



Direction Départementale des Territoires
du Puy de Dôme

Définition et cartographie de l'aléa
inondation sur le territoire à risque
important d'inondation

CLERMONT-FERRAND - RIOM

Volet hydrologie

01630296-01630297 | Décembre 2015 |





hydratec
groupe setec

Immeuble Le Crystallin
191/193 cours Lafayette
CS 20 087
69458 LYON CEDEX 06
T. +33(0)4 27 85 48 80
F. +33(0)4 27 85 48 81

Directeur d'affaire : MUF

Responsable d'affaire : DUC

N°affaire : 01630296 - 01630297

Fichier : 30296-30297_Rapport_hydrologie_V2.docx

Version	Date	Etabli par	Vérfié par	Nb pages	Observations / Visa
1	15/05/2014	DUC	MUF	232	
2	18/12/2015	DUC	MUF	232	Correction tableaux de synthèse débits de référence

TABLE DES MATIERES

1	PREAMBULE	10
1.1	Contexte climatique général.....	10
1.2	Démarche générale.....	11
2	PRESENTATION DES BASSINS VERSANTS ET DU RESEAU HYDROGRAPHIQUE.....	12
2.1	Le réseau hydrographique	12
2.2	Contexte géologique et hydrogéologique.....	13
2.2.1	Structure géologique du secteur d'étude	13
2.2.2	Description des principales entités hydrogéologiques	16
2.2.3	Rôle de la géologie de surface sur la genèse des écoulements	16
2.3	Description du fonctionnement hydrologique des différents cours d'eau du secteur d'étude	19
2.3.1	Agglomération clermontoise	19
2.3.2	Agglomération riomoise	20
2.4	Occupation du sol	22
3	MESURES DISPONIBLES.....	23
3.1	Stations hydrométriques	23
3.2	Stations limnimétriques	25
3.2.1	Banque hydro	25
3.2.2	Agglomération de Clermont Ferrand.....	25
3.2.3	Ancien réseau SIAEC (Syndicat Intercommunal d'Equipement de l'Agglomération Clermontoise)	25
3.3	Pluviométrie	26
3.3.1	Stations de Météo France.....	26
3.3.2	Agglomération de Clermont Ferrand.....	28
3.3.3	Ancien réseau SIAEC	28
3.3.4	Images radar.....	29
3.3.5	Pluies SHYREG	29
4	EVENEMENTS HISTORIQUES	30
4.1	Arrêtés de catastrophe naturelle	30
4.1.1	Agglomération de Clermont Ferrand.....	30
4.1.2	Agglomération de Riom	33
4.2	Crues anciennes	36
4.2.1	Agglomération de Clermont Ferrand.....	36
4.2.2	Agglomération de Riom	37
4.3	Typologie générale des principaux événements à l'origine de dommages recensés.....	37
4.3.1	Evénements orageux localisés	37
4.3.2	Evénements régionaux	38

5	ANALYSE STATISTIQUE DES DONNEES PLUVIOMETRIQUES	40
5.1	Introduction	40
5.2	Synthèse des analyses statistiques	41
5.3	Sensibilité au nombre de données de l'échantillon	42
5.4	Variabilité spatiale des cumuls pluviométriques	42
5.5	Conclusions	46
5.6	Comparaison avec les données des études antérieures.....	47
6	ANALYSE STATISTIQUE DES DEBITS DE CRUE	49
6.1	Saisonnalité des crues	49
6.2	Stations de référence non influencées par les bassins d'orage	49
6.2.1	L'Ambène à Ennezat.....	51
6.2.2	Le Bédât à Saint Laure	51
6.2.3	L'Artière à Beaumont	52
6.2.4	La Tiretaine sud	53
6.3	Définition des débits de période de retour fréquente.....	53
6.4	Extrapolation aux périodes de retour rares	55
6.4.1	Présentation de la méthode du Gradex	55
6.4.2	Durées caractéristiques des crues.....	56
6.4.3	Détermination des gradex de bassin.....	56
6.4.4	Synthèse des résultats.....	56
6.4.5	Conclusions	57
7	CONSTRUCTION DU MODELE PLUIE - DEBIT	59
7.1	Découpage en sous bassins versants.....	59
7.2	Spatialisation et pondération des pluies.....	61
7.2.1	Evénements postérieurs à 1997	61
7.2.2	Evénements antérieurs à 1997	61
7.3	Modélisation pluie brute - débit	62
7.3.1	Sous bassins versants ruraux.....	62
7.3.2	Sous bassins versants urbains :	66
7.4	Calage des modèles pluie - débit.....	67
7.4.1	Méthodologie	67
7.4.2	Définition des paramètres de calage.....	67
7.4.3	Evénements retenus	69
7.4.4	Données pluviométriques	70
7.4.5	Données hydrométriques et limnimétriques	79
7.4.6	Synthèse des résultats.....	79
7.4.7	Conclusion	81
8	DEFINITION D'UNE HYDROLOGIE DE REFERENCE	82
8.1	Méthodologie générale.....	82

8.2	Coefficient d'abattement spatial des pluies	82
8.2.1	Introduction	82
8.2.2	Méthodologie proposée	83
8.2.3	Application au territoire étudié	84
8.2.4	Comparaison avec d'autres secteurs géographiques	86
8.2.5	Conclusion	87
8.3	Analyse détaillée de 15 événements récents	88
8.4	Définition des pluies de projet	89
8.4.1	Pluies de durée totale 6 heures	89
8.4.2	Pluies de durée totale 2 heures	92
8.5	Simulation des pluies de projet	93
8.5.1	Paramétrage des modèles pluie - débit	93
8.5.2	Définition des scénarios de référence	94
8.6	Validation de l'hydrologie de référence	96
8.7	Synthèse des débits de référence	98
8.7.1	Crue décennale	98
8.7.2	Crue trentennale	103
8.7.3	Crue cinquantennale	106
8.7.4	Crue centennale	109
8.7.5	Crue millennale	112
A N N E X E S		116
A N N E X E 0 A		117
PLUVIOMETRIE CLERMONT FERRAND, AJUSTEMENTS STATISTIQUES TOUTES LOIS		117
A N N E X E 0 B		121
PLUVIOMETRIE ORCINES, AJUSTEMENTS STATISTIQUES TOUTES LOIS		121
A N N E X E 0 C		124
PLUVIOMETRIE SAYAT, AJUSTEMENTS STATISTIQUES TOUTES LOIS		124
A N N E X E 0 D		126
PLUVIOMETRIE SAINT GENES CHAMPANELLE, AJUSTEMENTS STATISTIQUES TOUTES LOIS		126
A N N E X E 1		129
CUMULS PLUVIOMETRIQUES ESTIMES PAR AJUSTEMENTS DE GUMBEL / GEV ET A PARTIR DES DONNEES SHYREG POUR DES DUREES COMPRISES ENTRE 2 HEURES ET 24 HEURES.....		129
A N N E X E 2		133
DEBITS MAXIMA INSTANTANES ANNUELS, AJUSTEMENTS STATISTIQUES TOUTES LOIS		133
A N N E X E 3		137

DEBITS MAXIMA INSTANTANES ANNUELS, AJUSTEMENTS LOI DE GUMBEL ET GRADEX	137
A N N E X E 4	148
DUREE CARACTERISTIQUE DES CRUES	148
A N N E X E 5	150
HYDROGRAMMES ET CUMULS PLUVIOMETRIQUES MESURES (IMAGES RADAR PANTHERE) DES EVENEMENTS HISTORIQUES ANALYSES	150
A N N E X E 6	174
EVENEMENTS RETENUS POUR LE CALAGE	174
COMAPRAISON DES HYETOGRAMMES EXTRAITS DES IMAGES RADAR ET MESURES AU SOL	174
A N N E X E 7	180
POUR UNE APPROCHE GEOSTATISTIQUE DES COEFFICIENTS D'ABATTEMENT DES PRECIPITATIONS	180
LA HOUILLE BLANCHE, N°3 1986	180
A N N E X E 8	189
RESULTAT DE CALAGE DU MODELE HYDROLOGIQUE	189
A N N E X E 8 A	190
RESULTAT DE CALAGE DU MODELE HYDROLOGIQUE	190
EVENEMENT DU 04/06/2007	190
A N N E X E 8 B	199
RESULTAT DE CALAGE DU MODELE HYDROLOGIQUE	199
EVENEMENT DU 11/09/2008	199
A N N E X E 8 C	208
RESULTAT DE CALAGE DU MODELE HYDROLOGIQUE	208
EVENEMENT DU 14/07/2009	208
A N N E X E 8 D	217
RESULTAT DE CALAGE DU MODELE HYDROLOGIQUE	217
EVENEMENT DU 17/06/2010	217
A N N E X E 8 D	226
RESULTAT DE CALAGE DU MODELE HYDROLOGIQUE	226
EVENEMENT DU 06/09/2013	226

GLOSSAIRE

Banque Hydro : la Banque HYDRO stocke les mesures de hauteur d'eau (à pas de temps variable) en provenance de 3 500 stations de mesure (dont 2 400 sont actuellement en service) implantées sur les cours d'eau français et permet un accès aux données signalétiques des stations (finalité, localisation précise, qualité des mesures, historique, données disponibles...).

Coefficients de Montana : coefficients permettant de construire des courbes intensité – durée - fréquence

$$i_{(T)} = a_{(T)} \times t^{-b_{(T)}}$$

avec : $a_{(T)}$ et $b_{(T)}$: coefficients de Montana pour des pluies de période de retour T, définis à partir des analyses statistiques réalisées au droit d'un poste pluviométrique ou issus de tables régionales

$i_{(T)}$: intensité de la pluie

T : durée de la pluie

Corine Land Cover : base de données européenne d'occupation biophysique des sols. Ce projet est piloté par l'Agence européenne de l'environnement et couvre 38 Etats. La partie française est réalisée par le Service de l'Observation et des Statistiques du Commissariat Général au Développement Durable (CGDD) du Ministère de l'écologie (MEDDE).

Débit spécifique : rapport entre le débit d'un cours d'eau et la superficie de son bassin versant, généralement exprimé en $m^3/s/km^2$.

Faciès : ensemble des caractères minéralogiques et structuraux d'une roche

GEV (loi) : generalized extreme value; loi statistique permettant de calculer la pluie P (également valable pour un débit) correspondant à la fréquence au non dépassement F :

$$P = X_0 - \frac{a}{\delta} [1 - (-\ln F)^{-\delta}]$$

δ : paramètre de forme

Gradex : cf. Gumbel

Gumbel (loi de) : loi statistique permettant de calculer la pluie P (également valable pour un débit) correspondant à la fréquence au non dépassement F :

$$P = X_0 - a \cdot \ln(-\ln F)$$

a est appelé le Gradex ; il correspond à la pente de la droite de la loi statistique tracée sur un papier de Gumbel (abscisse $u = -\ln(-\ln F)$).

Hydrogramme : graphique traduisant l'évolution du débit en fonction du temps.

Hyétogramme : graphique traduisant l'évolution de l'intensité des pluies en fonction du temps.

Limnigramme : graphique traduisant l'évolution des hauteurs d'eau en fonction du temps.

Lit majeur : zone d'écoulements occupée par une rivière en crue (plaine d'inondation).

Lit mineur : chenal d'écoulement creusé par la rivière pour les débits ordinaires (débits non débordants).

Méthode du renouvellement : méthode d'analyse statistique qui à la différence de la méthode des maxima annuels (utilisée dans la cadre de la présente étude pour les ajustements des lois de Gumbel et GEV), retient comme échantillon de travail non pas la pluie (ou le débit) le plus fort de chaque année observée, mais l'ensemble des pluies (ou débits) maximales de toutes les événements dépassant une valeur seuil S au cours de l'année. Le choix judicieux de cette valeur seuil garantit de retenir toute l'information intéressante et d'exclure les pluies (ou débits) qui ne correspondent pas à des événements significatifs.

Modèle mathématique : outil de simulation informatique permettant de calculer avec les formules de l'hydraulique les conditions de débit et de hauteur en fonction du temps en tout point d'un cours d'eau, et de représenter ainsi les écoulements dans les conditions d'aménagement actuelles ou futures. La représentation des modèles peut être filaire ou bidimensionnelle.

Période de retour : La période de retour d'une crue T , exprimée en années, correspond à la crue maximale, exprimée en m^3/s , observée une fois dans ce laps de temps T . Par exemple la crue décennale est l'événement maximal ne pouvant se produire que 10 fois sur une durée de 100 ans ; l'intervalle entre deux événements décennaux peut être inférieur à 10 ans ou supérieur à plusieurs décennies.

Perméabilité (d'une roche, ou d'un aquifère) : vitesse à laquelle l'eau circule au sein de la roche (ou de l'aquifère). Elle s'exprime en m/s .

Productivité (d'une nappe) : débit d'eau qui s'écoule par unité de largeur de l'aquifère.

Rugosité du lit : grandeur utilisée en hydraulique pour caractériser la résistance aux écoulements d'une conduite ou d'un cours d'eau. Pour un cours d'eau, le coefficient de rugosité intègre l'aspect des berges et du lit (taux d'encombrement, enrochements éventuels, broussailles, perré en béton,...).

Temps de concentration : temps que met une particule d'eau provenant de la partie du bassin la plus éloignée "hydrologiquement" de l'exutoire pour parvenir à celui-ci.

1 PREAMBULE

L'analyse hydrologique porte à la fois sur l'évaluation et la quantification des crues historiques et sur la définition de données hydrologiques fiables et cohérentes à l'échelle des bassins versants étudiés, indispensable à la caractérisation des aléas : débits de pointe et hydrogrammes des crues de projet de période de retour de 10 ans, 30 ans, 50 ans, 100 ans et 1000 ans.

Cette étude est commune aux agglomérations de Clermont-Ferrand et de Riom afin d'exploiter l'ensemble du réseau de mesures disponible (pluviométrie et hydrométrie) et de prendre en compte la station hydrométrique de Saint-Laure sur le Bédat, en aval des deux agglomérations de Clermont-Ferrand et de Riom. Ces deux territoires sont en effet soumis aux mêmes types d'aléas climatiques, les cours d'eau les traversant présentant de fortes similitudes (sources sur le plateau des Dômes, s'écoulant ensuite vers la plaine de Limagne).

1.1 CONTEXTE CLIMATIQUE GENERAL

Le secteur d'étude est marqué par un climat très variable tant géographiquement que temporellement, fortement influencé par le relief.

La partie amont des bassins versants, située en zone de moyenne montagne, est marquée par des cumuls annuels de pluies importants et des températures froides. Les vents d'ouest apportent de la pluie, les cumuls annuels de précipitations atteignant 1000 mm.

A l'inverse, la partie aval des bassins versants, située dans la plaine de la grande Limagne, est marquée par l'une des plus fortes amplitudes thermiques annuelles de France métropolitaine, typique du climat continental. La disposition nord/sud de la chaîne des Puys constitue un obstacle à la circulation générale d'ouest en est de l'atmosphère, à l'origine d'un effet de foehn entraînant les faibles précipitations annuelles mesurées dans l'agglomération clermontoise (moyenne des cumuls annuels de 590 mm).

La carte ci-après présente la pluviométrie moyenne annuelle sur les bassins versants étudiés (source Météo-France, AURELHY).

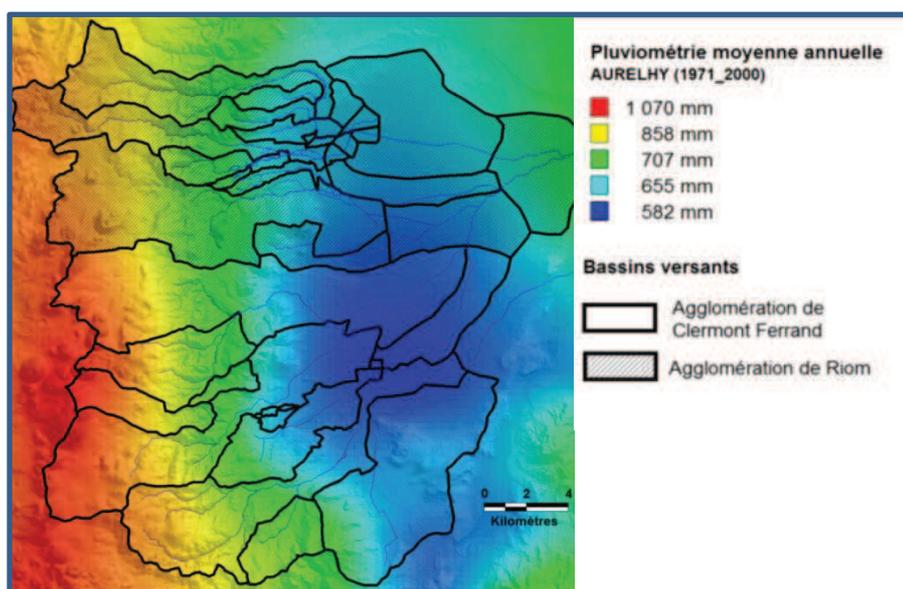


Figure 1 : Pluviométrie moyenne annuelle (AURELHY, Météo-France)

Alors que l'hiver est froid, sec et neigeux, l'été est chaud et marqué par des orages apportant localement de fortes précipitations à l'origine des principales crues enregistrées. L'intensité de ces épisodes orageux est moins dépendante du relief, et touche indifféremment l'ensemble des bassins versants étudiés.

La zone d'étude étant caractérisée par des bassins versants courts, et donc présentant des *temps de concentration** faibles, un orage de forte intensité peut provoquer des crues torrentielles rapides, et donc dangereuses, comme l'attestent les archives :

- 10 morts sur la Tiretaine en 1835, 6 morts et 2 ponts emportés à Beaumont en 1764,
- Plusieurs dizaines de morts sur l'agglomération riomoise en 1826.

Les données récentes disponibles à ce jour, notamment celles issues de la *Banque Hydro** et les arrêtés de catastrophes naturelles ne montrent pas de crues importantes sur les rivières de la zone d'étude depuis une vingtaine d'années. Les temps de retour des événements qui ont touché les communes des agglomérations clermontoise et riomoise depuis une trentaine d'années (date des premières mesures enregistrées) sont généralement de l'ordre de 2 à 5 ans.

La crue de juin 1992, qui a touché l'ensemble des quatre bassins versants du Bédât, de la Tiretaine, de l'Artière et du Bec, présente un *temps de retour** de l'ordre de 10 ans. Des crues de périodes de retour similaires (estimations, en l'absence de données) ont touché l'agglomération Riomoise en 1977, 1982 et 1992 (Sardon, Ambène, Mirabel).

1.2 DEMARCHE GENERALE

L'analyse hydrologique s'appuie d'une part sur la connaissance des événements historiques à travers une étude détaillée des mesures disponibles et d'autre part sur l'exploitation d'un modèle hydrologique pluie-débit couplé aux modèles hydrauliques mis en œuvre pour la caractérisation de l'aléa inondation.

L'analyse statistique des données pluviométriques et hydrométriques disponibles permet de quantifier les débits de pointe et volumes écoulés pour différentes périodes de retour au droit des stations de mesure, gérées par la Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement (DREAL).

Le modèle hydrologique permet de définir les hydrogrammes injectés dans les modèles hydrauliques qui en assurent le routage vers l'aval. Il tient compte des caractéristiques physiques des sous-bassins versants, et notamment de l'imperméabilisation liée à l'urbanisation qui tend à augmenter le ruissellement et les volumes écoulés vers les cours d'eau.

La méthode proposée s'inscrit dans une approche générale développée par Hydratec, applicable à tout système hydrologique complexe, dont les épisodes exceptionnels sont influencés par des combinaisons variées de facteurs physiques hétérogènes (ici la structure des pluies et la localisation spatiale de leurs épices notamment). Sa bonne application nécessite une caractérisation précise de ces facteurs et de leur interaction, ainsi qu'une modélisation adéquate du fonctionnement hydrologique et hydraulique du système.

2 PRESENTATION DES BASSINS VERSANTS ET DU RESEAU HYDROGRAPHIQUE

2.1 LE RESEAU HYDROGRAPHIQUE

Les principaux cours d'eau du secteur d'étude sont, du sud vers le nord :

- pour l'agglomération clermontoise :
 - le Bec,
 - l'Artière,
 - la Tiretaine (sud et nord),
 - le Bédat.

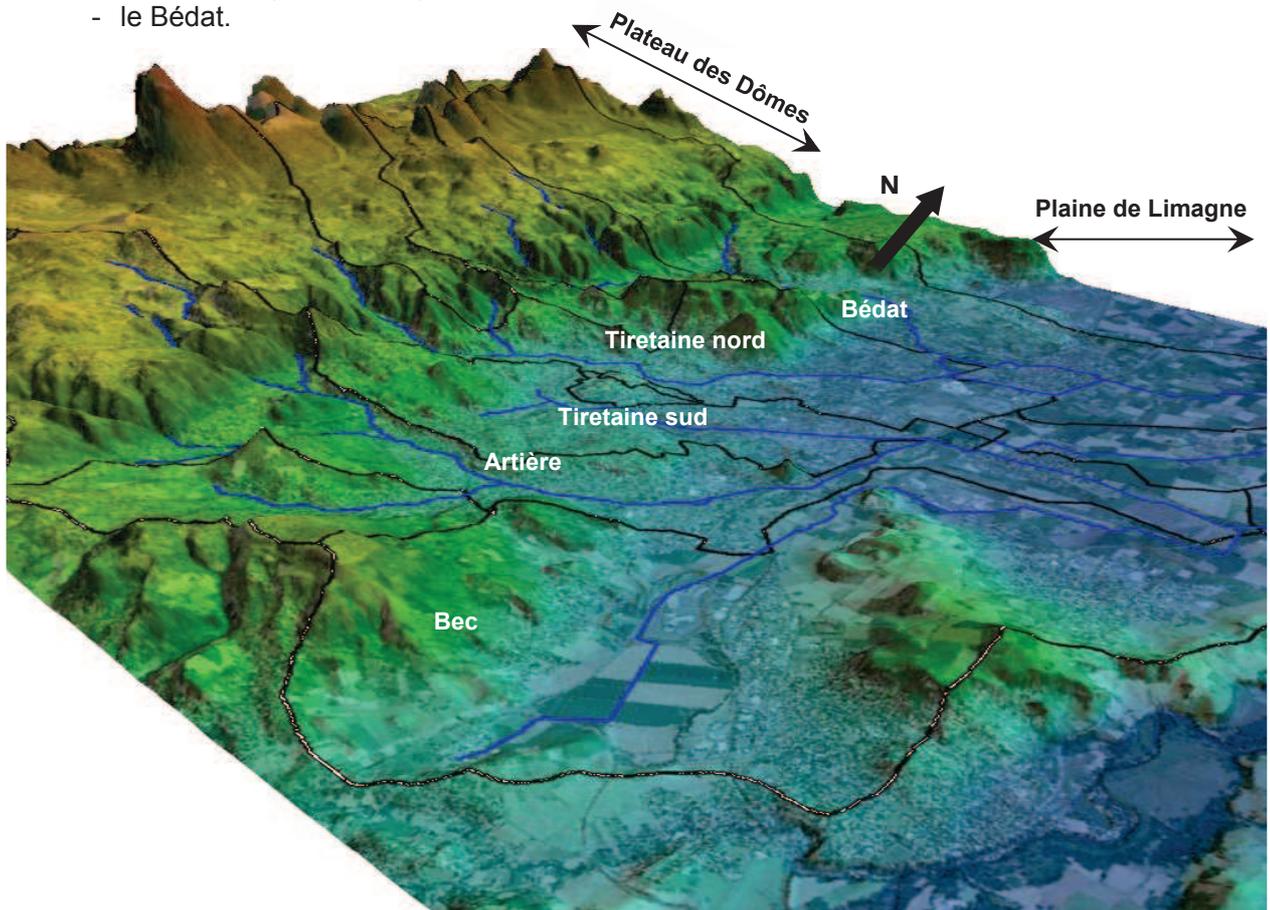


Figure 2 : Présentation des bassins versants de l'agglomération clermontoise

- pour l'agglomération riomoise :
 - le Rif,
 - le Mirabel,
 - l'Ambène,
 - le Sardon.

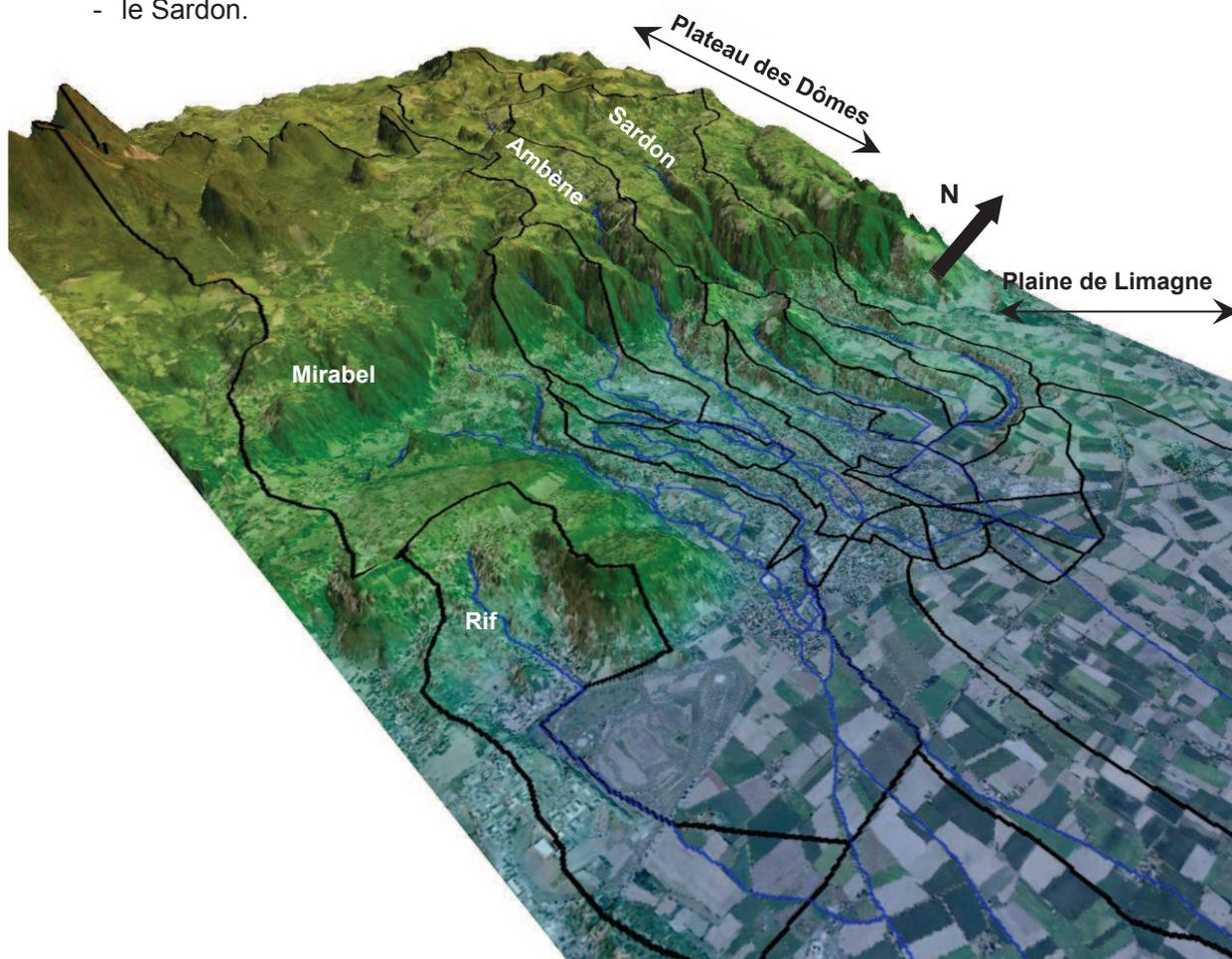


Figure 3 : Présentation des bassins versants de l'agglomération riomoise

2.2 CONTEXTE GEOLOGIQUE ET HYDROGEOLOGIQUE

2.2.1 Structure géologique du secteur d'étude

Le secteur d'étude s'inscrit sur deux régions géologiques bien distinctes :

- Le plateau des Dômes, granitique et métamorphique, au relief accusé (chaîne des Puys), à l'ouest en amont du bassin versant étudié
- La Limagne d'Allier, vaste plaine d'effondrement au relief relativement contrasté, à l'est en aval du bassin versant

a) Le plateau des Dômes

Le plateau des Dômes est séparé du fossé de la Limagne par un abrupt, orienté nord – sud, induit par les mouvements tectoniques, conséquence des plissements de la zone alpine de l'Eocène (-53 Ma) jusqu'à l'Oligocène (-23.5 Ma).

Il en résulte la formation de vastes fossés d'effondrement dans lesquels s'accumulent progressivement d'épaisses formations fluvio-lacustres. Le pays des buttes marque la transition entre le plateau granitique et la plaine de la Limagne. Il est constitué d'un relief mou de buttes marno-calcaires, au travers desquelles les cours d'eau ont développé des formations alluviales. Des formations de bas de pente de faible épaisseur issues de remaniements des terrains argilo-calcaires de l'oligocène recouvrent parfois les formations alluviales.

Sur le plateau des Dômes, de nombreux édifices volcaniques forment un alignement montagneux d'où s'étalent des coulées de lave vers la Limagne.

b) La plaine de la Limagne

La plaine de la Limagne est une vaste plaine d'effondrement dégagée par l'érosion qui s'étend sur près de 2600 km². Elle est délimitée à l'ouest par un accident majeur, la faille bordière de la Limagne, résultant des distensions du socle ancien du massif central en réaction à la compression alpine. La faille constitue un abrupt d'une dénivellation de plus de 1000 m entre le plateau auvergnat à l'ouest et la plaine de la Limagne à l'est.

Sur le secteur d'étude, on distingue le pays des buttes de la plaine marneuse.

Le bassin d'effondrement a été comblé par des matériaux détritiques fins déposés dans les milieux lacustres ou lagunaires. Les érosions et pédogénèses récentes ont uniformisé la surface de la plaine tandis que le substrat marneux se situe à des cotes très différentes.

Une coupe type schématique, représentative du complexe de Limagne comprend de haut en bas :

- 0.6 à 2 m d'un sol isohumique, d'un sol brun ou d'un vertisol, ce sont les terres noires agricoles particulièrement fertiles. Les cartes pédologiques précisent que ces terres sont formées à 41% d'argiles, 21% de limon fin, 10 % de limon grossier, 10 % de sable fin et 18 % de sable grossier (source chambre d'agriculture 63, atlas de la fertilité des sols),
- 0.1 à 1.5 m d'alluvions, sables et graviers alimentés également par des minéraux d'origine volcanique ou de socle,
- 1 à 3 m d'une formation argilo-calcaire meuble mais compacte, dérivée des marnes et calcaires de l'oligocène,
- substratum de marnes grises oligocènes.

Entre Clermont-Ferrand, Riom et Chappes, les intercalations alluviales sont importantes. Elles résultent des apports des affluents localisés entre la Tiretaine au sud et l'Ambène au nord.

Le pays des buttes est également le siège de témoins basaltiques du volcanisme quaternaire que la région a connu. Il se manifeste par des remontées de roches intrusives dans les sédiments marno-calcaires de la Limagne.

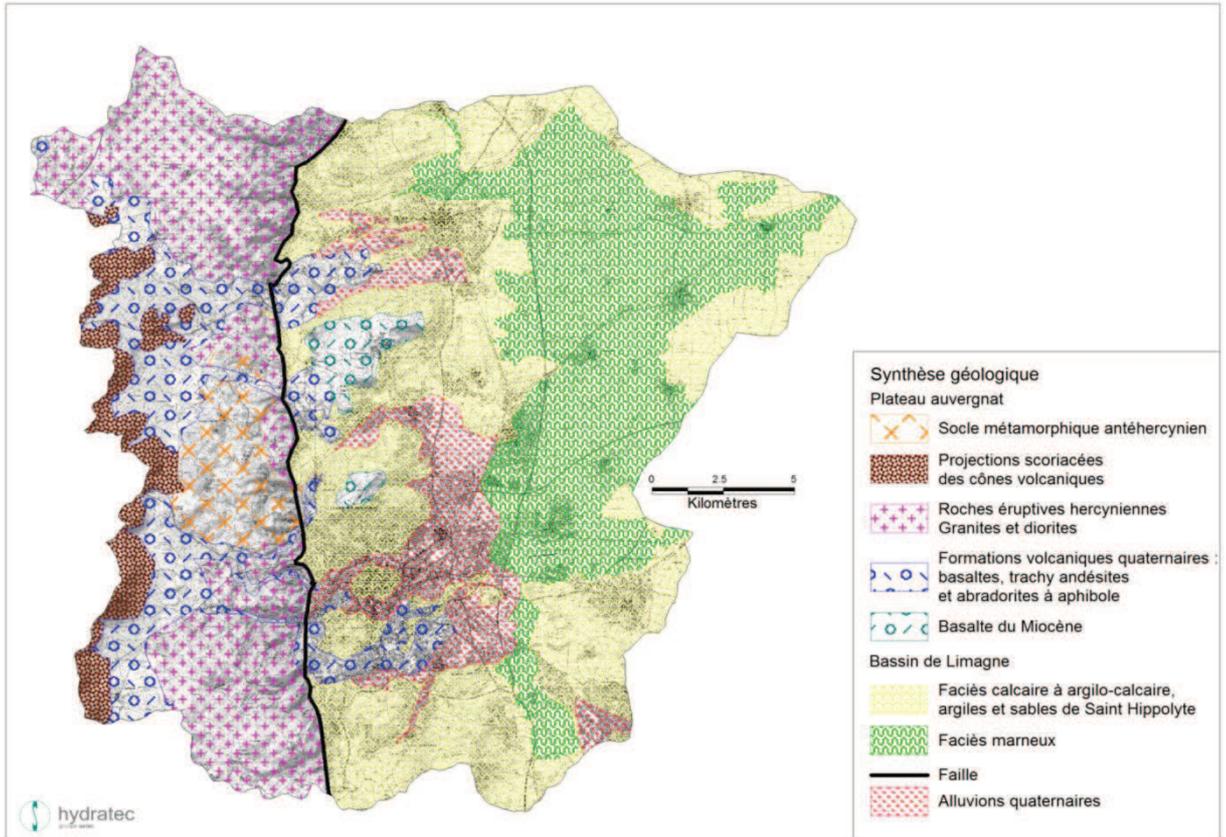


Figure 2-4 : Synthèse géologique du secteur d'étude

L'ensemble de ces formations est représenté sur le schéma ci-après.

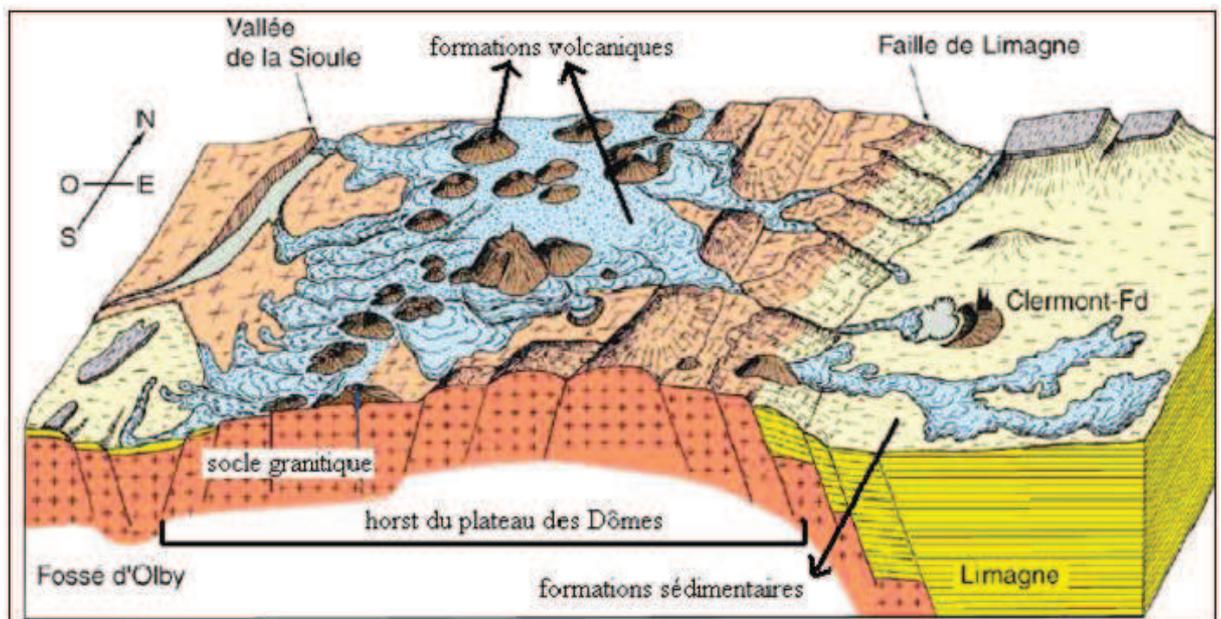


Figure 2-5 : Description morpho structurale de la chaîne des Puys (Boivin et al., 2004)

2.2.2 Description des principales entités hydrogéologiques

Les principales entités hydrogéologiques recensées sont les suivantes :

- l'aquifère du bassin de la Limagne : les formations de nature marno-calcaire d'origine lacustre ne favorisent pas l'existence de ressources significatives ; localement, des aquifères de capacité limitée peuvent être exploités par les irrigants et les particuliers, notamment en bordure du grand accident de la Limagne,
- les aquifères du socle : le socle, constitué de formations granito-gneissiques, ne renferme que des aquifères de type arènes granitiques, très localisés et sensibles aux sécheresses,
- les aquifères volcaniques : le système de la chaîne des Puys, formé de scories de grande épaisseur, constitue un réservoir aquifère de forte ampleur. Le socle granitique constitue le substratum imperméable de cet aquifère, ainsi, les écoulements empruntent les axes des paléo-vallées avant d'émerger au pied des coulées volcaniques. 3 bassins concernent principalement notre secteur d'étude : le bassin de Nohanent – Durtol, celui de la Tiretaine et celui de Volvic. Le temps d'infiltration est long (recharge de nappe estimée à 2 ou 3 ans).

2.2.3 Rôle de la géologie de surface sur la genèse des écoulements

La géologie présentée précédemment permet de caractériser la capacité des sols à produire du ruissellement direct ou à infiltrer la pluviométrie vers les nappes profondes.

a) Cas particulier des formations volcaniques de la chaîne des Puys

Les formations volcaniques de la chaîne des Puys, généralement très récentes, sont aquifères et présentent une très forte *perméabilité**, pouvant localement atteindre 10^{-2} m/s.

Les eaux de pluie et de la fonte des neiges s'infiltrent dans les formations volcaniques et rejoignent le socle imperméable et les vallées ante-volcaniques (paléovallées). Pour des événements pluvieux ne présentant pas une intensité exceptionnelle, aucun ruissellement ne vient alimenter les fonds de vallée sur ces terrains (A. STOULS, 2009) ; par ailleurs, la majeure partie des eaux ruisselées sur les formations de socle affleurantes présentent des ruissellements de surface ou de subsurface qui finissent par percoler vers les épaisses formations volcaniques non saturées en fond de vallée (Joux, 2002). Ce fonctionnement hydrogéologique global des têtes de bassins versants est schématisé sur la figure ci-après.

Les formations volcaniques présentent donc un *faciès** très infiltrant. Les éléments de connaissance actuelle ne permettent cependant pas d'apprécier de manière fine la capacité de production de ruissellement de ces bassins versants lors d'événements orageux intenses et exceptionnels.

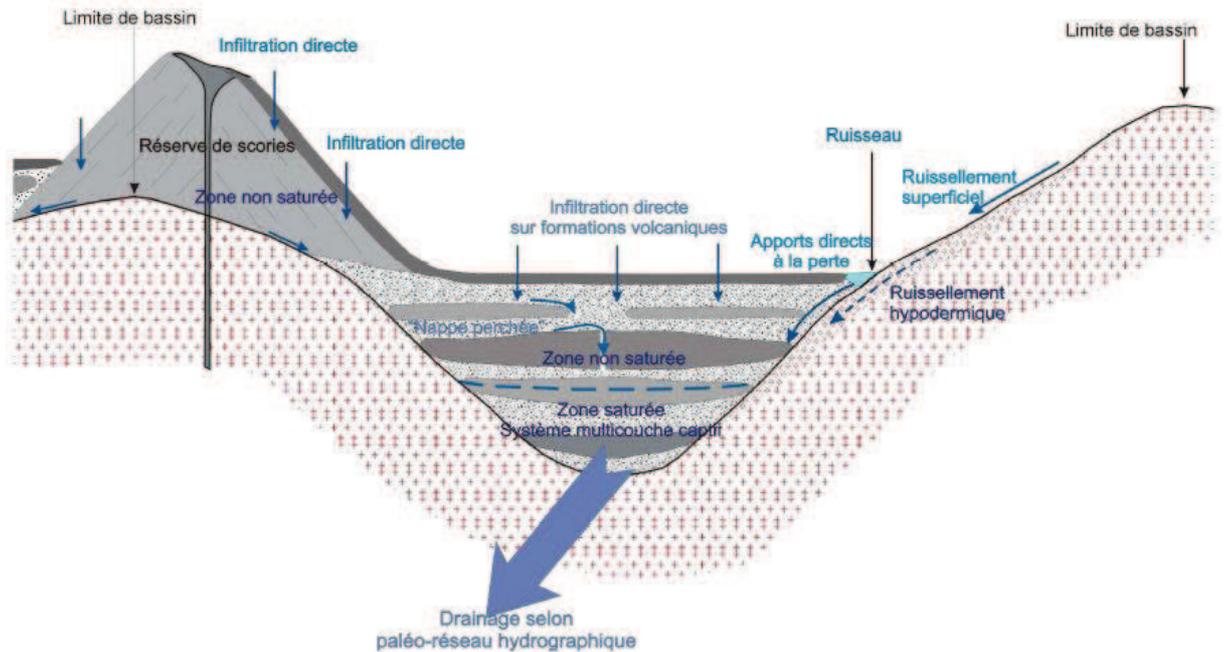


Figure 2-6 : Coupe schématique du système d'alimentation de l'aquifère de Volvic (Joux, 2002)

b) Cas particulier du bassin de la Limagne

Concernant le bassin de la Limagne, il est nécessaire de distinguer quatre entités :

- le secteur des buttes : ce secteur constitué de terrains oligocènes à tendance argilo-calcaires avec la présence d'intercalations de sables pouvant être aquifères. Il est considéré comme peu perméable,
- le secteur marneux du complexe de la Limagne : il est le siège des terres noires agricoles, il est considéré comme peu perméable,
- le secteur recouvert par les alluvions quaternaires des cours d'eau : ce secteur est considéré comme perméable,
- les coulées basaltiques recouvrant le complexe de la Limagne sont perméables (cf. aquifère des formations volcaniques).

La figure ci-après présente une esquisse piézométrique de la nappe de la Limagne dressée en 1975 par le Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM). Les formations de la Limagne renferment une nappe de *productivité** médiocre.

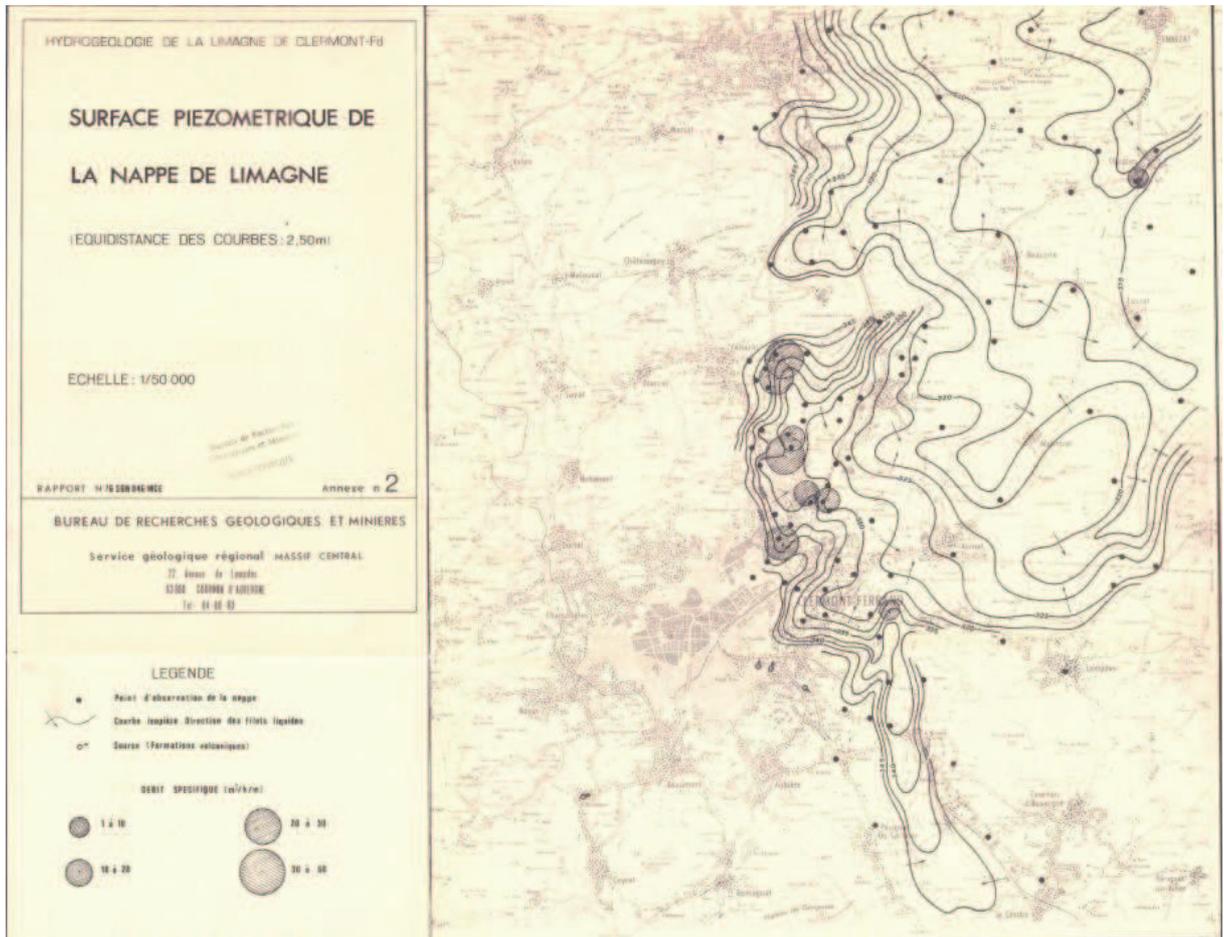


Figure 2-7 : Carte piézométrique de la Limagne, extrait du document BRGM « Données hydrogéologiques acquises en Limagne de Clermont-Ferrand (fin 1975) » 76 SGN 046

▪ Les formations du socle

Les formations du socle sont réputées imperméables. Des infiltrations très localisées peuvent alimenter les terrains d'arènes granitiques ; cependant, ces phénomènes sont peu fréquents et extrêmement localisés. Ils ne sont donc pas pris en compte dans cette approche. Les bassins versants du socle sont par conséquent à caractère **ruisselant**.

Cependant, le ruissellement engendré sur les bassins versant ruisselants qui alimentent un bassin versant infiltrant aura tendance à s'infiltrer sur les terrains perméables des formations volcaniques.

La figure ci-après synthétise les conclusions précédentes sur l'impact de la perméabilité des terrains superficiels sur les écoulements. Quatre classes de perméabilité sont retenues, elles seront utilisées dans l'analyse hydrologique du paragraphe 1.7.

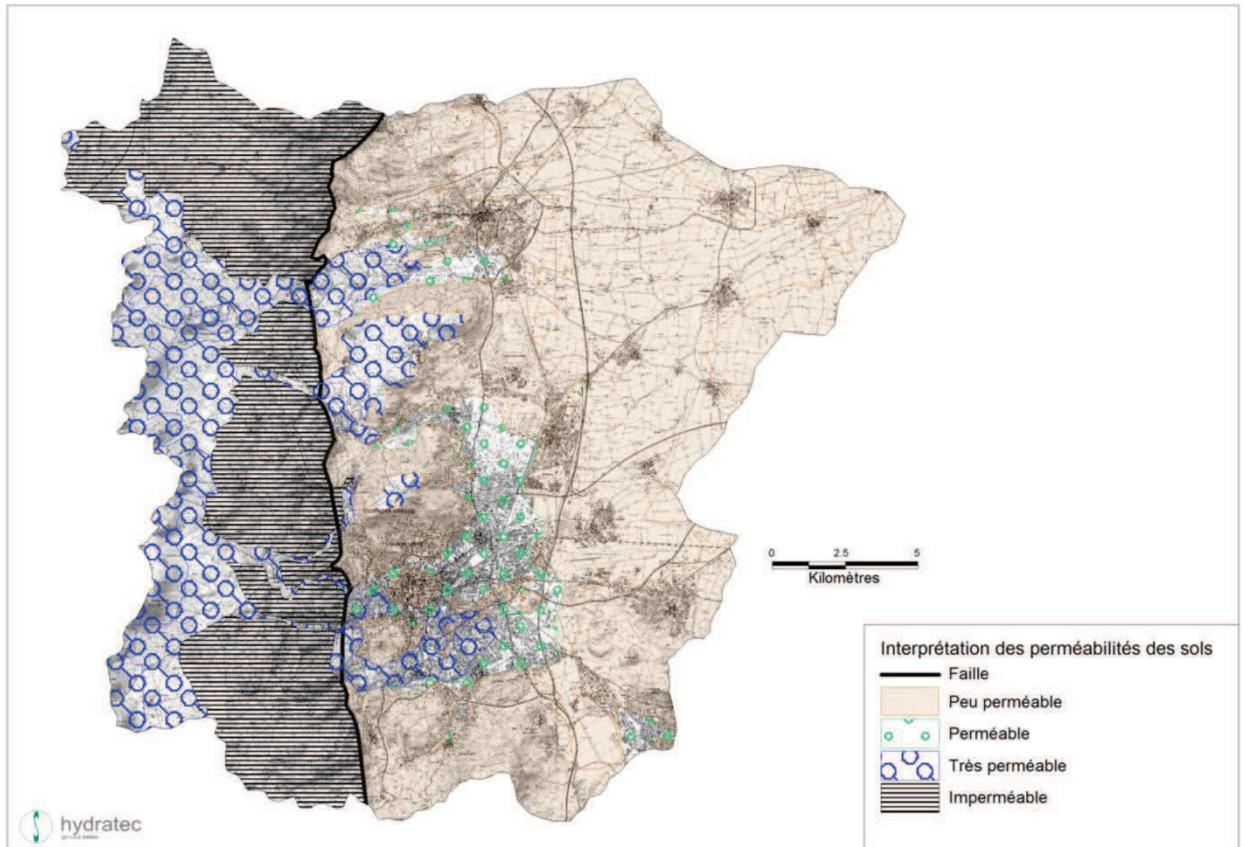


Figure 2-8: Interprétation de la géologie de surface : impacts de la perméabilité sur les écoulements

2.3 DESCRIPTION DU FONCTIONNEMENT HYDROLOGIQUE DES DIFFERENTS COURS D'EAU DU SECTEUR D'ETUDE

2.3.1 Agglomération clermontoise

- L'Artière

Sur sa partie amont, l'Artière est composée de deux cours d'eau : l'Artière de Ceyrat et l'Artière de Boisséjour qui confluent au niveau de Beaumont.

Les cours d'eau prennent leur source sur le plateau des Dômes, et drainent le relief granitique sur une superficie de l'ordre de 15 km². Ce bassin versant amont est principalement ruisselant. Le plateau granitique est faillé, des pertes locales d'eau dans le réseau de failles peuvent être observées.

