



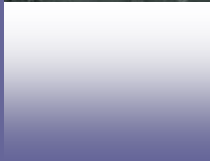
Directions Départementales des Territoires de la Loire et du Rhône



Plan de prévention des risques naturels liés aux inondations de la Coise et de ses affluents



Etude hydrologique, hydrogéomorphologique et
hydraulique



Rapport d'étude

D385-01-11 - Ind 0 - Mai 2012



HTV
32 chemin de Bier
38110 SAINTE-BLANDINE
Tél/Fax : 04.74.83.39.12
Port. : 06.08.41.65.62
Email : contact.htv@orange.fr

TABLE DES MATIERES

Chapitre 1	Préambule.....	7
Chapitre 2	Caractéristiques du bassin versant de la Coise.....	8
2.1	Caractéristiques du bassin versant.....	8
2.2	Réseau hydrographique	9
2.3	Sous-bassins versants	10
2.4	Géologie du bassin versant	10
2.5	Occupation du sol.....	10
2.6	Estimation du potentiel de ruissellement	11
Chapitre 3	Historique des crues.....	12
3.1.1	Recensement des crues historiques.....	12
3.1.2	Crues majeures récentes	16
3.1.3	Synthèse des crues historiques	17
Chapitre 4	Analyse hydrologique	18
4.1	Analyse des études antérieures.....	18
4.1.1	Etude CNR.....	19
4.1.2	Etude Hydrétudes.....	22
4.1.3	Etude Ginger.....	22
4.2	Pluviométrie.....	24
4.2.1	Aperçu régional	24
4.2.2	Etude de la pluviométrie à l'échelle du bassin versant	25
4.2.3	Synthèse de la pluviométrie sur le bassin versant de la Coise.....	33
4.2.4	Pluie synthétique.....	33
4.3	Analyse statistique des stations hydrométriques	34
4.3.1	Critique des données disponibles	34
4.3.2	Analyse statistique	35
4.3.3	Synthèse des données hydrométriques.....	41
4.4	Modélisation pluie-débit	42
4.4.1	Méthode	42

4.4.2	Temps de concentration des sous-bassins versants	45
4.4.3	Pluie de référence	45
4.4.4	Calage du modèle hydrologique.....	47
4.4.5	Débits de crue de la Coise	51
4.4.6	Débits de crue des affluents de la Coise	53
4.5	Débits statistiques retenus sur la Coise	54
4.6	Débits statistiques des affluents de la Coise	55
Chapitre 5	Analyse hydrogéomorphologique.....	56
5.1	Définition des secteurs.....	56
5.2	Méthodologie	57
5.3	Description hydrogéomorphologique des différents cours d'eau	58
5.3.1	La Coise.....	58
5.3.2	Le Petit Volvon et le Gourny	60
5.3.3	Le Vérut	60
5.3.4	La Gimond rive gauche.....	61
5.3.5	La Gimond rive droite	61
5.3.6	Le Couzon	62
5.3.7	L'Orzon	62
5.3.8	Le Manipan.....	62
5.3.9	Le Potensinet.....	62
5.3.10	La Vergnassière	63
5.3.11	La Platte	63
Chapitre 6	Analyse hydraulique.....	64
6.1	Choix du modèle numérique de simulation	64
6.2	Construction du modèle numérique.....	65
6.3	Calage des modèles numériques	65
6.4	Conditions aux limites du modèle numérique.....	65
6.4.1	Condition amont	65
6.4.2	Condition aval	65
6.5	Simulation de la crue de référence	66
6.5.1	Description du fonctionnement hydraulique de la Coise et ses affluents.....	66
6.5.2	Résultats de simulation.....	71
6.6	Cartographie des zones inondables.....	72

6.6.1	Définition des secteurs	72
6.6.2	Cartes informatives des phénomènes naturels	73
6.6.3	Hauteurs de submersion et vitesses d'écoulement	73
6.6.4	Aléas.....	74

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Tableau 2-1 :	Valeurs du paramètre CN retenues.....	11
Tableau 3-1 :	Laisses de crue 2008	17
Tableau 4-1 :	Pluviométrie étude CNR.....	19
Tableau 4-2 :	Débits de crue des études antérieures au Moulin Brûlé.....	20
Tableau 4-3 :	Débits statistiques étude CNR.....	21
Tableau 4-4 :	Débits de crue à St-Denis-sur-Coise	22
Tableau 4-5 :	Pluviomètres à proximité du bassin versant de la Coise	26
Tableau 4-6 :	Pluies statistiques.....	27
Tableau 4-7 :	Analyse statistique de la durée d'échantillonnage	28
Tableau 4-8 :	Influence de l'altitude	29
Tableau 4-9 :	Pluies annuelles maximales en 24 h	32
Tableau 4-10 :	Stations hydrométriques du bassin versant de la Coise	34
Tableau 4-11 :	Qualité des stations hydrométriques.....	35
Tableau 4-12 :	Débits statistiques de la Coise au Nézel	37
Tableau 4-13 :	Débits statistiques du Nézel - méthode du GRADEX.....	38
Tableau 4-14 :	Débits statistiques du Moulin Brûlé - méthode des moments	40
Tableau 4-15 :	Débits statistiques du Moulin Brûlé - méthode du GRADEX...	41
Tableau 4-16 :	Débits statistiques des stations hydrométriques retenus.....	41
Tableau 4-17 :	Cumuls de pluie en fonction de la durée	47
Tableau 4-18 :	Débits de crue 2008, Q_{10} et Q_{100} de la Coise.....	51
Tableau 4-19 :	Débits de crue 2008, Q_{10} et Q_{100} des affluents de la Coise ...	53
Tableau 4-20 :	Débits statistiques de la Coise	54

Tableau 4-21 :	Débits statistiques des affluents de la Coise.....	55
Tableau 6-1 :	Répartition de débit à St-Denis-sur-Coise	68
Tableau 6-2 :	Répartition de débits à Lapra.....	70
Figure 1 :	Niveaux de crues du Couzon.....	15
Figure 4-1 :	Pluviométrie journalière décennale réalisée par Météo-France en 1999 sur 3 000 postes pluviométriques	24
Figure 4-2 :	Pluviométrie journalière centennale réalisée par Météo-France en 1999 sur 3 000 postes pluviométriques	25
Figure 4-3 :	Stations pluviométriques à proximité du bassin versant de la Coise 26	
Figure 4-4 :	Pluie centennale en fonction de l'altitude	30
Figure 4-5 :	Ajustement statistique du Nézel par la méthode des moments 36	
Figure 4-6 :	Nézel, méthode du GRADEX	38
Figure 4-7 :	Ajustement statistique du Moulin Brûlé par la méthode des moments 39	
Figure 4-8 :	Moulin Brûlé - méthode du GRADEX.....	40
Figure 4-9 :	Pics d'intensités horaires des événements pluviométriques antérieurs 46	
Figure 4-10 :	Hydrogramme 2008 Nézel / HECHMS	48
Figure 4-11 :	Profil en long des débits de la Coise.....	52
Figure 6-1 :	Exemple de champ de vitesse des écoulements.....	72
Figure 6-2 :	Grille des aléas.....	74

TABLE DES ANNEXES

Annexe 1 Plan de situation

Annexe 2 Cartes des altitudes

Annexe 3 Cartes du réseau hydrographique et des sous-bassins versants

Annexe 4 Carte géologique simplifiée du bassin versant

Annexe 5 Cartes de l'occupation du sol

Annexe 6 Laisses de crue 2008 – SIMA Coise

Annexe 7 Laisses de crue 2008 – relevé HTV

Annexe 8 Caractéristiques des sous-bassins versants

Annexe 9 Résultats modèle pluie-débit

Annexe 10 Cartographie des zones inondables par analyse hydrogéomorphologique

Annexe 11 Tableau de résultats modélisation hydraulique

Annexe 12 Profils en travers

Annexe 13 Profils en long

Annexe 14 Cartes informatives des phénomènes naturels

Annexe 15 Cartes des hauteurs d'eau

Annexe 16 Cartes des vitesses d'écoulement

Annexe 17 Carte des aléas

Chapitre 1 Préambule

L'Etat souhaite procéder à l'élaboration du Plan de Prévention des Risques Naturels d'Inondation sur le bassin versant de la Coise. L'objet de ce rapport est la présentation, préalable à ce PPR, de l'étude hydraulique de la Coise et de ses affluents ainsi que la cartographie des aléas inondation.

L'aire d'étude est donc le bassin versant de la Coise.

Les aléas à étudier sont les risques d'inondation liés à la Coise et aux apports de ses affluents.

Au regard des études existantes (CNR en 1994 et Hydrétudes en 2000 pour la Coise ainsi que Ginger environnement en 2009 pour le Volvon), il s'agit de confronter les résultats présentés avec les évolutions du territoire (bassin versant) et des caractéristiques du lit mineur de la Coise, puis de déterminer les aléas sur l'ensemble de bassin versant après avoir modélisé les écoulements sur les zones ayant évolué et plus particulièrement les secteurs à enjeux.

La condition aval retenue est la crue centennale de la Loire.

Le présent rapport présente l'analyse hydrologique du bassin versant de la Coise, l'analyse hydrogéomorphologique et l'analyse hydraulique par modélisation numérique.

L'analyse hydrologique doit permettre de déterminer les débits de référence retenus pour l'estimation du risque inondation.

L'analyse hydrogéomorphologique a pour objectif de cartographier le risque inondation sur les zones sans enjeux, par l'étude uniquement de la morphologie du fond de vallée.

Enfin, l'analyse hydraulique présente la modélisation numérique qui a été utilisée pour définir précisément le risque inondation sur les zones à enjeux.

Chapitre 2 Caractéristiques du bassin versant de la Coise

L'objectif principal de ce chapitre est de décrire les principales caractéristiques du bassin versant de la Coise pour une meilleure compréhension des crues.

Les grandeurs caractéristiques décrites dans ce chapitre seront également utilisées pour l'élaboration du modèle pluie-débit.

Les données utilisées sont issues de :

- Modèle Numérique de terrain SRTM (maille 90 m)
- Corine Land Cover 2006

2.1 Caractéristiques du bassin versant

Le bassin versant (BV) de la Coise, d'une superficie de 334 km² est situé sur les Monts du Lyonnais en rive droite de la Loire.

Les altitudes varient entre 340 m à la confluence de la Loire à Montrond-Les-Bains et 934 m sur l'amont du bassin versant du Rieu (*Le Signal de St André*).

Le BV est de forme allongée (25 km de longueur pour 12 km de largeur), il est orienté Ouest (cf. Annexe 1).

L'indice de compacité de Gravelius ($K_g = 0.28 \times P / A^{0.5}$) permet une 1^{ère} approche du type de crue :

Avec $P_{(\text{périmètre})} = 96.6$ km et $A_{(\text{surface})} = 334$ km², on obtient un indice $K_g = 1.48$ traduisant un bassin versant de forme allongée.

Ce type de bassin versant présente un temps de concentration important, des pics de crues plus étalées qu'avec un bassin versant de forme circulaire.

La carte de situation IGN est présentée en Annexe 1 et la carte des altitudes en Annexe 2.

2.2 Réseau hydrographique

Le réseau hydrographique de la Coise présente un cheminement maximal de 52.4 km pour une pente moyenne de 0.011 m/m.

Les affluents sont régulièrement répartis sur le cours de la Coise dont les principaux sont (de l'amont vers l'aval) :

- Le ruisseau de la Platte (rive droite)
- Le Rieu (rive droite)
- Le Potensinet (rive droite)
- Le Coiset (rive droite)
- Le Rosson (rive gauche)
- Le Manipan (rive droite)
- L'Orzon (rive droite)
- Le Couzon (rive gauche)
- La Maladière (rive droite)
- Le Ramarey (rive gauche)
- La Bilaize (rive gauche)
- L'Arbiche (rive gauche)
- La Gimond rive droite (rive droite)
- Le Merlançon (rive droite)
- La Gimond rive gauche (rive gauche)
- Le ruisseau de Savia (rive gauche)
- Le ruisseau de St Marcel (rive gauche)
- Le Vérut (rive droite)
- Le Volvon (rive gauche), drainant les eaux du Gourny et du Petit Volvon
- L'Anzieux (rive droite), hors étude hydraulique

La carte du réseau hydrographique est présentée en Annexe 3. Sur cette carte, sont représentés les secteurs où les zones inondables ont été cartographiées soit par modélisation numérique, soit à partir d'une analyse hydrogéomorphologique.

2.3 Sous-bassins versants

Le bassin versant de la Coise a été divisé en plusieurs sous-bassins versants caractérisés par les principaux affluents (décrits dans le chapitre 2.2) afin de permettre une analyse plus fine des crues de la Coise et de ses affluents.

Ces sous-bassins ont été délimités à partir des limites SIG fournies par le SIMA Coise.

La carte des sous-bassins versants est présentée en Annexe 3.

2.4 Géologie du bassin versant

La géologie du bassin versant de la Coise a été divisée en 9 classes (cf. carte de la géologie simplifiée du bassin versant en Annexe 4).

- **Alluvions récentes et actuelles et alluvions des basses terrasses de la Coise** dans le lit majeur de la Coise et de la Loire ;
- **Alluvions anciennes de la plaine du Forez** au Nord de la Coise ;
- **Argiles, sables et Poudingues** au Sud de la Coise.

Côté Monts du Lyonnais, la géologie se compose de **Granites** et **Migmatites** au Sud et à l'Ouest du bassin versant et d'**Orthogneiss** au Nord et à l'Est. Une poche d'**amphibolite** est visible à l'Est du bassin versant.

Dans le secteur de la plaine, les sols situés au Sud de la Coise sont peu drainants tandis que les sols au Nord sont drainants. Côté Monts du Lyonnais, les sols sont considérés comme moyennement drainants.

2.5 Occupation du sol

L'analyse de l'occupation du sol a été réalisée à partir de la base de données géographique CORINE Land Cover 2006 fournissant un inventaire biophysique de l'occupation des terres (cf. Annexe 5).

L'objectif de cette analyse étant d'estimer le potentiel de ruissellement du bassin versant, l'occupation du sol du bassin versant de la Coise a été divisée en 4 sous-ensembles :

- Prairie ;
- Zone cultivée ;
- Zone boisée ;
- Zone urbanisée.

La zone urbanisée a été redéfinie à partir de l'orthophotoplan 2006 utilisé dans l'étude puisque certaines extensions de cette zone n'apparaissaient pas dans la base de données CORINE Land Cover 2006.

2.6 Estimation du potentiel de ruissellement

Le potentiel de ruissellement, ou Curve Number (CN) est calé en fonction de la géologie du site et de la typologie d'occupation des sols du bassin versant.

Les valeurs retenues pour les paramètres CN sont les suivantes :

	Zone urbanisée	Zone cultivée	Prairie	Zone boisée
CN 2008	90	80	75	65
CN Coise crues statistiques	90	75	70	60

Tableau 2-1 : Valeurs du paramètre CN retenues

Pour l'événement 2008, afin de prendre en compte une saturation du sol en eau par des événements pluviométriques antécédents aux crues, les valeurs du paramètre CN sont supérieures aux valeurs utilisées pour l'estimation des débits statistiques de la Coise.

Pour des raisons de calage vis-à-vis des laisses de crue, pour le bassin versant du Volvon, les coefficients utilisés sont les CN 2008.

Le coefficient moyen sera alors :

$$CNm = \frac{\sum_i C_i S_i}{\sum_i S_i}$$

Avec S_i la surface correspondante au type de sol i considéré.

Chapitre 3 Historique des crues

3.1.1 Recensement des crues historiques

Les archives plus ou moins récentes font état des événements suivants ayant donné lieu à une montée en crue de la Coise.

3.1.1.1 Crue des 26 & 27 août 1834

La crue de 1834 est restée dans les archives la crue la plus importante que les habitants du bassin versant de la Coise aient connue. Cette crue a probablement été provoquée par un orage d'une forte intensité ayant touché plusieurs cours d'eau du département de la Loire.

Les Annales sciences physiques et naturelles d'agriculture et d'industrie (2^{ème} série, tome 5, 1853 relatent les éléments suivants :

« Eaux élevées de 5m52 entre les profils 88 et 89 en amont du moulin de Mr Merlat où les eaux s'étendaient de 294 m ».

Le moulin de Mr Merlat était situé sur la commune de St-Symphorien-sur-Coise au lieu-dit les Pinasses en aval du pont (source : commune de St-Symphorien-sur-Coise).

L'œuvre de Maurice Champion "Les inondations de la France du VI^e siècle à nos jours", 1858-1864 indique les éléments suivants :

« Débordement de la Coize à St Galmier, du Vizezy à Montbrison et du Furan à St Etienne par suite à un orage. »

« En 1834, un orage affreux fit subitement croître la petite rivière de Coize de 30 pieds, dans la nuit du 26 au 27 août' ; ce débordement fit à Saint-Galmier d'immenses ravages. Les autres cours d'eau, dans ces contrées, éprouvèrent, par la même cause, un exhaussement extraordinaire ; le Vizezy inonda Montbrison et le Furens se montra d'une violence désastreuse à Saint-Étienne »

Le journal des débats (éditions du 2 et du 6 septembre 1834) relate les événements au sein des communes de St-Galmier (Crue de la Coise) et de St-Symphorien-sur-Coise (crue de l'Orzon) :

A Saint-Galmier :

« Le 26 août, à huit heures du soir, une pluie battante commença à faire croître la petite rivière qui coule dans notre pays ; à onze heures, elle s'élevait à une hauteur de plus de dix mètres ; nous avons déjà fait des pertes incalculables, mais ce n'était

qu'un prélude aux désastres que nous devons éprouver ; (...) vingt maisons avaient disparu, et cinq personnes ne purent être retrouvées.

Beaucoup d'autres étaient blessées ou hors d'état de se soutenir. Au nombre des édifices qui ont été emportés, je vous citerai les moulins Staron, l'hôtel Duret, l'établissement de M. Ramel. Le vieux pont dit des Romains, que tant de siècles avaient respecté, a lui-même été entraîné, et aucun des nouveaux ponts n'a résisté au choc.

L'abondance de la promenade, le versant de la côte ne sont plus qu'un amas d'arbres et de décombres qu'on ne pourrait charger sur des milliers de voitures : on voit chacun occupé à chercher dans le silence de la douleur les débris de sa fortune, et les ordres les plus sévères sont donnés pour que tout ce qu'on pourra trouver soit rapporté à un endroit indiqué ; oh ! sûrement personne ne voudra profiter de tant de désastres.

On estime la perte à 500,009 fr. et on m'assure qu'il y a au moins quinze familles qui n'ont conservé que leurs corps.

(...)

A St-Symphorien-sur-Coise :

M. le maire de Saint-Symphorien-sur-Coise nous adresse la relation suivante d'un épouvantable ouragan qui vient de ravager cette commune et ses environs :

(...)

Hier, 26 août, une journée tranquille a vu se former avec l'obscurité de la nuit, des nuages accompagnés de coups de tonnerre continus qui, loin de nous présager la ruine de nos montagnes, paraissaient devoir en vivifier les récoltes ; néanmoins un ciel de feu et d'eau a, depuis sept heures jusqu'à deux heures du matin, tellement trompé nos espérances que nos ruisseaux et notamment la Coise qui nous baigne, devenus lacs et torrents, ont porté partout la mort et l'épouvante ; les arbres détruits, renversés, arrachés, jetés en travers de nos prairies, ont reflué les eaux à une hauteur de vingt-cinq pieds ; jamais tempête, de mémoire d'homme, ne fut plus funeste ; nos routes sont coupées, nos ponts entraînés, nos digues rompues, nos moulins à blés, à écorce et à huile sont détruits, anéantis ; tel est le résultat d'un débordement épouvantable.

Saint-Symphorien a la majeure partie de son industrie dans la tannerie ; ces établissements placés sur les bords de l'Orzon (ruisseau qui côtoie la ville) dans l'espace de deux heures au plus, ont été inondés et emportés par le torrent ; vingt commerçants et pères de familles redemandent aux eaux dévastatrices et leur fortune et les produits de leur travail.

Un teinturier a vu ses bâtiments crouler, et des flots de terre et d'eau lui emporter à jamais les marchandises qui lui étaient confiées et les bois et drogues de sa fabrique ; la désolation est au comble.

Sur la Coise, je le répète, pas une usine, pas un moulin n'a résisté à ce déluge ; des étables entières sont devenues la proie des eaux.

