



**Inventaire des ouvrages hydrauliques transversaux sur la commune  
de La Brûlatte (Mayenne, France)**

***Approche des enjeux inondations***

**Etudiant :** Thomy Arnaud

**Maître d'apprentissage :** Boileau Nicolas

**Tuteur pédagogique :** Poizat Julien

**Universitaire :** Navratil Oldrich



Mairie de La Brûlatte

**Promotion 2018/2019**

## Sommaire

1. Introduction :	5
2. Contexte	6
2.1. Le département de La Mayenne	6
2.2. Le syndicat mixte du JAVO :	7
2.2.1. Présentation générale :	7
2.2.2. Les missions du syndicat :	8
2.2.3. Fonctionnement général :	9
2.2.4. Le Vicoin :	9
2.3. La commune de La Brûlatte :	12
2.3.1. Contexte général de la commune :	12
2.3.2. Géologie :	14
2.3.3. La crue du 9 juin 2018 :	14
2.3.4. Témoignage de Christian Raimbault, vice-président du JAVO, élu et agriculteur sur la commune de La Brûlatte :	16
3. Démarche :	18
3.1. Protocole :	19
3.2. Définition des ouvrages	19
4. Matériels et méthodes :	20
4.1. Liste du matériel utilisé :	20
4.2. Les données SIG :	20
4.3. Les métadonnées :	21
4.4. Méthode de terrain :	22
4.5. Méthode des calculs hydrauliques :	25
4.5.1. La surface de la zone étudiée :	25
4.5.2. La longueur hydraulique :	25
4.5.3. La pente de la zone étudiée :	25
4.5.4. Le temps de concentration :	25
4.5.5. La lame précipitée :	26
4.5.6. Intensité de la pluie :	27
4.5.7. Le coefficient de ruissellement :	28
4.5.8. Méthode rationnelle :	28
4.5.9. Loi de Myer :	29
4.5.10. Crupédix :	29
4.5.11. Manning Strickler :	29
5. Résultats :	30

5.1. Présentation des bassins versants : .....	31
5.2. Recensement Général : .....	32
5.3. Ouvrages hydrauliques : .....	32
5.4. Les buses : .....	34
5.5. Plans d'eau : .....	35
5.6. Résultats des calculs hydrauliques : .....	36
5.7. Evaluation des enjeux sur chaque bassin versant .....	38
6. Analyse des résultats : .....	39
7. Limites et incertitudes : .....	40
8. Perspectives/discussion : .....	44
8.1. Suite du témoignage de Christian Raimbault, vice-président du JAVO, élu et agriculteur sur la commune de La Brûlatte : .....	46
9. Conclusion : .....	47
10. Remerciements : .....	49

## **Liste des sigles :**

**MAEP** : Milieux Aquatiques et Eaux Pluviales

**DCE** : Directive Cadre sur L'eau

**LEMA** : Loi sur l'Eau et les Milieux Aquatiques

**CTMA** : Contrat Territorial des Milieux Aquatiques

**JAVO** : Jouanne, Agglo, Vicoin, Ovette

**GEMAPI** : Gestion de l'Eau et des Milieux Aquatiques et Prévention des Inondations

**AFB** : Agence Française pour le Biodiversité

**EPCI** : Etablissement Public de Coopération Intercommunale

**DDT** : Direction Départementale du Territoire

**SIG** : Système d'Information Géographique

**DDAF** : Direction Départementale de l'Agriculture et des Forêts

**AVP** : Avant-Projet

## 1. Introduction :

Un bassin versant est souvent caractérisé par son hydrologie, sa géologie, sa pluviométrie et son occupation du sol. Selon les régions, ces paramètres peuvent être complètement différents. Malgré cela, l'atteinte du bon état qualitatif et quantitatif des masses d'eau est obligatoire selon la **Directive Cadre sur l'Eau (DCE)** de 2000. Cette directive a été transposée en droit français par la **Loi sur l'Eau et les Milieux Aquatiques (LEMA)** en 2006. Depuis 15 à 20 ans, certains syndicats de bassin en France ont réalisé des programmations de travaux ambitieux concernant la continuité écologique et le transit sédimentaire. Le syndicat de bassin du Vicoin en Mayenne a signé en 2014 un **Contrat Territorial des Milieux Aquatiques (CTMA)**, pour la période 2014-2019. Depuis le 1<sup>er</sup> janvier 2019, le syndicat de bassin du Vicoin a été restructuré et est devenu le syndicat mixte du **JAVO** rassemblant ainsi les bassins de la **Jouanne**, de l'**Agglo Laval**, du **Vicoin** et de l'**Ouette**).

Le nouveau syndicat doit respecter de nouvelles règles ; notamment avec la mise en place d'une nouvelle compétence : la **Gestion des Milieux Aquatiques et Prévention des Inondations (GEMAPI)** depuis le 1<sup>er</sup> janvier 2019. Cette nouvelle compétence consiste à gérer des cours d'eau et zones humides, mais aussi à mettre en œuvre une politique de prévention des inondations.

Ces dernières années le bassin versant du Vicoin s'est essentiellement concentré sur les exigences de la **DCE**. La continuité écologique sur cette rivière et ses principaux affluents, classés en liste 2 au titre de l'application de l'article L217-14 du Code de l'environnement, a été restaurée sur presque la totalité du linéaire soumis à la réglementation. Néanmoins, la qualité de l'eau sur le Vicoin reste globalement moyenne, et les risques identifiés de non-atteinte des objectifs à l'échéance 2021, sont aujourd'hui l'hydrologie et les pesticides.

C'est donc pour cette raison que l'ancien bureau du Vicoin a répondu à l'appel à projet lancé par le Ministère de la transition écologique et solidaire, coordonné par l'**Agence Française pour la Biodiversité (AFB)** en 2018. Cet appel à projet consiste à évaluer l'effet cumulé des plans d'eau à l'échelle d'un bassin versant. Le bassin versant du Vicoin possède la plus grande densité de plans d'eau au km<sup>2</sup> de la région des Pays de la Loire, il a donc été retenu parmi huit projets nationaux. La lutte contre le réchauffement climatique est également prise en compte par les collectivités qui ont conscience de l'aggravation des risques d'inondations avec les grands épisodes de crues qui ont touchés la région (Pays de la Loire) et les régions voisines. Le réchauffement climatique n'est pas à l'origine des crues, mais il favorise des pluies intenses sur de courtes durées, ce qui engendre des inondations importantes sur certains secteurs. Parallèlement, on observe une urbanisation qui ne cesse de s'accroître et un modèle agricole de polyculture élevage et d'élevage laitier qui entraîne la conversion grandissante de prairies en cultures.

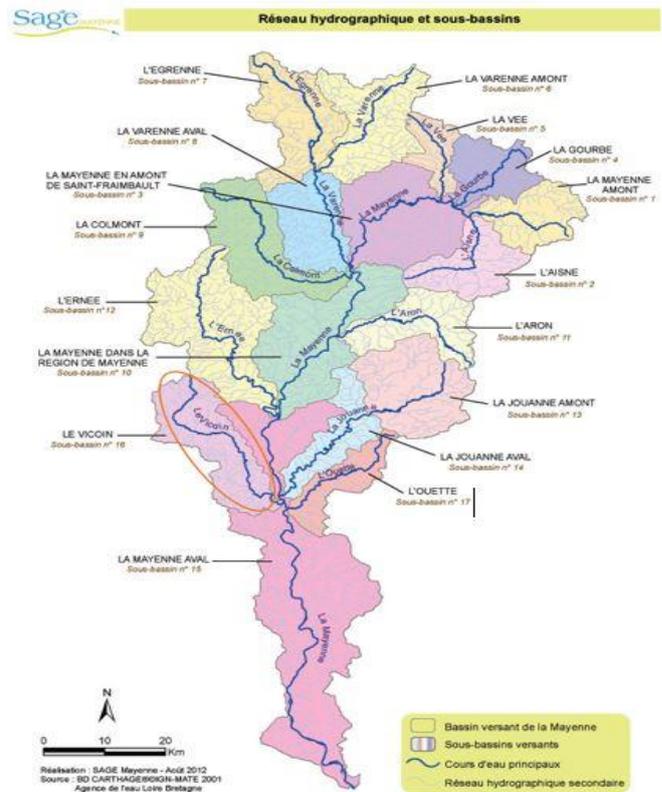
Le bassin versant du Vicoin a connu une inondation violente le 9 juin 2018, et plus particulièrement sur les communes de Loiron, La Brûlatte et Le Genest Saint Isle. Ces communes ont subi une pluviométrie exceptionnelle, qui est à l'origine de nombreux dégâts notamment des écoles et des lotissements. Ces inondations ont provoqué la colère et l'inquiétude chez les riverains, mais aussi chez les élus et maires des communes. Pendant cet épisode, le syndicat mixte du **JAVO** joue un rôle de conseil technique auprès des élus et de soutien auprès des riverains impactés. Après ce passage traumatisant, les communes ont engagé des travaux pour « reconstruire le village ». La commune du Genest Saint Isle a engagé une

étude d'inondabilité pour ensuite réaliser des travaux limitant les inondations. La commune de La Brûlatte, elle, s'est rapprochée du Syndicat pour avoir des données sur les ouvrages et ainsi comprendre la dynamique de la crue du 9 juin 2018. C'est donc pour cette raison que le syndicat mixte du **JAVO** m'a missionné pour réaliser un atlas des ouvrages hydrauliques transversaux en lit mineur présent sur les ruisseaux de la commune. Cette phase avant-projet permettra d'avoir un état des lieux globalisés de la commune.

## 2. Contexte



**Figure 1 : Le département de la Mayenne**



**Figure 2 : Le Vicoin en Mayenne**

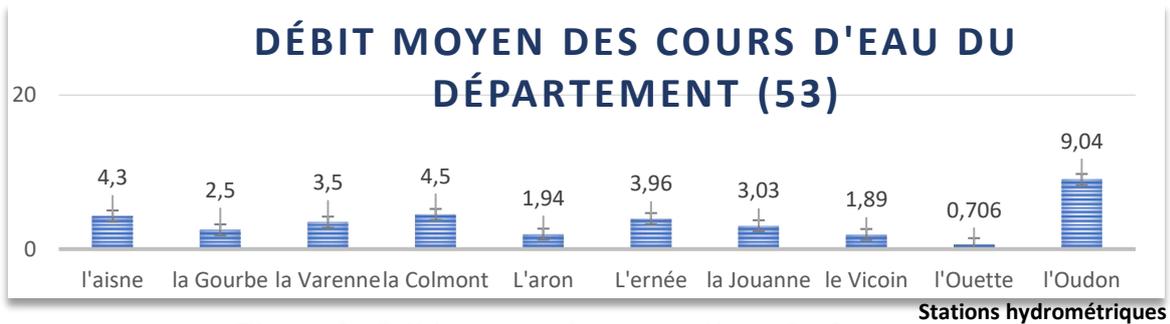
### 2.1. Le département de La Mayenne

Le département a une superficie de 5 175,2 km<sup>2</sup>, avec un relief peu marqué. Celui-ci se situe aux confins de la Bretagne, de la Normandie et de l'Anjou. La typologie de la Mayenne est faite de collines et de vallées peu profondes. Le point culminant de la Mayenne (le Mont des Avaloirs) est également celui du Massif Armoricain. Le département est très agricole (80% de surface agricole utile) mais garde une bonne continuité bocagère et des prairies naturelles caractéristiques. Il est presque entièrement compris dans le bassin versant de la Mayenne, grand de plus de 4 000 km<sup>2</sup>, dont le Vicoin est un affluent.

Une rivière est caractérisée par plusieurs indicateurs tels que :

- son relief,
- son hydrologie,
- ou son débit moyen,

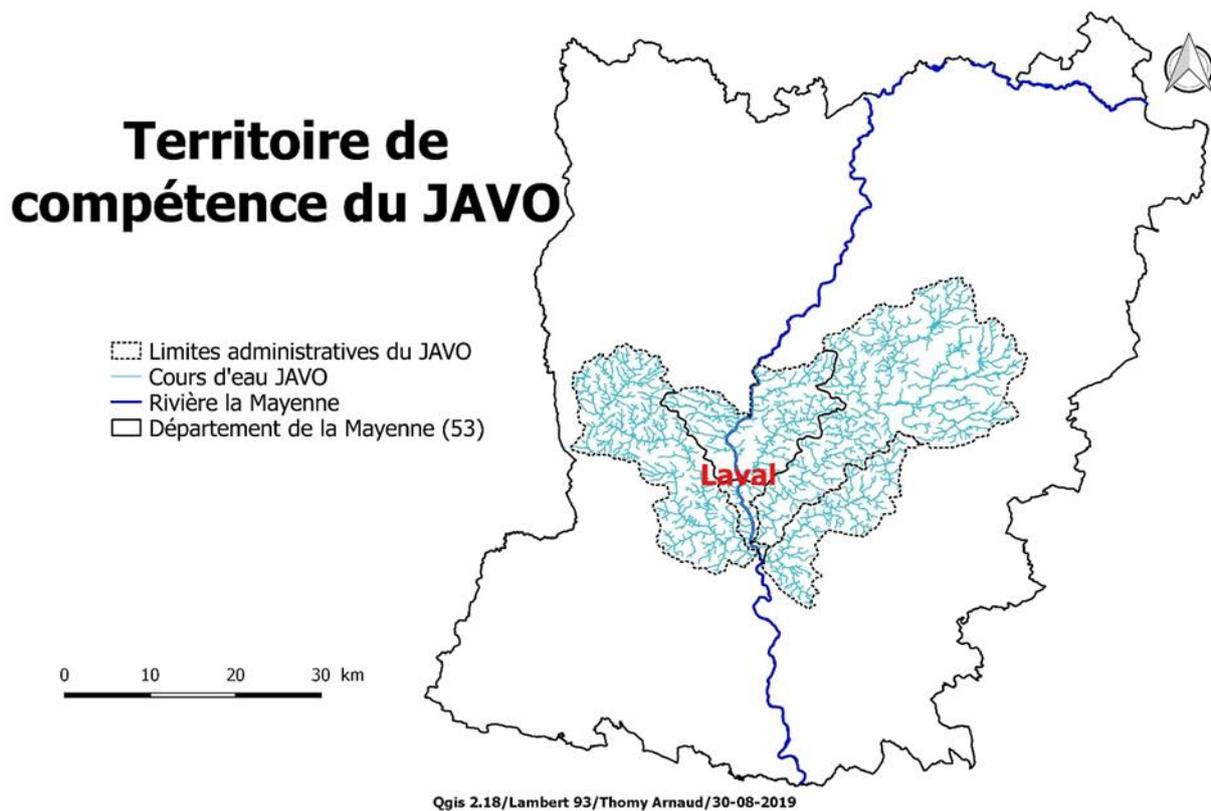
En Mayenne, la superficie des bassins versants et le linéaire de cours d'eau étant particulièrement irréguliers, il est difficile de dégager un débit moyen. Cependant le diagramme ci-dessous montre que la rivière Vicoin et l'Ouette possèdent les deux plus petits modules des cours d'eau du département. La Jouanne se situe dans la moyenne comparée aux autres rivières.



**Figure 3 : Débit moyen des cours d'eau du département**

## 2.2. Le syndicat mixte du JAVO :

### 2.2.1. Présentation générale :

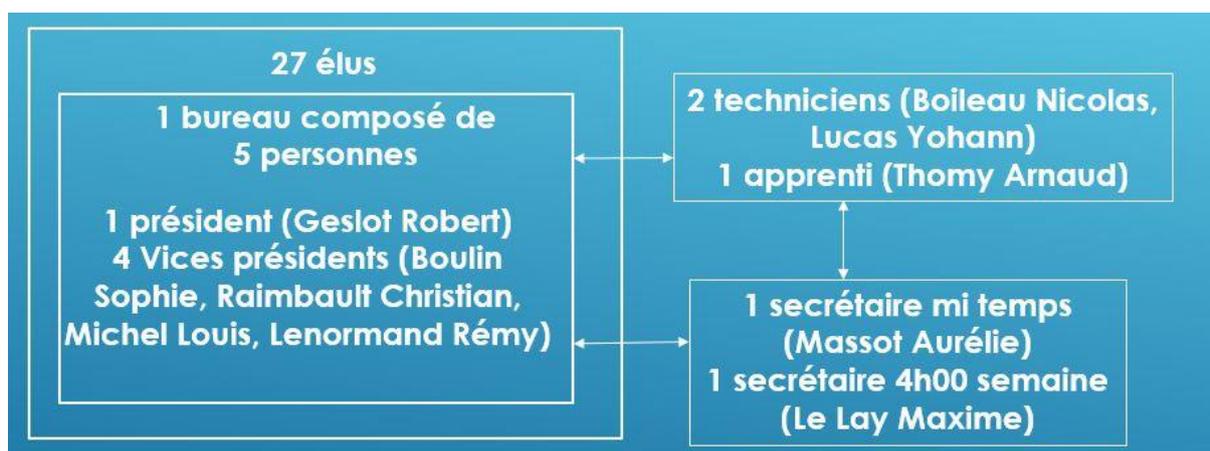


**Figure 4 : Localisation du JAVO**

Le syndicat mixte du **JAVO** se situe dans la partie centrale du département dont le chef-lieu est la ville de Laval.

<b>Le JAVO :</b>	
Superficie (Km <sup>2</sup> )	900
Linéaire de cours d'eau (Km)	1000
Nombre d'EPCI	3
Nombre de communes	66
Nombre d'habitants	144 000
Nombre d'élus	27

**Tableau 1 : Fiche d'identité du JAVO**



**Figure 5 : Organigramme du JAVO**

Le syndicat mixte du **JAVO** est composé de 27 élus dont un bureau de 5 personnes (1 président et 4 vices présidents). Les élus (décideurs) travaillent en collaboration avec un service technique et administratif qui les accompagne dans de multiples projets (études, aménagements, sensibilisation, concertation, etc...).

