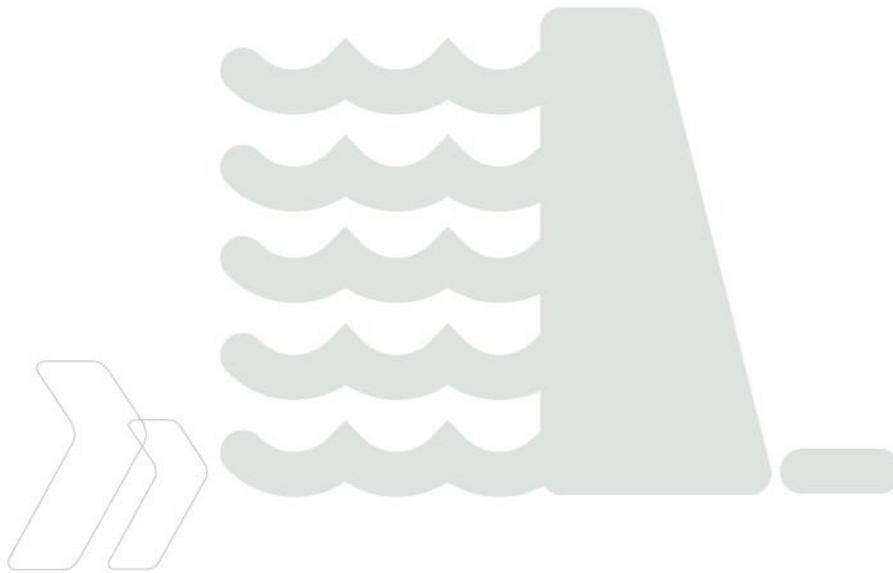


Barrages



MOE DES OUVRAGES ECUREURS DE L'ASPE, DE
VAULONGUE ET DES CROTTES
Note d'analyse de site alternatif

⊕
CAVEM

Rapport n° : 16f-114-RM-4
Révision n° : B
Date : 01/03/2017

Votre contact :
Marc-Henri PROST
prost@isl.fr

Rapport

ISL Ingénierie SAS - MONTPELLIER
65 rue Clément Ader
34000 - Castelnau-le-Lez
FRANCE
Tel. : +33.4.67.54.51.88
Fax : +33.4.67.54.52.05

www.isl.fr

ISL
Ingénierie

Visa

Document actualisé le 01/03/2017.

Révision	Date	Auteur	Chef de Projet	Superviseur	Commentaire
A	01/03/2017	MHP	MHP	MHP	
B	01/03/2017	MHP	MHP	MHP	

MHP : PROST Marc-Henri

Rapport ISL
16f-114-RM-4
Revision B

<http://www.isl.fr/r.php?c=139635>



Ingénierie



SOMMAIRE

1	CONTEXTE ET OBJECTIF DE L'OPERATION	1
2	IDENTIFICATION DE SITES ALTERNATIFS POTENTIELS	1
2.1	PREAMBULE	1
2.2	MODE D'IDENTIFICATION DES SITES	1
2.3	LOIS HSV DES DIFFERENTS SITES ETUDIES	2
2.3.1	SITE ALTERNATIF AMONT	2
2.3.2	SITE ALTERNATIF INTERMEDIAIRE	4
2.3.3	SITE ALTERNATIF AVAL	5
3	VERIFICATION DE LA PERTINENCE HYDRAULIQUE DES SITES	7
3.1	PREAMBULE	7
3.2	PREMIERE APPROCHE : RATIO V/S BV	7
3.3	VERIFICATION DU FONCTIONNEMENT DU SYSTEME A L'AIDE D'UN MODELE HYDROLOGIQUE	8
3.3.1	METHODOLOGIE	8
3.3.2	RESULTATS	8
4	VERIFICATION DE LA PERTINENCE ECONOMIQUE DES OUVRAGES	10
4.1	ESTIMATION DU COUT DES OUVRAGES	10
4.1.1	MODE D'ESTIMATION DU COUT DES OUVRAGES	10
4.1.2	ASPE (POUR MEMOIRE)	11
4.1.3	SITE AMONT	12
4.1.4	SITE INTERMEDIAIRE	12
4.1.5	BARRAGE AVAL	13
4.2	COMPARAISON ECONOMIQUE ENTRE LES OUVRAGES	14
5	CONCLUSIONS	14

TABLE DES FIGURES

Figure 1 : implantation des sites étudiés et des sites alternatifs _____	2
Figure 2 : Site amont, emprise maximale mobilisable _____	3
Figure 3 : Site intermédiaire, emprise maximale mobilisable _____	4
Figure 4 : Site aval, emprise maximale mobilisable _____	6
Figure 5 : Prix des autres postes par rapport au prix du corps de digue _____	11

TABLE DES TABLEAUX

Tableau 1 : loi HSV pour le site amont	4
Tableau 2 : loi HSV pour le site intermédiaire	5
Tableau 3 : loi HSV pour le site aval	6
Tableau 4 : Données sur l'efficacité hydraulique des ouvrages	7
Tableau 5 : Analyse des impacts et l'efficacité des ouvrages	15

|

1 CONTEXTE ET OBJECTIF DE L'OPERATION

La CAVEM, dans le cadre du PAPI ARGENS, a inscrit la réalisation de 3 barrages écrêteurs de crue sur le territoire de la commune de Saint Raphaël.

Ces ouvrages ont été identifiés en 2007 par le bureau d'études BCEOM dans le cadre du schéma directeur. Ils permettent, une réduction des inondations sur le territoire communal.

Afin de s'assurer que les sites retenus sont bien ceux présentant la meilleure efficacité hydraulique pour les impacts (fonciers et environnementaux) les plus faibles, la CAVEM a demandé à ISL, dans le cadre de sa mission de maîtrise d'œuvre complète relative à la réalisation des ces ouvrages de procéder à une recherche de sites alternatifs et de les comparer au titre de leur efficacité hydraulique.