(...)

Ayant parcouru tous les lieux de trois à dix heures du matin, j'ai vu les ponts français et de Couzon, de Saint-Etienne à Anse par Saint-Symphorien en partie détruits, et le passage intercepté.

Le Pont-Neuf et le pont Cottard sont entièrement rasés (...) ; nos prairies, nos arbres, nos fonds ont en partie disparu, et une partie de nos propriétés sont coupées et entièrement mises à nu ; j'en porte le dommage à plus de cinq cent mille francs. »

Le registre de l'Etat Civil de la commune de Coise fait état d'un orage qui s'est déclenché le 26 août à 21h et terminé le 27 août à 2h du matin, soit 5h de pluie.

Sur la Coise, la crue a été amplifiée par la rupture du pont de la RD63 (route de Larajasse en amont de St-Symphorien-sur-Coise). Ce pont, reconstruit en 1833 était muni de deux arches et faisait 24 pieds (7.8 m) de haut. Des embâcles sont venus obturer les arches et une retenue d'eau s'est formée à l'amont du pont qui a cédé. Une vague s'est alors formée en aval, phénomène expliquant les hauteurs atteintes par cette crue.

Le pont sur la Coise de la RD4 en aval de St-Symphorien a été submergé par 6 pieds (2 m) d'eau, le débordement s'étant produit en lit majeur droit.

3.1.1.2 Crue du 8 au 12 décembre 1860

L'œuvre de Maurice Champion "Les inondations de la France du VI^e siècle à nos jours", 1858-1864 indique les éléments suivants sur la crue de 1860 :

« La crue du 8 au 12 décembre 1860 a été insignifiante dans la Loire et considérable dans certains affluents. La Coise notamment a ravagé ses bords et coupé le chemin de fer de Saint-Étienne à Roanne sur 40 mètres de longueur. » (Rapport de M. Comoy.

3.1.1.3 Autres crues sur la Coise

De nombreuses autres crues de la Coise sont notées dans diverses archives, faisant état de destruction de barrages :

- **Crue 1763** : toutes les passerelles sur la Coise ont été détruites
- **Crues du 2 septembre 1897 et du 24 & 25 août 1900** : destruction du barrage du Moulin Brulat (Chazelles-sur-Lyon),
- **Crues du 8 janvier 1918** : Barrage du moulin à Cuzieu emporté par la débâcle des glaces
- **Crues du 8 mars 1927** : Barrage à St Galmier à l'aval de l'usine Badoit emporté par une crue soudaine

3.1.1.4 Crues des affluents de la Coise

Concernant les affluents de la Coise, les événements suivants ont été relevés (source : commune de St-Symphorien-sur-Coise) :

- 1897 : crues sur le Couzon et l'Orzon. Le niveau d'eau du Couzon est indiqué sur le Pont Français (cf. photo ci-après) où l'on peut remarquer que la crue du 2 septembre 1897 a été plus importante que celle de décembre 2003.



Figure 1 : Niveaux de crues du Couzon

- 1941 : Des trombes d'eau tombent sur Avèze, tout est détruit sur l'Orzon.

Sur l'Orzon, depuis son busage en 1963, le seul désordre hydraulique relevé est la mise en charge du busage sous la RD 71 où le niveau d'eau est monté presque au niveau de la route.

3.1.2 Crues majeures récentes

La Coise ayant connu deux crues majeures en 2003 et 2008 suite à des remontées cévenoles, de nombreux éléments ont pu être relevés (laisses de crues, témoignages, ...).

3.1.2.1 Crue décembre 2003

Cette crue est issue d'une remontée cévenole les 1^{er} et 2 décembre.

Lors de cet épisode, 158 mm de pluie ont été relevés à la station d'Andrézieux Bouthéon sur une durée de 40 h. Les intensités maximales horaires sont de l'ordre de 9.2 mm/h.

A la station de Grammond, on relève 153 mm sur 43 h. Les intensités maximales horaires sont de l'ordre de 8.8 mm/h.

Cette crue a généré de nombreux débordements sur l'ensemble du bassin versant mais elle a été suivie 5 ans plus tard par une crue plus intense.

3.1.2.2 Crue novembre 2008

Elle est issue de la remontée cévenole des 1^{er} et 2 novembre. Les pluies qui ont précédé cette remontée cévenole ont saturé en partie les sols.

La capacité d'infiltration des sols était donc réduite lors de cet épisode cévenol, comparativement à 2003 où les sols étaient secs.

Lors de cet épisode, 92 mm de pluie ont été relevés à la station d'Andrézieux Bouthéon sur une durée de 16 h. Les intensités maximales horaires sont de 9.8 mm/h

A la station de Grammond, on relève 79.8 mm sur 16 h. Les intensités maximales horaires sont de l'ordre de 8.4 mm/h.

Malgré un volume de pluie plus faible qu'en 2003, la faible durée de la pluie et les conditions hydrologiques antécédentes ont généré une crue plus importante. Le volume de pluie 2008 n'a pu s'infiltrer comme en 2003 et a donc généré un ruissellement plus important.

De nombreuses laisses de crues ont été relevées (témoignages, photos) dont le recueil de laisses de crue du SIMA Coise en Annexe 6.

Pour les besoins de l'étude, de nouvelles laisses ont été relevées en altimétrie sur les secteurs à modéliser (cf. Annexe 7).

Le tableau ci-après présente une synthèse des laisses de crues relevées sur bassin versant :

Modèle hydraulique	Cours d'eau	Situation
Sainte Catherine	Ruisseau la Platte	2 laisses à l'amont du pont sur le ruisseau de la Platte
Les Garennes	La Coise	1 laisse dans le tronçon encaissé
St Denis Sur coise	La Coise	1 laisse à l'amont du pont de la RD 103 et 2 laisses à l'aval
Moulin Brûlé	La Coise	3 laisses de crue à l'amont du pont de la RD 11
St Galmier / Cuzieu	La Coise	1 laisse à l'amont du Pont des Romains (RD6 à St Galmier) 1 laisse au pont Gavet (St Galmier) 1 laisse à l'usine Badoit (St Galmier) 1 laisse au kiosque Badoit (St Galmier) 1 laisse à l'amont du pont de la RD 16 (Cuzieu) 1 laisse à l'amont du pont de la RN 82 (Cuzieu)

Tableau 3-1 : Laisses de crue 2008

3.1.3 Synthèse des crues historiques

La crue de 1834 est la plus forte crue connue sur la Coise mais elle a été générée par la rupture d'un pont aujourd'hui redimensionné. Les hauteurs indiquées dans les archives sont très importantes mais elles résultent de l'effet de vague provoqué par la rupture du pont de la RD 63.

La crue de septembre 1897 a été importante sur le Couzon au vu d'une laisse de crue indiquée sur un pont. Lors de cet épisode, la Coise a également réagi puisqu'un barrage a été détruit mais l'absence d'autres informations plus précises dans les archives ne permet pas de conclure sur l'importance de cette crue.

Concernant les crues récentes, la crue de novembre 2008 a été la plus forte enregistrée avec de nombreuses indications de hauteurs d'eau ; nous comparerons donc cette crue à la crue centennale afin de déterminer la crue de référence pour l'établissement des zones inondables.

Chapitre 4 Analyse hydrologique

La crue de référence du P.P.R.N.P.I. est, selon les textes, soit la crue centennale, soit la plus forte crue vécue si cette dernière est supérieure à la crue centennale.

Afin de déterminer les débits statistiques de la crue de référence, nous proposons la méthodologie suivante :

- ❑ Une analyse critique des études antérieures mettant en évidence les points forts et les faiblesses de chaque méthode et qui permette de conclure sur les investigations à approfondir ;
- ❑ Une analyse de la pluviométrie sur le bassin versant ;
- ❑ Une analyse statistique des débits des stations hydrométriques ;
- ❑ La construction d'un modèle hydrologique pluie-débit ;
- ❑ Une proposition de débits de référence fondés sur la comparaison des différentes estimations.

4.1 *Analyse des études antérieures*

L'hydrologie de la Coise a été étudiée précédemment en 1994 par la Compagnie Nationale du Rhône (CNR) dans le cadre d'une étude d'inondabilité (étude préalable au contrat de rivière). Cette étude est sous la maîtrise d'ouvrage du SIVU pour l'aménagement de la Coise et de ses affluents.

Deux autres études ont établi des débits statistiques sur le bassin versant de la Coise :

- Etude d'inondabilité de la Coise à St Denis/Coise : Hydrétudes, 2000.
- Etude hydraulique globale dans le cadre de l'aménagement de la ZAIN Opéra Parcs : Ginger Environnement, 2009.

Les débits statistiques de la Coise ont été calculés lors des études CNR et Hydrétudes. La CNR établit des débits sur le secteur Coise aval, entre St Galmier et Veauche tandis qu'Hydrétudes a calculé des débits statistiques sur la commune de St Denis sur Coise.

L'étude Ginger Environnement concerne le bassin versant du Petit Volvon.

4.1.1 Etude CNR

4.1.1.1 Pluviométrie

Les stations pluviométriques utilisées sont les stations de St-Symphorien-sur-Coise et d'Andrézieux.

Stations	St-Symphorien-sur-Coise	Andrézieux
P10	70	?
P100	115	?
P moyenne annuelle	840	710

Tableau 4-1 : Pluviométrie étude CNR

Seules les pluies décennales et centennales de St-Symphorien-sur-Coise sont indiquées, la comparaison porte sur la pluviométrie annuelle moyenne.

L'étude explique que puisque le temps de montée en crue est de 9 à 12 h, le pas de temps journalier n'est pas approprié. N'ayant pas les données infra-journalières, le débit centennal n'a pas été déterminé à l'aide de la méthode du Gradex dans un premier temps (rapport provisoire 1993).

Dans le rapport définitif, la méthode du Gradex a quand même été calculée en prenant comme hypothèse « qu'avec un régime pluviométrique de type océanique, le Gradex des pluies de 24 h est voisin de celui des pluies de 12 heures ».

Avec un débit décennal de 50 et 70 m³/s et un Gradex de 1.35, le débit centennal obtenu oscille entre 120 et 140 m³/s.

Cette étude ne développe pas d'argumentaire sur la répartition spatiale de la pluie sur le bassin versant.

↳ En conclusion, il est indispensable d'examiner les données pluviométriques sur un bassin versant aussi étendu de manière à pouvoir porter une analyse fiable sur une pluviométrie spatialisée du bassin versant de la Coise (définition des gradients pluviométriques).

4.1.1.2 Etude statistique des débits

L'étude CNR a présenté les deux stations de mesures de débits sur la Coise : le Nézel et le Moulin Brûlé.

Seule la station du Moulin Brûlé a été prise en compte car située plus à l'aval que celle du Nézel.

Cette étude fait référence à deux études antérieures :

- Etude CETE « Etude hydraulique de reconstruction du pont de la RN 82 sur le Coise à Cuzieu », réalisée en 1986.
- Etude DDAF « Pré-étude hydraulique des affluents rive droite de la Loire entre Veauche et Montrond-les-Bains » réalisée en 1985.

Ces deux études ont proposé des estimations des débits de référence (Q_{10} et Q_{100}) à la station du Moulin Brûlé.

Le CETE a estimé les débits à partir de la Loi de Fréchet sur les débits maxi annuels à Moulin Brûlé.

La DDAF a estimé le débit décennal selon plusieurs méthodes et le débit centennal a été calculé à partir de la formule suivante : $Q_{100} = 1.8Q_{10}$.

La CNR a utilisé la Loi de PEARSON III pour l'estimation des débits statistiques. La valeur du débit centennal trouvée est proche de la valeur obtenue par le Gradex. La loi de Gumbel s'ajustant mal à l'échantillon (coefficient de corrélation faible = 0.89), ses résultats n'ont pas été pris en compte.

Les valeurs obtenues sont les suivantes :

Débit statistique au Moulin Brûlé	CETE	DDAF	CNR
Q_{10} (m ³ /s)	50	Entre 37.6 et 59.7	68
Q_{100} (m ³ /s)	160	87.2	140

Tableau 4-2 : Débits de crue des études antérieures au Moulin Brûlé

Les débits de l'étude DDAF étaient très faibles. La CNR conclut à la diminution du débit centennal et l'augmentation du débit décennal par rapport à l'étude CETE.

Remarque : le débit de la crue de 1983 ayant été estimé à 144 m/s selon la courbe de tarage de la DIREN Centre à la station du Moulin Brûlé, cette crue est considérée par l'étude comme une centennale.

Sur le reste du bassin versant ainsi que sur les affluents de la Coise (Anzieux et Volvon, les débits Q_{10} et Q_{100} ont été estimés par une loi de similitude : $Q_A = Q_B \cdot (S_A / S_B)^{0.8}$

Pour le Volvon, un modèle hydrologique a été testé pour simuler l'impact de la zone urbaine sur les crues. La zone rurale étant située sur l'aval du bassin versant, deux types de pluies ont été retenus :

- Pluie critique pour le bassin rural (en amont de Veauche)
- Pluie critique pour le bassin versant urbanisé (en aval de Veauche)

Sur la zone d'étude, les valeurs obtenues sont les suivantes :

	Surface BV	Q10	Q100	Crue 1983
Coise à Moulin Brûlé	181	68	140	144 (DIREN)
Coise amont Pont Romain	225	81	167	171
Coise amont confluence Volvon	227 (HTV)	83	171	
Coise franchissement RN82	298 (HTV)	102	210	
Volvon sortie des Gorges	17	10	21	22
Volvon zones rurales	37	17	35	
Volvon aval Veauche	40 (HTV)	19	39	

Tableau 4-3 : Débits statistiques étude CNR

Les valeurs en bleu sont les surfaces de bassins versants non indiquées par l'étude CNR et calculées dans la présente étude.

Les débits spécifiques obtenus sont faibles pour une crue centennale :

- Sur la Coise on obtient $0.77 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ au Moulin Brûlé à $0.70 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ à la RN 82.
- Sur le Volvon, le débit centennial spécifique oscille entre $1.2 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ à la sortie des gorges et $0.98 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ en aval de Veauche.

Les débits de référence de l'ensemble du bassin versant ont été calculés seulement à partir des résultats de la station hydrométrique du Moulin Brûlé.

La crue du 17 mai 1983, considérée comme centennale par l'étude CNR n'est pas issue de précipitations intenses sur une seule journée mais d'un cumul de précipitations sur les 5 jours précédents (total de précipitations de 145 mm à Andrézieux et 132 mm à St-Symphorien sur 5 jours).

4.1.2 Etude Hydrétudes

4.1.2.1 Pluviométrie

La station pluviométrique de référence utilisée est la station de St-Symphorien-sur-Coise avec un Gradex des pluies journalières de 13.89.

4.1.2.2 Etude statistique des débits

Les débits trentennal et centennal ont été calculés à partir du Gradex des pluies.

Les débits statistiques calculés sont :

- Point de calcul A : La Coise à l'amont de St-Denis-sur-Coise ;
- Point de calcul B : La Coise à l'aval de St-Denis-sur-Coise ;
- Point de calcul C : Le Ramarey à sa confluence avec la Coise.

Le tableau suivant présente les résultats obtenus :

Point de calcul	Superficie BV	Q ₁₀ (m ³ /s)	Q ₁₀₀ (m ³ /s)
A	140.87	102.92	154.07
B	144.59	105.19	157.62
C	2.66	3.94	5.11

Tableau 4-4 : Débits de crue à St-Denis-sur-Coise

Cette étude fait état de débits plus importants que l'étude CNR.

4.1.3 Etude Ginger

L'étude Ginger réalisée en 2009 présente un diagnostic hydraulique des cours d'eau, fossés et bassins de rétention sur les bassins versants du petit Volvon et du Volvon. Cette étude indique les occurrences de mise en charge pour des pluies 10, 30 et 100 ans par rapport à un état actuel (2009) et un état futur (2015).

Une modélisation sous HEC-Ras a été réalisée pour définir les zones inondables d'occurrence 10 et 100 ans à Lapra et à Veauche.

4.1.3.1 Pluviométrie

Une analyse de la pluviométrie de la crue 2008 à Andrézieux a été réalisée.

Cette étude indique notamment que la pluviométrie ayant précédé l'épisode pluvieux du 01/11/2008 a été très importante : sur le mois d'octobre, la hauteur totale cumulée s'élève à 136 mm (soit le double de la pluviométrie moyenne d'un mois d'octobre, moyenne 1946-2008).

4.1.3.2 Etude statistique des débits

Le débit de référence est le débit décennal maximum calculé dans Veauche Centre (Gare SNCF) de 10.5 m³/s.

La répartition de ce débit est la suivante :

- St Bonnet-les-Oules (Gourny) : 7 m³/s.
- Aéroport : 0.2 m³/s.
- ZAC de l'Homme : 1.7 m³/s.
- Veauche : 1.6 m³/s.

4.2 Pluviométrie

4.2.1 Aperçu régional

Les figures ci-après représentent la pluviométrie régionale qui a été établie par Météo France sur l'examen de 3 000 postes pluviométriques en 1999.

Ces figures mettent en évidence un léger gradient décroissant en direction du Nord Ouest du bassin versant de la Coise.

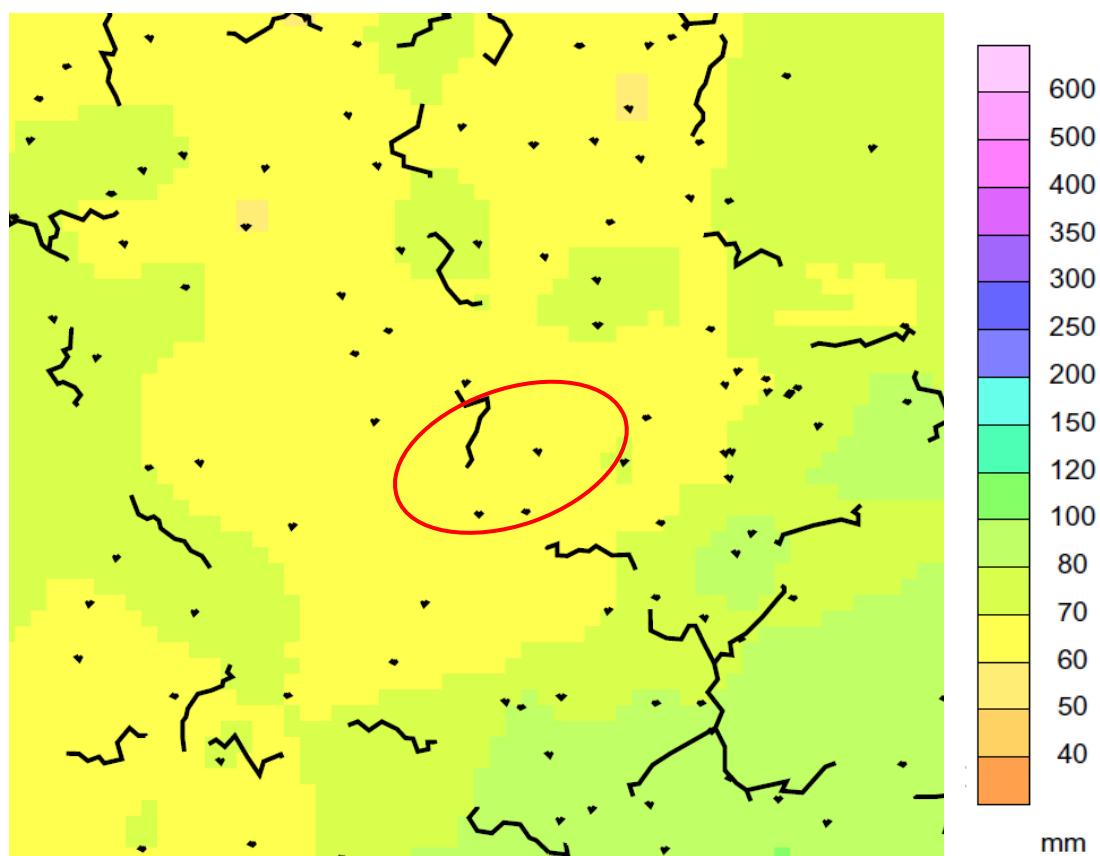


Figure 4-1 : Pluviométrie journalière décennale réalisée par Météo-France en 1999 sur 3 000 postes pluviométriques

