important (près de 2 mètres) et impose un confortement rapide.

On remarque entre les deux ponts une érosion des berges. Des protections ont été réalisées en pied de berges après la crue de Novembre 1994, le C.D. 955 étant menacé. Des enrochements ont été posés un peu à l'aval en rive droite, à l'amont et à l'aval du nouveau pont. Il n'y a donc plus de point faible au niveau du pont du C.D. 955. Par contre, un confortement de la rive gauche en amont est souhaitable.

En aval des ponts, l'érosion est assez forte en rive droite au droit d'habitations.

Le cours de l'Issole est ensuite rectiligne jusqu'au confluent avec le Verdon. Les érosions de berges sont faibles. Les rives sont hautes. La tendance au dépôt augmente en amont immédiat du confluent. Le lit majeur du l'Issole s'élargit nettement en amont du confluent, la protection en enrochements au confluent avec le Verdon (rive droite) serait donc facilement contournée en cas de crue.

2. ETUDE DE LA MORPHOLOGIE DU LIT DU VERDON

2.1. Objectif

On cherche ici à analyser le lit du Verdon afin de mettre en évidence les zones de dépôt ou d'érosion. Cette analyse est associée à une mesure de la granulométrie des matériaux transportés et la détermination de l'influence des apports latéraux.

Un préambule à cette étude est l'analyse générale du profil longitudinal afin de mettre en évidence les grandes tendances.

2.2. Analyse générale des évolutions du profil en long

On dispose de deux séries de mesures du profil en long le long du Verdon :

- Le levé de 1910 réalisé pour les "Grandes Forces Hydrauliques" concerne la totalité du cours d'eau
- Le levé réalisé à l'occasion de cette étude (levé en juillet 1996). Il couvre les zones où une analyse plus fine est nécessaire. Il permet de mettre en évidence les variations du niveau du fond depuis 1910.

Dans une première étape, seul le profil en long de 1910 est utilisé afin de mettre en évidence les grandes unités. L'évolution du lit du Verdon sera ensuite analysée zone par zone.

La figure suivante correspond à l'ensemble du lit du Verdon (elle est reproduit au format A3 en annexe) :

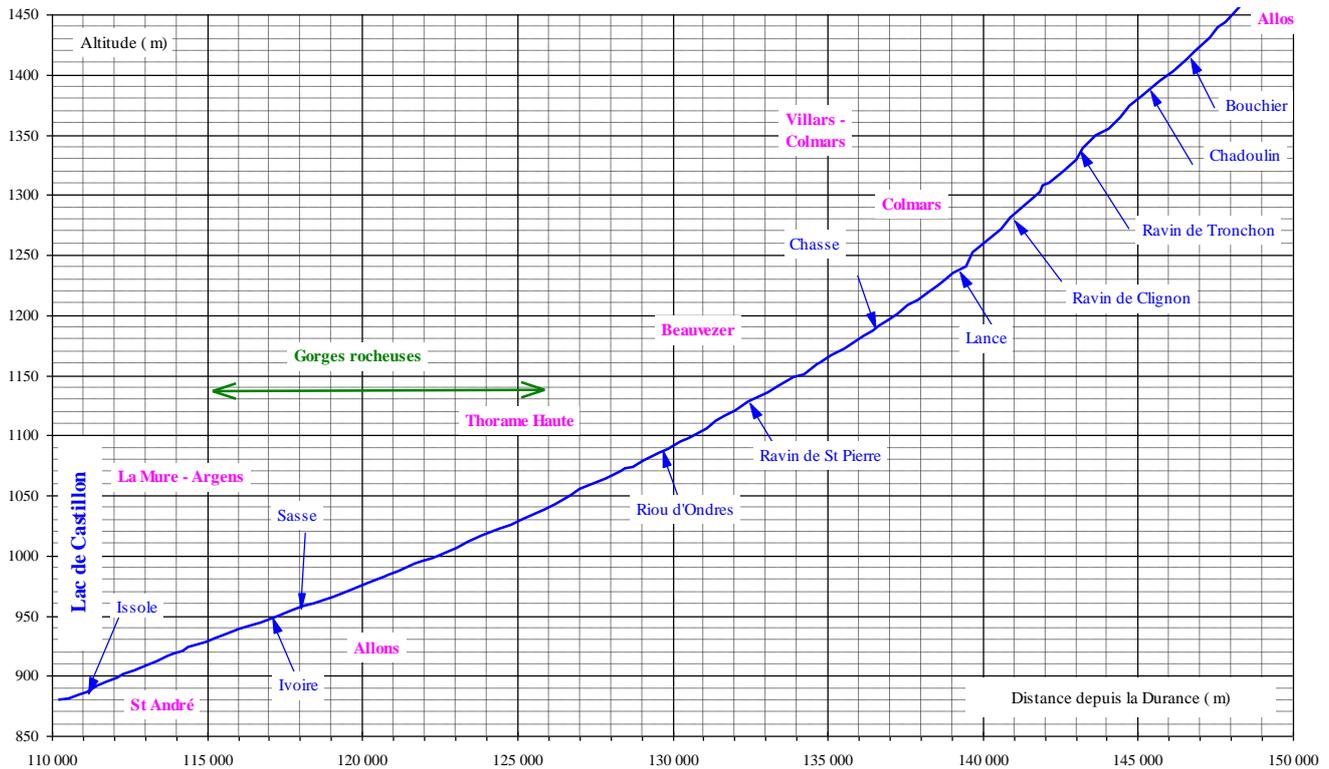


Figure 6 : Profil en long général du Verdon.

Il est possible de distinguer plusieurs zones homogènes :

1. L'amont du Seignus : le Verdon est très encaissé et à forte pente.
2. La traversée d'Allos : la vallée s'élargit et la superficie du bassin versant augmente considérablement.
3. Les gorges entre l'aval d'Allos (le Détroit) et Colmars. Dans la partie supérieure, la vallée est encaissée, mais le Verdon s'écoule dans des matériaux alluviaux. En aval de Chaumie, le rocher est beaucoup plus présent, n'accordant au Verdon que quelques zones de divagations (entre le torrent de Clignon et le Pont Haut par exemple).
4. La zone de divagation très homogène qui s'étire de Colmars à Thorame Haute : le Verdon y reçoit des torrents importants (Lance, Chasse, torrent de S^t Pierre...) et ses divagations sont généralement limitées en rive droite par des protections en enrochements.
5. Les gorges rocheuses entre Thorame Haute et l'aval du confluent avec l'Ivoire : le substratum n'est qu'exceptionnellement affleurant. Par contre, il est vraisemblablement très proche de la surface du lit et peut être temporairement mis à jour lors des crues. Les berges sont presque exclusivement rocheuses.
6. Enfin, le Verdon divague largement en amont du lac de Castillon. La tendance au dépôt en queue de retenue a été réduite par des extractions importantes.

Chacun de ces tronçons est décrit en détail ci-dessous.

2.3. Le Verdon en amont d'Allos

Amont de la station de mesure

Aux sources du Verdon, en amont de la Foux d'Allos, les pentes sont relativement faibles et l'érosion réduite. Le Verdon est donc bien pavé.

En amont de la Foux vers 1820 m d'altitude, le torrent s'encaisse dans des gorges rocheuses. Immédiatement en aval du confluent avec le Ravin de Pramaou, le haut Verdon est busé afin de permettre le passage d'une piste de ski. Un remblai important barre alors la vallée. Cette buse, en bon état, est heureusement très largement dimensionnée. En effet, son insuffisance - qui ne peut résulter que d'une obstruction par des flottants - conduirait à la destruction du remblai et à la libération brutale des eaux stockées, ce qui aurait des conséquences très graves, au moins jusqu'à Allos. Bien que le risque soit faible, un entretien régulier des berges en amont de cet ouvrage est vivement conseillé.

Traversée de l'aval de la Foux

Après la station de mesure, le haut Verdon conflue avec le torrent de l'Aiguille, qui draine un bassin versant relativement étendu et vraisemblablement très arrosé. Des débordements ponctuels de cet affluent sont probables en cas de crue. Cependant, les enjeux menacés sont assez faibles (deux cabanes et un téléski). D'autre part, on observe un faible affouillement des gabions protégeant la route en rive droite. Un confortement par des enrochements en pied serait souhaitable.

On note une érosion assez forte de la rive droite du Verdon à ce confluent. Le substratum affleure, mais les terrains de couverture sont facilement érodables. Un restaurant est menacé à cet endroit.

Le Verdon est de nouveau busé sous la Foux. Cette buse est particulièrement longue et partiellement dégradée, mais ses dimensions sont largement suffisantes pour laisser passer les débits liquides rares. Le problème est, ici encore, le risque d'obstruction par des flottants. Toutefois, les conséquences d'un débordement sont beaucoup moins graves qu'en amont car le risque de rupture d'embâcle est supprimé. Notons qu'un terrassement des parkings permettant un écoulement à dommage minimal aurait été préférable.

Les risques d'érosion des berges en aval de la buse sont importants (mais sans conséquences graves). Les protections de berges sont très hétérogènes (utilisation de matériaux de démolition, fruit trop faible), et dégradent le paysage dans une zone pourtant très touristique. Si de nouveaux aménagements étaient envisagés, il faudrait prévoir un chenal d'écoulement élargi d'au moins 5 mètres.

Après un passage à gué qui doit être reconstruit après chaque crue, le lit du Verdon est rétréci par un mini-golf et un centre équestre partiellement gagnés sur le lit du torrent. La construction d'un pont plus largement dimensionné est prévue à cet endroit pour permettre l'accès à la rive gauche même durant la période hivernale.

Les débordements dans le mini-golf sont relativement fréquents mais devraient devenir plus rares. Un immeuble est protégé par une digue en enrochements quasi verticale dont la tenue en cas de crue est douteuse.

En aval, une piste est protégée par des enrochements posés en vrac.

Gorges rocheuses entre la Foux et Allos

En aval de la Foux, le Verdon s'écoule dans des gorges rocheuses et très encaissées. On note quelques érosions de berges, mais sans réelles conséquences. Le lit, généralement alluvial, est bien pavé.

En amont du pont du Seignus, la vallée s'élargit un peu. Le Verdon a été rétréci par les travaux routiers (ponctuels) en rive gauche et par la piste du collecteur d'eaux usées en rive droite. Les récentes crues - pourtant assez modestes à ce niveau - se sont traduites par des érosions latérales redonnant au lit sa largeur.

Après le pont du Seignus, le lit majeur s'élargit un peu. Quelques enrochements à renforcer protègent la berge (passage de la canalisation) en rive droite. Le Verdon reçoit le Bouchier.

2.4. D'Allos à Colmars

Trois torrents, d'importance assez égale se rejoignent à Allos :

- le Haut Verdon,
- le Bouchier,
- le Chadoulin.

Le bassin versant drainé triple pratiquement de superficie dans la traversée d'Allos. Le Verdon devient alors une rivière torrentielle. Les affluents sont décrits au chapitre précédent.

Dans la traversée d'Allos, le lit du Verdon a subi des aménagements très importants, la rivière ayant été repoussée le long de la rive droite. Bien que la comparaison des profils en long soit difficile (changement important des abscisses et manque de points de repère fiables), il semble que les évolutions en altitude du lit depuis le début du siècle ont été faibles. La faiblesse de cette évolution s'explique vraisemblablement par le pavage créé par les principaux affluents du Verdon (Chadoulin et Bouchier mais aussi ravin de Ribions).

Amont du confluent avec le Chadoulin

A1

A l'aval du confluent avec le Bouchier, la canalisation d'eaux usées franchit le Verdon par une passerelle. Le Verdon est ensuite accolé au versant rive droite. La canalisation d'eaux usées, protégée par des enrochements, limite l'extension du lit. L'analyse des photographies aériennes de 1962 montre que le lit dans cette zone était beaucoup plus divagant, occupant une large bande, en particulier au droit du plan d'eau actuel, et plus encore en aval du Chadoulin. D'anciennes cartes confirment que le lit, dans toute la traversée d'Allos, était nettement plus large.

Lors de la crue de Novembre 1994, le Verdon a débordé jusqu'en limite de la zone de loisir implantée le long de la conduite d'eaux usées.

Le rétrécissement génère des érosions importantes le long de la rive droite, ce qui, localement, engendre des glissements de terrain. De même, le long de la rive gauche, les enrochements ont été localement emportés.

La protection de la rive gauche se termine peu en amont du confluent avec le Chadoulin, là où la conduite d'eaux usées s'éloigne du Verdon.

Du confluent avec le Chadoulin au Déroit (1345 m d'altitude)

A2

En aval du confluent, la largeur concédée au lit n'est guère plus importante qu'en amont. Par contre, un merlon très élevé isole le Verdon de la zone boisée en retrait. Cet obstacle a conduit à la suppression de l'important méandre en aval immédiat du confluent avec le Chadoulin.

Les protections de ce merlon sont hétérogènes, et malgré des enrochements localement liaisonnés avec du béton, les dégradations sont importantes. Suite à ce rétrécissement, la berge rive droite a été décapée jusqu'au niveau du substratum rocheux.

Etant donnée la capacité de charriage du Chadoulin, il est essentiel de ménager une zone de dépôt au confluent. En effet, en cas de crue du torrent, le Verdon est incapable, si sa crue est modérée, de reprendre les matériaux apportés. En l'absence de zone de divagation, les hauteurs de dépôts peuvent être importantes et conduire au débordement du Chadoulin comme du Verdon.

Ainsi, le merlon digue a été pris à revers par les eaux du Chadoulin en Novembre 1994. Les dégâts ont été mineurs, la zone inondée étant l'ancien lit majeur du Verdon. La restauration de la possibilité de divagation du Verdon est souhaitable dans cette zone.

Le ravin de Ribions et celui du Tapi confluent avec le Verdon presque au même endroit. De très gros blocs dans le lit du Verdon et une augmentation de la pente laissent penser qu'un des deux affluents apporte des laves torrentielles. Il s'agit vraisemblablement du ravin de Ribions dont le lit indique un très fort transport solide et, dans la partie supérieure, le passage de laves torrentielles.

La rive gauche est érodée et a été partiellement inondée en 1994. Localement, le collecteur d'eaux usées s'approche du Verdon. Il a été détruit par endroits lors des récentes crues. Une nouvelle crue causerait vraisemblablement encore des dégâts, la protection en enrochements étant insuffisante à ce niveau.

A3

Une digue en tout venant, très élevée, protège la station d'épuration en rive gauche dans la partie amont. Elle est très dégradée. Une digue en enrochements fait suite et renvoie l'écoulement sur la rive droite.

La protection actuelle ne peut résister à une crue dépassant la crue décennale et le Verdon pourrait alors s'écouler entre la digue et la station d'épuration, dans un ancien lit. On risque alors de remobiliser un volume important de matériaux de la décharge et la station d'épuration pourrait alors être menacée par les divagations du lit.

La vallée se ressert progressivement en amont du Déroit. La route se rapproche alors du Verdon. Elle a été détruite lors de la crue de Septembre 1994 puis lors de celle de Novembre 1994. La nouvelle route est protégée contre les crues par des enrochements posés suivant un fruit trop faible.

En amont du rétrécissement, les divagations et les dépôts sont facilités lors des fortes crues par la très nette réduction de la largeur en aval. Cette zone joue donc le rôle de plage de dépôt et participe à la régulation du transport solide. Lors des crues médiocres, les matériaux sont repris par le Verdon.

La zone à faible pente se poursuit jusqu'au ravin de Tronchon. Celui-ci a vraisemblablement apporté par le passé de très fortes laves et est parvenu ainsi à former un rapide à forte pente en aval immédiat du confluent.

Du Déroit au pont de Chaumie

Au niveau du confluent avec le ravin de Tronchon, l'érosion lors de la crue de Novembre 1994 a été très active dans une zone à très forte pente. L'enfoncement du lit a vraisemblablement été supérieur à deux mètres. Cela correspond au fonctionnement "normal" d'un confluent, abaissé en cas de forte crue de la rivière principale.

Un pavage de gros blocs apportés par le torrent s'est reformé après la crue et un affleurement de substratum rocheux en aval réduit les risques de nouvel enfoncement du lit dans cette zone.

En aval, le lit majeur s'élargit un peu et des dépôts importants (environ trois mètres de hauteur) ont rempli le lit. Après la crue, un chenal a été taillé dans ces alluvions. Ce nouveau lit ne suit pas toujours le tracé du lit antérieur à la crue et il est localement encombré d'arbres.

Ces dépôts importants proviennent vraisemblablement des apports considérables liés à l'abaissement du verrou du Déroit (confluent avec le ravin de Tronchon) mais s'expliquent aussi par une réduction de la pente dans cette zone (2.2 % dans la zone de dépôt d'après le profil IGN).

Les érosions de berge sont très réduites par les affleurements de substratum mais aussi par de très gros blocs provenant directement des versants.

L'ampleur de ces dépôts diminue progressivement en allant vers l'aval.

Le substratum rocheux est vraisemblablement assez proche du lit sur l'ensemble des gorges. Ainsi, la route est souvent fondée - au moins partiellement - sur le rocher, ce qui réduit les risques d'interruption de service en cas de crue.

Entre le confluent avec le ravin de la Cascade et le pont de Chaumie, la pente augmente nettement, à cause de la présence du substratum rocheux sur le fond et de très gros blocs, en particulier le long de berges.

Ces très gros blocs proviennent soit des apports des torrents (ravin de la Cascade et ravin de Gaudillon) lors d'épisodes exceptionnels formant des laves, soit directement des éboulements du versant. La pente dans cette zone est localement très forte.

On observe le long de la rive droite, en aval immédiat du confluent, une érosion importante de la berge. Les enjeux semblent cependant très limités.

Du pont de Chaumie à l'amont de Colmars

En aval du pont, et jusqu'à l'amont immédiat du confluent avec le ravin de Clignon, le lit est encaissé entre deux rives souvent rocheuses (on observe souvent des terrasses alluviales dans les intrados). Les dépôts ou érosions sont donc très limités. Quelques gros blocs participent au pavage du lit.

En amont immédiat du ravin de Clignon, le lit s'élargit nettement et permet le développement d'une anse d'érosion le long de la rive gauche. Elle ne menace pas d'aménagements particuliers, hormis, peut-être, une conduite d'eau potable.

Le Verdon conflue ensuite avec le ravin de Clignon. Ce dernier est encore très raide sur son cône de déjection et les possibilités de dépôts sont limitées. On observe, en amont immédiat du confluent, un affleurement de substratum. Il semble donc que le ravin de Clignon soit particulièrement stable au niveau du confluent.