L'objectif est d'identifier des sites qui pourraient présenter un intérêt puis de vérifier si cet intérêt est confirmé et le comparer avec les sites retenus pour s'assurer que le projet soutenu est bien le meilleur projet possible.

2 IDENTIFICATION DE SITES ALTERNATIFS POTENTIELS

2.1 PREAMBULE

L'efficacité hydraulique d'un ouvrage dépend de plusieurs facteurs :

- La dimension du bassin versant intercepté,
- Le volume disponible pour assurer le stockage des eaux (qui dépend de la hauteur maximale envisageable pour l'ouvrage et donc de la surface disponible pour la retenue).

Dans le contexte urbain de l'opération, ces deux contraintes sont contradictoires : la meilleure efficacité serait obtenue pour des retenues importantes situées le plus en aval possible mais la densité urbaine ne permet pas d'envisager d'implantation en aval du hameau de Vaulongue.

A contrario, les zones en amont du cimetière de l'Aspé sont peu urbanisées et potentiellement propices à la réalisation d'un ouvrage mais le bassin versant intercepté devient trop petit pour que l'ouvrage ait une incidence significative sur l'écrêtement des crues en aval.

On notera également que plus le bassin versant à contrôler est grand, plus le volume de stockage à trouver est important. Un ouvrage sur la Garonne à proximité du hameau de Vaulongue nécessitera un volume de stockage plus important qu'un ouvrage sur un affluent comme le vallon de l'Aspé.

Dès lors la recherche de site s'est concentrée sur la zone comprise entre le cimetière de l'Aspé et le hameau de Vaulongue.

2.2 MODE D'IDENTIFICATION DES SITES

Trois sites ont été sélectionnés sur la base d'une analyse de la topographie locale (recherche d'un verrou topographique permettant la mise en place d'un ouvrage). Ils sont dénommés, site amont, intermédiaire et aval dans la suite du document. Les axes des ouvrages envisagés sont présentés sur la figure suivante.

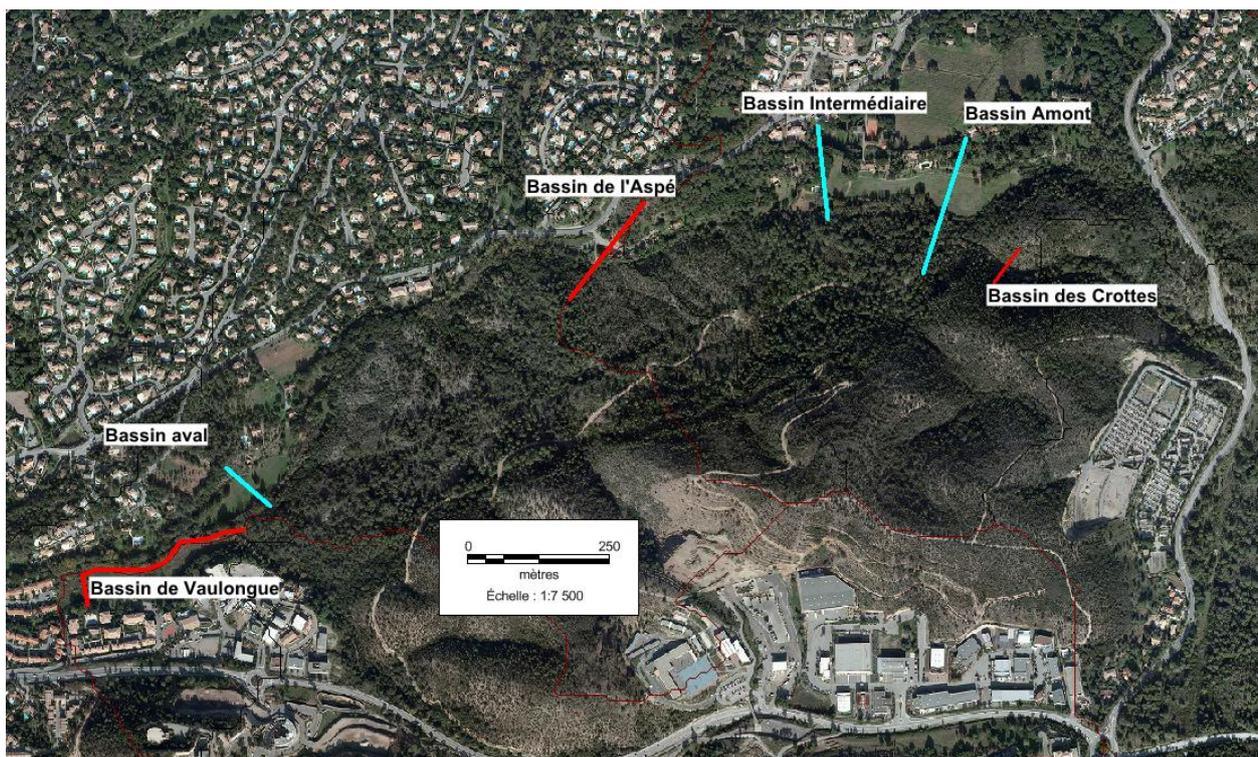


Figure 1 : implantation des sites étudiés et des sites alternatifs

On notera que les sites dits de l'Aspé et des Crottes amont occupent deux des verrous topographiques les plus marqués de la zone, ce qui semble indiquer que la démarche employée à l'époque s'est appuyée sur les mêmes méthodologies.

Le bassin de Vaulongue est écarté de la comparaison menée ultérieurement : ce dernier concerne un bassin de dimension réduite et a un impact principalement local.

Une fois les axes positionnés, la loi HSV (Hauteur Surface Volume) de la retenue est calculée sur la base des données topographiques disponibles. La hauteur maximale de l'ouvrage est prise comme celle qui arrive en limite des enjeux urbanisés.