Sur le secteur concerné par l'étude, l'Artière traverse le relief marneux de la faille qu'elle a entaillée de gorges profondes. Les reliefs sont pour la plupart à caractère ruisselant.

A l'aval de la confluence des deux cours d'eau, l'Artière traverse des terrains marneux de la Limagne, et longe l'entablement basaltique quaternaire de Saint Jacques les Cézeaux au nord, les marnes oligocènes au sud.

Elle débouche à l'aval d'Aubières dans la plaine de la Limagne, plus perméable en dehors des secteurs urbanisés.

L'affluent rive droite de l'Artière, la Gazelle, traverse les côtes marneuses du rebord de la faille. Son bassin versant est à dominance ruisselante.

- La Tiretaine sud

Le bassin versant de la Tiretaine sud se limite essentiellement aux formations marno-calcaires qui assurent la transition entre le plateau granitique et la plaine de la Limagne. Ce bassin versant est principalement ruisselant, le cours d'eau (souterrain sur la majeure partie de son cours) est par ailleurs à sec sur de longues périodes et réagit aux périodes pluvieuses. L'urbanisation très marquée de ce bassin versant accroît son caractère ruisselant.

- La Tiretaine nord

La Tiretaine nord prend sa source sur le plateau des Dômes, les terrains volcaniques quaternaires sont très infiltrants. Le ruissellement est supposé nul, même pour des pluies fortes.

Les premiers thalwegs n'apparaissent qu'à partir de la Font de l'Arbre, avec les premières résurgences. Les écoulements s'établissent dans des gorges étroites, sièges de coulées perméables. Elles traversent les terrains granitiques du socle anté-hercynien, imperméables mais fortement fracturés.

Les affluents (bassin de Royat – la Pépinière, le Liaboux, le Colombier) traversent les terrains granitiques, à caractère ruisselant.

La Tiretaine nord traverse les terrains marno-calcaires de la transition entre le plateau et la plaine de Limagne en coulant sur des formations alluviales développées en fond de vallée.

Elle atteint la plaine de la Limagne infiltrante à l'aval de Clermont-Ferrand.

- Le Bédat

Le Bédat prend sa source sur le plateau des Dômes, dans des terrains perméables qui régulent ses débits. En revanche, le bassin versant des deux affluents, le ruisseau de l'Adrienne et le ruisseau de la Saussade, sont composés de roches métamorphiques à caractère majoritairement ruisselant.

Sur la partie aval, le cours d'eau traverse les terrains de la plaine, encadré par les buttes marneuses chapeautées de coulées basaltiques.

A l'aval de Cébazat, le Bédat traverse les terrains de la Limagne.

2.3.2 Agglomération riomoise

- Le Mirabel

Le Mirabel prend naissance sur le plateau perméable des Dômes. Les coulées basaltiques de Volvic sont très perméables. Des affleurements de terrains métamorphiques couvrent les points hauts des bassins versants ; ces secteurs sont à caractère majoritairement ruisselants.

Il traverse ensuite les terrains de la plaine de Limagne, surmontés par des matériaux argilo-calcaires, issus des formations remaniées de l'Oligocène, à caractère dominant ruisselant.

- Ruisseau de la Pâle

Le ruisseau de la Pâle prend sa source dans les terrains perméables de la coulée basaltique avant de traverser une goulotte marneuse et d'atteindre la plaine de la Limagne peu avant sa confluence avec le Mirabel.

- Ruisseau du Cruzol

Sa source se situe sur le plateau granitique des Dômes, à caractère majoritairement ruisselant ; il traverse ensuite des terrains alluviaux puis les buttes marno-calcaires de l'oligocène. Il conflue avec l'Ambène avant d'atteindre la plaine de la Limagne.

- Ruisseau du Gargouillou

Le ruisseau du Gargouillou est un affluent rive droite du Cruzol. Les sources sont alimentées par des venues d'eau sous basaltiques de la coulée de Volvic qui régularisent ses écoulements et qui ont été à l'origine de l'exploitation hydraulique par des moulins.

- L'Ambène

L'Ambène prend sa source sur le plateau granitique des Dômes ; elle traverse ce plateau granitique avant d'atteindre le domaine des buttes au travers des gorges d'Enval. Elle s'achemine vers la plaine de la Limagne qu'elle ne rejoint qu'à l'aval de Riom au travers des buttes marno-calcaires de l'Oligocène. Une plaine alluviale s'est développée en fond de vallée.

- Le Saint Don

Le Saint Don prend sa source sur le bassin marneux oligocène. Quasiment inexistant à l'étiage, il réagit fortement aux épisodes pluvieux, son bassin versant de petite taille étant majoritairement à caractère ruisselant.

- Le Ronchalon

Le Ronchalon prend naissance au niveau du maar (cratère volcanique d'explosion) de Saint Hippolyte. Il traverse ensuite les terrains marneux de l'oligocène, avant d'atteindre le marais de Madargue-Cerey dans le bassin de la Limagne.

- Le Sardon

Le Sardon prend son origine au sommet du plateau des Dômes dans les terrains imperméables du socle granitique. Il rejoint le pays des buttes au travers de gorges étroites, qui se prolongent jusqu'au marais de la Limagne le relief étant marqué par deux buttes marno-calcaires, imperméables. Il atteint la plaine de la Limagne à l'amont de Riom.

Le ruisseau du Calusset prend sa source dans des colluvions de bas de pentes marneuses. Il traverse les terrains marneux de l'oligocène avant de confluer avec le Sardon.

2.4 OCCUPATION DU SOL

La carte ci-après présente l'occupation du sol extraite de la base de données *Corine Land Cover** 2000, et distingue :

- les secteurs urbanisés :
- les centres urbains denses,
 - habitat pavillonnaire dense,
 - habitat pavillonnaire peu dense,
 - zones commerciales, industrielles ou artisanales,
 - zones urbaines fortement imperméabilisées
- les secteurs de cultures,
- les secteurs de prairies et zones naturelles non boisées,
- les zones boisées,
- les zones en eau.

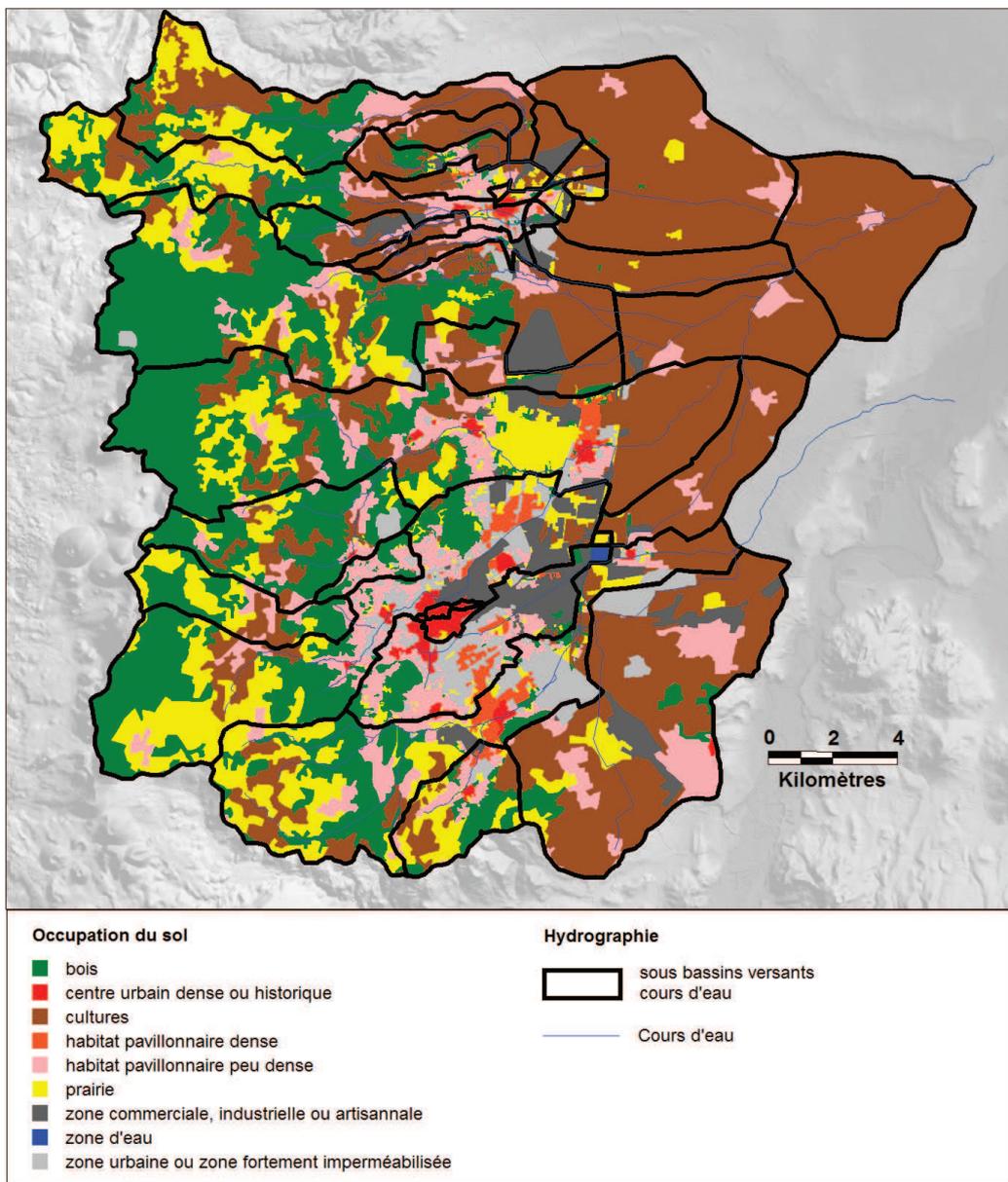


Figure 9 : occupation du sol

3 MESURES DISPONIBLES

3.1 STATIONS HYDROMETRIQUES

Les données hydrométriques sont acquises sur la *Banque Hydro**, qui centralise les données des gestionnaires du réseau de mesure de débits des cours d'eau.

Le tableau ci-après précise les stations en service sur les cours d'eau étudiés, aujourd'hui gérées par la DREAL, et les périodes sur lesquelles les données sont disponibles (les cellules grisées correspondent aux stations prises en compte pour l'analyse hydrologique, dépassant le territoire des communes étudiées). Ces stations sont localisées sur la carte ci-après.

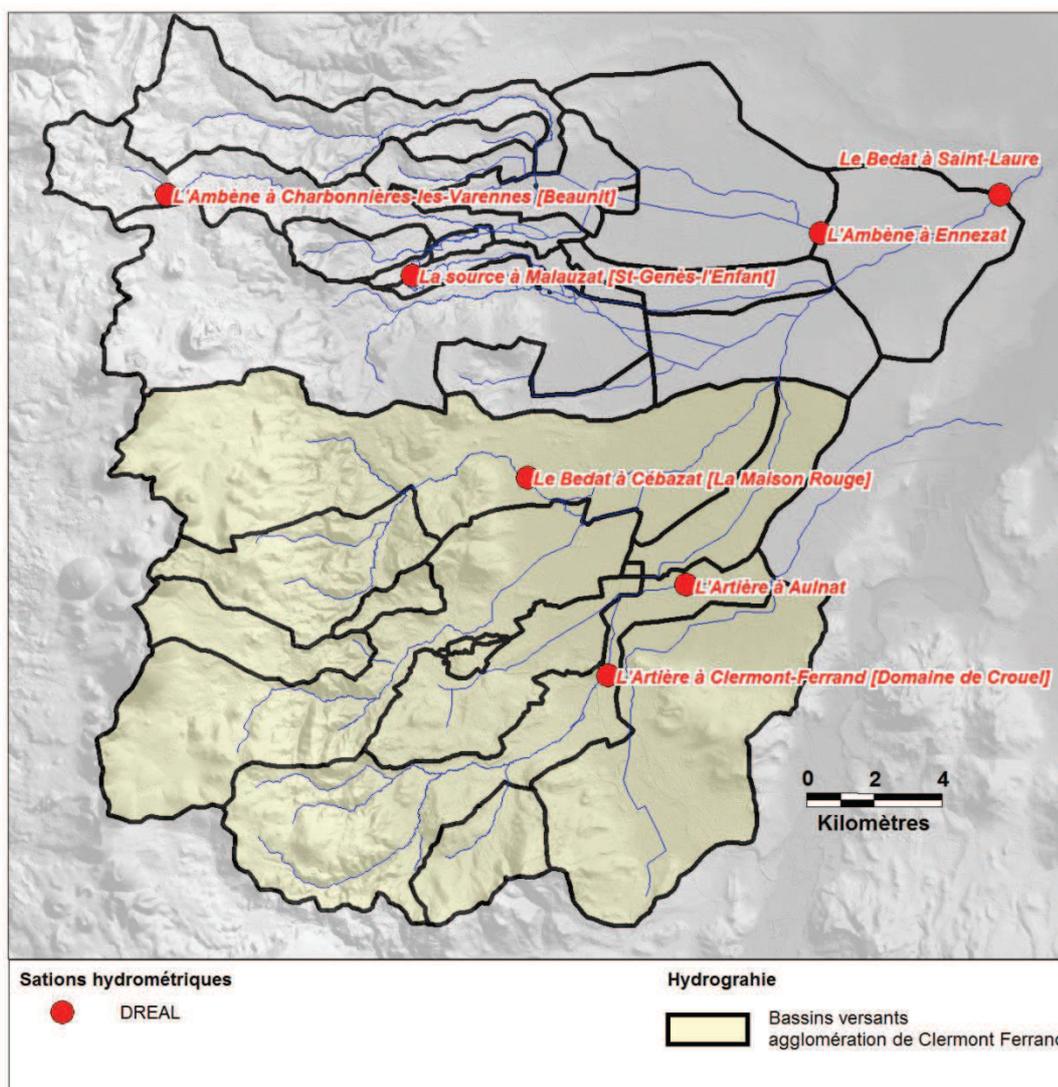


Figure 10 : Localisation des stations hydrométriques DREAL

Code de la station	Libellé de la station	Surface de bassin versant contrôlée (km ²)	Hauteurs	Débits
			Données disponibles	Données disponibles
K2724210	L'Artière à Clermont-Ferrand [Domaine de Crouël]	45.3	1986-2013	1987-2013
K2724220	L'Artière à Aulnat	65.5	1991-2013	1992-2013
K2763110	Le Bédât à Cébazat [La Maison Rouge]	61.8	1991-2013	1992-2013
K2774010	L'Ambène à Charbonnières-les-Varennes [Beaunit]	7.6	1985-2013	1986-2013
K2774020	L'Ambène à Ennezat	105.6	2000-2013	2001-2013
K2773120	Le Bedat à Saint-Laure	277.4	2000-2013	2001-2013

Tableau 1 : Stations hydrométriques DREAL

Sur les périodes d'exploitation des différentes stations, aucune crue significative n'a été enregistrée. Compte tenu de la difficulté d'effectuer des jaugeages fiables en hautes eaux du fait de la rapidité des crues, les courbes de tarages sont rapidement extrapolées, avec les méthodes les plus appropriées à chacun des sites concernés mais présentant une grande marge d'incertitude

- **L'Artière à Clermont-Ferrand [Domaine de Crouël]** : cette station est influencée par les bassins de stockage amont, dont la capacité a été augmentée dans les années 2000, suite à l'événement de juin 1992. Un descriptif des bassins d'orage est donné au §6.2.
- **L'Artière à Aulnat** : en période d'étiage, la station est influencée par des rejets d'eau usée. Elle est également influencée par les bassins cités précédemment, mais dans une moindre mesure que pour la station de Clermont-Ferrand compte tenu de part moins importante des bassins versants contrôlés par ces derniers. Cette station a été créée par le SIAEC qui en a assuré la gestion jusqu'en 2001.
- **Le Bédât à Cébazat [La Maison Rouge]** : de nombreuses modifications du lit mineur ont eu lieu à proximité de la station, prises en compte dans les courbes de tarage qui sont jugées fiables. Cette station a été créée par le SIAEC qui en a assuré la gestion jusqu'en 2001.
- **Le Bédât à Saint Laure** : cette station, située à plusieurs kilomètres en aval du secteur d'étude, présente l'intérêt de contrôler l'ensemble des apports du Bédât et de l'Ambène traversant principalement les agglomérations de Clermont-Ferrand pour le premier et de Riom pour le second.
- **L'Ambène à Charbonnières les Varennes [Beaunit]** : cette station draine un bassin versant dont le comportement hydrologique est fortement influencé par le contexte hydrogéologique (très forte perméabilité, soutien des débits par une résurgence de la nappe de Volvic).
- **L'Ambène à Ennezat** : très peu de jaugeages ont été effectués sur cette station, principalement pour des débits d'étiage. Cette station est cependant intéressante dans la

mesure où elle contrôle la quasi-totalité du bassin versant de l'Ambène, avant sa confluence avec le Bédât.

3.2 STATIONS LIMNIMETRIQUES

3.2.1 Banque hydro

Les stations de la banque hydro fournissent les enregistrements *limnimétriques** associés aux *hydrogrammes** définis précédemment.

3.2.2 Agglomération de Clermont Ferrand

Clermont Communauté dispose d'un réseau de suivi limnimétrique des cours d'eau traversant son territoire. Les stations, en service depuis 2001, sont localisées sur la carte ci-après.

3.2.3 Ancien réseau SIAEC (Syndicat Intercommunal d'Équipement de l'Agglomération Clermontoise)

Le SIAEC a assuré la gestion d'un réseau de suivi limnimétrique des cours d'eau de l'agglomération entre 1993 et 2001. Ce réseau comprenait 11 stations listées dans le tableau ci-contre et localisées sur la carte ci-après.

L'historique des données de ces stations est disponible. La DREAL a repris la gestion des stations d'Aulnat sur l'Artière et de Cébazat sur le Bédât.

Station	Cours d'eau
Blanzat	Le Bédât
Cébazat	Le Bédât
Gerzat	Le Bédât
Chamalières	La Tiretaine
Les Carmes	La Tiretaine
Herbet 1	La Tiretaine
Herbet 2	La Tiretaine
Aulnat	L'Artière
Beaumont	L'Artière
Crouël	L'Artière
Les bases aériennes	Le Bec

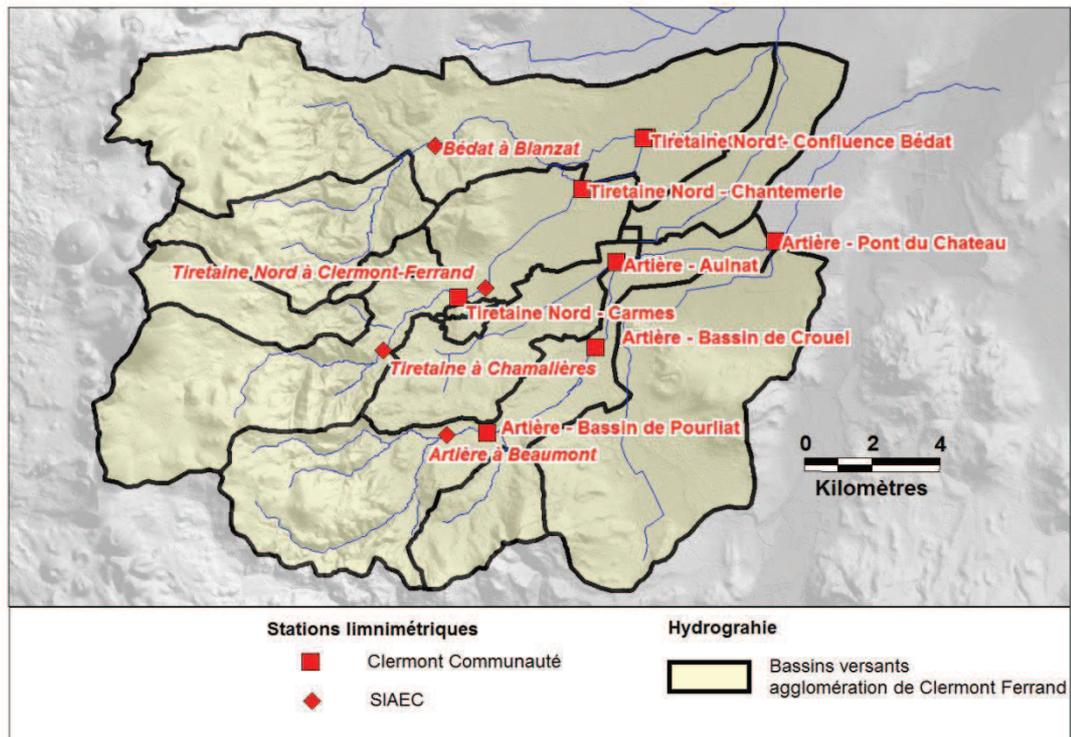


Figure 11 : Localisation des stations limnimétriques des réseaux du SIAEC et de Clermont Communauté

3.3 PLUVIOMETRIE

3.3.1 Stations de Météo France

Le tableau ci-après présente les postes Météo France actuellement en service ou fermés, sur les bassins versants objet de l'étude.

INSEE	Nom	Ouverture	Fermeture	Type	Altitude	Producteur
63089001	CHAPPES	01/01/1859		4	312	METEO-FRANCE
63113001	CLERMONT-FERRAND (CLERMONT-FD)	01/03/1922		0	331	METEO-FRANCE
63113006	CLERMONT-FERRAND	01/01/1850		4	392	METEO-FRANCE
63113007	CLERMONT-FERRAND	01/01/1850		4	392	METEO-FRANCE
63180002	JOZE (JOZE - BOURG)	01/02/1954		4	315	METEO-FRANCE
63263005	ORCINES (FONTAINE-DU-BER)	01/01/1930		2	971	DIRECTION DEPARTEMENTALE DE L'EQUIPEMENT-DIRROUTE
63345002	SAINT-GENES-CHAMPANELLE (ST-GENES-CHPLLE-INRA)	01/08/1988		3	893	INSTITUT NATIONAL DE LA RECHERCHE AGRONOMIQUE
63417001	SAYAT (SAYAT_SAPC)	01/03/1993		2	550	DIRECTION GENERALE DE LA PREVENTION DES RISQUES
63470001	VOLVIC	01/10/1947		4	472	METEO-FRANCE
63014001	ALBIERE	01/01/1912	31/12/1998	4	403	INSTITUT DE LA PHYSIQUE DU GLOBE
63049001	BOUZEL	01/01/1950	31/12/1987	4	320	AUTRES
63099001	CHATEAUGAY	01/01/1927	31/12/1989	4	480	AUTRES
63103001	CHATELGUYON	01/05/1948	30/04/1949	4	430	METEO-FRANCE
63103002	CHATELGUYON	01/08/1930	31/12/1941	4	500	METEO-FRANCE
63113002	CLERMONT-FERRAND	01/01/1857	31/12/1982	4	329	AUTRES
63113003	CLERMONT-FERRAND (CLERMONT-FD OBS)	01/01/1872	31/12/1914	4	388	INSTITUT DE LA PHYSIQUE DU GLOBE
63113004	CLERMONT-FERRAND	01/01/1858	31/12/1920	4	378	METEO-FRANCE
63141001	DURTOL	01/04/1974	30/06/1977	4	523	METEO-FRANCE
63212001	MARSAT	01/01/1937	31/12/1979	4	373	AUTRES
63263001	ORCINES (PUY-DE-DOME-MN)	01/01/1877	31/12/1982	0	1461	METEO-FRANCE
63263006	ORCINES (PUY-DE-DOME-CG)	01/08/1994	01/05/2012	2	1415	METEO-FRANCE
63284001	PONT-DU-CHATEAU	01/04/1882	31/07/1954	4	350	METEO-FRANCE
63300002	RIOM	01/01/1906	28/02/2005	4	360	METEO-FRANCE
63308001	ROYAT	01/01/1935	31/05/1984	4	735	AUTRES
63308002	ROYAT	01/03/1934	30/11/1937	4	450	METEO-FRANCE
63322001	SAINT-BEAUZIRE	01/01/1895	30/06/1953	4	320	METEO-FRANCE
63345001	SAINT-GENES-CHAMPANELLE (THEIX)	01/05/1967	31/07/1988	4	820	INSTITUT NATIONAL DE LA RECHERCHE AGRONOMIQUE
63345003	SAINT-GENES-CHAMPANELLE (REDON)	01/01/1990	31/12/1997	2	770	INSTITUT NATIONAL DE LA RECHERCHE AGRONOMIQUE
63453001	VERTAIZON	01/01/1942	28/02/1946	4	330	METEO-FRANCE

Tableau 2 : stations Météo France

Les caractéristiques propres à chaque type de station sont les suivantes :

- stations au **pas de temps horaire** ou inférieur (données horaires disponibles depuis 1957 à Clermont-Ferrand et le début des années 1990 pour les autres) :
 - 0 : stations synoptiques¹ professionnelles avec observation sur place,
 - 1 : stations synoptiques non professionnelles ou observation à distance,
 - 2 : stations automatiques² temps réel,
 - 3 : stations automatiques temps différé,
- stations au pas de temps journalier :
 - 4 : stations manuelles,
 - 5 : autres stations.

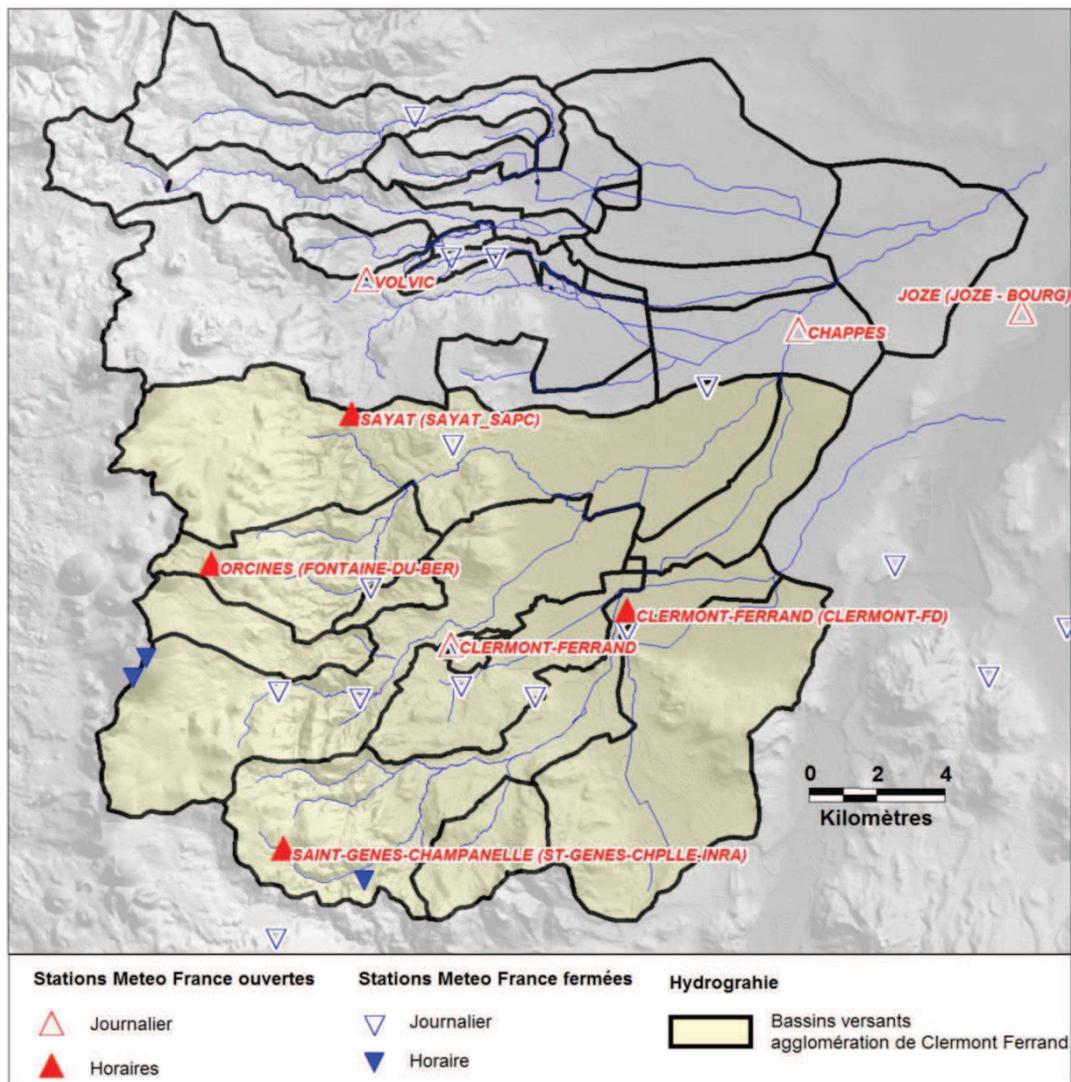


Figure 12 : Localisation des stations Météo France

¹ Stations du réseau principal de Météo France

² Stations du réseau secondaire de Météo France, avec relevés automatiques des hauteurs de précipitation

3.3.2 Agglomération de Clermont Ferrand

Clermont Communauté dispose d'un réseau de 14 pluviographes au pas de temps 5 minutes mis en place en 2001 sur son territoire. Ces stations sont localisées sur la carte ci-après.

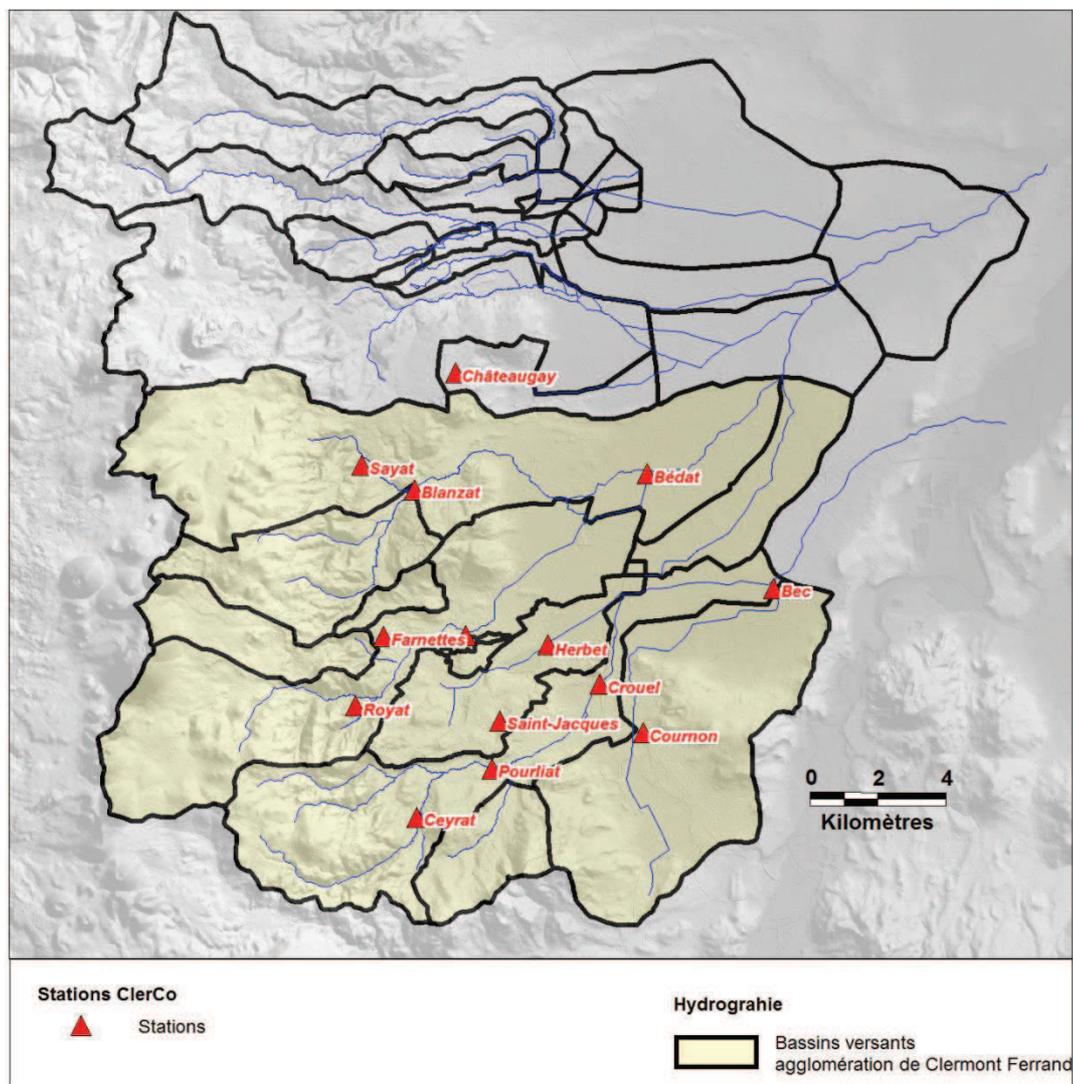


Figure 13 : Localisation des stations pluviométriques gérées par Clermont Communauté

3.3.3 Ancien réseau SIAEC

Le réseau limnimétrique de suivi des cours d'eau géré par le SIAEC était accompagné de deux postes pluviographiques.

- Orcines,
- Sayat.

Les séries de mesures et la gestion des postes ont été reprises par Météo-France.

3.3.4 Images radar

Les communes du territoire à risque important d'inondation se situent en limite de portée du radar de Sembadel, mis en service en 1997. Au-delà de cette limite, la qualité des données est dégradée, mais les images fournies couvrent l'ensemble du territoire d'étude ; un indice de fiabilité propre à chaque événement est associé à chaque pixel. Les images radar sont calibrées par Météo-France à partir des postes pluviométriques de son réseau, les postes des collectivités n'étant pas pris en compte (données non collectées par Météo-France).

Les données radar disponibles sont les suivantes :

- réflectivité brute au pas de temps 5 minutes,
- lames d'eau au pas de temps 5 minutes :
 - Panthère³ : simple recalage par mesures au sol,
 - Antilope⁴ : fusion des données radar et des pluviomètres ; données disponibles au pas de temps horaire depuis 3 ans environ.
- lames d'eau recalibrées au pas de temps horaire, exploitant les dernières évolutions des logiciels de traitement de la réflectivité brute : COMEPHORE⁵.

Le Service de Prévision des Crues (SPC) Allier dispose des données CALAMAR⁶ du radar de Sembadel depuis 1998. Le calibrage peut être ajusté pour chaque épisode par comparaison avec les mesures au sol ; cet outil présente cependant l'inconvénient de ne permettre qu'un seul calibrage homogène pour l'ensemble de la zone étudiée. Les données recalibrées fournies par Météo-France sont donc utilisées prioritairement.

L'observatoire de la physique du globe de Clermont-Ferrand (OPGC) travaille sur un radar en bande X (analyse de la structure verticale des événements convectifs) depuis environ trois ans. Le SPC Allier dispose des images de réflectivité pour certains événements récents. Les données sont exploitées par Clermont Communauté pour la gestion des ouvrages.

3.3.5 Pluies SHYREG

L'Institut national de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture (IRSTEA) a développé une méthodologie permettant de disposer d'une interpolation spatiale des estimations de précipitations pour différentes durées et périodes de retour, dénommée SHYREG. Celle-ci fournit une estimation des quantiles de pluies pour des cumuls allant de 1 heure à 72 heures et des périodes de retour de 2 à 100 ans, disponibles sur une grille de 1km de résolution. Ces estimations sont obtenues par simulations de longues chroniques de pluie à l'aide d'un générateur stochastique de pluies horaires.

Ces estimations seront comparées à celles obtenues par analyse statistique au droit des postes météo France disposant de suffisamment de données (cf . §5).

^{3 3 3} Produits Météo France

⁶ CALAMAR est un système développé par la société RHEA pour mesurer en temps réel la pluie précipitée sur chaque km² d'un territoire couvert par un radar hydrométéorologique (présentation de CALAMR, RHEA, groupe KISTERS)

4 EVENEMENTS HISTORIQUES

4.1 ARRETES DE CATASTROPHE NATURELLE

4.1.1 Agglomération de Clermont Ferrand

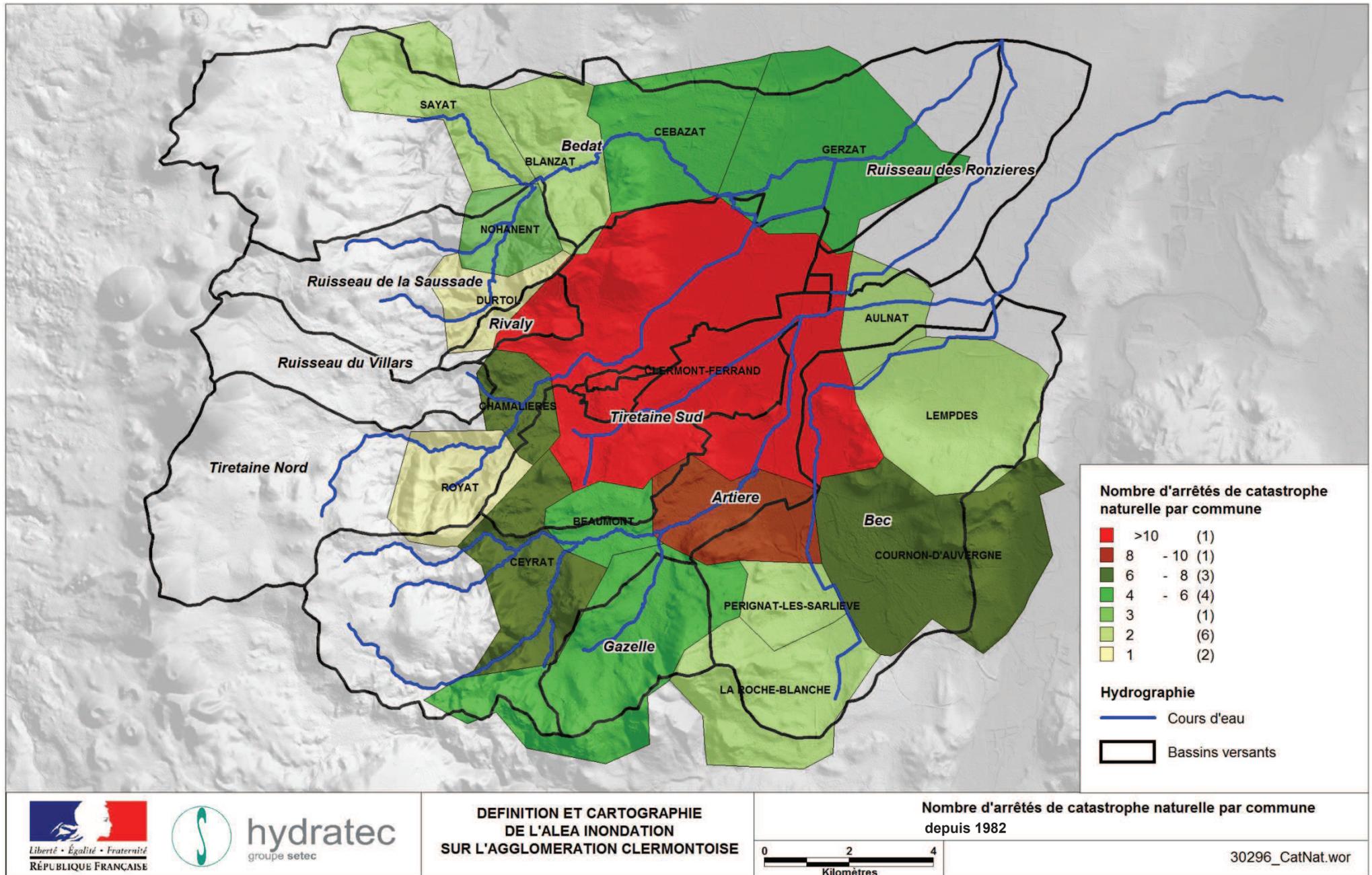
Le tableau ci-après synthétise les arrêtés de catastrophe naturelle pris pour inondations par débordement de cours d'eau, ruissellement et coulées de boue depuis 1982 sur les communes concernées par l'étude.

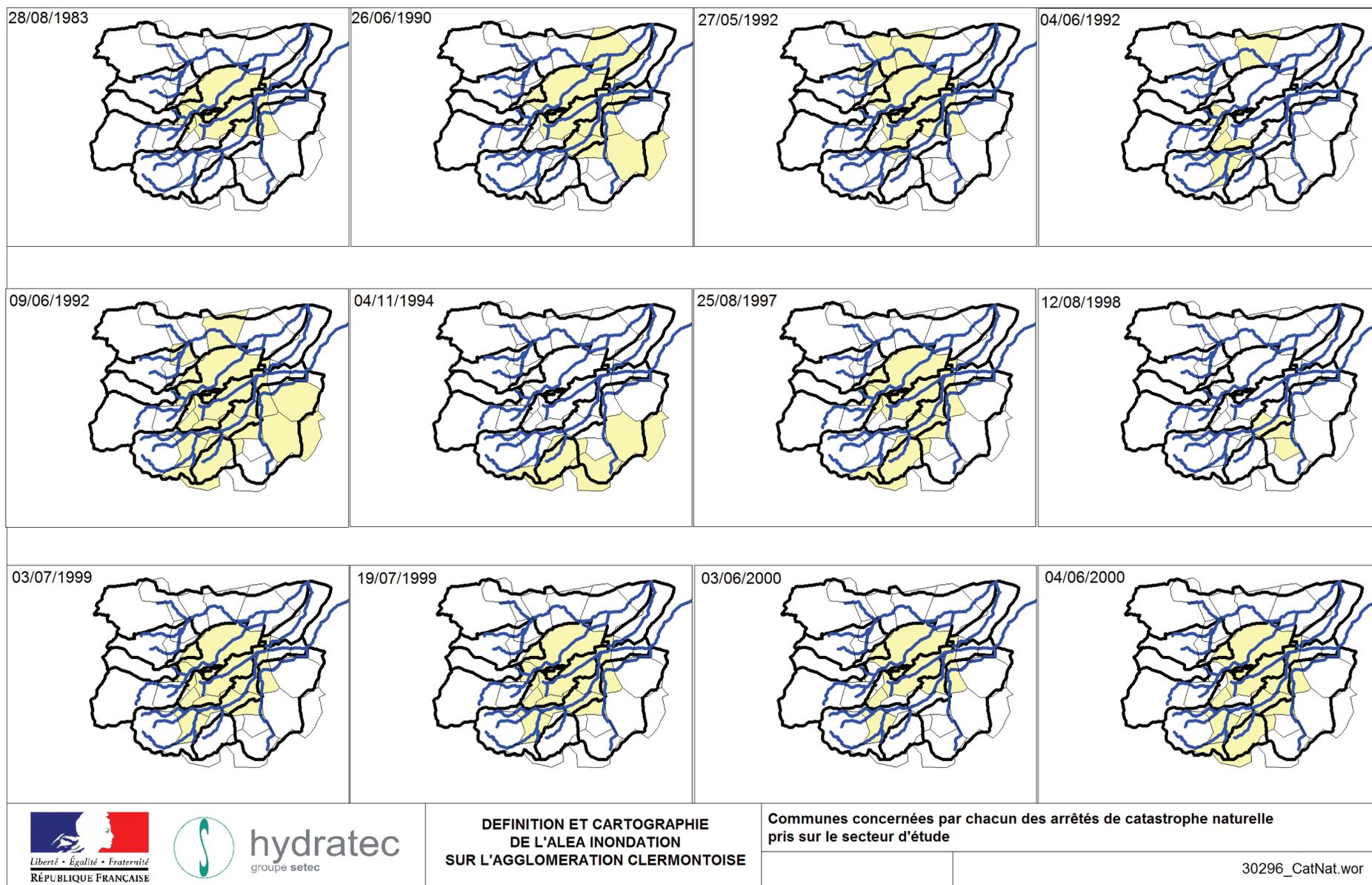
Date début événement	Agglomération Clermontoise																Total Clermont			
	Aubiere	Aulnat	Beaumont	Blanzat	Cebazat	Ceyrat	Chamalieres	Clermont-Ferrand	Cournon-d'Auvergne	Durtol	Gerzat	La Roche-Blanche	Lempdes	Nohanent	Perignat-les-Sarlieve	Romagnat		Royat	Sayat	
16/08/1983																			1	1
28/08/1983							1	1												2
26/06/1990	1	1						1	1		1									5
27/05/1992			1	1	1			1						1						5
04/06/1992			1		1	1	1													4
09/06/1992	1		1		1	1	1	1	1				1	1		1				10
12/05/1993	1																			1
04/11/1994									1			1				1				3
05/08/1997	1						1	1								1				4
25/08/1997											1									1
12/08/1998	1														1					2
03/07/1999	1		1			1	1	1												5
19/07/1999							1	1												2
25/12/1999	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	18
03/06/2000						1		1												2
04/06/2000	1					1		1								1				4
12/08/2000								1												1
01/12/2003									1											1
03/11/2008									1											1
17/06/2010											1									1
11/05/2011									1											1
Total général	8	2	5	2	4	6	7	11	7	1	4	2	2	3	2	5	1	2	74	

L'arrêté de décembre 1999, relatif à la tempête Lothar, a été pris sur la totalité du département, indépendamment des dommages effectifs ; cet événement n'a a priori pas généré d'inondations dommageables sur le territoire à risque important d'inondation.

Les cartographies ci-après synthétisent :

- Le nombre d'arrêtés de catastrophes naturelles pris sur chacune des communes,
- Les communes concernées par les différents événements ayant entraîné un arrêté de reconnaissance de catastrophe naturelle (lorsqu'au moins deux communes sont concernées) ; ce document permet de localiser les secteurs géographiques touchés par chacun de ces événements (à l'échelle communale).





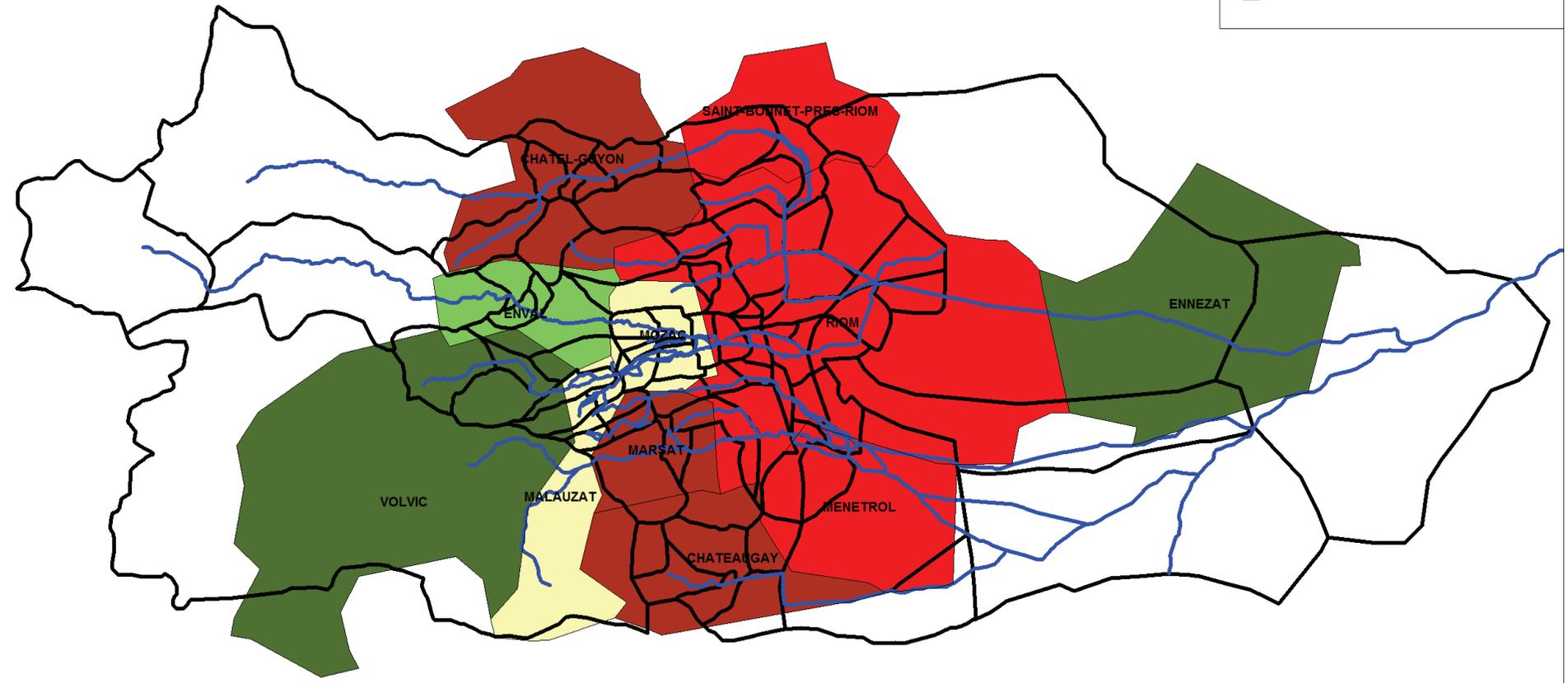
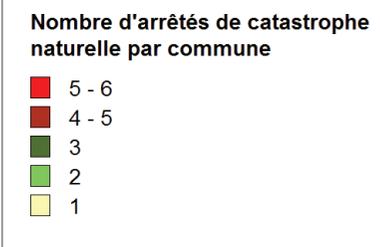
4.1.2 Agglomération de Riom

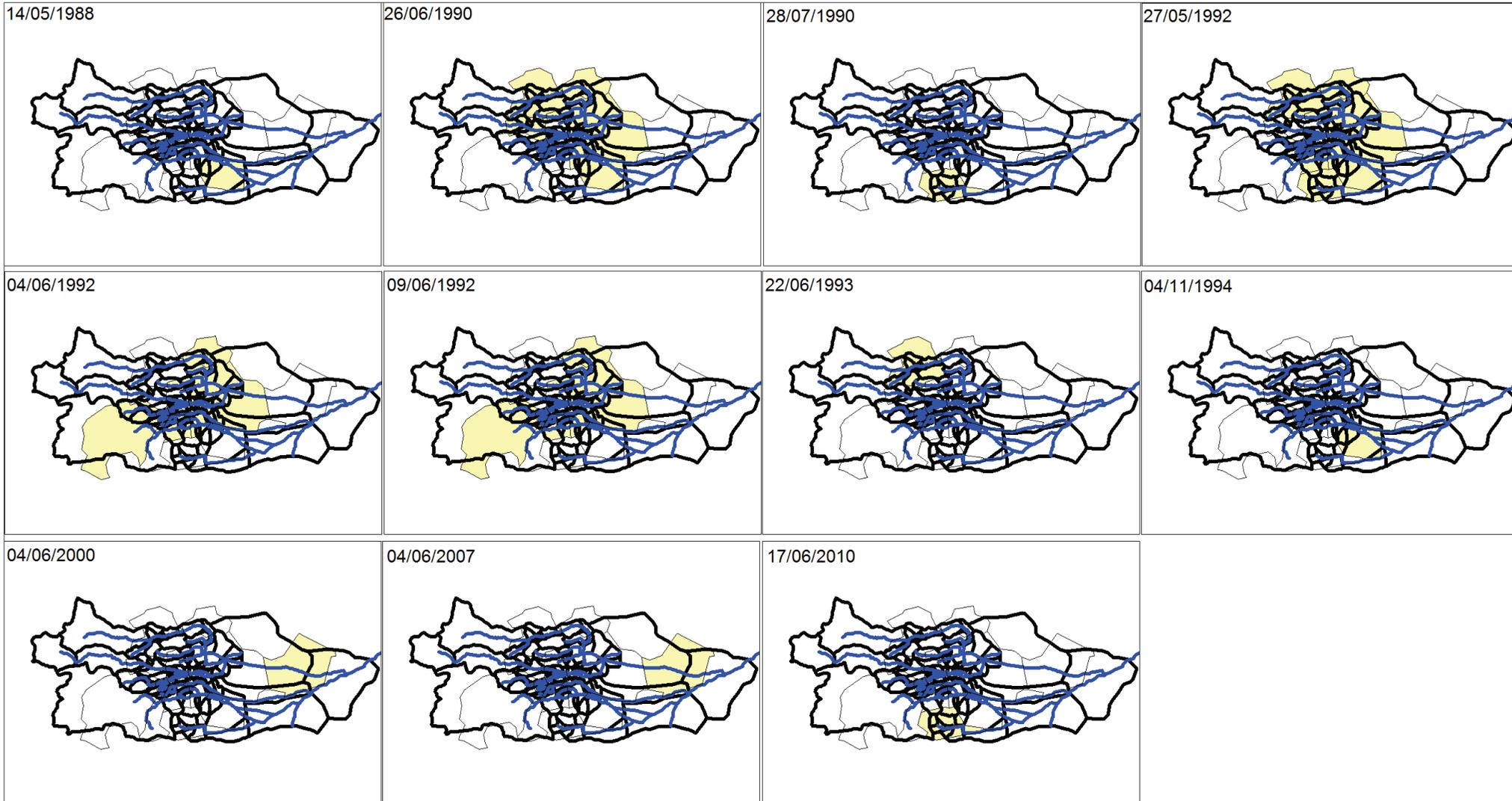
Date début événement	Agglomération Riomaise											Total général	
	Chateaugay	Chatel-Guyon	Ennezat	Enval	Malauzat	Marsat	Menetrol	Mozac	Riom	Saint-Bonnet-pres-Riom	Volvic		Total Riom
14/05/1988							1					1	1
26/06/1990		1		1			1		1	1		5	10
28/07/1990	1											1	1
27/05/1992	1	1				1	1		1	1		6	11
04/06/1992						1			1	1	1	4	8
09/06/1992						1			1	1	1	4	14
22/06/1993		1										1	1
04/11/1994							1					1	4
25/12/1999	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	11	29
04/06/2000			1									1	5
04/06/2007			1									1	1
17/06/2010	1											1	2
Total général	4	4	3	2	1	4	5	1	5	5	3	37	111

L'arrêté de décembre 1999, relatif à la tempête Lothar, a été pris sur la totalité du département, indépendamment des dommages effectifs ; cet événement n'a à priori pas généré d'inondations dommageables sur le territoire à risque important d'inondation.

