



**ETUDE DE FAISABILITE DE L'ABAISSMENT DES SEUILS 8, 9 ET 10
DE LA BASSE-VALLEE DU VAR**

RAPPORT

DECEMBRE 2006

SOMMAIRE

SOMMAIRE	1
1. Objet de l'étude.....	2
2. Rappel de l'historique et des hypothèses de travail	3
2.1. Contexte historique	3
2.2. Les seuils	4
2.3. Microcentrales	9
2.4. Protections de berge	10
2.5. Justification des cotes d'abaissement des seuils.....	10
2.6. Evolution morphologique attendue.....	11
3. Modalités d'abaissement – calendrier des travaux	14
3.1. Contraintes	14
3.1.1. Hydraulique	14
3.1.2. Nappe	16
3.1.3. Assurer La libre circulation des espèces migratrices.....	16
3.2. Solutions envisagées	17
3.2.1. Solution initiale	17
3.2.2. Solution retenue	17
3.2.3. Calendrier des travaux.....	20
4. Faisabilité technique de l'abaissement.....	21
4.1. Seuil	21
4.2. Microcentrale	24
4.3. Renforcement des protections de berge - Digue	24
5. Chiffrage estimatif	26

1. OBJET DE L'ETUDE

Dans le cadre de la démarche de SAGE engagée sur la Basse Vallée du Var, la Commission Locale de l'Eau souhaite mettre en œuvre une stratégie d'abaissement des seuils du Var pour répondre à la fois à des objectifs de réduction des risques de débordement, de réduction des coûts d'entretien et de restauration d'un fonctionnement plus naturel du fleuve, soit favoriser la tendance au retour du faciès méditerranéen.

Dans ce cadre, la première étape sera l'abaissement des seuils 10 à 8 : la présente étude a pour objectif de préciser la faisabilité de ces actions.

Nous recherchons la solution la plus adaptée eu égard aux diverses contraintes. Nous étudions divers scénarios d'abaissement envisagés, leur faisabilité technique, leurs conséquences et leur coût.

Enfin, nous préconisons la solution optimale, en fonction notamment de l'hydrologie (phasage des travaux,...) et de l'observation du retour du transport solide, pour optimiser l'aménagement.

2. RAPPEL DE L'HISTORIQUE ET DES HYPOTHESES DE TRAVAIL

2.1. CONTEXTE HISTORIQUE

Historiquement, le lit était très fortement divaguant entre les deux berges fixées par les collines (largeur de 600m à 1km).

Le lit a été progressivement endigué entre 1830 et 1970 (réduction de la largeur de 800 à 300m) en rive gauche, puis plus tard en rive droite.

Les extractions massives des années 1970 ont conduits à un abaissement du lit du Var.

Les seuils ont été construits en espérant soutenir le niveau de la nappe. Par la suite, des extractions en souilles profondes (5 à 10m) ont été réalisées entre les seuils.

Onze seuils sur les 16 prévus initialement ont été construits. Leur crête est approximativement calée au niveau d'étiage de 1912.

Les limons ont colmatés les souilles, et ont entraîné à l'aval avec la végétalisation, une aggravation des conditions hydrauliques.

La crue de novembre 94 (débit estimé à 3000m³/s) a mis en exergue certains dysfonctionnements : les seuils 2 et 3 furent rompus et le seuil 4 fut déstabilisé. Actuellement, le seuil 4 est en cours de confortement. Le confortement des seuils 5, 6 et 7 semble nécessaire.

Un basculement des pentes s'est produit : alors que la pente naturelle était de 5 à 4.4‰ (débouché en mer), la pente actuelle entre seuils est très faible : de 0 (bief quasiment horizontal) à 3.2‰ (aval).

Les crues de 1994 et de 2002 ont permis une reprise récente d'un transit de graviers depuis l'amont.

2.2. LES SEUILS



Seuil 10 – photo 2004 : le seuil est totalement engravé, la micro-centrale est arrêtée.



Seuil 9 – photo 2004 : la chute du seuil est réduite de moitié (2.50m au lieu des 5m initiaux) : l'abaissement pourrait être réalisé dès à présent.



Seuil 8 – photo 2004 : l'engravement n'a pas encore atteint le seuil 8.



Seuil 10 et pré-seuil 10 situé 80m à l'amont – photo 1988 (DDA 06). Le pré-seuil 10 (rideaux de palplanches + enrochements en pieds) apparaît clairement.



Seuil 10 et pré-seuil 10 situé 80m à l'amont – photo 1999. Le pré-seuil 10, recouvert par les graviers, est à peine visible.

Dates de construction :

Les 3 seuils ont été construits entre 1979 et 1981 (14/03/79 : fermeture du seuil 10 ; 25/03/80 : fermeture du seuil 9).

Analyse de la structure des seuils

Les enquêtes et rencontres ont été particulièrement orientées vers le recueil de toute information sur la structure des seuils, leurs conditions de construction, les renforcements ultérieurs, et plus généralement sur toute donnée permettant de mieux apprécier les contraintes de l'abaissement de ces ouvrages.

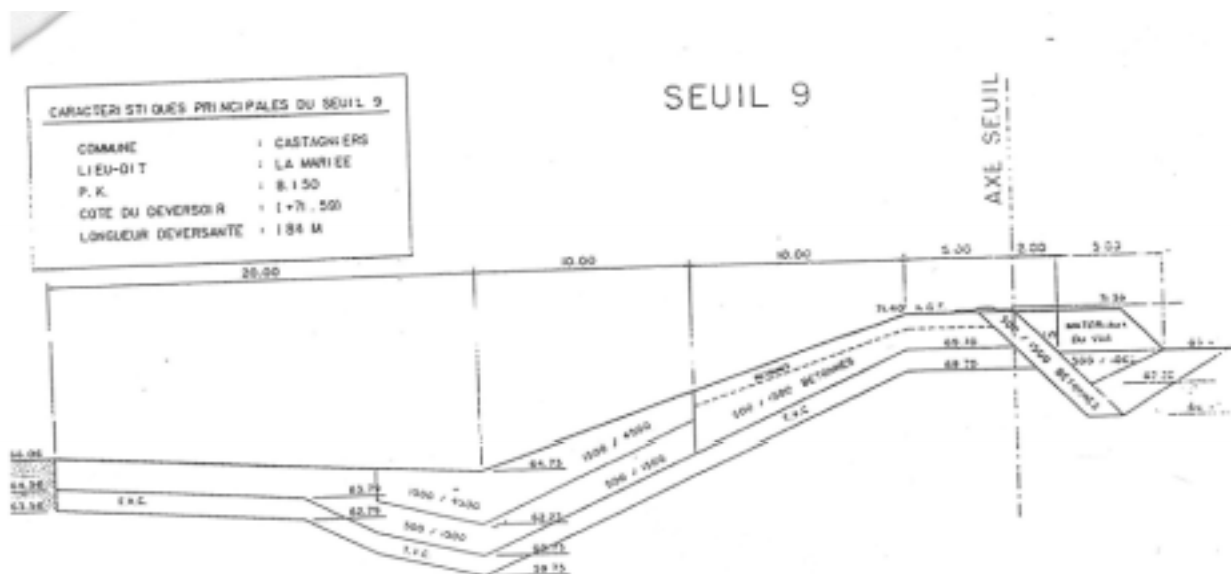
Nous nous sommes rapprochés des services de la DDA, DDE, des Archives Départementales, d'Energie-Var, de la Société des Chemins de fer de Provence. Nous avons recherché à contacter des personnes ayant appartenu aux entreprises qui ont participé aux travaux de réalisation des seuils (ces entreprises n'existant plus).

