

Etude de dangers Du barrage de l'Astarac (32)



Retenue de l'Astarac

Décembre 2014

RESUME D'AUTEURS

Le barrage de l'Astarac réalisé en 1976, possède les caractéristiques dimensionnelles d'un barrage de classe B avec une hauteur de barrage de 16,2 m et un volume d'eau stocké de 10 Mm³.

La Direction des Opérations de la Compagnie d'Aménagement des Coteaux de Gascogne, a réalisé une étude de dangers respectant l'arrêté du 12/06/2008 et comportant :

- ➔ l'identification des dangers (rupture, dysfonctionnement des organes, manœuvres),
- ➔ la caractérisation des aléas : crues, séismes, mouvements de terrain,
- ➔ le retour d'expérience des défaillances, incidents et des crues survenus,
- ➔ l'analyse des risques :
 - les scénarios susceptibles de provoquer des accidents (probabilités, l'intensité et la cinétique des effets),
 - les conséquences (personnes exposées, dégâts aux biens),
 - la démarche de réduction des risques que le propriétaire propose avec efficacité escomptée (délais de mise en œuvre des mesures),
- ➔ la carte de l'environnement de l'ouvrage, caractérisation des aléas, des phénomènes dangereux et de la gravité des conséquences.

RECAPITULATIF DES MISES A JOUR

Date de la mise à jour	Edition	Chapitre mis à jour	Nature des modifications
06/10/2014	1		Création du document.

RESUME NON TECHNIQUE DE L'ETUDE DE DANGERS

Le barrage de Astarac implanté sur l'Arrats, affluent rive gauche de la Garonne est situé sur les communes de Bezues-Bajon et Aussos (département du Gers, 32). Il présente comme tous les barrages de même nature un risque lié à une hypothétique rupture de l'ouvrage.

Description de l'ouvrage :

Figure 1 : Vue aérienne de la retenue de l'Astarac



Le barrage de Astarac a été mis en eau en 1976. Il s'agit d'un barrage de classe B suivant le classement des barrages définis par le décret du 11 décembre 2007. Ce barrage a été conçu et est actuellement exploité par la CACG. Les consignes de gestion du barrage (en cours de rédaction) précisent les conditions de surveillance et d'auscultation du barrage.

Il s'agit d'un barrage en remblai homogène d'une hauteur de 16,2 m au dessus du terrain naturel et d'une longueur en crête de 494 m. Le barrage crée une retenue artificielle de 10 millions de m³.

Ce barrage dispose de deux évacuateurs de crue. Un évacuateur principal à entonnement latéral est posé en rive droite du barrage. Il est composé d'éléments en béton armé (coursier et bassin de dissipation). Un évacuateur secondaire à entonnement latéral est posé en rive gauche du barrage. Il est marqué par une longrine en béton puis un chenal en terre.

L'organe de vidange de fond qui permet la vidange rapide de la retenue (la moitié du volume de la retenue en moins de 8 jours) et d'assurer un débit de restitution à la rivière, est composé d'une conduite en acier de diamètre 1200 mm équipée d'une vanne pour régler le débit de restitution et d'une vanne pour la vidange rapide.

Environnement de l'ouvrage :

La côte du plan d'eau normal est à 246,2 m NGF pour une surface de 180 ha. La retenue est alimentée par un bassin versant de 50 km².

La retenue est utilisée principalement pour les besoins en irrigation et pour le soutien d'étiage.

La retenue est située dans un paysage de collines à faible densité de population. Ces collines sont en bonne partie boisées ou cultivées sur le bassin versant de la retenue.

Exploitation du barrage et système de gestion de la sécurité :

La CACG a mis en place les moyens de surveillance et de suivi du barrage repris dans les consignes écrites du barrage.

Sur cet ouvrage des barrières de sécurité sont en œuvre pour réduire le risque ; elles sont de trois types : les barrières techniques de sécurité, les barrières humaines de sécurité et une combinaison des barrières techniques et humaines.

Les barrières techniques correspondent aux différents dispositifs de sécurité qui ont été mis en œuvre lors de la réalisation de l'ouvrage ; pour le barrage de l'Astarac, on peut citer le dispositif d'évacuation des crues à seuil libre, le dispositif de drainage interne du remblai, ... Ces barrières techniques ont été « calibrées » dès la phase de conception, mais on doit vérifier dans le cadre de cette étude de dangers que ce « calibrage » est toujours en adéquation avec les exigences actuelles.

Les barrières humaines correspondent aux différentes actions de sécurité qui sont mises en œuvre tout au long de la vie du barrage dans le cadre de son exploitation et de sa maintenance; pour le barrage de l'Astarac, on peut citer par exemple les visites avec mesures du dispositif d'auscultation qui sont réalisées tous les mois, les contrôles systématiques des vannes qui ont lieu tous les ans.

Sur le barrage de l'Astarac, les barrières techniques de sécurité peuvent être activées dans le cas où des anomalies seraient constatées dans le cadre de la surveillance (barrières humaines), où en suivant, des actions correctrices spécifiques seraient décidées (barrières humaines ou/et barrières techniques). On peut distinguer aussi deux types d'information de déclenchement dans le système de gestion de la sécurité :

- Les actions de « routine » : c'est à dire les interventions programmées à l'avance et répétitives ;
- Les actions relevant de « l'exceptionnel » : suite à un séisme, à une crue importante, à des constatations ou mesures anormales...

Méthode d'analyse de risque :

Dans un premier temps, l'analyse des risques concernant le barrage de Astarac s'est concentrée sur l'identification exhaustive des risques suivant la méthodologie suivante :

- Une analyse fonctionnelle externe a permis dans un premier temps de déterminer les fonctions principales (liées à l'élément extérieur « eau ») et les fonctions contraintes (imposées par des éléments extérieurs au barrage) ;
- Une analyse fonctionnelle interne a décomposé le barrage en ensembles et sous-ensembles fonctionnels qui ont permis d'identifier des fonctions techniques par sous-ensemble ;
- Ces 2 premières étapes permettent une compréhension globale de l'ouvrage, qui constitue la base nécessaire à l'identification des risques par dégradation ou défaillance des fonctions de chaque composant du barrage ;

Dans un second temps, la méthode AMDE (« Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets ») est appliquée :

- Elaboration d'un tableau synthétisant et décrivant les risques encourus par l'ouvrage. Ce tableau donne pour chaque composant du barrage, la fonction technique associée, les causes et effets possibles de cette défaillance, des indicateurs permettant de déceler la défaillance et les modes de détection.

Dans un troisième temps, la méthode dite des « nœuds papillon » est appliquée afin de permettre une compréhension globale des scénarios conduisant à la rupture de l'ouvrage à savoir :

- Identification des « évènements initiateurs » menant aux « évènements redoutés centraux » (dédit de l'analyse AMDE) et analyse de leurs combinaisons ;
- Identification des barrières de sécurité à mettre en place et estimation de leur efficacité en terme de réduction du risque ;
- Analyse de la succession d'évènements menant à la rupture du barrage et évaluation de la classe de probabilité des différents scénarios (avant et après application des barrières de sécurité, combinaison de probabilité) ;
- Elaboration de la grille de probabilité et de la grille de gravité permettant de placer les scénarios dans une grille de criticité.

Pour finir, une étude de diminution des risques par identification de nouvelles barrières de sécurité ou par renforcement des barrières existantes a été menée ; elle aboutit à un plan d'actions comprenant des actions correctrices (barrières techniques) et des actions préventives et de surveillance (barrières humaines).

Pour information, les évaluations de la probabilité et de la criticité des risques se basent sur des dires d'experts, mais aussi sur des études techniques spécifiques :

- étude hydrologique pour détermination de la crue de référence de l'ouvrage ;
- étude hydraulique pour évaluer la capacité de laminage de la retenue et la débitance de l'évacuateur de crue ;
- modélisation de l'onde de rupture du barrage pour évaluation des risques à l'aval du barrage ;
- analyse du risque de mouvement de terrain et du risque sismique ;
- vérification des capacités hydrauliques du système de vidange rapide ;
- le retour d'expérience interne et externe.

Bilan de l'analyse de risque :

Différents évènements peuvent engendrer des défaillances de l'ouvrage qui ont pour conséquence principale la rupture du barrage. Il convient dans un premier temps de faire le bilan sur les enjeux d'un tel scénario.

Une modélisation de l'onde de la crue provoquée par la rupture du barrage, dans la vallée de l'Arrats, a permis d'évaluer les conséquences sur 85 kilomètres à l'aval du barrage :

- des voies de communication seraient coupées ;
- des bâtiments agricoles et industriels, des établissements recevant du public et des habitations seraient submergés.

Les débits en jeu seraient supérieurs à 80 fois la crue centennale au barrage (plus de 1 300 m³/s) et proches de ceux de la crue cinquantiennale à l'arrivée à Saint-Clar.

Les scénarios les plus critiques aboutissant à la rupture du barrage déterminés par l'analyse de risque sont la rupture de l'évacuateur de crue et la rupture liée à une érosion interne des matériaux du remblai ou de la fondation.

La probabilité de la rupture du barrage a été évaluée par les experts comme « improbable » selon leur échelle.

D'autre part, le dispositif de vidange rapide est correctement dimensionné.

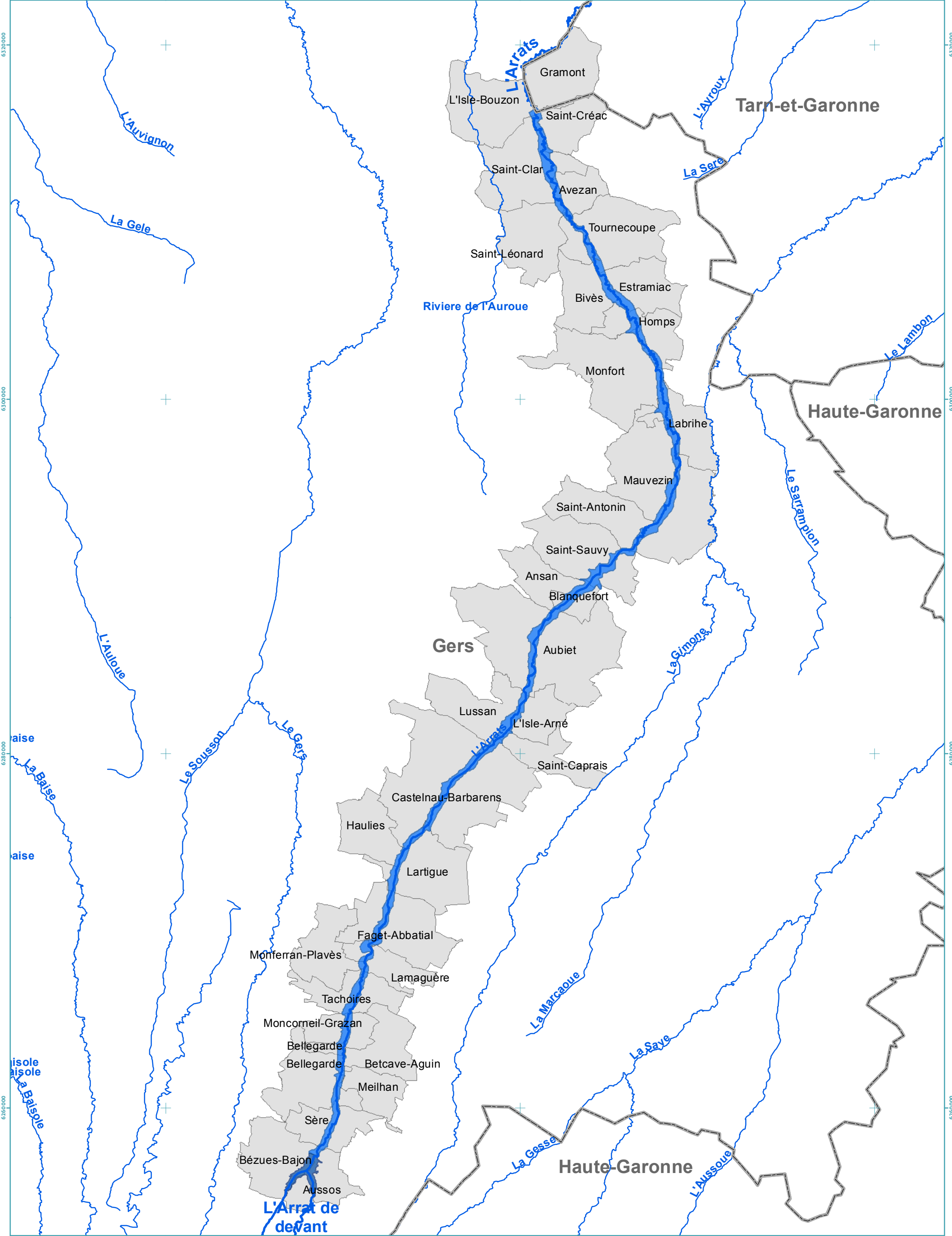
Mesures de maîtrise des risques :

L'étude de dangers du barrage de l'Astarac montre que les risques identifiés sont maîtrisés, tant au niveau de l'occurrence des initiateurs de dangers que sur la pérennisation des barrières de sécurité.

L'étude de dangers est assumée par le Responsable de l'ouvrage ; au vu du bilan de cette étude, ce responsable décide de réaliser dans les délais indiqués les mesures suivantes de réduction des risques :

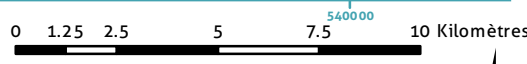
- Réalisation d'un mur pare-vague de 40 cm de hauteur sur toute la longueur de la crête.

Cette mesure permet de classer le barrage dans la classe de risque « tolérable ».



- Axe hydraulique
- Cours d'eau principaux
- Zone maximale submergée
- Retenue de l'Astarac
- Communes impactées
- Limites départementales

BARRAGE DE L'ASTARAC
 Étude de l'onde de submersion en cas de rupture
 Communes impactées



Sources : IGN@2013, BD-CARTHAGE, CACG
 Réalisation : CACG X2222 - Décembre 2014
 Projection : système de projection RGF - Lambert 93

Sommaire

Résumé d'auteurs	2
Récapitulatif des mises à jour	3
Resumé non technique de l'étude de dangers	4
1 Renseignements administratifs	16
2 Objet de l'étude	16
3 Analyse fonctionnelle de l'ouvrage et de son environnement.	17
3.1 <i>Analyse fonctionnelle externe</i>	17
3.1.1 Expression du besoin	17
3.1.2 Recherche des fonctions de service	17
3.1.3 Fonctions principales	20
3.1.4 Fonctions contraintes	20
3.2 <i>Analyse fonctionnelle interne</i>	25
3.2.1 Synoptique du barrage	25
3.2.2 Analyse structurelle du barrage	25
3.3 <i>Relation entre les fonctions contraintes et l'analyse fonctionnelle interne</i>	57
4 Présentation de la politique de prévention des accidents majeurs et du système de gestion de la sécurité	59
5 Identification et caractérisation des potentiels de dangers	61
6 Caractérisation des aléas naturels	64
6.1 <i>Les mouvements de terrain</i>	64
6.2 <i>Les séismes</i>	66
6.3 <i>Les crues</i>	66
6.4 <i>Le vent</i>	67
6.5 <i>Autres aléas</i>	68
7 Etude accidentologique et retour d'expérience	69
7.1 <i>Etude accidentologique sur l'ouvrage</i>	69
7.1.1 Anti-batillage	69
7.1.2 Reprise de l'évacuateur de crue	69
7.1.3 Crues	69
7.2 <i>Retour d'expérience CACG</i>	69
7.3 <i>Retour d'expérience externe</i>	69

8	Identification et caractérisation des risques en termes de probabilité, d'occurrence, d'intensité et de cinétique des effets, et de gravité des conséquences.	71
8.1	<i>Description et principes de la méthode utilisée</i>	71
8.2	<i>Onde de submersion correspondant à la rupture du barrage de l'Astarac</i>	75
8.3	<i>Evaluation de la criticité des scénarios de défaillance</i>	76
8.4	<i>Détermination des scénarios de défaillance et évaluation de leur criticité</i>	78
8.4.1	Scénario A : Surverse par-dessus la crête du barrage	79
8.4.2	Scénario B : Rupture de l'évacuateur de crues	81
8.4.3	Scénario C : Glissement du remblai aval	83
8.4.4	Scénario D : Erosion interne	85
9	Etude de réduction des risques	88
9.1	<i>Niveaux de vigilance de l'exploitant</i>	88
9.2	<i>Réduction des risques</i>	90
10	Cartographie	96
	ANNEXE 1 : COMPOSITION DU GROUPE D'EXPERTS	99
	ANNEXE 2 : SYNOPTIQUE DU BARRAGE DE L'ASTARAC	100
	ANNEXE 3 : REVISION HYDROLOGIQUE DU BARRAGE DE L'ASTARAC	102
	ANNEXE 4 : ETUDE HYDRAULIQUE DU BARRAGE DE L'ASTARAC	103
	ANNEXE 5 : ETUDE DE L'ONDE DE SUBMERSION EN CAS DE RUPTURE DU BARRAGE DE L'ASTARAC	104

Liste des tableaux

Tableau 1 : Fonctions de service	19
Tableau 2 : Documents techniques de référence	25
Tableau 3 : Analyse fonctionnelle du barrage de l'Astarac	27
Tableau 4 : Coefficients de sécurité de la méthode de Fellenius	33
Tableau 5 : Relation entre les fonctions contraintes et l'analyse fonctionnelle interne	58
Tableau 6 : Potentiels de danger pour le barrage de l'Astarac	61
Tableau 7 : Exemple de ruptures de barrages en remblai.....	70
Tableau 8 : AMDE du barrage de l'Astarac.....	72
Tableau 9 : Grille de probabilité.....	77
Tableau 10 : Grille de gravité	78

Liste des figures

Figure 1 : Vue aérienne de la retenue de l'Astarac	4
Figure 2 : Graphe des interactions	18
Figure 3 : Bassin versant au barrage	21
Figure 4 : Analyse structurelle du remblai	26
Figure 5 : Analyse structurelle de l'évacuateur principal de crues et du dispositif de restitution	26
Figure 6 : Parement amont du barrage	29
Figure 7 : Résultats des essais d'indentification des matériaux de la zone d'emprunt	30
Figure 8 : Résultats des essais mécaniques des matériaux de la zone d'emprunt	31
Figure 9 : Essais d'identification des matériaux de la fondation	32
Figure 10 : Crête du barrage	33
Figure 11 : Analyse granulométrique	34
Figure 12 : Talus aval du barrage	35
Figure 13 : Coupe d'un sondage rotary des fondations du barrage	37
Figure 14 : Coupe géologique suivant l'axe du barrage	38
Figure 15 : Résultats des essais Lefranc	39
Figure 16 : Profil en travers type du barrage	40
Figure 17 : Entonnement et coursier de l'évacuateur de crue principal	41
Figure 18 : Rares désordres sur l'évacuateur principal de crues	42
Figure 19 : Vue en plan de l'évacuateur principal	43
Figure 20 : Bassin de dissipation	44
Figure 21 : Plans du bassin de dissipation	44
Figure 22 : Seuil et coursier de l'évacuateur de crues secondaire	45
Figure 23 : Ouvrage de prise	46
Figure 24 : Ouvrage de restitution (chambre des vannes)	48
Figure 25 : Vannes de restitution des lâchers et du débit réservé	50
Figure 26 : Vanne murale aval (vidange)	51
Figure 27 : Armoire de contrôle des vannes	51
Figure 28 : Ouvrage de restitution	52
Figure 29 : Dispositif d'auscultation	54
Figure 30 : Echelles limnimétriques	55
Figure 31 : Local technique	56
Figure 32 : Carte géologique	64

Figure 33 : Légende de la carte géologique.....	65
Figure 34 : Carte IGN.....	65
Figure 35 : Glissements observés sur les rives de la retenue.....	66
Figure 36 : Matrice de criticité.....	87



1 RENSEIGNEMENTS ADMINISTRATIFS

Le Conseil Général du Gers est maître d'ouvrage de la retenue de l'Astarac et l'exploitation est assurée par la Compagnie d'Aménagement des Coteaux de Gascogne.

Cet ouvrage créé en 1976 a pour but de renforcer la ressource en eau sur la vallée concernée et dispose actuellement d'une capacité de 10 Mm³ utilisée pour subvenir aux besoins en irrigation et au soutien à l'étiage de l'Arrats.

L'emprise de la retenue concerne les territoires des communes de Bézues-Bajon et Aussos (département du Gers, 32).

En accord avec l'article R.214-112 du code de l'environnement (décret n° 2007-1735 du 11 décembre 2007), et compte tenu de ses caractéristiques dimensionnelles actuelles (Hauteur du barrage supérieure à 10 mètres et inférieure à 20 mètres ; $H^2V^{1/2}$ de l'ordre de 800 et donc supérieur à 200), le barrage de l'Astarac relève de la classe B.

L'étude de dangers a été réalisée par la CACG, organisme agréé conformément aux dispositions des articles R.214-148 à R.214-151.

Le barrage-réservoir de l'Astarac a été concerné par l'arrêté préfectoral du 1^{er} Juillet 1975 d'autorisation de construction et constituant le règlement d'eau du barrage. Cet arrêté a été complété par celui du 11 Août 2009 instituant le classement du barrage.

2 OBJET DE L'ETUDE

En accord avec les articles R.214-115 à R.214-117 du code de l'environnement (décret n° 2007-1735 du 17 décembre 2007), le barrage de l'Astarac de classe B doit faire l'objet d'une étude de dangers.

Son statut est donc une « première étude de dangers pour un ouvrage existant ».

Le périmètre de l'ouvrage, objet de la présente étude de dangers, inclut le barrage, ses ouvrages de sécurité (évacuateurs de crues, dispositif de vidange), ses pistes et plateformes d'exploitation, et sa retenue.

Le barrage de l'Astarac n'est pas concerné par le décret n°92-997 du 15 septembre 1992 instituant les PPI (Plan Particulier d'Intervention).

3 ANALYSE FONCTIONNELLE DE L'OUVRAGE ET DE SON ENVIRONNEMENT.

La CACG a réalisé l'analyse fonctionnelle de la retenue de l'Astarac et de son environnement en pratiquant la méthode APTE lors d'un groupe de travail (voir la composition en annexe 1) animé selon le principe de la maïeutique.

L'ensemble des éléments extérieurs se découpe en divers environnements qu'il convient de développer au mieux pour obtenir l'analyse la plus exhaustive possible :

- environnement humain,
- environnement physique (météo, risque naturel...),
- environnement énergétique,
- environnement juridique (lois et normes),
- environnement économique et social (mode, coût, SAV, entretien),
- entreprise (juridique, culture d'entreprise, image de marque).

3.1 Analyse fonctionnelle externe

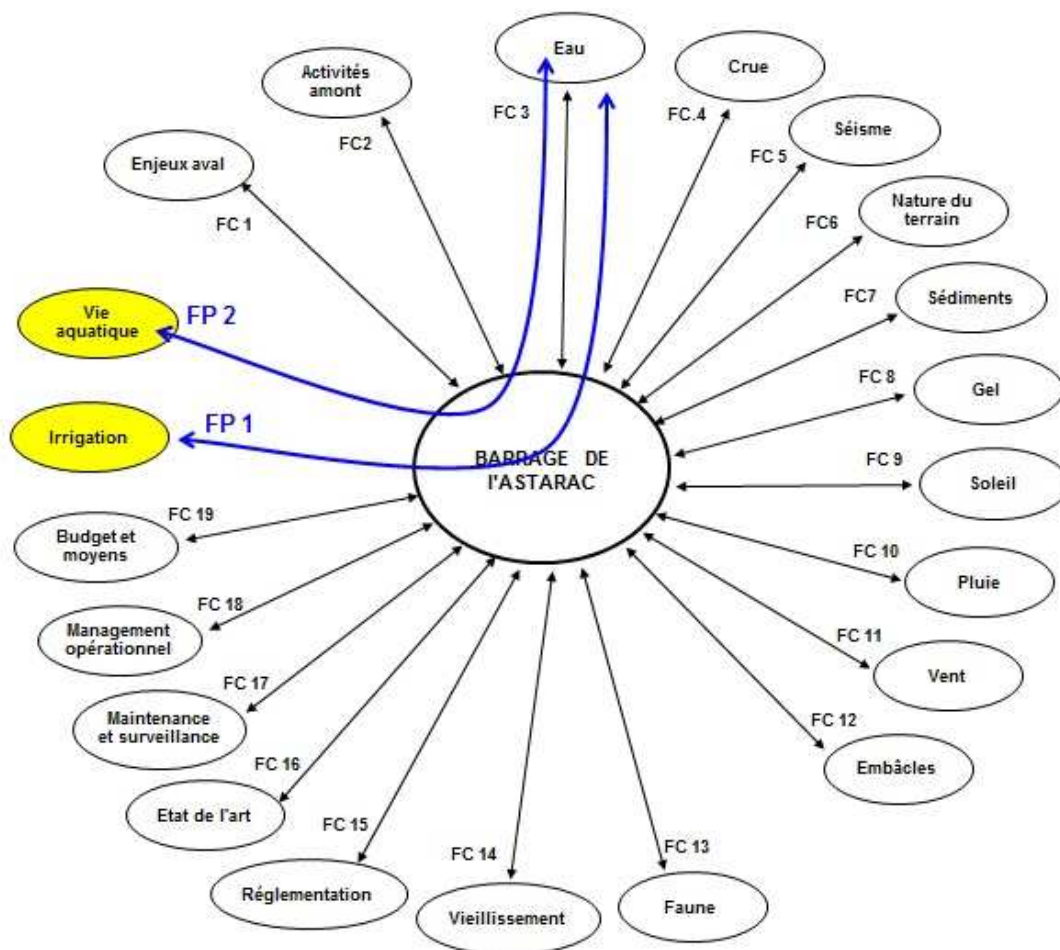
3.1.1 Expression du besoin

Le groupe de travail a défini l'expression du besoin comme suit : la retenue de l'Astarac est une solution pour renforcer la ressource en eau sur la vallée en aval pour les besoins en irrigation et pour la préservation de la vie aquatique.

3.1.2 Recherche des fonctions de service

Le graphe des interactions (cf. Figure 2) permet de visualiser les relations du barrage de l'Astarac avec les éléments réels du milieu extérieur et ainsi de recenser les fonctions de services.

Figure 2 : Graphe des interactions



De cette analyse, on extrait deux catégories de fonctions de service :

- ➔ **Fonctions principales : FP** : il s'agit de relations entre deux éléments de l'environnement à travers le barrage. C'est la fonction de service qui justifie la création du barrage.
- ➔ **Fonctions contraintes : FC** : elles traduisent une ou plusieurs contraintes liées à la considération d'un élément extérieur. Tous les éléments extérieurs sont obligatoirement liés au produit par une fonction de contrainte. Une fonction de contrainte est une fonction de service qui limite la liberté du concepteur.

Le Tableau 1 en page suivante récapitule les fonctions de service du barrage de l'Astarac.

Tableau 1 : Fonctions de service

Milieu extérieur	Type et N° de fonction	Le barrage de l'Astarac doit...
Environnement humain	FP1	Répondre aux besoins d' irrigation des agriculteurs
	FC1	Protéger les enjeux en aval
	FC2	Etre protégé des activités en amont
Environnement physique	FP2	Préserver la vie aquatique
	FC3	Résister à la force de l' eau et limiter l'infiltration de l' eau dans le remblai
	FC4	Laisser transiter la crue
	FC5	Résister aux déplacements créés par un séisme
	FC6	Résister aux tassements, aux infiltrations et aux glissements de terrain liés à la nature du terrain
	FC7	Empêcher l'obstruction du système de vidange par les sédiments
	FC8	Résister au blocage des vannes par le gel
	FC9	Résister à la dessiccation des parties supérieures par le soleil
	FC10	Résister à l'érosion et aux infiltrations créées par la pluie
	FC11	Résister à l'érosion et aux déversements des vagues créées par le vent
	FC12	Laisser transiter les embâcles sans obstruction
	FC13	Résister aux creusements de galeries d'une faune de fousseurs et/ou à l'obstruction du système de vidange par une faune de poissons
FC14	Résister au vieillessement	
Environnement juridique	FC15	Respecter la réglementation de vidange rapide, laisser transiter la crue de période de retour 3000 ans et assurer un débit minimal dans l'Arrats.
	FC16	Être en adéquation avec l' état de l'art actuel
Environnement économique et social	FC17	Le gestionnaire doit assurer une maintenance et une surveillance fiables et adaptées
	FC18	Le management opérationnel doit prendre les bonnes décisions à partir des informations fiables, complètes, et adaptées
	FC19	Le gestionnaire et le propriétaire doivent avoir des budgets et des moyens adaptés au fonctionnement et à la sécurité du barrage

3.1.3 Fonctions principales

Fonction principale N° 1 : Répondre aux besoins d'**irrigation** des agriculteurs.

La retenue de l'Astarac répond aux besoins en irrigation.

Fonction principale N° 2 : Préserver la **vie aquatique**.

La retenue de l'Astarac permet de soutenir les débits de l'Arrats afin de préserver le milieu.

3.1.4 Fonctions contraintes

Fonction contrainte N° 1 : Protéger les **enjeux en aval**

Les enjeux ou éléments vulnérables ou cibles, sont l'ensemble des éléments exposés aux dangers tels que :

- Population
- Bâtiments
- Infrastructures
- Activités
- Organisations

Les enjeux en aval sont susceptibles de subir des dommages ou des préjudices lors de la libération de tout ou partie de l'eau dans la retenue suite à une rupture partielle ou totale du barrage, à un phénomène gravitaire rapide affectant la retenue, à un dysfonctionnement d'un de ses organes, à une manœuvre d'exploitation....

Présentation des enjeux en aval :

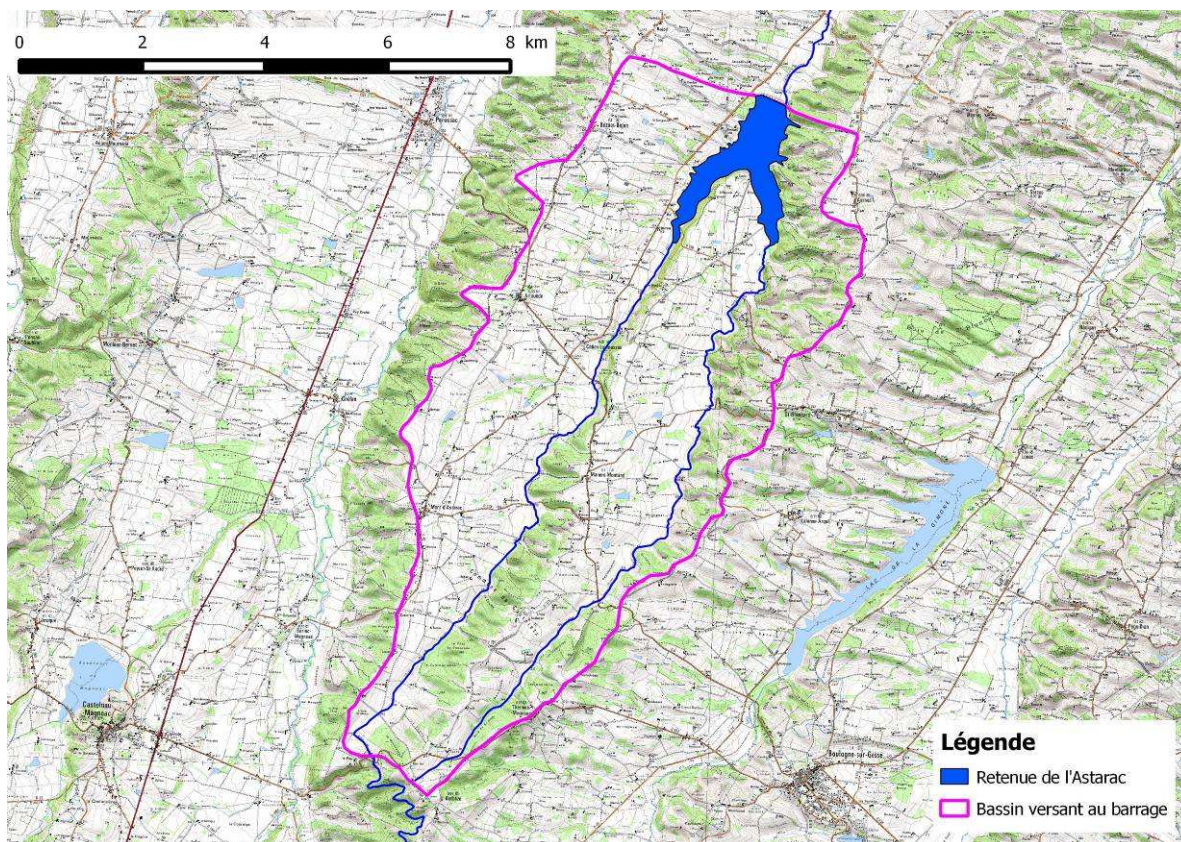
A l'aval du barrage, l'Arrats parcourt environ 120 km, jusqu'à la confluence à la Garonne, d'une vallée rurale et agricole avec la présence de quelques secteurs urbanisés. D'abord très encaissée notamment en rive droite, la vallée s'élargit ensuite progressivement jusqu'aux principaux centres d'enjeux : Castelnau-Barbarens (au kilomètre 24), Aubiet (au kilomètre 35), Mauvezin (au kilomètre 49) et Saint-Clar (au kilomètre 78). Entre ces principaux points d'enjeux, la vallée est à dominante rurale avec un habitat dispersé concentré près des principaux axes de communication que sont la D40 jusqu'à Aubiet puis la D928 ensuite.

Fonction contrainte N° 2 : Etre protégé des **activités en amont**

L'amont du barrage est constitué par un bassin versant de 50 km² composé essentiellement de terrains agricoles et de forêts avec la présence de quelques hameaux.

Les activités en amont peuvent générer des risques de pollution des eaux et d'augmentation anormale de la quantité d'embâcles pouvant être entraînés lors d'une crue par manque d'entretien des rives de l'Arrats et/ou stockage important de bois en bordure de retenue.

Figure 3 : Bassin versant au barrage



Fonction contrainte N° 3 : Résister à la force de l'eau et limiter l'infiltration de l'eau

Le barrage de l'Astarac permet de stocker 10 000 000 m³ d'eau avec une hauteur de barrage de 16,2 m.

L'eau stockée dans la retenue exerce deux actions différentes sur le remblai :

- Elle produit sur le remblai une sollicitation mécanique croissante avec la profondeur d'eau,
- Elle s'infiltré au travers du remblai, et du sol naturel des fondations.

Fonction contrainte N° 4 : Laisser transiter les crues

Une crue de l'Arrats est un évènement naturel que le barrage doit pouvoir supporter sans désordre jusqu'à un certain niveau d'intensité de crue.

La crue peut être stockée dans la retenue tant que le niveau de l'eau n'atteint pas la cote du plan d'eau normal fixée à 246,20 m NGF. Au-delà, la crue s'écoule par l'évacuateur de crues principal puis par l'évacuateur de crues secondaire situé à la cote 247,2 m NGF.

Nous verrons ci-dessous à la fonction contrainte N°15 que la réglementation impose que le barrage supporte la crue de période de retour 3 000 ans (probabilité d'occurrence de 1/3 000 ans).

Fonction contrainte N° 5 : Résister aux déplacements créés par un séisme

Selon la nouvelle carte de l'aléa sismique, le site du barrage se trouve en zone de sismicité 2 correspondant à la classe d'aléa faible, c'est-à-dire à une accélération horizontale maximale au sol de $1,62 \text{ m/s}^2$ pour un barrage de classe B fondé sur un sol de classe B.

Fonction contrainte N° 6: Résister aux tassements, aux infiltrations et aux glissements de terrain liés à la nature du terrain

Les barrages en remblais sont sujets à différents phénomènes de tassement après leur construction (tassement primaire du réarrangement granulaire puis tassement secondaire plus lent). Ces tassements se produisent en principe dans les premières années de vie de l'ouvrage.

D'autre part de manière naturelle des infiltrations se produisent dans le corps du barrage et les fondations. De par sa conception, le barrage doit « gérer » ces infiltrations.

Depuis sa mise en service, le barrage de l'Astarac n'a pas présenté de problèmes particuliers liés à la nature des terrains naturels de fondation, et des matériaux des remblais.

Fonction contrainte N° 7 : Empêcher l'obstruction du système de vidange par les sédiments

Les sédiments entraînés par les eaux de l'Arrats, peuvent se déposer dans la retenue et obstruer à la longue le système de vidange.

Fonction contrainte N° 8 : Résister au blocage des vannes par le gel

Les conditions hivernales peuvent entraîner le blocage des vannes aval de vidange par le gel.

Fonction contrainte N° 9 : Résister à la dessiccation des parties supérieures par le soleil

Le soleil peut provoquer une dessiccation des parties exposées causant la perte de la végétation sur le remblai aval ou des fissures sur la partie de la crête du barrage quand celle-ci n'a pas eu un traitement particulier.

Fonction contrainte N° 10 : Résister à l'érosion et aux infiltrations créées par la pluie

La pluie peut provoquer une érosion externe des remblais par écoulement et peut modifier par infiltration les caractéristiques mécaniques des composants superficiels du remblai.

Fonction contrainte N° 11 : Résister à l'érosion et aux déversements des vagues créées par le vent.

Le vent crée des vagues qui par batillage peuvent éroder la partie au contact de l'eau et du remblai amont. La présence d'un antibatillage en enrochements protège le talus amont de l'érosion des vagues.

Par grand vent et si le plan d'eau est à une cote exceptionnelle, les vagues peuvent aussi passer par-dessus la crête.

Fonction contrainte N° 12 : Laisser transiter les **embâcles** sans obstruction.

Les rives de la retenue sont en partie bordées d'arbres. En fonction de l'entretien des rives, la production importante d'embâcles est à craindre en période de crue. En arrivant au niveau de l'évacuateur de crue, les embâcles peuvent s'enchevêtrer et ainsi limiter l'écoulement de l'eau.

Fonction contrainte N° 13 : Résister aux creusements de galeries d'une **faune** de fousseurs et/ou à l'obstruction du système de vidange par une **faune** de poissons.

En surface, des animaux fousseurs peuvent créer des galeries dans le remblai susceptibles de permettre des écoulements rapides de type renard causant des dégâts importants de l'ouvrage.

Dans l'eau, les poissons peuvent provoquer un bouchage de la crépine, située à l'extrémité amont de la conduite, et empêcher la vidange rapide.

Fonction contrainte N° 14 : Résister au **vieillessement**

Les différentes parties du barrage doivent résister au vieillissement, notamment les filtres et drains, ainsi que tous les ouvrages en béton armé.

Fonction contrainte N° 15 : Respecter la **réglementation** de vidange rapide, laisser transiter la crue de période de retour 3 000 ans et assurer un débit minimal dans l'Arrats.

En plus des contrôles légaux de surveillance pendant la vie de l'ouvrage, la réglementation impose des seuils qui influent sur la conception du barrage, en particulier :

- Vidange rapide : Dans un souci de sécurité afin de diminuer ou de supprimer les risques éventuels engendrés par la retenue en cas d'incident, l'ouvrage de prise et la conduite de vidange doivent permettre la vidange rapide du réservoir. Le critère de dimensionnement retenu vise à diminuer de moitié le volume de la retenue en moins de 8 jours.
- Crue de période de retour 3 000 ans : cette crue est la crue qui a une probabilité d'occurrence de 1/3 000 ans. La méthode du Gradex permet d'estimer les paramètres caractérisant cette crue. La réglementation impose que le barrage de type remblai supporte sans dommages une telle crue.
- Crue de période de retour 30 000 ans : cette crue est la crue qui a une probabilité d'occurrence de 1/30 000 ans. La méthode du Gradex permet d'estimer les paramètres caractérisant cette crue. La réglementation impose qu'il n'y ait pas de rupture du barrage pour cette crue.
- Débit réservé : l'ouvrage de restitution doit assurer en permanence un débit réservé minimal de 500 l/s restitué dans l'Arrats.

Fonction contrainte N° 16 : Être en adéquation avec l'état de l'art actuel

Le barrage de l'Astarac a été achevé en 1976 avec une conception en accord avec les principes en vigueur.

Il convient de s'assurer que l'état de l'art en la matière n'a pas évolué significativement et dans le cas contraire, de faire profiter le barrage des nouvelles techniques ou des nouvelles approches conceptuelles.

Fonction contrainte N° 17 : Le gestionnaire doit assurer une **maintenance** et une **surveillance** fiables et adaptées

La surveillance du barrage doit s'appuyer sur des observations et sur des mesures dont il convient de s'assurer de la fiabilité et de la pertinence eu égard aux causes de défaillance identifiées.

La maintenance de la vannerie peut conduire à des lâchers d'eau intempestifs, mais les débits maximums susceptibles d'être lâchés ne peuvent pas être trop importants (de l'ordre de 7 m³/s).

D'éventuelles actions de malveillance peuvent se produire notamment au niveau de la chambre des vannes.

Fonction contrainte N° 18 : Le **management opérationnel** doit prendre les bonnes décisions à partir des informations fiables, complètes, et adaptées

Les responsables de la sécurité du barrage doivent être parfaitement informés de l'état du barrage, afin de pouvoir prendre les décisions appropriées.

Fonction contrainte N° 19 : Le gestionnaire et le propriétaire doivent avoir des **budgets** et des **moyens** adaptés au fonctionnement et à la sécurité du barrage

En parallèle à l'établissement du plan d'actions visant à améliorer la sécurité du barrage, il conviendra de s'assurer que les moyens humains et financiers sont disponibles pour le mettre en œuvre.

3.2 Analyse fonctionnelle interne

Pour réaliser les fonctions de service énoncées précédemment, la retenue de l'Astarac de type barrage en remblai argileux compacté est constituée de composants, de pièces mécaniques, ...

Ces ensembles de pièces réalisent des fonctions techniques permettant de satisfaire les fonctions de service.

Des références et des renvois sont indiqués au fur et à mesure de la description du barrage de l'Astarac.

Pour réaliser cette phase d'analyse fonctionnelle du barrage de l'Astarac, le groupe de travail (voir en annexe 1 la composition) a décidé d'utiliser l'arborescence par ensemble et sous ensemble.

L'analyse fonctionnelle interne est basée sur les documents techniques suivants :

Tableau 2 : Documents techniques de référence

Titre du document :	Auteur :	Date :
Etude du barrage de l'Arrats : - Mémoire Général - Campagne de reconnaissance par sondage - Etude géologique - Premiers résultats de mécanique des sols	CACG	Août 1971
Compte rendu d'essais note 1, 2 et 3	MECASOL	Juillet, Septembre et décembre 1974
Projet : - Mémoire de présentation - Plans projet - Annexes techniques	CACG	Septembre 1974

3.2.1 Synoptique du barrage

Le synoptique du barrage est présenté en annexe 2.

3.2.2 Analyse structurelle du barrage

L'analyse structurelle permet de lister tous les composants constitutifs du barrage, de repérer leur position physique et de déterminer les interactions avec les autres composants et avec les milieux extérieurs.

Le groupe de travail (voir en annexe 1 la composition) a travaillé sur les ensembles et sous-ensembles présentés dans les figures de la page suivante :

Figure 4 : Analyse structurelle du remblai

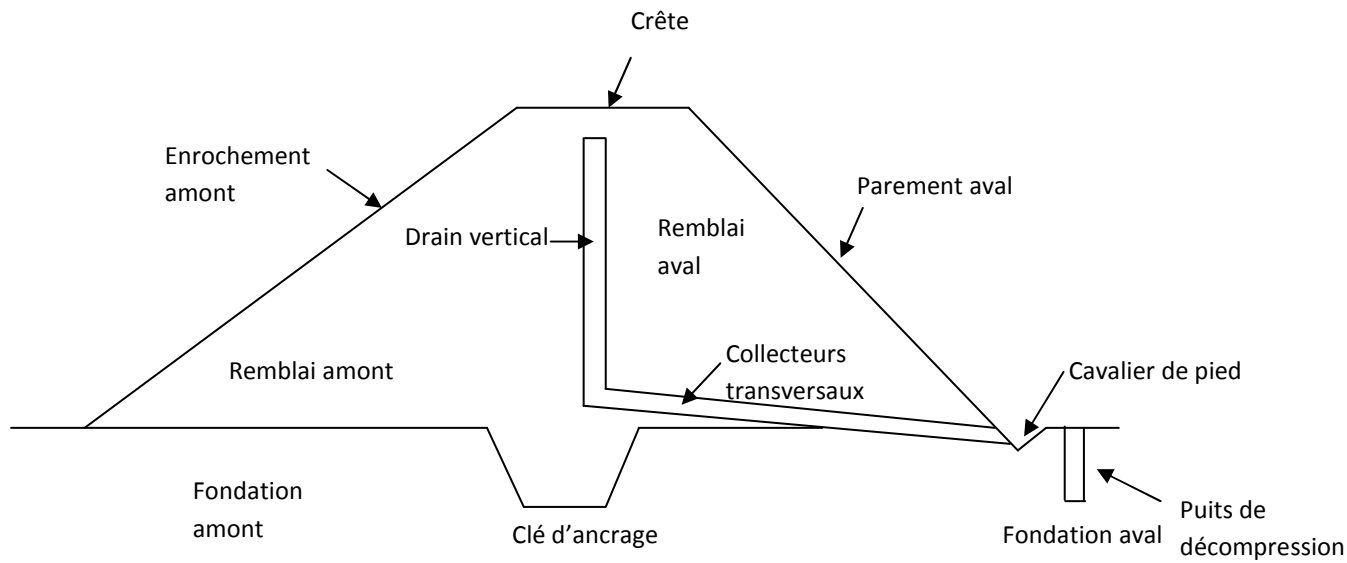
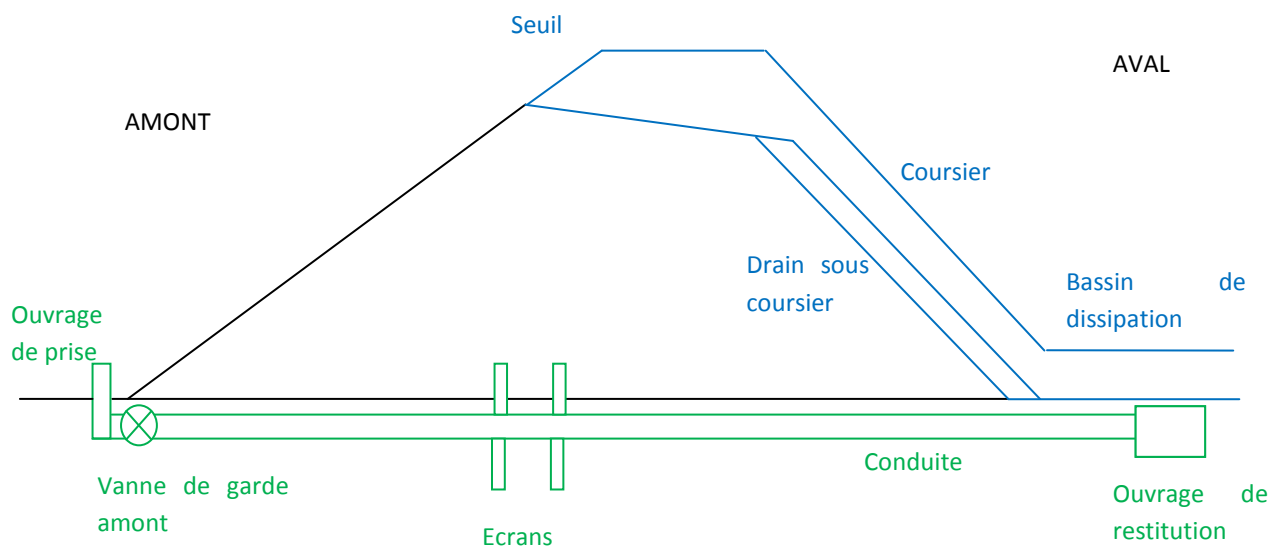


Figure 5 : Analyse structurelle de l'évacuateur principal de crues et du dispositif de restitution



Le Tableau 3 présente l'analyse fonctionnelle du barrage de l'Astarac.

Les fonctions techniques du barrage de l'Astarac de type barrage en terre compactée, ont été ainsi listées et leur bon fonctionnement répond aux fonctions de services présentées dans le Tableau 1.

Chaque sous-ensemble est un composant du barrage et correspond à la décomposition structurelle.

Un même composant peut avoir des fonctions techniques différentes.

Les fonctions techniques peuvent être classées selon leur origine en quatre catégories :

- Les contacts,
- Les sollicitations mécaniques,
- Les flux hydrauliques,
- L'état intrinsèque du composant.

Tableau 3 : Analyse fonctionnelle du barrage de l'Astarac

	Sous-ensemble	Fonctions techniques
Remblai	Enrochement amont anti-batillage	L'enrochement protège contre le batillage (FT1)
	Remblai amont	Le remblai amont assure l'étanchéité du barrage (FT2)
		Le remblai amont participe à la stabilité interne de l'ouvrage (FT3)
	Crête	La crête protège le remblai des eaux de ruissellement et de l'évaporation (FT4)
	Drain vertical	Le drain vertical draine le remblai amont (FT5)
	Collecteurs transversaux	Les collecteurs transversaux drainent le remblai aval et collectent les eaux du drain vertical (FT6)
	Remblai aval	Le remblai aval participe à la stabilité interne de l'ouvrage et résiste à la poussée de l'eau (FT7)
	Parement aval	La végétalisation du parement aval résiste à l'érosion par la pluie (FT8)
	Remblai	Le barrage résiste à un séisme (FT9)
	Remblai	Le barrage résiste à un glissement de terrain (FT10)
	Remblai	Le barrage résiste aux animaux fouisseurs (FT11)

Ensemble	Sous-ensemble	Fonctions techniques
Fondation	Fondation aval	La fondation aval résiste au poids de l'ouvrage aval et à la poussée de l'eau (FT12)
	Fondation amont	La fondation amont résiste au poids de l'ouvrage (FT13)
	Clé d'ancrage	La clé d'ancrage limite les infiltrations d'eau en fondation (FT14)
	Puits de décompression	Les puits de décompression limitent les sous-pressions sous le pied aval du barrage (FT15)
Evacuateurs de crue	Evacuateur de crue principal	L'évacuateur de crue principal collecte les crues « courantes » et « rares » (FT16)
	Drain sous évacuateur et écran	Le drain sous l'évacuateur limite les sous-pressions (FT17)
	Bassin de dissipation	Le bassin de dissipation dissipe l'énergie hydraulique (FT18)
		Le bassin de dissipation permet d'éviter l'érosion en pied de barrage (FT19)
Evacuateur de crue secondaire	L'évacuateur secondaire collecte les crues « exceptionnelles » (FT20)	
Vidange	Ouvrage de prise	L'ouvrage de prise filtre l'eau du barrage (FT21)
	Vanne de garde amont	La vanne de garde amont permet la mise hors d'eau de la conduite (FT22)
	Conduite	La conduite assure le transit de l'eau y compris le débit de vidange rapide (FT23)
		La conduite résiste à l'écrasement, à la déformation et reste étanche (FT24)
	Enrobage de la conduite et écrans d'étanchéité	L'enrobage de la conduite et les écrans d'étanchéité empêchent la circulation d'eau le long de la conduite (FT25)
	Vannes aval	Les vannes assurent la vidange rapide et régulent le débit restitué (FT26)
	Ouvrage de restitution	L'ouvrage de restitution évite l'érosion du pied aval et permet la mesure du débit restitué (FT27)
Auscultation	Exutoire de drains	Les exutoires de drains permettent l'observation et la mesure des débits (FT28)
Divers	Echelles limnimétriques et sonde	Les échelles limnimétriques et la sonde permettent la mesure de la cote du plan d'eau (FT29)
	Télétransmission et télécommande	La télétransmission et la télécommande permettent de commander la vanne de restitution à distance et font partie du dispositif d'alerte (FT30).

3.2.2.1 Fonctions techniques du remblai

FT1 - L'enrochement protège contre le batillage.

En surface côté amont, l'enrochement brise l'énergie des vagues et protège ainsi le parement amont.

L'enrochement sur le parement amont constitué de blocs de 50 à 150 mm de diamètre est bien en place et ne présente pas de caractère gélif.

L'enrochement est présent de la cote 242 m NGF à la cote 247,2 m NGF. Il ne monte donc pas jusqu'à la crête mais étant donné la largeur de la crête (5,00 m) et l'absence de marche d'érosion marquée, la situation est jugée acceptable.

Figure 6 : Parement amont du barrage



FT2 - Le remblai amont assure l'étanchéité du barrage.

Le remblai amont est le principal composant du barrage qui doit résister à l'infiltration de l'eau dans le remblai. Les documents de projet donnent le détail des reconnaissances effectuées sur les zones d'emprunt. Les principaux matériaux utilisables repérés sont des alluvions ou colluvions limono-argileux, et un substratum marneux. La zone d'emprunt a été divisée en 6 zones en tenant compte des caractéristiques légèrement différentes et des épaisseurs exploitables.

Des essais d'identification ont été menés sur ces limons et argiles. Ces essais de 3 types (granulométrie, teneur en eau et limites d'Atterberg) ont été réalisés sur 20 échantillons. Les résultats de ces essais sont présentés dans le tableau suivant.

Les matériaux utilisés sont suffisamment fins pour assurer l'étanchéité du barrage.

L'observation du talus amont ne montre pas de désordre particulier (pas de traces d'humidité).

