

**Conseil Général du Var – Direction de l’Environnement
Service Rivières et Milieux Aquatiques**

**Crue du 15-16 juin 2010
Expertise post-crue**

Tome 3

FLORIÈYE - REAL - ARGENS

Avril 2011

Philippe LEFORT
38800 Champagnier
Tél 04.76.98.55.52
Philippe ;b.lefort @wanadoo.fr

S.A.R.L. E.T.R.M.
Vincent KOULINSKI
73700 Les Chapelles
Tél. : 04.79.40.04.78
etrm@cegetel.net

SOMMAIRE

PRESENTATION GENERALE.....	4
DEROULEMENT DE L'EXPERTISE.....	6
PLAN DU RAPPORT.....	6
DOCUMENTS CONSULTES.....	7
1. LA FLORIEYE	10
1.1. COMMUNE DE FLAYOSC	10
1.1.2. Vallon du Figueiret	10
1.1.3. Florièye (pont de la route de Lorgues).....	13
1.2. COMMUNE DE LORGUES	14
1.2.1. Secteur amont.....	14
1.2.2. Les Pailles	17
1.3. COMMUNE DE TARADEAU	20
1.3.1. Analyse du profil en long de la Florièye.....	20
1.3.2. Amont du village.....	22
1.3.3. Traversée de Taradeau	23
1.3.4. Aval de Taradeau	26
2. LE REAL AUX ARCS	29
2.1. BASSIN VERSANT AMONT.....	29
2.2. TRAVERSEE URBAINE.....	30
2.2.1. Caractéristiques du dalot.....	30
2.2.2. Comportement lors de la crue	32
2.2.3. Aménagement de la couverture	34
2.3. CHENAL AVAL	40
2.4. LIT EN AVAL DES VOIES FERREES	41

3. LA BASSE VALLEE DE L'ARGENS.....43

3.1.	INTRODUCTION	43
3.2.	DESCRIPTION DE L'ETAT ACTUEL DU LIT DE L'ARGENS.....	45
3.2.1.	Situation générale	45
3.2.2.	Equilibre longitudinal.....	45
3.2.3.	Equilibre transversal de la plaine.....	46
3.2.4.	Equilibre du lit mineur et mobilité.....	47
3.2.5.	Les extractions de sable	49
3.2.6.	Les seuils de la basse vallée.....	50
3.3.	APPROCHE QUANTITATIVE DU FONCTIONNEMENT HYDRAULIQUE ET MORPHODYNAMIQUE	55
3.3.1.	Les débits	55
3.3.2.	Variations morphologiques de l'Argens	55
3.3.3.	Analyse de la capacité du lit ordinaire.....	58
3.3.4.	Possibilité d'amélioration de la protection des terres agricoles.....	63
3.4.	ANALYSE ET DEFINITION DES ACTIONS URGENTES	65
3.4.1.	Commune du Muy	65
3.4.2.	Commune de Roquebrune jusqu'au barrage du Beal	71
3.4.3.	Communes de Roquebrune et du Puget : bief du Gué Romain	82
3.4.4.	Communes de Roquebrune et de Fréjus : l'estuaire	
3.5.	RÉFLEXION SUR LA GESTION DE L'ESPACE RIVERAIN ET LA PROTECTION DES BERGES.....	97
3.5.1.	Le critère économique	97
3.5.2.	Nécessité d'un accroissement de la capacité	98
3.5.3.	Mécanisme de la mobilité latérale	98
3.5.4.	Incidence des protections sur la capacité d'un cours d'eau	99
3.5.5.	Mode d'exécution des protections	100

Introduction

Présentation générale

L'expertise post-crue qui fait l'objet de la présente étude nous a été demandée par le département du Var et le Syndicat Intercommunal d'Aménagement de la Nartuby. Son but est de déterminer un programme de travaux hiérarchisés en fonction de l'urgence.

Le 15 juin 2010, des pluies orageuses d'une exceptionnelle intensité s'attardent sur les bassins versants des affluents de l'Argens autour de Draguignan et des Arcs : Aille, Florièye, Réal, Nartuby et plus localement Endre ; du Luc au Muy, des Maures aux reliefs calcaires de Comps à Vérignon, ce périmètre subit des pluies approchant ou dépassant 300 mm, et même 400 mm à Lorgues, Taradeau ou aux Arcs dans la seule journée du 15 juin; ces valeurs sont très supérieures au maximum de 200 mm enregistré jusqu'alors.

Maisons emportées ou dégradées, ponts détruits ou contournés, lits bouleversés, ripisylves arrachées, digues emportées, campings dévastés, inondations dépassant les niveaux des plans de prévention du risque inondation (PPRI) : l'excès des dommages témoigne à la fois de l'ampleur et de la rareté du phénomène qui a endeuillé ces vallées.

Mais cet excès conduit à s'interroger : les aménagements humains ont-ils aggravé les dommages ? Les voies de communication, l'habitat, les ouvrages hydrauliques, y compris ceux prévus pour se prémunir du risque inondation, ont-ils contribué à l'aggravation des dommages aux tiers et même aux pertes de vie humaines ?

La proposition des travaux de remise en état doit avoir pour préalable la compréhension des causes naturelles et celle des dysfonctionnements induits par l'homme. Des travaux engagés après la crue prématurément par des personnes privées, même ceux qualifiés plus ou moins sincèrement de « reconstruction à l'identique » peuvent reproduire des causes de désordres que seule une analyse globale révélera.

Il ne saurait donc être question d'ignorer les enseignements de ce désastre ; si son énormité ne permet pas d'envisager des solutions à tous les désordres constatés, elle facilitera l'analyse des dysfonctionnements liés aux actions humaines et permettra d'y remédier en proposant des travaux proportionnés à la gravité et à la fréquence du risque encouru.

Les différentes solutions de travaux seront préconisées en appréciant leur intérêt au regard des critères suivants :

Contraintes hydrauliques de non aggravation du risque.

Diminution de la vulnérabilité des usages et enjeux riverains.

Impact des travaux sur le fonctionnement des cours d'eau.

Compatibilité avec le SDAGE.

Compatibilité avec les documents de planification existants.

Déroulement de l'expertise

La reconnaissance du terrain s'est déroulée en deux étapes :

Réunion de démarrage de l'étude à Toulon le 2 septembre.

Reconnaissance du terrain et rencontre avec les élus au cours des deux premières semaines de septembre.

Achèvement des travaux de terrain durant la semaine du 13 octobre ; rencontre et échanges sur le débit maximum de la crue avec l'IFSTTAR, le Centre d'Etudes Techniques de l'Equipement (CETE) et le Laboratoire d'étude des Transferts en Hydrologie et Environnement (LTHE) dans le cadre du « retour d'expérience » organisé par le Service Central d'Hydrométéorologie et d'Appui à la Prévision des Inondations (SCHAPI).

Travaux topographiques effectués par les cabinets Claret sur la Nartuby et Opsia sur l'Argens et la Florieye entre le 15 octobre et le 15 janvier 2011.

Présentation des premiers résultats de l'expertise au cours de deux réunions les 10 et 24 novembre.

Reconnaitances complémentaires la dernière semaine de décembre.

Plan du rapport

Le tome 1 présente une analyse hydrologique de la crue de juin 2010. Il analyse successivement :

Les pluies génératrices de l'événement aux pluviomètres et pluviographes.

L'estimation de la période de retour des précipitations.

La chronologie et les faits majeurs de la propagation de la crue.

L'estimation des débits maxima instantanés de diverses origines.

L'évaluation de l'ordre de grandeur de la période de retour des crues.

Le tome 2 a décrit sur la Nartuby les dommages, analyse leurs causes et discute les solutions envisageables sur les sites étudiés.

Le tome 3 fait de même pour l'Argens et ses affluents les plus touchés par la crue, à savoir la Florièye, le Real

Sur chaque rivière, nous effectuons d'abord une analyse des problèmes rencontrés, puis nous discutons l'ordre d'urgence de chacune des solutions et les variantes envisageables.

Pour les actions de première urgence, nous proposons enfin par commune une définition des travaux et chiffrons le coût probable de l'intervention à entreprendre.

Documents consultés

- 1) 1929 - Profil en long Argens – Documentation IGN
- 2) 1934 – Profil en long Nartuby - – Doc IGN
- 3) 1949 - Profil en long Aille - – Doc IGN
- 4) 1951 – Couverture photo IGN basse vallée Argens -
- 5) Juillet 1968 – Etude de l’empiètement et des ouvrages de l’autoroute A8 sur l’Argens et ses affluents – SETRA – SOGREAH
- 6) Janvier 1970 – Etude hydrologique et hydraulique des débordements de l’Argens dans les étangs de Villepey – Port de Saint Aygulf – SOGREAH
- 7) Juin 1974 – Déviation du CD 25 – Etude Hydraulique du franchissement de la Nartuby – DDE 83 - SOGREAH
- 8) Octobre 1977 – Délimitation des zones inondables de la basse vallée de l’Argens – SOGREAH
- 9) Septembre 1983 – Aménagement de la zone industrielle de Saint Hermentaire - DDE 1983
- 10) Décembre 1991 – Protection contre les crues de la basse vallée de l’Argens : analyse coûts/avantages de mesures de protection – Département du Var - SCP
- 11) Décembre 1996 – Etude des zones inondables de la Nartuby à Draguignan – ville de Draguignan – SOGREAH
- 12) Janvier 1997 – Erosion des berges de l’Argens en aval du Gué Romain – CMESE, secteur de Fréjus – P. Lefort
- 13) Novembre 1997 – Etude des zones inondables de la Nartuby à Trans – ville de Trans – SOGREAH
- 14) Août 1998 – Aménagement de la Nartuby : ponts d’Aups et de Lorgues – ville de Draguignan - SOGREAH
- 15) Décembre 1999 – Etude hydraulique sur la basse vallée de l’Argens – DDE 83 - BCEOM
- 16) Janvier 2001 - Etude des inondations sur le bassin versant de la Nartuby et des possibilités de maîtrise du phénomène – SIVU de la Nartuby – BCEOM
- 17) Juin 2005 – PPRI Trans – note de présentation – DDE 83
- Juin 2005 – PPRI Draguignan – note de présentation – DDE 83
- 18) Décembre 2007 – Inondations du Caramy, du Riautord et de la Florièye : base documentaire de repères de crue historiques – DDE Var – Nouveaux Territoires
- 19) Avril 2010 – PPRI TARADEAU –Présentation (projet) - DDTM 83
- 20) Juin –juillet 2010- Revue de presse Var-Matin
- 21) Juillet 2010 – Expertise des berges de l’Argens suite aux inondations des 15 et 16 juin 2010 – SIACIA – Egis eau
- 22) Juillet 2010 – Commune de Taradeau – PPRI Florièye - mission post crue – DDTM - SAFEGE

- 23) Août 2010 – Fonctionnement hydrologique et inventaire des zones d'expansion de crue du bassin de l'Argens (provisoire) – Département du Var - Aquaconseil
- 24) Août 2010 – Pont de la Motte sur la Nartuby : visite d'appuis immergés – Département du Var -TECH OFFSHORE
- 25) Septembre 2010 – Etude pour la reconstruction des ouvrages hydrauliques suite à la crue de Juin 2010 – Ville des Arcs - ERG
- 26) Septembre 2010 – Recueil des laisses de la crue du 15 juin 2010 sur les communes du Muy, Roquebrune, Puget, Fréjus – DDTM 83 – Egis eau
- 27) Septembre 2010 – Recueil des laisses de la crue du 15 juin 2010 sur les communes de Draguignan, Trans , la Motte, le Muy – DDTM 83 – Egis eau
- 28) Octobre 2010 - Retour d'expérience des inondations survenues dans le département du Var les 15 et 16 juin 2010 – Mission Interministérielle - M. Rouzeau, X. Martin, J.C. Pauc
- 29) Octobre 2010 – Données Météo France – Pluies journalières maxima annuelles ; pluies horaires juin 2010 ; images radar
- 30) Novembre 2010 – Synthèse débits crue juin 2010 (provisoire) - LCPC
- 31) Novembre 2010 - Dimensions des ouvrages hydrauliques A8 – ESCOTA
- 32) Novembre 2010 – Fonds de plans et profils en travers Nartuby au Muy et Argens aval, aimablement communiqués par OPSIA
- 33) Novembre 2010 – Quantiles pluies SHYREG région Draguignan – contribution CEMAGREF AIX en Provence
- 34) Novembre 2010 – les inondations du 15 juin 2010 dans le Centre Var : réflexion sur un épisode exceptionnel – Claude MARTIN, études de Géographie Physique, n° XXXVII, 2010, p. 41-76
- 35) Novembre 2010 – Données banque HYDRO : débits et jaugeages
- 36) Novembre- janvier 2011 - Levés topographiques SIAN – Cabinet CLARET
- 37) Décembre–janvier 2011 – Levés topographiques Département du Var - OPSIA
- 38) Février 2011 – Site « Pluies extrêmes Météo France en France métropolitaine »- Division Climatologie de Météo-France

1. LA FLORIÈYE

Commune de Flayosc

1.1.1.1. Caractéristiques générales

La commune de Flayosc occupe un vaste plateau à l'Ouest de Draguignan. Elle paraît donc globalement peu concernée par les cours d'eau. La Florièye matérialise la limite de commune au Sud, mais il s'agit de gorges où le ponceau submersible de la route communale conduisant à Lorgues constitue le principal aménagement.

Par contre, la commune a été particulièrement arrosée et a subi de nombreux dégâts liés à des ruissellements. Les désordres ont été accrus par une urbanisation tentaculaire et particulièrement peu dense qui maximise la vulnérabilité.

Le Figueiret correspond, à l'Est, à la limite de commune avec Draguignan. Il draine un bassin versant de plusieurs km². Cette surface est assez réduite pour générer des débits ordinaires très faibles... mais des débits de crue qui ont été remarquables ici, sans rapport avec le lit antérieur et les aménagements hydrauliques.

Deux points paraissent particulièrement critiques pour la commune et sont évoqués ci-dessous, des aménagements plus lourds étant nécessaires - et déjà engagés - comme pour le franchissement du Vallon du Figueiret par la RD 557. Dans ce cas, le pont est clairement insuffisant. Il est - au moins - nécessaire de refaire un entonnement progressif mais seule la reconstruction d'un pont permettrait une résolution totale du problème. Quel que soit l'aménagement retenu, les remblais le long du lit mineur - comme on l'observe en amont - doivent être enlevés.

Vallon du Figueiret

1.1.1.2. Pont du Flayosquet

Au lieu dit le Flayosquet, le Vallon du Figueiret est franchi par un pont. En aval, il traverse une propriété et passe entre une habitation en rive droite et un cabanon en rive gauche, comme le montre la photo page suivante.

Le lit est étroit et la crue a causé des dégâts importants, affouillant partiellement le cabanon. Le propriétaire a remblayé le lit et accru la concavité. La capacité d'écoulement dans cette zone est donc fortement réduite et la prochaine forte crue générera des dégâts encore supérieurs, sur cette propriété mais aussi en amont en réduisant la capacité du pont.

Ce remblaiement correspond à une négation du vallon et de ses écoulements alors qu'une acceptation du cours d'eau permettrait une intégration à la propriété et une mise en valeur réciproque. Il s'agit d'une illustration récurrente des travaux post crue qui consistent souvent à minimiser la largeur du lit... majorant ainsi les dégâts lors des prochaines crues.

Il est impératif dans cette zone de ménager une capacité suffisante au lit du Vallon du Figueiret en restaurant un chenal plus rectiligne afin d'éviter lors de la prochaine crue des divagations plus importantes encore.



Photo 1 : Rétrécissement exagéré du Vallon du Figueiret au Flayosquet.

Deux solutions sont envisageables pour restaurer une capacité hydraulique indispensable et réduire les dégâts lors des prochaines crues :

- Reculer la rive droite de façon à obtenir un lit d'une dizaine de mètres de largeur. Dans ce cas, une protection en enrochements sera mise en place au droit du cabanon pour prévenir son affouillement. Cet aménagement peut passer par des terrasses engazonnées et submersibles lors des crues.
- Accepter un déplacement du lit en rive gauche, ce qui implique la destruction du cabanon. Cette solution paraît plus lourde et impose la maîtrise foncière de la rive gauche.

Il s'agit d'une intervention de première urgence.

1.1.1.3. Pont St Jean

Le pont St Jean est un vieil ouvrage qui permet le franchissement du Vallon du Figueiret par un chemin, 1.4 km en aval du pont de la RD 557. Il a été totalement obstrué par les flottants lors de la crue extrême de juin 2010. Cette obstruction a conduit à des débordements localisés mais aussi à un dépôt de matériaux en amont, comme le montre la photo suivante :



Photo 2 : Pont St Jean obstrué et dépôt en amont.

Les enjeux liés à cette obstruction sont très limités, mais le site présente un caractère patrimonial évident avec une chapelle et un ancien moulin à proximité.

Étant donné le caractère très exceptionnel de cette crue, aucune intervention d'ampleur n'est nécessaire. Ainsi, les travaux consisteront seulement à une remise en état :

- Enlèvement des embâcles du pont et des dépôts en amont.
- Réfection des éventuels dégâts sur l'ouvrage. Il s'agit seulement d'un confortement de l'ouvrage dans le cadre d'un entretien régulier.

Il s'agit d'une intervention de seconde urgence.

Florièye (pont de la route de Lorgues)

La route qui relie directement Lorgues et Flayosc franchit la Florièye à la limite de commune par un petit pont submersible, à proximité du château de Florièye. Ce petit ouvrage a plutôt bien résisté à la crue, mais les accès à l'ouvrage ont été affouillés, comme le montre la photo suivante :



Photo 3 : Pont submersible sur la Florièye entre Lorgues et Flayosc.

Deux solutions peuvent être envisagées :

1. Restaurer le ponceau actuel. Cette solution paraît économique et peut être mise en œuvre rapidement. Elle paraît bien adaptée à cette route secondaire. Pour sécuriser ce point critique, une signalisation automatique, basée sur une détection de niveau, peut être envisagée. La route serait coupée à proximité du pont en rive droite mais, côté Flayosc, il paraît préférable d'implanter la signalisation à la sortie de Sauve-Clare, pour sécuriser aussi le gué de Sauve-Clare sur le Vallon de Rimalte.
2. Construire un nouveau pont insubmersible un peu en aval, le tracé actuel étant peu favorable, notamment en rive gauche. Il s'agit de travaux très importants qui apportent un excellent niveau de service, peu proportionné à l'usage de cette route. Cette solution passerait vraisemblablement par le rétablissement préliminaire de l'ouvrage actuel pour assurer la circulation en attendant la réalisation du pont définitif.

Ainsi, il apparaît dans tous les cas qu'un rétablissement du pont actuel est nécessaire. Il sera alors nécessaire de reprendre les volumes importants de matériaux qui ont été déposés dans le lit le long de la route en rive gauche.

Il s'agit d'une intervention de première urgence.

Commune de Lorgues

Secteur amont

En amont de Lorgues, la Florièye s'écoule dans les gorges rocheuses généralement loin des aménagements. Les dégâts ont donc été très limités alors que la crue a été forte est s'est chargée en matériaux par l'érosion de ses deux berges. Les évolutions morphologiques dans ce tronçon relativement raide sont de premier ordre.

Cependant, il n'apparaît pas de grande zone d'érosion et les nombreux affleurements rocheux ont permis la stabilisation du profil en long. Il s'agit plus d'un prélèvement linéaire sur les berges accompagné de l'arrachage puis du transport des arbres de la ripisylve.

Le dalot du remblai du train des Pignes - largement dimensionné - montre que les matériaux sédimentés sous l'ouvrage ont été repris, la tendance étant plutôt à l'affouillement :



Photo 4 : Érosion dans le Dalot du train des Pignes.

La route qui relie directement Lorgues et Flayosc franchit la Florièye à la limite de commune par un petit pont submersible. Cet ouvrage a déjà été évoqué au paragraphe 1.1.1.3.

Au niveau du franchissement de la Floriève par le gazoduc ("Pont Romain" en amont de St Barthélémy), celui-ci semble avoir été fortement dégradé suite à l'affouillement du lit. Cette évolution est classique au droit d'un rétrécissement (comme le pont amont) dans un lit affouillable comme c'est localement le cas.

Lorsque la continuité du transport solide est assurée, la ligne de charge¹ reste à pente constante. La figure suivante montre l'évolution des fonds dans un tel cas :

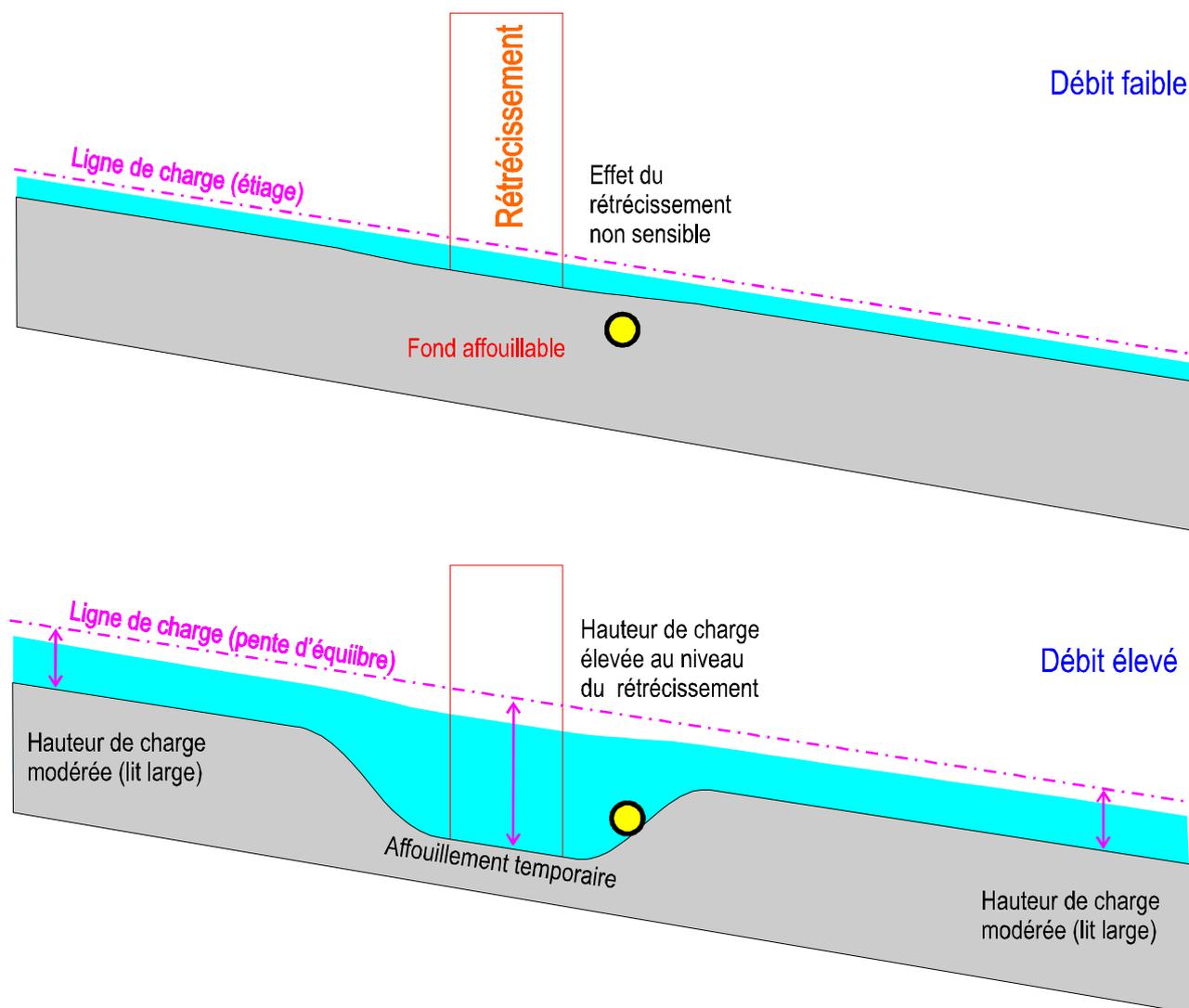


Figure 1 : Affouillement temporaire au droit d'un rétrécissement avec lit affouillable.

Ce type d'évolution n'est sensible qu'au plus fort de la crue, le lit se remblayant progressivement lorsque le débit liquide diminue. Dans un tel cas, il convient d'abaisser le niveau de la conduite et/ou de l'éloigner du rétrécissement et du surcreusement qu'il peut causer.

¹ La charge est définie comme le niveau d'eau majoré du terme $V^2/2g$. Elle est représentative de l'énergie de l'écoulement et correspond, par exemple, à la remontée du niveau à l'amont d'une pile de pont.

Le secteur de St Barthélémy a connu une évolution remarquable avec la quasi-coupure d'un méandre durant la crue. Les champs et les plantations ont été ravagés alors que la route d'accès aux habitations a été dégradée.

La photo suivante, aimablement transmise par le Conseil Général, montre ce tronçon :



Photo 5 : Coupure de méandre au droit de St Barthélémy.

Dans ce secteur, les habitations, protégées par un éperon en amont, n'ont pas été touchées. La restauration des cultures dans l'intérieur du méandre est possible même si elles restent vulnérables en cas de nouvelle crue exceptionnelle. Dans l'état actuel, ces terrains ne sont pas plus exposés qu'avant la crue de juin 2010.

Les Pailles

Le même type d'évolution peut être observé aux Pailles où la Florièye a érodé les terrains facilement mobilisables. Dans le village, au droit du gué, les érosions ont été contenues par les affleurements rocheux. En aval, le recul des affleurements a conduit à une érosion de grande ampleur dans le fond de vallée.

La photo suivante - prise par le Conseil Général - montre l'ensemble de cette zone et les érosions plutôt localisées dans les intrados où les terrains sont plus facilement mobilisables :



Photo 6 : Érosion dans le secteur des Pailles.

Le lit est étroit dans cette zone, ce qui explique des débordements importants, la plupart des dégâts étant liés à des érosions de berge.

Pourtant, bien que la pression foncière soit modérée dans cette zone, les riverains se sont empressés de remblayer le lit... préparant les débordements lors de la prochaine crue. Ce comportement illustre la forte pression des riverains sur le lit de la rivière, toujours dans le sens d'un rétrécissement et d'une réduction de la capacité d'écoulement.

La photo suivante montre le remblai du lit mineur. Il semblerait qu'une fosse sceptique soit implantée entre la maison et la Florièye, mais elle ne justifie par un remblai d'une telle ampleur dans une zone particulièrement étroite.



Photo 7 : Remblaiement du lit de la Florièye dès la fin de la crue.

Un **passage à gué** permettait le franchissement de la Florièye par une route départementale. Le radier est encore clairement visible. Il était associé à une passerelle piétonne qui a été emportée (voir photo page suivante).

Cet ouvrage ne semble pas avoir causé de dysfonctionnement important lors de la crue et le calage du radier - aujourd'hui à peine affleurant - est satisfaisant. Ainsi, cet ouvrage pourra être rétabli en se basant sur les préconisations suivantes :

- Le radier sera conservé. Le curage du lit en aval, sur une faible épaisseur permettrait de réduire les risques d'engravement et de diminuer l'entretien dans les prochaines années, le transport solide de la Florièye étant temporaire majoré suite à la crue extrême de juin 2010. Il doit être précisé à partir d'un levé topographique du profil en long de la Florièye dans la zone des Pailles.
- Les accès seront restaurés, principalement en rive droite. Il est préférable de reculer la route pour rétablir sa largeur que de regagner du terrain sur la rivière. Cette recommandation est particulièrement importante ici à cause des habitations riveraines en amont immédiat.
- La reconstruction de la passerelle piétonne est plus délicate. Il faut construire un ouvrage léger pouvant être emporté en cas de nouvelle crue sans faire obstacle à l'écoulement afin de ne pas

accroître les risques sur les habitations en amont. Étant donnée la très faible charge, un ouvrage d'une seule portée avec des culées nettement en retrait du lit est vivement conseillé. Les culées seront soigneusement fondées.

Il ne partait pas hors de portée de réaliser un ouvrage calé au dessus de la crue centennale mais ce point doit être vérifié. Dans la mesure où les conséquences d'une mise en charge, et de la destruction de la passerelle, sont limitées, il est possible de se contenter d'un dimensionnement pour une crue d'une période de retour comprise entre 10 et 100 ans. Notons qu'un ouvrage légèrement vouté peut permettre de réduire le coût (notamment pour une structure en bois), de faciliter les raccordements au terrain naturel et de maximiser le tirant d'air au centre du lit.

Il s'agit d'une intervention de première urgence.



Photo 7b : Passage à gué des Pailles.

En aval des Pailles, la Florièye traverse de nouveau des gorges rocheuses où les phénomènes ont été d'une grande ampleur. Le lit a été totalement décapé. Sur des linéaires importants, le lit s'est remblayé en fin de crue, après des surcreusements qui ont pu être remarquablement profonds.

Des dépôts de matériaux grossiers, perchés à plusieurs mètres au dessus du fond, illustrent la violence des phénomènes. De grandes quantités d'arbres ont évidemment été arrachées durant la crue.