En aval, le Verdon est localement plus raide, mais l'on n'observe pas de trace de pavage ni de respiration importante au confluent.

Le lit majeur est ensuite beaucoup plus large, permettant le développement d'une vaste zone de divagation. Le lit du Verdon est alors très mobile. La forte pente entre cette zone et le confluent avec le ravin de Clignon explique vraisemblablement l'absence de respiration au confluent, les apports du torrent pouvant être facilement déposés dans cette zone.

Les fluctuations du lit sont très importantes et les constructions en rive gauche ont été inondées en Novembre 1994 et seraient encore menacées pour des crues excédant la crue décennale.

C'est dans le prolongement de cette zone de divagation que s'est créée la brèche dans le C.D. 908 lors de la crue de Novembre 1994. Il s'agit en effet d'un point particulièrement exposé, dans l'extrados d'un coude brusque.

Les remblais réalisés après les crues ont été soigneusement protégés par des enrochements (liaisonnés en pied), ce qui leur permettrait vraisemblablement de résister aux très fortes contraintes dans cette zone.

En aval, les versants rocheux se resserrent et la pente augmente en amont immédiat du Pont Haut. D'anciens gabions (avec enrochements en pied) protègent le talus soutenant le C.D. 908. Ils ont bien résisté à la crue de Novembre 1994, en particulier grâce à la brèche en amont qui a dévié l'écoulement vers la berge opposée. Ils pourraient cependant être détruits en cas de crue centennale. A l'extrémité aval, la protection est assurée par des enrochements en

cours de construction. Le liaisonnement est trop réduit pour leur permettre de résister à un affouillement.

Ensuite, le Verdon s'écoule dans des gorges rocheuses jusqu'à l'amont immédiat de Colmars. Les possibilités de modifications du lit sont très faibles et les débordements impossibles étant donnée la hauteur des gorges.

2.5. De Colmars à Thorame

2.5.1. Analyse de l'évolution du profil en long

Dans cette zone, le Verdon reçoit de nombreux torrents actifs. Il est donc susceptible de connaître des variations de niveau importantes en fonction de la succession des crues.

La figure suivante illustre les évolutions en amont de Beauvezer. Elle est basée sur le profil en long de 1910 dont la précision en altitude est inférieure au mètre. Etant données les variations locales du lit du Verdon (augmentées encore par les travaux en rivière qui ont suivi la crue), un écart de l'ordre d'un mètre entre les profils n'est pas significatif :

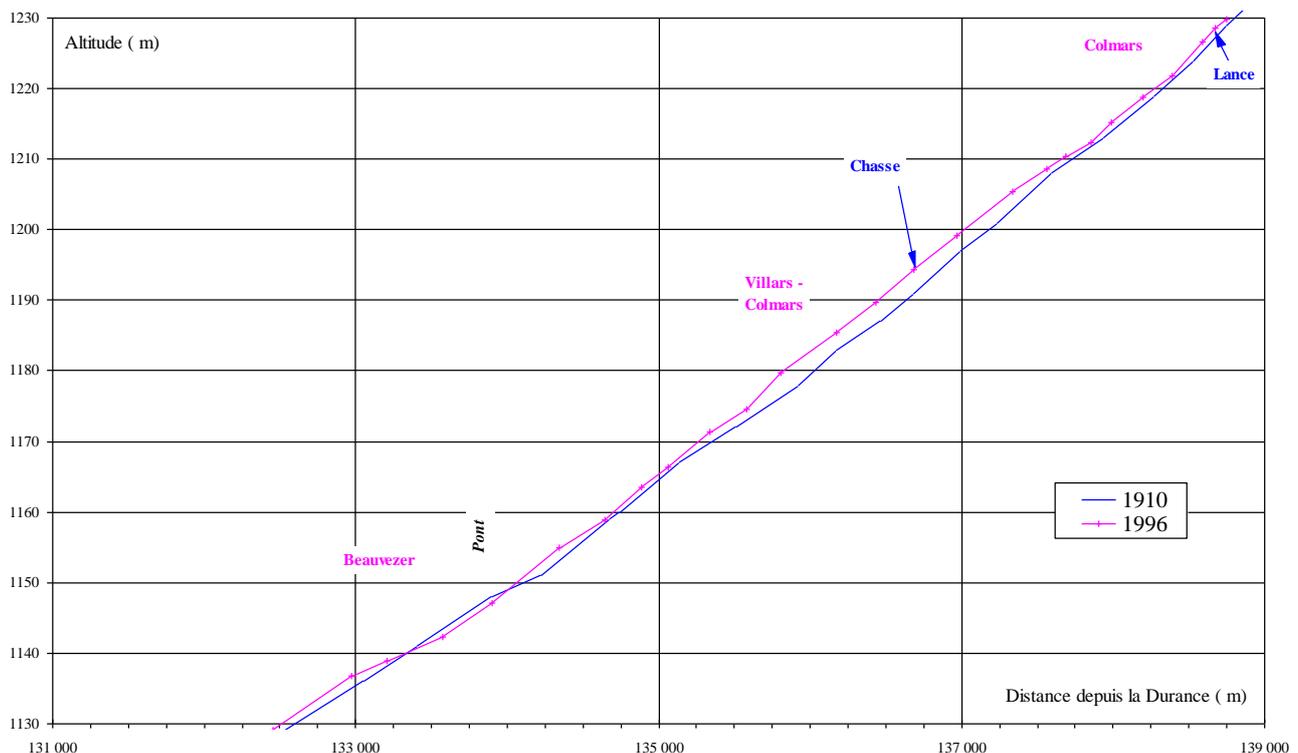


Figure 7 : Evolution du profil en long en amont de Beauvezer.

Cette figure conduit aux remarques suivantes :

- A Colmars, les évolutions du lit sont faibles depuis le début du siècle. Il convient cependant de noter que depuis la crue de Novembre 1994, des travaux importants ont été réalisés dans cette zone, abaissant le profil en long d'au moins un mètre au niveau du confluent avec la Lance et en aval (jusqu'au pont de la Buissière). Cette remarque montre qu'un engrèvement du lit dans cette zone est rapidement compensé par des curages à cause des habitations qui sont directement menacées. L'absence de variation du lit depuis le début du siècle est donc peu significative.

- Un engravement très important est perceptible à proximité du confluent avec la Chasse (environ 3 mètres). Cette situation n'est pas à imputer uniquement au torrent mais provient pour l'essentiel des divagations à l'aval de l'étroit du camping. Cette irrégularité sera expliquée en détail lors de la description du lit.
- L'engravement du lit en amont du pont de Villars-Heyssier (Beauvezer) est vraisemblablement lié aux débordements massifs en amont (brèche de Rioufleiran) ou en tout cas aggrave ceux-ci. Les engravements sont de l'ordre du mètre, c'est à dire peu significatifs.
- Les érosions au droit du pont (cause probable de sa destruction) et plus en aval correspondent en partie au retour dans le lit d'eaux peu chargées en graviers. Ces enfoncements menacent gravement la digue rive droite (jusqu'au camping).

En aval de Beauvezer, les variations sont aussi importantes :

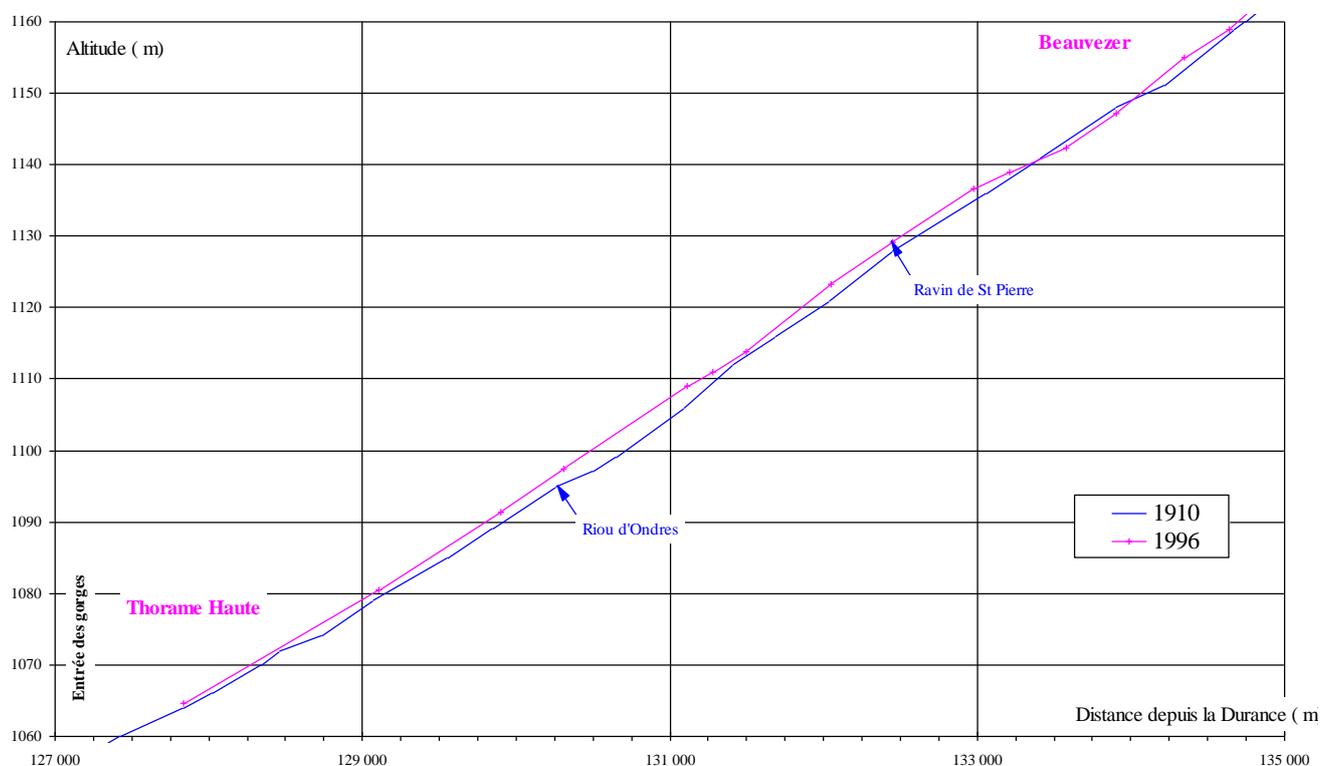


Figure 8 : Evolution du profil en long en Verdon en aval de Beauvezer.

Les principales évolutions sont les suivantes :

- Engravement au droit du Ravin de S^t Pierre. En effet, on a vu précédemment que ce torrent a connu une forte crue en Novembre 1994. Les apports au confluent ont donc été assez importants pour entraîner un engraissement modéré du lit.
- Engravement important au droit du Riou d'Ondres en en amont. Plusieurs causes expliquent cette évolution :
 1. Les apports du Riou d'Ondres et du Ravin de S^t Pierre qui ont augmenté la concentration en matériaux transportés par le Verdon. Cette particularité de la crue de Novembre 1994 explique un profil longitudinal beaucoup plus régulier, et donc un lissage par rapport au profil longitudinal de 1910, plus irrégulier.

2. La perte de charge importante au pont du Moulin. La largeur de cet ouvrage étant à peine supérieure à 20 mètres, la mise en vitesse sous l'ouvrage lors des fortes crues entraîne une dénivelée très importante (près de 3 mètres) qui génère un dépôt de même ampleur. Ce dépôt est partiellement repris pour des débits plus faibles. On peut ainsi observer un dépôt très important en amont du Pont du Moulin et un lit mineur encaissé d'environ 3 mètres dans ce dépôt. Il s'agit d'un effet assez localisé, surtout pour une crue aussi pointue que celle de Novembre 1994, les volumes nécessaires à la propagation loin en amont du dépôt étant trop importants par rapport à ceux transportés durant la seule pointe de crue. Un tel ouvrage favorise donc les dépôts en amont, et en particulier au pont d'Ondres.

2.5.2. Description détaillée du lit

Traversée de Colmars

Le Verdon sort des gorges en amont immédiat de Colmars. En rive gauche, une ancienne digue protège la ville. A son extrémité amont, cette digue est recouverte de tout venant, en partie érodé lors des récentes crues, ce qui ne permet pas d'en connaître la résistance.

C1

Cette digue se prolonge de quelques mètres en aval du pont : son extrémité a été détruite lors des crues de 1994, les affouillements en aval du pont étant localement très importants lors des crues.

Le lit se rétrécit progressivement jusqu'au pont communal. La largeur est alors un peu supérieure à 10 mètres. En Novembre 1994, la hauteur d'eau était de 3.5 à 4 mètres ce qui correspond, pour un écoulement critique (nombre de Froude = 1), à un débit compris entre 220 et 270 m³/s, soit l'ordre de grandeur du débit centennal.

Les évolutions du lit dans cette zone sont très faibles, le substratum étant affleurant et la mise en vitesse au niveau du pont réduisant les risques de dépôt régressif.

C2

En aval, le lit s'élargit considérablement. La rive droite est presque intégralement rocheuse. En rive gauche, au contraire, les remblais actuels sont hétérogènes, peu efficaces et ne mettent pas en valeur le Verdon dans une zone pourtant très touristique (remparts et tennis).

L'élargissement au droit des remparts - combiné au brusque rétrécissement en aval - entraîne lors des crues un dépôt de matériaux de l'ordre de 1 mètre lors des fortes crues. Ce dépôt est naturellement repris lors des crues médiocres, les pertes de charge au niveau des ponts de la gendarmerie étant plus réduites.

Lors des crues de 1994, ce dépôt a encore été facilité par les dépôts régressifs depuis le confluent avec la Lance qui sont parvenus à remonter dans la "gorge" en amont immédiat de la gendarmerie et ont excédé un mètre.

La rive gauche a été renforcée par des enrochements au droit de la gendarmerie, juste à l'amont du confluent. Ces enrochements ont un très faible fruit. Le niveau de leur fondation n'est pas connu. On note la présence de la station de jaugeage de Colmars au pont à l'amont immédiat de la gendarmerie. Les variations du niveau du lit à cet endroit, en particulier lors des récentes crues, rendent incertaine l'estimation des débits.

Du confluent avec la Lance au pont de la Buisnière

La pente du Verdon en aval du confluent est très inférieure à celle de la Lance. Il s'agit donc d'une situation particulièrement dangereuse, les apports du torrent pouvant se déposer massivement.

C4

La tendance à la divagation est d'autant plus importante que le Verdon doit effectuer un virage à angle droit au confluent, pour suivre la direction de la Lance. Ainsi, deux causes s'ajoutent pour expliquer de fortes divagations dans cette zone :

- La forte tendance au dépôt,
- La variation de la répartition des débits entre le Verdon et la Lance qui influence la direction des écoulements en aval.

Les dégâts au niveau du confluent ont donc été particulièrement importants, surtout le long de la rive gauche (dans le prolongement du Verdon). Les érosions ont conduit à la destruction de la station d'épuration, et plusieurs habitations ont été menacées.

Une protection en enrochements liaisonnés a été construite après la crue. Elle limite la largeur du lit, et il n'y a pas d'espace suffisant pour un dépôt massif de matériaux. On risque donc, dans cette zone, un engraissement important du lit et le débordement pour une crue centennale. Dans la partie aval, des remblais en tout venant limitent la capacité de dépôt de matériaux en cas de crue, sans offrir une protection efficace. Cette configuration augmente les risques d'érosion de la rive droite.

C6

Le Verdon dessine ensuite un coude vers la gauche. L'entreprise de vente de matériau en rive droite a été fortement endommagée, trois causes s'ajoutant pour augmenter les érosions le long de la rive droite :

- Le coude créé en amont par la destruction de la station d'épuration qui a favorisé, en aval, la concentration des écoulements le long de la rive droite,
- Le coude naturel qui place cet équipement en extrados,
- La tendance très marquée au dépôt augmentée encore par le rétrécissement du lit à la sortie du coude. Les dépôts ont atteint 1 à 1.5 mètres lors de la crue de Novembre 1994. Ils ont été, en grande partie, curés depuis.

Les érosions le long de cette rive ont donc été très importantes, et un bâtiment a été détruit alors que le C.D. 908 a été très menacé. Une protection en enrochements présentant un fruit important protège actuellement cette rive. Elle est renforcée dans sa partie amont, les enrochements étant liaisonnés avec du béton.

Dans sa partie aval, cette digue réduit brutalement la largeur du lit, concentrant les écoulements le long de la rive gauche. Les enrochements actuellement en place en rive gauche présentent une résistance douteuse à des écoulements importants (fondation apparemment superficielle, fruit très faible).

En aval du commerce de matériaux, la rive est nettement plus basse, mais le champ d'inondation est limité par la route.

Du pont de la Buissière au confluent avec la Chasse

Le pont de la Buissière rétrécit peu le lit du torrent. Il a été en limite du passage en charge lors de la crue de Novembre 1994.

A l'aval immédiat du pont, le lit a été endigué sur les deux rives. En rive droite la berge est protégée par de gros blocs puis du tout-venant. Les travaux ont permis au camping de gagner quelques mètres sur la rivière. La première terrasse a été submergée lors de la crue de Novembre 1994.

C7

Les dépôts (de l'ordre d'un mètre dans cette zone) ont été curés récemment et ont été utilisés pour construire, en rive gauche une digue en tout venant. Cette digue présente plusieurs inconvénients :

- Elle n'apporte qu'une protection illusoire de la berge,
- La réduction de la largeur diminue d'autant les capacités de stockage des matériaux dans cette zone... augmentant les niveaux de dépôt en cas de crue,
- Les matériaux la constituant seraient très facilement mobilisés, apportant une surcharge en matériaux au Verdon.

C8

Sur la rive gauche, une habitation a été gravement menacée lors de la crue, ses fondations étant partiellement déchaussées. Un mur en béton a été reconstruit en limite du Verdon et le terrain a été remblayé. La résistance des murs à l'affouillement est douteuse en cas de crue, même si le lit, à ce niveau, est particulièrement large.

C9

En rive droite, des débordements - heureusement secondaires - ont rejoint un ancien talweg dans le lit majeur. Après un long cheminement dans la zone boisée, ils ont menacé le lotissement de *Jardin Ville*, en aval de Colmars.

Actuellement, une digue provisoire - et facilement érodable - en tout venant a été construite entre le Verdon et le lotissement. Immédiatement en aval, le lit s'élargit considérablement. Les hauteurs de dépôt dans cette zone ont été beaucoup plus faibles qu'en amont.