Figure 7 : Résultats des essais d'indentification des matériaux de la zone d'emprunt

ZONES D'EMPRUNTS - ESSAIS D'IDENTIFICATION ET DE COMPACTAGE

PRELEVEMENT		GRANULOMETRIE				TENEUR EN EAU	LIQVITES D'ATTERBERG			ESSAIS "PROCTOR STANDARD"			
Puits n°	Profondeur	≥ 2 mm	0,05 ≤ < 2 mm	2 μ ≤ < 0,05 mm	≤ 2 μ		L.L.	L.P.	I.P.	γ _d opt.	w opt.	R _p	R _c
P1	0,20 - 1,60m	27 %	18 %	33 %	22 %	15 % (1 m) 16,9 % (1,70m) 29 % (2,50 m)	32,5 %	19 %	13,5	1,91	13,3 %	80 Kg/cm ²	3,75Kg/cm ²
P2	0,20 - 2,50m	36 %	20 %	25 %	19 %	17,4 % (1,20m)	33 %	10 %	23	1,83	12,6 %	caillouteux	
P3	0,20 - 2,60m	21 %	24 %	32 %	23 %	14 % (0,80 m) 14 % (1,50 m) 14 % (2,10 m) 22 % (2,80 m) 26,4 % (3,20m)	28 %	13 %	15				
P4	0,20 - 2,70m	0	30 %	34 %	35 %	16,2 % (0,90m) 15,2 % (1,90m) 16,4 % (2,30m)	36 %	19 %	17	1,84	14,4 %	caillouteux	
P4	2,70 - 2,80m	0	6 %	47 %	47 %	24,1 % (2,80m)	40 %	22,5 %	17,5				
P5	0,20 - 1,10m	43 %	16 %	23 %	18 %	25 % (1,20 m)	42,5 %	25 %	17,5				
P6	0,20 - 2,00m	21 %	27 %	31 %	21 %	16,6 % (1,20m) 22,4 % (2,20m)	26 %	12,7 %	13,3				
P7	0,20 - 1,50m	0	22 %	41 %	37 %	13 % (1,80 m)	32,8 %	17 %	15,8				
P8	0,20 - 2,70m	6 %	12 %	59 %	23 %	19,4 % (1,20m) 23,7 % (2,50m)	35,5 %	19,5 %	16	1,73	17,5 %	120kg/cm ²	2,60kg/cm ²
P9	0,70 - 1,50m	22 %	35 %	24 %	19 %	15,1 % (1,00m)	32 %	17 %	15				

P11	0,20 - 1,90m	0	12 %	39 %	49 %	14,6 % (0,80m) 18,6 % (1,50m)	46 %	26 %	20	1,735	19 %	92kg/cm ²	2,90kg/cm ²
P11	0,20 - 1,90m	0	10 %	37 %	53 %	20,8 % (2,20m)	45 %	19 %	26				
P12	0,20 - 2,45m	0	3 %	54 %	43 %	17,3 % (0,50m) 24,5 % (1,20m) 28,3 % (2,00m) 23,7 % (3,00m) 42,6 % (3,80m)	42 %	25 %	17				
P14	0,20 - 2,60m	0	6 %	66 %	28 %	20,8 % (0,65m) 27,1 % (1,65m)	42,2 %	25 %	17,2	1,70	20,5 %	90kg/cm ²	1,70kg/cm ²
P14	2,60 - 3,85m	0	19 %	53 %	28 %	47 % (2,65 m) 19,2 % (4,10m)	33 %	16 %	17				
P16	0,30 - 1,35m	6 %	22 %	52 %	20 %	12 % (1,00 m) 18 % (1,60 m) 13 % (2,10 m)	28 %	16 %	12				
P16	0,30 - 3,45m	0	14 %	48 %	38 %	20,7 % (0,60m) 16,3 % (1,20m) 19,3 % (2,60m)	40 %	23,5 %	17,5				
Pd1	0,20 - 1,60m	0	20 %	50 %	30 %	41 % (1,70 m) 18,7 % (3,80m)	26,2 %	12,2 %	14	1,865	13,20	caillouteux	
Tranchée à 10 m du Pd1 : 0,50 - 2,00 m		0	16 %	54 %	30 %		38 %	25,5 %	12,5				
Pd3	0,15 - 2,50m	0	43 %	35 %	22 %	14,9 % (0,80m) 12,8 % (1,30m) 16,2 % (2,90m)	29 %	12,5 %	16,5				

FT3 - Le remblai amont participe à la stabilité interne de l'ouvrage.

Le profil type du barrage présente les caractéristiques suivantes :

- Pente du talus amont 3 / 1 ;
- Pente du talus aval 2,75 / 1 ;
- Largeur en crête de 5,00 m.

Des essais mécaniques ont permis de déterminer les caractéristiques mécaniques des matériaux :

- essais Proctor ;
- essais œdométriques ;
- essais triaxiaux non consolidés non drainés ;
- essais triaxiaux consolidés drainés.

Les résultats de ces essais sont présentés dans le tableau suivant.

Figure 8 : Résultats des essais mécaniques des matériaux de la zone d'emprunt

RETENUE DE L'ASTARAC								
Matériaux d'Emprunt								
n° Puits	Prof. en m.	Nature de l'échantillon	γ_s t/m3	Limites Atterberg en %	Granulométrie	Triaxiaux C bar ϕ °	Oedomètres P _c bar C _c	Caractéristiques à l'Optimum Proctor Normal
1	0,20 1,60	Limon sableux beige	2,70	sur matériau tamisé LL = 26,6 LP = 14,0 IP = 12,6	Gr. G1	NCND Gr.T1 w = w opt + 1% C _{uu} = 0,8 ϕ_{uu} = 12 Gr.T2 w = w opt + 3% C _{uu} = 0,6 ϕ_{uu} = 0 CD + CP Gr. T3 C _d = 0,2 ϕ_d = 32 w = w opt + 1%	Gr.C1 w = w opt + 0,5% P _c = 3,5 C _c = 0,12 Gr.C2 w = w opt + 3,5% P _c = 1,0 C _c = 0,08 W = Wopt + 3,5 % Cv = 1,5.10 ⁻³ cm2/s	Gr.OP 1 w opt = 13,8 % γ_{dmax} = 1,88 t/m3
2	0,20 2,50	Limon sableux beige		sur matériau tamisé LL = 35,1 LP = 16,9 IP = 18,2	Gr. G1			Gr.OP 2 w opt = 14,5 % γ_{dmax} = 1,85 t/m3
4	0,20 2,70	Limon sableux beige	2,72	sur matériau tamisé LL = 37,5 LP = 16,3 IP = 21,2	Gr. G1	NCND Gr.T4 w = w opt + 2% C _{uu} = 1,0 ϕ_{uu} = 0 Gr.T5 w = w opt + 3,5% C _{uu} = 0,5 ϕ_{uu} = 0 CD + CP Gr.T6 C _d = 0,2 ϕ_d = 26 w = w opt + 2%	Gr.C3 w = w opt + 2% P _c = 2,0 C _c = 0,13 Gr.C4 w = w opt + 4% P _c = 1,5 C _c = 0,15 W = Wopt + 4 % Cv = 0,7.10 ⁻³ cm2/s	Gr.OP 3 w opt = 15,8 % γ_{dmax} = 1,83 t/m3

Des essais ont été réalisés aussi sur les matériaux prélevés en fondation :

- essais d'identifications (teneur en eau, poids spécifique apparent sec et humide, poids spécifique des grains, limites d'Atterberg et analyses granulométriques) ;
- résistance à la compression simple R_c ;
- scissomètre ;
- essais triaxiaux non consolidés non drainés ;
- essais triaxiaux consolidés drainés avec contrepression ;
- essais de compressibilité à l'oedomètre.

Certains de ces résultats sont résumés dans le tableau suivant.

Figure 9 : Essais d'identification des matériaux de la fondation

RETENUE DE L'ASTARAC				AXE DE LA DIGUE - ESSAIS D'IDENTIFICATION							
N° échantillon	Puits n°	Profondeur	Nature de l'échantillon	GRANULOMETRIE				TENEUR EN EAU	LIMITES D'ATTERBERG		
				> 2 mm	0,05 <= < 2 mm	2 <= < 0,05 < 2 μ	< 2 μ		L.L.	L.P.	I.P.
14	SI	7,10 m	Substratum (sables légèrement argileux)	0	48 %	32 %	20 %				
15		1,00 m	Argile silteuse					20 %			
16	PI	2,60 m	Argile silteuse	0	10 %	58 %	32 %	30 %	37 %	20,5 %	16,5
17	PI	3,20 m	Marne remaniée	0	14 %	46 %	40 %	23 %	33 %	21 %	12
18		3,80 m	Marne remaniée					24,5 %			
19	PIII	1,10 m	Limons sableux à galets	37 %	19 %	36 %	8 %	21,4 %	36,7 %	19 %	17,7
20		3,10 m	Marnes altérées					17,5 %			
21	PIV	1,10 m	Limon	8 %	20 %	52 %	20 %	16,3 %	23 %	18,5 %	4,5
22	PIV	2,30 m	Marne remaniée	0	20 %	47 %	33 %	16,3 %	36,5 %	22 %	14,5
23	PIV	3,10 m	Substratum marneux	0	50 %	19 %	31 %	16,5 %	40 %	26 %	14
24	PV	1,00 m	Limon	12 %	22 %	46 %	20 %	15 %	28,3 %	17,8 %	10,5
25	PV	2,30 m	Marne remaniée	25 %	18 %	33 %	24 %	13 %	30 %	21,7 %	8,3
26		3,10 m	Marne remaniée					16 %			
27		4,00 m	Substratum marneux					16,5 %			
28	PVI	1,00 m	Marne remaniée	0	14 %	46 %	40 %	12,3 %	37 %	21,6 %	15,4
29	PVI	2,00 m	Substratum marneux	0	11 %	40 %	49 %	14,5 %	37 %	20 %	17

Les essais mécaniques réalisés ont permis de retenir les caractéristiques suivantes pour les calculs de stabilité :

$\phi_d = 26^\circ$
 $c_d = 2,0 \text{ t/m}^2$
 $\gamma_s = 2,0 \text{ t/m}^3$

Les documents de projet mentionnent les coefficients de sécurité suivants concernant la stabilité des talus du barrage (calculés par la méthode de Fellenius) :

Tableau 4 : Coefficients de sécurité de la méthode de Fellenius

	Coefficient de sécurité
Talus aval, fin de construction	1,55
Talus amont, vidange rapide	1,51

Ces coefficients de sécurité correspondent à des cercles profonds recoupant les limons de la fondation. Les coefficients de sécurité sont acceptables.

Le risque sismique n'a pas été pris en compte. Le barrage se situant dans une zone d'aléa faible et étant globalement correctement dimensionné et en bon état, une analyse plus approfondie du risque sismique ne semble pas nécessaire.

Aucun signe d'instabilité du talus amont n'a été observé depuis la construction du barrage.

Les essais œdométriques montrent que les couches de fondation sont toutes légèrement surconsolidés ; par conséquent, les tassements prévisibles par expulsion de l'eau interstitielle sont faibles (de l'ordre de 10 cm).

Ces prévisions ont été confirmées par le suivi topométriques du barrage.



Figure 10 : Crête du barrage

FT4 - La crête protège le remblai des eaux de ruissellement et de l'évaporation

L'empierrement de la crête est en bon état. On n'observe pas de traces d'érosion ou de tassement.

L'accès à la crête est sécurisé par une barrière cadenassée.

FT5 - Le drain vertical draine le remblai amont.

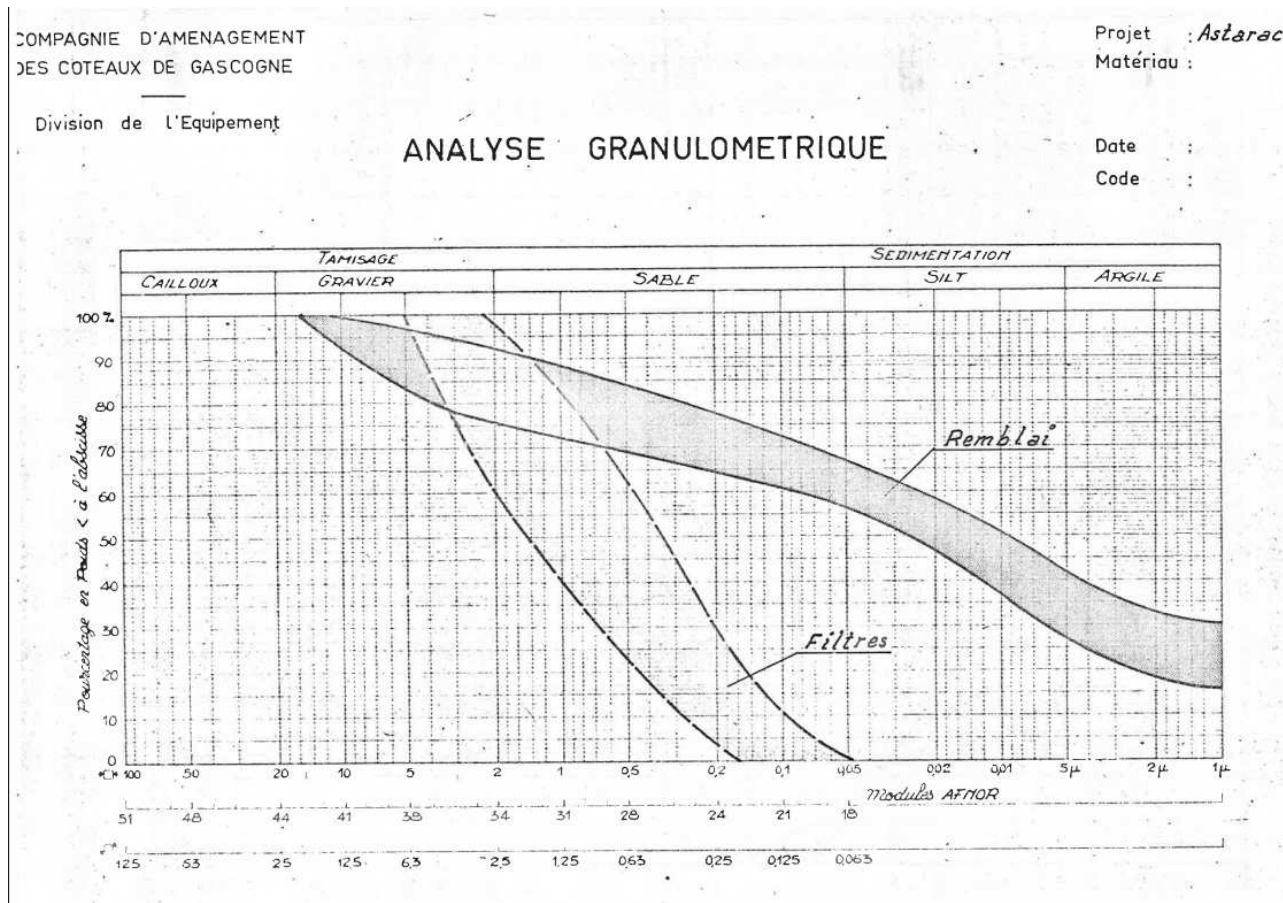
Le remblai composé de matériaux argileux est très peu perméables mais l'eau de la retenue peut tout de même s'infiltrer au travers. La fonction du drain vertical est de collecter ces eaux d'infiltration. Pour ce faire, il doit respecter les conditions de filtre de Terzaghi, ce qui est le cas pour les matériaux 0-5 mm choisis pour constituer ces filtres (cf. granulométrie du filtre à la Figure 11).

Le drain vertical est positionné dans l'axe du barrage. Le haut du drain vertical est calé à la cote 245 m NGF. Son épaisseur est de 1 m.

Le filtre est muni à sa base d'un drain collecteur longitudinal de 200 mm de diamètre.

Les règles de l'art actuelles préconisent une épaisseur de drain vertical de 1,00 mètre et celui-ci doit être arasé 20 à 30 cm au-dessus de la cote PEN pour éviter tout contournement. Le drain vertical sur le barrage de l'Astarac a bien une épaisseur de 1 m mais il est arasé 1,2 m au-dessous de la cote PEN. Cependant on n'observe pas de mouillères sur le talus aval du barrage signe que le dispositif de drainage joue correctement son rôle.

Figure 11 : Analyse granulométrique



FT6 - Les collecteurs transversaux drainent le remblai aval et collectent les eaux du drain vertical.

Les collecteurs transversaux sont des drains de diamètre 100 mm, noyés dans des tranchées comblées de matériau filtrant et disposés à 50 m d'écartement (7 collecteurs au total). Ces collecteurs débouchent en pied aval dans le cavalier de pied, au point bas de celui-ci, un dispositif de jaugeage permet de mesurer les débits d'infiltration.

FT7 - Le remblai aval participe à la stabilité interne de l'ouvrage et résiste à la poussée de l'eau.

Les éléments concernant la stabilité du talus aval sont donnés à la fonction technique FT3.

Aucun signe d'instabilité du talus aval n'a été observé depuis la construction du barrage.



Figure 12 : Talus aval du barrage

FT8 - La végétalisation du parement aval résiste à l'érosion par la pluie.

Sur le talus aval, il existe une couche de terre végétale enherbée pour le protéger des effets érosifs du ruissellement des eaux de pluie.

FT9 - Le barrage résiste à un séisme.

Voir ci-après chapitre 6.2 Caractérisation des aléas naturels- Les séismes.

FT10 - Le barrage résiste à un glissement de terrain.

Voir ci-après chapitre 6.1 Caractérisation des aléas naturels- Les mouvements de terrain.

FT11 - Le barrage résiste aux animaux fouisseurs.

Il a été observé que les animaux fouisseurs locaux tels que les ragondins préféraient des zones aquatiques à niveau constant et ne se rencontraient que peu ou pas dans les retenues destinées à l'irrigation, dans cette région, et notamment sur le barrage de l'Astarac où ils n'ont jamais été rencontrés.

Lors des visites courantes, l'exploitant doit vérifier les indices d'une éventuelle présence d'animaux fouisseurs. Des campagnes de piégeage seraient décidées en cas de présence avérée.

3.2.2.2 Fonctions techniques de la fondation

FT12 - La fondation aval résiste au poids de l'ouvrage aval et à la poussée de l'eau.

Une carte du profil géologique de la vallée donne des éléments sur la fondation du barrage.

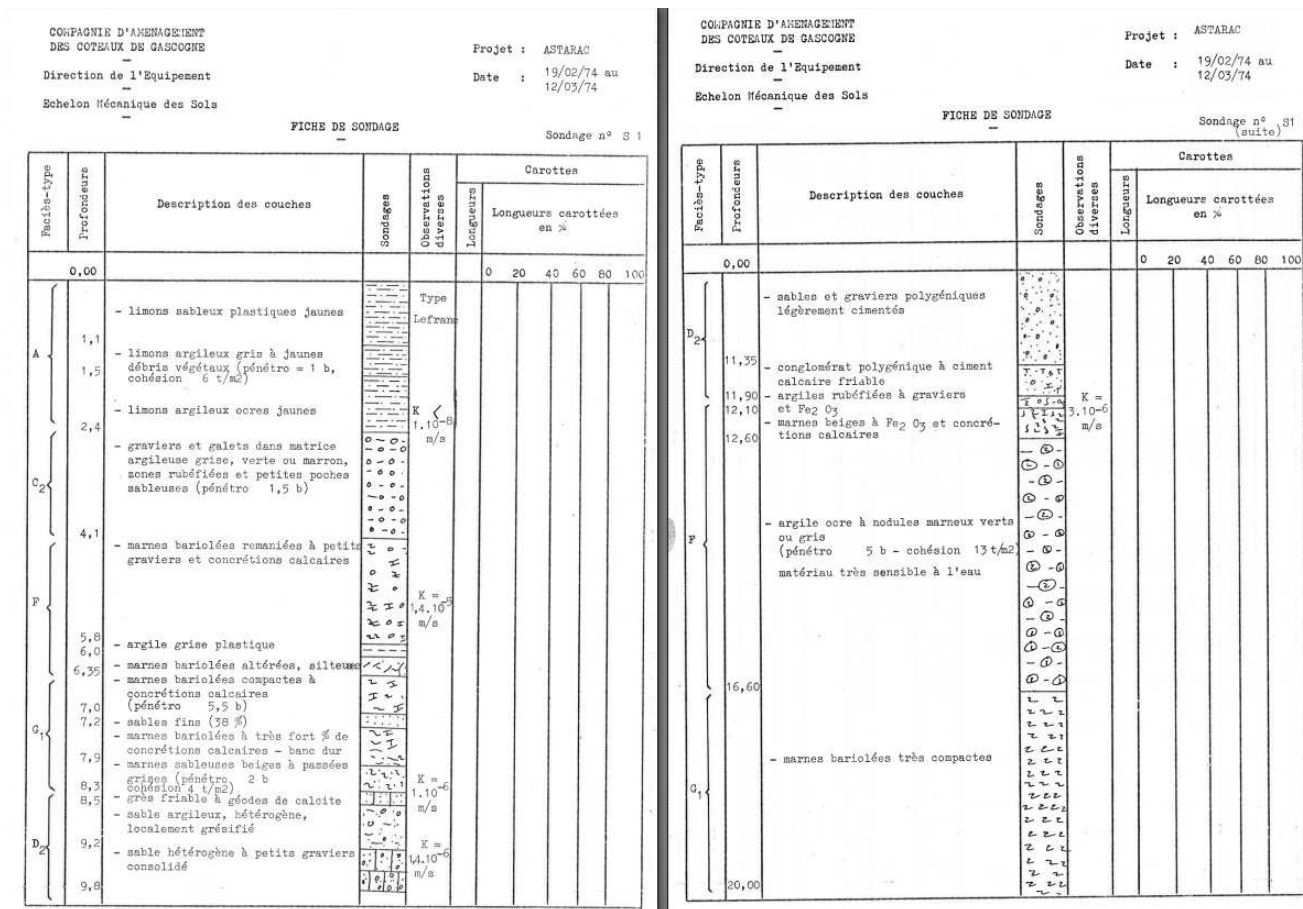
La fondation de la digue a été reconnue par 3 sondages à la tarière Ø150, 4 sondages au rotary, des puits creusés à la pelle mécanique et 3 tranchées en pied du versant rive droite. Les faciès rencontrés sont typiques des vallées de Gascogne :

- Un versant rive droite, abrupt, exposé Nord-Ouest, composé de sols argilo-calcaires ;
- Un versant rive gauche, en pente douce, exposé Sud-Est, recouvert d'une couche d'alluvions ou de colluvions limono-argileuses (recouvrement quaternaire) surmontant un substratum marneux altéré daté du Moicène supérieur au Pliocène,
- Un fond de vallée plat, avec une faible pente longitudinale, composé d'alluvions et colluvions limono-argileux.

Dans le substratum, les faciès détritiques fins dominant (argiles) mais on y trouve aussi des détritiques grossiers (sables, galets) et des faciès chimiques (marnes, calcaires) ; les nuances résultant du mélange de ces trois faciès sont infinies et leur distribution si capricieuse que l'ensemble prend une allure monotone où les faciès sont rares et difficiles à mettre en évidence.

Le recouvrement quaternaire récent est peu épais mais très étendu. C'est ainsi qu'alluvions et colluvions couvrent à peu près 75% de la cuvette de la retenue. On y retrouve des faciès très semblables aux précédents, à tel point que la distinction n'est pas toujours facile.

Figure 13 : Coupe d'un sondage rotary des fondations du barrage

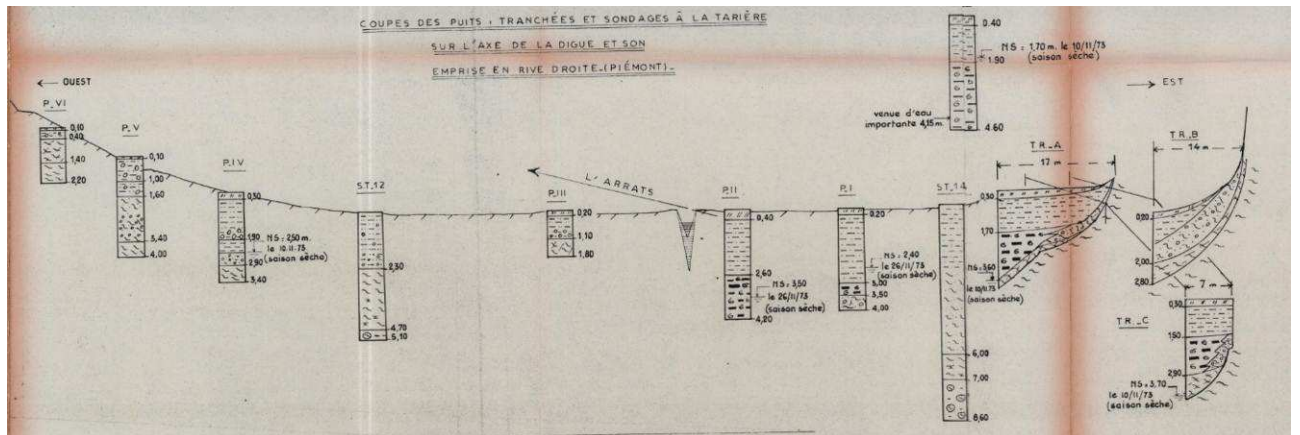


FT13 - La fondation amont résiste au poids de l'ouvrage.

La nature et la justification de la fondation est présentée à la fonction précédente.



Figure 14 : Coupe géologique suivant l'axe du barrage



FT14 – La clé d’ancrage limite les infiltrations d’eau en fondation.

Des essais d’eau (Lefranc) ont été réalisés lors de la dernière campagne de reconnaissance par sondage pour évaluer la perméabilité des différents horizons reconnus dans la fondation. Ces essais ont mis en évidence des matériaux de fondation de granulométries variables, mais présentent partout une teneur en argile suffisante pour que leur perméabilité reste faible. Les niveaux les plus « sableux » qui aient été reconnus se présentaient sous forme de lentilles diffuses recouvertes de 4 m au moins d’alluvions argileuses, et leur perméabilité n’excédait pas 5.10^{-6} m/s. Ils ne peuvent donc en aucun cas être à l’origine de fuites dangereuses, vu la faiblesse du gradient hydraulique.

Figure 15 : Résultats des essais Lefranc

Sondage	Niveaux	Nature des terrains	K de Darcy (m/s)
S 3	7,50 à 8 m	Sable et gravier argileux	$5,0.10^{-6}$
S 3	8,60 à 10 m	Sable fin et petits graviers	$1,2.10^{-6}$
S 3	9,70 à 12 m	Sable et gravier à passées un peu argileuses	$3,3.10^{-6}$
S 1	8,10 à 12,6 m	Sable et gravier à passées gréseuses ou conglomératiques	$10^{-6} \leq K \leq 3.10^{-6}$
S 2	5,75 à 7,80 m	Sable argileux ocre	10^{-8}

Pour éviter la circulation d’eau dans la fondation pouvant conduire à de l’érosion, une clé d’ancrage a été mise en place.

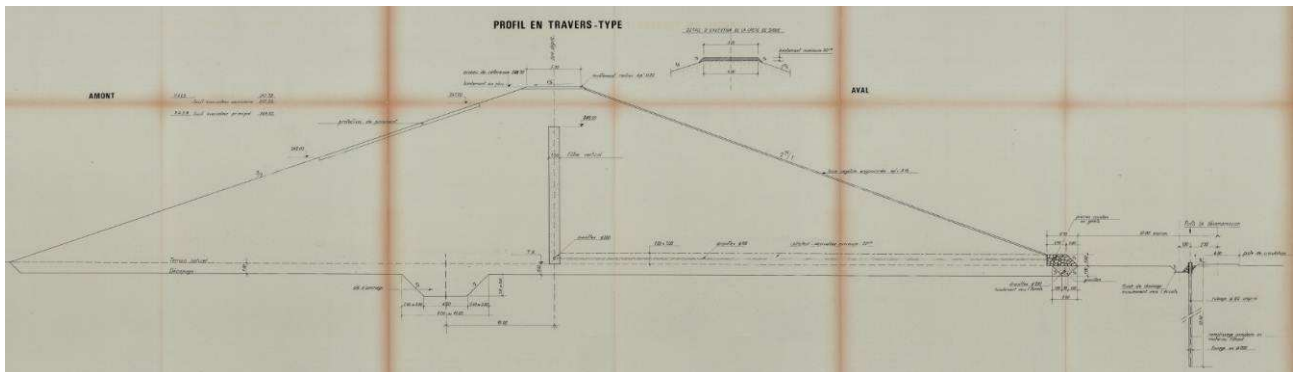
FT15 – Les puits de décompression limitent les sous-pressions sous le pied aval du barrage

En pied de talus aval, des puits de décompression ont été forés jusqu'au substratum marneux à une distance de 20 m l'un de l'autre (20 puits au total). Ces puits sont équipés de piézomètres permettant de suivre l'évolution de la nappe.

Les puits de décompression sont visibles en pied de talus aval sur le profil en travers type du barrage.

Aucun désordre (zone humide, mouillère) n'est observé en aval du barrage.

Figure 16 : Profil en travers type du barrage



3.2.2.1 Fonctions techniques de l'évacuateur de crue

FT16 – L'évacuateur principal collecte les crues « courantes » et « rares ».

L'évacuateur principal est un évacuateur latéral en béton implanté en rive droite et calé à la cote 246,2 m NGF, de 16,4 mètres de longueur déversante.

Des enrochements sont placés en amont du seuil pour éviter toute érosion et affouillement au pied du seuil. A l'aval du seuil, un entonnement dirige les eaux de crue vers un coursier composé d'éléments indépendants de 6,5 mètres à 10 mètres de longueur et de 5 m de largeur. Des joints waterstop assurent l'étanchéité entre les éléments.

Figure 17 : Entonnement et coursier de l'évacuateur de crue principal



Une passerelle en béton armé permet de traverser le coursier au niveau de la crête et joue aussi un rôle structurel de butonnage des murs bajoyers. Le bas du tablier est calé à la cote 248 m NGF laissant une hauteur de passage de 4,5 mètres en entrée. Au niveau de la passerelle la largeur de passage est de 5,00 mètres. Une seconde passerelle en béton armé permet de traverser le coursier quelques mètres en amont du bassin de dissipation.

La hauteur des murs bajoyers le long du coursier est de 1,30 mètre au minimum. L'évacuateur est en bon état général, on observe quelques légers éclats dans le béton et des fissures dans les réparations superficielles faites sur les bajoyers. Les réparations superficielles détériorées sont à reprendre.

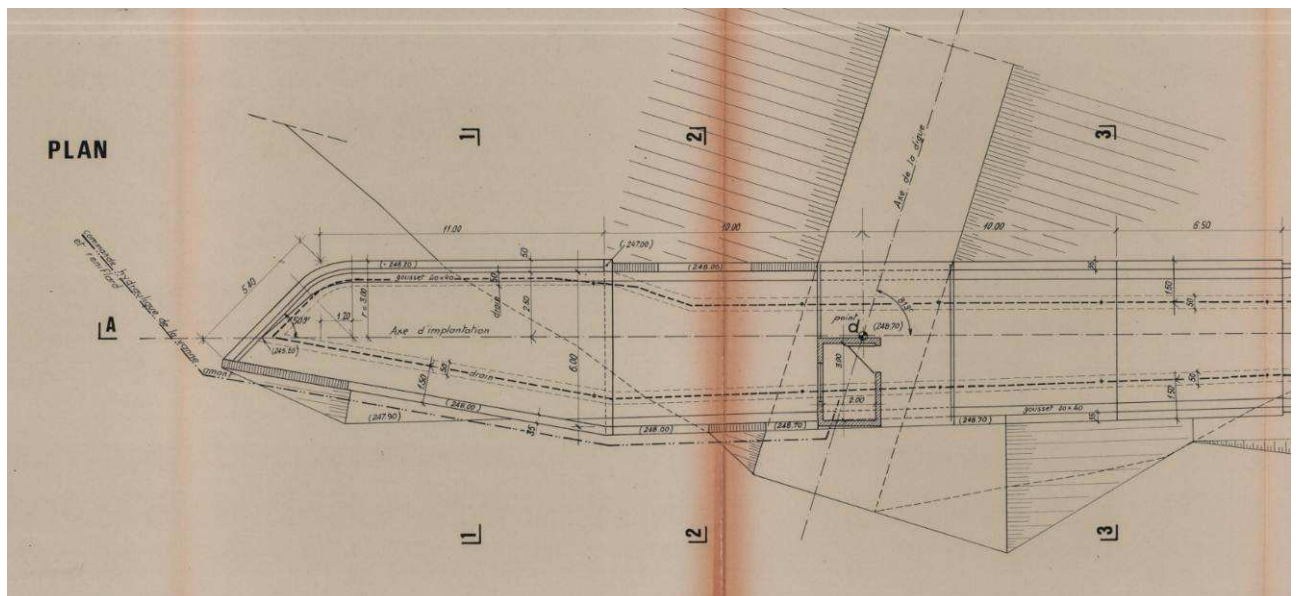
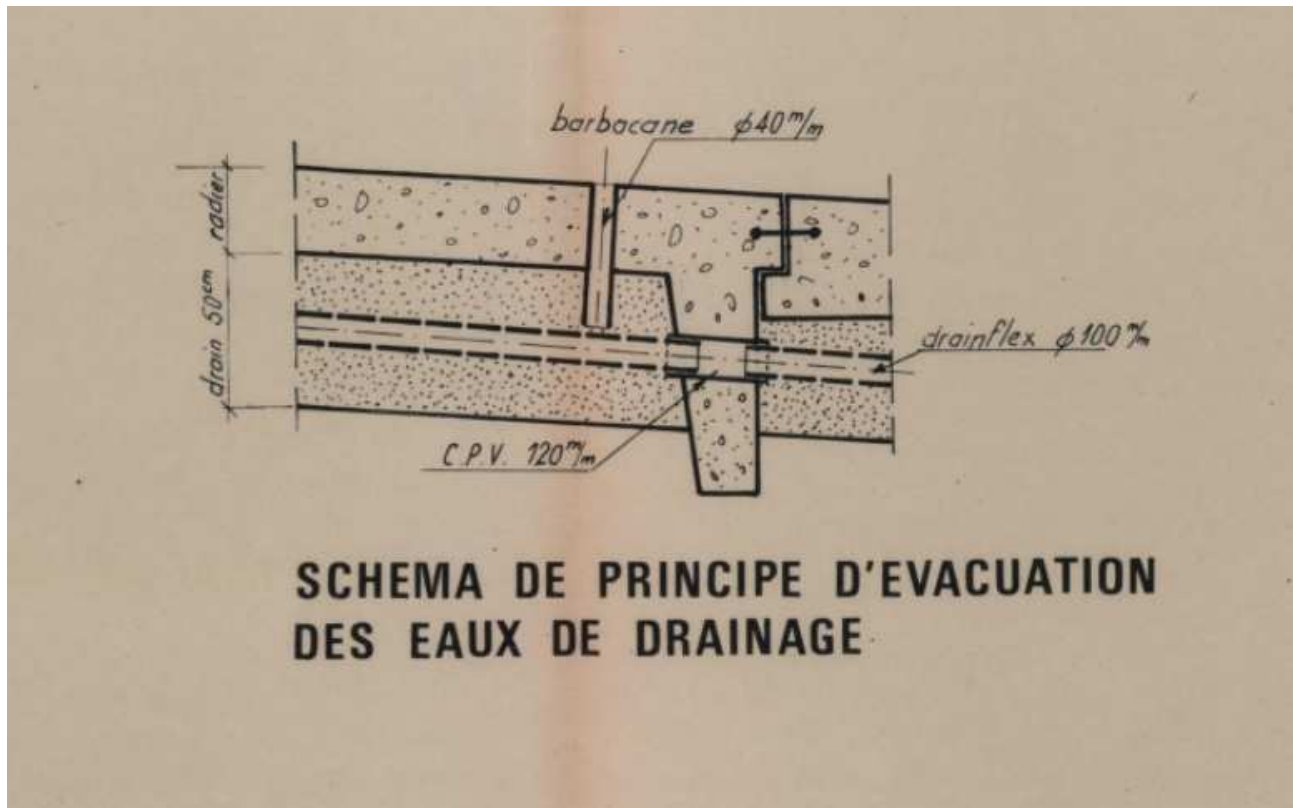
Figure 18 : Rares désordres sur l'évacuateur principal de crues



FT17 – Le drain sous évacuateur limite les sous-pressions.

Un dispositif de drainage a été prévu sous le radier de l'évacuateur pour limiter les sous-pressions pouvant le déstabiliser. Il est constitué de drainflex placés dans des tranchées drainantes.

Figure 19 : Vue en plan de l'évacuateur principal



FT18 - Le bassin de dissipation dissipe l'énergie hydraulique.

En pied de coursier, un bassin de dissipation muni d'une poutre brise-jet permet la formation d'un ressaut hydraulique.

Figure 20 : Bassin de dissipation



Le bassin est constitué en béton armé. Le bassin a une longueur de 14 m pour une largeur en radier de 8,5 m et une profondeur de 4,8 m. Les talus présentent une pente de 1/1.

Le bassin se termine par un seuil de 1 m de haut permettant de bloquer le ressaut dans le bassin de dissipation.

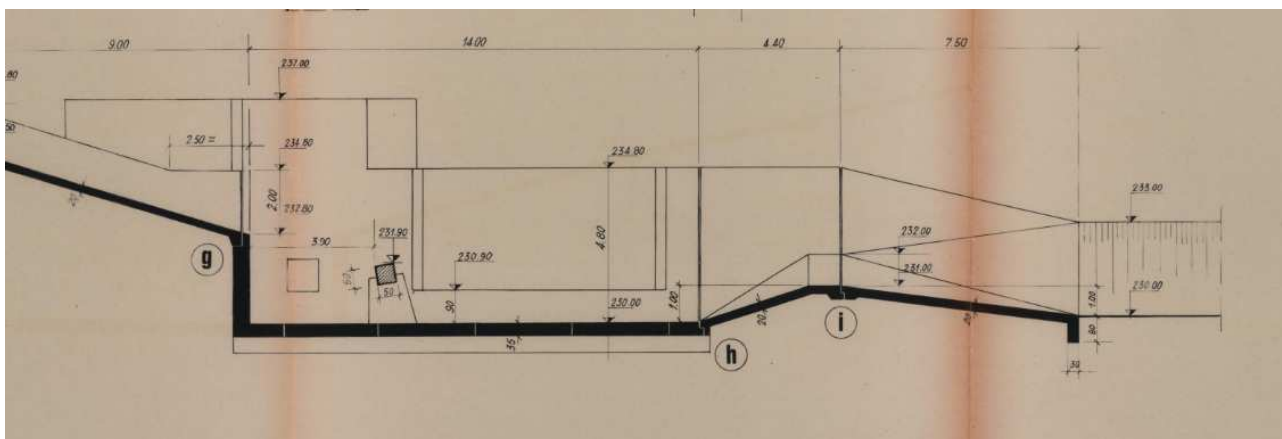
Le bassin débouche ensuite dans un chenal en terre, avec des enrochements au niveau de la sortie du bassin, rejoint une vingtaine de mètres à l'aval par le chenal de l'évacuateur de crue secondaire.

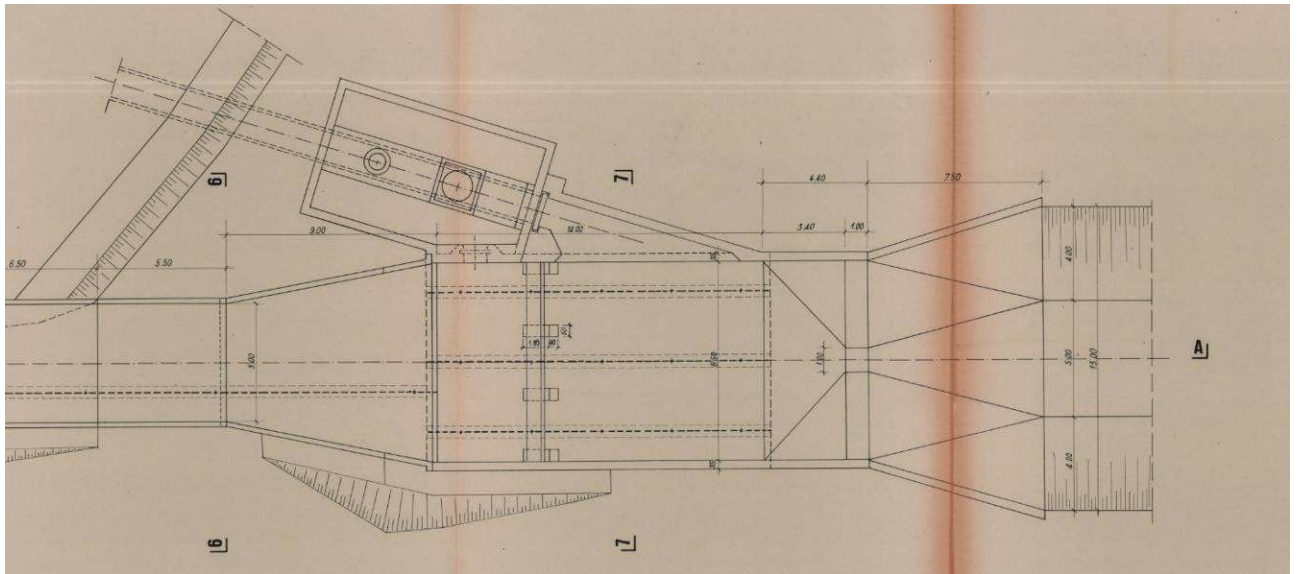
La conduite de vidange rapide débouche dans ce bassin.

FT19 - Le bassin de dissipation permet d'éviter l'érosion en pied de barrage.

Le bassin de dissipation constitué est de conception suffisamment robuste pour éviter toute érosion en pied aval du barrage.

Figure 21 : Plans du bassin de dissipation





FT20 – L'évacuateur secondaire collecte les crues « exceptionnelles ».

L'évacuateur secondaire est implanté en rive gauche et calé à la cote 247,2 m NGF, cet évacuateur est muni d'un seuil de 80 m de long constitué par une chaussée submersible.

Le coursier enherbé a pour exutoire le « Ruisseau du Hourquet » qui conflue avec l'Arrats à 180 m du pied de la digue, ce qui écarte tout risque de dégradations sur celui-ci.

Figure 22 : Seuil et coursier de l'évacuateur de crues secondaire



L'évacuateur secondaire est en bon état général. Cependant, des arbres situés dans le plan d'eau juste en mont du seuil seraient à retirer.

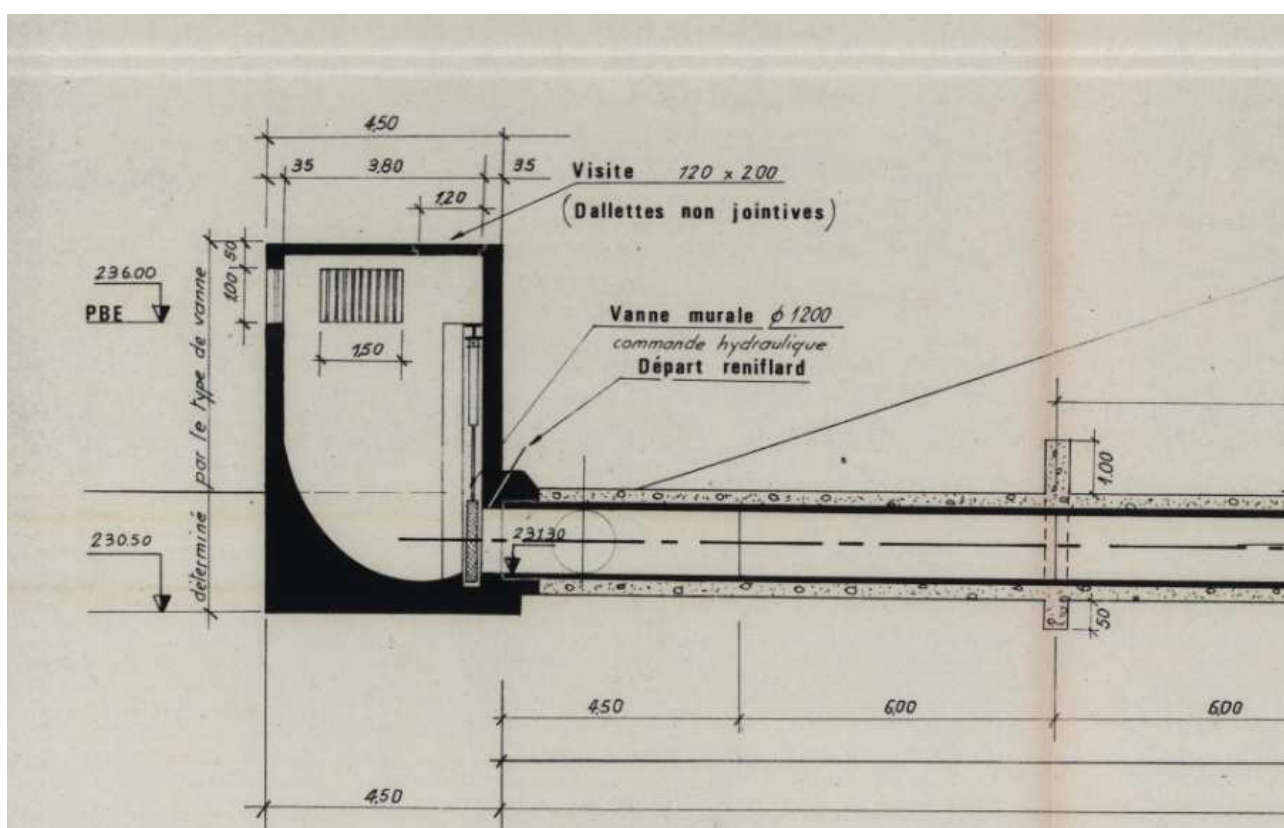
3.2.2.1 Fonctions techniques de la prise d'eau et vidange

FT21 – L'ouvrage de prise filtre l'eau du barrage.

L'ouvrage de prise en béton armé comprend 3 grilles métalliques de section unitaire 1 m par 1,5 m. L'ouvrage de prise de 3,7 m par 4,5 m à la base pour une hauteur de 7 m abrite également une vanne de garde amont.

La restitution du débit réservé se faisant par cette conduite, on a toujours un débit minimal passant par cette prise d'eau, ce qui limite le risque d'envasement.

Figure 23 : Ouvrage de prise



FT22 – La vanne de garde amont permet la mise hors d'eau de la conduite.

Une vanne de garde est située en amont de la conduite et est accessible par un local situé sur la crête de digue. C'est une vanne plate à galet qui possède une tendance à la fermeture. Elle est consignée en position ouverte par un crochet de verrouillage. Elle permet de fermer l'arrivée d'eau en amont et ainsi de faciliter une intervention sur les vannes situées plus en aval sur la conduite.

FT23 - La conduite assure le transit de l'eau y compris le débit de vidange rapide.

La conduite en acier de diamètre 1200 mm et de longueur 108 m traverse le barrage depuis l'ouvrage de prise en pied amont jusqu'à l'ouvrage de restitution en pied aval à proximité du bassin de dissipation de l'évacuateur de crue.

Cette conduite est revêtue à l'intérieur au mortier et dispose d'une protection extérieure. Elle est noyée dans un enrobage de béton grossier coulé à pleine fouille.

Le débit maximal évacuable par la conduite est de 10,5 m³/s sous un plan d'eau à la côte PEN.

Les pertes de charge dans la conduite sont suffisamment faibles pour permettre la baisse de moitié du volume de la retenue en 6 jours, respectant ainsi la limite réglementaire maximale de 8 jours.

FT24 - La conduite résiste à l'écrasement, à la déformation et reste étanche.

La conduite est normalement toujours en eau et doit résister en situation normale à la pression interne.

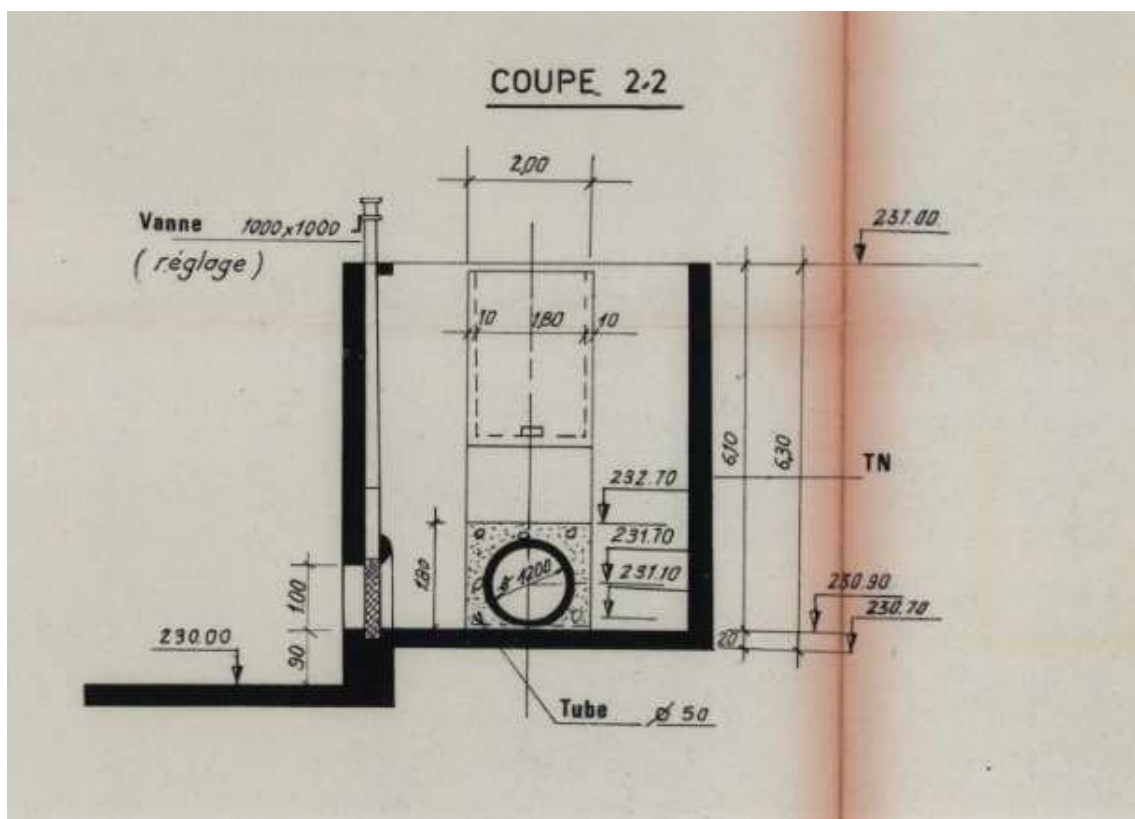
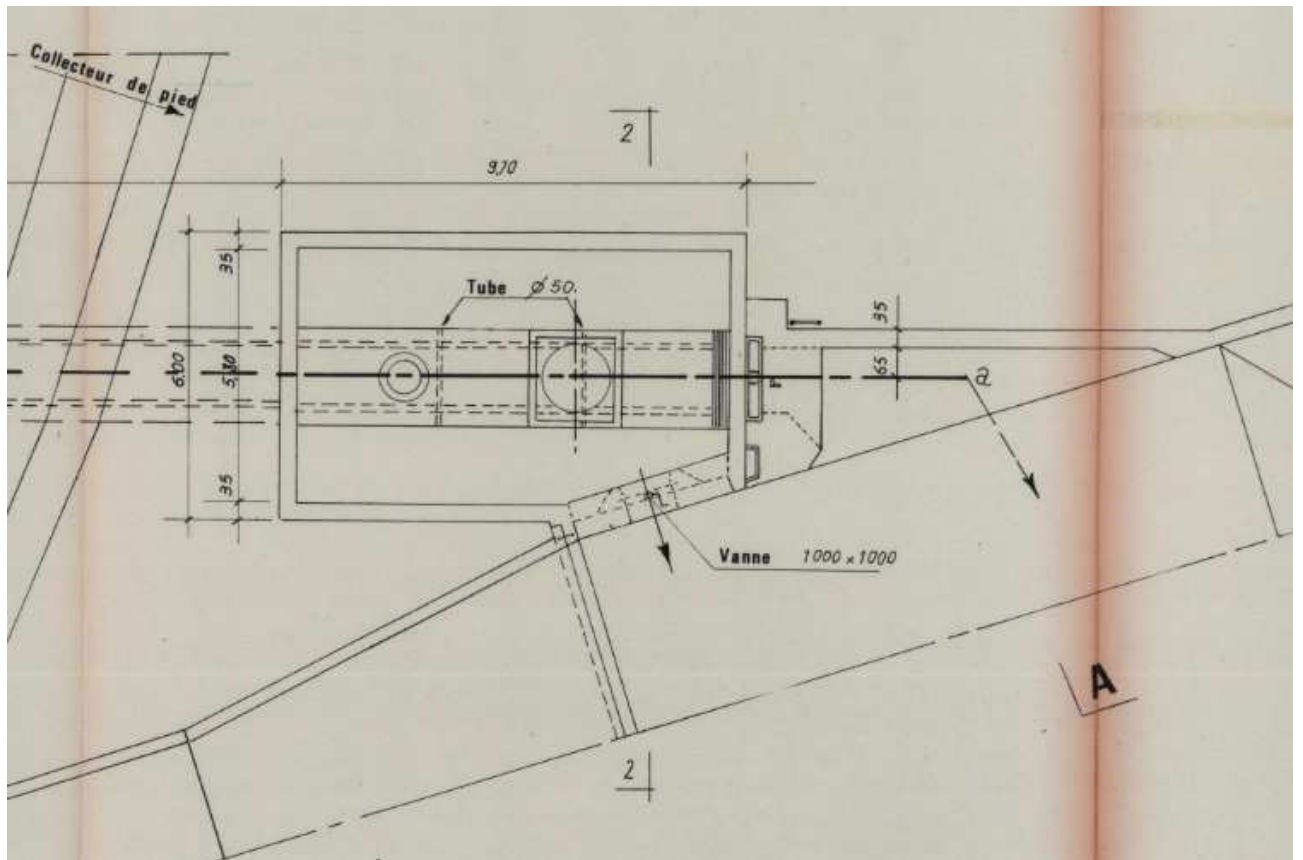
Par ailleurs en cas de fuite sur la conduite, la vanne de garde située en amont peut être abaissée.

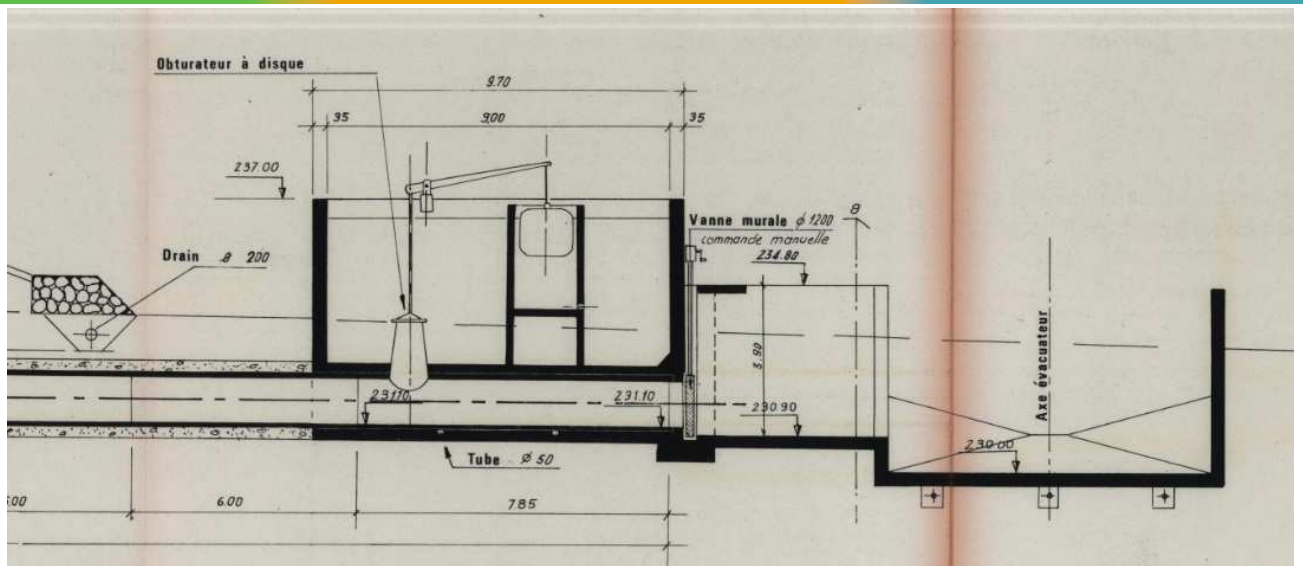
Depuis la mise en eau de la retenue, aucun incident n'a été observé sur la conduite. De par sa conception, elle peut résister aux différentes actions auxquelles elle est soumise.