Commune de Taradeau

Analyse du profil en long de la Florière

L'analyse du profil en long est un élément essentiel pour comprendre l'évolution du transport solide et de la capacité de transport. De ces évolutions découlent des dépôts ou des érosions. Trois levés topographiques ont pu être retrouvés :

- Un levé réalisé pour IPSEAU en 1999. Seuls deux profils transversaux nous ont été communiqués.
- Un levé réalisé par OPSIA en 2008 en vue de l'étude du PPR. Il comprend 25 profils transversaux. Le niveau le plus bas du profil a été retenu.
- Deux profils transversaux seulement réalisés en 2010, après la crue par HYDROTOPO.

La figure suivante regroupe l'ensemble des données disponibles et indique les numéros de quelques profils (et notamment les profils 4 & 14, levés à nouveau après la crue) :

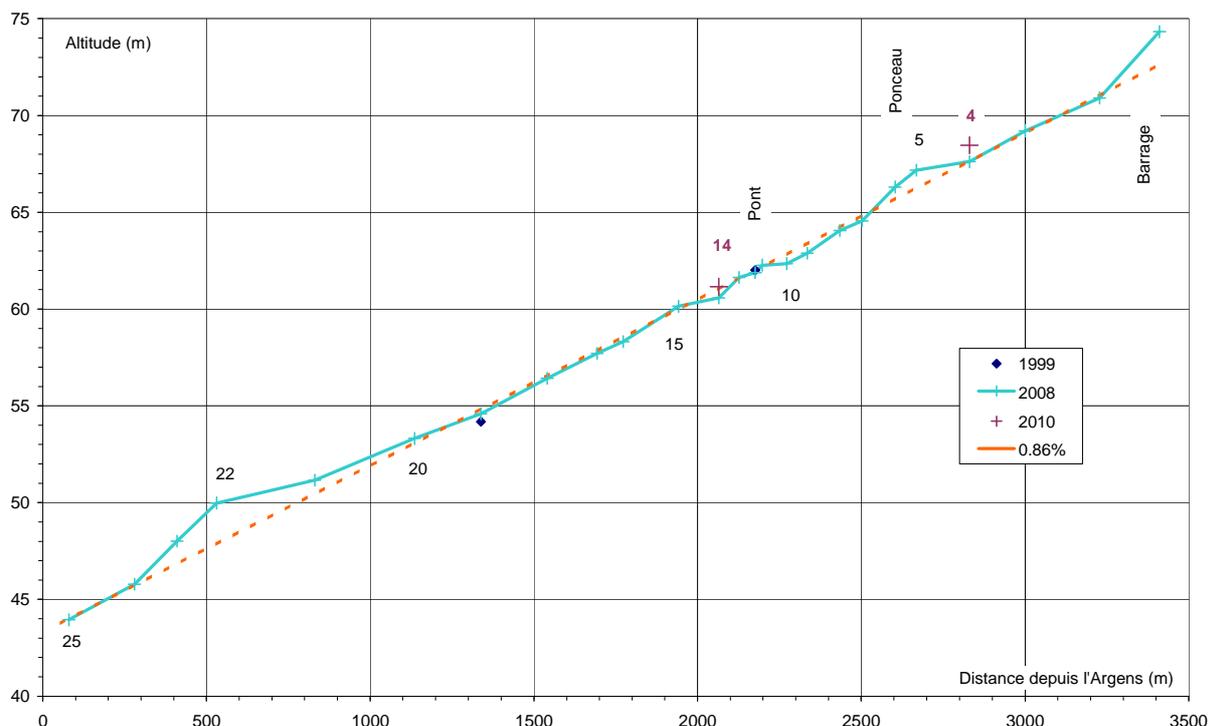


Figure 2 : Profils en long de la Florière.

Ce profil en long montre une pente remarquablement constante de 0.86 % sur l'ensemble du linéaire entre la sortie des gorges et la confluence avec l'Argens. Plusieurs points particuliers apparaissent :

- En amont, un barrage de prise d'eau explique une pente nettement plus importante, mais non significative.
- Le ponceau amont correspondant à une remontée des niveaux. Ce point a connu des évolutions considérables lors de la crue, avec vraisemblablement un abaissement au droit de l'ancien

ouvrage et un dépôt en amont. Ce dépôt en amont des petits ouvrages est expliqué au paragraphe suivant. Il est attesté par le profil 4 un peu en amont qui témoigne d'un engravement de plus de 80 centimètres.

- Le pont principal de Taradeau - qui a été contourné - ne générerait pas de discontinuité significative des pentes, ce qui n'est pas surprenant pour un ouvrage aussi imposant. Les photos prises juste après la crue suggèrent un engravement lors de la crue de 2010, mais il est très difficile d'être affirmatif ; il peut s'expliquer par l'élargissement du lit après l'ouverture de la brèche en rive droite.
- En aval du pont, le levé du profil 14 montre aussi un engravement de plus de 50 centimètres. Le lit s'est beaucoup déplacé avec un raccourcissement général du linéaire, qui aurait dû conduire, plutôt, à un abaissement du lit en amont et notamment au droit du pont. Il est difficile d'être affirmatif, mais la tendance semble plutôt à l'engravement.
- La Florièye présente ensuite une pente remarquablement constante. Par contre, dans la zone très boisée en aval du camping, le lit présente une forte irrégularité du profil en long. Il est probable que cette situation découle de la formation antérieure d'embâcles, ou de bras morts, avec de fortes irrégularités de la pente. La crue de 2010 a profondément remanié ce tronçon qui semble avoir aujourd'hui une pente très régulière.

Il se dégage donc de l'analyse de ce profil en long une pente régulière, les principales singularités ayant été lissées par la très forte crue de la Florièye.

Par contre, il semblerait que cette crue se soit accompagnée d'un engravement globalement modéré. Ce point devra faire l'objet de mesures topographiques et un curage sera réalisé si l'engravement est avéré. Dans ce cas, les causes de cet engravement seront recherchées (contractions de l'écoulement en aval du village par exemple) et combattues dans la mesure du possible afin d'obtenir une continuité du transport solide.

Amont du village

Les principaux aménagements dans les gorges amont sont les captages et les conduites d'eau. Ils ont été en grande partie détruits durant la crue. Leur réfection paraît nécessaire. Dans la mesure du possible, les protections seront les plus éloignées possible du lit en essayant de les élever 4 à 5 m au dessus du fond, ce qui ne les met pas forcément hors d'eau pour les crues extrêmes mais réduit considérablement les contraintes hydrauliques et les risques d'impact par les blocs transportés.

Le barrage à la sortie des gorges a été dégradé et partiellement contourné. Il ne devra être restauré que s'il est indispensable pour l'alimentation des canaux.

Dans la partie amont du village, les niveaux atteints ont été très élevés et très dommageables pour les habitations. Un passage à gué a rapidement été reconstruit après la crue pour desservir la propriété rive droite et un autre pour permettre le rétablissement de l'ancien pont submersible.

Ces passages à gué conduisent, lors des crues, à une remontée des niveaux, évidemment dommageable pour les riverains situés en amont. Cette dégradation est d'autant plus marquée que la tendance est de réaliser le passage à gué le plus haut possible pour réduire les risques de submersion lors des petites crues. Lors des crues, le niveau d'eau en amont est surélevé d'autant.

La figure suivante illustre un tel fonctionnement :

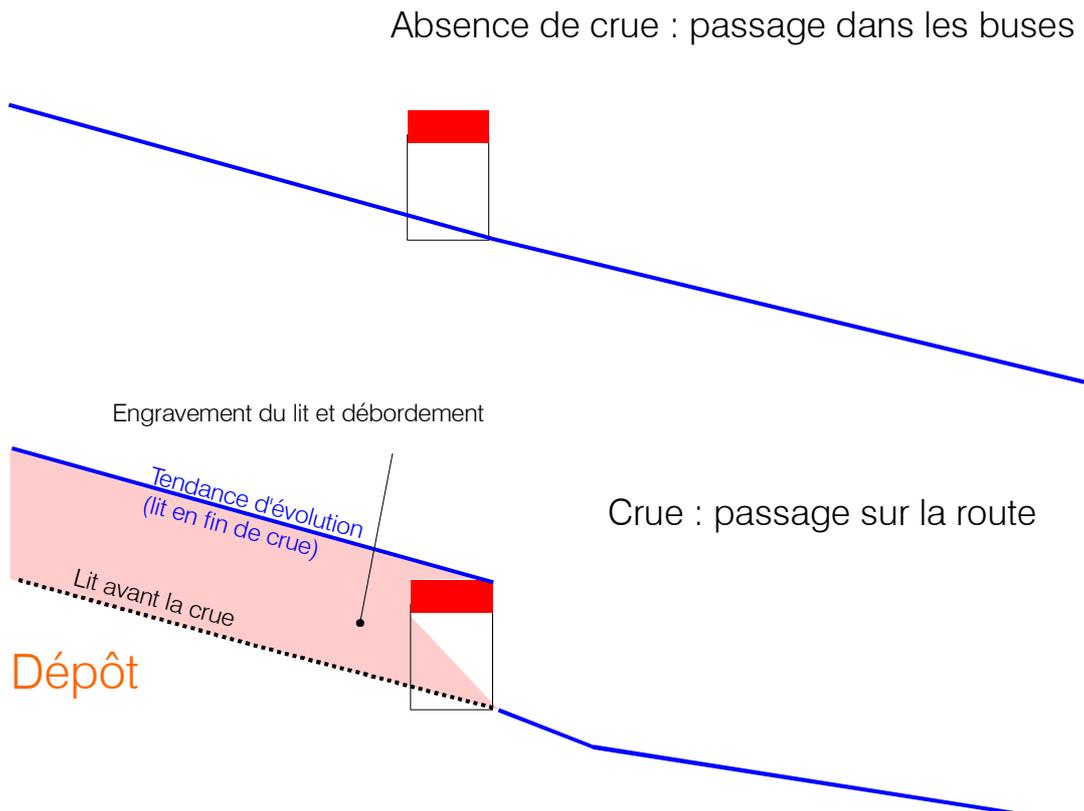


Figure 3 : Dépôt en amont d'un dalot lors des crues.

L'effet de ces ouvrages devra donc être analysé en tenant compte de l'engrèvement en amont et ils devront - peut être - être modifiés pour éviter une surélévation dans la partie amont du village, les habitations riveraines ayant subi des dégâts très importants en juin 2010.

Traversée de Taradeau

Le pont central constitue l'élément prépondérant pour la traversée de Taradeau. En effet, un levé des laisses de crue a été réalisé par SAFEGE² et une modélisation hydraulique a été réalisée. Ce travail montre clairement le rôle du pont dans le niveau maximum atteint mais aussi - dans une moindre mesure - le rôle du pont submersible amont :

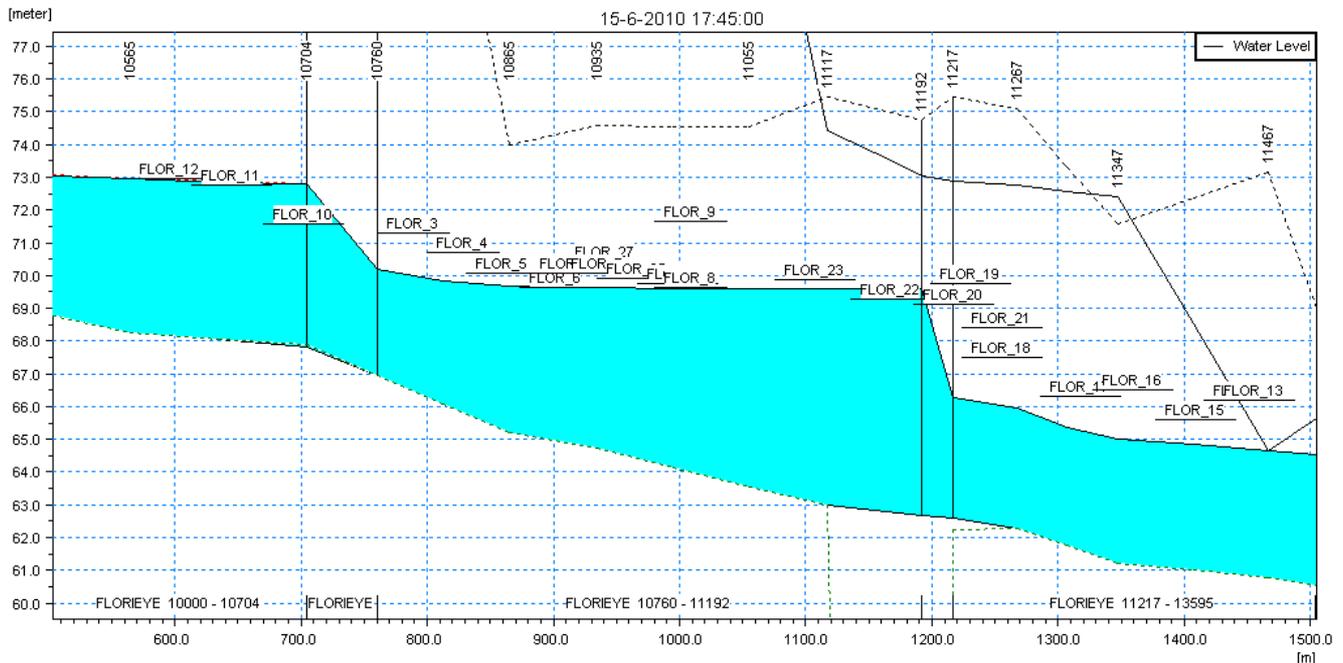


Figure 4 : Mesure des plus hautes eaux et résultat d'un calcul hydraulique à Taradeau.

Le rôle du pont est prépondérant car il correspond à une perte de charge de plus 2.5 mètres avant rupture. Cette valeur correspond au niveau maximum de la crue avant rupture du remblai et non pas à un fonctionnement permanent. Ce remous, causé par le pont, a été particulièrement dommageable pour les habitations en amont.

Malgré le nombre élevé d'ouvertures sous cet ouvrage, il apparaît que l'obstruction par les flottants n'a pas été prépondérante. C'est avant tout la section trop réduite - par rapport à ce débit extrême - qui est la cause du remous formé par le pont puis de la rupture du remblai rive droite.

Il est probable que cette rupture ait causé un phénomène de "vague" en aval. En effet, la surélévation des niveaux aurait permis le stockage d'un volume de l'ordre de 50 000 m³, dont la libération rapide peut avoir un effet très temporaire sur les niveaux aval.

La crue de juin 2010 a conduit aussi à une rectification du méandre en aval du pont. On trouvera page suivante des photos avant (issue du Géoportail) et après (vol du Conseil Général) la crue.

² DDTM du Var - Réalisation des études nécessaires à l'élaboration du PPRi du bassin de la Florièye - Commune de Taradeau - Mission post-crue 15 juin 2010.



Photos 8 & 9 : Lit avant et après la crue à l'aval du pont.

Les évolutions du tracé sont considérables et ont conduit à la destruction de plusieurs habitations. Le tracé actuel paraît préférable car il paraît stable et le raccourcissement du lit peut permettre un abaissement des niveaux dans la zone urbaine. Il doit donc être globalement conservé.

En aval, le lit est taillé dans des affleurements compacts dont l'érosion est possible à long terme mais paraît lente, surtout à l'échelle d'une crue. Une habitation riveraine en rive droite est située en extradors, ce qui la rend vulnérable et impose l'étude d'une protection de berge.

En urgence, le Conseil Général a mis en place un pont métallique à la place de la brèche formée pendant la crue, le pont initial restant fonctionnel. La reconstruction d'un nouveau pont est programmée. Un ouvrage avec une portée unique paraît nettement préférable :

- Une portée unique - surtout lorsqu'elle présente une section importante - est nettement moins sensible au risque d'obstruction par les flottants, les risques de blocage sur la pile centrale étant supprimés. Le pont actuel paraît très favorable à l'obstruction par les flottants. L'absence d'obstruction lors de cette crue ne signifie pas qu'il en sera de même lors de la prochaine crue puisqu'une grande partie de son volume est passée à côté.
- Un lit large, franchi par deux ouvrages, est grandement illusoire. En effet, le bras qui n'est pas ordinairement en eau va se végétaliser rapidement et se refermer. Son fonctionnement n'est pas garanti lors de la prochaine forte crue.
- Le partage des débits sous plusieurs ponts, lorsque le transport solide est significatif, est rarement optimal et l'on risque une concentration des écoulements sous un seul ouvrage.

Ainsi, les observations réalisées lors de cette crue conduisent à préconiser un nouveau pont d'une portée unique de 40 à 50 mètres.

Un réaménagement de la traversée de Taradeau est nécessaire. Il passera par les interventions suivantes :

- Reconstruction d'un pont comme évoqué précédemment avec une largeur de 40 à 50 mètres. Un entonnement soigné est nécessaire en amont afin d'optimiser le fonctionnement de l'ouvrage et réduire les risques de blocage de flottants sur les culées.
- Aménagement d'un nouveau chenal avec un lit mineur d'une dizaine de mètres de largeur. Ce lit en eau devrait retrouver le fonctionnement ordinaire de la Florièye avant la crue. Un curage du lit pourrait être envisagé notamment grâce au raccourcissement du lit en aval du pont mais aussi en fonction du devenir des deux seuils en aval.
- Création de risbermes entretenues ménageant un lit d'une largeur d'une cinquantaine de mètres. Les terrasses seront entretenues et pourront, par exemple, être utilisées pour le passage de chemins ou l'installation d'activités qui ne sont pas vulnérables par rapport à la submersion. Par contre, aucun obstacle à l'écoulement (arbustes notamment) n'est acceptable. Les berges, très en retrait, pourront être boisées. Cet entretien est lourd mais concerne ici un linéaire limité (environ 900 mètres entre le passage à gué amont et le méandre en aval du pont).

La figure suivante est une vue schématique de cet aménagement (le tracé vert et épais correspond au projet à réaliser) :

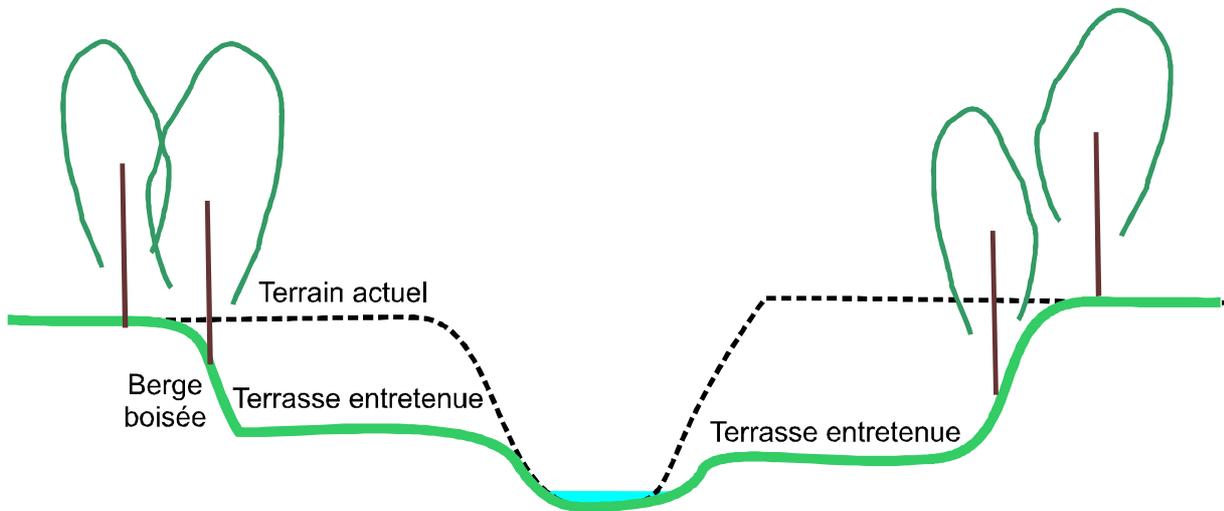


Figure 5 : Coupe schématique d'un lit élargi et entretenu.

Aval de Taradeau

En aval, les enjeux sont nettement réduits et la vallée est dissymétrique :

- La rive droite est haute et souvent constituée de matériaux relativement résistants à l'érosion. Elle regroupe tous les bâtiments, un camping et la RD 73. Ces équipements n'ont subi que des dommages secondaires, sauf localement au niveau du camping.
- La rive gauche est beaucoup plus basse et est - pour l'essentiel - plantée de vignes. Elle a été sévèrement inondée et l'on observe de puissantes griffes d'érosion dans les terrains à proximité du lit. Étant donné le caractère exceptionnel de la crue de 2010, une remise en état des terrains paraît la solution la mieux adaptée en préservant un recul de 10 à 20 mètres par rapport au sommet de berge.

Deux ouvrages particuliers doivent être notés :

- Le seuil au droit de l'ancienne station d'épuration a été engravé lors de la crue. Cette évolution est surprenante étant donnée l'absence d'obstacles en aval. Un profil en long de cette zone paraît indispensable pour comprendre les causes de cette évolution heureusement modérée.
- 400 m en aval, un seuil forme une chute de plus d'un mètre dans le lit mineur. Il n'a pas causé de forte surélévation directe durant la pointe de crue, mais il peut expliquer, sur le long terme, une remontée des niveaux du fond... et de l'ensemble des niveaux d'eau en amont, et notamment durant la crue. Au droit de ce seuil, le propriétaire riverain a remblayé le lit de la rivière, comme le montre la photo suivante. La destruction de ce seuil peut être envisagée en lien avec le seuil amont et le curage dans la traversée de Taradeau.



Photo 10 : Seuil aval et remblaiement de la berge.

Dans la partie terminale, la Florièye a augmenté la section par élargissement et creusement de son lit, les arbres étant massivement arrachés. Il est possible que ce dernier phénomène ait été un peu accentué par la rupture du remblai rive droite au droit du pont de Taradeau.

Il est probable que le lit a été plus profond durant la crue puis s'est remblayé lors de la décrue, le fond de la rivière présentant des dépôts récents. Après ces bouleversements, des évolutions du tracé du lit d'étiage sont probables à moyen terme mais sans conséquences majeures. Sauf localement, aucune protection de berge ne paraît justifiée dans l'état actuel. Un recul de l'occupation du sommet de berge, notamment au droit du camping, pourrait être envisagé, le talus ayant été érodé lors de la crue.

On observe un remplissage du lit dans le cours terminal de la Florièye lié au remous de l'Argens dont le niveau s'est vraisemblablement abaissé après celui de la Florièye. Ces dépôts sont temporaires et devraient être rapidement repris. La photo suivante montre ces dépôts temporaires.



Photo 11 : Dépôt en amont du confluent avec l'Argens.

2. LE RÉAL AUX ARCS

2.1. Bassin versant amont

Le Réal draine un bassin versant de l'ordre de 21.5 km² sur les plateaux en amont des Arcs. Dans la partie supérieure, le lit est relativement isolé, ce qui explique des dégâts très modérés.

Le pont des Clarètes est situé en amont des gorges. Sa section était beaucoup trop faible par rapport au débit amont, d'autant plus que des embâcles se sont formés au niveau du pont. Un surcreusement important s'est produit durant la crue, conduisant à un affouillement partiel de l'ouvrage.

Ainsi, l'écoulement est passé pour l'essentiel sur la route. L'érosion du remblai routier a été limitée par l'étalement important de la lame d'eau, comme le montre la photo suivante :



Photo 12 : Érosion du remblai routier de la RD 57.

Un confortement du talus aval de la chaussée est à prévoir. Il paraît illusoire et inadapté de prévoir ici un pont de très forte section pour un épisode aussi fort et aussi rare que celui de juin 2010. Une augmentation de la section du pont, si celui-ci devait être reconstruit, est cependant souhaitable.

En aval, le Réal entre dans des gorges où l'érosion a été diverse et localement intense sur un rocher de mauvaise qualité. Les matériaux découverts lors de la crue sont en cours d'effritement. Une cascade est située environ 280 mètres en amont de la couverture des Arcs.

2.2. Traversée urbaine

Caractéristiques du dalot

Le Réal a été, depuis 1839, progressivement couvert dans la traversée des Arcs. Les travaux ont été réalisés par étapes, d'abord en amont, puis vers l'aval. Les trois ponts existant initialement ont été intégrés à l'ouvrage.

Les travaux se sont terminés vers 1980 avec la couverture en béton en aval du remblai existant.

La photo suivante montre l'entrée de l'ouvrage :



Photo 13 : Entrée actuelle et vestige de l'ancien pont, détruit lors de la crue.

Ce dalot est réalisé en plusieurs parties très hétérogènes :

- Un chenal d'entrée, à l'air libre, dans la partie amont, d'une trentaine de mètres de longueur.
- Deux dalots constitués de pied-droits de faible hauteur portant une voûte semi circulaire dont les pentes et les sections sont variables entre l'entrée et l'ancien pont de la Rue de la République.

- Deux autres dalots, de section, de tracé et de pente différents, jusqu'au droit d'un ancien pont où les eaux sont regroupées à proximité du kiosque. C'est au niveau du raccordement avec la galerie aval que la voûte s'est effondrée. La transition entre les deux dalots amont et la galerie aval est particulièrement brutale, ce qui explique les dégâts observés en ce point.
- Un dalot unique et de bonne section jusqu'à l'aval de la couverture. La pente est alors de 6 %, sauf dans la partie terminale où elle n'est plus que de 2 %.
- Un lit couvert par des dalles béton, au droit du théâtre de verdure. La couverture en béton s'est soulevée durant la crue. Le lit se poursuit ensuite par un chenal bétonné étroit.

Le tableau suivant synthétise les caractéristiques qu'il a été possible de lire dans l'étude ERG :

	Section (m ²)	Pente	Linéaire (m)	Capacité normale (m ³ /s)
Entrée	17.4	2 %	32	154
Amont République	15.7	1 à 2 %	30	121
Aval République	26.7	2 et 7 %	32	339
Galerie aval	20	6 %	84	412
Couverture aval	13	2 %	19	105

La capacité normale des dalots correspond à un écoulement établi dans un ouvrage sans discontinuité et avec une faible rugosité. Il s'agit assurément d'une sur-estimation de la capacité réelle de l'ouvrage qui est beaucoup plus limitée en entrée.

Le schéma suivant montre le profil en long de cet aménagement (on trouvera un zoom de la partie centrale un peu plus loin) :

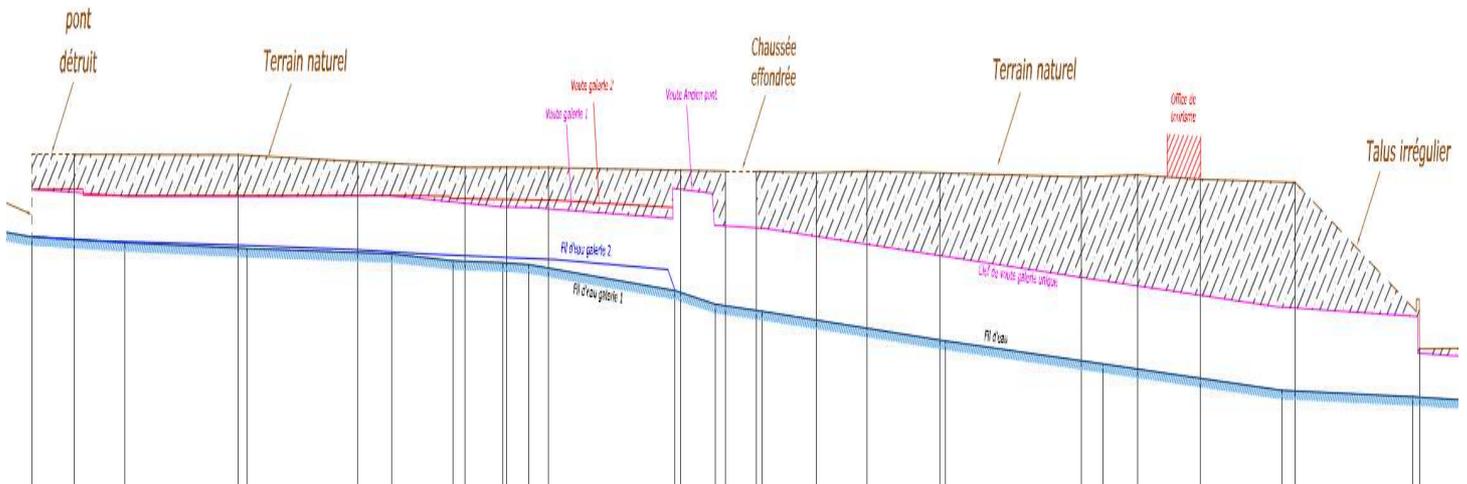


Figure 6 : Profil en long de la couverture au centre des Arcs.

Un calcul sommaire conduit à une capacité de l'ordre de 96 m³/s en entrée pour les deux dalots pour une hauteur de 6 mètres correspondant au mur amont avant la destruction du pont. Cette valeur ne tient compte ni des risques de mise en charge à cause des discontinuités dans le dalot, ni des risques d'obstruction par les flottants.

Depuis la destruction du pont amont, la hauteur ne serait plus que de 4.8 mètres avant débordement, ce qui correspond - toujours par excès - à un débit de $80 \text{ m}^3/\text{s}$ avant débordement.

Comportement lors de la crue

La chronologie détaillée nous a été transmise par la commune. Les principaux éléments sont repris ci dessous :

15h32 - Petite inondation dans une maison et une plaque du pluviomètre s'est soulevée.

15h45 - Le maire fait évacuer deux maisons situées sous la falaise sur la route de Flayosc.

16h10 - L'eau du Réal commence à arriver dans la rue du Saule.