Les cartographies ci-après synthétisent :

- Le nombre d'arrêtés de catastrophes naturelles pris sur chacune des communes,
- Les communes concernées par les différents événements ayant entraîné un arrêté de reconnaissance de catastrophe naturelle (lorsqu'au moins deux communes sont concernées) ; ce document permet de localiser les secteurs géographiques touchés par chacun de ces événements (à l'échelle communale).

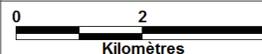




hydratec
groupe setec

**DEFINITION ET CARTOGRAPHIE
DE L'ALEA INONDATION
SUR L'AGGLOMERATION RIOMOISE**

Nombre d'arrêtés de catastrophe naturelle par commune



30297_CatNat.wor

4.2 CRUES ANCIENNES

4.2.1 Agglomération de Clermont Ferrand

Un recensement et une analyse des crues historiques marquantes ont été réalisés par le laboratoire régional des Ponts et Chaussées de Clermont-Ferrand de Clermont-Ferrand (*Les risques hydrologiques dans l'agglomération Clermontoise, Méthodologie d'exploitation des documents historiques* – J.F. VALLEIX, janvier 1994). Ces éléments ont ensuite été repris dans plusieurs études du Centre d'Etudes Techniques de l'Équipement (CETE), à la base de l'élaboration du premier projet de Plan de Prévention des Risques Naturels Prévisibles d'Inondation (PPRNPI) de l'agglomération de Clermont-Ferrand.

Le tableau ci-après rappelle les événements recensés dans les archives sur les communes étudiées :

Date de l'événement	Communes concernées
/ /1322	Aubière
24/05/1725	Cébazat
19/09/1730	Cébazat
24/08/1745	Nohanent
22/07/1747	Montferrand
/11/1755	Cébazat, Gerzat
04/09/1764	Ceyrat, Romagnat, Beaumont, Aubière
20/07/1765	Chamalières, Aubière, Clermont-Ferrand
17/07/1835	Royat, Chamalières, Clermont-Ferrand
21/08/1835	Royat, Chamalières, Clermont-Ferrand
25/09/1835	Royat, Chamalières, Clermont-Ferrand

Parmi ceux-ci, deux ont été identifiés comme particulièrement exceptionnels compte tenu des pertes humaines et des dégâts répertoriés :

- **4 septembre 1764** (principalement sur le bassin de l'Artière) : 6 morts et 6 blessés graves, deux ponts emportés et plusieurs dizaines de bâtiments démolis ou fortement endommagés,
- **17 juillet 1835** (principalement sur le bassin de la Tiretaine) : 11 morts, nombreux murs, digues et bâtiments emportés.

Plus récemment, la crue du 25 juin 1959 semble avoir été relativement forte, notamment sur le bassin de la Tiretaine sud : inondation de l'avenue de l'Union Soviétique, de la gare et du quartier d'Herbert (obstacle créé par le pont de la RN9) (source J.F. Valleix).

4.2.2 Agglomération de Riom

Un recensement des crues historiques marquantes a été réalisé par le laboratoire régional des Ponts et Chaussées de Clermont-Ferrand de Clermont-Ferrand (*Etude des risques hydrologiques sur l'agglomération de Riom* – 1995), sur la base des archives de la ville de Riom et de témoignage de riverains. Les événements suivants sont ainsi recensés : 25/06/1768, 30/05/1783, 30/08/1820, 09/05/1835, 30/09/1866, 05/06/1956, 1944, 1972, 1977, 06/01/1982, 1992, 1995 et 28/05/1996. « *Au regard de ces dates, les événements pluviométriques générateurs de crues ont lieu entre le fin du printemps et la fin de l'été. Certains épisodes ont pour origine des orages d'une rare violence, ils se produisent généralement en été ou en fin d'été, d'autres sont liés à une période intensément pluvieuse pouvant durer plusieurs jours. Fin mai et début juin semblent les mois les plus caractéristiques pour ce genre de situations* ».

Les archives de l'abbaye de Mozac (archives départementales, AD63 5 H 69, liasse 396) font également état de l'événement du 25 juin 1783 ; ce rapport indique notamment :

- la **rapidité de l'événement**, dû à un orage mêlé à de la grêle : « *dans l'espace de cinq minutes au plus l'enclos a été inondé dans les trois quarts au moins de sa contenance* »,
- sa **violence** : « *la partie qui est en pré verger était sur le point d'être fauchée, ce qui est absolument impossible aujourd'hui étant entièrement couvert des ruines des murs écroulés, d'une quantité considérable de sable, de gravier et même de rochers roulés par les eaux et de beaucoup de limon boueux* ».

La bibliographie mentionne également l'événement du 30 août 1826, qui fit plusieurs dizaines de morts dans l'arrondissement de Riom.

4.3 TYPOLOGIE GENERALE DES PRINCIPAUX EVENEMENTS A L'ORIGINE DE DOMMAGES RECENSES

Une analyse détaillée des principaux événements pour lesquels des données sont disponibles est présentée en annexe 5.

4.3.1 Evénements orageux localisés

Les éléments de bibliographie disponibles montrent que les événements du **4 septembre 1764** et du **17 juillet 1835** sont d'origine orageuse, avec une pluviométrie très intense sur de courtes durées (citations reprises par J.F. Valleix).

Le rapport de J. Fonghasse, président de l'Election Générale de Basse Auvergne, du 5 septembre 1764 précise que l'extension de l'orage était très limitée, quatre communes ayant subi des dégâts, et présentait une trajectoire sud-ouest / nord-est, les précipitations ayant d'abord touché l'amont du bassin versant.

« *L'orage s'est annoncé sur les 4 à 5 heures du soir, par quelques coups de tonnerre très violents. La nuée qui était retenue et resserrée par des vents contraires a crevé subitement sur les 3 premières paroisses (Ceyrat, Romagnat et Beaumont), et ensuite sur celle d'Aubières qui par sa situation plus basse que les autres a reçu toutes les eaux de cet orage dont le volume intense y a produit les effets les plus funestes.* »

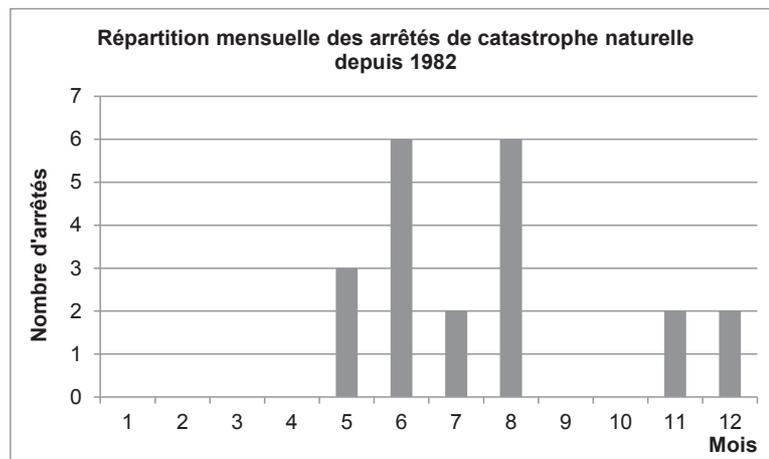
Un commentaire sur la crue de 1835 précise :

« [Lors de la crue du 17 juillet 1835] la pluie a duré autour d'une demi-heure. [...] Les anciens de la commune ont trouvé que la pareille n'était pas arrivée depuis 70 ans dans la même situation » (allusion à septembre 1764).

La totalité des événements anciens dont la date est connue précisément sont survenus entre les mois de mai et de septembre.

Ces événements n'ont pas donné lieu à des mesures de débits ou de cumuls pluviométriques.

Le tableau ci-après synthétise le nombre d'arrêtés de catastrophe naturelle pris sur chaque mois de l'année. 81% des arrêtés correspondant à des événements de type orageux, survenus entre les mois de mai et de septembre (85% en écartant décembre 1999).



4.3.2 Evénements régionaux

Les événements régionaux à l'origine de désordres notables ne sont pas nombreux sur les agglomérations clermontoise et riomoise, abritées des perturbations océaniques par les reliefs occidentaux et suffisamment au nord pour être relativement épargnées par les effets résiduels des épisodes cévenols.

Nous pouvons cependant noter trois événements ayant entraîné la reconnaissance de catastrophe naturelle, caractérisés dans la thèse de F. Jubertie (*Les excès climatiques dans le Massif central français - L'impact des temps forts pluviométriques et anémométriques en Auvergne*, 2006).

- Evénements liés à des **extensions d'épisodes cévenols** : les structures cévenoles touchant le territoire d'étude correspondent à des extensions pluvieuses exceptionnelles dépassant largement la ligne de crête des Cévennes ; cette progression plus généralisée des pluies vers le nord résulte d'un blocage frontal sur le massif central ; il s'agit donc plutôt d'événements combinés (océaniques et cévenols) que d'événements cévenols à proprement parler. Même si les cumuls sont bien inférieurs à ceux enregistrés sur les Cévennes, des lames encore importantes peuvent être observées sur l'ensemble de l'Auvergne et engendrer des inondations, y compris sur les petits bassins versants étudiés :
 - **3-4 novembre 1994**, extension cévenole liée à un blocage frontal sur l'ouest du Massif central,
 - **1^{er}, 2 et 3 décembre 2003**, extension cévenole liée à un blocage frontal généralisé à l'ensemble du Massif central.

- Événements **océaniques** : le territoire d'étude étant abrité de ce type d'événement par le relief occidental créant un effet de Foehn, l'événement des **5 et 6 janvier 1982** est exceptionnel. Il résulte de la concomitance d'une circulation générale relativement lente dans de nord-ouest avec la rencontre de deux masses d'air, l'une froide en provenance de la Baltique poussée par une dépression centrée sur l'Allemagne, et l'autre douce véhiculée par un anticyclone ibérique, provoquant la formation d'un axe pluvieux s'étendant du nord de la Charente aux Alpes en passant par le nord du massif central. F. Jubertie précise que cette situation générale a probablement été accentuée par des phénomènes plus locaux, l'air doux provenant du nord-ouest se retrouvant bloqué par l'air froid en provenance du nord-est de la Limagne et le relief situé au sud-ouest, puis expulsé en altitude ; la lente progression du système a prolongé ces ascendances locales. Ces précipitations ont par ailleurs fait suite à un mois de décembre fortement pluvieux ayant contribué à la saturation des sols.

Notons également que l'événement de **septembre 1866** semble avoir été généré par une pluviométrie longue, avec 181,2 mm en deux jours (source schéma directeur des ruisseaux de l'agglomération riomoise, LRPC, 1995), et couvrant un vaste territoire. Le Courrier de Limagne apporte un récit de l'événement : « *L'orage menaçait à 10 heures dans la journée du dimanche [24 septembre 1866]. Et tout à coup les cataractes célestes s'entrouvrant se sont mises à verser, non seulement sur nous mais encore sur une région fort étendue, des torrents d'une pluie diluvienne. Pendant deux jours et deux nuits, cela a duré ainsi presque sans discontinuer* ».

5 ANALYSE STATISTIQUE DES DONNEES PLUVIOMETRIQUES

5.1 INTRODUCTION

Les ajustements statistiques réalisés sur les chroniques historiques de pluviométrie mesurée permettent de définir les cumuls correspondant à une fréquence d'occurrence (ou période de retour) donnée, et d'estimer la fréquence d'occurrence des événements historiques observés.

Les analyses statistiques sur les précipitations à différents pas de temps (1 heure à 24 heures) sont réalisées sur les postes Météo-France (listés ci-dessous), les postes exploités par Clermont Communauté n'ayant pas de chroniques suffisamment longues :

- Clermont-Ferrand (Aulnat),
- Sayat,
- Orcines,
- Saint-Genès-Champanelle.

Ces éléments sont exploités d'une part pour caractériser le *Gradex** des pluies au droit des stations hydrométriques (cf. 6.4.1) et d'autre part pour définir les événements pluviométriques synthétiques pris en compte pour la caractérisation de l'aléa inondation (cf. 8).

Pour les pas de temps inférieurs à 24 heures, la station de Clermont-Ferrand dispose de 47 années d'observations, celle de Saint-Genès-Champanelle de 20 années, celles de Sayat et Orcines de 19 années. Les données sont des cumuls calculés sur des pas de temps glissants de 6 minutes.

Pour les pluies « 24 heures », les ajustements sont réalisés sur les données de pluies quotidiennes, corrigées du coefficient de Weiss⁷ (1,14) afin de disposer d'observations plus longues à Clermont-Ferrand et Orcines (respectivement 83 et 67 années).

⁷ Le coefficient de Weiss permet de corriger l'écart existant entre la pluie d'une période de retour T estimée sur 24 heures avec une origine correspondant à une heure fixe et une pluie de même période de retour T estimée sur 24 heures avec une origine variable dans le temps.

5.2 SYNTHÈSE DES ANALYSES STATISTIQUES

Les ajustements réalisés avec les lois de *Gumbel** et *GEV** au droit des quatre stations citées précédemment sont présentés en annexe 0. Les valeurs fournies par les données SHYREG au droit de chacun des postes sont également reportées. Les données SHYREG présentent l'intérêt d'être spatialisées, alors que les analyses statistiques menées sur les données des postes pluviométriques ne permettent pas de préciser la variabilité spatiale de la pluviométrie à l'échelle des bassins versants étudiés.

Le tableau ci-après synthétise les résultats obtenus au droit du poste de Clermont-Ferrand, qui présente l'échantillon historique le plus complet. Une analyse de sensibilité des résultats à la longueur de l'échantillon historique est présentée dans le chapitre suivant.

Durées	24 h						12 h						6 h						2 h						1 h					
	Gumbel		GEV (ecart /Gumbel)		SHYREG (ecart /Gumbel)		Gumbel		GEV (ecart /Gumbel)		SHYREG (ecart /Gumbel)		Gumbel		GEV (ecart /Gumbel)		SHYREG (ecart /Gumbel)		Gumbel		GEV (ecart /Gumbel)		SHYREG (ecart /Gumbel)		Gumbel		GEV (ecart /Gumbel)		SHYREG (ecart /Gumbel)	
10 ans	66.3	65.5	-1%	77.5	17%	56.9	56.3	-1%	67.6	19%	47.0	46.6	-1%	57.2	22%	36.7	36.4	-1%	42.4	15%	33.3	32.8	-2%	36.1	8%					
30 ans	78.4	76.2	-3%	94.5	21%	68.1	65.7	-3%	83.2	22%	55.8	53.5	-4%	70.6	26%	44.7	43.5	-3%	52.9	18%	41.6	41.6	0%	46.0	11%					
50 ans	84.0	80.8	-4%	102.3	22%	73.2	69.8	-5%	90.3	23%	59.9	56.4	-6%	76.7	28%	48.4	46.6	-4%	57.7	19%	45.4	45.9	1%	50.6	11%					
100 ans	91.5	86.9	-5%	114.5	25%	80.1	75.1	-6%	101.1	26%	65.3	60.0	-8%	85.7	31%	53.3	50.6	-5%	64.4	21%	50.4	51.8	3%	56.9	13%					
1000 ans	116.2	105.3	-9%	154.9	33%	102.8	90.6	-12%	136.8	33%	83.2	69.9	-16%	115.3	39%	69.5	62.9	-9%	86.6	25%	67.2	73.0	9%	78.1	16%					

Figure 14 : Synthèse des résultats et écarts des valeurs calculées avec les lois Gumbel et GEV et les données SHYREG

Les données **SHYREG** sont systématiquement supérieures aux valeurs calculées avec les ajustements aux lois de Gumbel et GEV ; elles sont également supérieures aux intervalles de confiance à 90% calculés pour l'ajustement de Gumbel, à l'exception des cumuls sur 1 heure.

Les valeurs obtenues par l'ajustement à une loi GEV sont inférieures à celles obtenues avec la loi de Gumbel pour les pluies de durées supérieures ou égales à 2 heures, avec des écarts modérés inférieurs à 10% pour la période de retour centennale. La **loi GEV** est très fortement influencée par les valeurs les plus fortes de l'échantillon considéré pour les périodes de retour rares ; compte tenu du faible nombre d'années d'observation au regard des périodes de retour étudiées (pluie millénaire notamment), cet ajustement est moins robuste que celui à la loi de Gumbel.

Il est généralement admis que l'on peut estimer de manière fiable les pluies de période de retour deux fois supérieures à la longueur de l'échantillon de données historiques (soit une période de retour de 100 ans pour 50 ans d'observations). **Malgré des échantillons historiques présentant un nombre de données conséquent, les écarts obtenus entre les valeurs calculées par ajustement statistique et les données SHYREG, notamment pour les périodes de retour fréquentes, amènent à écarter ces dernières.**

La forte sensibilité de la loi GEV aux plus fortes valeurs de l'échantillon amène à retenir la loi de Gumbel, plus robuste et bien ajustée aux échantillons historiques ; les valeurs obtenues par ces deux méthodes restent cependant relativement proches, l'ajustement de Gumbel donnant globalement des valeurs légèrement supérieures à celles obtenues par la loi GEV.

5.3 SENSIBILITE AU NOMBRE DE DONNEES DE L'ECHANTILLON

La station de Clermont-Ferrand dispose de 47 années d'observations, pour 20 à Saint-Genès-Champanelle et 19 à Sayat et Orcines. Les graphiques et le tableau ci-après illustrent les écarts obtenus sur les ajustements par les lois de Gumbel et GEV en retenant un échantillon court (20 années) ou long (complet).

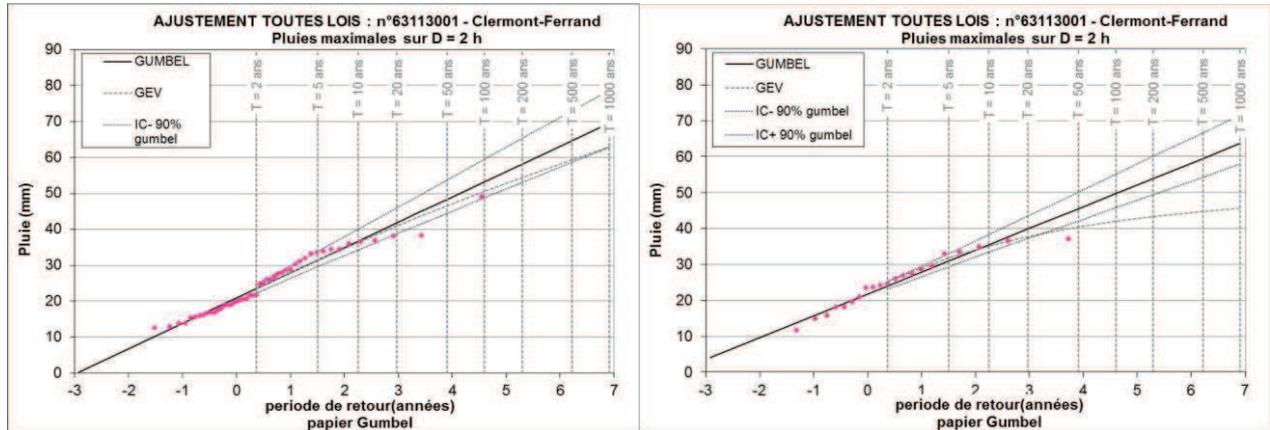


Figure 15 : Ajustements Gumbel / GEV sur série longue et série courte, Clermont Ferrand

Durées	12 h						6 h						2 h					
	Gumbel Serie longue		Gumbel (écart/serie courte)		GEV Serie longue		GEV (écart/serie courte)		Gumbel Serie longue		Gumbel (écart/serie e courte)		GEV Serie longue		GEV (écart/serie courte)			
10 ans	54.4	56.9	5%	53.4	56.3	5%	45.8	47.0	3%	44.9	46.6	4%	35.5	36.7	4%	35.2	36.4	4%
30 ans	63.4	68.1	7%	57.6	65.7	14%	53.7	55.8	4%	49.2	53.5	9%	42.4	44.7	6%	39.1	43.5	11%
50 ans	67.6	73.2	8%	59.0	69.8	18%	57.3	59.9	5%	50.8	56.4	11%	45.5	48.4	6%	40.5	46.6	15%
100 ans	73.2	80.1	9%	60.5	75.1	24%	62.1	65.3	5%	52.6	60.0	14%	49.7	53.3	7%	42.1	50.6	20%
1000 ans	91.6	102.8	12%	63.4	90.6	43%	78.2	83.2	6%	56.6	69.9	23%	63.7	69.5	9%	45.6	62.9	38%

Figure 16 : Ajustements Gumbel / GEV sur série longue et série courte, Clermont Ferrand

Les écarts calculés avec les deux séries (courtes et longues) avec la loi de Gumbel restent inférieurs à 10%, mais atteignent 40% avec la loi GEV. **Ces résultats confirment la plus forte robustesse de la loi de Gumbel, qui sera retenue par la suite.**

5.4 VARIABILITE SPATIALE DES CUMULS PLUVIOMETRIQUES

Les graphiques ci-après superposent les cumuls pluviométriques calculés pour une période de retour de 100 ans sur les 4 postes étudiés, par ajustement d'une loi de Gumbel ou d'une loi GEV, et à partir des données SHYREG. Les mêmes tendances sont observées pour les périodes de retour 10 ans, 30 ans, 50 ans et 1000 ans, dont les résultats sont présentés en annexe 1.

Les cumuls estimés par la méthode SHYREG ont été écartés du fait de leur écart trop marqué avec les cumuls estimés par les ajustements statistiques, mais ils constituent la seule source de données spatialisées permettant d'apprécier la variabilité spatiale de la

pluviométrie. Nous nous intéressons donc ici aux écarts relatifs entre les cumuls estimés par cette méthode en différents points du territoire.

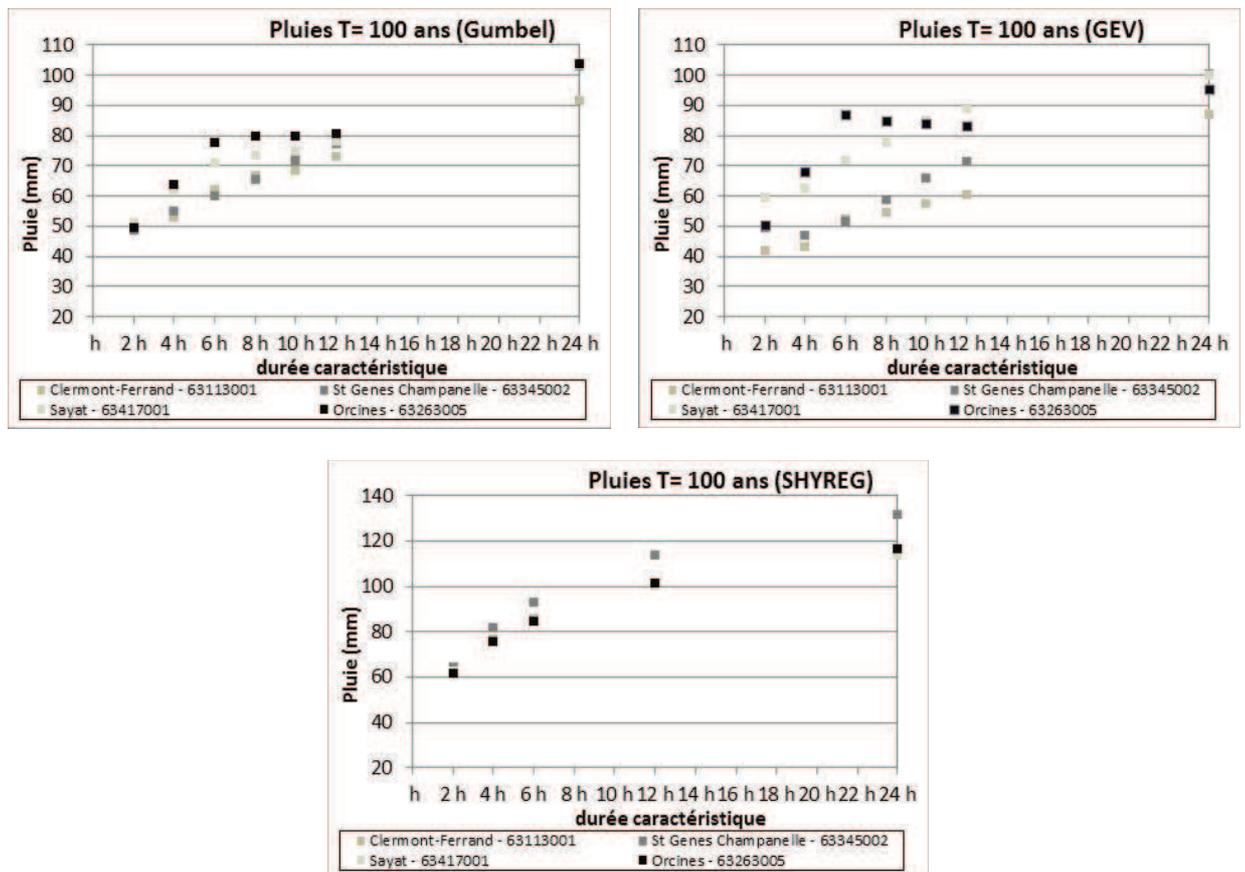


Figure 17 : synthèse des cumuls pluviométriques estimés par les ajustements de Gumbel et GEV et à partir des données SHYREG pour des durées comprises entre 2 heures et 24 heures, période de retour 100 ans.

Les valeurs issues des ajustements de Gumbel et GEV font ressortir pour tous les pas de temps des cumuls plus marqués à Orcines et moins soutenus à Clermont-Ferrand et Saint-Genès-Champanelle ; les cumuls de la station de Sayat sont situés entre les valeurs estimées à Orcines et Clermont-Ferrand.

Le graphique relatif à la loi GEV fait ressortir une diminution des cumuls entre 6 heures et 12 heures à Orcines, confortant le manque de robustesse de cet ajustement.

Il ressort cependant des données SHYREG une relative homogénéité de la pluviométrie si l'on considère les points correspondant aux postes Météo-France étudiés précédemment, celui de Saint-Genès-Champanelle présentant des cumuls légèrement supérieurs à ceux des trois autres stations. La carte ci-après présente les écarts entre les valeurs SHYREG sur l'ensemble des bassins versants étudiés avec celles extraites au droit du poste Météo-France de Clermont-Ferrand – Aulnat pour des pluies de durées 1 heure, 4 heures et 24 heures de périodes de retour 10 ans et 100 ans. Cette analyse confirme la relative **homogénéité des cumuls pluviométriques estimés par la méthode SHYREG pour des pluies de courtes durées** (inférieures à 6 heures). Les écarts deviennent sensibles pour les pluies 24 heures, les écarts les plus marqués se situant :

- sur les têtes de bassins versants de l'Artière et de la Tiretaine (+10 à +20% par rapport aux valeurs d'Aulnat),
- sur la tête de bassin versant de l'Ambène (-10 à -20% par rapport aux valeurs d'Aulnat).

La comparaison des cumuls pluviométriques calculés sur les 4 postes Météo-France ne permet pas d'expliquer à elle seule la variabilité spatiale des précipitations sur les courtes durées (orographie notamment) ; les écarts calculés entre les différents postes restent cependant dans les intervalles de confiance des ajustements statistiques utilisés, relativement marqués compte tenu du nombre restreint d'années d'observation. Il peut donc être considéré à l'issue de cette analyse que les cumuls de pluviométrie sont sensiblement identiques sur les 4 postes analysés.

Les données SHYREG indiquent par ailleurs une relative homogénéité des cumuls pluviométriques sur les bassins versants étudiés, pour des pluies de courtes durées (inférieures à 6 heures).

Il est donc retenu une pluviométrie sur des durées courtes (inférieures à 12 heures) homogène à l'échelle des bassins versants étudiés, Les quantiles de pluie sont définis au poste de Clermont-Ferrand, pour lequel les chroniques historiques sont les plus longues, et les ajustements statistiques les plus fiables.

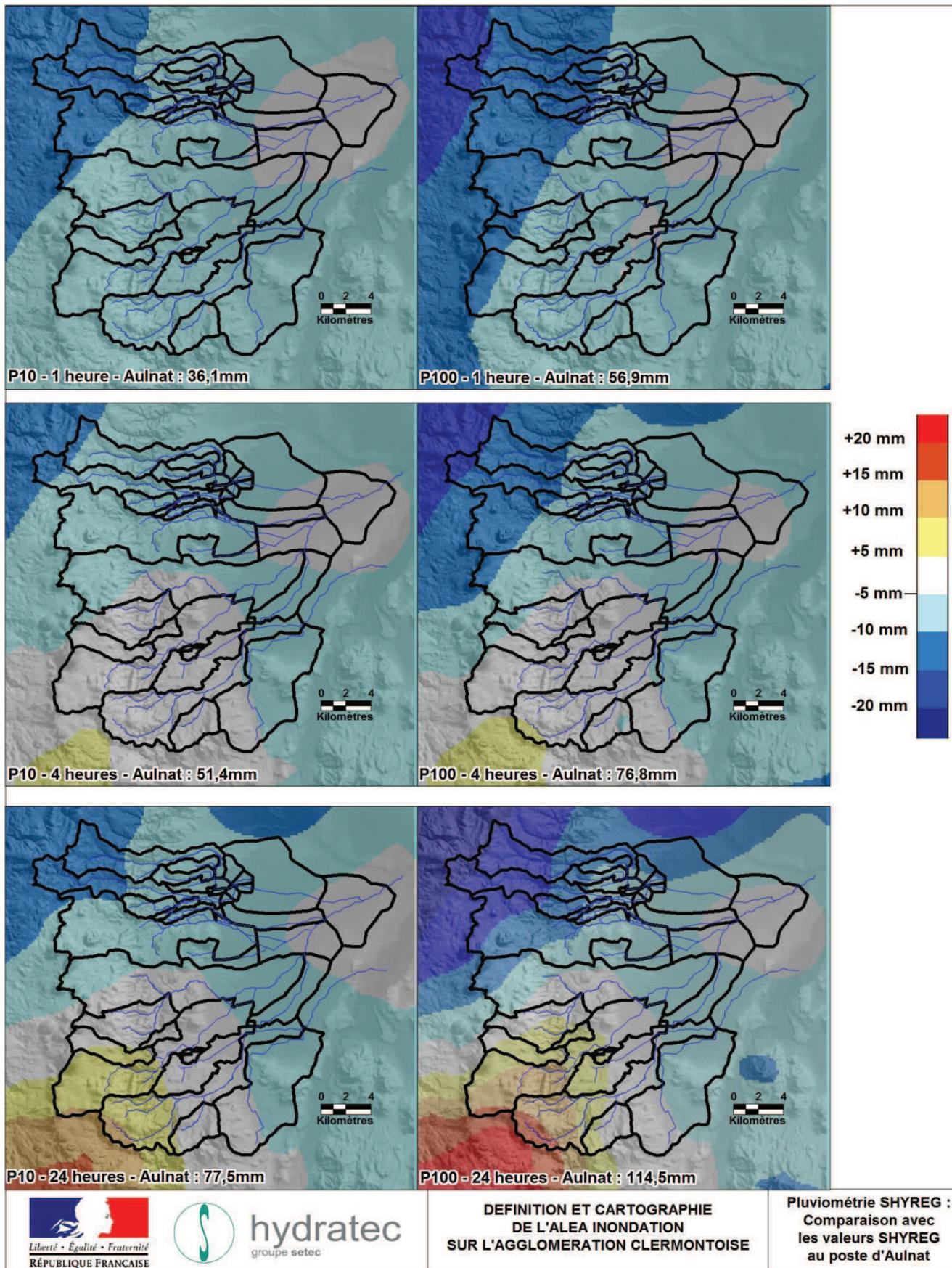


Figure 18 : écarts entre les valeurs SHYREG sur l'ensemble des bassins versants étudiés avec celles extraites au droit du poste Météo-France de Clermont-Ferrand – Aulnat

5.5 CONCLUSIONS

La loi de Gumbel est retenue pour l'estimation des quantiles de pluviométrie, compte tenu de son bon ajustement aux échantillons historiques et de sa faible sensibilité à la taille de l'échantillon et aux valeurs fortes le constituant.

Les pluies sur de courtes durées (inférieures à 12 heures) sont considérées homogènes à l'échelle des bassins versants étudiés, Les quantiles de pluie sont définis au poste de Clermont-Ferrand, pour lequel les chroniques historiques sont les plus longues.

Les valeurs fournies par l'ajustement de Gumbel étant sensiblement inférieures aux données SHYREG, les valeurs de la borne supérieure de l'intervalle de confiance à 90% de l'ajustement de Gumbel sont retenues.

Le tableau ci-après synthétise les résultats obtenus.

PERIODE DE RETOUR	15 minutes			30 minutes			1 heure			2 heures		
	P	IC à 90%	Données SHYREG	P	IC à 90%	Données SHYREG	P	IC à 90%	Données SHYREG	P	IC à 90%	Données SHYREG
	(ans)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
2	11.6	11.2 - 12.0	11.0	16.0	15.4 - 16.7	15.0	19.7	18.9 - 20.5	18.4	23.5	22.7 - 24.3	22.3
5	15.7	15.1 - 16.4	14.7	22.6	21.6 - 23.8	21.1	27.9	26.6 - 29.4	26.0	31.4	30.2 - 32.9	29.6
10	18.4	17.6 - 19.4	17.2	27.0	25.7 - 28.6	25.0	33.3	31.7 - 35.4	30.8	36.7	35.1 - 38.7	34.3
20	21.0	20.0 - 22.3	19.5	31.2	29.5 - 33.3	28.7	38.6	36.5 - 41.2	35.4	41.8	39.8 - 44.3	38.8
30	22.5	21.3 - 24.0	20.8	33.6	31.7 - 35.9	30.8	41.6	39.2 - 44.5	38.1	44.7	42.4 - 47.5	41.3
50	24.4	23.1 - 26.1	22.4	36.6	34.5 - 39.3	33.4	45.4	42.7 - 48.7	41.4	48.4	45.8 - 51.5	44.5
100	26.9	25.4 - 28.9	24.6	40.7	38.2 - 43.8	37.0	50.4	47.3 - 54.3	45.8	53.3	50.2 - 57.0	48.8
200	29.5	27.7 - 31.7	26.8	44.8	41.9 - 48.3	40.5	55.5	51.9 - 59.9	50.2	58.2	54.7 - 62.4	53.0
500	32.8	30.7 - 35.4	29.7	50.1	46.8 - 54.2	45.2	62.2	58.0 - 67.3	56.0	64.6	60.6 - 69.6	58.6
1000	35.3	33.0 - 38.2	31.9	54.2	50.5 - 58.7	48.7	67.2	62.6 - 72.9	60.4	69.5	65.1 - 75.0	62.9
Gradex	3.63	3.32 - 4.02	3.17	5.83	5.34 - 6.45	5.10	7.27	6.65 - 8.04	6.36	7.04	6.44 - 7.79	6.15

PERIODE DE RETOUR	3 heures			6 heures			12 heures			24 heures		
	P	IC à 90%	Données SHYREG	P	IC à 90%	Données SHYREG	P	IC à 90%	Données SHYREG	P	IC à 90%	Données SHYREG
	(ans)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
2	27.3	26.1 - 28.6	Données non disponibles	32.4	31.1 - 33.9		38.4	36.7 - 40.2		46.1	44.3 - 48.1	
5	35.0	33.3 - 37.4		41.2	39.2 - 43.9		49.5	47.0 - 52.9		58.2	55.4 - 61.9	
10	40.2	37.8 - 43.4		47.0	44.4 - 50.7	57.2	56.9	53.5 - 61.6	67.6	66.3	62.6 - 71.3	77.5
20	45.1	42.2 - 49.2		52.6	49.3 - 57.3	65.7	64.0	59.8 - 69.9	77.5	74.0	69.3 - 80.4	88.3
30	48.0	44.6 - 52.6		55.8	52.1 - 61.1	70.6	68.1	63.3 - 74.7	83.2	78.4	73.2 - 85.7	94.5
50	51.5	47.7 - 56.7		59.9	55.6 - 65.8	76.7	73.2	67.8 - 80.7	90.3	84.0	78.1 - 92.2	102.3
100	56.3	51.9 - 62.4		65.3	60.3 - 72.2	85.7	80.1	73.8 - 88.9	101.1	91.5	84.6 - 101.1	114.5
200	61.1	56.1 - 68.0		70.7	65.0 - 78.6	94.6	87.0	79.7 - 97.0	111.9	98.9	91.1 - 109.9	126.7
500	67.4	61.5 - 75.5		77.8	71.2 - 87.0	106.4	96.0	87.6 - 107.7	126.1	108.8	99.6 - 121.6	142.8
1000	72.1	65.7 - 81.1		83.2	75.9 - 93.4	115.3	102.8	93.6 - 115.8	136.8	116.2	106.1 - 130.4	154.9
Gradex	6.85	5.99 - 8.08		7.77	6.79 - 9.16	12.84	9.86	8.62 - 11.63	15.47	10.73	9.37 - 12.67	17.50
P0	24.76	24.36 - 25.20		29.56	29.10 - 30.06	26.60	34.74	34.16 - 35.38	29.98	42.12	41.48 - 42.81	34.01

Tableau 3 : synthèse des quantiles pluviométriques estimés.

5.6 COMPARAISON AVEC LES DONNEES DES ETUDES ANTERIEURES

Les principales données pluviométriques exploitées dans les études antérieures sont tirées du rapport du laboratoire régional des Ponts et Chaussées (LRPC) pour le syndicat intercommunal d'aménagement de l'agglomération clermontoise (SIAEC) de 1992 (étude générale d'assainissement et de protection contre les inondations de l'agglomération Clermontoise). Les cumuls de pluviométrie sur différents pas de temps pour des périodes de retour de 10 ans et 100 ans estimés au poste d'Aulnat – Clermont-Ferrand sont comparés sur le graphique ci-après aux valeurs définies dans le cadre du présent rapport.

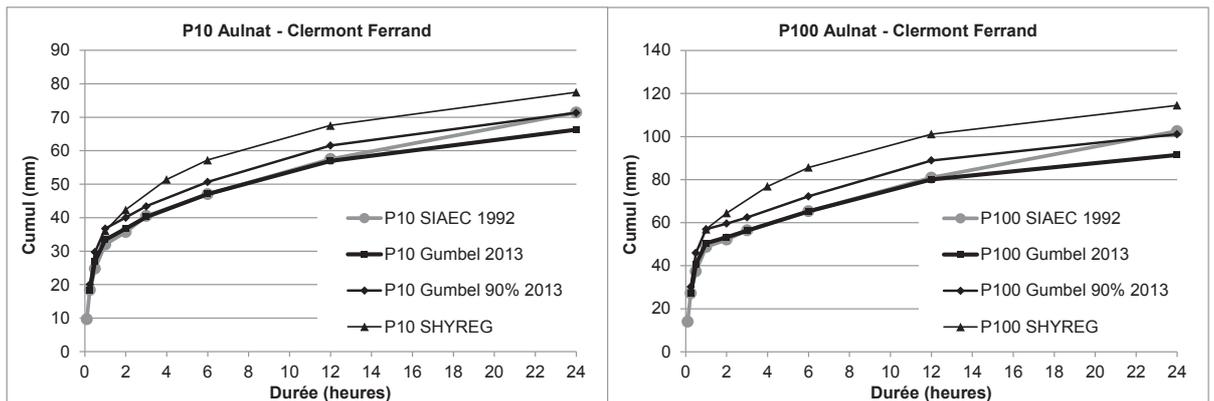


Figure 19 : comparaison des valeurs de cumuls pluviométriques estimés avec les valeurs retenues par le LRPC dans le cadre des études réalisées pour le SIAEC en 1992
P10 correspond à la pluie décennale, et P100 à la pluie centennale

Les valeurs du LRPC sont quasiment identiques à celles calculées avec l'ajustement de Gumbel, à l'exception des cumuls sur 24 heures. Les cumuls sur 24 heures exploités dans le cadre de la présente étude sont des pluies quotidiennes corrigées par le coefficient de Weiss = 1,14). Les pluies de durées supérieures à 6 heures n'étant pas exploitées dans la suite de l'étude, une étude plus approfondie de pluies de durée 24 heures n'a pas été menée.

Le graphique ci-après compare les valeurs obtenues par les ajustements de Gumbel avec celles calculées sur la base des *coefficients de Montana** établis par Météo France au poste de Clermont-Ferrand pour des durées de pluies comprises entre 1 heure et 6 heures par la méthode du renouvellement et par la loi GEV.

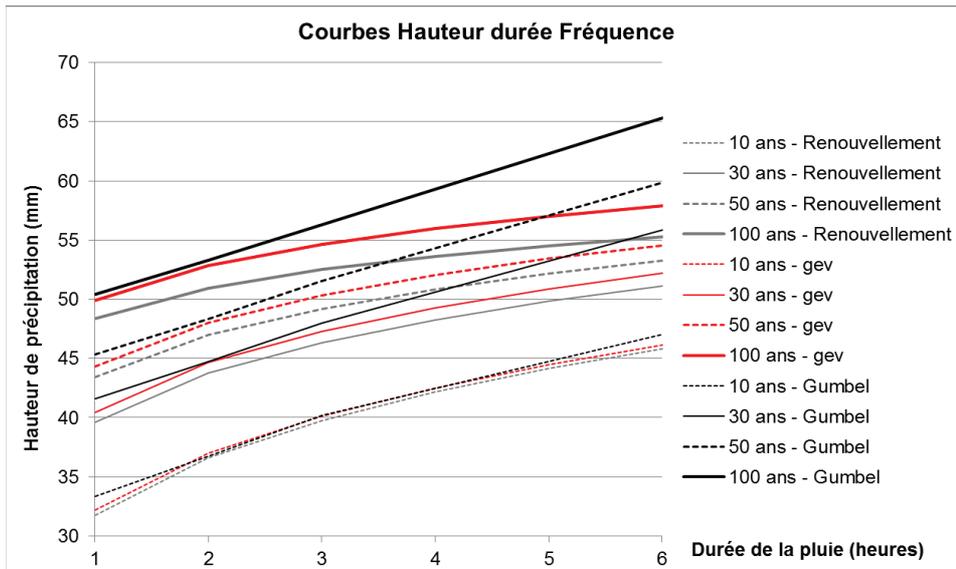


Figure 20 : Comparaison des quantiles de pluie obtenus par ajustement de Gumbel et par application des coefficients de Montana définis par Météo-France (loi GEV et méthode du renouvellement) au poste de Clermont-Ferrand Aulnat

Les valeurs obtenues par l'ajustement de Gumbel sont systématiquement supérieures à celles obtenues par la loi GEV et la méthode du renouvellement, notamment pour les pluies de durées supérieures à 2 heures.

Ces résultats confirment les conclusions obtenues au §5.2 (comparaison des lois GEV et Gumbel), et amènent également à écarter la méthode du renouvellement.

6 ANALYSE STATISTIQUE DES DEBITS DE CRUE

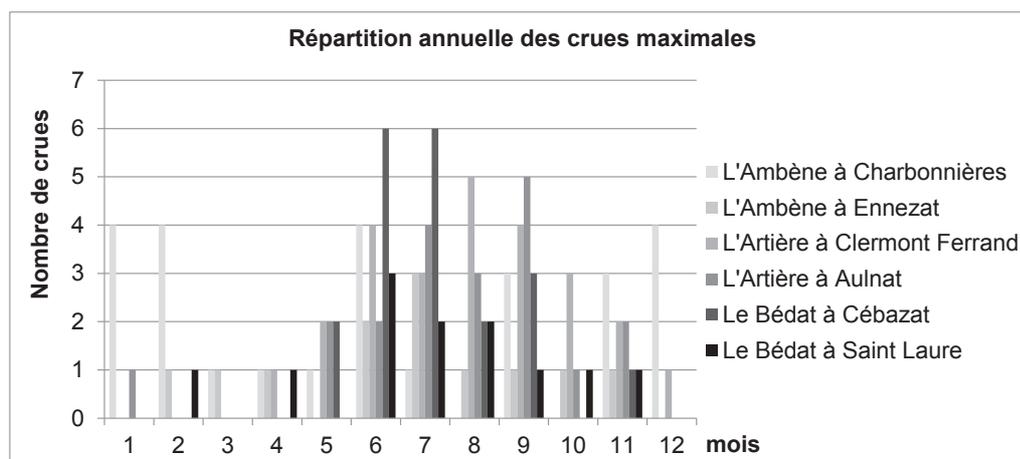
L'analyse fréquentielle des débits maxima annuels mesurés au droit des stations hydrométriques permet de définir les débits caractéristiques des cours d'eau concernés pour différentes fréquences d'occurrence, et d'affecter aux crues historiques principales, ayant fait l'objet d'une estimation du débit de pointe, une fréquence d'occurrence.

La validation des débits calculés par le modèle pluie débit sera réalisée par comparaison avec les résultats de cette analyse statistique.

6.1 SAISONNALITE DES CRUES

L'analyse des débits maxima annuels enregistrés sur l'ensemble des stations hydrométriques montre une très forte prédominance des événements survenant entre les mois de mai et septembre (plus de 80%, à l'exception de la station de Charbonnières sur l'Ambène présentant un fonctionnement hydrologique spécifique fortement influencé par les résurgences de la nappe).

Le graphique ci-après indique le nombre d'événements ayant généré un débit maximum annuel sur chaque mois de l'année pour l'ensemble des stations hydrométriques gérées par la DREAL (par exemple, 5 des débits maxima annuels enregistrés à la station d'Ennezat depuis sa mise en service se sont produits au mois d'août).



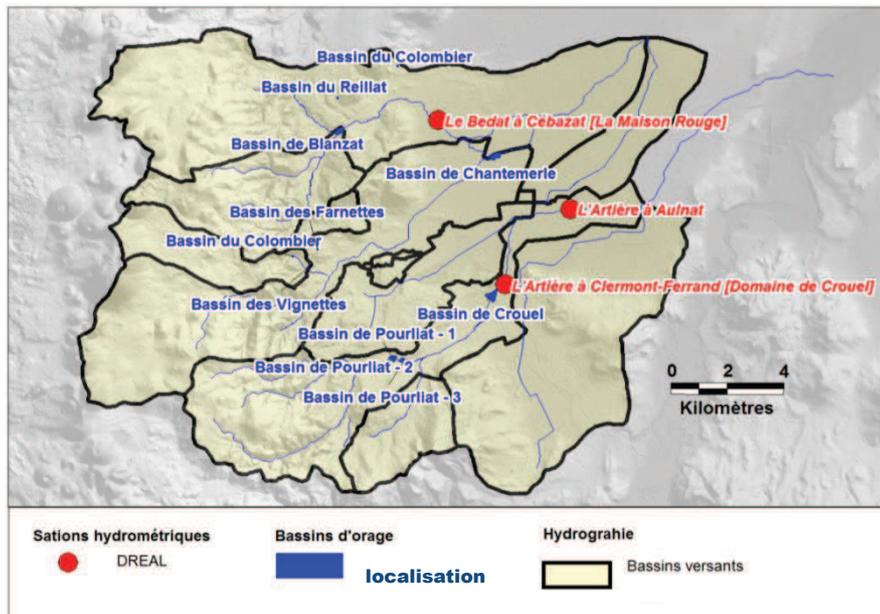
Les analyses statistiques sont menées sur les valeurs de débits maxima enregistrées par année ; les valeurs obtenues sont quasiment identiques à celles obtenues en ne considérant que les maxima enregistrés sur la période mai-octobre.

6.2 STATIONS DE REFERENCE NON INFLUENCEES PAR LES BASSINS D'ORAGE

L'estimation des débits de référence des différents cours d'eau nécessite de disposer de séries hydrométriques non influencées par les bassins d'orage.

Les bassins d'orage aménagés sur Clermont Communauté sont localisés sur la carte ci-après ; le tableau synthétise les volumes de rétention associés. Seuls ces derniers sont mentionnés car ils disposent de volumes de stockage conséquents à l'échelle des volumes de crue écoulés sur les cours d'eau considérés, en amont des stations

hydrométriques. Il existe également des bassins d'orage sur l'agglomération riomoise, dont l'influence sur les débits estimés sur l'Ambène à Ennezat et sur le Bédât à Saint Laure est négligeable.



Ouvrage	Commune	cours d'eau	Volume total	Volume utile
			m ³	m ³
Bassin de Blanzat	Nohanent	Confluence Bédât - ruisseau de Saussade	157 000	120 000
Bassin de Reilhât	Blanzat	BV Bédât	14 000	14 000
Bassin de Chantemerle	Gerzat	Tiretaine	170 000	170 000
Bassin des Farnettes	Chamalières	BV Tiretaine	5 300	5 300
Bassin de la voie romaine	Chamalières	BV Tiretaine	4 000	4 000
Bassin des Vignettes	Chamalières	BV Tiretaine	2 700	2 700
Bassin de Saint-Jacques	Clermont-Ferrand	BV Tiretaine sud	15 000	15 000
Bassin de Boisséjour Grave Noire Amon	Ceyrat	BV Artière	4 000	4 000
Bassin de Crouel	Clermont-Ferrand	Artière	240 000	240 000
Bassin de Pourliat Amont	Beaumont	Artière	101 000	101 000
Bassin de Pourliat Inter	Beaumont	Artière	16 000	16 000
Bassin de Pourliat Aval	Beaumont	Artière	38 000	38 000

Figure 21 : localisation et caractéristiques des principaux bassins d'orage de l'agglomération de Clermont-Ferrand (le volume utile constitue le volume effectivement disponible pour l'écrêtement ; les bassins peuvent comprendre un volume complémentaire toujours en eau)

La majorité de ces ouvrages se situe en amont des stations hydrométriques de la DREAL, venant modifier sensiblement les débits naturels des cours d'eau. Le tableau ci-dessous précise les volumes de rétention aménagés en amont des stations de l'Artière et du Bédât.