En aval et jusqu'au confluent avec la Chasse, la largeur du lit augmente, créant un dépôt assez important. On note par ailleurs une érosion marquée de la rive droite puis un nouveau débordement au droit du lieu dit *Vieraron*.

Du confluent de la Chasse à Beauvezer

Le cône de déjection de la Chasse a été entaillé par la crue de Novembre 1994. Il s'agit du fonctionnement normal du confluent entre un torrent (dont la crue a été médiocre) et une rivière en crue. Cette dernière a alors la capacité de mobiliser les matériaux déposés au confluent.

Inversement, en cas de crue de la Chasse (généralement sans crue du Verdon concomitante), les matériaux se déposent au confluent, la rupture de pente ne permettant plus le transit de la majorité des sédiments. Cette alternance de dépôt et d'érosion est un phénomène très fréquent, qui doit être pris en compte lors du dimensionnement d'éventuels ouvrages de protection.

Ces "réajustements" successifs du lit au confluent se traduisent par des dépôts, des érosions et des instabilités du tracé du lit. Les dégâts peuvent alors être importants. C'est le cas ici, où le Verdon a érodé une route d'accès à des habitations.

De plus, les variations du niveau et du tracé du lit que l'on rencontre dans ces zones facilitent les débordements. Un faible débit a donc quitté le lit mineur et a parcouru le lit majeur boisé sur plusieurs centaines de mètres. Ce débordement a ensuite inondé le camping placé entre le Verdon et le C.D. 908. Les débits étaient heureusement très faibles et les dégâts ont été réduits.

Actuellement, la piste a été reconstruite mais sans protections en enrochements et un épi sommaire "protège" la rive droite en aval du confluent avec la Chasse. Cet épi ne serait pas capable de résister ni à une crue de la Chasse, ni à une crue du Verdon.

V1 - V2

Le point de débordement vers le camping est situé au lieu dit Les Clots. A partir de ce point le lit se rétrécit progressivement, ce rétrécissement atteignant son maximum au droit du camping. Là, des enrochements liaisonnés ont réduit encore la largeur du lit mineur (guère plus de 25 mètres) : ce rétrécissement est excessif. Les contraintes hydrauliques sont alors très fortes. Les protections en enrochements le long du camping ont été dégradées, malgré le soin apporté à leur construction.

Ces protections ont renvoyé le courant vers la rive gauche qui a subi d'importantes érosions. L'écoulement, à ce niveau, a érodé et déstabilisé le versant en provoquant un glissement de terrain de faible ampleur. L'érosion de ce versant a deux effets :

1. le versant rejette le Verdon en rive droite provoquant l'attaque de la digue de protection de la future zone artisanale de Villars-Colmars. En Novembre 1994, l'écoulement a submergé la digue et les terrains qu'elle protégeait jusqu'au remblai du C.D. 908.
2. Les plus gros blocs provenant du versant ont contribué au pavage du lit en aval, relevé le profil en long et contribué ainsi à l'inondation de la rive droite.

On voit que le rétrécissement et le renvoi du Verdon contre le versant de rive gauche génèrent pour le camping et pour l'aval en rive droite des risques très importants et inacceptables.

Sur la terrasse rive droite, une partie des écoulements a longé la route, dans un lit secondaire. Les débits étaient heureusement assez faibles pour que les érosions restent limitées et ne menacent pas la chaussée. L'essentiel de l'écoulement a rejoint le lit mineur, d'autant plus que la décharge en aval s'oppose à un écoulement dans le lit majeur. La digue de protection a donc été prise à revers. Construite en enrochements liaisonnés, elle n'a pas été détruite, malgré des affouillements localement importants.

V3

Des volumes importants des matériaux de la décharge ont été emportés par le Verdon.

Depuis la crue de Novembre 1994, il n'y a pas eu d'intervention, et une nouvelle crue augmenterait encore les dégâts, les divagations étant encore renforcées par les dernières érosions. Les dépôts qui se sont formés durant la crue de Novembre 1994 (en particulier à la décrue) seraient présents dès le début de la crue, conduisant à un débordement massif sur l'ensemble de la rive droite.

En aval, on observe très bien un basculement d'une rive à l'autre lors de la crue de Novembre 1994.

Cette inversion des méandres s'est traduite par une très nette augmentation de la largeur du lit mineur. Ainsi, en aval de la décharge, le courant a été repoussé vers la rive gauche déstabilisant les terrains sur une grande hauteur. Ensuite, il a été renvoyé vers la rive droite et a érodé le lit majeur sur plusieurs dizaines de mètres de largeur, alors que celui ci était fortement boisé. L'absence probable de protection dans une zone initialement en intrados a permis une érosion très rapide de la berge, puis la destruction par une attaque pratiquement frontale de la digue formant la chaussée du C.D. 908.

B3

Cette digue a été emportée sur toute sa largeur et une partie des écoulements est passée dans le lit majeur, prenant ainsi la digue à revers. Comme au droit de la décharge, les débits ont été relativement limités et les érosions - et donc les dégâts - sont restés assez faibles. Cet écoulement a fini par rejoindre le lit mineur en amont immédiat de Beauvezer en empruntant le chenal du Ravin de Notre Dame. La réduction du débit liquide dans le lit principal du Verdon a vraisemblablement favorisé un dépôt des matériaux sur ce lit.

Des travaux importants ont été conduits après la crue afin de rétablir la circulation et de protéger les habitations situées derrière la digue et qui sont très exposées. Ils ont consisté dans la reconstruction sur place de la route, et sa protection par les enrochements¹. Ceux-ci demeurent cependant très sollicités et l'on observe localement des dégradations². En aval, l'ancienne digue a été conservée. Les contraintes y demeurent modérées, malgré le rétrécissement - raisonnable - du lit.

Les travaux réalisés dans cette zone ont consisté à renforcer les points faibles des digues. Cependant, ils sont sans influence notable sur la cause des dégradations : les divagations exagérées du Verdon entre Villars-Colmars et Beauvezer. Seule une approche globale de

¹ Le Verdon s'écoulant dans cette brèche après la crue, son colmatage a nécessité l'emploi de grandes quantités d'enrochements. Elle résisterait donc assez bien à une nouvelle attaque du Verdon.

² Un très gros bloc et un massif en béton implantés dans le lit, à quelques mètres des digues en enrochements, renforcent considérablement les contraintes sur les enrochements. Des renforcements localisés ou la destruction de ces obstacles sont à prévoir.

l'équilibre, combinée à des renforcements ponctuels, permettrait d'éviter de nouveaux dégâts lors des prochaines crues.

De Beauvezer au torrent de S^t Pierre

L'ancien village de Beauvezer, bâti sur le versant, est à l'abri des crues du Verdon. Cependant, les habitants ont voulu utiliser une partie du lit majeur pour les cultures. Ils ont donc construit une série d'épis, largement dimensionnés. Ces derniers ont ensuite été colmatés par les crues. Le premier de ces épis est situé en aval immédiat du Ravin de Notre Dame, protégeant aussi les terrains contre les crues de ce torrent.

Dans un second temps, vraisemblablement lors de la construction du C.D. 908 dans le lit majeur, les têtes de ces très anciens épis ont été reliées par des digues en enrochements. Cette digue domine la rive droite d'environ un mètre. Il s'agit de la protection actuelle. Les terrains ainsi protégés ont ensuite été aménagés (habitations, hôtellerie, camping...).

La digue la plus en amont, chargée de réduire la largeur du lit, est évidemment la plus exposée. Elle a cédé lors de la crue de Novembre 1994, vraisemblablement à la suite d'affouillements. Sa ruine a conduit à la destruction de deux habitations en retrait et à l'inondation généralisée du lit majeur.

B4

D'autre part, le pont conduisant à Villars-Heyssier a été détruit, les piles étant vraisemblablement affouillées. Il a été très rapidement reconstruit. Les deux piles sont protégées par des amas d'enrochements très massifs. Ces constructions, en augmentant localement les vitesses, peuvent engendrer des affouillements importants qui pourraient conduire, en cas de nouvelle crue, à la ruine de l'ouvrage.

La destruction de la digue amont, du pont et l'affouillement très important de la digue en aval sont liés à une érosion générale du lit du Verdon dans cette zone, qui peut s'expliquer en partie par le retour, immédiatement en amont, des débits peu chargés ayant débordé le long de la rive droite.

B5

Dans le lit majeur, les épis ont évité la concentration de l'écoulement qui est passé, localement, entre le versant et le C.D. 908. Formant barrage, ils ont augmenté les hauteurs d'eau, aggravant les inondations, mais ont réduit les vitesses entre épis. Le second épi, au droit de l'église, a permis le retour d'une forte fraction du débit du lit majeur dans le lit mineur, au prix de la destruction localisée de la digue et de la tête d'épi. La digue a été reconstruite après la crue, mais sa résistance est douteuse (fruit faible et fondations apparemment insuffisantes).

En aval, les débits étaient heureusement trop faibles pour créer des érosions importantes. Le camping a été inondé à partir de la brèche amont sous une très faible hauteur d'eau.

La digue était protégée par des îlots de végétation et d'arbres, emportés par endroits pendant la crue. Le lit est assez large, ce qui permet de réduire les contraintes sur les ouvrages. Cette digue est régulièrement traversée par de petits aqueducs de drainage. Ceux-ci fonctionnent à l'envers lors des crues, permettant une submersion par de faibles débits (hauteur et vitesse réduites) lors des crues du Verdon.

B6

En rive gauche, à "Delà Verdon", une maison est implantée dans le lit majeur, à quelques mètres du lit mineur. Elle est, évidemment, très menacée.

B7

En aval, suite à un enfoncement localisé du lit, les protections en enrochements sont fondées plus d'un mètre au dessus du lit mineur. La protection est donc très fragile et résisterait difficilement à une nouvelle crue importante car le lit dessine un méandre et que les écoulements d'étiage suivent la berge. Le lit s'est localement abaissé de deux mètres environ et aucune protection n'est visible en pied de digue. Cette dernière est donc très fragile et sa rupture menacerait directement le camping.

En aval du camping, la digue est interrompue, en face du ravin des Roubines. Une anse d'érosion très marquée s'est développée immédiatement après l'arrêt de la digue. Dans cette zone, le lit s'élargit considérablement, d'une part grâce à la disparition des digues en rive droite mais surtout à cause du confluent avec le Ravin de St Pierre. L'écoulement des crues s'étale alors largement dans le lit majeur boisé en rive droite.

Du torrent de St Pierre au Riou d'Ondres

Le Ravin de St Pierre apporte des volumes importants de matériaux au Verdon. Ces matériaux sont cependant assez peu grossiers pour ne pas engendrer une forte augmentation de la pente du Verdon (1.8 % contre 1.5 % sur le levé de 1910).

Comme pour le ravin d'Ondres, le cône de déjection est très entaillé par le Verdon. Notons aussi que les endiguements en amont, repoussant le Verdon le long de sa rive gauche, ont favorisé ces érosions.

Comme les torrents précédents (Lance, Chasse), les apports du Ravin de St Pierre favorisent la divagation dans cette zone. Ce torrent a connu une forte crue en Novembre 1994. La comparaison du confluent dans l'état actuel et après la crue de 1994 est particulièrement révélatrice :

- Après la crue de Novembre 1994, le lit est rempli de matériaux apportés par le torrent. Il a ainsi repoussé le Verdon en rive droite.
- Au printemps 1996, le Verdon est parvenu, par de petites crues, à emporter une forte fraction des matériaux déposés. Le lit mineur longe alors la rive gauche.

B8

Des constructions dans le lit majeur (station d'épuration), en amont immédiat du confluent, sont menacées par les inondations.

A l'aval du confluent, le lit majeur du Verdon est considérablement rétréci, en particulier au niveau du confluent avec le ravin de Ganon. Les épis protégeant le C.D. 908 en amont du confluent n'ont pas été sollicités lors de la crue de Novembre 1994.

Le rétrécissement du lit du Verdon est d'abord lié à un lit majeur boisé très large le long de la rive gauche.

En aval immédiat de ce rétrécissement, les protections en enrochements du C.D. 908 sont très sollicitées en raison de l'étroitesse du lit mineur, le lit majeur, très boisé, ne permettant pas un écoulement significatif. Cette protection a donc été détruite lors de la crue de Novembre 1994 et la route a été coupée. De nouveaux enrochements (très raides dans la partie aval) ont été reconstruits. Leur résistance à une nouvelle crue est douteuse.

A la faveur d'un élargissement, une terrasse fortement végétalisée a pu se développer entre la route et le lit mineur. Les enrochements protégeant la route sont alors très peu sollicités. Ils sont d'ailleurs absents par endroits ou remplacés par quelques gabions.

Une dernière brèche s'est formée en Novembre 1994 dans une zone où le lit mineur est brusquement rétréci par avancée de la rive gauche boisée. La plate-forme routière a été reconstruite et protégée, comme en amont, par des enrochements.

Du Riou d'Ondres au pont du Moulin

Le Verdon reçoit le Ravin d'Ondres. Les apports solides de ce dernier sont relativement faibles, et leur granulométrie réduite facilite leur reprise par le Verdon. Ils favorisent les divagations de la rivière en aval.

TH1

Le pont d'Ondres a sept piles mais offre une faible hauteur pour l'écoulement. Il est localement passé en charge lors de la crue de Novembre 1994. Il est actuellement abandonné suite à la déstabilisation du tablier en bois. Il est provisoirement remplacé par une piste en tout venant et des buses métalliques de forte section. La restauration du pont devrait être prochainement programmée.

En rive gauche, une lente érosion fait reculer régulièrement la falaise. Ceci a entraîné la destruction de l'ancienne route menant à Ondres. Le lit est alors très large et divagant.

En rive droite, la rivière a débordé en Novembre 1994 dans le lit majeur boisé. On remarque une grande anse d'érosion sur cette même rive, liée à la déstabilisation du tracé en plan en aval du cône de déjection du Riou d'Ondres et à la remontée des niveaux en amont du pont du Moulin lors des débits extrêmes (effet de la mise en vitesse).

TH2

Un camping, installé en rive droite, il n'a pas été inondé. L'érosion de la berge est limitée par deux épis mais ceux-ci ont été très dégradés. Une digue maçonnée complète le dispositif.

A l'aval immédiat du camping le Verdon reçoit un affluent en rive gauche, dont il érode le cône de déjection assez raide. Ce torrent (ravin de Serpeigier) apporte quelques gros matériaux qui sont assez facilement repris, le lit étant assez étroit dans cette zone sans réduction de pente.

A l'aval du camping, se dessine une autre anse d'érosion en rive droite. Cette rive a d'ailleurs été inondée en Novembre 1994 (10 à 20 cm). On note aussi une légère érosion en rive gauche.

On arrive ensuite au pont du Moulin. Le Verdon est alors encaissé entre deux falaises et son lit est rétréci. La perte de charge au droit du pont provoque donc un dépôt de matériaux important à son amont immédiat lors des crues. Ce dépôt est ensuite repris pour des débits liquides plus réduits (le rétrécissement n'impose plus de perte de charge localisée).

Du Pont du Moulin à l'entrée des gorges

Le pont est fondé sur le rocher, ce qui explique sa résistance aux crues. En aval, le substratum rocheux est localement affleurant au fond du lit et plus généralement sur les rives (surtout en rive gauche). Le lit est alors relativement étroit mais très encaissé. Le C.D. 908 est localement menacé par les érosions de berge et des enrochements ont alors été mis en place. La vulnérabilité du C.D. dépend d'abord de la position du substratum, qui n'est pas connu car des remblais le couvrent sur l'essentiel du linéaire.

A l'extrémité aval de ses gorges peu encaissées, le Verdon est franchi par le nouveau pont du C.D. 908, lui aussi fondé sur le rocher. Le débouché est alors nettement supérieur à la section mouillée lors des crues.

Jusqu'au Pont Clôt, le Verdon s'écoule entre des falaises de plusieurs dizaines de mètres de hauteur, le lit étant beaucoup plus large qu'en amont (une centaine de mètres de largeur).

Il reçoit le Riou Touert en rive droite, affluent provenant du Lac des Sagnes mais qui apporte des volumes de matériaux relativement importants au Verdon. La granulométrie réduite permet une reprise aisée de ces sédiments.

Une extraction massive de matériaux (actuellement près de 10 000 m³, vraisemblablement beaucoup plus il y a quelques années) dans cette zone est conduite depuis plusieurs décennies. Elle ne conduit visiblement pas à un enfoncement significatif du lit. Cette stabilité est favorisée par les affleurements de substratum en amont et en aval du site. Il semble donc que le volume annuel moyen transitant à ce niveau soit important.

Le Verdon rentre ensuite, au niveau du Pont Clôt, dans les gorges inférieures. Le substratum rocheux a une influence prépondérante sur l'écoulement dans cette zone.

2.6. Les gorges inférieures

En aval du pont Clôt, le Verdon s'est taillé un chenal dans une gorge très encaissée sur près de 9 kilomètres. Le substratum est rocheux. Malgré la présence presque continue du rocher, la pente du fond est très régulière. En effet, le Verdon est parvenu à user tous les seuils rocheux et le fond est recouvert d'une couche de sédiments.

On observe, très localement, des éboulements, trop limités pour avoir une réelle influence sur la rivière et des glissements des terrains de couverture.

D'autre part, quelques ravins apportent des sédiments, en particulier le Ravin du Riou Frey, en aval du pont de la Fleur. Etant donnée l'étroitesse du lit dans cette zone, les matériaux (assez fins) sont facilement emportés lors des crues du torrent.

Des remblais dans le lit mineur (embarquement pour l'eau vive en amont du pont de la Fleur) ont été emportés lors de la crue de Novembre 1994. Il s'agit d'une reconquête de son lit par la rivière.

Les berges étant rocheuses, les menaces pour les voies de communications (essentiellement C.D. 955 et voie ferrée) et les quelques constructions sont très rares. Elles sont constituées par des érosions ponctuelles. C'est le cas, en particulier, environ 400 mètres en amont du pont d'Allons le long de la rive gauche : la voie ferrée pourrait être menacée à terme si le rocher n'est pas présent à proximité immédiate.

Globalement, les apports (liquides et solides) sont très limités dans cette zone. Les possibilités de dépôt étant très faibles, il s'agit d'une zone neutre vis à vis du fonctionnement d'ensemble du Verdon.