16h15 - Décision est prise de bloquer les enfants dans les écoles et le collège.

16h20 - L'eau sort à flot de la rue du saule et du Docteur Mourre, Des voitures ont été emportées et bloquent le virage, Le pont - dit pont du Réal - de l'ancien chemin de Toulon à Draguignan est toujours intact.

16h 37 - Le parapet du pont du Réal et une partie de sa voûte cèdent sous la poussée des eaux, une gigantesque vague balaie la place Paul Simon et la plage du Général De Gaulle, le niveau de l'eau atteint 50 cm devant l'office de tourisme. Sous la poussée des eaux une partie de la voûte du tunnel dans lequel coule le Réal se soulève et s'écroule, laissant place à un énorme trou entre le kiosque et la rue de la Motte. Le mur derrière l'office de tourisme s'écroule, le talus est emporté par la violence des eaux.

Il apparaît que la montée des eaux est particulièrement rapide. De plus, la rupture du pont du Réal, à l'entrée de la couverture, a vraisemblablement formé une vague brutale. La destruction du pont par des efforts assez modérés alors que les culées sont restées en place paraît surprenante.

La création d'une brèche en entrée de la galerie aval est vraisemblablement liée à des fluctuations importantes de pressions et sous pressions accompagnant des mises en charge localisées. Il n'est pas impossible que les matériaux liés à l'effondrement aient causé une obstruction temporaire et partielle de la galerie, générant une vague pour les écoulements en surface.

Dans la galerie aval, un débit de $80 \text{ m}^3/\text{s}$ correspond à une hauteur normale de seulement 1.7 m, pour une hauteur à la clef de voûte de 4.8 m. Il est très probable que le débit passant dans la galerie a été inférieur.

Sur la face aval du remblai, les matériaux ont été érodés, la pente étant très forte. L'enrobé sur la place a heureusement ralenti le phénomène. Pour la plupart, les matériaux érodés ont été emportés en aval.

La photo suivante montre l'érosion de l'aval du remblai :



Photo 14 : Érosion du remblai à coté du théâtre de verdure.

Le dalot en aval du théâtre de verdure est passé en charge, entraînant le soulèvement des dalles de béton. En effet, le chenal se rétrécit progressivement, facilitant une mise en charge sous les dalles... et leur soulèvement. Le chenal aval en béton s'est avéré nettement insuffisant pour une telle crue et le Réal a largement débordé.

La couverture actuelle se caractérise donc par les éléments suivants :

- Un entonnement très peu satisfaisant qui ne permet pas un remplissage optimal des dalots amont.
- Un risque d'obstruction par les flottants très pénalisant.
- Des variations de section et de pente des dalots dans la partie amont qui découlent d'une construction par tronçons.
- Des discontinuités pénalisantes au droit des anciens ponts.
- Une transition beaucoup trop brutale entre les deux dalots amont et l'unique galerie aval.
- Une galerie aval d'une capacité suffisante, si la vitesse d'entrée est élevée.
- Une réduction brutale de la capacité dans le secteur du théâtre de verdure entraînant la destruction des ouvrages.

Aménagement de la couverture

2.2.1.1. Objectif et principe d'aménagement

La commune souhaite engager très rapidement les travaux de réparation de la couverture du Réal sous la place centrale. Cette note propose les principes d'aménagement de cet ouvrage.

Le débit de la crue de juin 2010 a été estimé entre 110 et 150 m³/s au droit de la couverture. La capacité actuelle est de l'ordre de 70 m³/s : l'ouvrage actuel était donc incapable d'évacuer le débit de la crue.

Il est vrai que les sections des galeries pourraient autoriser une capacité de l'ordre de 115 m³/s, mais les conditions aux limites des écoulements ne permettent pas d'obtenir cette capacité :

- en entrée de galerie le mur vertical contracte l'écoulement et réduit la section utile ;
- au raccordement des galeries 1, 2 et 3, le changement de direction met en charge les galeries amont 1 et 2 ;
- en aval, la forte pente dans la galerie 3 génère un écoulement à grande vitesse qui a provoqué le soulèvement des dalles et peut le provoquer plus encore si le débit entrant dans la couverture est augmenté et que les dispositions anciennes sont conservées en aval.

L'aménagement que nous proposons concerne donc les formes des ouvrages aux changements de section, c'est à dire :

- L'entonnement dans la couverture, pour supprimer la contraction à l'entrée et limiter le risque de blocage des flottants.
- Le raccordement des galeries 1, 2 & 3 pour adoucir les angles et permettre une accélération continue de la vitesse à la transition.
- Le passage abaissé sous la scène du théâtre, pour limiter les sous pressions et faciliter la dissipation du jet torrentiel sortant de la galerie 3.

Soulignons qu'après cette esquisse des aménagements une étude d'avant projet devra définir et justifier par un calcul hydraulique complet les plans détaillés de l'ouvrage restauré.

2.2.1.2. Entonnement amont

L'entonnement actuel constitue un élément limitant la capacité de la couverture, avec une capacité proche de $70 \text{ m}^3/\text{s}$. D'autre part, il favorise les risques d'obstruction par les flottants.

Ainsi, un entonnement plus progressif permettra de se rapprocher de la capacité de la section courante de la galerie, soit au maximum $115 \text{ m}^3/\text{s}$.

La figure suivante est une vue en plan schématique de l'ouvrage :

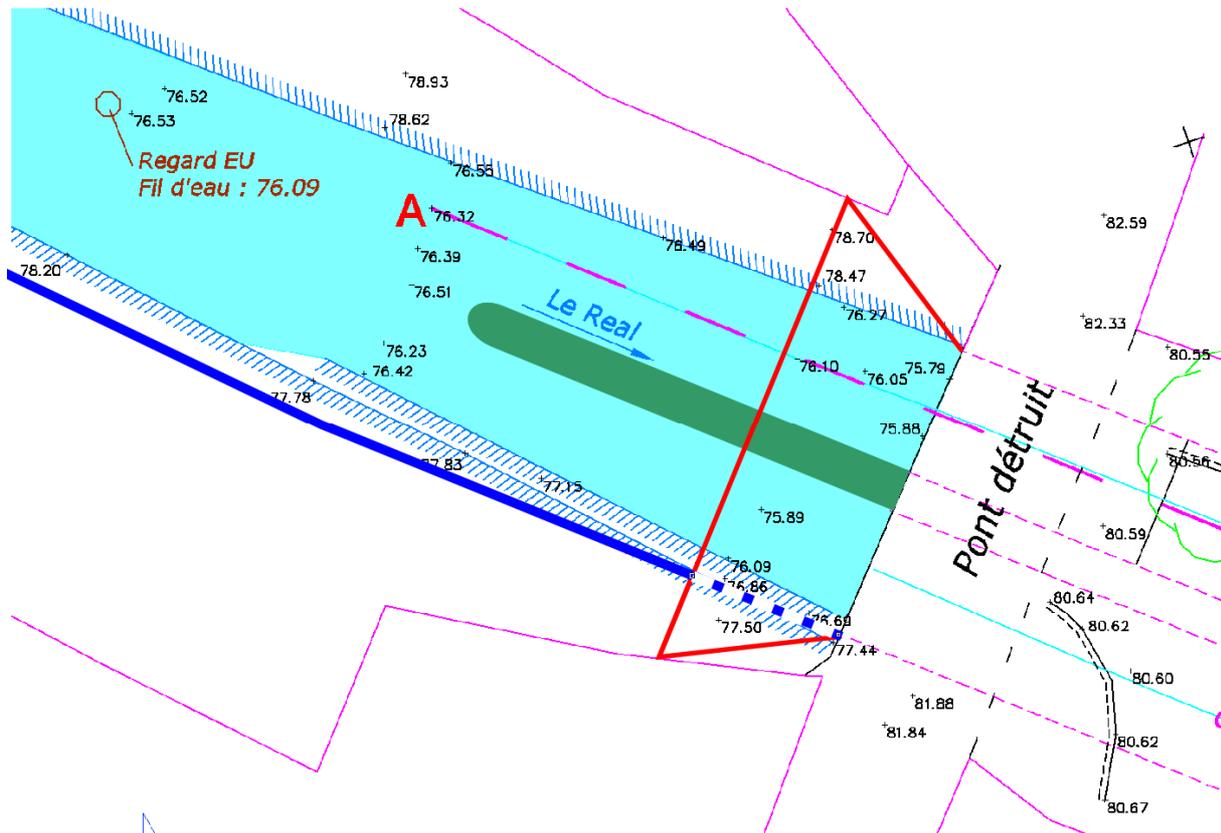


Figure 7 : Vue en plan de l'entonnement.

L'ouvrage est constitué d'un entonnement progressif, c'est à dire d'une forme réduisant progressivement la section jusqu'aux voûtes existantes, ce qui entraîne une géométrie complexe.

Ces variations progressives de section s'appliquent en hauteur et en largeur : la hauteur de l'entrée de cet entonnement sera de 4 mètres.

D'autre part, pour maximiser la mise en charge de la galerie, cet entonnement doit permettre une hauteur d'eau de 5 mètres minimum par rapport au radier des galeries sans débordement vers la place. Le déversement - en cas de dépassement de la crue de projet - doit être prévu (protection parafouille) et progressif.

La forme d'entrée en plan sera semblable à celle de la coupe verticale A de la figure suivante; elle aura une largeur de 13 m, soit la somme des largeurs des galeries + appui central + $2 \times 1.5\text{m}$.

La section d'entrée du convergent sera ainsi de 45 m², ce qui déterminera une vitesse d'entrée d'environ 3 m/s. La section du canal amont et de ses risbermes devra être aussi sensiblement égale à 45 m², à la hauteur 4 m.

La figure suivante est une coupe longitudinale de cet entonnement :

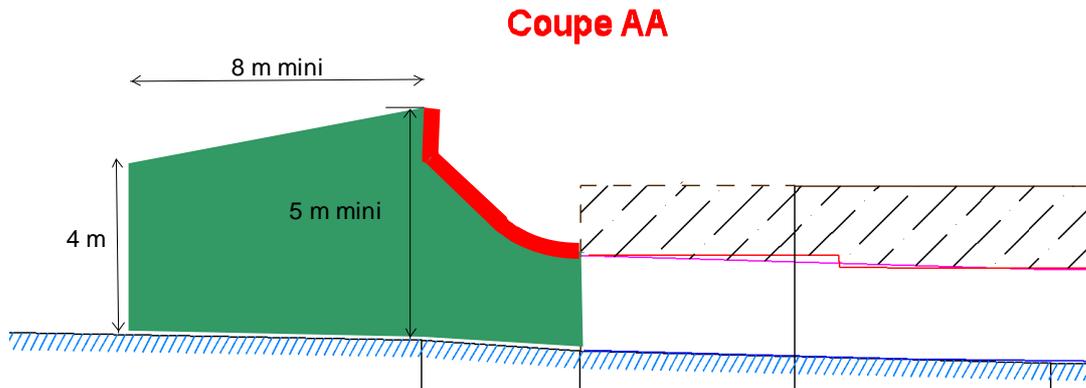


Figure 8 : Vue de l'entonnement et du mur amont.

Le mur central amont est destiné à éviter le blocage des flottants au niveau de la séparation entre les deux dalots et à éviter une réduction de la capacité. Il présentera les caractéristiques suivantes :

- ✓ Extrémité amont de faible largeur afin de réduire la stabilité des flottants bloqués.
- ✓ Mur sur toute la hauteur de l'entonnement (soit 4 mètres minimum) afin de fonctionner même en cas de mise en charge importante.
- ✓ La hauteur de cette pile variera de 4 m en amont à 5 m à l'entonnement, avec une longueur de 8 mètres minimum en amont de l'entonnement.

L'ancien pont, détruit lors de la crue, doit être refait. La combinaison de cette reconstruction avec la réalisation de cet entonnement pourrait minimiser l'ampleur des travaux.

2.2.1.3. Raccordement des galeries

L'ouvrage existant est constitué dans sa partie centrale de trois galeries :

1. La galerie 1 amont, en rive droite, présente localement une pente de l'ordre de 7 % et une largeur de 4 m. L'écoulement y est donc rapide. Dans l'état actuel, elle se termine par un convergent jusqu'en amont d'un coude brutal, ce qui impose une accélération puis un point d'arrêt et dissipe la majeure partie de l'énergie cinétique de l'écoulement.
2. La galerie 2 amont en rive gauche présente une largeur de 6.7 m, mais une pente de seulement 2 %. L'écoulement y est donc relativement lent. Cet ouvrage se termine par une chute de 1.2 mètres de hauteur.
3. Une galerie aval 3 unique de 4.5 m de largeur et de 6 % de pente. Cette pente permet une accélération de l'écoulement, ce qui accroît la vitesse qui peut atteindre à la sortie 12 m/s. Cette galerie présenterait une capacité largement supérieure à l'objectif affiché si le débit s'y entonnait avec une vitesse suffisante.

Mais le raccordement actuel ralentit la vitesse en amont de la galerie et provoquera la mise en charge qui a conduit en juin 2010 à la rupture de l'ouvrage par sous-pression. La figure suivante montre le profil en long dans cette zone avec les deux tracés très différents pour les deux galeries amont.

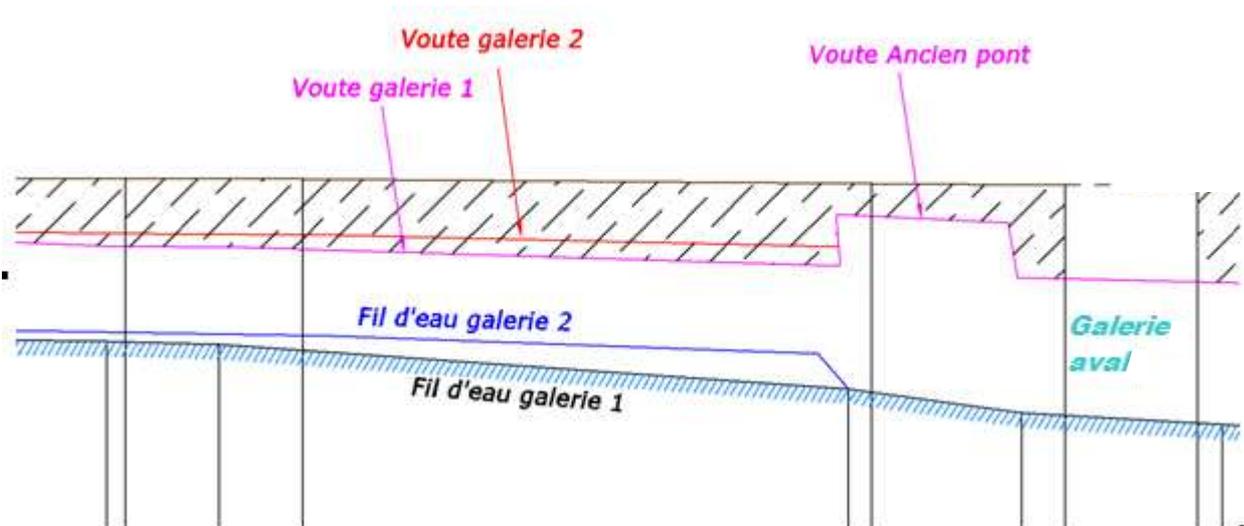


Figure 9 : Profil en long dans la zone de transition.

Cette configuration est évidemment défavorable car elle impose de faire passer l'écoulement d'une largeur totale de 13 mètres à seulement 4.5 mètres dans la partie aval.

Les variations de vitesse dans ce secteur imposent dans tous les cas la mise en place d'un reniflard pour éviter les fluctuations de pression à la jonction des trois galeries lors des crues.

Le principe que nous proposons consiste à surbaisser le fond du radier sous le théâtre de verdure. De ce fait, le jet torrentiel sortant de la galerie 3 sollicitera moins le dalot et les sous pressions seront évitées. La scène du théâtre de verdure sera certes plus souvent inondée, mais elle distribuera le débit des plus fortes crues sur une largeur supérieure et revêtue, ce qui permet de limiter l'importance du bassin de dissipation, voire de le supprimer.

La largeur du dalot sera - a priori - la même que celle de la galerie amont, soit 4.5 mètres et sa hauteur serait de 1.5 m. Il faut remarquer que le lit canalisé actuel n'offre qu'une largeur de 2 m, ce qui n'est pas cohérent avec la largeur de 4.50 m que nous proposons (et a fortiori celle de 7.6 m du chenal proposée par ERG) : nous conseillons donc d'élargir ce canal à 4 m à l'entrée et de le rétrécir progressivement sur une distance que le calcul de l'ouvrage permettra d'affiner.

La figure suivante montre le type d'ouvrage nécessaire :

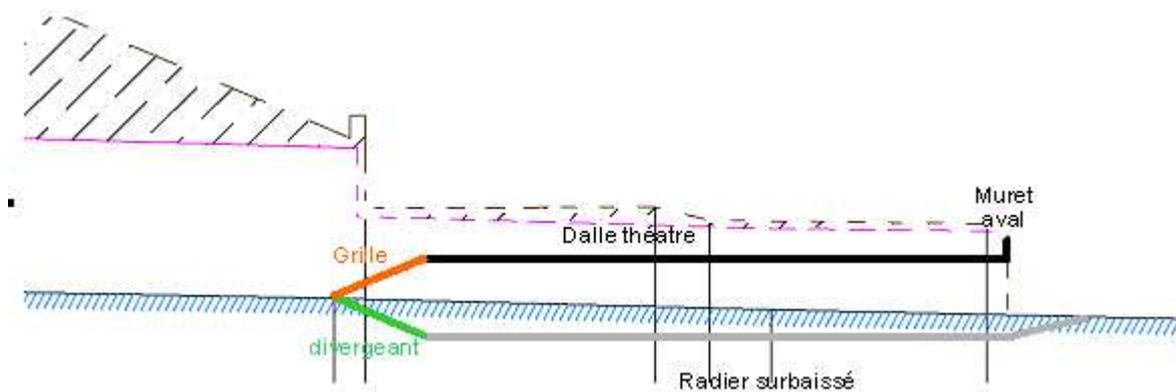


Figure 11 : Aménagement aval.

En amont l'abaissement rapide du radier permet d'obtenir une capacité suffisante sous le théâtre. Au dessus du dalot, la divergence brutale assure une dissipation de l'énergie du jet des plus fortes crues.

Une grille avec des barreaux très espacés (de l'ordre du décimètre) se justifie essentiellement par la sécurité des personnes. Elle présente aussi l'avantage de fractionner l'écoulement et de constituer une dissipation primaire de l'énergie de l'écoulement.

En aval de la dalle du théâtre, un muret est proposé avec une double fonction :

- ✓ Éviter la chute des personnes et des véhicules dans le lit aval.
- ✓ Favoriser le ralentissement de l'écoulement en cas de passage sur le théâtre de verdure. Il n'est pas impossible, suivant la géométrie qui sera retenue, que ce muret permette de caler un ressaut et assure une dissipation presque totale de l'énergie de l'écoulement sur la dalle.

2.2.1.5. Phasage des travaux de la couverture

Par rapport aux contraintes sur l'usage du site et à la capacité des ouvrages, le phasage des interventions pourrait être le suivant :

1. Raccordement entre les galeries, la situation actuelle étant très critique.
2. Reconstruction du théâtre de verdure.
3. Entonnement et reconstruction du pont amont.

Ces interventions - toutes de première urgence - étant largement indépendantes et la commune souhaitant la restauration rapide du centre ville, ces trois chantiers peuvent aussi être menés de front.

Chenal aval

En aval de la zone urbaine et du théâtre de verdure, la restauration d'un lit plus naturel est souhaitable, l'ouvrage en béton étant clairement sous dimensionné et peu satisfaisant.

Il paraît facile de réaliser un lit plus naturel et d'une plus grande capacité hydraulique que le canal bétonné actuel sous réserve d'un entretien régulier - mais léger - de la végétation. Ce projet est particulièrement intéressant du point de vue de la richesse du milieu, une amélioration par rapport à la situation actuelle paraissant aussi aisée que nécessaire.

La question de la conservation de la construction en bordure de lit en aval est posée.

En effet, comme le montre la photo ci-contre, ce bâtiment est très exposé et peut augmenter les risques pour les habitations situées en rive droite.

Cette photo met nettement en évidence le lit très étroit du Réal dans tout ce tronçon aval.



Photo 15 : Habitation très exposée en aval du centre ville des Arcs.

2.3. Lit en aval des voies ferrées

En aval du pont permettant le franchissement des voies ferrées, une conduite d'eaux usées a été détruite, le coude en aval du pont n'ayant vraisemblablement pas été pris en compte dans la géométrie et le dimensionnement des protections. En urgence, les travaux ont visé la reconstitution de la situation antérieure, contraignant le Réal dans un lit très étroit.

La protection en enrochements serait très sollicitée en cas de nouvelle crue et sa destruction paraît très probable, aucun sabot n'ayant été mis en place alors que la vitesse à la sortie du dalot sera d'autant plus importante qu'un seuil accélère encore l'écoulement.

La photo suivante montre la situation actuelle :



Photo 16 : Lit à l'aval de la voie ferrée.

Ce type de réalisation ne tient pas compte des phénomènes hydrauliques. Dans un tel extradoss, un recul de la berge est nécessaire si l'on veut à la fois restaurer un lit suffisant et réduire les contraintes hydrauliques sur les ouvrages, gage de pérennité.

En aval, les enjeux sont beaucoup plus faibles et les dégâts sont globalement en accord avec le caractère exceptionnel de la crue.

3. La basse vallée de l'Argens

3.1. Introduction

La diversité et l'imbrication des différents enjeux face au risque inondation sont un caractère du territoire de la basse vallée de l'Argens qui oblige à étendre l'analyse du mécanisme des crues et des actions à entreprendre pour en atténuer les nuisances :

- Le risque inondation est ici limité à la périphérie des agglomérations et à l'habitat rural diffus.
- L'activité agricole est autant menacée par les inondations ordinaires, qui ont contribué à la déprise constatée, que par les ravages de la crue de juin 2010.
- Le tourisme joue ici un rôle essentiel, avec l'implantation des campings de plus en plus nombreux à l'approche du littoral... et de plus en plus sédentaires.

C'est pourquoi nous avons cru nécessaire d'élargir le champ de l'étude à l'analyse des crues ordinaires, de façon à fournir aux décideurs une vision plus globale des problèmes posés, des actions urgentes à entreprendre et des études fondamentales à engager.

Pour cette analyse, nous nous appuyons sur les études antérieures :

- Nos propres études conduites en 1968 pour la construction de l'autoroute A8 (réf.5), en 1970 à Fréjus en amont du littoral (réf.6) et en 1977 pour une détermination des zones inondables de la basse vallée (réf.8).
- L'étude de la Société du Canal de Provence de décembre 1991 : « Protection contre les crues de la basse vallée de l'Argens » (réf.10).
- L'étude du BCEOM de 1999 : « Etude hydraulique sur la basse vallée de l'Argens » (réf.15) ; nous avons notamment utilisé les données topographiques levées à l'occasion de cette étude et aimablement communiquées par le cabinet OPSIA.
- L'inventaire des laisses présenté par EGIS EAU en 2010, qui rassemble les laisses nombreuses de la crue de juin 2010 et celles que nous avons recueillies et publiées en 1968, 1970 et 1977 sur les crues de 1959 et 1974 (réf.26-27).

Nous présenterons dans ce chapitre :

- Une description de l'état actuel du lit de l'Argens, tout en retraçant les interventions qui ont contribué à déterminer cet état; l'analyse des dommages de la crue de juin 2010 est à ce stade écartée de cette description.
- Une approche quantitative du fonctionnement hydraulique et morpho-dynamique.
- L'analyse des dysfonctionnements révélés par la crue de 2010 et la proposition des actions contribuant à les supprimer ou à en diminuer les effets.
- Une réflexion sur la gestion de l'espace riverain et la protection des berges.

La conclusion proposera au Conseil Général un tableau hiérarchisé des différentes actions, en fonction de l'urgence de la reconstruction, de la gravité des dysfonctionnements, de l'ordre logique des actions dans une perspective d'aménagement durable.

3.2. Description de l'état actuel du lit de l'Argens

3.2.1. Situation générale

Le pont de l'ancien CD 25 au Muy marque l'entrée de l'Argens dans sa basse vallée; avec ses sinuosités, le fleuve dessine ses méandres sur une longueur de 22.7 km dans une plaine de 16.7 km de longueur. La largeur de la vallée croît d'amont en aval de façon irrégulière ; plusieurs buttes rétrécissent localement sa largeur :

- Buttes de la Roquette et de Vérignas au Muy.
- Buttes de Palayson et de Saint Pierre à Roquebrune.
- Butte d'Escaravatie au Puget.
- Butte de Villepey à Saint Aygulf.

En aval du Muy et jusqu'au confluent avec l'Endre, la largeur de la plaine est limitée à 500 m par les remblais de la voie ferrée et de l'autoroute A8.

A Roquebrune, la largeur de la plaine est de 2 km et augmente jusqu'à la Gaudine, à l'entrée de Fréjus où elle atteint 4 km. Mais le canal artificiel du Reyran, construit après la rupture du barrage de Malpasset et la crue du Reyran de novembre 1960 pour tenter d'effacer le traumatisme dû à la catastrophe, rétrécit la vallée jusqu'à une largeur de 1000 m au droit des châteaux de Villepey.

Le front de mer entre l'embouchure de l'Argens et le pont de la Galiote forme naturellement un cordon dunaire de 2 km qui constitue la plage de Saint Aygulf. Ce cordon est ouvert par le débouché de l'Argens de façon permanente et par l'exutoire des étangs de Villepey lors des inondations; ce grau est franchi par le pont de la Galiote de 90 m de portée utile.

3.2.2. Equilibre longitudinal

Si l'on fait abstraction de l'effet des seuils, étudié plus loin, la pente décroît légèrement d'amont en aval, entre le Couloubrier et le ruisseau de la Vernède, où commence l'estuaire.

Nous définirons l'estuaire comme le tronçon du fleuve subissant les fluctuations du niveau de la mer en étiage ; cette définition le borne en amont au point limite de remontée du coin salé, c'est à dire de la strate d'eau salée remontant grâce à sa densité sous le niveau de l'eau douce.

La pente moyenne du fleuve (voir le profil en long du fleuve levé en 1929 ci dessous) est faible à l'étiage : 0.55/1000, mais elle augmente avec le débit ; c'est ainsi que, lors de la crue de juin 2010, la pente moyenne entre le pont de l'ex-CD 25 au Muy et la mer était le double de la valeur ci dessus.

On note toutefois une légère protubérance de la ligne d'étiage d'environ 0.60 m au voisinage de la confluence avec la Nartuby : cette remontée doit correspondre à un seuil probablement rocheux dont il faudra identifier l'importance et analyser l'impact sur le niveau des crues.

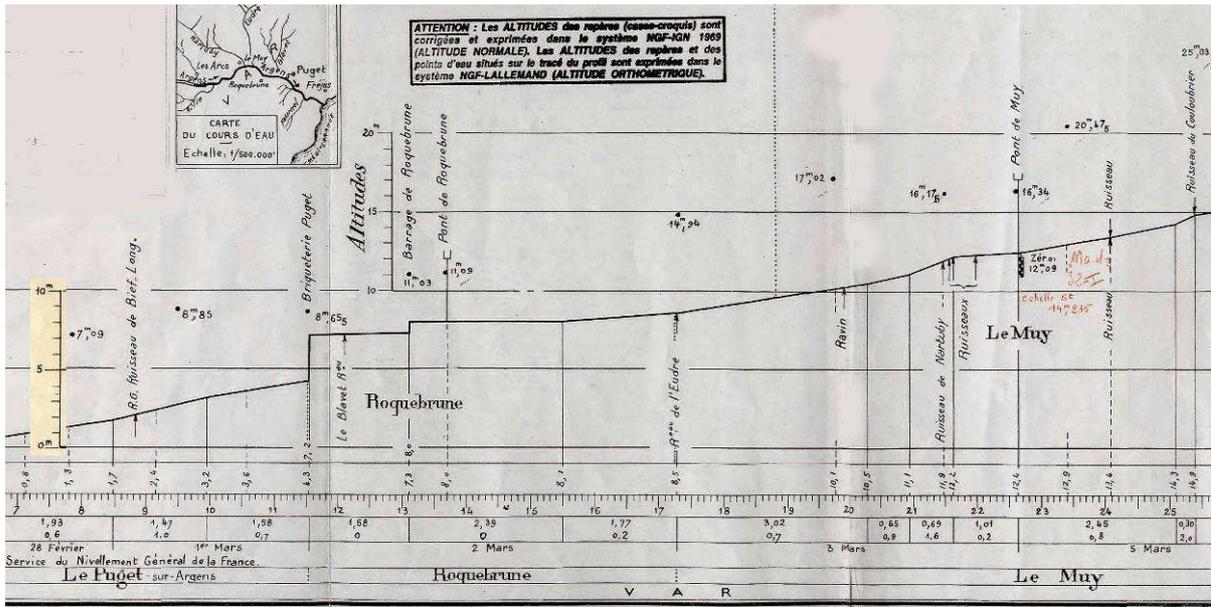


Figure 12 - Extrait du profil en long IGN de la ligne d'eau de l'Argens du 28-2 au 5-3 1929 entre le confluent du Couloubrier et l'estuaire

3.2.3. Equilibre transversal de la plaine

A partir de Roquebrune, la plaine de l'Argens est une plaine alluviale en cours de remblaiement : lors des forts débits, les eaux débordent par dessus les berges et leur vitesse diminue en raison de la diminution de la hauteur d'eau.