Code de la Station	Libellé de la station	Volume des bassins en amont
K2724210	L'Artière à Clermont-Ferrand [Domaine de Crouel]	395 000
K2724220	L'Artière à Aulnat	414 000
K2763110	Le Bédât à Cébazat [La Maison Rouge]	134 000

Ces trois stations sont écartées de l'analyse statistique des débits de crue, car elles ne permettent pas d'apprécier le fonctionnement hydrologique naturel des cours d'eau, ni

d'extrapoler les valeurs de débits forts (les événements historiques mesurés ont tous été significativement écrêtés par ces ouvrages).

Seules les stations hydrométriques de l'Ambène à Ennezat et du Bédât à Saint-Laure sont finalement exploitées (cette dernière est influencée par les bassins d'orage pré-cités, mais dans une moindre mesure compte tenu de la superficie du bassin versant contrôlée et des volumes écoulés).

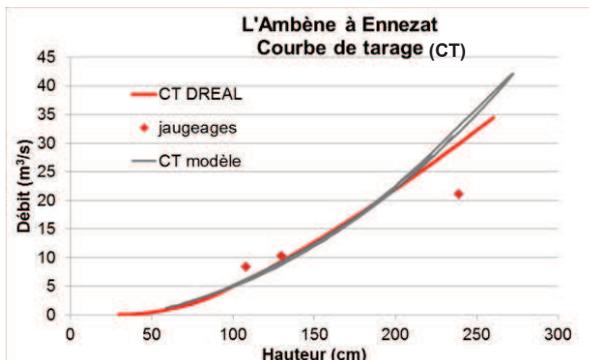
Les courbes de tarage établies par la DREAL sont préalablement comparées avec celles fournies par le modèle hydraulique mis en œuvre dans le cadre de la présente étude afin de valider les chroniques de débits disponibles.

Afin d'approfondir la connaissance des débits caractéristiques des cours d'eau, les chroniques limnimétriques fournies par l'ancien réseau de mesure du SIAEC et par celui de Clermont Communauté sont exploitées, après reconstitution de courbes de tarage par modélisation.

Les modèles utilisés pour la reconstitution de ces courbes de tarage sont ceux mis en œuvre dans le cadre de la présente étude pour l'élaboration des cartes d'aléa ; les détails de la modélisation hydraulique sont donnés dans le rapport hydraulique.

6.2.1 L'Ambène à Ennezat

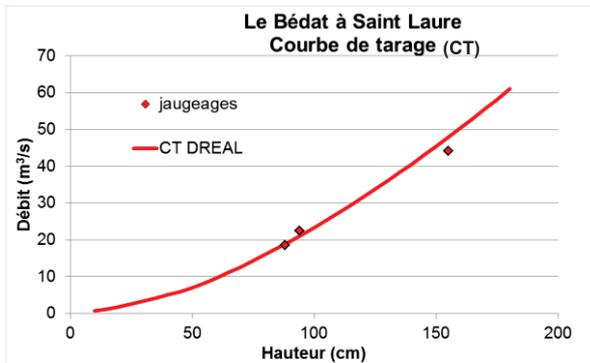
Le graphique ci-après présente les courbes de tarage de la DREAL (ainsi que les trois plus forts jaugeages réalisés) et celles calculées par le modèle hydraulique.



Les chroniques de débits historiques établies par la DREAL sont jugées fiables.

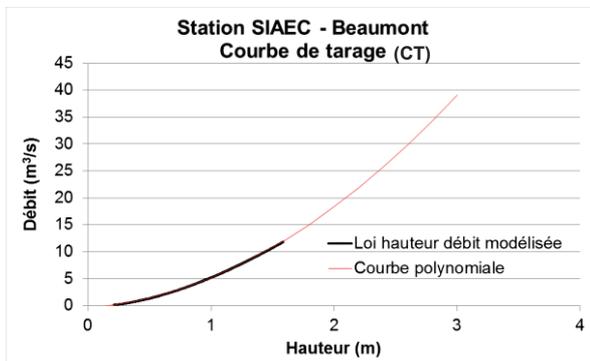
6.2.2 Le Bédât à Saint Laure

La modélisation hydraulique du Bédât aval est simplifiée car en dehors du territoire à risque important d'inondation (sections topographiques extrapolées des données LIDAR) ; elle ne permet pas de critiquer la courbe de tarage établie par la DREAL. Elle a cependant fait l'objet d'un jaugeage pour un débit de 41 m³/s en août 2013.

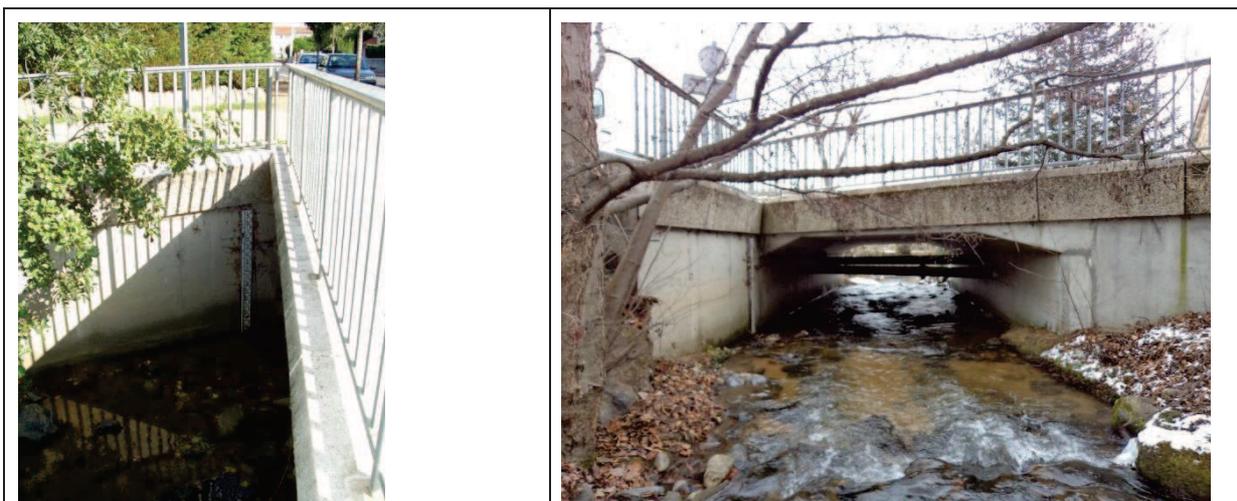


6.2.3 L'Artière à Beaumont

La courbe de tarage de la station de Beaumont, exploitée par le SIAEC de 1991 à 1997, est reconstituée par modélisation.

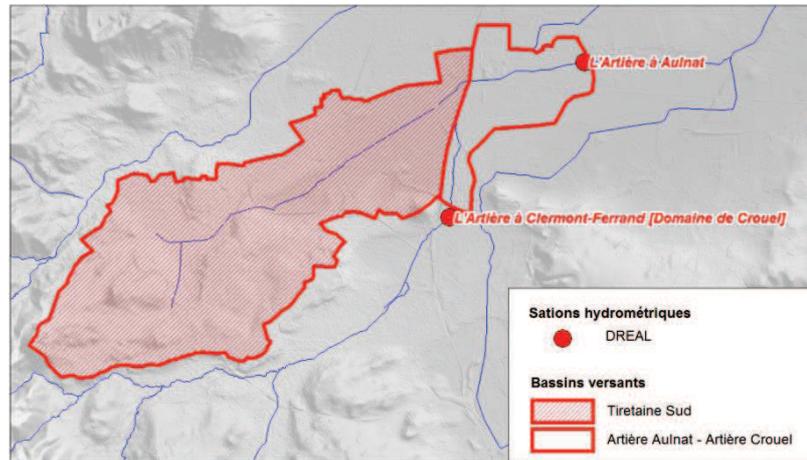


La station est située en amont du pont de la rue Bernard Maitre, constitué par un portique à cadre fermé. La comparaison des photographies du site réalisées en 1991 et en 2013 amène à considérer une bonne stabilité de la section du lit de l'Artière (fond du lit à 0,3m sur l'échelle).

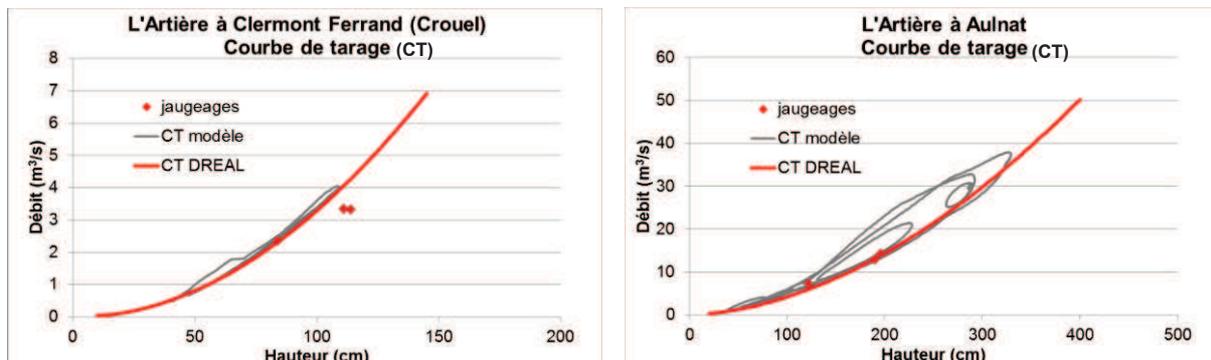


6.2.4 La Tiretaine sud

Les stations hydrométriques de l'Artière à Crouël et à Aulnat sont fortement influencées par les bassins d'orage de Crouël et de Pourliat, mais encadrent la confluence avec la Tiretaine sud. La différence des deux séries historiques permet ainsi de reconstituer une série des débits drainés par ce bassin versant intermédiaire constitué à plus de 80% par la Tiretaine sud (18,7 km² pour un bassin versant total de 22,5 km²).



Le graphique ci-après présente les courbes de tarage de la DREAL (ainsi que les trois plus forts jaugeages réalisés) et calculées par le modèle hydraulique pour les deux stations hydrométriques de l'Artière.



La courbe de tarage calculée par le modèle présente un important phénomène d'hystérésis : la loi hauteur – débit n'est pas biunivoque entre la montée de crue et la décrue. La courbe de tarage de la DREAL est cependant identique à celle calculée par le modèle dans la phase de montée de la crue.

Le modèle hydraulique confirme les courbes de tarage de la DREAL.

6.3 DEFINITION DES DEBITS DE PERIODE DE RETOUR FREQUENTE

Les échantillons des débits instantanés maxima annuels des stations définies ci-dessus ont fait l'objet d'un ajustement à différentes lois statistiques afin de déterminer les débits caractéristiques des crues de chacun des cours d'eau.

Les résultats obtenus sont présentés sur les graphiques en annexe 2 et synthétisés dans le tableau ci-après pour le débit décennal.

Q10 (m ³ /s)	GUMBEL	FRECHET	NORMALE	LOG-NORMALE
L'Artière à Beaumont	12.4	13.2	11.3	11.5
L'Artière à Aulnat - l'Artière à Crouel	38.4	40.5	36.0	36.9
La Tiretaine Nord à Chamalières	13.0	13.9	11.9	12.2
L'Ambène à Ennezat	25.6	29.5	22.2	22.0
Le Bédât à Saint Laure	40.2	40.2	42.4	37.2

Tableau 4 : débits décennaux calculés par ajustement aux lois de Gumbel, Frechet, normale et log-normale

Compte tenu du nombre relativement réduit de données constituant les échantillons historiques, nous retenons un ajustement de Gumbel pour la définition des débits de pointe de période de retour inférieure à 10 ans. Les lois exponentielles restent relativement proches de la loi de Gumbel pour ces fréquences, et le nombre d'événements remarquables est insuffisant pour valider l'ajustement de ces lois pour les fréquences rares. L'extrapolation des valeurs rares est définie par la méthode du Gradex explicitée dans le chapitre suivant.

Le tableau ci-après synthétise les résultats obtenus pour chacune des stations en retenant l'ajustement de Gumbel, ainsi que les intervalles de confiance à 70% et 90% associés (respectivement 70% et 90% de certitude que la valeur de débit pour une période de retour donnée soit comprise entre les bornes inférieure et supérieure des intervalles de confiance considérés).

PERIODE DE RETOUR	L'Artière à Beaumont						
	Qix	qix	IC à 70%		IC à 90%		
2	7.2	0.34	6.2	8.7	5.6	10.0	
5	10.3	0.49	9.0	13.2	8.7	16.1	
10	12.4	0.58	10.7	16.3	10.4	20.5	

PERIODE DE RETOUR	L'Ambène à Ennezat						
	Qix	qix	IC à 70%		IC à 90%		
2	9.5	0.14	7.2	12.4	6.0	14.6	
5	19.2	0.28	15.9	24.6	14.8	29.4	
10	25.6	0.38	21.3	33.1	20.0	39.8	

PERIODE DE RETOUR	L'Artière à Aulnat - l'Artière à Crouel						
	Qix	qix	IC à 70%		IC à 90%		
2	25.9	1.08	24.5	27.7	23.7	29.0	
5	33.4	1.40	31.3	36.7	30.5	39.3	
10	38.4	1.61	35.6	42.9	34.6	46.5	

PERIODE DE RETOUR	Le Bédât à Saint Laure						
	Qix	qix	IC à 70%		IC à 90%		
2	25.5	0.09	23.3	28.3	22.2	30.5	
5	34.4	0.12	31.3	39.6	30.3	44.4	
10	40.2	0.15	36.2	47.5	35.1	54.1	

PERIODE DE RETOUR	La Tiretaine Nord à Chamalières						
	Qix	qix	IC à 70%		IC à 90%		
2	7.8	0.33	6.8	9.3	6.2	10.6	
5	11.0	0.46	9.6	13.8	9.3	16.8	
10	13.0	0.55	11.3	16.9	11.0	21.2	

Qix : débit instantané (m³/s) IC : intervalles de confiance
qix : débit instantané spécifique (m³/s)

Tableau 5 : débits de périodes de retour 2, 5 et 10 ans calculés par ajustement à une loi de Gumbel, et intervalles de confiance à 70% et 90%

Les intervalles de confiance sont relativement larges du fait des courtes chroniques employées.

6.4 EXTRAPOLATION AUX PERIODES DE RETOUR RARES

6.4.1 Présentation de la méthode du Gradex

Au-delà d'une certaine période de retour, pour tenir compte du fait que les chroniques de débits mesurés ne constituent pas un échantillon suffisamment long de mesure, il s'avère **difficile d'utiliser les lois statistiques sur les débits mesurés pour les crues rares à exceptionnelles**. La méthode d'ajustement de Gumbel telle que présentée dans le paragraphe précédent n'est donc plus applicable.

D'autres méthodes sont alors utilisées pour déterminer les débits de pointe des crues rares. Elles sont décrites dans les paragraphes suivants.

Méthode du gradex (Guillot – 1966)

Le principe de la méthode est fondé sur l'analyse statistique de la pluviométrie. Elle stipule qu'au-delà d'une certaine valeur de précipitation (dite point pivot), la valeur moyenne de la capacité de rétention du bassin versant tend à devenir constante pour les très fortes averses, et que la totalité de la pluie supplémentaire ruisselle sur le bassin versant.

A défaut d'informations précises sur la position de ce pivot (chroniques de débits mesurées suffisamment longues, capacité d'infiltration des sols, ...), elle est généralement fixée à une période de retour de 10 ans. C'est cette valeur qui est retenue.

La fonction de répartition des volumes de crue extrême (VCXd) a donc le même comportement asymptotique que celui de la fonction de répartition des précipitations maximales annuelles.

En supposant que le seuil de rétention est atteint à partir d'une pluie pivot déterminée précédemment, la formulation du Gradex s'écrit :

$$VCX_D(T) = VCX_D(T_{pivot}) + (u_T - u_{pivot}) \times Gr$$

avec :

- $VCX_D(T)$: débit moyen calculé sur une durée caractéristique de crue D ou volume écoulé sur la durée D de période de retour T (m^3/s)
- Gr : gradex des débits moyens (m^3/s)
- u_T : variable réduite de Gumbel pour la période de retour T
- T_{pivot} : temps de retour du point pivot (ans), pris ici égal à 10 ans

Le Gradex des débits moyens (m^3/s) est obtenu par la relation :

$$Gr = \frac{G_D \times S_{BV}}{D}$$

avec :

- G_D (m) : gradex des pluies de durée D (s)
- S_{BV} : surface du bassin versant drainé au droit de la station hydrométrique considérée (m^2)

La détermination des débits de pointe aux fréquences rares s'établit alors grâce à une loi de corrélation établie, telle que $Q_{ix} = f(VCXd)$, où Q_{ix} et VCXd sont les valeurs extrêmes annuelles enregistrées aux stations hydrométriques considérées.

6.4.2 Durées caractéristiques des crues

La durée caractéristique d'une crue correspond à la durée de dépassement de la moitié du débit de pointe. Elle est estimée à partir des hydrogrammes des crues historiques les plus fortes mesurées aux stations hydrométriques.

Les valeurs retenues sont synthétisées dans le tableau ci-après. Le détail des durées calculées pour les crues analysées est présenté en annexe 4.

Stations	Moyenne par station (heures)	Durée caractéristique retenue (heures)
L'Artière à Beaumont	1.2	1 à 2
L'Artière à Aulnat – l'Artière à Crouël	1.5	1 à 2
La Tiretaine Nord à Chamalières	1.3	1 à 2
Le Bedat à St Laure	7.0	6 à 12
L'Ambène à Ennezat	9.7	6 à 12

Tableau 6 : durée moyenne des principales crues historiques mesurées et durées caractéristiques retenues

6.4.3 Détermination des gradex de bassin

Pour chaque station hydrométrique, un Gradex de bassin est défini, correspondant au Gradex des pluies estimé sur la durée caractéristique de crues corrigé par le coefficient d'abattement du bassin versant contrôlé, défini dans le chapitre 8.2.

6.4.4 Synthèse des résultats

Le tableau ci-après présente les résultats obtenus pour l'estimation du débit centennal par l'ajustement de Gumbel et par la méthode du Gradex.

Cours d'eau	Station	Superficie (km ²)	Durée Gradex (heures)	Q10 Gumbel		Q100 Gumbel		Q100 gradex	
				m ³ /s	m ³ /s/km ²	m ³ /s	m ³ /s/km ²	m ³ /s	m ³ /s/km ²
Artière	Beaumont	24.9	1	12.4	0.50	18.9	0.76	168.9	6.78
			2	12.4	0.50	18.9	0.76	99.4	3.99
Artière	Aulnat - Crouel	23.9	1	38.4	1.61	54.0	2.26	163.8	6.85
			2	38.4	1.61	54.0	2.26	110.8	4.63
Tiretaine Nord	Chamalières	28.2	1	13.0	0.46	19.6	0.69	219.4	7.78
			2	13.0	0.46	19.6	0.69	136.8	4.85
Ambène	Ennezat	103.2	6	25.6	0.25	45.7	0.44	126.8	1.23
			12	25.6	0.25	45.7	0.44	98.2	0.95
Bedat	Saint Laure	311.8	6	40.2	0.13	58.6	0.19	134.6	0.43

Tableau 7 : synthèse des débits caractéristiques

Le détail des résultats est présenté en annexe 3 (graphiques des ajustements) et dans le paragraphe suivant.

Le *débit spécifique** de la crue décennale est nettement plus important sur la Tiretaine sud (différence entre les débits des stations d'Aulnat et de Crouel sur l'Artière) que sur les autres stations étudiées du fait de son caractère très urbanisé donc très ruisselant.

Sur les bassins versants moins urbanisés, ce débit spécifique tend à diminuer avec la surface du bassin versant (pour la crue décennale, environ 0,5 m³/s/km² sur la Tiretaine Nord à Chamalières et l'Artière à Beaumont, 0,25 m³/s/km² sur l'Ambène à Ennezat et 0,13 m³/s/km² sur le Bédât à Saint Laure).

6.4.5 Conclusions

Le tableau ci-dessous synthétise les débits décennaux obtenus ainsi que les intervalles de confiance à 90% associés et les estimations basses et hautes des débits centennaux obtenus par la méthode du Gradex.

	Q10	Q100	
	Gumbel	Gradex bas	Gradex haut
L'Artière à Beaumont	12.4 [10.4 – 20.5]	99	169
L'Artière à Aulnat – l'Artière à Crouël	38.4 [34.6 – 46.5]	111	164
La Tiretaine Nord à Chamalières	13.0 [10.1 - 21.2]	137	219
L'Ambène à Ennezat	25.6 [20.0 – 39.8]	98	127

Tableau 8 : synthèse des débits caractéristiques retenus

PERIODE DE RETOUR	L'Artière à Beaumont			L'Artière à Beaumont		
	Qix	IC à 90%	DEBIT GRADEX (m3/s)	Qix	IC à 90%	DEBIT GRADEX (m3/s)
	(m3/s)	(m3/s)	1 h	(m3/s)	(m3/s)	2 h
(ans)	(m3/s)	(m3/s)	1 h	(m3/s)	(m3/s)	2 h
2	7.2	5.6 - 10.0	-	7.2	5.6 - 10.0	-
5	10.3	8.7 - 16.1	-	10.3	8.7 - 16.1	-
10	12.4	10.4 - 20.5	12.4	12.4	10.4 - 20.5	12.4
20	14.4	12.0 - 24.8	60.4	14.4	12.0 - 24.8	39.1
30	15.6	12.9 - 27.2	88.0	15.6	12.9 - 27.2	54.4
50	17.0	14.0 - 30.3	122.4	17.0	14.0 - 30.3	73.6
100	18.9	15.5 - 34.5	168.9	18.9	15.5 - 34.5	99.4
200	20.9	17.0 - 38.7	215.3	20.9	17.0 - 38.7	125.2
500	23.4	18.9 - 44.2	276.4	23.4	18.9 - 44.2	159.2
1000	25.3	20.4 - 48.4	322.6	25.3	20.4 - 48.4	184.9

PERIODE DE RETOUR	L'Artière à Aulnat - Artière à Courel			L'Artière à Aulnat - Artière à Courel		
	Qix	IC à 90%	DEBIT GRADEX (m3/s)	Qix	IC à 90%	DEBIT GRADEX (m3/s)
	(m3/s)	(m3/s)	1 h	(m3/s)	(m3/s)	2 h
(ans)	(m3/s)	(m3/s)	1 h	(m3/s)	(m3/s)	2 h
2	25.9	23.7 - 29.0	-	25.9	23.7 - 29.0	-
5	33.4	30.5 - 39.3	-	33.4	30.5 - 39.3	-
10	38.4	34.6 - 46.5	38.4	38.4	34.6 - 46.5	38.4
20	43.2	38.4 - 53.5	76.8	43.2	38.4 - 53.5	59.5
30	45.9	40.6 - 57.5	98.9	45.9	40.6 - 57.5	71.6
50	49.4	43.4 - 62.6	126.6	49.4	43.4 - 62.6	86.7
100	54.0	47.0 - 69.4	163.8	54.0	47.0 - 69.4	107.2
200	58.6	50.7 - 76.3	200.9	58.6	50.7 - 76.3	127.5
500	64.7	55.5 - 85.3	249.9	64.7	55.5 - 85.3	154.4
1000	69.3	59.1 - 92.1	286.9	69.3	59.1 - 92.1	174.7

PERIODE DE RETOUR	La Tiretaine Nord à Chamalières			La Tiretaine Nord à Chamalières		
	Qix	IC à 90%	DEBIT GRADEX (m3/s)	Qix	IC à 90%	DEBIT GRADEX (m3/s)
	(m3/s)	(m3/s)	1 h	(m3/s)	(m3/s)	2 h
(ans)	(m3/s)	(m3/s)	1 h	(m3/s)	(m3/s)	2 h
2	7.8	6.2 - 10.6	-	7.8	6.2 - 10.6	-
5	11.0	9.3 - 16.8	-	11.0	9.3 - 16.8	-
10	13.0	11.0 - 21.2	13.0	13.0	11.0 - 21.2	13.0
20	15.1	12.6 - 25.4	76.4	15.1	12.6 - 25.4	51.0
30	16.2	13.5 - 27.9	112.8	16.2	13.5 - 27.9	72.8
50	17.6	14.6 - 31.0	158.4	17.6	14.6 - 31.0	100.0
100	19.6	16.1 - 35.2	219.8	19.6	16.1 - 35.2	136.8
200	21.5	17.6 - 39.4	281.0	21.5	17.6 - 39.4	173.5
500	24.1	19.6 - 45.0	361.8	24.1	19.6 - 45.0	221.8
1000	26.0	21.0 - 49.2	422.8	26.0	21.0 - 49.2	258.4

PERIODE DE RETOUR	L'Ambène à Ennezat			L'Ambène à Ennezat		
	Qix	IC à 90%	DEBIT GRADEX (m3/s)	Qix	IC à 90%	DEBIT GRADEX (m3/s)
	(m3/s)	(m3/s)	6 h	(m3/s)	(m3/s)	12 h
(ans)	(m3/s)	(m3/s)	6 h	(m3/s)	(m3/s)	12 h
2	9.5	6.0 - 14.6	-	9.5	6.0 - 14.6	-
5	19.2	14.8 - 29.4	-	19.2	14.8 - 29.4	-
10	25.6	20.0 - 39.8	25.6	25.6	20.0 - 39.8	25.6
20	31.7	24.9 - 49.9	56.6	31.7	24.9 - 49.9	47.8
30	35.3	27.7 - 55.7	74.4	35.3	27.7 - 55.7	60.6
50	39.7	31.2 - 63.0	96.7	39.7	31.2 - 63.0	76.6
100	45.7	35.8 - 72.9	126.8	45.7	35.8 - 72.9	98.2
200	51.6	40.4 - 82.8	156.8	51.6	40.4 - 82.8	119.7
500	59.5	46.5 - 95.8	196.4	59.5	46.5 - 95.8	148.0
1000	65.4	51.0 - 105.7	226.2	65.4	51.0 - 105.7	169.5

PERIODE DE RETOUR	Le Bédât à Saint Laure		
	Qix	IC à 90%	DEBIT GRADEX (m3/s)
	(m3/s)	(m3/s)	6 h
(ans)	(m3/s)	(m3/s)	6 h
2	25.5	22.2 - 30.5	-
5	34.4	30.3 - 44.4	-
10	40.2	35.1 - 54.1	40.2
20	45.9	39.5 - 63.6	69.1
30	49.1	42.1 - 69.1	85.8
50	53.2	45.2 - 76.0	106.6
100	58.6	49.5 - 85.3	134.6
200	64.1	53.6 - 94.5	162.5
500	71.3	59.2 - 106.8	199.4
1000	76.7	63.3 - 116.1	227.2

Figure 22 : Débits caractéristiques au droit des stations, Gumbel et Gradex

7 CONSTRUCTION DU MODELE PLUIE - DEBIT

Un modèle pluie - débit est un outil numérique traduisant les processus physiques de la transformation de la pluie captée par les bassins versants hydrographiques en débit à leur exutoire. Les modèles mis en œuvre dans le cadre de la présente étude sont basés sur une schématisation de ces processus physiques (infiltration, ruissellement, temps de propagation...); les formulations utilisées sont classiquement utilisées dans des contextes climatiques et géographiques similaires.

7.1 DECOUPAGE EN SOUS BASSINS VERSANTS

La modélisation pluie - débit s'appuie sur un découpage fin des sous bassins versants drainés par les cours d'eau étudiés.

Le modèle hydrologique s'appuie sur un découpage en 336 sous bassins versants, présentés sur la carte ci-après, dont :

- 215 couvrent les bassins des cours d'eau de l'agglomération clermontoise,
- 121 couvrent les bassins des cours d'eau de l'agglomération riomoise.

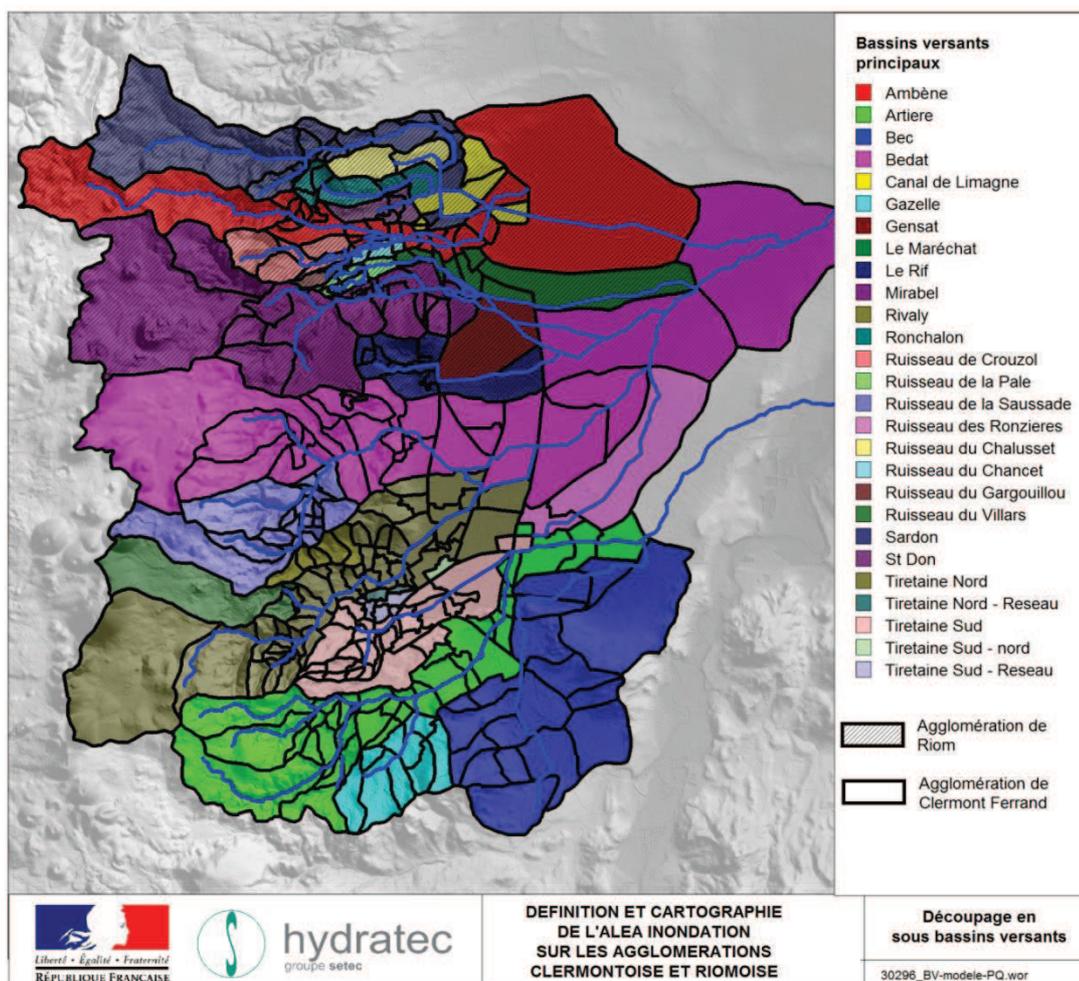


Figure 23 : sous bassins versants du modèle pluie - débit

Le modèle pluie - débit utilise des **formulations spécifiques** pour les bassins versants à dominante **rurale** (forêts, prairies, cultures) et à dominante **urbaine** (centres urbains, zones pavillonnaires, zones industrielles, zones d'activité ...). L'image ci-contre présente un exemple de découpage entre bassins versants à dominante urbaine (en rouge) ou rurale (en vert), au nord de l'agglomération clermontoise (entre la Tiretaine sud, le ruisseau de Saussade et le Bédât).



Figure 24 : exemple de découpage en sous bassins versants ruraux / urbains

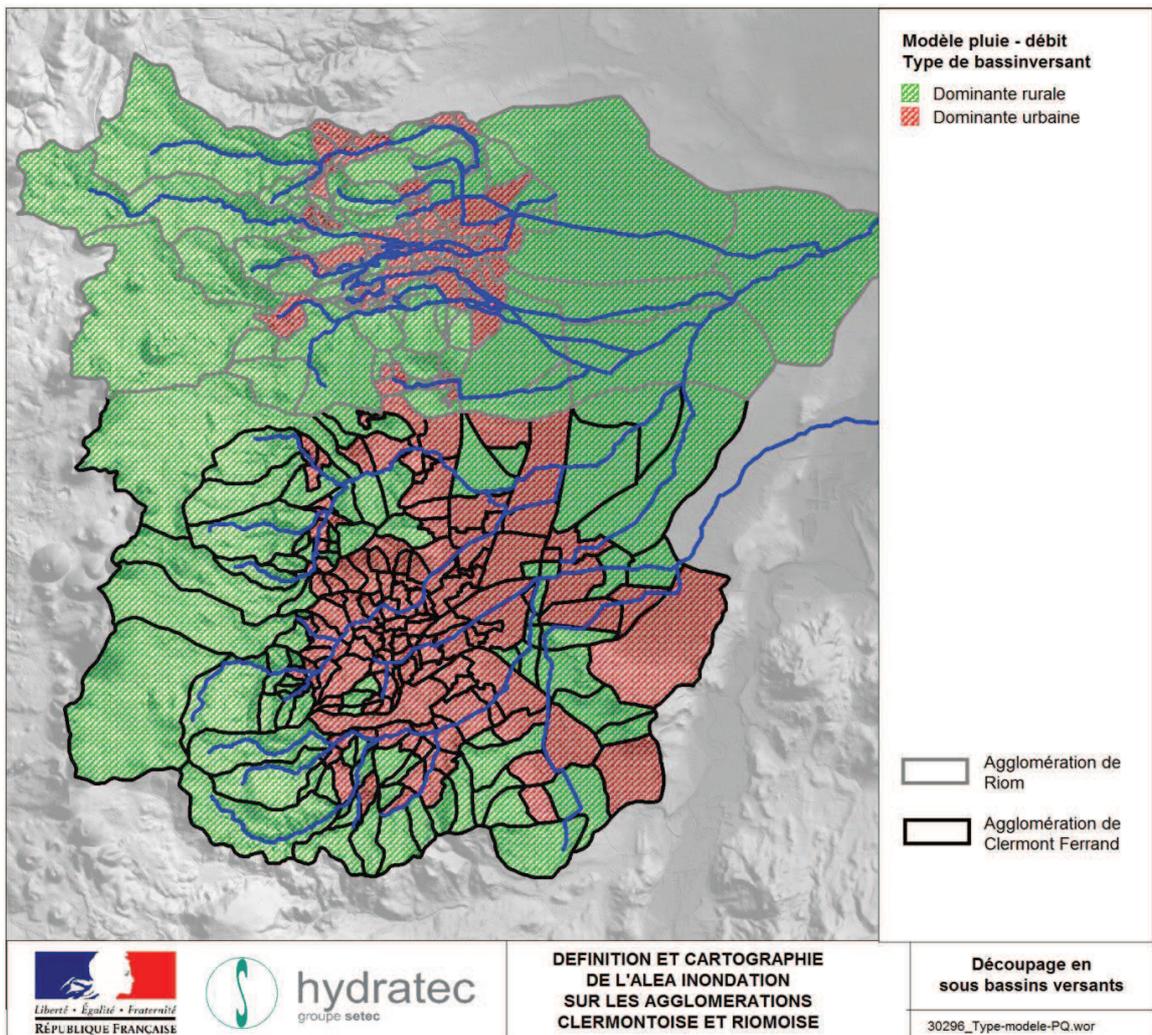


Figure 25 : typologie des sous bassins versants (dominante urbaine ou rurale)

Les paramètres physiques régissant les phénomènes de production de débit ont été analysés et cartographiés afin d'orienter le découpage en sous bassins versants constituant le modèle pluie-débit et l'extrapolation des débits caractéristiques de crue sur les cours d'eau non jaugés, à partir des données suivantes :

- topographie et pentes : MNT CRAIG,
- géologie (cartes BRGM au 1/50000ème) et hydrogéologie (carte BRGM au 1/1000000ème), cf.2.2.3,
- densité du chevelu hydrographique,
- occupation du sol : base de données Corine Land Cover (cf. 2.4).

Plusieurs échelles de sous bassins versants sont définies :

- têtes de bassins versants des cours d'eau modélisés,
- sous bassins versants correspondant aux apports intermédiaires des cours d'eau modélisés hors secteurs urbains denses.

7.2 SPATIALISATION ET PONDERATION DES PLUIES

A l'échelle d'un bassin versant, un événement pluviométrique réel n'est jamais totalement homogène : certains secteurs sont touchés par des cumuls plus importants que d'autres. Cette hétérogénéité peut être liée à des facteurs géographiques (rôle du relief dans les précipitations océaniques par exemple) ou liée à des phénomènes plus complexes ou aléatoires (cellules orageuses).

Cette hétérogénéité doit être prise en compte dans le modèle pluie débit pour tenir compte des cumuls pluviométriques effectivement drainés par chacun des sous bassins versants.

7.2.1 Evénements postérieurs à 1997

Pour les événements pour lesquels les données sont disponibles sous ce format, les pluies sont intégrées sous forme de grilles radar.

Les grilles radar donnent une estimation des cumuls pluviométriques à l'échelle de « pixels » d'une superficie d'1 km² sur différents pas de temps.

7.2.2 Evénements antérieurs à 1997

Pour les événements antérieurs à la mise en service des radars, les données pluviométriques sont connues au droit des postes pluviométriques, soit 4 points de mesure sur le secteur d'étude si nous ne considérons que le réseau de Météo France. Ces données sont extrapolées à l'échelle des bassins versants étudiés.

L'affectation de lames d'eau à chaque sous bassin versant à partir des données enregistrées aux postes pluviométriques est effectuée à l'aide du logiciel Plumake, développé par Hydratec.

Chaque sous bassin versant est découpé en zones élémentaires auxquelles sont affectées un coefficient de pondération, proportionnel au cumul de pluviométrie journalière décennale fourni par les données SHYREG. Pour chaque zone élémentaire, on calcule une lame d'eau par moyenne sur les pluviomètres valides (chronique de

données validées par le gestionnaire, présentant peu ou pas de lacunes) situés à l'intérieur de cette zone ; si en un instant donné tous les pluviomètres présentent une lacune, alors, pour cet instant, on recherche le pluviomètre le plus proche du centre de gravité de la zone avec une valeur valide.

Si une zone élémentaire ne contient pas de pluviomètre valide, le pluviomètre le plus proche de son centre de gravité est recherché. La contribution de cette zone élémentaire est alors corrigée par le rapport entre le coefficient de pondération K_i qui lui est affecté et le coefficient de pondération K_j de celle où se trouve la station pluviométrique valide utilisée.

La pluie obtenue sur chaque zone élémentaire est pondérée par la surface de celle-ci. La pluie pour chaque bassin versant élémentaire est ainsi calculée par :

$$H_{BV} = \frac{\sum_i \alpha_i \cdot S_i \cdot H_i}{\sum_i \alpha_i \cdot S_i}$$

avec :

- $H(i)$: hauteur donnée pour le pluviomètre i ,
- $S(i)$: aire de la zone à laquelle est affectée le pluviomètre,
- $\alpha(i)$: coefficient de pondération.

7.3 MODELISATION PLUIE BRUTE - DEBIT

La pluie brute correspond à la pluie interceptant le sol. Une partie de cette pluie s'évapore, et une autre s'infiltré dans les couches de sol sans revenir au cours d'eau ; la fraction de pluie restante, qui « ruisselle » vers les cours d'eau, est appelée pluie nette.

Pour la transformation pluie brute – débit, des formulations spécifiques seront utilisées pour les bassins versant ruraux et les bassins versants urbains.

7.3.1 Sous bassins versants ruraux

a) Définition de la pluie nette

La loi de production de pluie nette employée est dérivée de la méthode SCS (Soil Conservation Service). Le schéma conceptuel de ce modèle est présenté figure 1.

Dans ce modèle, le sol est décomposé en deux couches superposées :

- la réserve facilement utilisable (RFU),
- la couche de sol intermédiaire (J),

La RFU est la couche de sol directement alimentée par la pluie brute (données journalières mesurées par Météo France) et qui se vidange par évapotranspiration (ETP). En cas de saturation, l'excédent rejoint la couche de sol intermédiaire.

Les valeurs de l'ETP qui ont été prises sont celles définies par défaut dans le modèle de simulation et qui correspondent à des moyennes interannuelles.

La couche de sol intermédiaire, alimentée par l'excédent de la couche RFU, se vidange par ressuyage, par ruissellement, et aussi par pertes vers les couches profondes.

L'hypothèse fondamentale consiste à supposer que la couche de sol intermédiaire se comporte comme une « éponge » dont le taux d'absorption varie en sens inverse du niveau d'imbibition : la partie non absorbée ruisselle. Par ailleurs, en l'absence de précipitation, le ressuyage du sol se fait lentement. Le débit de ressuyage est supposé proportionnel à la hauteur de lame d'eau accumulée dans le sol.

Ce modèle est défini par 5 paramètres :

- RFU : hauteur de la réserve facilement utilisable exprimée en mm.
- J : hauteur d'interception potentielle du sol en mm.
- K : temps de réponse du bassin au ruissellement, en jours.
- Tr : temps de réponse du bassin au ressuyage, en jours.
- fo : perte par infiltration vers les couches profondes en mm/j.

Ce modèle conceptuel a été construit initialement pour les sols peu perméables. L'expérience montre cependant qu'il peut également être applicable au cas de sol très perméables : on supprime le ruissellement en donnant une grande valeur à J et on règle Tr pour obtenir le coefficient de restitution désiré de la nappe lorsqu'elle est en état de surcharge par les apports pluvieux.

b) Transformation lame d'eau nette – débit :

La lame d'eau ruisselée Pr est décomposée en deux parties :

- un ruissellement rapide Pruis1,
- un ruissellement lent Pruis2.

Le ruissellement rapide est un ruissellement de surface provoqué par la saturation locale du sol : il mobilise une surface croissante avec le taux moyen de saturation du sol J_t/J_0 (avec J_t hauteur d'interception disponible à l'instant t et J_0 la hauteur d'interception potentielle initiale).

Le ruissellement lent est un écoulement de drainage à travers le sol : c'est l'écoulement dominant quand le sol est peu saturé.

Pour traduire ce phénomène, on pose :

- Pruis1 = $\alpha \times Pr$
- Pruis2 = $(1 - \alpha) \times Pr$

Le coefficient alpha obéit à une loi de la forme : $\alpha = (J/J_0)^{\beta}$, ou β est un paramètre d'ajustement à caler. La forme de cette loi est justifiée par le fait quand le sol est faiblement saturé les écoulements en subsurface dominant, et quand le sol devient saturé c'est le ruissellement en surface qui domine. Cette formulation rejoint le concept de « surfaces contributives » qui est à la base de la formulation développée dans TOPMODEL (Beven et al. , 1995).

La transformation retenue pour traduire le ruissellement rapide est celle de l'hydrogramme unitaire. Cette méthode consiste à transformer chaque élément de

ruissellement potentiel en un hydrogramme élémentaire et à sommer les différents hydrogrammes pour obtenir l'hydrogramme de crue.

L'hydrogramme unitaire ici retenu est celui proposé dans la méthode SOCOSE. La méthode SOCOSE est le résultat, obtenu en 1980, d'une synthèse nationale de l'observation de près de 5000 crues sur 137 petits bassins versants en milieu rural, réalisée par le ministère de l'agriculture.

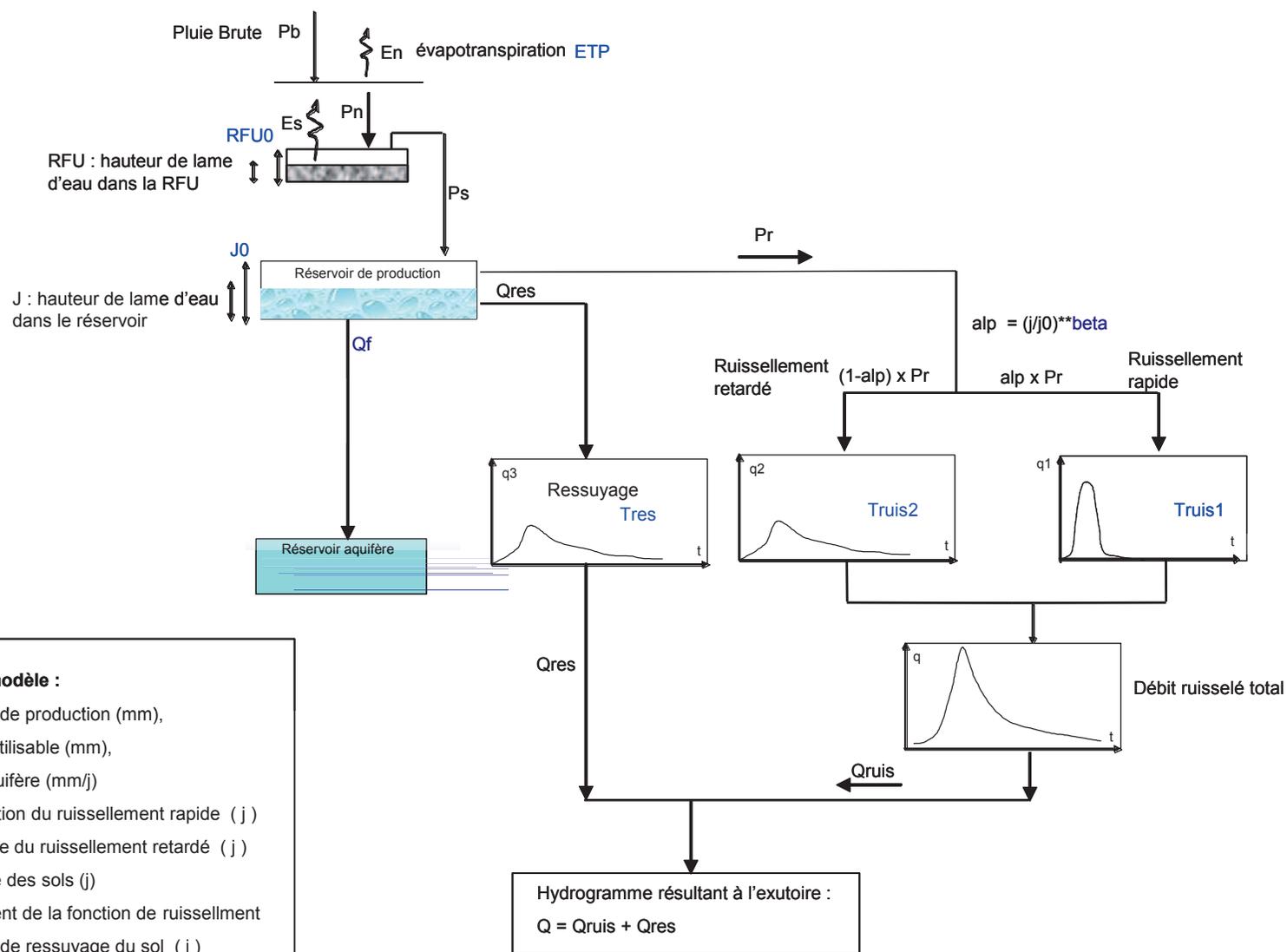
Le ruissellement lent est gouverné par une loi de réservoir linéaire de la forme :

- $Q_{ruis2} = h_2 / T_{ruis2}$
- $dh_2 / dt = P_{ruis2} - Q_{ruis2}$

Pour les événements impliquant des durées de pluies longues (hors orages), la modélisation hydrologique commence au 1^{er} septembre précédent la crue pour tenir compte de l'état de saturation des sols au moment de la crue. En début de modélisation, les hauteurs d'eau dans les couches de sol représentées par le modèle sont initialisées par défaut à 0 (taux de saturation des sols nul).

Dans le cadre de la présente étude, les événements de calage et de validation des modèles sont simulés en événementiel, sans prise en compte de l'état de saturation des sols préalable au passage de l'événement pluvieux étudié. Certains événements présentent une succession de plusieurs séquences pluvieuses intenses rapprochées (écarts inférieurs à 48 heures) ; dans ce cas, la simulation est faite en continu sur l'ensemble de ces séquences afin d'intégrer l'évolution de la saturation des sols au cours de l'événement.

Figure 26 : schéma conceptuel du modèle pluie - débit retenu



Paramètres de calage du modèle :

- J0 : capacité du réservoir de production (mm),
- RFU : Réserve facilement utilisable (mm),
- Qf : débit de fuite vers aquifère (mm/j)
- Truis1 : temps de concentration du ruissellement rapide (j)
- Truis2 : temps caractéristique du ruissellement retardé (j)
- Tres : temps de ressuyage des sols (j)
- beta : coefficient d'ajustement de la fonction de ruissellement
- Tres : temps caractéristique de ressuyage du sol (j)

7.3.2 Sous bassins versants urbains :

a) Définition de la pluie nette : loi de Horner,

Cette loi permet de représenter un coefficient de ruissellement de plus en plus important lorsque l'intensité de l'événement pluvieux croît ; pour un événement très intense, le coefficient de ruissellement tendra vers le coefficient d'imperméabilisation.

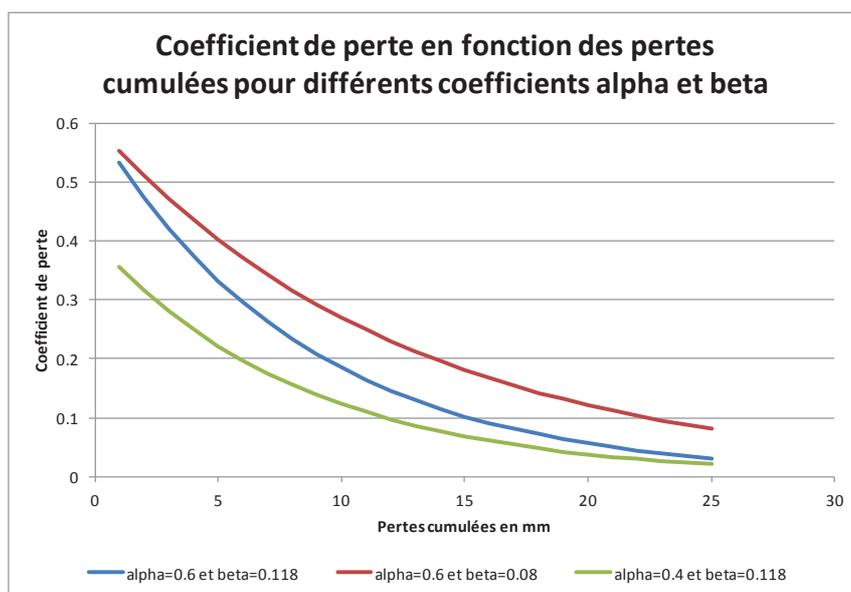
L'évolution au cours du temps des pertes liées au taux d'imperméabilisation constaté à la surface du bassin versant, s'écrit, suivant la formule de Horner :

$$C_p(t) = \alpha * \exp(-\beta * P_a(t))$$

Avec $C_p(t)$: Coefficient de perte durant un pas de temps dt

$P_a(t)$: pertes cumulées depuis le début de l'averse (mm)

α et β sont les paramètres de calage du modèle. Le coefficient α exprime les pertes globales au début de l'averse (évapotranspiration et infiltration), alors que β module ce coefficient de perte au cours du temps (en fonction des pertes cumulées). Le graphique présenté ci-après permet de visualiser l'influence des coefficients α et β .