Nous ne disposons pour les seuils que des coupe-types des ouvrages. Les dossiers de recollement (exécution des travaux) ont malheureusement disparus, suite aux inondations des archives de la DDE 06 lors de la crue de 1994.

Les témoignages (DDE) indiquent que les ouvrages semblent a priori conformes aux coupe-types.

Les seuils sont constitués d'une carapace en enrochements posée sur une couche en tout-venant compacté issu du Var. Les enrochements utilisés sont d'après la coupe-type, des blocs de 500kg à 1.5t. Les enrochements les plus gros (1.5 à 4.5t) se situeraient en pied de seuil (radier).

Les enrochements de la crête sont bétonnés de façon superficielle (nappage des interstices sur 0.50m environ ; ils ne sont pas bétonnés à cœur).



Coupe du seuil 9.

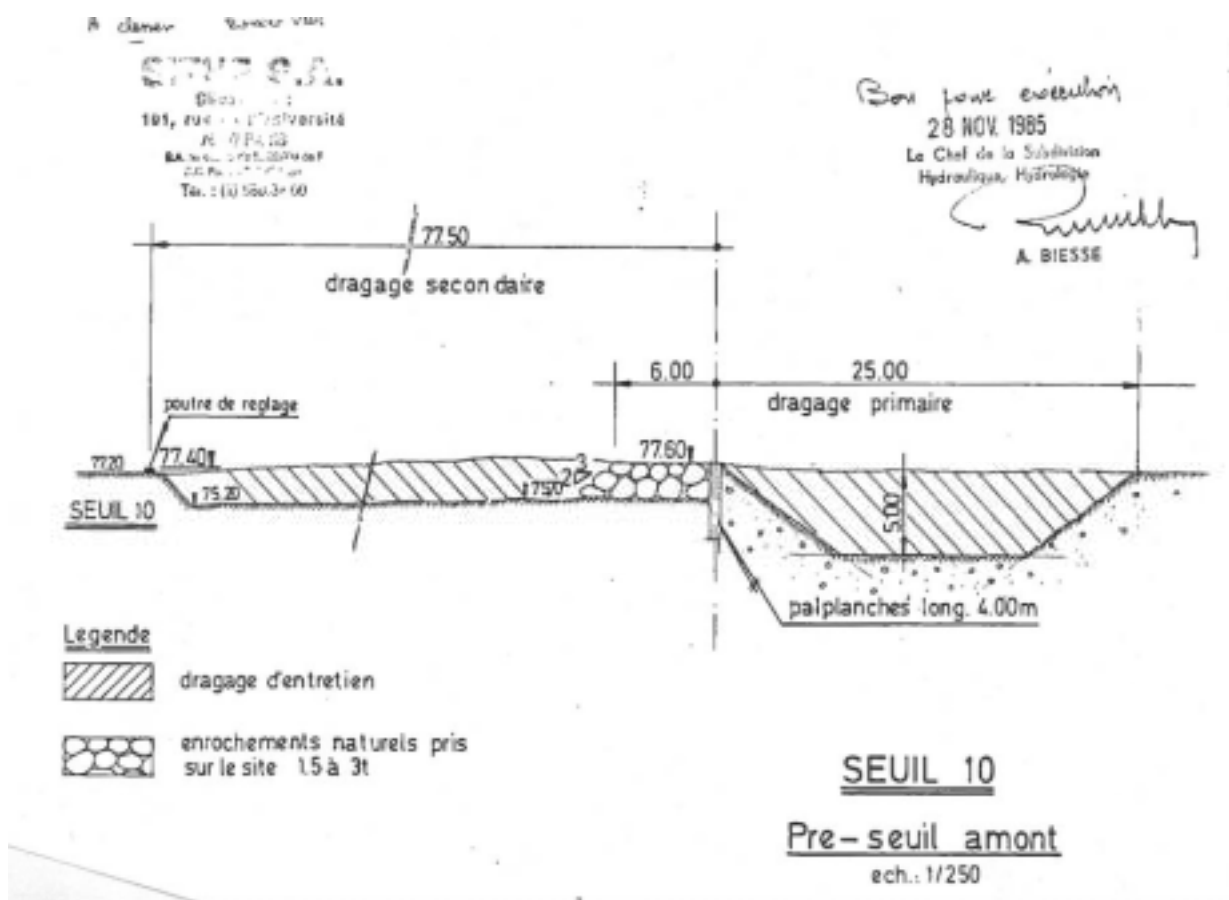
Ancrage des seuils dans le corps de digue :

Le seuil est liaisonné au corps de digue grâce à un ancrage constitué de palplanches, et en forme de « T ». La longueur dans la digue est de 2x20m, et de 15m environ dans la crête du seuil. Cette partie est d'ailleurs visible, car elle affleure de la crête du seuil.

Les travaux en cours au droit du seuil 4 semblent confirmer cette disposition.

A part ces ancrages latéraux, les seuils ne comprennent pas de rideaux de palplanches amont, à la différence du seuil 7.

Par contre, le seuil 10 dispose d'un pré-seuil amont de dégrèvement (80m à l'amont) constitué d'un rideau de palplanches (4m de fiche) sur toute la largeur du Var, renforcé par un sabot en enrochements.



Coupe du pré-seuil 10.



Seuil 10 et pré-seuil 10 situé 80m à l'amont – photo 1999.

Pré-Diagnostic :

Les seuils 8 et 9 semblent plus détériorés que le seuil 10. En particulier, le seuil 8 est affouillé et sa partie centrale érodée.

2.3. MICROCENTRALES

D'après la société Energie-Var, les 3 centrales 8, 9 et 10 sont identiques.

Elles ont été construites une fois les seuils terminés, sauf pour la centrale 10 construite simultanément (d'après la DDA).



Construction des micro-centrales (photo Energie-Var).



2.4. PROTECTIONS DE BERGE

Les digues étaient constituées à l'origine d'un perré bétonné sur lequel étaient disposés des blocs béton (« sucres »), qui ont été remplacés par la suite en certains endroits par des enrochements.

Nous n'avons pas d'éléments pour savoir si les berges ont été déchaussées du fait des extractions. Cependant, l'arrêté d'extraction stipulait que les carriers devaient laisser une distance de sécurité entre les prélèvements et la digue RG (piste des carriers).

Les récents sondages réalisés par GDF à l'aval immédiat du seuil 8 semblent confirmer le respect de cette mesure :

- la souille est enlimonée sur 5.50m ponctuellement au droit du sondage (SC3),
- la piste des carriers reposent bien sur des graviers, sur plus de 12m (SC2) : ce point est plutôt encourageant.

Cependant, les protections semblent insuffisantes :

- le seuil 8 : la digue RD semble affouillée et perchée, une partie des blocs est manquante,
- en rive gauche (voie de Chemin de fer), la piste des carriers se trouve entre la digue et le Var, mais il y a absence de protection.

Cependant, la situation sur certains seuils aval tend peut être à relativiser le manque de protection qui semble a priori inquiétant. Suite à la rupture en chaîne des seuils 2 et 3 lors de la crue de 1994, le seuil 4 a été déstabilisé, mais les berges n'ont pas été confortées. La chute atteint pourtant 13 à 14m alors que le seuil avait été conçu initialement pour résister à une chute de 5 à 6m. Ce constat laisse à penser que l'on peut se permettre dans une certaine mesure de prendre le temps d'observer la réaction du lit suite à l'abaissement des seuils, sans qu'il y ait de risque imminent.

