



AGERIN SAS



Direction Départementale
des Territoires de l'Ariège



Photo 1 : Rue Galy-Cazalat durant la crue du Salat du 12 juin 1904

ETUDE DE L'ALEA INONDATION DE SAINT-GIRONS POUR LA REVISION DU PPR

Partie 1 : Hydrologie, synthèse des études antérieures et hydro-géomorphologie

*Document final
22/08/2018*

Rédaction :
Contrôle qualité :

Marion JEULIN
Armeline BOISSARD, Alexis MERCIER

AGERIN

SAS au capital de 60 000 Euros

Etudes et conseils. Aménagement et Gestion de l'Environnement et des Risques Naturels.

11, avenue du 8 mai 1945, 09120 Varilhes

TEL : 05 61 64 63 31

FAX : 09 72 47 51 86

E-Mail : info@agerin.net

RCS Foix : 441 584 752

SIRET : 441 584 752 00022

SOMMAIRE

INTRODUCTION	3
1 ETUDES ANTERIEURES ET DONNEES EXISTANTES	4
2 L'ANALYSE HYDROMORPHOLOGIQUE	7
3 CAMPAGNE TOPOGRAPHIQUE	10
4 CARACTERISTIQUES DES BASSINS VERSANTS ETUDIES	11
5 METHODOLOGIE	14
5.1 METHODE STATISTIQUE.....	14
5.2 METHODE DETERMINISTE	16
5.3 BASE DE DONNEES SHYREG	17
6 DETERMINATION DES DEBITS PROJETS	18
6.1 ANALYSES STATISTIQUES.....	18
6.2 ANALYSE DETERMINISTE	23
6.3 ANALYSE SHYREG.....	25
6.4 ANALYSE DES ETUDES ANTERIEURES	26
6.5 CHOIX DES DEBITS DE PROJET.....	30
6.6 ANALYSES DES CRUES HISTORIQUES DU SALAT.....	31
6.6.1. <i>Crue de 1875</i>	31
6.6.2. <i>Analyse des débits des crues historique</i>	33
6.7 DETERMINATION DU DEBIT DE LA CRUE DE 1875 SUR LE SALAT	34
6.8 CONCOMITANCE DES CRUES ET CHOIX DE MODELISATION	39
LISTE DES CARTES, TABLEAUX, PHOTOS ET FIGURES.....	44
LISTE DES CARTES	44
LISTE DES PHOTOS	44
LISTE DES FIGURES /ILLUSTRATIONS/SCHEMAS.....	44
LISTE DES TABLEAUX.....	44
ANNEXES.....	45
ANNEXE 1 : ESTIMATION DU TEMPS DE CONCENTRATION ET DU TEMPS CARACTERISTIQUE.....	46
ANNEXE 2 : CALCUL DES DEBITS CARACTERISTIQUES	47
ANNEXE 3 : STATIONS HYDROMETRIQUES : AJUSTEMENTS AUX LOIS STATISTIQUES	51
ANNEXE 4 : REPERES DE CRUES	61
ANNEXE 5 : CARTE DES LEVES TOPOGRAPHIQUES	64



INTRODUCTION

Ce document présente la première partie de l'étude des zones inondables préalable à la révision du Plan de Prévention des Risques de Saint-Girons, soit :

- la collecte et l'étude des documents existants ;
- l'analyse hydrologique du Salat, du Lez, du Baup et du ruisseau de Carbalasse ;
- l'analyse hydro-géomorphologique réalisée sur la commune de Saint-Girons pour les cours d'eau ne faisant pas l'objet de modélisations.

Concernant l'analyse hydrologique, les investigations qui ont permis de réaliser la présente étude ont porté sur :

- l'historique des crues ;
- la climatologie et les caractéristiques principales des bassins versants (la morphométrie, l'hydrographie...) ;
- les facteurs conditionnant le ruissellement comme la perméabilité, l'occupation des sols et son évolution.

Les données ont été analysées de façon critique et une analyse hydrologique fine des crues des cours d'eau concernés a été établie avec la définition des crues caractéristiques aux stations hydrométriques (test de plusieurs lois d'ajustement pour rechercher la plus adaptée).

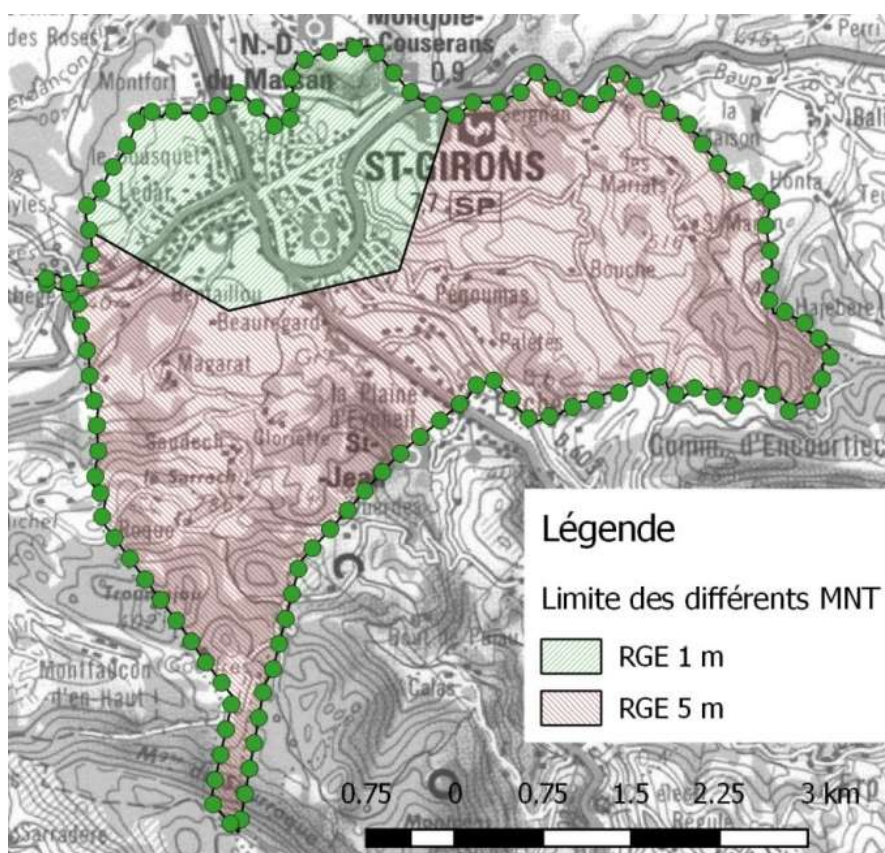
En parallèle, il a été mené une analyse des débits par méthodes de prédétermination (à l'aide du logiciel Hydrologix), et l'interpolation des débits entre les stations par la formule de Myer. La base de données SHYREG a également été consultée. Les études antérieures portant sur les cours d'eau étudiés ont fait l'objet d'une analyse.



1 ETUDES ANTERIEURES ET DONNEES EXISTANTES

Dans un premier temps, nous avons recherché les données spatiales (données SIG) pouvant présenter des intérêts relatifs à l'étude. Nous avons trouvé et utilisé :

- des ortho-photographies de l'IGN issues de la BD ortho fournies par le Maître d'Ouvrage ;
- les données GOOGLE et Bing Map en imagerie sous QGIS, en particulier pour l'analyse hydromorphologique ;
- des données vectorielles Open Street Map, pouvant apporter des couches thématiques (routes, végétation, bâti...) ;
- des données LIDAR /MNT de type RGE alti 1 m (avec une précision Z de moins de 20 cm selon l'IGN) pour la zone urbanisée et le MNT du RGE alti 5 m (avec Z de moins de 1 m selon l'IGN). Ces données ont été fournies par le Maître d'Ouvrage. Ces données ont été contrôlées sur le terrain à l'aide d'un GPS topographique, elles sont le plus souvent d'une précision inférieure à 10 cm, mais avec des points pouvant atteindre 0,3 m d'erreur. Il s'agit d'une précision satisfaisante pour la réalisation de la modélisation prévue ;
- des fonds IGN BD topo et Scan 25 fournis par le Maître d'Ouvrage ;
- le MNE Aster 2, pour les statistiques des bassins versants (pentes moyennes, altitudes moyennes...), d'une précision d'environ 10 m en Z pour un pixel de 30 m ;
- les données de la BD CORINE Land Cover pour ce qui concerne l'occupation du sol sur les bassins versants.



Carte 1 : Limite des zones de données LIDAR/MNT



Puis nous avons fait une recherche concernant les données relatives aux risques naturels sur la commune et à proximité qui nous a apporté plusieurs documents.

- Le PPR de Saint-Girons approuvé le 4 novembre 2004.
- Le PPR de Saint-Girons révisé et approuvé le 7 juillet 2011.
- Le PPR de Montjoie en Couserans approuvé le 18 avril 2011.
- Le PPR de Saint-Lizier approuvé le 12 novembre 2002.
- Le PPR d'Eycheil approuvé le 12 mai 2005.
- La base de données nationale RTM sur <http://rtm-onf.ifn.fr/>.
- La Carte Informatrice des Risques d'Inondations (CIZI) éditée par la DREAL-Occitanie.
- La cartographie informative des phénomènes naturels à risques sur la chaîne des Pyrénées (CIPRIIP) éditée par la DREAL-Occitanie.
- Les données de la Base de Données Historiques sur les Inondations (BDHI) sur <http://bdhi.fr/>
- Les données de la base de données sur les repères de crues sur <https://www.reperesdecrues.developpement-durable.gouv.fr/>

Puis nous avons recherché les études existantes et trouvé plusieurs références.

- [1] RTM, Service Départemental, «Etude du Baup dans la traversée de Saint-Girons,» 23/07/97.
- [2] BRL Ingenierie, «Cartographie de zones inondée en fonction des hauteurs à une échelle réglementaire - lot n°5 - Le Salat,» Novembre 2015.
- [3] RTM, ONF, «Commune de Saint-Girons, Plan de Prévention des Risques naturels prévisibles,» 2003.
- [4] AGERIN, «Etude hydraulique chemin du Ticoulet,» Commune d'Eycheil, 2013.
- [5] AGERIN, «Dimensionnement de la passerelle sur le Salat. Constitution du dossier loi sur l'eau. DDE de l'Ariège,» Saint-Girons, 2007.
- [6] AGERIN, «Etude de lutte et prévention des crues et inondations du Lez,» Saint-Girons, 2006.
- [7] AGERIN, «Cartographie des zones inondées - Crue du Salat du 7 Novembre 2011. DREAL Midi-Pyrénées.»
- [8] B. Hydro, 00502520 *Le Salat à Saint-Lizier [Saint Girons]*, Crue de Mai 1977.
- [9] M. PARDE, «Le Régime de la Garonne,» Revue géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest, tome 6 fascicule 2-3, p 105-262, 1935.
- [10] M. PARDE, «Sur les inondations en Aquitaine, spécialement dans le bassin de la Garonne, à propos de la crue de Février 1952,» Revue de Géographie des Pyrénées et du Sud Ouest, tome XXV, Fasc1 pp 5-38, 1954.
- [11] DREAL, «L'évaluation préliminaire des risques d'inondation 2011 BASSIN ADOUR-GARONNE - Annexes,» 2012.
- [12] AGERIN, «Inventaire des repères et photographies de crues sur le bassin du Salat, DREAL Midi-Pyrénées,» 2005.
- [13] AGERIN, «Etude d'une passe à poissons de montaison sur le Salat. Mairie de Saint-Girons,» Saint-Girons, 2013.



[14] Métaillé, «Le torrent et le fleuve ; risque , catastrophes et aménagements dans les Pyrénées et leurs piémonts. Fin du XVII ème - XXème siècle,» 1991.

Note : Les numéros ci-dessous sont repris dans le corps du texte pour citer les sources.

Enfin, nous avons fait une recherche des données d'hydrométrie sur la banque HYDRO par le biais du site <http://www.hydro.eaufrance.fr/> et du logiciel d'accès directe et de requêtes HYDRO 3.



2 L'ANALYSE HYDROMORPHOLOGIQUE

Sur les zones non modélisées, principalement l'amont du Baup (en dehors de la zone d'enjeux) et les petits affluents, l'aléa a pu être complété par analyse hydro-géomorphologique.

L'étude hydro-géomorphologique s'appuie sur l'examen des indices et marqueurs des morphodynamiques fluviales récentes (et plus anciennes). Elle permet de distinguer les éléments structurant de la morphologie fluviale (lit mineur, lit majeur, rebords de terrasses, chenaux fonctionnels, paléo-chenaux,...). En effet, dans une plaine alluviale fonctionnelle les crues successives, laissent des traces d'érosions et de dépôts qui construisent la géomorphologie fluviale des lits mineurs et majeurs. Ainsi, certaines formes permettent de distinguer des zones d'emprises pour les crues fréquentes, moyennes et rares tout en donnant des indices précieux sur l'intensité et la fréquence des phénomènes dans chaque zone étudiée. Ainsi, une analyse par un géomorphologue fluvial qualifié permet de connaître et de délimiter les modelés fluviaux caractéristiques des différentes crues rencontrées, notamment pour la crue de référence fixant les limites théoriques de l'emprise des inondations.

De cette manière, il est possible de différencier précisément les différentes zones.

- Les zones inondées très fréquemment qui se caractérisent par un relief composé d'atterrissements (avec des matériaux peu altérés, sans structures pédologiques et peu enrichis en matière organique du fait d'un faible temps pour la pédogenèse) et des chenaux dont les pentes de berges témoignent de l'intensité des débordements (plus les débordements sont intenses et fréquents, plus les pentes de berges sont vives). Cette zone correspond grossièrement au lit mineur et à ses annexes fluviales (bras morts, ...).
- La partie fonctionnelle active du lit majeur, inondable fréquemment (entre 5 et 20 ans) est composée d'une succession de chenaux actifs et d'interfluves alluviaux. Dans ces zones, on peut distinguer de nombreux chenaux qui se recoupent, certains étant fonctionnels et d'autres non actifs. Lorsque l'on étudie les matériaux, ces derniers sont faiblement enrichis en matière organique et la structure pédologique se limite à un début d'horizon A superficiel (soit une structure du sol peu développée). Pour les cours d'eau disposant d'une grande plaine alluviale cet espace fluvial peut se développer sur plusieurs centaines de mètres de largeur. Dans la quasi-totalité des situations, cette zone n'est pas occupée par l'habitat ancien.
- Les zones de remplissage du lit majeur, qui s'étendent jusqu'au contact avec les rebords de la terrasse issue de la dernière période froide (notée Fy le plus souvent, soit le contact Fz et Fy) ou avec le substrat sous-jacent. Il s'agit en général d'un espace pratiquement plat, avec peu ou pas de trace de chenaux fonctionnels (présence toutefois de paléo-chenaux pas ou peu fonctionnels, voire de chenaux hérités peu fonctionnels). Cet espace n'est concerné que par les plus fortes crues. Sur un plan pédologique, on trouve de vrais sols avec horizons A et B marqués, sols développés sur des dépôts alluviaux généralement limoneux. Dans les parties basses, on trouve des sols hydromorphes à gleys ou à pseudo-gleys. Cette zone, sur le plan humain, peut être l'objet d'une urbanisation ancienne, mais généralement sur ses marges. Cette zone correspond à l'extension maximale fonctionnelle du lit majeur.

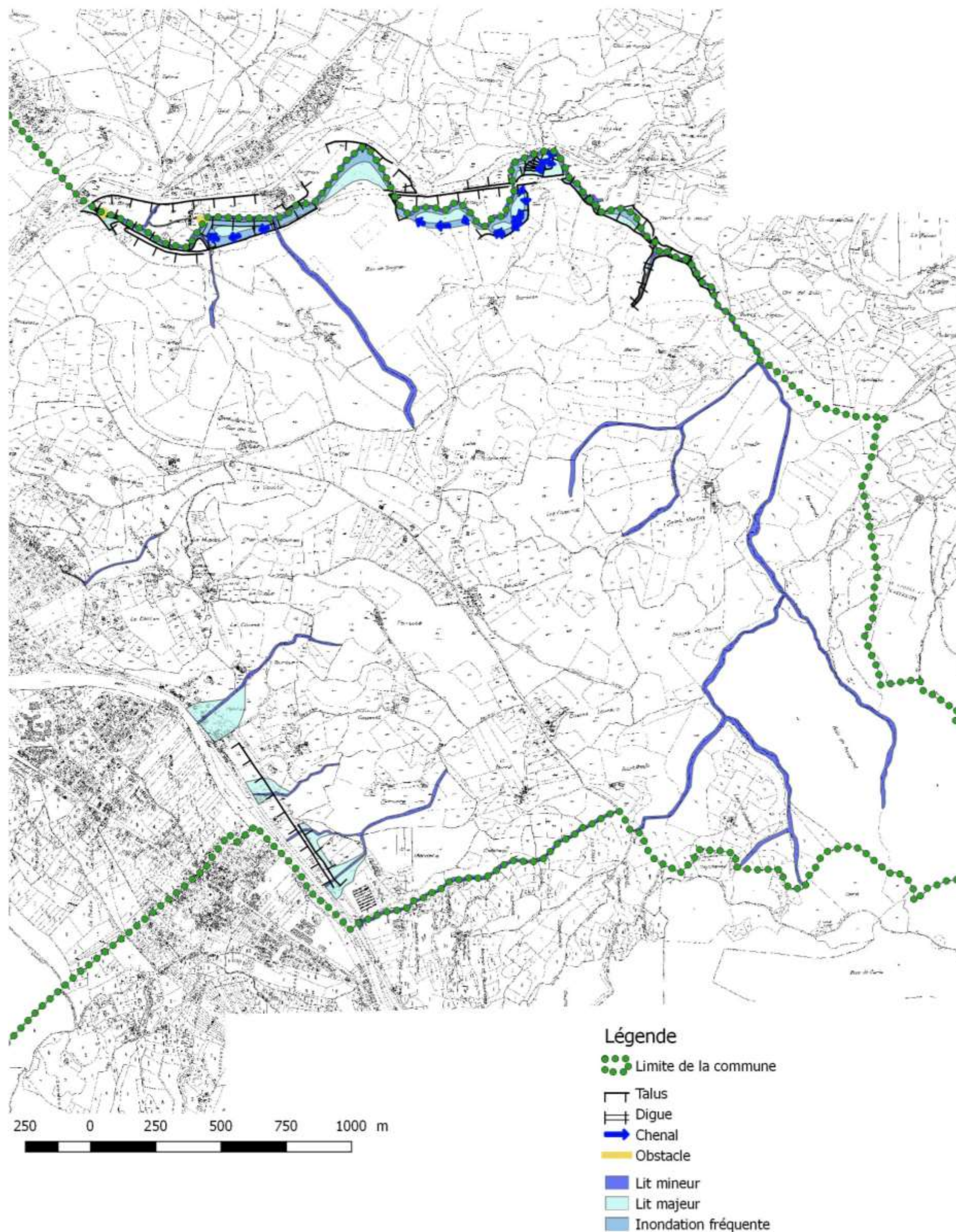


Concernant spécifiquement la commune de Saint-Girons, nous avons étudié la partie du Baup en amont de l'aire d'accueil des gens du Voyage, et les affluents du Baup. On y trouve une morphologie très nette avec de nombreux chenaux actifs et un lit majeur fonctionnel, même si le remblai de l'ancienne voie ferrée modifie les écoulements en générant des limitations de l'extension latérale de la crue ou des phénomènes de sur-stockage, favorables au laminage, en amont des ponts. Nous avons aussi étudié l'amont du Carbalasse, mais l'artificialisation complète des écoulements nous a rendu l'analyse compliquée et sans certitudes. La modélisation devrait apporter plus de précision. Nous avons aussi étudié les petits ruisseaux de la rive droite entre Mandette à l'amont et le chemin de Pégoumas à l'aval.