Cette donnée permet ensuite d'apprécier le potentiel hydraulique de chaque site.

La surface du bassin versant intercepté est également calculée.

2.3 LOIS HSV DES DIFFERENTS SITES ETUDIES

2.3.1 SITE ALTERNATIF AMONT

Pour ce site il convient de se limiter à la cote 44 m NGF (tracé rouge ci-dessous), limite d'emprise supérieure du plan d'eau permettant de ne pas toucher d'enjeu habité. On notera que pour cette cote, les terrains privés sont assez largement touchés.

D'un point de vue environnemental, la retenue se situe pour partie dans la zone du parc naturel de l'Estérel.

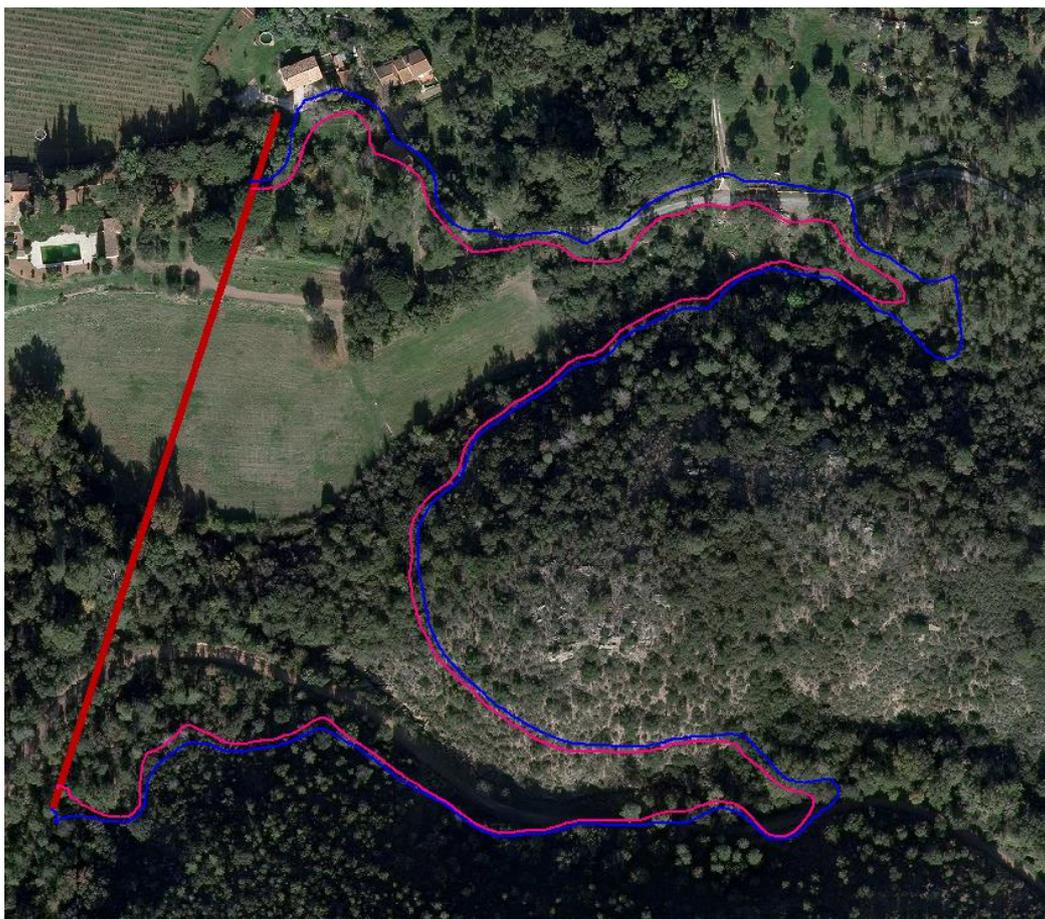


Figure 2 : Site amont, emprise maximale mobilisable

Au niveau foncier, l'emprise de l'ouvrage, non représentée sur le schéma précédent, serait de l'ordre de 45 m au maximum entre le pied amont et le pied aval de l'ouvrage. Les contraintes existantes, et notamment la présence d'une piscine et d'un bâtiment associé en aval pourraient contraindre à limiter la hauteur de l'ouvrage pour les épargner ou à envisager des dispositions constructives onéreuses pour raidir l'ouvrage et limiter ainsi son emprise.

Cette dernière option se heurterait toutefois aux contraintes d'intégration paysagère et d'acceptation de l'ouvrage.

La loi HSV correspondante est la suivante :

m NGF	m ²	Volume (m ³)	h (m)
34	1191,57	0	0
35	2789,46	1991	1
36	4321,46	5546	2
37	5912,88	10663	3
38	7066,09	17153	4
39	12586,01	26979	5
40	14956,16	40750	6
41	17598,09	57027	7
42	20455,08	76053	8
43	24269,28	98416	9