Ce point est particulièrement important par la suite, puisque l'on pourra envisager éventuellement comme alternative au renforcement des protections de berges avant abaissement des seuils, un renforcement après abaissement des seuils (donc hors d'eau).

2.5. JUSTIFICATION DES COTES D'ABAISSMENT DES SEUILS

Le réengrèvement du lit du Var est en cours.

L'étude de Ph. Lefort annonce, à juste titre, qu'il n'est ni probable ni souhaitable que ce réengrèvement conduise à un profil en long d'équilibre analogue au profil de référence de 1912 :

- « improbable en raison des déficits de charriage sur le Var amont », et par l'effet de « l'endiguement de la basse vallée » (abaissement de la pente). A l'amont en rive gauche, ainsi que sur toute la rive droite, les digues n'étaient effectivement pas construites en 1912,
- « pas souhaitable » eu égard aux risques inondation à l'aval, puisque « le retour des niveaux de 1912 poserait de gros problèmes » sur la basse vallée du fait du « développement urbain » : il est admis que « le profil en long du Var devra toujours être maintenu bas dans l'avenir (au maximum égal au niveau actuel) ».

Les niveaux de « recalage des seuils, hypothèse fondamentale », ont été définis en tenant compte de « la diminution de l'aléa inondation, la préservation de la nappe et le coût des travaux de restauration ». « La MISE a jugé souhaitable de caler la **ligne d'eau centennale en-dessous le niveau du terrain naturel au droit des zones vulnérables**. Il a été convenu que le débit pris en compte serait égal à 4300m³/s ».

L'obtention d'une ligne d'eau à $4300\text{m}^3/\text{s}$ au plus égale à la cote du TN de rive droite conduit à l'abaissement des crêtes de seuil suivant :

Seuil	Abaissement	Chute résiduelle à long terme		
		Moyenne	Mini	Maxi
S10	-1.50m	1.50m	1m	2m
S9	-2m	1.00m	0.50m	1.50m
S8	-1.50m	1.00m	0.50m	1.50m

Par construction, le profil en long aura ainsi une forme d'escaliers, et les seuils conserveront une chute résiduelle.

Les variations des chutes résiduelles sont liées à l'estimation de la pente future du lit dans les biefs, qui est estimée entre 4 et 4.5‰. Cet écart provient des incertitudes sur les modalités de restauration du transit des graviers en amont.

2.6. EVOLUTION MORPHOLOGIQUE ATTENDUE

Cette évolution dépend strictement du transport solide du Var et de son rétablissement.

Le transport solide naturel est estimé à environ $200\,000\text{m}^3/\text{an}$. Or, 50Mm^3 ont été prélevés (équivalent à 250 ans d'apport moyen annuel). On comprend que le retour à l'équilibre morphologique devrait s'effectuer à très long terme.

L'étude transport solide précédemment réalisée par SOGREAH a montré que d'amont en aval :

- le retour à l'équilibre morphologique nécessitera d'attendre un délai de « cicatrisation » du Var amont : actuellement, on assiste à la poursuite des érosions régressives, et au comblement du secteur amont par piégeage de la majorité du transport solide amont, du moins sur le Var moyen. La Tinée et la Vésubie (où presque aucune extraction n'avait été entreprise) seront capables de fournir plus rapidement un apport solide assez intéressant.
- Il y a poursuite de l'érosion du tronçon 10-16 malgré l'érosion régressive dans l'Esteron. Cet apport en graviers en provenance de l'Esteron reste d'ailleurs un phénomène exceptionnel qui a peu de chance de se reproduire. Le transit résiduel actuel par-dessus le seuil 16 reste délicat à estimer,
- A l'aval du seuil 10, le réengrèvement progressif est amorcé, et s'est effectué en grande partie aux dépends du stock alluvial du tronçon 10-16.

Le débit solide résiduel actuel du Var est difficile à estimer du fait du tri granulométrique. Cependant, on peut l'évaluer à **$35\,000\text{m}^3/\text{an}$ en moyenne** (10 à $50\,000\text{m}^3/\text{an}$).

Il est très variable d'une année à l'autre, selon l'hydrologie, et donc la pluviométrie.

Les vitesses d'évolution et donc les échéances sont donc elles même variables, car dépendantes des conditions météorologiques.

Le débit solide résiduel augmentera à l'avenir, d'ici quelques décennies.

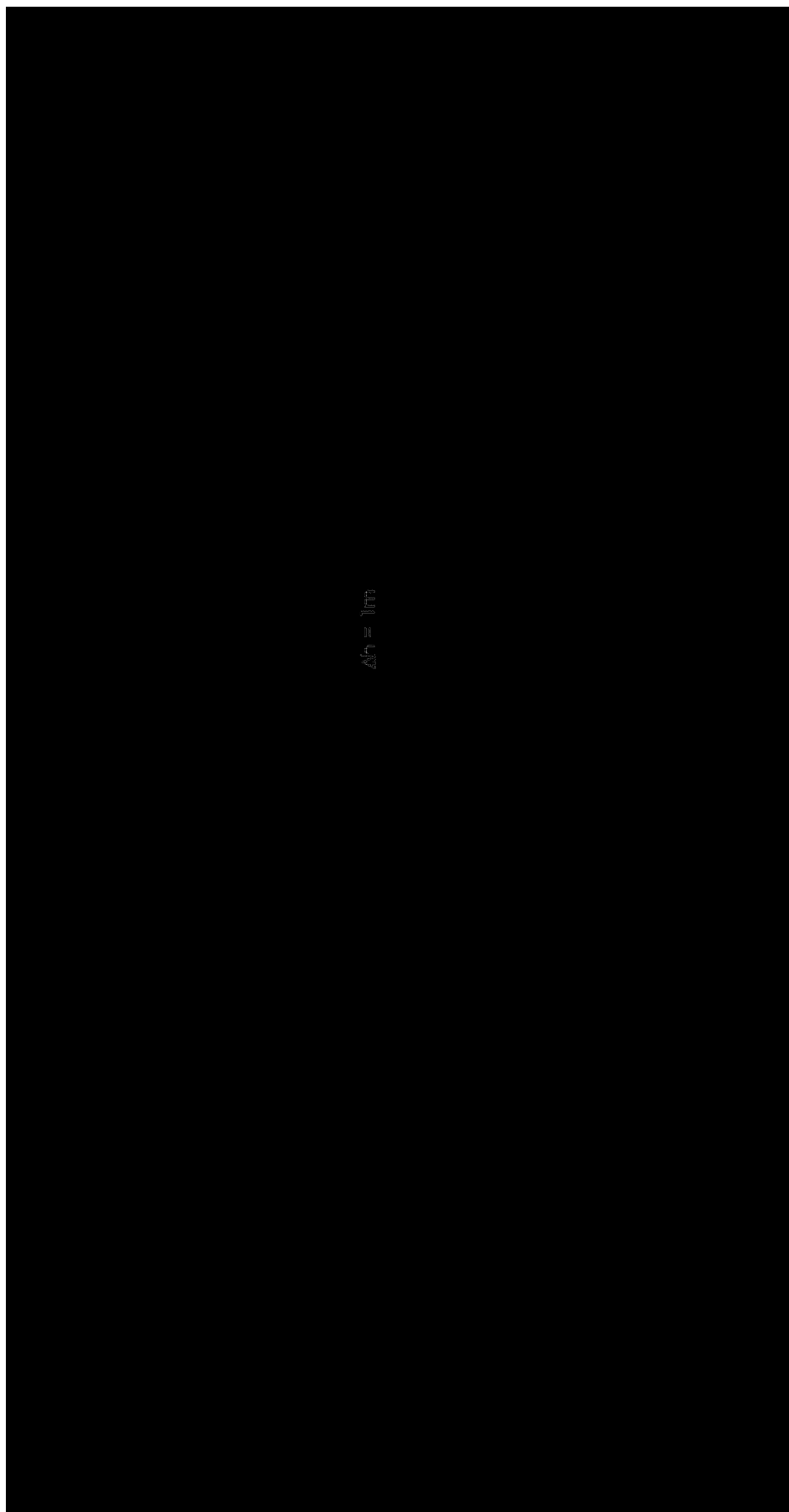
A titre indicatif, le volume moyen de graviers (avec une pente de 4.5‰ sur une couche de limon avec une pente de 1 à 1.5‰) nécessaires pour remplir un bief de longueur 900m et de 220m de largeur est d'environ 400 000m³.