Les matériaux transportés par le débit débordant étant principalement des éléments fins transportés en suspension par les vitesses élevées du lit ordinaire, le débordement sur la plaine provoque, par suite de la diminution de vitesse, la mise en dépôt de ces éléments. Le dépôt des sédiments les moins fins se fera au plus près de la rivière.

On aboutit de la sorte à la forme de la plaine en toit, caractérisée par :

- Un chenal contenant les eaux normales, mais qui forme en crue une goulotte trop pleine et déverse latéralement.
- Des plages latérales encore appelées bourrelets de berge qui ont une pente transversale de plus en plus faible lorsque l'on s'éloigne du fleuve, les matériaux les plus fins étant ceux qui se déposent le plus loin et pour les vitesses les plus faibles.
- Enfin des dépressions latérales où les eaux cheminent au pied du relief parallèlement à la rivière et où s'achève la décantation des matériaux, en général argileux ce qui rend les sols difficiles à drainer et marécageux.

Dans la basse plaine de l'Argens, l'écart entre le niveau naturel de la berge et le niveau des terrains dans les dépressions atteint 1 mètre, sauf à l'embouchure où il atteint 2 mètres et permet ainsi l'existence des étangs de Villepey : les sols se sont ici maintenus sous le niveau de la mer, l'absence de végétation ayant empêché leur colmatage.

En raison du processus de constitution de la plaine, les eaux débordantes retournent difficilement à la rivière. Comme le débordement s'effectue de la rivière à la plaine, la capacité du lit ordinaire tendra à décroître de l'amont à l'aval, sauf lorsque la divagation du lit vient le resserrer contre le bord de la plaine, ce qui permet un retour des eaux débordées à la rivière.

Lorsqu'un affluent débouche dans la plaine, la structure en toit tend à l'empêcher de confluer avec le lit ordinaire du fleuve. Ainsi le Blavet a été artificiellement détourné dans l'Argens, ce qui a nécessité l'édification de digues transversales rompues en cas de débordement de l'Argens.

3.2.4. Equilibre transversal du lit mineur et mobilité

Sur l'ensemble du cours de la basse vallée, le lit est globalement stable : les photos aériennes montrent ainsi que la crue de juin 2010 n'a pas développé de fortes érosions des berges, mais seulement « écorché » celles-ci, parfois par le déracinement des arbres.

Il n'en pas toujours été ainsi :

- La photo de 1951 mise à disposition par l'IGN (réf.4), montre au Muy en aval des Plans un lit mineur développant des érosions dans les coudes et une ripisylve peu dense assurant un écoulement important. Ces conditions autorisaient une bonne capacité d'écoulement dans l'Argens.



**Photo 17 - Le lit de l'Argens en aval des Plans au Muy en 1951 (photo IGN)
Le lit mineur développe des méandres mobiles avec érosion de berge en deux points.
La ripisylve, souvent en contrebas de la plaine cultivée, semble peu dense.**

- En dessous, la photo capturée sur Google Earth du 22 juin 2010 sur ce même site montre une absence de désordres après la crue prouvant l'absence de remaniements notables du lit, ce qui illustre la perte de mobilité : mais la capacité d'écoulement a diminué, alors que l'urbanisation s'est développée.
- On retrouve en aval de Roquebrune des ripisylves ponctuelles témoins des divagations passées, mais peu d'érosion active : cette stabilité des rives concaves nous semble résulter de la présence de nombreuses protections de berge, les unes récentes et bien visibles, les autres plus anciennes et difficiles à découvrir sous le couvert végétal. L'enfouissement des protections de berge sous la végétation et les sables limoneux est en effet fréquent dans les cours d'eau français et a conduit souvent à attribuer à la végétation de rive une aptitude à la protection des berges qu'elles n'offrent que partiellement. Si cette aptitude est réelle dans les parties rectilignes, elle est souvent

surestimée dans les coudes constitués de fonds affouillables. Un examen minutieux de coudes stables et à première vue non protégés nous a souvent montré la présence en pied de berge et sous eau d'anciennes protections difficiles à déceler. On voit que dans ce cas ce n'est pas le développement végétal qui a assuré la protection, mais l'enrochement qui a assuré le développement végétal.



Photo 18 - Le lit de l'Argens au même point en aval des Plans le 22 juin 2010. Le lit est étroit, enserré dans une forêt dense; malgré son caractère extrême, la crue n'a pas créé d'érosions marquées, qui auraient permis un auto-curage de ce tronçon. L'alluvionnement de la ripisylve est en cours et la capacité d'écoulement décroît.

La tendance au rétrécissement du lit par la végétation et l'alluvionnement apparaît principalement dans deux tronçons :

- en aval du Muy et jusqu'au pont de l'autoroute A8 à Roquebrune : la fixation du lit par les protections ne semble pas être ici la cause principale. On peut se demander si la pression végétale ne s'est pas développée sans entrave depuis 1951, alors que les usages riverains (élevage, coupe de bois, voire entretien régulier) maintenaient auparavant un lit plus mobile et donc une ripisylve moins touffue.
- Entre le seuil du Beal et le seuil du Verteil, le colmatage des berges est lié en partie à la stabilisation des berges concaves, mais résulte des transformations récentes avec la construction du seuil du Verteil (ou seuil du Gué Romain) examinée plus loin.

3.2.5. Les extractions de sable

Au cours des années 1970, l'exploitation des matériaux alluvionnaires s'est, comme partout en France, développée dans la basse vallée de l'Argens.

Au Muy

Le lac du Rabinon est creusé dans la boucle en rive droite face au confluent avec la Nartuby ; les matériaux de découverte semblent avoir été déposés à la périphérie, ce qui relève les niveaux de berge par rapport au niveau antérieur de la plaine et par là le niveau des crues naturellement débordantes. Une communication entre fleuve et lac créée côté amont s'est élargie lors de la crue de juin 2010.



Phot 19 - Le lac du Rabinon au Muy

A l'amont du pont de Roquebrune

A l'amont de Roquebrune, les sablières Perrin ont extrait du sable dans le lit ordinaire et dans le lit majeur. L'exploitation s'est d'abord développée dans le lit majeur en rive gauche à l'amont du pont, pour constituer aujourd'hui le lac de l'Arena. Entre fleuve et lac, une haute digue a été mise en place pour éviter la capture du fleuve ; cette digue est contournable par la plaine amont rive gauche.

Une communication a été créée entre fleuve et lac, à mi-distance de l'amont et de l'aval, ce qui peut contribuer à élever le niveau des crues dans le lac.

L'exploitation s'est poursuivie avec le creusement d'une gravière à l'amont de l'autoroute A8 que nous appellerons lac de Basse Roquette, l'ouverture étant comme au Muy placée en amont.

Le rapport Sogreah 1977 (réf.8) signale que l'extraction dans le lit a été irrégulière, et a maintenu des hauts fonds.

A l'aval du barrage du Beal

Comme en amont, l'extraction a été conduite de manière irrégulière et a créé des fosses dans un lit déjà étroit, sans souci de réaliser un calibrage régularisant l'écoulement. Citons le rapport Sogreah 1977 : « *Il en est résulté des zones d'écoulement lent auxquelles succèdent des rapides, ce qui provoque dans ces secteurs une aggravation de l'érosion des berges; en outre, les abaissements du fond ont pu contribuer à affaiblir le barrage du Beal.* »

Ces extractions ont eu pour conséquence une régression de l'estuaire vers l'amont, c'est à dire un abaissement des niveaux d'étiage vers l'amont. Les champs de captage du Verteil, situés dans une boucle de l'Argens, ont alors été menacés par la remontée saline, accentuée par le rabattement de la nappe lors des pompages (réf.12) .

Un dispositif de protection a été mis en place dans les années 1989-1990, et a comporté :

- La construction d'un barrage anti-sel élevé sur l'implantation d'un ancien seuil, dit seuil du Gué Romain.
- Des ouvrages de réalimentation de la nappe par injection des eaux douces provenant de l'Argens à l'amont du seuil.

Les étangs de Villepey

Ces sablières ont été creusées en marge des étangs ; elles peuvent aujourd'hui favoriser le débordement vers les étangs et le pont de la Galiote.

3.2.6. Les seuils de la basse vallée

Trois seuils ou barrages influencent aujourd'hui le fonctionnement hydraulique de l'Argens en aval de Roquebrune :

- Le seuil du Moulin des Iscles en aval du pont (D7) de Roquebrune, appelé aussi seuil de Roquebrune.
- Le seuil alimentant le Beal au Puget.
- Le seuil du Gué Romain en aval des captages du Verteil.

Les études antérieures s'attardent peu sur l'impact hydraulique et morphologique de ces ouvrages :

- L'étude de 1977 calcule une perte de charge de quelques décimètres au barrage du Beal. A l'époque, le barrage du Moulin des Iscles est dégradé et n'altère pas la ligne d'eau et le seuil du Gué Romain n'a pas été construit.
- Les études suivantes s'attachent avant tout à décrire les débordements; l'étude du BCEOM estime que les écoulements sur les deux seuils amont sont noyés en crue; en revanche l'impact du seuil du Gué Romain sur l'inondation est souligné.

3.2.6.1. Le seuil du Moulin des Iscles (barrage de Roquebrune)

Il alimentait le Moulin des Iscles, situé en aval du barrage du Beal. La photo IGN de 1951 (ci dessous) montre un ouvrage large (73 m selon l'image). Le profil IGN de mars 1929 indique des niveaux amont de 8.0 NGF et aval de 7.3 NGF.



Photo 20 - Le seuil du Moulin des Iscles et le barrage du Beal en 1951

L'étude de 1977 indique que le barrage a été dégradé par la crue d'octobre 1970. La ligne d'eau levée en février 1977 pour un débit affiché de 35 m³/s donne une cote au pont de Roquebrune de 6.46 NGF, soit 1.4 m au dessous du niveau actuel à ce même débit. Un tel abaissement montre que le seuil du Beal était donc également dégradé, sans doute par la crue d'octobre 1976.



Photo 21 - Le seuil du Moulin des Iscles le 22 juin 2010 après la crue

Aujourd'hui le seuil a été relevé à la cote 7.1 NGF, inférieure à celle observée en 1929 (profil des Forces Hydrauliques). Mais sa largeur a été considérablement réduite en rive gauche et n'est plus que d'une trentaine de mètres, comme le montre la photo aérienne du 22 juin 2010, avec un débit ce jour là de 52 m³/s. Sa chute est faible à l'étiage (environ 0.30 m), mais elle croît avec le débit.

On peut se demander pour quelle raison a été conforté entre 1977 et 1984 un ouvrage inutilisé. Le relèvement du profil en long de l'étiage est faible, mais le rétrécissement de la

largeur exhausse les niveaux de crue dans une zone où les débordements créent depuis longtemps une situation difficile et peut favoriser l'exhaussement des fonds. .



Photo 22- Vue d'amont du seuil du Moulin des Iscles rétréci (10/2010)

3.2.6.2. Le seuil du Beal

Très biais par rapport à l'Argens, ce seuil offre une longueur de 150 mètres et maintient en étiage une cote de 6.9 NGF pour permettre l'alimentation du Beal : ce fossé rejoignait la Grande Garonne en longeant la dépression de rive gauche jusqu'en 1960 ; aujourd'hui il revient à l'Argens avec le ruisseau du Gabron en amont du seuil du Gué Romain. La chute à l'étiage du seuil du Beal était de 3 mètres en mars 1929, un peu plus peut être aujourd'hui.



Photo 23 - Le seuil du Beal en enrochements (août 2010)

L'entonnement du seuil n'est pas optimum, comme le montre l'extrait de plan OPSIA ci dessous : l'angle d'incidence du courant par rapport à la ligne de plus grande pente du seuil est de 110° environ. Une rectification du lit telle que dessinée en tiretés rouges abaisserait sensiblement le niveau en hautes eaux à débit donné.

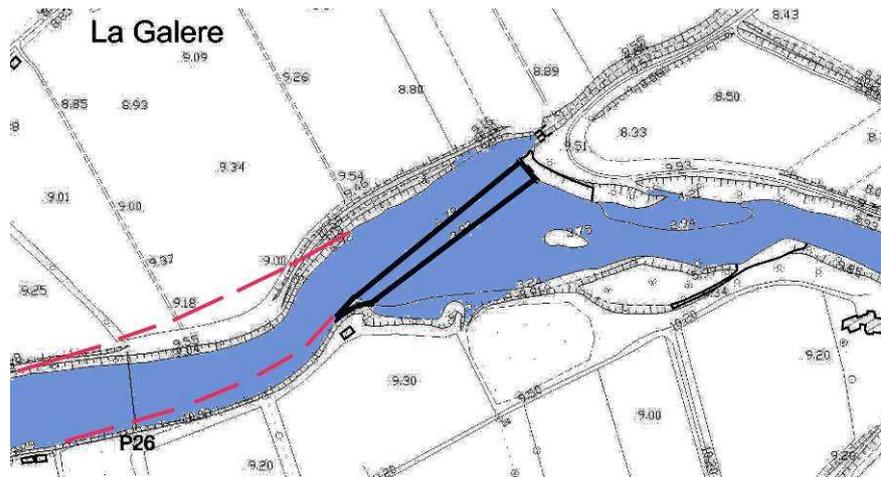


Figure 13 – Barrage du Beal : vue en plan

L'impact morphologique des seuils construits sur des rivières de pente moyenne ou faible est très fréquemment ignoré : un ouvrage tel que le seuil du Beal peut ne créer aucune perte de charge lors d'évènements extrêmes, tout en provoquant un alluvionnement du lit ordinaire dans le bief amont par suite du ralentissement des vitesses et de la perte de charge qu'il crée lors des crues moyennes. L'impact du seuil pour les crues extrêmes semble nul ou négligeable sur l'ouvrage proprement dit, mais en fait il subsiste en raison de l'alluvionnement dans le bief amont causé par les crues moyennes : c'est donc par la comparaison de la capacité propre aux différentes sections du lit ordinaire et non par le seul calcul de la perte de charge sur le seuil que doit être apprécié l'impact de l'ouvrage. Cet impact sera qualifié de morphologique, puisqu'il est afférent aux formes du lit.

On comprend alors que les études de PPRI, qui se bornent à étudier une ou deux crues de référence rares ne peuvent apprécier cet impact. Nous en ferons au § 3.3 une première approche, afin de montrer l'intérêt de la méthode dans les études des plans d'aménagement

3.2.6.3. Le seuil du Gué Romain



Phot 24 - Le barrage anti-sel vu d'aval (10/2010)

Ce barrage anti-sel, construit vers 1990, est implanté à la sortie d'un coude dans une section du lit étroite. Il comporte un seuil de 26 m de largeur à la cote 2.25 NGF et une passe à poisson de largeur 1.80 m à la cote 1.80 NGF; le niveau aval est en étiage le niveau de la mer.



Photo 25 - Seuil du Gué Romain et anse d'érosion par courant de retour consécutive à sa construction (cliché Google Earth (02/2004))

Le rétrécissement créé par le seuil a généré en rive droite aval un puissant courant de retour qui a développé une anse d'érosion spectaculaire, mais bloquée en amont par un épi de dimensions modestes (réf.13). Cette anse d'érosion s'est stabilisée peu à peu et la berge rive droite est aujourd'hui protégée par la végétation.

Mais ce phénomène révèle la permanence sur l'ouvrage d'une forte perte de charge lors de crues non débordantes : nous quantifierons cette perte de charge plus loin.

L'alluvionnement du lit amont et subséquemment la diminution de sa capacité d'écoulement sont donc inéluctables; la photo ci dessous prise en décembre 2010 permet de voir sur une berge modérément boisée l'importance des dépôts de sable apportés par les petites crues de novembre et décembre (absence de feuilles mortes recouvrant les dépôts).



Photo 26 - Dépôts de sable suite aux crues de l'automne 2010

3.3. Approche quantitative du fonctionnement hydraulique et morpho-dynamique du lit ordinaire de l'Argens

3.3.1. Les débits

Dans le tome 1 « Analyse hydrologique de la crue de juin 2010 », nous avons estimé le débit maximum de la crue de juin 2010 à Roquebrune, à partir d'un calcul de la perte de charge sous les ouvrages de l'autoroute A8; pour un résultat de calcul de 2730 m³/s, nous avons adopté une fourchette 2400-2900 m³/s ou encore 2650 m³/s ± 10%. Ce chiffre est cohérent avec les valeurs obtenues par les participants au « retour d'expérience » en amont du Muy.

En regard de ces chiffres, nous avons réévalué les débits maxima instantanés annuels de l'Argens à Roquebrune en fonction de la période de retour à partir des données de la station de jaugeage et de nos évaluations antérieures du débit des plus fortes crues :

Période de retour (ans)	2	5	10	20	30	50	100
Débit max. annuel (m³/s)	320	520	720	1000	1230	1580	2200

Ces résultats sont inférieurs à ceux considérés par les études SCP et BCEOM (réf.10-15) dans les années 1990 pour les crues jusqu'à la décennale et supérieurs au delà ; pour la crue centennale, la majoration est de 30%. Le débit de projet pris en compte en 1968 pour l'autoroute A8 était de 2000 m³/s.

3.3.2. Variations morphologiques de l'Argens

3.3.2.1. Le profil en long

Bien que souvent ignoré dans les présentations d'étude, le profil en long d'un cours d'eau est indispensable pour la compréhension des mécanismes hydrauliques et morpho-dynamiques.

Le profil en long ci après représente les données principales de la morphologie de l'Argens entre le Muy et la mer; ces données, extraites des plans et profils utilisés pour la préparation du PPRI et des relevés des laisses de la crue de juin 2010, sont les suivantes :

- Le fond du lit et les crêtes des seuils que nous avons décrits.
- Les cotes des berges, gauche et droite, extraites des plans au 1/5000, correspondent aux cotes de plaine près de la rivière et non aux diguettes très disparates élevées par l'homme et qui brouillent l'analyse morpho-dynamique. L'excroissance entre autoroute A8 et pont de Roquebrune correspond à la digue du lac de l'Arena, où la plaine n'existe plus; elle ne doit pas être prise en compte.

- Le niveau de la crue de juin 2010 est figuré, à partir des laisses les plus proches du fleuve.
- En bas du graphique, nous avons figuré la largeur du lit au niveau de l'étiage.

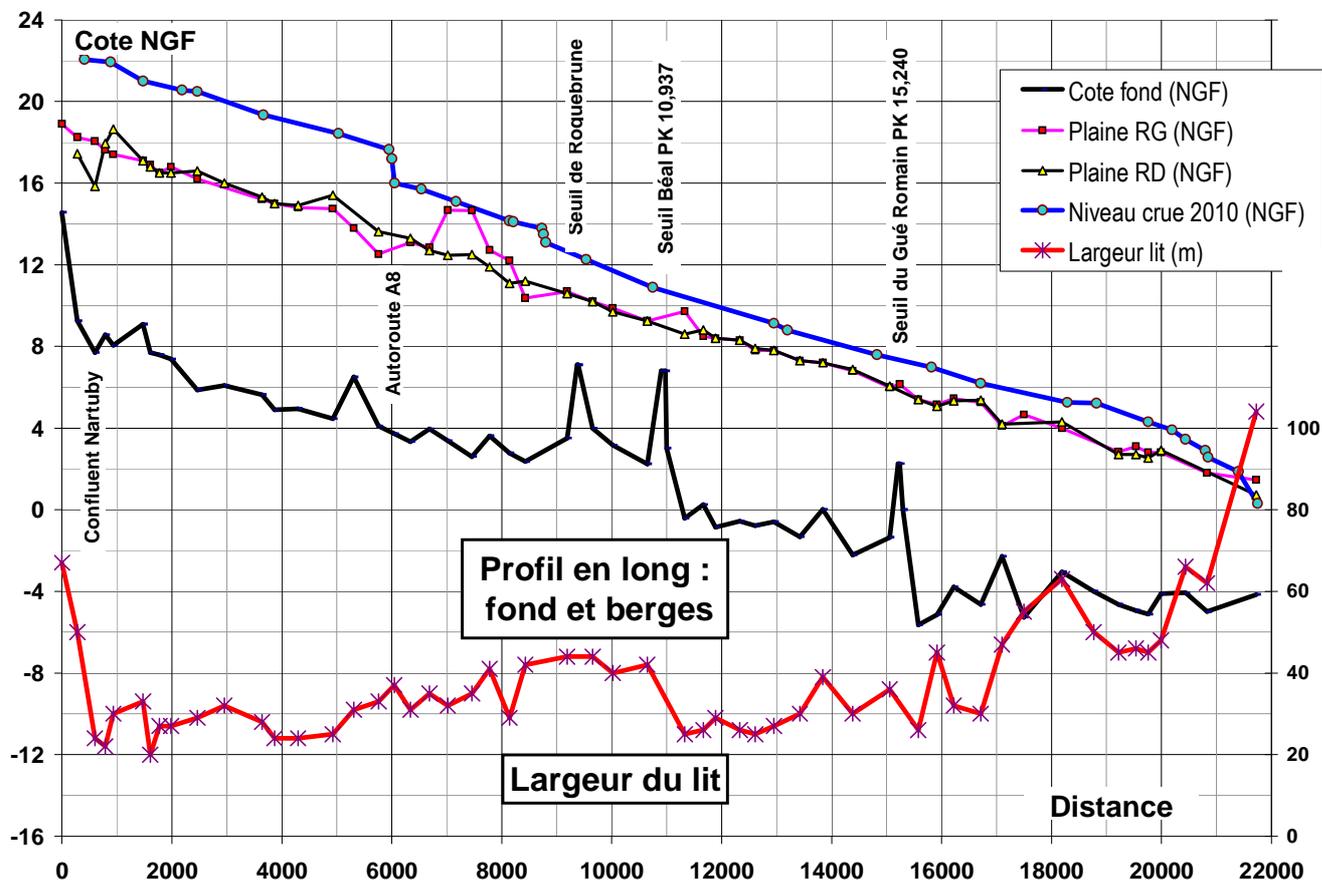


Figure 14 - profil en long de l'Argens du Muy à la mer

Nous constatons à la lecture de ce graphique que :

- Sauf au droit des gravières, où le terrain a été remanié, les lignes de berge sont identiques et régulières ; ceci est la conséquence du mécanisme du dépôt dans les plaines alluviales littorales.
- La ligne d'eau maximum de la crue de 2010 a une hauteur variable au dessus des berges. Elle est très élevée (4 m) sur le Muy et jusqu'au pont de l'autoroute A8 à Roquebrune, du fait de l'étroitesse de la plaine et du « remous » créé par le franchissement autoroutier, ce terme technique désignant ici l'effet créé par un ouvrage aval sur les niveaux de l'eau lorsque l'on remonte en amont.
- La ligne d'eau maximum de la crue de juin 2010 est moins élevée (3 m) au lac de l'Arena et au pont de Roquebrune. Sa hauteur est minimum à la limite du Puget et de Fréjus là où la plaine est la plus large (moins de 1.50 m). Elle croît à nouveau dans le rétrécissement de la plaine imposé par le canal du Reyran et la butte de Villepey. Cette analyse montre que la hauteur d'eau lors de la crue de juin 2010 ne dépend pas des caractéristiques du lit ordinaire de l'Argens. Elle ne dépend que de la morphologie de la plaine, principalement de sa largeur, mais aussi de son profil transversal et des obstacles longitudinaux (digues) ou transversaux (routes et bâti).

- Le fond du lit du fleuve est beaucoup moins régulier que la ligne des berges : d'une part, il est variable en fonction des sinuosités qui déterminent une alternance de hauts fonds (seuils) et de bas fonds (mouilles), alternance que la faible densité des profils disponibles décrit imparfaitement; d'autre part, l'altitude du fond est dépendante de la largeur du lit, ce qui est une conséquence de l'équilibre débit solide/débit liquide.

3.3.2.2. Le profil en travers

Le couple largeur-hauteur d'eau doit retenir notre attention, car c'est un indicateur de la capacité d'écoulement ; nous l'analysons d'amont en aval :

Le Muy : de la Nartuby à l'Endre

Au Muy, le lit est profond et étroit : il est fortement boisé et tend à se rétrécir par les dépôts sur la ripisylve basse.

A la limite du Muy et de Roquebrune, on observe au PK 5.3 une protubérance du fond. Cette protubérance, qui a été observée il y a plus de 10 ans, correspond à un dépôt de gravier au droit de l'entrée de la sablière de Basse Roquette. Les eaux dérivées dans la sablière par l'ouverture amont court-circuitent le méandre du lit ordinaire. Le débit dans le lit est diminué, ce qui diminue la vitesse et provoque le dépôt. Nous avons bien identifié ce dépôt lors de notre reconnaissance du terrain ; il peut accentuer le débordement vers la gravière, accentuer sa sédimentation et la faire évoluer vers un milieu humide, mais il peut aussi provoquer la dégénérescence du lit ordinaire ; une étude spécifique devra examiner ce problème.

Roquebrune : amont seuil du Beal

A partir du pont de l'autoroute et jusqu'au seuil du Beal, apparaît une tendance à l'élargissement en même temps que se relèvent les fonds et que décroît la profondeur. Les barrages du Moulin des Iscles et du Beal relèvent les niveaux, ce qui contrarie le développement de la végétation sur les parties inférieures des talus de berge et rend ceux ci plus sensibles à l'érosion : de ce fait la largeur augmente de façon à compenser la diminution de section liée aux dépôts en amont des seuils. Cet équilibre séculaire peut avoir été légèrement modifié par les extractions, mais l'influence des seuils reste prépondérante.

Puget : du Beal au Gué Romain

On objectera que le processus d'élargissement ne s'est pas produit en amont du seuil du Gué Romain. Plusieurs raisons expliquent que nous retrouvons ici le lit étroit et profond. Tout d'abord la construction du seuil est récente (1990) : le lit était étroit auparavant et l'est resté ; le boisement de l'époque, en permanence immergé après la construction du seuil, peut encore aujourd'hui contribuer à la fixation des berges. Mais surtout le seuil est étroit ; la reprise des sédiments que permettent les seuils larges aux forts débits ne peut se produire avec un seuil étroit, puisqu'à ces forts débits, le seuil continue à ralentir les vitesses. Ce ralentissement permet au contraire que s'accroisse sur les berges le processus d'alluvionnement que nous avons illustré au paragraphe 3.2.6.3.

Cette analyse illustre un théorème essentiel, quoique peu connu et peu appliqué, de la morpho-dynamique fluviale : le lit d'un cours d'eau en régime fluvial tend à adapter sa largeur aux contraintes qui lui sont imposées en aval - contraintes naturelles ou causées par des aménagements - dès lors qu'elles influencent la variation du niveau des eaux ; le lit tendra alors à adapter sa forme pour que les variations de débit soient le moins consommatrices d'énergie : c'est en quelque sorte la loi du moindre effort. La contrainte aval peut être liée à un pont, mais c'est le plus souvent un seuil qui est en cause. Le théorème devient alors : la morphologie d'un lit à l'amont d'un seuil tend à évoluer pour que la loi hauteur-débit dans le

lit se rapproche autant qu'il est possible de la loi hauteur-débit imposée par le seuil. Pour les seuils, on peut donc dire : **à seuil large, lit large; à seuil étroit, lit étroit.**

Fréjus : l'estuaire

L'estuaire qui commence en aval du seuil du Gué Romain fournit une autre application du théorème précédent. Le lit s'élargit progressivement de l'amont à l'aval, tandis que la cote du fond est quasi horizontale sur la distance de 6.5 km qui sépare le seuil de la mer. Or la condition niveau - débit qu'impose le niveau quasi constant de la Méditerranée est celle d'un seuil de largeur infinie : la contrainte imposée est ici naturelle, mais son impact morphodynamique est de nature identique à celui d'un seuil. La loi hauteur-débit va tendre à s'aplatir lorsque l'on approche de la mer. La variation de la hauteur des fonds lorsque varie le débit sera minimisée si la largeur s'accroît. Certains fleuves, comme par exemple la Loire, voient même leurs fonds remonter à l'approche de l'embouchure, tandis que s'accroît en proportion de la remontée la largeur de l'estuaire.

3.3.3. Analyse de la capacité du lit ordinaire

3.3.3.1. Objet des calculs

Ces calculs doivent donner un contenu quantifié aux analyses précédentes. Leur but est d'une part d'apprécier la capacité avant débordement, d'autre part d'apprécier l'incidence des seuils de l'Argens sur cette capacité.

Quel niveau de plein bord considérer pour déterminer la capacité ? Le niveau des berges et diguettes n'est pas significatif, car il est très irrégulier et a pu être corrigé empiriquement pour compenser une baisse de capacité. Nous avons vu que le niveau de la plaine près de la rivière est beaucoup plus régulier, car il est le résultat d'une sédimentation pluri-séculaire : c'est la meilleure représentation de la ligne d'eau de plein bord naturelle.