- Le ruisseau marquant la limite de la commune au sud à Mandette ne génère pas de débordements marqués à l'exception de son franchissement de la D3 avec un risque d'embâcles au petit pont.
- Plus au nord, un ruisseau permanent venant du lieu-dit « Samurre » se bloque contre l'ancienne voie ferrée et génère des inondations en amont, où se trouve plusieurs habitations. Un témoignage de 1977 nous rapporte une inondation « importante ».
- Le ruisseau du venant du Camping du Palétès est susceptible de déborder sur l'apex de son cône et d'inonder modérément une habitation sur sa rive gauche.
- Le ruisseau du Palétès est susceptible de déborder sur son cône et d'inonder modérément plusieurs habitations en amont de la D3, en grande partie du fait d'aménagements hydrauliques « inappropriés ».
- Enfin, un ruisseau arrive sur le chemin de Pégoumas avant d'être capté sans que nous ayons trouvé son débouché. La taille de l'entonnement laisse penser qu'il risque de prendre la route de Pégoumas avant d'inonder le secteur des vignes, sans qu'il soit possible de définir l'ampleur du phénomène avec précision. Phénomène qui devrait toutefois rester modeste.



Cartographie hydromorphologique des zones non modélisées



Carte 2 : Cartographie hydromorphologique des zones non modélisées

3 CAMPAGNE TOPOGRAPHIQUE

Dans la suite de l'étude, nous réaliserons une modélisation hydraulique qui nécessite une connaissance fine du relief de la zone d'étude.

La topographie du domaine modélisé sera constituée par les données RGE fournies par le Maître d'Ouvrage couplées à plus de 5000 points bathymétriques et points de levés de terrain terrestre que nous avons réalisés.

Le matériel mis en œuvre pour réaliser ces levés est le suivant :

- un GPS topographique temps réel Ashtech Promark 200 RTK avec liaison GSM et traitement en temps réel par le réseau TERIA [précision centimétrique en X, Y et Z] ;
- une station topographique terrestre (optique et laser LEICA TCR 407) [précision centimétrique en X, Y et Z].

Ainsi, la zone susceptible d'être exposée à la montée des eaux est définie de façon précise par le couplage de l'ensemble de ces données. Les ouvrages présents dans la zone d'étude (ponts, seuils) ont fait l'objet de levés topographiques pour être intégrés ultérieurement dans le modèle.

Toute l'étendue du domaine d'étude modélisé dispose par conséquent d'une information topographique.

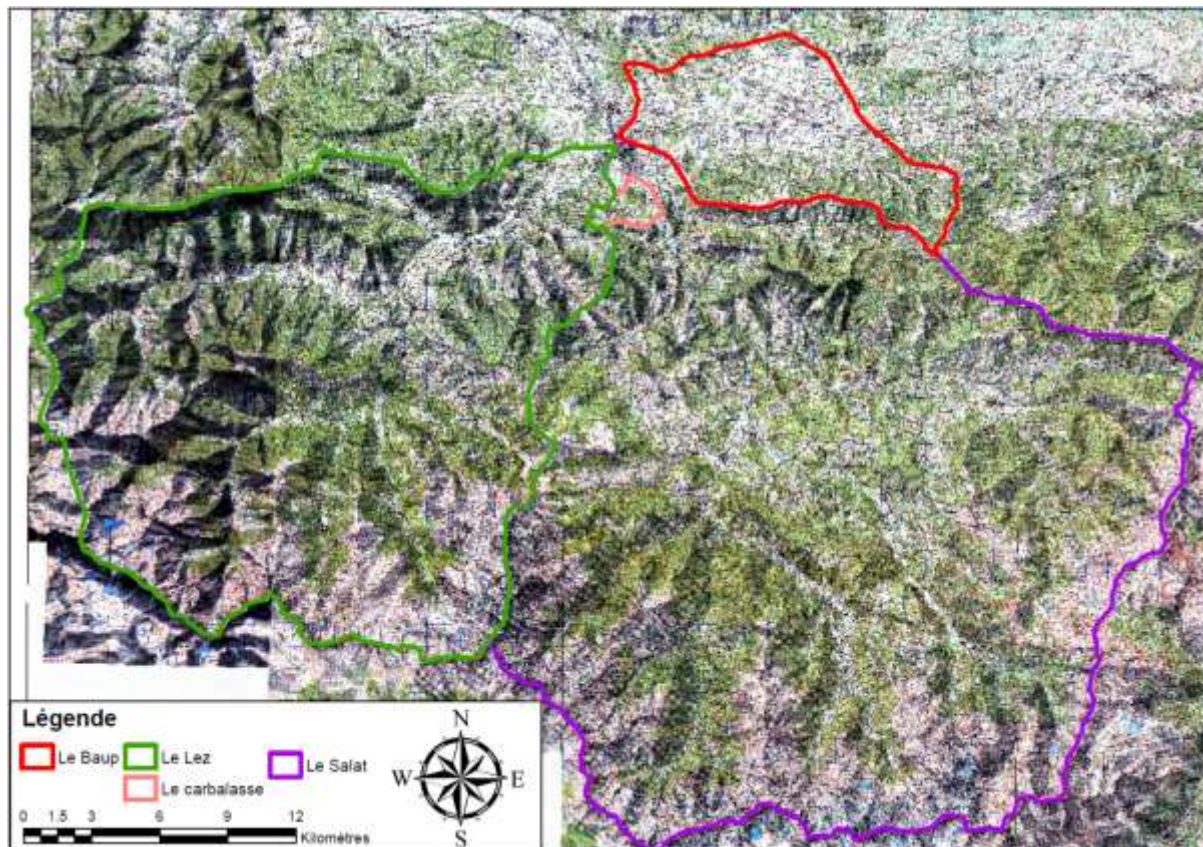
La carte des données topographiques est fournie en annexe 5 du présent dossier.

Lors de cette campagne de terrain, nous avons également relevé deux laisses de crues non répertoriées auparavant et complété un repère par du nivellement (repère de la crue de 1875 à Saint-Girons). Ces fiches de crues sont fournies en annexe 4.



4 CARACTERISTIQUES DES BASSINS VERSANTS ETUDIES

Les bassins versants ont été tracés en tenant compte de la morphologie du terrain naturel et des aménagements hydrauliques.



Carte 3 : Limite des différents bassins versants considérés

Les paramètres présentés ci-dessous ont été obtenus grâce à l'analyse des bassins versants et de leurs caractéristiques. Dans un second temps, nous avons réalisé un découpage de la base de données Corine Land Cover (base de données européenne d'occupation biophysique des sols) par les bassins versants.

Les caractéristiques de l'occupation des sols (cultures, bois, urbain...) couplées aux pentes calculées pour les bassins versants, permettent, via l'utilisation de tables de coefficients de ruissellement de calculer un coefficient de ruissellement global pour le bassin.

Tableau 1 : Caractéristiques des différents bassins versants

Cours d'eau	Superficie (km ²)	Longueur hydraulique (km)	Altitude max (m)	Altitude min (m)	Pente du bassin versant (m/m)	Coefficient de Ruissellement
Le salat en aval de la confluence	1154.8	45.4	2889	380	0.474	0.28
Le Salat en amont de la confluence avec le lez	662.7	45.1	2889	386	0.498	0.27
Le Salat en aval de la confluence avec le Lez et en amont de la confluence avec le Baup	1082	45.3	2889	383	0.491	0.27
Le Lez	418.5	38.3	2880	386	0.480	0.28
Le Baup	73.7	22.5	997	381	0.227	0.29
Ruisseau Carbalasse	4.2	3.4	832	393	0.284	0.31



Tableau 2 : Occupation du sol en % sur la base de l'inventaire Corine Land Cover

	Territoires artificialisés	Territoires agricoles	Forêts et milieux semi-naturels
Le salat en amont de la confluence	0.7%	12.2%	87.1%
Le salat en aval de la confluence avec le Lez	0.7%	13.5%	85.7%
Le salat en aval de la confluence avec le baup	0.7%	16.9%	82.4%
Le Lez	0.7%	15.7%	83.6%
Le Baup	0.6%	58.6%	41.1%
Ruisseau Carbalasse	6.3%	48.4%	45.3%



5 METHODOLOGIE

Afin de déterminer les débits caractéristiques au droit des zones à modéliser, nous avons travaillé à l'aide d'ajustements statistiques sur les débits maximaux instantanés relevés sur les bassins versants jaugés et à l'aide de méthodes déterministes de transformation pluie/débit utilisant la pluviométrie et les données caractéristiques des bassins versants comme informations de départ. Nous avons ensuite analysé les résultats obtenus par les différentes méthodes et nous les avons comparés aux résultats obtenus lors d'études antérieures afin de choisir pour chaque zone des Q_{10} , Q_{20} , Q_{50} et Q_{100} de référence. Les résultats obtenus ont également été comparés aux résultats fournis par la base de données SHYREG.

5.1 Méthode statistique

Une analyse fréquentielle a été effectuée sur les débits recueillis sur plusieurs stations hydrométriques du Salat et du Lez (les autres rivières étudiées ne sont pas jaugées).

Cela consiste à réaliser une étude statistique de prédiction en fonction des événements connus, afin de définir les probabilités d'apparitions futures (débit et période de retour).

On suppose que le futur régime hydrologique d'une rivière aura une certaine relation avec le régime hydrologique passé de cette même rivière. Ainsi, grâce à l'étude statistique des données, on pourra prévoir le régime futur (avec une certaine marge d'erreur).

La relation entre débit futur et passé de cette rivière est traduite par une loi statistique.

Nous avons utilisé plusieurs lois d'ajustement statistique différentes, à l'aide du logiciel Hydrolab sur plusieurs stations hydrométriques présentant des données exploitables (relevés de débits maximum instantanés de crue sur une durée suffisante).

Les lois statistiques suivantes ont été utilisées : loi de Gumbel, loi de Galton (loi log-normale), loi de Fuller, loi de Gauss (loi normale), loi racine-normale et loi de Weibull.

Les différentes stations pouvant être utilisées sont les suivantes :

Tableau 3 : Stations hydrométriques du Salat et du Lez

Rivière	Code station	Lieu	Mise en service	Arrêt de la station	Taille du bassin versant (km²)	Remarques
Lez	O0444010	Le Lez aux Bordes-sur-Lez	01/01/1971	x	212	Station exploitable mais moins représentative de la zone d'étude que la station suivante (différence plus importante de bassin versant avec le bassin étudié)
Lez	O0484010	Le Lez à Engomer [Balaguères]	01/01/1970	x	365	Station exploitable
Salat	O0502520	Le Salat à Saint-Lizier [Saint-Girons]	01/01/1974	x	1154	Station exploitable
Salat	O0592510	Le Salat à Roquefort-sur-Garonne	01/08/1912	x	1570	Station exploitable mais seules les données à partir de 1963 sont validées comme bonnes par la banque Hydro
Salat	O0362510	Le Salat à Soueix-Rogalle [Kercabanac]	01/01/1931	x	379	Station exploitable
Salat	O0362520	Le Salat à Soueix-Rogalle [Brousset]	13/04/1987	x	372	Seulement 8 années de données, station non exploitable

Suite aux remarques formulées ci-dessus, nous avons réalisé les ajustements statistiques sur les stations suivantes :

- Le Lez aux Bordes-sur-Lez ;
- Le Lez à Engomer [Balaguères] ;
- Le Salat à Saint-Lizier [Saint-Girons] ;
- Le Salat à Soueix-Rogalle [Kercabanac] ;
- Le Salat à Roquefort-sur-Garonne.

Après une analyse et une comparaison des résultats obtenus par les différentes approches, nous avons sélectionné les débits de projet décennal (Q_{10}), vingtennal (Q_{20}) et cinquantennal (Q_{50}). Le calcul du débit centennal fera l'objet d'une attention particulière car la taille des chroniques n'est souvent pas suffisante pour permettre une détermination fiable de celui-ci pour toutes les stations.



L'ajustement statistique a été réalisé en prenant les n plus grands débits de chacune des stations limnimétriques sélectionnées, n étant le nombre d'années de données à la station. Les valeurs des débits maximaux Qix (annuels) ont été extraites de la Banque HYDRO à l'aide de requêtes « CRUCAL » et « TOUSQIX ». Nous avons ensuite trié et analysé ces données afin d'en extraire les n plus grands débits (par année calendaire).

Nous avons finalement utilisé la formule de Myer pour calculer le débit correspondant au droit des zones modélisées en partant des stations étudiées.

Formule de Myer : $Q_2 = Q_1 \cdot \left(\frac{S_2}{S_1}\right)^{0,8}$ avec S la surface des bassins versants respectifs (km²).

5.2 Méthode déterministe

Dans un premier temps, nous avons défini, par SIG¹, les paramètres morphologiques des différents bassins versants (voir partie « Caractéristiques des bassins versant étudiés »).

Nous avons reconstitué des pluies type (pluies de projet) grâce à l'utilisation des coefficients de Montana qui permettent de déterminer une hauteur de précipitations pour un pas de temps donné ou une intensité en fonction d'un pas de temps.

Peu de stations pluviométriques permettent de disposer de ces coefficients, sur notre zone d'étude, seule la station de Saint-Girons présente ces données.

Leurs caractéristiques sont les suivantes :

Tableau 4 : Coefficients de Montana issus de la station de Saint-Girons (données Météo-France)

Période de retour	Pluies de durée : 6 minutes à 30min		Pluies de durée : 30 min à 3 h		Pluies de durée : 3 h à 24h	
	a	b	a	b	a	b
5 ans	3,322	0,465	8,620	0,747	4,794	0,638
10 ans	4,039	0,489	9,087	0,729	5,392	0,631
20 ans	4,730	0,514	8,838	0,698	5,942	0,622
30 ans	5,117	0,528	8,569	0,679	6,229	0,616
50 ans	5,582	0,542	8,130	0,653	6,534	0,607
100 ans	6,318	0,570	7,297	0,612	6,967	0,595

Ces coefficients de Montana permettent de calculer les hauteurs de précipitation par la formule $H=a \cdot t^{1-b}$ avec H la hauteur de pluie en mm et t la durée de la pluie en minutes.

Les temps de concentration ont été définis avec plusieurs formules : Turraza, Ventura, SOGREAH, Johnstone et Cross qui sont présentées dans l'annexe 1. De manière générale, nous avons privilégié les formules de SOGREAH, de Turraza et de Ventura.

¹ Système d'Information Géographique



Dans un second temps, nous avons utilisé principalement les formules déterministes de CRUPEDIX, ANETO, abaque de la SOGREAH (pour le Baup et le Carbalasse) pour les débits de projet décennaux.

Pour les autres débits, nous avons utilisé la méthode du GRADEX sous différentes variantes (Gradex brutal, Gradex progressif et Gradex revu), la méthode SOGREAH, la méthode rationnelle et la méthode QDF (modèle de Soyans) sur l'ensemble des bassins versants étudiés. Les différentes formules et leurs champs d'application sont présentés en annexe 2.

A nouveau, pour les bassins versants étudiés, il sera utilisé uniquement les méthodes applicables à leurs caractéristiques.

Pour les courbes IDF (intensité/durée/fréquence), elles ont été obtenues à partir des coefficients de Montana.

En fonction de l'analyse des pluies du secteur, les caractéristiques pluviométriques de la zone ont été définies (analyse de données issues des stations pluviométriques et analyses des cartes des pluies journalières décennale et centennale (PJ_{10} et PJ_{100}) réalisées par Météo-France pour le RTM Pyrénées à l'occasion de la mise au point de la méthode ANETO.

Tableau 5 : Caractéristiques pluviométriques des différents cours d'eau

Bassin versant	PJ_{10} (mm)	PJ_{100} (mm)	Pluie annuelle (mm)
Le Salat	90	160	1300
Le Lez	90	160	1300
Le Baup	90	140	1200
Ruisseau Carbalasse	80	125	1050

5.3 Base de données SHYREG

Dans le cadre de ses activités de recherche et d'appui aux politiques publiques, l'IRSTEA a mis en œuvre la méthode SHYREG afin d'estimer des quantiles de débits de crue sur l'ensemble du territoire métropolitain. L'aboutissement de ce travail est une base de données informatique des débits de crue estimés pour différentes durées et pour différentes périodes de retour (entre 2 et 1000 ans) en tout point du réseau hydrographique.

La méthode SHYREG est une méthode d'estimation de l'aléa hydrologique, basée sur la régionalisation (prise en compte homogénéisée des caractéristiques locales) de paramètres de modèles (générateur de pluie et modélisation hydrologique). Cette régionalisation implique la prise en compte de variables locales pouvant influencer le régime hydrologique naturel de surface et consécutif à une précipitation.

Les données concernant la zone d'étude et contenues dans la base SHYREG ont été extraites, compilées et comparées aux données calculées précédemment.

L'extrapolation des débits a été réalisée comme précédemment grâce à la relation de Myer.



6 DETERMINATION DES DEBITS PROJETS

6.1 Analyses statistiques

Comme il l'a été précédemment précisé, seuls les débits décennaux, vingtennaux, et cinquantennaux ont été retenus pour la plupart des stations car les chroniques de données sont trop courtes pour estimer une période de retour centennale. Les ajustements réalisés sur les stations présentant entre 40 et 50 valeurs conduisent systématiquement à une très forte sous-estimation des débits de crue centennaux (analyse visuelle des régressions statistiques).

Ces derniers ne sont donc pas été présentés dans les tableaux ci-dessous.

Il est important de préciser que pour chaque station nous avons bien évidemment tenu compte de la qualité des ajustements effectués à l'aide des différentes lois utilisées dans le choix du débit de projet. Les lois d'ajustement statistique étaient globalement satisfaisantes mis à part la loi de Fuller. Cette dernière n'a été retenue pour aucune station car la corrélation entre les valeurs réelles et la courbe théorique est insuffisante.

Les valeurs de la station de Soueix-Rogalle [Kercabanac], n'ont pas été exploitées car aucune loi statistique testée ne s'ajuste aux valeurs de façon satisfaisante. De fait, cette station a été écartée de l'analyse.

Pour la station de Roquefort-sur-Garonne, les ajustements statistiques ont été réalisés sur la totalité des enregistrements car l'ajout ou non des valeurs dites « douteuses » par la banque HYDRO ne change pas significativement les résultats.

Les ajustements statistiques sont fournis en annexe 3.



Tableau 6 : Pour le débit décennal (Q_{10})

Cours d'eau	Stations utilisées	Nb d'années de mesures	Surface du bassin versant (km ²)	Détail des Q_{10} calculés (m ³ /s)					Q_{10} retenu (m ³ /s) au droit des stations
				Gumbel	Galton (Log Normale)	Loi de Gauss (Loi Normale)	Loi Racine Normale	Loi de Weibull	
SALAT	Le Salat à Saint-Lizier [Saint Girons]	43	1154	491.5	476.3	488	475.1	494.1	485
	Le salat à Roquefort-sur-Garonne	104	1570	884.9	884.9	878.5	867.7	897	883
LEZ	Le Lez à Engomer [Balaguères]	47	365	162.7	164.1	161.5	160.4	166.4	163
	Le Lez aux Bordes sur lez	42	212	65.1	66.6	64.7	65.2	68	66

Tableau 7 : Pour le débit vingtenal (Q_{20})

Cours d'eau	Stations utilisées	Nb d'années de mesures	Surface du bassin versant (km ²)	Détail des Q_{20} calculés (m ³ /s)					Q_{20} retenu (m ³ /s) au droit des stations
				Gumbel	Galton (Log Normale)	Loi de Gauss (Loi Normale)	Loi Racine Normale	Loi de Weibull	
SALAT	Le Salat à Saint-Lizier [Saint Girons]	43	1154	577.13	564.1	543.4	541.1	580.5	561
	Le salat à Roquefort-sur-Garonne	104	1570	1036.9	1057.1	977.0	989.7	1041.2	1020
LEZ	Le Lez à Engomer [Balaguères]	47	365	190.8	197	179.7	183.4	195.7	189
	Le Lez aux Bordes sur lez	42	212	73.4	75.3	70.1	71.8	77	74



Tableau 8 : Pour le débit cinquantennal (Q_{50})

Cours d'eau	Stations utilisées	Nb d'années de mesures	Surface du bassin versant (km ²)	Détail des Q_{10} calculés (m ³ /s)					Q_{50} retenu (m ³ /s) au droit des stations
				Gumbel	Galton (Log Normale)	Loi de Gauss (Loi Normale)	Loi Racine Normale	Loi de Weibull	
SALAT	Le Salat à Saint-Lizier [Saint Girons]	43	1154	687.9	682.5	605.7	620.4	687.4	657
	Le salat à Roquefort-sur-Garonne	104	1570	1233.7	1291.2	1087.7	1136.6	1215.2	1193
LEZ	Le Lez à Engomer [Balaguères]	47	365	227.2	241.8	200.2	211.1	231.7	222
	Le Lez aux Bordes sur lez	42	212	84.3	86.4	76.2	79.6	87.8	83

Tableau 9 : Pour le débit centennal (Q_{100})

Cours d'eau	Stations utilisées	Nb d'années de mesures	Surface du bassin versant (km ²)	Détail des Q_{10} calculés (m ³ /s)					Q_{100} retenu (m ³ /s) au droit des stations
				Gumbel	Galton (Log Normale)	Loi de Gauss (Loi Normale)	Loi Racine Normale	Loi de Weibull	
SALAT	Le salat à Roquefort-sur-Garonne	104	1570	1222	1465.8	1158	1237	1244.4	La plupart des régressions statistiques montrent une sous-estimation significative des débits pour les fortes valeurs. $Q_{100} > 1300 \text{ m}^3/\text{s}$



La station de Roquefort-sur-Garonne nous donne des débits spécifiques nettement supérieurs à ceux enregistrés à Saint-Lizier, or naturellement les débits spécifiques diminuent au fur et à mesure que la taille des bassins augmente et qu'on s'éloigne des zones de montagnes.