La lame d'eau qui ruisselle $Q_e(t)$ est liée à l'intensité de la pluie $i(t)$ et au coefficient de perte C_p par l'expression :

$$Q_e(t) = C_{imp} * S * (1 - C_p) * i(t) * \frac{1}{360}$$

Avec, $Q_e(t)$: exprimé en m^3/s

C_{imp} : Coefficient d'imperméabilisation

$i(t)$: Intensité de la pluie en mm/h

S : Surface du bassin versant en ha

b) Transformation lame d'eau nette – débit

La schématisation retenue est de type réservoir linéaire, avec un temps de réponse calculé suivant la formulation de Desbordes. La méthode du réservoir linéaire considère chaque bassin versant comme un réservoir qui temporise l'arrivée des pluies pour en restituer du débit tout en conservant le volume ; cette temporisation suit une loi linéaire. La formulation proposée par Desbordes pour le calcul du temps de réponse a été validée sur des mesures expérimentales.

7.4 CALAGE DES MODELES PLUIE - DEBIT

7.4.1 Méthodologie

Le calage est mené sur les crues pour lesquels des éléments d'observation ont pu être recueillis.

Aucun repère de crue n'étant disponible pour les événements reconstitués, le calage est uniquement réalisé sur les enregistrements des stations hydrométriques et limnimétriques :

- enregistrements limnigraphiques et hydrogrammes associés au droit des stations DREAL,
- enregistrements limnigraphiques effectués sur les réseaux d'assainissement de Clermont Communauté et au droit des stations anciennement gérées par le SIAEC.

Ces stations drainent plusieurs sous bassins-versants constituant le modèle pluie - débit, les apports de ces différents bassins versants étant propagés vers l'aval via les modèles hydrauliques qui assurent une représentation détaillée des cours d'eau.

La phase de calage est donc menée globalement, sur les modèles pluie - débit et sur les modèles hydrauliques.

Les modèles sont calés sur plusieurs crues de différentes intensités.

7.4.2 Définition des paramètres de calage

a) Définition des paramètres de calage pour les bassins versants ruraux :

Les variables de calage de la méthode SCS sont :

- la hauteur d'interception potentielle J (mm),
- les temps de réponse au ruissellement direct et au ressuyage.

Ces deux variables dépendent principalement de trois paramètres :

- la topologie du sous-bassin,
- la nature des terrains (cf. géologie à l'échelle des sous bassins versants),
- l'occupation du sol (Corine Land Cover).

Le **temps de réponse** au ruissellement direct est calculé par différentes formules classiques (SOCCOSE, Turaaza, Ventura, Passini, Giandotti), intégrant la pente et la morphologie de chacun des sous bassins versants, puis calibré au droit des stations de mesures sur des événements historiques ; cette méthode permet d'extrapoler les valeurs sur les bassins versants non jaugés. **La formulation de Ventura a été retenue à l'issue de la phase de calage**, par comparaison entre les temps de réponse calculés et observés aux points de mesure.

La définition de la **hauteur d'interception potentielle J** s'appuie sur les abaques de l'USDA Soil Conservation Service pour la définition du Curve Number (CN). Deux paramètres sont retenus, pour des conditions initiales de sols peu saturées :

- L'occupation du sol (cultures, prairies, bois, secteurs urbains),
- La capacité d'infiltration du sol définie par 4 catégories, présentées des plus faibles aux plus fortes capacités de production de ruissellement (sols de groupes A à D) :

Les valeurs de CN associées à chacune de ces conditions d'occupation du sol et de capacité d'infiltration sont données dans le tableau ci-après.

Occupation du sol	Catégories de sol			
	A	B	C	D
Cultures	67	78	85	89
Prairies	39	61	74	80
Bois	25	55	70	77
Zones urbaines	74	84	90	92

La hauteur d'interception potentielle J est liée au Curve Number par la formule suivante :

$$J = 25.4 * (1000/CN - 10) \text{ avec } J \text{ en mm}$$

Ce paramétrage est ajusté sur des événements historiques au droit des stations hydrométriques.

La phase de calage a amené à conserver les valeurs de J ainsi obtenues.

La caractérisation du type de sol est issue de la synthèse géologique présentée au paragraphe 2.2.3 :

- sols de type A (très perméables) : formations basaltiques quaternaires et projections scoriacées des cônes volcaniques,
- sols de type B (perméables) : alluvions quaternaires,
- sols de type C (peu perméables) : faciès argilo-calcaires et marneux constitutifs des pieds de versant et de la Limagne,
- sols de type D (imperméables) : granites.

La RFU a été fixée à 60 mm à l'issue de la phase de calage. Ce paramètre conditionne le début de production des bassins versants ruraux, nettement perceptible sur les mesures disponibles. L'exploitation d'événements présentant une succession de plusieurs pics de pluviométrie (juillet 2009 et août 2013 notamment), pour lesquels la saturation des

couches de sol superficielles par les premières pointes de pluviométrie conditionne le ruissellement généré par les pointes de pluviométrie suivantes, a permis de bien caler ce paramètres.

b) Définition des paramètres de calage pour les bassins versants urbains :

Les valeurs des coefficients d'imperméabilisation par type d'occupation du sol sont issues de la bibliographie. Un descriptif détaillé de l'occupation du sol est effectué au préalable, sur la base des orthophotoplans (cf. 2.2).

La table de correspondance entre typologie d'occupation du sol et coefficient d'imperméabilisation suivante est appliquée :

- les secteurs urbanisés :
 - centres urbains denses : 0,9
 - habitat pavillonnaire dense : 0,6
 - habitat pavillonnaire peu dense : 0,4
 - zones commerciales, industrielles ou artisanales : 0,9
 - zones urbaines fortement imperméabilisées : 0,9
- les secteurs de cultures : 0,2
- les secteurs de prairies et zones naturelles non boisées : 0,1
- les zones boisées : 0,05
- les zones en eau : 0,9

c) Extrapolation des paramètres de calage aux affluents non jaugés

Les paramètres des modèles pluie - débit calés sont extrapolés aux bassins versants non jaugés.

7.4.3 Evénements retenus

Le calage est réalisé sur 5 événements permettant de couvrir l'ensemble des bassins versants du secteur d'étude :

Date	Enregistrement d'un débit maxima annuel	Arrêté de catastrophe naturelle
04/06/2007	Ambène à Ennezat (28 m ³ /s)	Ennezat
11/09/2008	Artière à Aulnat (48 m ³ /s)	
14/07/2009	Artière à Aulnat (41 m ³ /s)	
17/06/2010	Bédât à Cébazat et St Laure (9 m ³ /s et 33 m ³ /s)	Gerzat, Chateaugay
06/08/2013	Ensemble du territoire : 34 m ³ /s sur l'Artière à Aulnat, 31 m ³ /s sur l'Ambène à Ennezat, 9 m ³ /s sur le Bédât à Cébazat, 49 m ³ /s sur le Bédât à Saint Laure.	

7.4.4 Données pluviométriques

a) Introduction

Météo-France met à disposition des lames d'eau au pas de temps 5 minutes, obtenues par recalage au sol des données de réflectivité brute du radar de Sembadel (données Panthère, cf. 3.3.4).

Le secteur d'étude étant en limite de portée du radar, les données présentent de fortes incertitudes.

Sont présentées ci-après les comparaisons faites entre les cumuls issus de l'imagerie radar d'une part, et ceux mesurés au sol au droit des stations Météo France et des stations gérées par Clermont Communauté.

Les résultats sont synthétisés dans les pages suivantes sur la base des cumuls journaliers, dans un tableau d'une part, et sur un support cartographique rappelant la répartition de la pluviométrie fournie par l'imagerie radar.

L'annexe 6 présente le détail des *hyétoigrammes** mesurés au pas de temps 1 heure.

Les données radar sont corrigées par un coefficient multiplicateur calculé pour chacun des épisodes pluvieux au droit des postes de mesure au sol (écarts entre le cumul radar et le cumul mesuré au sol sur la totalité de l'épisode). Le coefficient de correction est interpolé linéairement entre ces points ; sur les bords extérieurs du domaine d'étude, ce coefficient est défini comme étant égal au coefficient de correction moyen calculé sur l'ensemble des postes.

Ces valeurs corrigées sont injectées dans le modèle pluie-débit, au pas de temps 15 minutes.

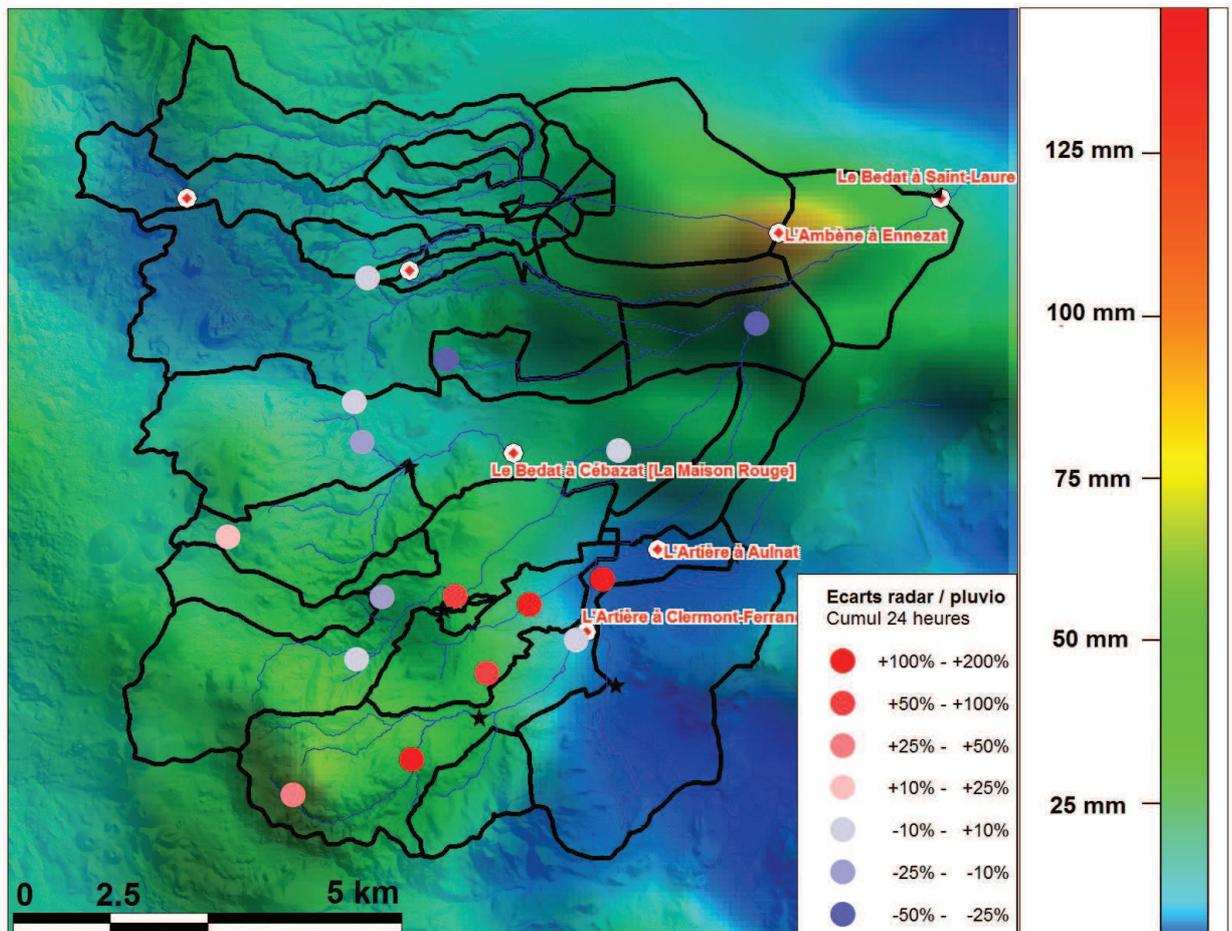
b) Événement du 4 juin 2007

Cet événement présente deux épïcèntres, l'un situè sur la tête de bassin versant de l'Artière, et l'autre, plus marqué, dans la plaine de Limagne à l'est de Riom sur le cours aval de l'Ambène.

Les cumuls radar sont très nettement surestimés sur l'ensemble des bassins versants de l'Artière et de la Tiretaine sud.

Ils sont en revanche sous-estimés au sud de Riom, à Chateaugay et Chappes et sont globalement bien estimés sur le Bédât.

Poste	Bassin versant	Pluvio	Radar	Ecart
Saint Genes Champanelle	Artière	41	55.5	35%
Ceyrat	Artière amont	17.6	42.0	139%
Pourliat	Artière amont	-	35.0	-
Crouel	Artière inter.	7	6.8	-3%
Bec	Artière / Bec aval	-	6.3	-
Clermont Ferrand Aulnat	Artière aval	2.4	5.4	124%
Royat	Tiretaine Nord	25.2	26.1	3%
Farnette	Tiretaine Nord	39.2	34.6	-12%
3 Ponts	Tiretaine Nord	22.6	41.5	84%
Herbet	Tiretaine Sud	7	18.1	159%
Saint Jacques	Tiretaine Sud	18.2	28.1	54%
Orcines	Bedat amont	14.8	16.7	13%
Sayat	Bedat amont	10.4	9.6	-7%
Sayat	Bédât amont	14.2	11.3	-21%
Blanzat	Bédât amont	-	13.7	-
Bedat	Bédât inter.	25	26.1	4%
Chappes	Bedat aval	124	64.9	-48%
Volvic	Mirabel	12	11.4	-5%
Chateaugay	Rif	21.6	11.7	-46%



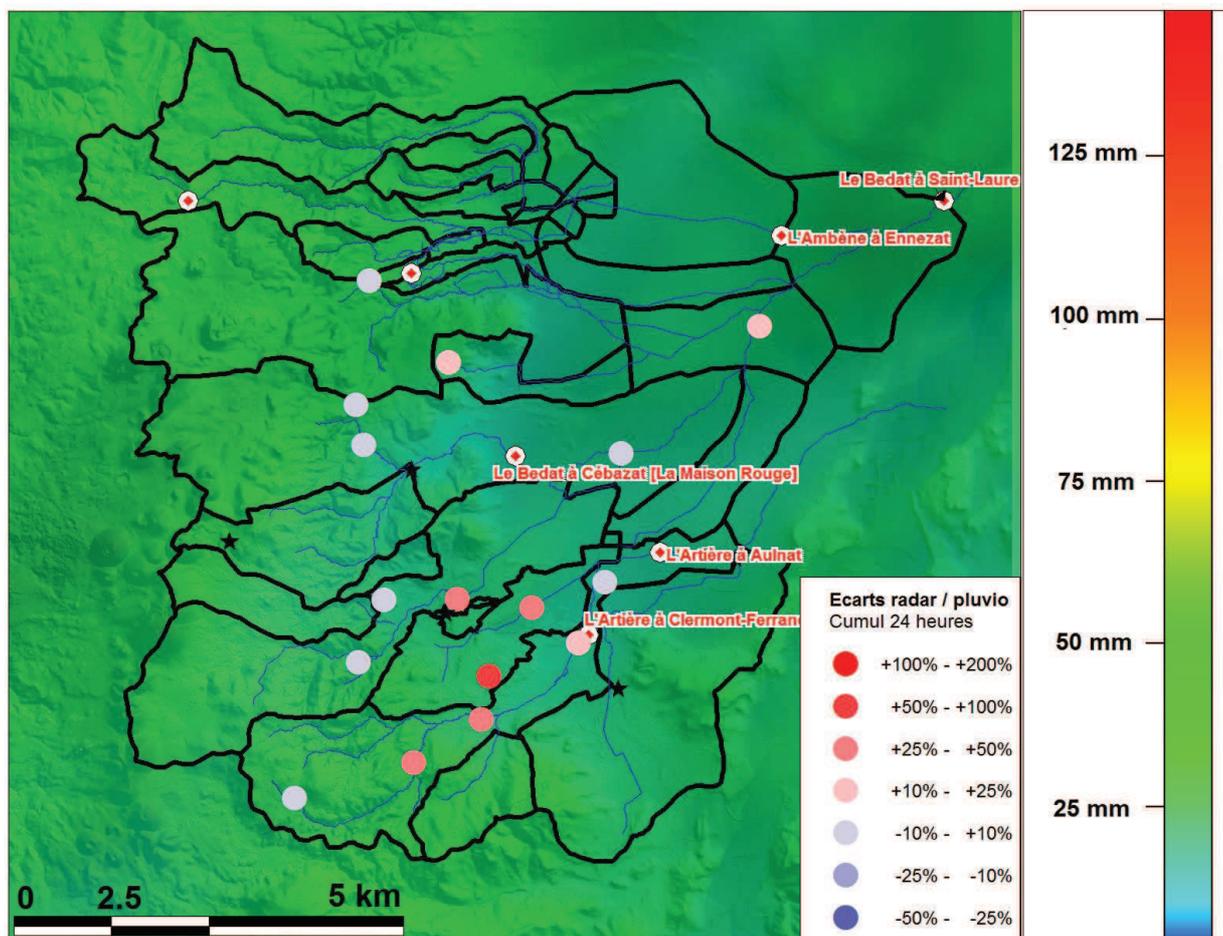
c) Événements des 13 et 14 juillet 2009

Deux événements se sont succédés, les 13 et 14 juillet 2009.

L'événement du 13 juillet présente une pluviométrie relativement homogène à l'échelle des bassins versants étudiés ; les cumuls maximums sont enregistrés sur la Tiretaine nord et le Bédât..

Les cumuls radar sont globalement sur-estimés sur l'ensemble du territoire, à l'exception du bassin versant du Bédât où les cumuls sont bien estimés.

Poste	Bassin versant	Pluvio	Radar	Ecart
Saint Genes Champanelle	Artière	22.8	23.6	3%
Ceyrat	Artière amont	18	24.8	38%
Pourliat	Artière amont	16	23.0	44%
Crouel	Artière inter.	19	22.0	16%
Bec	Artière / Bec aval	-	26.1	-
Clermont Ferrand Aulnat	Artière aval	20.6	21.1	2%
Royat	Tiretaine Nord	19.6	20.6	5%
Farnette	Tiretaine Nord	17	18.0	6%
3 Ponts	Tiretaine Nord	20	25.4	27%
Herbet	Tiretaine Sud	16.2	22.6	40%
Saint Jacques	Tiretaine Sud	13.6	22.4	65%
Orcines	Bedat amont	26	26.1	0%
Sayat	Bedat amont	23.8	23.4	-2%
Sayat	Bédât amont	21.6	20.6	-5%
Blanzat	Bédât amont	17.6	17.6	0%
Bedat	Bédât inter.	-	23.9	-
Chappes	Bedat aval	27.4	32.3	18%
Volvic	Mirabel	35	33.4	-5%
Chateaugay	Rif	16.2	19.7	22%

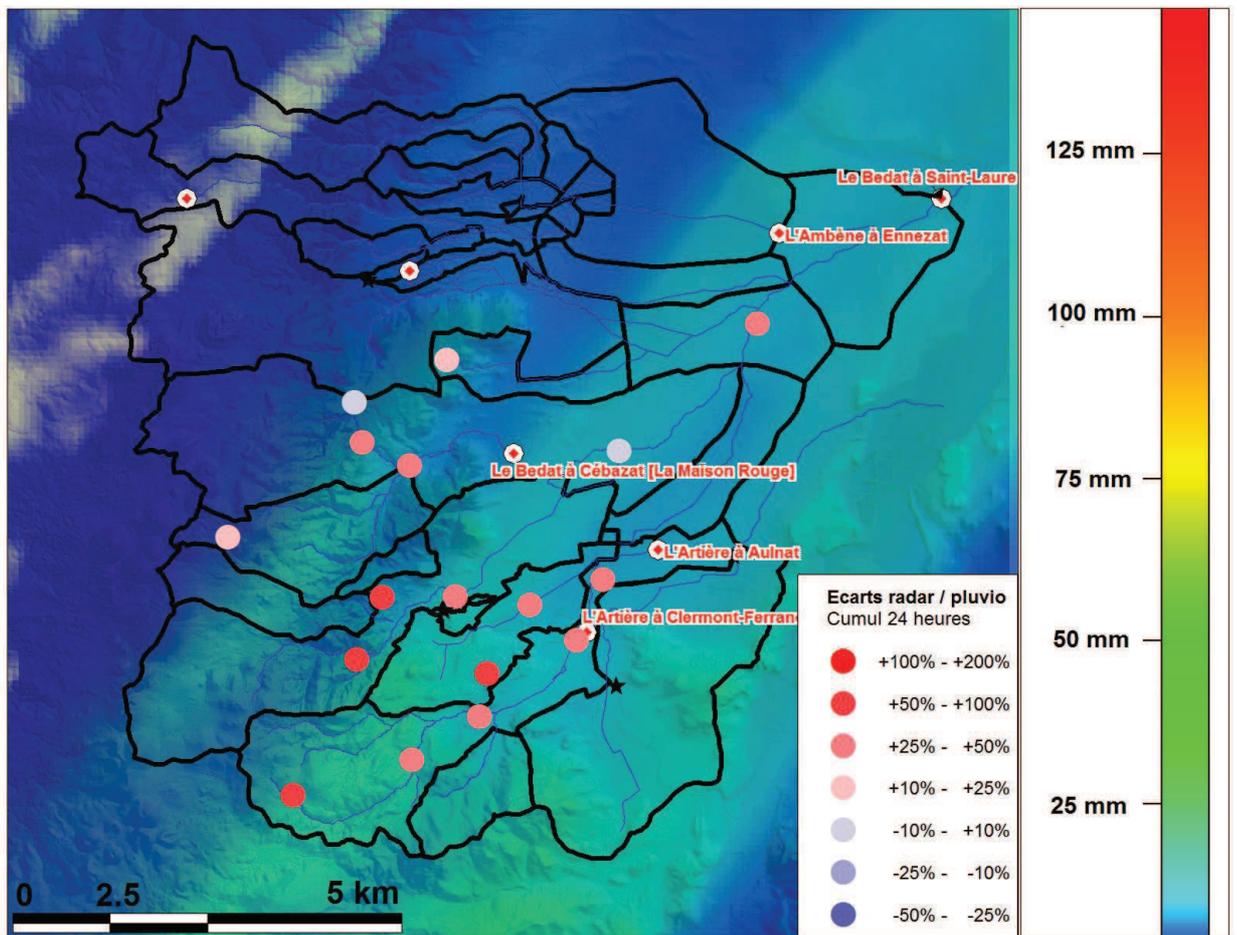


Les cumuls enregistrés le 14 juillet sont moins importants que lors de l'événement du 13 juillet.

Les précipitations ont été plus soutenues sur l'agglomération clermontoise.

Les cumuls radar sont fortement sous-estimés sur l'ensemble du territoire.

Poste	Bassin versant	Pluvio	Radar	Ecart
Saint Genes Champanelle	Artière	23.2	9.3	-60%
Ceyrat	Artière amont	20.2	10.3	-49%
Pourliat	Artière amont	14.8	9.0	-39%
Crouel	Artière inter.	15.6	9.7	-38%
Bec	Artière / Bec aval	-	11.0	-
Clermont Ferrand Aulnat	Artière aval	16.8	9.0	-46%
Royat	Tiretaine Nord	13.2	6.1	-54%
Farnette	Tiretaine Nord	15	5.7	-62%
3 Ponts	Tiretaine Nord	22	11.5	-48%
Herbet	Tiretaine Sud	17.8	9.3	-47%
Saint Jacques	Tiretaine Sud	-	9.3	-
Orcines	Bedat amont	2.4	2.0	-18%
Sayat	Bedat amont	4.1	3.9	-5%
Sayat	Bédât amont	9.8	5.2	-47%
Blanzat	Bédât amont	11.8	6.9	-42%
Bedat	Bédât inter.	-	10.5	-
Chappes	Bedat aval	19.1	10.5	-45%
Volvic	Mirabel	2.1	2.1	0%
Chateaugay	Rif	9	7.0	-23%

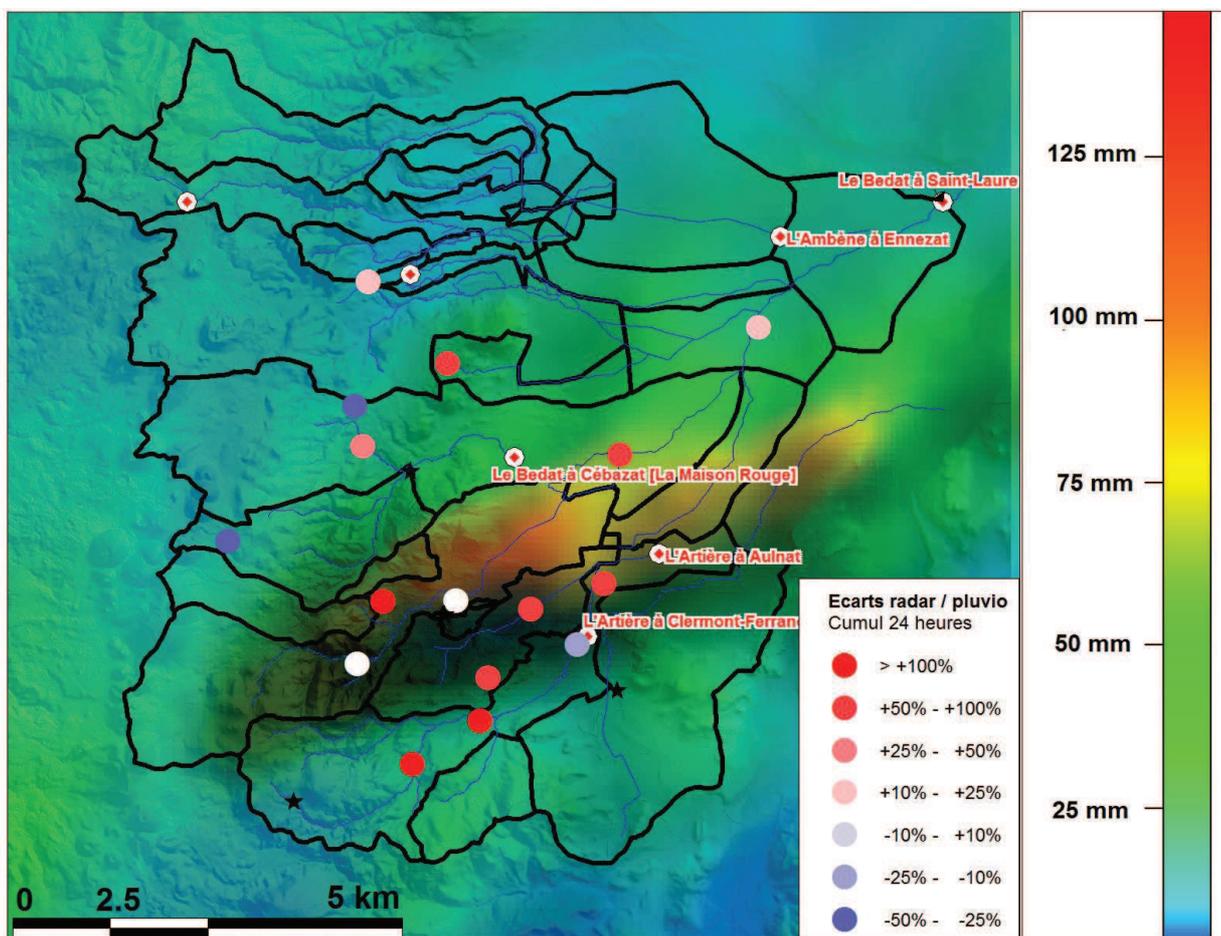


d) Evénement du 11 septembre 2008

Cet événement est marqué par un épocentre situé sur la Tiretaine nord, débordant au sud sur la Tiretaine sud et l'Artière aval, et au nord sur le Bédât intermédiaire.

Les cumuls sont très nettement sur-estimés sur l'Artière, les Tiretaine nord et sud ainsi que sur le Bédât intermédiaire.

Poste	Bassin versant	Pluvio	Radars	Ecart
Saint Genes Champanelle	Artière	-	7.6	-
Ceyrat	Artière amont	4.4	11.6	163%
Pourliat	Artière amont	7.6	17.4	-
Crouel	Artière inter.	33.4	27.3	-18%
Bec	Artière / Bec aval	-	53.1	-
Clermont Ferrand Aulnat	Artière aval	45	80.8	79%
Royat	Tiretaine Nord	18.8	88.7	372%
Farnette	Tiretaine Nord	31.4	85.8	173%
3 Ponts	Tiretaine Nord	26.8	116.8	336%
Herbet	Tiretaine Sud	43.2	71.3	65%
Saint Jacques	Tiretaine Sud	15	25.8	72%
Orcines	Bedat amont	17.4	9.6	-45%
Sayat	Bedat amont	14.9	9.6	-36%
Sayat	Bédât amont	8.4	11.3	35%
Blanzat	Bédât amont	-	26.0	-
Bedat	Bédât inter.	39.2	73.0	86%
Chappes	Bedat aval	21.3	25.7	20%
Volvic	Mirabel	6.5	7.9	22%
Chateaugay	Rif	10.8	18.2	69%

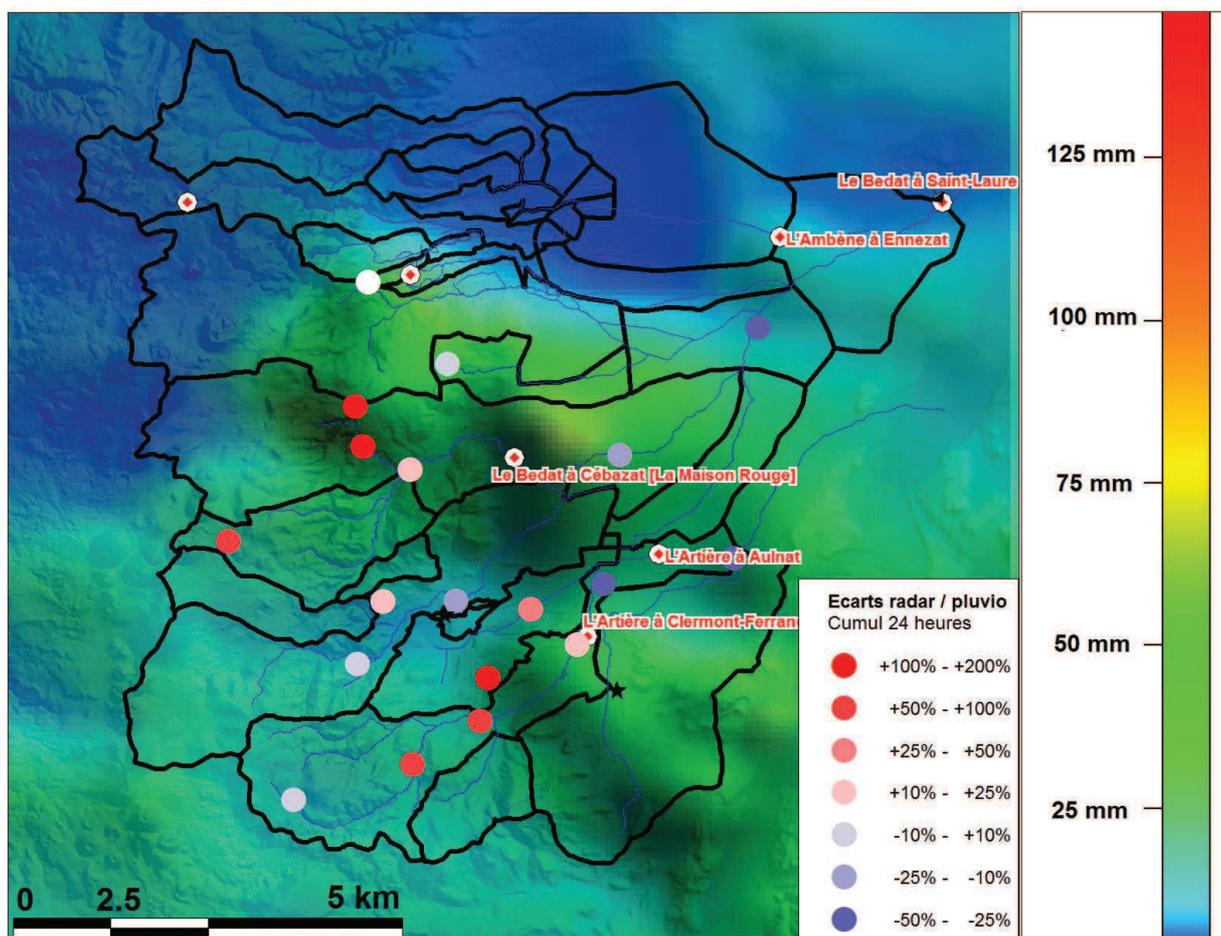


e) Événement du 17 juin 2010

Cet événement présente un épïcentre principal, situé sur le bassin intermédiaire du Bédât et le bassin versant du Rif.

Poste	Bassin versant	Pluvio	Radars	Ecart
Saint Genes Champanelle	Artière	9.5	8.9	-7%
Ceyrat	Artière amont	6.4	10.5	64%
Pourliat	Artière amont	9.6	14.5	51%
Crouel	Artière inter.	32	38.0	19%
Bec	Artière / Bec aval	43.8	32.5	-26%
Clermont Ferrand Aulnat	Artière aval	38.6	27.0	-30%
Royat	Tiretaine Nord	8.6	7.8	-9%
Farnette	Tiretaine Nord	8.2	9.0	10%
3 Ponts	Tiretaine Nord	13.8	10.4	-25%
Herbet	Tiretaine Sud	14.6	20.8	43%
Saint Jacques	Tiretaine Sud	8.6	22.5	162%
Orcines	Bedat amont	6.4	12.6	97%
Sayat	Bedat amont	21.4	47.2	121%
Sayat	Bédât amont	14.4	33.1	130%
Blanzat	Bédât amont	25.2	28.5	13%
Bedat	Bédât inter.	71	52.9	-25%
Chappes	Bedat aval	16.1	11.5	-29%
Volvic	Mirabel	11	34.5	214%
Chateaugay	Rif	41.2	39.4	-4%

Les cumuls sont sur-estimés sur l'Artière en amont du bassin de Crouël et sur le Bédât en amont des bassins de Blanzat.



f) Événements des 6 et 8 août 2013

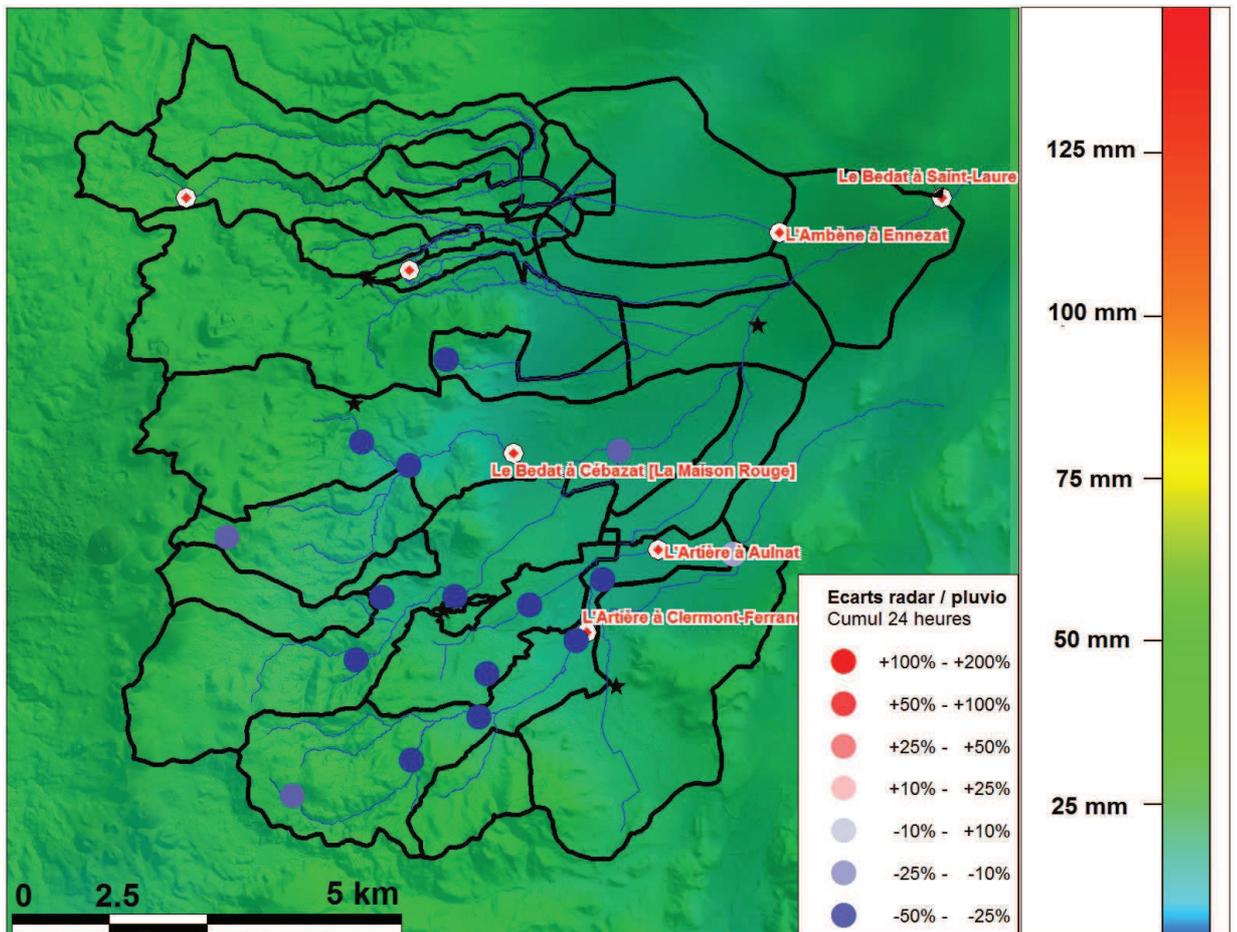
Deux événements se sont succédés, les 6 et 8 août 2013.

L'événement du 6 août présente une pluviométrie cumulée relativement homogène à l'échelle des bassins versants étudiés, avec des intensités de pointe très marquées. Les cumuls les plus forts sont enregistrés sur le cours intermédiaire de la Tiretaine et sur

Poste	Bassin versant	Pluvio	Radar	Ecart
Saint Genes Champanelle	Artière	46	23.5	-49%
Ceyrat	Artière amont	48	14.6	-70%
Pourliat	Artière amont	45.8	13.3	-71%
Crouel	Artière inter.	53.2	23.4	-56%
Bec	Artière / Bec aval	33	28.2	-15%
Clermont Ferrand Aulnat	Artière aval	51.6	23.1	-55%
Royat	Tiretaine Nord	66	27.4	-59%
Farnette	Tiretaine Nord	73.8	25.5	-65%
3 Ponts	Tiretaine Nord	32.8	14.7	-55%
Herbet	Tiretaine Sud	43.4	15.6	-64%
Saint Jacques	Tiretaine Sud	46.4	13.3	-71%
Orcines	Bedat amont	42.9	27.6	-36%
Sayat	Bedat amont	-	31.7	-
Sayat	Bédât amont	67.2	30.4	-55%
Blanzat	Bédât amont	68.6	27.1	-61%
Bedat	Bédât inter.	40	26.4	-34%
Chappes	Bedat aval	-	34.9	-
Volvic	Mirabel	-	29.2	-
Chateaugay	Rif	70.4	30.1	-57%

l'amont du bassin versant du Bédât.

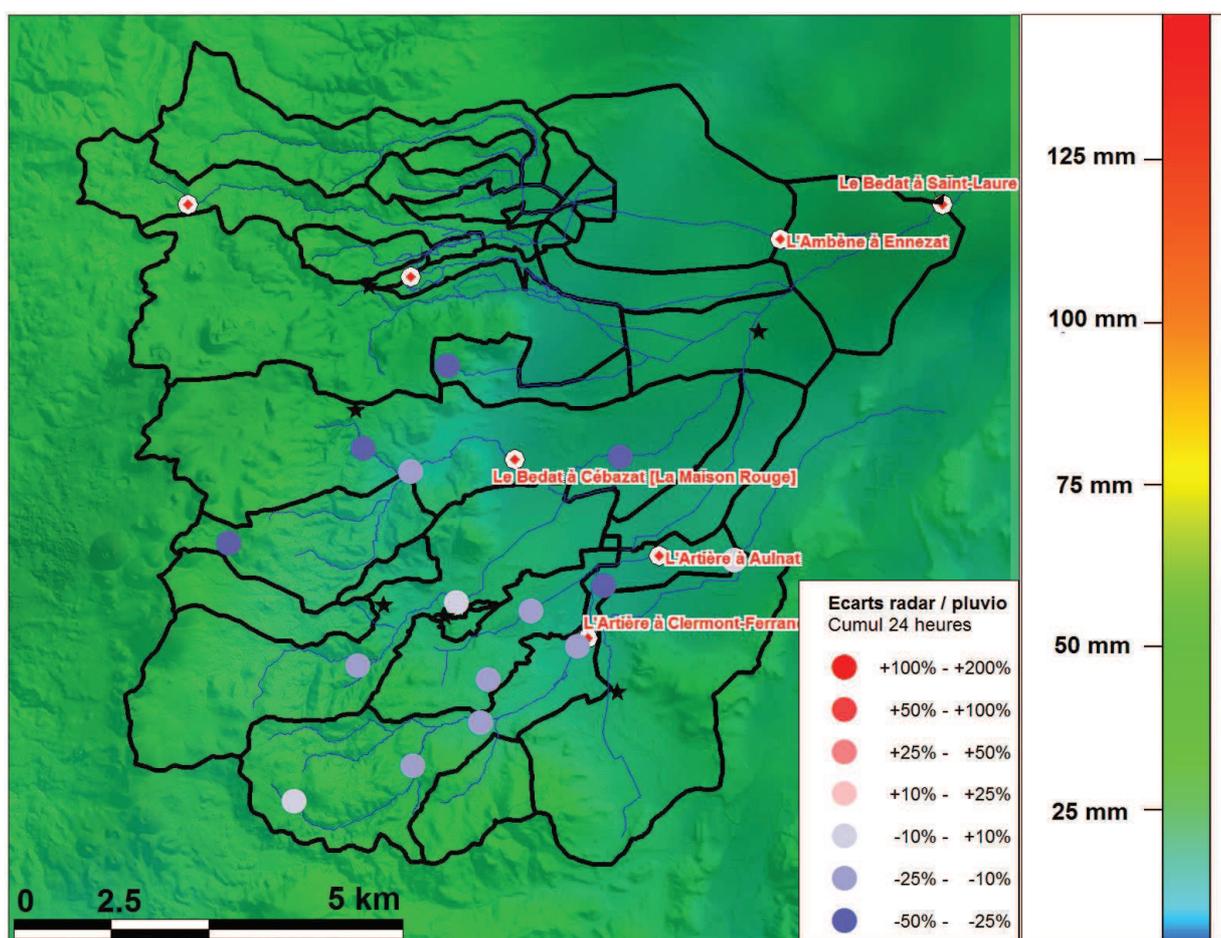
Les cumuls radar sont globalement fortement sous-estimés sur l'ensemble du territoire.



Les cumuls enregistrés le 8 août sont similaires à ceux de l'événement du 6 août, avec des intensités moindres.

Poste	Bassin versant	Pluvio	Radar	Ecart
Saint Genes Champanelle	Artière	58.5	53.1	-9%
Ceyrat	Artière amont	56.2	43.8	-22%
Pourliat	Artière amont	43.8	34.7	-21%
Crouel	Artière inter.	36.4	32.5	-11%
Bec	Artière / Bec aval	26	24.2	-7%
Clermont Ferrand Aulnat	Artière aval	52.2	37.6	-28%
Royat	Tiretaine Nord	47.4	41.6	-12%
Farnette	Tiretaine Nord	0	33.3	-
3 Ponts	Tiretaine Nord	29	29.8	3%
Herbet	Tiretaine Sud	38.4	31.6	-18%
Saint Jacques	Tiretaine Sud	41.2	32.8	-20%
Orcines	Bedat amont	49.9	36.5	-27%
Sayat	Bedat amont	-	42.1	-
Sayat	Bédât amont	57	39.9	-30%
Blanzat	Bédât amont	50.6	43.1	-15%
Bedat	Bédât inter.	48	35.4	-26%
Chappes	Bedat aval	-	47.2	-
Volvic	Mirabel	-	45.8	-
Chateaugay	Rif	75.8	40.8	-46%

Les cumuls radar sont également sous-estimés sur l'ensemble du territoire, les écarts avec les mesures au sol étant plus faibles.



Le cumul pluviométrique enregistré sur 48 heures présente une période de retour supérieure à 100 ans au droit des stations Météo-France (Clermont-Ferrand, Orcines et Chappes notamment).

La période de retour de cet événement pluviométrique estimée à Clermont-Ferrand est en revanche nettement plus faible sur 6 heures (durée de chacune des deux pointes), et sur 1 heure, comprise respectivement entre 10 à 20 ans et 2 à 5 ans.

Un record d'intensité a cependant été enregistré sur 6 minutes à Clermont-Ferrand (17,5mm le 6 août).

La figure ci-après rappelle les hyétogrammes mesurés aux stations pluviographiques de Clermont-Ferrand, Orcines et Saint Genès Champanelle (Météo-France).

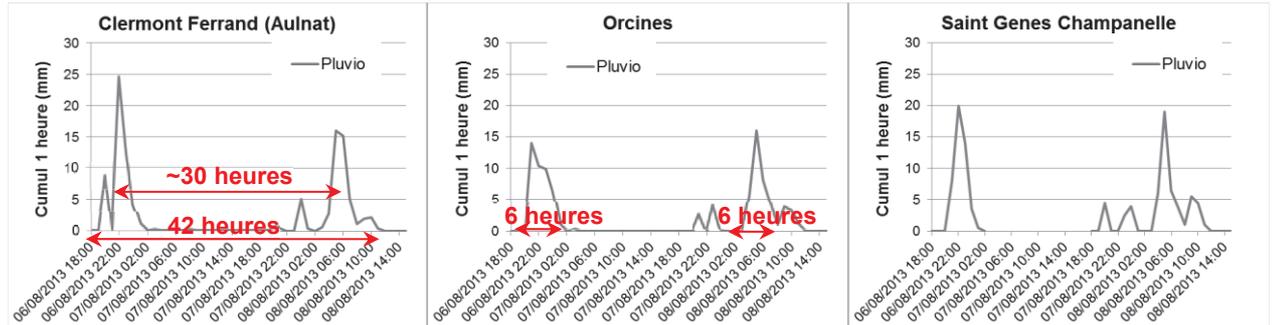


Figure 27 : événements des 6 et 8 août 2013, hyétogrammes mesurés aux stations pluviographiques de Clermont-Ferrand, Orcines et Saint Genès Champanelle (Météo-France)

Les crues générées par cet événement sont fortes mais ne sont pas exceptionnelles :

- Artière à Aulnat : ~5 ans (pointe du 06/08),
- Bédât à Cébazat : ~10 ans (pointe du 06/08),
- Ambène à Ennezat : entre 10 et 20 ans (pointe du 08/08),
- Bédât à Saint Laure : entre 10 et 20 ans (pointe du 08/08).

Les périodes de retour plus importantes observées le 8 août sur les stations aval (Ennezat et Saint Laure), alors que les cumuls de pluie et les intensités n'ont pas été supérieurs à ceux observés le 6 août, traduisent l'importance de la saturation des sols par la première pointe de pluie sur le ruissellement généré par la seconde.

7.4.5 Données hydrométriques et limnimétriques

Le calage est réalisé sur les données hydrométriques et limnimétriques disponibles, après propagation des hydrogrammes produits par le modèle pluie-débit dans le modèle hydraulique :

- Données hydrométriques : stations DREAL
 - L'Artière à Crouël,
 - L'Artière à Aulnat,
 - Lee Bédat à Cébazat,
 - L'Ambène à Ennezat,
 - Le Bédat à Saint Laure (modélisation hydraulique simplifiée sur les secteurs situés hors des communes sur lesquelles l'aléa est étudié).
- Données limnimétriques : stations Clermont Communauté
 - Tiretaine 3 ponts,
 - Tiretaine sud (collecteur souterrain, la mesure s'arrête à la cote de voûte ; les résultats de calcul présentent la hauteur piézométrique en cas de mise en charge),
 - Artière amont,
 - Gerzat,
 - Crouël amont (remplissage du bassin),
 - Crouël aval (exutoire bassin),
 - Pourliat amont (remplissage bassin amont),
 - Pourliat aval (remplissage bassin aval),
 - Blanzat (remplissage du bassin).

7.4.6 Synthèse des résultats

Les résultats sont présentés dans l'**annexe 8**. Ces résultats intègrent la propagation des apports hydrologiques calculés par le modèle pluie – débit via les modèles hydrauliques présentés dans un rapport spécifique. Cette annexe présente ainsi les résultats de calage :

- Sur les hydrogrammes mesurés au droit des stations DREAL,
- Sur les limnigrammes mesurés au droit des stations DREAL et de l'agglomération de Clermont Ferrand.

a) 4 juin 2007

Les volumes ruisselés sont globalement sous-estimés sur les têtes de bassins versants (faibles volumes de remplissage des bassins de Crouël et Pourliat par exemple) et sur la Limagne (Ambène à Ennezat), alors que les apports par ruissellements urbains sont en revanche bien approchés (Tiretaine sud).

Les écarts entre l'observation et les sorties du modèle peuvent être liés à un état de saturation des sols non pris en compte dans la modélisation. Cet événement est par ailleurs caractérisé par un épisode très intense et très localisé autour de la station hydrométrique d'Ennezat, dont les caractéristiques pluviométriques sont probablement mal estimées par l'imagerie radar, qu'aucune mesure au sol ne permet de recaler.

b) 11 septembre 2008

La modélisation reproduit globalement très fidèlement les volumes écoulés et la dynamique des écoulements. Seul l'hydrogramme du Bédât à Saint-Laure est surestimé (débit de pointe, avec 38 m³/s calculés pour 22 m³/s observés et volume).

c) 13 et 14 juillet 2009

La seconde pointe de l'événement est bien représentée par la modélisation sur l'ensemble des stations hydrométriques. En revanche, la première pointe n'est pas assez marquée, notamment sur Clermont Communauté ; ces écarts sont probablement dus à une mauvaise représentation de la pluie sur ce secteur (écarts des données radar et des mesures au sol très hétérogènes entre les différents postes pluviographiques).

Le fonctionnement du bassin du Pourliat tel qu'il est modélisé ne semble pas correspondre au fonctionnement observé, le modèle ayant tendance à sous-estimer le volume stocké dans le bassin amont et à surestimer celui stocké dans les bassins intermédiaire et aval.

Cet événement est marqué par deux épisodes pluvieux successifs. La modélisation hydrologique de la seconde pointe indépendamment de la première amène à des résultats très en deçà des mesures, traduisant le rôle de la saturation des sols induit par la première pointe dans la genèse du ruissellement produit par le second épisode pluvieux.

d) 17 juin 2010

Nous ne disposons pas des mesures sur le réseau de Clermont Communauté ; seules les données des stations DREAL sont exploitées.

Cet événement survient alors que l'Artière, le Bédât et l'Ambène présentent un débit de base relativement soutenu, non modélisé.

Les débits modélisés sont très proches de ceux observés sur l'ensemble des stations hydrométriques, au débit de base près (surestimation du débit de base compris entre 2 et 5 m³/s sur les différents cours d'eau).

e) 6 et 8 août 2013

Comme pour l'événement du 14 juillet 2009, celui-ci est marqué par la succession de deux épisodes pluvieux très soutenus (environ 50 mm en 6 heures pour chacun d'entre eux) séparés d'une trentaine d'heures. Le premier épisode présente des intensités beaucoup plus marquées que le second.

La modélisation apporte un léger surplus de volume sur la seconde pointe, issu des têtes de bassin versant.