FT25 - L'enrobage de la conduite et les écrans d'étanchéité empêchent la circulation d'eau le long de la conduite.

L'enrobage en béton de la conduite réalisé à pleine fouille permet de limiter les circulations d'eau le long de la conduite. D'autre part, 3 écrans en béton armé de 2,70 mètres de côté ont été disposés le long de la conduite sur la partie amont du barrage pour limiter encore les risques de circulation d'eau le long de la conduite.

Figure 24 : Ouvrage de restitution (chambre des vannes)





FT26 – Les vannes assurent la vidange rapide et régulent le débit restitué.

La conduite DN1200 sous le barrage débouche dans une chambre des vannes enterrée sécurisée à laquelle on accède par le local technique.

Une vanne murale à cric à crémaillère est située en bout de conduite et permet la vidange rapide de la retenue. Elle débouche dans le bassin de dissipation.

Deux conduites, DN400 et DN700, permettent la restitution du débit réservé et des débits de lâchers. La conduite DN400 qui permet la restitution du débit réservé est munie d'une vanne OREG manuelle tandis que la conduite DN700 est munie d'une vanne Monovar automatisée qui permet la réalisation de lâchers.

Figure 25 : Vannes de restitution des lâchers et du débit réservé



Figure 26 : Vanne murale aval (vidange)

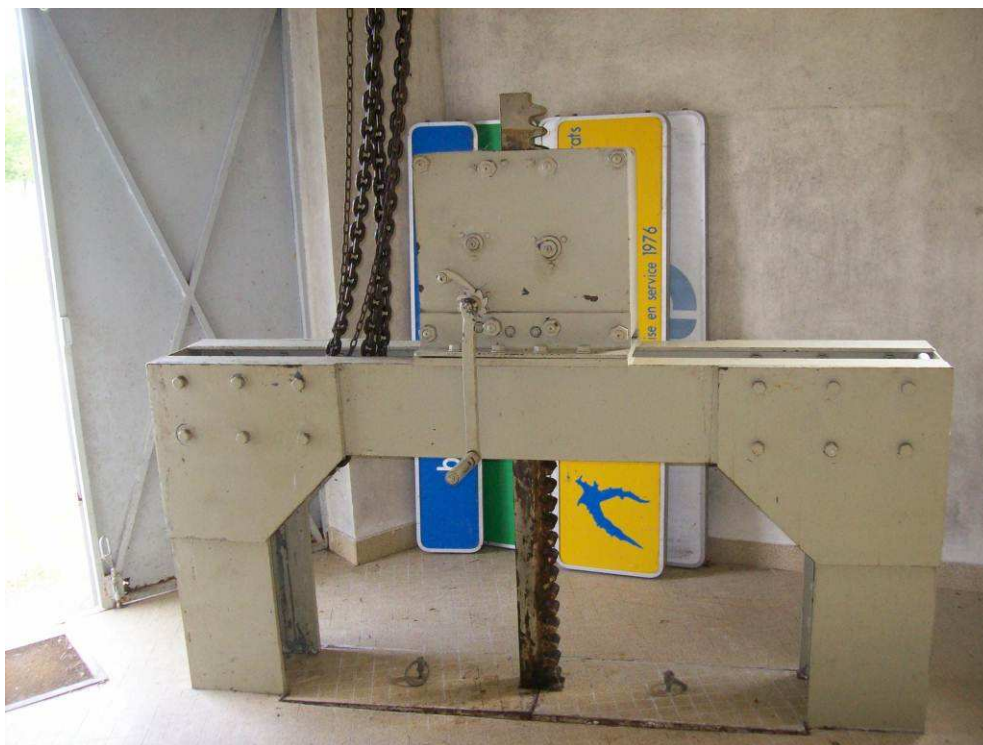


Figure 27 : Armoire de contrôle des vannes



FT27 - L'ouvrage de restitution évite l'érosion du pied aval et permet la mesure du débit restitué.

La vidange rapide débouche dans le bassin de dissipation de l'évacuateur de crue grâce à la levée d'une vanne-wagon à commande manuelle placée à l'extrémité de la conduite de 1200 mm.

La restitution débouche dans un ouvrage en béton armé équipé d'un système de dissipation pour éviter la descente des remous vers le seuil. Un seuil triangulaire permet de contrôler le débit de restitution.

En aval du seuil, des enrochements ont été placés pour éviter l'érosion des berges.

Figure 28 : Ouvrage de restitution



3.2.2.1 Fonctions techniques d'auscultation

FT28 - Les exutoires de drains permettent l'observation de débit.

Toutes les eaux collectées en provenance du drain vertical et des collecteurs transversaux débouchent dans un unique puisard situé à proximité du puits de décompression PD15 (voir Figure 29).

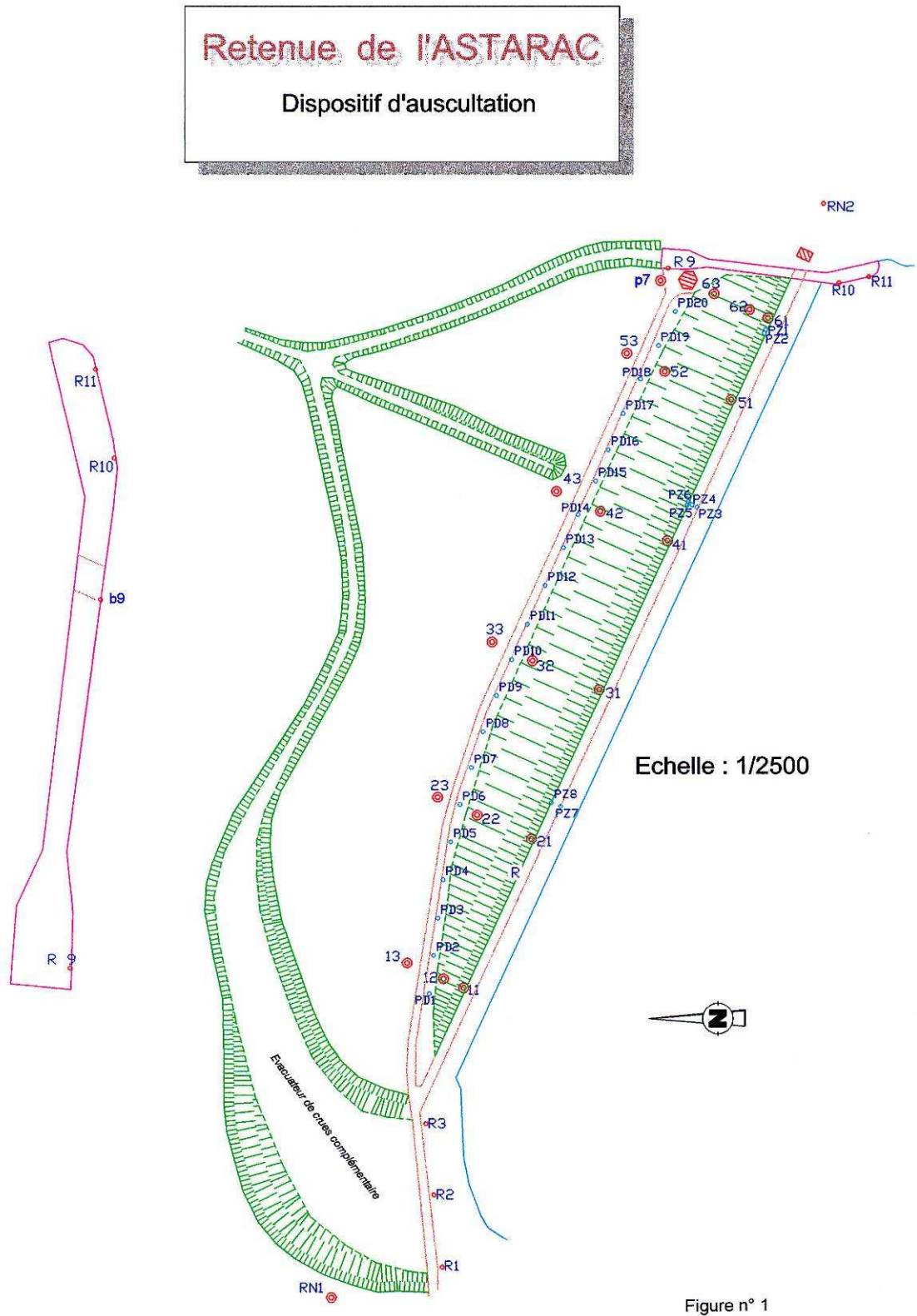
On constate des débits nuls en période de fin de vidange de la retenue, mais également à plan d'eau haut. Ainsi d'avril à juin 1997, malgré un plan d'eau situé entre 245,24 m NGF et 245,53 m NGF, le débit est resté nul ; c'est également le cas en mai 2006, avec un plan d'eau à la cote 245,9 m NGF. Les pointes de débits relevées, comme celles de décembre 1999 à 43,5 l/min, de février 2001 à 33 l/min, de janvier 2004 à 47 l/min, de fin mars 2006 à 13,5 l/min, de mars 2008 à 60 l/min, ou de novembre 2008 à 120 l/min, correspondent à des épisodes pluvieux importants, alors que le plan d'eau n'était pas à son niveau maximal.

Au cours de l'année 2010, des débits moyens ont été mesurés en février (13 l/min), en juillet (32 l/min), et en novembre (17 l/min), alors que le plan d'eau était plutôt haut ; hormis ces mesures (manifestement très influencées par les épisodes pluvieux), le débit est resté relativement bas, et même nul lors de la mesure de septembre (alors que le plan d'eau était encore haut).

Au cours de l'année 2011, un débit moyen a été mesuré en mars (11 l/min), alors que le plan d'eau était plutôt haut ; hormis cette mesure (manifestement très influencée par les épisodes pluvieux), le débit est resté relativement bas, et même nul lors des mesures de mai, juin, septembre, et novembre.

Rappelons que les drains transversaux provenant du drain central sont connectés à un collecteur situé dans le cavalier de pied constitué de gros blocs. Par conséquent, les débits non nuls observés sont liés uniquement à la collecte des eaux superficielles du talus aval du barrage (pas de relation évidente avec le niveau de la cote du plan d'eau). Malgré cela la modélisation du comportement de ce paramètre montre une très bonne stabilité dans le temps, sans dérive.

Figure 29 : Dispositif d'auscultation



3.2.2.1 Autres fonctions techniques (télémessure, télécommande)

FT29 - Les échelles limnimétriques permettent la mesure de la cote du plan d'eau.

Les échelles limnimétriques implantées sur le talus amont de la retenue et une sonde permettent de mesurer la cote du plan d'eau. Les échelles limnimétriques permettent de contrôler une potentielle dérive de la sonde.

Figure 30 : Echelles limnimétriques



FT30 - La télétransmission et la télécommande permettent de commander la vanne de restitution à distance et font partie du dispositif d'alerte.

Le local technique implanté au-dessus de la chambre des vannes abrite l'automate de commande de la vanne de restitution et de la vanne de vidange ainsi le télé transmetteur permettant d'envoyer les informations de gestion du barrage vers le serveur de la CACG. Ces informations (état de la vanne de restitution, débit restitué, niveau de la retenue, pluviométrie) sont consultables au siège de la CACG et à l'agence de Castelanu-Magnoac en charge du suivi du barrage.

Figure 31 : Local technique



3.3 Relation entre les fonctions contraintes et l'analyse fonctionnelle interne

Il est intéressant de visualiser comment les fonctions techniques résultant de l'analyse fonctionnelle permettent de répondre aux contraintes issues de l'analyse fonctionnelle externe.

Le croisement des fonctions techniques avec les fonctions contraintes permet de constater que toutes les fonctions contraintes sont en relation avec au moins une fonction technique vérifiant ainsi l'exhaustivité de l'analyse.

On constate que certaines fonctions contraintes ne sont en relation qu'avec une ou deux fonctions techniques, et dans ce cas l'analyse est assez simple puisque la contrainte doit être levée par seulement un ou deux sous-ensembles fonctionnels ; c'est le cas par exemple des fonctions contraintes de type météorologique (gel, soleil, pluie, vent), ou de la fonction contrainte concernant les embâcles.

Par contre d'autres fonctions contraintes peuvent être mises en relation avec de très nombreux sous-ensembles fonctionnels ce qui complique fortement l'analyse ; ainsi on peut citer la fonction « Protéger les **enjeux en aval** » pour laquelle presque tous les éléments fonctionnels peuvent être sollicités ; il en est de même des fonctions contraintes « générales » comme « Être en adéquation avec **l'état de l'art** actuel » ou « Le gestionnaire et le propriétaire doivent avoir des **budgets** et des **moyens** adaptés au fonctionnement et à la sécurité du barrage ».

L'ensemble de cette analyse est synthétisé dans le tableau ci-après.

Tableau 5 : Relation entre les fonctions contraintes et l'analyse fonctionnelle interne

	FC1	FC2	FC3	FC4	FC5	FC6	FC7	FC8	FC9	FC10	FC11	FC12	FC13	FC14	FC15	FC16	FC17	FC18	FC19
FT1	x	x	x		x	x					x		x	x		x	x	x	x
FT2	x	x	x		x	x			x	x			x	x		x	x	x	x
FT3	x	x	x		x	x							x	x		x	x	x	x
FT4	x	x	x		x	x			x	x			x	x		x	x	x	x
FT5	x	x	x		x	x								x		x	x	x	x
FT6	x	x	x		x	x								x		x	x	x	x
FT7	x	x	x		x	x							x	x		x	x	x	x
FT8	x		x		x	x			x	x			x	x		x	x	x	x
FT9	x				x									x		x	x	x	x
FT10	x				x	x								x		x	x	x	x
FT11	x												x	x		x	x	x	x
FT12	x	x	x		x	x								x		x	x	x	x
FT13	x	x	x		x	x								x		x	x	x	x
FT14	x	x	x		x	x								x		x	x	x	x
FT15	x	x	x		x	x								x		x	x	x	x
FT16	x	x	x	x	x	x						x		x	x	x	x	x	x
FT17	x	x	x	x	x	x								x	x	x	x	x	x
FT18	x	x	x	x	x	x						x		x	x	x	x	x	x
FT19	x	x	x	x	x	x						x		x	x	x	x	x	x
FT20	x	x	x	x	x	x						x		x	x	x	x	x	x
FT21	x	x	x					x						x	x	x	x	x	x
FT22	x	x	x		x	x		x							x	x	x	x	x
FT23	x	x	x		x	x									x	x	x	x	x
FT24	x	x	x		x	x									x	x	x	x	x
FT25	x		x		x	x									x	x	x	x	x
FT26	x	x	x		x	x		x							x	x	x	x	x
FT27	x		x		x	x									x	x	x	x	x
FT28	x														x		x	x	x
FT29	x	x													x		x	x	x
FT30	x	x													x	x	x	x	x

4 PRESENTATION DE LA POLITIQUE DE PREVENTION DES ACCIDENTS MAJEURS ET DU SYSTEME DE GESTION DE LA SECURITE

En tant qu'exploitant de l'ouvrage, la CACG applique pour la retenue de l'Astarac, la procédure générale interne d'exploitation et de surveillance des barrages, incluant la formation spécifique du personnel de l'Exploitation.

Les barrières de sécurité pour un barrage sont constituées d'actions de sécurité et d'éléments du barrage ayant une fonction spécifique de sécurité. Ces éléments ont été identifiés lors de l'analyse fonctionnelle externe (évacuateur de crue, dispositif de vidange rapide, dispositif d'auscultation, ...). Les actions de sécurité, quant à elles, sont essentiellement de trois types :

- actions de prévention
- actions de surveillance
- actions correctives

Les actions correctives peuvent concerner la modification de barrières de sécurité existantes inefficaces (évacuateur de crue, dispositif de vidange rapide, dispositif d'auscultation, ...).

Des actions correctives spécifiques peuvent être aussi décidées, en général par le service Ingénierie, en cas d'identification d'anomalies sur l'ouvrage (par les actions de prévention et de surveillance).

On peut distinguer aussi deux types d'information de déclenchement dans le système de gestion de la sécurité :

- les actions de « routine » : c'est à dire les interventions programmées à l'avance et répétitives.
- les actions relevant de l'« exceptionnel » : suite à un séisme, à une crue importante, à des constatations ou mesures anormales....

En tant qu'exploitant de l'ouvrage, la CACG assure la totalité des missions de prévention et de surveillance. Ainsi, pour évoquer les responsables de la mise en œuvre du plan de prévention des accidents majeurs et du système de gestion de la sécurité, il est fait référence aux services de la CACG, suivants :

DOP : Direction des Opérations comprenant le service ingénierie et le service topographie

EXP : service Exploitation

Les catégories de personnels concernés par les activités de surveillance des barrages peuvent se résumer ainsi :

Pour le service Ingénierie :

- 2 techniciens spécialisés en auscultation (ces missions représentent environ 75 % de leur temps de travail, l'un étant en charge du barrage de l'Astarac, l'autre pouvant le suppléer si besoin) ;
- 3 ingénieurs géotechniciens en charge de l'analyse des mesures, des VTA, de la rédaction des rapports (ces missions représentent entre 25 et 75 % de leur temps de travail, l'un étant responsable du barrage de l'Astarac).

Pour le service Topographie :

- 1 brigade topographique en charge des mesures ;
- L'ingénieur Géomètre responsable du service topographie.

Pour le service Exploitation :

- 1 agent de secteur chargé des visites de surveillance et de l'entretien courant du barrage de l'Astarac;
- Des techniciens spécialisés (automatisme, électromécanique, hydraulique, métrologie) chargés des opérations de maintenance spécifiques (essentiellement vantellerie) ;
- Le chef de l'agence de Tarbes, responsable de l'encadrement.

Notons que les techniciens du service Ingénierie et les différents agents de secteur affectés aux différents barrages suivis par la CACG ont reçu une formation technique interne insistant sur la sensibilisation aux risques liés aux barrages.

Dans le cadre de l'amélioration continue de la sécurité, une réunion annuelle est organisée entre les différents services cités précédemment, et impliqués dans le suivi des barrages ; cette réunion n'est pas spécifique au barrage de l'Astarac, mais concerne tous les barrages suivis par la CACG ; elle permet d'analyser les dysfonctionnements qui peuvent s'être produits sur certains ouvrages, de trouver les solutions, et d'en faire ainsi profiter tous les barrages.

Indépendamment de cette réunion programmée annuellement, une réunion extraordinaire peut être provoquée dans le cas où des modifications importantes des protocoles de suivi devraient être mises en œuvre, suite à la mise en évidence de dysfonctionnements majeurs sur certains ouvrages.

Un plan détaillé de prévention, fonction des différents scénarios de risque est mis en œuvre par l'exploitant du barrage (cf. paragraphe 9.2 : Réduction des risques).

Les actions décrites sont reprises dans les consignes écrites de surveillance et d'exploitation du barrage (en cours de validation par le service de contrôle).

5 IDENTIFICATION ET CARACTERISATION DES POTENTIELS DE DANGERS

L'étude de dangers prend en compte l'ensemble des potentiels de dangers des différents composants de l'ouvrage, du fait de leur présence ou de leur fonctionnement.

Pour un barrage, les potentiels de dangers à considérer résultent essentiellement de la libération de tout ou partie de l'eau de la retenue, suite :

- à une rupture partielle ou totale de l'ouvrage,
- à un phénomène gravitaire rapide affectant la retenue,
- à un dysfonctionnement d'un de ses organes,
- à une manœuvre d'exploitation,
- (...).

Un groupe de travail avec des experts de la CACG (voir composition en annexe 1) a identifié les sources de potentiels de dangers du barrage.

L'analyse fonctionnelle établie lors d'une séance antérieure du groupe de travail a servi de guide pour la démarche dans le groupe de travail.

Parmi les fonctions techniques présentées dans le Tableau 3, le groupe d'experts de la CACG a identifié les potentiels de danger présentés dans le Tableau 6 ci-après (méthode de sélection à dire d'experts).

Tableau 6 : Potentiels de danger pour le barrage de l'Astarac

Composant	Fonction technique	Potentiel de danger
Remblai amont	Assurer l'étanchéité du barrage (FT 2)	Infiltrations d'eau dans le barrage menant à la rupture par effet « renard ».
Remblai amont	Participer à la stabilité interne de l'ouvrage (FT 3)	Glissement d'une partie du talus amont menant à l'ouverture d'une brèche dans le barrage et à sa rupture.
Drain vertical	Le drain vertical draine le remblai amont (FT5)	Dégradation du drain avec modification de la ligne piézométrique dans le remblai, perte de stabilité par sous-pression dans le remblai aval ou érosion interne.
Collecteurs transversaux	Les collecteurs transversaux drainent le remblai aval et collectent les eaux du drain vertical (FT6)	Sous-pression dans le pied de talus aval menant à des glissements.
Remblai aval	Participer à la stabilité interne de l'ouvrage et résister à la poussée de l'eau (FT7)	Glissement d'une partie du talus aval menant à l'ouverture d'une brèche dans le barrage et à sa rupture.
Remblai	Résister à un séisme (FT9)	Glissement des talus, ouverture d'une brèche et rupture du barrage.
Remblai	Résister à un glissement de terrain (FT 10)	Glissement de terrain en bordure de retenue provoquant une montée des eaux et une vague submergeant le barrage.
Remblai	Résister aux animaux fouisseurs (FT 11)	Circulation d'eau dans le remblai due aux galeries creusées par les fouisseurs.

Composant	Fonction technique	Potentiel de danger
Fondation aval	Résister au poids de l'ouvrage aval et à la poussée de l'eau (FT 12)	Affaissement de la fondation menant à un affaissement global du barrage et à une surverse par-dessus la crête puis rupture du barrage. Rupture de la conduite.
Fondation amont	Résister au poids de l'ouvrage (FT13)	Affaissement de la fondation menant à un affaissement global du barrage et à une surverse par-dessus la crête puis rupture du barrage. Rupture de la conduite.
Clé d'ancrage	La clé d'ancrage limite les infiltrations d'eau en fondation (FT14)	Dégradation de l'étanchéité de la clé entraînant des circulations d'eau en fondation et une rupture du barrage par érosion interne
Puits de décompression	Les puits de décompression drainent la fondation aval (FT15)	Colmatage des puits de décompression avec augmentation des pressions interstitielles dans la fondation, perte de stabilité du pied aval.
Evacuateur de crue	L'évacuateur de crue collecte les crues (FT16 et FT20)	Ne pas permettre l'évacuation de la crue (sous-dimensionnement, embâcles ...) et donc montée du niveau d'eau dans la retenue jusqu'à surverse et rupture du barrage. Débordement le long du coursier en période de crue pouvant mener à une érosion régressive du talus aval jusqu'à la rupture du barrage.
Drain sous évacuateur	Le drain sous l'évacuateur évite les sous-pressions (FT17)	Erosion du talus sous l'évacuateur menant à déstabilisation structurelle de celui-ci.
Bassin de dissipation	Eviter l'érosion en pied de barrage et dissipe l'énergie (FT18-19)	Erosion du pied de barrage menant à des glissements. Détérioration du chenal de fuite.
Ouvrage de prise	L'ouvrage de prise filtre l'eau du barrage (FT21)	Colmatage des grilles et impossibilité d'effectuer la vidange rapide.
Vanne de garde amont	La vanne de garde amont permet la mise hors d'eau de la conduite (FT22)	Ne pas permettre une vidange suffisamment rapide de la retenue en cas de problème sur le barrage. Ceci pouvant mener à la rupture du barrage de manière indirecte.
Conduite	Assurer la vidange rapide (FT23)	Ne pas permettre une vidange suffisamment rapide de la retenue en cas de problème sur le barrage. Ceci pouvant mener à la rupture du barrage de manière indirecte.
Conduite	La conduite résiste à l'écrasement, la déformation et reste étanche (FT24)	Déformation voire rupture de la conduite et des écoulements d'eau dans la fondation jusqu'à rupture du barrage par érosion interne.
Enrobage de la conduite et les écrans	L'enrobage de la conduite et les écrans empêchent la circulation d'eau le long de la conduite (FT25)	Circulation d'eau le long de la conduite jusqu'à rupture du barrage par érosion interne.
Vanne de vidange	La vanne de vidange assure la vidange rapide (FT26)	Ne pas permettre une vidange suffisamment rapide de la retenue en cas de problème sur le barrage. Ceci pouvant mener à la rupture du barrage de manière indirecte. Ouverture totale et involontaire de la vanne de vidange rapide sans possibilité de refermeture. Ceci pouvant entraîner un danger pour les enjeux à l'aval.

Commentaires :

Le groupe d'experts n'a pas jugé comme un potentiel de danger la dégradation ou la perte (momentanée) de certaines fonctions techniques décrites dans l'analyse fonctionnelle, pour les raisons suivantes :

- elles ne présentent que peu ou pas de danger immédiat pour l'ouvrage ;
- elles peuvent être réparées assez rapidement ;
- elles sont surveillées régulièrement tous les mois ou en continu.

Il est vrai que si l'ouvrage était laissé à l'abandon sans surveillance, ces dégradations de fonctions techniques deviendraient des potentiels de danger.

Par exemple, sont concernés les ensembles ou sous-ensembles suivants :

- l'enrochement (FT1), la crête (FT4), le parement aval (FT8) : protection superficielle facilement réparable ;
- les vannes de garde (FT22) et de restitution (FT26) et ouvrage de restitution (FT27) (organes de maintenance et d'exploitation) ;
- les dispositifs d'auscultation (FT28) (pas d'enjeu direct sur la sécurité du barrage) ;
- la mesure du plan d'eau (FT29) (dispositifs facilement réparables) ;
- la télétransmission et le télécommande (FT30) : le dispositif d'alerte est aussi basé sur les alertes météorologiques, la télécommande ne concerne que la vanne de restitution qui n'est pas un organe de sécurité.

Le débit maximal de vidange rapide est d'environ 10,5 m³/s. Le groupe d'experts a considéré qu'une manœuvre intempestive en maintenance qui conduirait à une ouverture totale involontaire de la vanne de vidange sans possibilité de refermeture représente un potentiel de danger pour les enjeux en aval car le débit de vidange est assez élevé par rapport aux débits usuels de l'Arrats.

De même, le fait de ne pas pouvoir réaliser une vidange rapide a été considéré comme un potentiel de danger.

6 CARACTERISATION DES ALEAS NATURELS

Différentes études spécifiques présentent en détail les principaux aléas naturels auxquels est soumis le barrage de l'Astarac en particulier :

- Les mouvements de terrain ;
- Les séismes ;
- Les crues ;
- Le vent.

Dans les paragraphes suivants, nous présentons uniquement les conclusions de ces caractérisations.

6.1 Les mouvements de terrain

La carte géologique ci-après donne des éléments sur la nature des terrains en bordure de cuvette. Ils sont principalement composés d'alluvions modernes et de colluvions issus des terrasses.

Figure 32 : Carte géologique

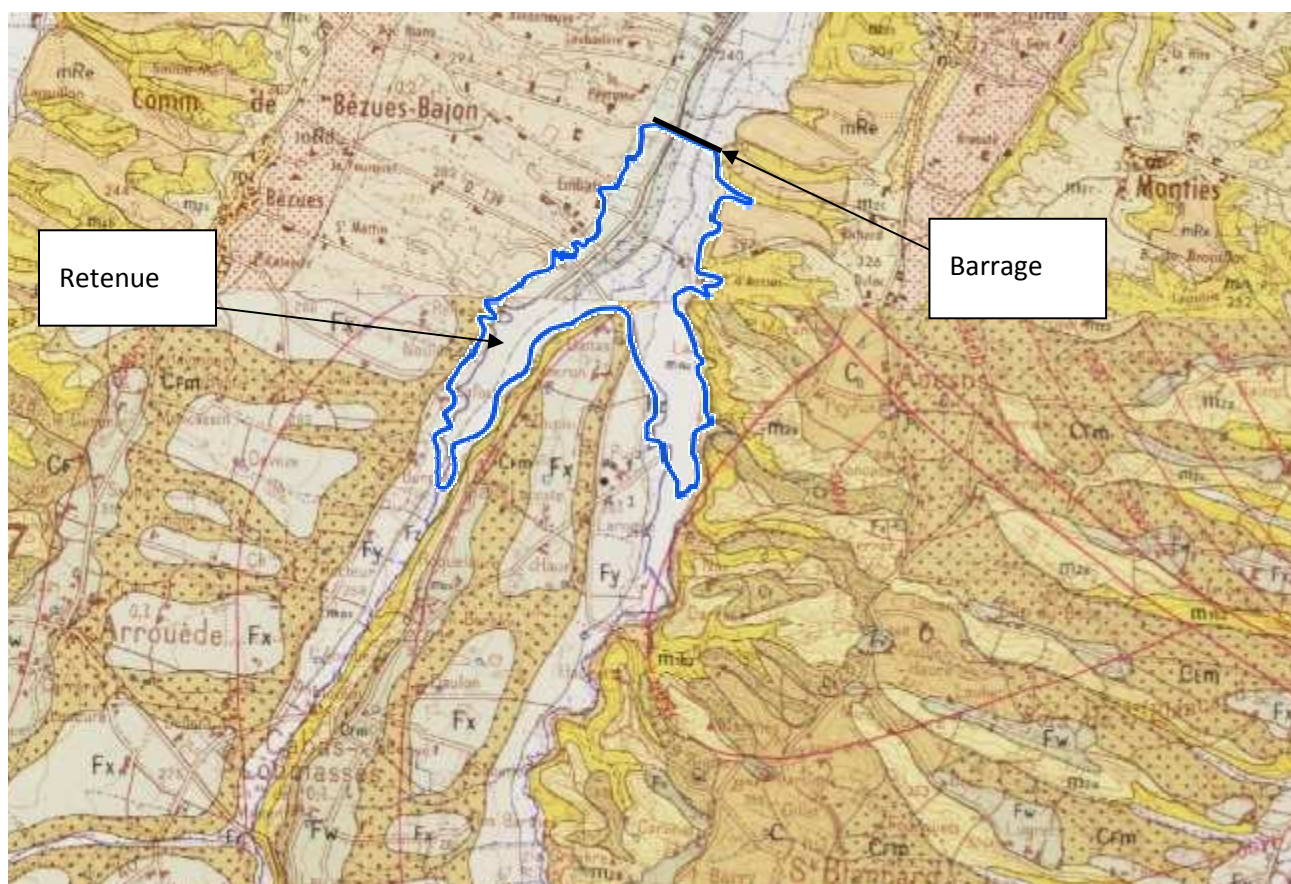


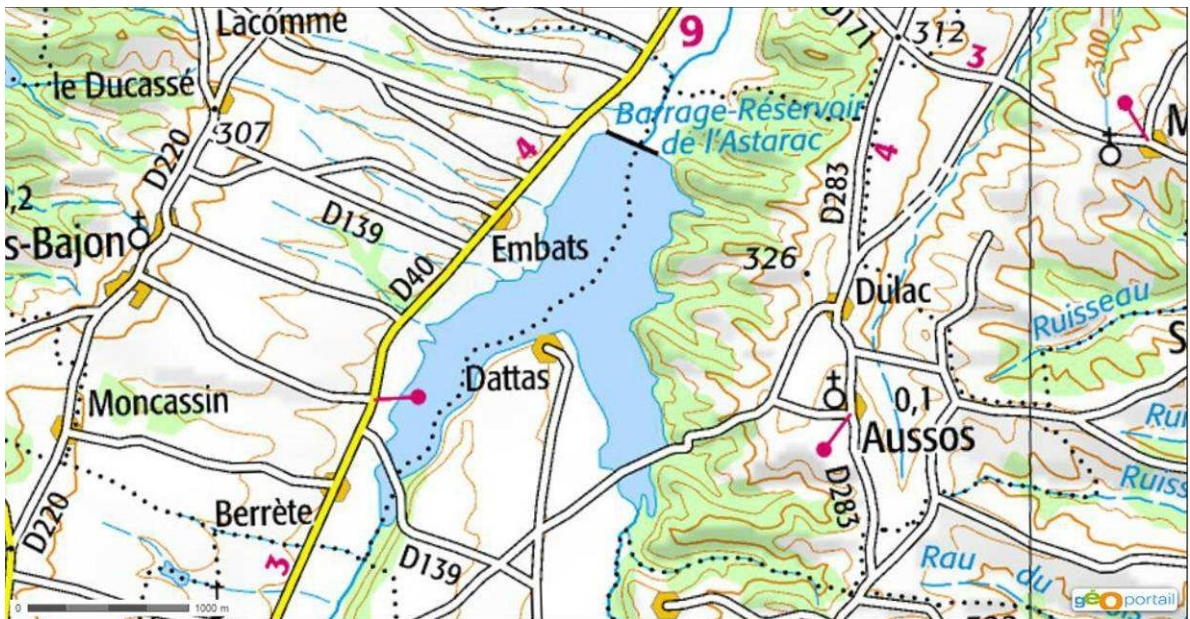
Figure 33 : Légende de la carte géologique



Etant donné la nature des terrains de couverture (limoneux, argileux), un glissement potentiel se produirait lentement dans la retenue sans provoquer de vagues importantes. D'autre part les pentes en bordure de cuvette sont relativement douces (30 % au maximum) avec un point culminant à environ 326 m NGF soit 80 m au-dessus du plan d'eau, confirmant ainsi cette hypothèse.

On peut estimer le volume d'un glissement potentiel de 300 m de côté et de 5 m de profondeur à 450 000 m³, ce qui représente déjà un glissement conséquent. Ce glissement occasionnerait une hausse du niveau d'eau de la retenue, si cette dernière est à PEN, de 2,5 cm, soit bien en deçà de la revanche disponible (2,50 m).

Figure 34 : Carte IGN



De plus, il s'agirait d'un glissement relativement profond à cinétique lente, dont les signes précurseurs seraient facilement décelables lors des visites de surveillance et d'auscultation du barrage.

Quelques signes de glissements sur la rive droite ont été observés lors des visites de surveillances et d'auscultation. Ces glissements, localisés et très faibles, ne posent pas de problème particulier mais sont à surveiller lors des prochaines visites.

Figure 35 : Glissements observés sur les rives de la retenue

6.2 Les séismes

Selon la nouvelle carte de l'aléa sismique, le site du barrage se trouve en zone de sismicité 2 correspondant à la classe d'aléa faible, c'est-à-dire à une accélération horizontale maximale au sol de $1,62 \text{ m/s}^2$ pour un barrage de classe B fondé sur un sol de classe B.

Aucune étude spécifique n'a été menée sur le risque sismique concernant ce barrage. Cependant avec des pentes de talus relativement douces (3/1 à l'amont et 2,75/1 à l'aval), l'existence d'un dispositif de drainage et l'absence de désordre sur le barrage, on peut considérer que le risque sismique n'est pas critique pour cet ouvrage.

Le seul séisme recensé sur les communes d'Aussos et Bézues-Bajon date du 29 Février 1980. Son intensité épicentrale (à Ossau dans les Pyrénées occidentales) était de 7,5 sur l'échelle M.S.K. et son intensité au barrage de l'Astarac de 4,5 sur l'échelle M.S.K. d'après les données du site SisFrance.

6.3 Les crues

Une révision hydrologique a été effectuée en prenant en compte les nouvelles données météorologiques et hydrométriques depuis 1974, date de l'étude hydrologique initiale du barrage de l'Astarac. Le détail de la révision de l'étude hydrologique figure en annexe.

L'étude de 1974 avait déterminé pour une crue de projet de période de retour 1 000 ans, un débit de pointe entrant dans la retenue de $194 \text{ m}^3/\text{s}$ et un volume de crue de $4\,500\,000 \text{ m}^3$. La révision hydrologique effectuée à l'occasion de la présente étude s'est basée sur les préconisations actuelles, à savoir une crue exceptionnelle de période de retour 3 000 ans pour laquelle le barrage ne doit subir aucun dommage majeur et une crue extrême de période de retour 30 000 ans pour laquelle la sécurité du barrage ne doit pas être remise en cause. La révision hydrologique s'est basée sur la méthode du Gradex, avec analyse des données hydrométriques et pluviométriques locales.

Le débit de pointe entrant de la crue exceptionnelle a ainsi été évalué à 164 m³/s pour un volume ruisselé de 6 456 000 m³ et le débit de pointe entrant de la crue extrême a été évalué à 217 m³/s pour un volume ruisselé de 8 529 000 m³. Le débit de pointe de la crue exceptionnelle est au-dessous du débit de pointe de la crue de projet malgré un temps de retour supérieur, cependant le volume de la crue exceptionnelle est supérieur à celui de la crue de projet initiale. La crue exceptionnelle n'est donc pas nécessairement moins contraignante pour les ouvrages d'évacuation des crues que la crue de projet initiale.

Des calculs de laminage ont été effectués pour déterminer les débits de pointe transitant dans l'évacuateur de crue. Ces débits de pointe ont été ensuite repris dans un modèle hydraulique de l'évacuateur de crue central réalisé sous HEC-RAS afin de vérifier le dimensionnement hydraulique de cet évacuateur et les conditions de revanche sous la crue exceptionnelle et de non-débordement sous la crue extrême.

Le dispositif actuel d'évacuation des crues est globalement bien dimensionné :

- La revanche minimale le long du coursier est respectée pour la crue exceptionnelle de période de retour 3 000 ans ; cependant la revanche minimale en crête n'est pas respectée ;
- La condition de non-débordement en crête du barrage et le long du coursier est respectée sous la crue extrême de période de retour 30 000 ans;

La revanche lors de la crue exceptionnelle de période de retour 3 000 ans est de 94 cm soit en deçà de la valeur de 130 cm préconisée pour se prémunir de l'effet des vagues.

Afin de palier à ce problème, nous préconisons l'installation d'un pare vague d'une hauteur minimale 0,4 m placé en crête de digue.

L'évacuateur de crue est équipé d'un dalot qui présente une certaine sensibilité aux embâcles de par sa section restreinte (4,5 m de hauteur sur 5 m de largeur). De plus le rapport du volume de la crue exceptionnelle sur le volume de la retenue est de 64 %, donc nettement supérieur au rapport maximal de 30 % qui caractérise une retenue insensible aux embâcles.

Cependant, les éléments présentés ci-dessous justifient la faible sensibilité de l'évacuateur de crue aux embâcles :

- le barrage n'est pas orienté dans le sens des vents dominants de secteur ouest.
- la crue exceptionnelle de période de retour 3 000 ans peut être évacuée avec une réduction de débitance de l'évacuateur de 30 % due à l'obstruction par embâcles sans occasionner de surverse.

Le risque d'embâcles est donc bien maîtrisé.

6.4 Le vent

Le vent peut causer des chutes d'arbres qui peuvent constituer des embâcles en crue. Le vent peut également générer des vagues dans la retenue qui peuvent dégrader les berges et le parement amont du barrage si celui-ci n'est pas protégé.

Les données concernant les vents à Tarbes-Ossun, station climatique de référence la plus proche, sont les suivantes (source Météofrance, statistiques climatiques de la France 1971-2000) :

- Nombre de jours avec vent maximal instantané supérieur à 16 m/s : 34 jours par an en moyenne, avec des occurrences plus fortes sur les mois de décembre à avril,
- Nombre de jours avec vent maximal instantané supérieur à 28 m/s : 0,6 jour par an en moyenne,
- Rafale de vent instantanée la plus forte connue : 27 décembre 1989, 38 m/s.
- Les vents forts (>8m/s) sont essentiellement de secteur ouest (260 à 300°), pour une fréquence de 1,8 % (0,7% de secteur 280°, 0,6% de secteur 260°).

Le talus amont du barrage est orienté sud-ouest avec un fetch maximal dans cette direction. Les vents forts sont principalement de secteur ouest. Les vagues susceptibles de se former arriveraient à l'oblique du parement et ne disposeraient pas de toute la longueur de la retenue pour se former. Le risque d'érosion par batillage paraît donc faible, l'enrochement en place étant là pour en limiter les effets.

D'autre part, de la hauteur potentielle de vague est déduite une hauteur de revanche assurant qu'aucun débordement ne se produise par-dessus la crête du barrage. Sur le barrage de l'Astarac, la revanche minimale préconisée est évaluée à 130 cm.

Lors de la crue exceptionnelle de période de retour 3000 ans, la revanche est de 94 cm : de par l'orientation du barrage, cette situation est jugée acceptable. Cependant, mise en place d'un pare vague de 40 cm de hauteur est préconisée.

6.5 Autres aléas

Le gel peut provoquer le blocage des vannes de vidange du barrage. La position des vannes à l'intérieur d'une chambre des vannes abritée limite très fortement ce risque.

La station climatique de Tarbes donne des données concernant l'importance des périodes de gel sur la région :

- La température la plus basse relevée est de -17,9°C ;
- Le nombre moyen de jours sur l'année avec une température inférieure à -5°C est de 5,2.

Le climat est donc relativement clément sur la région du barrage.

Concernant le risque d'avalanche, le risque est très improbable sur le site du barrage étant donné les faibles dénivelées en bordure de cuvette (au maximum 80 m) et le climat relativement doux sur la région (en moyenne 8,8 jours de neige sur l'année).

7 ETUDE ACCIDENTOLOGIQUE ET RETOUR D'EXPERIENCE

7.1 Etude accidentologique sur l'ouvrage

7.1.1 Anti-batillage

L'anti-batillage situé sur le parement amont a été repris plusieurs fois entre 1995 et 1998, entre 20 et 130 ont été ajoutés en complément à chaque reprise.

7.1.2 Reprise de l'évacuateur de crue

Le seuil et le coursier de l'évacuateur de crue principal en béton ont été repris en 2008 pour réparer des fissures, visibles notamment sur les bajoyers.

7.1.3 Crues

Une crue importante a été observée le 08/07/1977, des précipitations importantes ont conduit au fonctionnement du déversoir secondaire. La cote 247,9 m NGF a été atteinte au plus fort de la crue.

Les ouvrages d'évacuation ont bien fonctionnés pour cette crue qui n'a pas engendré de désordres sur la digue.

7.2 Retour d'expérience CACG

La CACG a construit et gère plus d'une centaine de barrages en remblais.

Dans l'existant des ouvrages construits, de caractéristiques voisines de celles du barrage de l'Astarac, on trouve :

- Plus d'une dizaine de barrages en terre compactée de mêmes dimensions ;
- Plus d'une dizaine d'évacuateurs construits sur remblai du même type ;

Aucun incident majeur n'a été observé sur ces ouvrages en fonction.

7.3 Retour d'expérience externe

Une analyse des ruptures de barrages ayant eu lieu dans le monde a été conduite sur la base d'informations bibliographiques. Les deux principaux modes de rupture des barrages en remblai sont la surverse lors d'une crue et le phénomène d'érosion interne du barrage ou des fondations (environ 30 % des cas pour chacun de ces modes de rupture). En ce qui concerne les ruptures imputables à des ouvrages annexes, c'est l'évacuateur de crue qui est le plus souvent mis en cause. Les séismes ne représentent pas un risque important pour les barrages en remblai.

L'analyse de l'historique des ruptures de barrage montre que les 2/3 des ruptures se produisent en début de vie de l'ouvrage (depuis le premier remplissage jusqu'aux 10 premières années d'exploitation).

Ci-après sont listés quelques exemples de ruptures de barrages en remblai de hauteur proche de celle du barrage de l'Astarac :

Tableau 7 : Exemple de ruptures de barrages en remblai

Barrage	Pays	Année de construction	Année de la rupture	Hauteur du barrage (m)	Mode de rupture
La Laguna	Mexique	1912	1969	16	Erosion interne (renard)
Caulk Lake	USA	1950	1973	20	Percolation dans le corps du barrage
Banqiao	Chine	1956	1975	24.5	Surverse due à un évacuateur de crue sous-dimensionné
Lliu-Lliu	Chili	1934	1985	20	Séisme ayant produit des tassements
Noppikoski	Suède	1966	1985	18.5	Surverse due au mauvais fonctionnement de l'évacuateur
Bagauda	Nigeria	1970	1988	22	Surverse
Belci	Roumanie	1963	1991	16	Surverse

Ces données sont basées sur une publication du Comité International des Grands Barrages CIGB : « Ruptures de barrages : Analyse statistique » (1995).

8 IDENTIFICATION ET CARACTERISATION DES RISQUES EN TERMES DE PROBABILITE, D'OCCURRENCE, D'INTENSITE ET DE CINETIQUE DES EFFETS, ET DE GRAVITE DES CONSEQUENCES.

8.1 Description et principes de la méthode utilisée

Dans un premier temps, la méthode AMDE (Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets) a été mise en œuvre afin d'avoir une compréhension exhaustive des risques encourus.

Cette méthode considère, systématiquement, l'un après l'autre, chaque composant du système ou fonction qui présente un potentiel de danger pour l'ouvrage et analyse ses modes de défaillance et leurs effets.

Un groupe de travail avec des experts de la CACG (voir composition en annexe 1) a identifié lors d'une session de travail :

- les causes possibles de défaillance ;
- les effets possibles d'une défaillance ;
- les indicateurs (visuels, issus d'un instrument d'auscultation) traduisant la manifestation des conséquences des défaillances et pouvant être détectés (moyens de détection).

Le tableau de la page suivante présente les résultats de l'AMDE.

Dans un deuxième temps, la méthode des « nœuds papillon » a été appliquée à partir des résultats de la méthode AMDE pour permettre la compréhension des scénarios qui amènent à la ruine de l'ouvrage. Ces scénarios sont détaillés au paragraphe 8.4. Cette méthode permet en particulier de mieux appréhender :

- les successions d'évènements pouvant amener à la ruine de l'ouvrage et les interactions possibles entre ces évènements ;
- l'efficacité des barrières de sécurité en les appliquant à un évènement particulier et en leur attachant une diminution de classe de probabilité.

Ces points non abordés dans la méthode AMDE sont représentés par la méthode des « nœuds papillon » d'une manière schématique qui facilite la compréhension.

Tableau 8 : AMDE du barrage de l'Astarac

Composant	Fonction	Causes possibles de la défaillance	Effets possibles de la défaillance	Indicateurs	Moyens de détection
Remblai amont	Assurer l'étanchéité du barrage	-Réalisation -Ecoulement possible par mauvaise mise en œuvre -Evolution des matériaux	-Rupture par effet renard dans le talus aval	-Augmentation du débit de fuite -Turbidité de l'eau	-Observation visuelle -Mesures de débits de fuite, de piézométrie.
Remblai amont	Participer à la stabilité interne de l'ouvrage	-Evolution des caractéristiques mécaniques du remblai (pression interstitielle)	-Rupture par ouverture d'une brèche - Mouvement de remblai	-Tassements -Fissures	-Observation visuelle
Drain vertical	Le drain vertical draine le remblai amont	-Réalisation : mauvaise mise en œuvre -Migration des fines et colmatage	-Rupture par érosion du massif aval -Absence de drainage -Ecoulement dans le massif aval	-Zone d'humidité côté aval -Variation anormale de débit	-Observation visuelle -Mesures de débits de fuite, de piézométrie.
Collecteurs transversaux	Les collecteurs transversaux drainent le remblai aval	-Réalisation : mauvaise mise en œuvre -Migration des fines et colmatage	-Rupture par érosion du massif aval -Absence de drainage	-Zone d'humidité côté aval -Variation anormale de débit	-Observation visuelle -Mesures de débits de fuite, de piézométrie.
Remblai aval	Participer à la stabilité interne de l'ouvrage et résister à la poussée de l'eau	-Conception, réalisation -Evolution des pressions par écoulement des eaux de ruissellement et/ou d'infiltration -Evolution des caractéristiques mécaniques par réactions chimiques	-Rupture par ouverture d'une brèche -Déformations, glissements	-Fissures, lentilles, bourrelets -Présence d'eau	-Observation visuelle -Mesures de débits de fuite, de piézométrie.
Fondation aval	Résister au poids de l'ouvrage aval et à la poussée de l'eau	-Mauvaise connaissance des caractéristiques des fondations	-Rupture par effet renard en pied de digue -Mouvements, déformations, ruptures	-Fissures -Déformation des ouvrages -Piézométrie	-Observation visuelle -Mesures de débits de fuite

Composant	Fonction	Causes possibles de la défaillance	Effets possibles de la défaillance	Indicateurs	Moyens de détection
Clé d'ancrage	La clé d'ancrage limite les infiltrations d'eau en fondation	-Conception, réalisation -Tassements en fondation	-Ecoulements en fondation -Mouvements, déformations -Rupture par effet renard en pied de digue	-Zone d'humidité côté aval -Variation anormale de débit	-Observation visuelle -Mesures de débits de fuite, de piézométrie
Puits de décompression	Drainer la fondation aval	-Colmatage des puits de décompression	-Sous-pressions sous talus aval	-Variation d'écoulements	-Mesure de débits, piézométrie
Fondation amont	Résister au poids de l'ouvrage	-Mauvaise connaissance des caractéristiques des fondations	-Mouvements, déformations, barrage en phase de vidange	-Déformations	-Observation visuelle
Evacuateur de crue principal	Collecter les crues « courantes » et « rares »	-Conception, réalisation, hydrologie, phénomène naturel -Embâcles -Dégradation du béton	-Rupture de la digue par surverse en crue (bouchon d'embâcles, débit exceptionnel) -Déformations, fissures -Débordements latéraux	-Fissures sur le génie civil -Embâcles présents -Fuites	-Quantité d'embâcles présents -Observation visuelle -Mesure niveau d'eau
Drain sous évacuateur	Le drain sous l'évacuateur évite les sous-pressions	-Réalisation : mauvaise mise en œuvre -Migration des fines (colmatage ou érosion)	-Sous-pression sous l'évacuateur et déstabilisation structurelle	-Fissures	-Observation visuelle -Mesure des débits de drains
Bassin de dissipation	Eviter l'érosion en pied de barrage	-Conception -Pas de maîtrise de l'écoulement aval -Phénomène exceptionnel	-Erosion du pied aval -Détérioration de l'enrochement en sortie bassin	-Désordre dans l'enrochement, le génie civil -Erosion du chenal	-Contrôle en période de crue et constat
Ouvrage de prise	L'ouvrage de prise filtre l'eau du barrage	-Colmatage par sédiments	-Colmatage progressif -Colmatage des grilles -Non-respect du temps de vidange rapide	-Réduction du débit	-Test d'écoulements ou non obtention du débit à restituer -Observation par plongeur
Vanne de garde amont	Mettre hors d'eau la conduite	-Usure et/ou corrosion de certaines pièces mécaniques -Manque d'entretien	-Peu ou pas d'écoulement -Blocage de la vanne -Ecoulement d'un fort débit	-Blocage de vanne (dureté à la manœuvre) -Ecoulement d'eau anormal	-Test de maintenance systématique des vannes annuellement

Composant	Fonction	Causes possibles de la défaillance	Effets possibles de la défaillance	Indicateurs	Moyens de détection
Conduite	Résister à l'écrasement, la déformation et reste étanche	-Conception, réalisation, -Tassements, -Corrosion	-Rupture par érosion interne si rupture conduite -Déformations, fissures	-Fuites	-Inspection par caméra -Contrôle des débits de fuite
Conduite	Assurer la vidange rapide	-Usure et/ou corrosion -Conception	-Peu ou pas d'écoulement	-Ecoulement d'eau anormal	-Inspection par camera
Enrobage de la conduite et les écrans	Empêcher la circulation d'eau le long de la conduite	-Conception -Tassements	-Circulation d'eau le long de la conduite pouvant conduire à la rupture du barrage par érosion interne	-Infiltrations débouchant en chambre des vannes	-Observation visuelle -Mesure des débits de drains
Vanne de vidange	Réguler les débits et assurer la vidange rapide	-Usure et/ou corrosion de certaines pièces mécaniques -Manque d'entretien	-Peu ou pas d'écoulement -Blocage de la vanne -Ecoulement continu d'un fort débit vers l'aval	-Blocage de vanne (dureté à la manœuvre) -Ecoulement d'eau anormal	-Test de maintenance systématique des vannes annuellement
Remblai	Résister à un séisme	-Conception -Phénomène exceptionnel	-Déplacements et déformations -Détériorations du génie civil	-Lentilles de glissement -Fissures sur génie civil	-Observation visuelle après évènement significatif
Remblai	Résister à un glissement de terrain	-Vidange rapide, séisme	-Arrivée lente dans le barrage d'un volume potentiel maximum, inférieur au volume de garde et donc pas de phénomène de surverse	-Lentilles de glissement	-Observation visuelle
Remblai	Résister aux animaux fouisseurs	-Faune locale ou importée	-Ecoulement d'eau dans les galeries creusées (effet renard)	-Présence d'animaux ou d'activité dans la zone de batillage	-Observation visuelle

Commentaires :

Certains modes de défaillances ont pour effet maximal la rupture du barrage et donc la propagation d'une onde de submersion dans la vallée. Ces modes peuvent être regroupés en 4 grandes familles qui constituent les « Événements Redoutés Centraux » (ERC) :

- La surverse par-dessus la crête ;
- La rupture de l'évacuateur de crues ;
- Le glissement du remblai aval ;
- L'érosion interne ;

8.2 Onde de submersion correspondant à la rupture du barrage de l'Astarac

Une simulation de l'onde de submersion a été réalisée pour l'étude de dangers du barrage de l'Astarac.

Elle est présentée dans le détail en annexe 5.

Une synthèse en est faite ci-après :

A l'aval du barrage, l'Arrats parcourt environ 120 km, jusqu'à la confluence à la Garonne, d'une vallée rurale et agricole avec la présence de quelques secteurs urbanisés. Au regard des enjeux en présence, la modélisation s'étendra sur environ 85 km en aval du barrage.

D'abord très encaissé notamment en rive droite, la vallée s'élargit ensuite progressivement jusqu'aux principaux centres d'enjeux : Castelanu-Barbarens (PK24), Aubiet (PK35), Mauvezin (PK49) et Saint-Clar (PK78). Entre ces principaux points d'enjeux, la vallée est à dominante rurale avec un habitat dispersé concentré près des principaux axes de communication que sont la D40 jusqu'à Aubiet puis la D928 ensuite.

La simulation sous RUBAR3 d'une rupture par renard avec une retenue à la cote des plus hautes eaux constitue le risque aux conséquences les plus graves pour ce type de barrage. L'étude de l'onde de submersion en cas de rupture du barrage de l'Astarac permet d'identifier les conséquences dégressives d'amont en aval en termes d'inondation et de dégâts dans la vallée.