2.7. Verdon en amont de St André

De la carrière amont au Pont de Quarante Mètres

Les berges rocheuses s'écartent environ 1300 mètres en aval du confluent avec l'Ivoire ce qui permet l'élargissement du lit mineur. Le Verdon divague dans cette zone et dépose des volumes importants de matériaux lors des crues, l'élargissement du lit permettant une réduction des contraintes hydrauliques. Cette zone a donc naturellement un rôle de régulateur du débit solide pour la partie aval. Le Verdon se divise en plusieurs bras divaguants.

Une exploitation de matériaux est installée dans ce premier élargissement.

M1

La rive droite est très érodée et instable, les fortes divagations pouvant éroder ponctuellement les berges. Un glissement de terrain ainsi créé menace le C.D. 955. Deux épis ont donc été construits en pied de berge. Ils sont tous les deux affouillés en tête et l'extrémité du second est effondrée. La protection est trop ponctuelle et l'on peut observer, en aval, des érosions importantes des berges.

L'érosion gagne actuellement vers l'aval et rend instables des terrains auparavant bien végétalisés (herbes, arbres).

La prise d'eau du Canal du Verdon, en rive droite, a été déplacée vers l'aval, ce qui semble indiquer une tendance au dépôt dans le lit du Verdon. Ce canal longe ensuite le Verdon sur plus d'un kilomètre.

En aval, la largeur de la rivière atteint près de 250 m, le Verdon occupant tout le lit majeur. Les divagations sont alors importantes.

Evolution du profil en long

La figure suivante met en évidence l'évolution du profil longitudinal en amont du Pont de Méouilles :

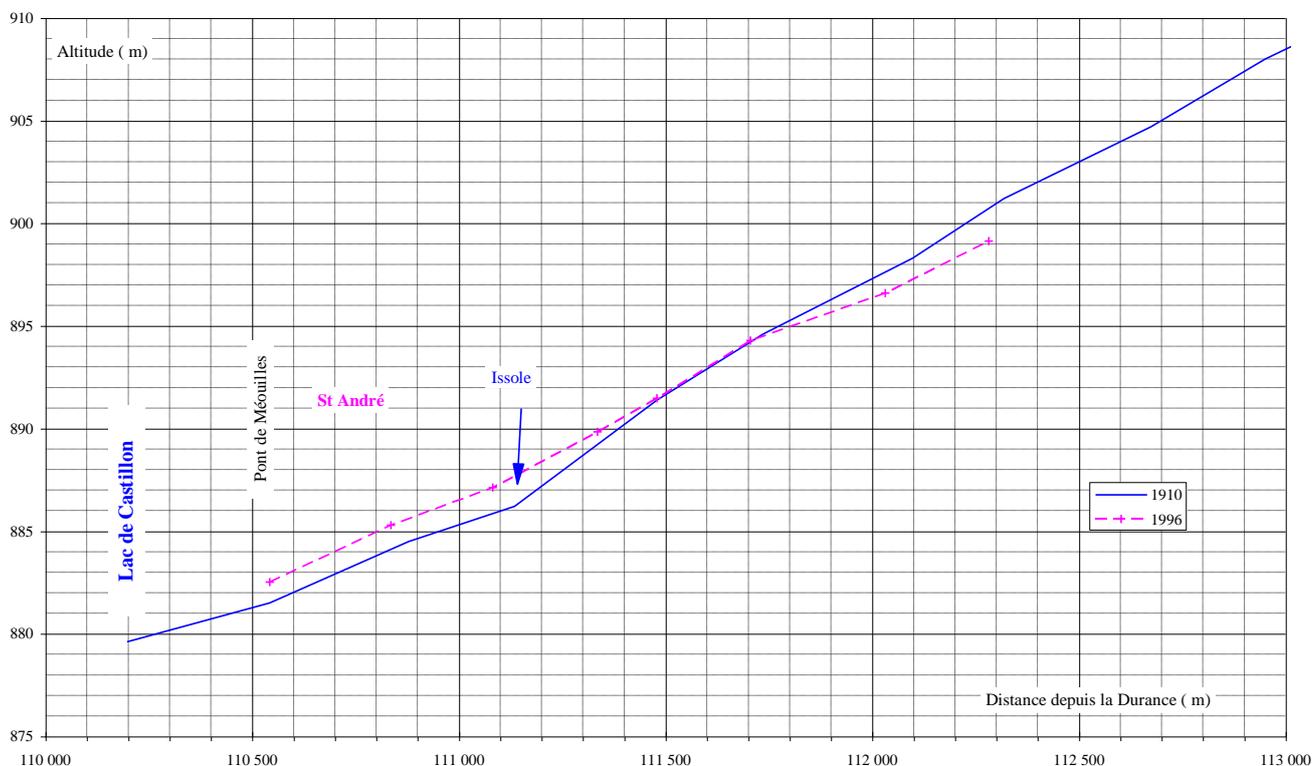


Figure 9 : Evolution du profil en long en amont du Pont de Méouilles.

On note que les évolutions du lit sont faibles (moins d'un mètre), ce qui s'explique par la présence du seuil du Pont de Méouilles qui forme un point fixe (ou peu variable).

D'autre part, les évolutions du lit vont dans le sens d'une uniformisation des pentes. Cette constatation n'est pas surprenante et correspond au fonctionnement général de ce confluent :

1. En temps ordinaire, les apports (surtout liquides) de l'Issole permettent une réduction de la pente en aval du confluent.
2. Lors des crues du Verdon, les apports importants de ce dernier conduisent à des dépôts au niveau de la rupture de pente (confluent). Ils sont repris par la suite.

Le dépôt au confluent montre que les apports solides du Verdon ont été, en Novembre 1994, beaucoup plus déterminants que ceux de l'Issole, cette dernière n'ayant pas influencé significativement la pente.

Du Pont de Quarante Mètres au confluent avec l'Issole (description du lit)

Le lit du Verdon est très rétréci au droit du pont de Quarante Mètres. Deux digues en maçonnerie sont destinées à faciliter l'entonnement sous le pont. Cependant, les fortes divagations du Verdon en amont ont conduit à une attaque frontale de ces digues. Celles-ci ont donc fonctionné davantage comme épi que comme digue longitudinale. La concentration des contraintes hydrauliques en tête d'ouvrage a conduit à des affouillements puis, à la ruine de la digue.

La digue en rive droite est très dégradée, alors que celle de la rive gauche est encore en bon état. Des protections massives en enrochements ont été mises en oeuvre afin de préserver les digues.

En aval du pont, le lit occupe à nouveau toute la vallée. Il reçoit en rive gauche plusieurs torrents (ravin de Font de la Poule, ravin de Champ Chabas, ravin du Rouinier). Leurs bassins versants sont à des stades d'érosion différents. A cet endroit, les marnes noires sont recouvertes d'une couche de sédiments très facilement érodables. Ils apportent régulièrement des matériaux au Verdon. Leur granulométrie réduite et la faible taille des bassins versants permettent une reprise aisée de ces matériaux.

En rive droite, le canal du Verdon est perché sur un talus formant la berge de la rivière. Les érosions semblent assez réduites pour que le canal soit peu menacé.

Le lit du Verdon se rétrécit un peu après le ravin de Champ Chabas. Une conduite traverse le Verdon à ce niveau. Un peu en aval, des extractions de matériaux sont encore réalisées dans le lit du Verdon.

Dans cette zone, une large bande boisée s'est développée dans le lit majeur. Elle a été inondée lors de la crue de Novembre 1994. Seuls les boisements (et les embâcles végétales) limitent l'extension du lit mineur dans cette zone. Celui-ci reste encore assez large pour ne pas engendrer d'érosions localisées. L'inondation des terrasses cultivées en retrait est localement possible pour une crue un peu supérieure à la crue centennale.

Les boisements ont faiblement reculé lors de la forte crue, ce qui correspond à la dynamique naturelle de la végétation riveraine. Localement (en particulier en aval du ravin de la Terre de la Vache) des bras secondaires se sont réactivés dans la zone boisée.

L'érosion de la rive gauche, formée de falaises schisteuses, est lente mais très régulière. Elle ne fournit que des matériaux fins transportés en suspension par le Verdon.

En aval du rétrécissement, la tendance au dépôt est d'autant plus marquée que les débordements dans le lit majeur boisé sont importants. L'eau qui s'écoule lentement entre les arbres, a une capacité de transport très réduite, favorisant ainsi les dépôts dans le lit. Une partie des matériaux devrait être reprise par les crues modérées, l'influence de l'Issole devenant alors significative. Le lit majeur actuel est cependant très engravé, et le débordement dans le lit majeur est rapidement important.

Confluent avec l'Issole

Une digue en enrochements a été construite au confluent en 1995. Elle a pour but de protéger les rives contre le Verdon qui arrive ici presque perpendiculairement à la berge. Elle est bien renforcée à son pied, mais le sabot est déjà très affouillé. Dans la configuration actuelle cette digue pourrait être assez facilement contournée par l'Issole qui l'attaque à son extrémité aval.

Les habitations de S^t André sont protégées par un dispositif de digues (supportant généralement les routes communales), qui sont, dans la partie amont, en retrait par rapport au lit mineur. Les terrains entre le Verdon - et l'Issole - et la digue sont évidemment submersibles pour la crue centennale, et aucune construction ne doit y être prévue. Plusieurs habitations y ont été construites.

Ensuite le Verdon longe la route construite sur la digue : elle est très surélevée par rapport aux terrains alentours et en relativement bon état. Elle est protégée par une maçonnerie renforcée par des enrochements localement déchaussés. Un confortement du pied sera souhaitable, même si le seuil du Pont de Méouilles, immédiatement à l'aval, maintient le niveau du lit.

S1

A l'extrémité amont de la digue, les remblais devant la digue ont été récemment (1996) érodés. La digue, et les terrains protégés sont actuellement menacés. Il n'est pas possible de connaître la nature des protections de la digue à ce niveau, des matériaux ayant été déversés dès le début de l'érosion.

On note un rétrécissement significatif du lit au Pont de Méouilles. La station limnimétrique EDF est située immédiatement en amont du pont.

De nouveaux enrochements ont été réalisés à l'aval immédiat du pont pour protéger la station d'épuration et les aménagements touristiques.

S2

En aval du pont de Méouilles, le phénomène prépondérant est l'engravement de la queue de retenue. La figure suivante illustre les différentes étapes du dépôt dans un lac artificiel :

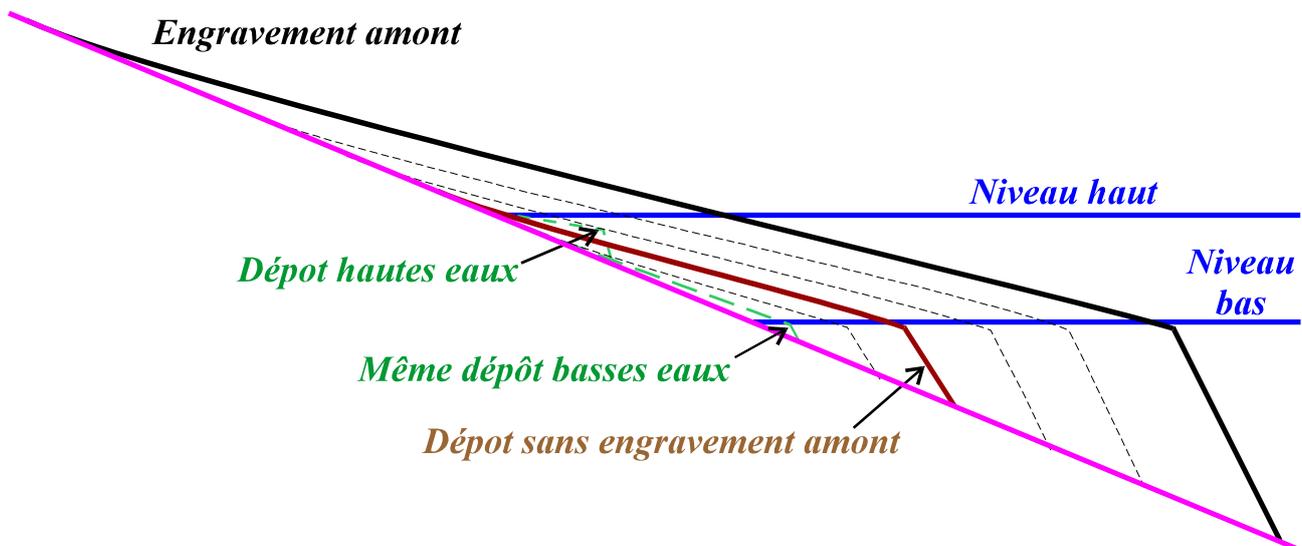


Figure 10 : Evolution de l'engravement en queue de retenue.

On distingue les étapes suivantes :

1. Dépôt de hautes eaux (par exemple lors d'une crue d'automne). Le dépôt est alors localisé à l'extrémité amont de la retenue.
2. Dépôt de basses eaux. Au printemps, le niveau d'eau dans la retenue est plus bas et les forts débits de fonte des neiges permettent l'étalement des matériaux vers l'aval, le dépôt maximum étant alors localisé au niveau des basses eaux.
3. Dépôt sans engravement amont. La retenue se comble peu à peu mais, durant une longue période les engravements ne concernent que les zones immergées en hautes eaux, la reprise au printemps limitant fortement les engravements en amont.

4. L'augmentation du volume de dépôt implique que l'ensemble de la queue de retenue s'engrave, y compris en amont du niveau haut de la retenue. Le lit s'engraisse alors en amont (jusqu'à plusieurs kilomètres du lac), et les risques de débordement sont considérablement accrus. C'est ce phénomène qui a débuté au niveau du pont de Méouilles.

Des curages ont déjà été réalisés dans les années passées dans cette zone. Ils ont permis de retarder l'engravement du lit. Ils deviennent indispensables, afin d'éviter les débordements du Verdon à proximité du pont de Méouilles.

3. VOLUMES DE MATERIAUX TRANSPORTES

3.1. Objectif

Le calcul des volumes de matériaux transportés par le Verdon et ses affluents en différents points du réseau hydrographique permet de cerner le fonctionnement de la rivière en mettant en évidence les zones de fourniture importante de matériaux et les tendances générales (dépôt ou érosion dans les lits).

D'autre part, une telle analyse permet d'expliquer les alternances de dépôt et d'érosion en certains points en fonction de la succession des crues, par exemple aux confluent.

Pour cela, on s'attache aux cas suivants :

- **Crue centennale.** Il est nécessaire d'estimer les volumes pouvant être apportés en un seul épisode afin de déterminer les risques d'engravement - ou d'érosion - brutal.
- **Année moyenne.** La détermination des volumes moyens apportés chaque année est nécessaire pour estimer les vitesses d'évolution du lit dans les zones en déséquilibre et éventuellement les volumes de curage nécessaires.
- **Variabilité interannuelle.** Il est essentiel de montrer que le transport solide est un phénomène à seuil et que les volumes transportés sont très variables d'une année à l'autre.

3.2. Méthode retenue

Il est possible de calculer, en chaque point du réseau hydrographique, le volume solide transporté lors d'une crue ou d'une année. Dans le cas du Verdon, la formule de LEFORT est particulièrement bien adaptée, en particulier grâce à la possibilité de divagation du lit et à l'absence de débordement massif dans les zones étudiées.

Celle-ci présente l'avantage de relier directement débit solide et débit liquide, sans faire intervenir le calcul de conditions hydrauliques. Elle s'écrit :

$$\frac{Q_s}{Q} = 4.45 \left(\frac{d_{90}}{d_{30}} \right)^{0.2} \frac{\rho}{\rho_s - \rho} I^{1.5} \left(1 - \left(\frac{Q_{lc}}{Q} \right)^{0.375} \right) \dots\dots\dots (1)$$

Avec

$$\frac{Q_{lc}}{\sqrt{gd_m^5}} = 0.295 \times I^{-13/6} (1 - 1.2I)^{8/3} \dots\dots\dots (2)$$

Avec :

- d₃₀ diamètre pour lequel 30 % des grains sont plus petits,
- d₉₀ diamètre pour lequel 90 % des grains sont plus petits,
- d_m diamètre moyen des grains de l'échantillon,

I	pente représentative de l'écoulement,
ρ, ρ_s	densité de l'eau et des matériaux,
Q	débit liquide,
Q _s	débit solide,
Q _{lc}	débit liquide correspondant au début de transport.

Les paramètres nécessaires au calcul des bilans de transport sont les suivants :

- **Chronique des débits** liquides sur la période étudiée et aux points de calcul. Les volumes transportés seront donc déterminés à proximité des sites de mesure afin de réduire les incertitudes. L'étude hydrologique précédente permet de connaître tous les paramètres nécessaires.
- **Pente caractéristique** du transport solide. Il s'agit de la pente pour laquelle il n'y aurait, dans un lit alluvial, ni dépôt ni érosion. Cette pente se confond alors avec la pente géométrique. Par contre, dans les zones de très fort dépôt ou d'érosion, elle est sensiblement différente. Enfin, lorsque le lit est pavé, ou que le substratum affleure, cette pente est très nettement inférieure, et sans rapport avec celle du lit. C'est le cas, par exemple, dans les gorges rocheuses. Une analyse morphologique sur chacun des sites est donc nécessaire pour déterminer cette pente représentative.
- **Paramètres granulométriques** représentatifs des matériaux transportés. Il ne s'agit pas forcément des matériaux couvrant le lit à l'étiage. Les remaniements considérables réalisés dans le lit après la crue compliquent la recherche de paramètres représentatifs. D'autre part, une différence doit être faite entre les matériaux transportés lors de fortes crues (représentatifs de la granulométrie en masse) et ceux transportés lors des écoulements forts mais non exceptionnels comme ceux issus de la fonte des neiges par exemple (les matériaux sont alors l'objet d'un tri sélectif en fonction de leur taille).

En se basant sur les paramètres précédents, il est donc possible d'estimer les volumes solides transitant en chaque point. Les incertitudes relatives au seuil de début de transport réduisent la pertinence de ce type de calcul en dehors des fortes crues. Les bilans annuels sont donc à considérer avec prudence. Ils permettent cependant de comparer les capacités de transport entre différents points et de mettre en évidence les tendances au dépôt ou à l'érosion.

3.3. Etude de la granulométrie du Verdon et de ses principaux affluents

3.3.1. Objectif

On cherche à connaître l'évolution de la granulométrie des matériaux transportés par le Verdon depuis l'amont d'Allos (pont du Seignus) jusqu'au pont de Méouilles. L'évolution de la granulométrie des matériaux transportés est fonction de deux facteurs :

- L'usure et le tri sélectif des matériaux,
- Les apports latéraux.