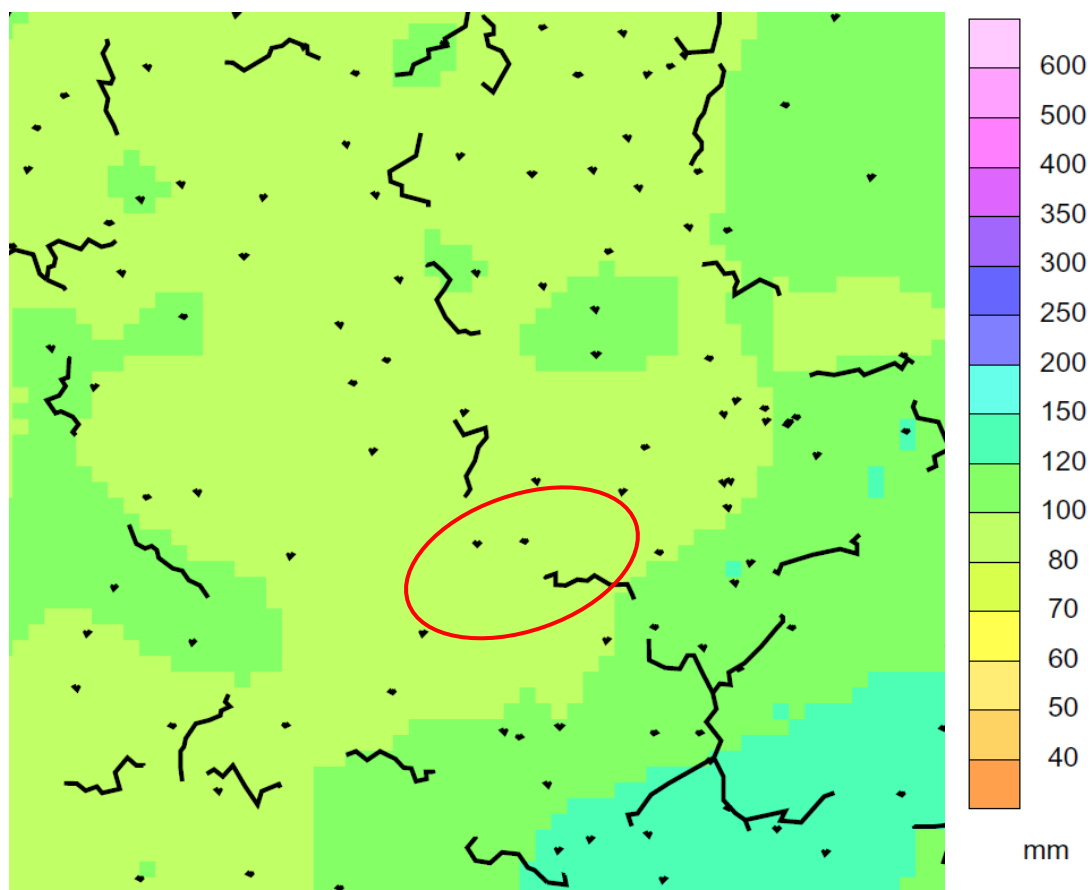


Figure 4-2 : Pluviométrie journalière centennale réalisée par Météo-France en 1999 sur 3 000 postes pluviométriques

4.2.2 Etude de la pluviométrie à l'échelle du bassin versant

Afin d'apprécier plus finement ce gradient pluviométrique, nous avons interrogé la banque de données Publithèque (Météo-France) et avons collecté les séries chronologiques des pluies des postes pluviométriques environnant la zone d'étude. Nous avons dénombré 14 postes dans un rayon de 30 km (cf. tableau ci-après).

Pluvio	Lieu-dit	altitude	Période observation
CELLIEU	L Ollière	490 m	depuis 01/03/1996
CHAZELLES-SUR-LYON	Au Camp	611 m	depuis 01/01/1956
GRAMMOND - MAN	Au Bourg	805 m	depuis 01/01/1980
GRAMMOND	Au Bourg	805 m	depuis 01/07/1993
VIRICELLES	Le Treyve	570 m	du 01/09/1949 au 01/04/1956
DUERNE	Agglomération	824 m	Du 01/12/1871 au 01/02/1872 Du 01/08/1872 au 01/12/1876 Du 01/01/1878 au 01/12/1878
POMEYS	Maison Familiale des Monts du Lyonnais	650 m	du 01/01/1958 au 01/04/1965
SAINT-ANDRE-LA-COTE	Le Bourg	860 m	du 01/09/2000 au 01/05/2004 depuis 01/10/2004
SAINT-DIDIER-SOUS-RIVERIE	L'Arzelier	610 m	depuis 01/01/1978
SAINT-GENIS-L'ARGENTIERE	Les Rivières	520 m	du 01/01/1930 au 01/09/1939 depuis 01/02/1940
SAINT-SYMPHORIEN-SUR-COISE	Grange Figat à Pomeys	575 à 600 m	du 01/01/1948 au 01/12/1956 depuis 01/02/1958
SAINT-SYMPHORIEN-SUR-COISE	Bourg	585 m	du 01/01/1877 au 28/02/1878
ANDREZIEUX-BOUTHEON	Aérodrome	400 m	depuis 01/04/1946
SAINT-GALMIER	Bourg	480 m	Du 01/01/1936 au 01/02/1940 Du 01/10/1943 au 01/04/1944

Tableau 4-5 : Pluviomètres à proximité du bassin versant de la Coise

Les données de certains pluviomètres n'ont pu être exploitées faute de période d'observation assez longue. La figure suivante présente la répartition géographique de l'ensemble des postes pluviométriques exploitables (en vert) ou non (en rouge).

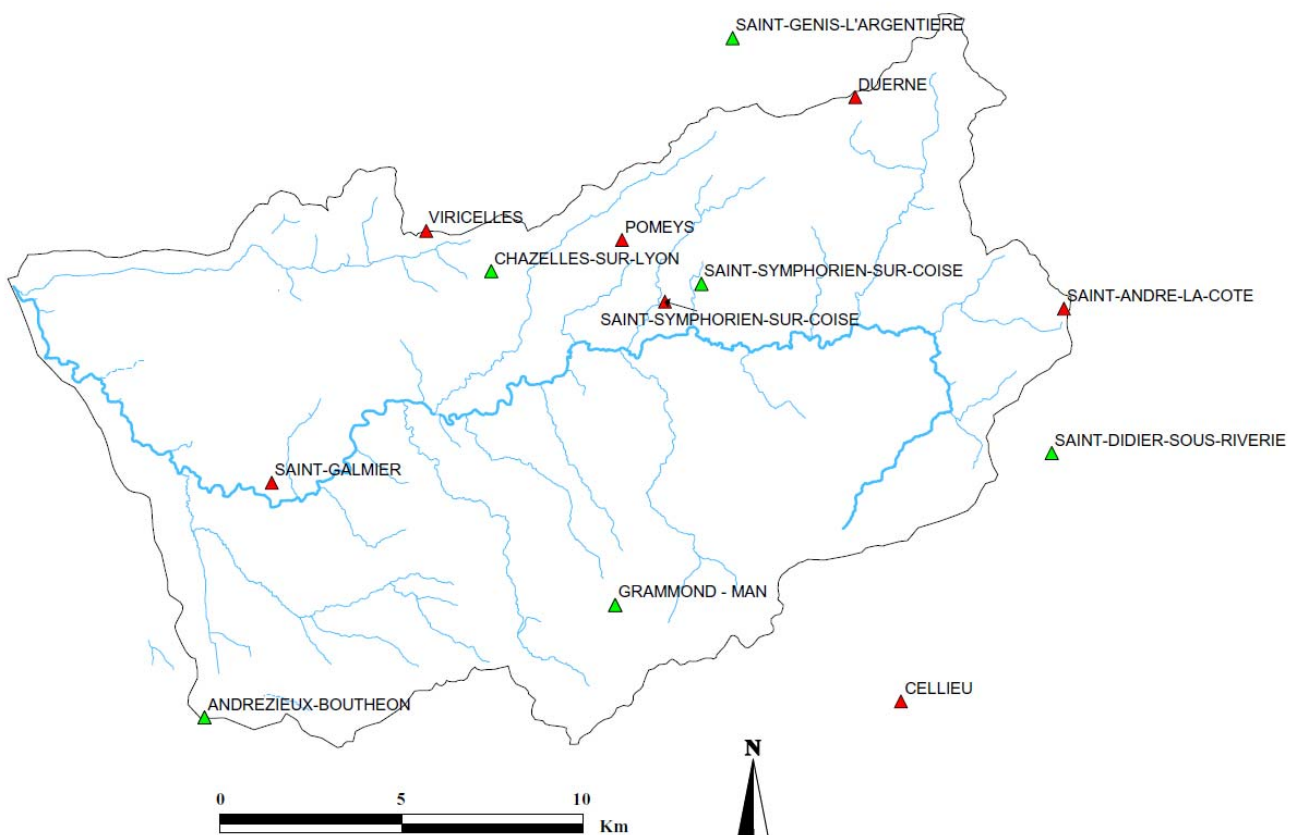


Figure 4-3 : Stations pluviométriques à proximité du bassin versant de la Coise

Les stations pluviométriques exploitées pour les besoins de l'étude sont les suivantes :

- Andrézieux-Bouthéon
- Chazelles-sur-Lyon
- Grammond - Man
- Cellieu
- Saint-Didier-sous-Riverie
- Saint-Genis-l'Argentière
- Saint-Symphorien-sur-Coise
- Saint-André-la-Cote

Parmi ces stations, les données horaires sont mesurées à Andrézieux-Bouthéon et Grammond.

Les données de pluie de ces stations ont été traitées statistiquement par une analyse de leur distribution fréquentielle selon la loi de Gumbel par la méthode des moments (cf. tableau suivant).

Poste	Altitude	Position / BV	Période de mesure		Nombre années	Pluies stat	
			Date début	Date fin		P10	P100
ANDREZIEUX-BOUTHEON	400 m	sud ouest	1946	2011	65	76	112
CHAZELLES-SUR-LYON	611 m	centre	1956	2011	55	79	115
GRAMMOND - MAN	805 m	sud	1980	2011	31	101	141
CELLIEU	490 m	sud	1996	2011	15	104	146
SAINT-DIDIER-SOUS-RIVERIE	610 m	est	1978	2011	33	98	151
SAINT-GENIS-L'ARGENTIERE	520 m	nord	1930	2011	80	79	116
SAINT-SYMPHORIEN-SUR-COISE	600 m	centre	1948	2010	62	85	128
SAINT-ANDRE-LA-COTE	860 m	est	2001	2010	10	126.5	175.4

Tableau 4-6 : Pluies statistiques

Sur ce tableau, les valeurs des pluies statistiques des stations récentes (stations ayant entre 10 et 33 années de mesures) sont importantes (valeurs en jaune et en orange). La valeur décennale est supérieure à 100 mm et la centennale supérieure à 150 mm. Les valeurs extrêmes sont données par la station de St-André-la-Cote ayant seulement 10 années de mesure.

Les stations plus anciennes (entre 55 et 80 années de mesures) donnent des valeurs plus modestes : pluie décennale de l'ordre de 80 mm et pluie centennale d'environ 115 mm.

Remarque : La station de St-Symphorien-sur-Coise, bien que positionnée à proximité de celle de Chazelles-sur-Lyon et à la même altitude, indique des valeurs plus importantes ($P_{10} = 85$ mm et $P_{100} = 128$ mm).

Les 4 stations récentes étant positionnées au Sud et à l'Est du bassin versant et à des altitudes plus élevées, 3 paramètres peuvent influencer les hauteurs de pluie :

- La durée d'échantillonnage
- Le positionnement géographique
- L'altitude

Les chapitres suivants présentent l'analyse de ces 3 paramètres.

4.2.2.1 Influence de la durée d'échantillonnage







La durée d'échantillonnage est différente pour chaque station : les pas de temps plus courts donnent des hauteurs de pluies journalières plus importantes. Afin de pouvoir comparer chaque station, les hauteurs de pluies ont été recalculées sur les mêmes durées d'échantillonnage (cf. tableau ci-après).

Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau suivant :

Poste	Altitude	Depuis 1956 - 55 années		Depuis 1980 - 31 années		Depuis 1996 - 15 années		Depuis 2001 - 10 années	
		Pluies stat		Pluies stat		Pluies stat		Pluies stat	
		P10	P100	P10	P100	P10	P100	P10	P100
ANDREZIEUX-BOUTHEON	400 m	76	112	84	127	99	151	102	155
HAZELLES-SUR-LYON	611 m	79	115	86	127	101	157	108	172
GRAMMOND - MAN	805 m	-	-	101	141	120	169	127	179
CELLIEU	490 m	-	-	-	-	104	146	115.6	161.7
SAINT-DIDIER-SOUS-RIVERIE	610 m	-	-	100	155	121	192	135	214
SAINT-GENIS-L'ARGENTIERE	520 m	80	117	87	131	102	156	110	170
SAINT-SYMPHORIEN-SUR-COISE	600 m	94	146	98	150	119	187	131	209
SAINT-ANDRE-LA-COTE	860 m	-	-	-	-	-	-	126.5	175.4

Tableau 4-7 : Analyse statistique de la durée d'échantillonnage

La définition des couleurs est la suivante :

	P100
	<120 mm
	120 à 130 mrr
	130 à 140 mrr
	140 à 160 mrr
	160 à 200 mrr
	> 200 mm

En réduisant la durée d'échantillonnage sur 55 années, les hauteurs des postes plus anciens, Andrézieux et St-Genis-L'Argentièrre ne varient pas tandis que les valeurs de St-Symphorien-Sur-Coise augmentent (P₁₀₀ passe de 128 à 146 mm).

Sur 30 ans de mesures, les hauteurs de pluie augmentent sur tous les postes exceptés sur celui de St-Symphorien. Deux tendances s'observent :

- 3 postes indiquent P₁₀ ≈ 85 mm et P₁₀₀ ≈ 130 mm
- 3 postes indiquent P₁₀ ≈ 100 mm et P₁₀₀ ≈ 140 à 150 mm

Sur 15 années de mesures, les hauteurs de pluie augmentent encore et les deux tendances observées précédemment accroissent leurs différences.

- 3 postes indiquent $P_{10} \approx 105$ mm et $P_{100} \approx 150$ mm
- 3 postes indiquent $P_{10} \approx 120$ mm et $P_{100} \approx 170$ à 190 mm

Sur 10 années de mesures, les hauteurs de l'ensemble des stations pluviométriques excepté Andrézieux sont similaires voire supérieures à celles de St-André-la-Cote. Les valeurs d'Andrézieux sont restées stables avec un échantillon de 15 et 10 années.

En prenant une même durée d'échantillonnage, les valeurs d'Andrézieux Bouthéon sont similaires à plusieurs autres stations présentes autour du bassin versant de la Coise. L'échantillonnage réalisé sur des durées plus courtes influence les valeurs statistiques des pluies.

Les valeurs d'Andrézieux restent néanmoins les plus faibles du bassin versant. Ce poste étant situé seulement à 400 m d'altitude à l'Ouest du bassin versant, il est nécessaire d'étudier si l'altitude ou le positionnement géographique ont une influence sur les hauteurs de pluies.

4.2.2.2 Influence de l'altitude et du positionnement géographique

Le tableau ci-dessous présente un premier classement des stations pluviométriques selon l'altitude.

Poste	Altitude	Position / BV	Nombre années	Période max	
				P10	P100
ANDREZIEUX-BOUTHEON	400 m	sud ouest	65	76	112
CELLIEU	490 m	sud	15	104	146
SAINT-GENIS-L'ARGENTIERE	520 m	nord	80	79	116
SAINT-SYMPHORIEN-SUR-COISE	600 m	centre	62	85	128
HAZELLES-SUR-LYON	611 m	centre	55	79	115
SAINT-DIDIER-SOUS-RIVERIE	610 m	est	33	98	151
GRAMMOND - MAN	805 m	sud	31	101	141
SAINT-ANDRE-LA-COTE	860 m	est	10	126.5	175.4

Tableau 4-8 : Influence de l'altitude

En prenant les postes les plus anciens d'Andrézieux (400m), de St-Genis-l'Argentière (520m) et de Hazelles-sur-Lyon (611m) on n'observe pas de différence significative de l'altitude sur les hauteurs de pluies.

Les valeurs du poste de St-Symphorien (600 m) sont plus importantes mais restent inférieures aux postes, plus récents, situés au Sud et à l'Est du bassin versant.

Le graphique suivant présente l'évolution de la pluie centennale en fonction de l'altitude, pour plusieurs périodes d'échantillonnage.

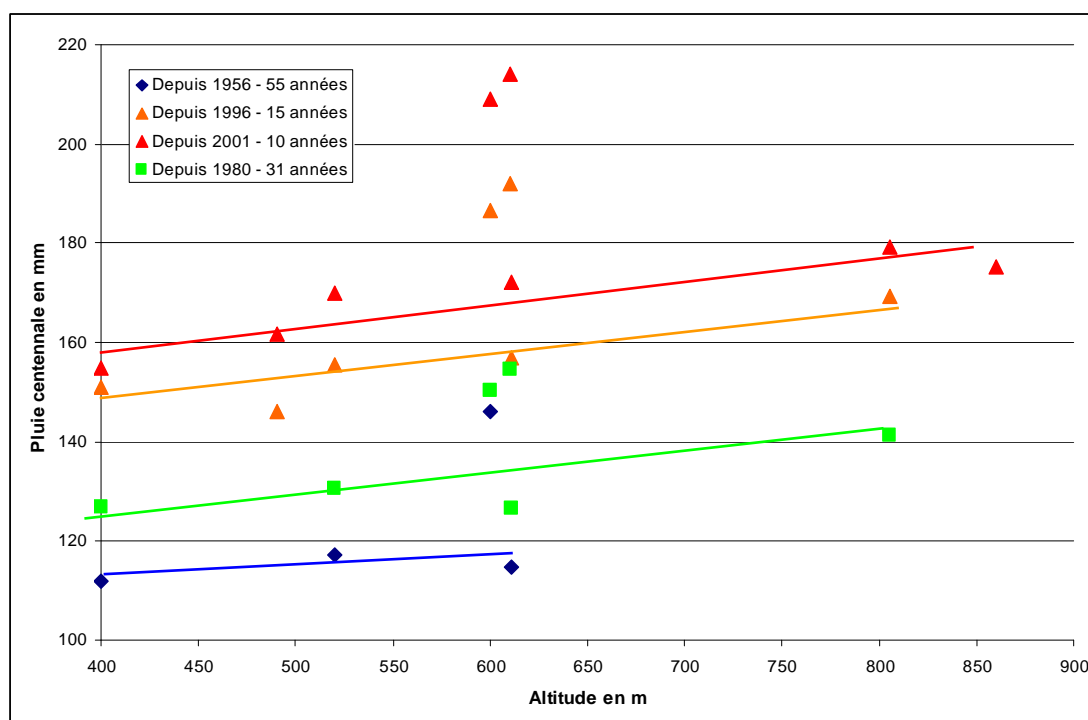


Figure 4-4 : Pluie centennale en fonction de l'altitude

Quelle que soit la durée d'échantillonnage, une tendance de l'augmentation du gradient pluviométrique quand l'altitude augmente se dessine.

Les valeurs des postes de St-Symphorien et St-Didier-sous-Riverie se détachent des courbes de tendance. Pourtant situés à la même altitude que la poste de Chazelles (611 m), les hauteurs sont beaucoup plus fortes.

L'étude de la position de ces pluviomètres par rapport au relief est la suivante :

- Le poste de Chazelles-sur-Lyon est situé sur un point haut à 600 m sans présence de sommets plus hauts à proximité.
- Le poste de St-Symphorien-sur-Coise est situé sur un versant orienté Sud-Est avec la présence de sommets à 770m à proximité : Bois de Pomeys et de Rizoud (commune de Pomeys).
- Le poste de St-Didier-sous-Riverie est situé sur un versant très encaissé orienté Sud-Est avec la présence de sommets à 800m d'altitude à proximité : Paponière, Le Grand Molard.

Les pluies cévenoles sont des phénomènes pluviométriques provenant du Sud qui arrosent beaucoup plus ces versants lorsqu'elles viennent buter sur des sommets. Ce phénomène peut expliquer les hauteurs importantes mesurées à ces deux postes comparées à celles de Chazelles-sur-Lyon.

Le chapitre suivant présente l'étude de l'ensemble des phénomènes pluvieux sur le bassin versant de la Coise afin de vérifier la répartition spatiale des pluies au sein du bassin versant.