#### 2.2.2. Les missions du syndicat :

Le syndicat mixte du **JAVO** est une structure **GEMAPI**. Cette compétence a été transférée par les **Etablissements Publics de Coopération Intercommunale (EPCI)** ; Laval agglomération, Les Coëvrons et le Pays de Meslay-Grez) présents sur le territoire. Le syndicat possède les compétences pour les items obligatoires qui sont les suivants :

- 1 : L'aménagement d'un bassin ou d'une fraction de bassin hydrographique,
- 2 : L'entretien et l'aménagement d'un cours d'eau, canal, lac ou plan d'eau, y compris les accès à ce cours d'eau, à ce canal, à ce lac ou à ce plan d'eau,
- 5 : La défense contre les inondations et la mer,
- 8 : La protection et la restauration des sites, des écosystèmes aquatiques et des zones humides ainsi que des formations boisées riveraines.

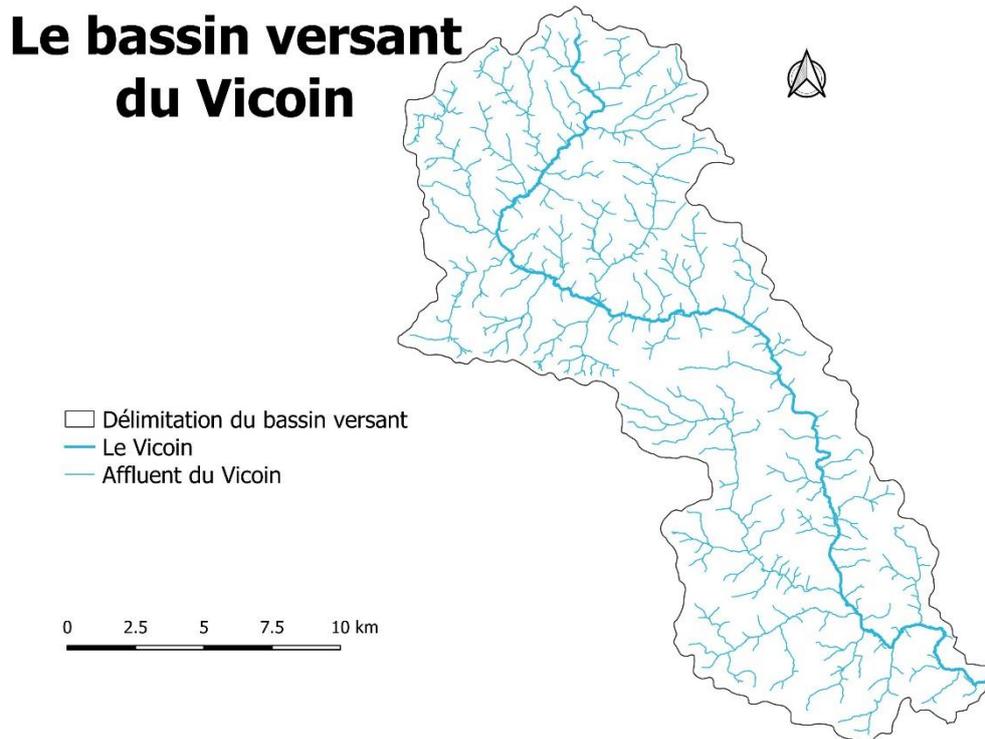
Les missions qui me sont confiées dans le cadre de l'inventaire et de l'identification des enjeux se réfèrent notamment à l'item n°5 (défense contre les inondations et la mer).

### 2.2.3. Fonctionnement général :

Le syndicat du **JAVO** provoque 5 réunions de bureau et 5 comités syndicaux par an. Il est financé par la contribution des **EPCI** à fiscalité propre, le département, la région des Pays de la Loire et l'Agence de l'eau Loire-Bretagne. Le syndicat travaille avec des services de l'état comme la **Direction Départementale du Territoire (DDT)** et l'**AFB**. Il a également des partenaires techniques comme les associations de protection de la nature, la Fédération de Pêche du 53 ou encore l'**ONCFS (Office National de la Chasse et de la Faune Sauvage)**.

### 2.2.4. Le Vicoin :

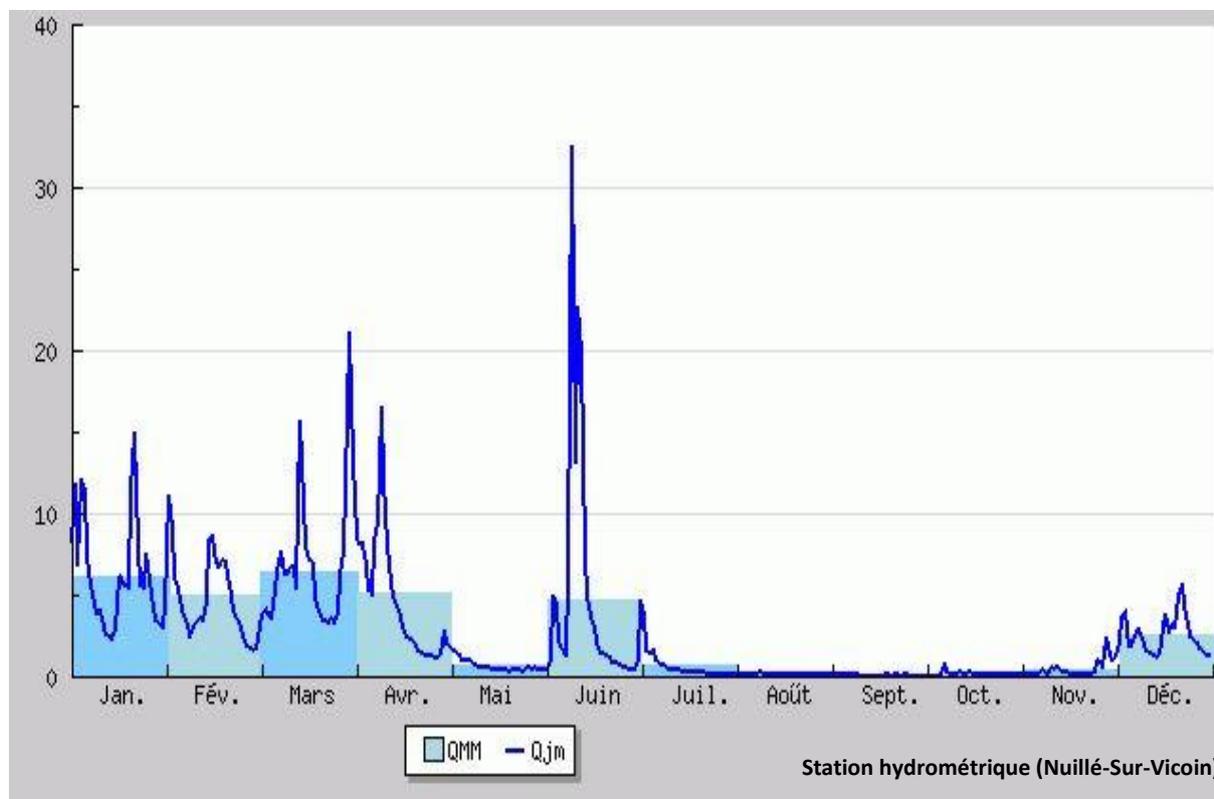
Avec 29 affluents principaux, le Vicoin est une rivière qui s'étend sur 56 km. En prenant sa source sur la commune de Bourgneuf-la-Forêt, il se déverse dans la Mayenne à Origné. S'étendant sur 250km<sup>2</sup>, le bassin versant du Vicoin est l'un des plus petits à l'échelle du département de la Mayenne.



Qgis 3.4/Lambrt 93/Thomy Arnaud/26-08-2019

**Figure 6 : Hydrologie du bassin versant du Vicoin**

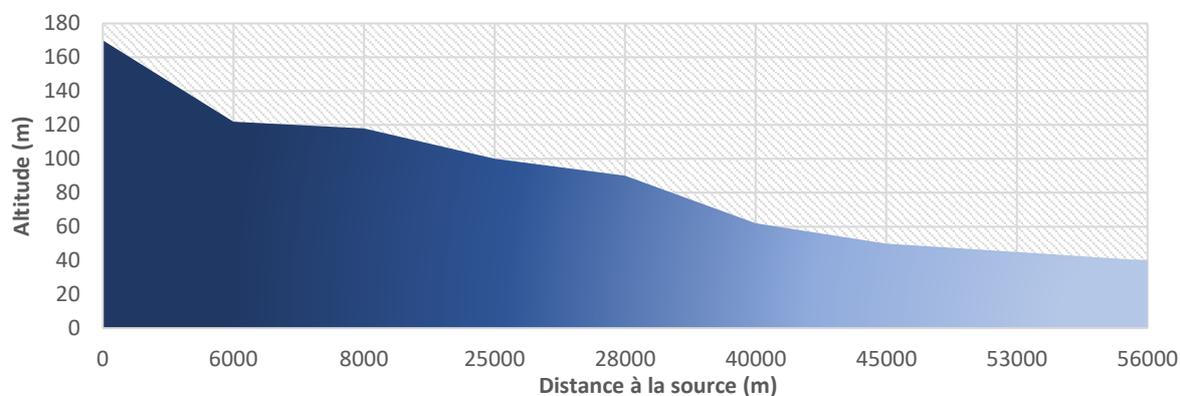
Le Vicoin est caractérisé par des débits d'été relativement faibles et des variations d'eau rapides en hiver, il y a une forte amplitude. Les crues y sont fréquentes ce qui induit quelques fois des problèmes d'inondations. Le graphique ci-dessous montre les débits moyens mensuels de l'année 2018, la grande variation du mois de juin représente la crue du 9 juin 2018.



**Figure 7 : Débit moyen annuel du Vicoin**

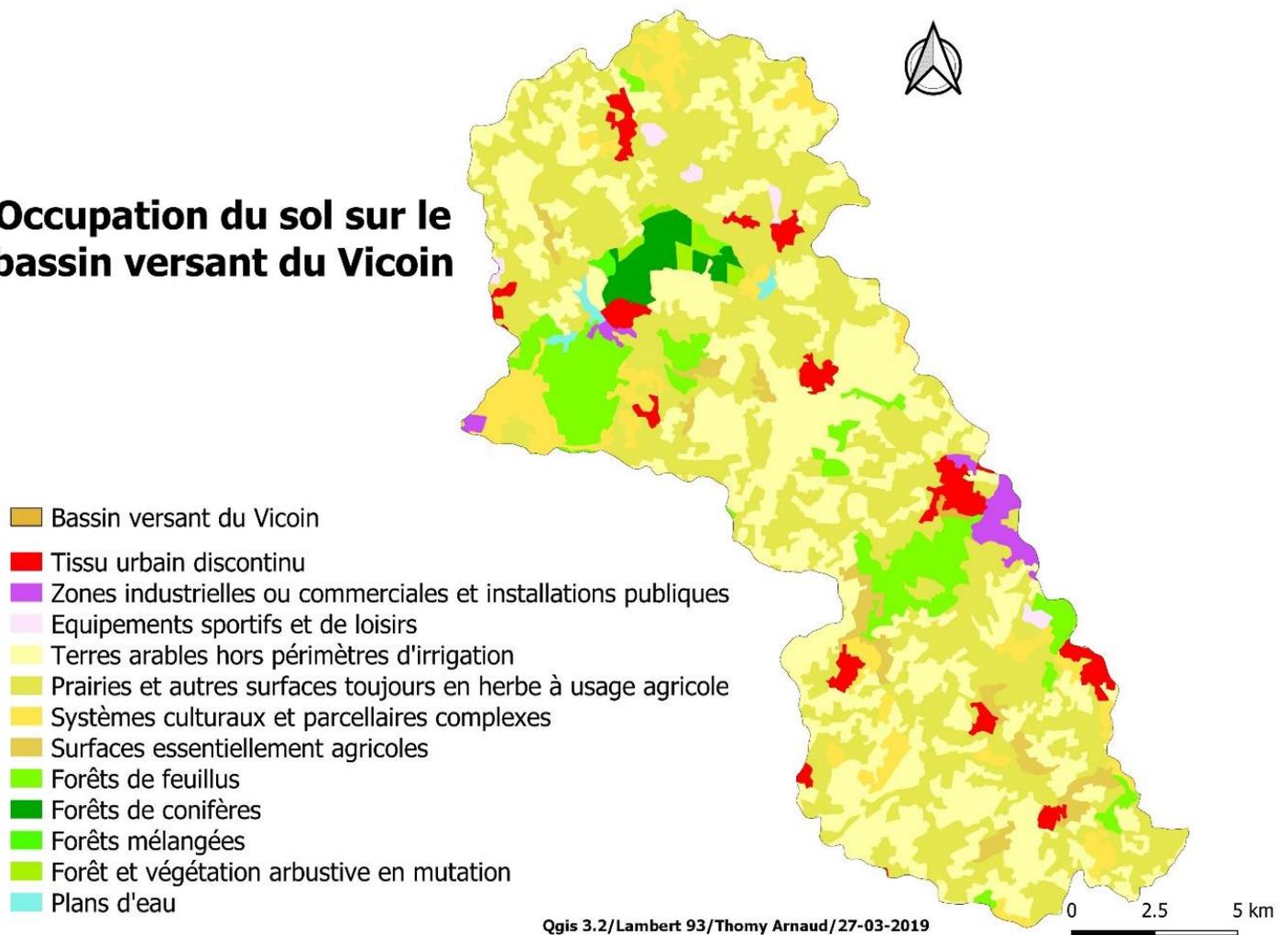
Le Vicoin est une rivière de plaine qui présente une pente significative (0,5 %) dans sa partie amont. Sa vallée est très encaissée à Saint-Berthevin sur le site de Coupeau (30 m de large) et s'élargit en aval, sur les communes de Montigné Le Brillant et de Nuillé sur Vicoïn.

#### PROFIL EN LONG DU VICOIN



**Figure 8 : Profil en long du Vicoin**

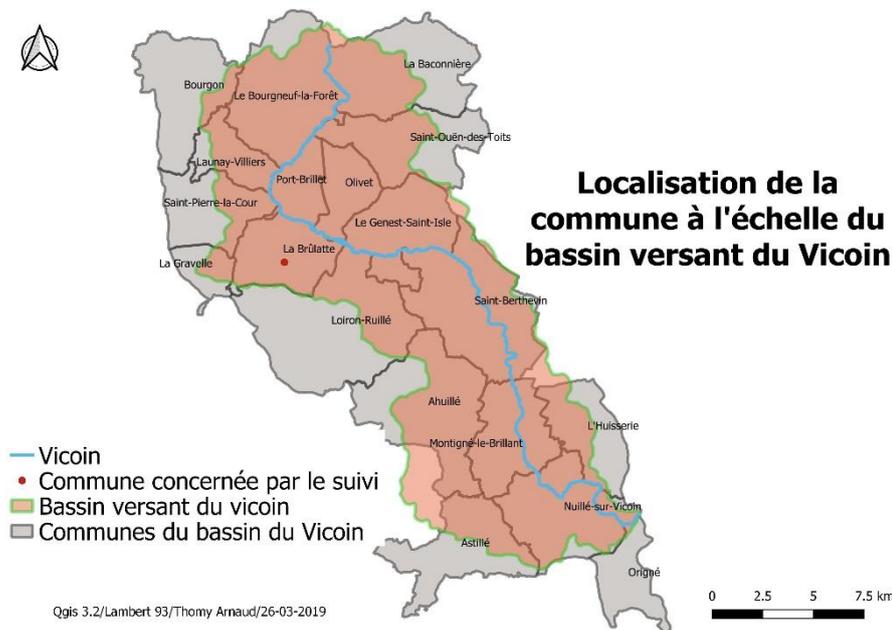
## Occupation du sol sur le bassin versant du Vicoin



**Figure 9 : Occupation du sol sur le territoire du Vicoin**

Cette carte présente l'occupation des sols vus par la typologie Corine Land Cover de niveau 2 sur le bassin versant du Vicoin. L'occupation du sol est essentiellement agricole (90% par rapport à la surface totale), et la composition de ces surfaces agricoles est en grande partie prairiale (fauche et pâture) et en culture (blé, maïs, orge, etc...). Les tissus urbains sont discontinus et minoritaires. Les haies ne sont pas représentées dans la typologie Corine Land Cover de niveau 2, cependant, de nombreuses connexions (écotones) jouent un rôle important pour la biodiversité ainsi que sur l'hydrologie et le ruissellement. Trois grandes étendues forestières sont présentes sur la commune de La Brûlatte : Port-Brillet, Ahuillé et Saint Berthevin.