D'autre part, la granulométrie mesurée est très dépendante de l'évolution morphologique du lit, c'est à dire du fonctionnement du torrent - ou de la rivière. Ainsi, l'analyse de l'évolution granulométrique est essentielle pour la compréhension du fonctionnement de la rivière.

3.3.2. Granulométries relevées sur les principaux affluents

L'objectif de la connaissance de la granulométrie des torrents est de pouvoir calculer les apports solides au Verdon afin de connaître l'équilibre de la rivière. On cherche donc à connaître la granulométrie en amont du confluent avec le Verdon.

La figure suivante regroupe les granulométries représentatives des principaux affluents. Chaque courbe est, généralement, le résultat de la comparaison de plusieurs mesures afin de réduire les incertitudes. Ces résultats sont obtenus par mesure du diamètre d'une cinquantaine de grains prélevés aléatoirement à la surface du lit.

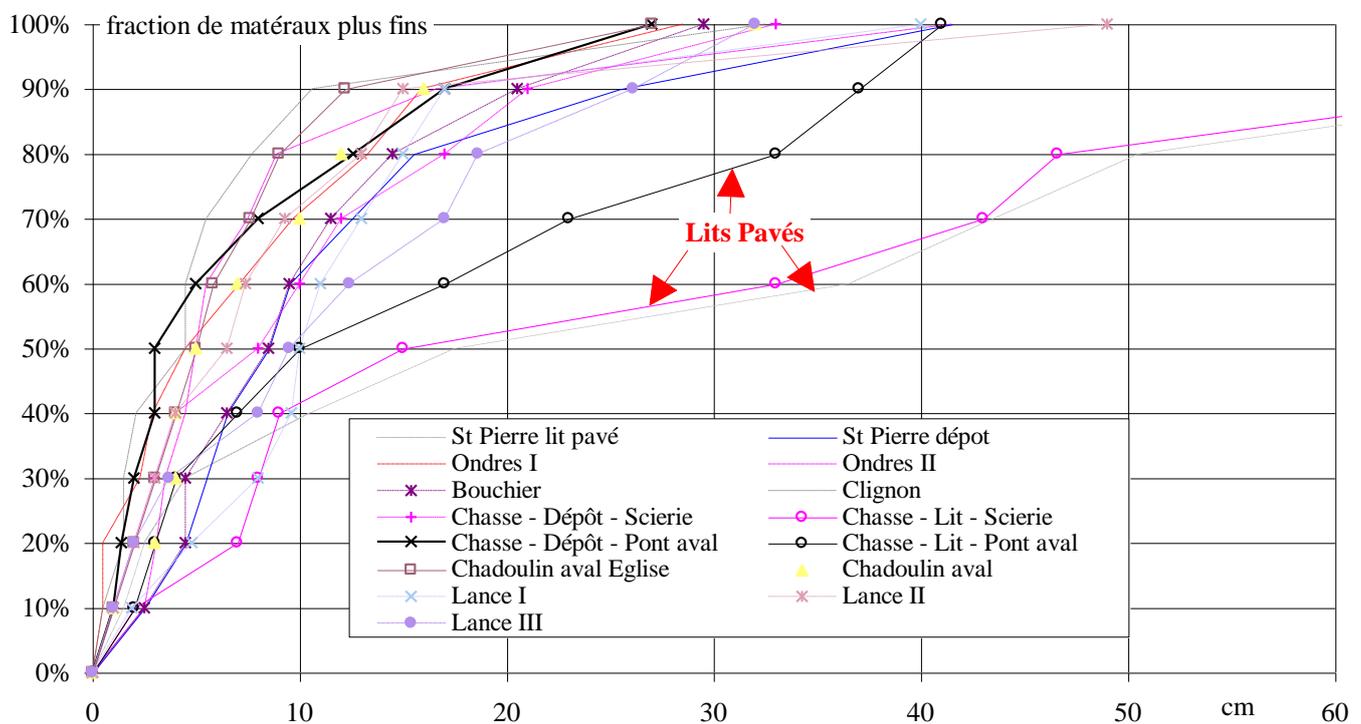


Figure 11 : Granulométries relevées sur les principaux affluents.

On distingue sur cette figure deux familles de courbes :

1. Les matériaux représentatifs de la granulométrie en masse du lit. Cela correspond aux sédiments transportés lors des fortes crues, l'ensemble des blocs étant transportés sans tri granulométrique important.
2. Les matériaux triés par le torrent. Ils ont été durablement en contact avec des écoulements importants mais non exceptionnels. Un pavage s'est alors formé par tri sélectif des matériaux. Ces sédiments sont plutôt représentatifs des petites crues, avant changement du lit.

Cette figure montre aussi une variation relativement faible des diamètres des matériaux apportés au Verdon par ses principaux affluents. En effet, on ne considère ici que les torrents

les plus actifs. Or, aucun d'entre eux (à l'exception peut-être du Ravin de S^t Pierre) n'apporte de gros blocs, en particulier lors d'écoulement de laves torrentielles.

Cette particularité, pour un bassin versant de montagne, n'est pas surprenante quand on considère le profil en long du Verdon : en aucun endroit, les torrents n'imposent une rupture de pente significative.

On note cependant trois exceptions à cette règle :

- Le ravin de Ribions qui pourrait apporter des laves. Il est cependant probable que les laves torrentielles, ou en tout cas les plus gros blocs, s'arrêtent sur le cône de déjection.
- Le ravin de Tronchon, au Déroit, apporte vraisemblablement de très gros blocs (plusieurs tonnes) au Verdon lors de coulées de lave torrentielle. Ce type de phénomène est cependant très exceptionnel.
- Le ravin de la Pinatelle, en rive gauche en aval de Villars-Colmars, qui apporte exceptionnellement de très gros blocs, vraisemblablement lors de laves torrentielles.

Les sédiments apportés par les autres torrents au Verdon sont repris relativement facilement. Ainsi, le torrent transportant les matériaux les plus grossiers est le torrent de S^t Pierre (avec un diamètre moyen de 10.8 cm) alors que les sédiments les plus fins (diamètre moyen de 7 centimètres) proviennent du Chadoulin. On verra que l'écart est peu significatif avec les matériaux transportés par le Verdon.

3.3.3. Tri granulométrique sur le Verdon

Comme précédemment, une vingtaine de mesures de la granulométrie des matériaux transportés ont été réalisées le long du Verdon.

La figure suivante indique l'évolution du diamètre moyen le long du Verdon :

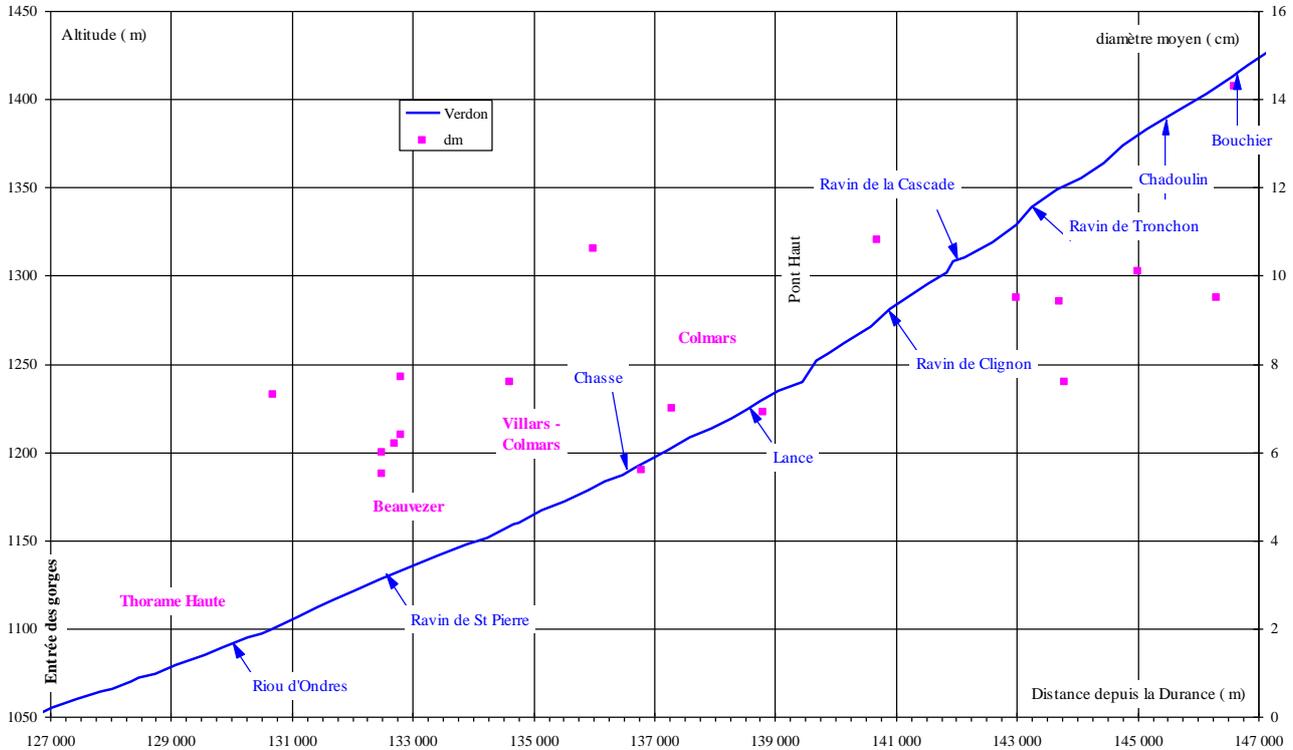


Figure 12 : Evolution du diamètre moyen représentant les matériaux transportés.

On a reporté sur cette figure les diamètres de sédiments correspondant aux crues exceptionnelles. De même que précédemment, un pavage se forme dans le lit mineur, les matériaux ayant alors un diamètre sensiblement supérieur. Cet écart est cependant plus faible que sur les torrents affluents : le Verdon transporte donc plus facilement les matériaux lors des petites crues que la plupart des torrents pour lesquels le seuil de début de transport est plus élevé.

3.4. Points de calcul

Le tableau ci-dessous regroupe les différents points de calcul retenus pour cette analyse ainsi que les principaux paramètres utiles pour la détermination des volumes transportés :

Rivière	Site	Q ₁₀₀ m ³ /s	d _m année ³ (cm)	d _m crue ⁴ (cm)	Pente représentative
Verdon	Aval Bouchier	137	11	10	2.1
	Aval Chadoulin	184	11	9.5	2.0
	Aval Lance	284	12	9	1.9
	Thorame Haute	420	9	6	1.3
	Amont Issole	521	8	6	1.0
	Pont Méouilles	645	7	6	0.86
Bouchier	Confluent Verdon	60	14	10.2	4.6
Chadoulin		74	13	8	3.8
Lance		75	16	10.2	4.2
Chasse		72	18	10	4.6
R. de S ^t Pierre		35	16	10.8	5.3
Riou d'Ondres		44	16	7.4	4.7
Issole		173	5.1	5.1	1.2

3.5. Bilan pour une crue centennale

Le calcul des volumes transportés peut être réalisé pour une crue centennale. Pour cela, il est nécessaire de connaître l'hydrogramme de crue. Ensuite, à partir des paramètres précédents, on peut déterminer les débits solides et les volumes correspondants.

³ Il s'agit des matériaux pouvant être mobilisés directement par l'écoulement, c'est à dire sans changement de lit. Ces matériaux sont situés dans le bras vif, c'est à dire dans des zones pavées. Ils sont donc relativement grossiers.

⁴ C'est le cas de la granulométrie d'ensemble des matériaux, ceux qui sont mis en mouvement lors des fortes crues, par un écoulement suffisamment vigoureux pour mettre en mouvement tous les matériaux du lit et permettre des changements de bras vifs.

La figure suivante illustre une telle démarche pour le Verdon au Pont de Méouilles :

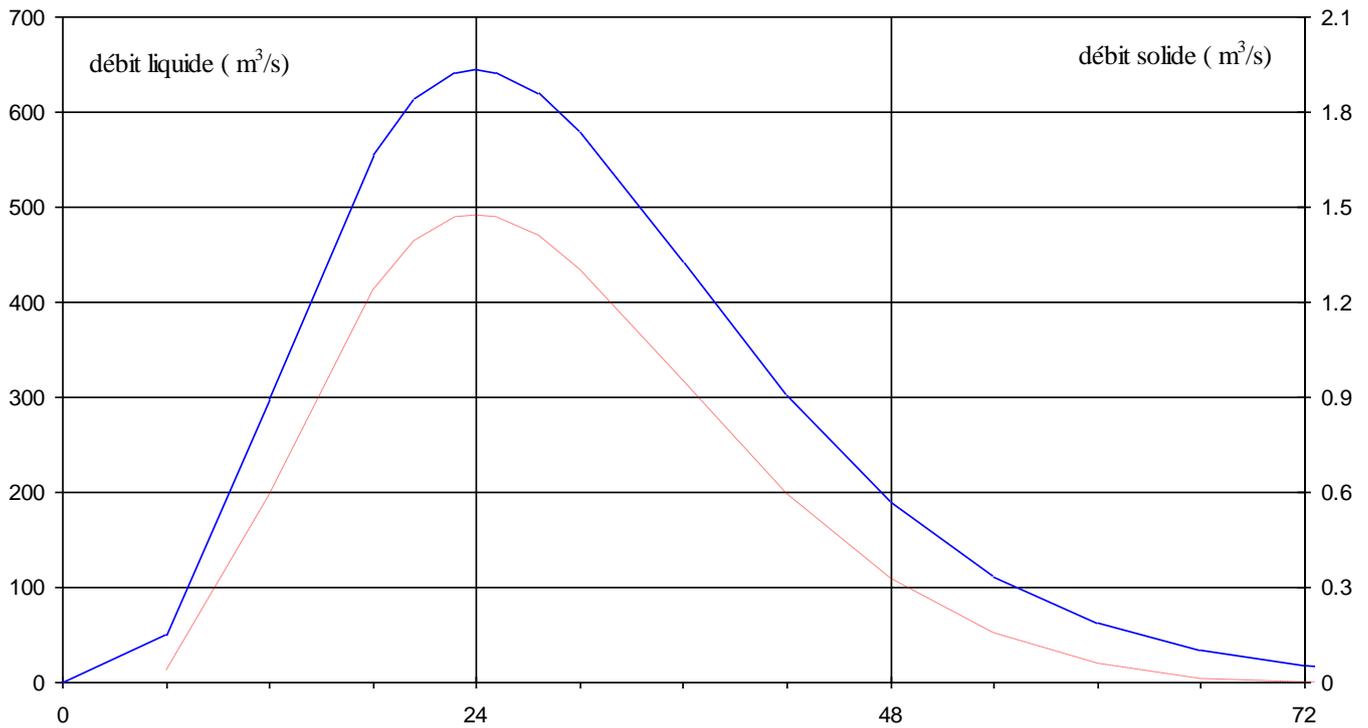


Figure 13 : Hydrogramme de crue retenu pour le Verdon au pont de Méouilles.

En procédant de même sur les autres sites, on obtient les valeurs indiquées dans le graphique suivant :

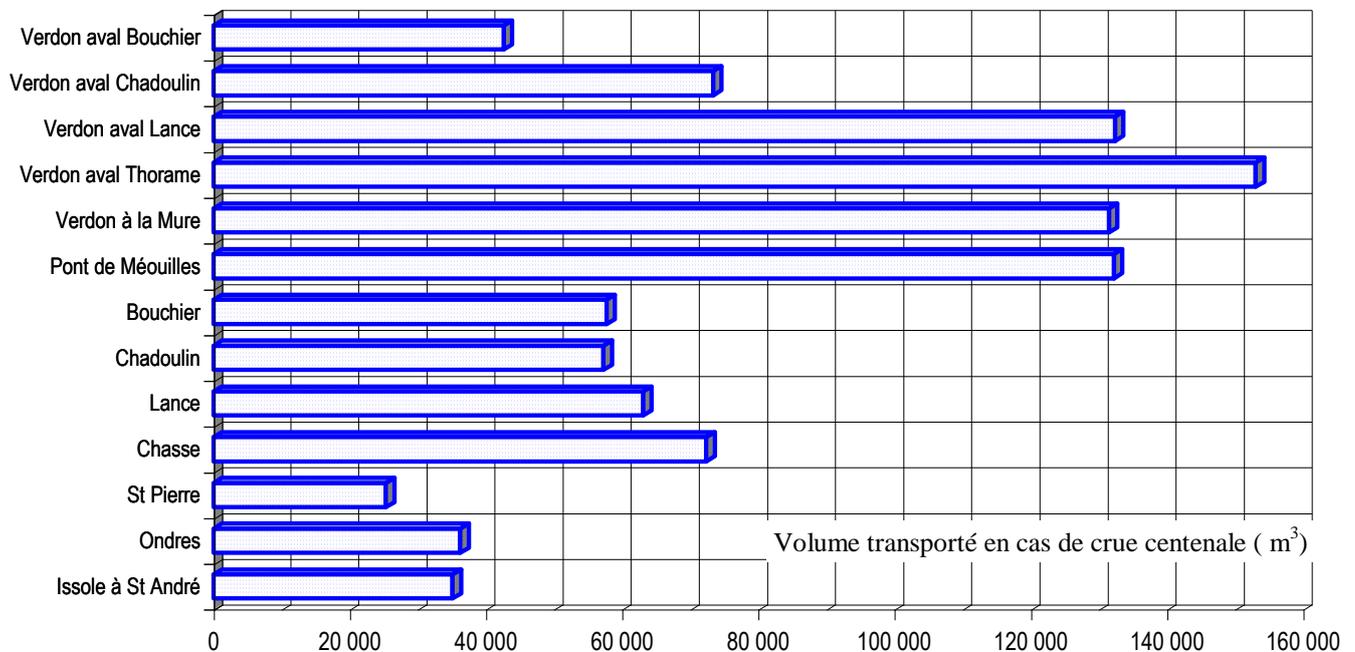


Figure 14 : Volumes transportés en cas de crue centennale.