Sur la première pointe, les débits générés sont en quasi-totalité issus des bassins versants urbanisés, les bassins ruraux ne produisant pas. Elle entraîne cependant une saturation des sols des bassins versant ruraux, qui commencent à produire du ruissellement lors de la seconde pointe pluviométrique dont les intensités sont comparables voire inférieures à la première.

7.4.7 Conclusion

Les résultats de calcul présentés sont obtenus avec un paramétrage des modèles pluie - débit et hydrauliques identique pour chacun des événements modélisés.

Les comparaisons entre les mesures et les calculs, à la fois sur les débits de pointe et les volumes écoulés, permettent de valider le calage des modèles pluie - débit.

8 DEFINITION D'UNE HYDROLOGIE DE REFERENCE

8.1 METHODOLOGIE GENERALE

Pour chaque période de retour étudiée (10, 30, 50, 100 et 1000 ans), une série de pluies de répartition et d'intensité différentes est définie, après analyse détaillée des structures spatiales et temporelles des événements historiques.

Les modèles pluie-débit définissent les hydrogrammes résultants pour chacun de ces scénarios à l'exutoire des sous bassins versants. Ces hydrogrammes sont ensuite propagés dans les modèles hydrauliques et définissent pour tous les nœuds de calcul pour chaque période de retour une gamme de débits de pointe et de volumes écoulés.

Ces valeurs sont comparées aux analyses statistiques réalisées sur les stations hydrométriques et aux valeurs estimées dans le cadre des études antérieures.

Nota : les résultats présentés dans ce chapitre font référence aux modèles hydrauliques, exploités pour propagés les hydrogrammes générés par les modèles pluie – débit. Ces modèles sont présentés dans le rapport hydraulique de la présente étude.

8.2 COEFFICIENT D'ABATTEMENT SPATIAL DES PLUIES

8.2.1 Introduction

L'analyse statistique menée sur les différents postes pluviométriques de Clermont Communauté permet de caractériser les précipitations ponctuelles. L'analyse des données issues de réseaux denses de pluviographes d'une part (réseau de Clermont Communauté), des données issues de l'imagerie radar météo d'autre part, montre que la répartition spatiale des précipitations est d'autant plus hétérogène que la durée d'observation (pas de temps) est courte.

Or, pour des « petits » bassins versants de la taille de ceux étudiés, le temps de réaction aux précipitations est court, ce qui oblige à étudier les précipitations sur des pas de temps courts. Les événements historiques marquants correspondent d'ailleurs à des épisodes orageux courts et intenses très localisés.

Dans ces conditions, la période de retour étant figée, extrapoler l'intensité ponctuelle mesurée sur un pluviomètre à tout ou partie d'un bassin versant conduirait à surestimer les volumes ruisselés pour cette période de retour.

Afin de tenir compte de cette hétérogénéité, un **coefficient d'abattement spatial** des pluies est utilisé.

Il s'agit donc de définir la lame d'eau moyenne d'une occurrence donnée sur un bassin versant donnée, à partir d'une pluie ponctuelle de même période de retour, en introduisant la notion d'abattement spatial.

Une analyse détaillée des principaux événements récents pour lesquels des données radar sont disponibles est menée, afin de préciser leurs caractéristiques principales et de définir la structure des pluies de projets proposées :

- durée totale de l'événement,
- hyéto-gramme au point de cumul maximal,
- emprise spatiale totale, et loi de variation spatiale des cumuls.

8.2.2 Méthodologie proposée

Le coefficient probabiliste d'abattement spatial est défini ainsi :

$$k(S,T) = \frac{Lame_précipitée_moyenne}{Lame_précipitée_ponctuelle}$$

Pour un bassin versant de surface S (en km²)

Pour une période de retour T en années

Une recherche bibliographique a été effectuée sur les travaux de recherche s'étant intéressés à cette notion d'abattement spatial. De nombreux travaux sont régionalisés (Ile de France, Marseille, Languedoc Roussillon ...). Dans la mesure où aucun document spécifique à l'agglomération Clermontoise n'est disponible, nous proposons de mettre en œuvre la méthodologie proposée par J.P. Laborde, particulièrement pertinente : *Pour une approche géostatistique des coefficients d'abattement des précipitations*, La Houille Blanche, n°3 1986 (cf. annexe 7).

Ces travaux ont établi une relation liant le coefficient d'abattement spatial à la surface du bassin versant et à la période de retour de la pluie.

$$k(S,T) = \frac{1/CV - g(S)(0.78u_T - 0.45)}{1/CV - (0.78u_T - 0.45)}$$

$U_T = -\ln(-\ln(1-1/T))$, variable réduite de Gumbel, T correspondant à la fréquence d'occurrence exprimée en années,

CV : coefficient de variation des pluies de durée t, rapport entre l'écart-type σ et la moyenne μ

S : surface de bassin versant considérée,

g(S) : fonction caractérisant la variabilité spatiale de la pluie sur la surface S

Cette expression est basée sur l'hypothèse que les pluies ponctuelles et les pluies moyennes sur une surface S suivent une loi de Gumbel.

En faisant l'hypothèse que la fonction g(S) peut être représentée par un variogramme isotrope suivant un modèle sphérique, on obtient la formulation suivante :

$$k(S,T) = \frac{1}{1 + \frac{(0.78u_T - 0.45)\sqrt{S} / p}{1/CV + (0.78u_T - 0.45)(1 - 0.4\sqrt{S} / p)}}$$

p : portée de la pluie dans le modèle sphérique. Elle correspond à la distance entre deux points dont le coefficient de corrélation est de 0.85.

8.2.3 Application au territoire étudié

Un ajustement statistique à une loi de Gumbel sur les pluies maximales annuelles de durée t sur un poste présentant suffisamment de données permet de caractériser le coefficient $CV(t)$:

$$CV(t) = \frac{\sigma}{\mu} = \frac{1.28g}{p_0 + 0.577g}$$

σ, μ : moyenne et écart type obtenus par l'ajustement de Gumbel à la série historique de pluies maximales annuelles de durée t

g : gradex des pluies de durées t

p_0 : mode des pluies de durées t

La portée p est estimée en analysant les coefficients de corrélation de la pluviométrie de différents postes sur des événements concomitants sur au moins deux pas de temps (2 heures et 4 heures), puis en reportant ces coefficients de corrélation en fonction de la distance séparant les postes concernés. La portée p est alors estimée à 10 fois la distance $d_{0.85}$ à laquelle les coefficients de corrélation sont de l'ordre de 0.85.

Le paramètre $d_{0.85}$ est estimé à partir des 13 postes pluviométriques gérés par l'agglomération de Clermont-Ferrand, dont la totalité des données nous a été mise à disposition (intensités au pas de 5 minutes).

Le tableau ci-contre indique la structure de la base de données mise à disposition. Pour chaque cumul enregistré, un code indique la qualité de la donnée. Seules les données qualifiées « BF » (bonne fiable) ont été retenues pour l'analyse.

Tableau 9 : structure de la base de données pluviométriques de l'agglomération de Clermont-Ferrand

Champ Minautor	Définition
C_TYPE_CHRONIQUE	Chronique mesure : MS
CODE_CHRONIQUE	nom de la mesure
D_FIN_MESURE	date fin (horodatage à prendre en compte)
D_DEB_MESURE	date début
V_MESURE	mesure
C_LABEL_QUALITE	BF : bonne fiable
	DT : douteuse
	MV : mauvaise
	NR : non représentative
	HL : Hors limite
	MQ : manquante mesure = 999999999999
L_VALIDATION	0 : donnée non validée
	1 : donnée validée

Le tableau ci-après précise les périodes sur lesquelles les données sont disponibles pour chacun d'entre eux, ainsi que la proportion de données « validées » par le gestionnaire.

année :	2012	2011	2010	2009	2008	2007	2006	2005	2004	2003	2002	2001
006-BEC PLUVIO.	100%	100%	100%	0%	-	-	-	-	-	-	-	-
PLUVIO-3-PONTS	100%	100%	100%	100%	100%	89%	100%	100%	-	-	-	-
PLUVIO-BEDAT	100%	100%	100%	-	100%	100%	100%	81%	-	-	-	-
PLUVIO-BLANZAT	100%	100%	100%	100%	100%	75%	100%	100%	-	-	-	-
PLUVIOCEYRAT	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
PLUVIOCHATEAUGA	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	-	-	-	-	-
PLUVIO-CROUEL	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	-	-	-	-
PLUVIOFARNETTE	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	-	-	-	-	-
PLUVIO-HERBET	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	0%	-	100%	100%
PLUVIO-POURLIAT	100%	100%	100%	100%	100%	0%	-	-	-	-	-	-
PLUVIOROYAT	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
PLUVIO-ST-JACQU	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	-	-	-	-
P-SAYAT	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	50%	100%	100%

Tableau 10 : synthèse des données pluviométriques disponibles sur les postes de l'agglomération de Clermont Ferrand

Pour chaque poste, les cumuls d'intensités supérieurs à 1/3 de la pluie biennale estimée à la station pluviométrique d'Aulnat-Clermont-Ferrand (station Météo-France) ont été extraits, sur des durées comprises entre 1 heure et 24 heures. Pour chacun de ces

événements, les cumuls correspondant sur les autres postes ont également été extraits afin de constituer des lois de corrélation entre les cumuls enregistrés sur les différents postes.

L'ensemble des lois de corrélation ainsi constituées permettent de tracer un graphique présentant la distance entre chaque poste en abscisse et le coefficient de corrélation calculé en ordonnée. Les résultats présentent une très forte dispersion pour tous les pas de temps étudiés.

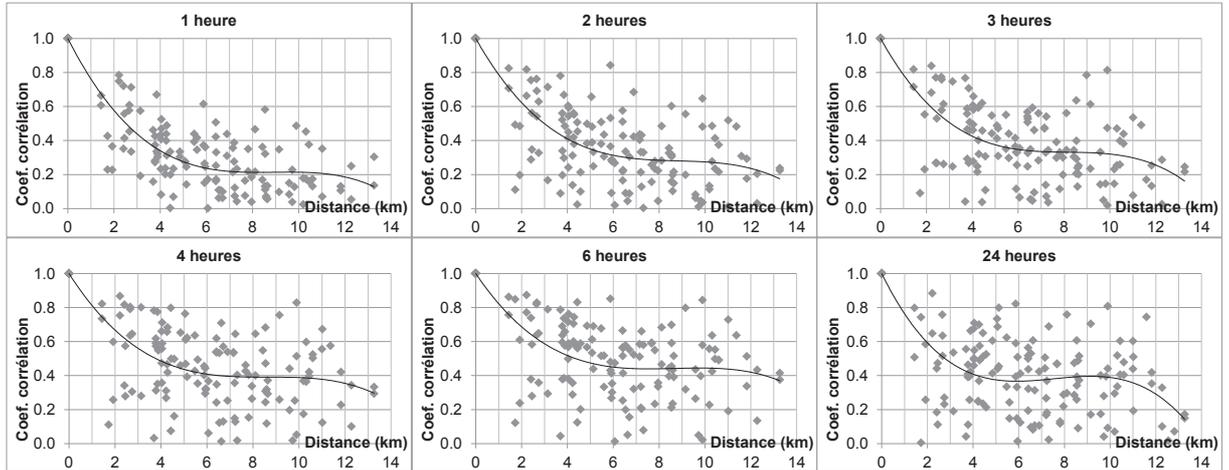


Figure 28 : synthèse des coefficients de corrélation calculés entre les postes en fonction de la distance entre chaque poste

Le coefficient de corrélation calculé est très sensible à d'éventuelles aberrations dans les données. A titre d'exemple, entre les postes de Crouël et de Herbet, distants de 1,9 km, trois événements présentent des cumuls sur deux heures sur l'un des postes compris entre 25 et 45 mm et nuls sur l'autre ; la suppression de ces trois points de l'échantillon (qui en comprend 163) fait passer le coefficient de corrélation de 0,33 à 0,48.

Sur la base de ces résultats, le paramètre $d_{0,85}$ peut être estimé à 0,5 km, soit une portée p de 5 km. Cette valeur est cohérente avec les images radar des événements étudiés en détail.

Les graphiques ci-après présentent les valeurs des coefficients d'abattement obtenus pour des pluies de périodes de retour 10 ans et 100 ans, des surfaces de bassins versants comprises entre 5km² et 50km² et des pluies de durées comprises entre 1 heure et 3 heures. Les calculs sont effectués pour deux hypothèses de Gradex des pluies.

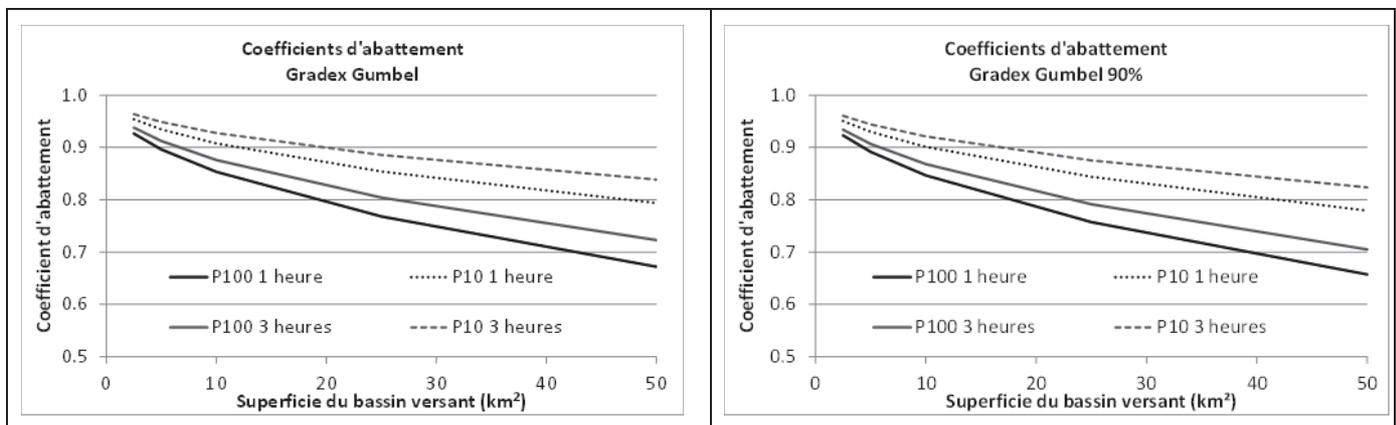


Figure 29 : synthèse des coefficients d'abattement calculés

8.2.4 Comparaison avec d'autres secteurs géographiques

Des travaux visant à déterminer des coefficients d'abattement des pluies de courtes durées sur des petits bassins versants ont été réalisés en Ile de France et sur l'agglomération de Marseille :

- Ile de France : Bergaoui et Desbordes, 1986 (réseau expérimental de Rungis) et Roux, 1996 (réseau du département de Seine Saint Denis),
- Marseille : Coefficient d'abattement spatial des pluies en région méditerranéenne adaptés aux petits bassins versants (E. Gaume, M Mouhou, V. Thauvin), CERREVE, février 2001.

Les résultats obtenus sur la région parisienne n'étant a priori pas directement applicables à la région méditerranéenne qui présente un régime pluviométrique différent, l'étude réalisée sur Marseille avait pour objectifs de définir les relations entre les distributions des précipitations d'intensités ponctuelles et les distributions de lames d'eau pour des petits bassins versants (inférieurs à 100 km²) à partir des données du réseau dense de pluviographes de l'agglomération de Marseille. Afin de pouvoir comparer les résultats obtenus avec ceux des études menées en région parisienne, les mêmes techniques d'analyse de données ont été utilisées.

Les résultats proposés par ces études font l'hypothèse d'une **indépendance du coefficient d'abattement avec la période de retour** de l'événement pluvieux.

Les conclusions de l'étude réalisée sur Marseille indiquent que, au-delà des incertitudes liées aux données exploitées, « *les résultats exposés ne mettent pas en évidence de différence significative entre les valeurs de coefficients d'abattement calculés à partir de données pluviographiques de la région Ile-de-France et de la ville de Marseille. L'ajustement de relations entre le coefficient d'abattement α , la surface S et le pas de temps Δt le confirme* ».

Les ajustements proposés entre les coefficients d'abattement α , la surface de bassin versant S (km²) et le pas de temps Δt (heures) sont les suivants :

- Surfaces de bassins versants inférieures à 30km² :
 - Marseille : $\alpha = S^{-0.056+0.016 \ln(\Delta t)}$
 - Ile-de-France : $\alpha = S^{-0.056+0.013 \ln(\Delta t)}$
- Surfaces de bassins versants supérieures à 30km² : formulation identique pour les deux secteurs : $\alpha = S^{-0.064+0.014 \ln(\Delta t)}$

Les graphiques ci-après comparent les valeurs de coefficients d'abattement obtenus avec ces formulations et celles proposées précédemment pour Clermont-Ferrand, pour des pluies de durées 1 heure et 3 heures.

Les valeurs calculées pour la région de Marseille sont très proches de celles estimées à Clermont-Ferrand pour des pluies de période de retour 10 ans ; pour une période de retour de 100 ans, les valeurs estimées à Clermont-Ferrand sont en revanche sensiblement inférieures.

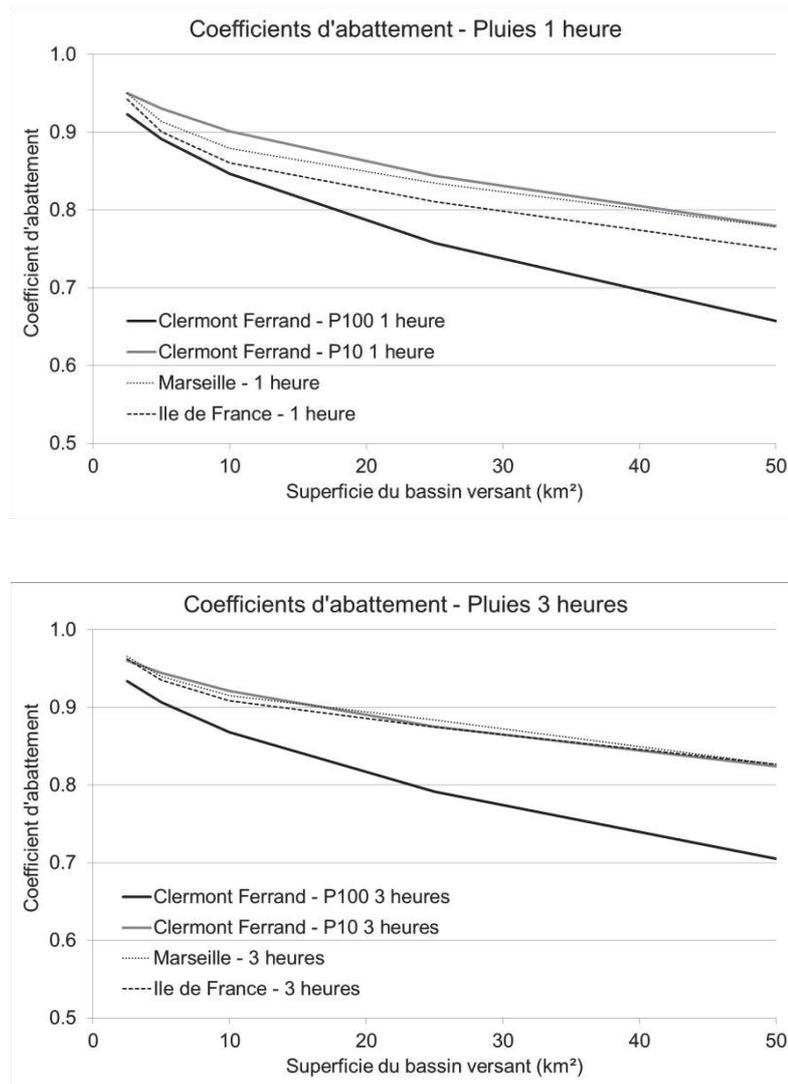


Figure 30 : coefficients d'abattement obtenus avec les formulations utilisées à Marseille et en Ile de France et valeurs proposées pour Clermont-Ferrand, pour des pluies de durées 1 heure et 3 heures

8.2.5 Conclusion

La formulation du coefficient d'abattement estimée à partir de l'analyse des données pluviométriques de Clermont Communauté pour des pluies de période de retour 10 ans est retenue, **quelle que soit la période de retour de la pluie.**

8.3 ANALYSE DETAILLEE DE 15 EVENEMENTS RECENTS

Le tableau ci-après présente les 15 événements dont la structure des pluies est analysée en détail, identifiés parmi les maxima annuels de débits enregistrés aux stations hydrométriques :

- en rouge, les 3 ou 4 événements les plus forts enregistrés au droit de chacune des stations,
- surlignés en vert, les événements ayant fait l'objet d'arrêtés de catastrophe naturelle et ayant entraîné un débit significatif (débit maximal sur l'année considérée sur au moins une des stations hydrométriques).

L'Artière à Clermont-Ferrand [Domaine de Crouel]		L'Artière à Aulnat		Le Bédât à Cébazat [La Maison Rouge]		L'Ambène à Charbonnières-les-Varennes [Beaunit]		L'Ambène à Ennezat		Le Bedat à Saint-Laure	
Date	Qix	Date	Qix	Date	Qix	Date	Qix	Date	Qix	Date	Qix
17/08/2006 22:06	2.51	21/05/2005 23:52	13.90	11/06/2008 11:56	2.67	14/09/1990 17:18	0.36	05/06/2003 20:15	1.73	12/08/1998 15:22	2.42
22/09/2007 19:12	3.15	24/11/2002 22:34	20.60	23/09/1994 15:01	2.95	17/02/1991 03:40	0.40	26/08/2002 03:18	2.26	07/09/1994 20:42	2.62
22/08/1991 20:34	3.52	30/09/2006 12:24	23.60	04/06/2000 17:50	3.03	11/12/2007 05:29	0.48	04/07/2001 17:00	2.28	11/06/2008 11:56	2.67
04/09/2008 18:42	3.64	23/07/2004 23:55	25.80	09/07/2005 14:19	3.43	06/02/1996 12:30	0.48	22/05/2012 14:00	3.9	05/08/1997 19:56	2.97
08/10/2008 07:42	4.08	22/09/2007 20:22	26.10	21/09/1997 17:28	3.46	30/01/2004 10:25	0.51	24/08/2004 07:47	6.76	04/06/2000 17:50	3.03
09/05/2002 04:24	4.19	11/06/1996 15:51	26.90	26/09/1998 14:11	3.62	09/02/1999 07:30	0.52	03/07/2008 01:46	7.24	09/07/2005 14:19	3.43
17/06/2010 11:11	4.21	20/08/2012 19:23	27.30	11/06/1996 15:43	3.91	10/06/2000 08:25	0.53	26/08/2011 11:00	7.26	11/06/1996 15:43	3.91
23/07/2004 23:24	4.28	03/10/2001 14:50	27.80	24/06/2006 17:57	3.98	30/11/1996 13:00	0.57	16/06/2010 19:00	9.91	24/06/2006 17:57	3.98
10/10/2004 00:30	4.35	05/11/1994 05:00	29.60	01/07/1993 14:49	4.22	13/12/2008 11:13	0.58	15/09/2006 10:21	10.2	01/07/1993 14:49	4.22
18/11/1999 19:00	4.43	04/07/2001 15:28	30.00	19/07/1999 17:00	4.41	23/12/2010 10:33	0.59	20/04/2009 22:30	10.9	08/06/1995 16:19	4.27
06/08/2013 22:50	4.60	23/09/1994 01:59	30.30	23/07/2004 23:01	4.67	02/01/1994 16:20	0.69	28/07/2005 22:19	11.7	19/07/1999 17:00	4.41
29/04/2012 04:12	4.62	04/06/2000 18:19	30.60	04/07/2001 14:02	4.68	09/01/1987 08:15	0.72	04/06/2007 20:31	28	23/07/2004 23:01	4.67
23/12/2010 04:24	4.75	26/09/1998 14:37	31.80	06/08/2007 16:17	4.68	24/09/1993 21:54	0.73	08/08/2013 11:30	31.20	04/07/2001 14:02	4.68
18/08/2001 17:34	4.85	03/07/1999 17:27	32.40	03/06/2002 20:53	4.70	09/09/2002 03:41	0.74			06/08/2007 16:17	4.68
03/10/1988 07:35	5.21	12/05/1993 16:27	32.80	21/07/2003 01:31	4.93	23/01/2005 14:25	0.75			03/06/2002 20:53	4.7
05/08/1996 14:45	5.22	26/08/2011 08:03	32.80	05/11/1994 07:06	5.29	24/05/1986 00:12	0.76			21/07/2003 01:31	4.93
16/05/1988 22:59	5.26	05/08/1997 18:24	33.00	07/08/2009 19:26	6.90	27/04/1998 03:30	0.77			07/08/2009 19:26	6.9
05/08/1997 19:30	5.70	07/01/2010 06:34	33.40	17/06/2010 16:06	9.08	31/12/2011 07:10	0.81			14/06/1992 01:19	7.16
03/07/1999 18:45	5.72	06/08/2013 23:12	34.30	11/05/2011 17:29	9.11	16/06/2010 18:00	0.89			11/05/2011 17:29	19.11
22/06/1993 16:26	5.78	14/07/2009 19:53	41.30	06/08/2013 22:00	9.14	04/03/2001 20:45	1.01			02/05/2012 14:36	13.7
26/09/1998 15:45	5.87	11/09/2008 14:06	48.00	02/05/2012 14:36	10.90	10/06/1992 05:48	1.30			17/06/2010 16:06	33.1
19/06/1990 21:46	5.96					12/11/2005 17:29	1.36			08/08/2013 09:40	48.60
23/09/1994 02:35	5.96					03/02/2003 23:47	1.47				
21/07/2003 18:14	6.08					29/06/1988 17:44	1.48				
05/11/1994 05:38	6.22					05/11/1994 07:03	1.60				
10/06/1992 17:03	8.66					20/07/2007 07:02	2.20				

Les hydrogrammes mesurés au droit des stations hydrométriques et les cumuls estimés sur la base des images radar Panther (Météo-France) pour chacun de ces événements sont présentés en annexe 5.

Le tableau ci-contre synthétise les durées caractéristiques de ces événements pluviométriques, au droit de leur épiceutre :

- durée totale de l'événement pluvieux,
- durée de la période intense le cas échéant ; lorsqu'aucune durée n'est spécifiée, le hyétogramme s'apparente généralement à un simple triangle (hausse régulière de l'intensité puis diminution régulière après atteinte d'un maximum très bref).

Événement	Durée totale	Durée période de pointe
05/08/1997	6 heures	15 minutes
12/08/1998	3 heures	15 à 30 minutes
03/07/1999	3 heures	30 minutes
19/07/1999	1 heure	-
03/06/2000	1 heure	15 minutes
04/06/2000	2 heures	-
21/07/2003	4 à 5 heures	30 à 45 minutes
28/07/2005	8 heures	30 minutes
29/07/2005	3 heures	15 à 30 minutes
04/06/2007	4 heures	30 minutes à 1 heure
11/09/2008	2 heures	-
20/04/2009	8 heures	30 minutes
13/07/2009	6 heures	15 minutes
14/07/2009	2 heures	30 à 45 minutes
17/06/2010	5 à 6 heures	30 à 45 minutes
11/05/2011	4 à 5 heures	30 minutes
02/05/2012	2 heures	15 minutes
06/08/2013	6 heures	30 minutes
08/08/2013	8 à 12 heures	2 heures

8.4 DEFINITION DES PLUIES DE PROJET

Les pluies de projets pour une période de retour T sont constituées par des pluies double - triangle présentant :

- des cumuls de période de retour T sur la période intense,
- des cumuls de période de retour T sur la durée totale de l'événement.

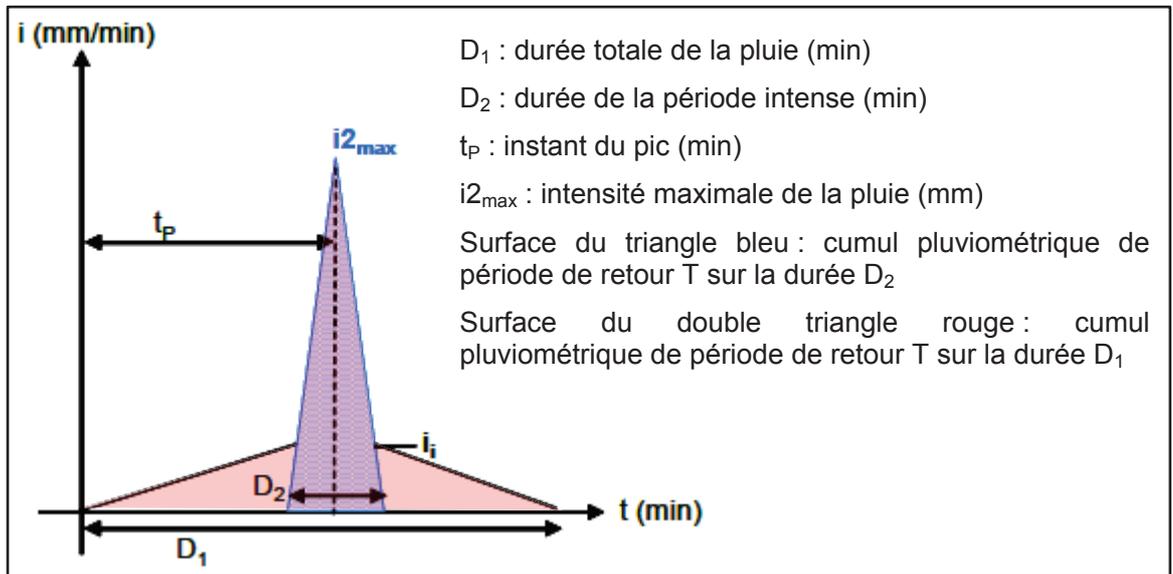


Figure 31 : schématisation d'une pluie double triangle

Un coefficient d'abattement est appliqué aux quantiles de pluviométries définis au paragraphe 5 (poste Météo France de Clermont-Ferrand - Aulnat) pour tenir compte de l'hétérogénéité des pluies à l'échelle des bassins versants étudiés.

La structure de ces pluies se base sur la synthèse des pluies réelles observées et les temps de concentration des bassins versants étudiés, dans la mesure où les débits maximum d'un bassin versant sont généralement obtenus pour des événements pluvieux d'une durée proche de leur temps de concentration. Pour chaque période de retour étudiée, deux pluies de projet sont définies :

- pluie de durée totale 2 heures, avec une période intense 30 minutes,
- pluie de durée totale 6 heures, avec une période intense 1 heure.

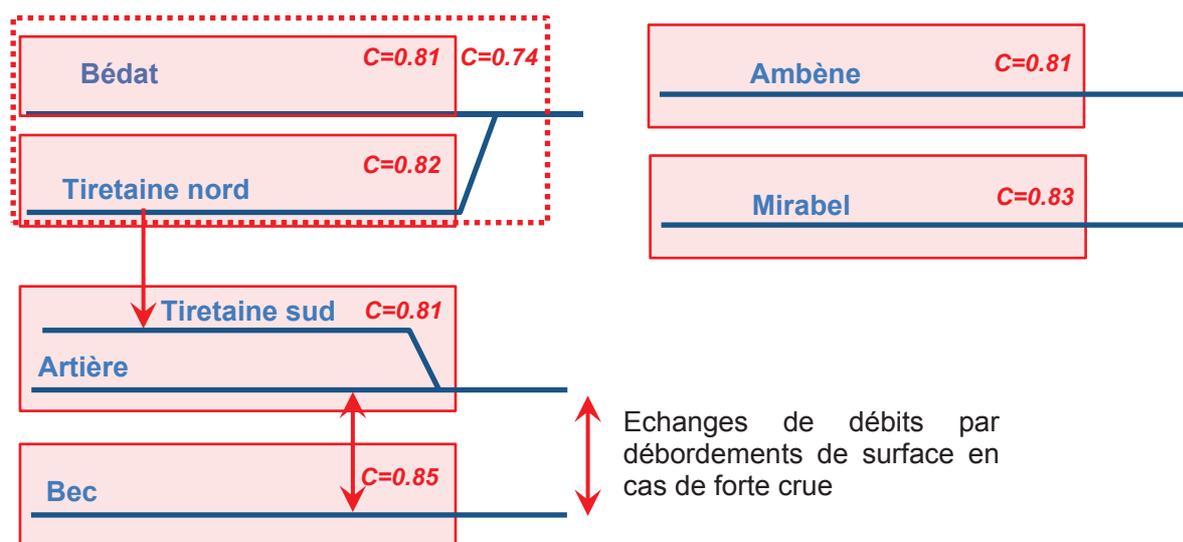
8.4.1 Pluies de durée totale 6 heures

Le coefficient d'abattement affecté aux pluies de durée 6 heures est défini à partir de la superficie des principaux bassins versants étudiés, en aval du secteur d'étude.

Un coefficient d'abattement moyen de 0.82 est retenu pour l'ensemble du territoire. Les écarts de ce coefficient moyen avec les coefficients obtenus en tenant compte de la superficie effective de chacun des bassins versants principaux sont inférieurs à 2%, à l'exception de la confluence entre le Bédard et la Tiretaine nord où cet écart est de 12% ; ces éléments sont synthétisés dans le tableau et la figure ci-après.

Cours d'eau	Surface de bassin versant (km ²)	Coefficient d'abattement théorique	Coefficient d'abattement retenu
Bec	47.3	0.85	0.82
Artière à Aulnat (dont Tiretaine sud)	71.2	0.81	0.82
Tiretaine Nord en amont de la confluence avec le Bédat	63	0.82	0.82
Bédat en amont de la confluence avec la Tiretaine Nord	71.7	0.81	0.82
Bédat en amont d'A71	134.7	0.74	0.82
Ambène en amont d'A71	73.1	0.81	0.82
Mirabel en amont d'A71	62.7	0.83	0.82

Tableau 11 : coefficients d'abattement calculés pour la pluie centennale sur les principaux bassins versants étudiés



Agglomération de Clermont Ferrand

Agglomération de Riom

Figure 32 : coefficients d'abattement calculés pour la pluie centennale sur les principaux bassins versants étudiés

Les échanges de débits entre la Tiretaine Nord et la Tiretaine sud d'une part et l'Artière et le Bec d'autre part restent faibles au regard des débits s'écoulant dans ces cours d'eau.

Le déplacement sud-ouest – nord-est (soit d'amont vers aval dans l'axe des vallées étudiées) des événements pluviométriques réels les plus fréquents favorise les concomitances entre les pics de crue des bassins versants naturels amont et des bassins versants urbanisés aval.

P10 6 heures	t (minutes)	Pluie brute	Pluie abattue
		i (mm/h)	i (mm/h)
	0.00	0.00	0.00
	152.27	5.57	4.54
	180.00	73.52	59.94
	207.73	5.57	4.54
	360.00	0.00	0.00
Cumul période intense (mm)		36.8	30.0
Cumul total (mm)		50.7	41.3

P30 6 heures	t (minutes)	Pluie brute	Pluie abattue
		i (mm/h)	i (mm/h)
	0.00	0.00	0.00
	152.27	5.83	4.76
	180.00	92.93	75.76
	207.73	5.83	4.76
	360.00	0.00	0.00
Cumul période intense (mm)		46.5	37.9
Cumul total (mm)		61.1	49.8

P50 6 heures	t (minutes)	Pluie brute	Pluie abattue
		i (mm/h)	i (mm/h)
	0.00	0.00	0.00
	152.27	5.96	4.86
	180.00	101.82	83.01
	207.73	5.96	4.86
	360.00	0.00	0.00
Cumul période intense (mm)		50.9	41.5
Cumul total (mm)		65.8	53.6

P100 6 heures	t (minutes)	Pluie brute	Pluie abattue
		i (mm/h)	i (mm/h)
	0.00	0.00	0.00
	152.27	6.12	4.99
	180.00	113.82	92.79
	207.73	6.12	4.99
	360.00	0.00	0.00
Cumul période intense (mm)		56.9	46.4
Cumul total (mm)		72.2	58.9

P1000 6 heures	t (minutes)	Pluie brute	Pluie abattue
		i (mm/h)	i (mm/h)
	0.00	0.00	0.00
	152.27	6.66	5.43
	180.00	153.54	125.18
	207.73	6.66	5.43
	360.00	0.00	0.00
Cumul période intense (mm)		76.8	62.6
Cumul total (mm)		93.4	76.2

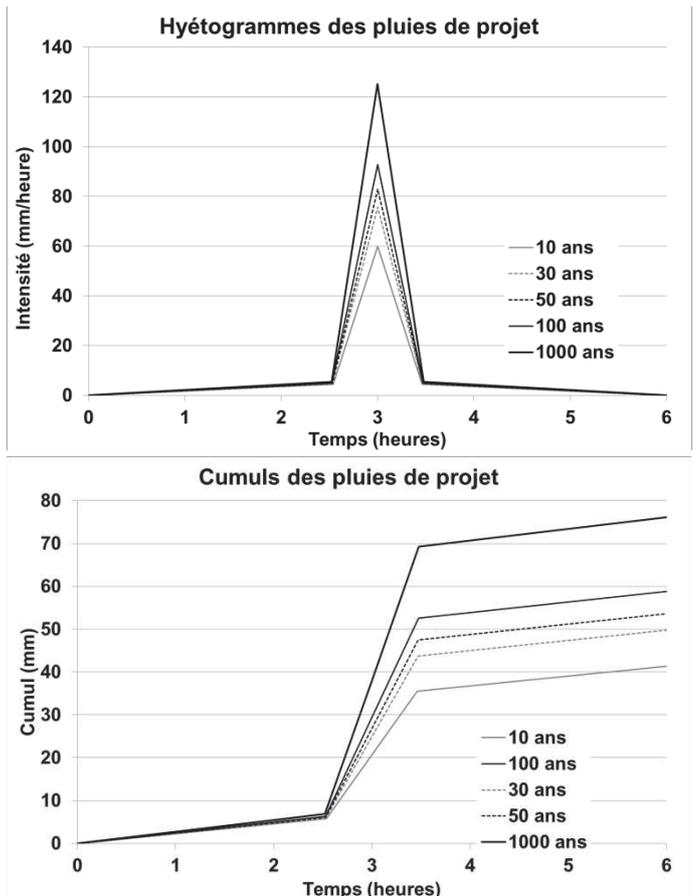


Figure 33 : pluies de projet de durée 6 heures, pour des périodes de retour comprises entre 10 ans et 1000 ans

8.4.2 Pluies de durée totale 2 heures

Le coefficient d'abattement retenu pour les pluies de projet 2 heures est calculé pour un bassin versant de 10km², soit 0.9 ; cet abattement est appliqué sur le cumul total, le cumul de la période intense (30 minutes) n'étant pas abattu.

Ce scénario de pluie vise à caractériser les débits des petits bassins versants présentant des temps de réponse très courts. Cette pluie, appliquée uniformément à l'ensemble des bassins versants, génère des débits inférieurs à ceux de la pluie 6 heures sur les bassins versants présentant une superficie supérieure à 10 km².

P10 2 heures	t (minutes)	Pluie brute		Pluie abattue	
		i (mm/h)	i (mm/h)	i (mm/h)	i (mm/h)
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	46.73	13.73	13.73	8.56	8.56
	60.00	118.94	118.94	118.94	118.94
	73.27	13.73	13.73	8.56	8.56
	120.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Cumul période intense (mm)		29.7	29.7	29.7
	Cumul total (mm)		40.0	36.2	36.2
P30 2 heures	t (minutes)	Pluie brute		Pluie abattue	
		i (mm/h)	i (mm/h)	i (mm/h)	i (mm/h)
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	46.73	15.88	15.88	9.49	9.49
	60.00	150.09	150.09	150.09	150.09
	73.27	15.88	15.88	9.49	9.49
	120.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Cumul période intense (mm)		37.5	37.5	37.5
	Cumul total (mm)		49.4	44.6	44.6
P50 2 heures	t (minutes)	Pluie brute		Pluie abattue	
		i (mm/h)	i (mm/h)	i (mm/h)	i (mm/h)
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	46.73	16.86	16.86	9.92	9.92
	60.00	164.35	164.35	164.35	164.35
	73.27	16.86	16.86	9.92	9.92
	120.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Cumul période intense (mm)		41.1	41.1	41.1
	Cumul total (mm)		53.7	48.5	48.5
P100 2 heures	t (minutes)	Pluie brute		Pluie abattue	
		i (mm/h)	i (mm/h)	i (mm/h)	i (mm/h)
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	46.73	18.18	18.18	10.49	10.49
	60.00	183.61	183.61	183.61	183.61
	73.27	18.18	18.18	10.49	10.49
	120.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Cumul période intense (mm)		45.9	45.9	45.9
	Cumul total (mm)		59.5	53.8	53.8
P1000 2 heures	t (minutes)	Pluie brute		Pluie abattue	
		i (mm/h)	i (mm/h)	i (mm/h)	i (mm/h)
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	46.73	22.57	22.57	12.40	12.40
	60.00	247.35	247.35	247.35	247.35
	73.27	22.57	22.57	12.40	12.40
	120.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Cumul période intense (mm)		61.8	61.8	61.8
	Cumul total (mm)		78.8	71.1	71.1

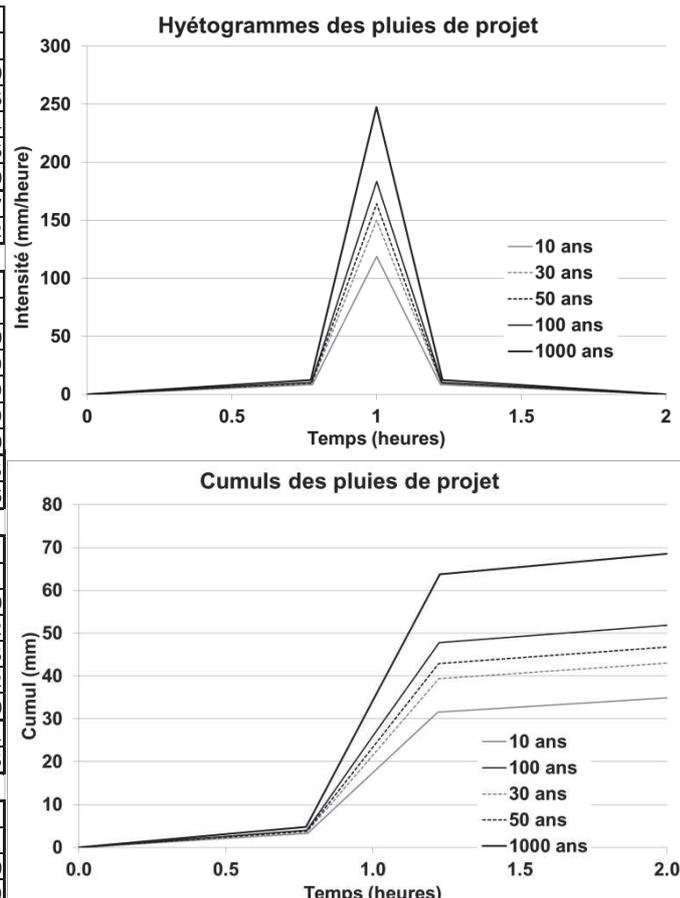


Figure 34 : pluies de projet de durée 2 heures, pour des périodes de retour comprises entre 10 ans et 1000 ans

8.5 SIMULATION DES PLUIES DE PROJET

8.5.1 Paramétrage des modèles pluie - débit

Afin de simuler un fonctionnement hydrologique cohérent avec la méthode du Gradex retenue pour l'estimation des débits rares avec un pivot fixé au débit décennal, le paramétrage du modèle pluie-débit est modifié pour saturer partiellement les réservoirs du modèle SCS. Les niveaux de saturation sont ajustés pour obtenir des valeurs de débits de pointe et de volumes écoulés proches de celles estimées par l'approche statistique au droit des stations de mesure :

- RFU = 35 mm pour la simulation des pluies décennales,
- RFU = 30 mm pour la simulation des pluies de période de retour supérieure à 10 ans.

Les hydrogrammes produits par le modèle pluie – débit sont propagés par le modèle hydraulique. Pour les simulations des scénarios de période de retour cent ans et mille ans, les principaux bassins d'orage sont considérés comme transparents aux écoulements (cf. rapport hydraulique) :

- agglomération de Clermont-Ferrand :
 - Pourliat et Crouël sur l'Artière,
 - Blanzat sur le Bédât,
 - Gerzat (Chantemerle) sur la Tiretaine Nord,
- agglomération de Riom : bassin des Pradas à Chateaugay.

8.5.2 Définition des scénarios de référence

La crue des cours d'eau pour une période de retour T correspond à l'enveloppe maximale des débits calculés par les modèles pour les deux scénarios de pluies de période de retour T. Le débit centennal retenu en un point du territoire correspondra donc à la valeur maximale du débit calculé en ce point par le modèle pour une pluie de période de retour 100 ans de durée 2 heures et une pluie de période de retour 100 ans de durée 6 heures.

Les paragraphes suivants présentent une synthèse des débits et volumes écoulés pour les différents scénarios hydrologiques modélisés au droit d'une trentaine de points de calcul répartis sur les cours d'eau étudiés, localisés sur la carte ci-après.

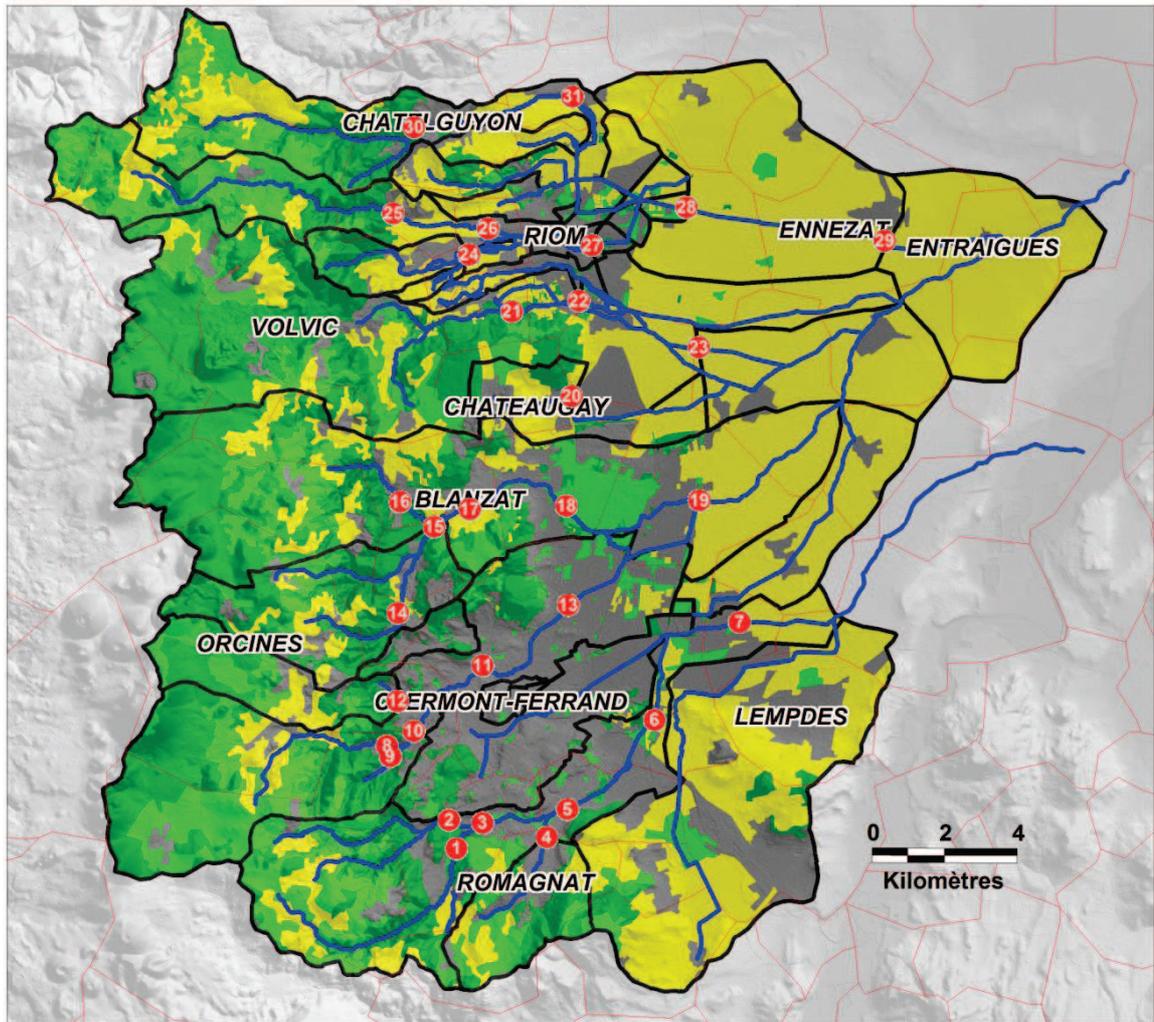


Figure 35 : localisation des points de sortie des débits et volumes écoulés pour les différents scénarios hydrologiques modélisés

a) Crue décennale

Le tableau ci-après synthétise les valeurs de débits de pointe et de volumes écoulés calculés pour les scénarios de pluies 2 heures (P10-2heures) et 6 heures (P10-6heures) au droit des points localisés sur la Figure 35.

Suivant les points de sorties considérés, les valeurs maximales de débit peuvent être générées soit par la pluie 2 heures (notamment sur les petits bassins versants urbanisés) ou par les pluies 6 heures.

La cartographie de l'inondation décennale (cf. rapport hydraulique) correspond à l'enveloppe maximale de ces deux scénarios.

Point de calcul	Surface de BV (km²)	P10 - 2 heures		P10 - 6 heures		Ecart 2h-6h	
		Q (m3/s)	V (m3)	Q (m3/s)	V (m3)	Débit (%)	Volume (%)
L'Artière (sud) à Ceyrat (RD2089)	13.09	5.09	27 870	7	85 550	-30	-67
L'Artière (nord) à Ceyrat (avenue du Mont d'Or)	10.06	2.139	20 500	7	67 130	-69	-69
L'Artière à Beaumont (rue Bernard Maitre, ancienne échelle SIAEC)	24.03	8.069	59 310	14	165 600	-41	-64
La Gazelle à Romagnat (RD799)	10.06	12.18	87 000	10	124 000	26	-30
L'Artière à Aubière (rue des Ramacles)	38.09	15.6	88 320	13	230 200	18	-62
L'Artière à Clermont Ferrand (station DREAL, ch. Du Grand Beaulieu)	38.81	4.368	183 200	4	351 300	-2	-48
L'Artière à Aulnat (station DREAL, av. St Exupery)	58.06	37.69	483 600	38	727 500	-2	-34
La Tiretaine Nord à Royat (rue Victoria)	25.04	1.134	20 780	16	134 800	-93	-85
Le ruisseau de Liaboux à Royat (bd. De Montchalamet)	2.29	0.7821	37 280	2	47 480	-60	-21
La Tiretaine Nord à Chamalières (le Parc)	28.24	6.213	47 870	17	172 200	-63	-72
La Tiretaine Nord à Clermont Ferrand (Saint Alyre)	44.9	29.46	98 150	24	258 900	24	-62
Le ruisseau de Villars à Chamalières (voie ferrée)	10.29	1.171	11 240	3	50 640	-65	-78
La Tiretaine Nord à Clermont Ferrand (Catarou, bd. Léon Jouhaux)	51.6	31.75	218 600	31	388 700	4	-44
Le ruisseau de Saussade à Durtol (RD943, rte. de Clermont)	9.43	1.019	29 430	5	66 170	-79	-56
Le ruisseau de Saussade à Nohanent (amont bassin d'orage)	18.91	4.413	35 680	7	107 500	-36	-67
Le Bédât à Sayat (rue du chemin neuf)	8.26	1.734	19 350	6	56 550	-70	-66
Le Bédât à Blanzat (rue de Clermont)	51.97	5.122	90 430	19	306 700	-73	-71
Le Bédât à Cébazat (station DREAL, La maison Rouge, RN9)	61.81	12.3	160 400	17	385 200	-27	-58
Le Bédât à Gerzat (A71)	134.7	42.41	539 300	43	915 300	-1	-41
Le Rif à Chateaugay (RN9)	5.34	0.5916	17 040	1	32 210	-52	-47
Le Mirabel à Marsat (les Pradelles)	42.72	5.18	35 760	22	225 500	-76	-84
Le Mirabel à Riom (RN9, MSD)	47.1	6.165	77 440	18	271 200	-65	-71
Le Mirabel à Menetrol (A71)	65.28	11.15	209 400	14	467 200	-23	-55
Le Ruisseau de Chancet à Mozac (RD446)	6.21	4.686	78 520	5	100 700	-1	-22
L'Ambène à Enval (RD405)	16.46	1.015	18 980	10	95 200	-89	-80
L'Ambène à Mozac (rue Louis Aragon)	19.38	3.342	28 100	9	114 100	-64	-75
L'Ambène à Riom (voie ferrée)	28.94	8.659	137 600	11	254 200	-18	-46
L'Ambène à Riom (A71)	73.1	13.44	264 700	15	546 600	-13	-52
L'Ambène à Ennezat (station DREAL, RD210)	103	12.16	276 700	20	713 000	-38	-61
Le Sardon à Chatelguyon (RD15, av. de Broqueville)	18.56	0.7765	19 130	9	102 500	-92	-81
Le Sardon à Saint Bonnet (rue du Sardon)	23.26	6.451	37 050	9	125 700	-30	-71

Figure 36 : synthèse des débits et volumes écoulés en différents points du territoire étudié, pluies décennales de durées 2 heures et 6 heures

b) Crue centennale

Le tableau ci-après synthétise les valeurs de débits de pointe et de volumes écoulés calculés pour les scénarios de pluies 2 heures (P100-2heures) et 6 heures (P100-6heures) au droit des points localisés sur la Figure 35.