Or le transport solide actuel est de 35 000m³/an en moyenne (10 à 50 000m³/an). L'engravement d'un bief sans abaissement des seuils nécessiterait donc de l'ordre de 10 ans.

L'engravement entre les seuils 10 et 9 était à peine amorcé en 1998. Il était achevé dès 2004. On retrouve l'ordre de grandeur estimé : le délai un peu plus court peut résulter d'années à fortes hydraulicités (2000, 2002).

L'abaissement des seuils va cependant accélérer les délais.

On estime que des bouffées de transport solide de 200 à 300 000m³/an seront possibles, les premières années après l'abaissement des seuils, du fait de la forte augmentation des pentes : de 5 à 7‰ dans le bief 9-10 (par l'abaissement de 2m de la crête du seuil).



Profil en long du Var : seuil 7 à seuil 10.

3. MODALITES D'ABAISSMENT – CALENDRIER DES TRAVAUX

A partir des principes directeurs établis dans les études préalables au SAGE, et notamment dans l'étude du transport solide du Var, il convient de préciser dès ce stade les stratégies d'abaissement envisageables et les évolutions du lit à attendre de façon à bien préciser :

- € Les sollicitations définitives que devront supporter les seuils (chute résiduelle) après rétablissement du transit des graviers et stabilisation du lit
- € Les sollicitations temporaires pendant la période transitoire de façonnement du nouvel équilibre, et la durée de cette période transitoire.

En effet, ces contraintes seront déterminantes pour optimiser les travaux. Le but poursuivi est effectivement **d'abaisser les seuils à un coût minimum**.

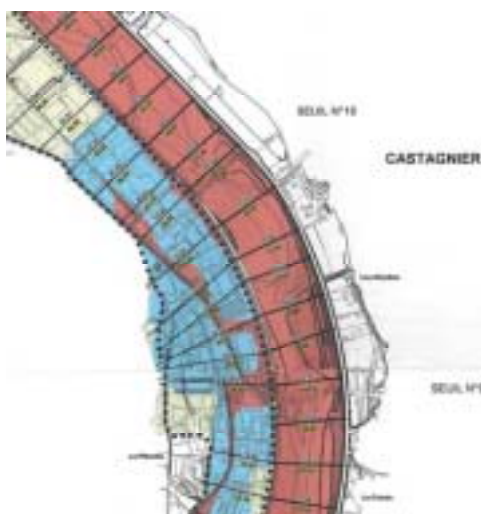
Pour ce faire, la stratégie retenue est d'attendre que le transit des graviers se soit rétabli sur le seuil et que le réengrèvement du bief entre chaque seuil soit suffisant pour atténuer la chute résiduel du seuil suivant. Cela permettra d'éviter d'avoir à renforcer lourdement (voire à reconstruire) le seuil pour une chute encore importante, qui ne sera effective que quelques années. En pratique, on attendra que les graviers se trouvent à une hauteur sous la crête du seuil, telle qu'elle corresponde à l'abaissement calculé pour chaque seuil. (voir tableau sur cotes d'abaissement plus loin).

3.1. CONTRAINTES

3.1.1. HYDRAULIQUE

3.1.1.1. INONDABILITE :

Il n'y aura pas globalement d'aggravation temporaire du risque hydraulique. Il y aura suppression du point de débordement amont (qui inonderait notamment l'aval), et déplacement du risque de débordement à l'aval. A terme, on supprimera la zone de débordement.



Extrait carte PPR (avec topographie de 1998) : risque de débordement en rive droite, en amont du seuil 9.

3.1.1.2. CHUTES RESIDUELLES DES SEUILS :

Au final les chutes résiduelles sont faibles : il s'agit d'un élément important pour leur solidité, dans le cadre de l'étude de faisabilité. Le niveau de crête tient cependant le niveau du bief.

Seuil	Chute résiduelle à long terme
S10	1.50m ± 0.50m
S9	1.00m ± 0.50m
S8	1.00m ± 0.50m

Les variations des chutes résiduelles sont liées à l'estimation de la pente future du lit dans les biefs, qui est estimée entre 4 et 5‰.

3.1.1.3. RISQUE DE DESTABILISATION DES DIGUES :

L'abaissement des seuils va entraîner des érosions régressives à leur amont. Il s'agit à la fois d'éviter la déstabilisation des digues pendant la période transitoire (et à terme) ou la mise en œuvre de confortements inutilement importants.

A ce titre,

- les fonds de la partie aval des biefs seront abaissés par rapport à la situation actuelle sur une distance de 350 à 400m,
- les fonds de la partie amont des biefs enlimonés seront surélevés par rapport à la situation actuelle (bien évidemment, excepté à l'amont du seuil 10) et ne nécessiteront donc pas de protection en pied. Par contre, sur certains biefs, une protection en hauteur sera nécessaire,

Des sondages ponctuels à la pelle mécanique permettront éventuellement de préciser la présence et le type de protections actuelles.

Le projet routier de la RN202bis, s'il voit le jour, pourrait être inclus dans cette problématique avec création d'une protection.

3.1.1.4. SOLLICITATION SUPPLEMENTAIRE DU SEUIL 16 :

L'abaissement du seuil 10 (-1.50m) va entraîner une érosion régressive dans le tronçon seuil 16 – seuil 10. Cette érosion régressive va cependant s'atténuer naturellement par pavage.

Une augmentation des contraintes sur le seuil 16 est cependant possible. Ce dernier a été récemment renforcé en pied, mais de fortes érosions de berge sont visibles à l'aval du seuil 16 (digue affouillées...).

Une solution devra être envisagée à l'aval du seuil 16 pour empêcher un affouillement de ce dernier.

3.1.2. NAPPE

L'impact de l'abaissement du seuil 10 sur le niveau de la nappe a été étudié en détail (*Etude des incidences de l'abaissement des seuils sur la nappe du Var, entre le seuil 7 et le bec de l'Esteron, novembre 2005 – SMEBVV, SOGREAH*) : il est globalement assez mineur.

Globalement, la stratégie d'abaissement des seuils conduit aux incidences suivantes sur la nappe :

- À dans les biefs enlimonnés (aval du seuil 9), l'exhaussement du lit dans la partie amont des biefs où les échanges sont les plus importants conduira à un relèvement du niveau de la nappe,
- À dans le bief 9 (entre les seuils 9 et 10), l'abaissement du lit conduira à un abaissement de la nappe en hautes eaux par accentuation du drainage, mais plutôt à un exhaussement en basses eaux, grâce à la suppression du drainage au pied du seuil 9,
- À à l'amont du seuil 10, l'abaissement du lit se répercutera directement sur la nappe en hautes eaux (abaissement de l'ordre de 2m). En basses eaux, la nappe restera alimentée par le Var, mais la réduction de la charge entraînera un léger abaissement (de l'ordre de 0.3 m).