44	27820,49	124461	10
45	31883,19	154312	11

Tableau 1 : loi HSV pour le site amont

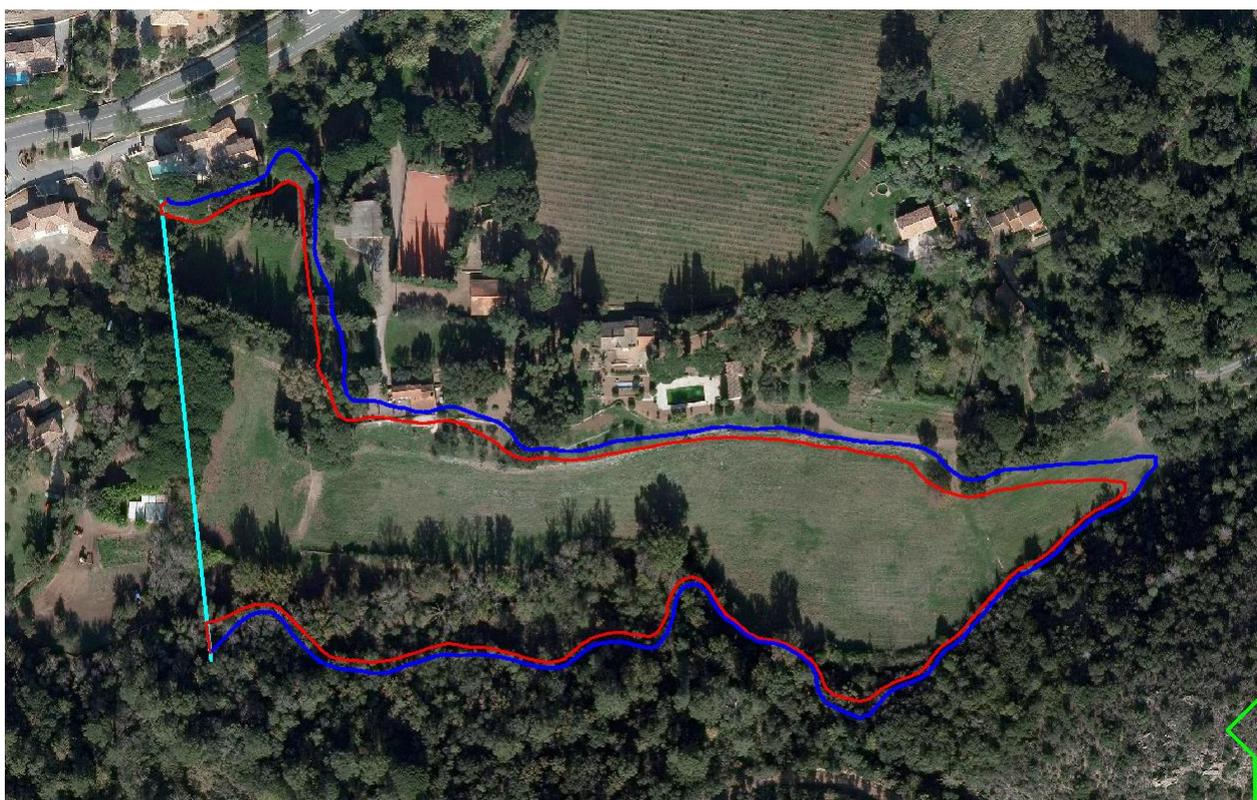
Le volume maximal disponible est de l'ordre de 125 000 m³ si les contraintes foncières peuvent être contournées, il serait réduit aux environ de 40 000 m³ si la cote de l'ouvrage devait être limitée du fait des contraintes foncières.

Le bassin versant intercepté représente environ 2 km².

2.3.2 SITE ALTERNATIF INTERMEDIAIRE

Pour ce site il convient de se limiter à la cote 37 m NGF (tracé rouge ci-dessous), limite d'emprise supérieure du plan d'eau permettant de ne pas toucher d'enjeu habité. Cette valeur peut même apparaître trop importante, dans la mesure où l'on tangente un bâti et que la précision du levé topographique utilisé ne permet pas de s'assurer avec certitude de la non inondation de cet enjeu. On notera que pour cette cote, les terrains privés sont assez largement touchés.

D'un point de vue environnemental, la retenue se situe pour partie dans la zone du parc naturel de l'Estérel.

**Figure 3 : Site intermédiaire, emprise maximale mobilisable**

Au niveau foncier, l'emprise de l'ouvrage, non représentée sur le schéma précédent, serait de l'ordre de 30 m au maximum entre le pied amont et le pied aval de l'ouvrage. Les contraintes existantes, et notamment la présence d'une piscine et la proximité du bâti en aval pourraient contraindre à limiter la hauteur de l'ouvrage pour les épargner ou à envisager des dispositions constructives onéreuses pour raidir l'ouvrage et limiter ainsi son emprise.

La loi HSV correspondante est la suivante :

mNGF	m ²	Volume (m ³)	h (m)
31	625,485	0	0
32	3376,055	2001	1
33	6019,925	6699	2
34	10910,725	15164	3
35	15410,285	28325	4
36	20292,245	46176	5
37	26256,145	69450	6
38	31518,925	98338	7

Tableau 2 : loi HSV pour le site intermédiaire

Le volume maximal disponible est de l'ordre de 70 000 m³ et pourrait être réduit à environ 28 000 m³ par les contraintes foncières au niveau de l'emprise de l'ouvrage.

Le bassin versant intercepté représente environ 2,3 km².

2.3.3 SITE ALTERNATIF AVAL

Pour ce site il convient de se limiter à la cote 16 m NGF, limite d'emprise supérieure du plan d'eau permettant de ne pas toucher d'enjeu habité. En acceptant l'inondation deux bâtiments, on peut approcher la cote 19 m NGF (tracé rouge ci-dessous). On notera que pour ces cotes, les terrains privés et cultivés sont assez largement touchés.

D'un point de vue environnemental, la retenue se situe en lisière de la zone du parc naturel de l'Estérel.



Figure 4 : Site aval, emprise maximale mobilisable

La loi HSV correspondante est la suivante :

m NGF	m ²	Volume (m ³)	h (m)
13	2953,54	0	0
14	5520,84	4237	1
15	6676,39	10336	2
16	7804,11	17576	3
17	9141,65	26049	4
18	10943,95	36092	5
19	23072,05	53100	6
20	46015,16	87643	7

Tableau 3 : loi HSV pour le site aval

Le volume maximal disponible est de l'ordre de 17 000 m³ pouvant être porté à 36 000 m³ si les deux bâtiments peuvent être supprimés.

Le bassin versant intercepté représente environ 14,3 km².