4.2.2.3 Etude de la répartition spatiale des pluies

Le Tableau 4-9 ci-après présente les pluies annuelles maximales enregistrées en 24 h sur chacun des postes entre 1946 et 2010. Seul le poste de St-Genis-l'Argentière est antérieur à 1946 (depuis 1930) mais les valeurs sont faibles (seulement 2 valeurs au-dessus de 70 mm : 72.5 et 75.3 mm).

Sur ce tableau sont représentées :

- en bleu les valeurs comprises entre 70 et 90 mm
- en vert les valeurs comprises entre 90 et 110 mm
- en orange les valeurs supérieures à 110 mm

Depuis les années 90, une tendance à une multiplication des phénomènes supérieurs à 70 mm de pluies en 24 h se dessine.

L'hypothèse faite dans le chapitre précédent se vérifie pour le poste de Chazelles-sur-Lyon, souvent moins arrosé lors des pluies intenses que les deux autres situés à la même altitude de 600 m.

Concernant la crue de 1983 (crue de référence de l'étude CNR), aucune des stations n'a mesuré des précipitations exceptionnelles cette année là. La crue du 17 mai 1983 est issue d'un cumul important de pluies sur une longue durée (140 mm en 5 jours selon l'étude CNR).

Les épisodes ayant généré des crues sur la Coise en 1996, 2003 et 2008 sont visibles avec des cumuls de pluies importantes sur tous les postes.

Crue 1996 :

- Les hauteurs varient entre 74 et 99 mm.

Crue 2003 :

- Les hauteurs de pluies sont généralement comprises entre 87 et 105 mm.
- Au poste de St-Symphorien-sur-Coise, pourtant proche de celui de Chazelles-sur-Lyon, le cumul est exceptionnel : 130 mm pour seulement 101 mm à Chazelles-sur-Lyon.
- La durée totale de l'épisode pluvieux est de près de 48 h. Les valeurs indiquées ne prennent pas en compte l'ensemble du phénomène.

Année	St Genis l'Argentière	Chazelles sur lyon	St Symphorien sur Coise	St andré la cote	St Didier sous Riverie	Cellieu	Grammond	Andrézieux
1946	39.5							37.1
1947	43.2							93.5
1948	120.6		56.4					65.2
1949	32.5		39.8					50
1950	54.2		66.4					70.1
1951	43.1		50.2					50.6
1952	47.6		34.1					30.1
1953	52.5		63.8					35.8
1954	44.1		45.2					40.3
1955	44.3		34.5					29.8
1956	66.5	22	77					43.3
1957	46.1	45.7						57.1
1958	106	101	103					78.8
1959	43.6	40.1	39.8					70.8
1960	44.9	44.9	49.8					41.4
1961	37.9	41.5	37					38.4
1962	25.5	37.9	29					25.3
1963	54.2	57.8	60.2					64.3
1964	34.3	33.3	33					40
1965	60.5	51.1	62.8					62
1966	51.7	48.6	39.5					39.9
1967	45.2	33.4	30.3					44.4
1968	63.5	51.4	49.4					49
1969	36.3	51	43.4					51.1
1970	44	61	47.8					57.2
1971	55	64	39.2					59.8
1972	46.1	46.5	53.4					42.5
1973	35.5	39.4	37.3					38.8
1974	34.3	30.7	31.2					34
1975	44.1	52.8	45.9					46.1
1976	43.2	47.5	42.4					61.9
1977	44.1	54	44					47.6
1978	52.1	48	59.2		57.2			45.7
1979	49.2	39.8	32.2		45.2			39.4
1980	54.1	43.8	44.8		55.2		54	47.3
1981	46.5	46.2	50.5		60.6		46.2	42.4
1982	78	75.8	87.5		83		116	70
1983	32	49.3	43		49.6		33.8	42.6
1984	64	63.8	63		48.2		60	40.8
1985	27	46.9	40.9		44.7		37.5	23.6
1986	32	68.7	34.2		36.3		33.1	34.4
1987	38	35.7	36.2		50.3		39.1	48
1988	32	39.2	41.2		41.2		35.7	25
1989	72	70.5	71.9		50.4		69.4	66.6
1990	32.1	46.2	49.5		40		53.5	46.8
1991	48	50.4	38.5		47.2		41.1	33
1992	48.2	42.6	38.2		48.9		38.3	39.4
1993	70	73.6	81		108.7		77.2	74.8
1994	57.5	39.7	40.2		42		41.3	46.8
1995	42	45.4	44.9		50.7		62	30.4
1996	93	91.2	99		80.6	74	89.4	97.4
1997	42	36.8	37.8		33.4	44.5	36.4	24.6
1998	41	41.6	41		25.2	19.5	36.8	43.4
1999	50	53.7	50.1		48.7	36.5	37	53.6
2000	43	75.5	56.5		77.8	62	106.1	68
2001	49	40.7	50	78	51.4	35.5	55	42.4
2002	50	41	55	55.5	46.5	53.5	51.3	56.8
2003	105	101	130	87.8	86.8	90	94	97
2004	67	78	80	49.3	55.4	49.5	67	71.2
2005	40	39.5	58	70	91.2	64.5	42	43.6
2006	60	37.5	60	65.5	68.8	66.5	48.5	41
2007	68	56.8	56	71.2	74.1	58.5	77.8	53
2008	87	91.3	90	78.1	74.5	57.5	84	92.2
2009	35.2	31.5	41	45.5	49	59	49	41
2010	98	84	124	144.9	155	131	141.4	79.1

Tableau 4-9 : Pluies annuelles maximales en 24 h

Crue 2008

- Excepté au poste de Cellieu, les cumuls varient entre 74 et 92 mm. La valeur maximale est enregistrée au poste d'Andrézieux.

Episode 2010 :

- Des cumuls importants sur l'ensemble des postes, voire exceptionnels sur 4 postes (entre 131 et 155 mm), principalement situés au Sud-Est du bassin versant.
- Au poste de St-Symphorien-sur-Coise, la valeur est forte (124 mm) comparée à celle de Chazelles-sur-Lyon (84 mm).

Remarque : Cet épisode pluvieux, au mois de septembre, a été précédé de conditions sèches. La pluie a pu s'infiltrer sur les sols secs et il n'y a pas eu de crue importante sur la Coise. La station du Nézel située en tête de bassin versant n'a relevé qu'un débit de 29 m³/s contre 66 m³/s en 2008.

4.2.3 Synthèse de la pluviométrie sur le bassin versant de la Coise

Les hypothèses qui peuvent être prises en compte pour l'élaboration des pluies synthétiques sur le bassin versant de la Coise sont les suivantes :

- Les crues sur la Coise se forment sur des épisodes pluvieux touchant l'ensemble du bassin versant comme c'est le cas pour les crues exceptionnelles issues de remontées cévenoles.
- Les conditions hydrologiques précédentes (taux de saturation des sols en eau) sont un facteur important pour la formation des crues.
- L'altimétrie et l'orientation des versants sont deux paramètres jouant sur les cumuls pluviométriques. Pour les pluies cévenoles, les versants Sud sont plus arrosés que les versants Nord.
- Les deux postes pluviométriques ayant de longues périodes de mesures et représentatifs de la pluviométrie du bassin versant de la Coise sont Andrézieux Bouthéon et St-Symphorien-sur-Coise.

4.2.4 Pluie synthétique

Sur le bassin versant de la Coise, la pluie synthétique sera répartie sur les sous-bassins versant de la façon suivante :

- Pluie amont bassin versant : Station de St-Symphorien-sur-Coise :
- Pluie aval bassin versant : Station d'Andrézieux Bouthéon.

La limite amont/aval des sous-bassins versants est située au niveau de la confluence de la Gimond rive gauche.

4.3 Analyse statistique des stations hydrométriques

Le tableau ci-dessous rend compte des stations hydrométriques existantes sur le bassin versant de la Coise.

Stations	Superficie (km ²)	Altitude (m)	Période d'observation	Gestionnaire
La Coise au Nézel	61	571	Depuis 1969	DREAL RA
La Coise au Moulin Brûlé	181	425	1961-2000	DIREN Centre

Tableau 4-10 : Stations hydrométriques du bassin versant de la Coise

4.3.1 Critique des données disponibles

Rappel des notions de jaugeage et de courbe de tarage

Pour rappel, les débits de crue sont déterminés au droit d'une station hydrométrique à l'aide :

- ❑ D'un enregistrement continu des hauteurs d'eau atteintes appelé limnigramme,
- ❑ D'une transformation des hauteurs en débits par une courbe de tarage. La courbe de tarage est déterminée à partir de jaugeages, opération qui consiste à mesurer simultanément une hauteur d'eau et le débit associé. Généralement, le débit est estimé par exploration du champ de vitesses. Les valeurs de débits des jaugeages présentent une incertitude de l'ordre de 5% pour les débits faible à moyen et environ 10% pour les débits de crue.

Les dysfonctionnements des limnimètres sont relativement faciles à détecter. La principale indétermination réside dans l'évaluation des débits à l'aide de la courbe de tarage. Les deux principales sources d'incertitude associées aux courbes de tarage sont rappelées ci-après :

- ❑ Pour la partie de la courbe de tarage qui est définie par des jaugeages, les conditions d'écoulement peuvent évoluer (abaissement des fonds, végétalisation du lit, ...). La courbe de tarage n'est alors plus représentative : on dit qu'il y a détarage. Une nouvelle courbe de tarage est alors reconstruite. Lorsqu'une courbe de tarage change peu au cours du temps, on parle de « stabilité » de la courbe de tarage ; la qualité des mesures est alors plutôt bonne. A l'inverse, lorsqu'il est nécessaire de reprendre régulièrement la courbe de tarage, on parle « d'instabilité » de la courbe de tarage ; la qualité des débits estimés est réduite.

- Au-delà du plus fort jaugeage, la courbe de tarage doit être extrapolée. Dans cette partie de la courbe de tarage, l'estimation du débit ne repose plus sur des mesures. En conséquence, l'incertitude est d'autant plus grande que l'extrapolation couvre une plage de débit importante.

Analyse de la qualité

Une enquête a été menée auprès des services hydrométriques de la DREAL Rhône-Alpes pour établir une analyse critique qualitative des données enregistrées à ces postes de mesures.

A la station du Nézel, la présence d'un seuil en aval permet de contrôler les niveaux. Les deux courbes de tarage réalisées après la création du seuil indiquent une stabilité de la courbe de tarage. Le débit maximal jaugé est de 48.4 m³/s.

Au Moulin Brûlé, la station a été arrêtée entre 2001 et 2009 et il n'existe pas de seuil permettant un contrôle du niveau d'eau. Le débit maximal jaugé lors de l'établissement des 6 courbes de tarage est de 31 m³/s. Les courbes de tarage ne sont pas identifiées comme stables.

Le tableau suivant rend compte de l'analyse des données fournies par la DREAL Rhône-Alpes.

Stations	Qualité de la courbe de tarage	Débit maximum jaugé (m ³ /s)	Débit maximum estimé (m ³ /s)
La Coise au Nézel	Bonne	48.4	79.8
La Coise au Moulin Brûlé	Mauvaise	31	71

Tableau 4-11 : Qualité des stations hydrométriques

4.3.2 Analyse statistique

Nous avons procédé à l'ajustement statistique selon la loi de Gumbel par la méthode des moments.

Cet ajustement statistique permet d'estimer le temps de retour d'une valeur particulière à partir d'une longue série de débits.

La valeur particulière de la méthode de Gumbel est la variable réduite notée u . Cette variable réduite u est donnée par la formule suivante :

$$u = -\ln(-\ln(F(x)))$$

Avec $F(x)$, la fréquence d'apparition de l'événement est égal à l'inverse du temps de retour T d'un événement, soit $T = 1 / (1-F(x))$.

4.3.2.1 Station du Nézel

Les résultats graphiques montrent une cassure sur l'ajustement statistique de la loi de Gumbel.

Les débits statistiques de la Coise au Nézel ont été calculés selon deux approches :

- Ajustement de Gumbel par la méthode des moments ;
- Calcul par la méthode du GRADEX.

A- Ajustement par la méthode des moments

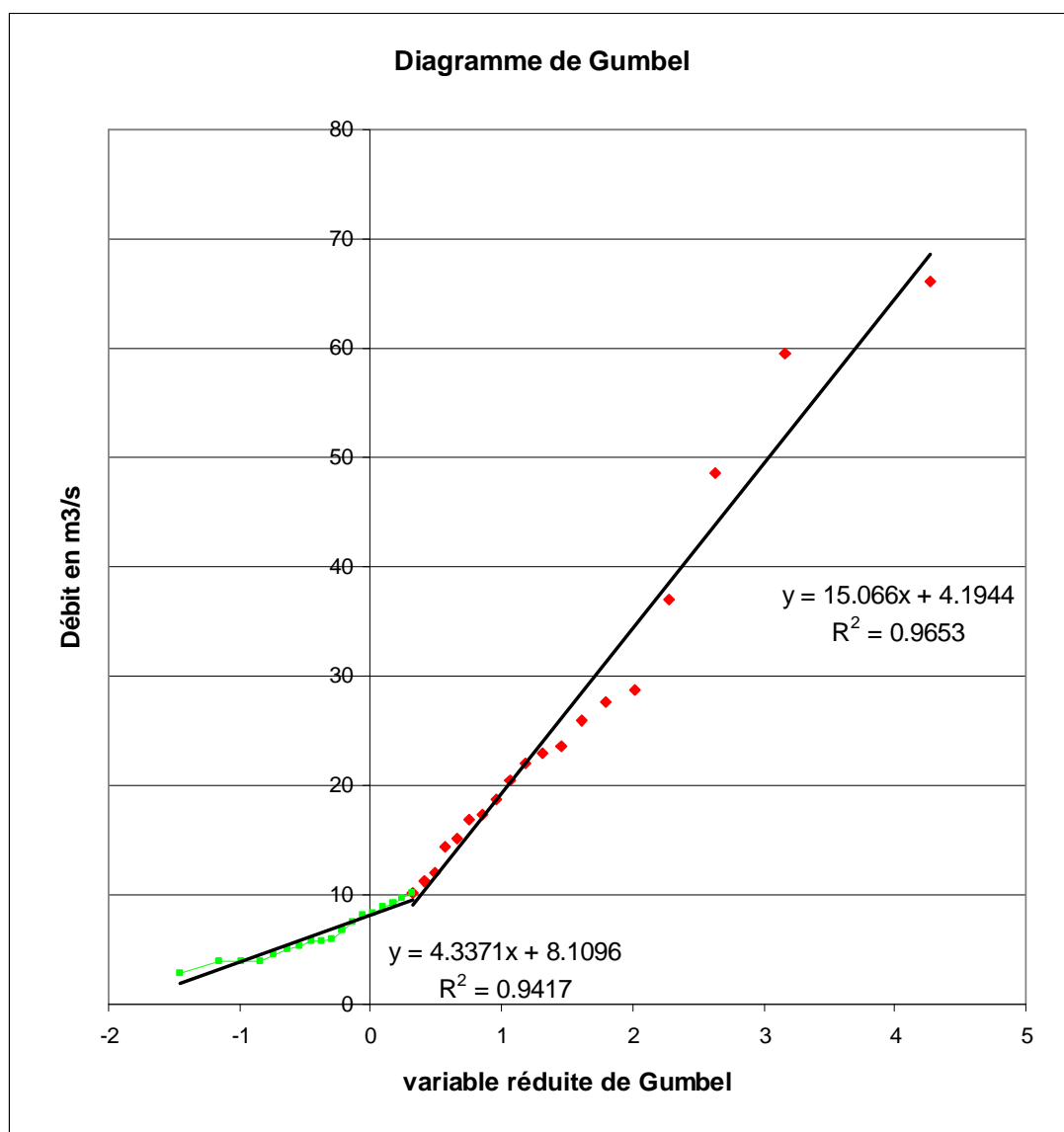


Figure 4-5 : Ajustement statistique du Nézel par la méthode des moments

L'ajustement de Gumbel présente une cassure à partir d'un débit de 10 m³/s (soit un débit de temps de retour 2 ans environ). Pour les crues supérieures, nous avons réalisé un nouvel ajustement.

L'ajustement des crues supérieures à Q2 présente un coefficient de corrélation de 0.97 et un taux d'accroissement de 15.1.

Le tableau ci-après présente les résultats des débits statistiques obtenu avec la méthode des moments.

Tps retour	100	50	20	10	5	2
Q Coise	74	63	49	38	27	10

Tableau 4-12 : Débits statistiques de la Coise au Nézel

B- Méthode du GRADEX

Cette méthode permet d'extrapoler les débits de crues de fréquence rare et s'applique notamment en présence de courtes séries de débits et de longues séries de pluies.

Cette méthode prend comme hypothèse qu'à partir d'une pluie décennale, le ruissellement est total et donc que le débit est directement lié au volume de précipitations tombées.

La comparaison s'effectue ici entre les pluies maximales en 24 h et les débits maxima instantanés au Nézel. Pour permettre la comparaison, les valeurs des débits ont été ramenées en mm/24h.

La station du Nézel présente 36 années de mesures de débit tandis que la station pluviométrique utilisée pour référence du bassin versant amont (St-Symphorien-sur-Coise) possède 62 années de mesures.

L'ajustement de Gumbel réalisé sur les données pluviométriques de St-Symphorien-sur-Coise montre une courbure de la droite sur une fréquence d'apparition de 1 an. Sur les pluies supérieures, l'ajustement présente un coefficient de corrélation fort de 0.98 et un taux d'accroissement de 20.638 (GRADEX).

La fonction de répartition de la loi de distribution des débits a été tracée (en bleu clair sur la figure suivante) en prenant comme origine le débit décennal et le même taux d'accroissement que la droite d'ajustement des débits (cf. figure 4-6).

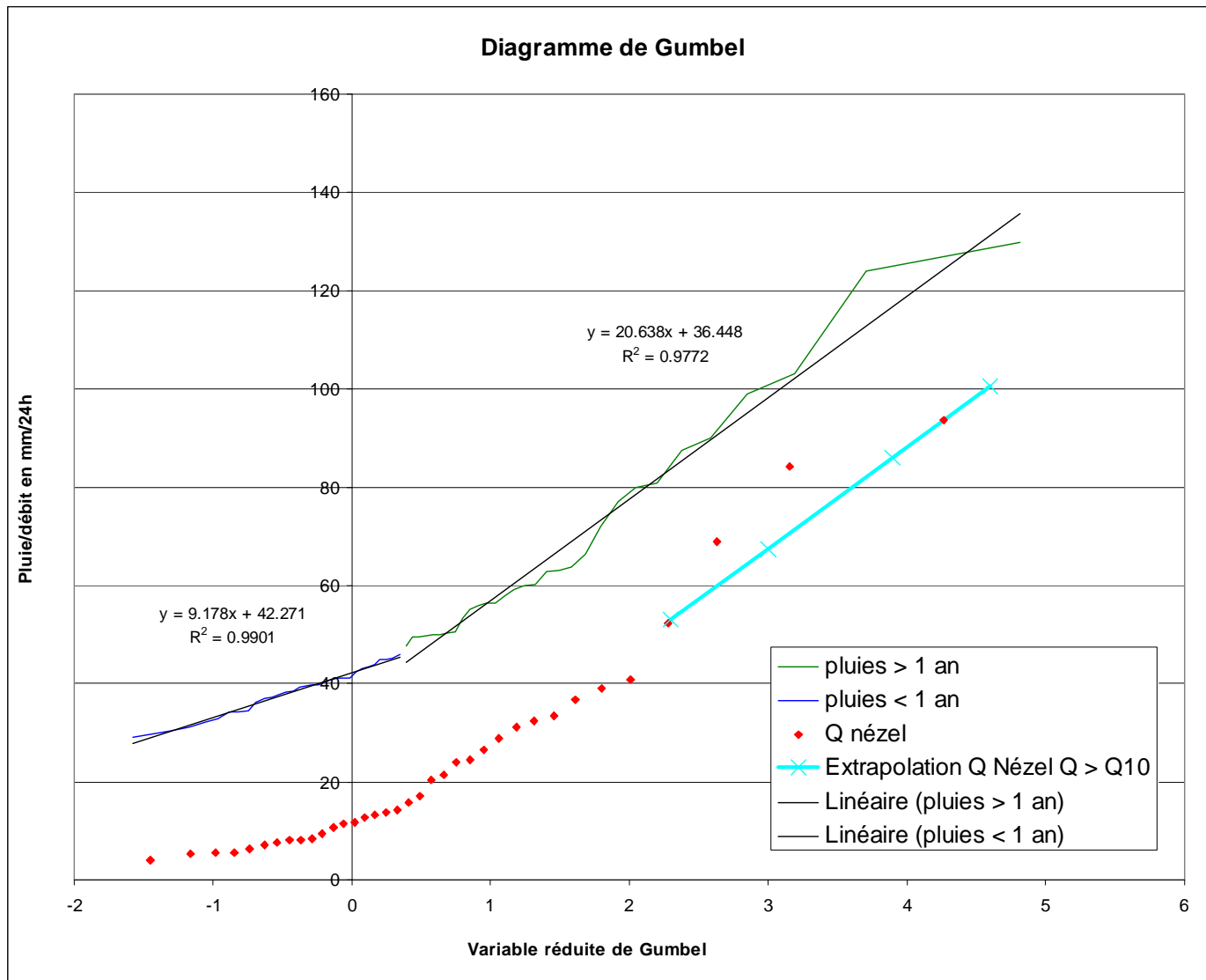


Figure 4-6 : Nézel, méthode du GRADEX

Le tableau ci-après présente les résultats des débits statistiques obtenus avec la méthode des moments.