Etant donné les risques liés à l'extrapolation des données, nous retiendrons préférentiellement les valeurs issues de la station de Saint-Lizier mais nous porterons un regard critique sur ces valeurs qui pourraient être source de sous-estimations des débits.

Nous observons également des différences de débits après extrapolation des débits du Lez.

Tableau 10 : Débits Q_{10} , Q_{20} et Q_{50} retenus et débits spécifiques au droit des stations

Cours d'eau	Stations utilisées	Nb d'années de mesures	Surface du bassin versant (km ²)	Débits retenus au droit des stations			Débits spécifiques (m ³ /s/km ²)		
				Q_{10}	Q_{20}	Q_{50}	Q_{10}	Q_{20}	Q_{50}
SALAT	Le Salat à Saint-Lizier [Saint-Girons]	43	1154	485	561	657	0.420	0.486	0.569
	Le salat à Roquefort-sur-Garonne	104	1570	883	1020	1193	0.562	0.650	0.760
LEZ	Le Lez à Engomer [Balaguères]	47	365	163	189	222	0.447	0.518	0.608
	Le Lez aux Bordes-sur-Lez	42	212	66	74	83	0.311	0.349	0.392

Afin de minimiser les erreurs, nous avons retenu, pour les débits du Lez, les débits extrapolés à partir de la station d'Engomer dont la superficie du bassin versant est plus proche de celle étudiée.

Ces données seront confrontées aux autres analyses afin de déterminer l'ensemble des débits de façon précise. De manière générale, plus on cherche des débits présentant de grandes périodes de retour, plus l'incertitude augmente (en lien avec le nombre de données disponibles).

Grâce à la formule de Myer on calcule le débit correspondant au droit de la zone modélisée en partant des stations ci-dessus. On obtient un débit équivalent :

Tableau 11 : Débits équivalents des cours d'eau au droit de la zone étudiée

Cours d'eau	Superficie (km ²)	Débits équivalents équivalent au droit de la zone d'étude (m ³ /s)			
		Q ₁₀	Q ₂₀	Q ₅₀	Q ₁₀₀
Le Salat en aval de la confluence avec le Baup	1154.8	485	561	657	>1000
Le Salat en amont de la confluence avec le Lez	662.9	311	360	421	X
Le Salat en aval de la confluence avec le Lez et en amont de la confluence avec le Baup	1082	460	533	624	X
Le Lez	418.2	182	211	248	X



6.2 Analyse déterministe

Tableau 12 : Résultats de l'analyse déterministe pour Q_{10} et Q_{20}

Cours d'eau	Surface du bassin versant (km ²)	Tc (h)	Q ₁₀ (en m ³)					Q ₂₀ (en m ³)				Débits retenus	
			SCS	Aneto	Crupedix	Méthode Sogreah	Socose	Gradex progressif	Rationnelle	QDF	Gradex revu	Q ₁₀ retenus	Q ₂₀ retenus
Le salat en aval de la confluence	1154.8	6.5	586.9	460	470.9	X	X	599.5	783.1	540.6	770.5	470	670
Le Salat en amont de la confluence avec le lez	662.9	5.4	325.5	298.3	311.2	X	X	401.4	486.4	362.3	487.5	315	430
Le Salat en aval de la confluence avec le Lez et en amont de la confluence avec le Baup	1082	6	542.7	437.2	462.4	X	X	586.7	743.6	529.1	741.5	460	620
Le Lez	418.2	4.4	194.1	208.3	215.3	X	X	269.1	361.5	241.5	321.2	210	300
Le Baup	73.7	3	X	53.8	53.7	50	37	69.8	80.8	61.9	74.8	53.8	73
Ruisseau Carbalasse	4.26	0.5	X	5.4	5.6	5.5	3.1	7.2	15.8	6.3	6.7	5.5	9



Tableau 13 : Résultats de l'analyse déterministe pour Q_{50} et Q_{100}

Cours d'eau	Surface du bassin versant (km ²)	Tc (h)	Q ₅₀ (en m ³)				Q ₁₀₀ (en m ³)				Débits retenus	
			Gradex progressif	Rationnelle	QDF	Gradex revu	Gradex progressif	Rationnelle	QDF	Gradex revu	Q ₅₀ retenus	Q ₁₀₀ retenus
Le salat en aval de la confluence	1154.8	6.5	899.4	941.7	791.9	1159.4	1240.8	1078.6	1057.7	1450.8	950	1200
Le Salat en amont de la confluence avec le lez	662.9	5.4	599.3	583.4	530.8	710.7	821.6	666.7	708.9	878	605	750
Le Salat en aval de la confluence avec le Lez et en amont de la confluence avec le Baup	1082	6	880.2	893.2	775.1	1105.9	1214.1	1022.1	1035.2	1379	895	1100
Le Lez	418.2	4.4	406	432.2	353.8	465.1	561.7	492.7	472.6	598.9	395	480
Le Baup	73.7	3	105.5	96.1	90.7	102	144.6	109.1	121	122.3	95	115
Ruisseau Carbalasse	4.26	0.5	11.2	18.2	9.3	8.3	16	20.3	12.4	9.5	12	15

La méthode SOGREAH est adaptée à des bassins versants de moins de 100 km².

La méthode de Socose est adaptée à des bassins versants dont la surface est comprise entre 2 et 200 km².

Le gradex brutal n'est jamais privilégié car celui-ci est plus pertinent sur des périodes de retour plus élevées que la crue centennale.

La méthode SCS est jugée peu fiable car fortement impactée par le choix du CN (paramètre de la formule).

La méthode ANETO a été retenue car les bassins versants se situent dans la zone pour laquelle la formule a été développée.

X : méthode non adaptée ou non pertinente.



6.3 Analyse SHYREG

Comme pour toute méthode, les estimations fournies par la méthode SHYREG sont soumises à un certain nombre d'incertitudes. La méthode SHYREG a été calée sur des bassins versants jugés « non influencés », c'est-à-dire correspondant à des fonctionnements dits « naturels ». Or certains bassins présentent des fonctionnements pouvant être contraints par différentes configurations mettant en défaut la méthode.

Par exemple, la totalité des bassins est influencée par des apports neigeux et pour le bassin versant du Lez, le code confiance stipule « Sûrement hors application » de par l'influence de barrage sur le régime naturel du cours d'eau.

Tableau 14 : Influence des apports neigeux sur les bassins versants

Numéro de fiche SHYREG	Nom équivalent de la zone pour l'étude	Aire (km ²)	Q ₁₀ (m ³ /s)	Q ₂₀ (m ³ /s)	Q ₅₀ (m ³ /s)	Q ₁₀₀ (m ³ /s)	Code de confiance
GiroChar_4780	Le Salat en amont de la confluence avec le lez	662.8	317	377	473	559	Bassin fortement influencé (apport neigeux)
GiroChar_4781	Le Lez	419.1	121	146	186	222	Sûrement hors application (influencé par un barrage) Bassin fortement influencé (Apport neigeux),
GiroChar_4782	Salat en aval de la confluence avec le Lez et en amont de la confluence avec le Baup	1082	383	454	567	670	Bassin fortement influencé (barrages <u>et</u> apport neigeux)
GiroChar_4783	Le Baup	74.2	53.6	65.8	85.4	103	Bassin fortement influence (apport neigeux)
O0502520	Le Salat en aval	1150	428	500	616	723	Bassin fortement influencé (apport neigeux) Bassin faiblement influencé (barrage)

Source : Base de données SHYREG- date de consultation 29/03/2017 - <http://shyreg.irstea.fr/>



6.4 Analyse des études antérieures

Le tableau suivant regroupe les débits retenus dans les différentes études dont nous disposons.

Les références complètes des études d'où sont extraites les informations sont fournies dans la bibliographie en début de rapport.

Tableau 15 : Analyse des études antérieures

Etude	Ref.	Cours d'eau	BV associé (km ²)	Q ₁₀ (m ³ /s)	Q ₁₀₀ (m ³ /s)	Crue historique (m ³ /s)	Méthodes utilisées et avis	Débits équivalents estimatif au droit de notre zone d'étude (Myer)
Etude du BAUP (Saint-Girons)	[1]	Baup	69.6	45	90	1875= 41.7 m³/s 1996= équivaldrait à 70% de la crue centennale (fixée dans l'étude à 90 m³/s soit un débit de 63 m³/s)	La crue décennale est issue de la confrontation de plusieurs résultats obtenus grâce aux formules de prédétermination : SOGREAH, CRUPEDIX, SOCOSE, Méthode rationnelle, Méthode du SCS adaptée ZELLER. Pour la crue historique de 1875, l'étude cite des « services spécialisés ». Pour la crue de 1996, la façon dont le débit a été obtenu n'est pas précisée. La méthodologie employée est fiable, nous obtenons une valeur supérieure car nous nous basons sur une pluie décennale présentant une valeur plus importante (évolution probable des données relevées par les pluviomètres : l'étude à 20 ans) La crue centennale est obtenue de façon sommaire en multipliant le débit décennal par 2 (le rapport Q₁₀/Q₁₀₀ est souvent dans cet ordre d'idée toutefois, il peut varier de façon significative selon les bassins versants). Les débits sont cohérents avec ceux obtenus dans notre étude	(Q équivalents) Q₁₀ Baup= 45 m³/s Q₁₀₀ Baup= 90 m³/s Q₁₈₇₅= 41.7 m³/s Q₁₉₉₆≈ 63 m³/s



Etude	Ref.	Cours d'eau	BV associé (km²)	Q ₁₀ (m³/s)	Q ₁₀₀ (m³/s)	Crue historique (m³/s)	Méthodes utilisées et avis	Débits équivalents estimatif au droit de notre zone d'étude (Myer)																		
Cartographie de zones inondées en fonction des hauteurs à une échelle réglementaire – lot n°5	[2]	Salat	1079			Q _{23/06/1875} = 1100 m³/s (Pour un bassin versant de 1079 km²)	L'étude cite l'ancien PPR et reprend les valeurs suivantes : Q₁₀ = 470 m³/s Q₁₀₀ =1200 m³/s pour un bassin versant de 1079 km². Or les valeurs fournies par le PPR actuel sont de 539 m³/s pour le débit décennal et 964 m³/s pour le débit centennal pour un bassin versant de 1078 km². Il est également écrit (p.6) que « La crue de référence est la crue de 1897, située 36 cm au-dessus de la crue de 1875. » Il est également écrit qu' « Une incohérence apparait sur la fiche de la station sur le positionnement de la crue de 1875 et celle de 1897. » D'après notre analyse, il semblerait que la cote des 6 m pour la crue de 1875 ne soit pas localisée au bon endroit (voir paragraphe suivant) ce qui pourrait expliquer les incohérences citées ci-dessus. La crue de 1875 est présentée comme étant inférieure à une crue centennale : <table><tr><th>Date / Evenement</th><th>Fréquence</th><th>Débit m³/s</th></tr><tr><td>23 juin 1875</td><td>75</td><td>1100</td></tr><tr><td>11 juin 2000</td><td>5</td><td>380</td></tr><tr><td>5 octobre 1992</td><td>10</td><td>460</td></tr><tr><td>19 mai 1977</td><td>50</td><td>960</td></tr><tr><td>4 octobre 1937</td><td>15 à 30</td><td>600/800</td></tr></table> Il convient d'être extrêmement prudent avec les valeurs annoncées ci-dessus car il n'est pas précisé comment elles ont été obtenues.	Date / Evenement	Fréquence	Débit m³/s	23 juin 1875	75	1100	11 juin 2000	5	380	5 octobre 1992	10	460	19 mai 1977	50	960	4 octobre 1937	15 à 30	600/800	Pour le salat après la confluence avec le lez et en amont du Baup : Q₁₀₀ = 470 m³/s Q₁₀₀ = 1200 m³/s Q₁₈₇₅ = 1100 m³/s
Date / Evenement	Fréquence	Débit m³/s																								
23 juin 1875	75	1100																								
11 juin 2000	5	380																								
5 octobre 1992	10	460																								
19 mai 1977	50	960																								
4 octobre 1937	15 à 30	600/800																								



PPR de Saint-Girons (2003)	[3]	Salat	1078	539	964	$Q_{1977}=960 \text{ m}^3/\text{s}$	Ces données sont issues de l'« étude fréquentielle des débits de crue des cours d'eau en Midi-Pyrénées » (DIREN MP, UTM. 1993). Dans le PPR, il est spécifié que « Leur estimation à partir d'ajustements statistiques et leur nature (débits extrapolés) doit inciter à la prudence quant à leur précision. » Nous obtenons des débits différents et ne pouvons que confirmer la mise en garde sur les ajustements effectués.	Salat avant la confluence avec le Baup (Q identiques) $Q_{10}=539 \text{ m}^3/\text{s}$ $Q_{100}=964 \text{ m}^3/\text{s}$
		Lez	360	203	370		Seules les formules de Crupedix et la formule rationnelle ont été utilisés.	$Q_{10}=229 \text{ m}^3/\text{s}$ $Q_{100}=417 \text{ m}^3/\text{s}$
		Baup	78	65	102		Quand cela est possible, il convient de confronter les résultats obtenus grâce aux formules de prédétermination avec les analyses statistiques réalisées sur les stations hydrométriques.	(Q identiques) $Q_{10}=65 \text{ m}^3/\text{s}$ $Q_{100}=102 \text{ m}^3/\text{s}$
		Ruisseau de Carbalasse	4.8	12	16			$Q_{10}=10.9 \text{ m}^3/\text{s}$ $Q_{100}=14.5 \text{ m}^3/\text{s}$
Etude hydraulique chemin du Ticoulet – Commune d'Eycheil	[4]	Ruisseau de Carbalasse	1.46	$Q_{10}=2.5 \text{ m}^3/\text{s}$ $Q_{20}=3.2 \text{ m}^3/\text{s}$ $Q_{50}=4 \text{ m}^3/\text{s}$ $Q_{100}=5 \text{ m}^3/\text{s}$			Utilisation de plusieurs formules de prédétermination des débits pour la crue centennale et décennale. Il convient d'être prudent car les débits sont extrapolés d'un bassin quasiment trois fois plus petit que celui considéré. On obtient des valeurs proches de celles retenues si on tient compte des marges d'erreurs inhérentes à ce type d'extrapolation.	$Q_{10}=5.9 \text{ m}^3/\text{s}$ $Q_{20}=7.5 \text{ m}^3/\text{s}$ $Q_{50}=9.4 \text{ m}^3/\text{s}$ $Q_{100}=11.8 \text{ m}^3/\text{s}$
Dimensionnement de la passerelle sur le Salat	[5]	Salat	659	390	623	$Q_{06/1875}=700 \text{ m}^3/\text{s}$ $Q_{05/1977}=573 \text{ m}^3/\text{s}$	Les débits sont issus de la confrontation d'études statistiques sur les stations hydrométriques ainsi que de la confrontation de plusieurs formules de prédétermination. Bien que proches, les débits que nous retenons sont plus importants, probablement en raison du nombre plus important de données utilisées (10 années de plus).	Salat Amont (Q identiques) $Q_{10}=390 \text{ m}^3/\text{s}$ $Q_{100}=623 \text{ m}^3/\text{s}$ $Q_{06/1875}=700 \text{ m}^3/\text{s}$ $Q_{05/1977}=573 \text{ m}^3/\text{s}$



Etude de lutte contre les crues et inondations du Lez	[6]	Lez	418	210	380		Dans cette étude, il est spécifié que la crue de 1875 ne représente pas la crue centennale pour le bassin versant du Lez. Pour celui-ci la crue de référence est la crue centennale.	(Q identiques) $Q_{10}= 210 \text{ m}^3/\text{s}$ $Q_{100}= 380 \text{ m}^3/\text{s}$
Cartographie des zones inondées crue du Salat du 7 Novembre 2011	[7]	Salat				$Q_{2011}= 433 \text{ m}^3/\text{s}$ à Saintt Lizier	La crue de 2011 est qualifiée de crue décennale au niveau de Saint Girons	Salat en aval de la confluence $Q_{2011}= 433 \text{ m}^3/\text{s}$ à St Lizier



6.5 Choix des débits de projet

Tableau 16 : Résumé des résultats des analyses des débits Q_{10} , Q_{20} , Q_{50} et Q_{100}

Cours d'eau	Surface du bassin versant (km²)	Méthode déterministe (m³/s)				Analyse statistique (m³/s)				SHYREG (m³/s)				Etudes antérieures (équivalent au droit de la zone) (m³/s)					
		Q ₁₀	Q ₂₀	Q ₅₀	Q ₁₀₀	Q ₁₀	Q ₂₀	Q ₅₀	Q ₁₀₀	Q ₁₀	Q ₂₀	Q ₅₀	Q ₁₀₀	Q ₁₀	Q ₂₀	Q ₅₀	Q ₁₀₀	Crue historique	Source
Le Salat aval	1154.8	470	673	950	1200	485	561	657	>1000	428	500	616	723					Q _{05/1977} =960 m³/s	[8]
Le Salat en amont de la confluence avec le Lez	662.9	315	434	605	750	311	360	421	X	317	377	473	559	390			623	Q ₁₈₇₅ =700 m³/s	[5]
																		Q _{05/1977} = 573 m³/s	
Le Salat en aval de la confluence avec le Lez et en amont de la confluence avec le Baup	1082	460	650	850	1100	460	533	624	X	383	454	567	670	470			1200	Q ₁₈₇₅ =1100 m³/s	[2]
														539			964		[3]
Le Lez	418.2	210	302	395	480	182	211	248	X	121	146	186	222	229			417		[3]
														210			380		[6]
Le Baup	73.7	53.8	73	95	115	X	X	X	X	53.6	65.8	85.4	103	45			90	Q ₁₈₇₅ =41.7m³/s	[1]
																		Q ₁₉₉₆ ≈63m³/s	
														35			102		[3]
Ruisseau Carbalasse	4.26	5.5	9	12	15	X	X	X	X	X	X	X	X	10.9			14.5		[3]
														5.9	7.5	9.4	11.8		[4]

X : pas de données

Choix des débits :

Tableau 17 : Choix des débits retenus pour l'analyse hydrologique

Cours d'eau	Surface du bassin versant (km²)	Débits retenus pour l’analyse hydrologique (m³/s)			
		Q ₁₀	Q ₂₀	Q ₅₀	Q ₁₀₀
Le Salat aval	1154.8	480	673	950	1200
Le Salat en amont de la confluence avec le Lez	662.9	315	434	605	750
Le Salat en aval de la confluence avec le Lez et en amont de la confluence avec le Baup	1082	460	650	895	1100
Le Lez	418.2	210	302	395	480
Le Baup	73.7	53	70	90	110
Ruisseau Carbalasse	4.26	6	7.5	9.5	14.5



6.6 Analyses des crues historiques du Salat

6.6.1. Crue de 1875

M. PARDE, dans la « Revue géographique des Pyrénées et du sud-ouest », « le régime de la Garonne », p.184, stipule que la cote de 1875 était de 6 m sur le Salat à Saint Girons.