3 VERIFICATION DE LA PERTINENCE HYDRAULIQUE DES SITES

3.1 PREAMBULE

Les analyses de l'efficacité hydraulique des ouvrages sont proposées dans les paragraphes suivants. Pour cette analyse, les volumes maximaux envisageables au niveau des retenues ont été retenus en considérant que les fortes contraintes foncières identifiées pourraient être levées. Ce parti pris conduit probablement à surestimer l'efficacité hydraulique des ouvrages alternatifs proposés.

3.2 PREMIERE APPROCHE : RATIO V/S BV

Le tableau suivant récapitule les caractéristiques des ouvrages projetés dans le cadre du PAPI et des sites alternatifs étudiés.

Il est proposé en première approche de considérer le ratio V/S BV comme indicateur de comparaison sur l'efficacité hydraulique des ouvrages.

Plus le Ratio V/S BV est élevé plus l'ouvrage est pertinent.

On notera toutefois que cette approche simplifiée ne traduit pas complètement la perte d'efficacité pour les ouvrages les plus en amont et est susceptible de les faire apparaître plus pertinents qu'ils ne le sont vraiment.

	H max (m)	V max (m ³)	S BV (km ²)	Ratio V/S BV
Crottes	11	64 000	1,7	37647
Aspé	13	225 000	2,7	83333
Amont	10	125 000	2	62500
Intermédiaire	6	70 000	2,3	30435
Aval	3 à 6	17 000 à 36 000	14,3	2517

Tableau 4 : Données sur l'efficacité hydraulique des ouvrages

Il ressort de cette analyse que le site de l'Aspé est le meilleur site envisageable sur la zone.

La comparaison entre les sites de l'Aspé et des Crottes, pour lesquels la modélisation hydrologique a été réalisée, valide la pertinence de l'approche : la modélisation hydrologique montre que le site de l'Aspé est bien plus efficace d'un point de vue hydraulique que celui des Crottes, point qui ressort également assez clairement de l'approche simplifiée proposée.

Le site des Crottes, s'il est propice à l'édification d'un ouvrage d'un point de vue topographique (vallée étroite) souffre de sa position très en amont du bassin versant et du volume limité de stockage disponible. Ce site est a priori comparable avec un site situé plus en aval qui permettrait d'intercepter un BV plus important avec un volume de stockage légèrement plus élevé.

Les autres sites étudiés n'offrent pas d'intérêt d'un point de vue hydraulique par rapport au site de l'Aspe.

3.3 VERIFICATION DU FONCTIONNEMENT DU SYSTEME A L'AIDE D'UN MODELE HYDROLOGIQUE

3.3.1 METHODOLOGIE

L'effet des différents barrages sur le débit transitant dans les cours d'eau a été modélisé à l'aide du logiciel interne Ges-Res d'ISL.

C'est ce modèle qui a été utilisé pour le dimensionnement hydraulique des ouvrages de l'Aspe et de Vaulongue.

Les configurations suivantes ont été testées :

- **Référence** Vaulongue + Aspe
- **0** Etat sans aménagement
- **1** Vaulongue + Amont
- **2** Vaulongue + Intermédiaire
- **3** Vaulongue + Aval
- **4** Vaulongue + Amont + Aval

La configuration bassin intermédiaire et bassin amont n'est pas testée, les retenues de ces deux ouvrage se chevauchant.

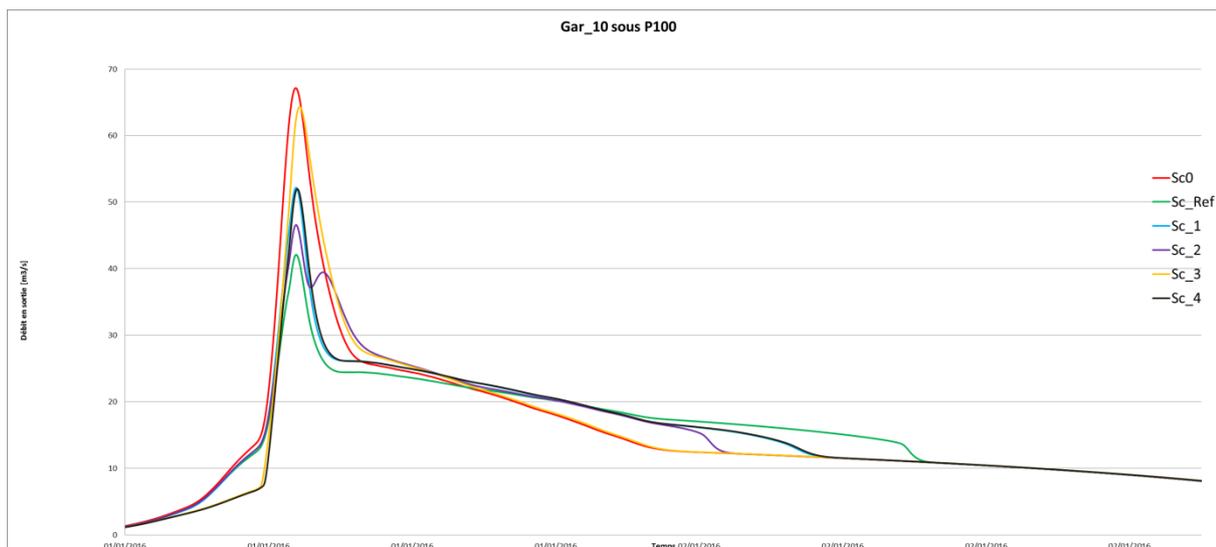
L'analyse est menée pour la crue centennale qui est la crue objectif de dimensionnement retenue pour les ouvrages de l'Aspe et de de Vaulongue.

Les résultats sont exploités au niveau de deux points de calcul du modèle, situés :

- en aval du vallon des Crottes, en amont de la confluence avec la Garonne (point GAR23),
- au niveau du hameau de Vaulongue, immédiatement en aval du bassin de Vaulongue étudié (point GAR10).