Tps retour	100	50	20	10
Q Coise	71	61	48	38

Tableau 4-13 : Débits statistiques du Nézel - méthode du GRADEX

Les valeurs trouvées par la méthode du GRADEX sont très proches de celles calculées avec la méthode des moments.

4.3.2.2 Station du Moulin Brûlé

Les résultats graphiques montrent une cassure sur l'ajustement statistique de la loi de Gumbel.

Les débits statistiques de la Coise au Moulin Brûlé ont été calculés selon deux approches :

- Ajustement par la méthode des moments
- Calcul par la méthode du GRADEX

A- Ajustement par la méthode des moments

La cassure dans l'ajustement de Gumbel se situe à partir d'un débit de 30 m³/s (soit un débit de temps de retour 5 ans environ). Pour les crues supérieures, nous avons réalisé un nouvel ajustement (cf. figure ci-après).

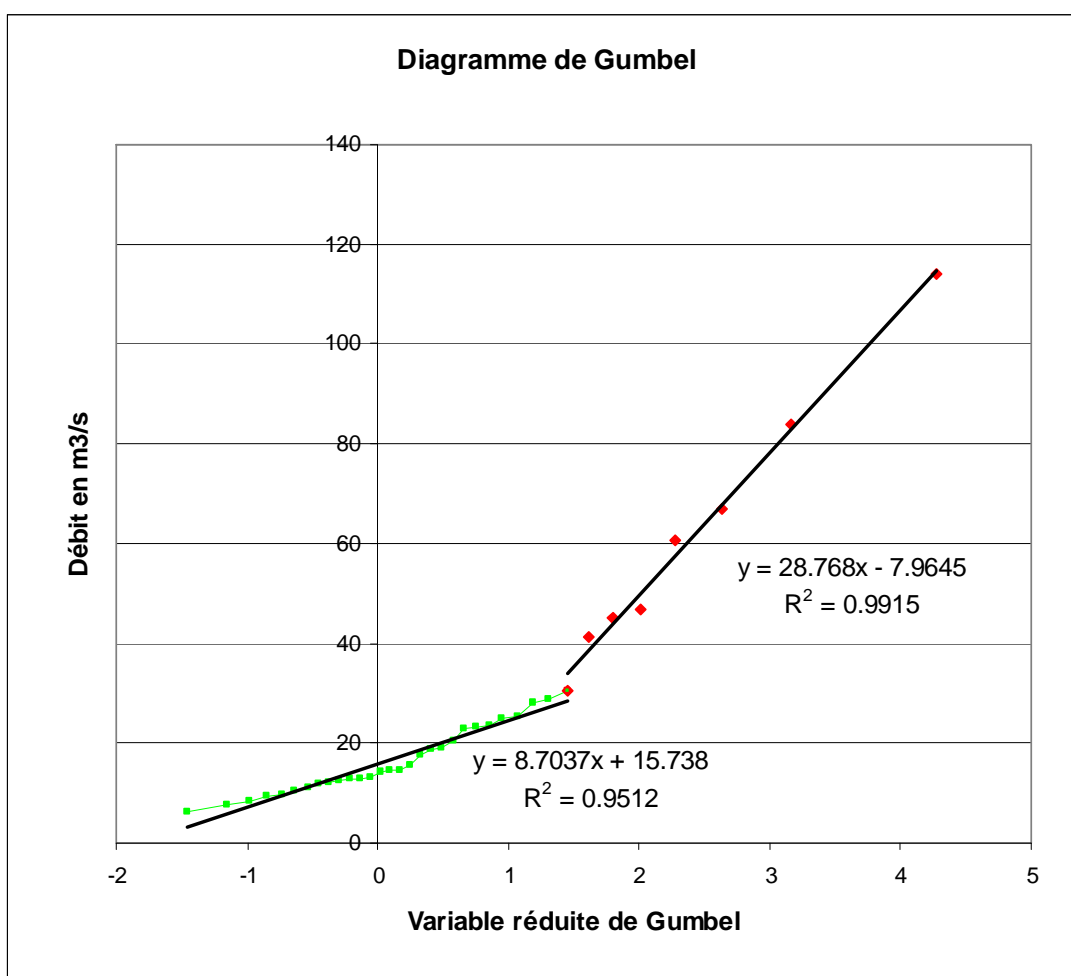


Figure 4-7 : Ajustement statistique du Moulin Brûlé par la méthode des moments

L'ajustement des crues supérieures à Q_5 présente un coefficient de corrélation de 0.99 et un taux d'accroissement de 28.9.

Le tableau ci-après présente les résultats des débits statistiques obtenus avec la méthode des moments.

Tps retour	100	50	20	10	5	2
Q Coise	113	95	71	52	32	17

Tableau 4-14 : Débits statistiques du Moulin Brûlé - méthode des moments

B- Méthode du GRADEX

L'ajustement de Gumbel sur la pluviométrie de St-Symphorien-sur-Coise a été réalisé sur les pluies ayant une fréquence d'apparition supérieure à 1 an comme pour le Nézel.

Pour permettre la comparaison, les débits ont été ramenés en mm/24 h.

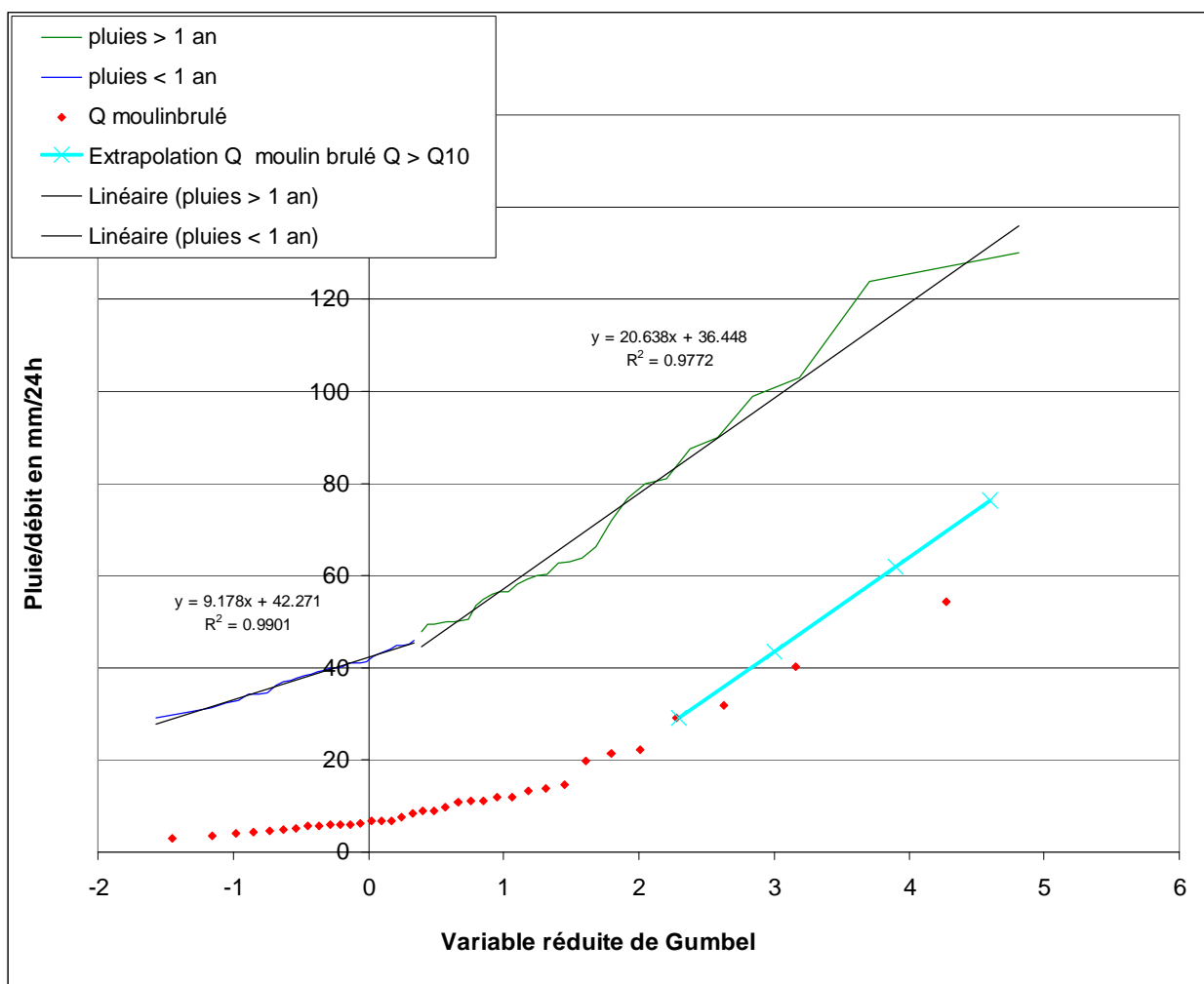


Figure 4-8 : Moulin Brûlé - méthode du GRADEX

La fonction de répartition de la loi de distribution des débits a été tracée (en bleu clair) en prenant comme origine le débit décennal et le même taux d'accroissement que la droite d'ajustement des débits (cf. figure suivante).

Le tableau ci-après présente les résultats des débits statistiques obtenus avec la méthode des moments.

Tps retour	100	50	20	10
Q Coise	160	130	91	61

Tableau 4-15 : Débits statistiques du Moulin Brûlé - méthode du GRADEX

Les valeurs trouvées par la méthode du GRADEX sont plus fortes que celles de la méthode des moments.

4.3.3 Synthèse des données hydrométriques

Les débits retenus issus de l'analyse statistique sont les suivants :

Tps retour	100	50	20	10
Q Coise Nézel	74	63	49	38
Q Coise Moulin Brûlé	160	130	91	61

Tableau 4-16 : Débits statistiques des stations hydrométriques retenus

La méthode du Gradex permet une première estimation empirique des débits statistiques de ces stations mais l'absence de débits importants jaugés permet de valider les résultats obtenus sans vérification à l'aide d'une autre méthode.

Le chapitre suivant présente la modélisation pluie-débit mise en place afin de définir avec précision les débits statistiques du bassin versant de la Coise.

4.4 Modélisation pluie-débit

L'approche statistique ne permettant pas l'estimation des débits dans la partie aval du bassin versant, nous proposons de représenter le fonctionnement hydrologique du bassin versant de la Coise par une modélisation pluie-débit. Les sous-bassins versants élémentaires ont été cartographiés sur fond IGN au 1/25 000^e à partir des principaux affluents de la Coise.

4.4.1 Méthode

Le principe d'un modèle pluie-débit est d'estimer la réponse d'un bassin versant, en termes de débit et de volume, à un événement pluvieux donné.

La spatialisation du modèle consiste à diviser le bassin versant global en sous-unités (sous-bassins) tenant compte ainsi de l'évolution des caractéristiques d'un sous-bassin versant à l'autre.

Le passage des données de pluies aux débits se fait en deux étapes principales, appelées fonctions de production et de transfert décrites ci-après.

Fonction de production

Cette première étape du modèle a pour but d'estimer la part de la pluie qui se transformera en écoulement dans le réseau.

Cette partie de la pluie qui participe à la genèse des crues est appelée "pluie nette" et constitue un certain pourcentage de la pluie totale précipitée sur le bassin versant, appelée "pluie brute".

L'autre partie de la pluie brute qui ne ruisselle pas est retenue sur le bassin versant par la végétation, la nature des sols et du sous-sol et le relief.

Le rapport entre la pluie brute et la pluie nette est appelé "coefficient de ruissellement".

Pour l'estimation de la pluie nette, il existe plusieurs méthodes couramment appliquées.

Pour l'étude, nous avons retenu la méthode du département agricole des Etats-Unis (Soil Conservation Service, SCS) développée en 1972. Elle a été utilisée pour déterminer la quantité d'eau ruisselée sur les bassins versants.

Cette méthode est relativement complète puisqu'elle tient compte, pour l'estimation de la pluie nette, des caractéristiques des sols, du couvert végétal et de l'état de l'humidité du bassin versant avant la pluie.

Formulation analytique de base

Cette méthode prend en compte la variation spatiale des caractéristiques moyennes du bassin versant. La méthode SCS dépend d'abord d'un complexe hydrologique CN (Curve Number) appelé "*potentiel de ruissellement*" qui est fonction de plusieurs facteurs dont la végétation, le type et l'occupation du sol, la topographie, les techniques culturales, l'aménagement des terres, les conditions antécédentes d'humidité, etc ... La méthode SCS dépend également des précipitations et des pertes non considérées dans la hauteur totale de pluie, c'est-à-dire l'interception par la végétation, l'infiltration dans le sol et l'évapotranspiration.

Les hypothèses de la méthode SCS sont les suivantes :

- ❑ L'évapotranspiration est négligeable pendant l'événement pluvieux
- ❑ L'infiltration tend vers 0 quand t tend vers l'infini

On suppose la relation suivante :
$$\frac{F_a}{S} = \frac{P_e}{P - I_a}$$

Avec :

F_a : Volume infiltré

S : Infiltration potentielle maximum

P_e : Pluie nette cumulée

P : Pluie brute cumulée

I_a : Pertes initiales (avant ruissellement)

D'après le principe de conservation :

$$P = P_e + I_a + F_a$$

Pluie brute

En combinant les équations précédentes, on obtient :
$$P_e = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S}$$

A partir de nombreuses études expérimentales, la relation empirique suivante est adoptée :
$$I_a = 0.2S$$

On obtient finalement la formule de la pluie nette cumulée :
$$P_e = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S}$$
 avec comme unité le mm.

L'infiltration potentielle maximale S est évaluée à partir du Curve Number (CN) via la relation :

$$S = \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right) * 25.4$$

avec S en mm.

Ces équations doivent être traitées et résolues en plusieurs étapes :

- ❑ Calcul de la pluie brute cumulée P
- ❑ Si P est inférieure aux pertes initiales avant ruissellement (I_a), toute la précipitation est absorbée avant ruissellement et la pluie nette cumulée est nulle : $P_e=0$
- ❑ Si P est supérieure aux pertes initiales avant ruissellement (I_a), les pertes par infiltration (F_a) sont estimées via la formule :

$$F_a = \frac{S(P - I_a)}{P - I_a + S}$$

- ❑ La pluie nette cumulée est déduite alors de l'équation de continuité :

$$P_e = P - I_a - F_a$$

- ❑ Finalement, les valeurs de la pluie brute à l'instant t sont déduites de la différence des différentes valeurs de P_e .

Fonction de transfert

Cette deuxième et dernière étape du modèle a pour but de générer, pour chaque nœud, un hydrogramme de crue à partir de la pluie nette estimée préalablement.

Cette fonction de transfert se décompose en deux phases : une première phase au cours de laquelle les hydrogrammes sont calculés pour chacun des sous-bassins (hydrogrammes d'apport), et une deuxième phase où ces hydrogrammes d'apport sont injectés dans le réseau étudié afin de former l'hydrogramme de crue résultant.

Les hydrogrammes d'apport sont calculés par la méthode du double réservoir linéaire, basée sur le principe de la vidange de deux réservoirs. Ils sont ensuite injectés dans le réseau en différents points, correspondant aux regards de jonction, pour progressivement se sommer tout au long du parcours. Le temps de concentration du bassin versant est estimé par la formule de Passini.

Modèle de propagation

Cette partie du modèle s'intéresse au routage et à la propagation des écoulements entre chaque nœud de calcul.

Le routage consiste à faire le cumul arithmétique des hydrogrammes de crue convergents en chaque nœud de calcul.

En termes de propagation des écoulements, la méthode employée est le modèle de Muskingum-Cunge. Ce modèle construit sur la base des informations topographiques de la vallée (profils en travers) et des paramètres de rugosité, consiste à simuler la propagation des écoulements de façon déterministe et permet de quantifier les volumes de crue stockés entre chaque nœud de calcul.

Le modèle a été renseigné topographiquement à partir d'observations de terrain (largeur de cours d'eau) et des données topographiques IGN.

4.4.2 Temps de concentration des sous-bassins versants

Le temps de concentration des sous-bassins versants a été calculé avec la formule de Passini.

$$T_c = 0.14 \times (A \times L)^{1/3} / (I^{1/2})$$

Avec :

- T_c = Temps de concentration (min)
- L = longueur du plus long cheminement hydraulique (m)
- A = Surface du bassin versant (km²)
- I = pente moyenne du cheminement hydraulique (m/m)

Les caractéristiques des bassins versants sont présentées en Annexe 8.

4.4.3 Pluie de référence

4.4.3.1 Analyses des pluies intenses antérieures

Afin de qualifier les pluies intenses sur le bassin versant de la Coise, les pics d'intensité des événements antérieurs ont été étudiés.

Le graphique suivant présente des pics d'intensités horaires des pluies de 1996, 2003 et 2008 (intensité > 2 mm/h) mesurées aux stations pluviométriques de Grammond et d'Andrézieux-Bouthéon.

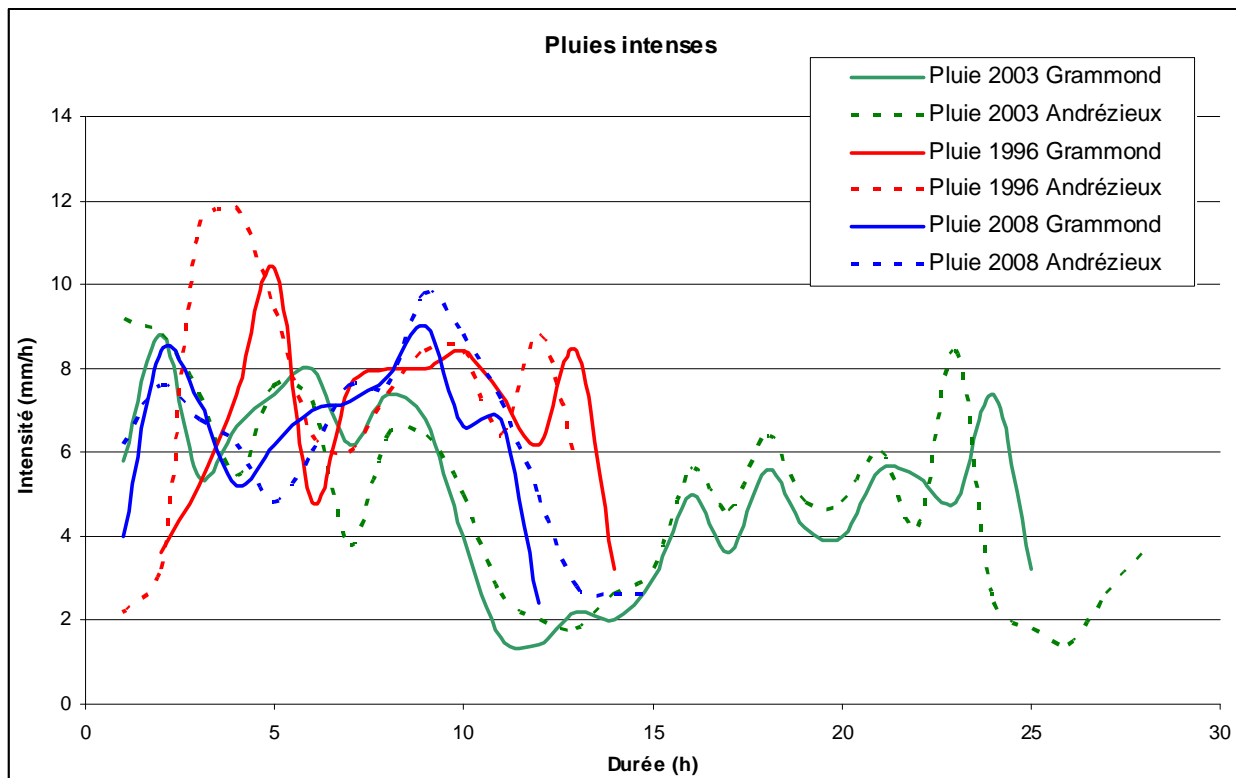


Figure 4-9 : Pics d'intensités horaires des événements pluviométriques antérieurs

Les pics d'intensités horaires maxima mesurés sont très proches entre l'amont du bassin versant (Grammond) et l'aval (Andrézieux Bouthéon).