Point de calcul	Surface de BV (km²)	P100 - 2 heures		P100 - 6 heures		Ecart 2h-6h	
		Q (m3/s)	V (m3)	Q (m3/s)	V (m3)	Débit (%)	Volume (%)
L'Artière (sud) à Ceyrat (RD2089)	13.09	51.93	293 600	60	377 500	-13	-22
L'Artière (nord) à Ceyrat (avenue du Mont d'Or)	10.06	63.74	221 400	71	289 000	-11	-23
L'Artière à Beaumont (rue Bernard Maitre, ancienne échelle SIAEC)	24.03	77.39	530 000	88	684 400	-12	-23
La Gazelle à Romagnat (RD799)	10.06	36.68	272 100	40	341 600	-9	-20
L'Artière à Aubière (rue des Ramacles)	38.09	62.54	694 000	73	922 000	-14	-25
L'Artière à Clermont Ferrand (station DREAL, ch. Du Grand Beaulieu)	38.81	43.23	894 600	45	1 152 000	-3	-22
L'Artière à Aulnat (station DREAL, av. St Exupery)	58.06	46.35	1 247 000	47	1 495 000	-1	-17
La Tiretaine Nord à Royat (rue Victoria)	25.04	117	491 100	131	651 800	-11	-25
Le ruisseau de Liaboux à Royat (bd. De Montchalamet)	2.29	19.16	77 390	25	93 550	-22	-17
La Tiretaine Nord à Chamalières (le Parc)	28.24	105.2	576 400	131	758 400	-20	-24
La Tiretaine Nord à Clermont Ferrand (Saint Alyre)	44.9	65.26	784 100	86	1 032 000	-25	-24
Le ruisseau de Villars à Chamalières (voie ferrée)	10.29	44.82	186 100	53	249 500	-15	-25
La Tiretaine Nord à Clermont Ferrand (Catarou, bd. Léon Jouhaux)	51.6	38.69	931 600	43	1 176 000	-9	-21
Le ruisseau de Saussade à Durtol (RD943, rte. de Clermont)	9.43	36.29	175 100	40	226 300	-10	-23
Le ruisseau de Saussade à Nohanent (amont bassin d'orage)	18.91	41.11	372 300	45	486 100	-9	-23
Le Bédât à Sayat (rue du chemin neuf)	8.26	61.78	175 400	70	227 400	-12	-23
Le Bédât à Blanzat (rue de Clermont)	51.97	108.8	1 056 000	128	1 375 000	-15	-23
Le Bédât à Cébazat (station DREAL, La maison Rouge, RN9)	61.81	76.93	1 218 000	102	1 569 000	-24	-22
Le Bédât à Gerzat (A71)	134.7	61.26	2 264 000	59	2 816 000	3	-20
Le Rif à Chateaugay (RN9)	5.34	3.534	87 220	4	110 900	-10	-21
Le Mirabel à Marsat (les Pradelles)	42.72	122.3	839 100	143	1 095 000	-15	-23
Le Mirabel à Riom (RN9, MSD)	47.1	97.93	918 700	117	1 195 000	-17	-23
Le Mirabel à Menetrol (A71)	65.28	62.34	1 314 000	77	1 710 000	-19	-23
Le Ruisseau de Chancet à Mozac (RD446)	6.21	20.2	177 600	20	214 900	2	-17
L'Ambène à Enval (RD405)	16.46	51.6	280 000	58	368 600	-11	-24
L'Ambène à Mozac (rue Louis Aragon)	19.38	49.06	395 100	54	515 000	-9	-23
L'Ambène à Riom (voie ferrée)	28.94	42.98	646 100	55	819 200	-22	-21
L'Ambène à Riom (A71)	73.1	35.89	1 275 000	39	1 572 000	-7	-19
L'Ambène à Ennezat (station DREAL, RD210)	103	51.04	1 920 000	58	2 426 000	-12	-21
Le Sardon à Chatelguyon (RD15, av. de Broqueville)	18.56	59.1	365 500	67	482 200	-12	-24
Le Sardon à Saint Bonnet (rue du Sardon)	23.26	45.07	456 100	54	581 900	-17	-22

Figure 37 : synthèse des débits et volumes écoulés en différents points du territoire étudié, pluies centennales de durées 2 heures et 6 heures

Les valeurs maximales de débit sont systématiquement générées par la pluie 6 heures.

Ce résultat est également vérifié pour les crues de période de retour 30 ans, 50 ans et 1000 ans.

8.6 VALIDATION DE L'HYDROLOGIE DE REFERENCE

Le tableau ci-après présente les débits calculés par les modèles ainsi que les estimations faites par l'ajustement de Gumbel pour les débits décennaux et la méthode du Gradex pour les débits centennaux. Pour la méthode du Gradex, les valeurs obtenues avec les hypothèses de durées caractéristiques de crues basses et hautes sont précisées.

	Q10 (m ³ /s)		Q100 (m ³ /s)		
	Gumbel	Modèle	Gradex bas	Gradex haut	Modèle
L'Artière à Beaumont	12.4 [10.4 – 20.5]	13.7	99	169	88
L'Artière à Aulnat – l'Artière à Crouël	38.4 [34.6 – 46.5]	33.9	-	-	-
La Tiretaine Nord à Chamalières	13.0 [10.1 - 21.2]	16.9	137	219	131
L'Ambène à Ennezat	25.6 [20.0 – 39.8]	19.6	98	127	58

Tableau 12 : débits calculés par les modèles et estimations faites par l'ajustement de Gumbel pour les débits décennaux et la méthode du Gradex pour les débits centennaux

Les débits décennaux calculés par le modèle sont inclus dans les bornes des intervalles de confiance à 90%. Les débits de la Tiretaine sud (Artière à Aulnat - Artière à Crouël) et de l'Ambène correspondent à la valeur basse de l'intervalle de confiance ; sur l'Artière amont et la Tiretaine amont, les débits sont relativement proches de ceux fournis par l'ajustement de Gumbel.

Pour l'événement centennal :

- les débits de pointe modélisés sont légèrement inférieures (de l'ordre de 10%) aux estimations faites par la méthode du Gradex en considérant une durée caractéristique de crue de 2 heures sur la Tiretaine à Chamalières et l'Artière à Beaumont,
- sur l'Ambène à Ennezat, le débit de pointe calculé est nettement inférieur aux estimations données par la méthode du Gradex. Ces différences sont dues à la difficulté d'estimer les paramètres de la méthode du Gradex, et notamment la durée caractéristique de crue et le coefficient de pointe, pour les événements rares dans la mesure où les mesures disponibles ne concernent que des événements pas ou peu débordants ; pour la crue centennale, le modèle fait ressortir les larges champs d'expansion qui participent à un important écrêtement de l'hydrogramme,
- les débits de l'Artière à Aulnat sont totalement écrêtés dans la large plaine d'expansion de crue ; une partie des débits de l'Artière s'écoule par ailleurs vers

le Bec en aval de la station de Crouël ; la comparaison avec les estimations faites par la méthode du Gradex n'a de ce fait pas de sens.

Le tableau ci-après compare les volumes écoulés calculés par le modèle et estimés par l'analyse statistique (VCX, ajustement de Gumbel et extrapolation par la méthode du Gradex), pour l'événement centennal.

Comme pour les débits de pointe, les volumes modélisés sont légèrement sous-estimés sur une heure sur les têtes de bassins versants (Artière à Beaumont et Tiretaine Nord à Chamalières) mais sont proches des estimations issues de l'analyse statistique sur 2 heures.

Sur l'Ambène, les volumes calculés par le modèle restent nettement inférieurs à ceux estimés par l'analyse statistique. Ces écarts sont également liés aux larges plaines d'expansion situées notamment entre la RD447 (rocade de Riom) et l'A71, où une partie significative des volumes stockés ne retourne pas vers l'Ambène.

L'Artière à Beaumont	VCX 1 heure		VCX 2 heures	
	Gradex	Modèle	Gradex	Modèle
	440 000	380 000	470 000	450 000
La Tiretaine Nord à Chamalières	VCX 1 heure		VCX 2 heures	
	Gradex	Modèle	Gradex	Modèle
	500 000	380 000	510 000	540 000
L'Ambène à Ennezat	VCX 6 heures		VCX 12 heures	
	Gradex	Modèle	Gradex	Modèle
	2 100 000	1 230 000	2 790 000	1 940 000

Tableau 13 : synthèse des volumes écoulés

8.7 SYNTHÈSE DES DÉBITS DE RÉFÉRENCE

Les tableaux et les graphiques ci-après présentent les débits de pointe, les volumes écoulés et les hydrogrammes propagés sur les différents cours d'eau de l'agglomération de Clermont Ferrand et de Riom.

Les hydrogrammes font ressortir les mécanismes de laminage des crues induits par l'élargissement des vallées et des zones inondables : l'expansion des crues dans leur lit majeur entraîne un ralentissement et un étalement de la crue dans le temps, et une diminution des débits de pointe.

8.7.1 Crue décennale

N°	Localisation point de calcul	Surface de BV (km ²)	Q10			
			Q (m ³ /s)	q (m ³ /s/km ²)	V (m ³)	v (m ³ /s/km ²)
1	L'Artière (sud) à Ceyrat (RD2089)	13.09	7.232	0.6	85 550	6 536
2	L'Artière (nord) à Ceyrat (avenue du Mont d'Or)	10.06	6.924	0.7	67 130	6 673
3	L'Artière à Beaumont (rue Bernard Maitre, ancienne échelle SIAEC)	24.03	13.73	0.6	165 600	6 891
4	La Gazelle à Romagnat (RD799)	10.06	9.743	1.0	82 670	8 218
5	L'Artière à Aubières (rue des Ramacles)	38.09	15.6	0.4	230 200	6 044
6	L'Artière à Clermont Ferrand (station DREAL, ch. Du Grand Beaulieu)	38.81	4.464	0.1	351 300	9 052
7	L'Artière à Aulnat (station DREAL, av. St Exupery)	58.06	38.42	0.7	727 500	12 530
8	La Tiretaine Nord à Royat (rue Victoria)	25.04	15.66	0.6	134 800	5 383
9	Le ruisseau de Liaboux à Royat (bd. De Montchalamet)	2.29	1.94	0.8	47 480	20 734
10	La Tiretaine Nord à Chamalières (le Parc)	28.24	16.86	0.6	172 200	6 098
11	La Tiretaine Nord à Clermont Ferrand (Saint Alyre)	44.9	29.46	0.7	258 900	5 766
12	Le ruisseau de Villars à Chamalières (voie ferrée)	10.29	3.3	0.3	50 640	4 921
13	La Tiretaine Nord à Clermont Ferrand (Catarou, bd. Léon Jouhaux)	51.6	31.75	0.6	388 700	7 533
14	Le ruisseau de Saussade à Durtol (RD943, rte. de Clermont)	9.43	4.894	0.5	66 170	7 017
15	Le ruisseau de Saussade à Nohanent (amont bassin d'orage)	18.91	6.905	0.4	107 500	5 685
16	Le Bédât à Sayat (rue du chemin neuf)	8.26	5.877	0.7	56 550	6 846
17	Le Bédât à Blanzat (rue de Clermont)	51.97	18.96	0.4	306 700	5 901
18	Le Bédât à Cébazat (station DREAL, La maison Rouge, RN9)	61.81	16.84	0.3	385 200	6 232
19	Le Bédât à Gerzat (A71)	134.7	42.78	0.3	915 300	6 795
20	Le Rif à Chateaugay (RN9)	5.34	1.243	0.2	32 210	6 032
21	Le Mirabel à Marsat (les Pradelles)	42.72	21.84	0.5	225 500	5 279
22	Le Mirabel à Riom (RN9, MSD)	47.1	17.73	0.4	271 200	5 758
23	Le Mirabel à Menetrol (A71)	65.28	14.44	0.2	467 200	7 157
24	Le Ruisseau de Chancet à Mozac (RD446)	6.21	4.718	0.8	100 700	16 216
25	L'Ambène à Enval (RD405)	16.46	9.579	0.6	95 200	5 784
26	L'Ambène à Mozac (rue Louis Aragon)	19.38	9.3	0.5	114 100	5 888
27	L'Ambène à Riom (voie ferrée)	28.94	10.54	0.4	254 200	8 784
28	L'Ambène à Riom (A71)	73.1	15.44	0.2	546 600	7 477
29	L'Ambène à Ennezat (station DREAL, RD210)	103	19.6	0.2	713 000	6 922
30	Le Sardon à Chatelguyon (RD15, av. de Broqueville)	18.56	9.387	0.5	102 500	5 523
31	Le Sardon à Saint Bonnet (rue du Sardon)	23.26	6.006	0.3	111 900	4 811

Tableau 14 : Synthèse des débits décennaux et volumes écoulés

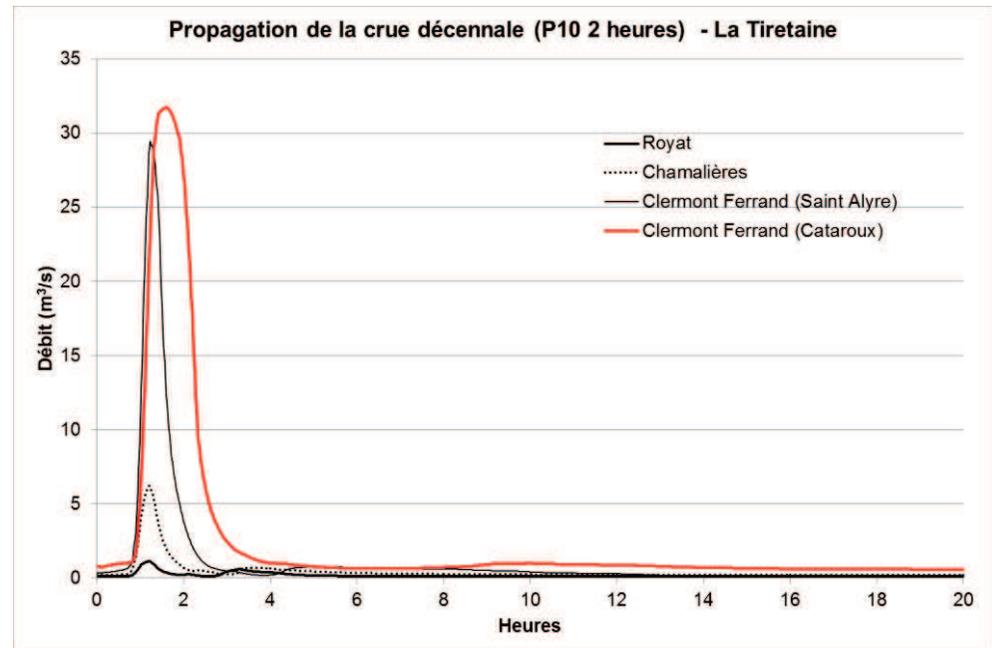
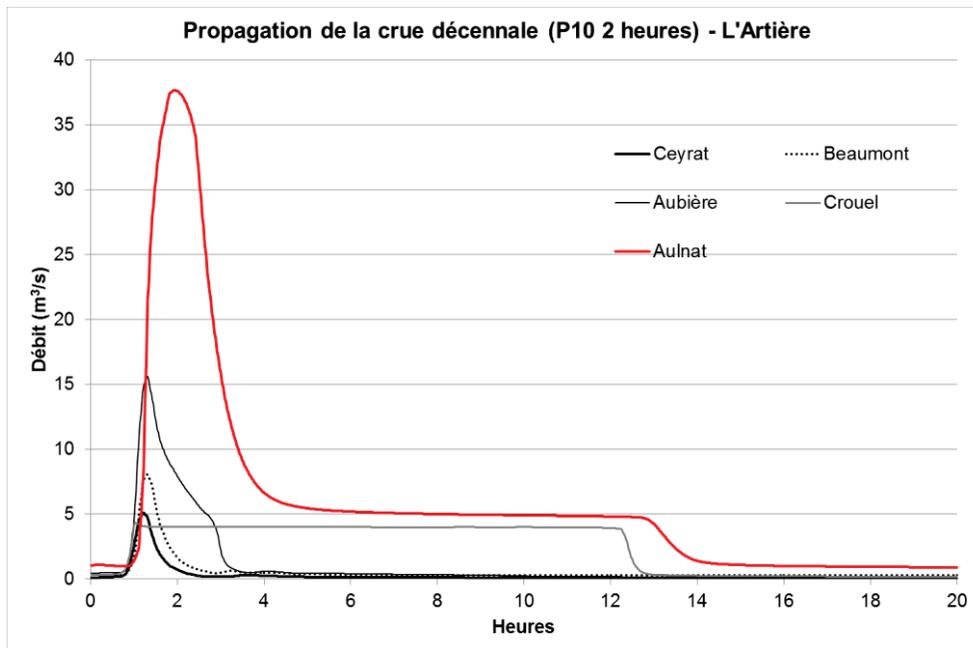
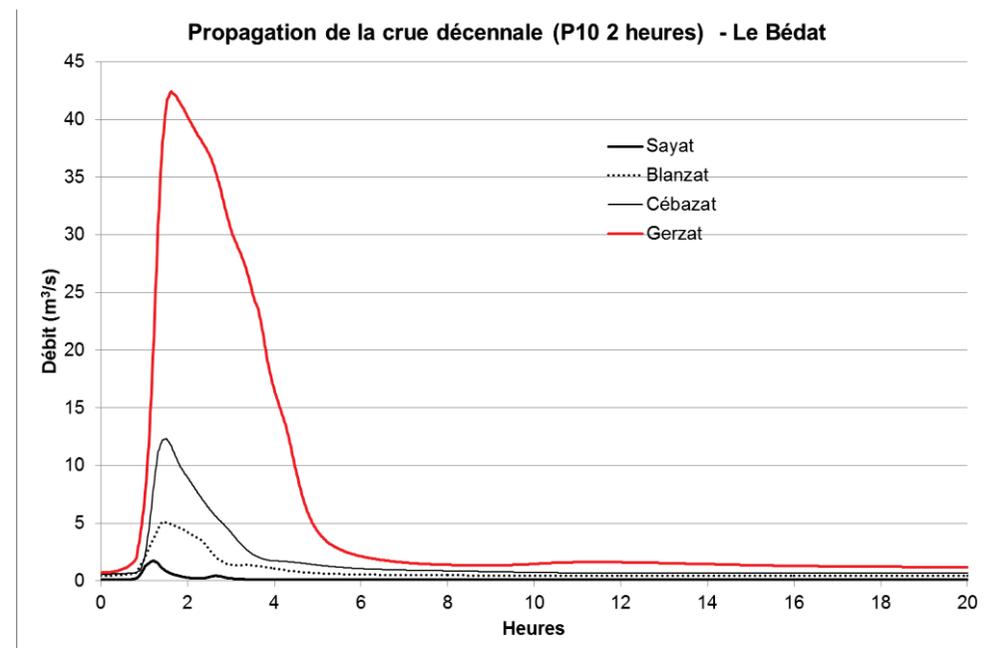


Figure 38 : agglomération de **Clermont Ferrand**, propagation de la crue décennale générée par la pluie 10 ans 2 heures



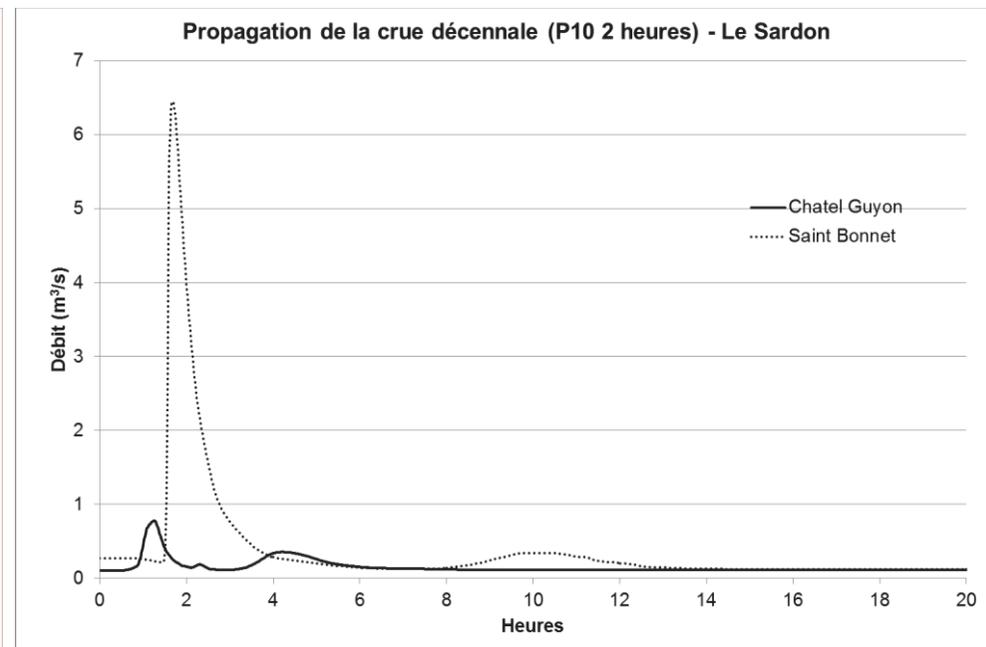
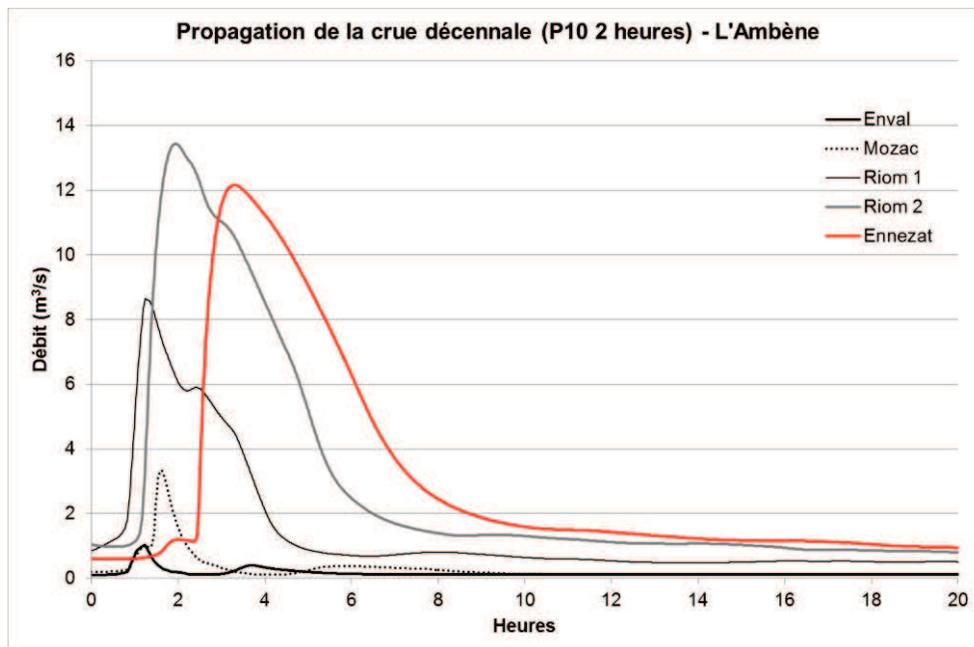
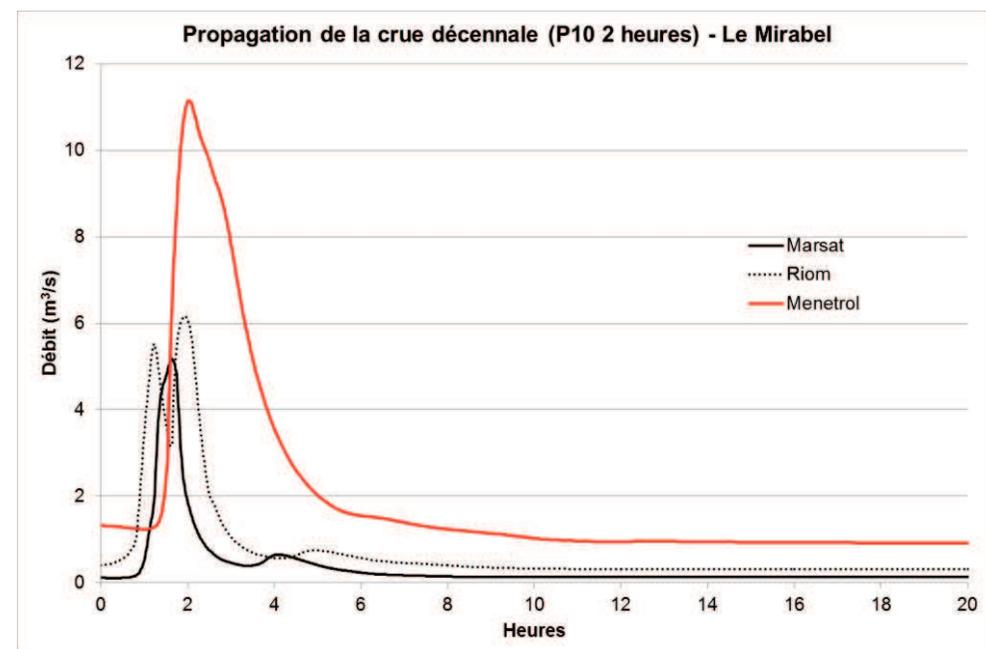


Figure 39 : agglomération de **Riom**, propagation de la crue décennale générée par la pluie 10 ans 2 heures



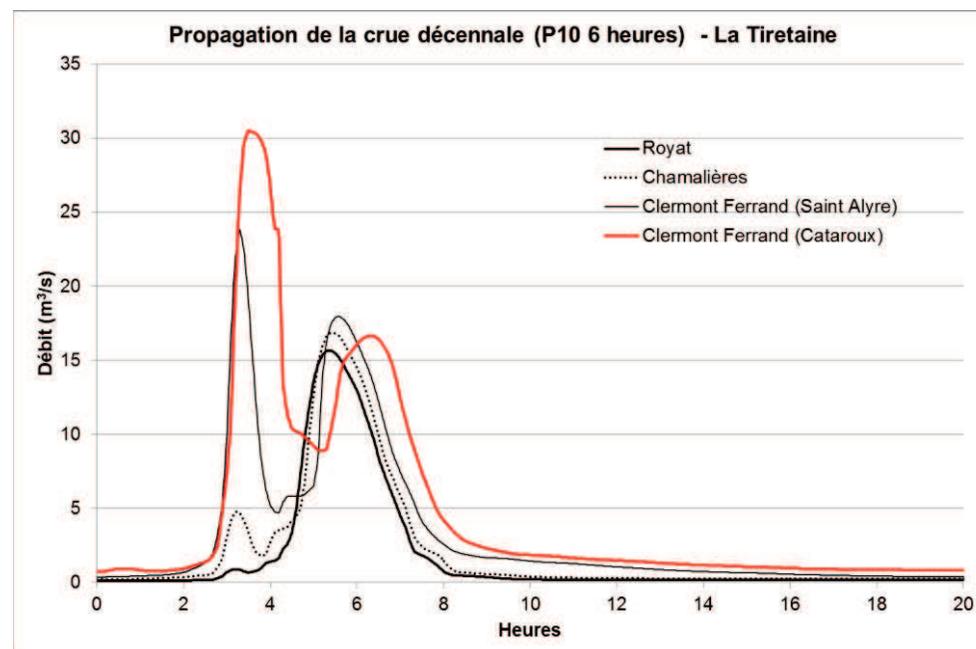
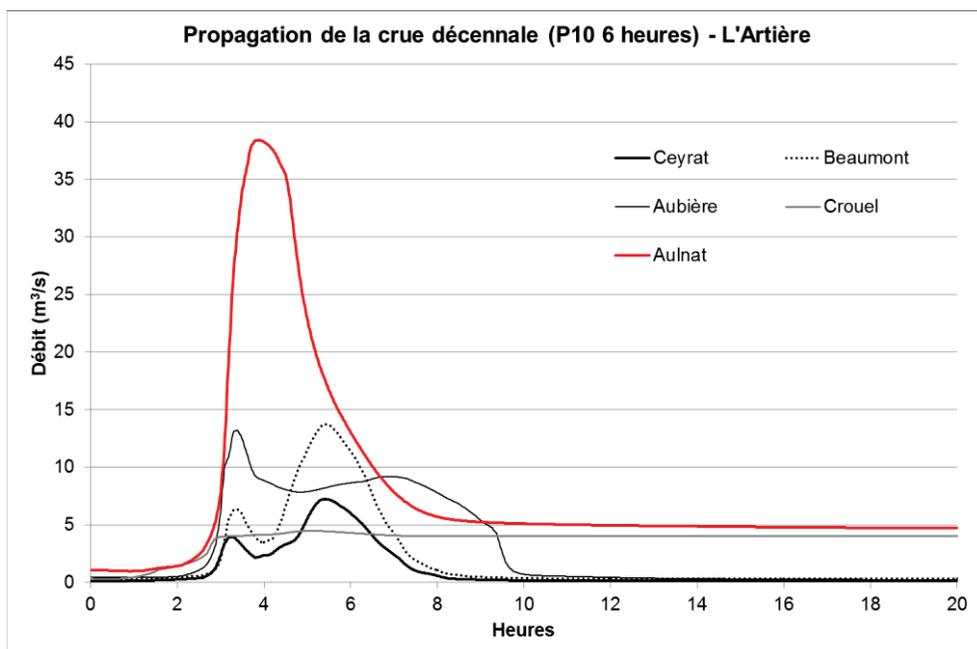
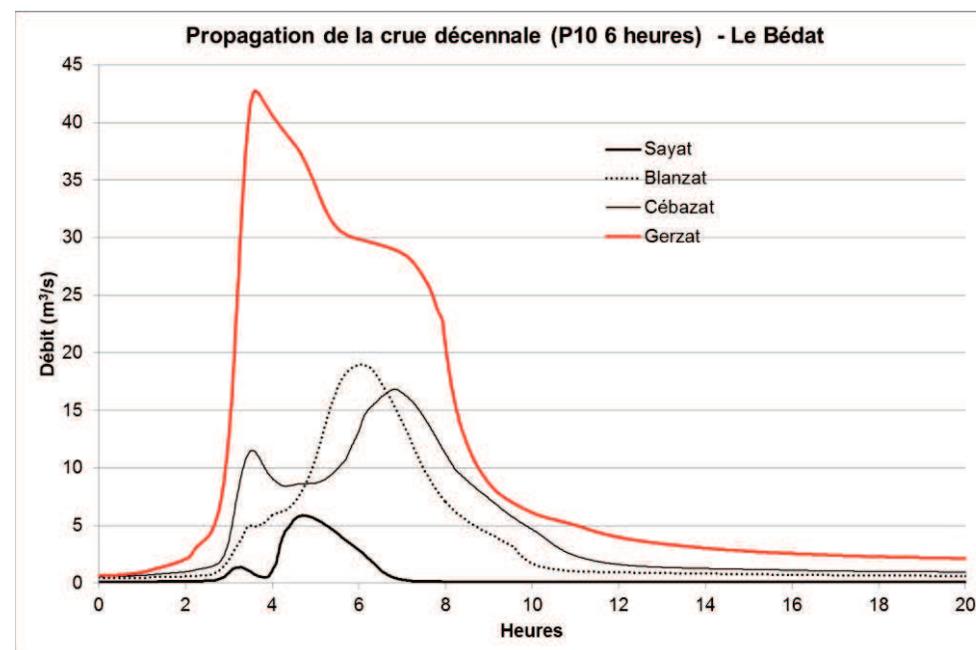


Figure 40 : agglomération de **Clermont Ferrand**, propagation de la crue décennale générée par la pluie 10 ans 6 heures



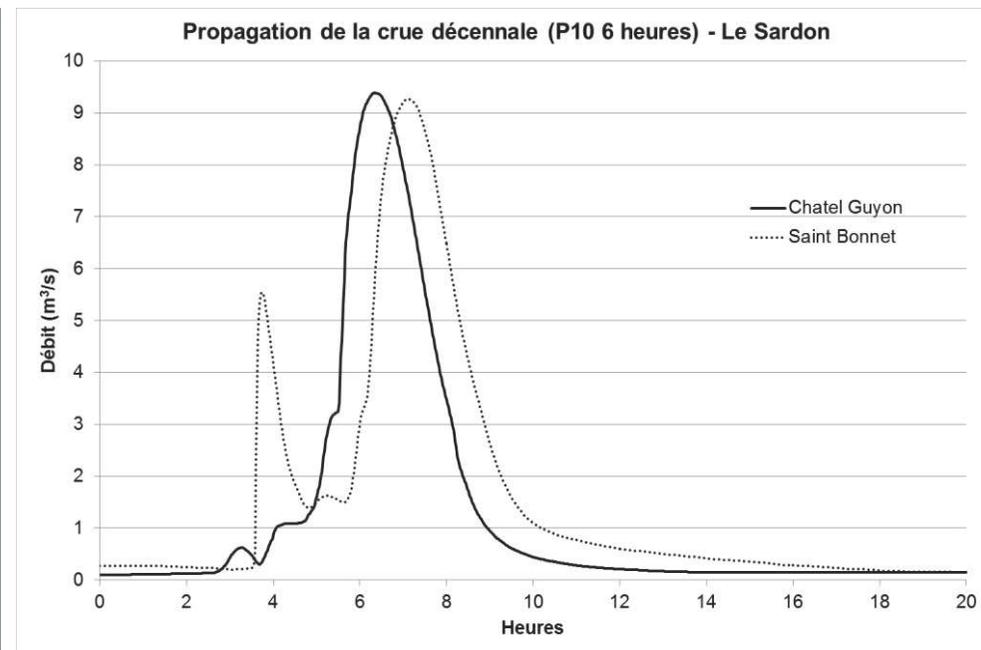
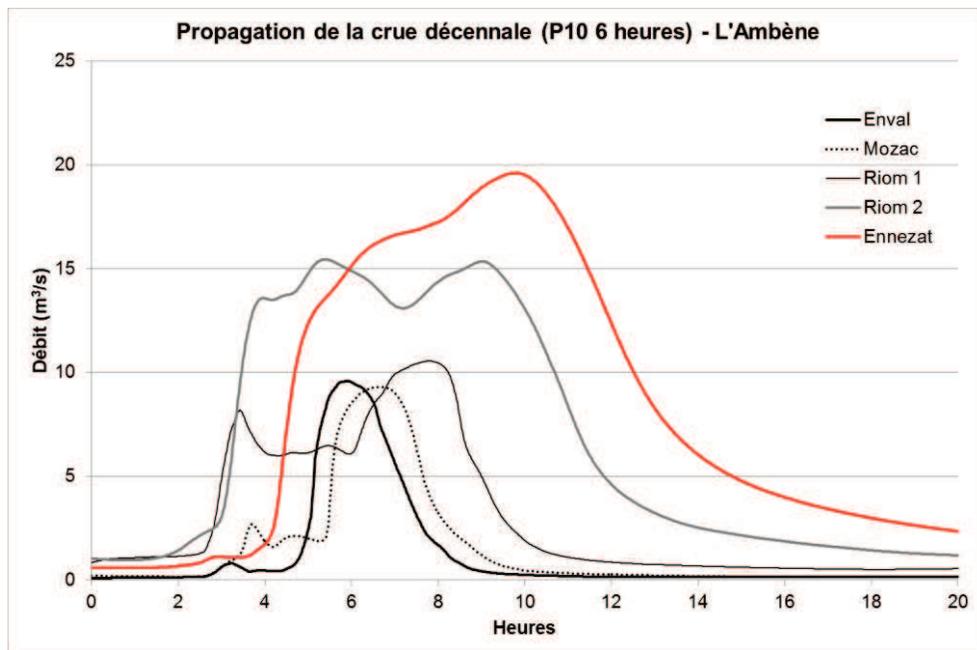
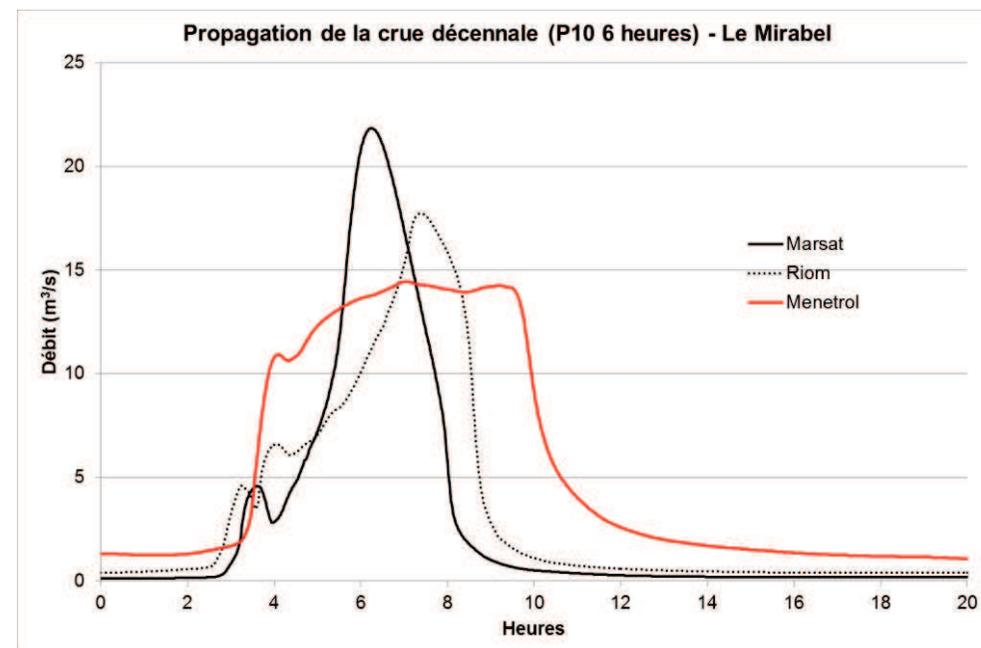


Figure 41 : agglomération de **Riom**, propagation de la crue décennale générée par la pluie 10 ans 6 heures



8.7.2 Crue trentennale

N°	Localisation point de calcul	Surface de BV (km ²)	Q30			
			Q (m ³ /s)	q (m ³ /s/km ²)	V (m ³)	v (m ³ /s/km ²)
1	L'Artière (sud) à Ceyrat (RD2089)	13.09	33.48	2.6	259 200	19 801
2	L'Artière (nord) à Ceyrat (avenue du Mont d'Or)	10.06	41.59	4.1	198 500	19 732
3	L'Artière à Beaumont (rue Bernard Maitre, ancienne échelle SIAEC)	24.03	55.8	2.3	475 600	19 792
4	La Gazelle à Romagnat (RD799)	10.06	19.36	1.9	213 300	21 203
5	L'Artière à Aubière (rue des Ramacles)	38.09	40.71	1.1	681 400	17 889
6	L'Artière à Clermont Ferrand (station DREAL, ch. Du Grand Beaulieu)	38.81	27.09	0.7	851 500	21 940
7	L'Artière à Aulnat (station DREAL, av. St Exupery)	58.06	43.48	0.7	1 339 000	23 062
8	La Tiretaine Nord à Royat (rue Victoria)	25.04	76.67	3.1	430 100	17 177
9	Le ruisseau de Liaboux à Royat (bd. De Montchalamet)	2.29	13.93	6.1	74 820	32 672
10	La Tiretaine Nord à Chamalières (le Parc)	28.24	79.35	2.8	511 300	18 106
11	La Tiretaine Nord à Clermont Ferrand (Saint Alyre)	44.9	39.34	0.9	700 100	15 592
12	Le ruisseau de Villars à Chamalières (voie ferrée)	10.29	23.2	2.3	165 000	16 035
13	La Tiretaine Nord à Clermont Ferrand (Catarou, bd. Léon Jouhaux)	51.6	36.6	0.7	871 800	16 895
14	Le ruisseau de Saussade à Durtol (RD943, rte. de Clermont)	9.43	24.75	2.6	160 800	17 052
15	Le ruisseau de Saussade à Nohanent (amont bassin d'orage)	18.91	24.51	1.3	330 000	17 451
16	Le Bédât à Sayat (rue du chemin neuf)	8.26	37.44	4.5	155 600	18 838
17	Le Bédât à Blanzat (rue de Clermont)	51.97	80.36	1.5	933 300	17 958
18	Le Bédât à Cébazat (station DREAL, La maison Rouge, RN9)	61.81	42.05	0.7	1 087 000	17 586
19	Le Bédât à Gerzat (A71)	134.7	55.59	0.4	2 146 000	15 932
20	Le Rif à Chateaugay (RN9)	5.34	3.259	0.6	88 190	16 515
21	Le Mirabel à Marsat (les Pradelles)	42.72	91.19	2.1	741 400	17 355
22	Le Mirabel à Riom (RN9, MSD)	47.1	73.26	1.6	817 300	17 352
23	Le Mirabel à Menetrol (A71)	65.28	30.24	0.5	1 008 000	15 441
24	Le Ruisseau de Chancet à Mozac (RD446)	6.21	14.3	2.3	165 800	26 699
25	L'Ambène à Enval (RD405)	16.46	36.13	2.2	261 300	15 875
26	L'Ambène à Mozac (rue Louis Aragon)	19.38	38.54	2.0	346 100	17 859
27	L'Ambène à Riom (voie ferrée)	28.94	32.73	1.1	583 200	20 152
28	L'Ambène à Riom (A71)	73.1	34.08	0.5	1 204 000	16 471
29	L'Ambène à Ennezat (station DREAL, RD210)	103	47.38	0.5	1 764 000	17 126
30	Le Sardon à Chatelguyon (RD15, av. de Broqueville)	18.56	39.99	2.2	318 900	17 182
31	Le Sardon à Saint Bonnet (rue du Sardon)	23.26	22.62	1.0	303 100	13 031

Tableau 15 : Synthèse des débits Trentennaux et volumes écoulés

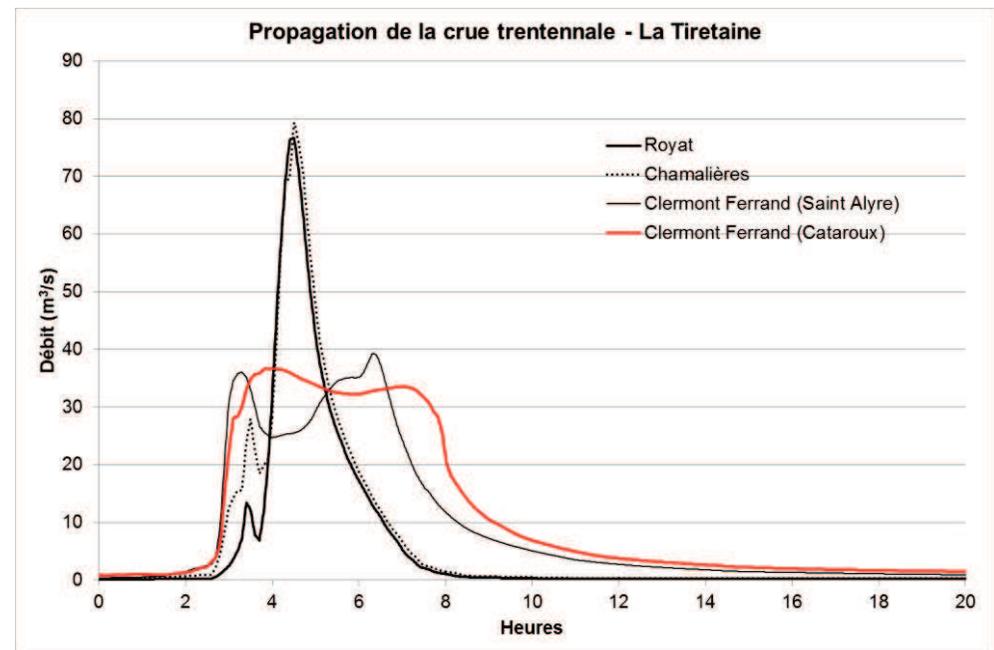
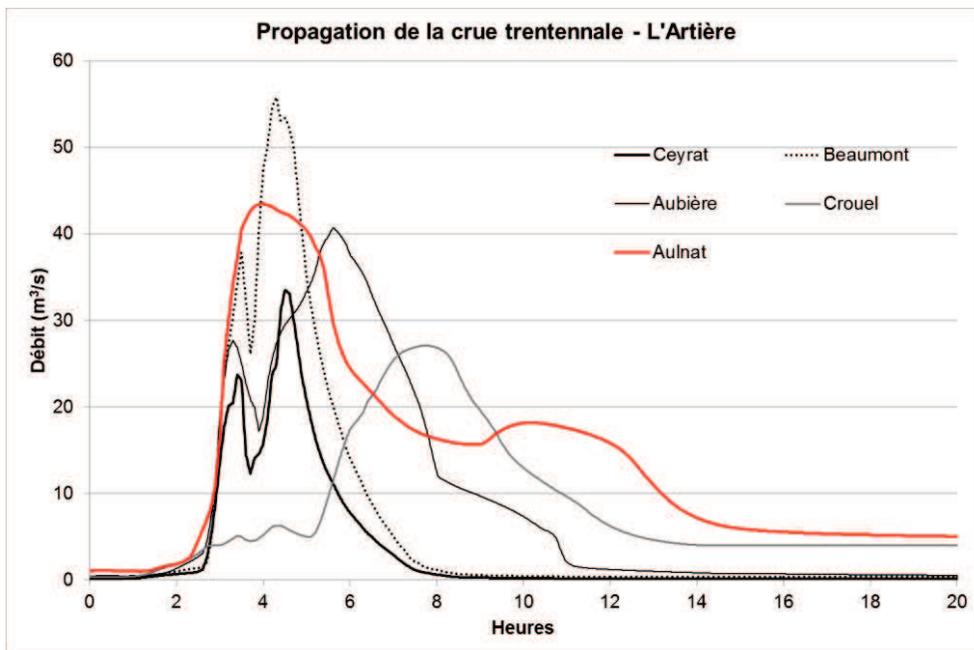
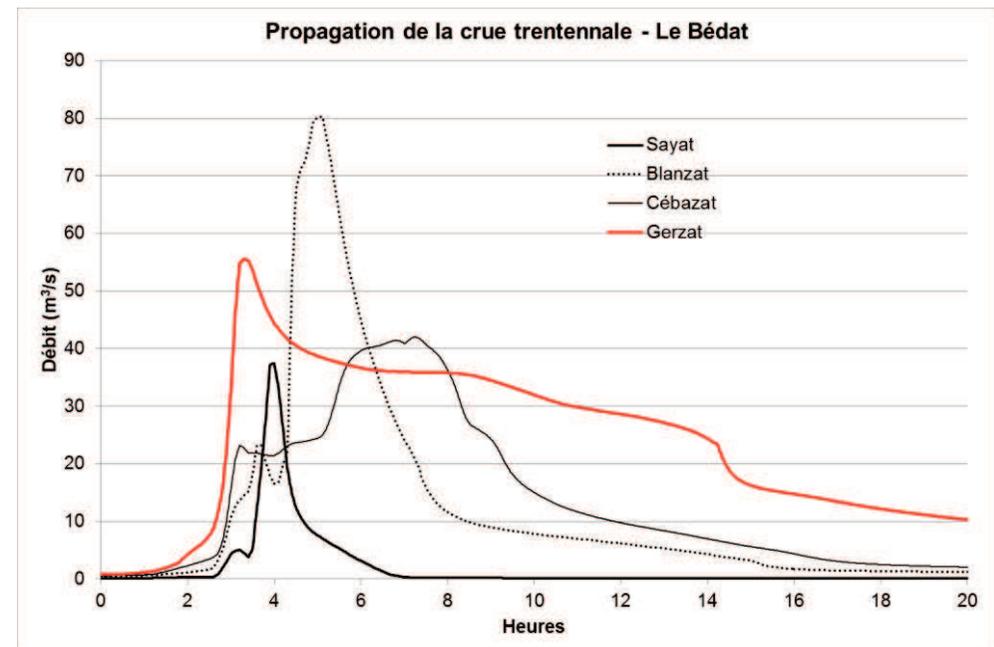


Figure 42 : agglomération de **Clermont Ferrand**, propagation de la crue trentennale