3.3.2 RESULTATS

Au niveau du hameau de Vaulongue, les hydrogrammes pour les différentes configurations testées sont présentés sur le graphique suivant.

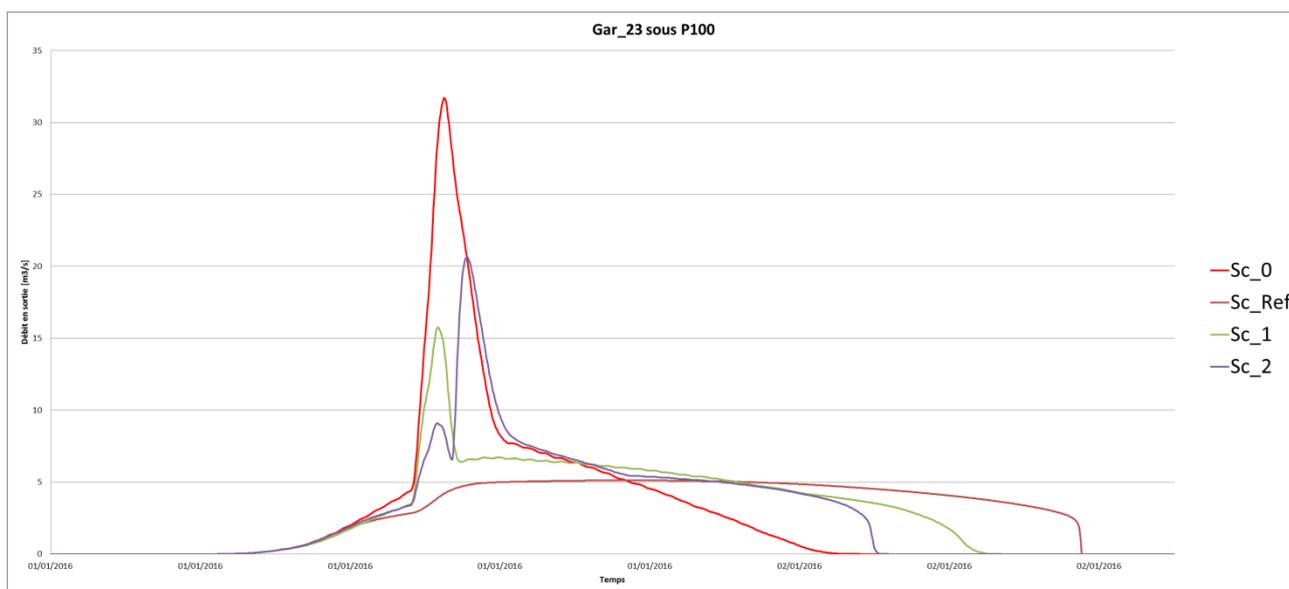


Pour la pluie centennale sans aucun aménagement le débit atteint est voisin de 67 m³/s. Ce débit est réduit à une valeur de l'ordre de 42 m³/s dans l'état de référence avec le barrage de l'Aspé et le bassin de Vaulongue.

Toutes les autres configurations testées ne permettent pas de laminier autant que la situation de référence, avec des débits de pointe au niveau du nœud de calcul compris entre 46 et 65 m³/s.

Il apparait donc clairement que le barrage de l'Aspé est celui qui permet la plus grande réduction du pic de crue transitant dans le bief. Le bassin intermédiaire, sous réserve de pouvoir disposer effectivement du volume de stockage modélisé est celui qui se rapprocherait le plus de l'efficacité de l'Aspé.

Ce résultat est confirmé lorsqu'on s'intéresse aux hydrogrammes de crue situés en aval immédiat du vallon des Crottes, avant la confluence avec la Garonne. On notera qu'à ce niveau, le barrage aval, situé trop bas, n'est pas inclus dans la modélisation.



Sur ce graphique, nous pouvons vérifier que seul le barrage de l'Aspé écrête réellement la crue et la stocke totalement. Les deux barrages alternatifs divisent par 1.5 ou par 2 le débit maximal, mais sont rapidement pleins et débordent, laissant passer le plus gros de la crue. Leur position en amont du bassin versant diminue également leur efficacité à l'échelle globale.

4 VERIFICATION DE LA PERTINENCE ECONOMIQUE DES OUVRAGES

4.1 ESTIMATION DU COUT DES OUVRAGES

4.1.1 MODE D'ESTIMATION DU COUT DES OUVRAGES

L'estimation des coûts se base sur un métré simplifié de la géométrie globale des ouvrages et sur le détail estimatif précis réalisé pour le barrage de l'Aspé en phase AVP. Le volume total de matériau nécessaire à la réalisation du corps de digue, l'emprise de celle-ci et le volume de matériaux à évacuer ont ainsi été estimés à partir de la topographie des sites et des caractéristiques des ouvrages.

La géométrie retenue est celle d'un barrage aux pentes de 2H/1V pourvu d'une crête de 5 m de large, dont la hauteur est fonction de la loi HSV du site définie précédemment. Le fond de vallée est supposé horizontal pour la simplification des calculs.

Pour le barrage de l'Aspé, le coût de gestion des déblais et remblais (achat, transport, mise-en-œuvre) formant le plus gros du volume du barrage représente 90% du prix total du corps de digue. A quoi vient s'ajouter l'étanchéité et la gestion des drains. Le prix brut calculé à partir des quantités de déblais et de remblais est donc majoré de 10%.

En nous basant sur le Détail estimatif réalisé pour le barrage de l'Aspé, les autres postes de dépenses ont été, selon leur nature, soit calculés au prorata du volume de digue soit laissés en prix forfaitaire.