TABEAU 21.
Maxima de juin 1875.

	Cotes coteaux	Plus grandes cotes pré- citées		Cotes coteaux	Plus grandes cotes pré- citées
Ariège à Tarascon....	3,45	3,15	Salat à Saint-Girons..	6,00	4,00
Ariège à Foix.....	4,60	3,15	Garonne à Montréjeau	3,45	2,35
Ariège à Saverdun...	4,29	3,45	Garonne à Cazères...	8,60	6,90
Ariège à Auterive....	9,00	?	Garonne à Pinsaguel.	8,25	?
Grand Hers à Mirepoix	4,41	4,25	Garonne à Muret.....	9,20	»
Grand Hers à Mazères	9,00	6,51			

Les rivières du Lannemezan ont aussi leurs plus grandes crues en ces occasions. Les plus imposants groupes de maxima de ce côté paraissent appartenir non à juin 1875, mais à juin 1855, à avril 1770, et à juillet 1897.

Figure 1 : Extrait du tableau des maxima de Juin 1875 (source : [8])

M. PARDE, en 1954 dans la « Revue géographique des Pyrénées et du sud-ouest », complétait ces informations en fournissant les données suivantes:

TABEAU 3
Crues de la haute Garonne

	Juin 1875	Fév. 1879	Juin 1889	Juill. 1897	Oct. 1897	Juin 1900	Mai 1905	Déc. 1906	Mai 1910	Mai 1911	Mars 1930	Fév. 1952
Neste à Sarrancolin	»	»	2.60	3.80	1.10	1.40	»	»	»	»	»	»
Pique à Luchon	1.60	»	1.50	2.50	1.60	1.30	0.54	»	»	»	»	0.48
Garonne à Saint-Béat	4.17	0.90	1.35	4.00	1.90	2.30	»	»	»	»	»	1.40
Garonne à Saint-Gaudens	5.45	2.51	2.83	3.70	2.42	2.46	2.58	3.04	2.14	2.36	2.80	3.96
Ger à Aspet	2.70	»	3.25	3.50	2.75	2.80	1.50	»	»	»	»	2.30
Salat à St-Girons	6.00	2.15	2.45	2.35	4.00	2.80	2.20	2.75	2.60	»	»	2.92
Garonne à Cazères	8.60	3.91	4.04	5.10	1.20	3.55	4.00	4.20	2.30	3.15	3.30	4.00
Arize au Mas-d'Azil	4.50	4.21	4.00	0.30	5.50	3.85	»	»	»	3.50	»	4.10
Garonne à Muret	9.20	4.25	4.13	4.50	3.00	3.40	4.12	3.65	1.98	2.85	3.00	4.20
Ariège à Foix	4.00	2.15	1.82	1.20	3.40	2.60	»	1.68	3.00	»	1.50	2.62
Ariège à Saverdun ...	4.29	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	2.80
Grand Hers à Mirepoix	4.41	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	3.60
Grand Hers à Mazères	9.00	5.30	2.95	0.15	5.18	3.30	4.40	»	4.95	3.85	»	7.06
Ariège à Auterive	9.00	4.40	2.00	0.95	3.70	3.25	2.30	»	4.30	2.90	2.25	4.30
Lez au Fossat	»	4.29	1.27	0.00	3.17	3.78	»	»	»	»	»	3.95
Garonne à Toulouse (Pt Neuf)	8.32	4.87	3.70	3.50	3.70	4.00	4.24	3.48	2.63	3.73	1.00	4.65

(a) Dans les conditions d'écoulement réalisées antérieurement les eaux auraient atteint probablement 4.75. (a)

Figure 2 : Crues de la haute Garonne (source : [9])



Si on se base sur le profil des forces hydrauliques réalisé en 1926, il y avait, à l'époque deux stations hydrométriques à proximité de Saint-Girons sur le Salat (on ne peut que présager également de leurs présences en 1875 pour l'une comme pour l'autre station):

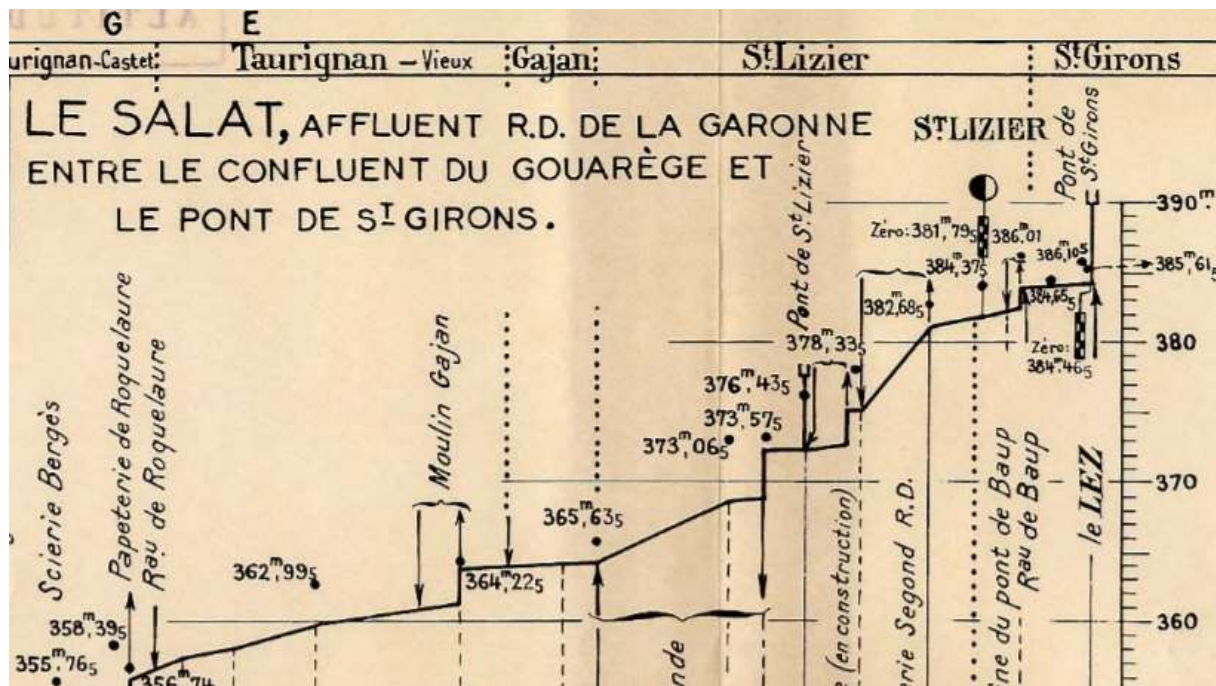


Figure 3 : Extrait du profil en long des forces hydrauliques sur le Salat

Une station au pont de Saint-Girons dont le zéro se situait à une altitude de 384,465 m NGF et une à Saint-Lizier (à priori située non loin de celle appelée aujourd'hui « Saint-Lizier [Saint Girons] ».) dont le zéro se situait à une cote de 381,795 m NGF.

La difficulté est de savoir à quel endroit se réfère la cote fournie par M. PARDE et potentiellement à quelle station.

Dans l'étude réalisée par BRL (reprise des données fournies par Vigicrue sur la station hydrométrique), les 6 mètres de hauteur sont associés à la station de Saint-Lizier (basée sur la station Vigicrue qui reprend cette valeur à la station).

Une crue de 6 m à la station de Saint Giron (pont) donnerait une cote de crue de 390,465 m NGF, hors, lors de notre terrain nous avons relevé une marque de la crue de 1875, gravée sur le parapet du pont. Nous avons nivelée cette marque à une cote de 390,80 m NGF soit une cote proche de celle calculée au droit de la station via la référence de M. PARDE (les différences peuvent être dues à une modification du pont depuis 1875, à des embâcles créant localement une surcote...).

De plus, si on analyse la base de données de la «Plateforme nationale collaborative des sites et repères de crue », on note que sur le pont situé juste en amont de la confluence avec le Salat (rue « pont du Lez »), il existe un repère de crue de 1875 coté à 390,46 m NGF, soit exactement la cote retrouvée grâce à l'information de M.PARDE et de l'analyse du profil en long.

Au vue de ces informations, il semble donc que M.PARDE faisait référence à la station située dans le centre de Saint Girons et non pas à celle située plus en aval.

Afin de connaître le débit de la crue de 1875, et devant le manque de données, il sera réalisé une simulation numérique au niveau du pont du Salat afin de connaître le débit qui y a transité pour cette crue (le lit n'ayant pas ou très peu évolué à cet endroit depuis 1875).

6.6.2. Analyse des débits des crues historique

Nous avons recherché les maximums de crue relevés au droit des stations sur le Salat.

Tableau 18 : Débits maximum instantanés sur le Salat

Nom de la station	Salat à Soueix-Rogalle [Kerbanac]	Salat à Saint Lizier	Le Salat à Roquefort- sur-Garonne
Code station	00362510	00502520	00592510
Taille du BV (km ²)	379	1154	1570
Octobre 1937	622	x	809
2 février 1952	191	x	1570
27 mai 1956	143	x	1040
2 Juin 1962	133	x	1170
Septembre 1974	263	434	825
Juin 1975	108	495	515
Mai 1977	368	960	1650
Novembre 1982	319	330	630
Octobre 1992	287	510	1020
Q _{IX} /Q _J	1.46 [1.28-1.66]	1.37[1.29-1.56]	1.46 [1.34-1.71]

Tableau 19 : Débits moyens journaliers sur le Salat

Nom de la station	Salat à Soueix-Rogalle [Kerbanac]	Salat à Saint Lizier	Le Salat à Roquefort- sur-Garonne
Code station	00362510	00502520	00592510
Taille du BV (km ²)	379	1154	1570
4 Octobre 1937	427	x	555
2 février 1952	131	x	1080
27 mai 1956	98	x	710
2 Juin 1962	91	x	805
Septembre 1974	176	308	515
Juin 1975	83	248	295
19 mai 1977	165	565	965
Novembre 1982	144	211	368
5 octobre 1992	230	468	883

Les deux principales crues du siècle dernier sur le Salat sont les crues de 1937, 1977. La crue de 1977 a été mesurée comme égale à 960 m³/s au niveau de Saint-Lizier et celle de 1937 n'a pas été mesurée en débit de pointe. Vu le débit journalier de 565 m³/s à Saint-Lizier, si on recalcule un débit de pointe théorique en utilisant le rapport Q_{IX}/Q_J moyen de la station on obtient 774 m³/s.



Au vu de ces débits, le débit centennal semble tout à fait cohérent. Cependant, il existe une crue antérieure à l'ensemble de celles citées ci-dessus et dont on sait qu'elle représente une crue majeure : la crue de 1875.

D'après la base de données des repères de crue, il a été nivelé une cote de la crue de 1875 au niveau de l'entrée du Moulin de Saint-Lizier (code GTL_R_382).

Il est stipulé qu'il existe plusieurs « marques gravées sur le mur au-dessus de l'entrée de l'eau dans le moulin. La marque la plus basse - environ 120 cm au-dessus du terrain naturel - représente la crue du 28 octobre 1937. La plus haute - environ 340 cm au-dessus du terrain naturel - représente la crue du 23 juin 1875. »

Selon la fiche de crue dont le code est « GTL_R_7579 » l'eau était arrivée au pied de ce bâtiment lors de la crue de 2011



Date de la crue	Hauteur d'eau par rapport au sol
23 Juin 1875	3,45 m
28 octobre 1937	1,20 m
7 Novembre 2011	0 m, Au pied du bâtiment

De fait on suppose que la crue de 1875 est une crue de référence et que son débit est fortement supérieur à 774 m³/s.

A la vue de l'ensemble des laisses de crue connues sur la commune de Saint-Girons et ses alentours, et à la vue des éléments fournis ci-dessus, nous décidons de calculer le débit de la crue de 1875 afin de savoir si celle-ci est supérieure ou non à la crue centennale.

6.7 Détermination du débit de la crue de 1875 sur le Salat

Dans les études antérieures, il est précisé des débits estimatifs pour la crue de 1875, toutefois, ces débits sont fournis sans préciser comment ils ont été obtenus.

De fait pour déterminer le débit de cette crue, nous avons choisi d'utiliser un tronçon de rivière calibré dont la géométrie n'a pas ou peu variée depuis 1875 et sur lequel nous connaissons la hauteur de la crue.

Nous choisissons de nous placer au niveau du pont de Saint-Girons qui existait dans les mêmes configurations géométriques en 1875.

Grâce à la marque gravée sur le parapet du pont (dont la validité est largement admise), nous connaissons le niveau d'eau atteint par la crue ce qui nous permet de reconstituer son débit.

Afin de déterminer le débit qui a transité au niveau de la zone en 1875, nous avons créé un modèle de la zone en deux dimensions et calculé le débit de la crue de 1875 qui fournit la cote relevée sur le parapet du pont.



Sur le Lez, le seuil situé environ 100m avant la confluence n'est pas retrouvé sur le profil en long des forces hydrauliques :

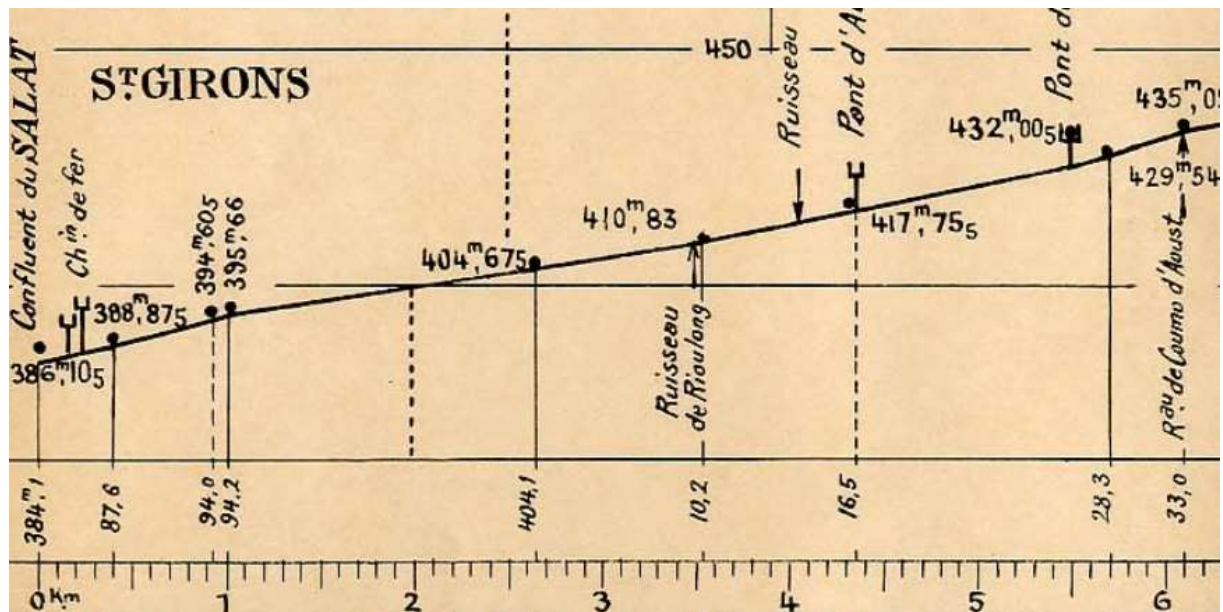


Figure 4 : Extrait du profil en long réalisé par les Forces Hydrauliques sur le Lez

De ce fait on ne modélisera que les derniers 100 mètres du Lez jusqu'à sa confluence au Salat.

Pour la partie en rive gauche du Salat, on fermera le modèle 60 m en rive gauche du pont en considérant que les débordements au-delà ne sont pas efficaces d'un point de vue du transfert de débit vers la zone aval (zone de piégeage de l'eau). Cette hypothèse se vérifie car si on augmente la zone modélisée d'environ 50 m en rive gauche, cela ne change pas le niveau d'eau en amont du pont

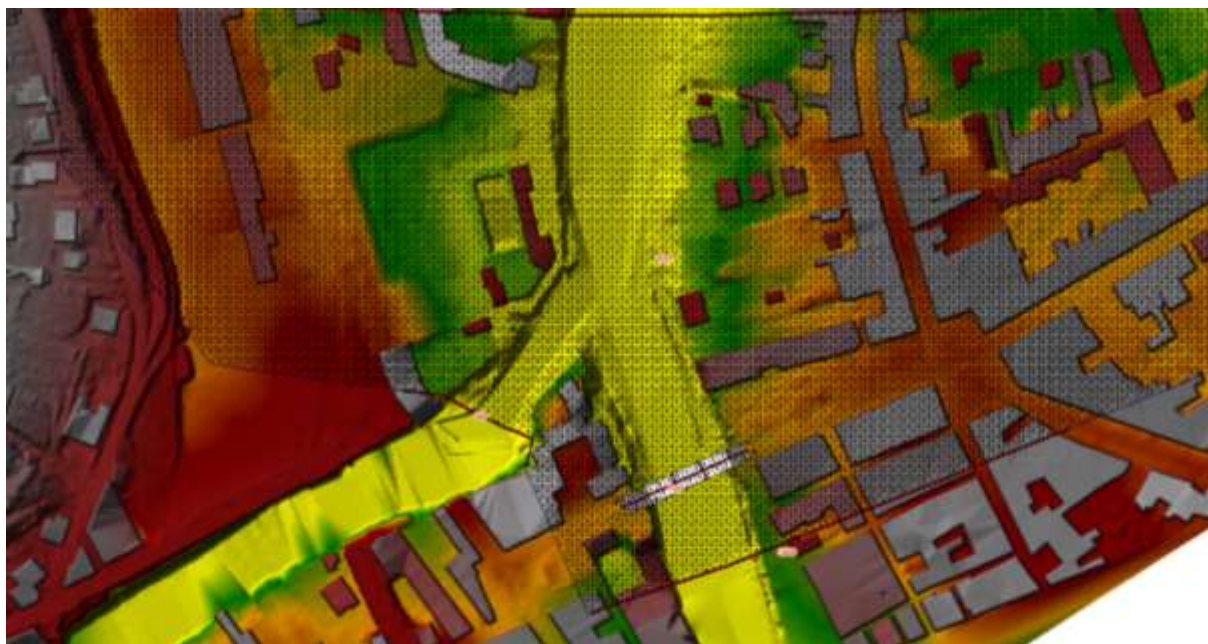


Figure 5 : Extrait du modèle numérique réalisé pour la crue de 1875, AGERIN

Nous avons choisi les coefficients de rugosité en fonction de nos analyses de terrain et de tables de Manning-Strickler :

Localisation et coefficients de Manning	Photographies
Lit mineur du Salat et du Lez au niveau de la confluence $n = 0.045$	
Berge avec broussailles et arbres $n = 0.08$	

Lit majeur en zone résidentielle avec jardins n = 0.06			
Lit majeur en zone urbanisée plus dense n = 0.04			

La marque au niveau du pont du parapet du pont de Saint Girons a été nivelée à 390,81 m NGF :



Pour obtenir cette cote de crue, nous avons inséré simultanément dans le modèle les débits suivants :

Débit du SALAT (m ³ /s)	Débit du Lez (m ³ /s)	Cote au pont (m NGF)
870	250	390.759
	300	390.776
	350	390.794
880	250	390.785
	300	390.79
	350	390.808
890	250	390.786
	300	390.804
	350	390.82

L'influence de la valeur du débit du Salat en amont de la confluence est prépondérante dans la détermination de la ligne d'eau au niveau du pont car c'est cette valeur de débit qui engendre la mise en charge de celui-ci.

Afin de ne pas maximiser le débit de crue retenu, la valeur de 880 m³/s est choisie comme débit de crue du Salat en amont de la confluence pour la crue de 1875.

Ce débit de 1875 est supérieur au débit de crue centennale calculé comme égal à 750 m³/s à cet endroit. C'est donc le débit de la crue de 1875 qui sera retenu pour le Salat lors de la réalisation des cartes d'aléas.



Pour la modélisation ultérieure (modélisation des crues de références), il sera réalisé un calage de l'ensemble des zones étudiées sur la crue de 1977 pour laquelle nous avons des relevés de débits et de nombreuses laisses de crue (repère de calage).