En 2003, la durée de la pluie a dépassé 24 h avec 2 pics en début et fin de période, le 1^{er} pic étant le plus intense (entre 10 et 12 mm/h mesurés).

En 1996 et 2008, la durée des pluies intenses a été de 12 à 15 h avec des pics d'intensité entre 9 et 10 mm/h. La durée d'intensité supérieure à 6 mm/h a été mesurée sur 10h.

4.4.3.2 Pluies synthétiques

La pluie centennale synthétique a été établie avec les hypothèses suivantes :

- Durée totale : 12 heures
- Durée du pic intense : 6 heures
- Position du pic intense : 25 %
- Cumul des pluies monofréquences synthétiques suivant les valeurs du tableau ci-après.

Durée	6 h	12 h
Pluie 10 ans amont (mm)	60	74.4
Pluie 10 ans aval (mm)	54.2	67.2
Pluie 100 ans amont (mm)	86.5	108.9
Pluie 100 ans aval (mm)	75.7	95.4

Tableau 4-17 : Cumuls de pluie en fonction de la durée

4.4.4 Calage du modèle hydrologique

Le calage du modèle hydrologique a été réalisé à partir des événements pluvieux intenses récents sur deux paramètres :

- Vitesse de propagation de l'onde de crue ;
- Débit maximal de la crue.

4.4.4.1 Vitesse de propagation de l'onde de crue

La vitesse de propagation de l'onde de crue a été calée à partir des deux crues récentes issues de phénomènes pluvieux courts : les crues de 2008 et 1996.

A- Vitesse de propagation de la crue 2008

La figure suivante présente une comparaison entre l'hydrogramme de la crue mesurée à la station du Nézel et l'hydrogramme obtenu avec le modèle pluie-débit.

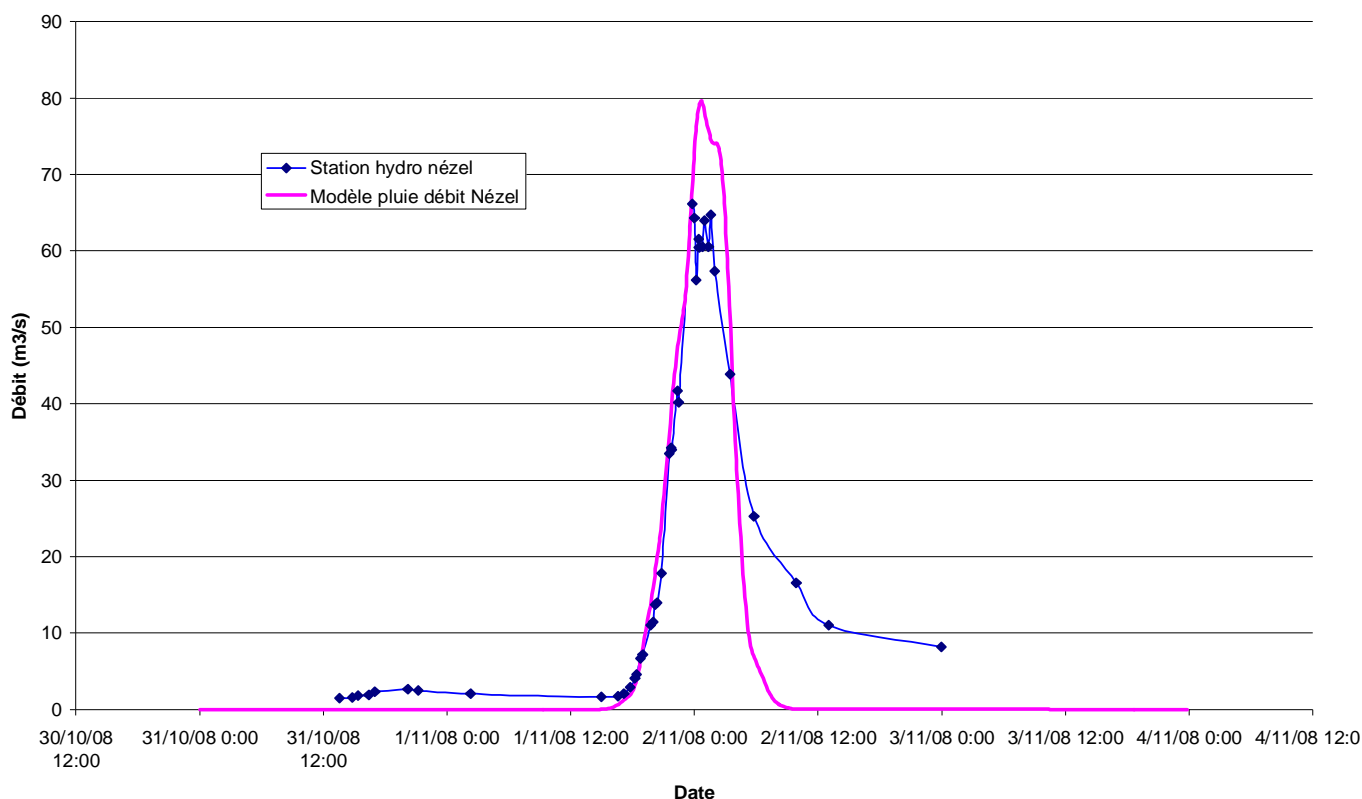


Figure 4-10 : Hydrogramme 2008 Nézel / HECHMS

L'hydrogramme de crue obtenu avec HECHMS est concordant avec les mesures hydrométriques du Nézel concernant la montée en crue et donc la vitesse de propagation de la crue. Concernant le pic de crue estimé à environ $80 \text{ m}^3/\text{s}$ par le modèle pluie-débit, on remarque une dérive des valeurs de la station hydrométrique.

B- Vitesse de propagation de la crue 1996

Les hauteurs d'eaux de la crue 1996 ont été mesurées aux deux stations hydrométriques du Nézel et du Moulin Brûlé, indiquant ainsi les pics à chaque station et donc la vitesse de propagation de l'onde de crue.

Les hauteurs d'eau maximales ont été mesurées aux stations aux dates suivantes :

- Station du Nézel : le 13/11/1996 à 5h21
- Station du Moulin Brûlé : le 13/11/1996 entre 7h00 et 7h59

Le temps de propagation de la crue entre les deux stations est situé entre 1h40 min et 2h40 min.

Le modèle hydrologique, calculant une durée de propagation de 2h10 min entre les deux stations, cohérente avec les valeurs mesurées par les stations, est correctement calé en terme de vitesse de propagation de l'onde de crue.

↳ Sur l'amont du bassin versant, le modèle hydrologique est calé en terme de vitesse de propagation.

4.4.4.2 Calage du débit de pointe de la crue

Le calage de ce paramètre a pu être réalisé à partir de la crue 2008.

A- Méthodologie

Sur le bassin versant, les données pluviométriques infra-journalières sont fournies par les stations d'Andrézieux Bouthéon et de Grammond.

La pluie a été simulée en prenant comme stations de référence :

- Bassin versant aval : Andrézieux Bouthéon
- Bassin versant amont : Grammond.

Le choix de la station de Grammond pour le bassin versant amont a été motivé par ses pluies statistiques proches de celles de St-Symphorien-sur-Coise sur des mêmes durées d'échantillonnage. De plus, Les précipitations de l'événement 2008 provenant du Sud, la station de Grammond représente plus fidèlement les intensités précipitées en tête de bassin versant.

B- Calage du modèle hydrologique de la Coise

Les débits maxima ont été estimés à partir des laisses de la crue de novembre 2008. Au droit de ces laisses, le débit de la Coise a été calculé à partir du modèle numérique HEC Ras (modèle hydraulique monté pour les besoins de cette étude).

Les points de calculs du débit de la crue 2008 sont les suivants :

- Ste Catherine : $Q_{\text{estimé}} = 7 \text{ m}^3/\text{s}$;
- St-Symphorien-sur-Coise, les Garennes : $Q_{\text{estimé}} = 120 \text{ m}^3/\text{s}$;
- St-Denis-sur-Coise : $Q_{\text{estimé}} = 180 \text{ m}^3/\text{s}$;
- Chazelles-sur-Lyon, Moulin-Brûlé : $Q_{\text{estimé}} = 188 \text{ m}^3/\text{s}$;
- St Galmier, Pont des Romains : $Q_{\text{estimé}} = 265 \text{ m}^3/\text{s}$;
- St Galmier, Puits Badoit : $Q_{\text{estimé}} = 265 \text{ m}^3/\text{s}$;
- St Galmier, Usine Badoit : $Q_{\text{estimé}} = 280 \text{ m}^3/\text{s}$;

- Cuzieu, Pont de la RD 16 : $Q_{\text{estimé}} = 340 \text{ m}^3/\text{s}$;
- Cuzieu, Pont de la RN 82 : $Q_{\text{estimé}} = 345 \text{ m}^3/\text{s}$.

C- Calage du modèle hydrologique des affluents de la Coise

Bassin versant du Volvon :

Le modèle pluie-débit a été calé à partir des données de débit de l'étude Ginger Environnement réalisée en 2009.

En amont de Veauche, le débit décennal du Petit Volvon est de $10.5 \text{ m}^3/\text{s}$.

Le choix de ce débit décennal est motivé par le fait que l'étude GINGER Environnement, récente, a été très complète sur ce secteur car prenant en compte l'effet des différents bassins de rétention ainsi que la répartition hydraulique complexe des cours d'eau et du réseau de fossé en amont de Veauche.

A l'amont de Veauche, le modèle hydrologique a été calé en fonction de ce débit décennal de $10.5 \text{ m}^3/\text{s}$.

Autres bassins versants :

Le modèle pluie-débit utilisé est celui créé pour l'estimation des débits de la Coise.

4.4.5 Débits de crue de la Coise

Le tableau suivant présente une comparaison entre les débits Q_{10} , Q_{100} et la crue 2008.

Point de calcul	Surface bassin versant km ²	Crue 2008	Q10	Q100	Débit spécifique m ³ /s/km ²	
					Q10	Q100
Ruisseau de la Platte	4	5	4	7	1.1	1.8
Confluence Platte	18	24	21	35	1.2	1.9
Confluence Rieu	32	43	37	62	1.2	1.9
Confluence Potensinet	61	78	67	111	1.1	1.8
Confluence Coiset	72	91	76	127	1.1	1.8
Confluence Rosson	82	104	85	143	1.0	1.7
Confluence Manipan	92	116	91	155	1.0	1.7
Confluence Orzon	134	166	127	219	0.9	1.6
Confluence Maladière	142	176	132	230	0.9	1.6
Confluence Ramarey	145	179	134	233	0.9	1.6
Confluence Bilaize	153	188	138	242	0.9	1.6
Confluence Arbiche	164	198	144	254	0.9	1.5
Confluence Gimond RD	181	219	155	277	0.9	1.5
Confluence Merlançon	186	225	157	281	0.8	1.5
Confluence Gimond RG	208	250	170	308	0.8	1.5
Amont camping St Galmier	216	259	173	314	0.8	1.5
Confluence R. de Savia	220	263	175	318	0.8	1.4
Confluence Vérut	227	269	177	322	0.8	1.4
Confluence Volvon	274	333	201	372	0.7	1.4
Cuzieu RD 10	283	338	203	378	0.7	1.3
Cuzieu RN 82	298	346	206	385	0.7	1.3

Tableau 4-18 : Débits de crue 2008, Q_{10} et Q_{100} de la Coise

Le débit spécifique de la crue centennale varie entre 2 et 1.3 m³/s/km² entre l'amont et l'aval du bassin versant.

La figure ci-après présente le profil en long du débit maximal de la crue 2008 en fonction de la surface du bassin versant.

Sur ce graphique, ont été ajoutés les débits spécifiques de la Coise pour les temps de retour 10, 30, 50 et 100 ans ainsi que les débits des études antérieures.

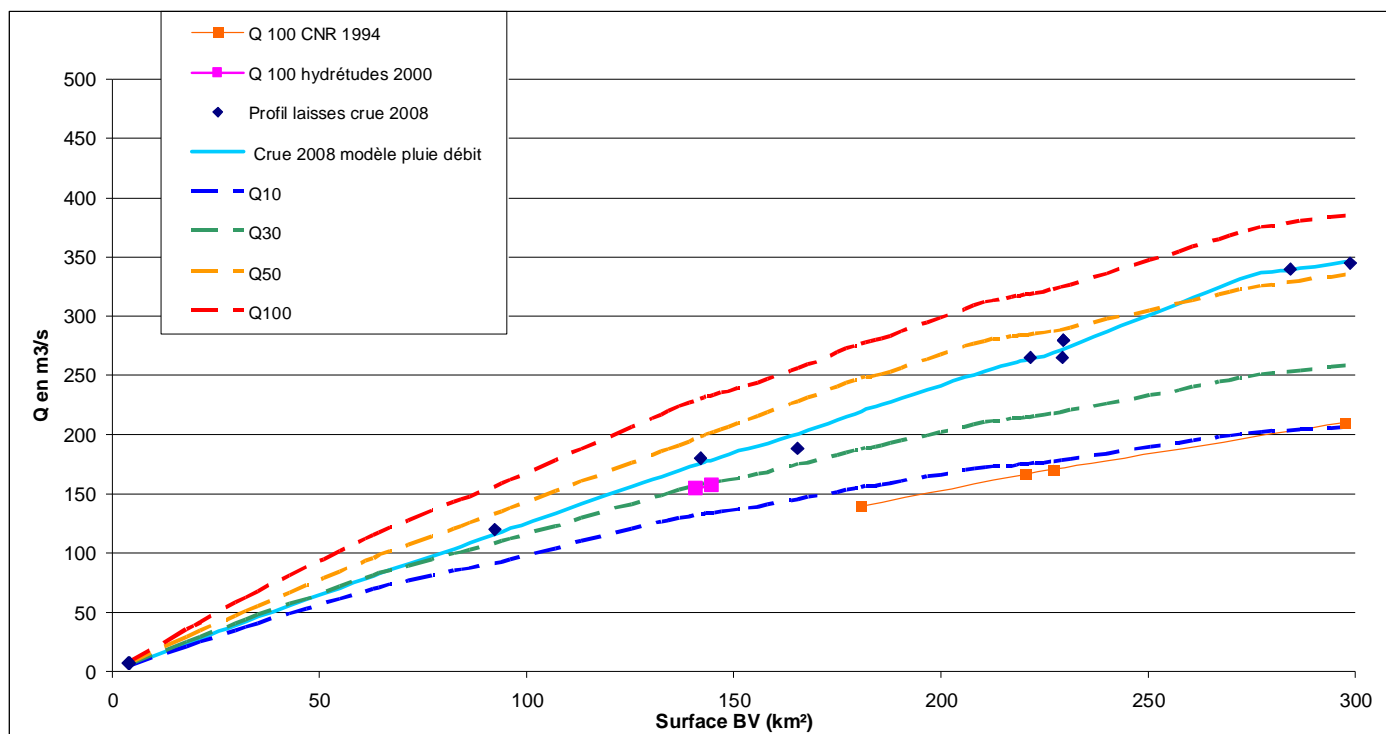


Figure 4-11 : Profil en long des débits de la Coise

Ce graphique permet dans un premier temps la comparaison entre le débit mesuré à l'aide des laisses de crue et le débit calculé par le modèle hydrologique.

Les résultats obtenus appellent les commentaires suivants :

Crue 2008 :

- ❑ Le modèle reproduit une pente de la ligne d'eau fidèle à la crue 2008 mesurée à l'aide du modèle hydraulique, représentant correctement les apports des affluents. A l'aval de St Galmier, on constate une augmentation des débits générée par l'apport du bassin versant du Volvon, cours d'eau ayant subi une crue proche d'un événement centennal (cf. chapitre 4.6).
- ❑ Le temps de retour estimé de la crue 2008 varie entre un événement trentennal sur l'amont du bassin versant et un événement supérieur à un temps de retour 50 ans sur l'aval du bassin versant. Cette augmentation du temps de retour s'explique par des intensités pluviométriques plus importantes sur l'aval de bassin versant que sur l'amont.

Crue centennale :

- ❑ Les débits centennaux des études antérieures sont en-deçà de la crue 2008 et sont estimés à un temps de retour décennal pour l'étude CNR sur l'aval du bassin versant et un débit trentennal pour l'étude Hydrétudes à St-Denis-sur-Coise.

Remarque : A St-Denis-sur-Coise, les hauteurs d'eau indiquées par Hydrétudes pour la crue centennale ont été dépassées de 26 cm en 2008 en amont du pont (indication de la hauteur par laisse de crue).

- ❑ La crue centennale est supérieure à la crue 2008, plus forte crue connue, de l'ordre de 31 % sur l'amont du bassin versant et de 10 % à l'aval : pour la Coise, la crue de référence pour l'établissement des zones inondables sera la crue centennale.
- ❑ Finalement, les résultats pour la crue centennale sont majorants par rapport aux études antérieures mais restent cohérents au vu des débits spécifiques. Compte tenu des incertitudes de l'hydrologie et de la modélisation, cela va dans le sens d'une marge sécuritaire pour la prise en compte du risque inondation.

4.4.6 Débits de crue des affluents de la Coise

Le tableau suivant présente une comparaison entre les débits statistiques des affluents, la crue 2008 et les résultats des études antérieures.

Point de calcul	Surface bassin versant km ²	Crue 2008	Q10	Q100	Débit spécifique m ³ /s/km ²		Etude référence	Débit étude (m ³ /s)
					Q10	Q100		
Bassin versant du Volvon								
Gourny à Lapra	4	6.5	5.2	7.6	1.4	2.1		
Petit Volvon amont Veauche	11	15	10.5	16	0.9	1.4	Ginger 2009	Q10 = 10.5
Petit Volvon aval Veauche	17	26	20	29	1.2	1.7		
Volvon aval St Bonnet	18	29	20	30	1.1	1.7	CNR, 1994	Q10=10 ; Q100=21
Volvon Veauche	23	36	24	37	1.1	1.6	CNR, 1995	Q10=17 ; Q100=35
Confluence Volvon-Petit Volvon	40	61	43	66	1.1	1.7	CNR, 1996	Q10=19 ; Q100=39
Bassin versant ruisseau de la Platte								
Platte amont st catherine	4	5	4	7	1.0	1.8		
Platte aval st catherine	8	11	10	16	1.3	2.1		
Bassin versant ruisseau de l'Orzon								
Orzon amont St Symphorien	8	12	10	16	1.3	2.0		
Orzon aval St Symphorien	9	14	13	19	1.3	2.0		
Bassin versant ruisseau de Ramarey								
Ramarey	3	3.9	3.6	5.7	1.4	2.2	Hydrétudes, 2008	Q100 = 5.1

Tableau 4-19 : Débits de crue 2008, Q₁₀ et Q₁₀₀ des affluents de la Coise

Pour l'ensemble des affluents de la Coise, la crue centennale est supérieure à la crue de novembre 2008. Cette dernière a une occurrence estimée entre un événement trentennal et cinquantennal pour les affluents de l'amont du bassin versant.

Sur le bassin versant du Volvon, la crue de novembre 2008 est située entre un événement cinquantennal et centennal, s'expliquant par les fortes intensités de pluies relevés à Andrézieux pour cet événement.

La crue de référence des affluents de la Coise est donc la crue centennale.

4.5 Débits statistiques retenus sur la Coise

Le modèle hydrologique ayant été calé pour la plus forte crue de référence, la crue centennale, le tableau suivant présente les débits statistiques retenus sur la Coise en comparaison avec la crue 2008.