### 2.3. La commune de La Brûlatte :



**Figure 10 : Localisation de l'étude**

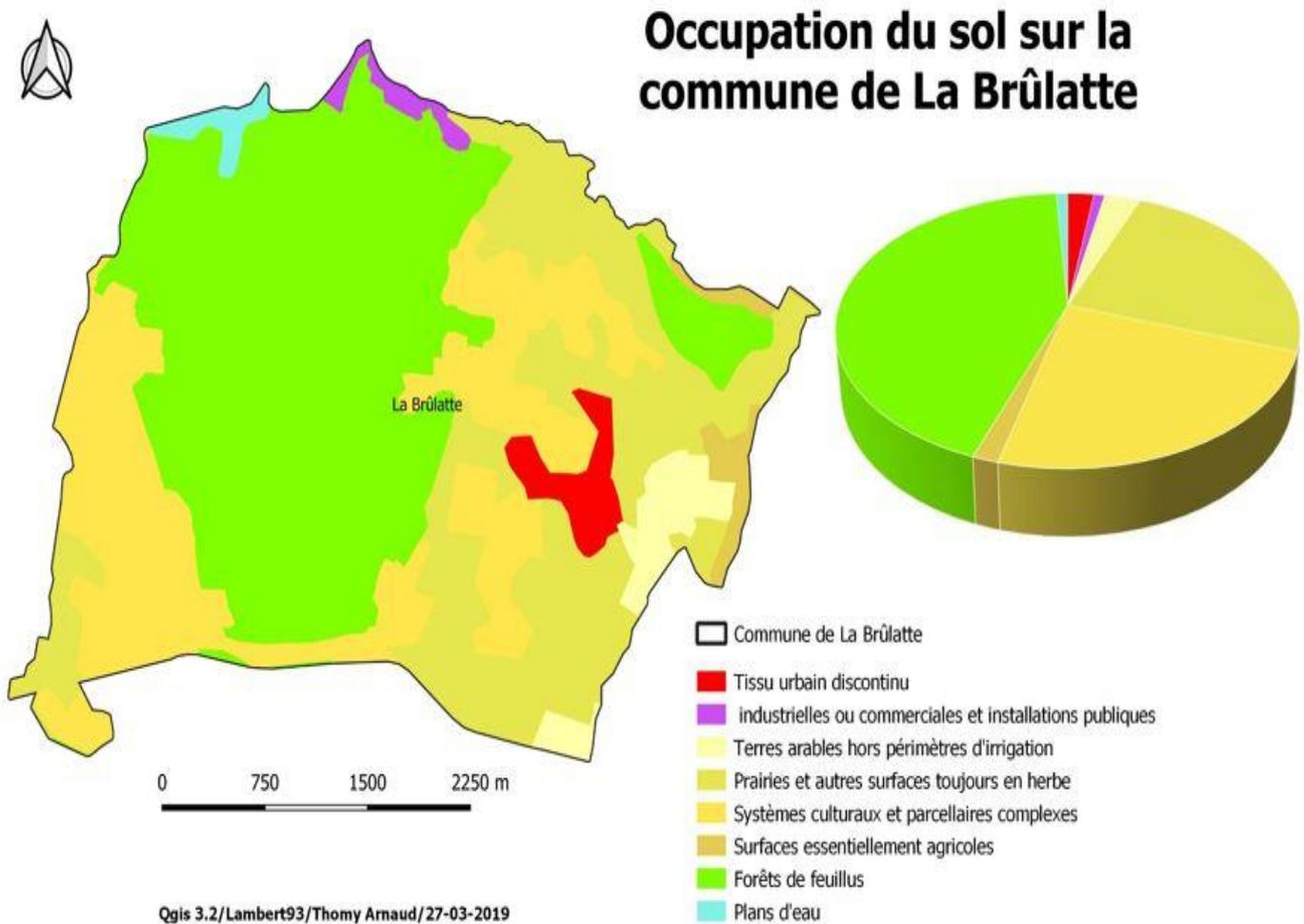
La commune de La Brûlatte est la zone étudiée. Elle se situe dans la partie amont du bassin versant, où la rivière « Le Vicoin » traverse plusieurs communes dont La Brûlatte, Olivet et Port Brillet. La commune concernée par le suivi possède en grande partie des affluents du Vicoin même, ce qui représente 33km de cours d'eau.

#### 2.3.1. Contexte général de la commune :

Avec une population de 701 habitants, La Brûlatte est l'une des plus petites communes à l'échelle du bassin versant du Vicoin. Il y a 46 habitants au km<sup>2</sup> pour une moyenne de 100 habitant/km<sup>2</sup> pour le bassin versant du Vicoin.



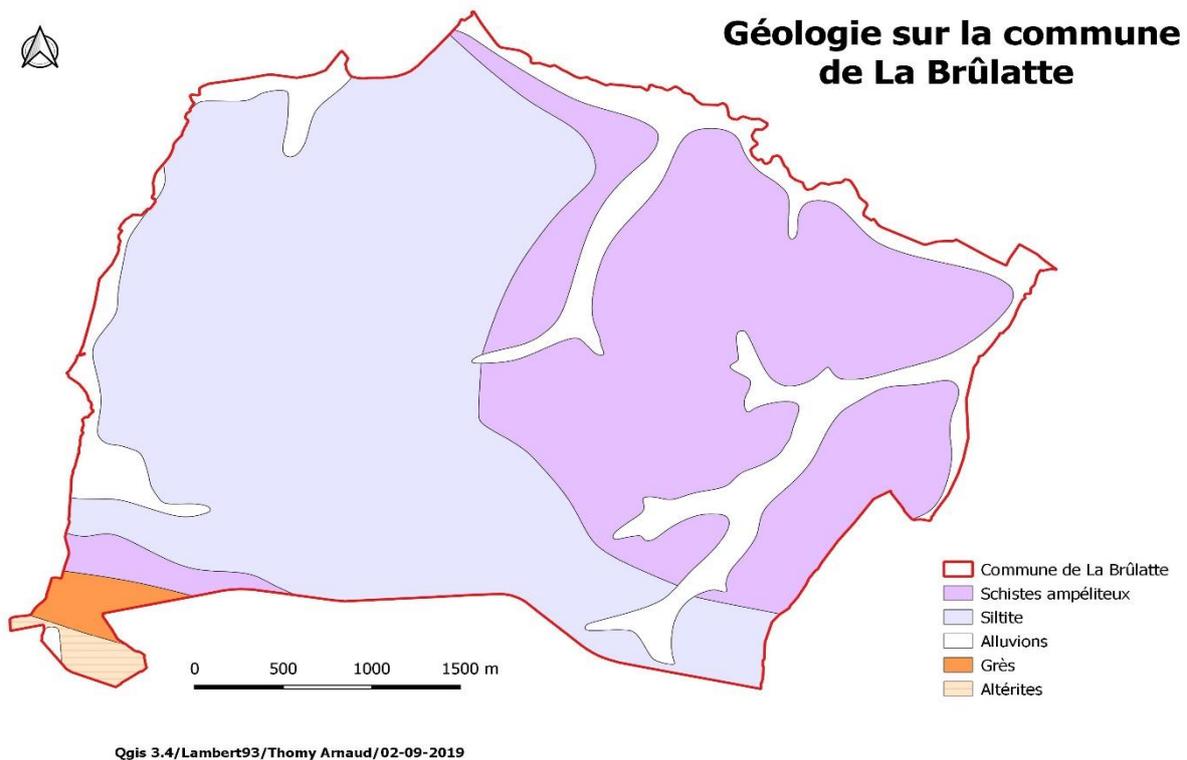
**Figure 11 : Démographie de la zone d'étude**



**Figure 12 : Occupation du sol de la zone d'étude**

La commune de La Brûlatte est essentiellement agricole avec beaucoup de prairies et autres surfaces toujours enherbées. 40% de la surface est représentée par le bois « des Gravelles ». Le tissu urbain représente une minorité de la surface à l'échelle de la commune (2%), cependant de nombreuses habitations (fermes agricoles) sont dispersées en zone rurale, en dehors du bourg, une caractéristique typique de l'Ouest de la France. La commune est traversée d'ouest en est par l'autoroute A81.

### 2.3.2. Géologie :



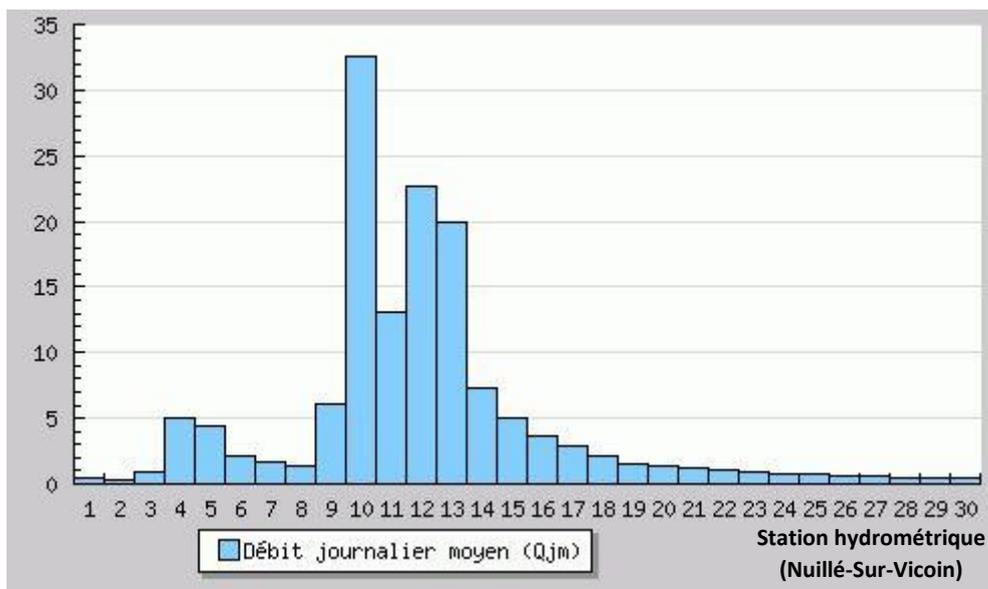
**Figure 13 : Géologie de la zone d'étude**

La commune de La Brûlatte repose intégralement sur des terrains de socle métamorphisés datant de l'air briovérien. Les terrains sont formés par des schistes et du grès-grauwackes au faciès plus ou moins altérés. Ces formations sont recouvertes localement par des limons des plateaux.

L'hydrogéologie des terrains est caractérisée par la présence d'aquifères de socle localisés soit dans le niveau d'altérations des roches (arène) soit dans l'horizon fissuré/fracturé du socle.

### 2.3.3. La crue du 9 juin 2018 :

L'histogramme ci-dessous démontre bien le pic de crue sur la rivière le Vicoin le 10 juin 2018, mesuré à la station hydrométrique de Nuillé sur Vicoin, qui se situe en aval du bassin versant. Le Vicoin, à Nuillé, a connu deux pics de crue. Un premier lié à l'orage et le second (le plus violent) lié au déstockage des étangs et prairies en amont du bassin versant.



**Figure 14 : Débit du mois de juin 2018**

Sur la commune de La Brûlatte, le pic de crue a été presque immédiat. Cela s’explique par un épisode pluvieux très violent approchant les 180mm en 2h00 (source : **Hydroconcept**). Cet évènement a été extrêmement perturbant et rapide, la population n’a pas pu réagir. Cette crue était proche d’un pic torrentiel, comme on peut en observer en contexte montagnard ou sur des reliefs importants. De plus, les sols très sec du fait du contexte estival, ont accéléré le ruissellement et donc réduit le temps de concentration. La capacité de rétention des sols était limitée voire nulle, ce qui a favorisé la vitesse de l’eau et la lame d’eau précipitée. De plus, de nombreux ouvrages étaient sous-dimensionnés pour pouvoir accepter un débit aussi important, ce qui a généré des zones de rétention très importantes. Pour certains endroits, c’était bénéfique, car cela a permis de retenir une masse d’eau conséquente en amont qui n’a pas amplifié l’onde de crue. Pour d’autres, la zone de rétention se situait dans le bourg, une trentaine d’habitations ont été inondées (source : mairie), soit par le ruissellement, soit par le débordement des cours d’eau.



Mairie de La Brûlatte

2.3.4. Témoignage de Christian Raimbault, vice-président du JAVO, élu et agriculteur sur la commune de La Brûlatte :

*« Le Samedi après-midi du 9 juin 2018, j'ai dit à ma femme que le bassin d'orage se situant en bas de la commune allait déborder. Je suis allé de suite voir les gens qui habitent auprès et je leur ai proposé de ramener des boudins pour boucher les portes. Malheureusement, quand je suis revenu, le bassin d'orage avait débordé et c'était trop tard... Je pense que le bassin d'orage n'était pas bien entretenu car des débris végétaux bouchaient la sortie de la buse. C'est en observant ce fait à la décrue que nous avons conclu que ce bouchon hydraulique avait aggravé le niveau d'eau en amont. »*



*Vue du bassin d'orage pendant l'épisode de crue*

*« Plusieurs questions se posent au sein de la mairie : Que va-t-on faire pour éviter le débordement de ce bassin à l'avenir ? Et je pense, par mon expérience d'agriculteur et d'élu au JAVO, que l'on devrait revoir l'ouvrage en intégralité en prenant compte la surface du bassin versant collecté, le diamètre des buses d'entrée et de sortie et que la commune s'engage à entretenir le bassin correctement ! Qu'est-ce qui va coûter le plus cher ? Enlever toutes les maisons ou faire des aménagements pour limiter les inondations ? ».*

**Comment avez-vous vécu cet évènement en tant qu'élu ?**

*« En tant qu'élu de la commune, je me doutais que ce jour arriverai, mais pas aussi exceptionnel ! La violence de cet épisode m'a bouleversé, deux endroits inondés sur la commune, ça pose question ! ».*

### **Comment avez-vous vécu cet évènement en tant qu'agriculteur ?**

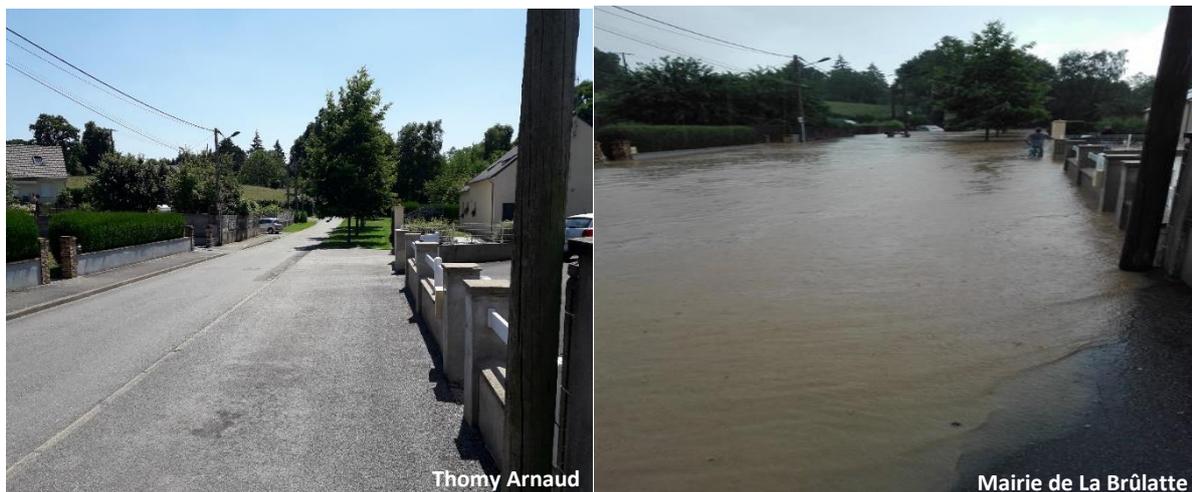
*« Quand j'ai vu l'eau couler sur mes parcelles à une vitesse folle, j'ai de suite compris que l'heure était grave. J'ai pu observer sur d'autres parcelles voisines que l'eau amenait avec elle une quantité de matière (terre) incroyable. Pendant ce genre d'épisode, on remarque bien les parcelles qui ont été touchées par le remembrement, notamment avec l'arrachage de haies qui joue un rôle important. De plus, les techniques culturales utilisées par certains agriculteurs accentuent l'accélération de l'eau vers les points bas. Je le remarque facilement, à la moindre montée d'eau, le bassin d'orage monte en charge. Le 9 juin 2018, il y avait de la boue partout dans le lotissement, une haie avait été enlevée 2-3 ans auparavant, nous avons subi les conséquences de cet arasement. L'agriculteur à qui appartenait le champ de maïs qui est à l'origine des coulées de boues ne s'est jamais déplacé, malgré qu'il ait été mis au courant. En revanche, je ne dis pas que l'inondation causée à cet endroit est uniquement liée aux pratiques culturales et à l'arrachage de haies, il faut garder à l'esprit que cet évènement est exceptionnel. Une question me trotte dans la tête à ce sujet : Est-ce que l'on doit faire en sorte que la haie soit replantée, afin d'éviter de nouvelles coulées de boue en cas de crue à cet endroit ? ».*

### **Comment avez-vous géré la crise dans la commune ?**

*Avec un collègue élu, nous nous sommes partagés le bourg en deux parties. On a été voir les gens pour qu'ils se mettent à l'abri de tout danger. Je me suis aperçu ce jour-là que les gens n'étaient pas très solidaires, c'est regrettable pour les sinistrés. Pendant le week-end, les personnes inondées étaient auprès de leur famille, ensuite nous les avons relogées dans des maisons et gîtes le lundi. Après l'épisode de crue, les gens ont été agressifs : Pourquoi a-t-on abattu les haies ? Et pourquoi les maisons ont été construites ici ? Etc.*

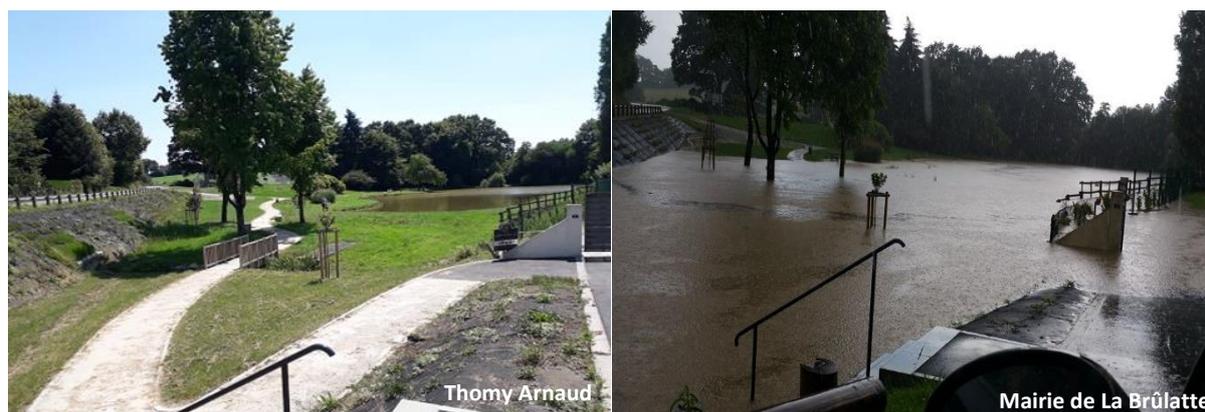
*Le climat change, c'est réel, le 9 juin 2018 c'est 180mm d'eau en 2h00, ce n'est pas rien ! ».*

Vue de la rue des aubépines (La Brûlatte) :



*Été 2019/ 10 juin 2018*

### *Vue de l'étang de La Brûlatte :*



*Eté 2019/ 10 juin 2018*

La photo de l'étang le 10 juin 2018 montre la forte intensité de cet évènement exceptionnel.