Deux calculs considérant cette même ligne de plein bord de référence seront réalisés :

- Le calcul de remous, c'est à dire le calcul des niveaux est effectué le long du fleuve d'aval en amont en régime permanent, c'est à dire à débit constant. Il permet de tracer les lignes d'eau dans le seul lit ordinaire à plusieurs débits, abstraction faite du débordement. On en déduit la capacité d'écoulement à chaque profil par interpolation entre les lignes d'eau de deux débits encadrant la ligne de plein bord de référence. Il caractérise donc l'état actuel. Ce calcul donne donc la capacité à chaque profil en travers pour la ligne de plein bord de référence, mais ne permet pas d'analyser l'influence des seuils sur la morphologie du lit, puisque nous ne pouvons isoler les paramètres.
- Le deuxième calcul considère que la ligne d'eau est la ligne de plein bord de référence.. Pour cette ligne d'eau et la pente d'écoulement qui la définit, il calcule la le débit capable de l'écoulement uniforme dans chaque section considérée isolément ; nous désignerons ce débit capable par le terme de « capacité intrinsèque » de la section. En d'autres termes, la capacité intrinsèque est la capacité d'écoulement de chaque section considérée isolément pour le niveau de plein bord et pour la pente de la rivière à plein bord.

Les variations de la capacité intrinsèque ne dépendent donc que des variations de la géométrie de la section. Dans une rivière non influencée par des seuils, cette géométrie moyenne et la pente longitudinale évoluent peu, car le maintien de ces caractéristiques est la condition de la continuité sédimentaire, c'est dire de l'absence

d'érosions ou de dépôts tout au long de son cours ; dans une rivière influencée par des singularités telles que les seuils et les ponts, ces singularités modifient les niveaux et vitesses, ce qui provoquera des modifications du transport et donc des dépôts jusqu'à ce que soit rétablie la continuité de ce transport. La modification de la géométrie et donc de la capacité « intrinsèque » au niveau de plein bord de la plaine est donc un indice de l'effet des perturbations induites par les singularités, à la condition que la référence originelle, c'est à dire la cote de plein bord, ait été correctement définie.

3.3.3.2. Hypothèses de calcul

Le calcul est basé sur des coefficients de rugosité adaptés à l'importance du périmètre des berges dans le périmètre mouillé en hautes eaux, mais suppose qu'aucun embâcle ne vient obstruer les sections.

Les coefficients de Strickler admis sont alors :

- Du Muy au lac de Basse Roquette (PK 7.02) K = 22
- Du lac de Basse Roquette au barrage du Beal (PK 10.90) : K = 24
- Du barrage du Beal au barrage du Gué Romain (PK 15.20) K = 22
- Du barrage du Gué Romain au pont de Fer (PK 18.77) K = 24
- Du Pont de Fer à la mer K = 26 à 30

La valeur aval est variable en fonction du débit : le coefficient 26 correspond à la possible présence de dunes. Le coefficient 30 correspond à l'effacement partiel de celles ci lors des écoulements exceptionnels.

La ligne de plein bord de référence est lissée suivant les cotes de plaine rive gauche et rive droite les plus proches de l'Argens. Il est remarquable de constater que cette ligne peut être représentée par deux droites entre le Muy et la mer avec les équations suivantes :

- En amont du PK 10 : $Y = 17.8 - J(x-0.5)$ $J = 0.842 \text{ m/km}$
- En aval du PK 10 : $Y = 9.8 - J(x-10)$ $J = 0.732 \text{ m/km}$

3.3.3.3. Résultats du calcul des lignes d'eau

Les graphiques ci après représentent les lignes d'eau calculées aux débits de 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700 m³/s, ainsi que la cote des fonds et des seuils, la ligne d'eau de la crue de juin 2010 et la cote de plaine lissée qui est la ligne de référence.

Les lignes d'eau s'élevant au dessus de la ligne de référence de la cote de plaine sont évidemment théoriques : elles correspondent au niveau qui serait atteint si des digues contenaient les eaux dans le lit. Rappelons que les capacités calculées correspondent à un lit débarrassé de ses embâcles, ce qui reste à faire ou à améliorer en de nombreux points, notamment au Muy.

Les plus faibles capacités sont notées :

- o En amont du Muy, ce qui explique sans les justifier les endiguements mis en place autour du confluent avec la Nartuby.
- o A l'amont de chacun des trois barrages : avec un débordement atteint à 350 m³/s, la plus faible capacité est observée en amont du barrage du Moulin des Iscles ou seuil de Roquebrune, soit environ 350 m³/s. Notons que la définition de la géométrie de cet

ouvrage est peu précise. Mais c'est aussi en amont de cet ouvrage que le calage de notre calcul est le plus sûr : les niveaux calculés au pont de Roquebrune suivent les points de jaugeage de la station DREAL de Roquebrune, comme on peut le voir sur le graphique suivant .

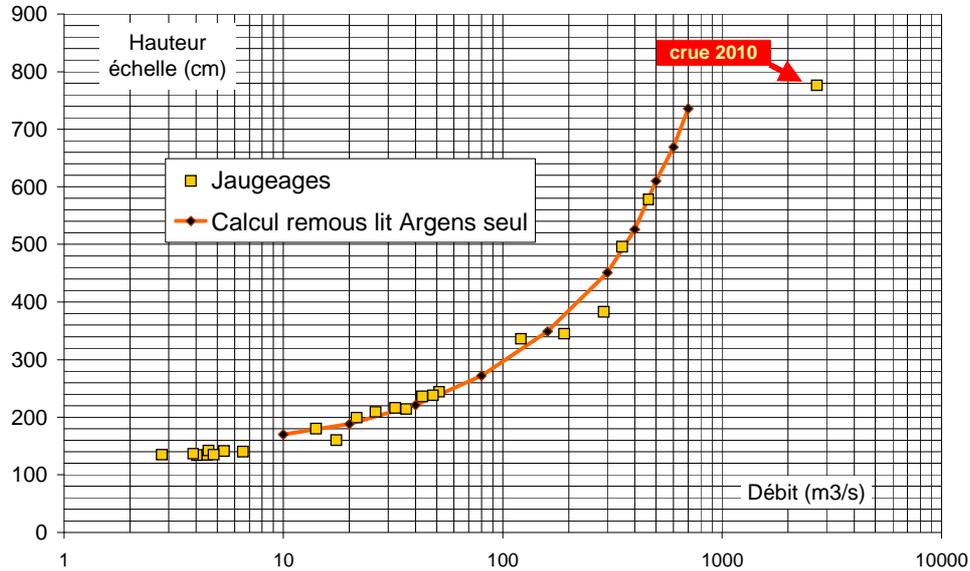


Figure 15 – comparaison calcul jaugeages au pont de Roquebrune

- L'Argens en amont du barrage du Gué Romain a une capacité légèrement inférieure à 400 m³/s ; c'est ce barrage qui détermine la plus forte chute à tous les débits : c'est donc l'ouvrage pour lequel un aménagement produira l'amélioration de la capacité la plus tangible.

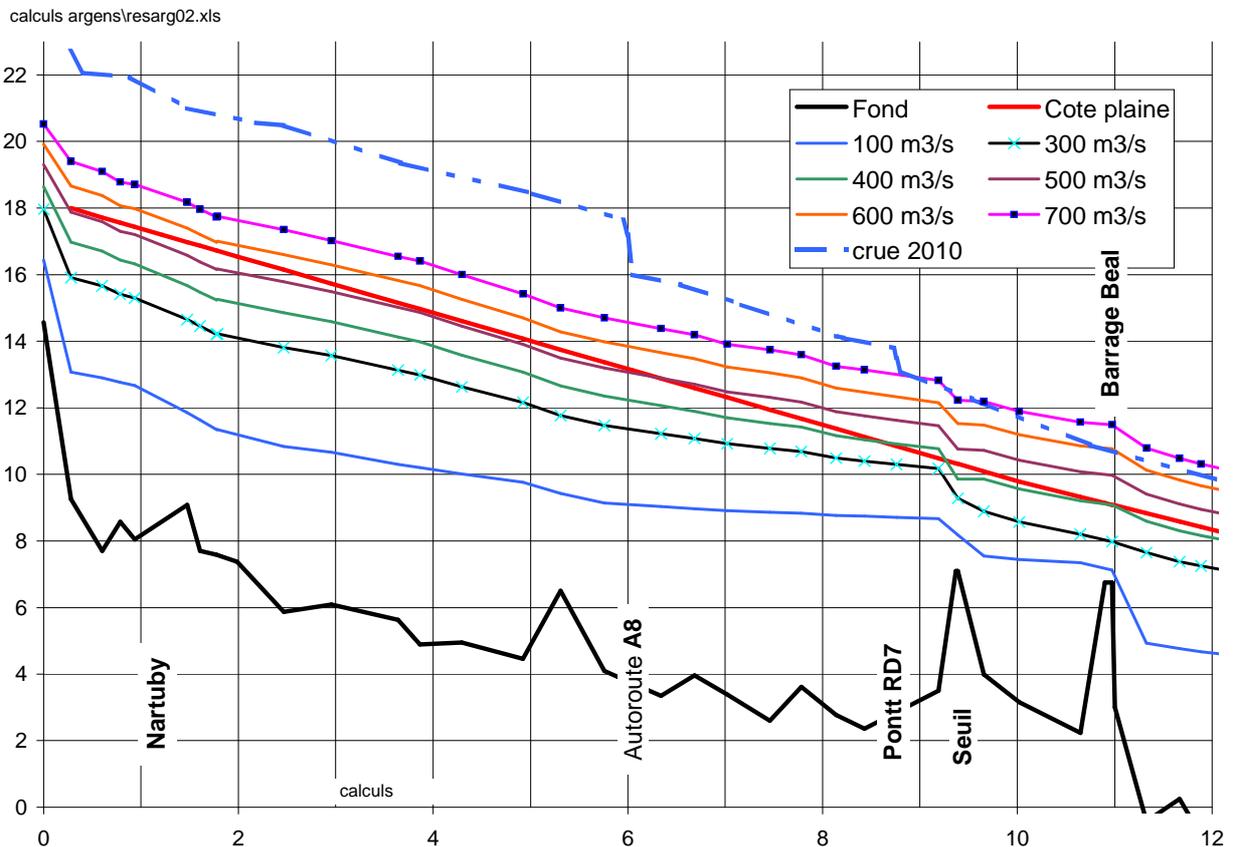


Figure 16 - Lignes d'eau calculées de l'Argens : du Muy au barrage du Beal

Hors des zones d'influence des barrages, la capacité est meilleure :

- 500 m³/s entre le Muy et l'autoroute A8, abstraction faite des embâcles.
- 600 m³/s en aval du Gué Romain et jusqu'à la mer.

Le calcul des lignes d'eau confirme donc que les barrages de la basse vallée sont une cause majeure de la faible capacité de l'Argens; mais l'expérience nous apprend que leur modification peut ne pas apporter les améliorations escomptées, si la capacité intrinsèque, c'est à dire propre à la géométrie des sections, ne le permet pas.

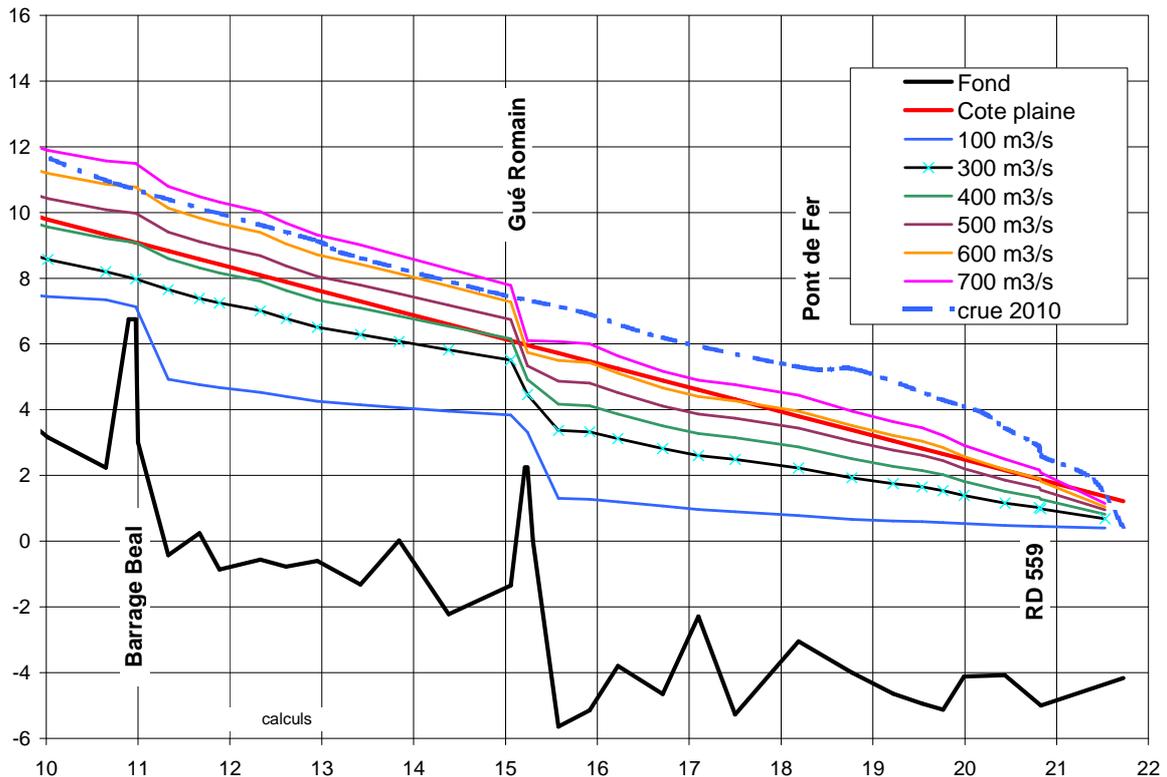


Figure 17 - Lignes d'eau calculées de l'Argens : du barrage du Beal à la mer

3.3.3.4. Calcul de la capacité intrinsèque du lit de l'Argens

La 2ème approche calcule la capacité intrinsèque suivant la définition que nous en avons donnée au § 3.3.3.1 et avec les hypothèses énoncées au § 3.3.3.2. Nous résumons les résultats de ce calcul en donnant les capacités moyennes de tronçons homogènes d'amont en aval :

Profils	Limites PK	Localisation	Capacités intrinsèques		
			Mini	Moyenne	Maxi
1 à 7	0.6 à 1.8	Zone urbaine du Muy	425	490	525
8 à 14	2.5 à 5.5	Roquette- Vérignas – Endre	480	550	700
15 à 23	5.7 à 9.3	A8 - seuil du Moulin des Iscles	500	625	700
24 à 26	9.5 à 10.8	Seuil du Moulin des Iscles à Beal	440	470	510

27 à 36	11.0 à 15.2	Seuil du Beal à Gué Romain	360	450	575
38 à 44	15.9 à 18.7	Seuil du Gué Romain à Pont de Fer	570	650	700
44 à 50	19.2 à 21.6	Pont de Fer à la mer	460	600	670

Observations

- Le tronçon de moindre capacité est le bief amont du seuil du Gué Romain : si le calcul des lignes d'eau qui précède montre que la modification ou la suppression du seuil est impérative, l'analyse des profils en travers prouve que leur capacité était en 1999 (date des levés) en train de s'adapter à la loi aval du seuil construit 10 ans auparavant.

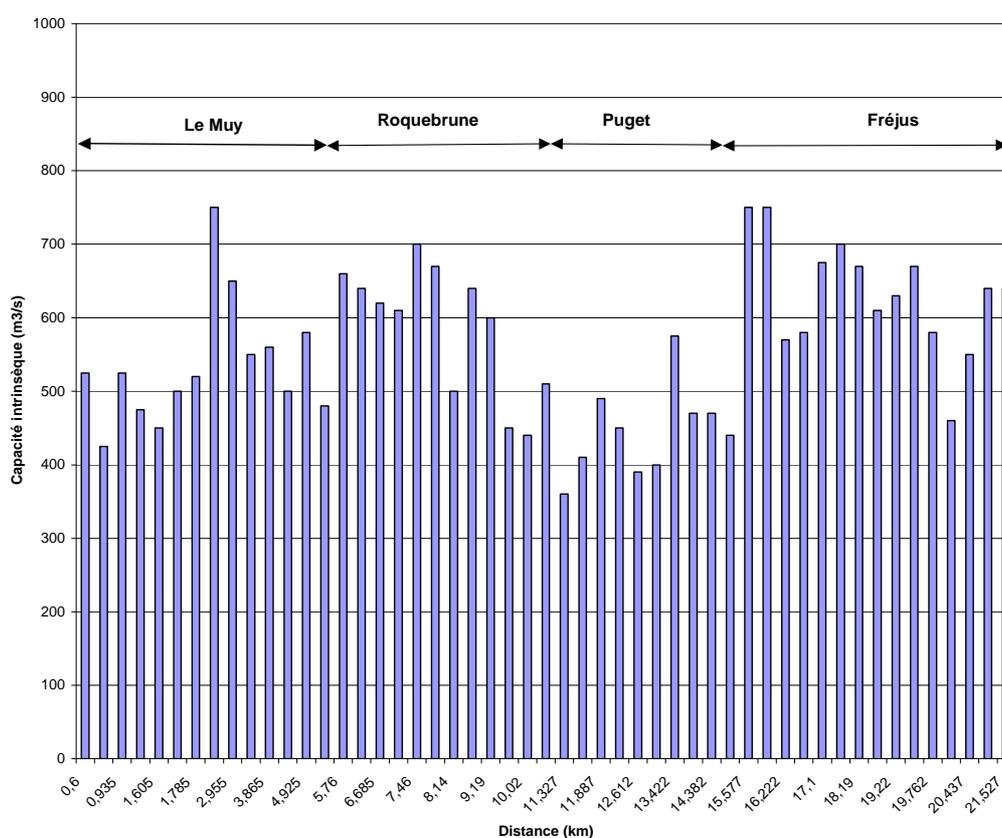


Figure 18 : capacité intrinsèque des profils en travers de l'Argens

Déjà très faible à cette date, la capacité intrinsèque s'est probablement réduite au cours des 12 dernières années. Un curage devra donc accompagner la transformation du seuil. La faible largeur actuelle fera préférer un élargissement du lit à son approfondissement.

- La capacité des sections du bief amont du seuil du Beal n'est guère meilleure. La largeur du lit est plus satisfaisante, mais les fonds sont très hauts : cette géométrie montre que cet ouvrage séculaire a permis d'obtenir un équilibre morphologique, mais celui-ci n'est pas satisfaisant en ce qui concerne la capacité d'écoulement.

Toutefois on doit observer que l'abaissement du niveau en aval du seuil à la suite du curage préconisé ci-dessus peut abaisser sensiblement le niveau à débit donné. Si cette amélioration suffit, au moins dans un premier temps, le seuil pourra être laissé en l'état, non sans avoir vérifié que l'abaissement aval ne risque pas de le dégrader, comme ce fut le cas en 1976-1977.

La construction d'un vannage automatique d'appoint en rive droite peut limiter le risque d'affouillement, en se substituant en partie à la rectification du tracé à l'amont du seuil envisagée au § 3.2.6.2.

- Si le seuil du Moulin des Iscles donne au fleuve sa plus faible capacité, la capacité intrinsèque des sections amont du seuil était en 1999 satisfaisante ; cette situation ne peut s'expliquer que par l'effet persistant mais probablement décroissant des extractions à la date du levé. Si l'alluvionnement a été faible depuis 1999, la suppression du barrage du Moulin des Iscles apportera une amélioration immédiate en amont, que les actions envisagées en aval viendront ensuite consolider.

3.3.4. Possibilité d'amélioration de la protection des terres agricoles

L'analyse de la capacité du lit de l'Argens montre que les trois seuils de la basse vallée réduisent la capacité, mais cette nuisance doit être nuancée pour chaque ouvrage :

- Le seuil du Beal n'a pas d'influence directe sur la capacité, mais a pu favoriser la sédimentation du lit à son amont. L'amélioration des écoulements à son aval peut réduire cet impact. En conséquence, sa transformation n'est pas urgente; elle ne pourrait être envisagée qu'après avoir constaté les effets des autres actions. On notera que cet ouvrage permet de maintenir sous eau le fond et une partie des berges et donc participe à l'entretien.
- Le seuil du Moulin des Iscles n'assure qu'un faible relèvement des niveaux en étiage; il n'a plus d'autre fonction (il avait été restauré pour maintenir le profil en long de l'Argens). Or il crée une perte de charge appréciable en hautes eaux à tous les débits qui réduit la capacité d'écoulement au pont de Roquebrune, point névralgique pour les débordements dans la basse plaine. Il n'a donc que des inconvénients et doit être supprimé.
- Le seuil du Gué Romain a un fort impact à la fois sur les niveaux à tous débits et sur l'alluvionnement du bief étroit qu'il contrôle. Nous ne sommes pas cependant partisan de sa suppression, en raison de son incidence positive sur la rugosité des berges. Par ailleurs, la suppression totale de son effet anti-sel peut poser problème. Il nous semble donc préférable de l'élargir, tout en abaissant un peu la section élargie : cette action sera définie au § 3.4.3.

Les mesures suivantes devraient compléter l'aménagement des seuils pour permettre d'atteindre une capacité correspondant à peu près à la crue décennale en aval du pont de Roquebrune et jusqu'à la mer :

- Entretien de la ripisylve régulier et sélectif à partir de chemins de service calés un peu au dessus de la cote de référence de la plaine que nous avons définie.
- Elargissement du lit : cet élargissement concernera principalement le bief entre Beal et Gué Romain ; il sera obtenu soit par auto-curage des bancs préalablement dénudés et scarifiés, soit par élargissement des sections les plus étroites et donc sur une partie seulement de la longueur.
- Déversoirs de crue assurant un déversement sans dommage pour les crues supérieures à la crue décennale.

Si nous avons limité l'analyse du mécanisme des écoulements à la seule crue de juin 2010, les conclusions ci dessus n'auraient pas pu être approchées; l'analyse des actions urgentes aurait fait abstraction des problèmes que pose la capacité du lit de

la rivière et donc la fréquence des débordements. Les solutions permettant d'accroître la capacité n'auraient pu être esquissées.

C'est en tenant compte de ces solutions que nous aborderons maintenant l'analyse du mécanisme de la crue de juin 2010 et la définition des actions capables de limiter l'inondation et les dommages qu'elle a provoqués.

3.4. La crue de juin 2010 : analyse et définition des actions urgentes

Les niveaux extrêmement élevés observés dans la basse plaine de l'Argens dans la nuit du 15 au 16 juin 2010 sont avant tout liés à la puissance de la crue de l'Argens dont la période de retour est ici de l'ordre de 200 ans par suite du cumul des apports des affluents en aval de Carcès et de la Nartuby. Il est évidemment impossible de s'en protéger complètement dans l'avenir. Mais l'évènement est porteur d'enseignements, en ce sens qu'il révèle des dysfonctionnements provoquant des dommages et des nuisances pour des crues plus faibles.

3.4.1. Commune du Muy

3.4.1.1. Analyse du mécanisme des écoulements

Cette analyse est en partie commune avec celle effectuée sur la Nartuby au Muy dans le tome 2 du rapport.

Le lit ordinaire

La première cause des inondations est la faible capacité de l'Argens. Nous avons décrit précédemment l'évolution du lit dans la plaine entre Nartuby et Endre : la diminution de la mobilité et l'accroissement de la densité végétale rétrécissent le lit et réduisent sa capacité d'écoulement.

La photo aérienne de 1951 révèle un état du lit intéressant au droit du Muy dans la boucle du Rabinon : tant sur la Nartuby que sur l'Argens, les rives sont peu végétalisées et d'ailleurs localement érodées. Il est possible que cet état du lit s'explique par les coupes de bois de chauffage, accentuées pendant la 2^{ème} guerre mondiale et poursuivies ensuite jusqu'à ce que cesse la pénurie en carburants fossiles vers 1950.



1951 - Prairies et bois clairsemés sur la rive droite à l'intérieur

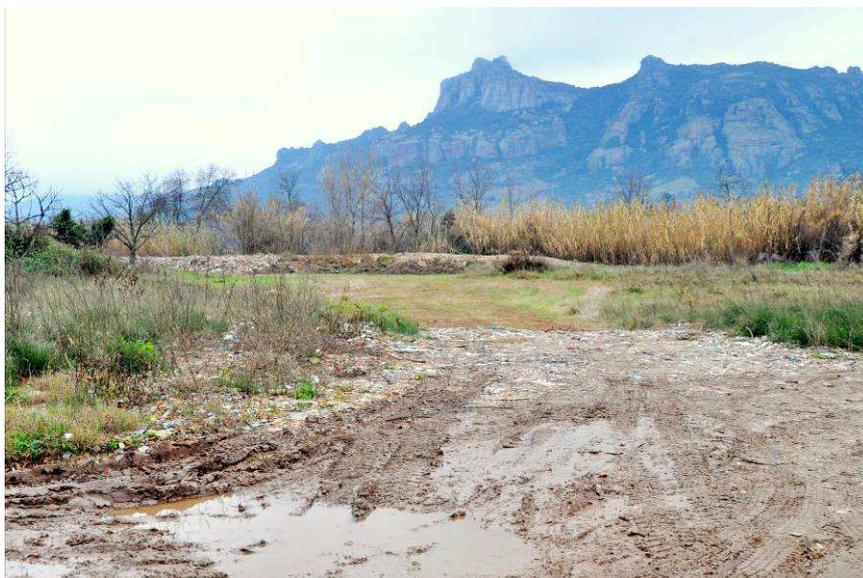
Cette situation suggère la possibilité d'un traitement de la végétation certes moins drastique qu'en 1951, mais suffisant pour accroître la capacité hydraulique, contrarier l'alluvionnement des berges et même provoquer des élargissements du lit, serait-ce au prix d'érosions modérées.

Dans la boucle du Rabinon, la rive convexe se prolongeait en 1951 par une prairie arborée développée sur d'anciens bancs. Ces atterrissements sont aujourd'hui remplacés par des terrains très élevés provenant des matériaux de découverte déposés lors de l'exploitation de la sablière. Si elle n'est plus envisageable dans la boucle du Rabinon, cette prairie arborée serait en aval du Muy une alternative à la ripisylve dense que nous avons décrite, mais elle implique une modification des usages sur ces terrains qui fait appel à d'autres compétences.

Le lit majeur en aval du Muy

La deuxième cause du niveau élevé de la crue est la topographie de la plaine; celle-ci a été rétrécie depuis très longtemps par la voie ferrée, puis par l'autoroute A8 et enfin par les remblais et le bâti autour de l'ex RN7. L'impact de chacune de ces emprises est modeste, mais leur cumul a pu conduire à une majoration du niveau des fortes crues de plusieurs décimètres dans la plaine en aval du Muy.

La gravité des impacts doit interdire aujourd'hui tout nouveau remblaiement; les édiles du Muy nous ont montré (photo ci-dessous) un remblaiement « clandestin » en cours en aval du Vérignas. Cette pratique, qui témoigne de l'incivilité des propriétaires riverains, doit dans la plaine du Muy plus qu'ailleurs être combattue.



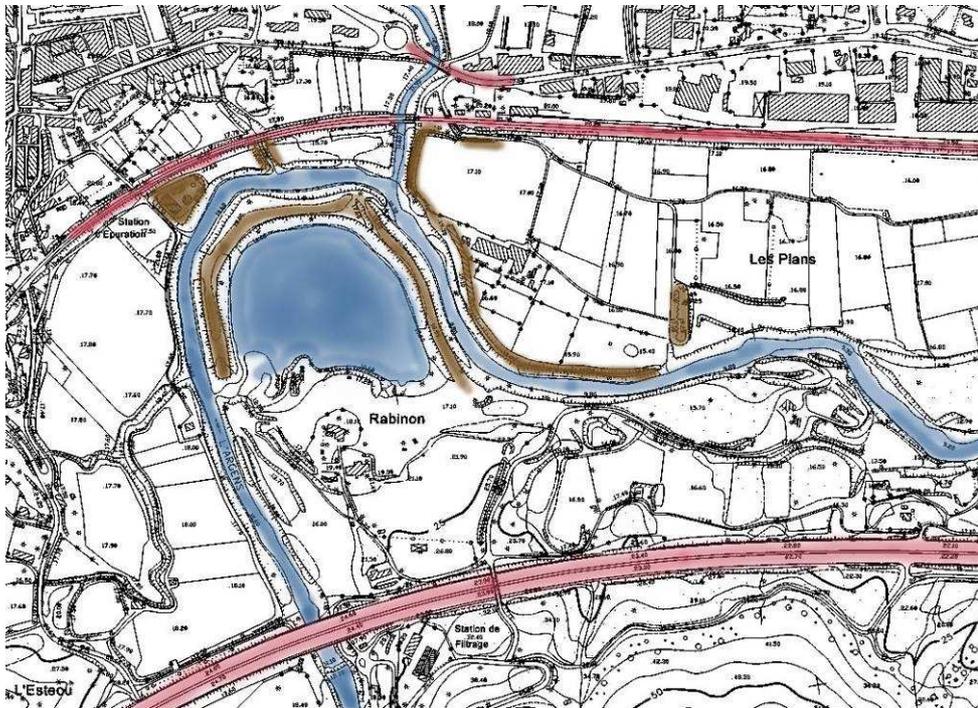
2010 – Remblais sauvages en cours en aval du Vérignas

L'état de surface de la plaine s'est peu modifié au cours des 50 dernières années, avec toutefois une légère tendance au boisement qui doit nous préoccuper. La modification ou l'abandon des pratiques culturales peut en effet avoir un impact catastrophique sur les niveaux au Muy: le retour des terrains à la forêt après mise en friche pourrait surélever de 2 m ou plus le niveau d'une crue égale en débit à la crue de 2010.