Ainsi, la rupture hypothétique du barrage de l'Astarac présente des risques spécifiques pour les populations éparses de la vallée de l'Arrats. Des voies de communication seraient coupées, des bâtiments, des habitations seraient submergées. Jusqu'à l'arrivée à la commune de Saint-Clar, la vague impacterait 1 039 personnes.

Ce nombre a été obtenu en comptabilisant les bâtiments indifférenciés impactés, en estimant la fréquentation des axes routiers, et en répertoriant les établissements recevants du public (ERP). Le détail de l'analyse est présenté en annexe.

Le débit maximum à l'aval immédiat du barrage serait d'environ 1 370 m³/s, 1h36 après le début de la rupture. Les 24 premiers kilomètres de la vallée, relativement étroite et peu peuplée, seraient parcourus en 4 heures, le débit s'atténuant alors assez peu à 1200 m³/s. Puis après ce 1^{er} « palier », le débit maximum subit une décroissance assez rapide jusqu'à Saint-Sauvy au 42^{ème} kilomètre puis lente à l'aval jusqu'à Saint-Clar. Le débit de rupture à Saint-Clar correspondrait à une crue de temps de retour 50 ans (90 m³/s).

Parmi les bâtiments impactés, on recense 11 établissements recevant du public (ERP). En particulier, le camping municipal et le centre hospitalier de Mauvezin pouvant accueillir respectivement jusqu'à 84 et 150 personnes.

Ainsi, il convient d'estimer le nombre de personnes exposées en prenant en compte la cinétique du phénomène.

A partir du début du Renard, l'onde générée par la rupture du barrage parcourt l'ensemble de la vallée de l'Arrats dans un temps d'environ 26 heures jusqu'à l'arrivée sur Saint-Clar. Un temps de parcours de 4 heures après le début du phénomène a été considéré comme la frontière pour caractériser la cinétique du phénomène, à savoir lente en deçà et rapide au-delà.

Dans cette première partie, jusqu'à la commune de Castelnau-Barbarens, **environ 237 personnes seraient exposées à un phénomène de cinétique rapide.**

A l'aval, **environ 802 personnes seraient exposées à un phénomène de cinétique lente** jusqu'à l'arrivée sur Saint-Clar.

8.3 Evaluation de la criticité des scénarios de défaillance

Afin de classer les scénarios de défaillance par leur criticité, le groupe d'experts de la CACG a choisi les grilles de probabilité et de gravité suivantes :

Grille de probabilité :

Cette grille est adaptée de l'annexe 1 du guide de lecture des études de dangers.

Tableau 9 : Grille de probabilité

Description	Classe, niveau	Probabilité associée *
Évènement possible, mais extrêmement peu probable <i>N'est pas impossible au vu des connaissances actuelles, mais non rencontré au niveau mondial sur un très grand nombre d'années et de barrages</i>	P0	Inférieur à 10^{-5}
Évènement très improbable <i>S'est déjà produit sur le parc international de barrages, mais a fait l'objet de mesures correctrices réduisant significativement sa probabilité</i>	P1	Entre 1/100 000 et 1/10 000
Évènement improbable <i>Un évènement similaire déjà rencontré sur le parc international de barrages sans que les éventuelles corrections intervenues depuis apportent une garantie de réduction significative de sa probabilité</i>	P2	Entre 1/10 000 et 1/1 000
Évènement probable <i>S'est produit et/ou peut se produire pendant la durée de vie du barrage</i>	P3	Entre 1/1 000 et 1/100
Évènement courant <i>S'est produit sur le barrage et/ou peut se produire à plusieurs reprises pendant la durée de vie du barrage malgré d'éventuelles mesures correctives</i>	P4	Entre 1/100 et 1/10

* les probabilités associées sont données à titre d'ordre de grandeur

Les probabilités sont normalement affectées aux différentes causes possibles de défaillance telles qu'elles ressortent du tableau 4 de l'AMDE du barrage de l'Astarac ; cependant nous manquons d'éléments pour quantifier précisément les différentes causes qui peuvent engendrer le même type de défaillance ; ainsi c'est le type global de défaillance qui a été classé, et non pas les causes possibles de cette défaillance. Par exemple, il est un peu plus simple d'apprécier globalement la probabilité de survenance d'un renard que d'apprécier la probabilité des différentes causes qui peuvent engendrer ce renard (défaut d'exécution, évolution des matériaux, colmatage système de drainage, migration de fines,...).

Grille de gravité :

Afin de prendre en compte la vitesse de propagation du phénomène une fois que l'accident survient, une grille de référence a été choisie en distinguant les personnes exposées en zone à cinétique rapide de celles situées en zone en cinétique lente disposant de plus de temps pour se mettre à l'abri.

L'attribution d'une classe de gravité pour un scénario peut être effectuée sur la base de la colonne la plus pénalisante.

Tableau 10 : Grille de gravité

Classes de gravité des conséquences (par ordre décroissant)	Nombre de personnes exposées en zone à cinétique rapide	Nombre de personnes exposées en zone à cinétique lente
G5 : désastreux	≥ 1000	≥ 10000
G4 : catastrophique	≥ 100 et < 1000	≥ 1000 et < 10000
G3 : important	≥ 10 et < 100	≥ 100 et < 1000
G2 : sérieux	≥ 1 et < 10	≥ 10 et < 100
G1 : modéré		≥ 1 et < 10

Compte tenu du comptage réalisé au paragraphe 8.2, en zone à cinétique lente, la rupture du barrage de l'Astarac est en classe de gravité G3. Vis-à-vis du comptage effectué en zone de cinétique rapide, il serait placé en classe G4.

La situation la plus défavorable est retenue, à savoir la **classe de gravité G4 « conséquences catastrophiques »**.

8.4 Détermination des scénarios de défaillance et évaluation de leur criticité

On applique la méthode des « nœuds papillon » pour analyser différents scénarios de défaillance.

Pour chaque ERC « évènement redouté central » (cellule orangée) déduit de la colonne « Effets possibles de la défaillance » du Tableau 8 de l'AMDE, on analyse les scénarios possibles ayant pu mener à cet évènement en identifiant des EI « évènements initiateurs ». Puis, pour chaque ERC, on décrit les conséquences finales de cet évènement.

Des barrières de sécurité sont identifiées pour réduire les risques au niveau de chaque branche du scénario. Les barrières de sécurité font référence aux actions de prévention (APR), de surveillance (ASU) et correctrices (ACO) décrites au paragraphe 9.

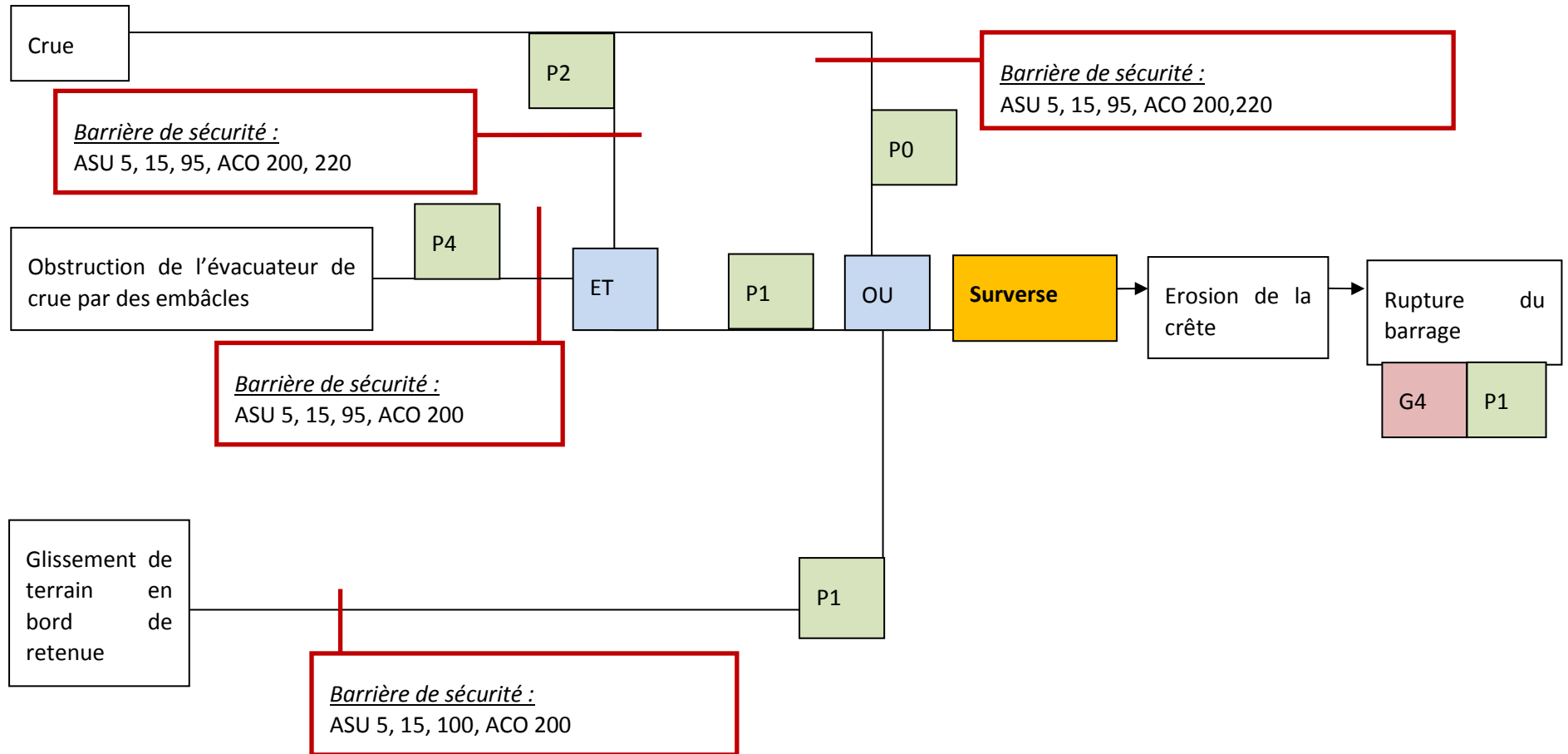
Des probabilités d'occurrence sont affectées à chaque EI « évènements initiateurs », avant et après les barrières de sécurité, selon la grille définie dans le paragraphe précédent. Si une seule probabilité est attribuée après la barrière de sécurité, c'est parce que celle-ci n'a pas été jugée suffisamment efficace pour abaisser la probabilité d'une classe (soit un facteur 10 de la probabilité d'occurrence).

Une gravité est affectée à chaque évènement final selon la grille définie dans le paragraphe précédent. L'affectation d'une classe de gravité fait intervenir la cinétique du scénario.

Pour chaque scénario, des commentaires explicitent la cinétique des différents évènements, justifient les probabilités attribuées, détaillent les actions correctrices possibles et apportent des éléments généraux utiles à la compréhension des phénomènes.

Les actions correctrices évoquées ne sont pas exhaustives. Des études spécifiques peuvent être menées par le bureau d'études en charge du suivi pour chaque cas, pouvant orienter sur des solutions non envisagées dans cette étude.

8.4.1 Scénario A : Surverse par-dessus la crête du barrage



Commentaires :

La cinétique de rupture en crue du barrage est rapide à partir du moment où la surverse survient. Cependant de nombreux signaux intervenant à différents moments de l'évènement (alertes météorologiques, hausse de la cote de la retenue), permettent une mise en alerte et une surveillance spécifique (détaillé au paragraphe 9).

Comme déterminé par les études hydrologiques et hydrauliques en annexe, la probabilité de surverse en cas de crue a été évaluée à une crue 2,55 fois plus importante que la crue de temps de retour 3 000 ans (P0).

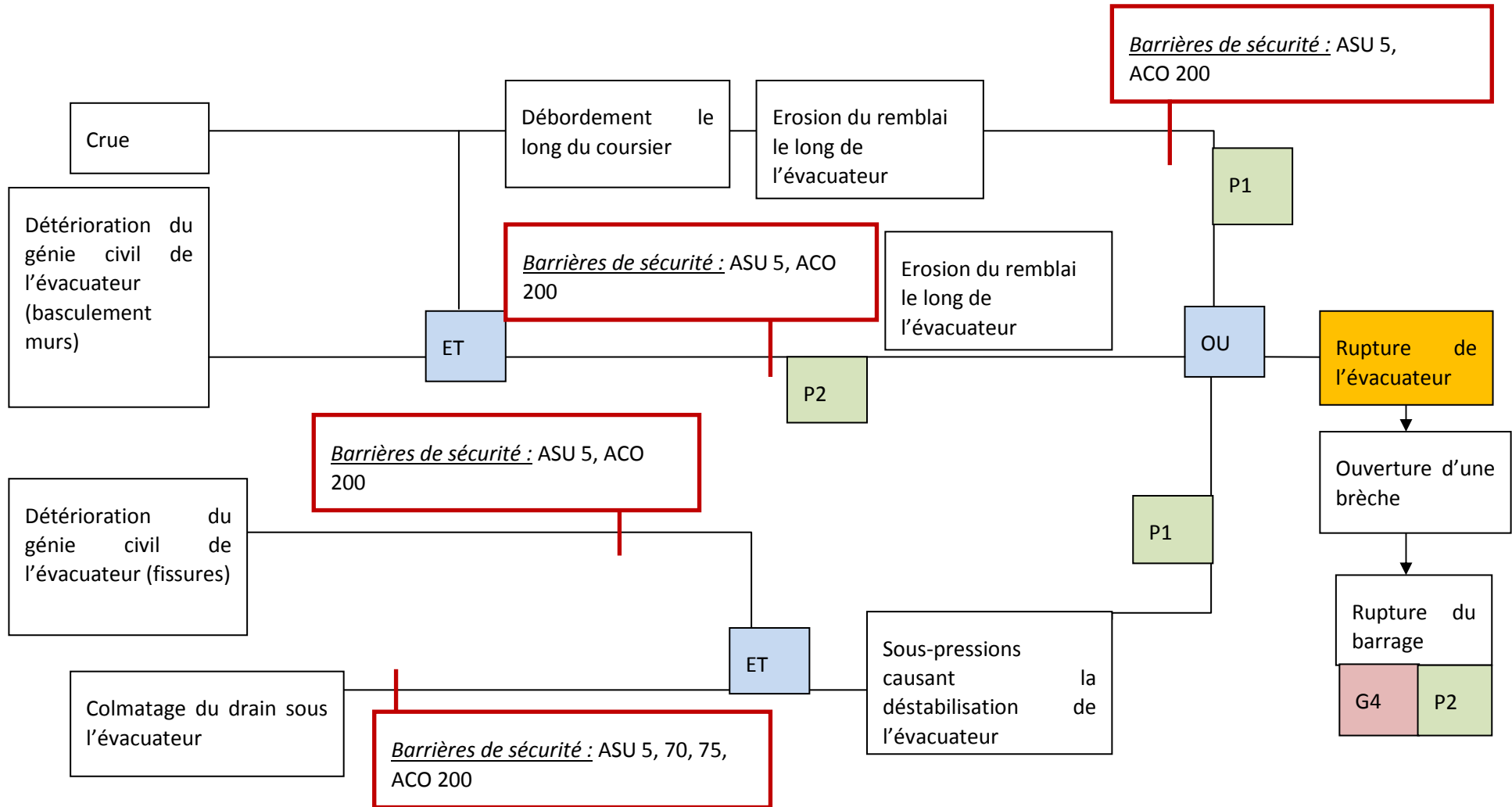
Les probabilités d'obstruction de l'évacuateur de crue par des embâcles lors d'une crue sont difficiles à évaluer mais on peut estimer que cet évènement est relativement probable, voire courant (P4). D'autre part il est difficile d'estimer la diminution de débitance de l'évacuateur suite à de tels évènements (la valeur de 30 % correspond à une préconisation courante). Le risque d'embâcles a été abordé dans les études hydrauliques : la crue exceptionnelle (Q 3 000 ans, P2) peut transiter sans causer de surverse par-dessus la crête. Ainsi une classe de probabilité P1 a été affectée à l'évènement combiné crue et obstruction partielle de l'évacuateur.

L'action correctrice à engager en cas d'obstruction de l'évacuateur par des embâcles est l'enlèvement de ceux-ci par des moyens adaptés (treuils, pelles mécaniques ...). Ces moyens techniques peuvent être difficiles à mettre en œuvre en période de crue.

Le phénomène de glissement de terrain a été analysé au paragraphe 6.1., une probabilité P1 a été affecté à cet évènement.

L'action correctrice à engager en cas de glissement de terrain en bord de retenue est le confortement du talus (génie végétal, enrochement, drainage ...). Il faut rappeler qu'il s'agit d'un phénomène lent qui laisse le temps de mettre en œuvre les actions correctrices envisagées et de procéder à l'abaissement du plan d'eau.

8.4.2 Scénario B : Rupture de l'évacuateur de crues



Commentaires :

La cinétique de rupture en crue du barrage en cas de débordements le long du coursier ou du bassin de dissipation est régie par des mécanismes d'érosion régressive peu rapide. De plus ces mécanismes dépendent de l'importance de ces débordements et de leur débit.

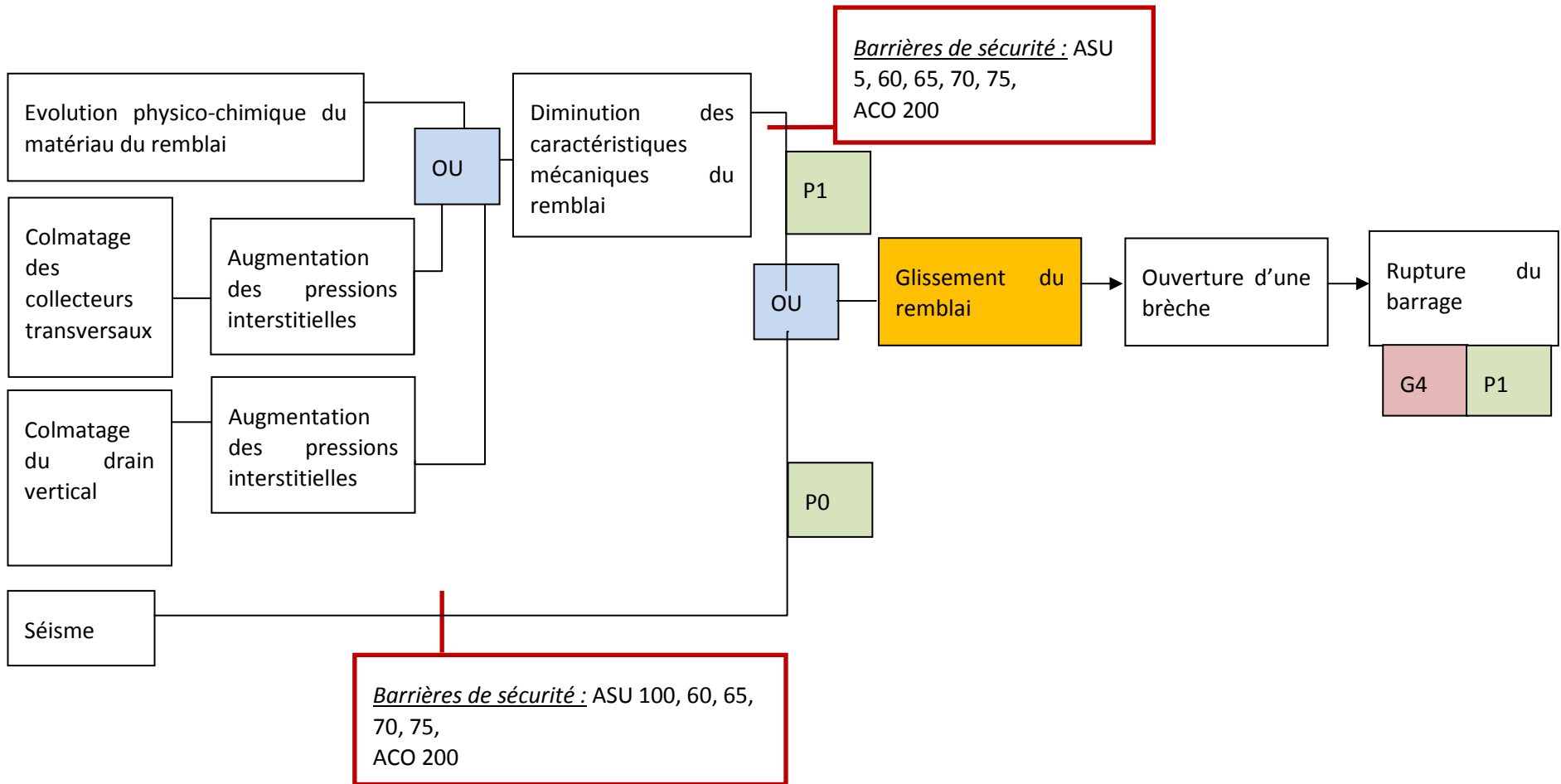
D'autre part de nombreux signaux intervenants à différents moments de l'évènement (alertes météorologiques, hausse de la côte de la retenue), permettent une mise en alerte et d'effectuer une surveillance spécifique (détaillé au paragraphe 9).

Comme déterminé par les études hydrologiques et hydrauliques en annexe, un débordement continu le long du coursier se produirait pour une crue plus de 2,55 fois supérieure à la crue de temps de retour 3 000 (P1).

L'évacuateur de crue du barrage de l'Astarac est dans un bon état général, seules quelques fissures sont observées. Ce point fait l'objet d'un suivi particulier lors des visites de surveillance. Le génie civil de l'évacuateur peut subir des dégradations dues au vieillissement et au tassement du remblai et (ou) des fondations (fissures, ouverture de joints). Dans cette configuration, la dégradation du génie civil de l'évacuateur peut occasionner des écoulements qui seront collectés par les drains sous l'évacuateur. L'observation de débits de fuite importants sous l'évacuateur en sera la conséquence. Si ces drains sont colmatés, des sous-pressions se mettent en place et peuvent déstabiliser l'évacuateur. Cet événement très peu probable a été affecté d'une probabilité P1.

Les actions correctrices à engager sont le rebouchage des fissures, le confortement par des étais ou des tirants en cas de détérioration du génie civil, ou le décolmatage des drains (débouchage des exutoires obstrués, remplacement des drains) ...

8.4.3 Scénario C : Glissement du remblai aval



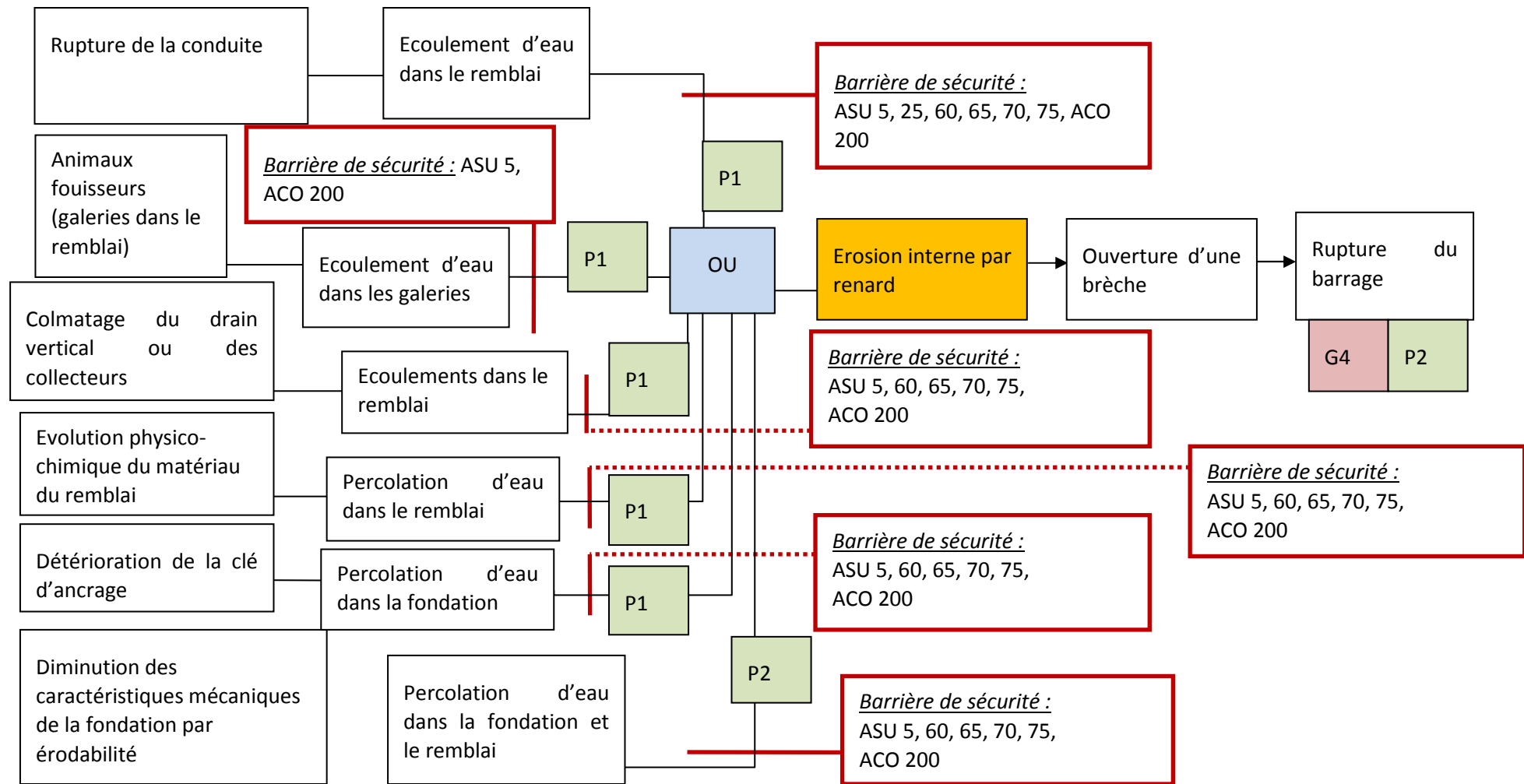
Commentaires :

La cinétique de rupture par glissement du remblai aval du barrage dépend de la cause du phénomène.

En cas de séisme, l'augmentation rapide des charges exercées sur le remblai provoque des tassements et des loupes de glissement de manière instantanée, pouvant aller jusqu'à la ruine de l'ouvrage par ouverture d'une brèche. Il s'agit d'un phénomène rapide. Cependant l'ouvrage est dans une zone d'aléa sismique faible, ce qui permet d'associer une probabilité faible à cet évènement (cf. paragraphe 6.2).

Dans le cas de dégradations des caractéristiques du remblai, ce phénomène progressif s'accompagne de signes visibles (loupes de glissement localisées, changement de piézométrie, des débits de drainage). Il paraît donc nécessaire de veiller au bon entretien du dispositif de drainage du remblai et des piézomètres pour permettre un suivi correct de l'ouvrage. Les phénomènes en jeu sont de cinétique lente avec des signaux qui permettront de mettre en place des mesures de sécurité (confortement par risberme des talus, drainage du remblai ...). De plus, la retenue peut être partiellement vidangée le temps d'effectuer ces travaux afin de ralentir les phénomènes de glissement et de diminuer les conséquences d'une rupture du barrage.

8.4.4 Scénario D : Erosion interne



Commentaires :

Le groupe d'experts a constaté que sur l'ensemble des barrages en remblais gérés par la CACG, des désordres avaient été observés en cours d'exploitation au pied du talus aval. Souvent dans ces circonstances, des aménagements du type puits de décompression ou forage drainant ont suffi à résoudre le problème. La méconnaissance du sous-sol, compte tenu de la faible densité des reconnaissances géotechniques, et de la variabilité des matériaux en fondation, explique l'existence d'un doute sur la nature réelle des fondations.

Cependant la cinétique lente des phénomènes d'érosion interne et les actions de surveillance régulières permettent de bien maîtriser ce risque et de mettre en œuvre des barrières efficaces (puits de décompression, drainages divers ...) en temps voulu. De plus la retenue peut être partiellement vidangée le temps d'effectuer ces travaux afin de ralentir les phénomènes de glissement et de diminuer les conséquences d'une rupture du barrage.

Malgré tout, la probabilité d'une érosion interne par renard suite à des désordres venant de la fondation a été évaluée comme plus élevée que pour les autres causes (animaux fouisseurs, rupture de conduite, diminution des caractéristiques du remblai, colmatage des drains).

La rupture de la conduite peut être due à la corrosion ou à des tassements différentiels de la fondation. Cependant l'ouvrage étant ancien, le tassement est désormais stabilisé et cette dernière cause peut être écartée. Concernant le vieillissement de la conduite, ce risque a été pris en compte par les revêtements interne et externe de la conduite ; de plus celle-ci est toujours en eau ce qui minimise la corrosion interne. S'il doit y avoir corrosion, elle sera sur les parties à l'air et qui sont donc observables. En cas de détériorations marquées, des solutions existent (chemisage ...). De plus une inspection régulière (vingtennale) de la conduite est prévue.

Les animaux fouisseurs sont détectés facilement lors des visites sur des remblais bien entretenus. Si leur présence était avérée, un piégeage serait organisé et les zones de talus atteintes seraient curées.

Il est à noter que l'abaissement de la probabilité de l'évènement initiateur (EI) « diminution des caractéristiques de la fondation par érodabilité » d'un niveau P2 à P1, n'aurait pas pour conséquence l'abaissement de l'évènement « rupture du barrage due à une érosion interne par renard » au niveau de probabilité P1. En effet cet évènement redouté central (ERC) pourrait alors être provoqué par 6 évènements initiateurs indépendants de probabilité P1. La règle de sommation des probabilités dans ce cas mènerait à l'affectation d'une probabilité P2 à l'ERC considéré.

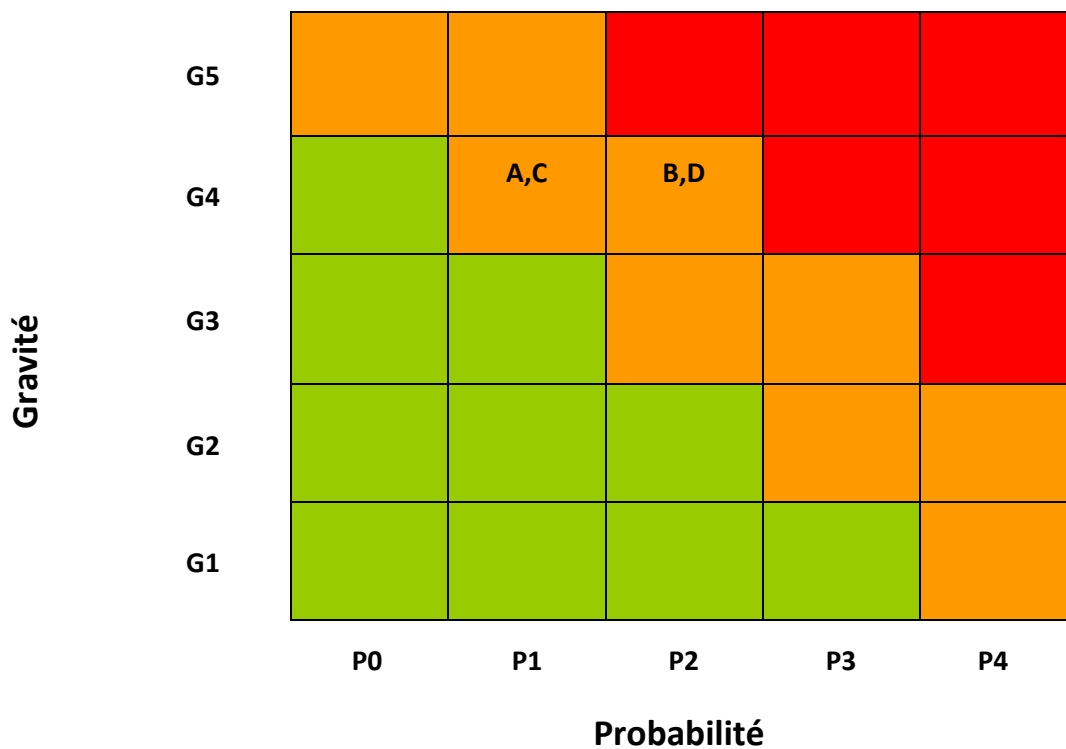
Autrement dit, l'affectation de la probabilité P2 à ce scénario est autant fondée sur la multiplicité des évènements initiateurs que sur la criticité d'un d'entre eux.

La figure ci-dessous synthétise l'analyse des risques des différents scénarii après mise en place des mesures de réduction des risques en les plaçant dans la matrice de criticité.

Le code couleur employé a la signification suivante :

- **VERT** : Risque acceptable ;
- **ORANGE** : Risque tolérable, une réflexion poussée doit être menée visant à la réduction des risques ;
- **ROUGE** : Risque inacceptable, gravité des conséquences importantes associée à une probabilité élevée.

Figure 36 : Matrice de criticité



A : Surverse par-dessus la crête du barrage

B : Rupture de l'évacuateur

C : Glissement du remblai

D : Erosion interne

9 ETUDE DE REDUCTION DES RISQUES

9.1 Niveaux de vigilance de l'exploitant

Les niveaux de vigilance de l'exploitant sont définis dans les consignes écrites relatives au barrage de l'Astarac (ces consignes étant rédigées conjointement à l'étude de dangers). Les différents états de vigilance sont principalement fixés par rapport aux niveaux de crues qui peuvent mettre l'ouvrage en danger ; ils peuvent également résulter de constatations de faits anormaux concernant la tenue du barrage.

En fonction de la cote du plan d'eau amont, on peut définir 3 niveaux de vigilance.

Niveau 1 : état de vigilance, correspondant à un plan d'eau supérieur à la cote 247,2 m NGF (1,00 m au-dessus de PEN, cote du seuil de l'évacuateur secondaire)

- Le personnel d'exploitation doit effectuer une visite du site afin de contrôler l'absence d'embâcles sur et autour du déversoir ; il contrôle également particulièrement la partie haute du parement amont, le parement aval, et la zone aval de l'évacuateur de crues.

En cas d'absence d'information du dispositif de mesure de la cote du plan d'eau, ce niveau de vigilance peut être également activé grâce aux informations hydrométriques et météorologiques locales. Constitueront également des déclencheurs de niveau 1 de vigilance :

- L'émission, via le serveur Vigicrues, par le SPC Garonne, d'un message d'alerte « orange » sur l'ensemble « Garonne amont »,
- L'émission, via Météo France, d'un message d'alerte orange sur la zone où se trouve le barrage.

Niveau 2 : état de préoccupation sérieuse, correspondant à un plan d'eau supérieur à la cote 247,74 m NGF (1,54 mètre au-dessus de PEN, correspondant à la crue de projet).

- Le représentant du maître d'ouvrage et les services de la Préfecture sont informés.
- Surveillance visuelle constante de l'ouvrage.
- Sollicitation pour le concours de spécialistes du bureau d'étude en charge du suivi en vue d'un diagnostic de l'état du barrage.
- Le personnel sur place s'assure de la permanence des accès au barrage.

Ce niveau de vigilance peut également être déclenché suite à des dysfonctionnements avérés du barrage, c'est-à-dire en cas d'anomalies relevées dans le cadre de l'auscultation du barrage ou lors de visites sur site.

Niveau 3 : état de péril imminent, correspondant à un plan d'eau supérieur à la cote 248,7 m NGF (**2,50 mètre au-dessus de PEN, correspondant à la cote de la crête**).

Cet état qui correspond normalement à une situation critique pour l'ouvrage peut également être décrété en cas de constatation de faits anormaux concernant la tenue de l'ouvrage (par exemple l'apparition de venues d'eaux significatives à l'aval immédiat du barrage), et notamment en cas de résultats anormaux fournis par les mesures d'auscultation ; il peut également résulter de situations particulières prévues à l'article 2 de l'ordonnance 59147 du 07 janvier 1959 modifiée, portant organisation générale de la défense.

- Dans ces conditions, un contact permanent est établi avec la Préfecture, dans le but d'enclencher l'évacuation des populations.
- Les personnes présentes sur le site doivent se mettre en sécurité sur les versants, au-dessus du barrage.

La réalisation d'un rapport sur le déroulement de la crue, et ses conséquences sur l'ouvrage, est obligatoire lorsque la cote du plan d'eau amont aura été supérieure à 247,20 m NGF (niveau 1 de vigilance).

Un rapport devra également être établi, chaque fois qu'un niveau de vigilance aura été activé, quelle qu'en soit la cause.

La mesure de la cote du plan d'eau se fait par les échelles limnimétriques implantées dans la cuvette en rive droite et par une sonde dont la mesure est télétransmise.

9.2 Réduction des risques

Le présent paragraphe détaille les barrières de sécurité identifiées lors de l'analyse des scénarios du paragraphe précédent. Les barrières de sécurité pour un barrage sont essentiellement de trois types :

- Des actions de prévention
- Des actions de surveillance
- Des actions correctrices

Lorsque des anomalies sont constatées, des actions correctrices spécifiques doivent être décidées. Si des désordres sont détectés sur le barrage par le personnel de la CACG dans le cadre du suivi de l'auscultation, un bureau d'études spécialisé est consulté pour définir l'urgence et les moyens d'intervention à mettre en œuvre.

Le tableau de la page suivante présente les actions de réduction des risques évoquées par le groupe d'experts.

Dans ce tableau on évoquera donc les responsables suivants :

- Le bureau d'étude : « BE » ;
- L'exploitant : « EXP » ;
- Le maître d'ouvrage : « CG Gers ».

Le Responsable de l'ouvrage (Conseil Général du Gers) s'engage à mettre en œuvre les actions correctrices suivantes dans les délais fixés :

- Mise en place d'un pare-vague de 40 cm de hauteur le long de la crête ;

Plan de prévention des accidents majeurs et système de gestion de la sécurité

Action de Prévention (A PR)
 Action de Surveillance (A SU)
 Action Corrective (A CO)

OBJECTIF : Management des risques

N°	Actions	Type	Responsable	Lieu	Date	Délai	Moyen de contrôle	Enregistrements
Opérations répétitives								
5	Observations visuelles pendant le circuit de visite : Local technique Bassin de dissipation Observation visuelle de tassements ou de fissures sur le génie civil Pied du barrage Ecoulement des drains (débit, turbidité) Barrières Crête du barrage Rambardes sur déversoir Etat des berges	A SU	EXP	Barrage	1 fois/mois	1/2 j	Contrôle visuel et observations écrites	Registre



N°	Actions	Type	Responsable	Lieu	Date	Délai	Moyen de contrôle	Enregistrements
	Etat du remblai aval Etat du remblai amont (antibatillage) Présence d'animaux fouisseurs Présence et comptage d'embâcles							
10	Estimation odeurs, couleur de l'eau	A SU	EXP	Barrage	1 fois/mois	1/2 j	Contrôle visuel et observations écrites	Registre
15	Mesure niveau du lac	A SU	EXP	Barrage	1 fois/mois	1/2 j	Contrôle visuel et observations écrites	Registre
25	Inspection caméra de la conduite	A PR	EXP	Barrage	1 fois tous les 20 ans	1 sem	Caméra	Film
30	Contrôle systématique par plongeur de l'ouvrage de prise	A SU	EXP	Barrage	1 fois tous les 20 ans	1 j	Contrôle visuel par plongeur	Rapport d'inspection
35	Test de maintenance systématique des vannes	A SU	EXP	Barrage	1 fois/an	1 h	Contrôle visuel et observations écrites	Registre
60	Mesure des débits des drains	A SU	EXP	Barrage	1 fois/mois	1 h	Contrôle visuel et observations écrites	Registre

N°	Actions	Type	Responsable	Lieu	Date	Délai	Moyen de contrôle	Enregistrements
65	Analyse des débits des drains	A SU	BE	-	1 fois/mois	1 h	Enregistrement et analyse de la mesure	Graphe (analyse détaillée dans rapport d'auscultation 1 fois/5 ans)
70	Mesure des piézomètres	A SU	EXP	Barrage	1 fois/mois	1 h	Contrôle visuel et observations écrites	Registre
75	Analyse des mesures des piézomètres	A SU	BE	-	1 fois/mois	1 h	Enregistrement et analyse de la mesure	Graphe (analyse détaillée dans rapport d'auscultation 1 fois/5 ans)

Opérations exceptionnelles : travaux, crues, séismes, vidange

N°	Actions	Type	Responsable	Lieu	Date	Délai	Moyen de contrôle	Enregistrements
95	Observation visuelle particulière en période de crue ; dépassement de seuil du niveau d'eau sur le déversoir en fonction des consignes écrites	A SU	EXP	Barrage	Période de crue	Selon la crue	Contrôle visuel	Rapport si évènement exceptionnel et évaluation des embâcles.
100	Observation visuelle après évènement significatif en fonction des consignes écrites	A SU	EXP	Barrage	Après séisme	1/2 j	Contrôle visuel et observation écrite	Registre du barrage

Opérations correctives

N°	Actions	Type	Responsable	Lieu	Date	Délai	Moyen de contrôle	Enregistrements
200	Action correctrice (remise en état, modification, ...) après observation d'un désordre	A CO	EXP / CG Gers / BE	Barrage	Après ASU	Variable	-	Compte rendu de travaux-
220	MISE EN PLACE D'UN PARE VAGUE DE 40 CM	A CO	CG Gers	Barrage	-	2 ans	-	Compte rendu de travaux-



Opérations réglementaires

N°	Actions	Type	Responsable	Lieu	Date	Délai	Moyen de contrôle	Enregistrements
105	Visite technique approfondie	A SU	BE	Barrage	Tous les 2 ans	1 jour	Visite d'expert	Compte-rendu de visite
110	Rapport de surveillance	A SU	BE	Barrage	Tous les 5 ans	3 jours	Compilation et analyse de données	Rapport
115	Rapport d'auscultation	A SU	BE	Barrage	Tous les 5 ans	5 jours	Compilation et analyse de données Analyse détaillée des mesures d'auscultation	Rapport
120	Actualisation étude de dangers	A SU	BE*	Barrage	Tous les 10 ans	1 mois	Prise en compte faits nouveaux	Rapport

* Ces prestations doivent être réalisées par un organisme agréé (arrêté du 18 février 2010).

10 CARTOGRAPHIE

Les éléments cartographiques (zone maximale submergée en cas de rupture) à l'échelle du 1/25 000^{ème} sont joints dans l'Annexe 5.

Sur ces cartes, on a représenté en différents profils, le temps d'arrivée de l'onde, la cote maximale atteinte, et le débit maximal de l'onde de submersion.

Barrage de l'Astarac

ANNEXES au rapport d'étude de dangers

1 : COMPOSITION DU GROUPE D'EXPERTS

2 : SYNOPTIQUE DU BARRAGE

3 : REVISION ETUDE HYDROLOGIQUE

4 : REVISION ETUDE HYDRAULIQUE DU BARRAGE

5 : ETUDE DE L'ONDE DE SUBMERSION EN CAS DE RUPTURE DU BARRAGE



ANNEXE 1 : COMPOSITION DU GROUPE D'EXPERTS

Chloé PARE Ingénieur hydraulicienne, Direction des Opérations, CACG.

Laurent BALLUT Chef du pôle Infrastructures et Batiments, Direction des Opérations, CACG.

François LAUVERGNIER Ingénieur barragiste, Direction des Opérations, CACG.

Yves AUDIGER Ingénieur géotechnicien, Direction des Opérations, CACG.



ANNEXE 2 : SYNOPTIQUE DU BARRAGE DE L'ASTARAC

Données générales

- Département : Gers
- Ville la plus proche : Mauvezin
- Commune concernée : Bezues-Bajon, Aussos (32)
- Propriétaire : Conseil Général du Gers (32)
- Cours d'eau : L'Arrats
- Destination de l'ouvrage : Irrigation et soutien d'étiage.

Données hydrologiques

- Superficie du bassin versant : 50 km²

	Crue de projet initiale (1 000 ans) - 1974	Crue exceptionnelle (3 000 ans) - 2014	Crue extrême (30 000 ans) - 2014
Débit de pointe entrant	194 m ³ /s	164,4 m ³ /s	217,2 m ³ /s
Volume	4 500 000 m ³	6 457 000 m ³	8 530 000 m ³

Caractéristiques principales de la retenue

- Cote du plan d'eau normal : 246,20 m NGF
- Cote du plan d'eau exceptionnel : 247,74 m NGF
- Cote minimale d'exploitation : 236,00 m NGF
- Surface au plan d'eau normal : 180 ha
- Volume total au plan d'eau normal: 10 000 000 m³

Caractéristiques générales des ouvrages

- Type	:	Barrage en remblai homogène
- Cote de la crête	:	248,70 m NGF
- Cote du déversoir	:	246,20 NGF
- Revanche sur PEN	:	2,50 m
- Hauteur au-dessus du terrain naturel	:	16,20 m
- Longueur en crête	:	494 m
- Largeur en crête	:	5,00 m
- Fruit du parement amont	:	3/1
- Fruits du parement aval	:	2,75/1
- $H^2 V^{0,5}$:	830
- Type d'évacuateurs de crues	:	Évacuateur principal type latéral en béton en rive droite + évacuateur secondaire type latéral en terre en rive gauche
- Longueur développée du seuil	:	16,4 m pour l'évacuateur principal et 80 m pour l'évacuateur secondaire
- Débit de la crue de exceptionnelle laminée (2014)	:	113 m ³ /s (55 m ³ /s pour l'évacuateur principal + 58 m ³ /s pour l'évacuateur secondaire)
- Diamètre de la conduite de vidange	:	1200 mm
- Débit maximal de vidange	:	10,5 m ³ /s
- Vanne de restitution et de vidange	:	Vanne murale à commande manuelle

ANNEXE 3 : REVISION HYDROLOGIQUE DU BARRAGE DE L'ASTARAC



Révision de l'étude hydrologique Du barrage de l'Astarac (32)



Barrage de l'Astarac

Décembre 2014

1	PRESENTATION DU BASSIN VERSANT	1
1.1	LOCALISATION.....	1
1.2	PRINCIPALES CARACTERISTIQUES	2
2	RESUME DES ETUDES HYDROLOGIQUES DISPONIBLES	3
3	REVISION DE L’HYDROLOGIE	4
3.1	ANALYSE DES PLUIES	4
3.2	ANALYSE DES DEBITS	13
3.3	ELABORATION D’HYDROGRAMMES DE CRUE POUR DIFFERENTES PERIODES DE RETOUR.....	19
3.4	COMPARAISON AVEC LES CRUES DE PROJET D’AUTRES BARRAGES DU BASSIN ADOUR-GARONNE.....	21

Liste des tableaux

Tableau 1 : Principales caractéristiques du barrage et de son bassin versant	2
Tableau 2 : Intensités de pluie à la station Toulouse Blagnac (1974).....	3
Tableau 3 : Stations pluviométriques utilisées pour l'analyse	5
Tableau 4 : Récapitulatif des pluies de 24h de différentes périodes de retour et des valeurs de gradex en différents points	11
Tableau 5 : Données hydrométriques disponibles	13
Tableau 6 : Application de formules semi-empiriques pour l'évaluation du débit de pointe décennal au barrage	16
Tableau 7 : Application de la formule de Myer et de Francou-Rodier pour l'évaluation du débit de pointe décennal au barrage	17
Tableau 8 : Cp24h retenus lors d'études hydrologiques récentes pour quelques barrages en Adour-Garonne	18
Tableau 9 : Périodes de retour (T) des crues à considérer pour les barrages de classe B.....	19
Tableau 10 : Débits moyens et de pointe des crues pour différentes périodes de retour.....	20
Tableau 11 : Comparaison des résultats avec des barrages voisins	22

Liste des figures

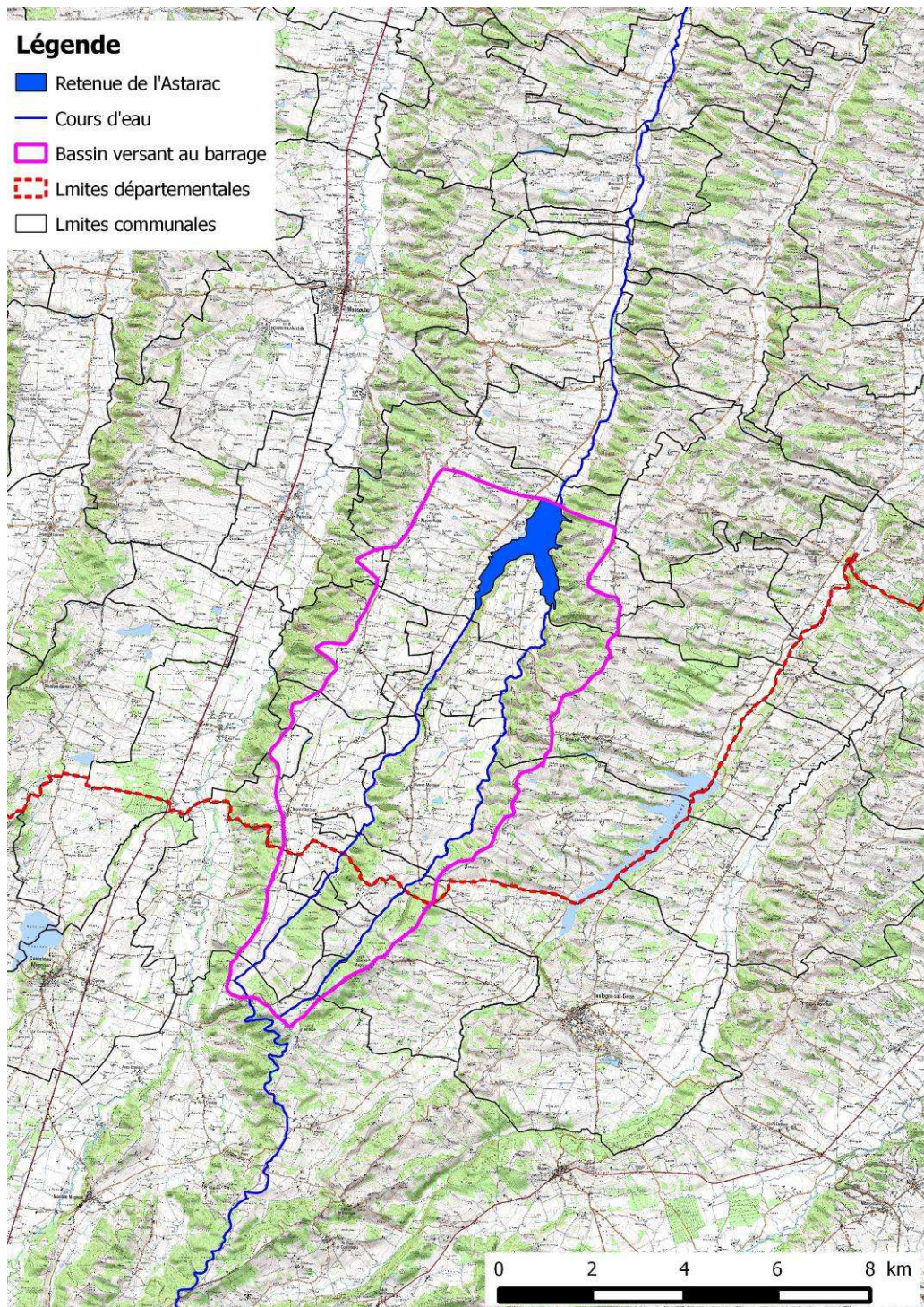
Figure 1 : Situation du barrage étudié et de son bassin versant	1
Figure 2 : Localisation des stations pluviométriques utilisées	6
Figure 3 : Ajustement de Gumbel sur les pluies journalières maximales annuelles à Blajan (période 01/01/1900 à 31/12/2012).....	7
Figure 4 : Ajustement de Gumbel sur les pluies journalières maximales annuelles à Blajan (période 01/01/1900 à 31/12/2012, hors évènements de 1905 et 1977)	8
Figure 5 : Ajustement de Gumbel sur les pluies journalières maximales annuelles à Masseube (période 01/01/1882 à 31/12/2004).....	9
Figure 6 : Ajustement de Gumbel sur les pluies journalières maximales annuelles à Castelanu-Magnoac (période 01/01/1882 à 31/12/2013)	10
Figure 7 : Localisation des stations hydrométriques utilisées dans l'analyse.....	14
Figure 8 : Débits de pointe décennaux spécifiques aux stations hydrométriques en fonction de la taille du bassin versant contrôlé.....	14
Figure 9 : Débits de pointe décennaux spécifiques aux stations hydrométriques sans la Save et le Gers en fonction de la taille du bassin versant contrôlé.....	15
Figure 10 : Cp24h retenu pour quelques barrages en Adour-Garonne en fonction de la taille du bassin versant.....	18
Figure 11 : Hydrogrammes de crues exceptionnelle et extrême au barrage de l'Astarac	21
Figure 12 : Comparaison des résultats avec des barrages voisins.....	22

1 PRESENTATION DU BASSIN VERSANT

1.1 Localisation

La retenue de l'Astarac est implantée sur le cours de l'Arrats, confluent de la Garonne. Elle est située à l'extrême Sud du département du Gers.

Figure 1 : Situation du barrage étudié et de son bassin versant



1.2 Principales caractéristiques

Les principales caractéristiques du barrage et de son bassin versant sont les suivantes :

Tableau 1 : Principales caractéristiques du barrage et de son bassin versant

Barrage	Astarac
Volume de la retenue (à PEN)	10 000 000 m ³
Hauteur au-dessus du terrain naturel	16,2 m
Classe du barrage	B
Surface du bassin versant	50 km ²
Date de première mise en eau	1976
Crue de projet initiale	Qp = 194 m ³ /s (définie comme crue millénaire)
Altitude du point le plus haut	427 m
Altitude du point le plus bas	233 m
Longueur du cheminement hydraulique le plus long	14,2 km
Pente moyenne le long de ce cheminement	0,014 m/m
Evaluation du temps de concentration du bassin selon différentes formules (Ventura, Giandotti, Passini)	5h environ

2 RESUME DES ETUDES HYDROLOGIQUES DISPONIBLES

Pour ce barrage, nous disposons de l'annexe technique du projet contenant l'étude hydrologique réalisée par la C.A.C.G. en 1974.

L'analyse réalisée lors de l'étude hydrologique initiale est basée sur une **méthode hydropluviométrique** fondée sur le **temps de concentration**. En effet, les séries hydrologiques disponibles aux stations pluviométriques et hydrométriques possèdent des chroniques trop courtes (inférieures à 10 ans) pour réaliser une étude statistique fiable.

La méthode hydropluviométrique utilisée consiste à :

- Estimer le temps de concentration du bassin versant,
- Choisir une fréquence de l'intensité pluviale (en mm/h) correspondant au temps de concentration,
- Calculer le débit de pointe de crue correspondant à cette intensité de pluie en fonction de la forme de l'hydrogramme choisie et d'un coefficient de ruissellement estimé pour la fréquence du phénomène considéré.

Le temps de concentration est estimé à 5h pour le bassin de l'Arrats Darré ($S_{BV}= 25 \text{ km}^2$ et une pente de 0,015 m/m) à partir de la formule de Ventura.