Nous avons ainsi :

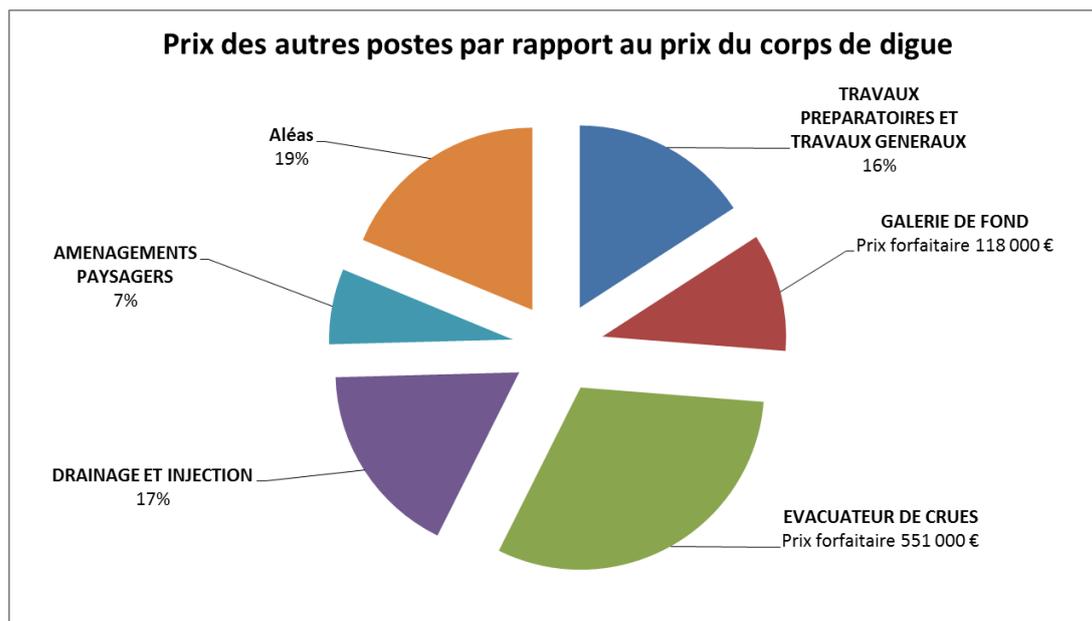


Figure 5 : Prix des autres postes par rapport au prix du corps de digue

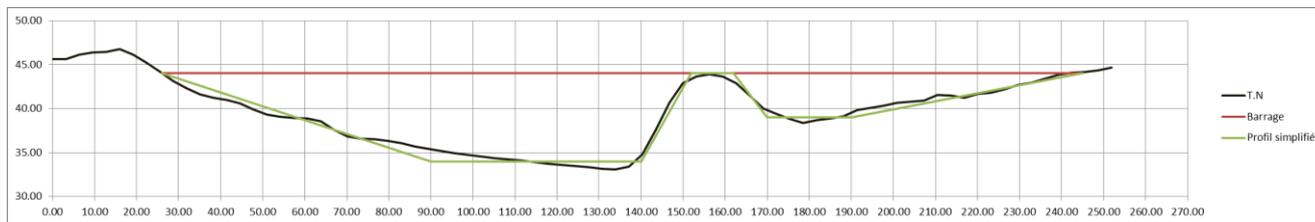
4.1.2 ASPE (POUR MEMOIRE)

Caractéristiques :

	Barrage de l'Aspé	
Hauteur maximale	13	m
Longueur en crête	200	m
Largeur maximale	60	m
Emprise au sol estimée	10 000	m ²
Volume du corps de digue	52 700	m ³
Volume maximal stocké	225 000	m ³
Prix TTC	4 466 880	€
Prix TTC / m ³ stocké	20	€/m ³

4.1.3 SITE AMONT

Le barrage envisagé à l'amont serait constitué de deux barrages bloquant le bassin versant séparés par une butte naturelle.

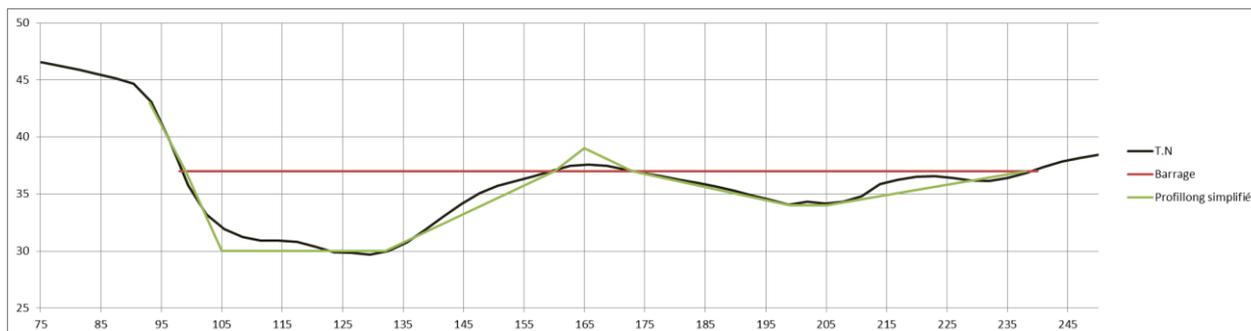


Ses caractéristiques sont les suivantes :

	Barrage amont	
Hauteur maximale	10	m
Longueur en crête	209	m
Largeur maximale	45	m
Emprise au sol estimée	9 500	m ²
Volume du corps de digue	22 800	m ³
Volume maximal stocké	125 000	m ³
Prix TTC	3 271 200	€
Prix TTC / m ³ stocké	26	€/m ³

4.1.4 SITE INTERMEDIAIRE

Le barrage intermédiaire présente une configuration similaire au barrage amont.