### 3. Démarche :

La mission confiée est de réaliser un inventaire d'ouvrages hydrauliques et de réaliser des calculs hydrauliques, sur lesquels nous reviendrons plus en détail, permettant d'identifier des enjeux sur la commune. Il n'y avait aucune base de données sur laquelle s'appuyer, il a donc fallu créer une base de données nouvelle, en intégrant tous les paramètres nécessaires pour la suite d'une étude complète. Les résultats des calculs hydrauliques dans cette étude sont à titre indicatif, ils seront exploités par la suite.

La démarche suivante a été mise en œuvre pour mener à bien cette mission :

- Recherche bibliographique ;
- Récupération de données et de photographies ; échange avec la mairie ;
- Elaboration d'une fiche de relevés de terrain (ouvrages et plans d'eau) ;
- A partir du SIG, identification des ruisseaux catégorisés au titre de la Loi sur l'eau sur la commune de La Brûlatte et délimitation des sous bassins versants de chaque ruisseau ;
- Relevés de terrain et géolocalisation des ouvrages ;
- Constitution d'une base de données géo-référencée ;
- Calculs hydrauliques par ouvrage ;
- Identification des enjeux du bassin.

Beaucoup de propriétaires (parcelles agricoles, habitations, garages, etc.) étant concernés par le suivi des ouvrages et ne pouvant être identifiés, il a donc été décidé de ne pas prévenir les riverains par un courrier mais de procéder à une information générale via les moyens de la commune (affichage en mairie et sur les panneaux numériques). Un ordre de mission signé par le Président du syndicat mixte du **JAVO** a été dressé à mon intention, au titre de la mission de service public. Ce document rend légitime les missions mais ne permet pas un accès de droit aux parcelles ; un propriétaire étant donc en droit de demander à un professionnel de quitter la parcelle.

A la suite de la retranscription des données de terrain sur un **Système d'Information Géographique (SIG)**, une rencontre a été organisée avec un ingénieur hydraulique du bureau d'études Hydroconcept, prestataire du Syndicat **JAVO**, pour discuter des différentes méthodes de calculs hydrauliques (débit de pointe, intensité de pluie, loi de Myer, Manning Strickler, les temps de concentrations, etc.). Beaucoup de conseils m'ont été fournis pour faciliter les calculs mais aussi sur l'utilisation des logiciels **SIG** (calcul de pente, traçage des bassins versant, etc.).

Le logiciel de **SIG** Qgis 3.4 a permis de tracer tous les bassins versant des ouvrages concernés (ponts, passerelles, buses). Cela permettait de connaître la surface de bassin versant drainée au droit de ceux-ci. Excel a permis de mettre en application les différents calculs hydrauliques apportés par l'ingénieur.

Par la suite, ces calculs ont permis de déterminer si les ouvrages jouaient un rôle de rétention pendant des crues de différentes périodes de retour. Une carte est réalisée par la suite en indiquant d'une couleur marquée les ouvrages faisant rétention pendant une crue. A l'aide de cette carte, l'identification des points vulnérables à l'échelle de la commune sera plus simple. Cette étape permettra d'identifier les enjeux sur la commune afin que par la suite, un bureau d'étude approfondisse et évalue le risque.

Une présentation de l'étude sera donnée au Conseil municipal de la commune de La Brûlatte pour un état des lieux de l'inventaire des ouvrages, en présentant les enjeux majeurs et les zones « prioritaires » pour la suite.

Un document explicatif de la méthode mise en place pour la réalisation d'un futur inventaire est à disposition du Syndicat. Ce document explique le matériel utilisé, la méthode, ainsi que la mise en forme de la base de données (table attributaire). Chaque étape à suivre est détaillée pour :

- l'utilisation du logiciel de cartographie (Qgis),
- la mise en place des points GPS,
- L'ajout d'un champ dans la table attributaire,
- La catégorisation des points GPS

### 3.1. Protocole :

Pour réaliser l'inventaire, il est nécessaire d'être deux opérateurs pour des raisons de sécurité et de par le fait qu'il y a du matériel encombrant et lourd comme le laser et la mire. De plus, cela permet de gagner du temps dans les prises de côtes, de mesures et de notes mais aussi pour les déplacements, ainsi le linéaire à pied est fait une seule fois.

### 3.2. Définition des ouvrages

Tout ouvrage (buse, pont, passerelle) transversal au lit mineur du cours d'eau faisait objet d'une ouverture de fiche « ouvrage ». Aucun ouvrage transversal au lit majeur de type fossés, drains ou buse n'était pris en compte, le temps alloué pour l'étude ne le permettant pas. Le remplissage de la fiche comprend les mesures du haut de l'ouvrage, la section, les pentes (sections et naturelles), les hauteurs de berges, largeur du lit mouillé, les désordres de l'ouvrage ainsi que l'occupation du sol (**voir annexe 1**). En ce qui concerne les pentes, il n'est pas toujours possible de les déterminer, du fait d'une végétation trop abondante ou d'un dénivelé considérable, le matériel à disposition n'étant pas assez performant.

Toute pièce d'eau faisant barrage à un cours d'eau catégorisé au titre de la Loi sur l'eau nécessitait l'ouverture d'une fiche « plan d'eau » (**voir annexe 2**). Le remplissage de la fiche comprend la présence possible d'un déversoir de crue, d'une vanne de décharge, d'une ou plusieurs grille(s) pour les poissons et les désordres potentiels sur la ou les digues.

#### 4. Matériels et méthodes :

##### 4.1. Liste du matériel utilisé :

Le protocole a été adapté en fonction des outils mis à disposition par le Syndicat.

Un véhicule
Un ordinateur équipé du logiciel SIG
Fiches de terrain (réalisées en interne)
Mètre électrique (Leica disto tm D510)
Laser + mire
GPS (Garmin Etrex 30X)
Crayon papier + gomme
Support pour écrire

**Tableau 2 : Liste du matériel**

Le mètre électrique sert à mesurer la section d'écoulement et le haut de l'ouvrage intéressé (annexe 1). Le laser permet de connaître le dénivelé entre l'amont et l'aval de l'ouvrage. Ces deux côtes sont indispensables pour calculer la pente dans la section d'écoulement. Le GPS permet de géo-référencer chaque ouvrage ou plan d'eau.

##### 4.2. Les données SIG :

Les données de terrain sont retranscrites sur le logiciel Qgis 3.2 et 3.4, puis projetées sur le SCR en Lambert 93 (2154). Le téléchargement des points GPS pour localiser chaque ouvrage a été réalisé en entrant toutes les données sur les fiches de terrains dans la table attributaire. Un point GPS représente une ligne dans la table attributaire. La création de la carte nécessite d'ajouter :

- les points GPS,
- les bassins versants,
- les cours d'eau concernés,
- la couche ortho-photo de la commune

Chaque sous bassin versant a été délimité à l'aide de la couche Bd Altimétrie (apparition des reliefs ainsi que des courbes de niveau). L'utilisation combinée des couches ortho-photo, Corine Land Cover, ainsi que celle résultant de la fusion des couches RPG (type de culture) et Occ\_sol (occupation du sol) a contribué à l'identification du contexte sur chaque bassin versant, le but étant de déterminer les cours d'eau du bassin à parcourir, afin de ne pas oublier un ouvrage en travers du lit mineur (pont, buse, passerelle, etc...).

#### 4.3. Les métadonnées :

<i>Paramètres</i>	<i>ID Qgis</i>	<i>Unité</i>
Commentaire	CMT	
Pont	pt	
Buse	bu	
Passerelle	pas	
Pont cadre	ptc	
Largeur section	Lar_sec	Mètre
Longueur section	Lon_sec	Mètre
Hauteur section	Hau_sec	Mètre
Volume section	Vol_sec	M3
Diamètre section	Diam_sec	Millimètre
Surface de contact radier	SDC_rad	
Surface de contact paroi	SDC_par	
Largeur du haut de l'ouvrage	Lar_hau_ou	Mètre
Longueur du haut de l'ouvrage	Lon_hau_ou	Mètre
Hauteur du haut de l'ouvrage	Hau_hau_ou	Mètre
Largeur du lit mouillé amont	Lar_lm_am	Mètre
Largeur du lit mouillé aval	Lar_lm_av	Mètre
Hauteur d'eau dans l'ouvrage	Hau_eau_ou	Mètre
Hauteur de berger rive droite	Hau_ber_RD	Mètre
Hauteur de berge rive gauche	Hau_ber_RG	Mètre
Pente de l'ouvrage	Pen_ou	Pourcentage
Pente naturel	Pen_nat	Pourcentage
Occupation du sol	Occ_sol	
Franchissement piscicole	Fra_pis	chiffre
Photos	PHOTOS	
Débit capable	Q_cap	M3/s
Débit de retour 5 ans	Q5	M3/s
Débit de retour 10 ans	Q10	M3/s
Débit de retour 20 ans	Q20	M3/s
Débit de retour 30 ans	Q30	M3/s
Débit de retour 50 ans	Q50	M3/s
Débit de retour 100 ans	Q100	M3/s

**Tableau 3 : métadonnées des ouvrages**

<b>Paramètre</b>	<b>ID Qgis</b>	<b>Indicateur</b>	
Etang	ETA		
Commentaire	CMT		
Déversoir de crue	Dev_crue	1= oui	2= non
Usage	Usage		
Vanne de décharge	Van_déch	1= oui	2= non
Grille pour les poissons	Gri_pois	1= oui	2= non

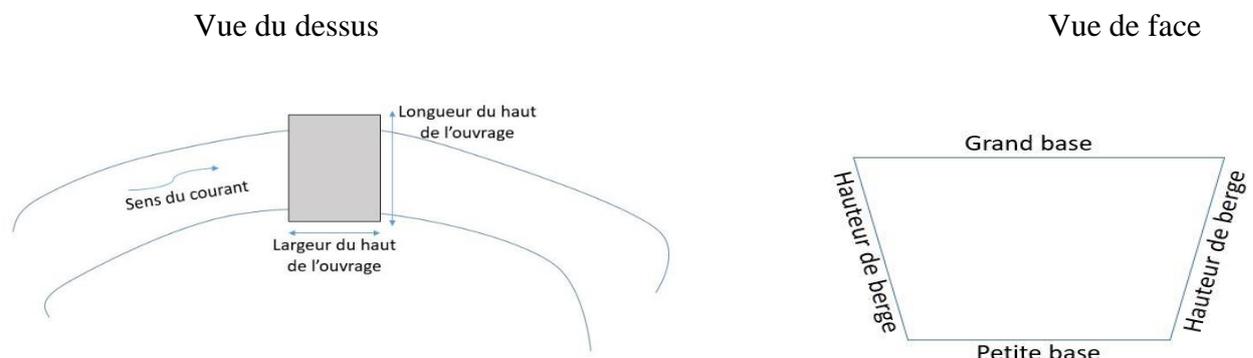
**Tableau 4: Métadonnées des plans d'eau**

#### 4.4. Méthode de terrain :

Les données sont propres à chaque ouvrage, cela permettra de connaître le débit capable de chacun et de posséder une fiche d'identité complète pour chacun. En observant les chiffres, il sera plus simple de savoir s'il y a un rôle de rétention à la montée des eaux. Les plans d'eau ont une fiche à part, ils font l'objet d'une d'ouverture de fiche s'ils sont en lit mineur du cours d'eau. La détermination des critères se fait seulement à vue, il est possible que certains critères soient biaisés. Cependant quand l'incertitude était présente, le critère était considéré comme nul.

Il était très important d'avoir le même langage de terrain avec le deuxième opérateur, mais aussi avec les futurs stagiaires, apprentis ou techniciens qui souhaitent répéter le protocole à l'échelle d'un cours d'eau ou d'une commune. Cela permet d'éviter les confusions à la prise de note ainsi qu'à la discussion d'un paramètre particulier.

#### Passerelle :



**Figure 15 : Schéma d'une passerelle**

#### Pont voute :

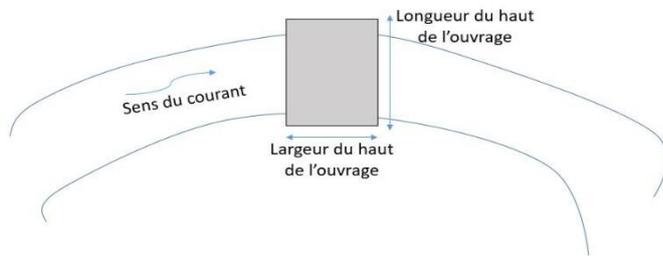


**Figure 16 : Schéma d'un pont voute**

Pont cadre :

Vue du dessous

Vue de face

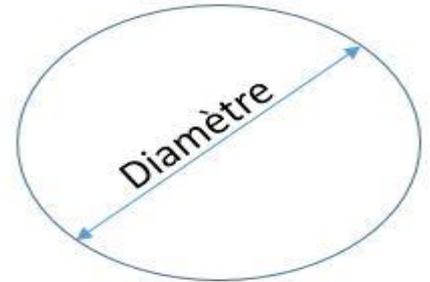
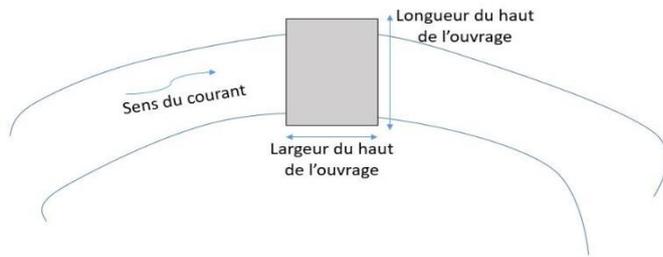


**Figure 17 : Schéma d'un pont cadre**

Buse :

Vue de dessus

Vue de face



**Figure 18 : Schéma d'une buse**



*Prise de côte sur une buse avec le laser et la mire*

**Voici les différents ouvrages répertoriés pendant l'inventaire :**



**Buse**



**Passerelle**



**Pont route**



**Pont cadre**



**Bassin d'orage**



**Etang**

#### 4.5. Méthode des calculs hydrauliques :

Les différentes méthodes présentées sont propres à chaque bassin versant pour les calculs de débit de pointe. Le débit de pointe est le débit maximal attendu à l'exutoire ou au droit d'un ouvrage pendant un épisode pluvieux. Ce calcul est très important dans sa mise en place, car c'est un indicateur pour ensuite pouvoir dimensionner un ouvrage.

Le débit de pointe de chaque bassin versant au droit des ouvrages a été calculé à partir de la moyenne entre la formule rationnelle et la loi de Myer (**voir annexe 3**), depuis la station hydrométrique de Nuillé sur Vicoin. Les débits capables de chaque ouvrage, calculés à partir de la formule de Manning Strickler n'ont pas pu être tous appréciés de par le manque de données sur certains ouvrages.

Pour calculer un débit de pointe sur un bassin versant il est nécessaire de prendre en compte différents paramètres :

- La surface de la zone étudiée,
- La longueur hydraulique,
- La pente de la zone étudiée,
- Le temps de concentration,
- La lame d'eau précipitée,
- L'intensité de la pluie,
- Le coefficient de ruissellement,

##### 4.5.1. La surface de la zone étudiée :

Cette surface est calculée au droit de chaque ouvrage pour la mise en œuvre du calcul du débit de pointe. Dans cette étude, la surface est appréciée à l'aide du logiciel Qgis 3.2, il offre en effet une fonction permettant de calculer une surface à l'intérieur d'un polygone (bassin versant). Il faut être attentif à la surface demandée (Ha, Km<sup>2</sup>, etc...), notamment pour les temps de concentration détaillés plus bas.

##### 4.5.2. La longueur hydraulique :

Une longueur hydraulique est le chemin le plus long qu'un cours d'eau puisse parcourir dans un bassin versant. Cette valeur est prise en compte dans le calcul de la pente. La longueur hydraulique est observée à partir d'une fonction du logiciel Qgis 3.4 qui permet de mesurer cette longueur.

##### 4.5.3. La pente de la zone étudiée :

Cette valeur est obtenue à partir d'une fonction du logiciel Qgis 3.4 qui donne un profil en travers du bassin versant à partir d'une couche **SIG** (Bd Altimétrie). Cette coupe contient un tableau avec la présence des côtes hautes et des côtes basses. Dans la formule il faut intégrer la longueur hydraulique.

Formule de la pente : **(côte basse – côte haute) / longueur hydraulique**

##### 4.5.4. Le temps de concentration :

« **Le temps de concentration est le temps écoulé entre le début d'une précipitation et l'atteinte du débit maximal à l'exutoire du bassin versant** » (Stämpfli, 2007). C'est le temps qu'une goutte met théoriquement à faire son chemin du point le plus haut vers l'exutoire. Le temps de concentration dépend de multiples paramètres que possède un bassin versant tels que la pente, l'occupation du sol, la capacité d'infiltration du sol ou encore sa superficie. Un temps

de concentration peut être faible ou rapide selon les critères cités ci-dessus. Les bassins versants présentant un temps de réponse rapide ont donc un temps de concentration très court ; l'inondation peut être immédiate s'il n'y a pas les ouvrages nécessaires pour tamponner la quantité massive de l'eau à son exutoire. En revanche, un bassin versant avec un temps de réponse lent peut être tout aussi bien inondé, mais dans ce cas l'inondation sera moins brusque.

Il existe de multiples méthodes pour calculer un temps de concentration, dans le cadre de mon étude, 3 méthodes sont présentées ci-dessous.

Les 3 temps de concentration utilisés :

Les formules de Passini et Ventura sont des formules applicables aux bassins versants urbains. La formule IRSTEA est plus adaptée aux bassins versants urbains avec un temps de réponse rapide. Dans le cadre de l'étude, une moyenne a été effectuée entre la formule de Passini et la formule de Ventura dont les valeurs étaient proches. La troisième formule (IRSTEA) a servi d'indicateur pour prendre une décision dans le temps de concentration de référence.