L'état de surface optimum du lit majeur pour l'écoulement des crues est la prairie. De ce point de vue, il serait regrettable que les haras et centres équestres désertent la

vallée, car ils contribuent à maintenir le meilleur état de surface possible en regard du risque « inondation ».

Les obstacles à l'écoulement des crues débordantes



Localisation des obstacles à l'écoulement des crues débordantes

Ces obstacles à l'écoulement concernent autant la Nartuby déjà étudiée que l'Argens :

Sur l'Argens :

- Digue ceinturant le lac du Rabinon : sa hauteur est supérieure à celle du terrain naturel avant creusement de la sablière.
- Digue rive gauche du centre équestre : elle relève les niveaux dans l'Argens et dans la Nartuby et favorise la sédimentation de leur lit autour du confluent.
- Remblais de la station d'épuration et de la déchetterie.
- Remous du remblai de l'autoroute A8 (voir § 3.4.2).

Sur la Nartuby :

- Remblai de la voie ferrée.
- Remblai de l'ex-RN7.
- Bâtiments en bordure de ces voies contrariant le déversement des eaux de la Nartuby dans la plaine de l'Argens.
- Débouché trop faible des ouvrages sous l'ex RN7 et la voie ferrée. Le passage inférieur sous la voie ferrée ne peut jouer correctement le rôle d'un ouvrage de décharge en raison des obstacles à l'écoulement en amont et en aval.

La section du pont de l'ex-RN7 est très insuffisante : 55 m² au total, soit 42 m² seulement utiles, si l'on prend en compte le biais de l'ouvrage et la contraction sur la voûte en charge.

Pour les moyennes et fortes crues de la Nartuby, jusqu'à la crue centennale, ce n'est pas le niveau dans la plaine de l'Argens qui sera la cause des débordements en amont de l'ex-RN7. Ceux ci seront dus à l'addition des causes suivantes :

- section insuffisante du pont de la RN7.
- mauvaise alimentation de l'ouvrage routier sous la voie ferrée.
- relèvement du niveau au confluent provoqué par la digue du Centre Equestre.
- rugosité excessive des berges de la Nartuby insuffisamment éclaircies entre l'ex RN7 et le confluent.

En conclusion, si en juin 2010 c'est avant tout le niveau dans l'Argens qui est en cause dans les débordements de la Nartuby, il n'en va pas de même pour les crues moins exceptionnelles ; pour ces crues c'est à la fois l'abaissement du niveau au confluent et l'augmentation de la capacité d'écoulement entre le confluent et la RN7 qui permettront un abaissement significatif du niveau au centre ville. On rappellera que la modeste crue de 1996 a provoqué une inondation en amont de la route. C'est pour cette sorte d'événement que la diminution de la perte de charge sous les deux voies est essentielle.

3.4.1.2. Définition des actions

La Nartuby

Plusieurs interventions de difficulté croissante peuvent améliorer l'écoulement :

1. Nettoyage du lit de la Nartuby par débroussaillage et éclaircissement de la végétation de pied de berge entre la route et le confluent, puis entretien semi-annuel.
2. Ouverture de la digue séparant la Nartuby et la route d'accès à la déchetterie et abaissement du mur à l'aval du passage inférieur sous la voie ferrée.
3. Réouverture de l'ouvrage de décharge identifié en rive gauche du pont routier (ex-RN7), si les archives et la reconnaissance de l'ouvrage montrent que cette remise en service est possible et efficace.
4. Si les actions précédentes s'avèrent insuffisantes ou impossibles, il faudra recourir à l'augmentation de la section du pont sous la route. Il y aura alors plusieurs possibilités :
 - Amincir le tablier pour accroître la section en crue sans risquer de colmatage en eaux ordinaires.
 - Elargir l'ouvrage, l'expérience du CD 25 au Moulin des Serres montrant toutefois les limites de cette solution.

Les trois premières actions n'interagissent pas avec les solutions qui seront retenues sur l'Argens. Nous proposons donc de les mettre en œuvre en 1^{ère} urgence.

La modification du pont routier est liée aux choix d'aménagement et de gestion qui seront faits sur l'Argens aval ; elle peut également dépendre de contraintes autres qu'hydrauliques. Nous proposons donc de la reporter en 2^{ème} urgence.

Le PPRI va très certainement placer en zone non constructible les terrains bordant la route et la voie. Il serait souhaitable de veiller à maintenir ou à créer comme à Draguignan des couloirs libres d'obstacles pour améliorer la transparence pour les crues exceptionnelles.

Toute surélévation dans l'avenir des voies, routière ou ferrée, devra être compensée par un accroissement équivalent des ouvrages de décharge, si la réalisation de ces ouvrages est encore possible.

Sur la route, les glissières en béton armé devront être exclues ou remplacées par des dispositifs plus transparents à l'écoulement.

L'Argens

Les actions envisageables sur l'Argens sont :

1. Arasement des digues de la boucle du Rabinon à une cote supprimant toute surélévation au Muy pour les crues dommageables.
2. Rétablissement d'un écoulement sur les bancs anciens en cours d'alluvionnement par réalisation d'un essartement sélectif.
3. Amélioration du fonctionnement des ouvrages de l'autoroute A8 au Muy et à Roquebrune (cf. § 3.4.2).
4. Etat de surface de la plaine et de la ripisylve limitant ou diminuant les obstacles à l'écoulement.
5. Elargissement des sections du lit exagérément rétrécies.

Seules les deux premières actions sont proposées en 1^{ère} urgence et doivent être mises en œuvre simultanément. La troisième concerne le gestionnaire de l'autoroute A8 et doit être entreprise sans délai. Les deux dernières s'inscrivent dans le plan global de restauration du lit de l'Argens dans la basse vallée.

Le contenu des deux actions prioritaires serait le suivant :

Abaissement de la digue du Rabinon

L'abaissement est conçu pour rétablir les écoulements débordants antérieurs au creusement de la sablière.

La section d'entrée de la digue dans le plan d'eau sera calée à la cote de la rive gauche, soit 17.60 NGF sur une longueur de 150 m à l'entrée amont de la boucle. La brèche pourra être fermée, mais il faudra alors prévoir une buse de diamètre 2 m à 2.5 m. Cette buse doit permettre de remplir à la montée d'une crue le plan d'eau avant que la surverse sur la digue se produise.

La section de sortie sera calée à la cote 17.40 NGF sur une longueur déversante de 150 m entre le bord du coteau et la digue actuelle. Le reste de la digue ne sera pas, au moins dans un premier temps modifié, mais un essartement sélectif des berges sera effectué sur les deux rives sur toute la longueur de la boucle.

Abaissement de la digue du Centre Equestre et restauration des écoulements sur les bancs dans le lit en aval

Le but est de supprimer tout obstacle à l'écoulement des crues débordantes en rive gauche de l'Argens en aval du confluent de la Nartuby et jusqu'à la déchetterie, afin d'abaisser au maximum les niveaux dans la traversée du Muy pour toutes les crues non exceptionnelles de la Nartuby.

La digue du Centre Equestre serait alors abaissée comme suit :

- Abaissement sur 100 m à la cote 17.6 NGF de part et d'autre du confluent.
- Maintien à la cote actuelle devant les habitations et écuries sur 150 m environ.
- Abaissement sur 500 mètres à la pente de 1/1000, soit 17.20 NGF en amont et 16.70 en aval.

La restauration du lit en aval a deux buts :

- Compenser l'effet de l'abaissement de la digue du Centre Equestre en abaissant le niveau des petites crues dans le lit ordinaire en aval du confluent.
- Abaisser le niveau des fortes crues au Muy grâce à l'accroissement de la capacité en aval.

Pour accroître la capacité, les berges et la ripisylve feront l'objet d'un essartement sélectif associé à un débroussaillage énergique et renouvelé. Cet essartement sera réalisé sur les bancs en cours d'alluvionnement sur une largeur de 100 m jusqu'au Vérignas. Nous conseillons la réalisation d'un levé topographique de terrain au 1/1000 sur la distance de 2000 m en aval du confluent et 200 m de largeur, avec une quinzaine de profils en travers du lit mouillé.

Cette solution permet d'envisager le maintien du Centre Equestre au moins provisoirement à son emplacement actuel, ce qui est aussi un moyen de conserver un état de surface favorable à l'écoulement.

Un dispositif de sécurité sera mis en place; pour notre part, nous suggérerions l'édification d'un tertre à proximité des bâtiments, élevé à la cote 22.0 NGF, soit à environ 1 m au dessus de la crue de juin 2010.

Un dossier « Loi sur l'eau » devra présenter conjointement les trois actions sur la Nartuby et les deux actions sur l'Argens et devra analyser leur impact sur les niveaux, dans l'Argens, dans la plaine et de part et d'autre de l'ex RN7, ainsi que l'effet de différentes combinaisons de ces actions.

Si ce dossier montre que la capacité du lit de l'Argens n'est pas suffisante au confluent et qu'il en résulte un débordement trop fréquent, il faudra élargir le lit et essarter les berges le long du centre Equestre sur 750 m en aval du confluent.

3.4.2. Commune de Roquebrune jusqu'au barrage du Beal

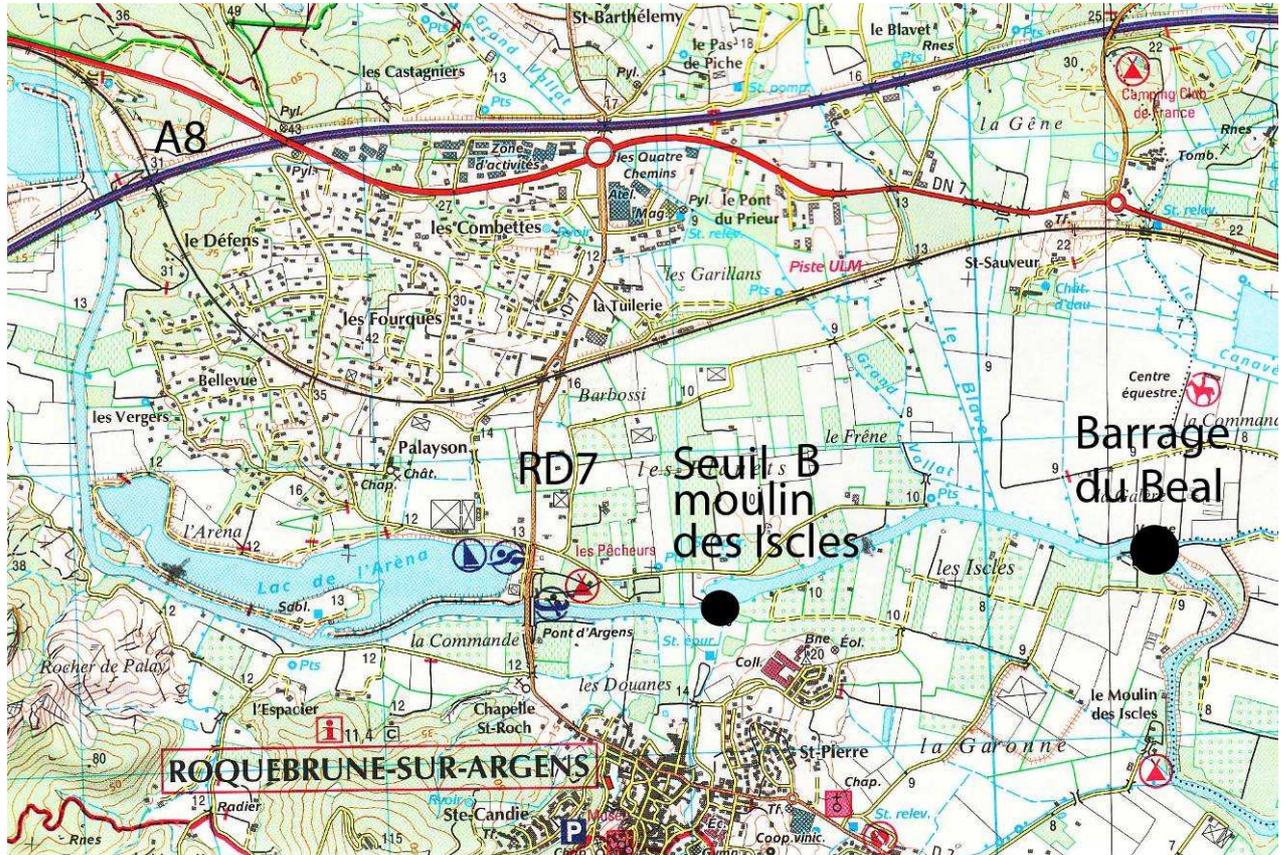


Figure 19 - Plan de situation – échelle : 1/25 000 environ

3.4.2.1 Analyse du mécanisme des écoulements

Le lac de la Roquette (Basse-Roquet)

Il est encadré à l'ouest par la butte de la Roquette, près de laquelle semblent avoir été déposées des terres de découverte rétrécissant le lit majeur, par l'Argens au nord et à l'est et au sud par l'autoroute. Comme le lac du Rabinon, il est ouvert sur l'amont, ce qui a provoqué le dépôt de gravier dans le lit que nous avons signalé en présentant le profil en long.

Ce dépôt présente deux inconvénients symétriques :

- Il favorise l'accumulation des sédiments fins dans le lit amont et diminue la capacité.
- Il accentue le débordement dans la gravière et diminue le débit dans le lit alors court-circuité, provoquant son atrophie.

Le curage du dépôt dans le lit devra être effectué : les matériaux seront déposés dans la brèche et sur le merlon de séparation de la gravière et de l'Argens, à une cote au plus égale à la ligne de référence du plein bord définie au paragraphe 3.3.3.1.

Cette action n'a pas de caractère d'urgence.

Franchissement de l'autoroute A8

Le franchissement de la vallée de l'Argens par l'autoroute A8 est assuré sur le lit ordinaire par un pont classique à 3 travées noyées dans les remblais et sur le lit majeur par 3 cadres de

2 travées de 5 m. Nous avons étudié ces ouvrages en 1968 et la réalisation est à peu près conforme aux dimensions que nous avons déterminées :

- La section utile de l'ouvrage principal est un peu plus étroite.
- La sous poutre de deux ponts cadres est un peu moins haute.



Photo 27 - Autoroute A8 – pont principal sur l'Argens (08/2010)



Photo 28 - Autoroute A8 – pont cadre 2x5m (08/2010)

En relisant le rapport d'étude (réf.5), on voit qu'un remous théorique de 0.60 m a été jugé admissible à l'amont immédiat de l'ouvrage, pour un débit centennal de 2000 m³/s.

Nous avons estimé le débit de la crue de juin 2010 à 2730 m³/s. Les niveaux suivants ont été constatés à proximité de l'ouvrage :

En amont rive droite : 17.67 à 17.98 NGF, cette dernière cote pouvant correspondre à des oscillations de niveau à la mise en charge.

En aval rive droite : 15.84 NGF.

En aval du pont principal : 16.00 NGF.

En amont du pont principal à 60 m : 17.20 NGF.

Si nous admettons qu'avec ce type de situation le remous est proportionnel au carré du débit, ce remous aurait dû être de 1.12 m alors qu'il a été de 1.67 m. Il est très supérieur à celui que l'on admettrait aujourd'hui pour un ouvrage neuf dans des conditions semblables. En extrapolant les calculs de l'époque au débit de juin 2010, nous trouvons que l'autoroute A8 a pu créer un remous de 0.17 m au confluent de la Nartuby ; ce remous n'est pas négligeable et nous devons chercher à le limiter.

En reprenant la lecture de notre rapport, nous trouvons la consigne concernant les abords de l'ouvrage ainsi énoncée : « *Le terrain naturel est décapé à la cote 13 NGF, mis en prairie et entretenu sur chaque rive sur une largeur de 25 m, 60 m en amont et 150 m en aval de l'ouvrage. Cette superficie sera mise en prairie et entretenue en même temps que les talus des remblais.* »

Cette consigne a été élaborée à la suite d'essais sur modèle de cet ouvrage et de l'ouvrage du Muy effectués à Sogreah en 1968 : la photo ci dessous montre qu'elle n'a pas été ou n'est plus appliquée.



Photo 29 – Autoroute A8 Roquebrune : dépôts de sable montrant les lignes de courant à l'aval des quatre ouvrages hydrauliques lors de la crue de la semaine précédente (Google Earth 22- 06-2010)

Nous pensons que sa mise en oeuvre qui incombe normalement au gestionnaire de l'ouvrage permettra d'effacer l'écart entre le remous prévisible et le remous observé. Elle suppose que les terrains soient au préalable acquis par le concessionnaire, si ce n'est déjà fait.

Nous avons d'autre part observé que des riverains ont disposé en aval des ponts cadres un seuil en gabions faisant obstacle au bon écoulement, pour les crues moyennes débordantes. L'incidence sur la crue de juin 2010 a été faible ou nulle, les gabions ayant été largement surmontés. ESCOTA ne semble pas avoir été informé de ce dysfonctionnement. L'enlèvement de ces gabions, qui portent atteinte à la transparence de l'ouvrage pour les crues moyennes, est indispensable, là aussi en acquérant les terrains susceptibles d'être érodés en aval et en les transformant en prairies.

Les actions ci dessus sont de première urgence, mais leur mise en œuvre incombe au gestionnaire de l'autoroute A8.

Le lac de l'Arena

Creusé sur une longueur de 1400 m et une largeur de 100 à 250 m, le lac de l'Arena a écoulé la majeure partie de la crue de juin 2010. Le déversement principal s'est effectué par le lit majeur rive gauche, non sans dégrader au passage la rive, mise à nu sur 150 m. La chaussée qui borde le lac a réparti uniformément le débit, ce qui a évité la formation d'une brèche et d'une griffe d'érosion, mais a dégradé le talus aval. La chute au maximum de la crue et à la décrue a été d'environ 1 m.

En aucun cas, cette chaussée ne devra être rehaussée.



Photo 30 - 22-06-2010 – Dépôts de sable à l'amont du lac de l'Arena



Photo 31 - 22-06-2010 – Dégradation de la chaussée à l'amont du lac

Une deuxième fraction s'est écoulée sur la haute digue élevée entre lac et Argens ; sa grande hauteur suggère qu'elle a été édiflée suite à des brèches survenues lors de l'extraction. Le

déversement a un peu dégradé le talus aval, mais aucune intervention ne paraît ici nécessaire, dès lors que la chaussée qui vient d'être décrite n'est pas rehaussée.

Une troisième zone d'alimentation est située près du chenal de jonction à l'Argens, au milieu du lac.

La berge a été fortement érodée au droit d'une habitation en amont du coude de l'Argens, alors que le tracé est quasi rectiligne en amont. La vitesse a été ici très forte lors de la crue de juin. Le gabarit moyen a dans ce tronçon une capacité de 650 m³/s, ce qui doit être suffisant pour un aménagement global ultérieur. Avant d'envisager une protection, il faudra toutefois déterminer si le gabarit local de la rivière n'est pas en deçà de la moyenne du tronçon et implanter la protection de telle sorte que le gabarit moyen soit respecté tout au long de la zone protégée. Il n'est pas impossible étant donnée la proximité du versant que des fonds rocheux puissent être la cause d'attaques de berge : la photo aérienne fait en effet apparaître des irrégularités dans le tracé qui ne correspondent pas à des mécanismes alluvionnaires.

Moyennant la prise en compte des contraintes que nous venons de formuler, cette protection de rive doit être classée en 1^{ère} urgence. Elle peut être réalisée en matelas grillagés sur les 2/3 de la hauteur de berge et végétalisée au dessus.

Les ponts de Roquebrune et la digue de Palayson.

En rive gauche, le débit écoulé par le lac de l'Arena s'est heurté à l'obstacle que constitue le remblai d'accès au nouveau pont. Une partie du débit du lac a rejoint l'Argens par dessus un merlon boisé ; l'autre partie a déversé par dessus la digue qui joint la butte de Palayson au remblai d'accès au nouveau pont, puis l'a rompue.

En rive droite une partie du débit écoulé sur la plaine amont a rejoint l'Argens, mais peut être seulement à la décrue; le reste est passé sous et sur la chaussée près de la chapelle Saint Roch.

En comparant les laisses de crue, on peut affirmer que l'eau a atteint contre le remblai d'accès au pont une cote comprise entre 13.85 et 14.0 NGF, le limnigraphe n'affichant qu'une cote de 13.50 par suite de la mise en vitesse sous les ponts.



Photo 32 – Vieux Pont : travée rive gauche partiellement obstruée (08/2010)

La pente de la ligne d'eau en aval des ponts est supérieure à la pente avant débordement : nous en déduisons que le débit écoulé sous le pont a été compris entre 1000 et 1200 m³/s, pour une section au Pont Vieux de 312 m². Remarquons que tant que la crue n'est pas débordante les ponts ne créent pas de remous appréciable.

La rupture de la digue de Palayson (appelée en tout ou partie digue Bourne) est le principal problème posé par l'écoulement des crues à partir du lac de l'Arena. La superficie du lac et celle influencée par lui est de l'ordre de 50 ha ; une rupture qui génère un abaissement de 1 m en 30 minutes génère un sur-débit moyen de 280 m³/s ; ce n'est pas négligeable et peut créer un effet de surprise en aval.

L'effet de cette première rupture a pu être amplifié par l'effet des ruptures successives des ouvrages aval : digue du Blavet, du Beal de la Tuilerie. La chronologie de la crue suggère (voir tome1) ces effets de la rupture des digues que le vécu des riverains confirme.

Il nous semble important que les études futures, notamment celle du PPRI, rendent bien compte de ces ruptures et de l'accélération de la propagation qu'elles induisent en aval. Il faut donc traiter cet aspect en faisant appel aux outils numériques capables de simuler la rapidité des phénomènes et les modalités des ruptures : la prise en compte des « termes d'inertie », seuls capables de simuler correctement la propagation des ondes de rupture nous semble donc nécessaire. Les modèles maillés ou pseudo-bidimensionnels ne satisfont pas à ce critère.

La modélisation du PPRI ancien ne semble pas avoir représenté le mécanisme des ruptures : de ce fait, la comparaison entre les laisses observées et les résultats des calculs ne peut être faite sans un examen attentif des hypothèses de calcul. Cette comparaison doit surtout servir à améliorer les hypothèses des calculs futurs et notamment les coefficients de rugosité.

Le mécanisme de la rupture a un inconvénient encore plus grave : il peut reporter d'une rive à l'autre le débit débordé, ce qui fait que les deux rives écoulent à des temps différents des débits maxima dont la somme est supérieure au débit maximum entrant. Nous pensons que ce mécanisme s'est produit à l'aval de Roquebrune lors de la crue de juin; la chronologie présentée dans le tome 1 indique que les heures des maxima y sont en rive droite en avance sur les heures des maxima de la rive gauche ; le maximum de débit se serait donc écoulé en rive droite avant la rupture de la digue de Palayson et en rive gauche après cette rupture.

On pourrait penser que la consigne réglementaire qui incite à ignorer les digues dans la détermination de l'aléa est une bonne réponse aux risques liés à la présence des digues. Nous pensons que cette façon de faire qui déforme la réalité peut, dans certains cas, minimiser l'aléa. La vraie réponse est la suivante : aucun aménagement, aucun plan de prévention ne doit être étudié sans examiner les effets les plus probables des ruptures, aucune digue ne doit être projetée sans étudier les conditions de sa surverse et les moyens de se prémunir de la rupture et des discontinuités dans la fonction dommages que permet cette rupture.

L'ouvrage de décharge de rive droite

La présence de cet ouvrage voûté de faible capacité (photo ci dessous) conduit à s'interroger sur l'opportunité de soulager le pont principal aux débits débordants par l'ouverture d'ouvrages de décharge dans les remblais d'accès au nouveau pont. On peut ainsi envisager deux ouvrages :

- Le premier remplacerait en rive droite l'ouvrage ci dessous avec une section majorée.
- Le deuxième alimenterait un bras secondaire qui subsiste en aval du remblai d'accès rive gauche à environ 1 m au dessous des terrains avoisinants.

Chaque ouvrage pourrait offrir une section pleine de 25 m² à 35 m² pour une portée de 10 m et écoulerait un débit de 80 à 110 m³/s pour les crues moyennement débordantes (crue de février 1974).

Ces ouvrages retarderaient le débordement sur la RD7 sur les deux rives. Le déversement sur la digue de Palayson serait aussi retardé ou sa cote pourrait être sensiblement moins élevée, ce qui peut diminuer beaucoup le coût de sa protection. Seule une étude hydraulique précise incluant le lit de l'Argens en aval de la RD7 peut permettre de juger de l'intérêt de cette solution. Si cette proposition retient l'attention, son étude, qui conditionne les autres choix, doit être réalisée en 1^{ère} urgence, avant de caler la crête de la digue de Palayson.



Photo 33 – RD7 : ouvrage de décharge rive droite

La réalisation de la déviation de Roquebrune traitée en route submersible ne devrait pas avoir d'impact sur les débordements, à la condition qu'elle ne comporte pas de passage supérieur. L'incidence du carrefour entre voie actuelle et voie nouvelle devra en revanche être examinée attentivement ; le dimensionnement de l'ouvrage dans le remblai rive droite suggéré ci dessus pourra être un moyen de compenser une surélévation des niveaux

Le seuil du Moulin des Iscles

Nous avons vu dans l'étude de capacité de l'Argens que cet ouvrage aujourd'hui inutile diminue la capacité avant débordement de part et d'autre des ponts de la RD7 : son effet lors de la crue de juin 2010 apparaît moins nettement, mais c'est en raison des débordements qu'il a contribué à provoquer. Nous placerons la mise en œuvre de sa destruction en toute première urgence.

Le bief et le barrage du Beal

Le débit maximum de la crue de juin a été très supérieur à la capacité du lit. Les débordements se développent d'abord sur les deux rives comme le montrent les traces sur la photo ci dessous. La rupture de la digue de Palayson va entraîner la formation de brèches dans la digue du Blavet, puis dans la digue du Beal en rive droite de ce canal.

Une brèche majeure s'est ouverte en rive gauche près du barrage du Beal en retrait de la berge. Elle a été alimentée par le déversement de l'Argens à partir de l'aval du barrage et par le déversement du Beal et était encore en eau 8 jours après la crue, comme le montre la

photo : sa largeur a atteint 50 m. L'exploitant des terres dégradées par la rupture affirme que cette digue ne s'était jamais rompue, même en 1959.

Un peu plus en aval, on distingue cette fois ci en bordure de l'Argens deux autres brèches plus petites mais profondes.



Photo 34 - 22-06-2010 : traces de débordements du bief du barrage du Beal

Sur la photo ci dessous, la levée reconstruite et à notre avis surélevée autour des serres en bas de l'image, ce qui conduit à faire obstacle aux écoulements débordants sur la majeure partie de la largeur en rive droite (photo de la nouvelle digue ci dessous).

Cette initiative individuelle, mise en œuvre au mépris de l'intérêt général, ne peut que contribuer à un développement anarchique des protections individuelles et donc du « chacun pour soi ».



Photo 35 – Surélévation de la digue des serres en aval du canal du Moulin des Iscles à Roquebrune (12/2010)

3.4.2.2. Définition des actions

En amont du lac de l'Arena

Trois actions ont déjà été analysées :

- Fermeture de l'entrée du lac de la Roquette et curage des dépôts dans l'Argens : cette action peu onéreuse n'a pas non plus de caractère d'urgence.
- Amélioration de la transparence du franchissement autoroutier : la mise en prairie de part et d'autre du pont principal est de la responsabilité du gestionnaire. L'enlèvement des gabions à la sortie des ponts cadres est du ressort de la police de l'eau en ce qui concerne la décision et la notification aux propriétaires de l'emprise des ouvrages à détruire.
- La protection de la berge rive droite et de la maison en amont du coude de l'Argens peut être programmée en 1^{ère} urgence par le SIACIA, après levé topographique de détail et étude hydraulique basée sur le critère de « capacité intrinsèque » que nous avons défini. L'enlèvement de l'affleurement dur que nous avons identifié lors de notre reconnaissance sera associé à la mise en œuvre de la protection.

Du pont de Roquebrune au barrage du Beal

Principes d'un aménagement à moyen terme

Les actions à engager en urgence doivent être compatibles avec un programme d'aménagement à moyen terme qui nécessite des études lourdes ; les principes de cet aménagement à moyen terme peuvent être ainsi énoncés :

- Un accroissement modéré de la capacité de l'Argens est possible en harmonisant les capacités à une valeur optimale proche de la crue décennale.
- Cet accroissement, essentiel pour limiter la fréquence des submersions, ne peut apporter qu'une faible contribution à la diminution des dommages créés dans la plaine par une crue centennale ou supérieure.
- La maîtrise de la distribution des débordements est le moyen le plus efficace pour l'atténuation des dommages dans la plaine; elle implique la maîtrise du déversement sur les digues. Ce déversement doit s'effectuer sans rupture d'ouvrage et de façon à limiter la fréquence et l'importance des dommages sur l'une et l'autre rive. C'est un débit de l'ordre de 2000 m³/s qu'il faudra déverser sur les deux rives pour une crue comparable à la crue de juin 2010. Le principe de fonctionnement de ce système d'endiguement sera analogue à celui mis en place au 20^{ème} siècle dans les basses plaines de l'Aude : la conception et la gestion de ces endiguements méritent d'être analysées.
- La répartition maîtrisée des débits débordants entre les deux rives devra d'abord être analysée en fonction des contraintes hydro-morphologiques et des usages riverains, puis négociée entre les différents acteurs. Si les usages n'imposent pas de choix particulier, on pourra envisager une distribution du débit débordant proportionnée aux superficies reconnues inondables. La localisation des déversoirs s'étendra alors entre la butte de Palayson en amont et le barrage du Beal en aval.
- Dès lors que la répartition des débits débordants aura été conçue pour minimiser la fréquence et l'importance des dommages, les digues transversales publiques ou privées existantes en aval de la RD7 devront être arasées, à moins que leur ancienneté

ait altéré la morphologie en créant une marche d'escalier dans le profil de la plaine ; il faudra alors se contenter de les abaisser et si nécessaire de les protéger contre la rupture.