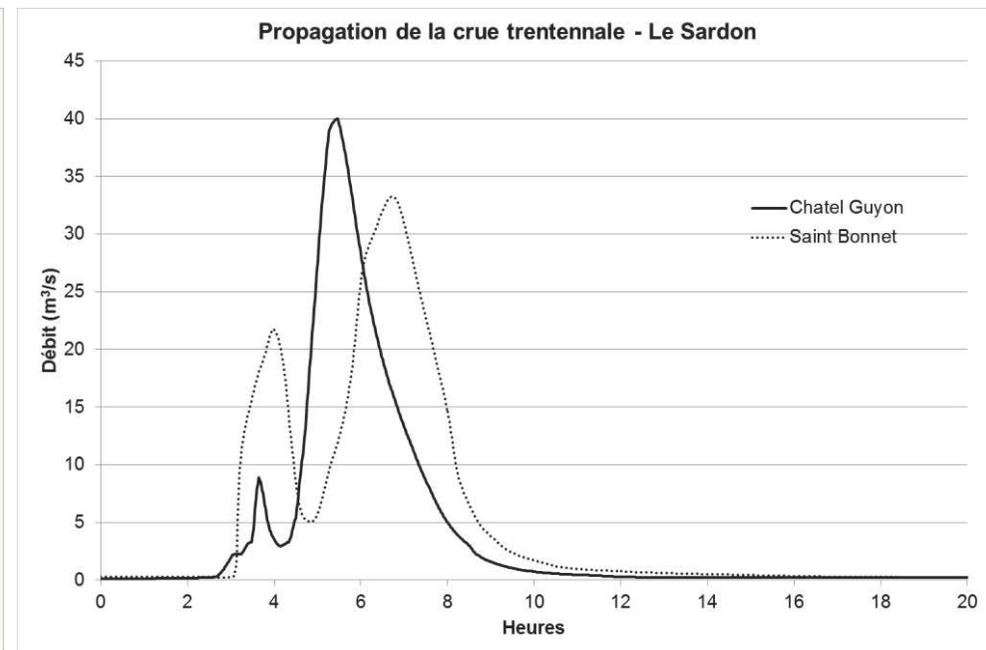
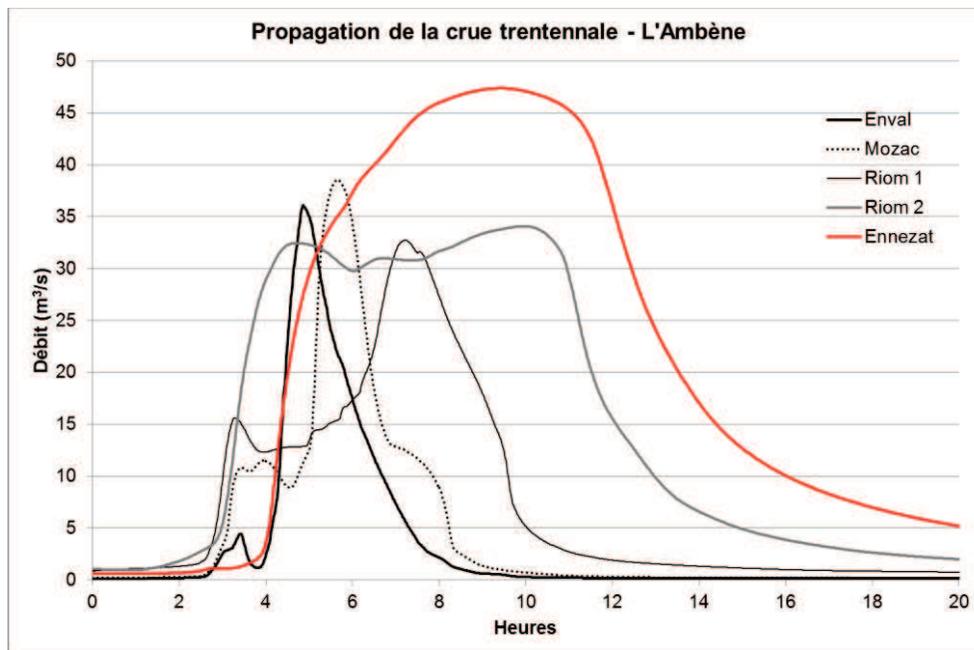
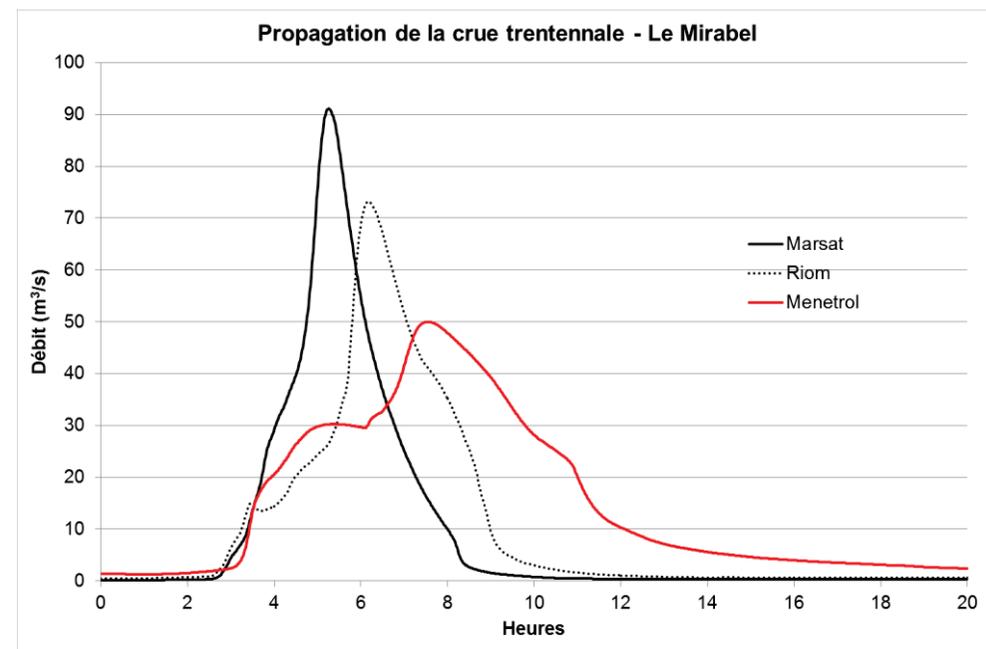


Figure 43 : agglomération de Riom, propagation de la crue trentennale



8.7.3 Crue cinquantennale

N°	Localisation point de calcul	Surface de BV (km ²)	Q50			
			Q (m ³ /s)	q (m ³ /s/km ²)	V (m ³)	v (m ³ /s/km ²)
1	L'Artière (sud) à Ceyrat (RD2089)	13.09	39.93	3.1	301 700	23 048
2	L'Artière (nord) à Ceyrat (avenue du Mont d'Or)	10.06	49.09	4.9	229 900	22 853
3	L'Artière à Beaumont (rue Bernard Maitre, ancienne échelle SIAEC)	24.03	66.96	2.8	549 500	22 867
4	La Gazelle à Romagnat (RD799)	10.06	20.91	2.1	237 800	23 638
5	L'Artière à Aubière (rue des Ramacles)	38.09	52.63	1.4	787 300	20 669
6	L'Artière à Clermont Ferrand (station DREAL, ch. Du Grand Beaulieu)	38.81	29.05	0.7	975 600	25 138
7	L'Artière à Aulnat (station DREAL, av. St Exupery)	58.06	44.64	0.8	1 465 000	25 233
8	La Tiretaine Nord à Royat (rue Victoria)	25.04	95.07	3.8	507 100	20 252
9	Le ruisseau de Liaboux à Royat (bd. De Montchalamet)	2.29	17	7.4	81 160	35 441
10	La Tiretaine Nord à Chamalières (le Parc)	28.24	96.29	3.4	599 300	21 222
11	La Tiretaine Nord à Clermont Ferrand (Saint Alyre)	44.9	55.53	1.2	820 000	18 263
12	Le ruisseau de Villars à Chamalières (voie ferrée)	10.29	32.55	3.2	190 800	18 542
13	La Tiretaine Nord à Clermont Ferrand (Catarou, bd. Léon Jouhaux)	51.6	37.72	0.7	994 000	19 264
14	Le ruisseau de Saussade à Durtol (RD943, rte. de Clermont)	9.43	30.03	3.2	184 000	19 512
15	Le ruisseau de Saussade à Nohanent (amont bassin d'orage)	18.91	30.9	1.6	385 400	20 381
16	Le Bédât à Sayat (rue du chemin neuf)	8.26	48.14	5.8	180 700	21 877
17	Le Bédât à Blanzat (rue de Clermont)	51.97	96.6	1.9	1 089 000	20 954
18	Le Bédât à Cébazat (station DREAL, La maison Rouge, RN9)	61.81	59.11	1.0	1 256 000	20 320
19	Le Bédât à Gerzat (A71)	134.7	57.3	0.4	2 431 000	18 048
20	Le Rif à Chateaugay (RN9)	5.34	3.45	0.6	99 010	18 541
21	Le Mirabel à Marsat (les Pradelles)	42.72	108.7	2.5	868 100	20 321
22	Le Mirabel à Riom (RN9, MSD)	47.1	88.24	1.9	950 500	20 180
23	Le Mirabel à Menetrol (A71)	65.28	32.98	0.5	1 110 000	17 004
24	Le Ruisseau de Chancet à Mozac (RD446)	6.21	16.52	2.7	182 900	29 452
25	L'Ambène à Enval (RD405)	16.46	41.6	2.5	300 700	18 269
26	L'Ambène à Mozac (rue Louis Aragon)	19.38	44.17	2.3	406 500	20 975
27	L'Ambène à Riom (voie ferrée)	28.94	40.28	1.4	667 400	23 062
28	L'Ambène à Riom (A71)	73.1	35.9	0.5	1 340 000	18 331
29	L'Ambène à Ennezat (station DREAL, RD210)	103	51.65	0.5	2 004 000	19 456
30	Le Sardon à Chatelguyon (RD15, av. de Broqueville)	18.56	48.06	2.6	375 900	20 253
31	Le Sardon à Saint Bonnet (rue du Sardon)	23.26	28.3	1.2	355 400	15 279

Tableau 16 : Synthèse des débits cinquantennaux et volumes écoulés

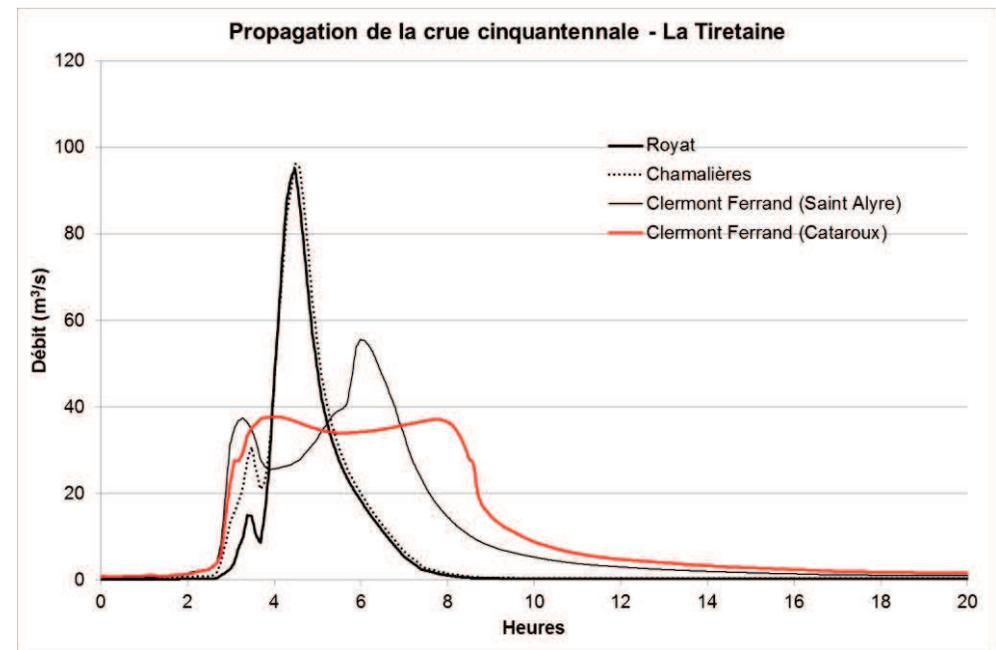
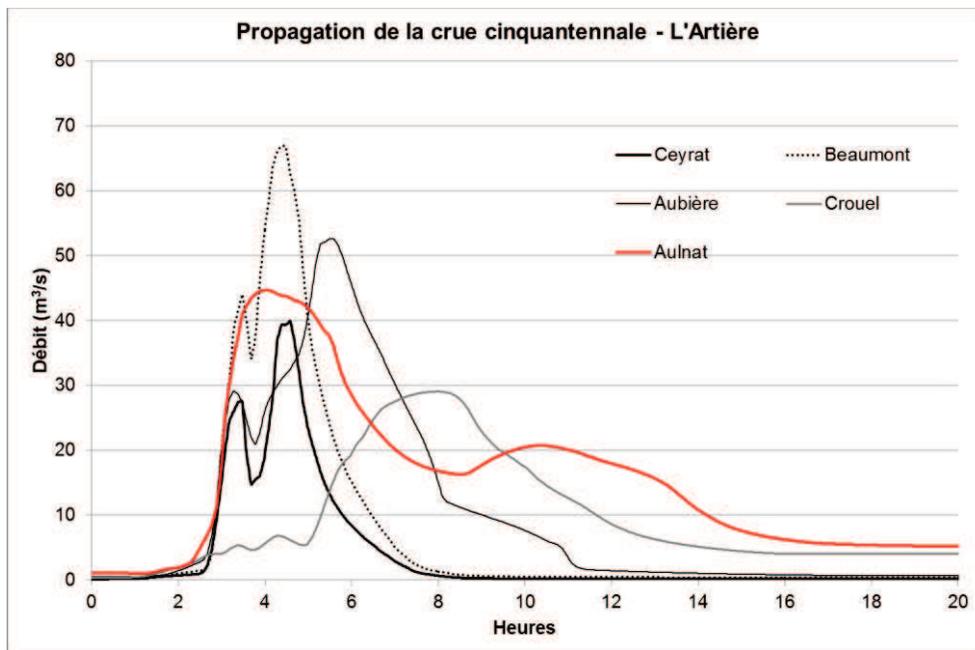
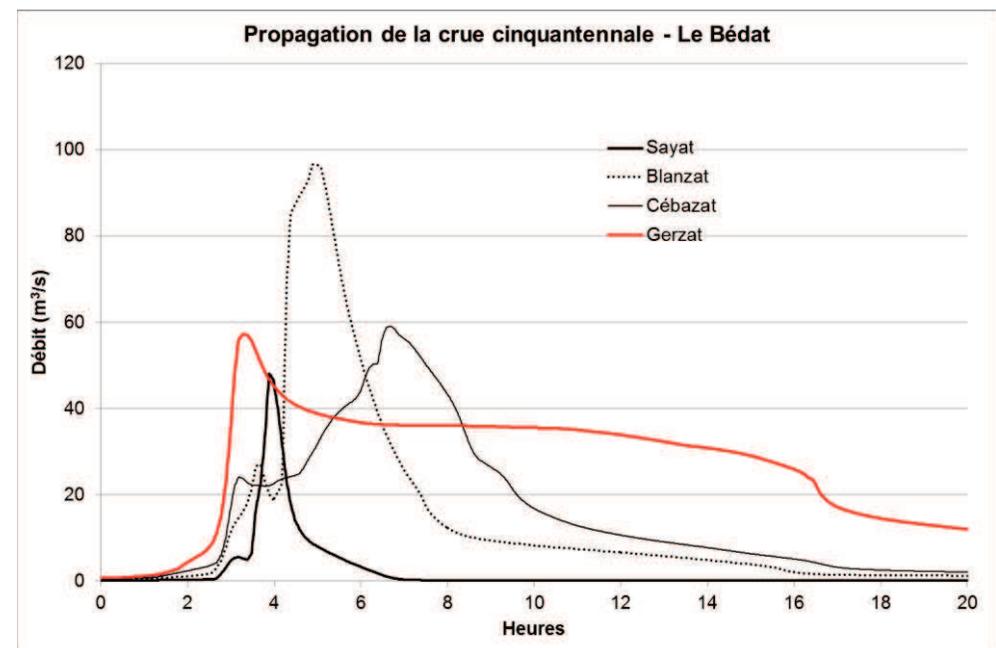


Figure 44 : agglomération de **Clermont Ferrand**, propagation de la crue cinquantennale



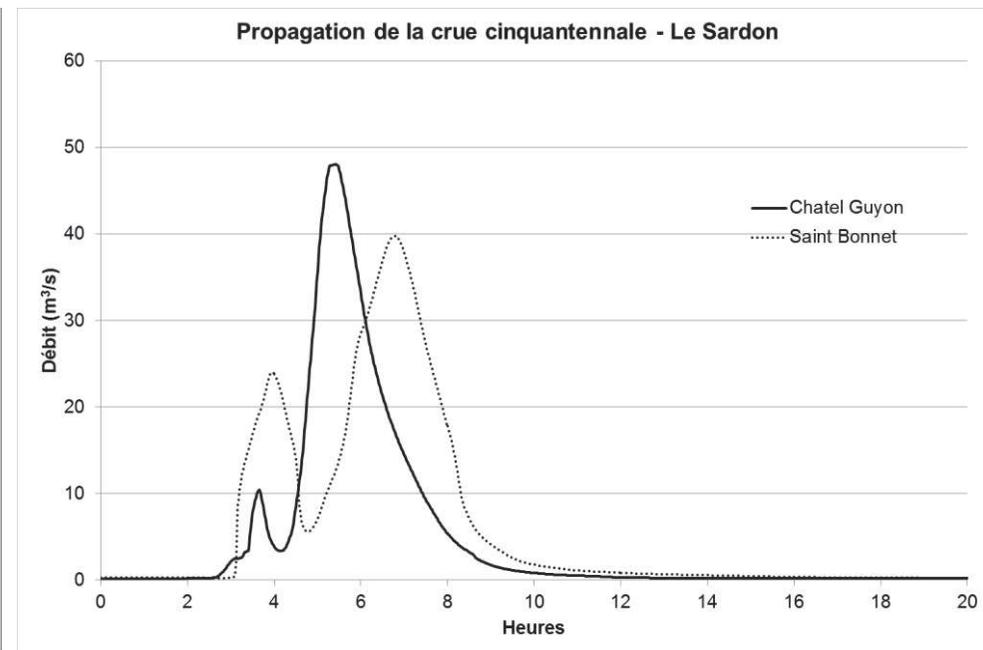
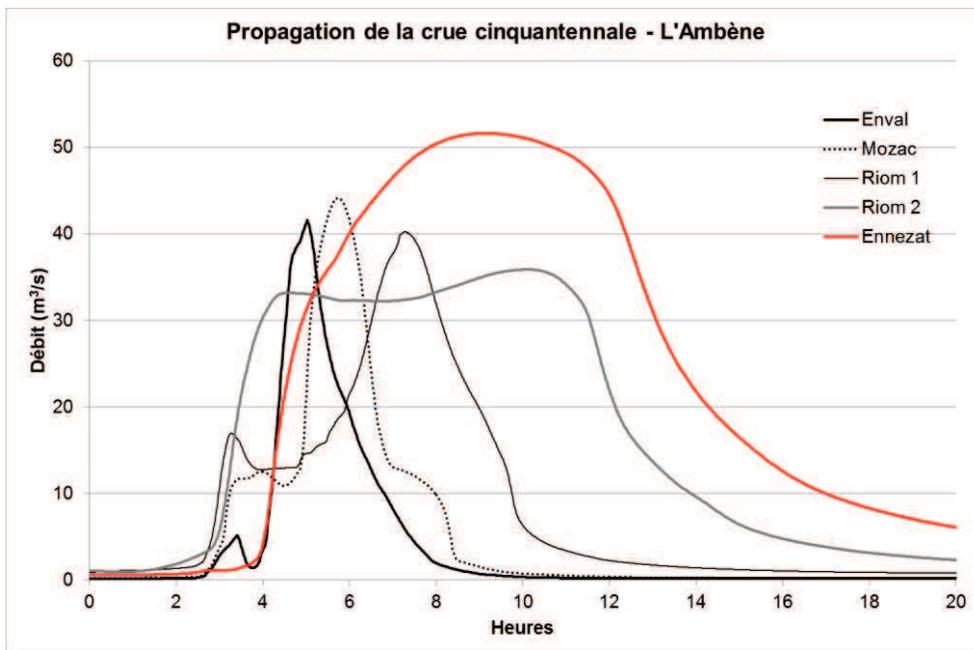
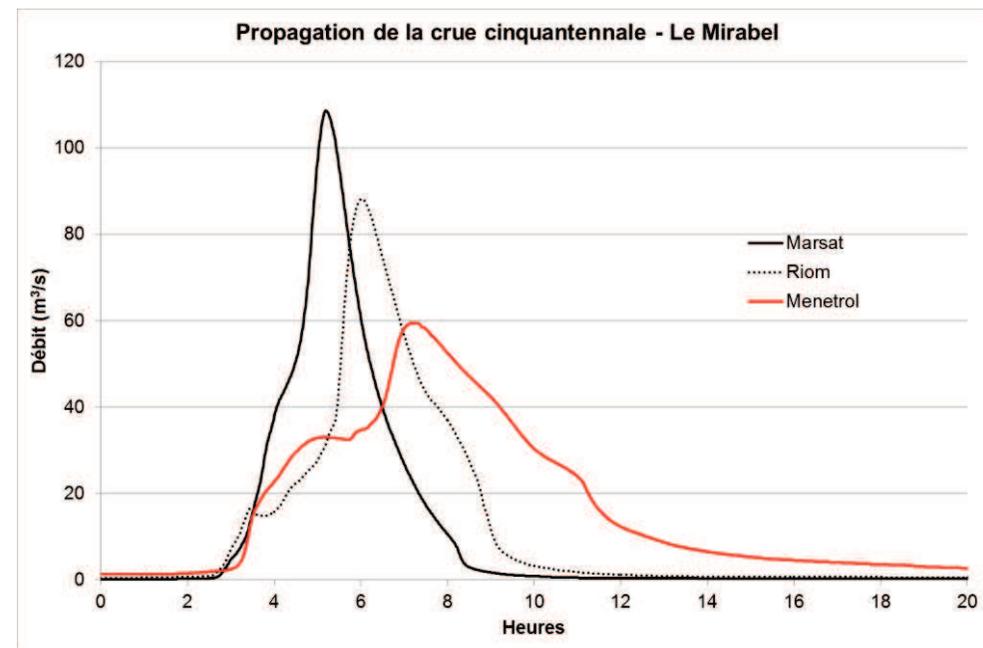


Figure 45 : agglomération de Riom, propagation de la crue cinquantennale



8.7.4 Crue centennale

N°	Localisation point de calcul	Surface de BV (km ²)	Q100			
			Q (m ³ /s)	q (m ³ /s/km ²)	V (m ³)	v (m ³ /s/km ²)
1	L'Artière (sud) à Ceyrat (RD2089)	13.09	59.63	4.6	377 500	28 839
2	L'Artière (nord) à Ceyrat (avenue du Mont d'Or)	10.06	71.27	7.1	289 000	28 728
3	L'Artière à Beaumont (rue Bernard Maitre, ancienne échelle SIAEC)	24.03	88.04	3.7	684 400	28 481
4	La Gazelle à Romagnat (RD799)	10.06	25.35	2.5	277 600	27 594
5	L'Artière à Aubière (rue des Ramacles)	38.09	72.78	1.9	922 000	24 206
6	L'Artière à Clermont Ferrand (station DREAL, ch. Du Grand Beaulieu)	38.81	44.51	1.1	1 152 000	29 683
7	L'Artière à Aulnat (station DREAL, av. St Exupery)	58.06	46.88	0.8	1 495 000	25 749
8	La Tiretaine Nord à Royat (rue Victoria)	25.04	130.9	5.2	651 800	26 030
9	Le ruisseau de Liaboux à Royat (bd. De Montchalamet)	2.29	24.72	10.8	93 550	40 852
10	La Tiretaine Nord à Chamalières (le Parc)	28.24	131.1	4.6	758 400	26 856
11	La Tiretaine Nord à Clermont Ferrand (Saint Alyre)	44.9	86.45	1.9	1 032 000	22 984
12	Le ruisseau de Villars à Chamalières (voie ferrée)	10.29	52.65	5.1	249 500	24 247
13	La Tiretaine Nord à Clermont Ferrand (Catarou, bd. Léon Jouhaux)	51.6	42.7	0.8	1 176 000	22 791
14	Le ruisseau de Saussade à Durtol (RD943, rte. de Clermont)	9.43	40.33	4.3	226 300	23 998
15	Le ruisseau de Saussade à Nohanent (amont bassin d'orage)	18.91	45.24	2.4	486 100	25 706
16	Le Bédât à Sayat (rue du chemin neuf)	8.26	70.39	8.5	227 400	27 530
17	Le Bédât à Blanzat (rue de Clermont)	51.97	128.4	2.5	1 375 000	26 458
18	Le Bédât à Cébazat (station DREAL, La maison Rouge, RN9)	61.81	101.5	1.6	1 569 000	25 384
19	Le Bédât à Gerzat (A71)	134.7	59.3	0.4	2 816 000	20 906
20	Le Rif à Chateaugay (RN9)	5.34	3.923	0.7	110 900	20 768
21	Le Mirabel à Marsat (les Pradelles)	42.72	143.2	3.4	1 095 000	25 632
22	Le Mirabel à Riom (RN9, MSD)	47.1	117.4	2.5	1 195 000	25 372
23	Le Mirabel à Menetrol (A71)	65.28	38.3	0.6	1 313 000	20 113
24	Le Ruisseau de Chancet à Mozac (RD446)	6.21	19.76	3.2	214 900	34 605
25	L'Ambène à Enval (RD405)	16.46	58.29	3.5	368 600	22 394
26	L'Ambène à Mozac (rue Louis Aragon)	19.38	53.98	2.8	515 000	26 574
27	L'Ambène à Riom (voie ferrée)	28.94	54.95	1.9	819 200	28 307
28	L'Ambène à Riom (A71)	73.1	38.55	0.5	1 572 000	21 505
29	L'Ambène à Ennezat (station DREAL, RD210)	103	57.92	0.6	2 426 000	23 553
30	Le Sardon à Chatelguyon (RD15, av. de Broqueville)	18.56	67.35	3.6	482 200	25 981
31	Le Sardon à Saint Bonnet (rue du Sardon)	23.26	40.92	1.8	451 400	19 407

Tableau 17 : Synthèse des débits centennaux et volumes écoulés

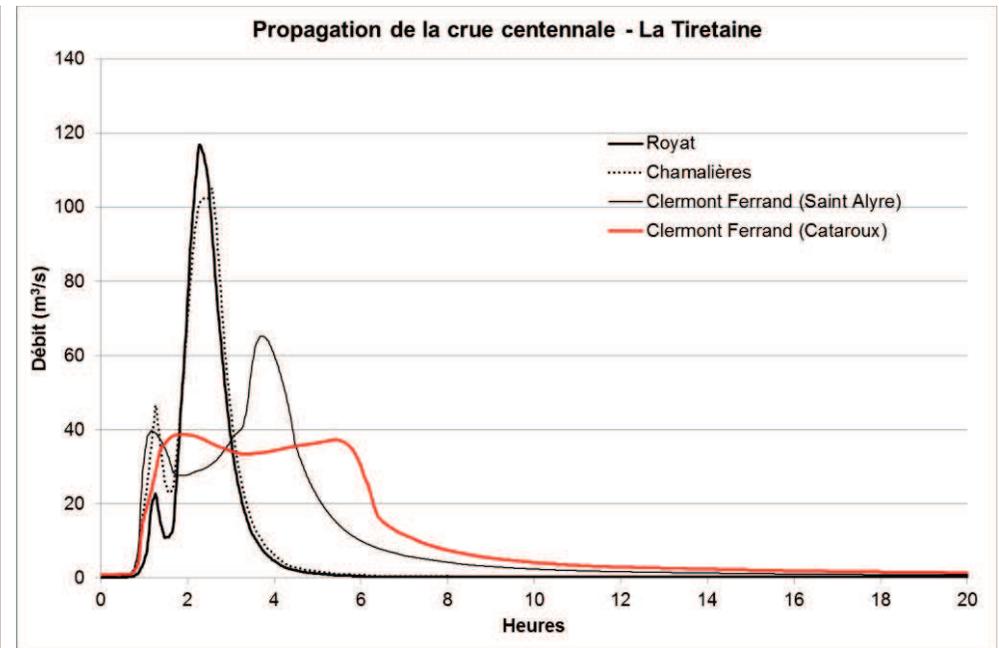
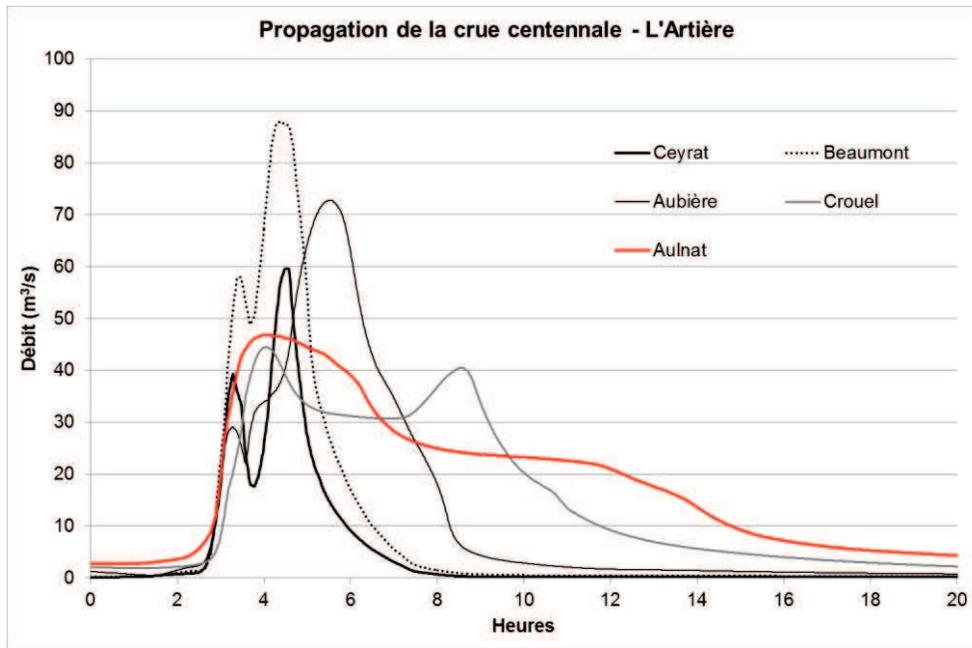
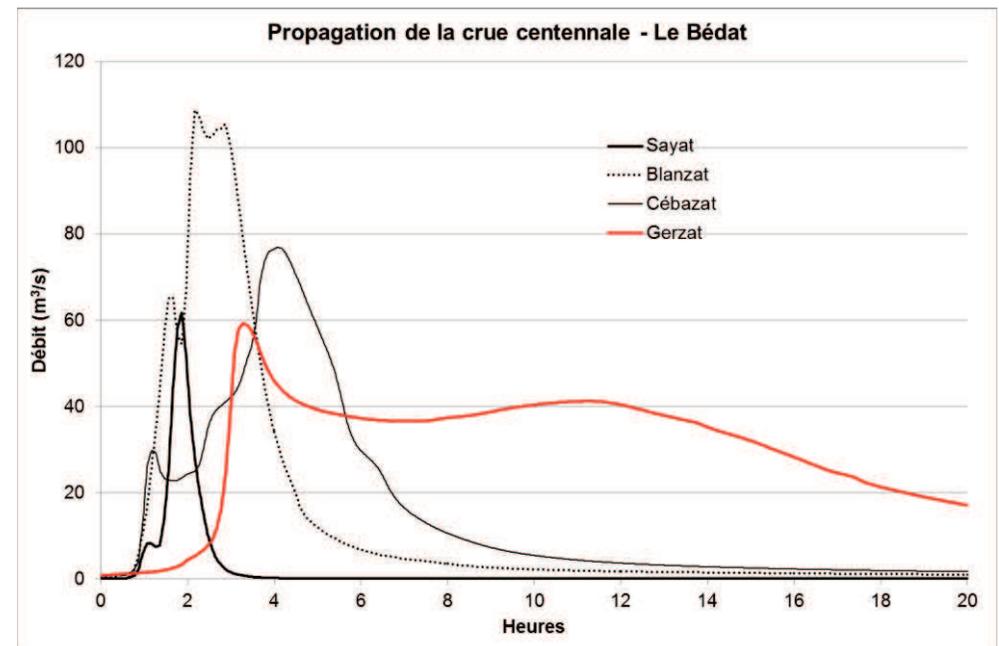


Figure 46 : agglomération de **Clermont Ferrand**, propagation de la crue centennale



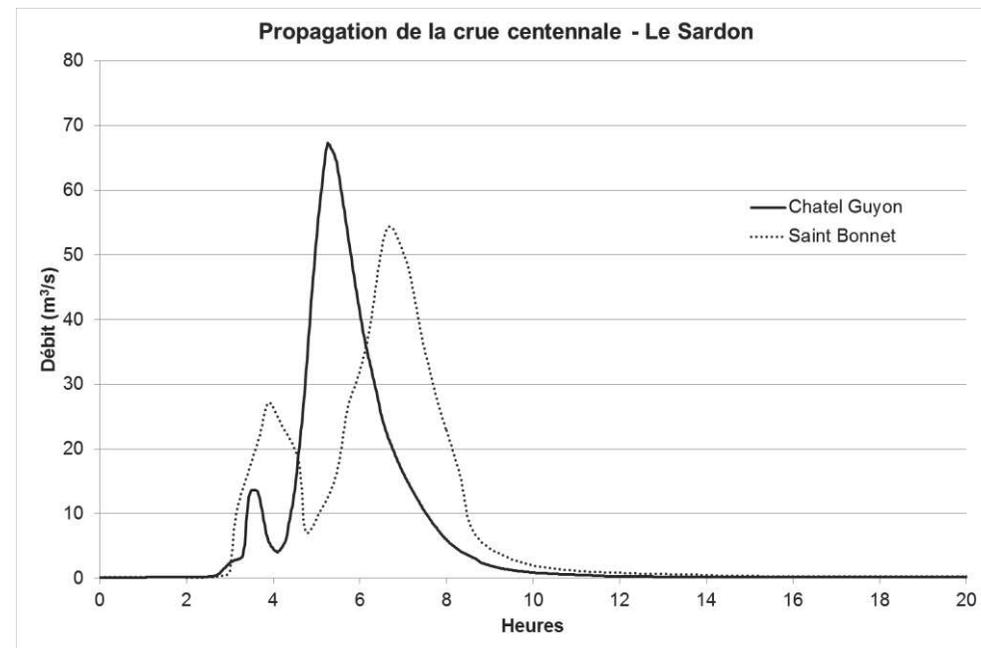
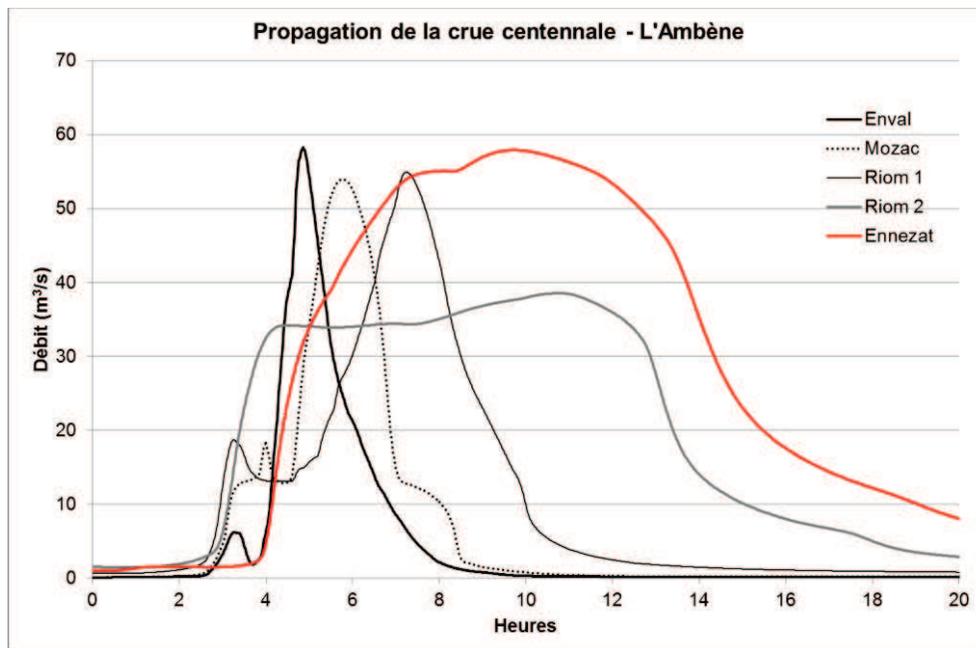
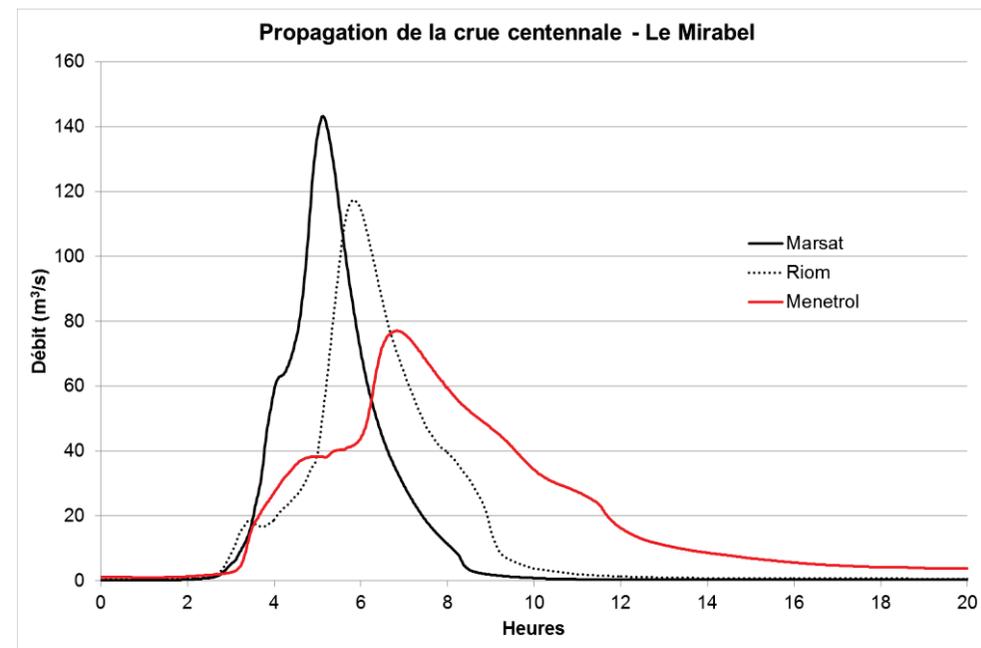


Figure 47 : agglomération de Riom, propagation de la crue centennale



8.7.5 Crue millennale

N°	Localisation point de calcul	Surface de BV (km ²)	Q1000			
			Q (m ³ /s)	q (m ³ /s/km ²)	V (m ³)	v (m ³ /s/km ²)
1	L'Artière (sud) à Ceyrat (RD2089)	13.09	76.91	5.9	597 800	45 668
2	L'Artière (nord) à Ceyrat (avenue du Mont d'Or)	10.06	127.3	12.7	463 000	46 024
3	L'Artière à Beaumont (rue Bernard Maitre, ancienne échelle SIAEC)	24.03	157.8	6.6	1 086 000	45 194
4	La Gazelle à Romagnat (RD799)	10.06	38.05	3.8	428 800	42 624
5	L'Artière à Aubière (rue des Ramacles)	38.09	132.4	3.5	1 522 000	39 958
6	L'Artière à Clermont Ferrand (station DREAL, ch. Du Grand Beaulieu)	38.81	81.91	2.1	1 825 000	47 024
7	L'Artière à Aulnat (station DREAL, av. St Exupery)	58.06	50.96	0.9	1 918 000	33 035
8	La Tiretaine Nord à Royat (rue Victoria)	25.04	238.3	9.5	1 076 000	42 971
9	Le ruisseau de Liaboux à Royat (bd. De Montchalamet)	2.29	43.62	19.0	132 700	57 948
10	La Tiretaine Nord à Chamalières (le Parc)	28.24	240	8.5	1 236 000	43 768
11	La Tiretaine Nord à Clermont Ferrand (Saint Alyre)	44.9	222.4	5.0	1 685 000	37 528
12	Le ruisseau de Villars à Chamalières (voie ferrée)	10.29	100.8	9.8	422 000	41 011
13	La Tiretaine Nord à Clermont Ferrand (Catarou, bd. Léon Jouhaux)	51.6	77.79	1.5	1 675 000	32 461
14	Le ruisseau de Saussade à Durtol (RD943, rte. de Clermont)	9.43	69.9	7.4	348 700	36 978
15	Le ruisseau de Saussade à Nohanent (amont bassin d'orage)	18.91	97.75	5.2	792 400	41 904
16	Le Bédât à Sayat (rue du chemin neuf)	8.26	121.3	14.7	366 100	44 322
17	Le Bédât à Blanzat (rue de Clermont)	51.97	237	4.6	2 232 000	42 948
18	Le Bédât à Cébazat (station DREAL, La maison Rouge, RN9)	61.81	199.9	3.2	2 550 000	41 255
19	Le Bédât à Gerzat (A71)	134.7	62.15	0.5	4 087 000	30 341
20	Le Rif à Chateaugay (RN9)	5.34	4.708	0.9	170 000	31 835
21	Le Mirabel à Marsat (les Pradelles)	42.72	239.6	5.6	1 730 000	40 496
22	Le Mirabel à Riom (RN9, MSD)	47.1	198.2	4.2	1 904 000	40 425
23	Le Mirabel à Menetrol (A71)	65.28	51.33	0.8	1 949 000	29 856
24	Le Ruisseau de Chancet à Mozac (RD446)	6.21	29.58	4.8	317 600	51 143
25	L'Ambène à Enval (RD405)	16.46	102.6	6.2	575 000	34 933
26	L'Ambène à Mozac (rue Louis Aragon)	19.38	128.9	6.7	837 900	43 235
27	L'Ambène à Riom (voie ferrée)	28.94	111	3.8	1 292 000	44 644
28	L'Ambène à Riom (A71)	73.1	55.24	0.8	2 174 000	29 740
29	L'Ambène à Ennezat (station DREAL, RD210)	103	72.16	0.7	3 465 000	33 641
30	Le Sardon à Chatelguyon (RD15, av. de Broqueville)	18.56	120.5	6.5	794 700	42 818
31	Le Sardon à Saint Bonnet (rue du Sardon)	23.26	76.52	3.3	760 000	32 674

Tableau 18 : Synthèse des débits millennaux et volumes écoulés

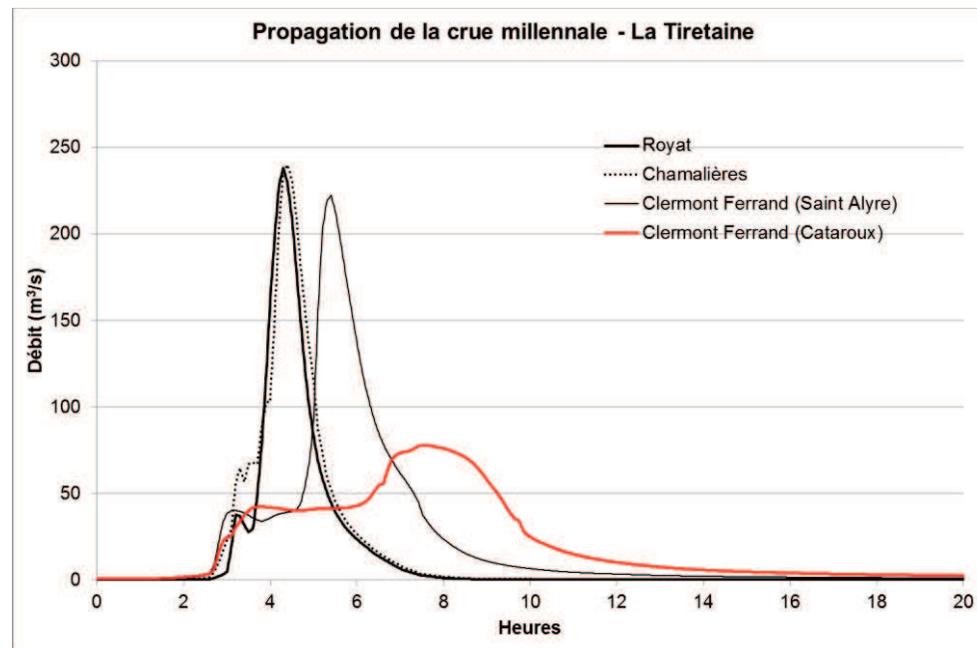
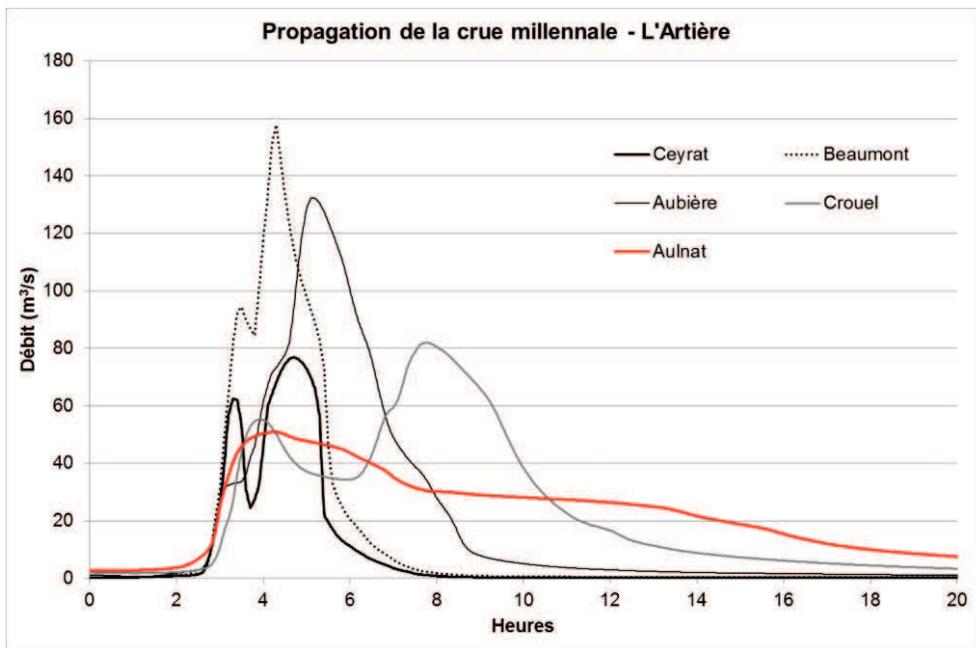
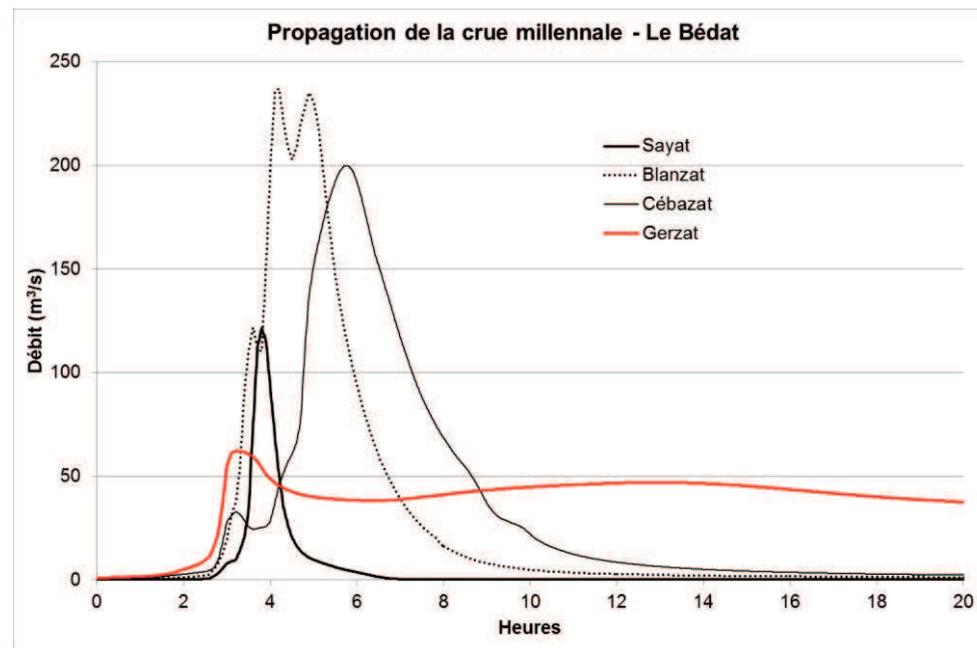


Figure 48 : agglomération de **Clermont Ferrand**, propagation de la crue millennale



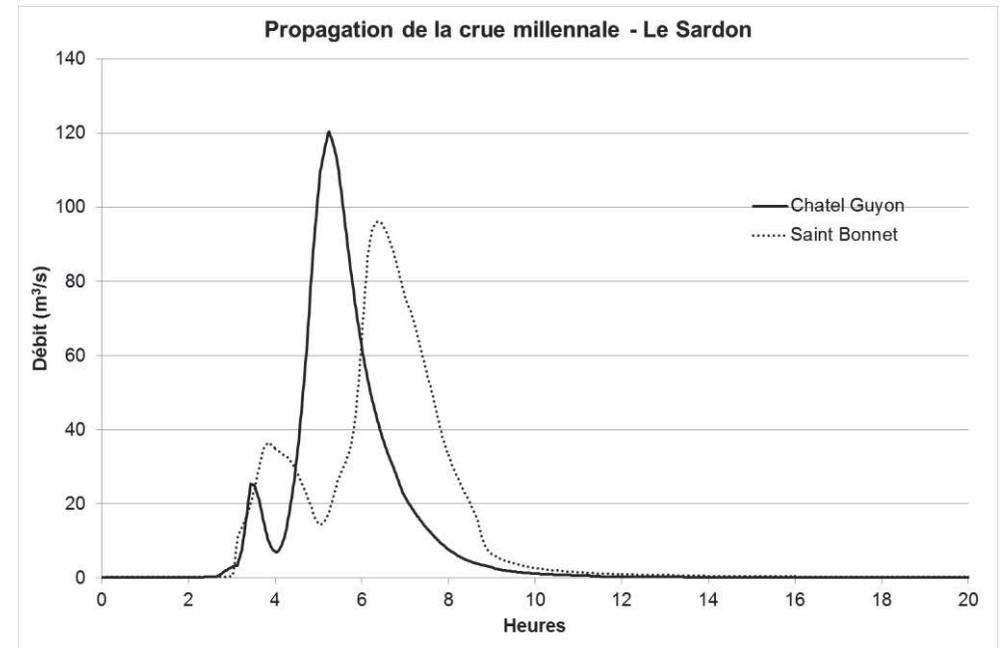
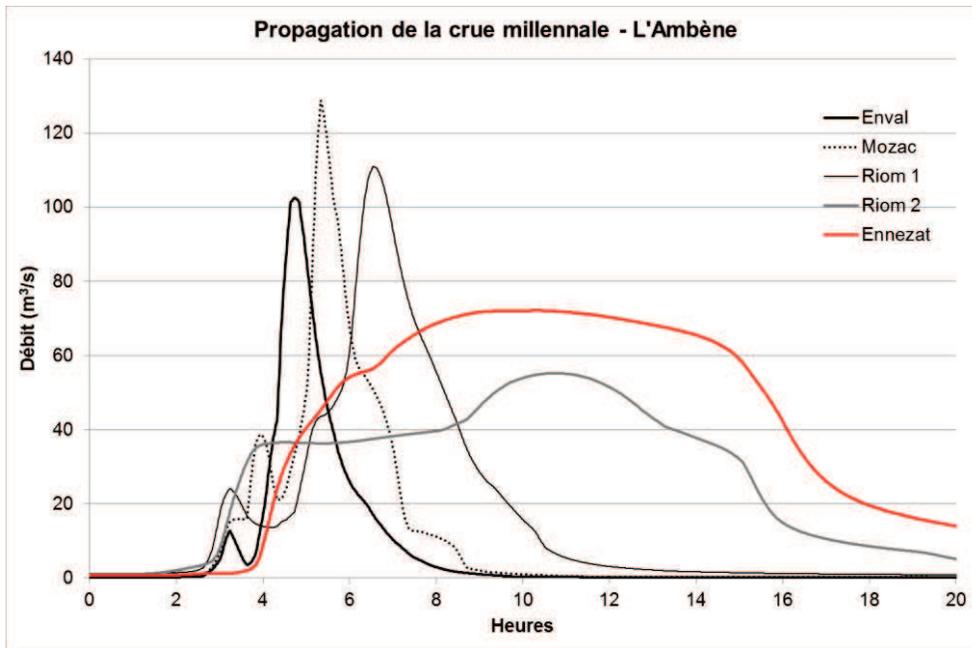


Figure 49 : agglomération de Riom, propagation de la crue millennale