Exemple :

COURS D'EAU	LOCALISATION	DATE			TYPE INONDATION	HYDROMETRIE			PLUVIOMETRIE		IMPACTS		CRUE DE REFERENCE (PPRI, AZI)	COMMENTAIRE
		Année	Mois	Jour		Hauteur	Débit	Période retour	Hauteur	Période retour	Pertes humaines	Domages		
Garonne	Portet / Tam - Toulouse	1261	mai	11								Pont de Saint-Cyprien (Saint-Sultran en occitan) emporté		72 h de pluie
L'Ariège	Foix	1977	mai	19 et 20		3.1 m					Trois morts dans les Pyrénées Orientales et un à Lourdes			Pluies diluviennes, fusion neige sur les hauteurs, glissements de terrain...
L'Ariège	Auterive	1977	mai	19 et 20		4.2 m								
L'Ariège	Saverdun	1977	mai	19 et 20		3.18 m		Q30						
Le Salat	Saint-Girons	1977	mai		Océanique pyrénéenne	4.15 m								Crues localisées

Figure 6 : L'évaluation préliminaire des risques d'inondation 2011 BASSIN ADOUR-GARONNE [11]

6.8 Concomitance des crues et choix de modélisation

Lors d'événement extrêmes, il y a une forte probabilité pour que plusieurs cours d'eau soient impactés simultanément, de fait, le modèle doit tenir compte de la possible concomitance d'événements majeurs.

Dans la zone étudiée, le Salat est le cours d'eau dans lequel se jette la totalité des autres cours d'eau. De fait, la hauteur d'eau du Salat peut faire varier significativement le niveau d'eau des affluents dans leurs parties basses (donc dans la commune de Saint-Girons). Un niveau d'eau élevé dans le Salat engendrera un certain ralentissement, voir un blocage de l'évacuation des eaux des affluents et pourra ainsi générer des inondations plus importantes que si l'affluent est impacté par une pluie sans que le Salat ne soit en crue.

Suite à l'étude de la forme des bassins versants et de leurs caractéristiques morphologiques, la concomitance parfaite des crues n'est pas envisagée entre les affluents du Salat et le Salat lui-même. Toutefois, l'ensemble des bassins versants peuvent être impactés simultanément par un même épisode pluvieux.

Les bassins versants étudiés, comme le reste des Pyrénées, sont soumis à des types de crues océaniques pyrénéennes. Ces crues se « produisent en toutes saisons », « mais en hiver, la rétention nivale juggle le ruissellement dans les Pyrénées, zone la plus touchée par les averses; c'est en mai et en juin qu'elles ont le plus de fréquence et de gravité » [8] (comme la crue de Juin 1875).

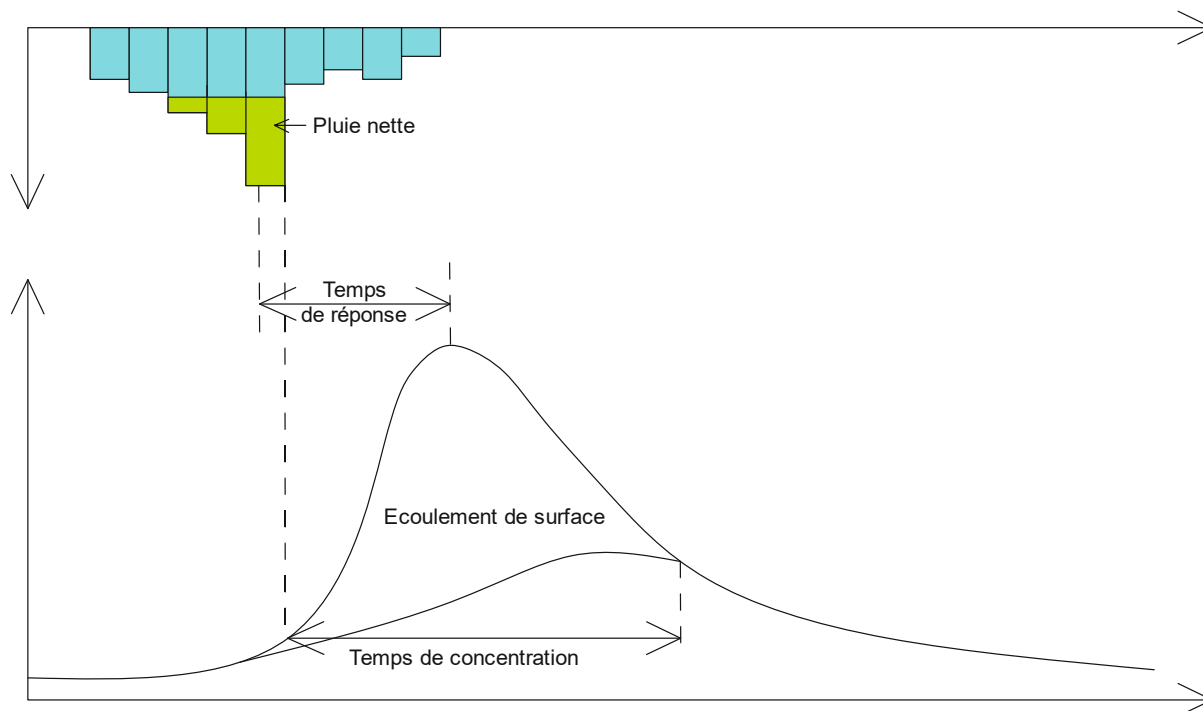
La crue de Juin 1875 était une crue de type océanique pyrénéenne où selon M.PARDE [8] « toutes les rivières du front pyrénéen s'enflent avec une violence comparable. Ceci arriva notamment en juin 1875 ». (p.184 PARDE).

La situation retenue se basera sur le postulat d'une sollicitation uniforme de l'ensemble des bassins versants étudiés, (situation qui a engendrée la crue de 1875).

Les débits retenus pour la modélisation seront les crues centennales sauf pour le Salat dont le débit de 1875 est plus important qu'une centennale.



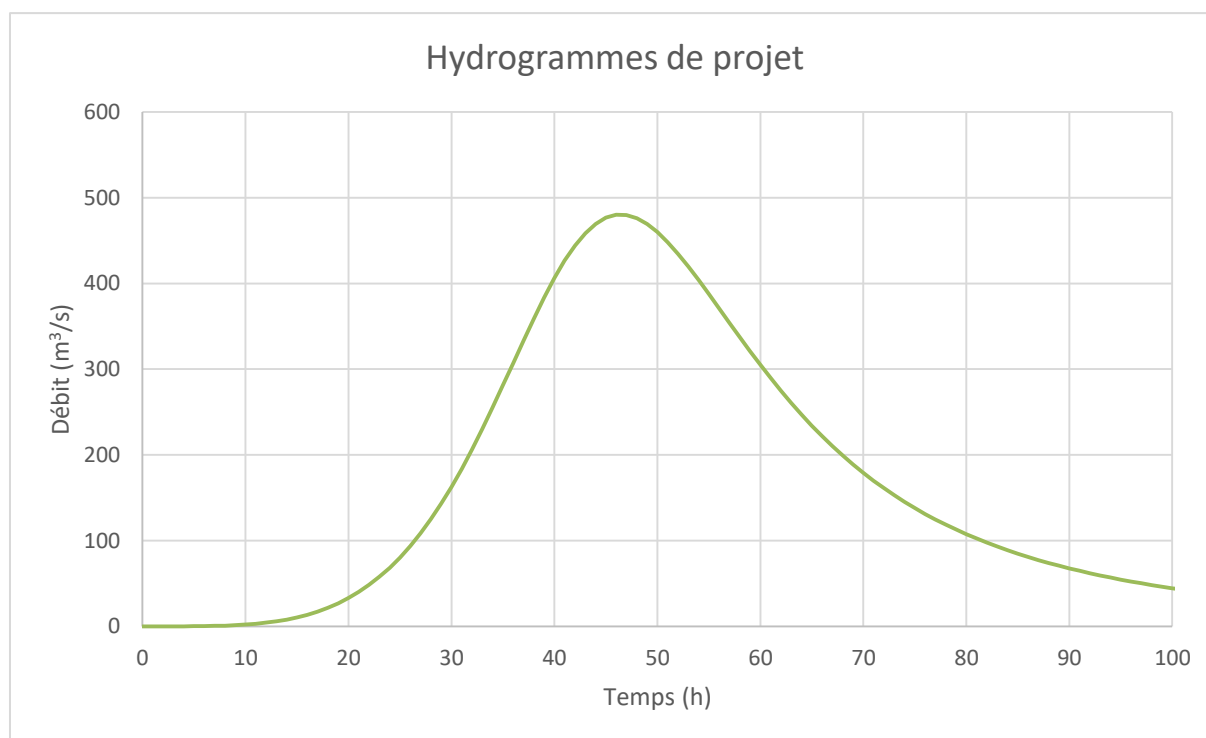
Si l'ensemble des bassins sont impactés par le même évènement pluvieux, le débit de pointe ne surviendra pas en même temps pour l'ensemble des bassins car les temps de réponses (lag-time) des bassins versant sont différents :



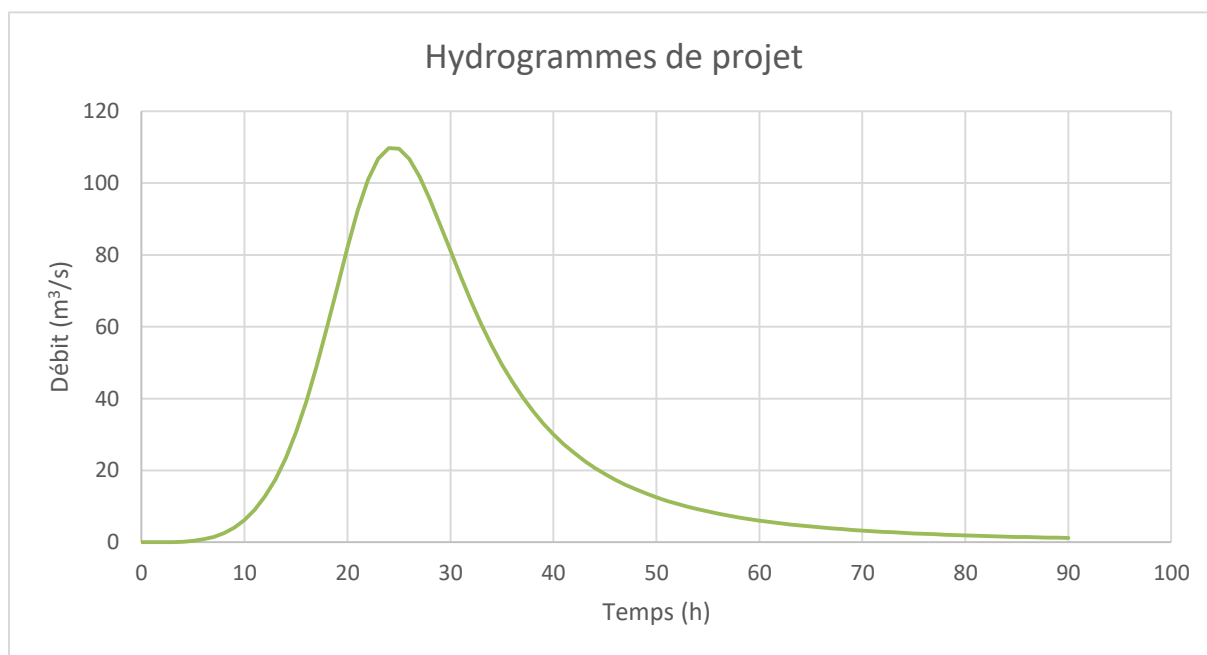
Pour recréer les différents hydrogrammes des crues, nous nous baserons sur la forme des hydrogrammes de Socose :

Les hydrogrammes obtenus sont les suivants :

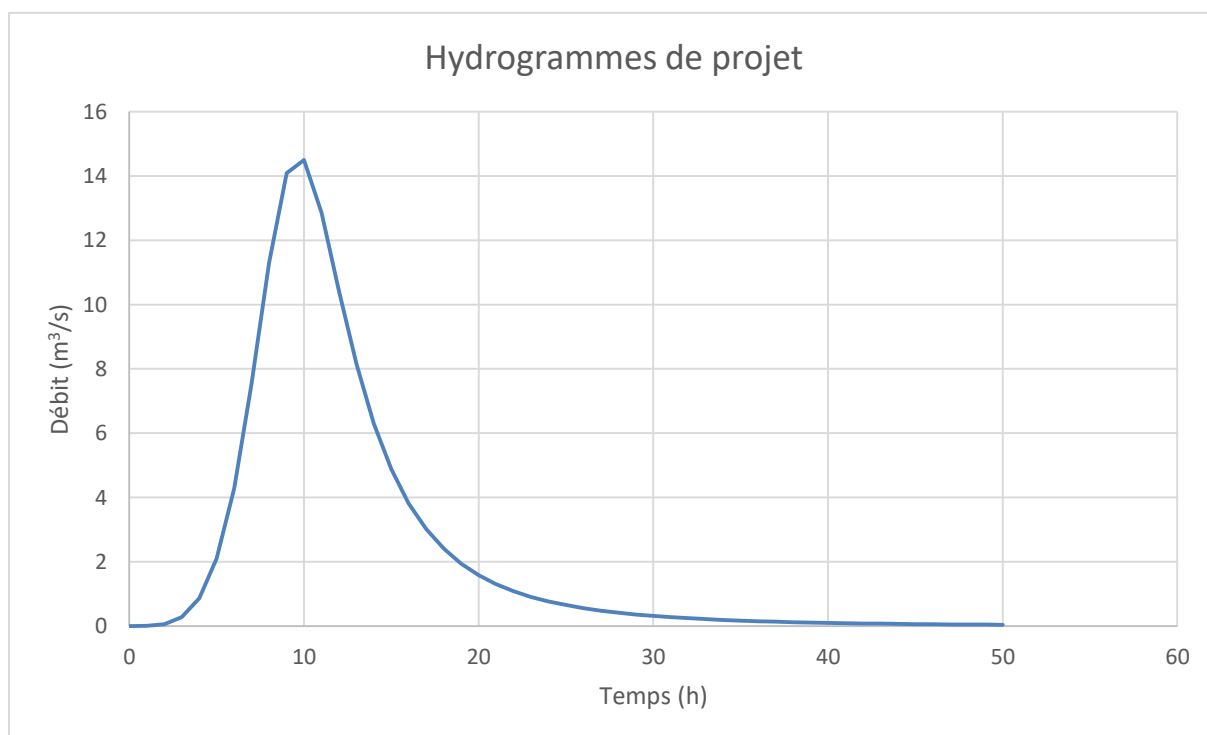
- Sur le Lez, Q_{100} :



- Sur le Baup, Q_{100} :

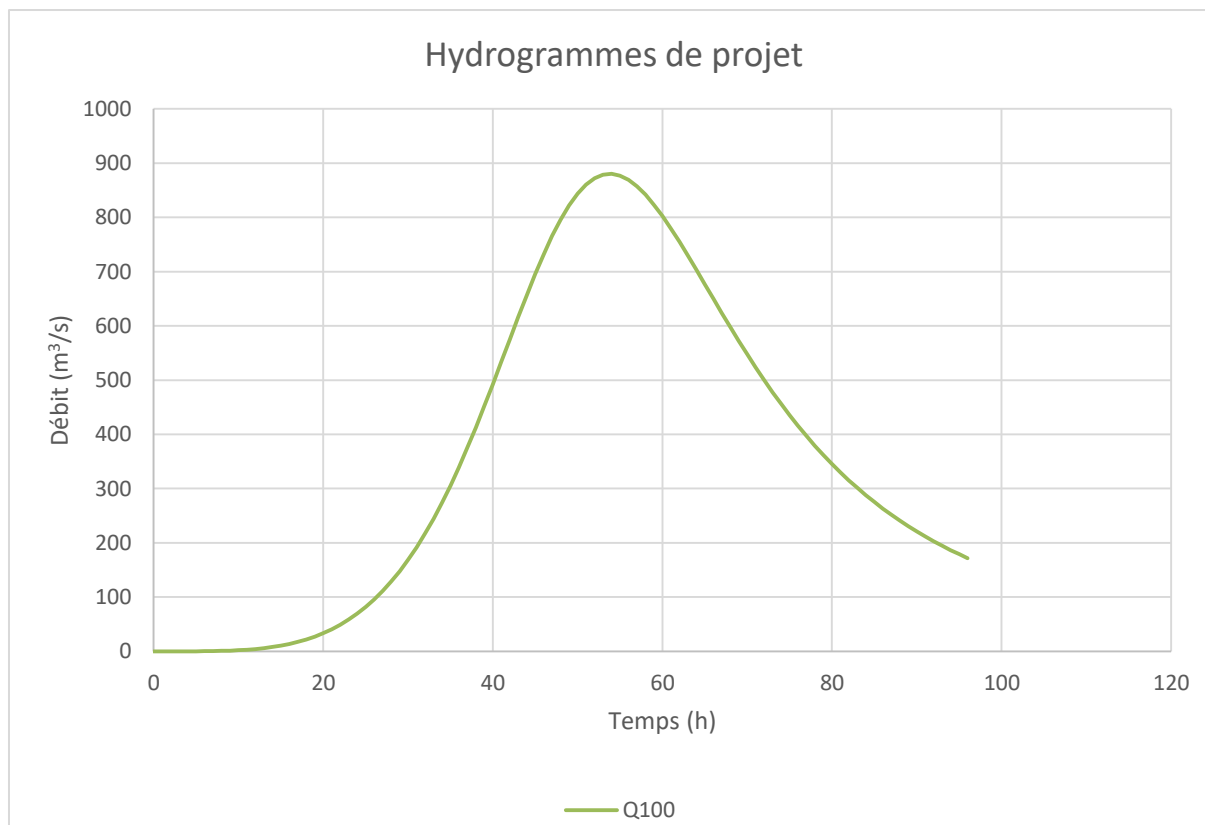


- Sur le ruisseau du Carbalasse Q_{100} :

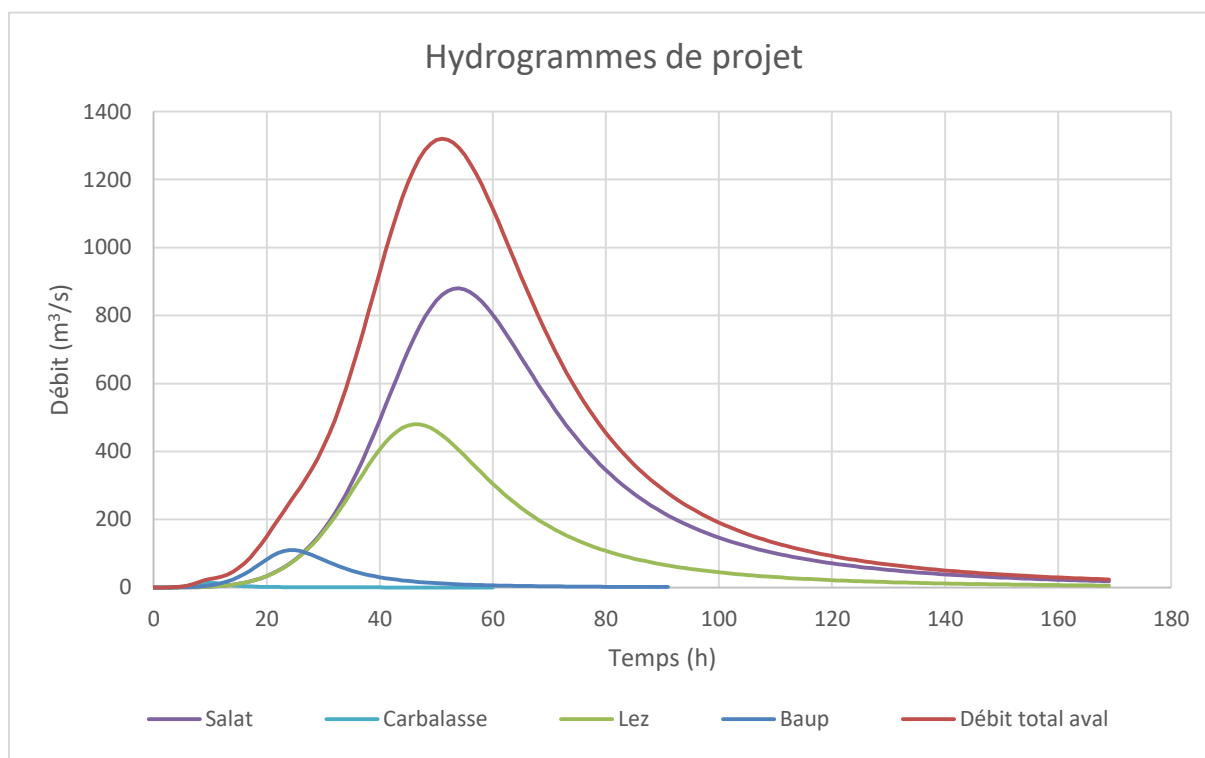


- Sur le Salat en amont de la confluence, reconstitution d'une crue dont le débit maximum correspond à celui calculé pour la crue de 1875 :





L'ensemble des hydrogrammes seront insérés simultanément dans le modèle, mais, de par le décalage dans le temps des débits de pointe, il n'y aura pas de concomitance parfaite entre les hydrogrammes au niveau des zones de confluence dans Saint-Girons. :



Ce sont ces hydrogrammes (hors « débit total » qui se créera simplement par l'addition des autres débits au niveau des confluences) qui seront insérés dans le modèle hydraulique en deux dimensions).