Définition des aménagements en fonction de l'urgence

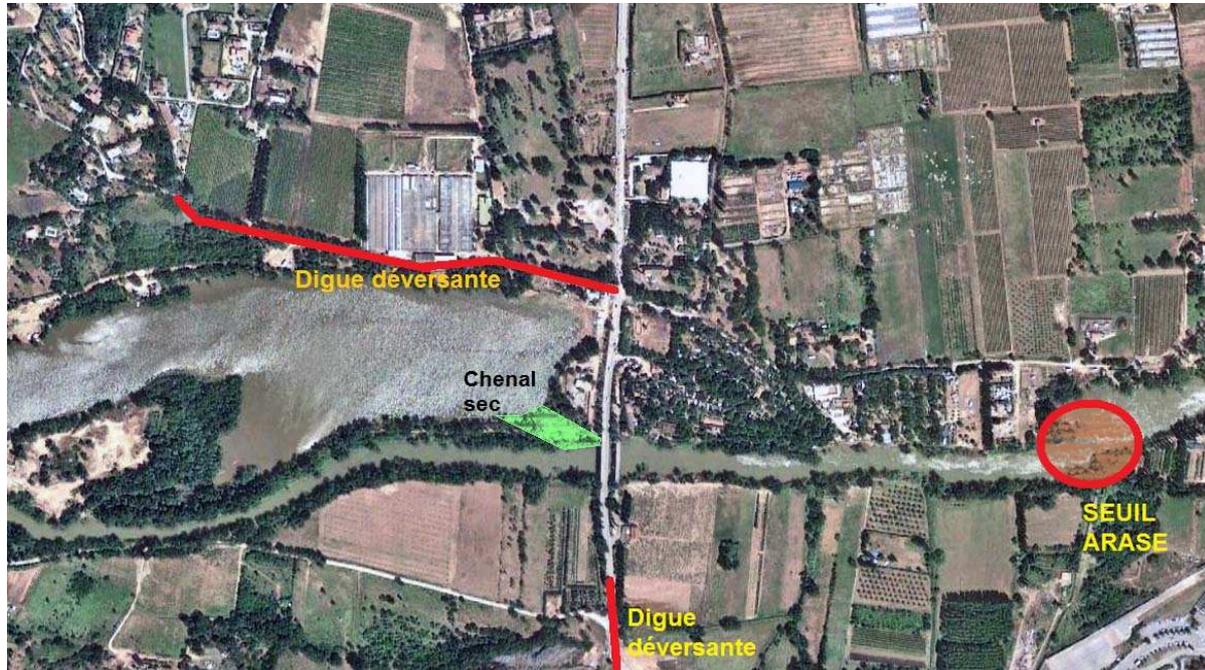


Figure 20 – Localisation des actions autour des ponts de Roquebrune

Les aménagements à réaliser autour du pont de Roquebrune seront les suivants par ordre de priorité décroissante :

- Destruction totale du seuil du Moulin des Iscles, en ménageant une section de 350 m² sous le niveau d'eau 12.0 NGF, soit par exemple 26 m en base à la cote 4.0 NGF entre des talus de fruit 3/2.
- Pour que l'impact de l'action précédente ne soit pas atténué en amont, élargissement (non figuré ci dessus) de la section du Vieux Pont en maximisant l'ouverture des arches latérales, ce qui agrandira la section de 35 m² ; cet élargissement sera prolongé sur 25 m de part et d'autre des ponts.
- Réalisation sur le tracé de la voie communale en rive gauche du lac de l'Arena d'une digue joignant la RD7 et la butte de Palayson, soit sur une longueur de 600 mètres à la cote 12.50 NGF. La digue aura une hauteur de 2 mètres ; sa crête sera revêtue par un enrobé de bonne résistance et de préférence poreux, le talus aval sera protégé par un matelas gabionné de fruit 3/1 prolongé par un radier plat de longueur 3 mètres ou mieux par un enrochement liaisonné au mortier de béton. Cette digue, certes onéreuse, sera un élément essentiel d'un aménagement de la basse plaine.
- La réalisation d'un déversement sur la RD7 en rive droite à la cote du déversement de rive gauche est nécessaire au stade d'un aménagement définitif, mais sera peu efficace après réalisation des seuls travaux de 1^{ère} urgence, car, contrairement à la rive gauche, on retrouvera un débordement peu modifié en aval. Par ailleurs la conception de ce déversoir interfère avec le projet de déviation de Roquebrune. Dans ces conditions, le Maître d'Ouvrage préférera sans doute coordonner les deux opérations.

- Le retour des eaux du lac de l’Arena vers l’Argens devra être particulièrement soigné : une bande de terrain de 50 m de largeur sera essartée, arasée et mise en prairie à la cote 10 NGF et au plus près du pont entre le lac et le fleuve ; l’axe de ce « chenal sec » fera avec l’axe de l’Argens un angle inférieur à 30°.

Traitement des digues transversales

Compte tenu des principes énoncés ci dessus, le traitement des digues transversales pourrait être le suivant :

1. La digue du Blavet devrait pouvoir être abaissée lorsque le traitement du lit en aval du seuil du Beal aura abaissé les niveaux en amont de ce seuil.
2. La digue du Beal et son prolongement en aval du confluent avec le Gabron pourra être abaissée également, en veillant à ce que l’Argens ne refoule pas prématurément dans la plaine du Puget. Si c’est le cas, il faudra la protéger contre le déversement à proximité du confluent.
3. La digue rive gauche aval du seuil du Beal peut être reconstruite, aussi bien pour la brèche principale que pour les autres brèches. Elles seront pour le moment reconstruites à l’identique; les études à venir permettront de dire si leur protection contre le déversement sera nécessaire, en fonction de l’accroissement choisi de la capacité de l’Argens.
4. La digue rive droite protégeant les serres en aval du Moulin des Iscles sera arasée ou à la rigueur ramenée provisoirement à sa cote antérieurement à la crue, si celle ci peut être déterminée avec certitude.

Traitement des digues longitudinales en aval du pont

En aval des ponts de Roquebrune, le calage des déversoirs distribuant le débit débordant sur les deux rives en cas de dépassement de la capacité du fleuve dépend de la capacité qui sera recherchée lors des études à venir. En outre, la détermination de la distribution des débits débordants nécessitera une simulation incluant les écoulements de plaine. C’est seulement ensuite que sera envisagé le calage et la construction de digues déversantes. Ce délai risquant à l’expérience d’être long, nous conseillons de réaliser sur les deux berges une diguette calée 1 mètre au dessus de la ligne de référence de la plaine. Cette cote est déjà souvent atteinte localement ; ce profilage de la berge tendra à répartir les débordements, ce qui limitera le risque de brèches malgré l’absence de protection. Cette réalisation sera accompagnée de la définition des emprises nécessaires, ainsi que du chemin de service permettant un entretien tous les deux ans de la végétation de rive. Si une étude globale de la basse plaine est abandonnée ou différée, nous conseillons d’engager une étude locale des écoulements basée sur une bathymétrie nouvelle (profils en travers espacés de 100 m, afin d’optimiser la capacité de l’Argens entre le pont de Roquebrune et la mer). Elle permettra de définir ici et en aval la géométrie du lit, la distribution des débits et la protection des digues de faible hauteur contre la formation de brèches.

3.4.3. Communes de Roquebrune et Puget : bief du Gué Romain

3.4.3.1. Analyse du mécanisme des écoulements

Nous avons montré au § 3.2. que le bief limité par les seuils du Beal et du Gué Romain présentait une faible capacité, en raison du relèvement des niveaux imposé par le seuil du Gué Romain (ou du Verteil).



Figure 21 - Extrait IGN 1/25000 – bief du Gué Romain et amont estuaire

Ce relèvement des niveaux s'accompagne d'une forte sédimentation, sur le fond et sur les berges d'un lit déjà étroit avant la construction du seuil. C'est en fait le remous créé par cette capacité insuffisante qui a accentué en amont et en aval du seuil du Beal les débordements et la formation des brèches.

L'amélioration de la capacité du bief du Gué Romain s'impose donc comme une action prioritaire, tant pour la diminution de la fréquence des inondations que pour la limitation des dommages des crues débordantes.

3.4.3.2. Définition des actions

Elles comportent :

- d'une part un agrandissement du débouché du seuil du Gué Romain,
- d'autre part un élargissement du lit du fleuve accompagné d'un éclaircissement de la végétation de rive.

Agrandissement du seuil du gué Romain

L'ouvrage actuel comporte un déversoir de 26 m à la cote 2.25 NGF et une passe à poissons de 1.80 m de largeur, calée en amont à la cote 1.80 NGF.

La suppression pure et simple du seuil a deux inconvénients :

- Elle permet le retour des remontées salines que le seuil avait pour but d'empêcher.
- Elle favorise l'incision en profondeur du lit en amont : la capacité de l'Argens restera faible, car l'accroissement de section sera limité, faute d'un élargissement du lit. L'abaissement des niveaux d'étiage accroîtra également le boisement en pied de berge, ce qui contribuera aussi à contrarier l'élargissement du lit.

Dans le cas où cette suppression du seuil serait envisagée, il faudrait réaliser auparavant un élargissement du lit entre les barrages du Beal et du Gué Romain pour contrarier un approfondissement excessif. Le volume de terrassement sur l'ensemble du bief serait alors de 150 000 à 250 000 m³ pour un élargissement à préciser et compris entre 5 et 10 mètres. Un entretien des berges sera aussi nécessaire pour assurer le maintien de la largeur.

Nous proposons de préférence d'adjoindre à l'ouvrage existant un seuil de 30 m de largeur calé à la cote 1.25 NGF. Cet élargissement réduira énormément les contraintes subies par l'ouvrage existant ; aussi le seuil additionnel peut être construit avec des spécifications bien inférieures à celles de l'ouvrage actuel.

En même temps, un traitement des berges aura pour but d'assurer un auto-curage du lit amont, grâce à l'accroissement des vitesses. Ce traitement de berges a pour but de privilégier l'élargissement du lit.

Il sera conduit de deux façons :

- Un entretien courant et régulier assurera un débroussaillage et le recul des arbres trop avancés dans le lit.
- Un essartement avec essouchage et scarification sera réalisé par tranches de manière progressive d'aval en amont. Il concernera les dépôts latéraux, les bancs de rive convexe et les sections anormalement étroites; il sera découpé en tranches de travaux en principe annuelles, chaque tranche s'étendant sur 500 à 1000 mètres de berge, une tranche n'étant engagée que si la précédente a donné un résultat satisfaisant. Ce chantier est donc étroitement dépendant de l'occurrence des crues.

C'est donc l'érosion des dépôts qui devra donner au lit un profil élargi, modérément incisé et au final une capacité suffisante.

Cet auto-curage hydraulique exige un suivi régulier et une mise en œuvre rapide, avant l'hiver, après qu'aient été effectuées les observations annuelles ; il est expérimental, mais s'apparente à des techniques mises en œuvre avant 1960, telle la technique du chenal pilote que la rivière ou sa dérivation agrandit par la seule érosion.

Une fraction des matériaux sera transportée par le courant jusqu'à l'embouchure et distribuée sur la plage par l'action de la houle ; il est vrai qu'une autre fraction des matériaux érodés peut se déposer dans l'Argens en aval, mais ces matériaux ayant été lavés, il devrait être possible de les faire curer à bon compte dans le cas où le suivi bathymétrique en aura montré la nécessité : ce curage par barge n'aura pas les inconvénients d'un curage à terre à la pelle mécanique qui nécessite une mise à nu systématique d'une rive et pose le problème des accès.

Un état initial des lieux devra être établi, tant dans le bief du Gué Romain que dans l'estuaire afin de pouvoir juger ensuite de l'efficacité de l'opération et éventuellement d'en modifier les modalités. L'espacement des profils sera de 100 m, soit un total de 100 profils. Le levé, avec rendu numérique par points x,y,z, s'étendra sur chaque rive sur 10 m au delà du sommet de berge.

3.4.4. Communes de Roquebrune et Fréjus : l'estuaire

3.4.4.1. Analyse du mécanisme des écoulements et discussion des actions

La capacité du lit de l'Argens

Au pied du seuil du Gué Romain, il reste 7 km à l'Argens avant l'embouchure. Le fleuve conserve sur toute sa longueur une profondeur de 4 m sous l'étiage, soit donc sous le niveau de la mer. Nous avons montré au § 3.3.2 pourquoi cette profondeur constante devait s'accompagner d'un élargissement régulier de l'amont de l'estuaire jusqu'à l'embouchure. Ce n'est pas le cas partout, comme le montre le rappel ci dessous du profil en long du lit.

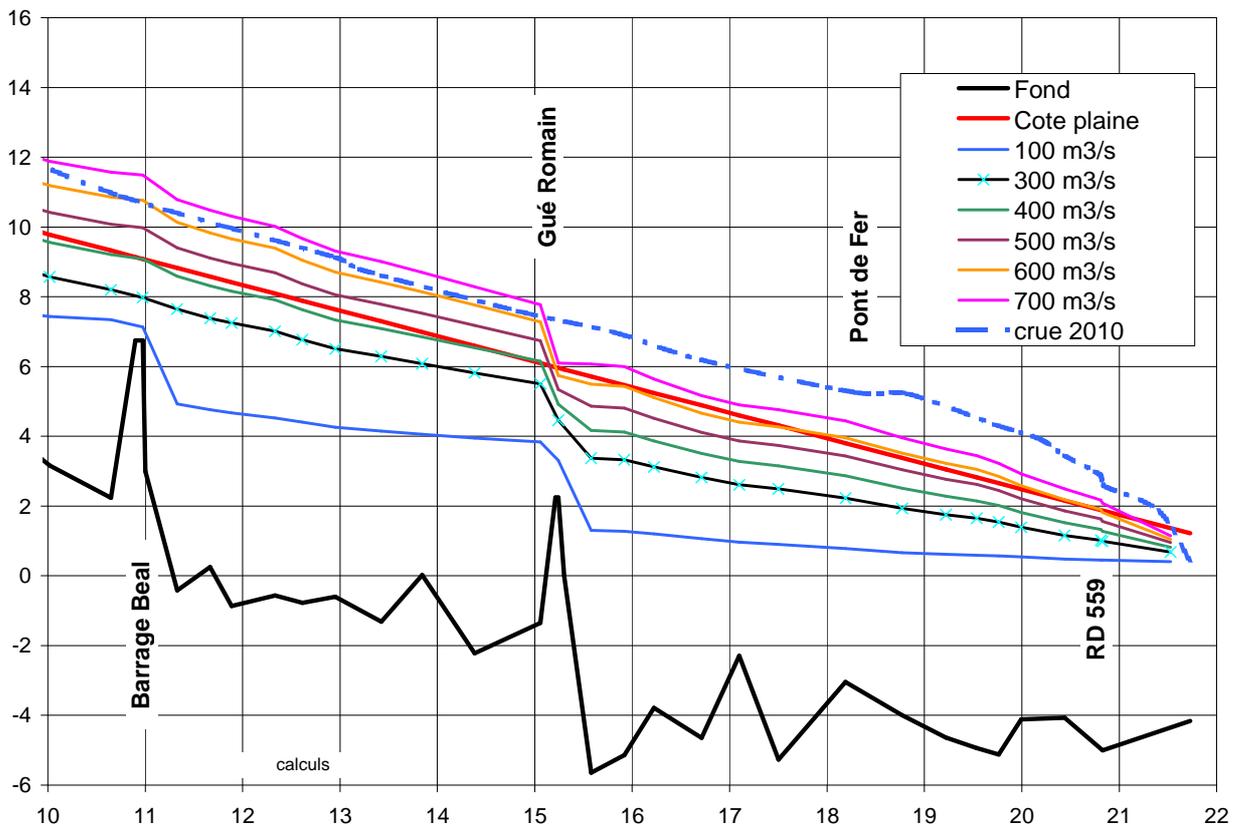


Figure 22 – Cotes des fonds et largeur du lit dans l'estuaire

En amont du pont de Fer

En amont du Pont de Fer (D8), les rétrécissements les plus marqués se situent aux PK 15.6, 16.2 et 16.7 ; la faible largeur du profil au PK 15.6 est compensée par une grande profondeur et la capacité intrinsèque à ce profil est de 700 m³/s; les deux autres profils ont une capacité réduite à 570 m³/s. Mais en moyenne la géométrie du lit est suffisante. Toutefois ce diagnostic n'est basé que sur un petit nombre de profils en travers et devra être précisé après levé des profils demandés au § 3.4.3.2.

Lors de la reconnaissance en bateau, nous avons observé un certain nombre de rétrécissements ponctuels fortement végétalisés et ponctuellement érodés (photo page suivante). Si ce n'est déjà fait, ces avancées dans le lit devront être nettoyées, de même que seront enlevés les arbres empiétant dans le lit mineur.

Dans cette même zone, on note la présence sur les rives convexes de bancs à niveau intermédiaire entre lit mineur et plaine. Ces zones partiellement alluvionnées correspondent

aux glissements des méandres sur plusieurs siècles. Un éclaircissement de la végétation qui les recouvre accroîtrait la capacité et limiterait l'érosion sur la rive opposée.



Photo 36 – Embâcles, rétrécissement, érosion entre seuil du Gué Romain et Pont de Fer 10/201)

Entre le Pont de Fer et le pont de la RD 559

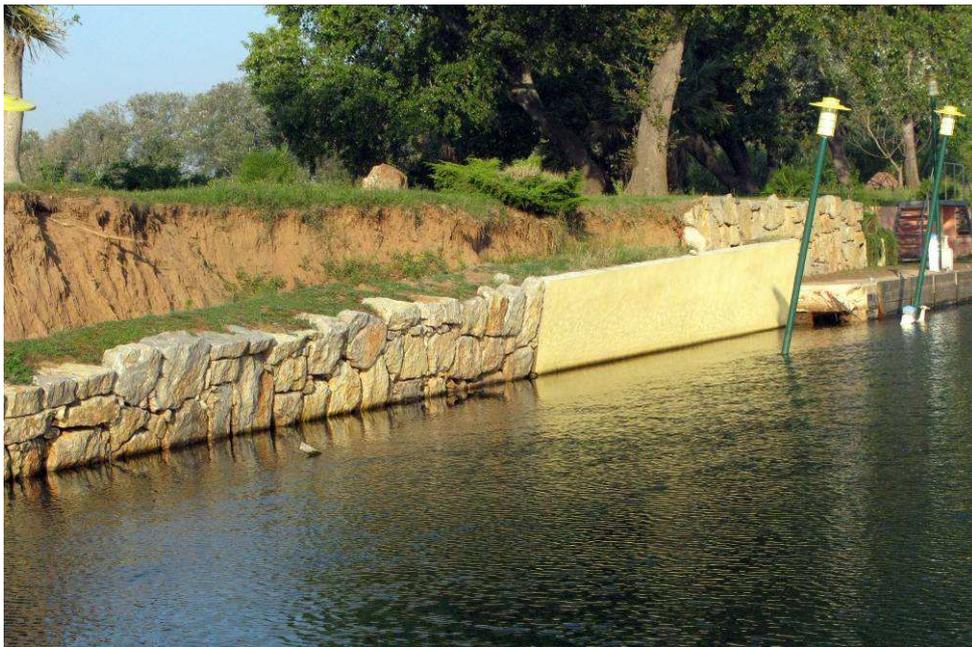


Photo 37 - Effondrement du mur rive droite au PK 20 en juin 2010

Entre les PK 18.3 et 20.3, soit sur 2 km, la largeur est réduite : pour que cette diminution de largeur ne diminue pas la capacité, il faudrait qu'elle s'accompagne d'un approfondissement. Or celui-ci est faible; la capacité intrinsèque est donc faible dans ce tronçon : elle s'abaisse notamment à 460 m³/s au PK 20.0 à 450 m en amont du confluent avec la Grande Garonne.

Nous verrons que la forte pente de l'écoulement lors de la crue de juin 2010 est un effet du rétrécissement de la plaine : elle a provoqué une incision violente dans les sections étroites qui a permis le déchaussement et l'affaissement du mur. Un élargissement du lit supprimant les rétrécissements est ici indispensable.

Pont de la RD 559

Le pont de la RD 559 offrait d'après la section relevée en août 2010 une section au niveau maximum de 2.5 NGF égale à 334 m². Un calcul d'écoulement effectué en 1968 permet d'obtenir à cette même cote une section de 303 m².

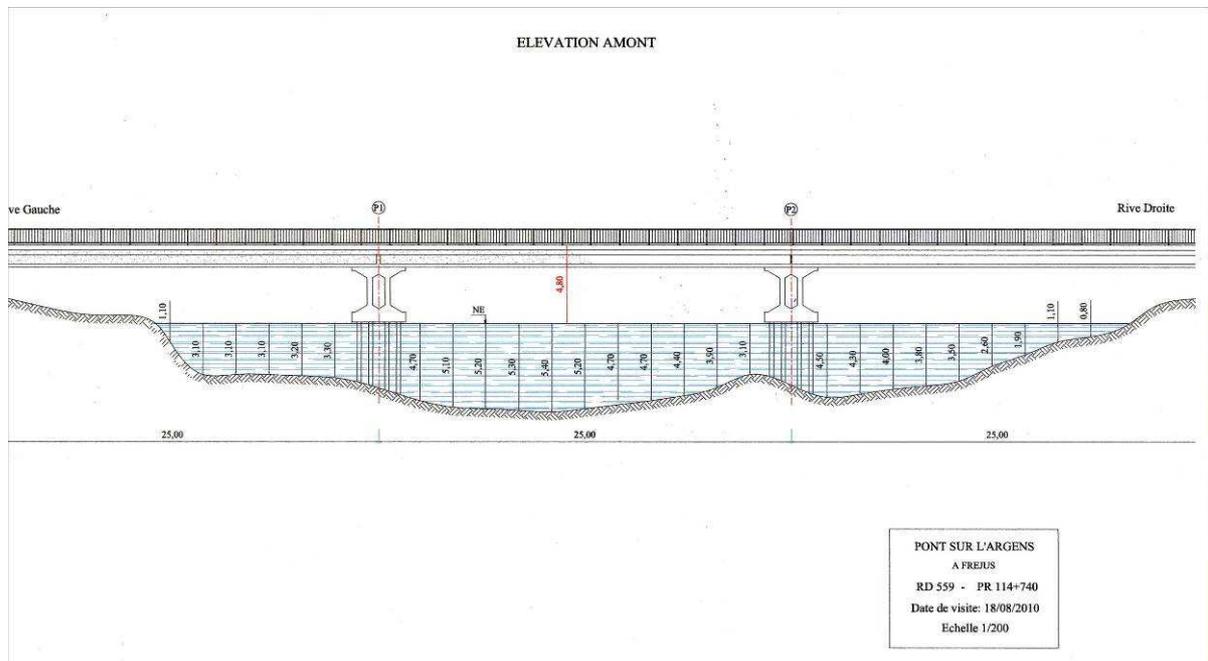


Figure 23 – Bathymétrie du pont de la RD 559 (08/201)

Si on considère qu'en 2010 le pont venait de subir des fortes vitesses provoquant un surcreusement, on peut estimer que la variation de la section a été faible et que le lit est stable : l'effet des extractions des années 70 semble ici effacé.

Cette section est déterminée par le niveau de la mer et le transport de sable ; il est illusoire d'escompter une majoration significative de la capacité d'écoulement de l'Argens en aval de la RD 559 : le lit tendra très rapidement à sa section d'équilibre.



Photo 38 - Embâcle post-crue sur la pile rive droite du pont RD 559 (30/06/2010)

Entre RD 559 et embouchure

En aval du pont de la RD 559, l'élargissement du lit s'amplifie : la tendance à l'élargissement a été manifeste lors de la crue de juin 2010 et a provoqué l'instabilité des mobil-homes implantés « les pieds dans l'eau ». La variation de la largeur en fonction de l'importance de la crue est un facteur de l'équilibre morphologique de l'estuaire ; cette largeur tendra à se réduire pour les petites crues et il est normal qu'elle augmente lors des fortes crues. C'est pourquoi nous déconseillons la réalisation de protections, y compris végétales, et préconisons le retrait des mobil-homes.

Plusieurs approches de l'écoulement de l'Argens ont été effectuées :

- En 1968, l'étude hydrologique et hydraulique des débordements de l'Argens dans les étangs de Villepey (réf. 6) a fait un calcul de remous dans le lit de l'Argens entre la Grande Garonne et la mer. Ce calcul comporte 9 sections et considère un coefficient de rugosité en aval de la RD 559 égal à 29 ou 30 dans le lit ordinaire et 12 dans le lit majeur, ce dernier intervenant peu dans le résultat. Pour un niveau à 200 m en amont du pont de 2.65 NGF lors de la crue de 1959, 2.01 NGF en aval du pont et une cote en mer de 0.90 NGF, le calcul s'ajuste sur les laisses de la crue pour un débit de 1025 m³/s.
- En 1999, l'étude hydraulique sur la basse vallée de l'Argens (réf. 15) a effectué un calcul global sur l'Argens et la plaine. Ce calcul comporte 3 sections et considère probablement un coefficient de rugosité de 30, valeur maximum de la fourchette rapportée par le BCEOM. Pour un débit de 940 m³/s, le calcul du BCEOM obtient un niveau de 3.17 NGF en amont du pont pour une cote de 1.0 NGF en mer.

La différence entre les deux calculs est due aux sections prises en compte en aval ; le BCEOM prend en compte une section largement obstruée par le bouchon de sable marin, tandis que le calcul de 1968 prend en compte des sections en amont de ce bouchon et admet que la montée de la crue est capable d'effacer celui-ci. L'inondation de la base aéro-navale en rive gauche de l'embouchure est le résultat de ce choix du BCEOM.

Un calcul du transport de sable avec un débit de 300 m³/s sur 50 m de large et une pente de 1/100 nous donne un ordre de grandeur de 20000 m³ de sable transportés en 1 heure, ce qui avec un bouchon marin de 100 m moyen permet un approfondissement de la section de 200 m² dans ce délai.

Le bouchon marin provoqué par la houle en période d'étiage doit donc être facilement résorbé dans la phase non débordante de la montée de la crue. Le calcul du BCEOM est sécuritaire et le recours à son résultat pour comparer le résultat du PPRI à la crue de juin est ici inapproprié.

- Nous avons fait une 3^{ème} approche en considérant les sections levées au pont de la RD 559 en août 2010. Le pont offre sous la cote 2.54, une section de 334 m² et la dénivelée amont aval est de 3.30-2.57 = 0.73 m. Avec un coefficient de Bradley $K_b = 1$, nous obtenons un débit de 1260 m³/s.
- En considérant les niveaux de la crue levés en aval (2.57 et 1.87 NGF) à 520 m de distance et la section amont proche du pont ¹, nous obtenons une capacité de 1200 m³/s pour un coefficient de rugosité de 30. Nous n'avons pas tenu compte du petit débit écoulé sous le passage inférieur près du Reyran, car nous ignorons ses dimensions. Nous avons rapporté ce calcul dans le tome 1 en admettant une fourchette d'estimation comprise entre 1100 et 1400 m³/s.

En conclusion de cette analyse, nous considérons que :

- Le calcul effectué par le PPRI ne peut servir à la comparaison avec l'événement de 2010, car la représentation des écoulements avec un petit nombre de sections est trop schématique et le maintien du bouchon marin au maximum de la crue trop pessimiste.
- Le calcul de 1968 est assez détaillé, mais trop ancien pour être utilisé.
- La 3^{ème} approximation est plausible, mais n'a pas la précision d'un calcul détaillé.
- Le levé de sections tous les 100 m préconisé plus haut pourrait être associé à un calcul uni-dimensionnel ou bi-dimensionnel, avec transport solide, pour apporter une réponse complète face aux incertitudes persistantes.
- L'inondabilité de la base aéronavale sera facilement évitée en prolongeant la digue du Reyran jusqu'à l'épi débordant sur le littoral.

Les débordements dans la plaine

Le rétrécissement et l'encombrement de la plaine ont provoqué des hauteurs d'eau particulièrement élevées autour du Pont de Fer et aggravé l'inondation en rive gauche amont jusqu'au Puget et à la zone industrielle de la Palud. Notre étude de 1977 (réf. 8) analysait déjà ce caractère : « *A partir du CD8 [pont de Fer], la réduction de la largeur de la plaine, occasionnée par la butte de Villepey d'une part, par les digues du Reyran et les digues de la propriété Giraud d'autre part, va contribuer à élever le niveau des fortes crues, telles les crues de 1974 et 1959. Le débit débordant en rive gauche [en amont] va alors être totalement transféré vers la rive droite sur les 2000 m qui séparent le pont du CD de la RN 98 [aujourd'hui RD 559].* »

¹ Nous disposons de 3 sections : la section sous le pont est un point singulier et ne peut représenter le lit en aval ; la section aval proche a été affouillée par les turbulences provenant de la mise en vitesse sous le pont ; la section amont n'a pas subi ces perturbations et est donc paradoxalement la plus représentative de l'écoulement hors pont; mais elle donne un résultat théoriquement un peu sous estimé.