L'intensité pluviale est tirée des abaques « Intensité-Durée-Fréquence » pour la station météorologique de Toulouse Blagnac. Les abaques donnent les intensités de pluies pour des durées de pluies inférieures à 24h et des périodes de retour de 2, 5 et 10 ans. L'intensité des pluies pour des périodes de retour supérieures sont extrapolées par une loi des valeurs extrêmes de type Gumbel. Les résultats sont présentés dans le tableau suivant.

Tableau 2 : Intensités de pluie à la station Toulouse Blagnac (1974)

Période de retour	I (mm/h)	H (mm)	Observations
2 ans	6,4	32	Valeurs tirées des abaques
5 ans	9,5	47,5	Valeurs tirées des abaques
10 ans	12	60	Valeurs tirées des abaques
100 ans	19	95	Valeurs extrapolées
1 000 ans	26	130	Valeurs extrapolées

L'hydrogramme de crue est ensuite déterminé en fonction de deux facteurs : le débit de pointe de la crue et le volume écoulé pour la pluie génératrice.

Le volume de la crue est estimé à $4,5 \text{ Mm}^3$ pour un coefficient de ruissellement global de 0,7 pour la crue de fréquence millénaire.

En assimilant l'hydrogramme de la crue de projet à un triangle, dont le temps de montée est de 5h et le temps de base de 13h, le débit de pointe de la crue est déterminée par la formule $Q_{\max} = 2V / T$ (T : temps de base). **Le débit de pointe de la crue de projet millénaire est de ce fait estimé à $194 \text{ m}^3/\text{s}$.**

3 REVISION DE L'HYDROLOGIE

Par rapport aux études hydrologiques précédentes, on dispose aujourd'hui de près de 40 années d'information hydrométrique et pluviométrique supplémentaire, ce qui justifie la révision de l'étude hydrologique et plus particulièrement de la détermination des crues de fréquences rares.

Notre analyse est basée sur l'application de la méthode du GRADEX, à partir d'une analyse des débits et des pluies. Le principe de la méthode du GRADEX est qu'au-delà d'une certaine fréquence (généralement décennale, prise comme « point-pivot »), tout accroissement de pluie génère un accroissement de débit équivalent en volume écoulé. Au-delà de ce point pivot, la distribution des débits moyens de crue sur la durée de référence est ainsi supposée progresser avec la même pente que celle des pluies génératrices (pente appelée GRADEX) dans un graphique de Gumbel.

La présente étude hydrologique est articulée autour des deux axes principaux de la méthode du GRADEX :

1. l'analyse des pluies,
2. l'analyse des débits.

3.1 Analyse des pluies

En théorie, la méthode du GRADEX devrait être appliquée à des pluies de durée égale à la durée caractéristique ou au temps de concentration du bassin, qui est voisine de 5h pour le bassin versant considéré. En ce sens, des durées de pluie inférieures à 24h (de l'ordre de 5h) seraient bien adaptées pour cette analyse. Cependant, des travaux du groupe de travail du CFGB (en particulier restitués dans le document « Les crues de projet des barrages : méthode du GRADEX », Novembre 1994) ont montré que, dans l'application de la méthode du GRADEX, les résultats dépendent finalement très peu du choix de la durée de référence, en particulier lorsque la durée de référence retenue est supérieure au temps de concentration.

Ceci justifie l'emploi de la durée de 24h, pour laquelle les données de pluie sont facilement obtenues par application du coefficient de Weiss (1,14) aux données de pluie journalière (non centrées), généralement disponibles en de nombreux points et sur de longues périodes.

C'est donc cette durée de pluie qui sert de base à la présente étude hydrologique.

3.1.1 Méthodologie

Après examen de l'information pluviométrique disponible à proximité du barrage de l'Astarac, nous avons choisi d'examiner, dans le cadre de cette révision hydrologique, les données des stations pluviométriques suivantes :

1. Blajan : deux stations en service depuis 1899 et 1999, ces stations sont situées 9 km au Sud-Est du barrage. Elles sont intéressantes du fait de leur situation géographique proche du bassin versant étudié et de la longueur correcte de la chronique de données (90 années de mesures de hauteurs pluviométriques) ;

2. Masseube : deux stations situées 7 km au Nord-Ouest du barrage et en service depuis 1872 et 1987 : stations intéressantes du fait de leur situation géographique complémentaire de la station de Blajan par rapport au bassin versant étudié et de la longueur de la chronique de données (plus de 115 années de mesures de hauteurs pluviométriques) ;
3. Castelnau-Magnoac : deux stations situées à 6 km au Sud-Ouest du barrage et en service depuis 1882 et 1986 : stations intéressantes du fait de leur situation géographique complémentaire des deux autres stations par rapport au bassin versant étudié et de la longueur de la chronique de données (90 années de mesures de hauteurs pluviométriques).

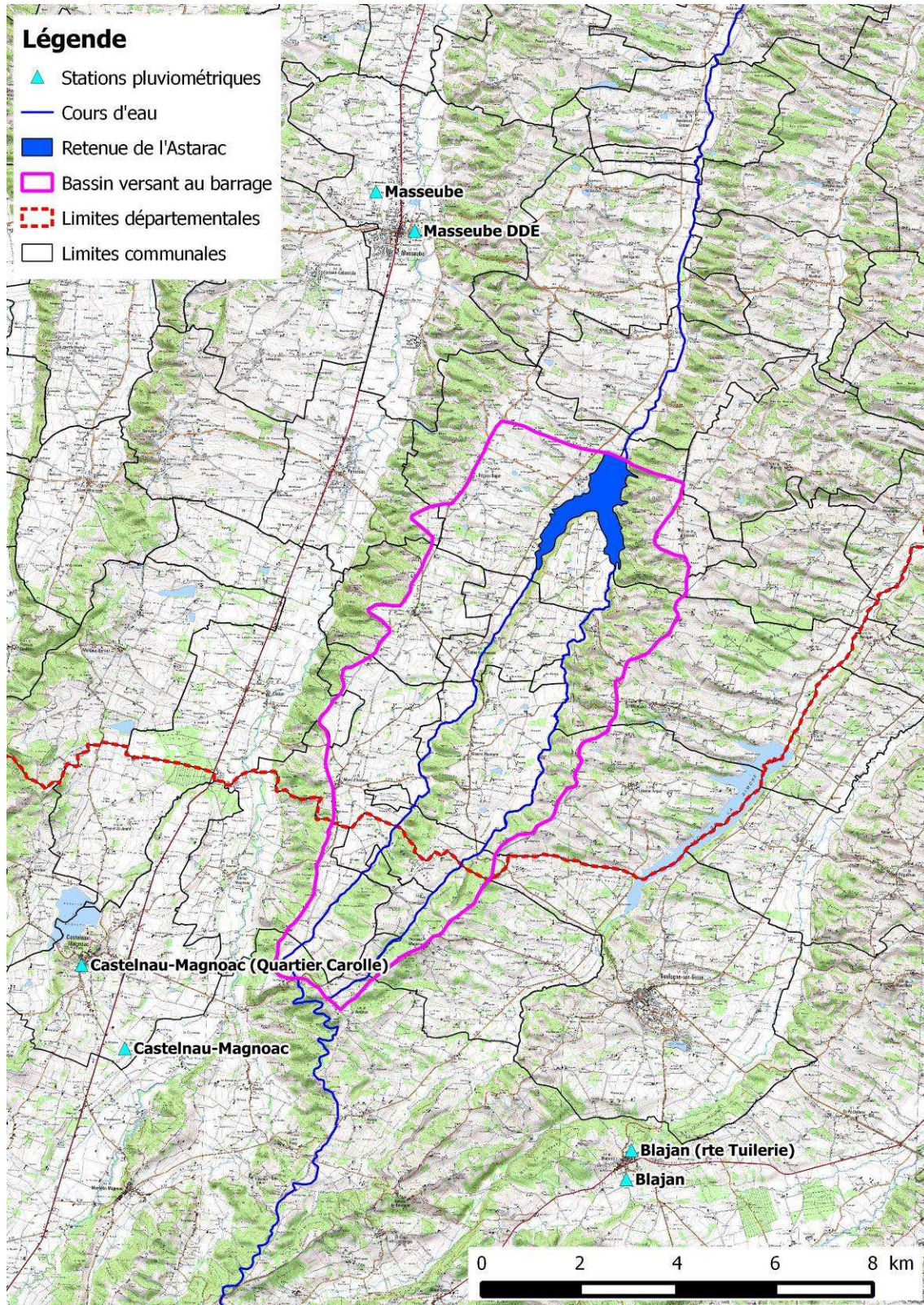
Les données disponibles et la localisation de ces stations sont présentées dans le tableau suivant et la carte jointe (Figure 2).

Tableau 3 : Stations pluviométriques utilisées pour l'analyse

Commune	Nom de la station	Station	Code station	Série disponible	XL93	YL93	Altitude
Blajan	Rte Tuilerie	Blajan (Rte Tuilerie)	31070001	1899-1999	508671	6243164	358
Blajan	Lavoir	Blajan	31070004	1999-2014	508566	6242566	325
Masseube	Saint Fris	Masseube DDE	32242001	1872-1990	504232	6261981	200
Masseube	Mirandette Patac	Masseube	32242005	1987-2004	503439	6262787	220
Castelnau-Magnoac	Quatier Carolle	Castelnau-Magnoac (Quatier Carolle)	65129002	1882-1961	497414	6246954	269
Castelnau-Magnoac	Aerodrome	Castelnau-Magnoac	65129003	1986-2014	498299	6245248	298

Ces quelques informations sur les stations pluviométriques utilisées sont issues du site Internet Climathèque de Météo-France.

Figure 2 : Localisation des stations pluviométriques utilisées



3.1.2 Analyse des données station par station

L'analyse réalisée pour chacune de ces stations consiste à :

- Constituer une chronique de pluies journalières maximales annuelles à partir des données Météo-France,
- Procéder à un ajustement linéaire sur ces données dans un graphique de Gumbel, par la méthode des moments,
- En déduire le GRADEX des pluies journalières qui n'est autre que la pente de la droite d'ajustement puis le GRADEX des pluies de durée 24 h (valeurs probables et intervalle de confiance à 90 %).

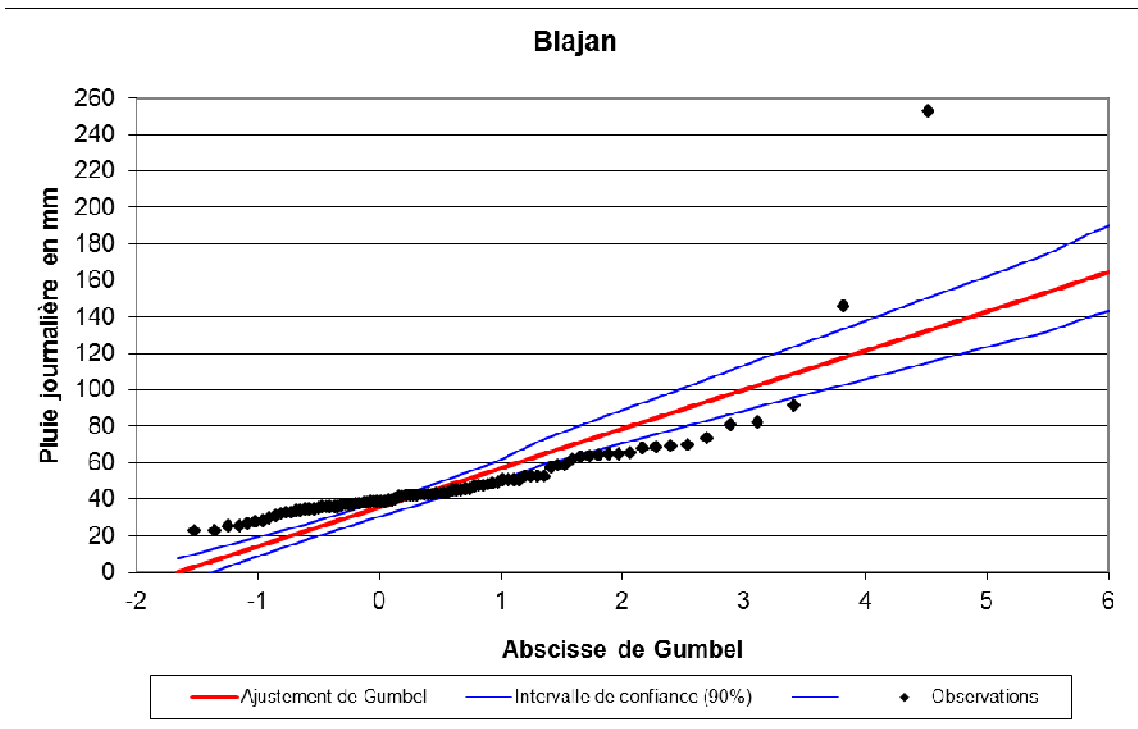
3.1.2.1 Blajan

Plusieurs stations ont été en service sur la commune de Blajan, c'est la succession des stations de « Route Tuilerie » (1899 à 1999, avec absence de données de 1912 à 1922) et de « Lavoir » (depuis 1999) qui a permis de reconstituer une chronique de 92 valeurs de pluies journalières maximales annuelles (NB : les années où les données étaient incomplètes, ont été sorties de l'analyse).

En l'absence de période de recouvrement, l'homogénéité entre les deux stations n'a pu être vérifiée.

L'ajustement statistique réalisé sur la chronique de pluies maximales annuelles ainsi obtenue est illustré par le graphique suivant :

Figure 3 : Ajustement de Gumbel sur les pluies journalières maximales annuelles à Blajan (période 01/01/1900 à 31/12/2012)



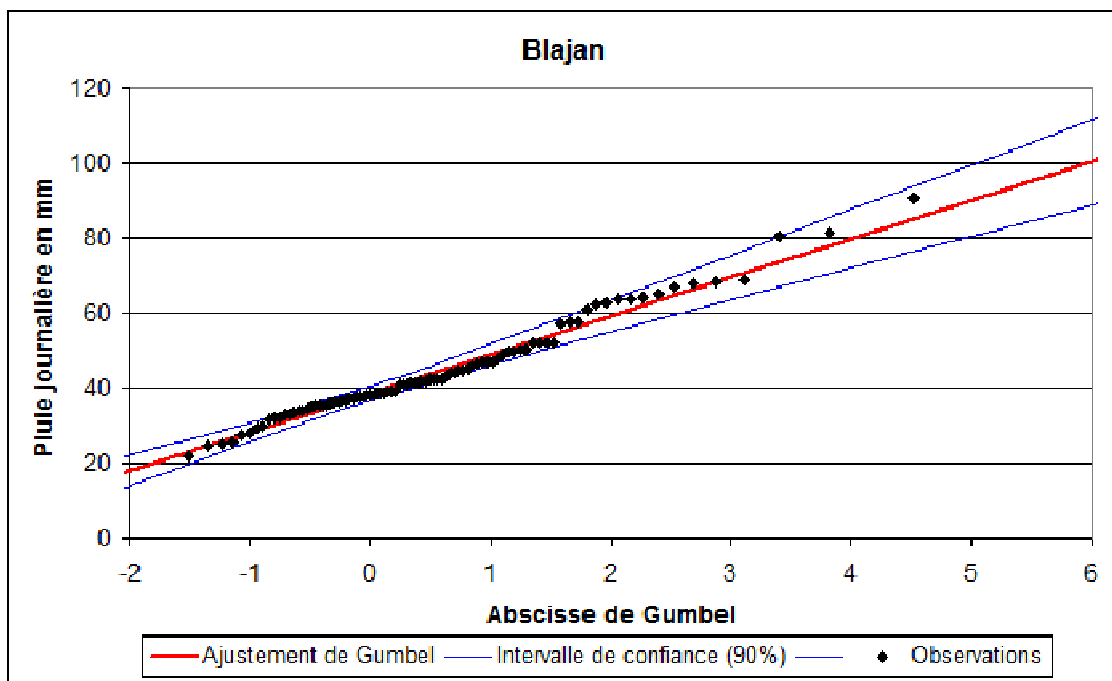
Les plus fortes valeurs enregistrées sont, en ordre décroissant de hauteur de pluie :

- 252,2 mm le 09 Mai 1905,
- 145,5 le 07 Juillet 1977,
- 90,9 mm le 17 Avril 1944.

Cet ajustement colle très mal aux données : alors que la plupart des données (90 sur 92) apparaissent bien alignées, 2 valeurs extrêmes ont été observées en 1905 et 1977 (Blajan étant au centre de cet évènement exceptionnel, bien connu en Gascogne) et accentuent la pente de la droite d'ajustement, tout en restant nettement au-dessus de celle-ci.

Compte tenu du très bon alignement des autres valeurs et a contrario de l'éloignement important de ces 2 valeurs extrêmes par rapport à l'ajustement, nous proposons ici de refaire l'ajustement en sortant ces 2 valeurs extrêmes : leur période de retour empirique est probablement largement sous-estimée par rapport à leur période de retour effective.

Figure 4 : Ajustement de Gumbel sur les pluies journalières maximales annuelles à Blajan (période 01/01/1900 à 31/12/2012, hors évènements de 1905 et 1977)



C'est ce deuxième ajustement que nous retiendrons. Il conduit à un gradex des pluies journalières de 10,2 mm avec un intervalle de confiance à 90 % de [8,5 ; 12,1 mm]. Après application du coefficient de Weiss (1,14) permettant d'évaluer les pluies maximales de durée 24h à partir des pluies journalières, on peut évaluer à 11,6 mm avec un intervalle de confiance à 90 % de [9,7 ; 13,8 mm] le gradex des pluies maximales de durée 24h.

Gardons à l'esprit toutefois que l'évènement pluvieux exceptionnel du 7 juillet 1977, non pris en compte dans ce nouvel ajustement, a touché au plus près le bassin versant de l'Astarac.

3.1.2.2 Masseube

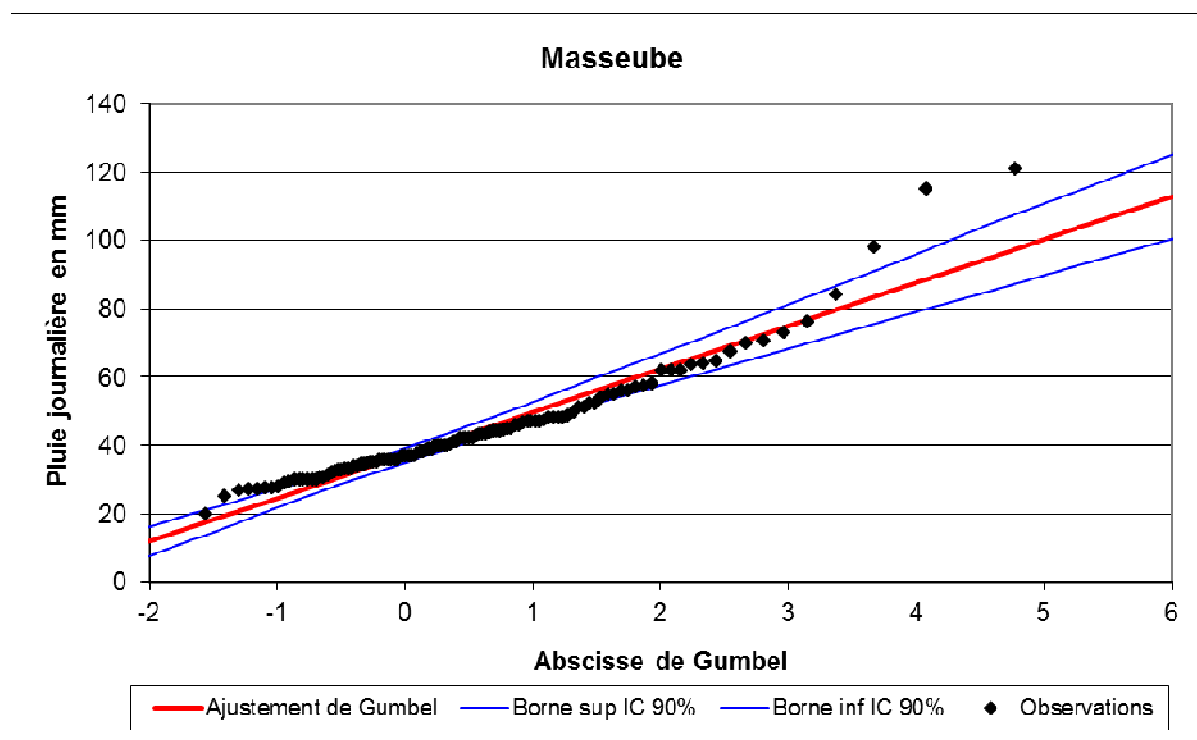
Là encore, plusieurs stations ont été en service sur la commune de Masseube. Deux d'entre elles (Saint Fris et Mirandette Patac) sont utilisées ici afin de nous permettre de constituer une chronique de 118 valeurs de pluies journalières maximales annuelles sur la période 1872-2004.

En préalable, nous avons procédé à une analyse d'homogénéité des 2 stations par la méthode des doubles cumuls sur leur période commune de fonctionnement, malheureusement très courte (1988-1990) et de ce fait peu pertinente et non exposée ici. Signalons simplement que cette analyse semble montrer la bonne homogénéité des deux chroniques sur la période considérée, avec une tendance des pluies mesurées à Mirandette-Patac (station dont les données sont disponibles depuis 1988) à être légèrement inférieures à celles de Saint Fris (station qui a été en fonctionnement entre 1872 et 1990).

Nous avons pris le parti de constituer une chronique « Masseube » de 118 valeurs de pluies maximales annuelles à partir des données de Saint Fris puis de Mirandette sans correction particulière des données de base.

L'ajustement statistique réalisé sur les pluies de Masseube est illustré par le graphique suivant :

Figure 5 : Ajustement de Gumbel sur les pluies journalières maximales annuelles à Masseube (période 01/01/1882 à 31/12/2004)



Les plus fortes valeurs enregistrées sont, en ordre décroissant de hauteur de pluie :

- 121 mm le 13 Septembre 1920,
- 115 mm le 03 Juillet 1897,
- 98 mm le 21 Avril 1925.

L'ajustement obtenu conduit à un GRADEX des pluies journalières de 12,6 mm avec un intervalle de confiance à 90 % de [10,6 ; 14,6 mm].

On note ici plusieurs valeurs fortes nettement au-dessus de l'ajustement. La prise en compte de ces valeurs tend à générer un ajustement linéaire avec une droite plus pentue que celle qui serait adoptée si l'on considérait toutes les autres valeurs à l'exception de ces 3 données.

Après application du coefficient de Weiss (1,14) permettant d'évaluer les pluies maximales de durée 24h à partir des pluies journalières, on peut estimer à 14,4 mm avec un intervalle de confiance à 90 % de [12,1; 16,6 mm] le GRADEX des pluies maximales de durée 24 h.

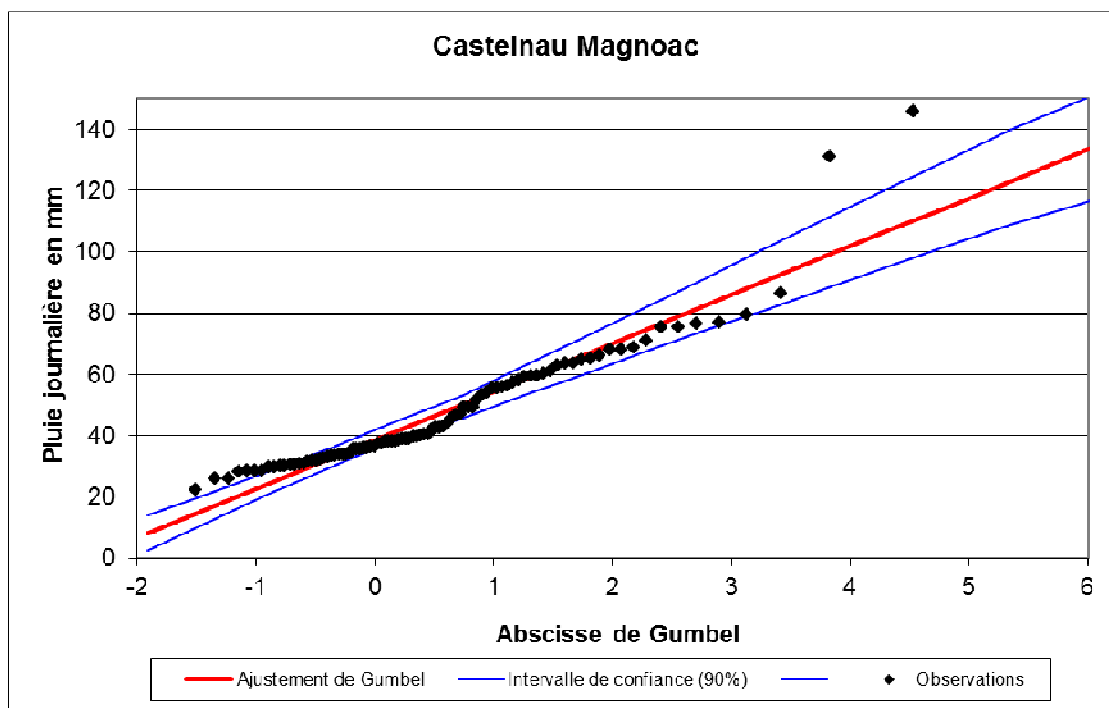
3.1.2.3 Castelnau-Magnoac

Là encore, plusieurs stations ont été en service sur la commune de Castelnau-Magnoac. Deux d'entre elles (Quartier Carolle et Aerodrome) sont utilisées ici afin de nous permettre de constituer une chronique de 92 valeurs de pluies journalières maximales annuelles sur la période 1882-2013 (NB : les années où les données étaient incomplètes, ont été sorties de l'analyse).

En l'absence de période de recouvrement, l'homogénéité entre les deux stations n'a pu être vérifiée.

L'ajustement statistique réalisé sur la chronique de pluies maximales annuelles ainsi obtenue est illustré par le graphique suivant :

Figure 6 : Ajustement de Gumbel sur les pluies journalières maximales annuelles à Castelanu-Magnoac (période 01/01/1882 à 31/12/2013)



Les plus fortes valeurs enregistrées sont, en ordre décroissant de hauteur de pluie :

- 146 mm le 05 Juin 1883,
- 131 mm le 03 Juillet 1897,
- 86,5 mm le 14 Juin 1890.

On note, comme à Masseube, plusieurs valeurs fortes nettement au-dessus de l'ajustement. Ici, la prise en compte de ces valeurs tend à générer un ajustement linéaire avec une droite plus pentue que celle qui serait adoptée si l'on considérait toutes les autres valeurs à l'exception de ces 2 données.

Cet ajustement donne un gradex des pluies journalières de 15,8 mm avec un intervalle de confiance à 90 % de [13,2 ; 18,5 mm]. Après application du coefficient de Weiss (1,14) permettant d'évaluer les pluies maximales de durée 24h à partir des pluies journalières, on peut évaluer à 18 mm avec un intervalle de confiance à 90 % de [15; 21,1 mm] le gradex des pluies maximales de durée 24h.

3.1.2.4 Récapitulatif

Les résultats de GRADEX obtenus (valeur probable et borne supérieure de l'intervalle de confiance à 90% pour les stations sur lesquelles nous avons réalisé nous-même l'ajustement) au niveau des différents points examinés sont récapitulés dans le tableau suivant.

Tableau 4 : Récapitulatif des pluies de 24h de différentes périodes de retour et des valeurs de gradex en différents points

	Période de retour	variable réduite de Gumbel	Blajan	Masseube	Castelnaud-Magnoac
Nombre d'années sur lequel est basée l'analyse			92	118	92
Hauteur de pluie (mm) de différentes périodes de retour (en années)	10	2,25	70	75	84
	100	4,60	98	108	127
	1 000	6,91	124	141	168
	3 000	8,01	137	157	188
	5 000	8,52	143	165	197
	10 000	9,21	151	175	210
Gradex (mm/24h)	Valeur probable		11,6	14,4	18
	Valeur supérieure de l'IC à 90%		13,8	16,6	21,1

L'analyse conduit donc à des GRADEX sur les pluies de 24h compris entre 11,6 et 18 mm/24h en valeur probable.

3.1.3 Evaluation du GRADEX des pluies dans la zone d'étude

Les GRADEX obtenus sur les stations voisines du bassin versant sont, comme nous l'avons vu ci-avant, compris entre 11,6 et 18 mm/24h en valeur probable.

La station de Blajan est la plus éloignée du bassin versant du barrage et deux valeurs extrêmes ont été retirées de l'analyse car elles tiraient l'ajustement vers le haut. La valeur du gradex pour cette station est donc peut-être sous-estimée, dans le doute nous proposons de ne pas considérer cette station pour la détermination du gradex au barrage.

Les données aux stations rendent compte d'un gradient Nord-Sud pour la valeur du Gradex (notamment si l'on considère toutes les données de la station de Blajan). Plus on remonte vers le Nord et plus la valeur du Gradex diminue.

Les stations de Masseube (au Nord) et de Castelnau-Magnoac (au Sud) encadrent le bassin versant du barrage.

Nous proposons donc de retenir, une valeur de GRADEX 24h = 18, qui correspond à la valeur probable de la station de Castelnau-Magnoac. Le bassin versant du barrage étant situé plus au Nord (avec donc un gradex plus faible) que cette station, nous ne pensons pas nécessaire de considérer la borne supérieure de l'intervalle de confiance malgré la présence de deux valeurs largement en dehors de l'intervalle de confiance à 90%.

Nous retiendrons ainsi une valeur de GRADEX de 18 mm pour les pluies de durée 24 h.

3.1.4 Pluies extrêmes observées

[Source : site internet « Pluies Extrêmes » de Météo-France (<http://pluiesextremes.meteo.fr/>)]

Au-delà des pluies enregistrées aux stations de Blajan, Masseube et Castelnau-Magnoac qui ont été analysées précédemment, il est intéressant de vérifier si d'autres événements pluvieux exceptionnels n'auraient pas touché le bassin versant étudié.

Plusieurs événements pluvieux supérieurs à 81 mm en un jour ont été enregistrés sur la période 1958-2012 dans un rayon de 25 km autour d'Arrouède :

- Le 04/07/2001 : 83,2 mm enregistrés à L'Isle-en-Dodon,
- Le 26/07/1996 : 92,9 mm enregistrés à Boussan,
- Le 04/11/1974 : 82,8 mm enregistrés à Aurignac,
- Le 08/06/1970 : 102 mm enregistrés à Miellan,
- Le 21/05/1959 : 98,8 mm enregistrés à Miellan.

Les 102 mm enregistrés à Miellan correspondent à une période de retour comprise entre 10 et 100 ans si l'on se réfère aux ajustements sur les pluies journalières à Castelnau-Magnoac (station retenue).

La possibilité d'occurrence de tels événements sur le bassin du barrage est donc largement prise en compte plus loin dans l'application de la méthode du GRADEX lorsqu'on considère des événements correspondant à des périodes de retour de 3 000 à 30 000 ans.

3.2 Analyse des débits

3.2.1 Données hydrométriques disponibles

Les stations hydrométriques disposant de 30 années de mesures au moins à proximité de la zone d'étude ont été recherchées. Nous avons conservé uniquement les stations contrôlant des bassins versants de taille moyenne (excluant ainsi les stations proches implantées sur la Garonne, contrôlant un bassin versant de plusieurs milliers de km²).

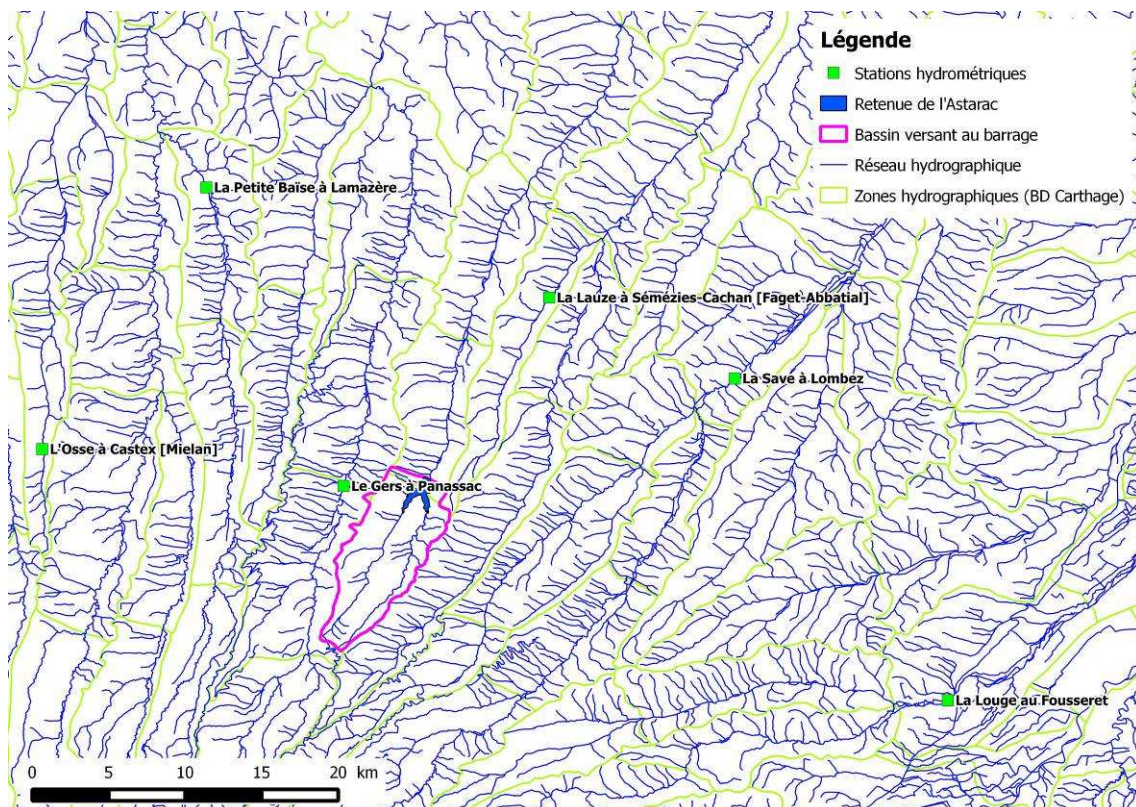
Le tableau suivant en donne les principales caractéristiques et les valeurs de crue décennale annoncées dans la Banque HYDRO.

Tableau 5 : Données hydrométriques disponibles

Code Station	Nom Station	Cours d'eau	SBV (km ²)	Période	Débit journalier de crue décennale Qj10 (m ³ /s)	Débit de pointe de crue décennale Qp10 (m ³ /s)	Débit de pointe décennal spécifique q10 spé (m ³ /s/km ²)
O6804630	Castex	Osse	10.2	1965-2008	4	12	1.18
O2725010	Faget	Lauze	36	1965-2009	12	25	0.69
O6212530	Panassac	Gers	159	1965-2006	54	100	0.63
O6574320	Lamazere	Petite Baise	205	1975-2011	43	60	0.29
O0964030	Fousseret	Louge	272	1970-2010	55	75	0.28
O2462920	Lombez	Save	424	1965-2006	120	190	0.45
O6094010	Saint-Antoine	Arrats	600	1965-2010	51	60	0.10

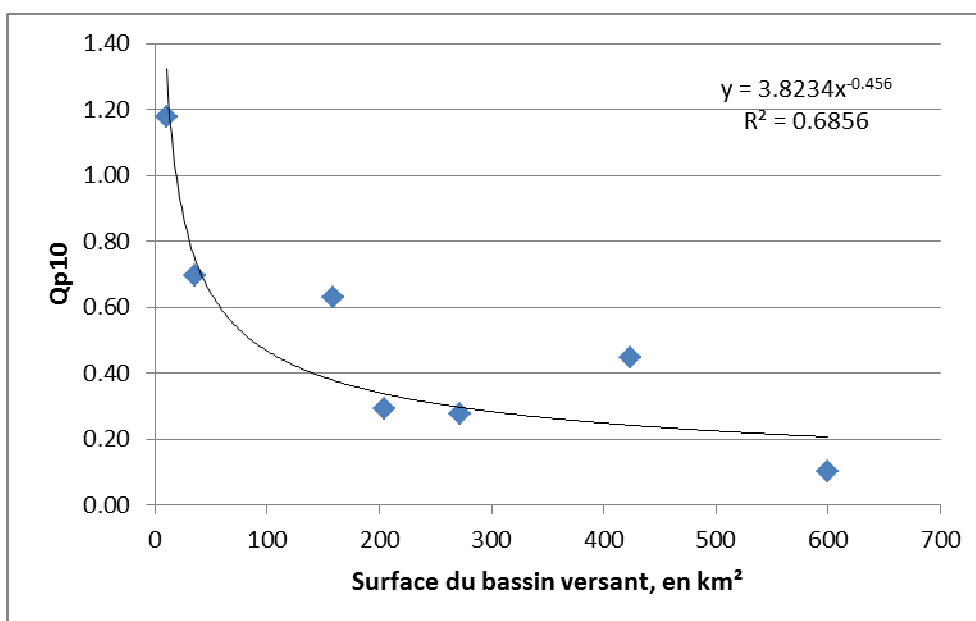
La localisation de ces stations est représentée sur la carte suivante. La station de Saint-Antoine située plus au nord sur l'Arrats n'est pas représentée sur cette carte.

Figure 7 : Localisation des stations hydrométriques utilisées dans l'analyse



Nous proposons ici de regarder la courbe d'évolution des débits de pointe décennaux spécifiques (en m³/s/km² de bassin versant) en fonction de la surface de bassin versant, avant de déterminer sur quelle(s) station(s) nous baserons la détermination des débits de pointe décennaux au niveau du barrage.

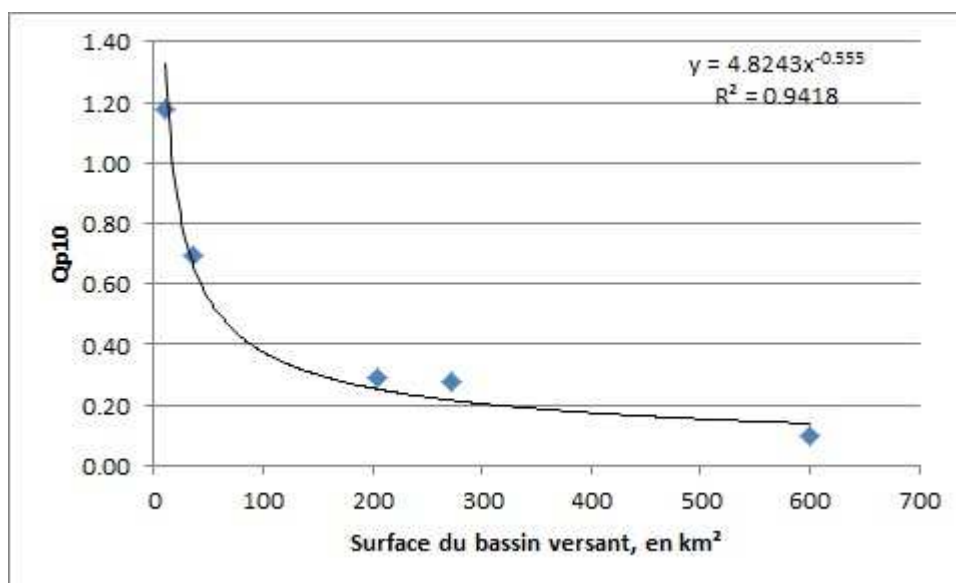
Figure 8 : Débits de pointe décennaux spécifiques aux stations hydrométriques en fonction de la taille du bassin versant contrôlé



L'ajustement d'une courbe de tendance de la forme usuelle $Q = aS^b$, qui traduit l'évolution du débit de crue en fonction de la surface de bassin versant, n'est pas très satisfaisant sur ce nuage de point. La station du Gers à Panassac et de la Save à Lombez tire l'ajustement vers le haut. Avec cet ajustement, on obtient $Q_{p10} = 32 \text{ m}^3/\text{s}$ au barrage de l'Astarac (SBV=50 km^2).

Nous proposons de regarder également l'ajustement en retirant ces deux stations.

Figure 9 : Débits de pointe décennaux spécifiques aux stations hydrométriques sans la Save et le Gers en fonction de la taille du bassin versant contrôlé



L'ajustement d'une courbe de tendance de la forme usuelle $Q = aS^b$, qui traduit l'évolution du débit de crue en fonction de la surface de bassin versant, est beaucoup plus satisfaisant sur ce nuage de point. Avec cet ajustement, on obtient $Q_{p10} = 27,5 \text{ m}^3/\text{s}$ au barrage de l'Astarac (SBV=50 km^2).

Dans l'optique de la révision des crues de fréquence rare par la méthode du GRADEX, il nous importe d'évaluer le débit de pointe décennal aux barrages (« point pivot »), quitte, dans le doute, à plutôt surestimer la valeur dans une logique de sécurité vis-à-vis du fonctionnement des ouvrages. Nous proposons donc un peu plus loin une évaluation basée sur les valeurs spécifiques les plus fortes. Le débit spécifique le plus fort, $q_{p10} = 0,69 \text{ m}^3/\text{s}$, est obtenu pour la station de la Lauze à Faget. La station de l'Osse à Castex possède un débit spécifique plus fort mais des caractéristiques différentes du bassin versant de l'Arrats (bassin versant de petite taille).

Notons qu'une incertitude sur la valeur du débit de pointe décennal pèse assez peu sur le résultat final, les paramètres plus déterminants étant le GRADEX des pluies et le coefficient de pointe des crues.

3.2.2 Evaluation des débits de pointe décennaux au barrage

3.2.2.1 *Utilisation des méthodes semi-empiriques régionales*

Différentes méthodes semi-empiriques permettent d'évaluer un ordre de grandeur du débit de pointe décennal au barrage.

Les données de base utilisées sont les suivantes :

- Pluie moyenne annuelle : 1047 mm environ (Tarbes),
- Pluie journalière décennale estimée à 73,7 mm (Castelnau-Magnoac),
- Température moyenne annuelle au niveau de la mer : 14°C (Tarbes),
- Coefficients a et b de Montana pris égaux à ceux de la station Météo de Tarbes-Ossun,
- Surface du bassin versant, longueur du cheminement hydraulique le plus long et dénivelé : cf. Tableau 1 du présent rapport.

Tableau 6 : Application de formules semi-empiriques pour l'évaluation du débit de pointe décennal au barrage

Méthode	Astarac
CRUPEDIX	19,4 m ³ /s
SOCOSE	18,9 m ³ /s
SOGREAH (abaques)	30 m ³ /s

3.2.2.2 *Estimation à partir du débit décennal de pointe aux stations hydrométriques*

Suite à l'examen de l'évolution des débits de pointe spécifique en fonction de la surface du bassin versant (cf. §3.2.1), nous baserons par sécurité cette estimation sur les valeurs spécifiques les plus fortes rencontrées au niveau des stations hydrométriques voisines.

Le débit décennal de pointe mesuré sur la Lauze à Faget nous servira ainsi de référence.

Nous utilisons pour cela les formules de Myer et de Francou-Rodier.

La formule de Myer :

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \left(\frac{S_1}{S_2} \right)^\alpha$$

Les valeurs usuelles du coefficient α sont comprises entre 0,6 et 0,9, mais en l'absence d'information locale fiable, la valeur retenue est généralement de 0,7 ou 0,8.

La formule de Francou-Rodier :

$$Q_1 = 10^5 \exp \left[\left(\frac{1 - K_{FR}}{10} \right) \ln(S_1 10^8) \right]$$

$$\text{Avec } K_{FR} = 10 \left[\frac{1 - \ln(10^{-6} Q_2)}{\ln(10^{-8} S_2)} \right]$$

On obtient ainsi les valeurs suivantes :

Tableau 7 : Application de la formule de Myer et de Francou-Rodier pour l'évaluation du débit de pointe décennal au barrage

	Astarac
<i>Rappel Surface BV</i>	<i>50 km²</i>
Méthode de Myer	
Débit de pointe décennal au barrage ($\alpha=0,7$)	31,5 m ³ /s
Débit de pointe décennal au barrage ($\alpha=0,8$)	32,5 m ³ /s
Méthode de Francou-Rodier	
Débit de pointe décennal au barrage	31,6 m ³ /s

Bien que supérieures, ces valeurs sont cohérentes avec les valeurs obtenues par les méthodes empiriques.

3.2.2.3 Valeurs retenues

Les différentes valeurs obtenues s'échelonnent entre 18,9 et 32,5 m³/s pour le débit décennal au barrage.

Nous retiendrons une valeur sécuritaire entre les méthodes empiriques et l'application de la formule de Myer et de Francou-Rodier à partir de la station de référence de la Lauze à Faget.

La valeur retenue pour le débit décennal au barrage est de 32,5 m³/s.

3.2.3 Détermination du coefficient de pointe

Afin d'évaluer la valeur du débit moyen décennal sur 24h, le ratio Q_p/Q_{M24h} (rapport du débit de pointe sur le débit moyen de 24h de la crue, généralement considéré comme indépendant ou peu dépendant de la période de retour de la crue) doit être déterminé. Pour cela, nous nous appuyons sur les valeurs des coefficients de pointe de quelques barrages d'Adour-Garonne.

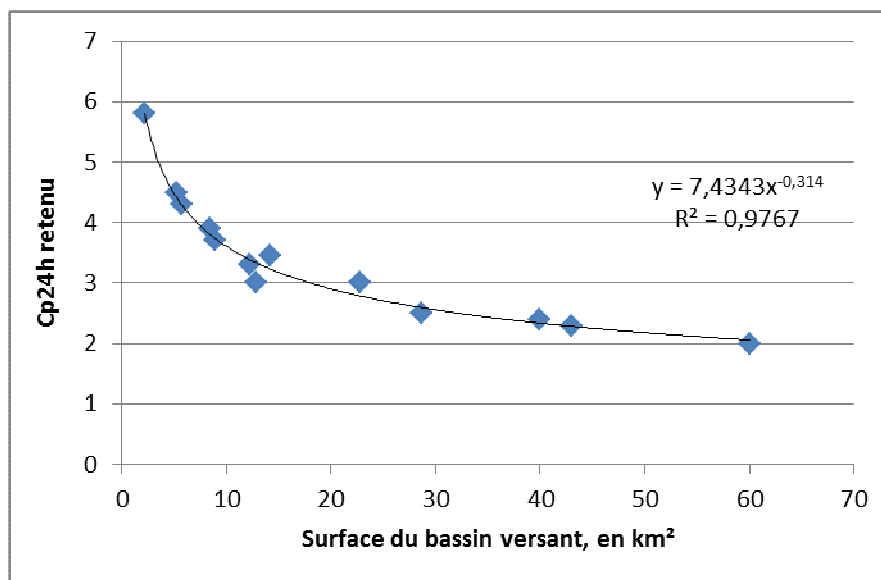
Nous rassemblons ci-après quelques valeurs de coefficient de pointe pris en compte lors d'études hydrologiques récentes réalisées par la CACG pour d'autres barrages du bassin Adour-Garonne (hors bassins versants de montagne), après des analyses comparables basées sur les stations hydrométriques proches.

Tableau 8 : Cp24h retenus lors d'études hydrologiques récentes pour quelques barrages en Adour-Garonne

Barrage	Puydarrieux	Bouès	Miélan	St Cricq	Gimone	Bouillac	Comberouger	Lavit	Sivens	Gabas	Lembeye	Cadillon	Bassillon
SBV (km ²)	60	14,25	22,8	12,3	40	12,8	8,4	2,2	28,7	43	5,2	5,7	8,9
Cp24h retenu	2	3,45	3	3,3	2,4	3	3,9	5,8	2,5	2,3	4,5	4,3	3,7

La variation du Cp24h en fonction de la surface du bassin versant est représentée sur le graphique de la figure suivante.

Figure 10 : Cp24h retenu pour quelques barrages en Adour-Garonne en fonction de la taille du bassin versant



Appliqué à la surface du bassin versant du barrage de l'Astarac, cet ajustement permettrait d'estimer à 2,2 le Cp24h, une valeur cohérente avec celles obtenues récemment pour d'autres barrages.

On retiendra donc une valeur du Cp24h de 2,2 pour le barrage.

3.3 Elaboration d'hydrogrammes de crue pour différentes périodes de retour

Les travaux en cours du groupe de travail « Dimensionnement des évacuateurs de crue des barrages » du CFBR Comité Français des Barrages et Réservoirs préconisent de procéder à des vérifications du fonctionnement des ouvrages pour une situation exceptionnelle (correspondant à une crue de période de retour $T=300$ à $10\,000$ ans pour les barrages meubles) et pour une situation extrême (correspondant à une crue de période de retour $T=1\,000$ à $100\,000$ ans pour les barrages meubles).

Les périodes de retour préconisées pour les barrages de classe B sont les suivantes :

Tableau 9 : Périodes de retour (T) des crues à considérer pour les barrages de classe B

Classe du barrage	Situation exceptionnelle	Situation extrême
B	T = 3 000 ans	T = 30 000 ans

3.3.1 Calcul des débits de pointe et des débits moyens 24h de crue pour différentes périodes de retour

Le volume ruisselé est calculé pour différentes périodes de retour à partir du point pivot correspondant à la crue décennale et le coefficient de pointe C_{p24h} , en appliquant le GRADEX des pluies. De là est déduit directement le débit moyen pendant 24h pour ces durées de retour, puis le débit de pointe par application du ratio Q_p/Q_{m24h} déterminé au niveau du barrage.

Les résultats obtenus sont rassemblés dans le tableau suivant.

Les hydrogrammes des crues correspondant aux situations exceptionnelles et extrêmes sont ensuite élaborés pour le barrage de l'Astarac.

Tableau 10 : Débits moyens et de pointe des crues pour différentes périodes de retour

				Astarac			
Rappel des données intermédiaires	Surface du bassin versant (km ²) :			50			
	Point pivot Qp10 (m3/s) :			32.5			
	Coefficient de pointe Cp24h :			2.2			
	Gradex des pluies 24h (mm) :			18.0			
résultats des calculs de crue	période de retour T (ans)	f	abscisse Gumbel	Ruissellement 24h (mm)	Qm24h (m3/s)	Qp (m3/s)	Volume ruisselé (m3)
	10	0.9	2.250367	26	14.8	32.5	1 276 364
	100	0.99	4.600149	68	39.2	86.3	3 391 167
	1000	0.999	6.907255	109	63.3	139.2	5 467 563
	3000	0.9997	8.006201	129	74.7	164.4	6 456 614
	5000	0.9998	8.517093	138	80.1	176.1	6 916 417
	10000	0.9999	9.210290	151	87.3	192.0	7 540 294
	20000	0.99995	9.903463	163	94.5	207.9	8 164 149
	30000	0.99997	10.308936	171	98.7	217.2	8 529 075
	50000	0.99998	10.819768	180	104.0	228.9	8 988 824
	100000	0.99999	11.512920	192	111.3	244.8	9 612 661
	1000000	0.999999	13.815510	234	135.2	297.5	11 684 992
	2500000	0.9999996	14.731801	250	144.8	318.5	12 509 654

Les valeurs à retenir ont été surlignées de jaune pour les crues exceptionnelles et de orange pour les crues extrêmes.

3.3.2 Hydrogrammes de crues exceptionnelle et extrême

Les hydrogrammes de crue sont calculés de manière à respecter les débits de pointe et les débits moyens de 24h, évalués précédemment, en utilisant la formulation de SOCOSE. Cette formulation a été retenue en suivant les conseils du guide « Petits barrages : recommandations pour la conception, la réalisation et le suivi" (CFGB, 2002), elle s'exprime de la manière suivante :

$$q(t) = \frac{Q_p \times 2 \times \left(\frac{t}{D}\right)^\alpha}{1 + \left(\frac{t}{D}\right)^{2\alpha}}$$

Où :

- q(t) est le débit à l'instant t
- Q_p est le débit de pointe de la crue
- D est la durée caractéristique du bassin versant donnée par la formule de SOCOSE :

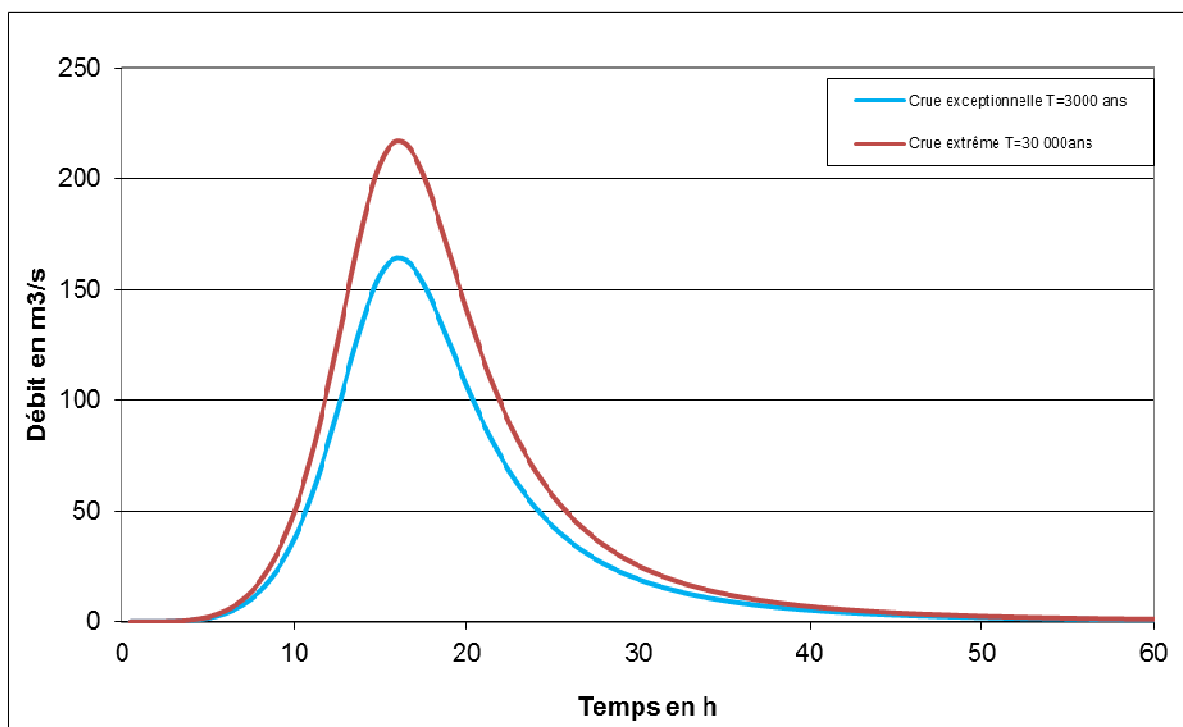
$$\ln(D) = -0.69 + 0.32 \ln(S) + 2.2 \left(\frac{P_a}{P \times t_a}\right)^{0.5}$$

- S est la surface du bassin versant (ici 50 km²)
- P_a la pluie annuelle (ici 1047 mm environ)

- P la pluie journalière de fréquence décennale (on retient ici la valeur décennale de 73,7 mm à Castelnau-Magnoac)
- t_a la température moyenne annuelle (ici 14°C environ)
- le paramètre α est calé de manière à respecter le débit moyen sur 24h.