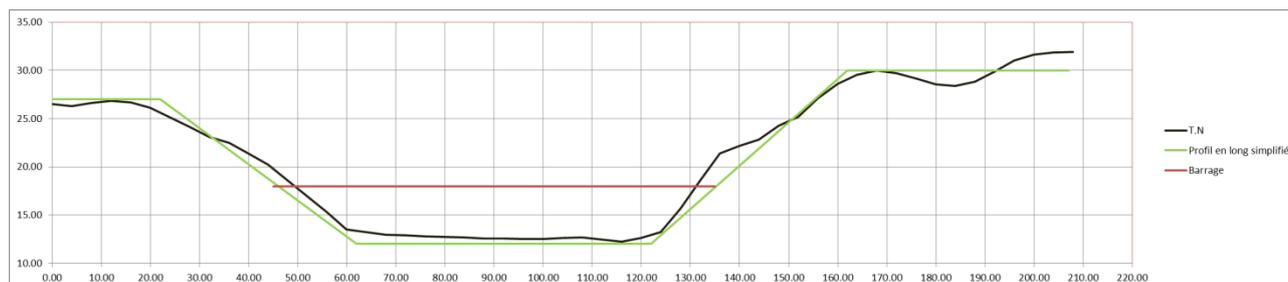


Ses caractéristiques sont les suivantes :

	Barrage intermédiaire	
Hauteur maximale	7	m
Longueur en crête	126	m
Largeur maximale	33	m
Emprise au sol estimée	3 000	m ²
Volume du corps de digue	6 300	m ³
Volume maximal stocké	70 000	m ³
Prix TTC	2 012 400	€
Prix TTC / m ³ stocké	29	€/m ³

4.1.5 BARRAGE AVAL

Le barrage aval se situe entre deux coteaux et présente la configuration suivante :



Sa situation, en aval du bassin versant, et sa proximité avec la Garonne impliquent un évacuateur de crue de dimensionnement plus important que pour les autres ouvrages étudiés, et nous avons donc appliqué une majoration de 50% au prix forfaitaire de l'évacuateur de crue.

Ses caractéristiques principales se trouvent dans le tableau ci-après :

	Barrage aval	
Hauteur maximale	6	m
Longueur en crête	90	m
Largeur maximale	29	m
Emprise au sol estimée	3 100	m ²
Volume du corps de digue	7 300	m ³
Volume maximal stocké	17 000	m ³
Prix TTC	2 281 200	€
Prix TTC / m ³ stocké	134	€/m ³

4.2 COMPARAISON ECONOMIQUE ENTRE LES OUVRAGES

Nous récapitulons ci-dessous les prix et les « rendements » des différents ouvrages :

	Prix TTC [€]	Volume stocké [m ³]	Prix / m ³ stocké
Aspé	4 466 880	225 000	19.9
Amont	3 271 200	125 000	26.2
Intermédiaire	2 012 400	70 000	28.7
Aval	2 281 200	17 000	134.2

Il apparaît clairement que le prix par m³ d'eau stocké le plus faible est obtenu avec le barrage de l'Aspé, qui par ses dimensions peut stocker un volume quasiment deux fois supérieur au plus gros des trois autres barrages envisagés. Le barrage envisagé à l'aval apparaît nettement comme le plus inefficace : cher, il stocke peu d'eau et doit supporter des crues plus importantes.

Les deux autres, amont et intermédiaire, présentent des rendements proches, mais en deçà de celui du barrage de l'Aspé. Le fait qu'ils stockent également moins d'eau nous pousse à privilégier le choix de la construction du barrage de l'Aspé.

5 CONCLUSIONS

Il apparaît, à travers un complément d'analyse sommaire, que les sites de rétention identifiés et étudiés lors de l'élaboration du schéma directeur d'aménagement du cours de la Garonne en 2007 sont les plus pertinents possibles.

Le site de l'Aspé apparaît notamment comme le meilleur site d'un point de vue hydraulique et permet de stocker une crue d'occurrence centennale en limitant le débit du vallon de l'Aspé en aval de l'ouvrage à une valeur maximale de l'ordre de 5 m³/s. **Aucun des autres sites étudiés ne permet d'atteindre une efficacité hydraulique comparable.**

D'un point de vu foncier, tous les sites nécessitent des acquisitions foncières importantes. On notera la présence d'un bâti inhabité dans l'emprise de la retenue de l'Aspé qui devra faire l'objet d'une démolition. Les autres sites, pour pouvoir être exploités au maximum de leurs possibilités nécessitent d'implanter les ouvrages au voisinage immédiat d'habitations. Il est en conséquence probable que pour faciliter leur acceptation, les ouvrage soient limités en hauteur de manière plus importante que simulé ici ce qui réduirait d'autant leur efficacité hydraulique, déjà en retrait de celle de l'Aspé.

D'un point de vue environnemental, seul le site de l'Aspé permet de sortir de l'emprise du parc naturel de l'Estérel. C'est également le site qui présente a priori le moins de contraintes environnementales, compte tenu notamment du remblaiement en fond de vallon réalisé au moyen de remblais divers.

	Efficacité hydraulique	Limitation de l'Impact foncier	Limitation de l'Impact environnemental	Limitation du coût du m ³ stocké
Crottes	+	+++	---	+
Amont	-	-	---	--
Intermédiaire	-	-	--	--
Aspé	+++	+	+	+++
Aval	---	---	+	---

Tableau 5 : Analyse des impacts et l'efficacité des ouvrages

Il résulte de l'analyse des ouvrages que les sites de l'Aspé et des Crottes sont les sites qui permettent d'obtenir la meilleure efficacité hydraulique tout en limitant les impacts à des niveaux suffisamment bas pour pouvoir envisager d'obtenir les autorisations administratives de les réaliser.

La possibilité d'aménager plusieurs ouvrages de taille modeste en série n'a pas été testée dans cette étude. Elle conduirait cependant à une augmentation significative des impacts fonciers et environnementaux avec des effets de cumul qui risqueraient de compromettre l'obtention des autorisations administratives pour la réalisation des travaux (notamment au titre de la loi sur l'eau).