Ce calcul conduit aux remarques suivantes :

- Les volumes solides transportés par le Verdon augmentent progressivement jusqu'à Thorame. Ils atteignent alors des valeurs très importantes (près de 150 000 m³). Cette augmentation de la capacité de transport de la rivière correspond à la traversée des hauts reliefs.
- En aval de Thorame, les apports - liquides et surtout solides - sont nettement plus restreints. Il n'y a donc pas d'évolution sensible de la capacité de transport entre Thorame et la Mure alors que le débit de pointe en centennal passe de 400 à 510 m³/s. Cela correspond au relief plus modéré traversé entre Thorame et S^t André.
- Les principaux affluents (Bouchier, Chadoulin, Lance, Chasse) ont des caractéristiques (superficie de bassin versant, pente granulométrie) très proches, ce qui se traduit par des volumes transportés peu variables d'un site à l'autre, et importants (de l'ordre de 30 000 m³).
- La contribution de l'Issole est très faible (~ 35 000 m³). Cela correspond à la faible croissance des apports du Verdon entre Thorame et La Mure : l'Issole traverse des terrains où l'érosion est relativement limitée.

Pour mieux mettre en évidence la tendance au dépôt, il est possible de faire un bilan en chaque point du Verdon en faisant la différence entre la capacité de transport en un point et les apports aux points amont (Verdon et affluents).

Par exemple, on effectue ainsi un bilan entre Thorame et l'aval de la Lance à Colmars en considérant que les apports amont sont constitués de la Chasse, du Ravin de S^t Pierre et du Riou d'Ondres.

Ce calcul est assez théorique, car il considère que le Verdon et tous ces affluents subissent une crue centennale en même temps, ce qui est très improbable étant donnée la disparité des superficies - et des expositions - des différents bassins versants (324 km² pour le Verdon à Thorame contre 13 km² pour le Ravin de S^t Pierre). Il est cependant un bon indicateur des tendances au dépôt lors des fortes crues des affluents.

La figure suivante illustre un tel calcul :

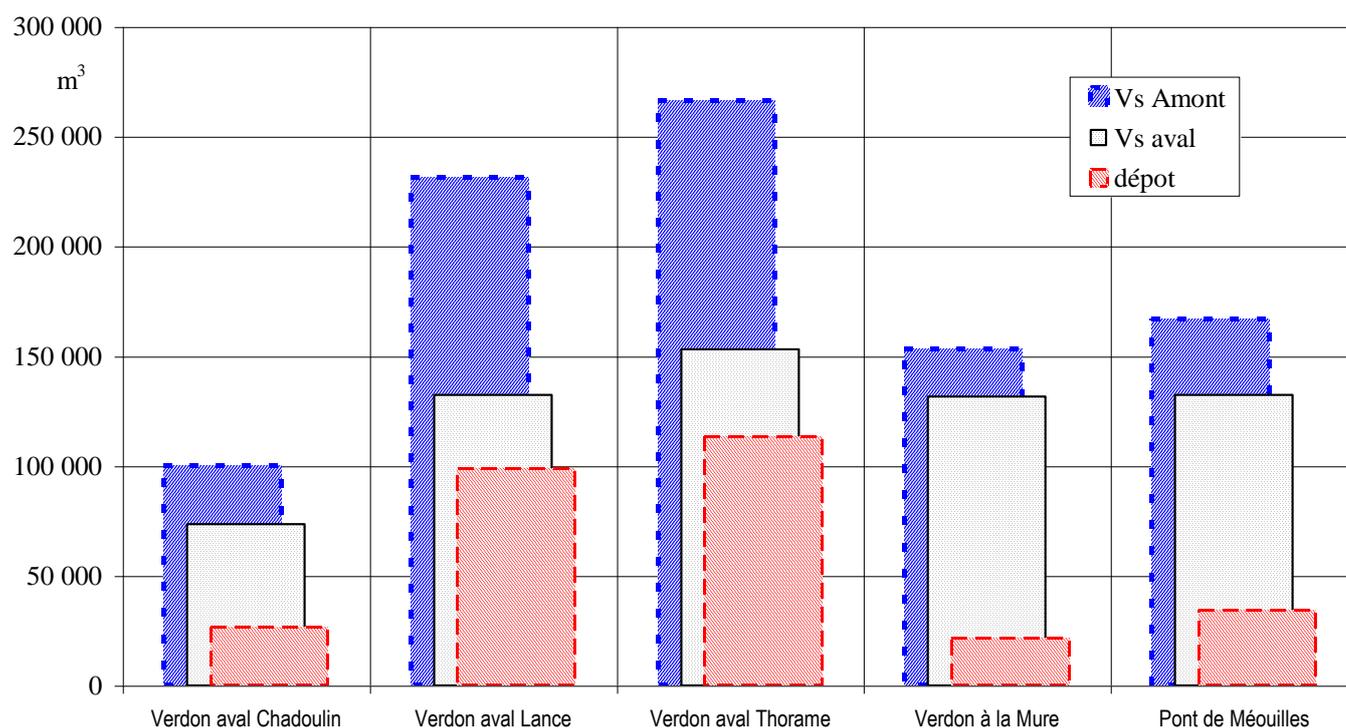


Figure 15 : Bilans de transport le long du Verdon.

Il apparaît que le Verdon peut connaître des dépôts importants essentiellement entre Colmars et Thorame. Les volumes pouvant se déposer sont alors très importants (plus de 100 000 m³).

Une autre zone de dépôt correspond au pont de Méouilles, point à partir duquel l'ensemble des matériaux provenant de l'amont se dépose en queue de retenue.

Ainsi, les zones de divagations jouant un rôle important de stockage et de régulation du transport solide le long du haut Verdon, il est indispensable de laisser à la rivière toute la place nécessaire au stockage des matériaux. La réduction de la largeur de lit doit donc impérativement être évitée dans ces zones.

D'autre part, il est possible de calculer les apports pour d'autres périodes de retour afin de mettre en évidence l'évolution du volume transporté en fonction de l'ampleur de la crue. Ce calcul a été réalisé pour les dix plus fortes crues survenant durant un siècle "moyen"⁵.

⁵ On considère qu'un siècle moyen connaît une crue centennale plus une crue cinquantennale... Il est bien évident que sur une période de 100 ans particulière, les aléas statistiques ne conduisent pas exactement à un tel enchaînement.

La figure suivante illustre, en quelques points du bassin versant, le volume transporté en une crue en fonction de la période de retour :

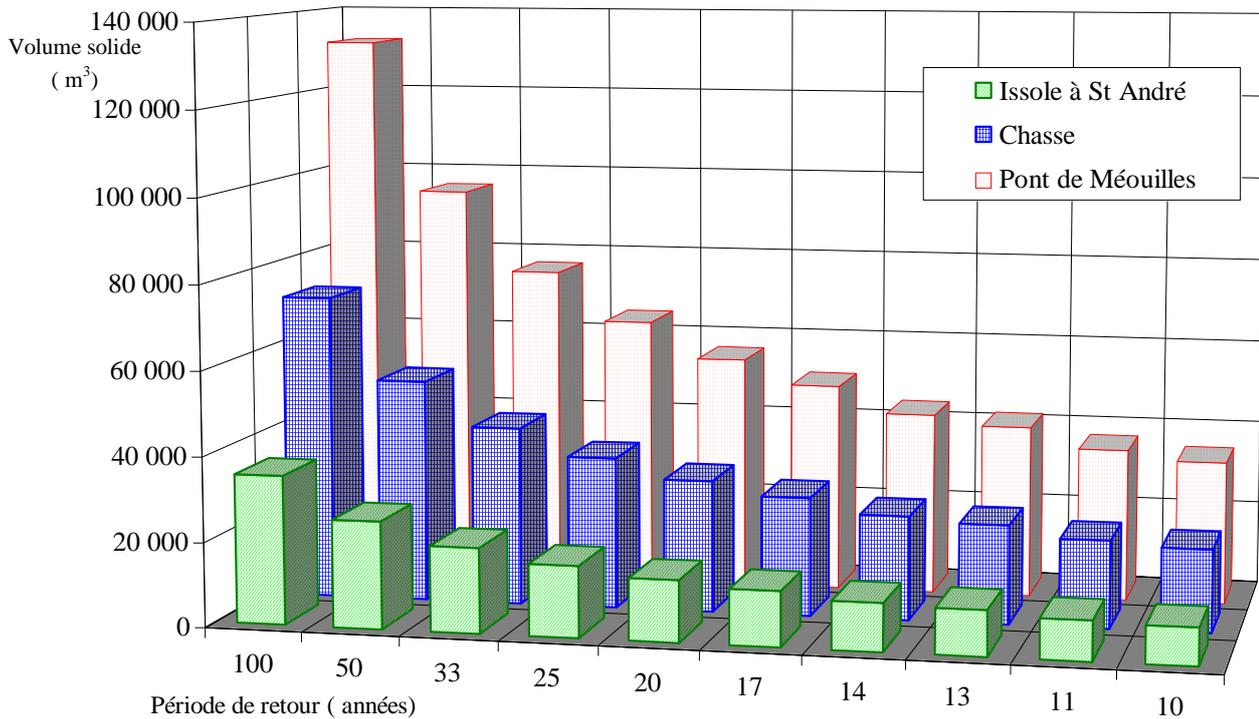


Figure 16 : Relation en volume transporté et période de retour.

Le volume apporté par les fortes crues (période de retour supérieure à 10 ans) sur un siècle est très important, puisqu'il atteint 630 000 m³ au pont de Méouilles, 350 000 m³ sur la Chasse et 165 000 m³ sur l'Issole.

3.6. Volume annuel

Il est possible d'estimer les volumes annuellement transportés par les différents cours d'eau. Il ne s'agit cependant, surtout pour les affluents, que d'un ordre de grandeur :

- Les débits journaliers ne sont connus que sur l'Issole au pont de Mourefrey et sur le Verdon au Pont de Méouilles, à Colmars et à Allos, pour des périodes différentes. L'extrapolation aux petits bassins versants du haut Verdon est donc difficile.
- On verra que la variabilité interannuelle est très importante. Une moyenne sur quelques années seulement est donc assez peu représentative.
- Les volumes annuels transportés correspondent à des débits médiocres, au contraire des estimations correspondant aux crues centennales. La connaissance du seuil de début de transport des sédiments est alors prépondérante alors qu'il s'agit d'un paramètre très mal connu.

Cette détermination n'est donc destinée qu'à fournir un ordre de grandeur des volumes et à comparer les différentes sources d'apports. Le calcul est réalisé en deux étapes :

1. Utilisation des **débits moyens journaliers** sur une période d'une dizaine d'années afin de prendre les débits importants mais non exceptionnels (fonte des neiges par exemple).
2. Prise en compte de **l'apport des crues** (périodes de retour supérieures à 10 ans) afin de compléter l'échantillon précédent dont elles sont absentes. Pour cela, on calcule, comme au paragraphe précédent, les apports correspondant à un échantillon moyen de crues durant un siècle puis la moyenne annuelle ainsi obtenue est sommée avec la précédente.

L'ensemble des débits moyens journalier a été prise en compte, en excluant les années ou les lacunes étaient trop nombreuses. Après calcul du transport solide pour chaque journée, le bilan annuel a été obtenu par sommation. Les périodes de mesures sont les suivantes :

	Période de mesure	Années exclues
Issole au pont de Mourefrey	1960 - 1996	
Verdon à Allos	1980 - 1994	1981; 1982; 1992
Verdon à Colmars	1978 - 1992	1983
Verdon au Pont de Méouilles	1984 - 1990	

Une analyse de l'effet de la superficie du bassin versant sur les débits moyens journaliers générant du transport solide a été conduite sur la période commune 1984 - 1980 entre les stations d'Allos, de Colmars et du pont de Méouilles.

Il apparaît que les débits doivent être proportionnels à la surface du bassin versant à la puissance 0.7 pour retrouver des volumes de matériaux transportés comparables.

Ce coefficient est particulièrement faible, car il prend en compte non seulement l'effet de la superficie (pour lequel un exposant de 0.9 serait plus satisfaisant) mais aussi la différence des précipitations et de la fonte nivale que l'on peut observer entre une station de haute altitude comme La Foux et le Pont de Méouilles. De plus, la comparaison des volumes transportés ne prend en compte que les débits importants, c'est à dire ceux pour lesquels le transport solide est significatif. On retrouve alors un exposant proche de celui retenu pour la détermination des débits de crue. Ces effets devant être pris en compte pour les principaux affluents du Verdon, on retiendra l'exposant 0.7 pour le calcul des débits moyens et des volumes transportés.

Le tableau suivant indique, pour chacun des points de calculs, les postes de mesures retenues afin de réduire l'extrapolation et de prendre en compte les différences de précipitations.

Rivière	Site	La Foux	Colmars	Pont de Méouilles	Issole
Verdon	Aval Bouchier		X		
	Aval Chadoulin		X		
	Aval Lance		X		
	Thorame Haute		X		
	Amont Issole			X	
	Pont de Méouilles			X	
Bouchier	Confluent Verdon	X			
Chadoulin		X			
Lance			X		
Chasse			X		
R. de St Pierre			X		
Riou d'Ondres			X		
Issole					

La figure suivante illustre, les volumes moyens annuels transportés en sommant les résultats issus de l'analyse des débits classés et les apports des crues :

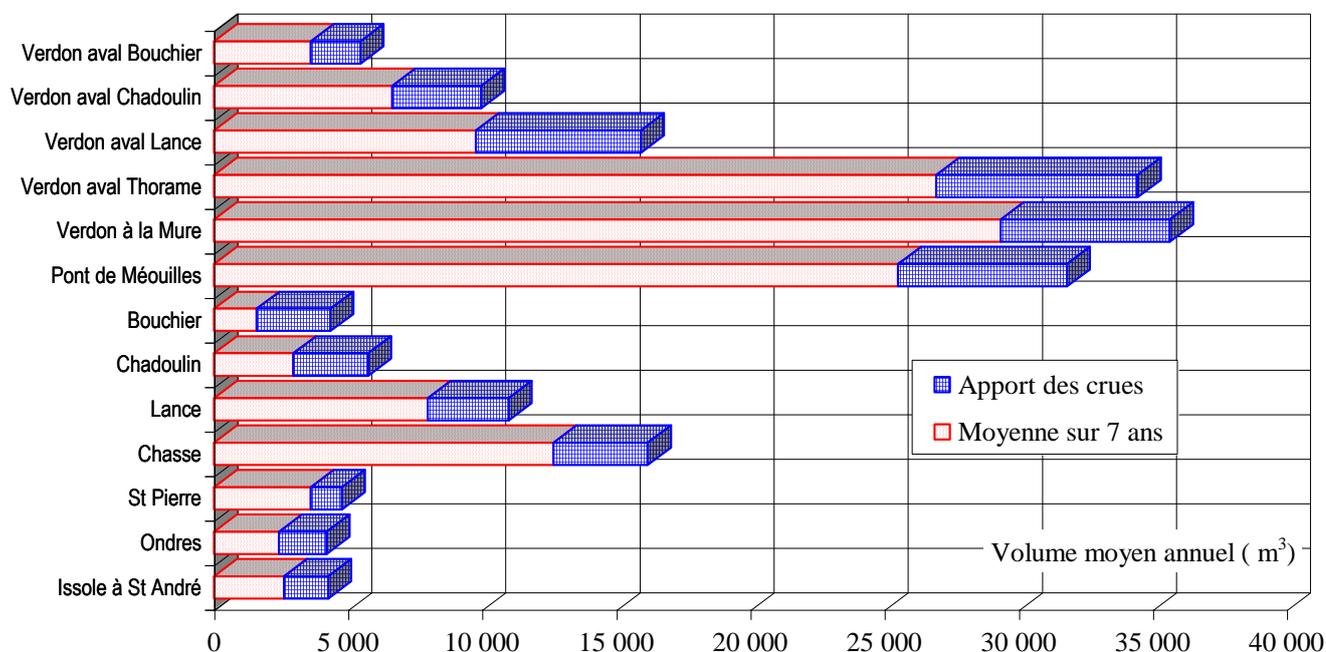


Figure 17 : Volume solide transporté chaque année.

On observe évidemment les mêmes tendances que pour le volume déplacé lors d'une crue centennale. Les volumes transportés durant toute une année moyenne sont beaucoup plus

faible que ceux transportés en quelques heures par une crue centennale : le transport solide est un phénomène relativement exceptionnel.

Cet écart est d'autant plus important que le bassin versant est petit et que le lit du torrent est raide. Ainsi, les torrents transportent rarement de grandes quantités de matériaux au contraire des rivières qui transportent facilement mais avec des débits plus faibles.

Les apports du Verdon en matériaux grossiers dans la queue de retenue du lac de Castillon sont donc de l'ordre de 35 000 m³. Ces matériaux ne pouvant en aucun cas transiter, ils se déposent en aval immédiat du pont de Méouilles, conduisant à l'engrèvement du lit, et à l'augmentation des risques de débordement.

Dans l'ensemble, les volumes transportés sont importants (près de 35 000 m³ en aval de Thorame pour une année moyenne).

La variation d'une année à l'autre est très importante (encore plus pour un petit torrent que pour le Verdon dans sa partie aval).

Le graphique suivant indique le volume transporté au Pont de Méouilles :

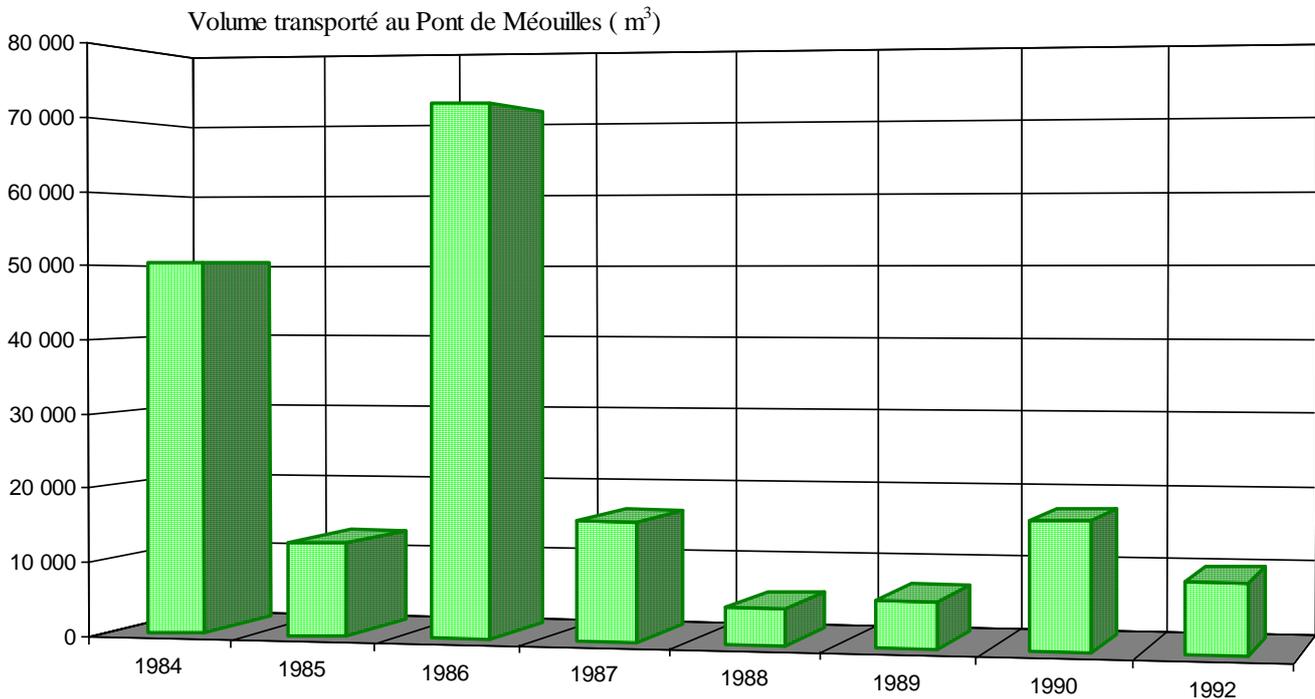


Figure 18 : Volume transporté chaque année au pont de Méouilles.