Formule de Passini

$$T_c = 0,14 \times \frac{(S \times L)^{1/4}}{\sqrt{P}}$$

- $T_c$  : en min
- $S$  : Surface en Ha
- $L$  : Plus grande longueur hydraulique en m
- $P$  : Pente en m/m

Formule de Ventura

$$T_c = 7,62 \times \left(\frac{S}{P}\right)^{0,5}$$

- $T_c$  : en min
- $S$  : Surface en km<sup>2</sup>
- $P$  : Pente en m/m

$$\ln(D_r) = 0,375 \cdot \ln(S) + 3,729$$

avec  $S$  : Superficie en km<sup>2</sup>  
 $D_r$  : Durée caractéristique de crue en mn

Source : (AREAS, 11 juin 2013)

4.5.5. La lame précipitée :

Pour calculer la lame d'eau précipitée sur un bassin versant, il est nécessaire d'utiliser les coefficients de Montana fournis par météo France. Ces coefficients sont déterminés en fonction de l'hydro éco région, la période de retour, simulation de pluie (5 ans, 10 ans, etc.) et par le calcul du temps de concentration.

Dép.	Ville - Station météo	Origine des Données	Période de retour (T)	Durée (min)		a	b
				de :	à :		
35	RENNES ST JACQUES	Données météo france 1949-2011	5	6	30	3,311	0,495
35	RENNES ST JACQUES	Données météo france 1949-2011	10	6	30	3,871	0,485
35	RENNES ST JACQUES	Données météo france 1949-2011	20	6	30	4,360	0,475
35	RENNES ST JACQUES	Données météo france 1949-2011	30	6	30	4,659	0,471
35	RENNES ST JACQUES	Données météo france 1949-2011	50	6	30	5,000	0,466
35	RENNES ST JACQUES	Données météo france 1949-2011	100	6	30	5,455	0,460
35	RENNES ST JACQUES	Données météo france 1949-2011	5	30	1440	8,729	0,784
35	RENNES ST JACQUES	Données météo france 1949-2011	10	30	1440	11,484	0,807
35	RENNES ST JACQUES	Données météo france 1949-2011	20	30	1440	14,340	0,823
35	RENNES ST JACQUES	Données météo france 1949-2011	30	30	1440	16,047	0,831
35	RENNES ST JACQUES	Données météo france 1949-2011	50	30	1440	18,247	0,839
35	RENNES ST JACQUES	Données météo france 1949-2011	100	30	1440	21,265	0,848

**Tableau 5 : Données météo France (Coefficient de Montana)**

La ville de Rennes a été prise en référence pour les coefficients de Montana. Ce tableau démontre bien l'importance du calcul du temps de concentration, qui fait varier les chiffres a et b dans la formule de la hauteur d'eau ruisselée, mais aussi pour l'intensité de la pluie.

Formule hauteur de pluie ruisselée :  $a \cdot tc^{(1-b)}$       **tc=temps de concentration**

#### 4.5.6. Intensité de la pluie :

La détermination de l'intensité de la pluie sur un bassin versant doit s'effectuer à l'aide des coefficients de Montana déterminés selon l'hydro éco région, la période de retour de la pluie et le calcul du temps de concentration.

Formule intensité de pluie :  $60 \cdot a \cdot tc^{-b}$       **tc=temps de concentration**

#### 4.5.7. Le coefficient de ruissellement :

Le coefficient de ruissellement pour chaque bassin versant a été calculé à l'aide du logiciel Qgis 3.4 et avec deux couches **SIG** fournies par le bureau d'étude Hydroconcept (ingénierie hydraulique). La première couche **SIG** s'intitulant « RPG » qui concerne le type de cultures en place sur la zone étudiée, et la seconde « Occ sol » qui concerne l'occupation du sol, les parcelles cadastrales et toutes les zones imperméabilisées (route, chemin, etc...). Il est nécessaire de fusionner les deux couches pour optimiser le calcul. Ces deux couches possèdent des entités affectées à un code qui permet de déterminer un coefficient de ruissellement. Le calcul des surfaces de chaque entité est nécessaire pour déterminer le coefficient de ruissellement pondéré.

**BV9**

CODE_CS	CR	surface (M²)	Surface (Ha)	Surface addition	Surface total	CR final
RPG		63002,1	6,3		718,4	0,17
RPG		797,1	0,1			
RPG		1034,3	0,1			
RPG		59940,7	6			
RPG		485,9	0			
RPG		827,5	0,1			
RPG		1825,3	0,2			
RPG		34517,3	3,5			
RPG		5431,2	0,5			
RPG		302,1	0			
RPG		4753,5	0,5			
RPG		1042,6	0,1			
RPG		855,6	0,1			
RPG		37260,7	3,7			
RPG		27415,2	2,7			
RPG		1283,9	0,1			
RPG		8466,8	0,8			
RPG		34378,9	3,4			
RPG		13088,4	1,3			
RPG		55382,7	5,5			
RPG		8715,8	0,9			
RPG		93664,4	9,4			
RPG		26890,3	2,7			
RPG		25598,2	2,6			
RPG		16190,8	1,6			
RPG		40218,6	4			

**Figure 19 : Exemple de calcul du coefficient de ruissellement : Une ligne représente une entité sur la carte SIG**

Formule coefficient pondéré :  $(Cr * surface) + (Cr * surface) + \dots / \text{Surface total du BV}$

#### 4.5.8. Méthode rationnelle :

La méthode rationnelle est intéressante dans le calcul de débits en milieux rural, il faut néanmoins être vigilant avec le coefficient de ruissellement qui peut faire varier considérablement les débits de pointe. Il est nécessaire d'être précis dans sa mise en œuvre pour éviter un écart type trop important.

- Coefficient de ruissellement (Cr)
- Intensité de pluie en mm/h (I)
- Surface en hectare (A)

Formule méthode rationnelle :  $(2,78 * Cr * 0,8 * I * A) / 1000$

#### 4.5.9. Loi de Myer :

La loi de Myer est très souvent utilisée pour comparer des débits. Cependant, elle ne reflète pas à l'identique l'hydrologie des sous bassins versants étudiés. Elle peut donc sur-estimer ou sous-estimer les débits suivant l'occupation du sol, la géologie ou la pédologie du bassin versant.

Formule loi de Myer :

**Débit de pointe\*(surface de bassin versant étudié/surface de bassin versant de référence)<sup>0,8</sup>**

#### 4.5.10. Crupédix :

Pour calculer Crupédix (**voir annexe 3**), il faut en amont déterminer la pluie journalière décennale.

Formule PJ10 (24h) : **a\*1440<sup>1-b</sup>**

La méthode Crupédix sert uniquement à comparer les débits de période de retour 10 ans, cette méthode a tendance à sous-estimer les débits. Dans le cadre de l'étude, elle ne sera pas prise en compte mais figure tout de même parmi les calculs.

Formule de Crupédix : **Surface en Km<sup>2</sup><sup>0.8</sup>\*(PJ10/80)<sup>2\*1,5</sup>**

#### 4.5.11. Manning Strickler :

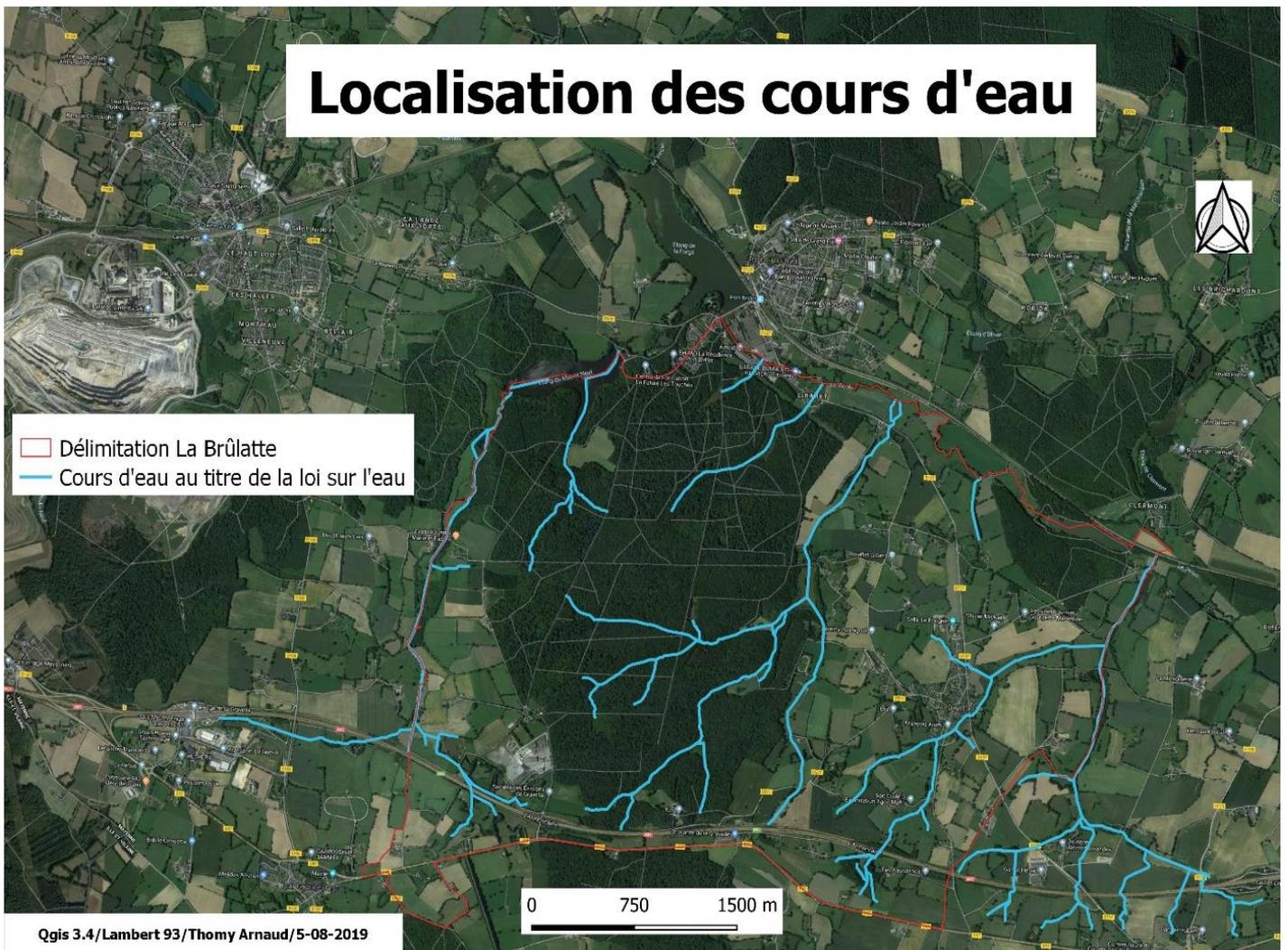
Cette méthode permet de connaître le débit capable de chaque ouvrage hydraulique, peu importe la forme du rayon hydraulique (**voir annexe 4**). Dans la méthode, il est plus simple de rapporter toutes les valeurs en mètres. Différents paramètres doivent être pris en compte :

Surface de section (**s**), périmètre de section (**p**), côtes amont/aval, matière de l'ouvrage (béton, pvc, etc..) :

- **s/p**= Le rayon hydraulique (RH),
- La pente (I),
- Le coefficient de frottement appliqué selon la matière de l'ouvrage (K),
- La surface du périmètre mouillé (S)

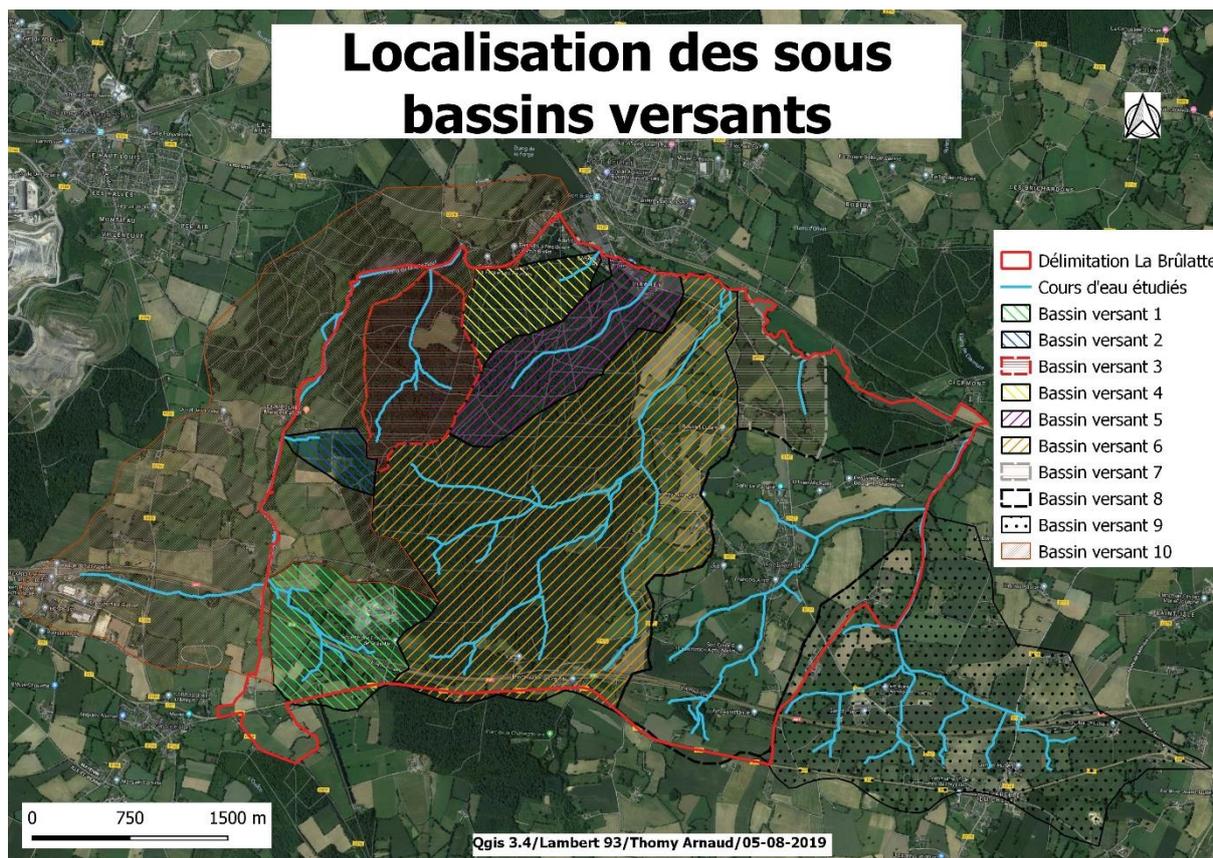
Formule : Débit capable (**QC**)= **K\*RH<sup>(2/3)</sup>\*I<sup>(1/2)</sup>\*S**

## 5. Résultats :



**Figure 20 : Localisation des cours d'eau**

Le linéaire total des cours d'eau présents dans l'étude est de 33.9Km. Le but étant de comprendre la dynamique hydraulique de chacun, il était important de prendre en considération les cours d'eau en dehors de la commune de La Brûlatte. Cela permet d'avoir un raisonnement hydrologique logique.



**Figure 21 : Localisation des bassins versants**

La surface totale des sous bassins versants est de 23,3 Km<sup>2</sup>, ils s'étendent sur La Brûlatte en majorité, La Gravelle, Saint Pierre La Cour et Loiron-Ruillé. Chaque bassin versant a une hydrologie et une occupation du sol bien spécifique, du fait de la longueur hydraulique des cours d'eau, des superficies de bassin ou encore de la nature des sols.

#### 5.1. Présentation des bassins versants :

##### Bassin versant 2,4,7 :

Ce sont des bassins de grande taille par rapport à la longueur du cours d'eau. L'eau est issue essentiellement de terres agricoles ou forestières.

##### Bassin versant 1,3,5 :

Ce sont des bassins versants de taille moyenne avec des longueurs hydrauliques assez conséquentes. Le bassin versant N°1 est essentiellement agricole, il est traversé par l'autoroute A81 ainsi que la départementale D57 qui apporte des contributions hydrauliques non négligeables et extérieures au bassin versant lui-même. Les bassins versants n°3 et 5 sont en majorité occupés par des parcelles forestières privées.

##### Bassin versant 8 et 9 :

Ces deux bassins versant sont sensiblement de la même superficie (3,5 et 4 km<sup>2</sup>), ils sont tous les deux traversés par l'autoroute A81 et la départementale D57. Le bassin versant n°9 est marqué essentiellement par des parcelles agricoles (cultures, prairies). La carte ci-dessus démontre un réseau hydrographique important en tête du bassin versant. Le bassin versant n°8 est également occupé par des cultures, prairies de fauches ou pâturées. Le bourg de La Brûlatte

figure dans ce bassin versant, c'est la localisation qui a subi le plus de dégâts lors de la crue du 9 juin 2018 (voire ligne BV 8 du tableau de recensement général).

#### Bassins versants 6 et 10 :

Ce sont les deux bassins versants les plus conséquents de l'étude (5,5 et 8 Km<sup>2</sup>), ils sont également traversés par l'autoroute A81 et la départementale D57. Avec une hydrographie importante, le bassin versant n°6 est en grande partie occupé par le Bois des Gravelles, le fond de vallée est pâturé par des bovins. Le bassin versant n°10 est très large en tête et s'affine vers son exutoire, la partie amont est en culture et prairies, et la partie aval est forestière.

#### 5.2. Recensement Général :

Un total de 145 ouvrages (buses, ponts, passerelles, étangs, obstacles) ont été identifiés au cours de cette étude. 77 % concernent des ouvrages de type busage ou ponts et 23 % des plans d'eau en barrage.