3.1.3. ASSURER LA LIBRE CIRCULATION DES ESPECES MIGRATRICES

Le Var et ses affluents (Vaïre, Coulomp, Tinée, Vésubie) sont classés¹, ce qui implique l'obligation d'équiper les seuils et barrages par des dispositifs de franchissement pour les poissons migrateurs. Les espèces migratrices présentes dans le Var aval sont la truite fario et l'anguille. Cependant, d'après le Plan de gestion des poissons migrateurs du bassin RMC 2004 – 2008 et le CSP, « le statut de la truite est douteux » puisque cette espèce semble être absente de la zone d'étude.

L'abaissement des seuils ne permet pas l'absence de chute. Mais l'aménagement préconisé permettra d'assurer la libre circulation des espèces migratrices.

La libre circulation des deux espèces migratrices présentes dans le Var pourra être assurée par la réalisation de points bas le long de la crête du seuil qui permettront de supprimer toute chute significative. La chute résiduelle, qui est faible, est le paramètre primordial : le seuil sera franchissable par conception.

Etant donné la taille des blocs d'enrochements constituant la crête du seuil, la crête du seuil abaissé sera irrégulière, avec des points bas et une chute inférieure à la chute moyenne du seuil sur toute sa longueur.

Cet aménagement permettra d'atteindre des dénivellations proches de celles que l'on retrouve naturellement sur les bras d'une rivière à lit à mobile comme le Var.

¹ Classement par décret, puis par arrêté du 14 mai 1990 pris en application de l'article L 432-6 du Code de l'environnement

Article L432-6 CE:

Dans les cours d'eau ou parties de cours d'eau et canaux dont la liste est fixée par décret, après avis des conseils généraux rendus dans un délai de six mois, tout ouvrage doit comporter des dispositifs assurant la circulation des poissons migrateurs. L'exploitant de l'ouvrage est tenu d'assurer le fonctionnement et l'entretien de ces dispositifs.

Les ouvrages existants doivent être mis en conformité, sans indemnité, avec les dispositions du présent article dans un délai de cinq ans à compter de la publication d'une liste d'espèces migratrices par bassin ou sous-bassin fixée par le ministre chargé de la pêche en eau douce et, le cas échéant, par le ministre chargé de la mer.

3.2. SOLUTIONS ENVISAGEES

3.2.1. SOLUTION INITIALE

Il s'agirait d'abaisser le seuil dès l'arrivée du transit des graviers amont, à l'amont immédiat du seuil. Cette solution comporte de nombreux inconvénients, avec en particulier la nécessité d'un renforcement conséquent (donc coûteux) des ouvrages (seuils, protection de berges) puisqu'ils devront résister les premières années à des chutes importantes. L'avantage serait de faciliter les travaux (absence des graviers).

Cette solution ne sera pas retenue.

3.2.2. SOLUTION RETENUE

Il s'agirait d'attendre que l'engravement à l'aval du seuil ait presque atteint la cote future du seuil.

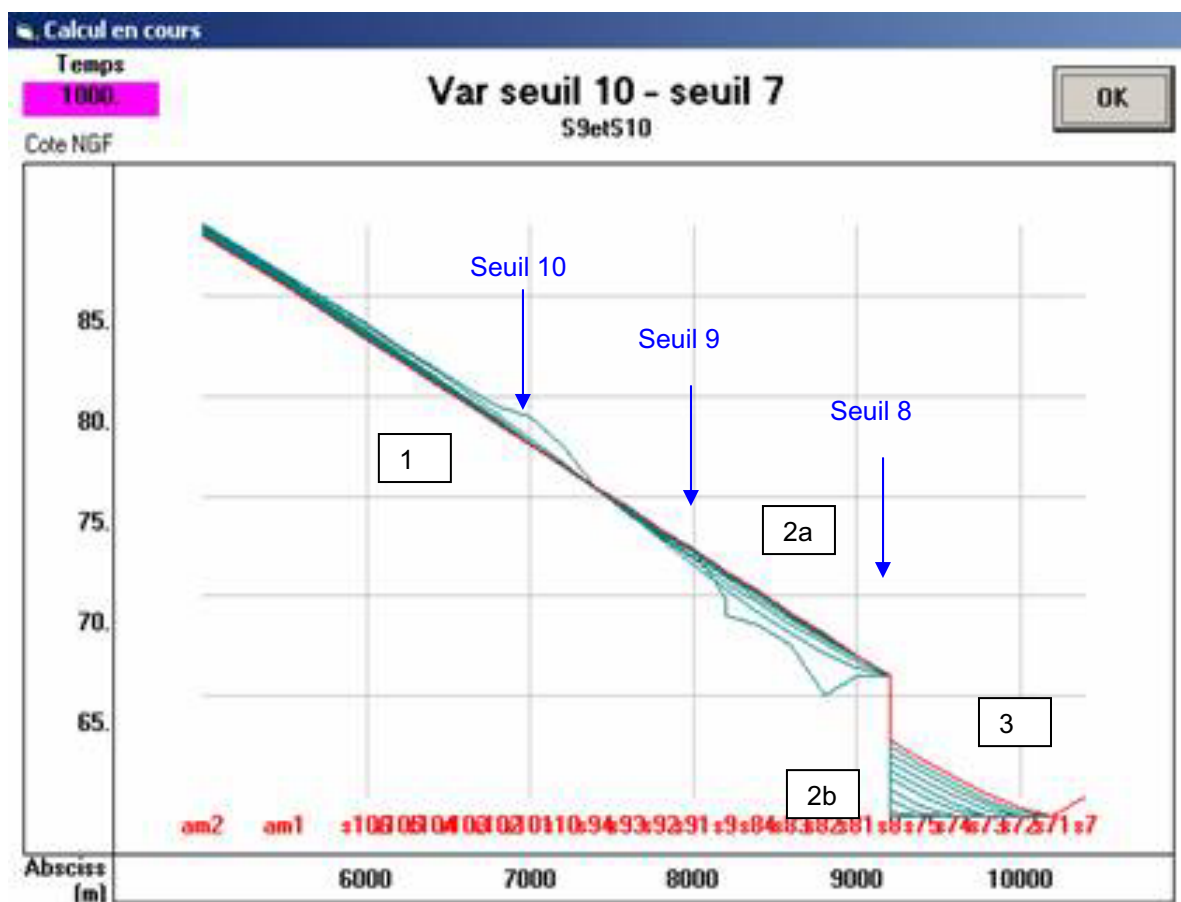
Elle constitue selon nous la solution la plus adaptée, à condition de respecter certains points que nous développerons ci-après.

Initialement, cette solution présentait l'inconvénient d'attendre le délai nécessaire à un certain rétablissement du transit sédimentaire, avant de pouvoir abaisser les seuils. Ce délai dépendait d'ailleurs très fortement de l'hydrologie. Aujourd'hui, cette hypothèse n'est plus d'actualité, puisque l'engravement a largement progressé et que le seuil 9 peut être abaissé dès maintenant.

L'abaissement du seuil 9 est nécessaire et possible dès aujourd'hui.

Cependant, les simulations montrent que l'abaissement immédiat du seuil 9 impliquerait l'abaissement à court terme du seuil 10, qui lui-même impliquera rapidement l'apport de fortes quantités de graviers, qui participera au remplissage rapide du bief S8-S9. Concrètement l'abaissement des seuils 9 et 10 serait quasiment simultané.