Tableau 20 : Rappel des débits maximum retenus pour la modélisation des crues de références

Cours d'eau	Surface du bassin versant (km ²)	Débits retenus pour la modélisation des crues de références (m ³ /s)
Le Salat en amont de la confluence avec le lez	662.9	$Q_{1875} : 880$
Le Lez	418.2	$Q_{100} = 480$
Le Baup	73.7	$Q_{100} = 110$
Ruisseau Carbalasse	4.26	$Q_{100} = 14.5$
Le salat aval	1154.8	Formé naturellement au sein du modèle par l'addition des différents débits en provenance de l'amont $Q_{ref\ global\ aval} = 1320$

Liste des cartes, tableaux, photos et figures

Liste des cartes

Carte 1 : Limite des zones de données LIDAR/MNT.....	4
Carte 2 : Cartographie hydromorphologique des zones non modélisées.....	9
Carte 3 : Limite des différents bassins versants considérés.....	11

Liste des photos

Photo 1 : Rue Galy-Cazalat durant la crue du Salat du 12 juin 1904.....	1
---	---

Liste des figures /illustrations/schémas

Figure 1 : Extrait du tableau des maxima de Juin 1875 (source : [8])	31
Figure 2 : Crues de la haute Garonne (source : [9])	31
Figure 3 : Extrait du profil en long des forces hydrauliques sur le Salat	32
Figure 4 : Extrait du profil en long réalisé par les Forces Hydrauliques sur la Salat.....	35
Figure 5 : Extrait du modèle numérique réalisé pour la crue de 1875, AGERIN	36
Figure 6 : L'évaluation préliminaire des risques d'inondation 2011 BASSIN ADOUR-GARONNE [11] .	39

Liste des tableaux

Tableau 1 : Caractéristiques des différents bassins versants.....	12
Tableau 2 : Occupation du sol en % sur la base de l'inventaire Corine Land Cover.....	13
Tableau 3 : Stations hydrométriques du Salat et du Lez	15
Tableau 4 : Coefficients de Montana issus de la station de Saint-Girons	16
Tableau 5 : Caractéristiques pluviométriques des différents cours d'eau	17
Tableau 6 : Pour le débit décennal (Q10).....	19
Tableau 7 : Pour le débit vingtenal (Q20).....	19
Tableau 8 : Pour le débit cinquantennal (Q50)	20
Tableau 9 : Pour le débit centennal (Q100)	20
Tableau 10 : Débits Q10, Q20 et Q50 retenus et débits spécifiques au droit des stations	21
Tableau 11 : Débits équivalents des cours d'eau au droit de la zone étudiée	22
Tableau 12 : Résultats de l'analyse déterministe pour Q10 et Q20.....	23
Tableau 13 : Résultats de l'analyse déterministe pour Q50 et Q100.....	24
Tableau 14 : Influence des apports neigeux sur les bassins versants	25
Tableau 15 : Analyse des études antérieures.....	26
Tableau 16 : Résumé des résultats des analyses des débits Q10, Q20, Q50 et Q100	30
Tableau 17 : Choix des débits retenus pour l'analyse hydrologique.....	30
Tableau 18 : Débits maximum instantanés sur le Salat.....	33
Tableau 19 : Débits moyens journaliers sur le Salat.....	33
Tableau 20 : Rappel des débits maximum retenus pour la modélisation des crues de références.....	43



ANNEXES



Annexe 1 : Estimation du temps de concentration et du temps caractéristique

Le temps de concentration T_c est le temps mis par une goutte d'eau tombée à l'extrémité du bassin versant pour rejoindre l'exutoire. On l'estime à la durée entre la fin de la pluie et la fin du ruissellement.

Les formules empiriques suivantes expriment toutes T_c en heures en fonction de :

- L la longueur du plus long thalweg en km,
- I la pente moyenne en m/m,
- A l'aire du bassin versant en km²,
- P_{j10} la pluie journalière décennale en mm,
- P_a la pluie moyenne annuelle en mm,
- T_a la température moyenne annuelle en °C.

➤ Turraza
$$T_c = 0,1 * \frac{(LA)^{1/3}}{\sqrt{I}}$$

➤ Kirpich
$$T_c = 0,000325 \times (1000 \cdot L)^{0,77} \times \left(\frac{I}{1000} \right)^{-0,385}$$

➤ Passini
$$T_c = 0,108 \cdot \frac{(1000 \cdot AL)^{1/3}}{\sqrt{I}}$$

➤ SCS BV rapides
$$D = \frac{\exp(0,375 \times \ln(A) + 3,729)}{60}$$

➤ SOCOSE
$$D = \exp \left(-0,69 + 0,32 \times \ln(A) + 2,2 \times \sqrt{\frac{P_a}{P_{j10} \cdot T_a}} \right)$$

Ces formules sont fiables et prises en considération en premier lieu.

Il existe d'autres formules de détermination des temps de concentration (Ven Te Cho, Giandotti, Johnstone et Cross, Nash, Ventura, ...) mais elles seront utilisées pour une simple aide à la décision.



Annexe 2 : Calcul des débits caractéristiques

Ces formules permettent d'estimer les débits de pointe décennaux et centennaux d'un bassin versant non jaugé, c'est-à-dire sans mesure de débit, à partir de plusieurs formules couramment utilisées en hydrologie.

Estimation du débit de pointe décennal

Elles expriment toutes Q_{i10} en m^3/s en fonction de

- A l'aire du bassin versant en km^2 ,
- L la longueur du plus long thalweg en km,
- P_{j10} la pluie journalière décennale en mm,
- P_a la pluie moyenne annuelle en mm,
- T_a la température moyenne annuelle en $^{\circ}C$,
- b le paramètre b de Montana,
- R le coefficient régional CRUPEDIX,
- D la durée caractéristique de crue,
- P_{D10} la pluie décennale de durée D,
- CN le coefficient d'aptitude au ruissellement selon l'abaque SCS,
- Cr le coefficient de ruissellement et
- i_{D10} l'intensité de pluie décennale de durée D.

➤ SOCOSE (pour BV de 2 à 200 km^2)

$$Q_{i10} = \frac{k \cdot A}{(1,25 \cdot D_s)^b} \cdot \frac{\rho^2}{15 - 12 \cdot \rho}$$

avec

$$\ln(D_s) = -0.69 + 0.32 \cdot \ln(A) + 2.2 \cdot \sqrt{\frac{P_a}{P_{j10} \cdot T_a}} \quad \text{(durée caractéristique de crue du bassin versant en h)}$$

$$J = 260 + 21 \cdot \ln\left(\frac{A}{L}\right) - 54 \cdot \sqrt{\frac{P_a}{P_{j10}}} \quad \text{(Interception potentielle en mm)}$$

$$k = \frac{24^b \cdot P_{j10}}{21 \cdot \left(1 + \frac{\sqrt{A}}{30 \cdot D_s^{1/3}}\right)} \quad \text{(Indice volumétrique)}$$

$$\rho = 1 - \frac{J}{5 \cdot k \cdot (1,25 \cdot D_s)^{1-b}} \quad \text{(Nombre intermédiaire)}$$



➤ **CRUPEDIX (pour BV de 2 à 2000 km²)**

$$Qi_{10} = A^{0,8} \cdot \left(\frac{Pj10}{80} \right)^2 \cdot R$$

➤ **SCS (Soil Conservation Service)**

$$Qi_{10} = K \cdot Q_{D10}$$

avec
$$Q_{D10} = A \cdot \frac{(P_{D10} - 0,25 \cdot S)^2}{3,6 \cdot D \cdot (P_{D10} + 0,8 \cdot S)}$$

$$S = 25,4 \cdot \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right)$$

➤ **SCS dérivé (pour petits BV à réponse rapide <15 km²)**

$$Qi_{10} = 1,3 \cdot Q_{D10}$$

avec
$$Q_{D10} = A \cdot \frac{(P_{D10} - 0,2 \cdot S)^2}{3,6 \cdot D \cdot (P_{D10} + 0,8 \cdot S)}$$

$$\ln(S) = 0,232 \cdot \ln(A) + 3,509$$

➤ **Méthode rationnelle**

$$Qi_{10} = Cr \cdot i_{D10} \cdot \frac{A}{3,6}$$

➤ **Méthode ANETO du RTM**

Côte Vermeille
$$Qi_{10} = 1,28 \cdot A^{0,93} \cdot \left(\frac{Pj10}{85} \right)^{1,97}$$

Pyrénées Orientales et Corbières
$$Qi_{10} = 0,64 \cdot A^{0,93} \cdot \left(\frac{Pj10}{85} \right)^{1,97}$$

Pyrénées centrales sud
$$Qi_{10} = 1,62 \cdot A^{0,72} \cdot \left(\frac{Pj10}{85} \right)^{0,37}$$

Pyrénées centrales nord
$$Qi_{10} = 1,82 \cdot A^{0,78} \cdot \left(\frac{Pj10}{85} \right)^{0,56}$$

Pays Basque
$$Qi_{10} = 1,22 \cdot A^{0,95}$$



Estimation du débit de pointe centennal

Elles expriment toutes Qi_{100} en m^3/s en fonction de

- Qi_{10} le débit de pointe décennal,
- A l'aire du bassin versant en km^2 ,
- D la durée caractéristique de crue en h,
- Gp_D le gradex des pluies de durée D en mm,
- K le rapport $Q_{\text{pointe}}/Q_{\text{moyen}}$ sur une durée D ,
- K_j le rapport Qi/Qj .
- Gq_i le gradex des débits de pointe $T < 10$ ans,
- Cr le coefficient de ruissellement et
- i_{D100} l'intensité de pluie centennale de durée D .

➤ Méthode du gradex brutal

$$Qi_{100} = Qi_{10} + 2,35 \cdot K \cdot \frac{A \cdot Gp_D}{3,6 \cdot D}$$

➤ Méthode du gradex progressif

$$Qi_{100} = Qi_{10} + G_{Qi} \cdot \ln \left(1 + 9 \cdot \frac{Gq_i}{G_{Qi}} \right) \quad \text{avec } G_{Qi} = K \cdot \frac{A \cdot Gp_D}{3,6 \cdot D}$$

➤ Méthode du gradex revue

$$Qi_{100} = Qi_{10} + K_j \cdot 2,35 \cdot \frac{A \cdot Gpj}{3,6 \cdot 24}$$

➤ Méthode rationnelle

$$Qi_{100} = Cr \cdot i_{D100} \cdot \frac{A}{3,6}$$

➤ Méthode sommaire

$$Qi_{100} = 2 \cdot Qi_{10}$$



➤ Méthodologie QdF (Débit durée Fréquence)

Trois modèles QdF régionaux ont été calés respectivement sur les sites de Vandenesse, Florac et Soyans, représentant chacun une famille de bassin versant : continental, océanique et méditerranéen.

$$Q_{i_{100}} = Q_{i_{10}} + \left[x_7 + \frac{1}{x_8 \cdot d' + x_9} \right] \cdot \log \left(9 + 9 \cdot \frac{x_4 + \frac{1}{x_5 \cdot d' + x_6}}{x_7 + \frac{1}{x_8 \cdot d' + x_9}} \right)$$

avec $d' = \frac{d}{D}$ et d durée de l'averse.

Modèle régional	x ₁	x ₂	x ₃	x ₄	x ₅	x ₆	x ₇	x ₈	x ₉
Vandenesse	0,097	1,91	1,91	0,01	3,97	6,48	0,013	3,674	1,774
Florac	0,01	2,13	2,96	0	3,05	3,53	0,04	2,78	1,77
Soyans	0,05	2,1	2,1	0	2,57	4,86	0,017	1,49	0,66

Le choix du modèle régional de référence s'effectue en comparant, pour différentes durées d, le rapport $\frac{Gpd}{Q_{i_{10}}}$ aux deux limites L₁ et L₂ avec :

$$L_1 = \frac{1}{2,332 + 0,768 \cdot d'} \quad \text{et} \quad L_2 = \frac{1}{1,58 + 0,419 \cdot d'}$$

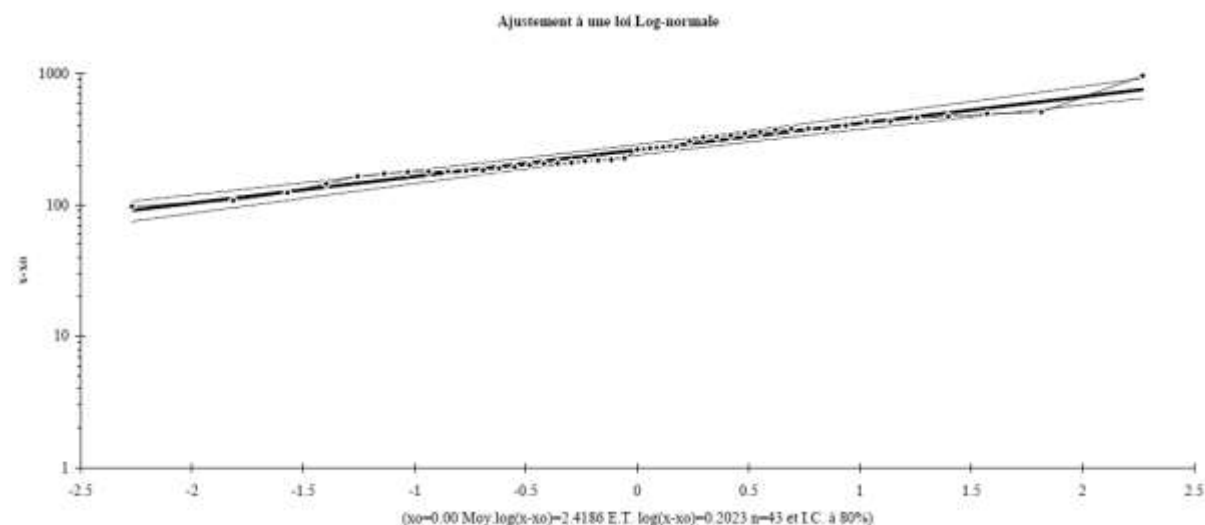
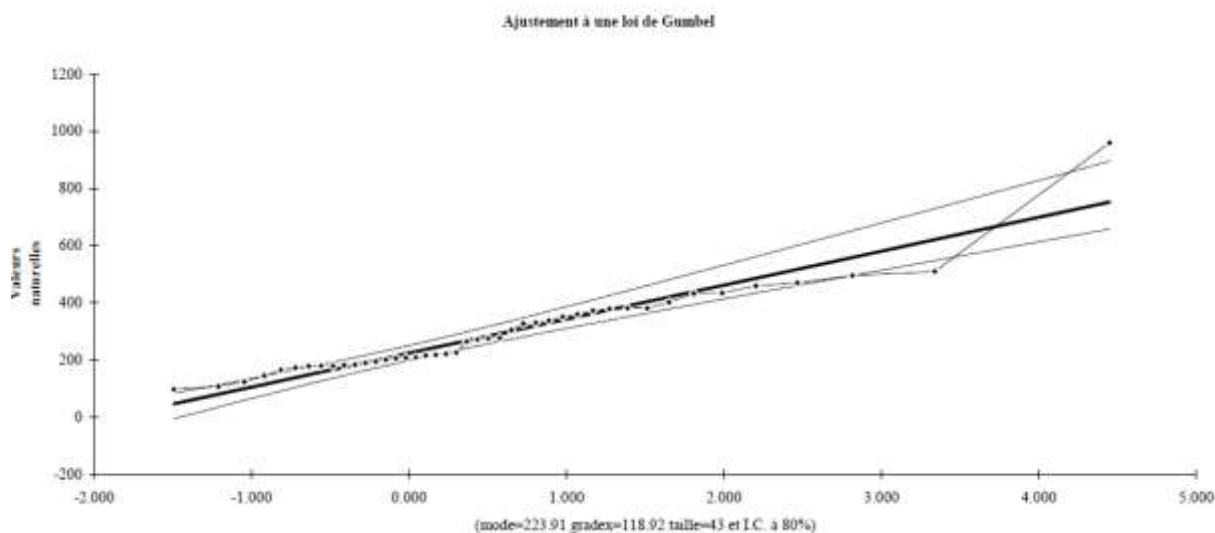
Suivant la position du rapport ($<L_1$, $>L_2$ ou compris entre L₁ et L₂), on choisira respectivement le modèle de Vandenesse, Soyans ou Florac.