Les hydrogrammes de crue pour les périodes de retour 3000 et 30 000 ans obtenus par cette formulation sont représentés sur le graphique suivant.

Figure 11 : Hydrogrammes de crues exceptionnelle et extrême au barrage de l'Astarac



3.4 Comparaison avec les crues de projet d'autres barrages du bassin Adour-Garonne

La crue de projet définie lors de l'étude hydrologique initiale était une crue millénaire de débit de pointe 194 m³/s et de volume 4,5 Mm³. La crue de projet déterminée pour cette révision hydrologique est une crue de temps de retour 3 000 ans (conformément aux recommandations du CFG), de débit de pointe 164 m³/s et de volume 6,5 Mm³.

Le débit de pointe de la crue de projet recalculée est légèrement inférieur à la crue de projet initiale mais le volume de crue est plus important. La nouvelle crue de projet n'est donc pas nécessairement moins contraignante pour les ouvrages d'évacuation des crues.

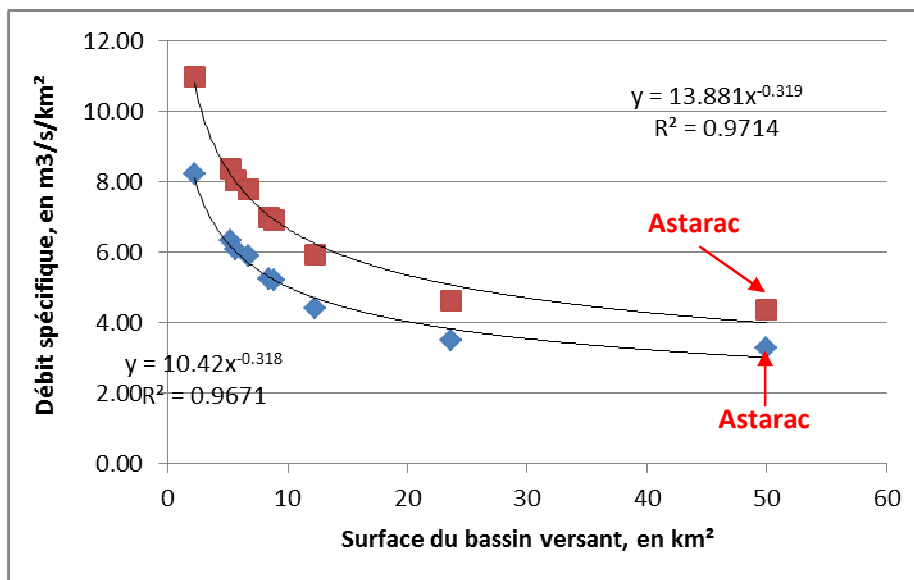
Afin de valider nos résultats, nous pouvons les comparer avec ceux obtenus pour différents barrages voisins sur le bassin Adour-Garonne. Les résultats sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 11 : Comparaison des résultats avec des barrages voisins

Barrage	Surface du BV (km ²)	Débit de pointe 3000 ans (m ³ /s)	Débit spécifique 3000 ans (m ³ /s/km ²)	Débit de pointe 30000 ans (m ³ /s)	Débit spécifique 30000 ans (m ³ /s/km ²)
Astarac	50	164,4	3,29	217,2	4,34
Saint Cricq	12,3	54	4,39	73	5,93
Comberouger	8,4	43,9	5,23	58,7	6,99
Lavit	2,2	18,1	8,23	24,1	10,95
Lembeye	5,2	32,8	6,31	43,5	8,37
Bassillon	8,9	46,2	5,19	61,3	6,89
Cadillon	5,7	34,6	6,07	45,8	8,04
Gabassot	23,6	82,5	3,50	109,1	4,62
Aubin	6,7	39,5	5,90	52,1	7,78

Soit le graphique résultant :

Figure 12 : Comparaison des résultats avec des barrages voisins



Les débits spécifiques 3000 ans sont représentés en bleu et les débits spécifiques 30000 ans en rouge.

L'analyse montre la cohérence des résultats obtenus pour le barrage de l'Astarac avec ceux obtenus dans des études récentes pour des barrages voisins.

-O-O-O-



ANNEXE 4 : ETUDE HYDRAULIQUE DU BARRAGE DE L'ASTARAC



Révision de l'étude hydraulique Du barrage de l'Astarac (32)



Retenue de l'Astarac

Décembre 2014

1	Préambule	3
2	Description de l'évacuateur de crue	3
3	Méthologie	6
4	Etudes de laminage	6
4.1	<i>Présentation des résultats de laminage</i>	7
4.2	<i>Calcul de la revanche minimale en crête</i>	11
5	Vérification du fonctionnement hydraulique de l'évacuateur principal	12
5.1	<i>Critères de dimensionnement</i>	12
5.2	<i>Vérification de l'évacuateur lors de la crue exceptionnelle</i>	13
5.3	<i>Vérification de l'évacuateur lors de la crue extrême</i>	14
6	Vérification du fonctionnement hydraulique de l'évacuateur secondaire	16
6.1	<i>Critères de dimensionnement</i>	16
6.2	<i>Vérification de l'évacuateur lors de la crue exceptionnelle</i>	17
6.3	<i>Vérification de l'évacuateur lors de la crue extrême</i>	19
7	Détermination de la cote de danger	21
8	Vérification de l'organe de vidange rapide	21
9	Conclusion	23

Liste des tableaux

Tableau 1 : Résultats des laminages pour la crue exceptionnelle et la crue extrême.....	8
Tableau 2 : Résultats de la modélisation de l'évacuateur principal pour la crue exceptionnelle	14
Tableau 3 : Résultats de la modélisation de l'évacuateur principal pour la crue extrême.....	15
Tableau 4 : Résultats de la modélisation de l'évacuateur secondaire pour la crue exceptionnelle.....	18
Tableau 5 : Résultats de la modélisation de l'évacuateur secondaire pour la crue extrême	20

Liste des figures

Figure 1 : Photographies de l'évacuateur de crue principal.....	4
Figure 2 : Photographies de l'évacuateur de crue secondaire	5
Figure 3 : Relation Cote – Surface du plan d'eau	6
Figure 4 : Calcul de laminage pour la crue exceptionnelle.....	9
Figure 5 : Calcul de laminage pour la crue extrême	10
Figure 6 : Ligne d'eau dans l'évacuateur de crue lors d'une crue exceptionnelle (Q3000).....	13
Figure 7 : Ligne d'eau dans l'évacuateur de crue lors d'une crue extrême (Q30 000)	15
Figure 8 : Ligne d'eau dans l'évacuateur de crue lors d'une crue exceptionnelle (Q3000).....	17
Figure 9 : Vue en plan de l'évacuateur de crues secondaire.....	19
Figure 10 : Ligne d'eau dans l'évacuateur de crue lors d'une crue extrême (Q30 000)	20
Figure 11 : Calculs du temps de vidange rapide.....	22

1 PREAMBULE

Le barrage de l'Astarac est un ouvrage situé dans le département du Gers et implanté sur la rivière de l'Arrats, affluent de la Garonne. Ce barrage permet de satisfaire les besoins d'irrigation de la vallée de l'Arrats et de participer au soutien d'étiage. Ses caractéristiques géométriques : barrage en remblai homogène, de hauteur 16,2 m, d'une longueur en crête de 494 m pouvant stocker 10 Mm³, le classent parmi les ouvrages de catégorie B conformément au décret n°2007-1735 du 11 décembre 2007 relatif à la sécurité des ouvrages hydrauliques ;

La présente note a été rédigée dans le cadre d'un diagnostic global du dispositif d'évacuation des crues du barrage et vérifie en particulier le dimensionnement hydraulique du dispositif d'évacuation des crues.

2 DESCRIPTION DE L'EVACUATEUR DE CRUE

Le dispositif d'évacuation des crues est composé de deux évacuateurs. L'évacuateur principal latéral est implanté en rive droite et calé à la cote 246.2 m NGF (cote PEN), de 16,4 mètres de longueur déversante. A l'aval du seuil, un entonnement et un dalot donnent sur un coursier de 26 m de longueur et de largeur 5 m. Ce coursier débouche sur un bassin de dissipation dans lequel se forme le ressaut hydraulique. Ce bassin en béton se termine par un chenal d'évacuation en enrochements liés au béton posés sur géotextile rejoignant le lit naturel de l'Arrats. L'évacuateur secondaire est implanté en rive gauche à la cote 247,2 m NGF, le seuil est de 80 m de longueur déversante et est marqué par une longrine en béton. A l'aval du seuil, un coursier en terre d'environ 210 m de longueur débouche sur un chenal d'évacuation en enrochement rejoignant le chenal d'évacuation de l'évacuateur principal puis le lit naturel de l'Arrats.

Figure 1 : Photographies de l'évacuateur de crue principal



Figure 2 : Photographies de l'évacuateur de crue secondaire



3 METHOLOGIE

Dans un premier temps, on effectue les calculs de laminage pour déterminer les débits de crue laminés qui permettront dans un deuxième temps de vérifier les capacités hydrauliques de l'évacuateur.

Le calcul de laminage permet aussi d'estimer la revanche minimale du barrage lors de la crue exceptionnelle et la condition de non débordement en crête lors de la crue extrême.

Le modèle hydraulique permet de calculer les revanches au niveau des bajoyers du coursier et du bassin de dissipation.

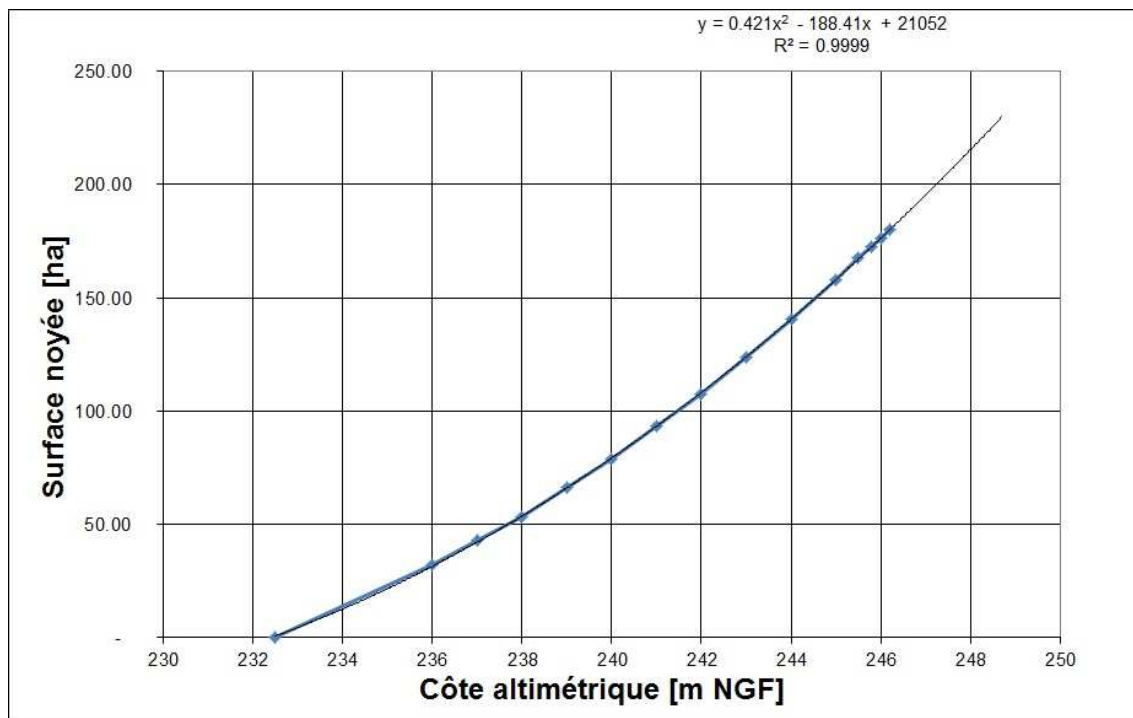
4 ETUDES DE LAMINAGE

Les hydrogrammes des crues entrantes considérées dans les présentes simulations sont issus de la révision hydrologique réalisée dans le cadre du même diagnostic. En début d'épisode de crue, le niveau d'eau dans la retenue est supposé être à niveau normal.

Les études de laminage vont permettre d'établir la correspondance entre les débits de pointe entrant dans la retenue et les débits évacués par l'ouvrage. Elles permettront également de déterminer le niveau d'eau maximal obtenu dans le plan d'eau.

La courbe caractéristique de la cuvette est issue des données projet, les valeurs ont été extrapolées pour les cotes supérieures au PEN.

Figure 3 : Relation Cote – Surface du plan d'eau



Les simulations suivantes ont été réalisées :

- La **crue exceptionnelle** déterminée lors de l'étude hydrologique (**Q 3 000**) a été considérée comme la crue entrante dans la retenue ; on en déduit un **débit laminé** et une **cote PHE**.
- La **crue extrême** déterminée lors de l'étude hydrologique (**Q 30 000**) a été considérée comme la crue entrante dans la retenue ; on vérifie que lors de cette crue aucun débordement n'intervient au niveau de la crête ou du coursier de l'évacuateur de crue.
- On détermine la crue qui atteint la **cote de danger** ; la cote de danger correspond soit au niveau de la crête, soit au niveau du plan d'eau pour lequel on a un débordement continu le long du coursier ; cette crue est déterminée en appliquant un coefficient multiplicateur sur les débits de la crue exceptionnelle.

Le choix des crues de dimensionnement est lié au fait que le barrage de l'Astarac est un barrage de classe B en remblai.

4.1 Présentation des résultats de laminage

Les résultats suivants découlent du calcul de laminage d'une crue exceptionnelle, à savoir une crue ayant une période de retour de 3 000 ans et d'une crue extrême, de période de retour 30 000 ans. Les résultats des calculs de laminage présentés ci-dessous montrent un fonctionnement satisfaisant de l'évacuateur de crue : les revanches sont respectées en crête et le long de l'évacuateur lors d'une crue exceptionnelle et la crue extrême est évacuée sans débordement.

Tableau 1 : Résultats des laminages pour la crue exceptionnelle et la crue extrême

Résultats des laminages		
	Crue exceptionnelle Q 3 000	Crue extrême Q 30 000
Débit de pointe entrant (m ³ /s)	164,35	217,11
Débit de pointe laminé dans l'évacuateur principal (m ³ /s)	54,88	67,80
Débit de pointe laminé dans l'évacuateur secondaire (m ³ /s)	58,30	98,49
Débit de surverse (m ³ /s)	-	-
Cote PEN = Cote seuil principal (m NGF)	246,2	246,2
Cote évacuateur secondaire (m NGF)	247,2	247,2
Cote crête (m NGF)	248,7	248,7
Longueur seuil principal (m)	16,4	16,4
Longueur seuil secondaire (m)	80	80
Charge/ seuil principal (m)	1,57	1,80
Charge/ seuil secondaire (m)	0,57	0,80
Cote max de la retenue (m NGF)	247,77	248,00
Revanche (m)	0,93	0,70

Figure 4 : Calcul de laminage pour la crue exceptionnelle

Calcul du laminage

Hydrogramme entrant	Niveau initial du plan d'eau	Seuils		Orifice		Côte de la crête
	Zi =	n°1	n°2	Zs=	A=	Zc =
I0 = - pas = 0.50 Débit pointe = 164.35	Zi = 246.20	Zo = 246.20 b = 16.40 μ = 0.385	Zo = 247.20 b = 80.00 μ = 0.385	Zs= - A= - μ = -		Zc = 248.70

Résultats du calcul :

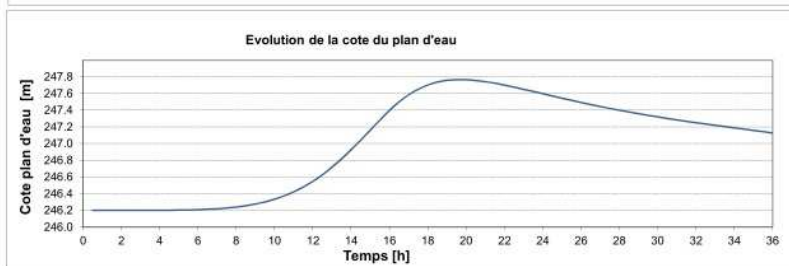
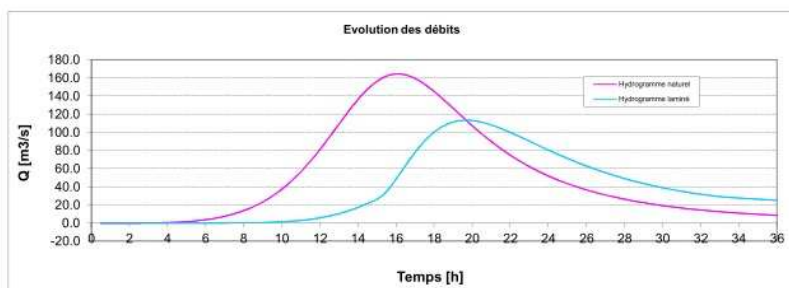
Q laminé max	113.17	m ³ /s
Z laminé max	247.77	mNGF

Pourcentage laminage	31%
----------------------	-----

Revanche	0.93	m
----------	------	---

Q seuil n°1	54.88	m ³ /s
Q seuil n°2	58.30	m ³ /s

Lame d'eau seuil 1	1.57	m
Lame d'eau seuil 2	0.57	m



11/07/2014

Figure 5 : Calcul de laminage pour la crue extrême

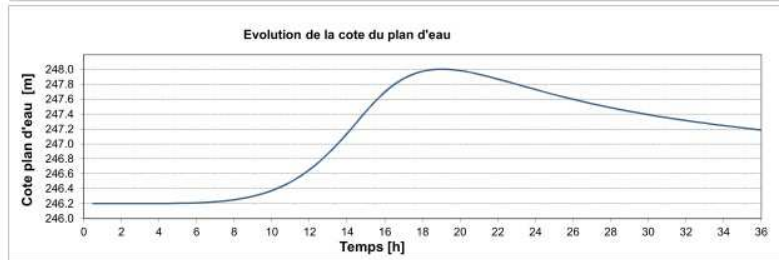
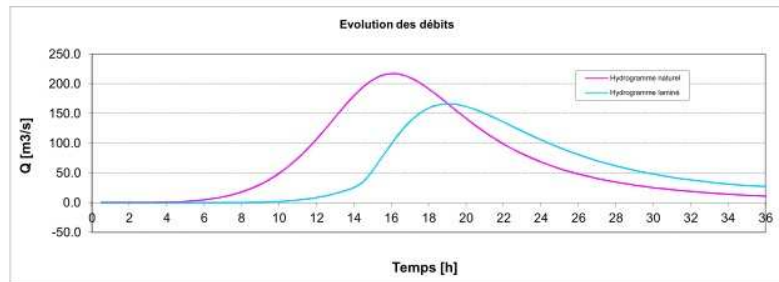
Calcul du laminage

Hydrogramme entrant	Niveau initial du plan d'eau	Seuils		n°1		n°2		Orifice		Côte de la crête
I0 = - pas = 0.50 Débit pointe = 217.11	Zi = 246.20	Zo =	246.20	247.20	b =	16.40	80.00	Zs =	-	Zc = 248.70
					μ =	0.385	0.385	A =	-	
								μ =	-	

Résultats du calcul :

Q laminé max	166.28	m ³ /s
Z laminé max	248.00	mNGF
Pourcentage laminage	23%	
Revanche	0.70	m
Q seuil n°1	67.80	m ³ /s
Q seuil n°2	98.49	m ³ /s

Lame d'eau seuil 1	1.80	m
Lame d'eau seuil 2	0.80	m



11/07/2014

4.2 Calcul de la revanche minimale en crête

On calcule la revanche minimale à partir des formules de Bretschneider et Gaillard qui permettent d’estimer la hauteur des vagues dans la retenue en fonction de différents paramètres.

Le tableau ci-dessous explicite la formule de Bretschneider permettant d’évaluer la hauteur des vagues :

U : vitesse du vent (m/s)
 D : profondeur de l'eau (m)
 F : longueur du fetch (m)
 g : accélération de la pesanteur (m/s²)

$$h = 0,26 \cdot th \left[0,578 \cdot \left(\frac{g \cdot D}{U^2} \right)^{3/4} \right] \cdot th \left[\frac{0,01 \cdot \left(\frac{g \cdot F}{U^2} \right)^{1/2}}{th \left[0,578 \cdot \left(\frac{g \cdot D}{U^2} \right)^{3/4} \right]} \right] \cdot \frac{U^2}{g}$$

U	20					25					30					35				
D \ F	300	600	1 000	2 000	3 000	300	600	1 000	2 000	3 000	300	600	1 000	2 000	3 000	300	600	1 000	2 000	3 000
5	0.28	0.39	0.50	0.67	0.78	0.35	0.49	0.61	0.81	0.94	0.42	0.58	0.73	0.96	1.10	0.49	0.67	0.84	1.09	1.24
10	0.29	0.40	0.51	0.71	0.86	0.36	0.50	0.64	0.88	1.06	0.43	0.60	0.76	1.05	1.25	0.50	0.70	0.89	1.21	1.44
15	0.29	0.40	0.52	0.73	0.88	0.36	0.50	0.65	0.90	1.09	0.43	0.60	0.77	1.08	1.30	0.50	0.70	0.90	1.25	1.50
20	0.29	0.40	0.52	0.73	0.89	0.36	0.51	0.65	0.91	1.11	0.43	0.61	0.78	1.09	1.32	0.50	0.71	0.91	1.27	1.53
25	0.29	0.41	0.52	0.73	0.89	0.36	0.51	0.65	0.92	1.11	0.43	0.61	0.78	1.10	1.33	0.50	0.71	0.91	1.28	1.55

Hauteur des vagues h en m

D’après la carte des vents fournis dans l’Eurocode on estime la vitesse du vent U à environ 22 m/s.

La profondeur de l’eau est prise égale à 13,7 m.

La longueur du fetch est estimée à 2900 m.

Ainsi la hauteur des vagues calculée est de 3,39 m.

La revanche est calculée à partir de la formule de Gaillard :

$$R = 0,75 \times h + \frac{v^2}{2g} = 0,98 \text{ m}$$

Avec la vitesse des vagues $v = 1,5 + 2 \cdot h$

Une autre formule permet d’estimer la revanche en prenant en compte le tassement du remblai dans le temps. Elle n’est pas applicable dans notre cas où le tassement du barrage est déjà effectué.

La valeur retenue pour la revanche minimale à respecter lors de la crue exceptionnelle de période de retour 3 000 ans est de 1,3 m. La revanche par rapport à la crête (401 m NGF) est seulement de 0,93 m pour la crue exceptionnelle et ne respecte donc pas la revanche minimale pour les vagues.



5 VERIFICATION DU FONCTIONNEMENT HYDRAULIQUE DE L'EVACUATEUR PRINCIPAL

5.1 Critères de dimensionnement

Les débits laminés pris en compte pour la vérification hydraulique de l'évacuateur de crue principal sont les suivants :

- crue exceptionnelle : 54,88 m³/s
- crue extrême : 67,80 m³/s

Le point de dimensionnement de l'évacuateur central vérifié dans ce paragraphe est :

- le non-débordement le long du coursier,
- le non-débordement le long du bassin de dissipation,
- le respect des revanches en crête et le long du coursier lors d'une crue exceptionnelle.

Une modélisation du profil en long de l'évacuateur de crues sous le logiciel HEC-RAS permet de déterminer la ligne d'eau le long de ce profil pour les débits laminés déterminés précédemment.

Le logiciel HEC-RAS utilisé étant limité quant à la modélisation de déversoirs latéraux, un déversoir frontal équivalent a donc été utilisé afin de retranscrire au mieux le comportement hydraulique de l'ouvrage.

Le coefficient de déversoir pris en compte est de 0,385 comme indiqué dans l'étude hydraulique initiale; l'effet de l'ennoisement par l'aval du seuil étant pris en compte par le logiciel.

Le coefficient de rugosité de l'évacuateur est pris égal à 90 (béton lisse).

5.2 Vérification de l'évacuateur lors de la crue exceptionnelle

Un débit de 54,88 m³/s est spécifié comme débit à évacuer pour la crue exceptionnelle (Q3000).

La revanche (0,93 m) est légèrement inférieure à la revanche minimale préconisée pour se prémunir des vagues (1,3 m).

La revanche au sein du coursier est elle globalement assurée, la revanche minimum recommandée n'est pas respectée en un unique point (voir tableau suivant). Cependant la revanche de 0,74 m (pour 1,21 m recommandé) est considérée suffisante.

La figure et le tableau ci-dessous présentent les résultats obtenus pour l'ensemble du profil :

Figure 6 : Ligne d'eau dans l'évacuateur de crue lors d'une crue exceptionnelle (Q3000)

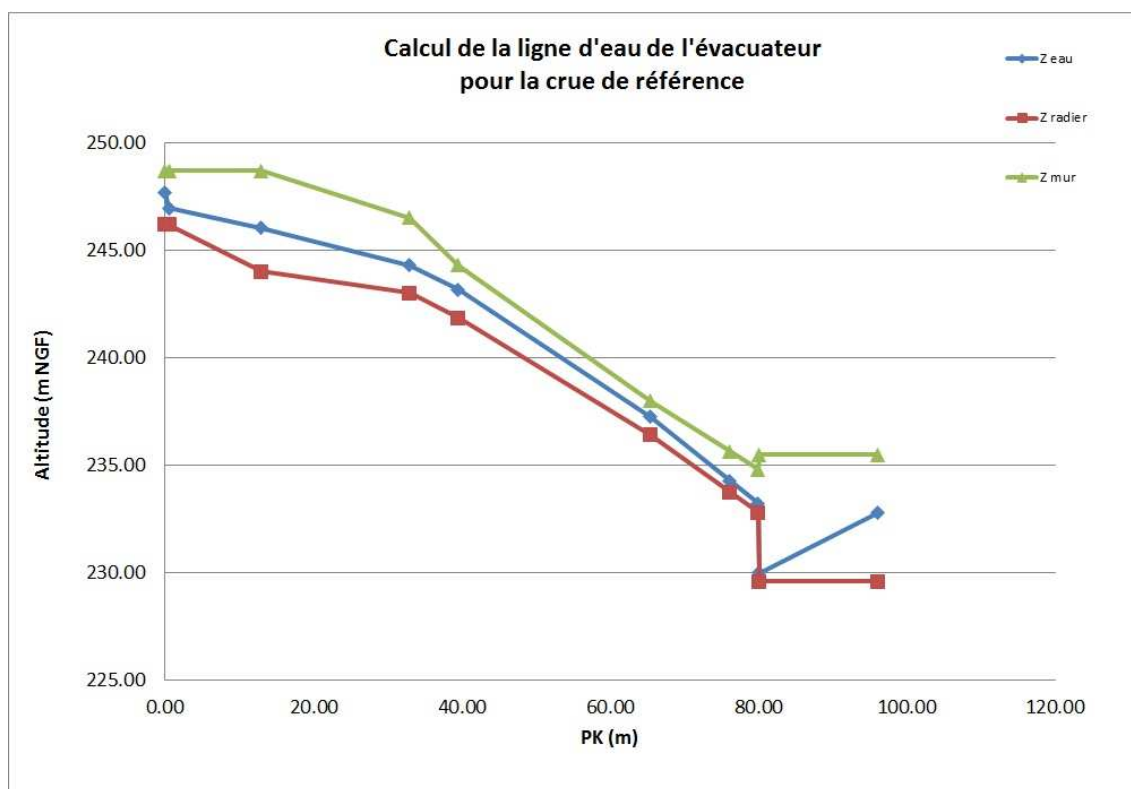


Tableau 2 : Résultats de la modélisation de l'évacuateur principal pour la crue exceptionnelle

	Géométrie évacuateur						Hydraulique					
	D m	PK m	Z radier m NGF	L radier m	Z mur m NGF	H mur m	H eau m	Z eau m NGF	Vitesse m/s	N Froude	Revanche mini recommandée(m)	Revanche (m)
Seuil	0.5	0.00	246.20	16.40	248.70	2.50	1.48	247.68	1.38	0.28	0.68	-1.02
Entonnement	12.5	0.50	246.20	16.40	248.70	2.50	0.76	246.96	1.96	0.48	0.69	-1.74
Dalot	20	13.00	244.00	6.00	248.70	4.70	2.04	246.04	4.49	1.00	0.88	-2.66
Coursier	6.5	33.00	243.00	6.00	246.50	3.50	1.30	244.30	7.03	1.97	0.98	-2.20
	26	39.50	241.85	5.00	244.30	2.45	1.33	243.18	8.28	2.30	1.06	-1.12
	10.65	65.50	236.40	5.00	238.00	1.60	0.86	237.26	12.80	4.41	1.21	-0.74
	3.85	76.15	233.76	7.50	235.65	1.89	0.51	234.27	14.40	6.44	1.18	-1.38
Bassin de dissipation	0.1	80.00	232.80	8.50	234.80	2.00	0.44	233.24	14.83	7.18	1.16	-1.56
	16	80.10	229.60	8.50	235.50	5.90	0.39	229.99	16.66	8.54	1.21	-5.51
		96.10	229.60	8.50	235.50	5.90	3.17	232.77	2.04	0.37	0.75	-2.73

5.3 Vérification de l'évacuateur lors de la crue extrême

Un débit de 67,80 m³/s est spécifié comme débit à évacuer pour la crue extrême (Q 30 000).

On n'observe aucun débordement au niveau de l'évacuateur de crue lors de la transition de la crue extrême.

La figure et le tableau ci-dessous présentent les résultats obtenus pour l'ensemble du profil :

Figure 7 : Ligne d'eau dans l'évacuateur de crue lors d'une crue extrême (Q30 000)

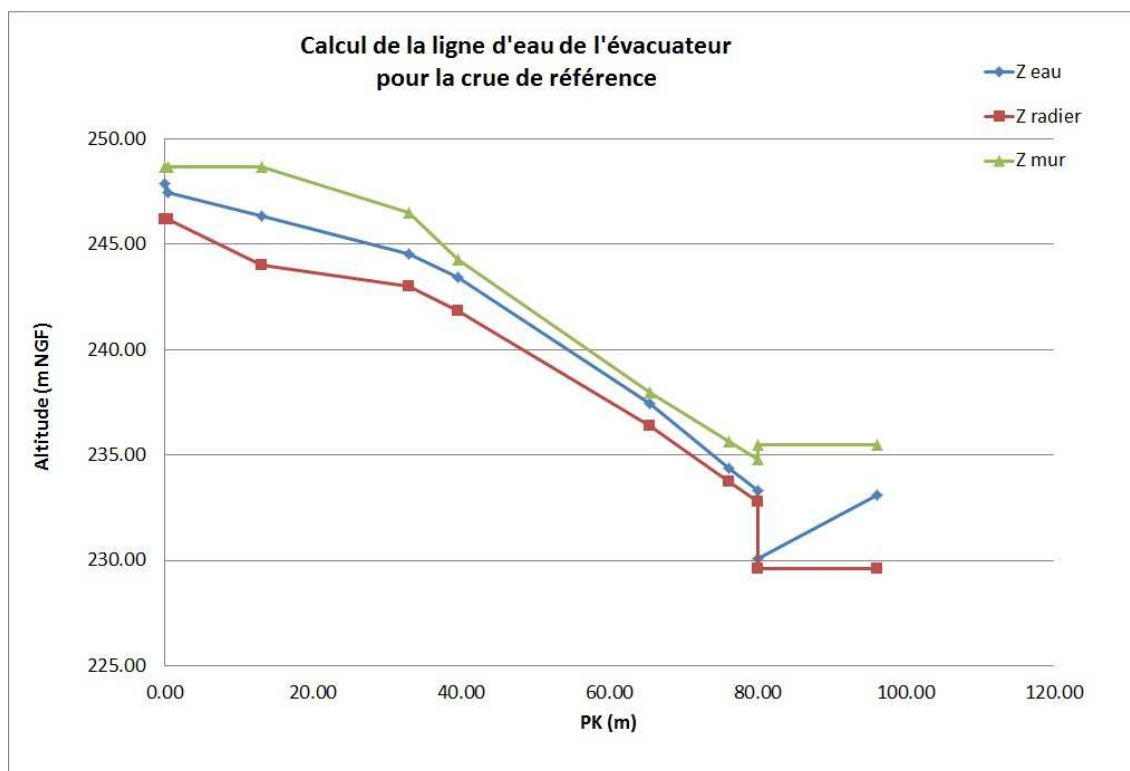


Tableau 3 : Résultats de la modélisation de l'évacuateur principal pour la crue extrême

	Géométrie évacuateur						Hydraulique				
	D m	PK m	Z radier m NGF	L radier m	Z mur m NGF	H mur m	H eau m	Z eau m NGF	Vitesse m/s	N Froude	Revanche (m)
Seuil	0.5	0.00	246.20	16.40	248.70	2.50	1.67	247.87	1.58	0.31	-0.83
Entonnement	12.5	0.50	246.20	16.40	248.70	2.50	1.25	247.45	1.88	0.40	-1.25
Dalot	20	13.00	244.00	6.00	248.70	4.70	2.34	246.34	4.82	1.00	-2.36
Coursier	6.5	33.00	243.00	6.00	246.50	3.50	1.54	244.54	7.34	1.89	-1.96
	26	39.50	241.85	5.00	244.30	2.45	1.59	243.44	8.52	2.16	-0.86
	10.65	65.50	236.40	5.00	238.00	1.60	1.04	237.44	13.06	4.09	-0.56
	3.85	76.15	233.76	7.50	235.65	1.89	0.61	234.37	14.72	6.00	-1.28
Bassin de dissipation	0.1	80.00	232.80	8.50	234.80	2.00	0.53	233.33	15.19	6.69	-1.47
	16	80.10	229.60	8.50	235.50	5.90	0.47	230.07	16.98	7.91	-5.43
		96.10	229.60	8.50	235.50	5.90	3.52	233.12	2.27	0.39	-2.38

6 VERIFICATION DU FONCTIONNEMENT HYDRAULIQUE DE L'EVACUATEUR SECONDAIRE

6.1 Critères de dimensionnement

Les débits laminés pris en compte pour la vérification hydraulique de l'évacuateur de crue secondaire sont les suivants :

- o crue exceptionnelle : 58,30 m³/s
- o crue extrême : 98,49 m³/s

Le point de dimensionnement de l'évacuateur vérifié dans ce paragraphe est :

- o le non-débordement le long du coursier,
- o le respect des revanches en crête et le long du coursier lors d'une crue exceptionnelle.

Une modélisation du profil en long de l'évacuateur de crues sous le logiciel HEC-RAS permet de déterminer la ligne d'eau le long de ce profil pour les débits laminés déterminés précédemment.

Le logiciel HEC-RAS utilisé étant limité quant à la modélisation de déversoirs latéraux, un déversoir frontal équivalent a donc été utilisé afin de retranscrire au mieux le comportement hydraulique de l'ouvrage.

Le coefficient de déversoir pris en compte est de 0,385 comme indiqué dans l'étude hydraulique initiale; l'effet de l'ennoisement par l'aval du seuil étant pris en compte par le logiciel.

Le coefficient de rugosité de l'évacuateur est pris égal à 50 (terre enherbée).

6.2 Vérification de l'évacuateur lors de la crue exceptionnelle

Un débit de $58,30 \text{ m}^3/\text{s}$ est spécifié comme débit à évacuer pour la crue exceptionnelle (Q3000).

La revanche est assurée par rapport à la crête (0,93 m) mais est légèrement inférieur à la revanche minimale préconisée pour se prémunir des vagues (1,3 m).

La revanche au sein du coursier est assurée, cependant la revanche en aval du coursier n'est pas assurée et un léger débordement est même observé. Ce débordement est minime et est situé dans l'affluent à plus de 75 m en aval de la digue, il ne présente donc pas de dangers pour la sécurité de l'ouvrage.

La figure et le tableau ci-dessous présentent les résultats obtenus pour l'ensemble du profil :

Figure 8 : Ligne d'eau dans l'évacuateur de crue lors d'une crue exceptionnelle (Q3000)

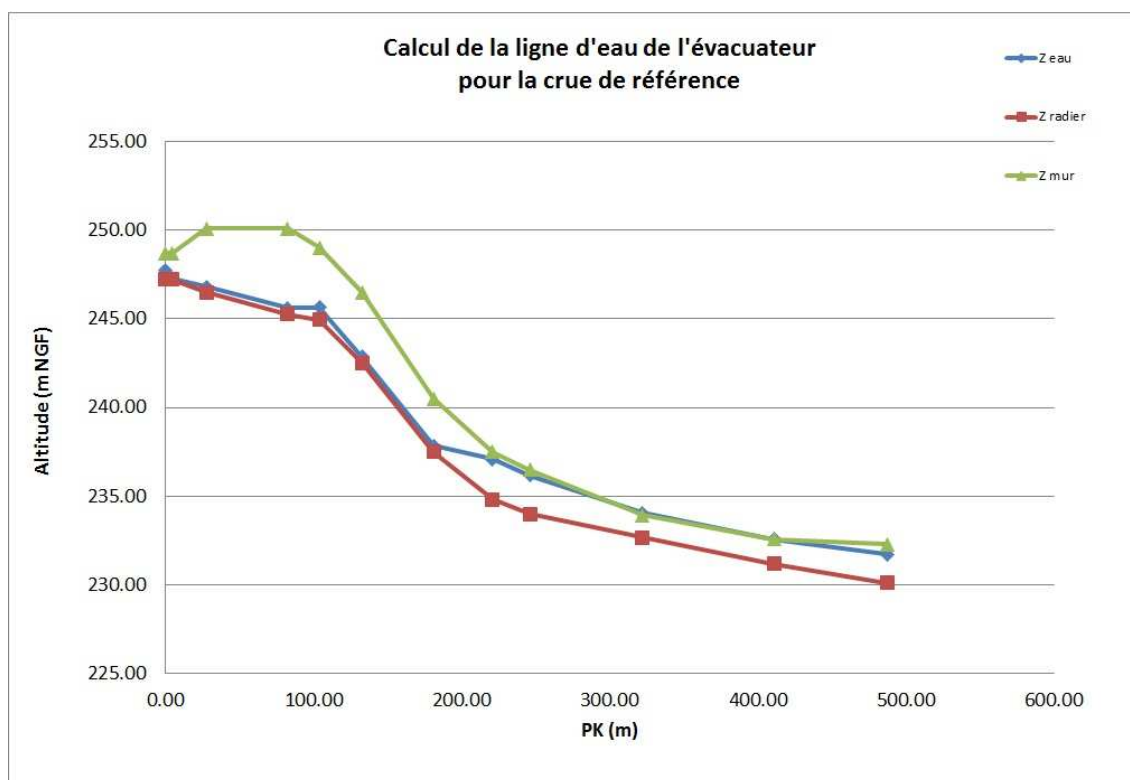
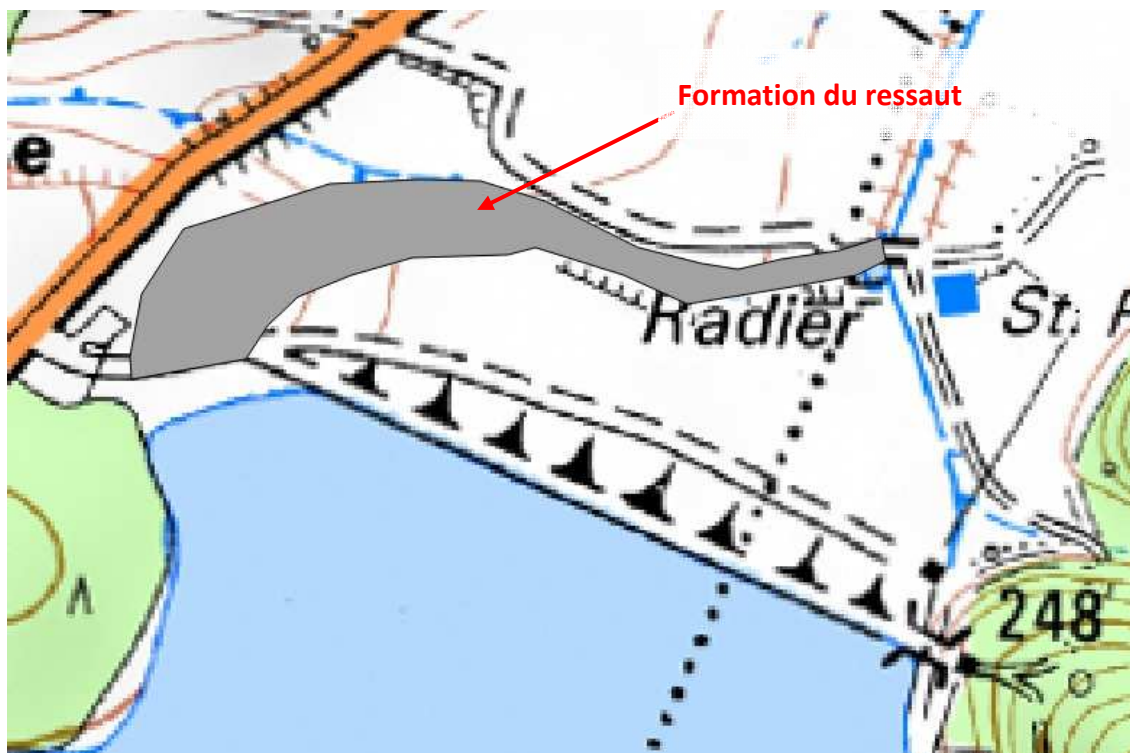


Tableau 4 : Résultats de la modélisation de l'évacuateur secondaire pour la crue exceptionnelle

Géométrie évacuateur						Hydraulique					
D m	PK m	Z radier m NGF	L radier m	Z mur m NGF	H mur m	H eau m	Z eau m NGF	Vitesse m/s	N Froude	Revanche mini recommandée(m)	Revanche (m)
5	0.00	247.20	80.00	248.70	1.50	0.53	247.73	0.88	0.31	0.64	-0.97
23	5.00	247.20	80.00	248.70	1.50	0.08	247.28	1.93	1.00	0.64	-1.42
55	28.00	246.50	73.00	250.10	3.60	0.30	246.80	2.68	1.57	0.69	-3.30
21.5	83.00	245.25	49.00	250.10	4.85	0.36	245.61	3.29	1.74	0.72	-4.49
28.5	104.50	244.95	33.00	249.00	4.05	0.68	245.63	2.60	1.01	0.71	-3.37
48.5	133.00	242.50	26.00	246.50	4.00	0.37	242.87	6.06	3.18	0.82	-3.63
39.5	181.50	237.50	24.00	240.50	3.00	0.33	237.83	7.31	4.05	0.85	-2.67
25.5	221.00	234.80	16.00	237.50	2.70	2.27	237.07	1.61	0.34	0.71	-0.43
76	246.50	234.00	8.00	236.50	2.50	2.18	236.18	4.23	1.00	0.87	-0.32
88.51	322.50	232.66	8.00	233.92	1.26	1.38	234.04	6.35	1.89	0.95	0.12
76.50	411.01	231.17	8.00	232.57	1.40	1.40	232.57	6.40	1.91	0.96	0.00
	487.51	230.12	8.00	232.30	2.18	1.59	231.71	6.01	1.65	0.95	-0.59

La vue en plan ci-après présente la localisation du ressaut dans l'évacuateur secondaire, celui-ci est situé à environ 80 m du pied de talus aval. Le ressaut se forme lorsque le coursier rejoint le cours d'un affluent rive gauche de l'Arrats en contre-bas de la digue.

Figure 9 : Vue en plan de l'évacuateur de crues secondaire



6.3 Vérification de l'évacuateur lors de la crue extrême

Un débit de $98,49 \text{ m}^3/\text{s}$ est spécifié comme débit à évacuer pour la crue extrême (Q 30 000).

La revanche au sein du coursier est assurée, cependant la revanche en aval du coursier n'est pas assurée et un débordement continu d'environ 50 cm est observé. Ce débordement est situé dans l'affluent à plus de 75 m en aval de la digue, il ne présente donc pas de danger immédiat pour la sécurité de l'ouvrage.

La figure et le tableau ci-dessous présentent les résultats obtenus pour l'ensemble du profil :

Figure 10 : Ligne d'eau dans l'évacuateur de crue lors d'une crue extrême (Q30 000)

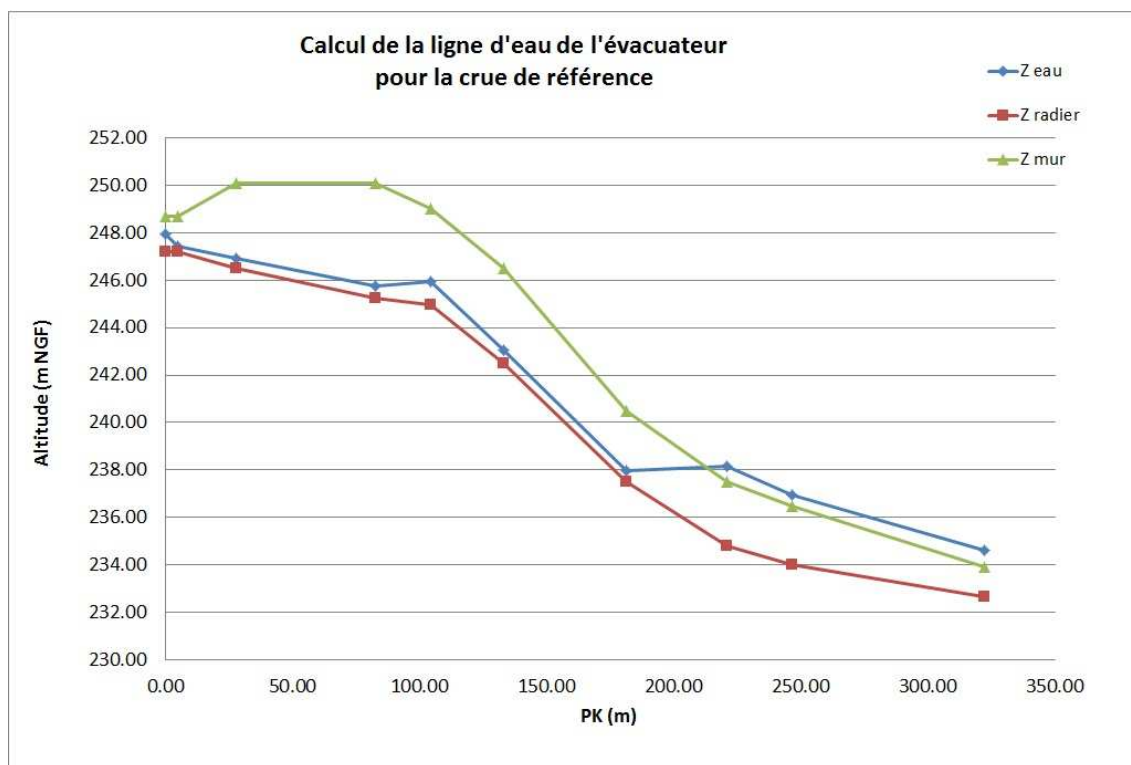


Tableau 5 : Résultats de la modélisation de l'évacuateur secondaire pour la crue extrême

Géométrie évacuateur						Hydraulique				
D m	PK m	Z radier m NGF	L radier m	Z mur m NGF	H mur m	H eau m	Z eau m NGF	Vitesse m/s	N Froude	Revanche (m)
5	0.00	247.20	80.00	248.70	1.50	0.73	247.93	1.20	0.38	-0.77
23	5.00	247.20	80.00	248.70	1.50	0.24	247.44	2.30	1.00	-1.26
55	28.00	246.50	73.00	250.10	3.60	0.42	246.92	3.18	1.56	-3.18
21.5	83.00	245.25	49.00	250.10	4.85	0.51	245.76	3.91	1.74	-4.34
28.5	104.50	244.95	33.00	249.00	4.05	0.97	245.92	3.09	1.00	-3.08
48.5	133.00	242.50	26.00	246.50	4.00	0.55	243.05	6.83	2.93	-3.45
39.5	181.50	237.50	24.00	240.50	3.00	0.47	237.97	8.72	4.06	-2.53
25.5	221.00	234.80	16.00	237.50	2.70	3.37	238.17	1.83	0.32	0.67
76	246.50	234.00	8.00	236.50	2.50	2.96	236.96	4.95	1.00	0.46
88.51	322.50	232.66	8.00	233.92	1.26	1.94	234.60	7.22	1.77	0.68
76.50	411.01	231.17	8.00	232.57	1.40	1.92	233.09	7.45	1.85	0.52
	487.51	230.12	8.00	232.30	2.18	2.17	232.29	6.99	1.68	-0.01

7 DETERMINATION DE LA COTE DE DANGER

La cote de danger correspond à la cote au-delà de laquelle l'ouvrage risque de subir des dégâts majeurs pouvant conduire rapidement à la rupture. L'atteinte de cette cote constitue un état ultime pour l'ouvrage.

Pour le barrage de l'Astarac, la **cote de danger** correspond à la **cote de la crête** soit la cote 248,7 m NGF. On observe un déversement continu sur la crête (sans observer de débordement dans l'évacuateur de crues) pour une crue 2,55 fois plus importante que la crue exceptionnelle.

8 VERIFICATION DE L'ORGANE DE VIDANGE RAPIDE

L'organe de vidange rapide est constitué de :

- Une vanne murale DN 1200 amont,
- une conduite de 110 m de longueur et de diamètre nominal 1200 mm traversant le corps du barrage,
- une vanne murale de DN 1200 aval,

Le calcul hydraulique pour la vérification de la durée de vidange rapide est détaillé ci-dessous :

Figure 11 : Calculs du temps de vidange rapide

Vérification de l'organe de vidange rapide du barrage

Caractéristiques générales du barrage					
Cote fond de cuvette	=	236.00	NGF	Diamètre conduite	= 1 200 mm
Hauteur d'eau	=	10.20	m	Longueur conduite	= 108.35 m
Capacité	=	9 980 000.00	m ³	λ	= 0.013
Superficie retenue	=	180.00	ha	K entrée + grilles	= 1.31
Cote restitution	=	230.90	NGF	K aval	= 1.00
Charge	=	15.30	m	K vannes	= -
				Vitesse conduite	= 9.28 m/s
				Perte de charge	= 15.30 m

Paramètres de la loi Ve(z)

n	=	0.840
k	=	256 078

Débit maximal = 10.498 m³/s

Temps de vidange

Volume restant (m ³)	Temps (j)	Temps cumul	Vitesse descente (m/j)
-	0.50	14	
144 361	0.92	14	1.11
516 714	1.15	13	0.88
1 089 435	1.32	12	0.77
1 849 475	1.46	10	0.70
2 788 251	1.58	9	0.64
3 899 420	1.68	7	0.61
5 177 983	0.25	6	0.57
4 990 000	2.01	6	0.58
6 619 835	1.86	4	0.55
8 221 507	1.94	2	0.53
9 980 000			

moitié du volume de la retenue (m³): 4 990 000
 débit moyen pour vidange en 8 jours (m³/s): 7.22

Le débit maximal de la vidange est de 10,5 m³/s et le temps nécessaire pour vider la moitié de la retenue de l'Astarac est de 6 jours, durée inférieure aux 8 jours réglementaires.

L'organe de vidange rapide du barrage de l'Astarac est donc correctement dimensionné.

9 CONCLUSION

Le dispositif actuel d'évacuation des crues est globalement largement dimensionné et assure un fonctionnement satisfaisant dans l'ensemble des organes étudiés :

- Les revanches minimales dans le coursier sont respectées pour la crue exceptionnelle de période de retour 3 000 ans ;
- La condition de non débordement le long du coursier et en crête du barrage est respectée pour la crue extrême de période de retour 30 000 ans.
- La cote de danger (crête du barrage) est atteinte pour une crue 2,55 fois plus importante que la crue exceptionnelle.
- L'organe de vidange rapide est correctement dimensionné.

Seule la revanche minimale en crête n'est pas respectée pour la crue exceptionnelle. En effet, la revanche par rapport à la crête est de 0,94 m alors que la revanche minimale préconisée est de 1,3 m pour se prémunir contre l'effet des vagues. Afin de palier à ce problème, nous préconisons l'installation d'un pare vague d'une hauteur minimale 0,4 m placé en crête de digue.



**ANNEXE 5 : ETUDE DE L'ONDE DE SUBMERSION EN CAS DE RUPTURE DU BARRAGE
DE L'ASTARAC**



Etude de l'onde de submersion En cas de rupture du barrage De l'Astarac (32)



Barrage de l'Astarac

Décembre 2014

1	PREAMBULE.....	4
2	CALCUL DE PROPAGATION D'ONDE DE SUBMERSION EN CAS DE RUPTURE SOUS RUBAR3.....	6
3	CARACTERISTIQUES DU SITE.....	7
3.1	CONTEXTE HYDROGRAPHIQUE	7
3.2	CONTEXTE LOCAL ET RISQUES INDUITS	7
4	CARACTERISTIQUES PRINCIPALES DU BARRAGE.....	8
5	DEBITS DE REFERENCE DANS LA VALLEE DE L'ARRATS.....	9
5.1	DONNEES HYDROLOGIQUES	9
5.2	CONNAISSANCE DU RISQUE D'INONDATION DANS LA VALLEE.....	12
6	CALCUL DE L'ONDE DE RUPTURE	13
6.1	DESCRIPTION ET MODELISATION DE LA VALLEE	13
6.2	OUVRAGES EN TRAVERS.....	18
6.3	COEFFICIENTS DE STRICKLER.....	20
6.4	CONDITIONS AUX LIMITES	20
6.5	CONDITIONS INITIALES	20
7	CALCUL DE LA RUPTURE.....	21
8	PROPAGATION DE L'ONDE DE RUPTURE : ANALYSE ET INTERPRETATION DES RESULTATS.....	22
8.1	RESULTATS NUMERIQUES.....	22
8.2	ANALYSE	23
8.3	ESTIMATION DES DOMMAGES.....	28
9	CONCLUSION	38

Liste des tableaux

Tableau 1 : Stations hydrométriques du bassin	9
Tableau 2 : Débits caractéristiques aux stations hydrométriques	11
Tableau 3 : Débits caractéristiques	11
Tableau 4 : Connaissance du risque d'inondation dans la vallée	12
Tableau 5 : Evolution du débit maximum et du temps d'arrivée de l'onde de rupture	25
Tableau 6 : Comparaison des débits de pointe en cas de rupture du barrage et des débits de crues de l'Arrats	26
Tableau 7 : Niveaux d'eau et vitesses maxima dans la vallée	27
Tableau 8 : Bâti inclus dans la zone maximale submergée en cas de rupture	29
Tableau 9 : Etablissements recevant du public impactés par l'onde de rupture	33
Tableau 10 : Estimation de la population résidente impactée.....	34
Tableau 11 : Estimation de la population non permanente exposée.....	35
Tableau 12 : Population exposée en fonction de la cinétique d'inondation	36
Tableau 13 : Tableau de synthèse des résultats.....	37

Liste des figures

Figure 1 : Carte de localisation	5
Figure 2 : Retenue de l'Astarac	8
Figure 3 : Bassins versants et stations hydrométriques	10
Figure 4 : Profil en long à l'aval du barrage.....	13
Figure 5 : Profils en travers modélisés, vue 1.....	14
Figure 6 : Profils en travers modélisés, vue 2.....	15
Figure 7 : Profils en travers modélisés, vue 3.....	16
Figure 8 : Profils en travers modélisés, vue 4.....	17
Figure 9 : Photos de la vallée	18
Figure 10 : Brèche dans un barrage au Maroc (photo FM-CACG)	21
Figure 11 : Débit maximum	24
Figure 12 : Arrivée des fronts.....	24
Figure 13 : Communes impactées en cas de rupture du barrage, vue 1.....	30
Figure 14 : Communes impactées en cas de rupture du barrage, vue 2.....	31
Figure 15 : Communes impactées en cas de rupture du barrage, vue 3.....	32

1 PREAMBULE

Le barrage de l'Astarac est construit sur le cours de l'Arrats au niveau de la confluence de l'Arrat de devant et de derrière. Il conflue ensuite avec la Garonne. Il se situe dans le département du Gers. Mis en eau en 1976, il a une double vocation agricole et soutien d'étiage.