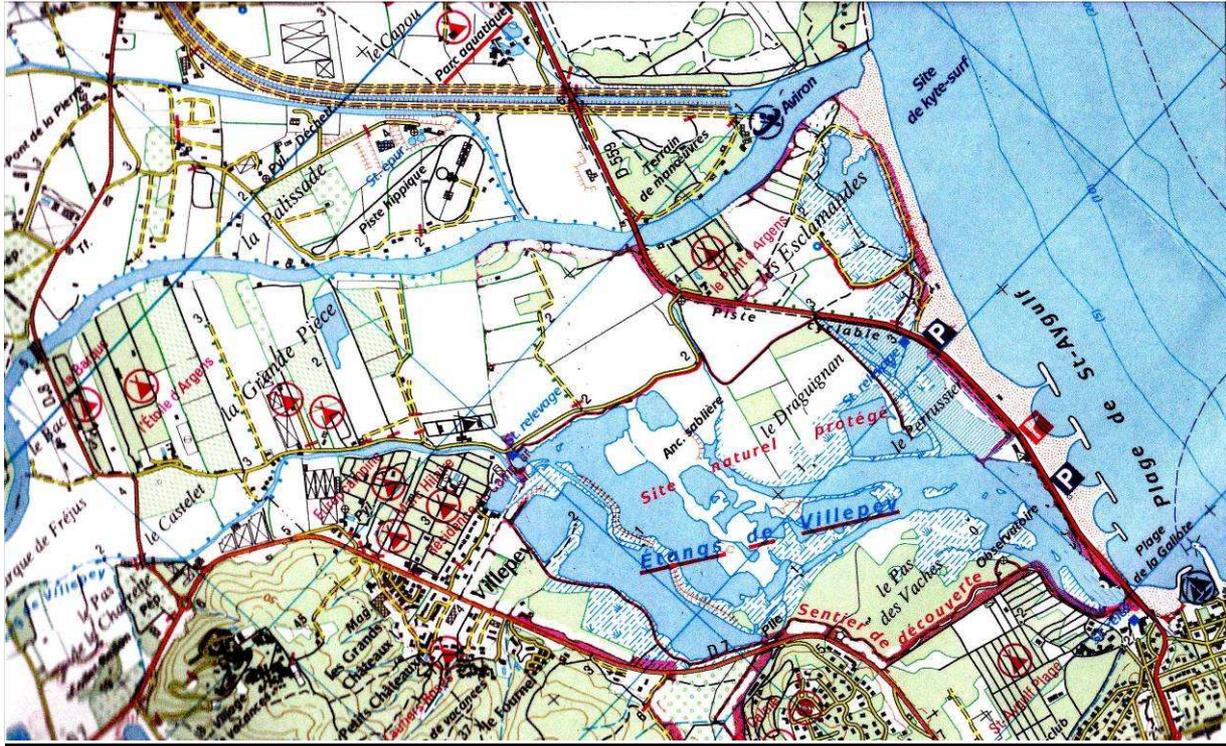


Figure 24 - Le rétrécissement de la plaine et les étangs de Villepey (échelle 1/25 000)

Ce même document poursuit : « Nous avons dit que le resserrement de la vallée et le transfert de la rive gauche à la rive droite du débit débordant déterminaient une surélévation anormale du niveau : les implantations de serres, les projets d'équipement tels que la rocade et la station d'épuration font craindre une obstruction croissante de l'écoulement dans la plaine : il est donc indispensable de prévoir dans cette section un débouché à l'écoulement des crues exceptionnelles ; deux moyens qui ne s'excluent pas peuvent être envisagés :

- le curage de l'Argens dans des proportions limitées toutefois en raison de la proximité de la mer et de l'existence de l'obstacle du pont de la RN 98.
- l'organisation d'une zone d'écoulement en rive droite vers les étangs de Villepey. »

Le même rapport propose enfin : « Une bande de vallée serait réservée à l'écoulement des crues débordantes depuis le pont de Fer jusqu'aux étangs de Villepey... »

Si le projet de rocade a été abandonné, on constate aujourd'hui sur la partie de vallée rétrécie une extension des campings le long du RD 5 et du chemin des Etangs, là où les terrains sont les plus bas, donc les plus inondables ; notre recommandation de 1977 est restée lettre morte.

Rendre à l'écoulement des crues un chenal sec, bande de terrain enherbée d'une centaine de mètres de part et d'autre du chemin des Etangs, exigerait des expropriations très importantes.

Une alternative à la solution précédente serait l'élargissement de la lône à une trentaine de mètres de largeur au dessous de la cote -1.5 NGF entre les étangs et la RD 8 en amont ; ce chenal exigera un faucardage régulier.

Dans tous les cas la surface comprise entre la RD 8 en amont et la RD 559 en aval ne doit plus subir aucune restriction de sa largeur par des obstacles tels que murs, clôtures, bâtiments fixes ou mobiles, remblais, arbres.

L'élargissement des seules sections rétrécies du lit ordinaire pourrait compléter l'amélioration obtenue sur le lit majeur et accroître la capacité d'une centaine de m³/s. Mais un

élargissement plus important ne peut être préconisé, car il sera morphologiquement instable et effacé après quelques années.

Le débouché des étangs de Villepey

Lors de la crue de juin 2010, la majeure partie du débit écoulé en rive droite s'est écoulée sous le pont de la Galiote à l'est de la plage de Saint Aygulf; le reste a déversé sur une faible hauteur sur la RD 559, en provoquant l'incision de chenaux dans le sable de la plage. Le niveau maximum a atteint la cote 3.2 à 3.0 NGF dans les étangs, 2.90 NGF près du débouché des étangs. Pendant la crue, le niveau de la mer est resté bas contrairement à ce qui s'est passé en décembre 1959, une surcote observée de 0.65 m à Saint Raphaël ayant été alors probablement dépassée à Saint Aygulf sous l'effet de la houle d'est.



Photo 38 - 16 juin 2010 – débordements de rive droite



Photo 39 - 16 juin 2010 – écoulement critique sous le pont de la Galiote

L'extrait de vidéo amateur montrant l'écoulement sous le pont de la Galiote montre que le pont a occasionné une forte perte de charge et que la vitesse d'écoulement a dépassé 5 m/s. Cet écoulement est dit critique et n'est aucunement influencé par le niveau de la mer, même si celui-ci s'élève de 1 m.

D'aussi fortes vitesses démontrent que, pendant la crue, le sable que l'on observait sous l'ouvrage avant la crue a été balayé, découvrant un fond dur. Ce fond dur peut avoir deux origines : l'affleurement de roche que l'on trouve en rive droite ou un radier artificiel en béton et palplanches.

L'étude de 1970 (réf.6) déjà citée rapporte les renseignements recueillis auprès des services de l'Équipement d'alors concernant l'écoulement dans les étangs de Villepey pendant et après la crue de 1959 :

...En aval des étangs, ce sont les ponts des étangs de Villepey qui assurent l'écoulement principal, une petite partie s'écoulant dans le pont du canal d'avivement et une fraction probablement négligeable s'écoulant sur la chaussée de la RN 98.

Le niveau le plus probable de l'eau dans les étangs a dû être 2.0 NGF, [lors de la crue de 1959], ce qui donnerait une dénivelée maximum de l'ordre de 0.8 m à travers l'ouvrage.

On voit que les ponts de Saint Aygulf étaient, lors de la crue de 1959 et de la rupture du barrage [de Malpasset], relativement insuffisants, l'obstacle principal étant constitué alors par les piles et culées du pont CP [chemin de fer de Provence], l'ouvrage de la RN 98 offrant des dimensions beaucoup plus satisfaisantes.

Description des modifications consécutives à la catastrophe de Malpasset...

... A la suite du surcreusement engendré par la crue du 1^{er} décembre 1959 et par l'onde de rupture du barrage, des travaux de renforcement du pont de la RN 98 ont été réalisés ; un radier a été construit dans chaque travée aux cotes suivantes :

- Travée 2-5 : cote 0.0 NGF
- Travée 3-4 : cote -1.5 NGF
- Ce renforcement a réduit très fortement la section d'écoulement, qui est passée pour le niveau 0 NGF de 203 m² à 56 m² et pour la cote +1 NGF de 300 à 150 m².

Ce n'est donc plus [en 1970] le pont C.P. qui constitue le principal obstacle à l'écoulement, mais bien le pont de la RN 98.

D'autre part, la section du pont sur le canal d'avivement a été pratiquement réduite à zéro, alors qu'en crue elle pouvait atteindre 25 m².

C'est au total une réduction de 170 m² de la section d'écoulement que l'on observe entre la situation antérieure à la crue de 1959 et la situation actuelle. Cette réduction s'est accompagnée d'un exhaussement de la RN 98, le débordement devant, d'après les documents dont nous disposons, être observé à partir de la cote 2.50 NGF. »

Nous n'avons pu obtenir du Service des routes du Conseil Général la confirmation des affirmations de notre rapport de 1970. Pour essayer de lever l'incertitude, nous avons demandé un levé du profil en travers du pont de la Galiote ; levé tardivement, la section sous le pont était notablement ensablée, mais le profil en travers tend plutôt à confirmer les données anciennes.

Nous avons donc comparé la capacité estimée dans notre rapport de 1970 et celle résultant du levé de 2010 sous la charge estimée en amont du pont lors de la crue, soit 2.65 NGF ; nous obtenons alors une capacité de 780 m³/s avec la géométrie décrite en 1970. Grâce à une

photo prise par la DDTM montrant les zones sous eau en juin (ci dessus), nous avons corrigé le levé en supprimant les dépôts sableux émergés. Avec ce profil corrigé, nous obtenons une capacité de 724 m³/s sous la charge 2.65 NGF, soit une différence de 7 % seulement.

La section mesurée étant très voisine de la section décrite en 1970, nous estimons donc que l'incertitude concernant la géométrie du terrain dur sous l'ouvrage est levée. Il reste à confirmer que ce terrain dur est bien le radier que nous avons décrit. Les sondages effectués par ERG tendent à le confirmer, en donnant dans la travée côté Fréjus un fond sous l'ouvrage à la cote zéro et de part et d'autre de grandes profondeurs en dehors de l'ouvrage.

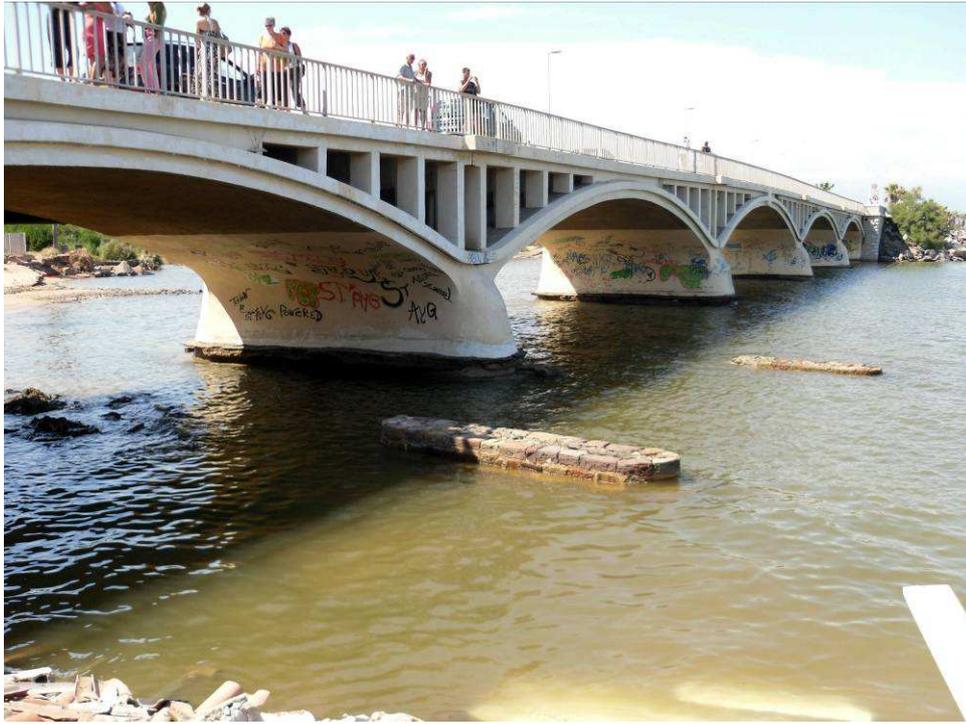


Photo 40 - Juillet 2010 - Cinq arches en eau après la crue (photo DDTM)

L'étude de 1970 essaie ensuite de quantifier la perte de charge complexe à travers l'ancien ouvrage du chemin de fer de Provence et du pont de la Galiote et l'écoulement dans les étangs. Elle conclut à un débit de 600 m³/s en décembre 1959 pour un niveau en amont des ponts de 1.92 NGF, soit un débit total de 1625 m³/s.

Ce même calcul est fait avec la présence des radiers sous le pont de la Galiote. Pour un coefficient de débit $m = 0.31$, ce calcul donne les débits et niveaux suivants, que nous comparons aux résultats de l'étude du PPRI conduite par le BCEOM en 1999.

	Débit total	Débit pont de la Galiote	Débit étangs	Niveau amont ponts Villepey	Niveau amont Argens RN 98
Laisse juin 2010				2.91	3.45
Sogreah 1970	1620	1060	540	2.10	2.71
Sogreah 1970	1820	1170	650	2.51	2.95
BCEOM 1999	1680	940	740	2.86	3.18

Nous ne connaissons pas les hypothèses du calcul BCEOM : coefficient de débit, prise en compte ou non du déversement sur l'ex RN 98, mais constatons des résultats concordants ; en effet, la présence d'un fond dur ne permettant pas l'incision des fonds pendant la crue, il est logique que les résultats « à fond fixe » soient voisins.

L'étude 1970 suggère les possibilités d'amélioration des écoulements dans le lit majeur au débouché en mer.

La première consiste à abaisser les radiers des passes du pont de la Galiote. Une étude géotechnique est évidemment un préalable au choix des travées à abaisser, de la profondeur à donner aux nouveaux radiers. Considérant que le substratum s'abaisse de la rive droite (St Aygulf) à la rive gauche (Fréjus), nous avons testé l'approfondissement des passes 4 et 5 à la cote -3, les passes 1-2-3 étant inchangées.

Le calcul sur le seuil en écoulement critique montre que cette modification permet aux forts débits un abaissement des niveaux en amont supérieur à 1 mètre. Le graphique montre un gain de capacité à la cote 2.0 NGF de 560 à 930 m³/s.

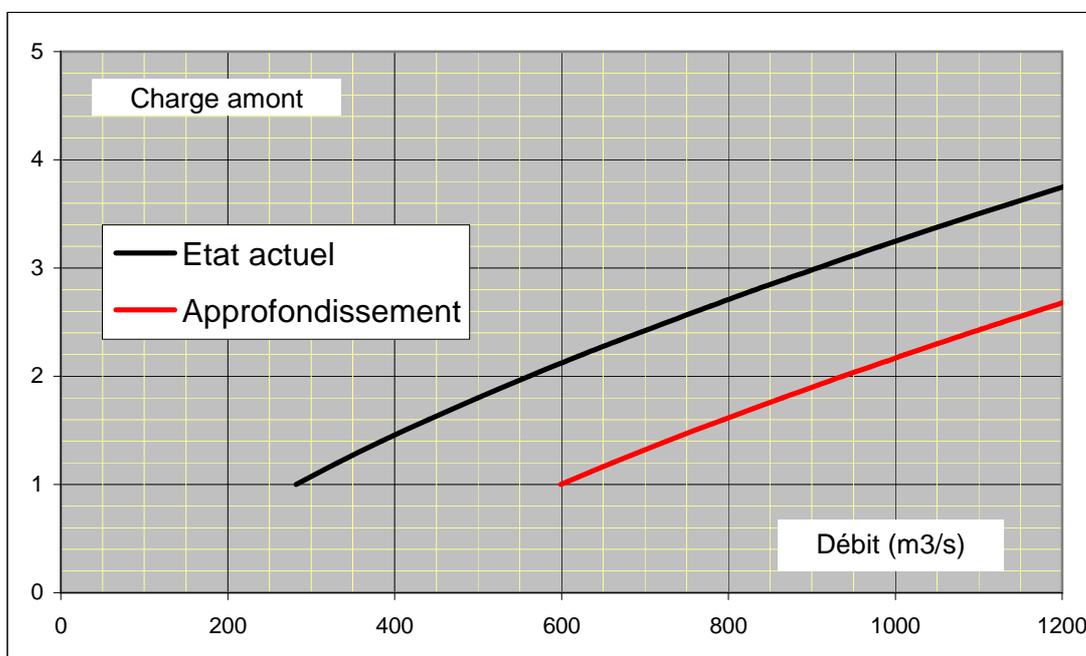


Figure 25 – Effet de l'abaissement des deux travées rive gauche sur le niveau amont

Ce résultat ne sera cependant obtenu que si le chenal amont est élargi et approfondi, faute de quoi on retrouvera en amont du pont de la Galiote les pertes de charge sur les hauts fonds observées lors de la crue de décembre 1959. Mais un large entonnement abaissera les niveaux et permettra d'escompter après étude détaillée un abaissement local de l'ordre de 1.25 m.

La diminution du danger pour les personnes et des dommages devrait donc être importante ; en outre l'aménagement devrait contribuer à l'auto-curage des étangs et donc accroître leur « durée de vie ».



Photo 41 - Limites d'un chenal d'entonnement en amont du pont de la Galiote

3.4.4.2. Définition des actions

L'analyse des possibilités d'amélioration des écoulements entre le seuil du Gué Romain et la mer ne permet pas d'espérer de résultats satisfaisants en ce qui concerne l'écoulement des crues fortement débordantes, sauf si des expropriations importantes permettent l'accroissement du débit écoulé dans le lit majeur, par un chenal sec large ou par une lône de dimensions plus réduites.

Toute nouvelle extension des habitats temporaires des campings est à exclure, si la législation le permet, en raison de l'aggravation des submersions qui en résultera. Il en est de même pour les digues et obstacles de toute nature.

Trois possibilités d'amélioration subsistent et sont proposées en 1^{ère} urgence :

- L'entretien du lit de l'Argens comportera sur toute la longueur la suppression des avancées végétales et des ouvrages, embarcadères notamment, rétrécissant le lit.
- Entre le pont de Fer et le pont de la RD 559, le lit sera élargi au niveau d'étiage au minimum à la largeur définie par la relation :

$$L = 40 + 4 (Pk-16)$$

Pk étant l'abscisse kilométrique du profil figuré au § 3.4.4.1.

Cet élargissement devra permettre une amélioration de la capacité avant débordement et une diminution des hauteurs pour les crues moyennes débordantes ; son efficacité sera faible en amont lors des plus fortes crues.

- L'abaissement du radier des passes 4 et 5 du pont de la Galiote ou toute variante équivalente sera réalisé en 1^{ère} urgence. Il sera accompagné de l'amélioration de l'entonnement amont. L'efficacité sera bonne pour les crues moyennes débordantes jusqu'à la Grande Garonne pour les crues moyennes débordantes et restera appréciable pour les plus fortes crues.

Les trois actions proposées sont indépendantes.

3.5. Réflexion sur la gestion de l'espace riverain et la protection des berges

La réflexion qui suit concerne le problème de la protection des berges, c'est à dire des ouvrages destinés à empêcher l'érosion et le recul des berges du fait de l'attaque des courants. Elle ne concerne pas les digues, c'est à dire les ouvrages contrariant ou retardant l'inondation par élévation de la crête de berge au dessus du niveau de la plaine.

Après la crue de Juin 2010, le SIACIA et le Syndicat des Eaux du Var Est ont fait chiffrer un programme de protection sur la vallée de l'Argens, de l'amont du Muy jusqu'au pont de Fer (actuelle D8 ?). La majeure partie de ce programme concerne la protection des berges, mais l'absence de définition des travaux à réaliser ne permet pas de détailler un avis sur chaque opération. Le coût de ce programme s'élève à 10 millions d'euros hors taxes.

A l'exception d'une protection en rive droite à l'amont du pont de Roquebrune (action SIACIA N°24), aucune des actions de confortement des berges n'est citée dans le programme d'action que nous proposons. Ce choix mérite d'être expliqué et justifié.

3.5.1. Le critère économique

La première raison est évidemment la nature des dommages causés par la crue de juin 2010 : les érosions de berge sont une nuisance secondaire en regard des pertes de vies humaines et des dommages dûs à l'inondation des lieux habités et des cultures lors de cette crue.

Lorsque les berges sont des terres de culture ou même des chemins communaux faciles à reculer, le coût des ouvrages à réaliser est disproportionné en regard de la valeur du bien protégé. Il est donc normal que nous ayons réservé l'essentiel de notre analyse aux inondations qui concernent toute la vallée et pas seulement quelques ares parfois érodés, mais le plus souvent seulement menacés.



Photo 42 - Erosion du talus de berge rive droite à la Barque de Fréjus

Plus généralement, nous pensons que la protection des berges en zone rurale n'est pas la solution économique au problème des érosions de berge : la création d'une zone tampon non cultivée en bordure des sites exposés est une solution plus réaliste ; elle sera associée à une servitude de marchepied permettant un entretien facile de la végétation de rive dans le double but d'éviter les embâcles et de raréfier les inondations.

On objectera que ce mode de gestion du fleuve ignore les problèmes des riverains les plus proches. Cela est vrai, mais doit trouver sa solution dans un remembrement des parcelles prenant en compte la nécessité de ces zones tampon.

3.5.2. Nécessité d'un accroissement de la capacité

Nous avons montré que la capacité du lit de l'Argens était disparate et insuffisante sur plusieurs tronçons. Nous avons esquissé un projet d'aménagement durable basé sur la recherche d'une capacité proche de la crue décennale de telle sorte que notre programme d'actions urgentes puisse choisir de préférence parmi les actions possibles celles qui s'intègrent dans un aménagement à long terme.

Dans un grand nombre de cas, ces actions visent à élargir le lit, soit par des interventions mécaniques, soit en maîtrisant l'auto-curage hydraulique associé à l'abaissement des niveaux à l'amont des seuils. Il serait mal venu d'engager aujourd'hui des protections de berge pour s'apercevoir dans quelques années qu'il faut les reculer.

On objectera qu'il est possible de définir dès maintenant cet élargissement : nous ne pensons pas que cela soit possible pour plusieurs raisons.

- Le choix de la capacité de l'Argens n'est pas fait : il nécessite une étude économique.
- Cette étude reposera sur une étude hydraulique de définition et d'impact nécessitant des levés en plan et des profils en travers.
- La négociation des aspects fonciers impliquera certainement de longs délais.
- Certains aménagements devront s'échelonner sur plusieurs années.

3.5.2. Mécanisme de la mobilité latérale

L'érosion des berges est le plus souvent perçue comme une agression du fleuve ou de la rivière qui étend le domaine fluvial au détriment des intérêts des riverains : la réalité est bien différente.

La formation de la basse plaine de l'Argens est le résultat de deux mécanismes complémentaires :

- Le dépôt des sédiments, sables et limons sur les plages latérales, formant peu à peu la plaine en toit (cf. § 3.2.3).
- La mobilité latérale qui provoque l'érosion des rives concaves et simultanément le dépôt sur les rives convexes : la taille des sédiments déposés sera décroissante lorsque la hauteur du dépôt augmente, les matériaux les plus grossiers ne pouvant s'élever dans le courant comme le font les matériaux fins.

Le schéma le plus général dans l'Argens est alors le suivant :

- Les plus grandes profondeurs se situent sur la rive concave, ce qui provoque l'affouillement du pied, le basculement des arbres et détermine un lent déplacement de la rive. Ce mécanisme peut aussi se produire dans un rétrécissement du lit. Les

actions que nous avons proposées pour la suppression des rétrécissements sont de ce point de vue un facteur de stabilité.

- La rive convexe tend à se sédimenter. Lorsque sa hauteur est voisine de celle de la rive concave, cela veut dire que le déplacement a été très lent ou est stoppé. Lorsque la rive convexe reste assez basse, cela signifie que l'érosion est plus récente et qu'elle n'est pas encore sédimentée. Les deux cas se rencontrent sur l'Argens, mais le premier est le plus fréquent.

Le mécanisme déterminant la largeur du lit dépend alors de trois paramètres :

- Le courant lié à la pente et au débit, qui détermine le transport solide et l'érosion.
- La composition des matériaux du lit, qui détermine d'une part le transport solide ou le dépôt des matériaux les plus grossiers transportés par charriage sur le fond et d'autre part le transport en suspension ou le dépôt sur berges des sédiments les plus fins. La cohésion de la fraction fine, à forte teneur en argile, joue un rôle important : l'érosion de ces matériaux ou de leur mélange avec des éléments plus gros nécessite des vitesses bien supérieures à celles qui ont permis leur dépôt.
- La végétation qui contribuera à la stabilité des berges, surtout dans les tronçons rectilignes et qui favorisera les dépôts sur les talus de berge en raidissant les pentes.

La géométrie de la rivière dépend alors du poids de chacun de ces paramètres : une rivière à forte teneur en argile sera étroite et profonde; une rivière sableuse à faible teneur en argile sera large.

La largeur du lit d'un cours d'eau est alors le résultat de trois actions :

- Le charriage sur le fond du lit qui affouille les sections étroites et les rives concaves des méandres et sédimente les zones larges.
- L'alluvionnement des berges par le dépôt des matières en suspension.
- L'érosion des berges par glissement de talus, destruction de la végétation, dans les coudes ou les sections rétrécies.

3.5.3. Incidence des protections sur la capacité d'un cours d'eau

Lorsqu'un perré de protection de berge est construit, le recul de la berge concave est stoppé, mais le processus de sédimentation se poursuit sur la berge opposée; les bancs de la rive convexe, appelés bancs de convexité, poursuivent leur avancée dans le lit et rétrécissent celui-ci. Ils vont d'autre part se sédimenter beaucoup plus haut, jusqu'au niveau de la plaine.

On objectera que ce processus est très lent. C'est vrai, mais nous savons aussi que la mise en œuvre de protections de berges se pratique depuis des siècles. Elle a donc peu à peu contribué à réduire les largeurs en exhaussant la rive convexe jusqu'au niveau de la rive concave.

Nous avons noté que la stabilité des rives concaves de l'Argens nous semble résulter de la présence de nombreuses protections de berge, les unes récentes et bien visibles, les autres plus anciennes et difficiles à découvrir sous le couvert végétal. L'enfouissement des protections de berge sous la végétation et les sables limoneux est en effet fréquent dans les cours d'eau français et a conduit souvent à attribuer à la végétation de rive une aptitude à la protection des berges qu'elles n'offrent que partiellement. Si cette aptitude est réelle dans les parties rectilignes, elle est souvent surestimée dans les coudes constitués de fonds affouillables. Un examen minutieux de coudes stables et à première vue non protégés nous a souvent révélé la présence en pied de berge et sous eau d'anciennes protections difficiles à

déceler. On voit que dans ce cas ce n'est pas le développement végétal qui a assuré la protection, mais l'enrochement qui a assuré le développement végétal.

Nous pensons que les actions patientes et séculaires des riverains ont ainsi assuré la stabilité des berges, mais que ces actions ont également contribué à rétrécir le lit.

Les extractions de matériau ont compensé l'insuffisance de capacité antérieure, mais seulement localement, de manière disparate et en jouant exclusivement sur la profondeur et en créant des déséquilibres. Les actions que nous proposons visent à rétablir un lit élargi et plus équilibré.

En conclusion, nous estimons que les dysfonctionnements que nous avons analysés doivent être corrigés avant d'engager des actions de protection ; lorsque ces corrections auront été menées à bien, des protections pourront être réalisées si le déplacement des biens et des infrastructures n'a pas été jugé possible. On devra alors s'efforcer de ralentir les dépôts sur la rive opposée, principalement dans les coudes, en débroussaillant et éclaircissant la ripisylve.

3.5.4. Mode d'exécution des protections

Une analyse préalable des causes sera réalisée avant exécution de toute protection ; cette analyse devra déterminer quelle est la capacité intrinsèque du lit au droit, en amont et en aval de la berge érodée.

On utilisera la méthode de détermination de cette capacité intrinsèque ou toute autre équivalente que les études ultérieures auront établies. Rappelons que la capacité intrinsèque est la capacité de chaque section du lit considérée isolément et calculée en considérant un niveau d'eau égal au niveau de plein bord et avec la pente de cette ligne de plein bord.

Si ce tronçon présente une capacité intrinsèque inférieure à la capacité objectif du tronçon, le lit sera élargi de telle sorte que sa capacité intrinsèque soit obtenue en tous points de la berge à protéger. Cet élargissement sera ensuite majoré d'une quantité égale à l'emprise de la protection à mettre en place.

Le curage sera en général effectué sur la berge à protéger, à moins que l'érosion ait été produite par une singularité au droit ou en amont de la rive opposée.