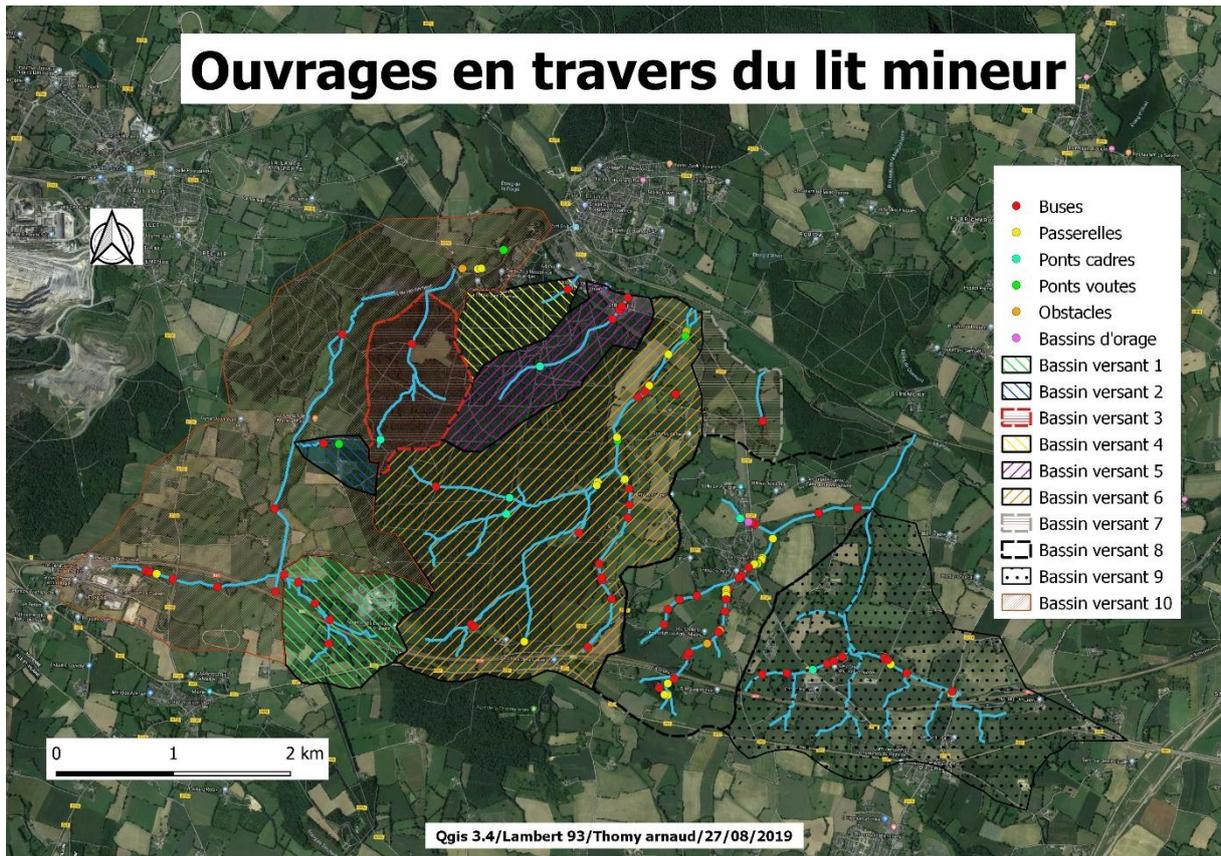
<i>Bassin versant</i>	<i>Nombre d'ouvrages + plans d'eau</i>	<i>Linéaire de cours d'eau (km)</i>	<i>Nombre d'ouvrages au km</i>
1	7	1,991	3,5
2	4	0,291	13,7
3	3	0,703	4,26
4	2	0,381	5,24
5	9	1,499	6,0
6	43	10,6	4,0
7	2	0,452	4,42
8	45	5,414	8,31
9	15	7,8	1,92
10	14	4,848	2,88
<b>Total</b>	<b>145</b>	<b>33,9</b>	<b>4,27</b>

**Tableau 6 : Recensement des ouvrages hydrauliques**

Le tableau ci-dessus montre une densité moyenne d'ouvrages de 4,27 par km. Les densités les plus fortes sont observées sur les sous bassins 2 et 8. Le bassin 2, en zone rurale, présente un faible linéaire par rapport aux autres, ce résultat n'est donc pas à prendre en considération. Le bassin 8 est, à l'inverse, le bassin versant drainant les eaux vers le bourg où de multiples ouvrages sont associés à l'urbanisation.

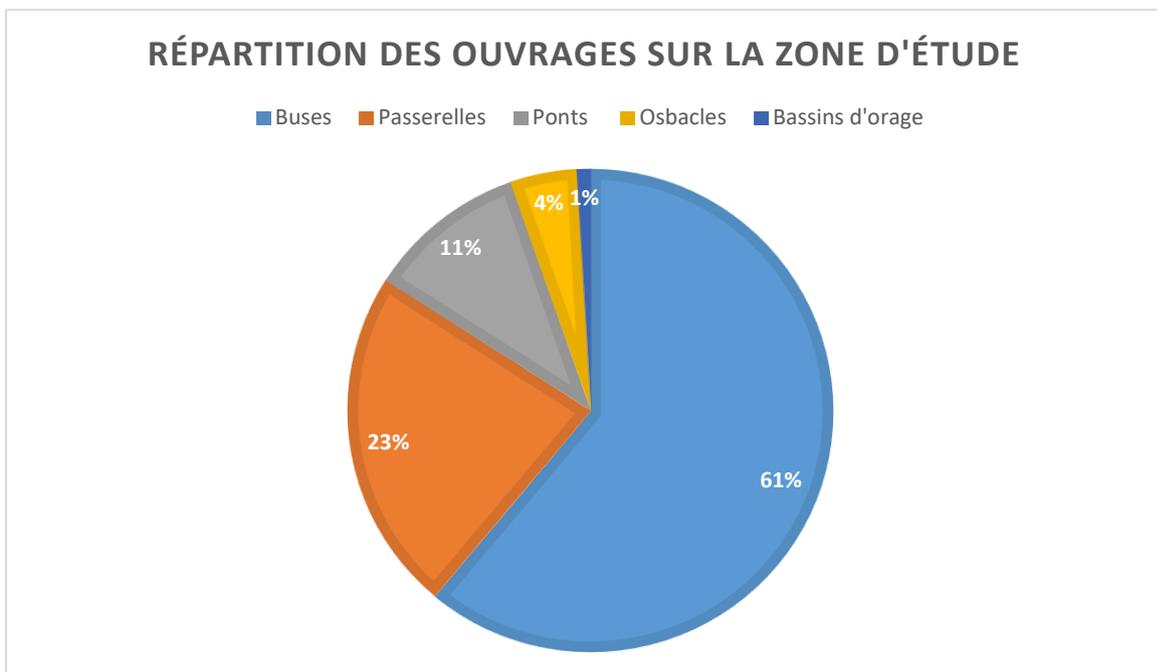
#### 5.3. Ouvrages hydrauliques :

Les ouvrages hydrauliques (buses, ponts, passerelles, obstacles) sont plus conséquents sur certains bassins versants. Il y a un total de 112 ouvrages sur les dix bassins, ce qui représente 3,3 ouvrages au kilomètre.



**Figure 22 : Localisation des ouvrages hydrauliques**

Les buses représentent plus de la moitié des ouvrages recensés sur l'ensemble du territoire étudié, les passerelles et les ponts sont présents à 34%, les obstacles et les bassins d'orage apparaissent en minorité.



**Figure 23 : Répartition des ouvrages hydrauliques sur la zone d'étude**

<i>Bassin versant</i>	<i>Buse</i>	<i>Passerelle</i>	<i>Pont</i>	<i>Obstacle</i>	<i>Bassin d'orage</i>
1	5				
2	1		1		
3	1		1		
4	1				
5	5		1		
6	17	8	5	1	
7	1				
8	21	13	2	2	1
9	9	1	1	1	
10	8	3	1	1	
<b>Total</b>	<b>69</b>	<b>25</b>	<b>12</b>	<b>5</b>	<b>1</b>

**Tableau 7 : Répartition des ouvrages hydrauliques par bassin versant**

Le bassin versant n°8 est le seul à présenter tous les types d'ouvrages pris en compte par l'étude, de plus c'est le territoire où il y a la plus grande densité d'ouvrage. Le bassin versant n°6 possède également beaucoup d'ouvrages malgré qu'il soit en majeure partie forestier. En revanche le bassin versant n°10 qui est en grande partie occupé par des prairies ne reflète pas l'oppression des ouvrages, notamment agricoles, pour faire transiter les bovins ou les engins agricoles.

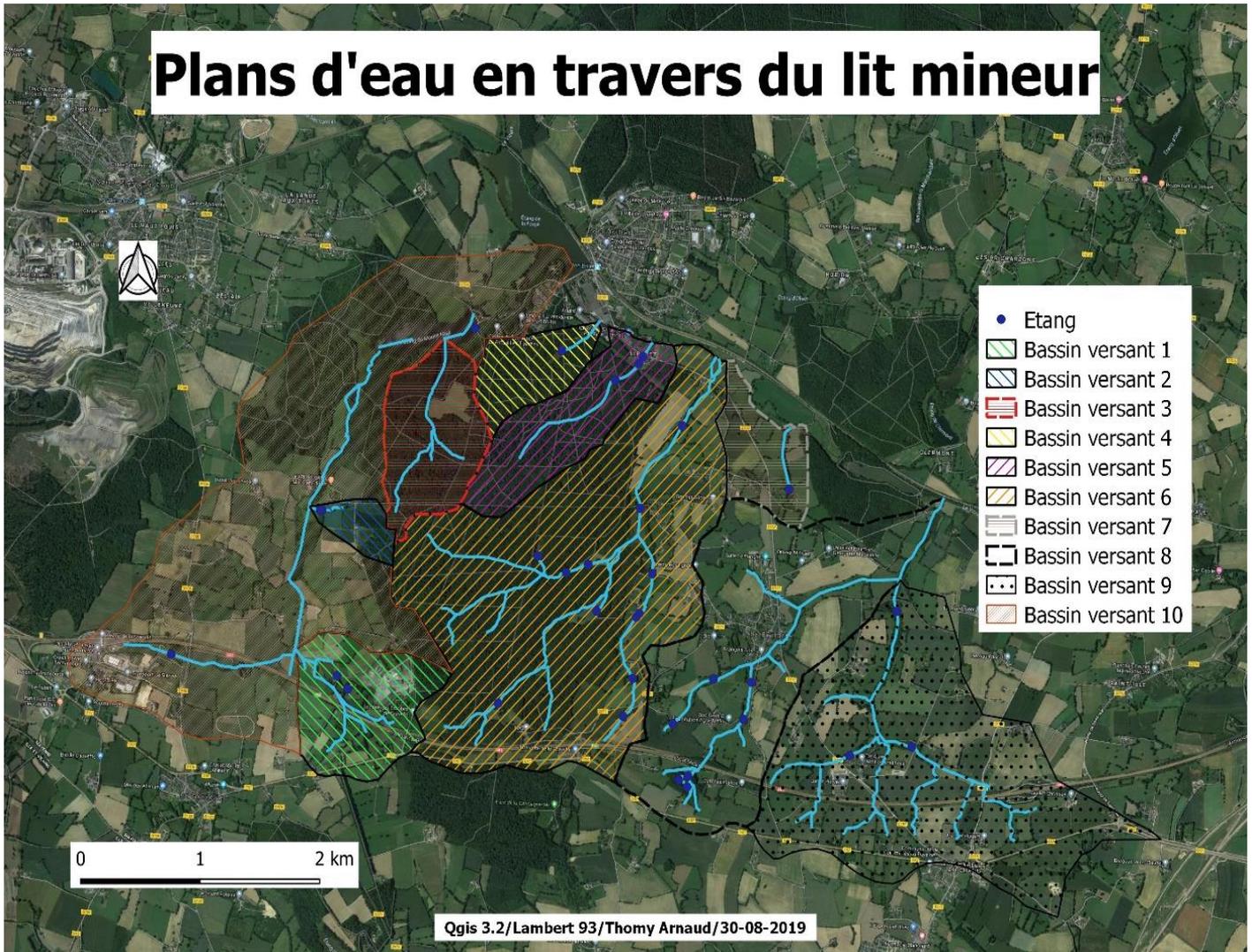
#### 5.4. Les buses :

<b>Diamètre (mm)</b>	50	150	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1200	1400
<b>Nombre</b>	1	1	4	14	11	6	8	2	9	2	2	1	1

**Tableau 8 : Recensement des buses**

Sept buses ne figurent pas dans le tableau car elles n'étaient pas accessibles (autoroute, colmatées, trop forte végétation, etc.). Les diamètres 300, 400, 600 et 800 sont les plus utilisés, ils sont globalement bien distribués afin d'assurer le bon fonctionnement hydraulique. C'est à dire que les diamètres moins conséquents se situent dans les parties amont des bassins versants et les gros diamètres assurent le transit de l'eau dans la partie aval. Néanmoins, certains ouvrages peuvent être sous dimensionnés et générer des rétentions, comme sur le bassin versant n°5, où une buse de 50 mm de diamètre a été placée en aval. En effet, pendant des années, la mise en place d'ouvrages et leur dimensionnement prenaient pour référence une crue de période de retour 10 ans, peu importe leur localisation sur le bassin versant.

## 5.5. Plans d'eau :



**Figure 24 : Localisation des plans d'eau**

<i>Bassin versant</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>Total</i>
<i>Nombre de plan d'eau</i>	2	2	1	1	3	12	1	7	3	1	33

**Tableau 9 : Répartition des plans d'eau par bassin versant**

Trente-trois plans d'eau ont été recensés durant le suivi, la plus grande densité se situe sur le bassin versant N°6 qui en comptabilise 12, cela peut s'expliquer par le fait que ce bassin versant présente une hydrologie conséquente notamment dans la partie forestière. Ce suivi des plans d'eau en parallèle confirme encore davantage les données sur le bassin versant du Vicoin, qui, rappelons-le, possède la plus grande densité de plans d'eau à l'échelle des Pays de La Loire 3,8 / km<sup>2</sup> ; Source : Direction Départementale de l'Agriculture et des Forêts (DDAF).

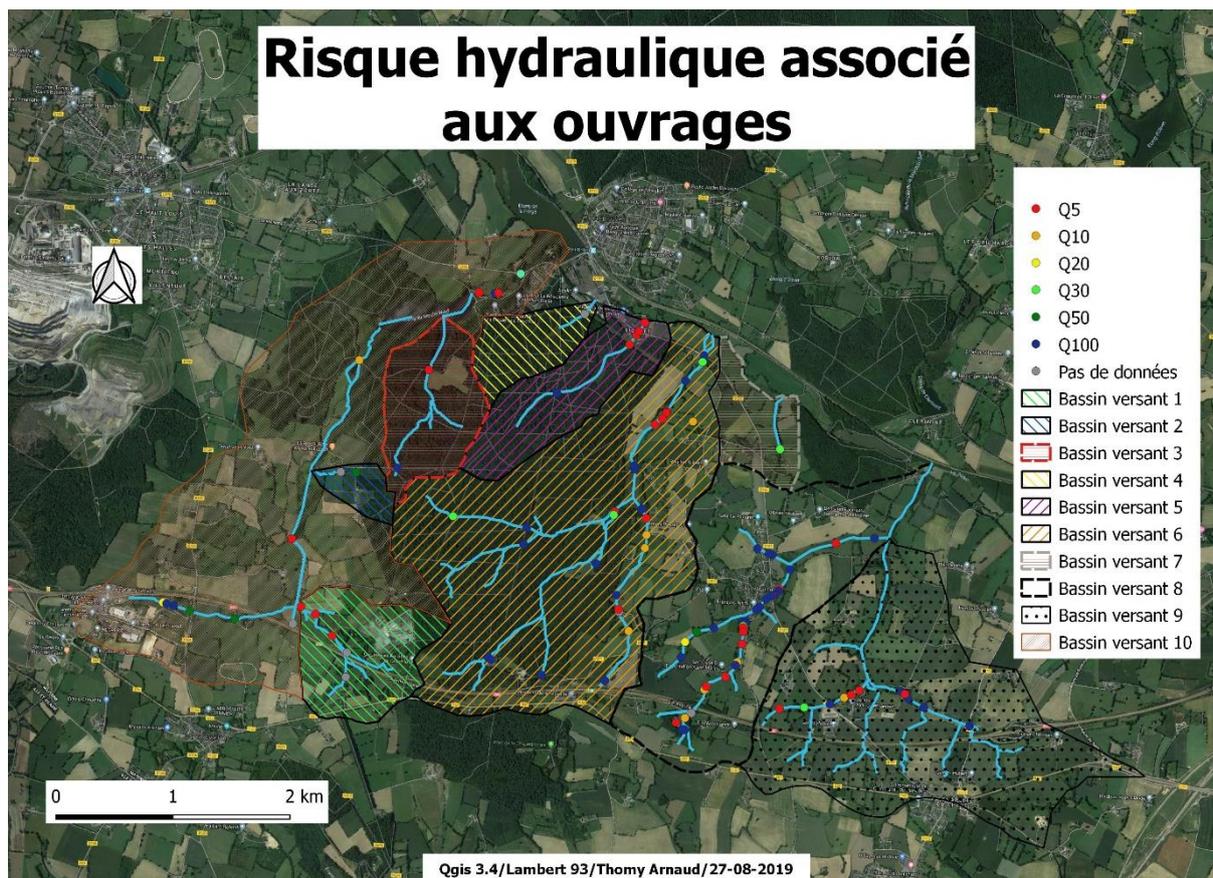
## 5.6. Résultats des calculs hydrauliques :

Bassin versant	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Total
Nombre d'ouvrage acceptant le débit Q5	0/3 (0%)	1/1 (100%)	1/2 (50%)	Pas de données	1/6 (17%)	19/29 (65%)	1/1 (100%)	26/35 (74%)	7/11 (63%)	9/11 (82%)	<b>65/99 (65%)</b>
Nombre d'ouvrage acceptant Q10	0/3 (0%)	1/1 (100%)	1/2 (50%)	Pas de données	1/6 (17%)	19/29 (65%)	1/1 (100%)	22/35 (62%)	7/11 (63%)	7/11 (63%)	<b>59/99 (59%)</b>
Nombre d'ouvrage acceptant Q20	0/3 (0%)	1/1 (100%)	1/2 (50%)	Pas de données	1/6 (17%)	16/29 (55%)	1/1 (100%)	22/35 (62%)	6/11 (54%)	6/11 (54%)	<b>55/99 (55%)</b>
Nombre d'ouvrage acceptant Q30	0/3 (0%)	1/1 (100%)	1/2 (50%)	Pas de données	1/6 (17%)	16/29 (55%)	1/1 (100%)	22/35 (62%)	5/11 (45%)	6/11 (54%)	<b>53/99 (53%)</b>
Nombre d'ouvrage acceptant Q50	0/3 (0%)	1/1 (100%)	1/2 (50%)	Pas de données	1/6 (17%)	12/29 (41%)	0/1 (0%)	22/35 (62%)	5/11 (45%)	5/11 (45%)	<b>48/99 (48%)</b>
Nombre d'ouvrage acceptant Q100	0/3 (0%)	0/1 (0%)	1/2 (50%)	Pas de données	1/6 (17%)	11/29 (38%)	0/1 (0%)	21/35 (60%)	5/11 (45%)	5/11 (45%)	<b>43/99 (43%)</b>

**Tableau 10 : Capacités d'absorption des ouvrages hydrauliques**

Sur le bassin versant n°4, il n'a été recensé qu'un plan d'eau et une buse, laquelle n'a pas permis d'obtenir de données chiffrées, car l'exutoire était inaccessible.