Abaissement du seuil 9 : -2m



Profil en long : simulation du retour du transport solide : à noter le dépôt aval au seuil 8.

1 : l'abaissement des seuils 9 et 10 induit un abaissement rapide des fonds amont

2 : la remobilisation des matériaux engrave rapidement le bief 8-9 (2a), et commence progressivement à engraver le bief 7-8 (2b),

3 : l'engravement du bief 8-7 est suffisant pour abaisser le seuil 8.

Nous avons effectué plusieurs simulations de transit de transport solide sur le secteur d'étude, grâce au logiciel CAVALCADE développé par SOGREAH :

- abaissement du seuil S9 seul,
- abaissement du seuil S9 puis du seuil S10.

Les calculs ont été réalisés avec des hypothèses d'année hydrologique moyennement active.

Les résultats montrent, que la réaction du lit à l'abaissement des seuils serait très rapide. L'abaissement du seuil S9 devrait être rapidement suivi de celui du seuil S10. Concrètement, l'abaissement des deux seuils peut pratiquement être réalisé de façon simultanée.

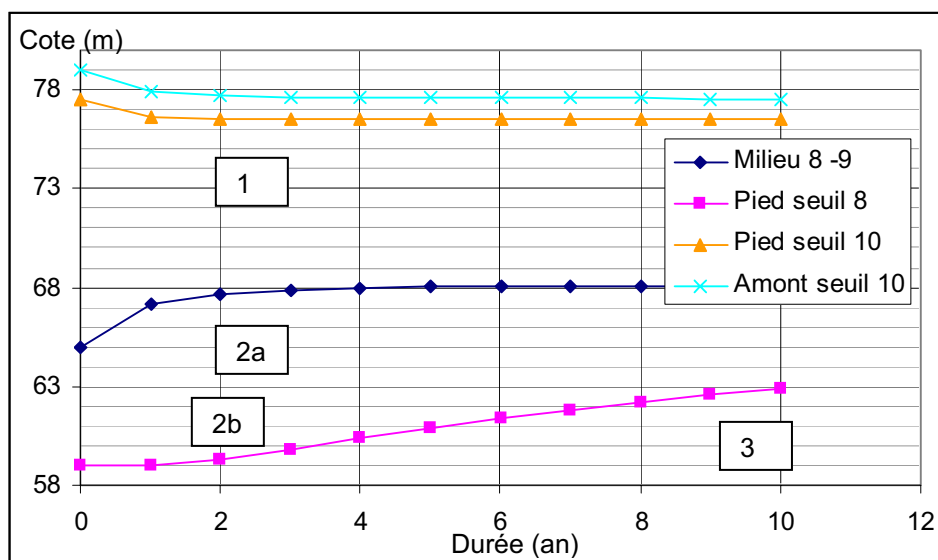
Abaissement du seuil 10 dès que le niveau des graviers aura suffisamment baissé à son aval immédiat :

L'abaissement de seuils S9 et S10 permet de réduire sensiblement le délai pour l'abaissement du seuil S8 aval.

Effectivement, l'augmentation de la pente entre S9 et S10 et à l'amont de S10 (+2‰) entraîne la remobilisation d'un volume conséquent d'alluvions, et implique le raccourcissement des délais.

Le volume de graviers libérables entre S9 et S10 va venir remplir le bief S8-S9, et déborder sur le bief S7-S8, puisque le bief S8-S9 est déjà à moitié rempli actuellement (et la pente d'équilibre est presque établie).

Abaissement du seuil 8 dès que le transit des graviers se sera rétabli sur le seuil et que le réengrèvement du bief entre les seuils 8 et 7 sera suffisant pour atténuer la chute résiduelle du seuil 8 : en pratique, on attendra que les graviers se trouvent à 2 m environ sous la crête du seuil, puis qu'on doit baisser la crête de 1,5 m.



Graphique : chute résiduelle en pied des seuils.

1 : l'abaissement des seuils 9 et 10 induit un abaissement rapide des fonds amont

2 : la remobilisation des matériaux engrave rapidement le bief 8-9 (2a), et commence progressivement à engraver le bief 7-8 (2b),

3 : l'engrèvement du bief 8-7 est suffisant pour abaisser le seuil 8.

La cote du seuil 8 est de 65m ; à t=10ans, la chute résiduelle n'est donc plus que de 2m : l'abaissement est donc réalisable à cette échéance.

3.2.3. CALENDRIER DES TRAVAUX

Les simulations confortées par la réalité de terrain montrent que finalement la réaction morphologique à l'abaissement des seuils est assez rapide, en considérant des années hydrologiques moyennes. Les délais sont donc relativement courts.

Abaissement du seuil 9 : -2m

L'abaissement immédiat du seuil 9 impliquera l'abaissement à très court terme du seuil 10, qui lui-même impliquera rapidement l'apport de fortes quantités de graviers, qui participera au remplissage rapide du bief S7-S8.

Abaissement du seuil 10 (-1.50m) devra être engagé dans la foulée.

Le principe pourra être un marché commun à l'aménagement des deux seuils : les travaux sur le seuil 10 pourront être soit engagés en même temps, mais avec des contraintes de mise hors d'eau du chantier, soit décalé dans le temps de 6 mois à 1 an en attendant que le chenal principal se soit suffisamment abaissé après les travaux sur le seuil 9.

Quant à l'abaissement du seuil 8 (-1.50m), il nous semble souhaitable d'attendre que le transit des graviers se soit rétabli sur le seuil et que le réengravement du bief entre les seuils 8 et 7 soit suffisant pour atténuer la chute résiduelle du seuil 8. Cela permettra d'éviter d'avoir à renforcer lourdement (voire à reconstruire) le seuil pour une chute encore importante, qui ne sera effective que quelques années. En pratique, on attendra que les graviers se trouvent à 2 m environ sous la crête du seuil, puisqu'on doit baisser la crête de 1,5 m. Le délai d'attente devrait se situer entre 5 et 10 ans selon l'activité hydrologique.

Ce délai de 5 à 10 ans comprend la durée nécessaire à l'engravement complet du bief 9-8, et à l'engravement partiel du bief 8-7(jusqu'au remplissage correspondant à 2m sous le niveau de la crête du seuil 8).

Résumé :

$T = 0 :$	Abaissement du seuil 9 : -2m
$T = 0 \text{ à } 2 \text{ ans}^* :$	Abaissement du seuil 10 : -1.50m
$T = 5 \text{ à } 10 \text{ ans} :$	Abaissement du seuil 8 : -1.50m.

* : année hydrologique moyenne

4. FAISABILITE TECHNIQUE DE L'ABAISSMENT

4.1. SEUIL

Ancrage des seuils dans le corps de digue :

Le seuil est liaisonné au corps de digue grâce à un ancrage constitué de palplanches, et en forme de « T ». La longueur dans la digue est de 40 à 60m, et de 15m environ dans la crête du seuil. Ces ancrages ne seront pas modifiés. Or les abaissments théoriques des seuils étaient estimés sur tout le linéaire des seuils.