Ses caractéristiques géométriques sont les suivantes :

- barrage en remblai homogène,
- de hauteur 16.2 m,
- d'une longueur en crête de 494 m
- pouvant stocker 10 Mm³ en plan d'eau normal,

le classent parmi les ouvrages de catégorie B conformément au décret n°2007-1735 du 11 décembre 2007 relatif à la sécurité des ouvrages hydrauliques.

Aussi, la réalisation de l'étude de dangers en vertu de *l'arrêté du 12 juin 2008 définissant le plan de l'étude de dangers des barrages et des digues et en précisant le contenu* est exigée. Elle comprend l'étude de l'onde de submersion en cas de rupture, objet du présent rapport.

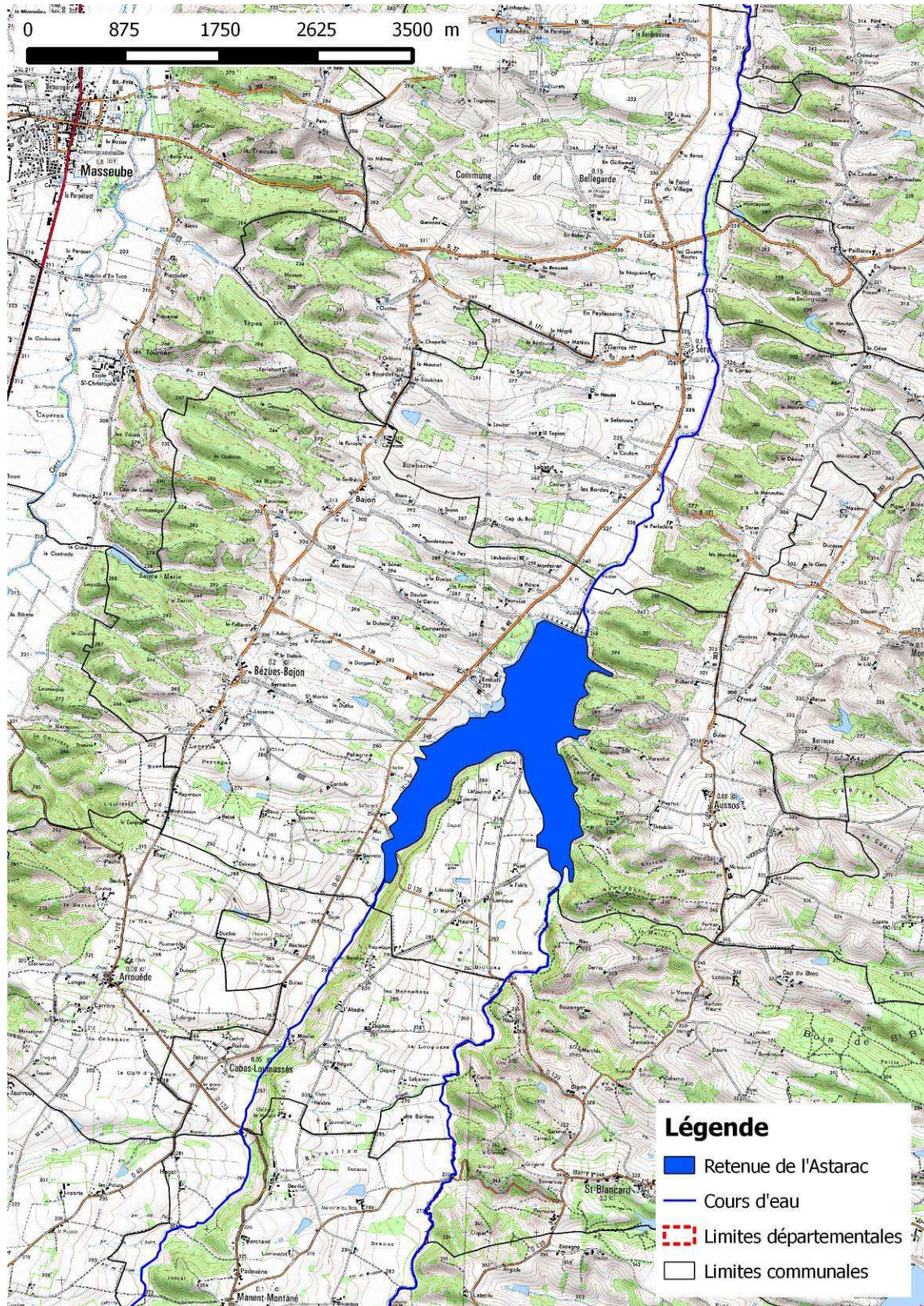
On s'attache, dans ce qui suit, à

- quantifier l'hydrogramme résultant de la rupture du barrage,
- définir le risque maximal lié à cet événement en tout point de la vallée.

A cet effet, une modélisation de la vallée et des ouvrages a été réalisée sous le logiciel RUBAR3 développé par l'IRSTEA (ancien CEMAGREF). Les hypothèses de calcul et résultats sont exposés ci-après.

La carte suivante localise la retenue de l'Astarac dans son contexte hydrographique.

Figure 1 : Carte de localisation



2 CALCUL DE PROPAGATION D'ONDE DE SUBMERSION EN CAS DE RUPTURE SOUS RUBAR3

Le logiciel RUBAR3, développé par l'IRSTEA (ancien CEMAGREF), est couramment utilisé pour le calcul d'onde de rupture de barrage dans le cadre de l'établissement des plans d'alerte réglementairement exigés en France pour les grands barrages.

Il permet le calcul de lignes d'eau pour des écoulements mono-dimensionnels dans un bief. Il est particulièrement bien adapté aux régimes transitoires rapides avec d'éventuelles alternances de conditions fluviales ou torrentielles. A ce titre, sa première utilisation possible est le calcul de propagation d'onde de rupture de barrage. Il peut aussi être employé pour la simulation de tous types de crues naturelles, son domaine d'application privilégié restant les crues rapides.

En matière de propagation d'onde, le logiciel permet de simuler la propagation d'une onde issue soit d'une rupture instantanée de barrage (on partira d'un "mur d'eau"), soit d'une rupture progressive (pour laquelle l'hydrogramme au droit du barrage est soit connu ou calculé par d'autres logiciels tels RUPRO du CEMAGREF, soit calculé par RUBAR3 si le barrage est décrit au sein du modèle comme un ouvrage hydraulique particulier).

3 CARACTERISTIQUES DU SITE

3.1 Contexte hydrographique

L'Arrat de devant et de derrière prennent leur source dans le département des Hautes-Pyrénées sur la commune de Betbèze à respectivement 350 et 410 m d'altitude. L'Arrat de devant est également réalimenté par le canal de la Gimone qui prend sa source dans le canal de la Neste au niveau de la commune de Lannemezan.

La retenue de l'Astarac est formée par un barrage construit sur le cours de l'Arrats environ 1 km après la confluence de l'Arrat de devant et de celui de derrière. A l'aval du barrage, l'Arrats s'écoule dans une vallée agricole orientée Sud / Nord. Il rejoint la Garonne à environ 120 km à l'aval du barrage.

Le barrage de l'Astarac intercepte un bassin versant de 50 km². L'Arrats draine un bassin versant de 600 km² à la station hydrométrique de Saint-Antoine et de 620 km² à sa confluence à la Garonne.

De la retenue de l'Astarac à l'altitude 232 m NGF où le bassin versant mesure 50 km² à la confluence à la Garonne à l'altitude 50 m NGF, l'Arrats parcourt environ 120 km dans une vallée ouverte, asymétrique avec un versant rive droite plus abrupt. La vallée est à forte dominante agricole avec quelques secteurs urbanisés (Castelanu-Barbarens, Aubiet, Mauvezin, Saint-Clar) jusqu'à la confluence à la Garonne.

3.2 Contexte local et risques induits

Le barrage de l'Astarac a été mis en eau en 1976, il s'agit d'un barrage de Classe B suivant le classement des barrages défini par l'arrêté du 11 décembre 2007. En remblai homogène, d'une hauteur de 16,2 m (cote minimale de la crête 248,7 m NGF) au-dessus du terrain naturel et d'une longueur en crête de 494 m, il crée une retenue artificielle de 10 Mm³.

Ce barrage dispose d'un évacuateur de crue central en béton armé de 16,4 m de long et d'un évacuateur secondaire latéral de 80 m de long. La cote du plan d'eau normal est à 246,2 m NGF pour une surface de 180 ha.

A l'aval du barrage, l'Arrats parcourt environ 120 km jusqu'à la confluence à la Garonne. La modélisation s'étendra sur environ 85 km en aval du barrage.

D'abord très encaissé notamment en rive droite, la vallée s'élargit ensuite progressivement jusqu'aux principaux centres d'enjeux : Castelanu-Barbarens (PK24), Aubiet (PK35), Mauvezin (PK49) et Saint-Clar (PK78).

Entre ces principaux points d'enjeux, la vallée est à dominante rurale avec un habitat dispersé concentré près des principaux axes de communication que sont la D40 jusqu'à Aubiet puis la D928 ensuite.

4 CARACTERISTIQUES PRINCIPALES DU BARRAGE

Le barrage de l'Astarac crée une retenue de 10 Mm³ pour une surface du plan d'eau normal de 180 ha.

Ce barrage de 16,2 m de haut maximum est construit en remblai homogène de terre compactée. La digue mesure 494 m de long en crête.

La cote de plan d'eau normal (PEN) est à 246,2 m NGF, la cote des plus hautes eaux (PHE) à 247,74 m NGF et la crête (PHEE) à 248,7 m NGF.

Figure 2 : Retenue de l'Astarac



5 DEBITS DE REFERENCE DANS LA VALLEE DE L'ARRATS

5.1 Données hydrologiques

5.1.1 Stations hydrométriques

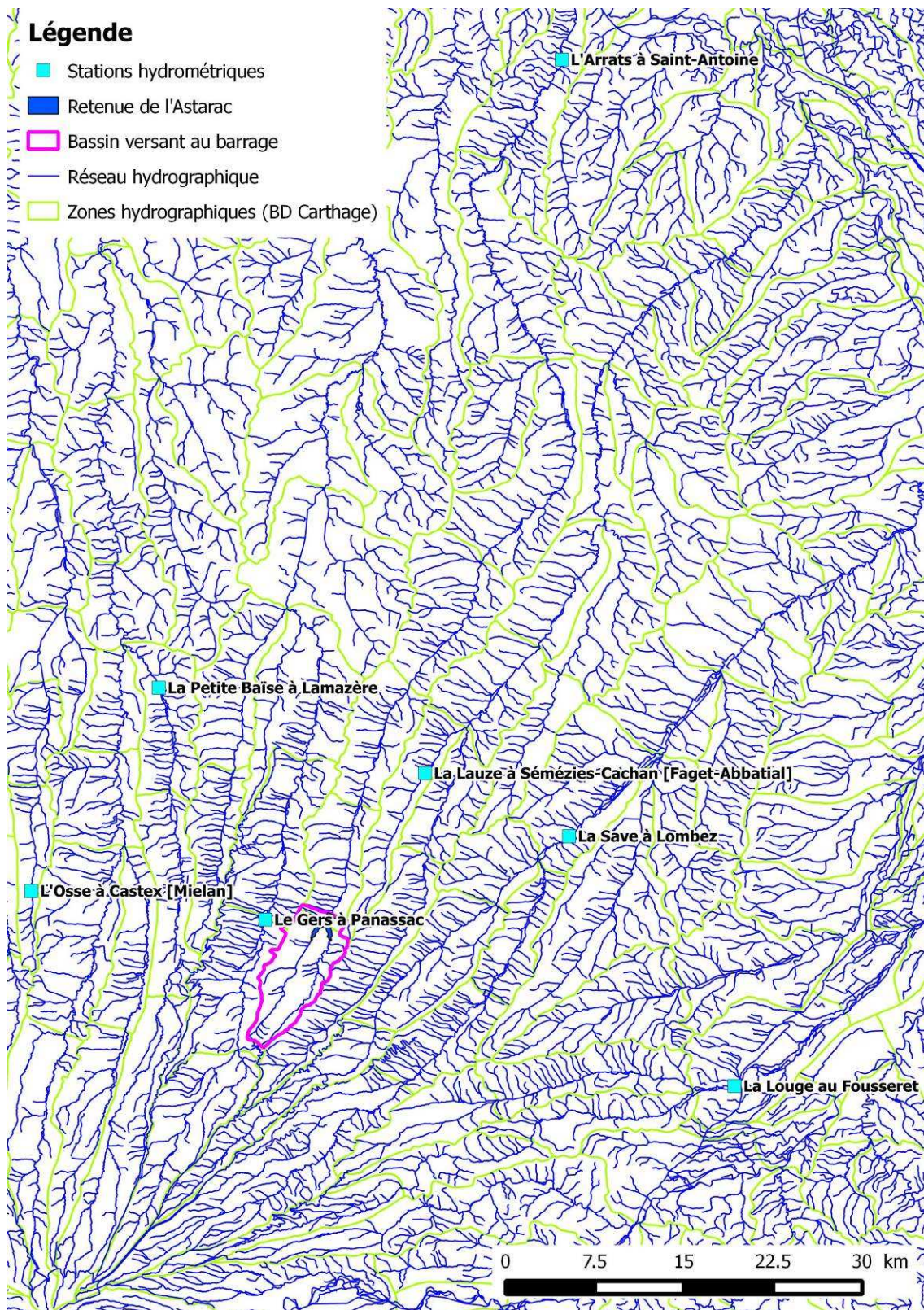
Le bassin versant de l'Arrats est équipé de plusieurs stations hydrométriques, cependant seule la station de Saint-Antoine possède des données de débit. De plus, plusieurs cours d'eau voisins possédant des caractéristiques similaires possèdent une station hydrométrique sur leur cours.

On récapitule dans le tableau suivant les caractéristiques principales des stations que la carte en Figure 3 localise.

Tableau 1 : Stations hydrométriques du bassin

ID	LIEU	BASSIN VERSANT (km ²)	PERIODE
O6804630	L'Osse à Castex	10.2	1965-2008
O2725010	La Lauze à Faget	36	1965-2009
O6212530	Le Gers à Panassac	159	1965-2006
O6574320	La Petite Baïse à Lamazere	205	1975-2011
O0964030	La Louge au Fousseret	272	1970-2010
O2462920	La Sabe à Lombez	424	1965-2006
O6094010	Saint-Antoine	600	1965-2010

Figure 3 : Bassins versants et stations hydrométriques



5.1.2 Débits caractéristiques aux stations

Pour ces stations, les fiches de synthèse de la banque Hydro donnent, entre autres, le module interannuel et les débits caractéristiques des crues calculés à partir d'un ajustement d'une loi de Gumbel à la chronique disponible.

Tableau 2 : Débits caractéristiques aux stations hydrométriques

Cours d'eau	Lieu	Source	BV (km ²)	Module (m ³ /s)	Débit de crue (m ³ /s)			
					10 ans	20 ans	50 ans	100 ans (*)
Osse	Castex	Banque Hydro	10.2	0.097	12	14	17	19
Lauze	Faget	Banque Hydro	36	0.211	25	30	37	42
Gers	Panassac	Banque Hydro	159	2.25	100	120	140	156
Petite Baise	Lamazere	Banque Hydro	205	2.32	60	69	81	90
Louge	Fousseret	Banque Hydro	272	1.7	75	86	100	110
Save	Lombez	Banque Hydro	424	3.71	190	220	260	289
Arrats	Saint-Antoine	Banque Hydro	600	2.62	60	72	87	100

(*) Estimation sommaire à partir des débits des fréquences inférieures reportés sur le graphe de Gumbel

5.1.3 Débits caractéristiques des crues de l'Arrats

Pour déterminer les débits de crue de l'Arrats, on applique un pro-rata par rapport à la surface aux données de Saint-Antoine.

Tableau 3 : Débits caractéristiques

Cours d'eau	L'Arrats	
	au barrage	à Saint-Antoine
Bassin versant (km ²)	50	600
Crues	QIX (débit instantané maximal en m ³ /s)	
10 ans	10	60
20 ans	13	72
50 ans	15	87
100 ans(*)	17	100

(*) Estimation sommaire à partir des débits des fréquences inférieures reportés sur le graphe de Gumbel

5.2 Connaissance du risque d'inondation dans la vallée

Du barrage de l'Astarac à la commune de Saint-Clar, l'Arrats s'écoule dans le département du Gers.

Ce département n'est pas intégralement couvert par un plan de prévention des risques naturels d'inondation. D'après le portail des risques (www.Prim.net), toutes les communes traversées sont concernées par le risque inondation et disposent d'un atlas des zones inondables mais seules les communes situées en amont de Homps possèdent un Plan de Prévention du Risque inondation (PPRi).

De plus la commune d'Aubiet possède un PPRi propre à la ville qui a été approuvé le 16/01/2001.

On joint ci-après la synthèse de l'état actuel de connaissance du zonage d'inondation sur le secteur d'étude d'amont en aval.

Tableau 4 : Connaissance du risque d'inondation dans la vallée

N° INSEE	NOM COMMUNE	PPRi	AZI
32053	Bézues-Bajon	Arrats-Gimone Sud prescrit le 07/12/2011	Lannemezan
32468	Aussos	Arrats-Gimone Sud prescrit le 07/12/2011	Lannemezan
32430	Sère	Arrats-Gimone Sud prescrit le 07/12/2011	Lannemezan
32041	Bellegarde	Arrats-Gimone Sud prescrit le 07/12/2011	Lannemezan
32266	Moncorneil	Arrats-Gimone Sud prescrit le 07/12/2011	Lannemezan
32438	Tachaires	Arrats-Gimone Sud prescrit le 07/12/2011	Lannemezan
32267	Monferran-Pachès	Arrats-Gimone Sud prescrit le 07/12/2011	Lannemezan
32186	Lamaguère	Arrats-Gimone Sud prescrit le 07/12/2011	Lannemezan
32130	Faget-Abbatial	Arrats-Gimone Sud prescrit le 07/12/2011	Lannemezan
32198	Lartigue	Arrats-Gimone Sud prescrit le 07/12/2011	Lannemezan
32076	Castelnau-Barbarens	Arrats-Gimone Sud prescrit le 07/12/2011	Lannemezan
32221	Lussan	Arrats-Gimone Sud prescrit le 07/12/2011	Lannemezan
32157	L'Isle-Arné	Arrats-Gimone Centre prescrit le 07/12/2011	Lannemezan
32012	Aubiet	Arrats-Gimone Centre prescrit le 07/12/2011 Aubiet approuvé le 16/01/2001	Lannemezan
32056	Blanquefort	Arrats-Gimone Centre prescrit le 07/12/2011	Lannemezan
32406	Saint-Sauvy	Arrats-Gimone Centre prescrit le 07/12/2011	Lannemezan
32359	Saint Antonin	Arrats-Gimone Centre prescrit le 07/12/2011	Lannemezan
32249	Mauvezin	Arrats-Gimone Centre prescrit le 07/12/2011	Lannemezan
32269	Monfort	Arrats-Gimone Centre prescrit le 07/12/2011	Lannemezan
32154	Homps	Arrats-Gimone Centre prescrit le 07/12/2011	Lannemezan
32055	Bivès	-	Lannemezan
32452	Tournecoupe	-	Lannemezan
32023	Avezan	-	Lannemezan
32370	Saint-Clar	-	Lannemezan

6 CALCUL DE L'ONDE DE RUPTURE

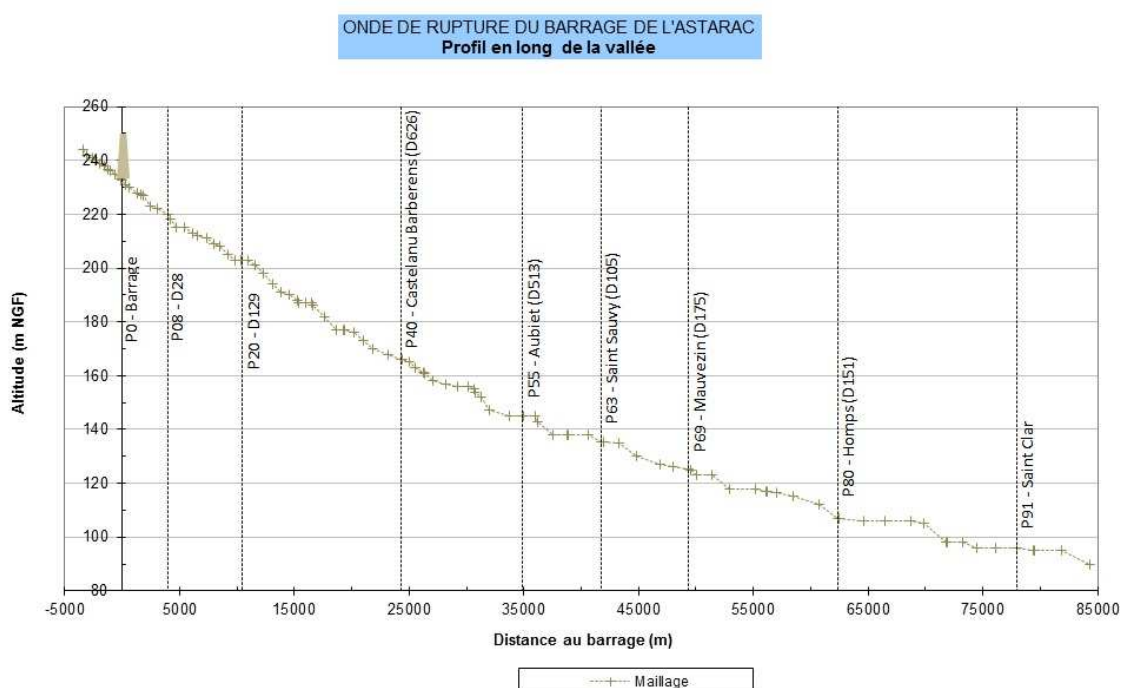
6.1 Description et modélisation de la vallée

L'onde de rupture à l'aval du barrage de l'Astarac se propagerait dans la vallée de l'Arrats jusqu'à la commune de Saint-Clar, 84 km en aval où celle-ci aura été atténuée par la distance.

Considérant les enjeux présents dans la vallée de l'Arrats, le linéaire modélisé s'étend sur 85 km entre le barrage et la commune de Saint-Clar.

Le graphe ci-dessous illustre le profil en long de la vallée à l'aval du barrage.

Figure 4 : Profil en long à l'aval du barrage



Au départ, 106 profils (cf. Figure 5, Figure 6, Figure 7 et Figure 8) ont été montés à partir de données de 2 types :

- le fond de plan IGN SCAN 25,
- un modèle numérique de terrain de la vallée (MNT NEXTMap®) au pas de 5 m avec une précision altitudinale de l'ordre de 1 m pour des pentes inférieures à 10% et une précision horizontale de 2 m.

Une interpolation permet d'aboutir au nombre final de 446 profils espacés tous les 200 m environ, répartis entre la queue de retenue et Saint-Clar (PK84).

Figure 5 : Profils en travers modélisés, vue 1

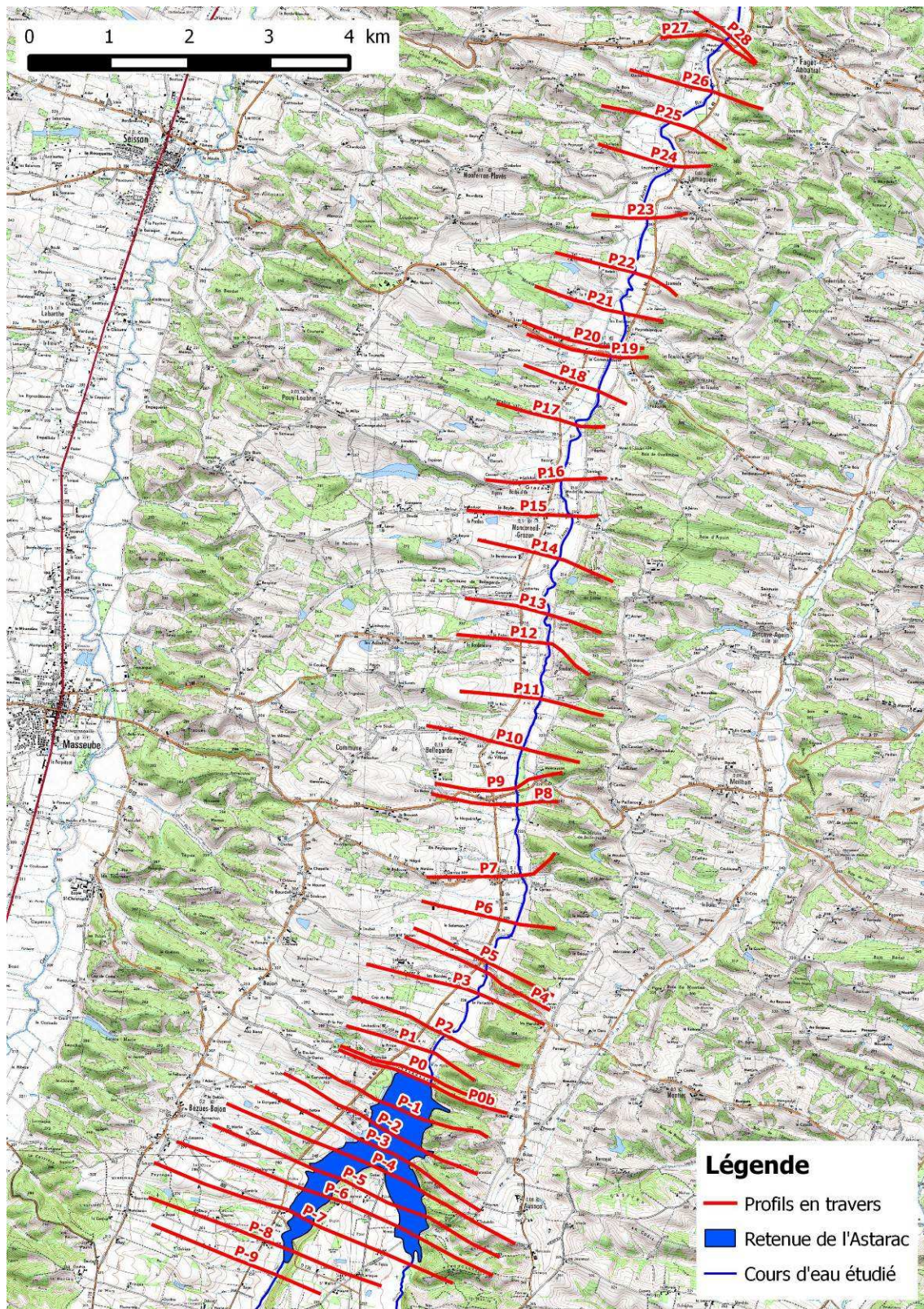


Figure 6 : Profils en travers modélisés, vue 2

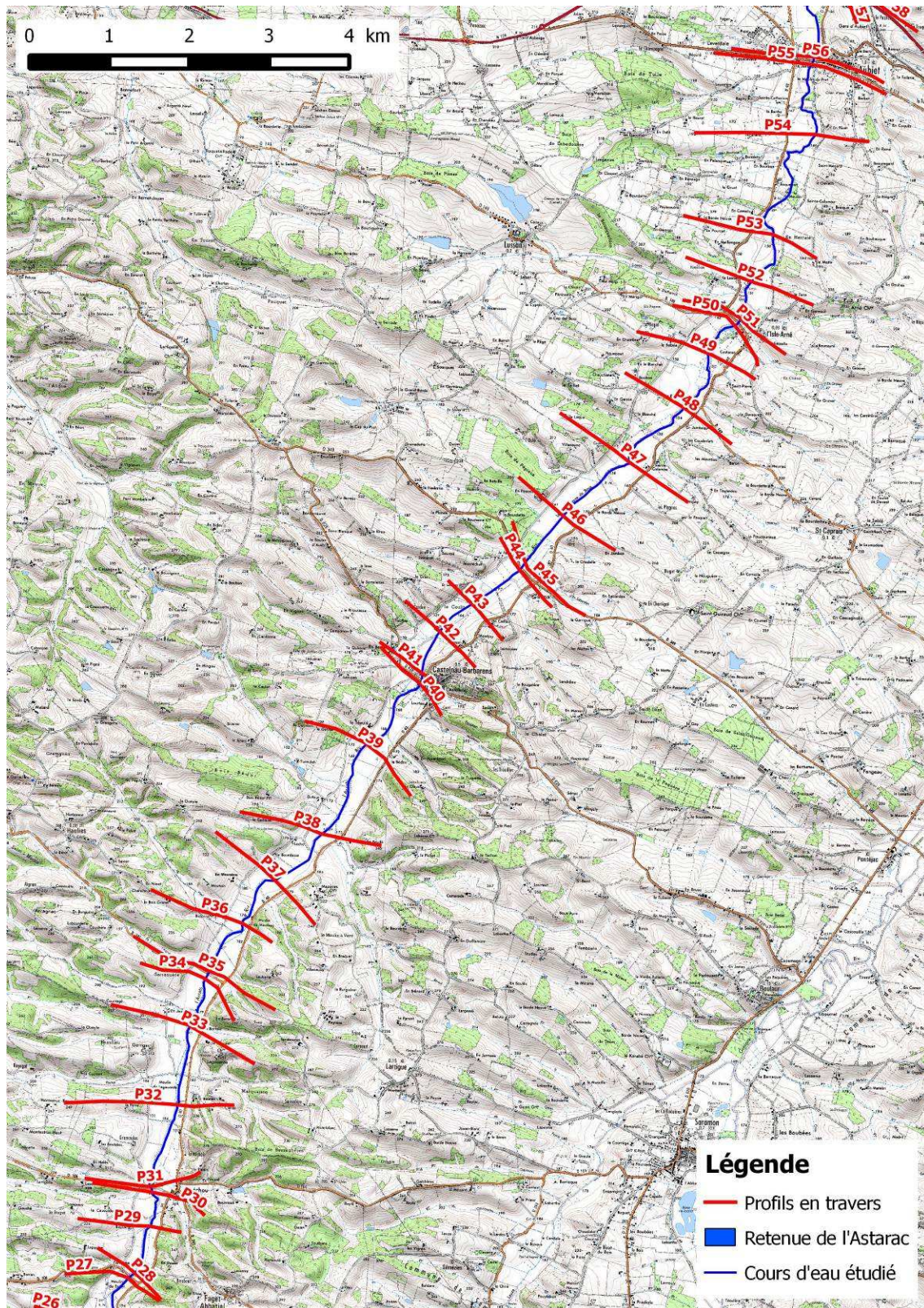


Figure 7 : Profils en travers modélisés, vue 3

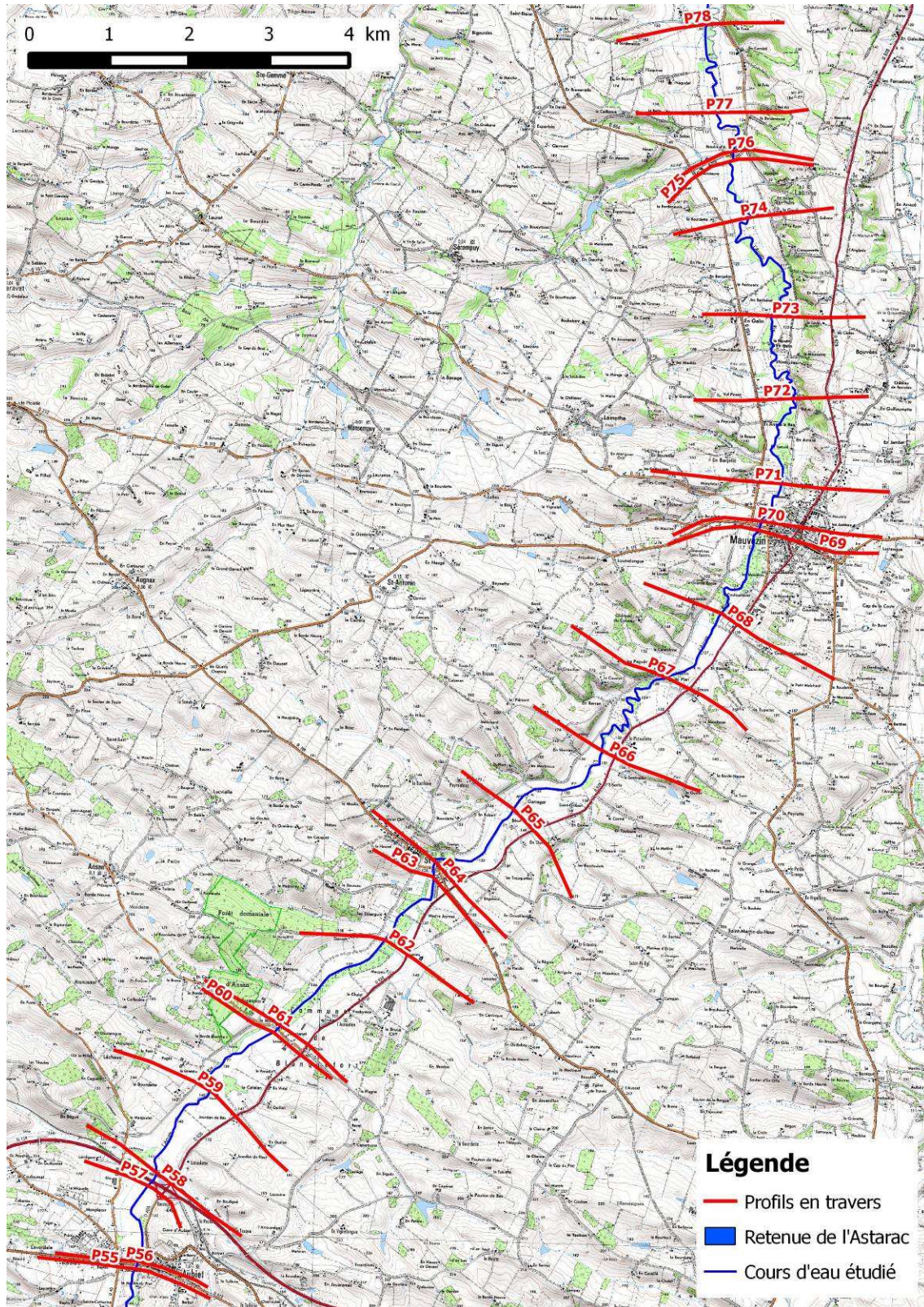
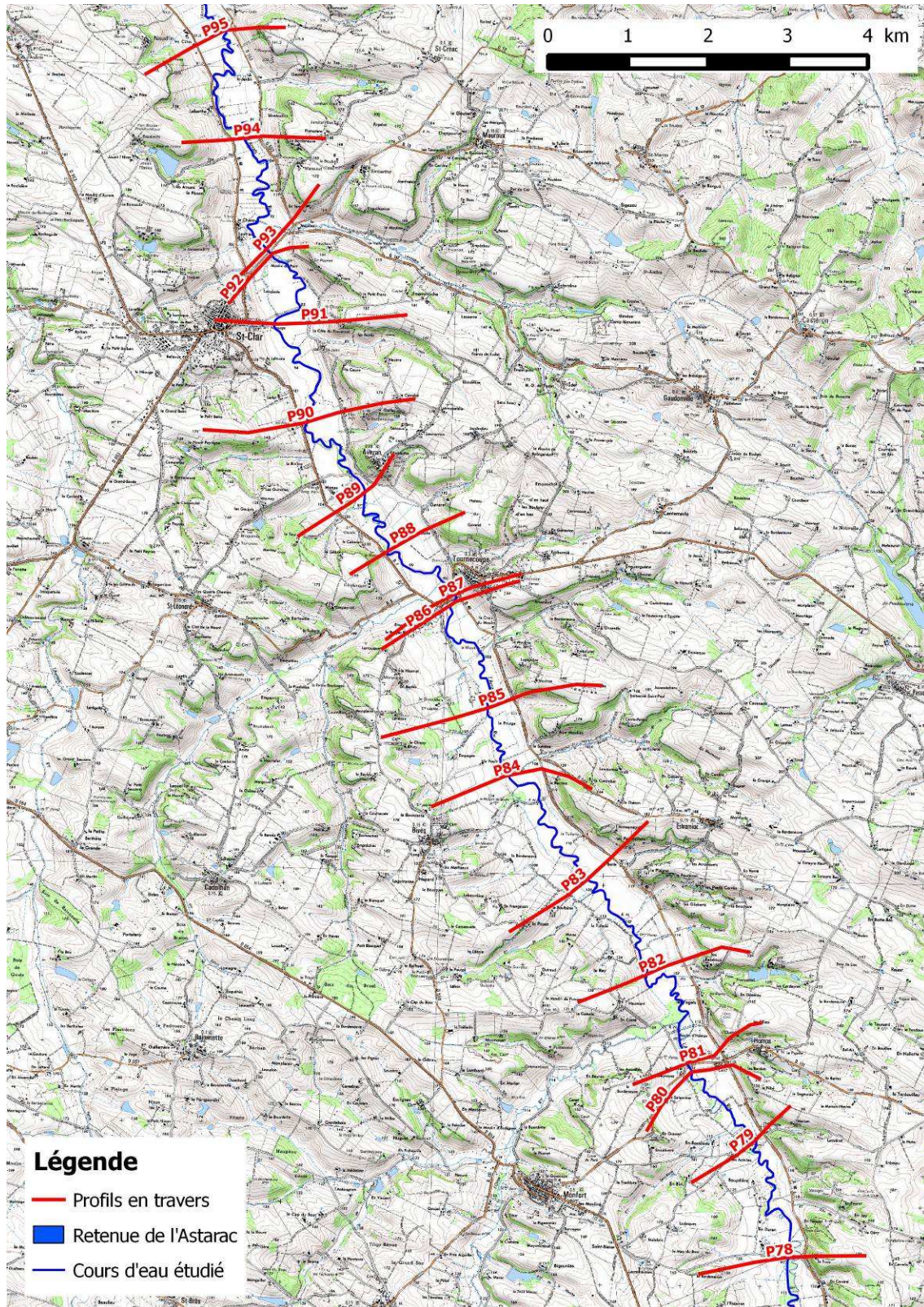


Figure 8 : Profils en travers modélisés, vue 4



6.2 Ouvrages en travers

6.2.1 Barrage

Le barrage de l'Astarac constitue le premier ouvrage en travers de la vallée modélisée.

Il s'agit d'un ouvrage en remblai homogène de matériaux argileux de 16,2 m de haut, 5 m de largeur en crête et 98 m en pied. Sa cote PEN est à 246,2 m NGF pour 247,74 m NGF à PHE et 248,7 m NGF en crête.

6.2.2 Vallée

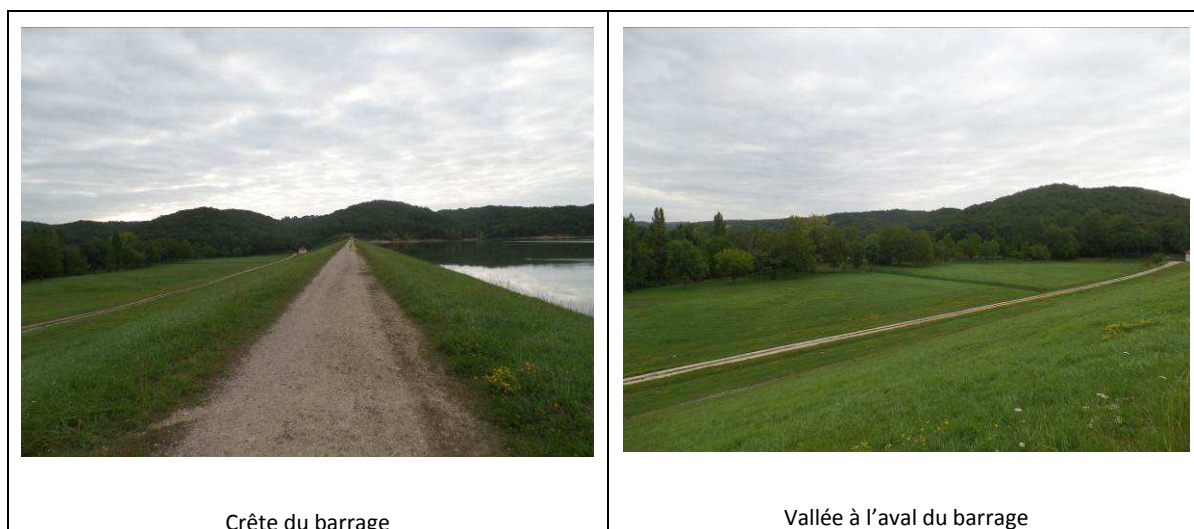
De la retenue de l'Astarac à la commune de Saint-Clar, plusieurs routes départementales et communales franchissent la vallée :

- Routes nationales : 1 franchissement (N214),
- routes départementales : 17 franchissements,
- voies communales : 15 franchissements.

Au total, 33 ponts traversent la rivière sur le secteur d'étude. Les ouvrages ne sont pas intégrés au modèle, on considère seulement l'éventuelle rehausse due au franchissement de la route, car ils rompent dès l'arrivée de l'onde.

Les photos ci-après donnent un aperçu de la vallée à l'aval du barrage.

Figure 9 : Photos de la vallée





Ouvrage sous la D171



Vallée en amont de la D171



Pont de la D106



Vallée en aval de la D106



Pont de la D175



Vallée en aval de la D175

6.3 Coefficients de Strickler

On définit par zone pour chaque profil 2 coefficients de Strickler : l'un pour le lit mineur, l'autre pour le lit moyen. Ils dépendent de la configuration de la rivière, de celle de la vallée et de l'occupation du sol. Pour les modèles d'onde de rupture, on emploie normalement :

- 30 à 40 pour une vallée ouverte,
- 20 à 30 pour une vallée encombrée,
- 15 dans les zones urbaines.

6.4 Conditions aux limites

La condition à la limite aval est donnée sous la forme du régime uniforme dans la dernière section modélisée.

En amont du modèle, on injecte un hydrogramme.

6.5 Conditions initiales

A $t=0$, les conditions initiales sont définies à chaque section par un couple hauteur d'eau / débit. On définit ainsi un débit faible et constant tout au long de la vallée et un tirant d'eau faible dans le lit mineur calculé à chaque profil après initialisation.

7 CALCUL DE LA RUPTURE

Le barrage de l'Astarac est du type remblai homogène constitué de matériaux argileux. Il comporte un déversoir de crue central, implanté sur le corps de la digue. Sa largeur en crête mesure 5 m pour 98 m maximum en pied. La longueur en crête est de 494 m et la hauteur de la digue est de 16,2 m hors sol.

Pour ce type de barrage, la rupture peut être engendrée :

- soit par la création de forts gradients dans la fondation, entraînant un renard ;
- soit par une surverse par-dessus la crête.

La rupture peut prendre de quelques minutes à plusieurs heures et être totale ou partielle. Pour ce type d'ouvrage, **le risque de rupture progressive due à un renard** se pose comme le plus vraisemblable. Il correspond, en raison de la rapidité de mise en œuvre du phénomène au scénario aux conséquences les plus critiques en termes de dégâts dans la vallée. On retiendra donc, pour le barrage de l'Astarac, l'hypothèse d'une **rupture par renard se produisant alors que le plan d'eau est à la cote des plus hautes eaux (PHE).**

Le début de la rupture a lieu au temps $t = 0$. Un exemple de brèche dans un barrage est présenté en Figure 10.

Figure 10 : Brèche dans un barrage au Maroc (photo FM-CACG)



Le débit maximum de rupture résultant à l'aval immédiat du barrage atteint $1373 \text{ m}^3/\text{s}$ en 1h36 après le début de la rupture. Voir Annexe 1.

8 PROPAGATION DE L'ONDE DE RUPTURE : ANALYSE ET INTERPRETATION DES RESULTATS

8.1 Résultats numériques

Tout d'abord, on vérifie la conservation de la masse : un calcul est considéré valable quand il génère une erreur en volume de l'ordre de 10^{-4} par rapport au volume qui a traversé le modèle.

Les résultats numériques issus du logiciel RUBAR3 donnent pour les points clés de la vallée et régulièrement pour les profils du maillage, les valeurs de :

- débit maximum : l'onde se propage dans la vallée en s'étalant, le débit maximum croît dans la retenue, atteint son maximum au barrage puis décroît en aval du barrage,
- hauteur d'eau maximale atteinte par rapport au fond de la vallée (lit mineur négligeable face aux débits à transiter dans les premiers kilomètres de vallée) ou de la rivière,
- cote du niveau maximum de l'eau,
- vitesse moyenne maximale de l'écoulement,
- temps d'arrivée de l'onde par rapport au début de la rupture, on s'intéresse également au temps nécessaire pour qu'un front de débit donné ait atteint certains points de la vallée.

Les résultats bruts du modèle sont majorés de 15% pour les hauteurs d'eau maximales tandis que les temps d'arrivée de l'onde sont réduits de 13% sur recommandations du CTPBOH.

Pour la facilité du commentaire et de l'analyse, les tableaux de résultats sont donnés directement en valeurs recommandées (cf. Annexe II).

L'enveloppe de la zone submergée est représentée sur la carte IGN au 1/25 000 dans le cas d'une rupture progressive par renard alors que le plan d'eau est à la cote PHE.

Figurent également sur les cartes (cf. Annexe IV) le temps d'arrivée de l'onde, le débit maximum et la cote maximum atteinte par l'eau à différents profils.

8.2 Analyse

8.2.1 Hydrogrammes dans la vallée

Le logiciel RUBAR3 permet de sauvegarder à pas de temps fixe l'évolution du débit en un point donné. Les hydrogrammes en Annexe III mettent en évidence l'ampleur du débit immédiatement à l'aval du barrage ainsi que son maintien à de fortes valeurs dans les premiers kilomètres de la vallée. On les compare en différents points de la vallée de l'Arrats.

La rupture par renard est un mode de rupture progressive relativement lent à s'établir. La brèche dans la digue passe de 0,1 m de large au début de la rupture à 17,9 m en 1h36, instant où le débit est maximum au barrage, puis l'érosion continue, la brèche s'établit à 26,6 m au bout de 3h10. Aussi, le débit maximum de rupture ne subit pas d'amortissement immédiat ; il reste très fort - supérieur à 1300 m³/s - jusqu'à l'aval de de la D106 (PK17). Après un 1^{er} « palier », le débit maximum subit une décroissance assez rapide et régulière jusqu'à Saint-Sauvy (PK42,1) puis plus lente à l'aval. Le graphe de la Figure 11 montre l'évolution du débit maximum dans la vallée.

Le débit maximum atteint 1373 m³/s au barrage en 1h36. Le débit de pointe atteint Castelanu-Barbarens (PK24) en 4h avec des valeurs supérieures à 1200 m³/s. Au bout de 6h, l'onde atteint Aubiet (PK35) avec un débit maximum de 725 m³/s ; puis elle arrive sur la commune de Mauvezin (PK49) en 9 h 40 min avec un débit de 410 m³/s. Elle mettrait environ 24 heures pour toucher Saint-Clar (PK77) avec un débit maximum de l'ordre de 94 m³/s.

Près du barrage, les hydrogrammes ont une forme dissymétrique peu marquée avec une montée en 1h30 environ et une descente qui s'allonge au fur et à mesure de l'éloignement du barrage (1h50 au barrage). Le passage de l'onde dans les premiers kilomètres de la vallée se fait rapidement comme en atteste la forme des hydrogrammes.

Au fur et à mesure que l'on s'éloigne du barrage et que la vallée s'élargit, l'onde s'amortit, le débit maximum diminue et la forme des hydrogrammes évolue (cf. hydrogrammes en Annexe III). L'« aplatissement » est dû à l'ouverture de la vallée conjuguée à la diminution de la pente. L'établissement du débit maximum prend de plus en plus de temps.

Figure 11 : Débit maximum

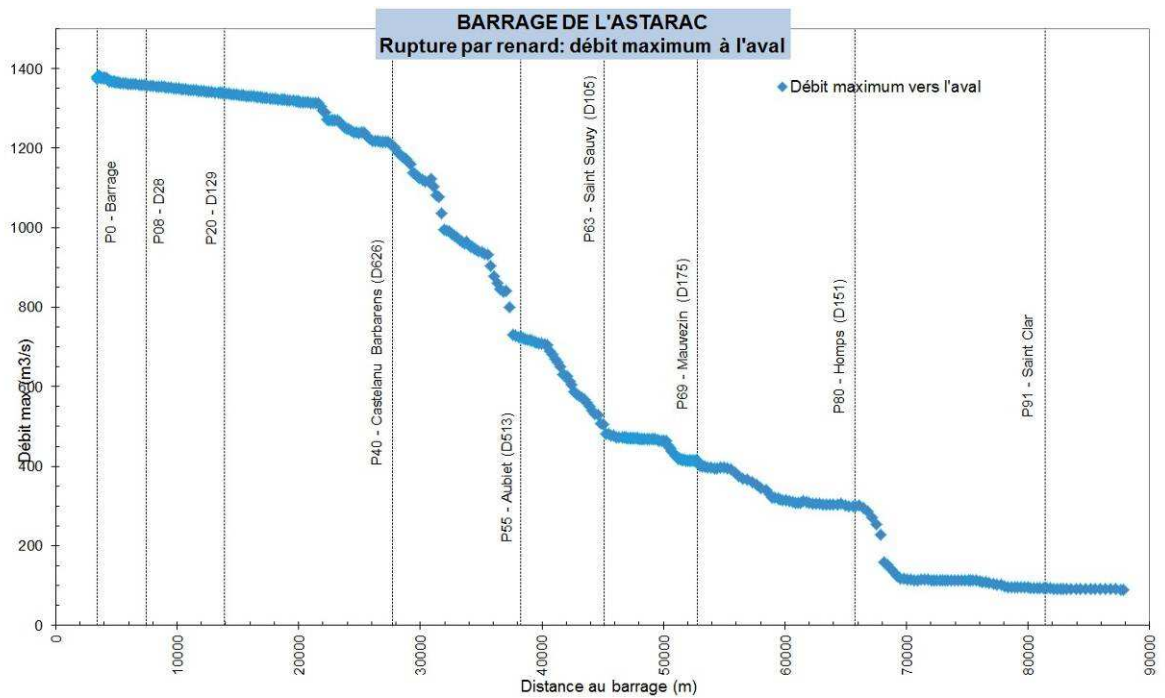
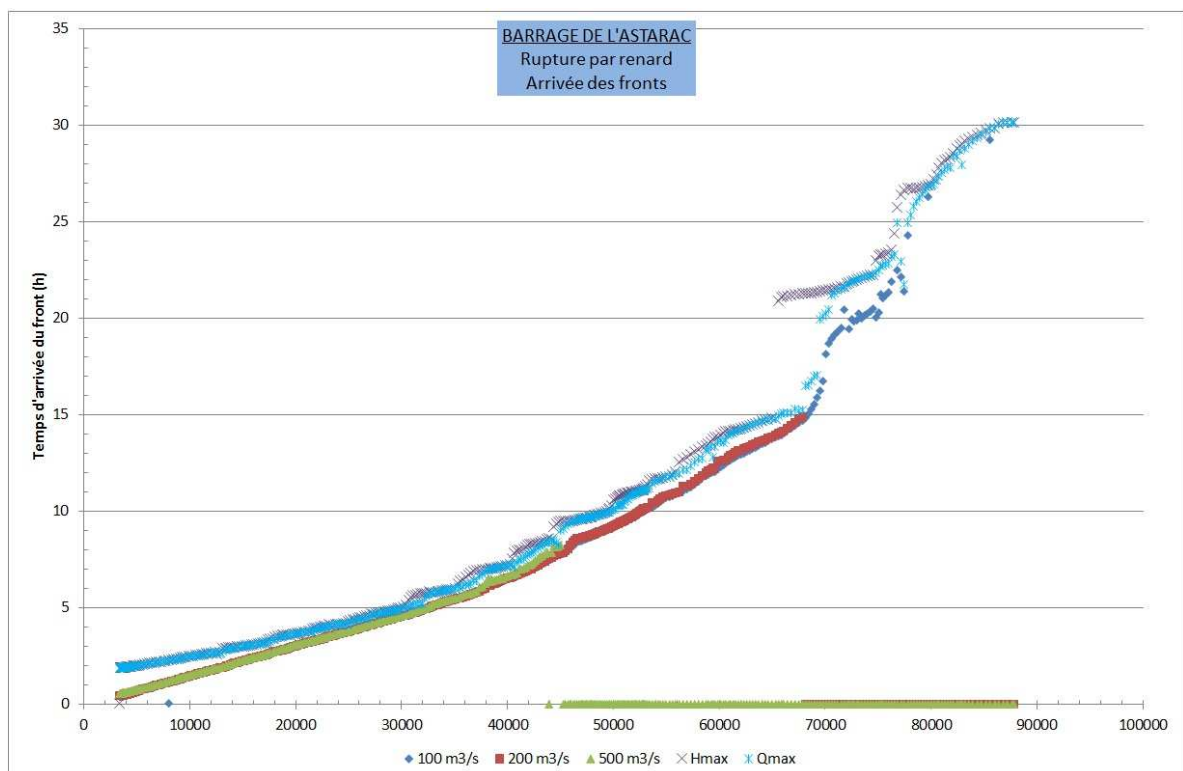


Figure 12 : Arrivée des fronts



On récapitule ci-dessous le débit maximum et le temps d'arrivée de l'onde pour quelques points clés.