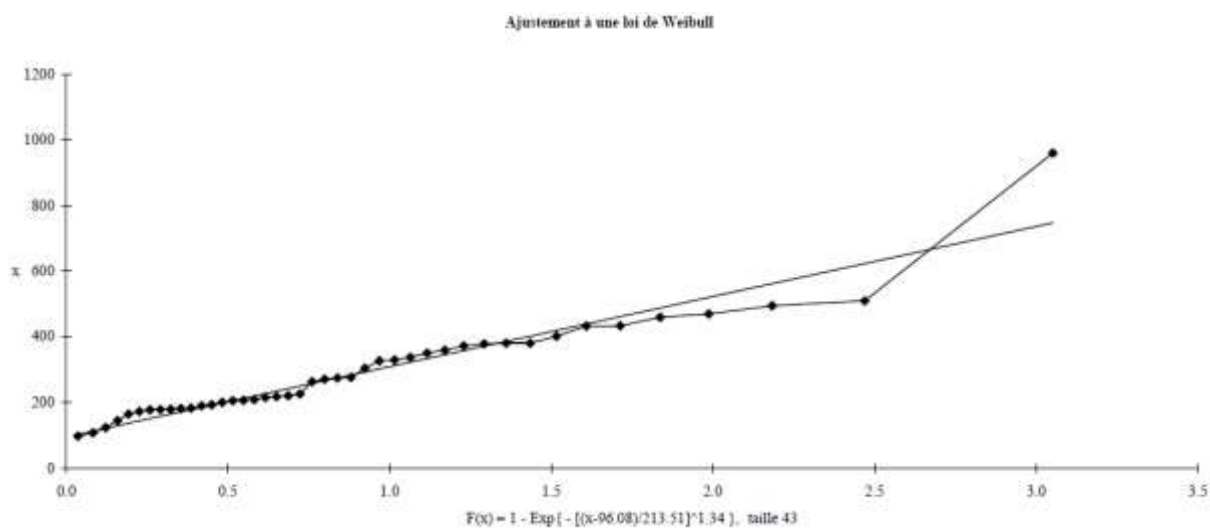
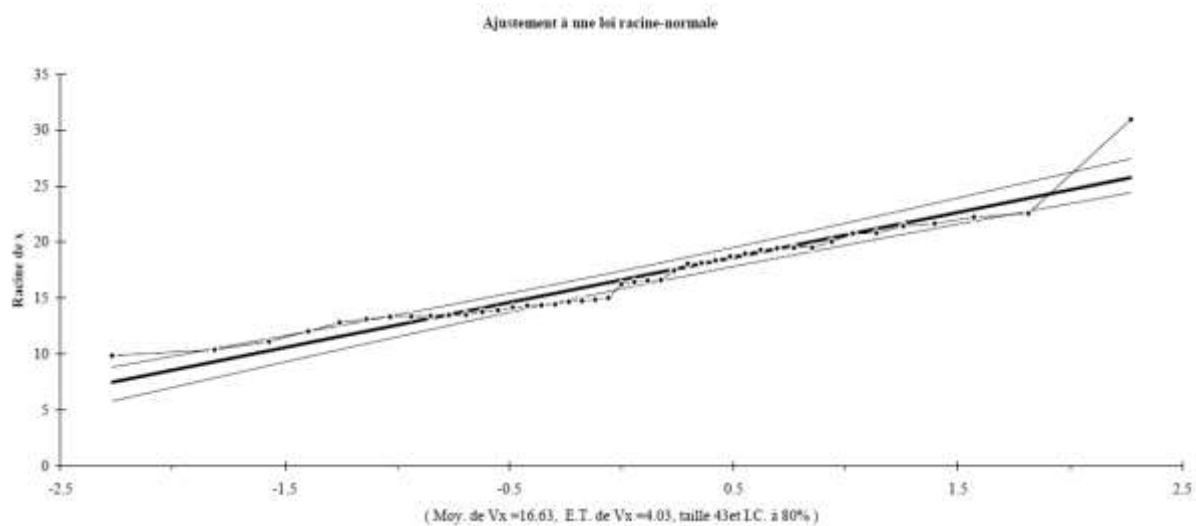
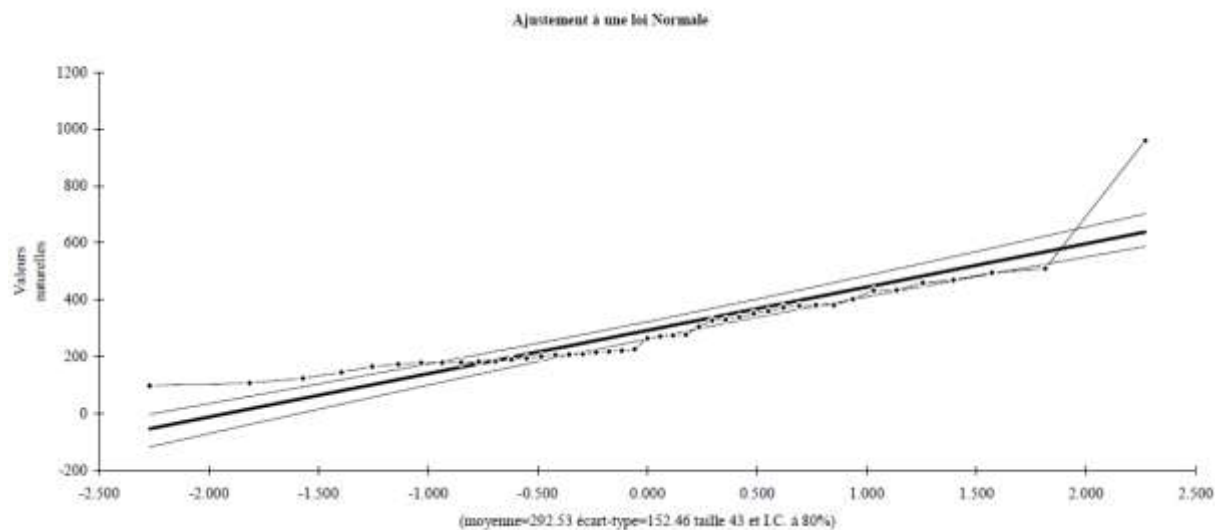


Annexe 3 : Stations hydrométriques : Ajustements aux lois statistiques

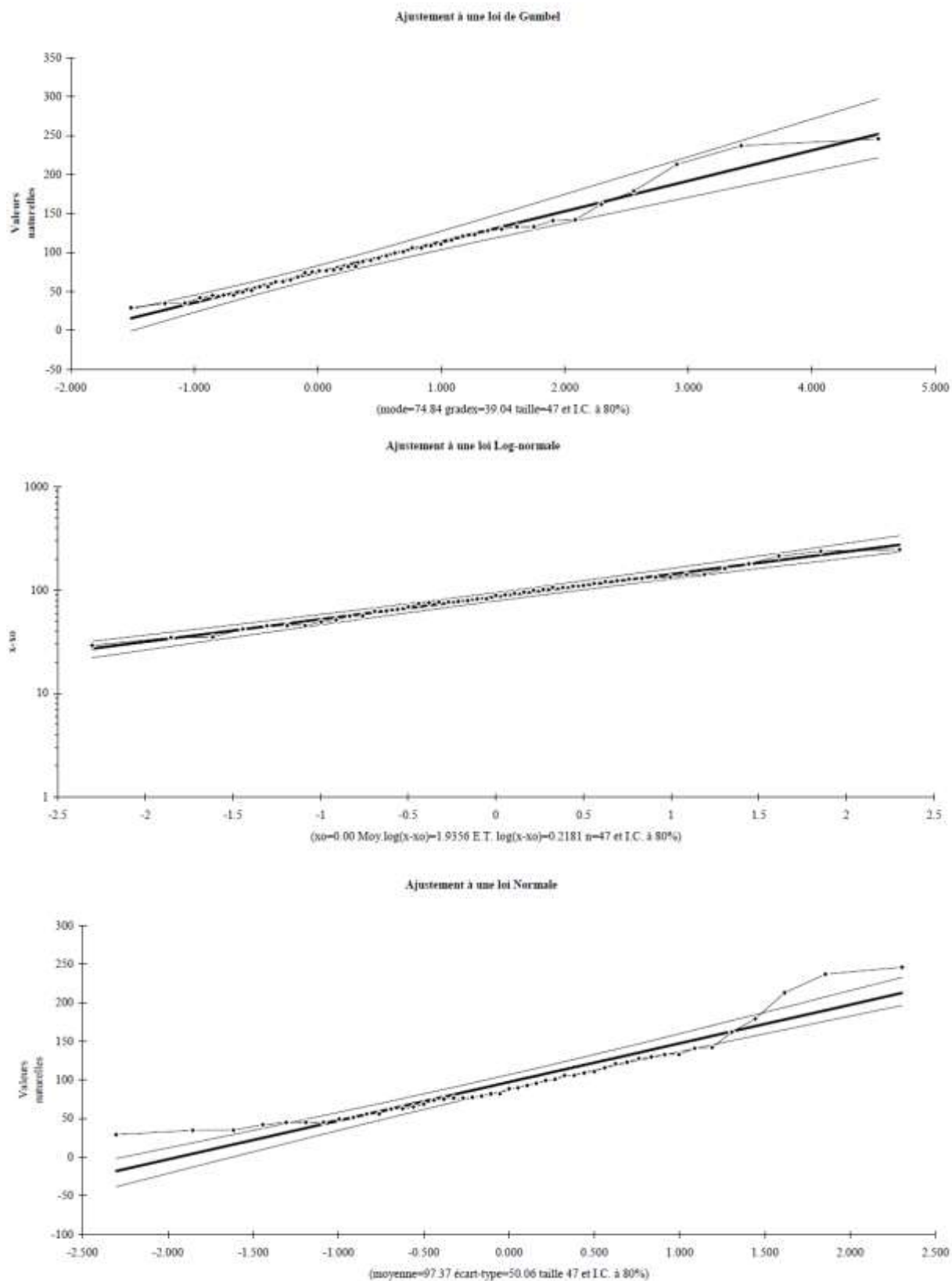
Les courbes contenant des points reliés par des traits fins représentent les données réelles mesurées par les stations hydrométriques. Les courbes en traits épais représentent les lois d'ajustement théoriques avec leurs marges d'incertitude de $\pm 5\%$.

Le Salat à Saint-Lizier (code station : 00502520) :



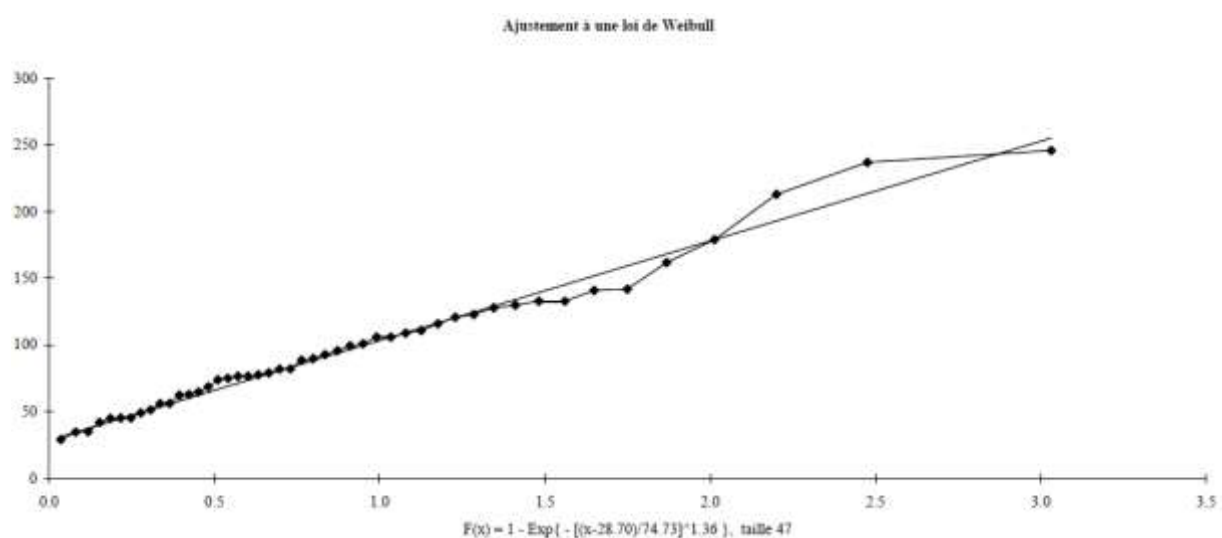
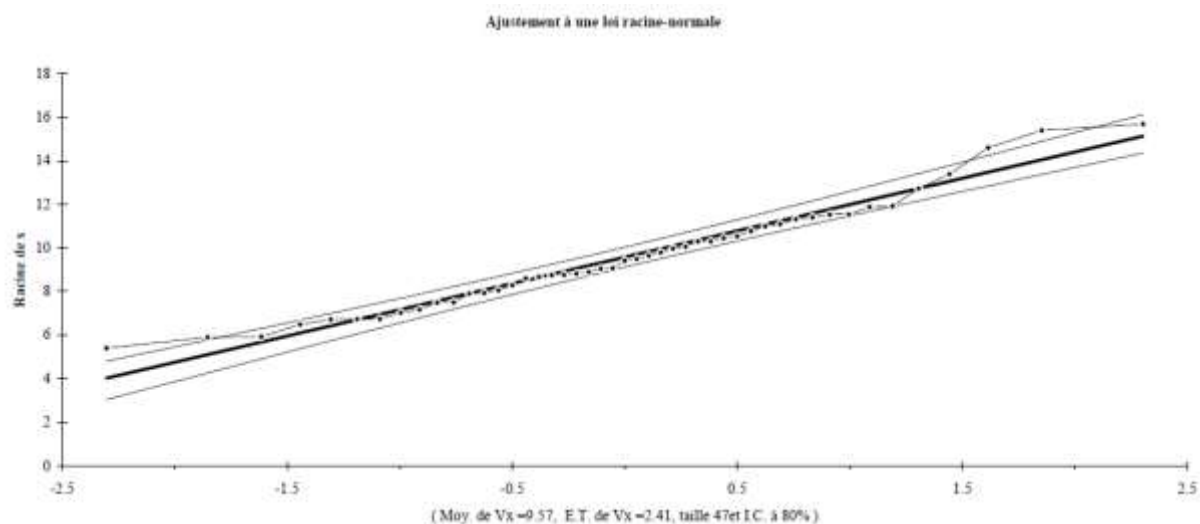


Le Lez à Engomer (code station : 00502520) :

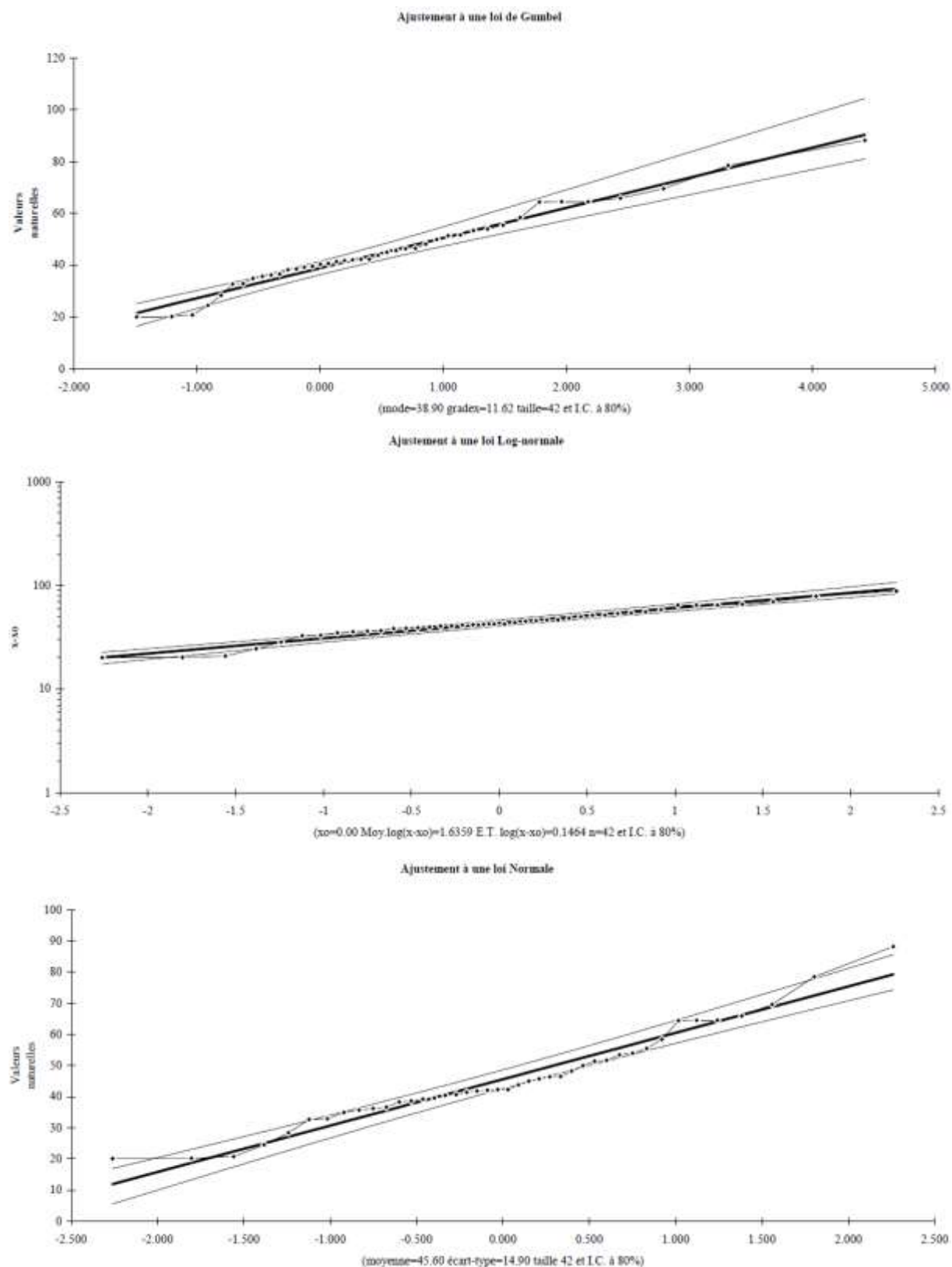


AGERIN SAS

Aménagement et Gestion de l'Environnement et des Risques Naturels - Etudes et Conseil

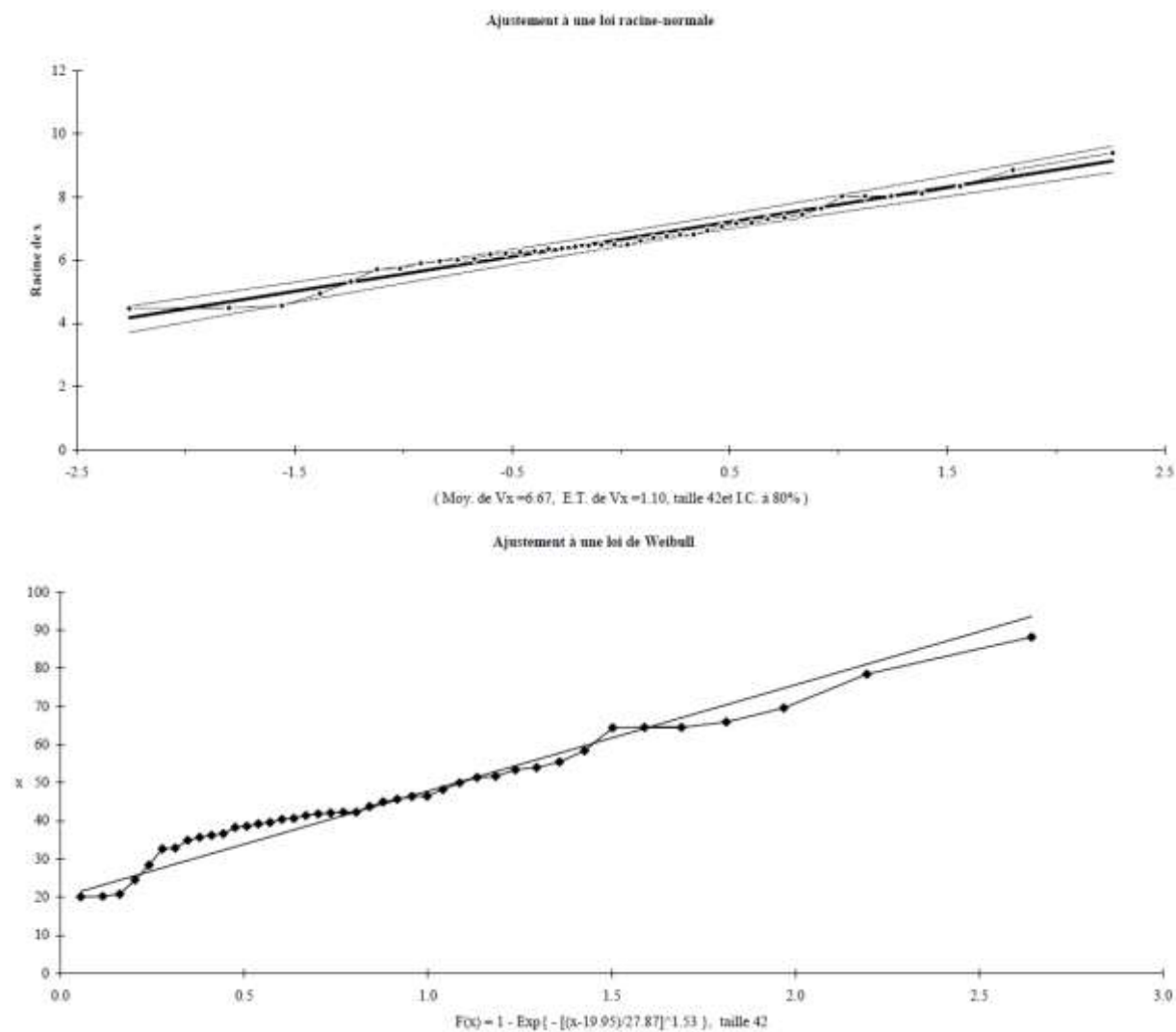


Le Lez aux Bordes-sur-Lez (Code station: 00444010) :