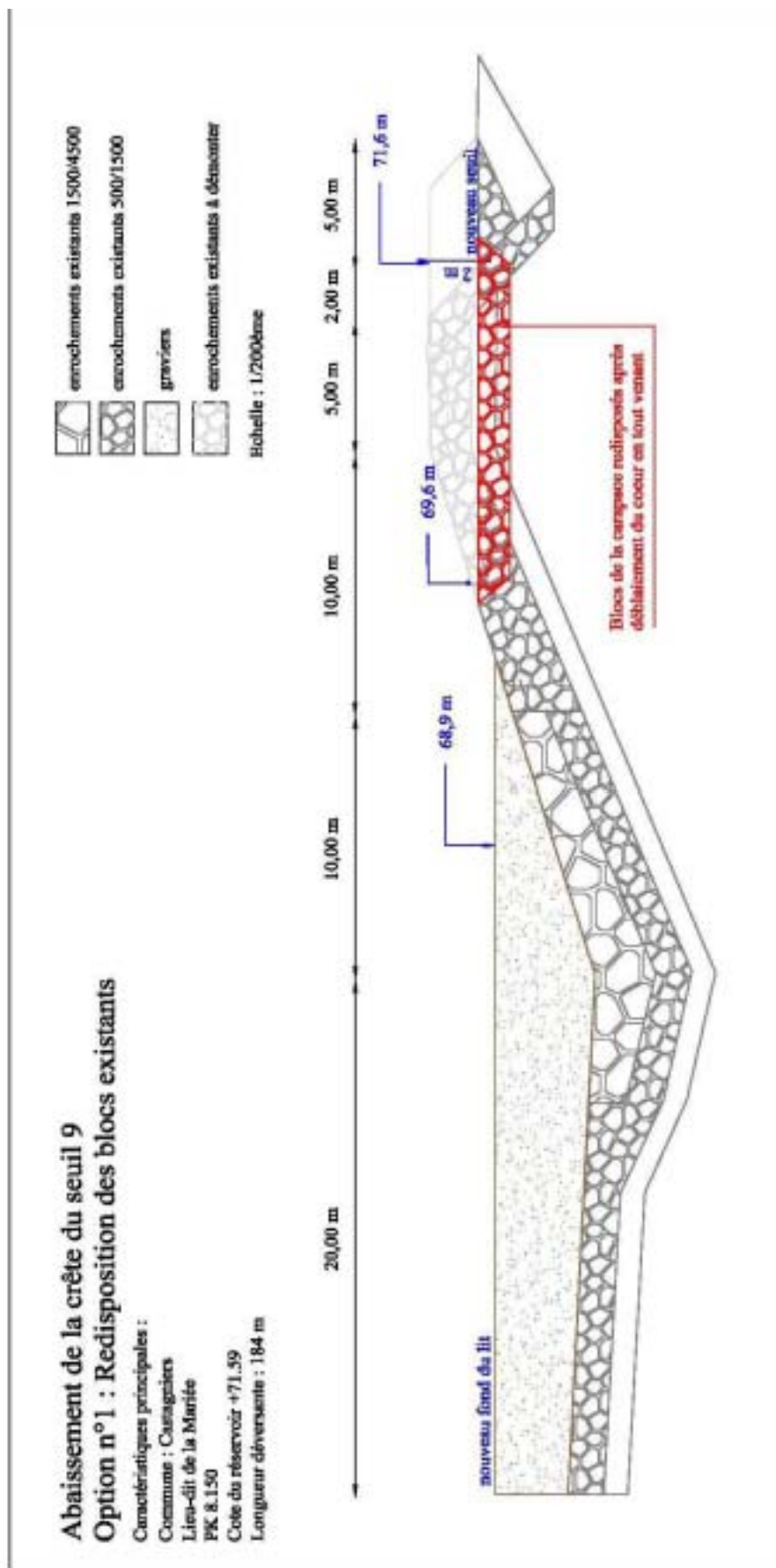
La solution préconisée consistera à réaliser une légère échancrure dans la crête du seuil (cf. ci-après, aspect piscicole) qui permettra d'obtenir une section hydraulique équivalente.

Crête des seuils :

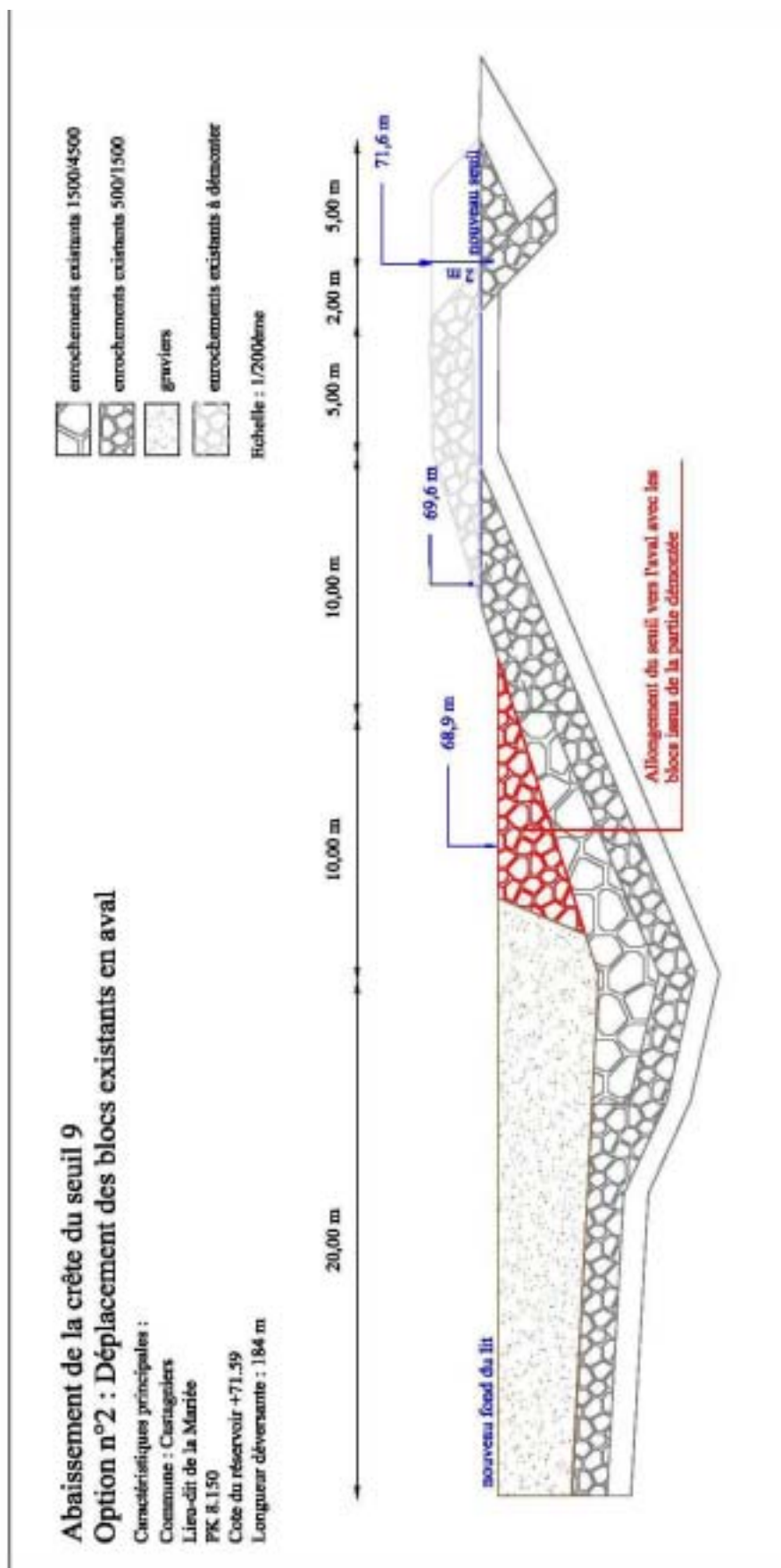
En attendant le réengravement à l'aval des seuils (déjà acquis de fait pour les seuils 9 et 10), on n'a plus à traiter qu'une chute résiduelle faible.