3.7. Extractions en rivière

Après la crue de 1994, l'ensemble du lit a été remanié, non seulement par le Verdon mais aussi par les engins. Il n'est plus possible d'observer les traces des extractions effectuées avant la crue.

De même, il n'est pas possible de distinguer une éventuelle extraction sauvage des travaux réalisés après crue. Il semble cependant que les extractions sauvages dans le lit du Verdon sont marginales.

Par contre, des curages répétés sont réalisés en aval du pont de Méouilles afin d'éviter l'engrèvement de la retenue par les apports du Verdon. Ainsi, une autorisation pour l'extraction de 3000 m³/an a été accordée en 1988 pour une durée de 6 ans. L'extraction devait alors être conduite à plus de 250 mètres en aval du pont de Méouilles.

Trois autres sites dans la zone d'étude font l'objet d'une autorisation de carrière et exploitent des quantités importantes de matériaux.

Le tableau ci-dessous regroupe les différentes informations relatives à ces extractions. Toutes les extractions sont réalisées dans le Verdon.

Exploitant	Commune	Volume annuel autorisé (m ³)	Volume annuel déclaré (m ³)
CEZE	Thorame Haute	15 000	7 500
MARTEL	La Mure	6 000	4 500
CEZE	La Mure	15 000	1 750
S ^t André (queue de retenue)		3 000	3 000 (?)
Total		36 000	17 000

Les volumes extraits dans le Verdon sont donc approximativement deux fois plus faibles que le transit annuel moyen mais aussi deux fois plus faibles que les autorisations accordées. Cette dernière remarque indique que le marché est vraisemblablement saturé et qu'il serait très difficile d'obtenir une extraction plus massive.

Cette relative modération explique l'absence d'enfoncement marqué dans les zones d'extraction, sauf localement.

4. ANALYSE DU MILIEU NATUREL

4.1. Synthèse bibliographique

4.1.1. Le milieu aquatique

Les cours d'eau du haut bassin du Verdon présentent d'importantes potentialités piscicoles, qui sont étroitement liées à la préservation du fonctionnement naturel des torrents sur une grande majorité de leur cours et, à la bonne qualité générale de leurs eaux⁶.

Le raccordement de la station de la Foux⁷ à la nouvelle station d'épuration d'Allos a nettement contribué à cette nouvelle situation favorable, même si certains problèmes de pollutions⁸ subsistent encore : problèmes posés par des réseaux unitaires (Allos), des rejets non raccordés (Clignon à Colmars), certaines stations d'épuration (Thorame Basse, Thorame Haute), quelques décharges importantes (Thorame-Haute, S^t André,...) et des rejets d'origine agricole (Allons).

Cours d'eau montagnards, avec des pentes importantes (> 1%) et un régime thermique maintenant des eaux froides toute l'année (T_{moy} été < 15-16 °C), ils sont typiquement situés dans la zone à truite. Ainsi, les peuplements piscicoles comprennent essentiellement des truites fario, accompagné du blageon jusqu'à Thorame et du saumon de fontaine sur quelques affluents en amont d'Allos. Ils sont plus diversifiés à partir de St-André, dans la zone de confluence avec le lac de Castillon.

La gestion halieutique actuelle consiste en des alevinages en truite fario ou arc-en-ciel, sauf sur l'Issole où le frai naturel est favorisé. Certains affluents ou adous particulièrement productifs servent de ruisseaux pépinières, comme l'Ivoire en amont d'Allons.

Les zones de frayères sont nombreuses sur le haut bassin du Verdon, en particulier sur des affluents comme l'Issole, et sur le Verdon entre Colmars et Thorame. (Voir la carte ci-après).

L'exploitation des gravières a eu des impacts négatifs importants sur le milieu aquatique, notamment en provoquant le colmatage de nombreuses frayères. Aujourd'hui, les produits de lavage sont récupérés et recyclés (la Mure) ou décantés (St-André et Thorame Haute).

Certains ruisseaux et adous (petit bras alimentés par des résurgences de la nappe) sont des milieux particulièrement propices au développement des alevins et constituent des zones refuges importantes pour le poisson : adous sur l'Issole, ravin du Defens sur l'Ivoire, adou de Jaume sur le Verdon, riu du Trou...

⁶ qualité 1B ou 2 avant les travaux d'assainissement de 94.

⁷ l'étiage hivernal assez important et les faibles températures sont à l'origine d'une très faible capacité autoépuratrice à une saison correspondant aux plus gros afflux touristiques.

⁸ com. pers. des gardes pêches et observations de rejets sur le terrain.

Ainsi, les pêches électriques de sauvetage réalisées à Allos après la crue de novembre 1994 montrent une diminution très importante du nombre de poissons sur le bras vif du Verdon (347 ind/ha⁹), alors que l'abondance est presque vingt fois supérieure dans un adou proche (6561 ind/ha).

Ce même impact est également sensible au niveau des résultats de pêches sur le Chadoulin avec seulement 275 ind/ha en septembre 1995. Ce résultat très inférieur aux valeurs antérieures, et cela un an après la crue, souligne les possibles difficultés de recolonisation de certains affluents.

Ainsi, les événements hydrologiques exceptionnels, qui modifient de manière drastique les habitats aquatiques, provoquent dans le bras vif une chute importante des populations d'invertébrés aquatiques et de poissons par dévalaison. Mais, ces populations pourront se reconstituer d'autant plus rapidement, que le nombre de refuges et de secteurs non perturbés est important et connecté avec le lit principal. Au delà de leurs fonctions essentielles pour la reproduction et le grossissement des alevins, les adous, les bras morts ou les petits affluents jouent donc un rôle essentiel pour la recolonisation des sites perturbés, notamment après les crues.

4.1.2. Les milieux naturels remarquables

4.1.2.1. Les Zones Naturelles d'Intérêt Ecologique Faunistique et Floristique (ZNIEFF)

Le nombre et l'importance des ZNIEFF mettent bien en évidence l'importance et la qualité du patrimoine naturel existant sur le haut bassin du Verdon. Environ 26 000 hectares, soit 46 % du bassin versant, sont couverts par une partie des neuf ZNIEFF recensées sur les 42 existantes pour le bassin versant entier.

Ces ZNIEFF correspondent toutes à des milieux de haute montagne remarquables. Aucune n'est liée directement aux cours d'eau, si ce n'est celle de la plaine de Thorame, qui englobe les forêts ripicoles à aulnes et saules, le long de l'Estelle et de l'Issole, mais les torrents participent de manière évidente à la qualité paysagère et écologique de ces sites (gorges de St-Pierre, cascade de la Lance,...).

Voir la carte ci-après.

Le Parc National du Mercantour est classé au niveau européen en Zone d'Intérêt Communautaire pour les Oiseaux (ZICO).

⁹ valeur approximative compte tenu des conditions de réalisation de la pêche en eaux très troubles.

4.1.2.2. Les milieux naturels faisant l'objet d'une réglementation spécifique

Sur le haut bassin, les secteurs faisant l'objet d'une réglementation spécifique ne sont pas liés aux milieux aquatiques, si ce n'est le lac d'Allos et la cascade de la Lance (sites inscrits ou classés).

Il n'existe par ailleurs aucune réserve naturelle ou arrêté de protection de biotope sur le bassin versant.

a) Le Parc National du Mercantour

Le Nord-Est du bassin versant sur les communes d'Allos et de Colmars se trouve dans la zone centrale du Parc National.

Le Parc est également classé en Zone de Protection Spéciale au titre de la Directive CEE 79/409 du 2 avril 1979 ("Directive Oiseaux"), concernant la conservation des oiseaux sauvages.

b) Le futur parc Régional du Verdon

Il englobera la commune de St-André-Les-Alpes, et donc une partie du cours de l'Issole.

c) Les sites inscrits ou classés

(Loi du 2 mai 1930 relative à la protection des sites et des monuments naturels)

- **abords du col d'Allos** (site inscrit)
- **village de Colmars** (site inscrit)
- **abords du Lac d'Allos** (site inscrit). Le lac d'Allos constitue un milieu remarquable. Situé à 2200 m d'altitude, il s'agit d'un des plus grands lacs naturels français de haute montagne avec une superficie de 52 ha et une profondeur variant entre 42 et 51 m. Alimenté par des torrents issus de névés ou de sources, il trouve son exutoire par des pertes karstiques qui alimentent la résurgence de la Serpentine (ruisseau pépinière), dans la partie amont du Chadoulin. La population piscicole est constituée d'Omble chevalier (espèce menacée), truite fario et truite arc-en-ciel.
- **cascade de la Lance à Colmars** (site classé).

e) Les sites éligibles au réseau NATURA 2000 (Directive CEE 92/43 du 21 mai 1992, "Directive Habitat")

Rappel :

Cette Directive a pour objet la conservation des habitats naturels et de la faune et la flore sauvage, au travers notamment d'un réseau écologique européen de Zones Spéciales de Conservation (Z.S.C.), appelé NATURA 2000. Chaque état membre doit proposer à la commission des communautés européennes une liste de sites pour son territoire. A partir de ces listes, la commission proposera une liste communautaire, qui pourra être arrêtée, afin d'intégrer ces sites dans le réseau NATURA 2000. Chaque état membre devra alors établir des

mesures de conservation de ces sites, soit au travers de mesures réglementaires, soit au travers de mesures de gestion contractuelles.

Actuellement, c'est la première phase de cette démarche qui est en cours avec l'établissement au niveau national des sites éligibles au réseau NATURA 2000.

Le cours du Verdon n'a pas été retenu dans cette liste.

Sur le Haut Verdon, trois sites représentant environ 60 % du bassin versant sont à l'étude :

1. **PR033** : Dormillouse-Gimette-Vallon de la Blanche de Lavercq. Ce site englobe une petite partie du bassin versant entre le col d'Allos et les Trois Evêchés. Il s'agit d'un des sites majeurs des Alpes, où la diversité géologique induit une grande diversité de sols et de végétation avec une belle gamme de types forestiers d'altitude et des marais tourbeux à sphaignes exceptionnels.
2. **PR034** : Montagne du Cheval Blanc-Montagne des Boules- Barre des Dourbes-Puy de Rent. Cette zone englobe le haut bassin de l'Issole en amont de Château Garnier. C'est un site remarquable avec une végétation typique oro-méditerranéenne.
3. **PR051** : Haut Bachelard - Cayolle - mont Pelat - Mont Saint Honorat - Grès d'Annot. Ce secteur englobe une grande partie du versant Est du bassin versant. Il présente une importante variété géologique et une grande diversité d'habitats, avec des tourbières, de vastes alpages et de très vieux peuplements forestiers. Il abrite la Vipère d'Orsini et des espèces végétales rares.

Ces sites sont présentés sur la carte ci-après.

4.2. Etat d'entretien des cours d'eau

Remarque : le terme "entretien" fait ici exclusivement référence à la gestion des boisements riverains et des embâcles. Les problèmes de gestion des sédiments sont traités par ailleurs.

4.2.1. Contexte actuel et démarche méthodologique

Les nombreux dégâts et désordres dans le lit des cours d'eau occasionnés par la crue de 1994 ont donné lieu à d'importants travaux de réparation des dommages dans les mois qui ont suivi cet événement exceptionnel.

Concernant les travaux liés à la végétation, les efforts se sont surtout concentrés sur l'élimination des embâcles lors des travaux de curage et dans la retenue de Castillon. Aujourd'hui, il reste donc relativement peu de bois morts dans la bande active des torrents (voir cependant ci-après, la situation de certains secteurs non nettoyés et particulièrement encombrés).

Créé en avril 1995, le SIVU d'Entretien des Berges du Verdon de Rougon à Allos a apporté son aide dans le nettoyage du lit (enlèvement des détritiques et du bois transportés par la crue), puis s'est intéressé depuis le printemps 1996 au traitement de la végétation riveraine, notamment avec des travaux forestiers sélectifs sur l'Issole, la Lance, le ruisseau Notre Dame et la Chasse.

L'équipe actuelle est composée d'un chef d'équipe à plein-temps et de 8 personnes à mi-temps en Contrat Emploi Solidarité Consolidé. Le financement de cette équipe s'appuie sur les aides de l'Etat, des subventions de l'ARPE (Agence Régionale Pour l'Environnement) et une participation des communes adhérentes.

Les interventions se font à la demande des communes, sur des secteurs relativement courts et dispersés sur le bassin versant. (voir par exemple ci-après les zones d'interventions du SIVU en 1996).

Entretenir les boisements riverains peut présenter de nombreux intérêts pour une collectivité, à la double condition que les secteurs à entretenir soient choisis de façon judicieuse et que les travaux soient réalisés de manière sélective, c'est-à-dire manuellement et non mécaniquement.

Les effets positifs à attendre de l'entretien des boisements sont toujours des effets locaux, au nombre desquels on peut en effet compter :

- une amélioration de l'écoulement des crues,
- une mise en valeur paysagère du site,
- une amélioration de l'état sanitaire des formations boisées.

Ce volet d'étude est donc destiné à établir un programme d'entretien à l'échelle du bassin versant.

Pour cela, il est nécessaire de :

1. établir un bilan de l'état actuel de la ripisylve et de l'état d'encombrement du lit,
2. définir un niveau d'entretien souhaitable pour chaque tronçon de cours d'eau,
3. enfin définir un programme de travaux de restauration qui permettra d'arriver rapidement à ce niveau souhaitable.

Une visite pédestre des cours d'eau a donc été réalisée en août 1996. D'une manière générale, plus le cours d'eau est étroit, plus des travaux d'entretien de la végétation auront un effet sur l'écoulement des crues. L'attention s'est donc surtout portée sur la partie amont du Verdon et ses principaux affluents, où sont concentrés les enjeux liés à l'entretien de la ripisylve, soit :

- le Verdon en amont de Colmars,
- le Bouchier,
- le Chadoulin,
- la Chasse,
- l'Ivoire,
- l'Issole.

4.2.2. Description des différents cours d'eau

La description comprend :

- une cartographie à l'échelle du 1/15 000 (cahier au format A3 en annexe), où apparaissent :
 - * l'état sanitaire de la ripisylve,
 - * les protections de berge (enrochements, digues),
 - * les remblais non stabilisés et empiétant souvent dans le lit du cours d'eau,
 - * les dépotoirs ou décharges.
- Les tronçons homogènes sont également signalés sur ces cartes. Ceux-ci ont été définis à partir des caractéristiques physiques de dimensions et de formes du cours d'eau.
- des fiches décrivant l'état des principaux descripteurs utilisés sur chacun des tronçons homogènes présentées en annexe.
- des commentaires regroupés dans le rapport (voir ci-après).

4.2.2.1. Le Verdon

Foux -Allos

Peu mis en valeur au niveau de la station de sport d'hiver, le Verdon parcourt ensuite une vallée encaissée et très naturelle, où la ripisylve est peu développée. Cette vallée est parcourue par la canalisation d'eaux usées raccordant la Foux à la nouvelle station d'épuration d'Allos et

la piste de fond construites en 1994. On peut regretter que ces aménagements aient conduit au déboisement de certaines berges ou versants et à leur fragilisation et suscitent aujourd'hui une nouvelle demande de protection (pont du Seignus notamment).

Allos

A Allos, le Verdon a été très artificialisé. Enrochements, chenalisations et endiguements ont profondément modifié la morphologie du lit. Les boisements riverains sont souvent perchés au dessus du lit ou très réduits. Les bois plus importants en aval de la confluence Chadoulin - Verdon sont déconnectés du cours d'eau par l'existence de digues très hautes.

Enfin, le cours d'eau, contraint dans un lit étroit qui vient ronger le versant en rive droite, est très mal mis en valeur au niveau paysager dans un site pourtant très touristique.

Allos- Colmars

Le Verdon retrouve un lit naturel, dans une vallée étroite, mais bouleversé par la crue, avec notamment deux zones de dépôts importants.

Beaucoup d'arbres ont été abîmés par la crue sur ce parcours. On note également une forte accumulation de bois morts (plusieurs milliers de m³) en aval de la cabane du Déroit. Ce bois, qui peut être remobilisé par les crues, pourrait favoriser des dégâts en aval (érosion du talus routier notamment).

A Clignon, le Verdon souffre d'un important apport d'eaux usées (une pêche électrique réalisée en 1995 n'a recensé aucun poisson sur ce secteur).

Colmars - Beauvezer

A Colmars, la crue de 1994 a occasionné d'importants dégâts, qui ont été réparés dans les mois qui ont suivi.

Le lit a ainsi été chenalisé et enroché sur de nombreux secteurs. La bande active est très peu végétalisée et il ne reste que quelques iscles boisées et des bois de pins sur les terrasses.

Beauvezer- retenue de Castillon

Le Verdon coule dans un vaste espace de divagation en aval de Beauvezer, puis il s'insère au fond d'une gorge rocheuse souvent très encaissée entre le pont Clot et le Pont du Brec, avant de retrouver à nouveau une grande zone de divagation après la confluence avec l'Ivoire.

La crue a arraché beaucoup d'arbres et une grande majorité de résineux (90 % du bois mort selon un rapport du garde pêche). Ce bois trouve en effet son origine dans les érosions latérales de terrasses et dans les glissements de terrain, où le pin sylvestre est majoritairement présent.