Tableau 5 : Evolution du débit maximum et du temps d'arrivée de l'onde de rupture

Nom	IDProfil	X	Débit maxi (m3/s)	Temps d'arrivée de l'onde (*)	Vitesse maximum (m/s)
P0 - Barrage	P0	0	1373.8877	1 h 36 min 28 s	3.99
P8 - D28 amont	P008	4004.54	1358.249175	1 h 54 min 8 s	7.00
P20 - D129 aval	P020	10492.6	1337.764521	2 h 29 min 1 s	1.33
P40 - D626 amont	P040	24263.3	1210	4 h 2 min 47 s	1.41
P55 - D513 amont	P055	34839.5	725	6 h 1 min 2 s	2.51
P63 - D105 amont	P063	41724.6	505.3511	7 h 50 min 3 s	1.29
P69 - D175 amont	P069	49380.1	413.5	9 h 38 min 30 s	1.28
P80 - D151 amont	P080	62341.8	300	12 h 59 min 11 s	1.16
P91 - Saint Clar	P091	77959.2	93.8	24 h 5 min 25 s	2.00
P95 - Naudin	P095	84378.2	90.3025	26 h 13 min 15 s	1.40

N.B. : () valeurs minorées de 13 %*

La Figure 12 donne le temps d'arrivée du débit maximum et de 3 débits d'ordres de grandeur indicatifs (100, 200 et 500 m³/s).

8.2.2 Comparaison des débits de rupture et des crues naturelles

On compare les débits atteints lors de la rupture du barrage de l'Astarac dans le scénario retenu et les débits de crues naturelles dans la vallée.

Tableau 6 : Comparaison des débits de pointe en cas de rupture du barrage et des débits de crues de l'Arrats

Lieu	Distance au barrage	Débit max supérieur à:	Comparaison avec les crues naturelles
L'Arrats			
P0 - Barrage	0 km	1373 m ³ /s	Q _{max} > 80 x débit de crue de temps de retour 100 ans au barrage
P55 – Aubiet (D513)	35 km	725 m ³ /s	Q _{max} ~ 7 x débit de crue de temps de retour 100 ans à Saint-Antoine
P95 - Naudin	85 km	90 m ³ /s	Q _{max} ~ débit de crue de temps de retour 50 ans à Saint-Antoine

Dans toute la vallée amont de l'Arrats, les débits consécutifs à la rupture du barrage de l'Astarac resteraient forts en comparaison avec les débits naturels de la rivière. A l'aval ils prennent plutôt l'ampleur de crues plus fréquentes. A l'aval de Saint-Clar, la crue générée par la rupture du barrage n'aurait plus qu'un niveau inférieur à une crue cinquantennale.

8.2.3 Hauteurs d'eau

L'évolution des débits au cours du temps et de la vallée bien qu'intéressante pour appréhender le phénomène de propagation de l'onde de rupture, ne contient pas de signification physique retranscriptible in situ. A cet effet, l'information sur les hauteurs d'eau est plus explicite. Le logiciel RUBAR3 permet de visualiser en tout point de la vallée :

- les limnigrammes enregistrés avec un pas de temps fixe,
- les lignes d'eau à chaque instant défini par un pas de temps fixe également,
- la ligne d'eau maximale à partir de laquelle la zone de submersion est cartographiée.

La rupture se déclenche à $t = 0$ alors que la cote de l'eau est à PHE (248,7 m NGF). A partir de cet instant, la cote de l'eau au barrage ne cesse de décroître pour atteindre la cote de pied du barrage (232,5 m NGF) et la vidange quasi-complète de la retenue au bout de moins de 3,5 h (cf. limnigrammes en Annexe III).

A l'instant où le débit est maximum au barrage, on atteint la hauteur d'eau maximale à son pied sous la forme d'une vague d'environ 5 m d'eau dévastant, dans les premiers kilomètres, tout sur son passage.

On examine ci-dessous les cotes maxima atteintes par l'eau en différents points clés de la vallée, principalement au niveau des infrastructures routières et des secteurs à enjeux.

Tableau 7 : Niveaux d'eau et vitesses maxima dans la vallée

Nom	x	Cote du fond de vallée	Cote de l'eau maximum (m NGF)	Hauteur d'eau maximum (m) (*)	Vitesse maximum (m/s)
P0 - Barrage	0	232.5	244.2067125	11.71	3.99
P8 - D28 amont	4004.54	220	224.50915	4.51	7.00
P20 - D129 aval	10492.6	203	208.2178375	5.22	1.33
P40 - D626 amont	24263.3	166.00	171.7233775	5.72	1.41
P55 - D513 amont	34839.5	145.00	149.0148225	4.01	2.51
P63 - D105 amont	41724.6	135.50	141.836155	6.34	1.29
P69 - D175 amont	49380.1	125.5	129.3572725	3.86	1.28
P80 - D151 amont	62341.8	107	110.9775625	3.98	1.16
P91 - Saint Clar	77959.2	96	99.6602775	3.66	2.00
P95 - Naudin	84378.2	90	93.10086	3.10	1.40

N.B. : (*) valeurs extraites de RUBAR3 majorées de 15%

Le profil en long en Annexe III illustre la ligne d'eau maximale dans la vallée.

8.3 Estimation des dommages

8.3.1 Bâtis impactés

La zone de submersion maximale consécutive à une rupture du barrage de l'Astarac est établie par comparaison des niveaux d'eau maximums calculés et des profils en travers modélisés.

Ensuite, on considère que le bâti situé en zone submergée est représentatif des enjeux de la vallée.

Aussi, à partir des couches BATI INDIFFERENCIE, BATI REMARQUABLE et BATI INDUSTRIEL de la BD TOPO IGN®, on effectue, sous SIG, un comptage des bâtiments situés dans la zone maximale submergée en cas de rupture.

La Figure 13, la Figure 14 et la Figure 15 mettent en évidence la position du bâti inondé par rapport au barrage en cas de rupture. Un certain nombre d'enjeux sont touchés avec 321 bâtiments situés dans la zone inondée par l'onde de rupture du barrage. La commune la plus touchée est celle de Mauvezin.

Tableau 8 : Bâti inclus dans la zone maximale submergée en cas de rupture

Commune	Bâtis indiff	Bâtis indus	ERP (*)	Bâtis total	Pourcentage
Aussos	2			2	0.6%
Sère	10	1	1	12	3.7%
Bellegarde	3			3	0.9%
Moncorneil-Grazan	20		2	22	6.9%
Tachaires	15	1	1	17	5.3%
Monferran-Plavès	1			1	0.3%
Lamaguère	2			2	0.6%
Faget-Abbatial	16			16	5.0%
Lartigue	5			5	1.6%
Castelnau-Barbarens	10	2	1	13	4.0%
Lussan	2			2	0.6%
L'Isle-Arné	16			16	5.0%
Aubiet	21	7	2	30	9.3%
Blanquefort	8	3		11	3.4%
Saint-Sauvy	22	9		31	9.7%
Mauvezin	81	2	4	87	27.1%
Labrihe	11	1		12	3.7%
Monfort	6			6	1.9%
Homps	3			3	0.9%
Estramiac	2			2	0.6%
Tournecoupe	5	2		7	2.2%
Saint-Léonard	6			6	1.9%
Avezan	1			1	0.3%
Saint-Clar	9			9	2.8%
Saint-Créac	4			4	1.2%
L'Isle-Bouzon	1			1	0.3%
TOTAL	282	28	11	321	100%

(*) Etablissements recevant du public. Le détail des ERP est donné au paragraphe suivant.

Figure 13 : Communes impactées en cas de rupture du barrage, vue 1

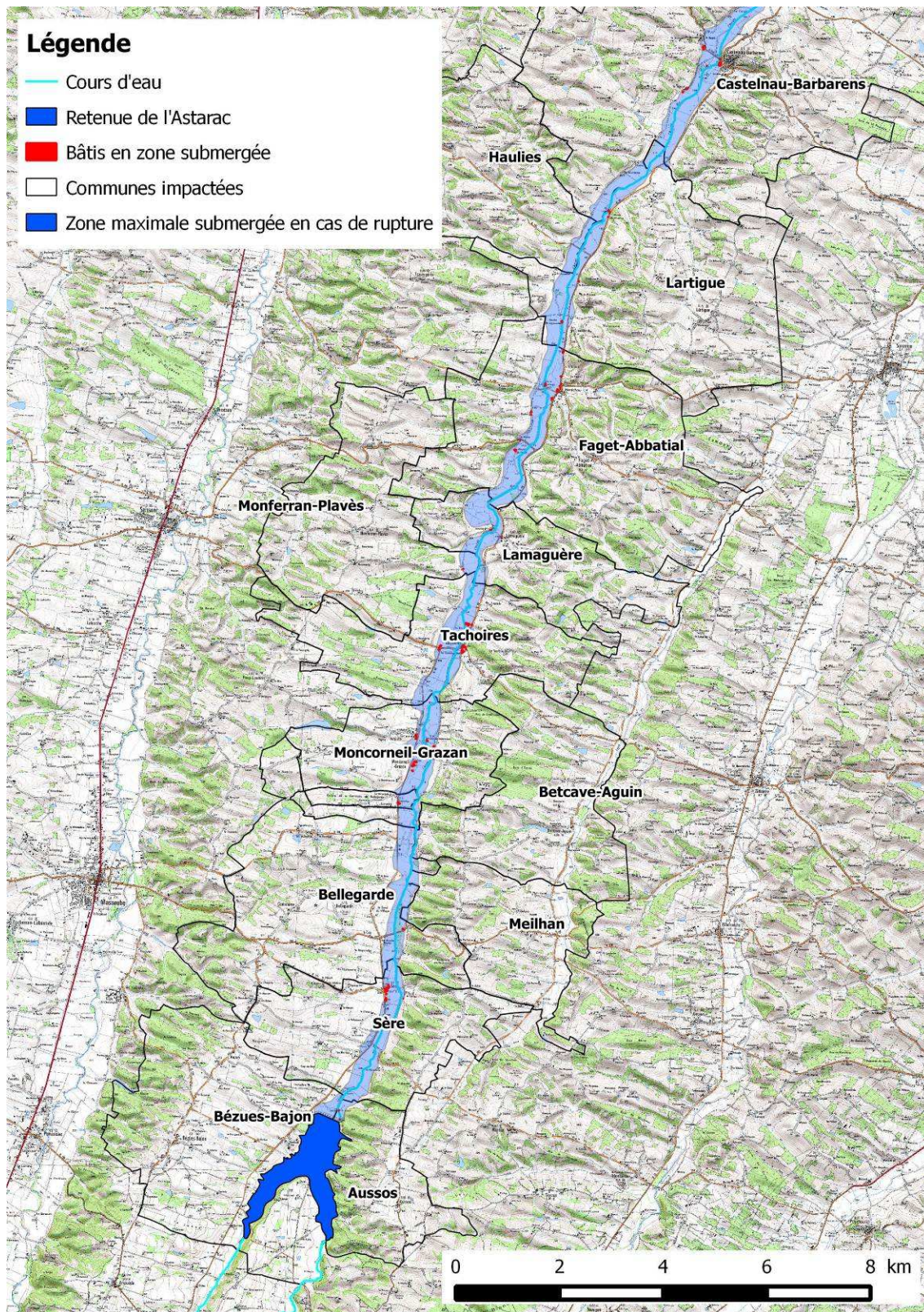


Figure 14 : Communes impactées en cas de rupture du barrage, vue 2

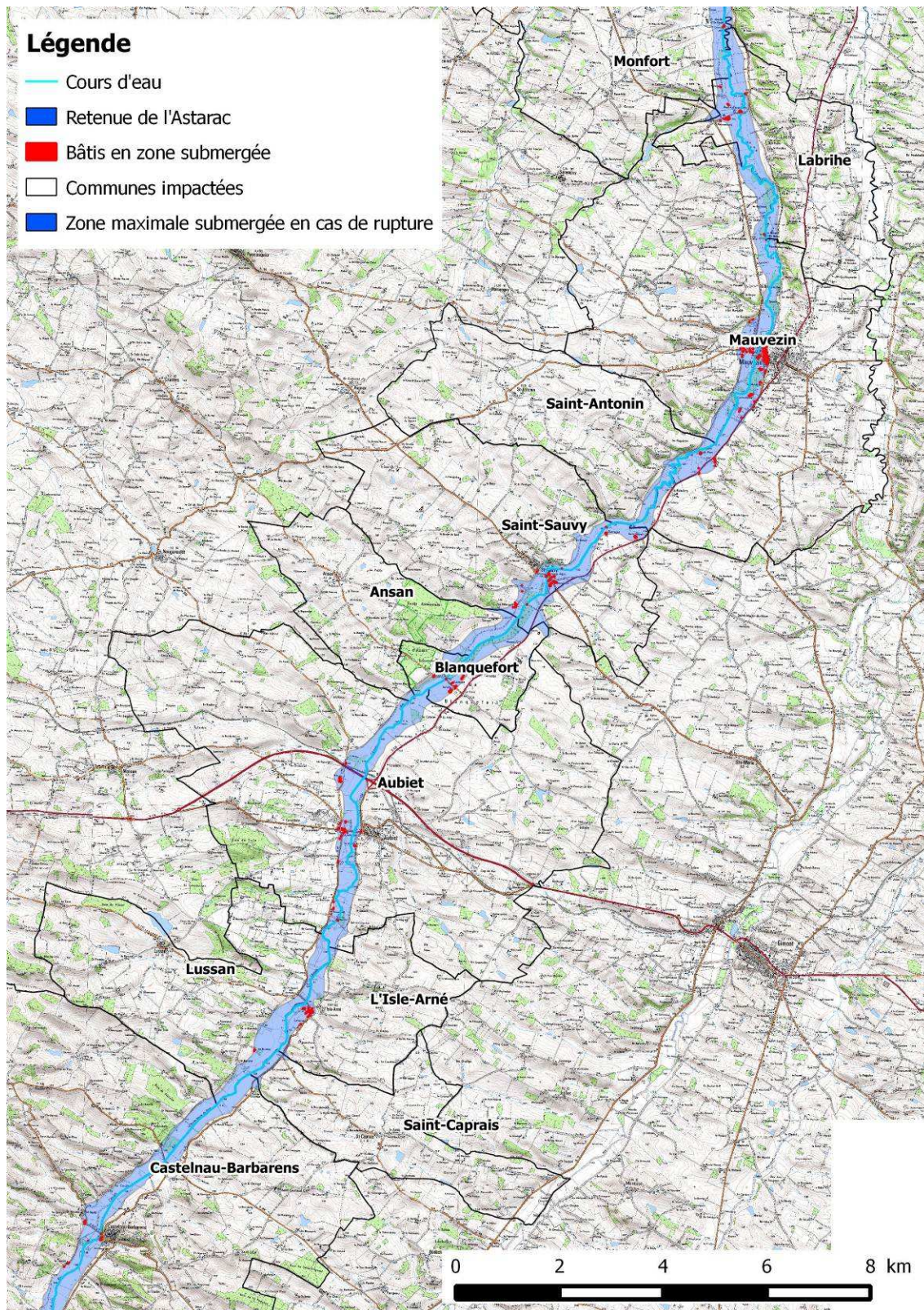


Figure 15 : Communes impactées en cas de rupture du barrage, vue 3



8.3.2 Etablissements recevant du public impactés

Les établissements recevant du public (ERP) touchés par la zone submergée par l'onde de rupture sont donnés dans le tableau suivant.

Tableau 9 : Etablissements recevant du public impactés par l'onde de rupture

Communes Types d'ERP	Sère	Moncorneil- Grazan	Tachaires	Castelnau- Barbarens	Aubiet	Mauvezin
Etablissement/lieu de sport				1		1
Etablissement religieux		1				
Approvisionnement/traitement de l'eau					2	1
Mairie	1	1	1			
Camping						1
Etablissement de santé						1

Parmi les établissements recevant du public (ERP) impactés, on trouve en particulier :

- le camping municipal de Mauvezin, avec 28 emplacements soit une population saisonnière moyenne d'environ 84 personnes,
- le centre hospitalier de Mauvezin d'une capacité de 113 places, soit un total d'environ 150 personnes,

La fréquentation des autres ERP sera estimée par la suite.

8.3.3 Routes impactées

Par ailleurs, la vallée est traversée plusieurs fois par des routes départementales et nationales. Ces routes sont donc également impactées par l'onde de rupture du barrage.

On décompte un **linéaire de 32,1 km de routes départementales et 1,2 km de routes nationales** submergées par l'onde de rupture du barrage de l'Astarac.

8.3.4 Estimation de la population soumise au risque de submersion

On estime tout d'abord la population résidente soumise au risque de submersion. Pour cela, on dénombre les bâtiments de la couche BATI_INDIFERENCIE de la BD TOPO IGN® inclus dans la zone submergée par commune puis on calcule la part de logements sur chaque commune en fonction des données INSEE et de la BD TOPO. Enfin, on applique au bâti impacté considéré comme logement un nombre moyen communal d'habitants par logement. Il en résulte le tableau suivant :

Tableau 10 : Estimation de la population résidente impactée

Commune impactée	Données INSEE			Données de BD TOPO		Nbre de logements / Nbre bâtis	Population impactée: Log/Bâti * Nbre hab/rés princ * Nbre bâtis indiff impactés
	Nbre total de logements	Part de résidences principales	Nbre moyen d'hab/ré sidence princ.	Nbre de bâtis indiff impactés	Nbre total bâtis		
Aussos	39	79.5%	2.10	2	75	52%	2
Sère	52	74.5%	2.43	10	122	43%	10
Bellegarde	84	78.5%	2.59	3	174	48%	4
Moncorneil-Grazan	73	86.3%	2.40	20	111	66%	32
Tachaires	58	78.2%	2.20	15	104	56%	18
Monferran-Plavès	68	80.2%	2.31	1	128	53%	1
Lamaguère	37	65.0%	2.62	2	85	44%	2
Faget-Abbatial	120	83.5%	2.28	16	193	62%	23
Lartigue	81	78.8%	2.43	5	156	52%	6
Castelnau-Barbarens	291	76.9%	2.26	10	454	64%	15
Lussan	118	82.6%	2.43	2	213	55%	3
L'Isle-Arné	63	87.3%	2.71	16	97	65%	28
Aubiet	536	86.8%	2.42	21	779	69%	35
Blanquefort	23	77.9%	2.96	8	53	43%	10
Saint-Sauvy	173	84.3%	2.53	22	289	60%	33
Mauvezin	1248	75.8%	2.12	81	1174	106%	183
Labrihe	112	76.6%	2.37	11	193	58%	15
Monfort	315	74.3%	2.05	6	398	79%	10
Homps	63	70.4%	2.41	3	124	51%	4
Estramiac	79	81.0%	2.14	2	177	45%	2
Tournecoupe	170	78.2%	2.11	5	290	59%	6
Saint-Léonard	97	75.1%	2.46	6	208	47%	7
Avezan	56	62.5%	2.14	1	97	58%	1
Saint-Clar	581	76.0%	2.28	9	521	112%	23
Saint-Créac	67	68.7%	2.22	4	133	50%	5
L'Isle-Bouzon	136	78.1%	2.32	1	264	52%	1
Moyenne	182	78%	2.36			Population résidente impactée	479

On estime ensuite la population non-résidente impactée. Pour cela, l'analyse SIG des couches de la BD TOPO IGN® croisées avec la zone maximale submergée permet un comptage des secteurs impactés par catégorie d'activité. On applique ensuite les recommandations du document « EDD : Eléments pour la détermination de la gravité des accidents » du Ministère de l'écologie (28/12/2006), soit :

- de la capacité des 2 principaux ERP impactés, à savoir le camping et le centre hospitalier de Mauvezin. Soit au maximum 234 personnes correspondant aux populations du centre hospitalier et du camping ; cependant, le camping ayant un caractère saisonnier, le maximum est peu susceptible d'être atteint, on évalue donc plutôt la population totale potentiellement impactée sur ces 2 établissements à 192 (centre hospitalier + ½ camping),
- d'une fréquentation moyenne des autres ERP de 10 personnes par unité,
- d'une fréquentation moyenne des zones d'activités (assimilées aux bâtiments industriels) de 5 personnes par unité,
- pour les routes départementales et nationales, nous n'avons pas de donnée propre aux départements du Gers. On prend donc l'hypothèse de 1000 véhicules/jour pour les routes départementales et 2000 véhicules/jour pour les routes nationales.

Tableau 11 : Estimation de la population non permanente exposée

	Nombre de bâtiments	Nombre de km	Nombre pers/unité ou nombre de pers expo / 100 véhic/j	Population exposée
Zones d'activités	28		5	140
Hopital et camping	2			192
Etablissements recevant du public	9		10	90
	Nombre de véhicules/jour			
Routes départementales	1000	32,1	0,4	128
Routes nationales	2000	1,2	0,4	10
TOTAL				560

A partir de ces estimations, on obtient un total de **1 039 personnes** impactées par l'onde de rupture du barrage de l'Astarac.

On distingue à présent la population exposée au risque de submersion dans la zone de cinétique rapide et celle exposée dans la zone de cinétique lente, c'est-à-dire où des mesures d'évacuation peuvent être envisagées.

Tableau 12 : Population exposée en fonction de la cinétique d'inondation

	Communes	Population résidente	Population non permanente	Population totale exposée
Zone de cinétique rapide	10 communes : Aussos, Sère, Bellegarde, Moncorneil-Grazan, Tachaires, Monferran-Plavès, Lamaguère, Faget-Abbatial, Lartigue, Castelnaud-Barbarens	113	124	237
Zone de cinétique lente	16 communes : Lussan, L'Isle-Arné, Aubiet, Blanquefort, Saint-Sauvy, Mauvezin, Labrihe, Monfort, Homps, Estramiac, Tournecoupe, Saint-Léonard, Avezan, Saint-Clar, Saint-Créac, L'Isle-Bouzon	366	436	802
Zone submergée	26 communes impactées	479	560	1039

Une majeure partie (77%) de la population exposée se situe en zone de cinétique lente.

Les résultats sont synthétisés dans le tableau en page suivante.

Tableau 13 : Tableau de synthèse des résultats

Commune	Distance au barrage	Temps d'arrivée de l'onde	Bâti indifférencié	Bâti industriels	ERP	Population résidente impactée	Population non résidente impactée (*)	Zone cinétique
Aussos	0 km	1h35	2	-	-	2	-	Cinétique rapide
Sère	3 km	1h50	10	1	1	10	15	
Bellegarde	4 km	1h55	3	-	-	4	-	
Moncorneil-Grazan	8 km	2h10	20	-	2	32	20	
Tachaires	10 km	2h30	15	1	1	18	15	
Monferran-Plavès	12,3 km	2h40	1	-	-	1	-	
Lamaguère	13 km	2h45	2	-	-	2	-	
Faget-Abbatial	15,2 km	3h	16	-	-	23	-	
Lartigue	18,7 km	3h20	5	-	-	6	-	
Castelnaud-Barbarens	24,3 km	4h	10	2	1	15	20	
Lussan	29,3 km	4h55	2	-	-	3	-	Cinétique lente
L'Isle-Arné	30,6 km	5h05	16	-	-	28	-	
Aubiet	34,8 km	6h	21	7	2	35	55	
Blanquefort	38,8 km	6h45	8	3	-	10	15	
Saint-Sauvy	41,7 km	7h50	22	9	-	33	45	
Mauvezin	49,4 km	9h40	81	2	4	183	222	
Labrihe	56,1 km	11h05	11	1	-	15	5	
Monfort	58,4 km	12h20	6	-	-	10	-	
Homps	62,3 km	13h	3	-	-	4	-	
Estramiac	66,4 km	17h30	2	-	-	2	-	
Tournecoupe	71,8 km	19h45	5	2	-	6	10	
Saint-Léonard	74,5 km	21h40	6	-	-	7	-	
Avezan	76,1 km	23h10	1	-	-	1	-	
Saint-Clar	79,4 km	25h	9	-	-	23	-	
Saint-Créac	81,9 km	25h50	4	-	-	5	-	
L'Isle-Bouzon	84,4 km	26h10	1	-	-	1	-	
TOTAL	-	-	282	28	11	479	422	

(*) Ces résultats ne prennent pas en compte la fréquentation des routes

9 CONCLUSION

Le barrage de l'Astarac, de type remblai homogène de matériaux argileux, crée une retenue de 10 Mm³ à PEN sur l'Arrats, affluent de la Garonne.

L'Arrats s'écoule dans une vallée rurale où l'habitat se concentre sur quelques bourgs – Castelnau-Barbarens, Aubiet, Mauvezin et Saint-Clar. Compte-tenu de la population communale, Mauvezin constitue la zone la plus exposée.

La simulation sous RUBAR3 d'une rupture par renard survenant alors que le plan d'eau est à la cote PHE constitue le risque le plus critique pour ce type de barrage. L'étude de l'onde de submersion en cas de rupture du barrage de l'Astarac permet d'identifier les conséquences dégressives d'amont en aval en termes d'inondation et de dégâts dans la vallée.

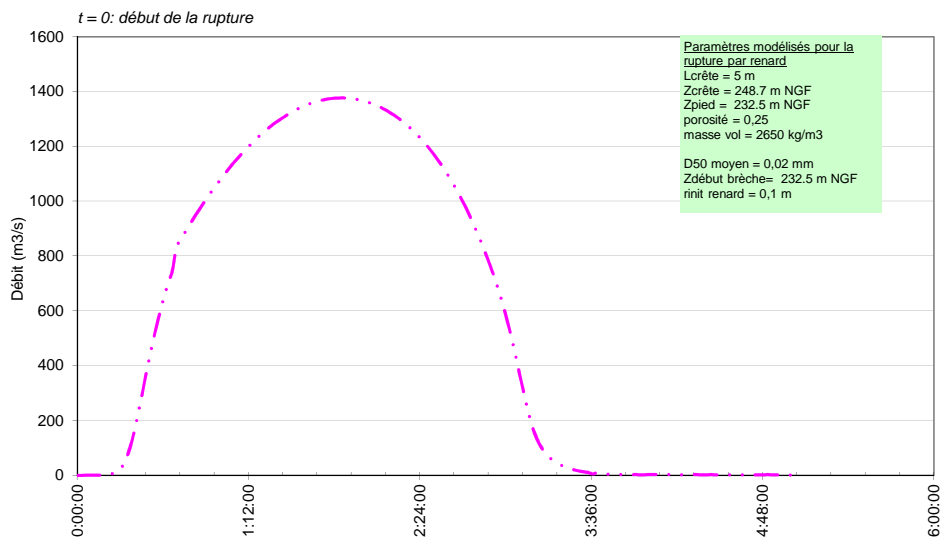
Finalement, le cas d'une rupture du barrage de l'Astarac présente des risques spécifiques pour les populations de la vallée. Des voies de communication seraient coupées, des villages seraient submergés. On estime à 1039 personnes la population totale exposée au risque spécifique lié à la rupture du barrage dont 237 seulement en zone de cinétique rapide.

Un tel événement possède une probabilité extrêmement faible qui doit néanmoins être confortée dans sa tendance vers zéro par un entretien, un suivi et une surveillance permanents, adaptés et vigilants des ouvrages.

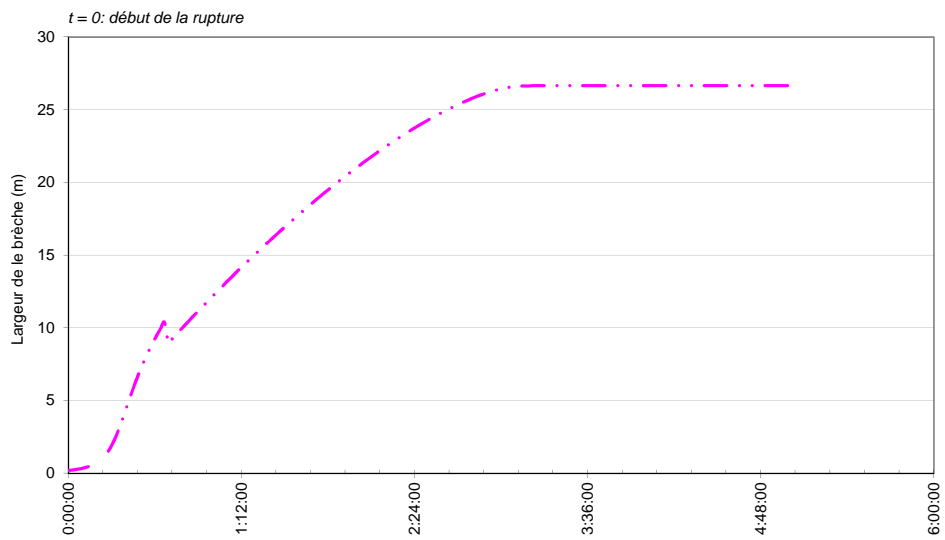
Annexes

Annexe I : Graphiques de rupture

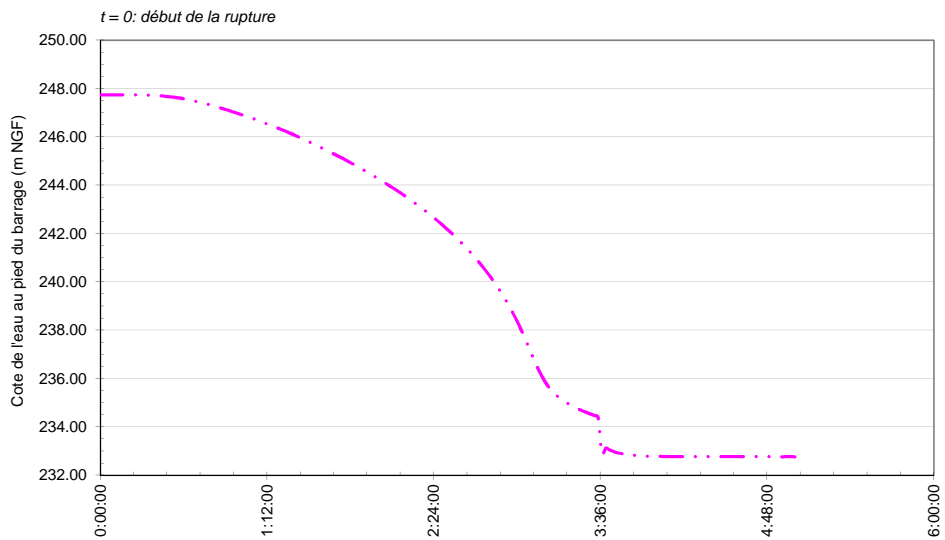
Hydrogramme au barrage



Evolution de la largeur de la brèche



Evolution de la cote de l'eau au pied du barrage



Annexe II : Résultats numériques complets

RÉSULTATS NUMÉRIQUES (RUBAR3) : VALEURS RECOMMANDÉES
SIMULATION DE LA RUPTURE DU BARRAGE DE L'ASTARAC PAR RENARD
 Conditions initiales : PLAN D'EAU A LA COTE PHE

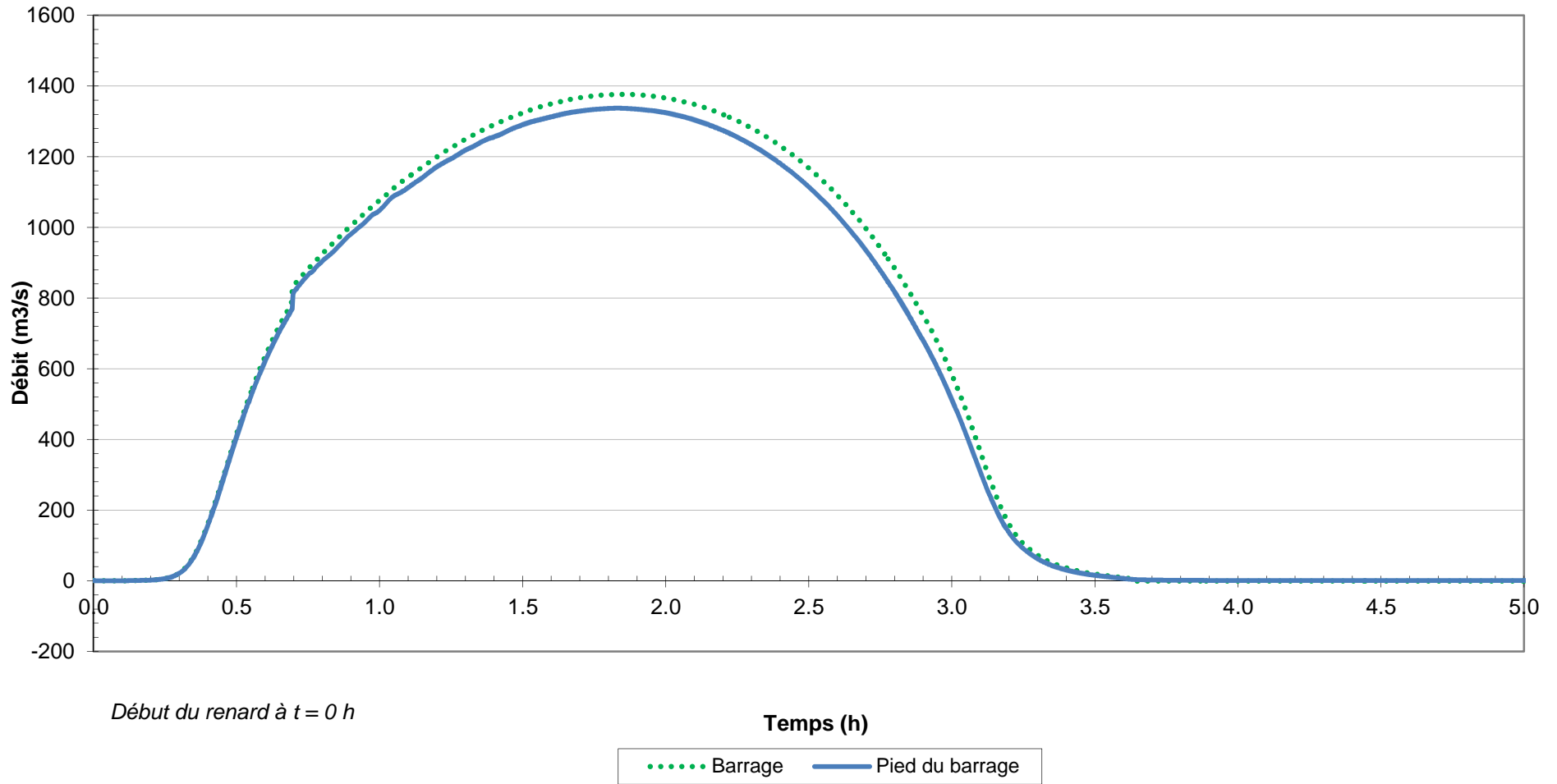
Distance au barrage (m)	Lieu	x(ZminProfil)	y(ZminProfil)	Abscisse exacte (m)	Débit maximum (m3/s)	Temps d'arrivée de l'onde	Cote max de l'eau (m NGF)	Débit max retenu (m3/s)	Vitesse maximale (m/s)
-3000	Retenue	506758.8	6255207.0	-3069.8219	28.4	44 min	248.48	28.4	0.88
-2500		506999.2	6255690.2	-2531.3684	131	1 h 6 min 33 s	248.81	131	0.83
-2000		507237.2	6256070.0	-2085.1149	254	1 h 6 min 41 s	249.02	254.1	0.87
-1500	Retenue	507644.2	6256339.0	-1600.9419	499	1 h 18 min 41 s	249.29	499	1.08
-1000		508233.3	6256533.6	-1033.1938	895	1 h 28 min 57 s	249.51	895.2	0.81
-500		508420.8	6256998.1	-507.9262	1157	1 h 34 min 52 s	249.75	1157	1.46
0	Barrage	508264.7	6257487.0	0	1374	1 h 36 min 28 s	244.21	1373.9	3.99
500		508547.6	6257776.3	420.2371	1377	1 h 38 min 13 s	235.97	1377	6.73
1000		508894.5	6258124.0	922.3594	1374	1 h 40 min 9 s	234.29	1374.0	6.11
1500		509152.4	6258515.6	1454.3824	1367	1 h 42 min 54 s	233.07	1367	5.52
2000	D171 aval	509315.1	6258769.0	1782.9659	1365	1 h 44 min 19 s	231.50	1364.9	8.08
2500	le Choart	509495.3	6259318.5	2451.4063	1363	1 h 47 min 10 s	228.51	1363	7.81
3000		509543.7	6259695.8	2878.3785	1362	1 h 49 min 13 s	227.92	1361.6	7.17
3500		509571.1	6260109.0	3320.0342	1360	1 h 51 min 7 s	226.78	1360	8.22
4000		509577.5	6260558.0	3776.3741	1359	1 h 53 min 2 s	225.32	1358.9	11.17
4500		509734.5	6261223.8	4472.8199	1357	1 h 55 min 48 s	222.45	1357	9.00
5000		509853.6	6261665.6	4954.0122	1356	1 h 58 min 32 s	221.26	1355.6	1.70
5500	le bois	509879.8	6262104.0	5404.4605	1354	2 h 0 min 36 s	219.72	1354	4.74
6000		509786.5	6262640.3	5964.1353	1352	2 h 2 min 13 s	218.70	1352.3	6.47
6500		509855.8	6262997.5	6368.9869	1351	2 h 5 min 58 s	218.16	1351	4.26
7000		509967.5	6263538.5	6997.1402	1349	2 h 9 min 16 s	217.06	1349.0	2.76
7500	la Bordeneuve	509978.9	6263901.0	7407.0005	1348	2 h 11 min 15 s	216.07	1348	3.43
8000	Moncorneil-Grazan	510306.7	6264401.0	7985.7798	1346	2 h 13 min 10 s	214.04	1345.7	2.80
8500	Grazan	510140.3	6264850.0	8494.48	1344	2 h 17 min 1 s	212.91	1344	2.82
9000		510271.4	6265187.0	8878.73	1343	2 h 18 min 17 s	211.62	1343.1	2.81
9500	Pontarabin	510402.5	6265524.0	9262.98	1342	2 h 20 min 3 s	210.09	1342	2.72
10000	Pey de Prat	510470.3	6265995.0	9865.2701	1340	2 h 23 min 15 s	208.51	1340.4	1.80
10500	D129 aval	510843.2	6266505.0	10492.6499	1338	2 h 29 min 1 s	208.22	1338	1.33
11000	les Enclades	510873.6	6266944.0	10931.8003	1336	2 h 31 min 31 s	207.75	1336.4	1.62
11500		510976.7	6267284.0	11371.2935	1335	2 h 34 min 37 s	206.44	1335	2.10
12000		510984.9	6267806.5	11957.691	1333	2 h 36 min 58 s	203.95	1333.1	2.36
12500	Cap de la Coste	510941.6	6268159.0	12324.3404	1332	2 h 38 min 54 s	202.33	1332	2.20
13000		511435.8	6268611.3	12950.5679	1330	2 h 41 min 16 s	199.12	1329.8	2.23
13500		511514.9	6268921.3	13334.7222	1329	2 h 43 min 44 s	197.48	1329	2.05
14000	Mahourat	511258.0	6269399.0	13860.9605	1327	2 h 45 min 22 s	195.29	1326.5	1.72
14500		511646.1	6269626.0	14306.1343	1325	2 h 48 min 49 s	194.86	1325	1.48
15000		511911.0	6269956.0	14767.2496	1324	2 h 53 min 33 s	194.08	1323.9	1.86
15500	D104 aval	512177.0	6270495.0	15353.8706	1322	3 h 2 min	193.43	1322	1.87
16000	Baylac	512463.2	6270952.5	15990.8609	1320	3 h 6 min 17 s	192.91	1319.9	1.59
16500	D106 amont	512348.0	6271424.0	16477.1304	1319	3 h 8 min 42 s	190.94	1319	3.16
17000		512745.2	6271908.0	16997.1831	1316	3 h 10 min 52 s	188.86	1316.0	1.89
17500		512781.2	6272300.0	17436.8687	1315	3 h 14 min 4 s	187.56	1315	2.07
18000		512847.8	6272686.6	17859.355	1313	3 h 15 min 4 s	185.83	1313.3	2.54
18500		512993.6	6273258.4	18467.2847	1306	3 h 19 min 54 s	184.45	1306	2.23
19000		512989.2	6273804.3	18992.0894	1272	3 h 25 min 19 s	183.15	1272.0	2.38
19500	D181 aval	513104.7	6274229.0	19425.9996	1270	3 h 26 min 37 s	181.68	1270	1.57
20000		513334.2	6274511.5	19825.646	1270	3 h 31 min 27 s	181.79	1269.8	1.88
20500		513649.7	6274959.0	20414.4507	1254	3 h 34 min 44 s	179.81	1254	2.40
21000	En Mounéou	513908.0	6275454.0	20981.9292	1245	3 h 35 min 39 s	177.18	1245.0	2.22
21500		514264.3	6275686.5	21417.521	1241	3 h 36 min 32 s	175.78	1241	2.03
22000	le Caillavet	514620.6	6275919.0	21853.1109	1239	3 h 40 min 37 s	174.72	1239.3	1.77
22500		514823.0	6276275.7	22290.2671	1232	3 h 45 min 39 s	174.19	1232	1.66
23000		515126.6	6276810.7	22946.0015	1218	3 h 52 min 29 s	173.17	1218.0	1.68
23500		515339.3	6277155.0	23384.3277	1217	3 h 53 min 23 s	172.41	1217	1.78
24000		515562.4	6277487.0	23823.8238	1217	3 h 59 min 22 s	171.72	1216.5	1.82
24500	D626 aval	515839.2	6277945.5	24400.771	1205	4 h 2 min 57 s	171.15	1205	1.49
25000	Marsan	516148.2	6278372.0	24974.3999	1185	4 h 7 min 52 s	169.45	1185.0	1.84
25500		516351.1	6278668.0	25332.4331	1175	4 h 9 min 3 s	168.34	1175	2.09
26000		516762.9	6279040.0	25879.8492	1160	4 h 12 min 56 s	166.69	1160.2	2.02
26500	D349 aval	517127.0	6279522.0	26366.521	1130	4 h 16 min 1 s	165.24	1130	2.88
27000		517527.2	6279706.6	26870.7007	1120	4 h 19 min 40 s	163.65	1120.0	2.37
27500		517896.7	6279937.5	27342.6382	1116	4 h 25 min 51 s	162.81	1116	1.65
28000		518235.9	6280214.5	27782.3355	1103	4 h 27 min 47 s	162.51	1102.9	1.59
28500		518706.9	6280628.2	28430.7535	1037	4 h 30 min 21 s	162.27	1037	1.45
29000		518970.5	6280901.6	28848.1968	992	4 h 46 min 29 s	162.16	992.0	1.38
29500		519235.2	6281380.3	29476.3843	980	4 h 58 min 54 s	161.81	980	1.48
30000		519237.2	6281790.8	29897.8687	970	5 h 1 min 44 s	160.82	970.0	1.71
30500		519680.7	6282081.0	30467.7242	965	5 h 5 min 27 s	159.58	965	2.01
31000		519983.6	6282419.9	30929.8374	951	5 h 7 min 48 s	157.66	951.2	2.26
31500	la Lanne	520046.7	6282781.0	31270.2398	945	5 h 9 min 34 s	156.08	945	3.06
32000		520109.4	6283195.0	31760.5015	938	5 h 11 min 51 s	152.84	938.0	3.48
32500		520235.6	6283577.3	32258.9976	932	5 h 16 min 45 s	152.13	932	1.48
33000		520425.1	6283927.8	32765.7281	878	5 h 23 min 19 s	151.75	878.4	1.58
33500		520614.6	6284278.4	33272.4585	846	5 h 24 min 54 s	151.45	846	1.60
34000	Tichanère	520804.1	6284629.0	33779.189	842	5 h 33 min 29 s	151.11	841.9	1.09
34500		520794.9	6285064.0	34309.3414	731	5 h 51 min 18 s	150.09	731	0.75
35000	D513 aval	520815.2	6285594.0	34948.982	724	6 h 3 min 19 s	149.30	724.0	13.18
35500		520705.6	6286144.5	35489.9507	718	6 h 6 min 46 s	149.00	718	11.65
36000		520632.5	6286511.5	35850.5953	715	6 h 8 min 54 s	148.53	715.0	17.83
36500		520940.0	6287008.6	36454.646	710	6 h 13 min 12 s	145.81	710	32.95

37000		521176.9	6287344.8	36905.0289	708	6 h 15 min 39 s	144.22	707.7	34.13
37500		521413.9	6287680.9	37355.4156	689	6 h 17 min 45 s	143.45	689	23.60
38000		521874.4	6288018.6	37979.1421	662	6 h 31 min 9 s	143.32	662.2	1.51
38500		522216.2	6288188.3	38377.6773	631	6 h 37 min 21 s	143.09	631	1.53
39000	D172 aval	522637.7	6288549.0	38901.439	615	6 h 48 min 50 s	142.87	614.7	1.57
39500		522910.3	6288821.5	39332.6539	588	6 h 57 min 15 s	142.71	588	1.63
40000		523319.2	6289230.3	39979.4742	573	7 h 10 min 56 s	142.34	573.1	2.04
40500		523591.8	6289502.8	40410.6929	559	7 h 16 min 58 s	142.07	559	3.30
41000		523882.9	6289782.8	40845.9624	540	7 h 21 min 43 s	141.66	540.0	5.65
41500		524192.5	6290070.3	41285.2867	530	7 h 22 min 48 s	141.48	530	2.63
42000	D105 aval	524502.0	6290609.5	41946.6109	481	7 h 53 min 59 s	141.80	481.2	0.88
42500		524835.3	6290821.0	42388.6187	478	8 h 6 min 58 s	140.88	478	0.65
43000		525168.7	6291032.5	42830.6226	473	8 h 12 min 52 s	139.77	473.3	4.87
43500		525581.3	6291305.2	43389.1929	473	8 h 18 min 59 s	138.46	473	1.54
44000		525977.8	6291610.9	43972.0054	471	8 h 22 min 29 s	137.33	471.1	1.67
44500		526295.0	6291855.5	44438.2515	471	8 h 24 min 56 s	135.20	471	1.70
45000		526603.7	6292112.6	44961.0835	469	8 h 30 min 2 s	133.79	468.5	1.70
45500		526816.0	6292333.3	45480.521	469	8 h 33 min 34 s	132.85	469	1.70
46000		527028.2	6292554.1	45999.9585	468	8 h 37 min 31 s	131.94	467.7	1.70
46500		527169.7	6292701.3	46346.2515	465	8 h 38 min 35 s	131.41	465	1.70
47000		527435.9	6293007.9	46978.2789	454	8 h 57 min 15 s	130.97	453.5	1.70
47500		527651.2	6293351.5	47428.6304	434	8 h 58 min 53 s	130.76	434	1.70
48000	les Baquérous	527920.3	6293781.0	47991.5718	418	9 h 16 min 17 s	130.51	418.0	1.70
48500		528045.9	6294144.5	48496.482	415	9 h 26 min 36 s	130.32	415	1.70
49000		528140.3	6294417.0	48875.1617	413	9 h 31 min 58 s	130.07	413.5	1.70
49500	D175 aval	528626.7	6294849.5	49495.439	405	9 h 39 min 57 s	128.73	405	1.70
50000		528557.1	6295196.5	49886.1851	400	9 h 41 min 6 s	127.56	400.0	1.70
50500		528585.8	6295574.1	50343.5445	398	9 h 56 min 47 s	127.38	398	1.68
51000		528712.3	6295982.3	50867.5132	396	10 h 4 min 56 s	127.11	396.0	2.12
51500	Val Pinson	528838.9	6296390.5	51391.482	397	10 h 10 min 56 s	126.57	397	4.33
52000		528810.9	6296804.9	51998.3062	395	10 h 15 min 27 s	124.45	394.8	4.94
52500		528797.1	6297012.1	52301.7164	392	10 h 18 min 9 s	123.49	392	4.98
53000	En Galin	528769.1	6297426.5	52908.5406	375	10 h 23 min 48 s	122.26	375.0	1.28
53500		528678.2	6297615.4	53287.896	370	10 h 34 min 17 s	122.39	370	0.77
54000		528587.3	6297804.3	53667.2515	367	10 h 34 min 31 s	122.25	367.3	0.77
54500		528405.7	6298182.2	54425.9585	354	10 h 54 min 47 s	121.96	354	0.76
55000		528314.9	6298371.1	54805.314	346	11 h 1 min 10 s	121.84	345.7	0.91
55500		528254.5	6298761.3	55415.564	330	11 h 27 min 38 s	121.53	330	1.22
56000		528315.7	6299163.8	55877.3453	322	11 h 37 min 17 s	121.10	321.9	1.13
56500	D40 aval	528340.8	6299491.0	56239.0914	318	11 h 36 min 37 s	121.71	318	1.11
57000		528041.6	6299811.4	56794.2046	314	11 h 51 min 22 s	120.85	314.0	0.86
57500		527903.3	6300154.8	57300.2437	310	11 h 53 min 37 s	120.44	310	1.21
58000		527937.6	6300704.5	57985.6929	308	12 h 14 min 3 s	120.17	308.2	1.20
58500	Moulin d'En Gauthé	527960.4	6301071.0	58442.6617	310	12 h 21 min 8 s	119.65	310	1.17
59000		527907.7	6301256.6	58726.2007	308	12 h 21 min 8 s	119.23	308.0	1.17
59500		527802.4	6301627.9	59293.2749	305	12 h 29 min 37 s	118.24	305	1.15
60000		527697.2	6301999.2	59860.3453	305	12 h 35 min 27 s	117.11	305.0	1.15
60500		527591.9	6302370.4	60427.4195	305	12 h 40 min 19 s	115.82	305	1.27
61000	les Armitas	527539.3	6302556.1	60710.9585	305	12 h 43 min 36 s	115.24	305.0	1.58
61500		527266.7	6302894.6	61363.2945	306	12 h 49 min 33 s	113.26	306	1.81
62000		527130.4	6303063.9	61689.4664	302	12 h 52 min 56 s	112.29	302.2	1.91
62500	D151 aval	526641.6	6303489.0	62469.7867	300	13 h 5 min 49 s	111.29	300	0.84
63000		526557.5	6303674.3	62823.271	301	13 h 6 min 37 s	111.27	301.3	0.77
63500		526473.3	6303859.7	63176.7554	295	13 h 6 min 27 s	111.28	295	0.75
64000		526305.2	6304230.4	63883.7242	272	13 h 12 min 56 s	111.33	272.3	0.71
64500		526220.9	6304415.7	64237.2085	255	13 h 12 min 56 s	111.35	255	0.63
65000		526046.7	6304784.6	64862.1695	159	14 h 21 min 42 s	111.21	158.9	0.48
65500		525866.4	6305151.7	65405.1304	141	14 h 32 min 52 s	110.87	141	0.47
66000		525686.2	6305518.9	65948.0914	123	14 h 50 min 22 s	110.53	123.1	0.67
66500	le Pisset	525505.9	6305886.0	66491.0523	117	17 h 29 min 48 s	110.18	117	1.39
67000		525363.7	6306034.1	66772.5757	116	17 h 36 min 52 s	110.02	115.5	2.07
67500		525079.3	6306330.4	67335.6304	114	18 h 27 min 28 s	109.68	114	6.66
68000		524794.9	6306626.6	67898.6851	115	18 h 37 min 60 s	109.30	114.7	1.20
68500		524510.5	6306922.9	68461.7398	115	18 h 46 min 20 s	108.81	115	1.20
69000		524355.7	6307255.0	68963.9742	114	18 h 59 min 40 s	108.52	114.2	1.23
69500		524330.8	6307623.1	69405.3882	114	19 h 3 min 26 s	108.66	114	2.00
70000	la Poutge	524305.8	6307991.1	69846.8101	114	19 h 10 min 58 s	107.71	113.5	2.00
70500		524138.1	6308346.6	70395.8492	113	19 h 15 min 22 s	105.74	113	2.00
71000		523970.7	6308702.2	70944.8882	112	19 h 19 min 37 s	103.73	112.4	2.00
71500		523803.1	6309057.7	71493.9273	113	19 h 25 min 26 s	102.47	113	2.00
72000	D7 aval	523725.7	6309346.1	71892.0367	113	19 h 43 min 50 s	102.49	113.0	4.63
72500		523412.5	6309574.1	72419.0835	113	19 h 50 min 57 s	102.38	113	4.86
73000		523099.4	6309802.1	72946.1304	110	20 h 9 min 31 s	102.09	110.0	6.48
73500	Haubielle	522942.7	6309916.0	73209.6539	109	20 h 16 min 9 s	101.90	109	7.90
74000		522749.8	6310248.5	73849.3726	105	19 h 57 min 54 s	101.32	105.0	1.21
74500	Avezan	522557.0	6310581.0	74489.0835	102	21 h 41 min 51 s	101.18	102	0.33
75000		522447.5	6310735.7	74766.2007	98	22 h 2 min 43 s	101.04	98.0	0.25
75500		522228.6	6311045.0	75320.4351	96	22 h 39 min 56 s	100.26	96	0.89
76000		522009.7	6311354.3	75874.6695	95	22 h 59 min 55 s	99.45	95.4	1.50
76500		521831.2	6311686.5	76409.9898	95	23 h 21 min 27 s	99.01	95	1.50
77000		521692.8	6312041.3	76926.396	94	23 h 26 min 35 s	99.09	93.7	1.50
77500		521554.6	6312396.1	77442.8023	94	23 h 46 min 13 s	99.28	94	1.50
78000	Saint Clar	521416.5	6312750.9	77959.2085	94	24 h 5 min 25 s	99.66	93.8	1.50
78500		521466.6	6312938.0	78251.0523	94	24 h 13 min 10 s	99.58	94	1.50
79000		521566.8	6313312.0	78834.7476	92	24 h 43 min 13 s	99.24	92.1	1.50
79500	D13 amont	521667.0	6313686.1	79418.4429	91	24 h 57 min 43 s	98.83	91	1.93
80000		521555.6	6314158.0	79910.2632	91	25 h 2 min 24 s	98.71	91.0	1.44

80500		521440.6	6314333.0	80308.6695	91	25 h 14 min 4 s	98.57	91	1.52
81000		521325.6	6314508.0	80707.0757	91	25 h 24 min 16 s	98.40	91.2	1.69
81500		521210.6	6314683.0	81105.4898	91	25 h 32 min 15 s	98.20	91	1.99
82000	la Bordeneuve	520980.6	6315033.0	81902.3023	91	25 h 48 min 3 s	97.75	91.1	3.85
82500		520914.9	6315238.0	82314.9507	91	25 h 57 min 22 s	96.88	91	4.42
83000		520849.3	6315443.0	82727.607	91	25 h 56 min 49 s	96.14	91.0	4.19
83500		520783.6	6315648.0	83140.2554	91	26 h 9 min 4 s	95.40	91	3.93
84000		520652.4	6316058.0	83965.5601	91	26 h 13 min 15 s	93.89	90.7	3.97
84500	Naudin	520586.8	6316263.0	84378.2085	90	26 h 13 min 15 s	93.10	90	3.59

Annexe III : Graphiques de propagation

BARRAGE DE L'ASTARAC
Rupture par renard
Hydrogrammes de rupture



BARRAGE DE L'ASTARAC
 Rupture par renard
Hydrogrammes de rupture