On peut remarquer que sur les bassins versants 6, 8, 9 et 10, l'évolution du nombre d'ouvrages acceptant une période de retour donnée est inversement proportionnelle à l'augmentation de la crue simulée. Plus la période de retour est forte, moins les ouvrages recensés acceptent le débit.



**Figure 25 : Capacité d'absorption des ouvrages hydrauliques**

- Les points figurant en rouge acceptent jusqu'à Q5.
- Les points figurant en orange acceptent jusqu'à Q10.
- Les points figurant en jaune acceptent jusqu'à Q20.
- Les points figurant en vert pomme acceptent jusqu'à Q30.
- Les points figurant en vert foncé acceptent jusqu'à Q50.
- Les points figurant en bleu acceptent jusqu'à Q100 et plus.

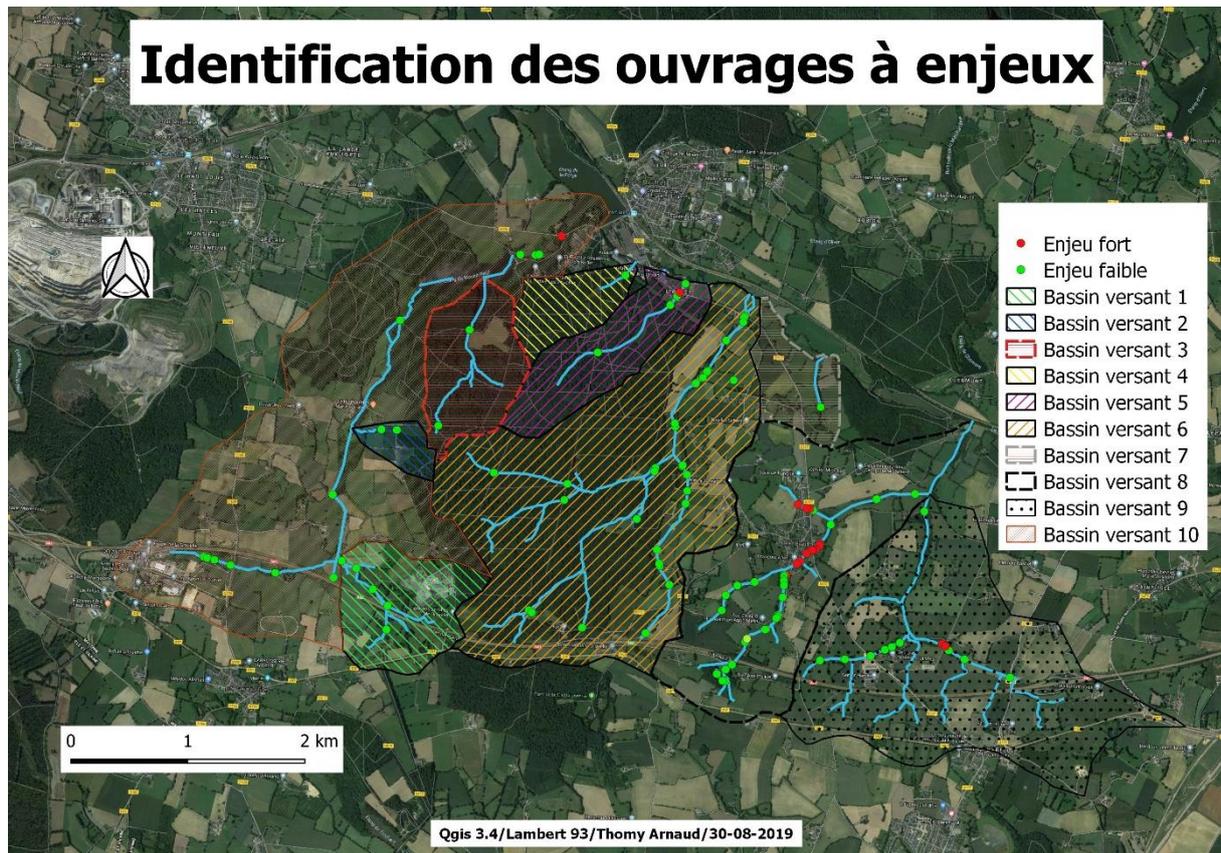
Les résultats ci-dessus démontrent la limite et la complexité des calculs hydrauliques (**voir annexe 5**) mise en place dans la cadre de l'étude :

- Les ouvrages du bassin versant n°1 acceptent seulement Q5,
- L'unique ouvrage du bassin versant n°2 ou on dispose des données accepte une crue de période de retour Q50,
- L'ouvrage en amont du bassin versant n°3 accepte Q100 et plus en revanche l'ouvrage en aval accepte seulement Q5,
- Le bassin versant n°4 ne dispose d'aucunes données concernant les ouvrages,
- L'ouvrage en amont du bassin versant n°5 accepte Q100 et plus, les ouvrages se situant en aval acceptent seulement Q5,
- Un grand nombre d'ouvrages se situant dans le bassin versant n°6 et 8 acceptent Q100 et plus. Les ouvrages acceptant seulement Q5 se situent dans des prairies de fond de vallée, les enjeux liés à la rétention sont quasiment nul,

- Les ouvrages acceptant Q100 et plus dans le bassin versant n°9 se situent sur des routes départementales ou communales, les autres ouvrages avec un risque de rétention sont présent dans des prairies de fond de vallée,
- Un seul ouvrage dans le bassin versant n°10 accepte Q100 et plus, les autres ouvrages ne génèrent pas de risque majeur.

### 5.7. Evaluation des enjeux sur chaque bassin versant

Les enjeux sont fixés selon la crue du 9 juin 2018 et par les témoignages, rencontres faites sur la phase de terrain. Ils ne s'appuient donc pas sur les calculs effectués à titre indicatif.



**Figure 26 : Ouvrages à enjeux**

Les ouvrages du bassin versant n°1 n'ont pas d'enjeu particulier en ce qui concerne la vie humaine, les habitations et les routes. Cependant, l'Autoroute A81 est un facteur aggravant pour la réduction du temps de concentration. En crue, les prairies du fond de vallée sont inondées, il est préférable de ne pas intervenir afin de favoriser la rétention qui diminue la quantité d'eau vers l'aval.

Les bassins versants n° 2, 3, 4, 7 n'ont pas d'enjeux particuliers car l'occupation du sol est en quasi-totalité naturelle. Le risque inondation est probablement présent mais ne nécessite pas une intervention particulière. De plus, ces bassins versants ne drainent pas les eaux vers le bourg de la commune, ils se jettent directement vers la rivière le Vicoin.

Le bassin versant n° 5 et 6 a sensiblement la même composition, l'amont est forestier et l'aval est en prairie, traversé par des routes départementales et communales. Les calculs hydrauliques de l'étude ne permettent pas de savoir le débit capable réel des ouvrages routiers, et encore moins le débit de pointe. Si de nouveaux calculs hydrauliques amenaient à démontrer que

certaines ouvrages en aval n'acceptent pas le débit de pointe, il serait tout à fait possible de conserver de l'eau dans la partie forestière et prairiale. Pendant la phase de terrain, il a été observé des fonds de vallées très évasés traversés par des digues hautes, perpendiculaires à celle-ci.

L'amont du bassin versant n° 9 est très touché par le nombre d'ouvrage et par l'urbanisation (autoroute, ferme industrielle, etc.). L'aval est vierge avec un boisement rivulaire très humide, les eaux de ce bassin drainent directement vers le Vicoin. A l'échelle du bassin versant, aucun enjeu majeur n'est identifié.

Le bassin versant n°10 possède très peu d'ouvrages (11) par rapport à sa superficie, il n'y aucun enjeu particulier identifié.

Le bassin versant n°8 a beaucoup souffert de la crue du 9 juin 2018, il est identifié comme enjeu fort notamment dans sa partie aval où certaines habitations sont construites sur le cours d'eau. Le nombre d'ouvrages successifs est considérable. Les inondations peuvent provoquer de gros dégâts sur les habitations, les voies routières ou encore sur la vie humaine. Ce bassin versant doit être une priorité pour la commune de La Brûlatte afin de réduire le risque.

Un bureau d'étude va être missionné pour évaluer la gravité du risque sur ce bassin versant. Ils procéderont pour cela à une étude d'inondabilité, qui prendra en compte tous les paramètres nécessaires. Certains paramètres seront récupérés de la base de données créée (géolocalisation, type d'ouvrage, diamètre etc.).

## 6. Analyse des résultats :

Les résultats ci-dessus semblent logiques : plus la période de retour de la crue est importante, moins il y a d'ouvrages à accepter le débit. Cependant, le nombre d'ouvrages (43%) qui acceptent la période de retour 100 ans paraît conséquent. Il est important de rappeler que les valeurs indiquées sont théoriques et demandent à être réévaluées et remises en contexte par rapport aux caractéristiques géologiques du milieu, à la capacité de rétention et d'infiltration des sols, à la prise en compte des eaux pluviales (routes, fossés etc.), à la dynamique générale hydraulique du cours d'eau, ainsi qu'à la rugosité des bassins versants.

Aux vues des résultats présentés, on peut noter que les calculs hydrauliques effectués ont produit des résultats contredisant les constatations établies sur le terrain, pendant la période de crue, et au contact des riverains et élus.

On constate donc un décalage important entre les zones préalablement considérées comme les zones à fort enjeu, et celles mises en avant par les résultats des calculs hydrauliques.

En revanche, les enjeux identifiés au départ sur ces zones ne l'ont été qu'à partir de la crue du 9 juin, laquelle était largement supérieure à Q100. On peut donc en conclure qu'elles peuvent être considérées comme des zones à enjeu, dans le contexte d'un événement exceptionnel, comme celui du 9 juin 2018.

Une loi de Gumbel aurait pu être utilisée pour définir plus précisément les zones à enjeu lors de cet épisode. La méthode rationnelle était également une solution envisageable, car nous savions la précipitation de la crue du 9 juin (180 mm en 2h, soit une moyenne de 90mm/h).

Cependant, nous ne pouvions nous baser que sur des évènements historiques pour déterminer la nature du débit réel dans les cours d'eau lors de la crue. Cela ne permettait donc pas d'aller au bout de l'analyse. De plus, les compétences hydrologiques étaient trop restreintes pour pousser plus loin les calculs. Il convient de préciser ici que cette démarche, allant au-delà du simple inventaire des ouvrages, ne faisait pas partie de la commande initiale.

Les analyses et enjeux de cette étude ne s'appuieront pas sur les calculs hydrauliques effectués car beaucoup trop d'erreurs ont été remarquées. Nous allons les aborder dans la partie suivante.

## 7. Limites et incertitudes :

La méthode de travail n'a pas toujours été la plus adaptée face à la situation de l'étude, de plus, de nombreux biais et incertitudes sont présents. Par conséquent les calculs hydrauliques vont dépendre de toutes ces limites.

Paramètres	Commentaires
Fiche de suivi plan d'eau	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Seulement des données qualitatives (respect des normes), pas de surfaces, de volumes, ou de respect du DMR</li> <li>- Description physique des ouvrages</li> <li>- Difficile d'apprécier certains critères par la mise en eau des plans d'eau</li> </ul>
Fiche de suivi des ouvrages hydrauliques	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aucune prise en compte de la rugosité du cours d'eau (arbres, feuilles, embâcles, etc.) La prise en compte de la rugosité du cours d'eau aurait permis de discuter de la capacité de certains ouvrages à accepter des débits exceptionnels. En effet, les caractères structurels de l'ouvrage sont peut-être corrects, mais son entretien conditionne son impact à des débits anormalement élevés. Des embâcles en nombre trop important ou de nature particulière modifient la dynamique de la crue de façon très conséquente parfois.</li> <li>- Le colmatage des ouvrages n'a pas été intégré,</li> <li>- Pas de prise en compte des réseaux d'eaux pluviales,</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pas de prise en compte de la dynamique de l'eau en aval des ouvrages, donc pas de prise en compte par exemple des radiers tenant une cote altimétrique</li> <li>- Les digues d'étang n'ont pas été prises en compte</li> </ul>
Bassin versant	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pas de connaissance sur la capacité de stockage et d'infiltration des sols, les analyses géologiques effectuées ayant uniquement permis de comprendre le comportement de l'eau par rapport à la nature de la roche mère sur la zone étudiée</li> <li>- Aucune connaissance sur la texture du sol</li> </ul>

**Tableau 11 : Limites du protocole**

Paramètres	Commentaires
Le laser + mire	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pas de vérification sur un banc d'essai, cotes biaisées,</li> <li>- Un cran de sécurité endommagé, possibilité de lire la mauvaise côte,</li> </ul>
GPS	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Précis sur un rayon de 13 mètres en général</li> </ul>
Représentation photographique	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tous les ouvrages n'ont pas été pris en photo</li> </ul>

**Tableau 12 : Limites matériel**

Paramètres	Commentaires
Ecriture	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Erreur d'écriture ou des oublis sur certains paramètres (fiches de terrain)</li> </ul>

Lecture	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Erreur de lecture sur la mire, nécessité de reprendre les cotes</li> </ul>
Compétences	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Certaines compétences n'étaient pas acquises pour utiliser certains logiciels (HEC_RAS, logiciel de modélisation)</li> <li>- La maîtrise des méthodes de calcul hydraulique</li> </ul>
Le temps	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Certains points auraient mérité d'être poussés mais le temps ne le permettait pas</li> <li>- Retranscription des données sur le logiciel Qgis,</li> </ul>
Le regard	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Appréciation des critères différents selon l'opérateur</li> <li>- Certains ouvrages inaccessibles ou oublié par le fait d'une végétation trop importante ou encore des ouvrages autoroutiers</li> </ul>
La concentration	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Retranscription des données sur le logiciel Qgis,</li> <li>- Calculs hydrauliques sur Excel</li> </ul>

**Tableau 13 : Limites humaines**

<b>Paramètres</b>	<b>Commentaires</b>
Bassin versant	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Précision de la couche MNT (courbes de niveau) pour la délimitation des bassins versants,</li> <li>- Bassins versants tracés à la main</li> </ul>
Calcul du coefficient de ruissellement	

	<ul style="list-style-type: none"> <li>- La fusion des deux couches « RPG et OCC_SOL » (superficie des entités incohérente)</li> </ul>
Les points GPS	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Imprécision des points GPS (ouvrages hydrauliques et plans d'eau) sur la carte</li> </ul>
Le cours d'eau	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Marge d'erreur sur les cours d'eau classés au titre de la loi sur l'eau (<b>DDT</b>)</li> </ul>
Précision des couches « RPG et OCC_SOL »	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pas de prise en considération de la rotation des cultures</li> </ul>

**Tableau 14 : Limites du Système d'Information Géographique**

L'hydrologie n'est pas une science exacte, c'est pour cela qu'il est nécessaire de multiplier les calculs afin d'affiner au mieux les résultats attendus.

Paramètres	Commentaires
Le temps de concentration	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Les différentes méthodes existantes ne se basent pas sur les mêmes caractéristiques,</li> <li>- Ce calcul dépend de la surface du bassin versant,</li> <li>- Le résultat a beaucoup d'importance pour le reste des calculs</li> </ul>
Le coefficient de ruissellement	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dépend d'une bonne manipulation des couches « RPG, OCC_SOL »,</li> <li>- Calcul du coefficient pondéré dépend du calcul des surfaces des entités sur le logiciel <b>SIG</b></li> </ul>
La loi de Myer	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Le débit extrapolé ne reflète pas forcément l'hydrologie des bassins versants étudiés</li> </ul>
La formule rationnelle	

	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dépend du calcul de l'intensité de pluie, du coefficient pondéré et de la surface du bassin versant</li> </ul>
La moyenne formule rationnelle/loi de Myer	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Robustesse de la donnée ?</li> </ul>
Manning Strickler	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dépend des relevés de terrain, notamment la pente de l'ouvrage qui peut faire varier considérablement le débit capable,</li> <li>- Certains ouvrages ne bénéficiaient pas de pente, la pente générale du cours d'eau leur a été attribuée. Cela ne reflète pas la pente de l'ouvrage.</li> </ul>

**Tableau 15 : Limites des calculs hydrauliques**

Paramètres	Commentaires
Biodiversité	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dérangement de la faune et piétinement de la flore</li> </ul>
Modification du territoire	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Les eaux pluviales,</li> <li>- L'occupation du sol (imperméabilisation des sols, mise en place de nouveaux ouvrages, plantation d'arbres, mise en culture, etc...),</li> <li>- Gestion quantitative de l'eau sur la commune</li> </ul>
Politique	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Volonté politique de prendre en compte les travaux</li> </ul>

**Tableau 16 : Limites autres paramètres**

## 8. Perspectives/discussion :

Les cours d'eau ont subi le remembrement dans les années 1980 avec l'enlèvement des haies, la canalisation des cours d'eau, le busage total ou partiel des affluents. Dans cette même période, l'urbanisation a connu une révolution avec la construction des autoroutes, lignes de chemin de fer et routes nationales, départementales, voire communales.