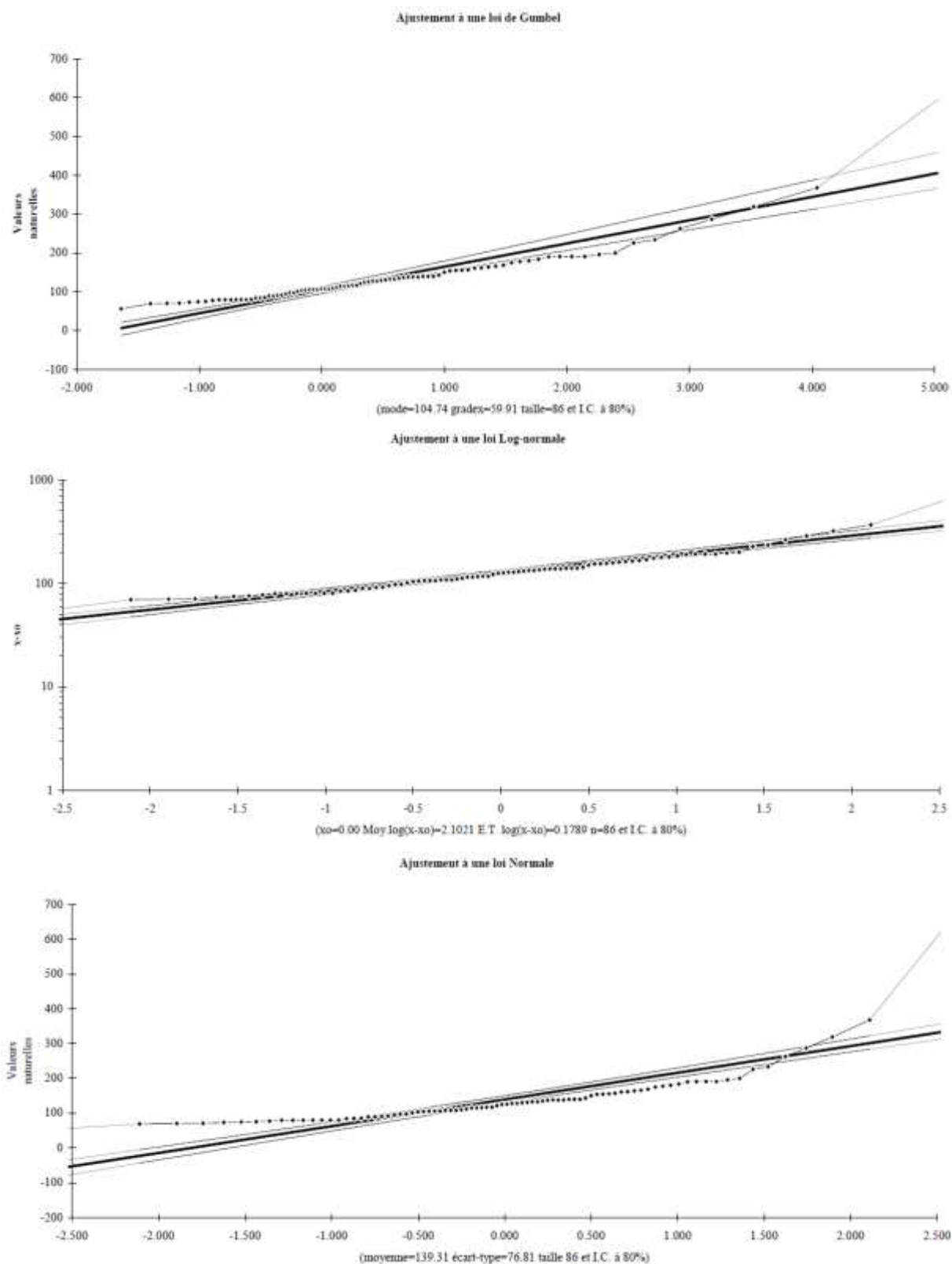


AGERIN SAS

Aménagement et Gestion de l'Environnement et des Risques Naturels - Etudes et Conseil

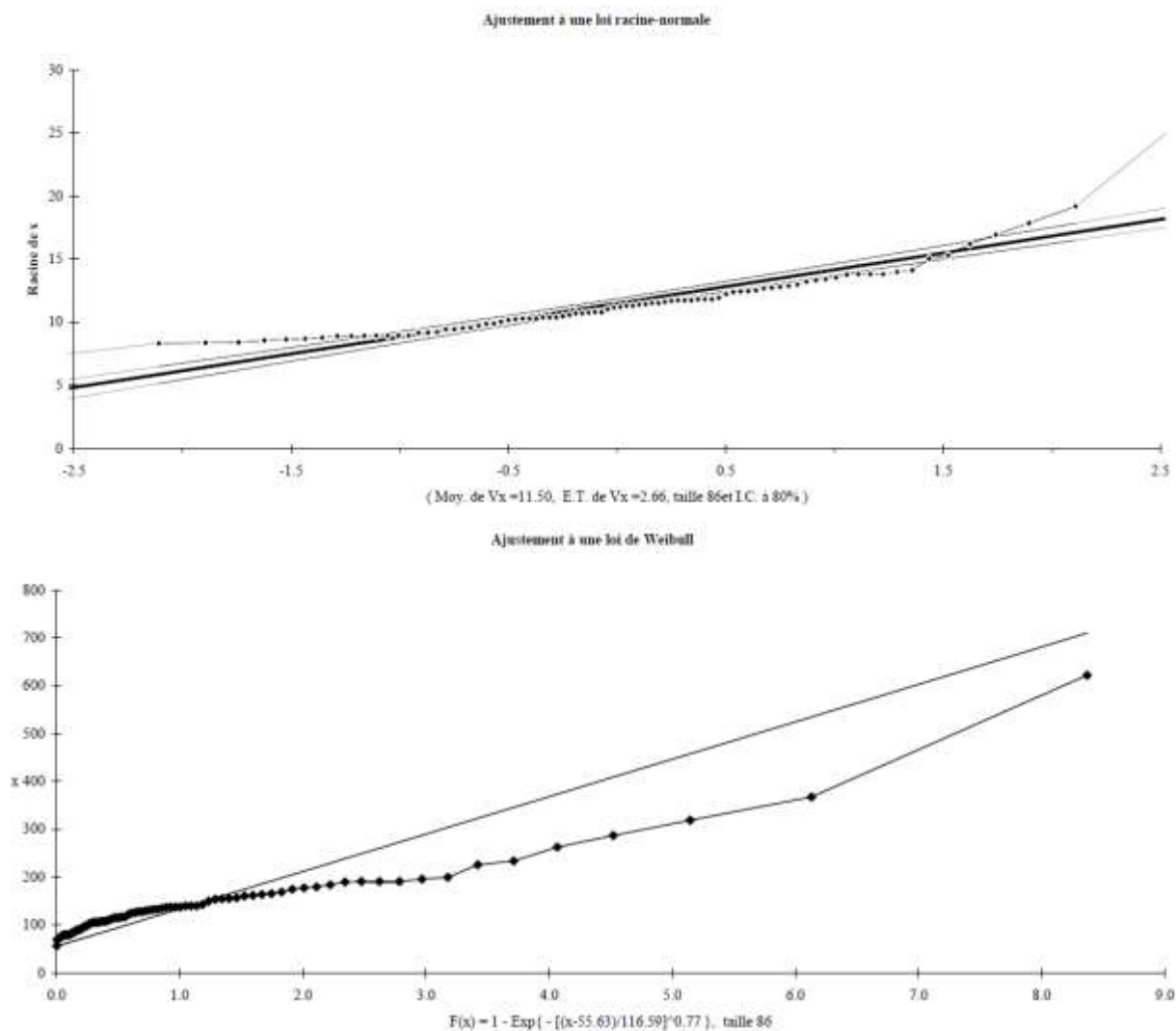


Le Salat à Soueix Rogalle [Kerbanac] (Code station: 00362510) :

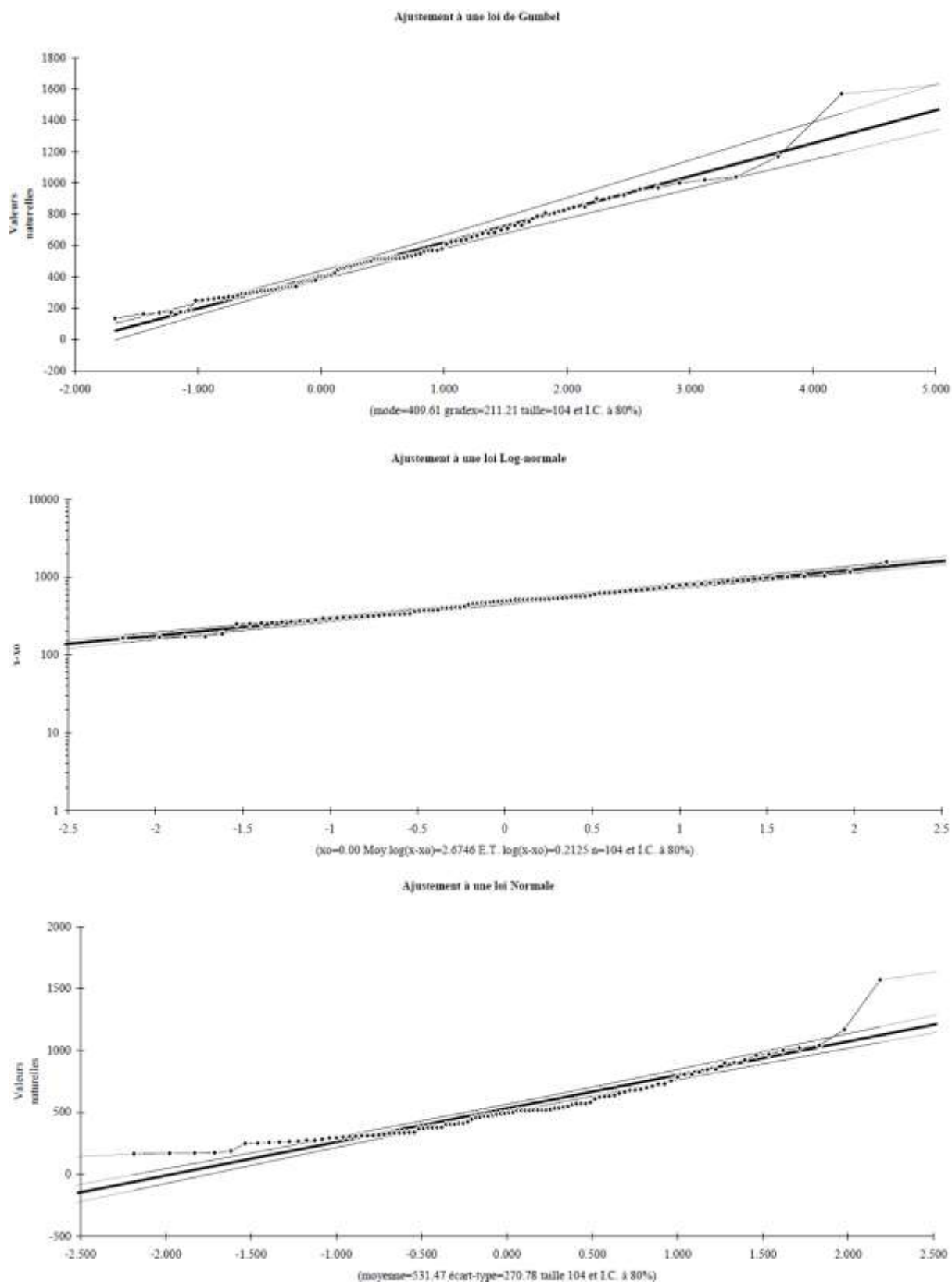


AGERIN SAS

Aménagement et Gestion de l'Environnement et des Risques Naturels - Etudes et Conseil

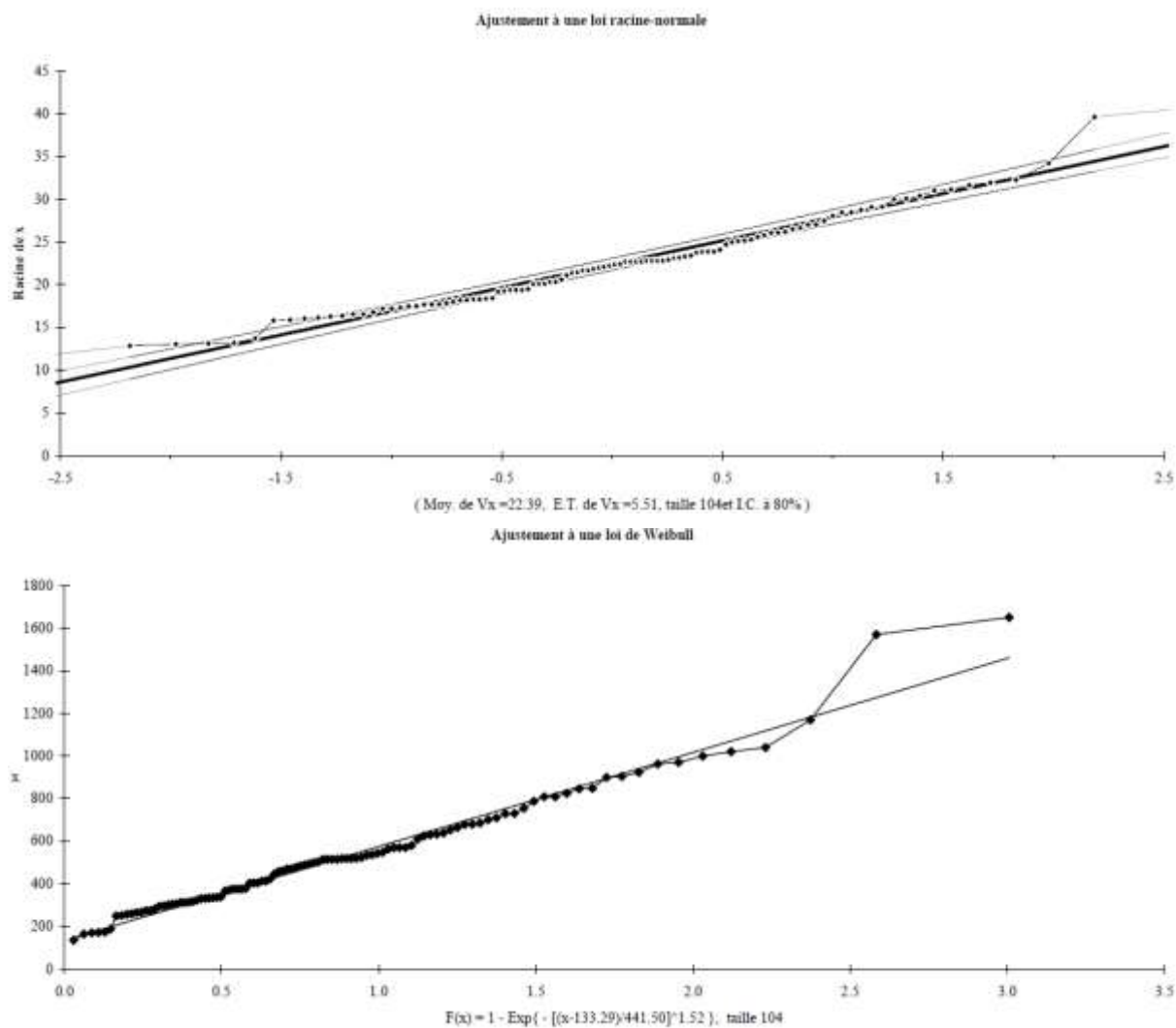


Le Salat à Roquefort-sur-Garonne (code station : O0592510) :



AGERIN SAS

Aménagement et Gestion de l'Environnement et des Risques Naturels - Etudes et Conseil



Annexe 4 : Repères de crues



DDT 09

Fiches de crue

1



AGERIN

Etude: Aléa inondation, St-Girons Département : Commune : Saint-Girons N° INSEE : 09 261 Secteur : Salles, amont D117 Cours d'eau : Baup Date de la crue : 19/05/1977 Type : Marque Source : AGERINsas	Localisation sur fond IGN : 
Côte NGF (en m): 396.96 Hauteur (en m/TN):	Localisation sur orthophoto : 
Coordonnées L93: 549626.906 6212046.933	
Commentaire: Marque de la crue de mai 1977 reportée sur la façade aval.	
Témoin:	





DDT 09

Fiches de crue

2



Etude: Aléa inondation, St-Girons

Département :

Commune : Saint-Girons

N° INSEE : 09 261

Secteur : Quai du Roc

Cours d'eau : Salat

Date de la crue : 19/05/1977

Type : Photographie

Source : « La Dépêche », AGERINsas

Côte NGF (en m) : 392.14 Hauteur (en m/TN) :

Coordonnées L93:

548772.72

6210762.25

Commentaire:

Photographie de la crue de Mai 1977 sur le Salat.

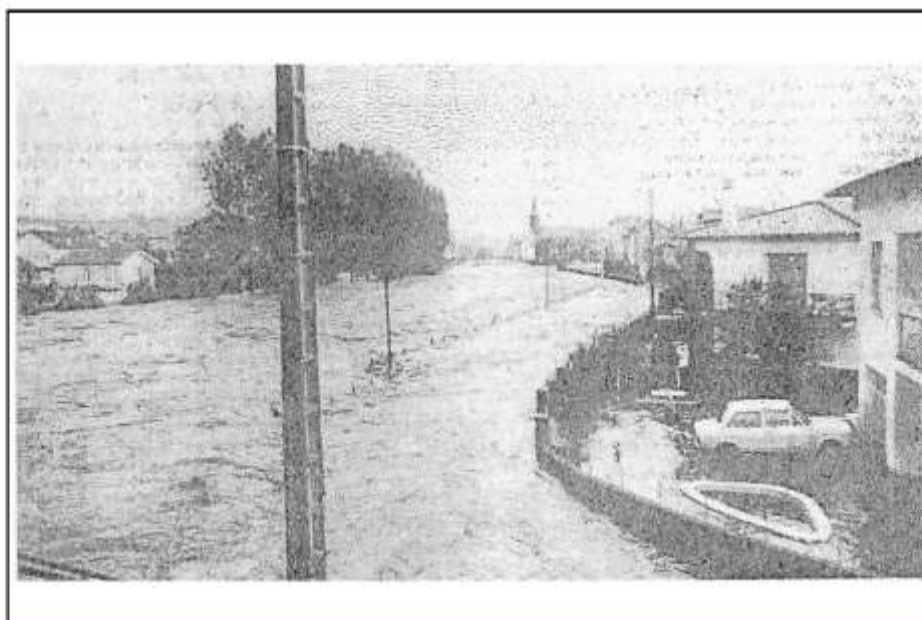
Photographie extraite du journal « la Dépêche ».

Témoign:

Localisation sur fond IGN :



Localisation sur orthophoto :

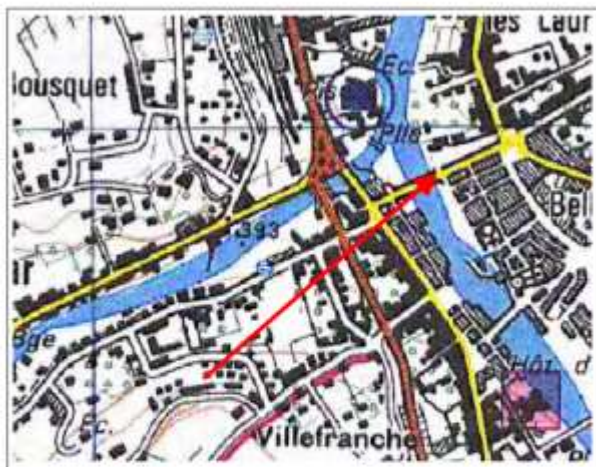


AGERIN SAS

Aménagement et Gestion de l'Environnement et des Risques Naturels - Etudes et Conseil

CODE FICHE : 09-35.1-ST GI-1

PK : Distance à la Garonne



Département : 09

Rivière : Salat

Commune : Saint Girons

**Lieu : Pont en amont du de
la confluence du Lez**

Date : 1875

Source : AGERIN sarl

Sur le coin aval du parapet rive droite du pont sur le Salat, on trouve cette marque de la crue du 23 juin 1875 gravée sur un bloc. Cette marque, située environ 1,1 m au dessus du sol, montre clairement que ce pont était largement submergé lors de la crue du 23 juin 1875. Altitude de la crue: 390,81 m



AGERIN SAS

Aménagement et Gestion de l'Environnement et des Risques Naturels - Etudes et Conseil

Annexe 5 : Carte des levés topographiques