Point de calcul	Surface bassin versant km ²	Q10 m ³ /s	Q30 m ³ /s	Q50 m ³ /s	Q100 m ³ /s
Ruisseau de la Platte	4	4	5	6	7
Confluence Platte	18	21	25	29	35
Confluence Rieu	32	37	44	51	62
Confluence Potensinet	61	67	78	93	111
Confluence Coiset	72	76	89	107	127
Confluence Rosson	82	85	100	120	143
Confluence Manipan	92	91	107	132	155
Confluence Orzon	134	127	150	188	219
Confluence Maladière	142	132	157	198	230
Confluence Ramarey	145	134	159	202	233
Confluence Bilaize	153	138	165	212	242
Confluence Arbiche	164	144	173	226	254
Confluence Gimond RD	181	155	188	247	277
Confluence Merlançon	186	157	191	250	281
Confluence Gimond RG	208	170	208	276	308
Amont camping St Galmier	216	173	212	281	314
Confluence R. de Savia	220	175	214	284	318
Confluence Vérut	227	177	217	287	322
Confluence Volvon	274	201	249	323	372
Cuzieu RD 10	283	203	252	328	378
Cuzieu RN 82	298	206	257	334	385

Tableau 4-20 : Débits statistiques de la Coise

4.6 Débits statistiques des affluents de la Coise

Le tableau suivant présente les débits statistiques retenus sur les affluents de la Coise faisant l'objet d'une modélisation numérique pour l'établissement de leur zone inondable.

Point de calcul	Surface bassin versant km ²	Q10	Q30	Q50	Q100
Bassin versant du Volvon					
Gourny à Lapra	4	5.2	5.7	6.6	7.6
Petit Volvon amont Veauche	11	10.5	12	14	16
Petit Volvon aval Veauche	17	20	22	25	29
Volvon aval St Bonnet	18	20	22	26	30
Volvon Veauche	23	24	27	31	37
Confluence Volvon-Petit Volvon	40	43	48	56	66
Bassin versant ruisseau de la Platte					
Platte amont st catherine	4	4	5	6	7
Platte aval st catherine	8	10	11	13	16
Bassin versant ruisseau de l'Orzon					
Orzon amont St Symphorien	8	10	12	14	16
Orzon aval St Symphorien	9	13	14	17	19
Bassin versant ruisseau de Ramarey					
Ramarey	3	3.6	4.2	4.8	5.7

Tableau 4-21 : Débits statistiques des affluents de la Coise

Chapitre 5 Analyse hydrogéomorphologique

5.1 Définition des secteurs

Les secteurs où la zone inondable a été définie par analyse hydrogéomorphologique sont les suivants :

□ Cartographie de la zone inondable de la Coise

- ✓ secteur amont depuis la source (commune de Lamure) jusqu'aux Garennes (commune de St-Symphorien-sur Coise) ;
- ✓ secteur entre les Garennes et moulin Trunel (commune de St-Denis-sur-Coise) ;
- ✓ secteur entre le moulin Blanchard (commune de St Denis-sur-Coise) et l'amont du camping du Moulin Brûlé (commune de Chazelles-sur-Lyon) ;
- ✓ secteur entre le pont de la RD 11 (commune de Chazelles-sur-Lyon) et le camping de St Galmier.

Entre Meylieu et la confluence avec la Loire, seul le lit mineur et les ouvrages présents à proximité ont été cartographiés puisque la zone inondable de la Loire est prédominante sur ce secteur.

□ Cartographie des affluents :

- ✓ Le ruisseau d'Orson : depuis sa confluence avec la Coise jusqu'à la limite de la commune de St-Symphorien-sur-Coise ;
- ✓ Le Manipan : depuis sa confluence avec la Coise jusqu'au pont de la RD11 ;
- ✓ Le ruisseau de la Platte : sur une longueur de 1 700 mètres qui précèdent la confluence avec la Coise ;
- ✓ Le ruisseau la Vergnassière : sur une longueur de 1 700 mètres qui précèdent la confluence avec le ruisseau de la Platte ;
- ✓ Le ruisseau le Potensinet : sur une longueur de 4 730 mètres jusqu'à la RD 11 (pont du Chier) ;
- ✓ Le ruisseau le Couzon : sur une longueur de 3 200 mètres qui précèdent la confluence avec la Coise ;
- ✓ Le ruisseau la Gimond rive droite sur une longueur de 5 200 mètres jusqu'à la RD103 ;

- ✓ Le ruisseau la Gimond rive gauche sur une longueur de 7 600 mètres jusqu'au lieu-dit Moulin Staron ;
- ✓ Le Volvon : depuis sa confluence avec la Coise jusqu'à la station d'épuration de St-Bonnet-les-Oules, en amont immédiat de l'ancien moulin au luminaire ;
- ✓ Le Petit Volvon : depuis sa confluence avec le Volvon. Le Gourny : depuis sa confluence avec le Petit Volvon jusqu'au lieu-dit Lapra (commune de St-Bonnet-les-Oules) ;
- ✓ Le Vérut : sur les 400 mètres qui précèdent la confluence avec la Coise.

5.2 Méthodologie

L'analyse hydrogéomorphologique de la Coise s'est appuyée sur :

- l'étude des cartes IGN et géologique
- l'étude des photos aériennes
- une reconnaissance de terrain

Une analyse préalable a été menée sur les cartes IGN et géologique afin de visualiser l'emprise maximale du lit majeur inondable, ensuite affinée sur le terrain.

Compte tenu de l'anthropisation de la vallée de la Coise et du Volvon et de l'encassement des cours d'eau sur l'amont du bassin versant, la reconnaissance de terrain a été prépondérante pour la délimitation de la zone inondable par hydrogéomorphologie.

Les différents éléments relevés sont les suivants :

- Lit mineur** : lit mineur de la Coise et des affluents.
- Lit moyen** : lit d'inondation fréquente qui a été cartographié uniquement sur la Coise à l'aval de la confluence du Potensinet. Sur la partie amont de la Coise ainsi que sur les affluents, l'encassement des vallées n'a pas permis de définir les limites de ce lit très proches du lit majeur.
- Lit majeur** : limite de zone inondable par les crues rares à exceptionnelles.
- Lit naturel** : lit en fond de vallée, creusé par des écoulements débordants en crue sur des sections où le cours d'eau a été dévié.
- Bras de décharge** : écoulement débordant dans le lit majeur, souvent créé par la déviation du lit mineur hors de son lit naturel.
- Zone d'écoulement diffus** : zone inondable, avec de faibles hauteurs et de faibles vitesses, créée sur le Petit Gourny par le busage sous la RD 200.

- ❑ **Limite encaissant** : Limite naturelle marquée entre le lit majeur et le versant ou les terrasses alluviales.
- ❑ **Talus** : Talus marqué entre le fond de vallée et le versant servant de délimitation de zone inondable.
- ❑ **Talus peu marqué** : Talus peu marqué (pente faible) servant de délimitation de zone inondable.
- ❑ **Digue** : Digue située au sein du lit majeur (route surélevée, digues de plan d'eau, mur).
- ❑ **Seuil** : seuil créé sur le lit mineur pour l'alimentation des biefs en amont des moulins. En amont, présence d'une retenue d'eau.
- ❑ **Seuil naturel** : seuil formé par une accumulation de blocs ou par la mise à nu du substratum.
- ❑ **Pont** : Pont situé au-dessus du lit mineur et non prévu pour être inondé. La voirie constitue le plus souvent un obstacle à l'écoulement des eaux en crue.
- ❑ **Pont submersible** : Pont submersible créé pour que la voirie ne constitue pas un obstacle à l'écoulement des eaux en crue.
- ❑ **Passerelle** : passage piéton au-dessus du lit mineur.
- ❑ **Busage** : busage du cours d'eau sous une voirie.
- ❑ **Plan d'eau** : retenue en lit majeur et protégée par des digues.
- ❑ **Erosion de berge**
- ❑ **Atterrissement**
- ❑ **Station d'épuration** : station créée en remblai sur la Gimond au sein du lit majeur (filtre planté de roseaux).
- ❑ **Bassin d'écrêtement** : bassins créés à proximité du Volvon pour permettre l'écrêtement des crues fréquentes.

La cartographie des zones inondables est située en Annexe 10.

5.3 Description hydrogéomorphologique des différents cours d'eau

Ce chapitre est une appréciation des caractéristiques hydrogéomorphologiques des différents cours d'eau.

5.3.1 La Coise

Ce cours d'eau possède une vallée alluviale relativement encaissée entre sa source et St Galmier. Les terrains situés en zone inondable sont des zones agricoles (prairies).

Sur son secteur à l'amont de Sainte Catherine, le cours de la Coise a été modifié sur plusieurs tronçons en amont de moulins. Il en résulte la présence de bras de décharge et de tracé d'ancien lit mineur (lit naturel) visible en fond de vallée.

- Sur la commune de Lamure, la Coise est busée sur près de 100 m sous une plateforme industrielle et on note également la présence de deux plans d'eau situés en fond de vallée (le cours d'eau a été dévié en lit majeur gauche).
- Au niveau de moulin Bénière, la présence du pont et la voirie située plus haut que les terrains en amont provoque une inondation de l'habitation en rive gauche. En aval, présence d'un plan d'eau en fond de vallée.

En aval de Sainte Catherine, on note la présence de la station d'épuration de Ste Catherine en remblai dans le lit majeur sur une zone de fond de vallée très large. Les limites de zones inondables sont le plus souvent marquées directement par l'encaissant.

Les ponts situés à la Bruyère et au Nézel constituent des goulets d'étranglement pour la Coise en crue mais leurs sections d'écoulement importantes n'ont jamais généré de débordement en amont en crue.

En aval du Nézel, un lit moyen a pu être délimité par la présence de talus plus ou moins marqués au sein du lit majeur inondable.

Au niveau du hameau de la Thénaudière, présence d'un seuil sur la Coise destiné à l'alimentation d'un bief et d'un moulin en aval.

Le pont sur la RD 63 (Pont Colas détruit lors de la crue de 1834) barre le fond de vallée et constitue un nouveau goulet d'étranglement en crue.

Au niveau de St-Symphorien, les terrains de sport en rive droite sont situés en zone inondable. A noter la présence d'un seuil en amont des Garennes détruit lors de la crue 2008 qui a été arasé.

Entre les Garennes et St-Denis-sur-Coise, présence du pont de la RD 4 qui barre le fond de vallée de la Coise en amont de sa confluence avec le Couzon. En aval du pont, la station d'épuration de St-Symphorien-sur-Coise (en rive droite) est située sur un remblai hors zone inondable.

En aval, le lit majeur s'élargit jusqu'au moulin Trunel, inondant la voirie traversant le lit majeur et des bâtiments agricoles.

La description des crues à St-Denis-sur-Coise se situe dans les résultats de l'analyse hydraulique.

Entre St-Denis-sur-Coise et le Moulin Brûlé, aucun enjeu n'est présent en lit majeur : les voies de circulation sont en-dehors du lit majeur uniquement constitué d'un fond de vallée agricole.

Les écoulements en crue au Moulin Brûlé sont décrits dans les résultats de l'analyse hydraulique.

En aval du Moulin Brûlé, la Coise conflue avec les Gimond rive droite et gauche. Jusqu'au camping de St Galmier, seuls des moulins sont situés en zone inondable. A noter la présence d'un pont submersible précédé d'un seuil au niveau du moulin Savigneux et d'une voirie inondable en aval (route de la Thiérie).

Les écoulements en crue de la Coise en aval du camping de St Galmier sont décrits dans les résultats de l'analyse hydraulique.

5.3.2 *Le Petit Volvon et le Gourny*

Dans le secteur de la plaine du Forez, les zones inondables du Gourny et du petit Volvon sont fortement anthropisées.

A l'aval de Lapra, le Petit Gourny possède un champ d'expansion étendu, situation provoquée par son busage sous la RD 200. En aval, la zone inondable est contenue entre le talus de la voie SNCF en rive gauche et des cultures en rive droite.

La présence du pont de la RD 100 crée un écoulement débordant en lit majeur droit qui suit un réseau de fossé avant de rejoindre le cours d'eau à l'amont de Veauche.

Entre la RD 100 et Veauche, de nombreux ponts sont présents sur le Gourny ainsi qu'un bassin d'écrêtement. Le cours d'eau suit le remblai de la voie SNCF qu'il traverse à sa confluence avec le Petit Volvon.

Le Petit Volvon draine les eaux de l'aéroport de St Etienne-Bouthéon et de la zone industrielle de l'Orme. On note la présence d'un bassin d'écrêtement sur son parcours où un siphon permet de diriger une partie des eaux en direction d'Andrézieux Bouthéon. Ce siphon ne possède pas un fonctionnement hydraulique correct et est souvent sujet à des obstructions.

5.3.3 *Le Vérut*

A l'amont de son busage sous la RD 6, le lit majeur du Vérut est très encaissé. La RD 6 a créé une digue en travers du lit majeur. Au droit de son busage, le lit majeur n'a pas été totalement remblayé. En cas de saturation du busage (ovoïde), cette zone permettra de stocker un survolume important avant débordement sur la voirie (crue extrême en cas de concomitance de crue avec la Coise située à l'exutoire du busage).

5.3.4 La Gimond rive gauche

La Gimond rive gauche est un cours d'eau très encaissé en particulier sur son parcours à l'aval de Chevrières.

La zone inondable est le plus souvent contrainte entre l'encaissant sur une rive et un talus marqué sur l'autre rive.

Le lit majeur entre Moulin-Staron et la RD 6 est principalement situé en zone agricole (prairies).

Au niveau de la RD 6, deux ouvrages de franchissement barrent la vallée de la Gimond. En aval, la vallée alluviale, très encaissée, traverse des zones boisées et des friches.

Concernant les usages anthropiques en lit majeur, on note seulement la présence d'une station d'épuration (commune de Chevrières) créée en remblai dans son lit majeur. Cette station, un lagunage, sera très prochainement remplacée par un filtre planté de roseaux situé hors zone inondable.

5.3.5 La Gimond rive droite

Ce cours d'eau est principalement situé en zone agricole (prairies).

Ce cours d'eau a été localement déplacé de son fond de vallée (présence de bras de décharge) comme en amont du pont de la route du Moulin Brûlé et au hameau de la Niolle.

Le secteur situé entre la confluence avec la Coise et la Giraudière est encaissé.

Au niveau du hameau de la Giraudière, on note la présence de 4 plans d'eau en bordure du cours d'eau : ceux situés en amont et en aval n'ont pas été classés en zone inondable puisqu'ayant un niveau de digue très élevé par rapport au lit mineur qui possède une large section d'écoulement.

Entre le hameau de la Giraudière et le pont de la RD 2, la vallée alluviale s'élargit et la zone inondable est moins contrainte.

La RD 2 située à l'amont du secteur analysé constitue une digue en travers du lit majeur et le busage du cours d'eau sous celle-ci crée une section d'écoulement réduite en crue et donc un stockage de l'eau en amont.

5.3.6 Le Couzon

Ce cours d'eau, principalement situé en zone agricole (prairies) possède une vallée alluviale encaissée mais large. La délimitation de la zone inondable s'est assez souvent appuyée sur des limites de talus peu marquées compte tenu de l'emprise disponible pour les écoulements en crue.

En amont de sa confluence avec la Coise, la présence d'un pont (Le Pont Français) contraint le cours d'eau qui a dans le passé inondé le moulin en rive droite.

Les deux autres ponts situés en amont ont une voirie assez basse qui permet facilement le débordement du cours d'eau sans provoquer de mise en charge importante des ouvrages.

5.3.7 L'Orzon

L'Orzon est un cours d'eau très anthropisé dans sa traversée de St-Symphorien-sur-Coise avec la présence de nombreux busages. En aval de sa traversée urbaine, le cours d'eau est très encaissé jusqu'à sa confluence avec la Coise.

5.3.8 Le Manipan

En aval de son busage sous la RD 11 et sa confluence avec la Coise, le Manipan est situé en bordure de zone urbaine sans risque d'inondation pour les habitations proches. A noter la présence de plusieurs ouvrages de franchissement en amont de son busage sous la RD 2.

Au niveau de Bassac, le tronçon situé entre les deux voiries a une section d'écoulement réduite par la présence de remblai en lit majeur.

5.3.9 Le Potensinet

Au niveau de sa confluence avec la Coise (Le Nézel), le cours d'eau est contraint par des murs et plusieurs ouvrages de franchissement (présence d'habitations).

En amont, le cours d'eau traverse essentiellement des zones agricoles (prairies) et le fond de vallée est assez large. Les ouvrages présents sur son cours ne présentent pas d'obstacle majeur à l'écoulement des eaux.

La déchèterie présente en lit majeur droit est située hors zone inondable.

Le pont de la RD 11, situé à l'amont du secteur étudié est quant à lui un obstacle majeur à l'écoulement des eaux.

5.3.10 La Vergnassière

Ce cours d'eau présente un profil en long assez pentu.

A l'amont du secteur étudié (hameau de Chavassieux), on note la présence d'un plan d'eau situé en fond de vallée. Le cours d'eau a été dévié de son cours dans le lit majeur droit.

En aval, le cours d'eau traverse des zones agricoles. A noter la présence d'une habitation en rive droite au hameau de la Vergnassière.

Avant sa confluence avec la Coise, le cours d'eau est busé sous la RD 2. Sur ce secteur, une crue pourrait provoquer un débordement à travers la voirie et inonder le parking à proximité de l'accès de la station d'épuration de Sainte Catherine en aval (filtre planté de roseaux).

5.3.11 La Platte

En amont des terrains de sport de Sainte Catherine, le busage du ruisseau sous la voirie peut générer un débordement susceptible de se diffuser sur l'ensemble sportif en aval.

L'étang présent en rive droite est considéré hors zone inondable car situé plus haut que les terrains de l'ensemble sportif où vont se diriger les écoulements débordants.

Chapitre 6 Analyse hydraulique

L'objectif de l'analyse hydraulique est d'établir les conditions d'écoulement en crue de la Coise et ses affluents afin de les traduire ensuite en termes de risques inondation. Seuls les secteurs à enjeux ont fait l'objet d'une analyse hydraulique calculatoire (modélisation numérique des écoulements), les autres secteurs étant étudiés par la méthode hydrogéomorphologique (Voir chapitre précédent).

6.1 *Choix du modèle numérique de simulation*

Dans le cadre de l'établissement d'un Plan de Prévention des Risques Naturels d'Inondation, la crue de référence retenue est soit la crue centennale, soit la plus forte crue vécue si celle-ci est supérieure à la crue centennale.

La Coise n'ayant pas connu de crue supérieure à la crue centennale, ce sont les débits de la crue centennale qui ont été pris comme référence pour l'élaboration des zones inondables.

Pour ce faire, nous avons construit un modèle numérique de simulation des écoulements. Il s'agit en quelque sorte d'une maquette virtuelle (puisque réalisée sous forme informatique) de la vallée et du lit de la Coise et ses affluents dans laquelle nous injectons le débit d'une crue centennale et qui nous permet de simuler les hauteurs d'eau et les vitesses d'écoulement.

Dans cette étude, le code de calcul retenu est HEC-RAS 4.1. Ce code de calcul mis au point par l'Hydrologic Engineering Center de l'U.S. Army Corps of Engineers permet de simuler tous types de configurations habituellement rencontrées en rivière : confluence, défluence, seuil, pont, buse, rétention, stockage, déversoir... Les lignes d'eau sont calculées en régime fluvial, critique, torrentiel ou mixte dans les lits mineur et majeur et en régime dynamique (c'est-à-dire en tenant compte des phénomènes transitoires) si nécessaire. Le calcul de base est établi à partir de l'équation de l'énergie. Les pertes d'énergie sont évaluées par frottement (Equation de Manning) et par convergence et divergence des écoulements. L'équation des moments est utilisée dans les situations où le profil de la ligne d'eau varie brusquement. Ces situations incluent les régimes d'écoulement mixte (ressaut hydraulique), les écoulements sous les ponts et les confluences entre plusieurs biefs. Les effets des différentes obstructions comme les ponts, les buses, les seuils ainsi que tous les obstacles présents dans le lit sont considérés dans le calcul.

Enfin, nous ajouterons que ce code de calcul est libre de droit, c'est-à-dire qu'il n'est pas payant. Ainsi, au sein des données informatiques livrées avec cette étude, nous fournissons également le code de calcul HEC-RAS ainsi que toute la modélisation de la Coise et ses affluents. Il sera possible de réutiliser ultérieurement directement ce modèle sans travail supplémentaire.