La plupart de ce bois a cependant été éliminé après la crue. L'essentiel du bois restant dans la bande active se situe en amont du pont St-Antoine et vers la gravière de Thorame.

Le seul problème posé par ce bois est son accumulation dans la retenue de Castillon, aucun risque de blocage n'étant à craindre au niveau des ouvrages existants en aval du pont d'Ondres.

On notera cependant une forte demande locale pour éliminer le bois mort dans la bande active. Celle-ci semble surtout liée à la volonté de faire disparaître les traces de la crue et de rendre le Verdon plus "attractif".

Dans ces vastes espaces de divagation possible du Verdon, les boisements peuvent parfois occasionner des dommages. Près d'ouvrages ou d'infrastructures vulnérables, ils peuvent favoriser les affouillements et les érosions.

Mais la ripisylve assure aussi une certaine protection des zones situées en arrière ou en aval, puisque les vitesses d'écoulement sont considérablement ralenties dans la forêt. De plus, le bois transporté par les crues et piégé sur les têtes des iscles ou contre les berges boisées ne rejoindra pas l'aval.

4.2.2.2. L'Issole

L'Issole, affluent le plus important du Verdon, sur son haut bassin, présente de grandes potentialités biologiques avec notamment :

- une eau de bonne qualité sur une grande majorité de son cours,
- de nombreuses frayères et ruisseaux pépinières,
- une ripisylve très développée en amont de Thorame Basse et comportant certaines espèces assez rares comme l'Epilobe de Fleischer,
- un paysage riverain de grande qualité avec des espaces boisés importants et diversifiés.

Ces caractéristiques ont été altérées sur certains tronçons, comme en aval de Château Garnier du fait des dommages consécutifs aux crues qui ont nécessité de nombreuses protections de berge en enrochements, ainsi que sur le dernier tronçon, où les espaces riverains sont beaucoup moins naturels et les phénomènes érosifs importants.

en amont de Thorame Basse

La haute vallée de l'Issole vers la Valette constitue un milieu remarquable, avec une ripisylve particulièrement développée et diversifiée (mosaïque végétale), qui occupe pratiquement tout le fond de vallée, à l'exception de quelques pâturages riverains. De nombreux adous et petits affluents constituent des milieux particulièrement propices pour la reproduction du poisson et le développement des alevins. Ce secteur d'une grande qualité par ses milieux riverains, ne fait l'objet d'aucune mesure réglementaire de protection spécifique mais est identifié dans le SDAGE.

En aval du pont de la Valette, où s'est produit un dépôt, le lit très divaguant s'est déplacé en rive gauche dans la forêt riveraine. Ce changement de tracé du lit sur plusieurs centaines de mètres a redonné au lit d'étiage un couvert végétal très dense et une grande diversité d'habitats.

La crue a abandonné beaucoup de bois morts dans la ripisylve et sur les franges ou en tête des iscles. Ce bois a été éliminé sur quelques secteurs.

Par ailleurs, un chemin de randonnée allant de Thorame à la Valette emprunte la vallée et permet de longer le lit du torrent sur quelques secteurs.

Thorame Basse

L'Issole poursuit son cours avec un lit mineur beaucoup mieux marqué et plus étroit. La ripisylve est moins large qu'en amont et de nombreux arbres ont été affouillés par la crue.

L'équipe d'entretien du SIVU du haut Verdon y a traité un secteur d'environ 700 m, situé à proximité de la route et du chemin de randonnée. On peut regretter cependant que l'aspect paysager n'ait pas été assez pris en compte pour ces travaux, qui n'ont finalement pas amélioré la perception du cours d'eau depuis la route. De plus, les rémanents abandonnés sur les talus et les berges ne mettent pas en valeur le site et sont facilement remobilisables par les crues.

Enfin, les travaux ont un peu manqué de sélectivité par trop de coupes systématiques sur le premier mètre de berge.

En effet, les branches surplombant le lit, les arbustes au contact de l'eau, le petit bois mort jouent de nombreux rôles bénéfiques pour la vie du cours d'eau. Ils assurent l'ombrage du lit, créent des caches et des abris, servent de support à l'entomofaune, etc.... Leur coupe systématique peut affaiblir la stabilité de la berge.

Château-Garnier - la Bâtie

Plus en aval, on retrouve une importante zone de divagation sur le secteur de Château-Garnier. Cette zone de divagation est contrainte de part et d'autre du pont routier par un endiguement ancien, où les boisements sont peu entretenus.

En aval du pont de la RD 2, le lit de l'Issole a été rectifié sur de nombreux secteurs en 1985. Puis après la crue de 1994, plusieurs protections du talus routier ont été mises en place.

La plupart du bois arraché par la crue a été éliminé et il ne reste que peu d'embâcles dans le lit.

Sur deux secteurs, des troncs ont été câblés contre la berge sans doute pour protéger celle-ci. Cette technique, qui n'est pas adaptée à la protection d'une berge, n'est pas sans risque. Les troncs ainsi fixés forment en effet des épis qui favorisent l'érosion des berges opposées.

Dans ce secteur, aboutit également l'Estelle, un petit affluent rive droite de l'Issole, non entretenu et particulièrement encombré par le développement végétal dans sa partie basse.

La Bâtie - pont RD 2

L'Issole parcourt une longue vallée étroite, où les zones de divagation sont beaucoup moins étendues qu'en amont (2 zones de dépôts importants au Petit Meunier et au Gaspardon). Le lit est le plus souvent étroit, dans un fond de vallée très boisé, où d'anciens épis se rencontrent fréquemment.

Les boisements riverains sont généralement bien diversifiés et équilibrés. Le bois mort est peu abondant. On note quelques embâcles importants vers le Clot Reynier, dans un secteur assez proche de la route.

Dans ce tronçon conflue l'Encure, petit affluent rive droite de l'Issole. En amont, des curages drastiques de ce cours d'eau ont été pratiqués pour limiter les débordements dans les prés ou les bâtiments agricoles. Plus en aval, une très importante décharge vient se déverser dans le lit du torrent. Enfin, longé par la route dans sa partie aval, l'Encure paraît particulièrement encombré par la végétation.

pont RD 2- Verdon

Le dernier tronçon de l'Issole est marqué par d'importants phénomènes érosifs (glissements de versants, érosions de berge), un environnement agricole puis urbain important, une ripisylve

considérablement réduite et quelques importantes forêts de pins sur des terrasses hautes érodées.

Le secteur situé en amont du pont des Sept Arcades vient récemment d'être restauré (prise d'eau du canal). Plus en amont, une décharge s'avance dans le lit. Les gravats et remblais continuent d'être déversés sur ce site et rejoignent rapidement le lit du torrent.

Avant la confluence avec le Verdon, l'Issole présente un lit très chenalisé avec une bande boisée étroite et peu entretenue. Les berges sont érodées entre le pont de la voie de chemin de fer et l'ancien pont routier.

4.2.2.3. La Chasse

Torrent très naturel jusqu'à Villars-Colmars, la Chasse suit des gorges rocheuses jusqu'au pont en amont de la Chassette.

En amont de Villars-Colmars, les berges sont érodées avec de nombreux arbres affouillés. Les boisements riverains sont denses et larges et parcourus de quelques petits affluents ou anciens canaux.

La traversée de Villars-Colmars a été récemment entretenue par l'équipe du SIVU du Haut Verdon. On peut également regretter sur ce tronçon que ces travaux n'aient pas permis de mieux percevoir le cours d'eau à partir de la route située en rive droite, puisque le talus n'y a pas été éclairci. Les rémanents ont été abandonnés sur place ainsi qu'une partie du bois ce qui n'est pas du meilleur effet dans une zone très urbanisée.

Avant de rejoindre le Verdon, la Chasse est barrée par un seuil présentant aujourd'hui une dénivelée trop importante pour être franchie par le poisson.

4.2.2.4. L'Ivoire

Amont d'Allons

Les deux affluents formant l'Issole à Allons, ravin des Combes et du Défens, constituent des ruisseaux pépinières particulièrement riches (abondance des invertébrés et très bonne qualité d'eau), mais qui s'assèchent parfois en été.

Allons

L'Ivoire est très mal mise en valeur dans la traversée d'Allons, avec de nombreux dépotoirs, une ripisylve peu entretenue, plusieurs remblais de tout venant, dont certains viennent réduire le gabarit du cours d'eau et surtout quelques rejets d'eaux usées altérant la qualité des eaux (en particulier un rejet issu d'un bâtiment d'élevage).

Le lit a été rectifié et enroché au droit des bassins d'épuration.

Le fond du cours d'eau s'est nettement exhaussé de quelques décimètres sur certains secteurs. Par ailleurs, quelques embâcles importants obstruent le cours d'eau.

Aval Allons- gorges

La ripisylve est particulièrement importante sur presque 2 kilomètres, avant de se réduire à un cordon nettement moins large à partir de la Bastide Neuve. Beaucoup d'arbres et d'arbustes ont

été très abîmés par les crues et quelques embâcles importants réduisent le gabarit du cours d'eau.

Au pont de la Forêt, le cours d'eau a apporté une grande quantité de matériaux qui ont été en partie curés ou déposés sur les berges ensevelissant un peu plus les arbres.

Le rocher calcaire est souvent apparent sur ce tronçon.

Gorges - Verdon

Le dernier tronçon de l'Ivoire qui suit des fractures rocheuses est constitué par des gorges encaissées et peu accessibles.

4.2.2.5. Le Bouchier et le Chadoulin (affluents à Allos)

Ces deux petits torrents traversent Allos avant de rejoindre le Verdon.

Le Bouchier

Les boisements riverains du Bouchier comprennent une majorité d'aulnes blancs, espèce pionnière qui témoigne de la jeunesse de la ripisylve. La crue a arraché une grande quantité d'arbres.

Le lit du torrent particulièrement étroit et encaissé est très sensible à la formation d'embâcles.

Il a été nettoyé sur un court secteur, mais beaucoup de bois issu du chantier a été abandonné sur place créant ainsi une situation dangereuse pour l'aval et peu avantageuse au niveau de l'aspect du torrent dans ce secteur.

En aval, le Bouchier longe le lotissement et la caserne des pompiers. La berge sommairement protégée (enrochements, gravats,...) en rive gauche semble particulièrement vulnérable. La berge opposée, qui ne protège aucun enjeu (petit bois), a été protégée avec des blocs de béton peu esthétiques et peu efficaces.

En aval du pont, le lit a été curé sur certains secteurs, et les matériaux déposés sur la rive vers la confluence avec le Verdon.

Le Chadoulin

En aval de la Bastide, le lit est étroit avec de nombreux glissements de terrain et érosions de berge jusqu'à un premier pont. De nombreux arbres sont affouillés sur ce secteur. Un petit secteur a été nettoyé, mais beaucoup de bois a été abandonné dans le lit du torrent.

Dans la traversée d'Allos, les berges sont souvent très artificialisées.

En aval de l'Eglise, le cône de déjection du torrent est peu entretenu et occupé en rive gauche par une parcelle agricole, sensible à l'érosion.

4.2.3. Etat actuel des boisements riverains, conséquences et risques

4.2.3.1. Constat général

Le haut bassin du Verdon bénéficie de cours d'eau de grande qualité grâce à la faible artificialisation et altération de ces milieux. Certains secteurs présentent par exemple des

milieux riverains remarquables avec une ripisylve particulièrement importante et diversifiée comme la vallée de l'Issole vers la Valette. Mais c'est l'ensemble de ces torrents de plus ou moins grandes dimensions qui concourt à la qualité générale des milieux aquatiques et à leur grande valeur paysagère et qui mérite par conséquent d'être préservé au maximum.

Certains sites ont cependant perdu ces qualités :

- **Secteur de Colmars à Beauvezer.** Les fortes crues de 1994 ont fait apparaître la vulnérabilité de certains sites urbains ou infrastructures routières et nécessité de nouvelles protections artificielles surtout dans le secteur qui a subi les plus gros dommages entre Colmars et Beauvezer. Lors de ces aménagements, la dimension écologique et paysagère des torrents ne peut souvent plus être prise en compte. En effet, l'implantation de routes ou de constructions dans la zone inondable ou dans la zone de divagation des torrents conduit à une demande accrue en protections et limite ainsi l'extension des espaces riverains naturels (ripisylve, adous,...).
- **Allos.** Le Verdon est alors rejoint par plusieurs affluents. Les cours d'eau ont été fortement contraints (rectification et endiguement du Verdon) et n'ont pas été mis en valeur dans un site pourtant très touristique (Bouchier et Chadoulin avec des berges très dégradées, Verdon déboisé).
- **Les décharges et certains rejets** continuent d'altérer les cours d'eau sur plusieurs secteurs.

Enfin, concernant l'entretien actuel des boisements, on peut dresser un bilan général de l'état des boisements riverains en distinguant cinq classes :

1. **entretenu** = secteur actuellement entretenu plus ou moins régulièrement. C'est l'équipe du SIVU du Haut Verdon qui réalise actuellement l'essentiel de l'entretien des boisements, les travaux par les riverains étant en général très ponctuels.
2. **naturel** = boisements équilibrés, bien diversifiés, ne nécessitant pas d'intervention particulière. Il peut s'agir soit de vastes espaces de divagation, où les surfaces occupées par la ripisylve sont suffisantes pour offrir une bonne diversité de peuplements, ou au contraire de vallées étroites et encaissées, où la ripisylve est peu étendue. Dans les deux cas, le rajeunissement des boisements et le maintien de la capacité d'écoulement du lit se fait naturellement grâce aux crues.
3. **vieillissant** = ripisylve vieillissante avec de nombreux sujets affouillés ou morts. Sur ces secteurs, les crues ont provoqué l'affouillement de nombreux arbres.
4. **altéré** = ripisylve très abîmée par les crues et les phénomènes érosifs. Sur ces secteurs, l'état général des boisements est mauvais avec une grande proportion d'arbres abîmés ou morts.
5. **déboisé** = secteur déboisé à la suite des crues ou de travaux (suppression des boisements riverains et du bois mort).

Les deux premières classes correspondent donc à un bon état général actuel, alors que les trois autres mettent en évidence des défauts d'entretien.

Le cumul des différents linéaires représentés par celles-ci permet d'établir un bilan général, présenté dans le tableau ci-après.

ETAT ACTUEL DES BOISEMENTS RIVERAINS

	Linéaire total	Entretenu	Naturel	Vieillissant	Altéré	Déboisé
Verdon ¹⁰	17,2 km	11%	47%	8%	15%	19%
Issole et Estelle	24,1 km	10%	67%	20%	2,5%	0,5%
Encure	6,3 km	16%	-	63 %	-	20%
Ivoire	6,3 km	29%	27%	33%	11%	0%
Chasse	3,6 km	17%	69%	14%	0%	0%
Chadoulin et Bouchier	7,1 km	22%	58%	15%	5%	0%
TOTAL	64,6 km	15%	50%	21%	7%	7%
		2/3		1/3		

Ce tableau montre que des problèmes spécifiques liés à l'entretien des boisements riverains peuvent actuellement se poser sur 1/3 du linéaire étudié soit un peu plus de 22 km.

Remarque :

L'examen des cartes postales anciennes datant du début du siècle met en évidence aujourd'hui :

- un boisement plus important des versants, sans doute lié à l'abandon des pratiques agricoles. Cette végétalisation des versants tend à diminuer les érosions et donc les apports en sédiments dans les torrents.
- un rétrécissement de la bande active, avec une végétation riveraine plus développée, où le pin sylvestre, espèce pionnière se développant très rapidement, semble plus abondant. Ce développement de la ripisylve au détriment de la largeur du lit mineur traduit peut être une plus grande fréquence de crues morphogènes au début du siècle. Cela n'exclut cependant pas aujourd'hui la possibilité d'événements exceptionnels, comme l'illustre la crue de Novembre 1994.

4.2.3.2. Conséquences et risques liés au manque d'entretien

Les effets des boisements riverains ne sont pas univoques, avec :

- des effets le plus souvent très bénéfiques sur le fonctionnement général du cours d'eau. Le boisement des versants et le développement de la ripisylve se traduisent en particulier par une meilleure protection des sols et une limitation de l'érosion. Ainsi, la ripisylve réduit l'érosion des sols boisés et stocke temporairement une partie des sédiments et du bois transportés en crue. Par ailleurs, elle est une source de nourriture importante pour la vie du

¹⁰ En amont de Colmars.

cours d'eau, constitue des caches et des abris importants pour la faune, assure une partie de l'épuration des eaux et l'ombrage du lit, etc....

- et des effets locaux, surtout avec la formation d'embâcles, qui peuvent être négatifs : affouillement du lit, érosion des berges, débordement.

L'absence d'entretien de la ripisylve peut donc se traduire par les conséquences négatives suivantes:

- un encombrement végétal du lit favorisant les débordements et les érosions

Une ripisylve plus mûre et plus importante, où la strate arborée est très développée, favorise les accrochages de flottants en crues. Elle peut donc être à l'origine d'une aggravation locale des débordements et des érosions.

Cette situation n'est bien sûr préjudiciable que si des enjeux sont situés à proximité.

Par ailleurs, la strate arbustive ou herbacée beaucoup plus souple ne présente aucun de ses inconvénients.

- une dégradation de l'état sanitaire de la ripisylve et une formation accrue d'embâcles

Sur certains secteurs, la crue très violente de 1994 a causé d'importants dégâts, arrachant sur son passage un très grand nombre d'arbres et laissant derrière elle beaucoup d'arbres en mauvais état (affouillés, ensevelis, cassés...).

Par ailleurs, les endiguements en réduisant l'espace de divagation du cours d'eau rendent l'entretien d'autant plus nécessaire, que la ripisylve sera limitée et donc plus "vulnérable". Dans un lit étroit, l'espace de régénération des boisements est en effet réduit et une crue importante peut abîmer une grande proportion d'arbres.

Remarque : Lorsque l'espace de divagation conservé en l'état naturel est au contraire important, la crue permet un rajeunissement partiel des peuplements forestiers, extrêmement favorable à la diversité biologique des milieux riverains.

Les secteurs où les boisements riverains sont en mauvais état avec beaucoup d'arbres abîmés ou affouillés constituent des sources potentielles de bois en crue.

Dans le cas du bassin du Haut Verdon, ce constat doit cependant être nuancé car il ne concerne souvent que certains secteurs bien particuliers, le plus souvent étroits (petits affluents), ou rétrécis (endiguement). Les principaux apports de bois en crue viennent en effet des glissements de versant ou des érosions de terrasses, où le pin, qui a un système racinaire très superficiel, est largement dominant.

- une perception négative du cours d'eau