Cela permet de proposer un simple réaménagement des seuils existants : décapage de la crête en enrochement liaisonnés sur la hauteur d'abaissement prévue (ce qui mettra à nu le cœur en tout venant des ouvrages), et reconstitution de la crête

- soit par remplacement du cœur en tout venant par les blocs issus de la surface (*option 1*),
- soit par mise en place des blocs à l'aval de l'ouvrage (*option 2*).



Option 1 : Reconstitution de la crête du seuil, par redispotion des blocs existants.



Option 2 : Reconstitution de la crête du seuil, par déplacement des blocs à l'aval type « rampe en enrochements ».

Cette seconde solution permettrait de concevoir un seuil « franchissable par conception » par les poissons. Cette franchissabilité doit être en effet assurée. Les passes à poisson classiques ne paraissent pas adaptées à des rivières mobiles comme le Var. Les chutes résiduelles étant faibles, on cherchera plutôt à aménager la crête (avec des points bas et des points hauts à 50 cm de part et d'autre de la crête) et le coursier (en pente douce).

Une discussion personnelle avec les spécialistes des passes à poissons (agents du CSP et de M. Larinier du CEMAGREF) confirme l'intérêt de ce type de seuil avec « rampe en enrochements en pente douce » (solution 2) pour lequel la franchissabilité est assurée.

Pré-seuil 10 :

Son enlèvement intégral est préconisé, pour les usages dans le Var (palplanches). Les enrochements seront réutilisés.

4.2. MICROCENTRALE

La destruction des micro-centrales (superstructure) et l'arasement de la crête du seuil (destruction du chemin d'accès bétonné) sont envisagés.

La démolition partielle des centrales a été estimée à partir de plans génie-civil de la centrale du seuil 4. Les parties à araser sont identiques pour les centrales 8, 9 et 10.

Les voies d'accès seront à araser également.

Nous avons considéré les travaux hors désamiantage, présence de pyralène,... (absents d'après les gestionnaires des centrales) . Ce point devra être vérifié en temps voulu.

4.3. RENFORCEMENT DES PROTECTIONS DE BERGE - DIGUE

Les digues sont fragiles et les conditions de réalisation de ces ouvrages anciens sont mal connues.

Digue :

La digue rive gauche (la plus ancienne) est constituée d'un parement maçonné. Elle est déchaussée à l'amont du seuil 10.

La digue rive droite (1960-70) est constituée d'un parement bétonné sur lequel étaient disposés des blocs béton (« sucres »), qui ont été remplacés par la suite en certains endroits par des enrochements. Certains blocs sont actuellement manquants.

L'abaissement des seuils va entraîner une érosion régressive à l'amont des seuils (aval des biefs) avec un abaissement maximum au droit du seuil et diminuant vers l'amont : il existe un risque d'effondrement de la protection. Il s'agira donc de renforcer les pieds de protection à l'aval des biefs (de 0 à 12m³/ml d'enrochements progressivement) sur 400ml.

De plus, à l'amont des biefs, il convient de provisionner un éventuel confortement des protections lors de leur découverture progressif.

Pour les travaux on peut distinguer plusieurs phases d'aménagements :

- 1 : Protection sur les 2/3 (260ml) d'office, à l'amont immédiat des seuils,
- 2 : Provision pour le 1/3 restant (140ml) situés à l'amont, à moyen terme + Provision pour 50% du renforcement des biefs amont,
- 3 : Provision pour 50% du renforcement des biefs amont,

Provision supplémentaire de 200ml à l'amont du seuil 10 après surveillance du secteur.

Le renforcement des protections de berges devrait, en théorie, être réalisé préféablement avant abaissement des crêtes des seuils. Cependant, la réalisation concrète serait difficile. Il semble plus confortable d'attendre l'abaissement du niveau d'étiage. L'expérience sur les seuils aval montre que les risques semblent limités.

Le volume de remblai relatif aux fosses pour la mise en place des protections de berge servira utilement à la mise en place du batardeau. Le surplus de remblai pourra être régalé contre les berges.

5. CHIFFRAGE ESTIMATIF

Il s'agit d'un chiffrage global qui ne distingue pas, ni ne préjuge des différents maîtres d'ouvrage.

Chiffrage (€ HT)		Seuil 8	Seuil 9	Seuil 10
Aménagement seuil		250 000	250 000	250 000
<i>Démontage Micro-centrale</i>		<i>340 000</i>	<i>340 000</i>	<i>340 000</i>
Protections de berge	Phase 1	200 000	180 000	180 000
	Phase 2 (provision)	200 000	180 000	180 000
	Phase 3 (provision)	130 000	90 000	140 000
Pré-seuil 10, prises d'eau seuil 8, etc.		50 000		60 000
20% : Divers, imprévus et maîtrise d'œuvre (8%)		340 000	270 000	280 000
Total		1 510 000	1 310 000	1 430 000

Soir un total cumulé de 4.25 M€ HT pour les 3 seuils.

Chiffrage détaillé :

Les prix unitaires ont été augmentés d'une marge de 20% correspondant aux divers et imprévus.

SEUIL			Prix unitaire	Seuil 8	Seuil 9	Seuil 10
Enrochements à désolidariser	25m3/ml	200ml	15	75000	75000	75000
Creusement TVC	13m3/ml	200ml	7	18200	18200	18200
Mise en place enrochements	20m3/ml*	200ml	24	96000	96000	96000
Béton brut	0.12m3/m2	14*200ml	180	60480	60480	60480
				249680	249680	249680
* :1000m3 enroch. récupéré						

MICRO-CENTRALE						
Centrale				Seuil 8	Seuil 9	Seuil 10
Démolition superstructure				25920	25920	25920
Démolition béton	550m3	550m3	400m3	152064	152064	152064
Evacuation gravats				14256	14256	14256
Passe à poissons						
Démolition béton	75m3	75m3		16848	16848	16848
Evacuation gravats				1944	1944	1944
Voie d'accès						
Démolition béton	2m3*26ml	2m3*31ml	2m3*21ml	11681	13928	13928
Evacuation gravats				3707	4432	4432
				226420	229392	229392
Remplissage des fosses						
Reprise du seuil enrochement	25m*2m	20ml (récup)	20	24000	24000	24000
	25m*2m	30ml	45	81000	81000	81000
Béton brut	0.12m3/m2	25*50ml	150	27000	27000	27000
				358420	361392	361392

PROTECTION DE BERGE				8	9	10
Aval bief (phases 1 et 2)				400ml	350ml	400ml (dont 250ml***)
Creusement fosse**	12m3/ml (0-2*400ml)		6	57600	50400	57600
Enrochements	6m3/ml (0-2*400ml)		54	259200	226800	178200
				316800	277200	235800
Amont bief (prévision)				600ml	500ml	500ml
Enrochements	3m3/ml		54	194400	162000	291600
total				511200	439200	527400
** : batardeau simultané						
sous-total phase 1				209088	182952	155628
sous-total phase 2				202800	173400	224400
sous-total phase 3				97200	81000	145800

PRE SEUIL 10				
Recepape		250ml	90	22500
Enrochements à récupérer***	2*6m3/ml	250ml	15	36000
Enrochements				58500

*** : pour protection amont seuil10

**** : merlon RD enrochements