6.2 Construction du modèle numérique

Un modèle numérique de simulation des écoulements est constitué de 2 éléments fondamentaux :

- ❑ La géométrie de la rivière, représentée par des profils en travers de la vallée et les sections des ouvrages hydrauliques (ponts) ;
- ❑ Les conditions aux limites (débit de crue, contrôle aval...).

La topographie utilisée dans la présente étude a été relevée par le cabinet SINTEGRA en automne 2011.

6.3 Calage des modèles numériques

Le calage du modèle numérique a été réalisé à partir des laisses de crue de la crue de novembre 2008 relevées pour les besoins de l'étude.

Les coefficients de Strickler retenus varient entre 18 et 40 en lit mineur et 10 et 20 en lit majeur.

6.4 Conditions aux limites du modèle numérique

6.4.1 Condition amont

Les débits de crue de la Coise et ses affluents utilisés sont indiqués aux chapitres 4.5 et 4.6.

6.4.2 Condition aval

La condition aval du modèle hydraulique de la Coise aval est le niveau de la Loire à Meylieu pour un débit de crue centennale, soit une cote de 348 m NGF.

Pour les autres secteurs, la condition aval est la hauteur normale d'écoulement suivant la pente naturelle du lit du cours d'eau.

6.5 Simulation de la crue de référence

6.5.1 Description du fonctionnement hydraulique de la Coise et ses affluents

6.5.1.1 Ruisseau de la Platte à Ste Catherine (carte 10)

Sur sa traversée de Ste Catherine, seul le busage sous la route du Sapin (deux conduites Ø 1 000) est insuffisant et génère un débordement sur la voirie. Ce rehaussement de la ligne d'eau inonde les terrains lotis en rive droite ainsi que le sous-sol de l'habitation située en amont du pont.

En aval de l'ouvrage, le champ d'expansion de la crue est vaste. La station d'épuration située en rive droite est hors zone inondable.

Le pont de la RD 63 est suffisant pour contenir la crue centennale sans générer de débordement sur la voirie.

En aval du pont de la RD 63, le cours d'eau est perché en lit majeur gauche. Au-delà d'une crue décennale, l'écoulement déborde dans le lit majeur droit où sont présents une digue et un étang.

L'habitation située en rive gauche du ruisseau de la Platte à sa confluence avec la Coise est inondée quel que soit le temps de retour de la crue considérée.

6.5.1.2 L'Orzon à St-Symphorien-sur-Coise (carte 9)

Dans sa traversée de St-Symphorien-sur-Coise, l'Orzon présente de nombreux busages créant des dysfonctionnements en crue.

A son entrée en zone urbaine, le busage de l'Orzon provoque un débordement en lit majeur gauche et inonde le garage. La présence d'un ouvrage récemment découvert à l'aval du garage peut permettre de limiter les hauteurs d'eau sur la parcelle comparativement à 2008 où l'écoulement a suivi la rue en aval.

A l'aval, l'Orzon est très contraint entre les habitations en rive gauche et la RD 71 en rive droite, provoquant une inondation de la voirie.

La présence de deux busages successifs sous la rue du Docteur Beaujolin et sous la RD 71 crée un débordement sur la RD 71 à partir d'une crue cinquantennale : cet écoulement traverse la voirie pour rejoindre le lit de l'Orzon en aval des busages.

Remarque : en 2008 (crue estimée trentennale sur l'Orzon), le niveau d'eau était monté très haut au droit de ces deux busages mais sans déborder sur la voirie.

A l'aval de son busage sous les usines désaffectées, l'Orzon est à nouveau busé et un débordement se produit sur la voirie.

Plus en aval, les ouvrages présents sur l'Orzon sont suffisamment dimensionnés pour permettre le transit des crues sans débordement. Seul un débordement dans une prairie en lit majeur gauche est à noter à l'aval du pont de la rue de Chazelles.

6.5.1.3 La Coise aux Garennes (carte 8)

En amont du lieu-dit les Garennes, l'écoulement est débordant en lit majeur droit (présence d'un ancien bief). A partir d'une crue trentennale, l'écoulement débordant longe une habitation (ancien moulin) et inonde la voirie à proximité.

En aval, aux Garennes, la vallée de la Coise est encaissée mais les écoulements en crue sont contenus entre le talus en rive gauche et la route en rive droite sans générer de débordement dans les habitations.

6.5.1.4 La Coise à St-Denis-sur-Coise (carte 7)

A St-Denis-sur-Coise, la vallée alluviale de la Coise est large avec la présence de seuils à l'amont et à l'aval de la zone urbaine.

Le cours d'eau dessine plusieurs méandres à l'amont de la zone urbaine où la présence d'un bief au centre de la vallée (en remblai) génère une séparation des éboulements en crue : le lit mineur de la Coise est situé en lit majeur droit et un écoulement secondaire se crée.

Cet écoulement secondaire rejoint l'écoulement principal en crue au niveau de deux habitations situées en zone inondable.

Le pont de la RD 103 crée un entonnement et un exhaussement de la ligne d'eau provoquant un débordement sur la voirie qui inonde le complexe en aval.

La répartition de débit calculée entre le pont et l'écoulement débordant est la suivante :

Crue	Q ₁₀	Q ₃₀	Q ₅₀	Q ₁₀₀
Débit Total (m ³ /s)	132	157	198	230
Écoulement débordant sur la RD 103 (m ³ /s)	18	35	68	93
Débit transitant sous le pont (m ³ /s)	116	124	134	140

Tableau 6-1 : Répartition de débit à St-Denis-sur-Coise

En aval du pont, le complexe sportif est inondé de part l'écoulement débordant en lit majeur droit qui traverse le complexe avant de rejoindre l'écoulement principal mais également depuis l'écoulement principal en lit mineur (présence d'un mur et d'une digue).

Le Ramarey, affluent rive gauche de la Coise, déborde en lit majeur gauche (inondation de terrains uniquement) puis l'écoulement rejoint le lit mineur et transite sous le pont de la RD 103.

6.5.1.5 La Coise au Moulin Brûlé (carte 6)

Au Moulin Brûlé, la Coise forme un méandre avec une vallée alluviale très encaissée.

Le camping et la voirie d'accès sont inondés à partir d'une crue décennale.

Pour une crue centennale, c'est l'ensemble du 1^{er} niveau du camping qui est inondé ainsi que les habitations en rive droite ; la voirie d'accès au hameau est quant à elle inondée par plus d'un mètre d'eau.

6.5.1.6 La Coise aval (cartes 1, 2 et 5)

En amont de St Galmier, les emplacements du camping sont situés hors zone inondable. Seul l'étage inférieur est inondé d'où sont absentes les installations du camping.

En amont du Pont des Romains, inondation des terrains de la 1^{ère} rangée d'habitations ; l'écoulement transite sous le pont sans mise en charge ni débordement sur la voirie.

En amont du Pont Gavet, présence d'un lotissement en lit majeur droit (présence d'un mur de protection contre les crues) où des habitations sont inondées au-delà d'une crue décennale. La rue du Pont Gavet est inondée, servant de passage pour les écoulements en lit majeur droit.

En aval du Pont Gavet, inondation des bâtiments de l'usine Badoit en lit majeur gauche. Le pont situé au niveau de l'usine Badoit est inondé à partir d'une crue trentennale, créant des débordements en lit majeur droit (inondation de l'entrée du kiosque Badoit) et en lit majeur gauche.

Ces écoulements débordants empruntent les 2 arches situées aux extrémités du pont de la RD 12. En aval, inondation d'un parking de stockage Badoit en rive gauche et de la voirie en rive droite (avenue de la Coise) où l'écoulement vient border les terrains de tennis.

En aval, inondation en lit majeur gauche des terrains de l'Hôtel la Charpinière. Cet hôtel est majoritairement en remblai excepté les parkings sur son aile Nord-Ouest, déjà inondés en 2008. En lit majeur droit, inondation de la voirie à partir d'une crue cinquantennale.

En aval de St Galmier, les terrains inondés sont des bois et des zones cultivées. En amont du pont SNCF, à noter la présence d'une habitation en lit majeur gauche en limite de zone inondable.

A Cuzieu, au lieu-dit les Marchands, présence d'un écoulement débordant sur la voirie en lit majeur droit à partir d'une crue trentennale qui inonde des bâtiments agricoles ainsi qu'une habitation.

En aval du pont de la RD 16, inondation de terrains lotis en lit majeur gauche.

En aval de Cuzieu, le pont de la RD 1082 génère un exhaussement important en crue qui inonde une habitation et la minoterie en lit majeur gauche.

6.5.1.7 Le Gourny à Lapra (carte 4)

Dans sa traversée de Lapra, le Gourny est perché par rapport aux terrains en rive droite et en rive gauche.

Un débordement en lit majeur droit se crée en amont du bourg où l'écoulement débordant inonde un pré ainsi que des habitations puis traverse la route et inonde le musée et le lotissement situé en point bas.

Les hauteurs d'eau ont été estimées faibles (inférieures à 0.5 m d'eau) mais compte tenu de la pente des terrains et de l'urbanisation du site, des hauteurs d'eau plus importantes peuvent être observées localement.

Comparativement à la crue 2008, les hauteurs d'eau en crue centennale devraient être plus faibles compte tenu de la suppression de remblais en aval du parking du musée et en aval du lotissement ainsi qu'avec l'amélioration du busage du bief sous l'entrée du lotissement (deux conduites Ø 400 mm).

La répartition de débit calculée entre le pont et l'écoulement débordant est la suivante :

Crue	Q10	Q30	Q50	Q100 (crue 2008)
Débit total (m ³ /s)	5.2	5.7	6.6	7.6
Débit lit mineur (m ³ /s)	3.5	3.6	3.9	4.3
Écoulement débordant (m ³ /s)	1.7	2.1	2.7	3.3

Tableau 6-2 : Répartition de débits à Lapra

Cet écoulement débordant limite ainsi le débit dans le lit mineur en amont du pont de la RD 10 qui ne déborde pas quelque soit le temps de retour de la crue considérée.

L'écoulement débordant en lit majeur droit emprunte en aval du lotissement le fossé le long de la RD 200 où il rejoint le lit mineur. En aval, le busage du ruisseau sous la RD 200 provoque un débordement qui inonde une prairie en lit majeur gauche.

6.5.1.8 Le Petit-Volvon à Veauce (carte 3)

En amont de Veauce, les ouvrages sur le Petit-Volvon sont sous-dimensionnés et provoquent des débordements à partir d'une crue décennale sur la voirie (rue du lavoir) ainsi que sur la voie SNCF.

Pour une crue centennale (crue proche de l'événement 2008 dans Veauce), la voie SCNF est inondée sur sa traversée du centre-ville. Au niveau du pont de la RD 12, un écoulement débordant se crée sur la voirie jusqu'au rond point inondant les habitations en aval.

A noter la présence d'une habitation située en point bas où des hauteurs d'eau de plus d'un mètre ont été relevées en 2008. Cette habitation a été inondée par l'écoulement depuis la RD 12 mais également par un puisard.

En aval du pont de la RD 12, inondation d'un parking où un mur est tombé en 2008. En aval, inondation du lit majeur droit composé d'une habitation et de jardins où une hauteur d'eau de 70 cm a été relevée localement en 2008.

Le pont de la rue de la Sonde est suffisamment dimensionné pour permettre le passage de la crue centennale sans mise en charge ni débordement. En aval du pont, les habitations sont situées légèrement en remblai et hors zone inondable.

Au niveau du pont de la rue Jean Giono, inondation de la parcelle de la station d'épuration (poste de refoulement) et de la voirie à partir d'une crue décennale.

6.5.1.9 Le Volvon (cartes 2 et 3)

Sur son parcours à l'aval de St Bonnet-les-Oules, les zones inondées par le Volvon sont les suivantes :

- En aval du poste EDF, présence d'un bief en lit majeur gauche où l'écoulement déborde. Ce bief traverse la RD 10 pour rejoindre le lieu dit « Pied de Vache ». En crue, inondation de la RD 10 et présence d'écoulement diffus au lieu-dit « Pied de Vache » favorisé par la présence de ce bief.
- Au niveau de son passage sous la RD 10, le niveau de la voirie est situé sous le niveau supérieur de l'ouvrage, entraînant ainsi un débordement sur la RD 10. A noter la présence d'un fossé en bord de route pouvant soulager ce débordement en lit majeur droit.

Lors de sa traversée de Veauche, le Volvon ne crée pas de débordement, les ouvrages étant suffisamment dimensionnés.

En aval de sa confluence avec le Petit Volvon, le Volvon déborde sur la voirie (rue de Jourcey) à partir d'une crue cinquantennale. En aval, la présence d'ouvrage sous la voie SNCF permet l'inondation des terrains en lit majeur gauche (Chapelle). Cet écoulement en lit majeur gauche suit alors le remblai SNCF qu'il traverse plus en aval.

Les deux ouvrages situés sous la voie SNCF et la RD 101 sont suffisamment dimensionnés pour ne pas provoquer de débordement sur la voirie. En aval, inondation de zones agricoles jusqu'à la confluence avec la Coise.

6.5.2 Résultats de simulation

Les résultats de simulation sont fournis en Annexes 11 à 13.

Sont représentés :

- ❑ Les tableaux de résultats : Annexe 11
- ❑ Les profils en travers : Annexe 12
- ❑ Les profils en long : Annexe 13

6.6 Cartographie des zones inondables

Les résultats de simulation ont été traduits sous forme cartographique pour représenter le risque inondation.

La simulation hydraulique des crues de la Coise fournit à chaque profil en travers le niveau d'eau atteint par la crue ainsi que le champ de vitesse des écoulements.

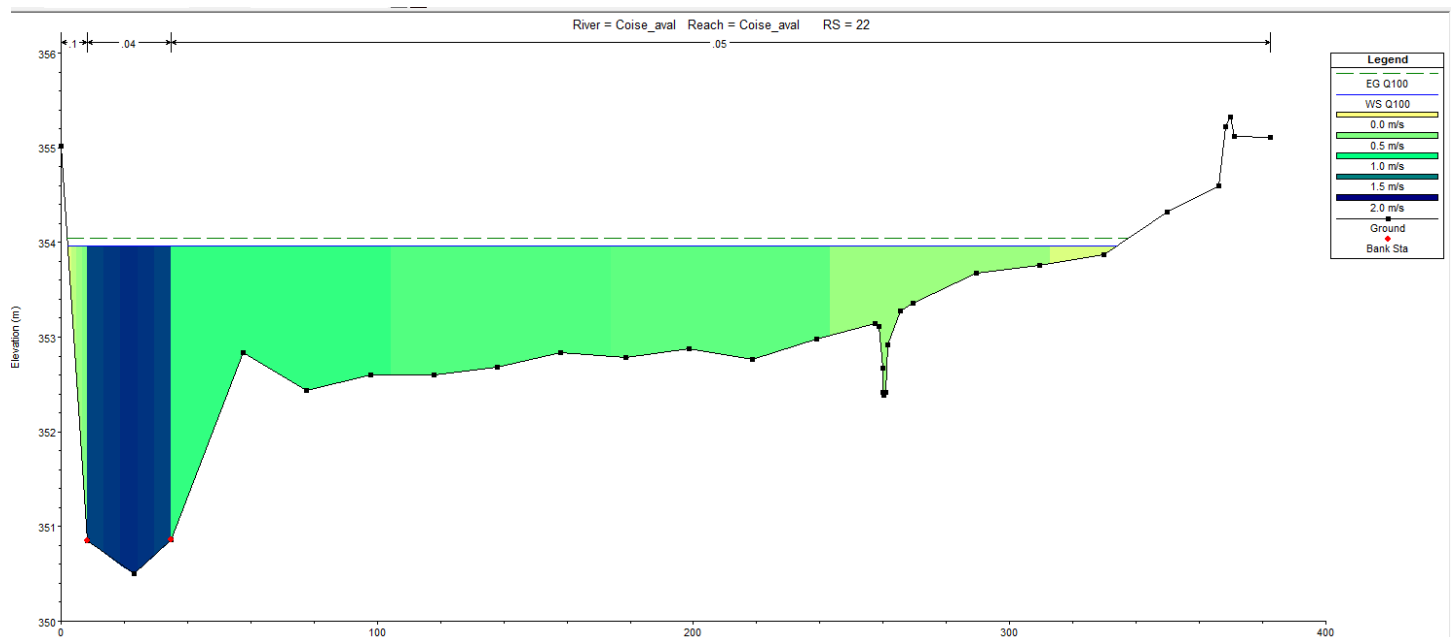


Figure 6-1 : Exemple de champ de vitesse des écoulements

6.6.1 Définition des secteurs

Les différents secteurs ayant fait l'objet d'une modélisation hydraulique sont les suivants :

- Affluents de la Coise :
 - Le ruisseau de la Platte : traversée de Ste Catherine
 - L'Orzon : traversée de St-Symphorien-sur-Coise ;
 - Le Ramarey : traversée de St-Denis-sur-Coise ;
 - Le Gourny : traversée de Lapra ;
 - Le Petit Volvon depuis l'amont de Veauche jusqu'à sa confluence avec le Volvon ;
 - Le Volvon : de la centrale électrique de St Bonnet-les-Oules jusqu'à sa confluence avec la Coise.

- La Coise
 - Secteur des Garennes ;
 - Traversée de St-Denis-sur-Coise ;
 - Traversée du Moulin Brûlé ;
 - Depuis l'amont du camping de St Galmier jusqu'à sa confluence avec la Loire.

6.6.2 Cartes informatives des phénomènes naturels

Cette cartographie a pour vocation d'informer et de sensibiliser les élus et les riverains.

Il s'agit de cartes descriptives des phénomènes observés ou historiques.

Pour le bassin versant de la Coise où n'a pas été recensée une crue historique supérieure à un événement centennal, cette cartographie reportera les limites des zones inondées par les différentes crues statistiques :

- Q_{10} : crue décennale, en bleu ;
- Q_{30} : crue trentennale, en jaune ;
- Q_{50} : crue cinquantiennale, en vert ;
- Q_{100} : crue centennale, en rouge.

Cette cartographie est située en Annexe 14. Elle a été établie sur fond cadastral avec des échelles variant du 1/2 000^e pour les affluents de la Coise au 1/5 000^e sur le linéaire aval de la Coise.

6.6.3 Hauteurs de submersion et vitesses d'écoulement

La cartographie des hauteurs de submersion est obtenue en croisant l'information hydraulique (hauteur d'eau à chaque profil en travers) avec l'information topographique, de manière à reporter en vue en plan le contour des différentes classes de hauteurs de submersion.

De même pour les vitesses d'écoulement, à travers l'examen du champ de vitesse, le profil en travers est décomposé en zones, en fonction des classes de vitesses d'écoulement. Les résultats sont ensuite extrapolés entre chaque profil en travers afin d'obtenir une vue en plan des différentes classes de vitesses d'écoulement.

Les classes retenues sont les suivantes :

- ❑ **Pour les hauteurs de submersion :**
 - ✓ $H < 0,5$ m : hauteur faible
 - ✓ $0,5 \text{ m} < H < 1$ m : hauteur moyenne
 - ✓ $H > 1$ m : hauteur forte

- ❑ **Pour les vitesses d'écoulement :**
 - ✓ $V < 0,2$ m/s : vitesse faible
 - ✓ $0,2 \text{ m/s} < V < 0.5$ m/s : vitesse moyenne
 - ✓ $V > 0.5$ m/s : vitesse forte

Cette cartographie est située en Annexe 15 pour les hauteurs et en Annexe 16 pour les vitesses.

6.6.4 Aléas

La cartographie des aléas de la Coise a été obtenue par croisement des informations hydrauliques de hauteur d'eau et de vitesse d'écoulement selon la grille présentée ci-dessous.

Vitesse \ Hauteur (H)	$0 < V < 0.2$ m/s Faible (stockage)	$0.2 \text{ m/s} < V < 0.5$ m/s Moyenne (écoulement)	$V > 0.5$ m/s Forte (<i>grand écoulement</i>)
$H < 0.50$ m	Faible	Moyen	Fort
$0.5 < H < 1$ m	Moyen	Moyen	Fort
$H > 1$ m	Fort	Fort	Fort

Figure 6-2 : Grille des aléas

Cette cartographie est située en Annexe 17.