Ces deux facteurs ont énormément déclassé les cours d'eau d'un point de vue écologique, ceci a provoqué la dégradation des habitats aquatiques (zones humides, ripisylve, cours d'eau) :

- Perte massive d'espèces faunistiques (poissons, invertébrés, amphibiens, reptiles, oiseaux, etc.) et floristiques (hélrophytes, Macrophytes, phytoplanctons, etc.),
- Moins de connexions entre les habitats (écotone), trame verte et bleu,
- Défavorise la continuité écologique (libre circulation du poisson et transit et sédimentaire),
- Erosion des sols (colmatage des fonds) + macro et micro pollution (déchets, pesticides, etc.),
- Hydromorphologie et géomorphologie (perte de la mobilité latérale des cours d'eau),
- Dégradation des facteurs abiotiques (température, lumière, oxygène, Ph, conductivité, dureté, etc.)

Mais aussi d'un point de vue hydrologique qui augmente le risque inondation :

- Diminution ou perte du champ d'expansion des crues,
- Diminution des temps de concentration,
- Augmente les pentes locales ou générales
- Moins de connexions avec les nappes, cours d'eau, zones humides,
- Favorise la rétention à des endroits localisés (ouvrages sous dimensionné)

Aux vues du travail préparatoire à l'étude d'inondabilité qui a été généré, il serait préférable de reprendre et de vérifier les présents résultats, notamment sur la partie des calculs hydrauliques qui nécessite un niveau ingénieur afin d'assurer une précision optimale. « **Toutes les populations n'ont pas les mêmes capacités de prévention ou de conscience des risques** » (DGPR Ministère de l'Écologie, 2014). C'est pourquoi l'approfondissement de ce travail permettra ainsi de proposer des moyens de lutter contre les inondations dans cette commune et d'évaluer le risque. Notamment sur les points « rouge » identifiés comme étant à risque pour la vie humaine, mais aussi à risque pour le patrimoine et le matériel. Il serait intéressant de faire un bilan économique, administratif et technique simplifié du territoire qui gravite autour de la commune. Ce bilan serait bénéfique pour connaître les fonds dont dispose la commune et les structures pouvant accompagner dans la mise en œuvre de travaux éventuels.

Sans même connaître la suite du dossier, plusieurs propositions d'aménagements peuvent être faites pour améliorer la vie de la commune en période de crue. Les propositions sont émises simplement à titre indicatif car il est nécessaire d'évaluer leur faisabilité d'un point de vue technique, foncier et économique.

Proposition	Avantage	Inconvénient
Remplacement des ouvrages routiers sous dimensionné	- Limite la rétention dans les endroits vulnérable,	- Possibilité d'inonder plus rapidement l'aval, - Coût considérable
Remplacement des ouvrages dans les fonds de vallée ou dans les bois	- Favorise la rétention dans les prairies	- Trouver un accord avec les propriétaires, - Accès difficile à certaines parcelles
Création de bassin de rétention	- Tamponne une quantité d'eau (selon la taille du bassin)	- Trouver le foncier nécessaire, - Coût considérable
Restauration de zones humides	- Tamponne une quantité d'eau,	- Trouver un accord avec les propriétaires,

	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Soutien de débit d'étiage,</li> <li>- Réservoir de biodiversité,</li> <li>- Filtre à macro et micro polluants</li> </ul>	
Réimplantation du bocage essentiellement perpendiculaire à la pente	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Augmente le temps de concentration,</li> <li>- Réservoir de biodiversité,</li> <li>- Assure une connexion avec les autres milieux,</li> <li>- Filtre à macro et micro polluant</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Trouver un accord avec les propriétaires,</li> </ul>

**Tableau 17 : Pistes d'aménagements**

8.1. Suite du témoignage de Christian Raimbault, vice-président du JAVO, élu et agriculteur sur la commune de La Brûlatte :

**Qu'avez-vous décidé de faire pour réagir ?**

*« Avec le conseil municipal, nous avons décidé de provoquer une réunion permettant à la population de s'exprimer. La tension était toujours présente, les gens se sont exprimés sur les Assurances, leurs troubles psychologiques, la peur, etc..., certain ont même préféré vendre leur maison. Aujourd'hui, les sinistrés sont très inquiets, à la moindre goutte d'eau ou alerte de la météo, ils appellent la mairie. Au cours de l'année 2019, le conseil municipal prendra une décision quant aux travaux à entreprendre. Je me demande comment la commune va financer les travaux... ? Est-ce que la PI (Prévention inondations) ne devrait pas intervenir au sein du JAVO pour aider à financer les petites communes».*

**Qu'est-ce que la commune à réaliser sur la commune après la crue ?**

*« Le bassin d'orage a été curé, nous avons évoqué la possibilité de maintenir un entretien (coupe, exportation). On a commandé une étude d'inondabilité par un bureau d'étude, et toi l'apprenti pour faire un inventaire d'ouvrages hydrauliques sur la commune. Une échelle limnimétrique va être posée pour montrer le pic de crue du 9 juin afin que la population puisse l'observer. Je pense que c'est important d'avoir des repères de crue. Quand le bureau d'étude et ton travail sera achevé, je pense qu'il faudra passer à l'acte !! ».*

La crue du 9 juin 2018 que la commune de La Brûlatte à subit figure parmi des évènements exceptionnel et traumatisant pour la population et les élus. Cet épisode n'a heureusement pas généré des blessés ou des victimes. Néanmoins de nombreuses circonstances similaires sont observées ces dernières années dans le sud, la Vendée, la Manche et beaucoup d'autres endroits. A présent la commune connaît le risque quel encours avec ce genre d'épisode, il appartient désormais aux collectivités locales en charge de la lutte contre les inondations de se positionner sur l'investissement à venir.

## 9. Conclusion :

Les inondations est une problématique qui devient de plus en plus importante pour les collectivités locales. Certaines communes sur le bassin versant du Vicoin ont été fortement touchées par des crues exceptionnelles (2001, 2002, 2012, 2018) et 1995 considéré comme la crue de référence en Mayenne. La prise de conscience des élus est réelle avec l'envie de ne plus être inondés, ou du moins de réduire le risque, et de mieux informer les habitants. Cependant, l'urbanisation ne cesse de s'accroître sur les territoires et elle est présente de plus en plus dans les lits majeurs des cours d'eau.

Le travail confié consistait à réaliser un inventaire des ouvrages hydrauliques sur la commune de La Brûlatte et d'identifier les enjeux face à des problématiques d'inondations. Cette approche a été traitée à l'aide de calculs hydrauliques simplifiés, afin de connaître les débits capables de chaque ouvrage mais aussi leur capacité à accepter une crue (Q5, Q10, etc.). Ceci a permis de posséder une base de données complète (fiche d'identité par ouvrage, calculs hydrauliques) qui est à l'origine d'une phase **Avant-Projet (AVP)**. Des enjeux majeurs ont été localisés afin qu'un bureau d'études puisse s'appuyer sur mon travail et par la suite réaliser une étude d'inondabilité plus complète.

Le travail est valorisé auprès de la commune en Conseil municipal, destinataire du rapport. Cela permettra de présenter l'inventaire des ouvrages ainsi que les enjeux identifiés. A la suite de cette présentation, une discussion sera apportée afin de se concerter et de connaître les ambitions et les suites à donner.

Le syndicat mixte du **JAVO** doit dans ce projet apporter son expertise technique et administrative. Aucune taxe n'est levée à ce jour par les **EPCI** fiscalités propre pour la compétence **Prévention des Inondations (PI)**. Le Syndicat doit jouer un rôle important dans l'accompagnement des communes face à de tels événements, jusqu'où ira l'ambition ?

L'autonomie que l'on m'a offert à su être bénéfique pour mon expérience car j'ai pu me rendre compte de la complexité du travail. De plus, j'ai appris beaucoup sur la mise en place d'une étude et les exigences que ça demande.

<b>Tâches/action confiées</b>	<b>Savoir</b>	<b>Savoir-faire</b>	<b>Savoir être</b>
Analyse bibliographique	<ul style="list-style-type: none"><li>- Pas toujours simple à trouver, prend du temps</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Prise de note,</li><li>- Analyse rapide (dossiers, livres, etc.)</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Ne pas copier la source,</li><li>- Honnêteté avec les auteurs des ouvrages</li></ul>

Organisation du terrain	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Prend beaucoup de temps</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Utilisation du matériel, Se repérer sur une carte (accès au site, localisation, etc.)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Savoir communiquer avec les riverains lors des rencontres (rassurer, explication de l'étude, etc.)</li> </ul>
Traitement d'une base de données, cartographies	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Complexité dans sa mise en œuvre (compréhensible, organisation, etc.),</li> <li>- Importance des métadonnées,</li> <li>- Rigueur dans la présentation des cartes (titre, auteur, légende, échelle, orientation du nord, etc.)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Création de la base de données et de cartes,</li> <li>- Mise à disposition des métadonnées pour le futur personnel,</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Rigueur et précision dans la réalisation des cartes</li> </ul>
Présentation des résultats	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Hiérarchie dans la présentation (résultats globaux puis plus précis ensuite),</li> <li>- Permet de comprendre l'intérêt de la méthode</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mise en valeur des résultats,</li> <li>- Esprit d'analyse</li> </ul>	
Analyse critique du travail	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Important de se remettre en question sur le travail effectué</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Trouver des solutions aux problèmes rencontrés,</li> <li>- Prise de recul sur le travail</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Accepter les erreurs et l'aide apporté (maitre d'apprentissage, tuteur pédagogique, universitaire, collègues, etc.)</li> </ul>

**Tableau 18 : Synthèse des actions confiées**

## 10. Remerciements :

Je tiens à remercier le syndicat mixte du **JAVO** de m'avoir confié une mission de telle taille qui m'a appris beaucoup de choses sur la mise en place d'un protocole, l'organisation d'une ou plusieurs méthodes, l'utilisation de matériel, et les calculs hydrauliques. Mon maître d'apprentissage Boileau Nicolas et mon collègue Lucas Yohann ont su m'apporter des éléments importants pour remplir au mieux ma mission. De plus, je remercie la mairie de La Brûlatte qui m'a relayé des documents et des photos pour mieux comprendre la dynamique de la crue du 9 juin 2018. Raimbault Christian, pour son témoignage en tant que vice-président du **JAVO**, élu et agriculteur sur la commune de La Brûlatte.

Mon tuteur pédagogique Poizat Julien, l'université Lyon 2 et le lycée Agrotec de Vienne pour m'avoir donné des conseils afin de réaliser ce dossier.

Merci à l'ingénieur en hydraulique Desbordes Charles pour la journée de « formation » aux calculs et aux différents logiciels existant pour la modélisation des crues.

Je remercie vivement mon ami Paul Dellepiani qui se forme actuellement en licence de **SIG** à l'IUT d'Aix les bains, j'ai énormément progressé sur certaines fonctions avec le logiciel Qgis et sur la création de base de données.

Merci au stagiaire Enzo Germerie que le syndicat mixte du **JAVO** m'a mis à disposition pour réaliser le terrain, il a su être professionnel et a été d'une grande aide pour cette phase.

## **Bibliographie :**

**Andries Bigot, Août 2011, Inventaire des ouvrages hydrauliques et caractérisation de leur impact sur la continuité écologique dans le cadre du SAGE Cher aval.**

**AREAS. 11 juin 2013, formation technique notions de base en Hydrologie et modélisation de bassin versant, 35 p.**

**DGPR Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie. Avec la participation active de la commission mixte inondation, Édition octobre 2014, Stratégie National de Gestion du Risque Inondation, 3 p.**

**Hydroconcept, Mai 2017, étude hydraulique pour l'aménagement d'une passerelle sur la « Paillardière » à Ahuillé.**

**Hydroconcept, Août 2018, Dimensionnement hydraulique d'un ouvrage de franchissement du ruisseau de la « Pelluere » sur la commune du Genest-Saint-Isle.**

**Hydroconcept, Janvier 2018, Etude de l'impact, de l'aménagement, du passage busé du « Petit Rezé » sur les crues.**

**Hydroconcept, Février 2018, Etude d'inondabilité sur la commune du Bourgneuf La Forêt.**

**Lucie Wegener. (Sous la direction d'Eve Le Pommelet), Septembre 2010, Inventaire géo référencé et diagnostic des ouvrages hydrauliques, Bassin versant de l'or.**

**Nicolas Stämpfli. Centre Brace pour la gestion des ressources hydriques (Université McGill) Infographie : Helen Cohen Rimmer (HCR Photo), avril 2007, Évaluation des débits de pointe pour les petits bassins versants agricoles du Québec, 1 p.**

**Pauline Carré. octobre 2011, Création d'une base de données sur les ouvrages hydrauliques à l'échelle du bassin versant de la Vilaine, Rennes.**

## **Sitographie :**

Recensement de la commune :

<http://www.linternaute.com/ville/la-brulatte/ville-53045/demographie>

Cours d'eau et réglementation :

<http://www.mayenne.gouv.fr/Politiques-publiques/Environnement-eau-et-biodiversite/Eau/La-carte-des-cours-d-eau-pour-la-police-de-l-eau-en-Mayenne>

Illustration des inondations :

<https://www.google.fr/search?q=inondation+la+brulatte+ouest+france&source>

Station hydrométrique de Nuillé-Sur-Vicoïn

<http://www.hydro.eaufrance.fr/stations/M3504010&procedure=fiche-station>

Google Maps :

<https://www.google.fr/maps?biw=1600&bih=764&q=google+maps>

Géo portail :

<https://www.geoportail.gouv.fr/>

## **Table des tableaux et matières :**

- Figure 1 : Le département de la Mayenne**
- Figure 2 : Le Vicoin en Mayenne**
- Figure 3 : Débit moyen des cours d'eau du département**
- Figure 4 : Localisation du JAVO**
- Figure 5 : Organigramme du JAVO**
- Figure 6 : Hydrologie du bassin versant du Vicoin**
- Figure 7 : Débit moyen annuel du Vicoin**
- Figure 8 : Profil en travers du Vicoin**
- Figure 9 : Occupation du sol sur le territoire du Vicoin**
- Figure 10 : Localisation de l'étude**
- Figure 11 : Démographie de la zone d'étude**
- Figure 12 : Occupation du sol de La zone d'étude**
- Figure 13 : Géologie de la zone d'étude**
- Figure 14 : Débit du mois de juin 2018**
- Figure 15 : Schéma d'une passerelle**
- Figure 16 : Schéma d'un pont voute**
- Figure 17 : Schéma d'un pont cadre**
- Figure 18 : Schéma d'une buse**
- Figure 19 : Exemple de calcul du coefficient de ruissellement**
- Figure 20 : Localisation des cours d'eau**
- Figure 21 : Localisation des bassins versants**
- Figure 22 : Localisation des ouvrages hydrauliques**
- Figure 23 : Répartition des ouvrages hydrauliques sur la zone d'étude**
- Figure 24 : Localisation des plans d'eau**
- Figure 25 : Capacités d'absorption des ouvrages hydrauliques**
- Figure 26 : Ouvrages à enjeux**

**Tableau 1 : Fiche d'identité du JAVO**

**Tableau 2 : Liste du matériel**

**Tableau 3 : métadonnées des ouvrages**

**Tableau 4: Métadonnées des plans d'eau**

**Tableau 5 : Données météo France (Coefficient de Montana)**

**Tableau 6 : Recensement des ouvrages hydrauliques**

**Tableau 7 : Répartition des ouvrages hydrauliques par bassin versant**

**Tableau 8 : Recensement des buses**

**Tableau 9 : Répartition des plans d'eau par bassin versant**

**Tableau 10 : Capacités d'absorption des ouvrages hydrauliques**

**Tableau 11 : Limites du protocole**

**Tableau 12 : Limites du matériel**

**Tableau 13 : Limites humaine**

**Tableau 14 : Limites du Système d'Information Géographique**

**Tableau 15 : Limites des calculs hydrauliques**

**Tableau 16 : Limites autres paramètres**

**Tableau 17 : Pistes d'aménagements**

**Tableau 18 : Synthèse des actions confiées**

## **Annexes :**

**Annexe 1 :** Fiche ouvrage

**Annexe 2 :** Fiche plan d'eau

**Annexe 3 :** calculs hydraulique débit de pointe

**Annexe 4 :** Exemple de débit capable (145) Manning Strickler

**Annexe 5 :** exemple de Tableau récapitulatif des ouvrages acceptant une crue

**Annexe 1** : Fiche ouvrage

## ***Fiche Ouvrages***

### **Localisation**

**Commune** : La Brûlatte

**Cours d'eau** :

**BV** :

**Coordonnées GPS** :

**X** :

**Y** :

### **Caractéristique de l'ouvrage**

#### **Type d'ouvrage (section) :**

<b>Pont (voute)</b>	<b>Largeur :</b>	<b>Longueur :</b>	<b>Hauteur :</b>
<b>Pont cadre</b>	<b>Largeur :</b>	<b>Longueur :</b>	<b>Hauteur :</b>
<b>Buse</b>	<b>Diamètre :</b>		
<b>Passerelle</b>	<b>Largeur (haut) :</b>	<b>Largeur (bas) :</b>	<b>Longueur :</b>
<b>Surface de contact</b>	<b>Radier :</b>	<b>Paroi :</b>	
<b>Largeur du haut de l'ouvrage :</b>			
<b>Longueur du haut de l'ouvrage :</b>			
<b>Hauteur du haut de l'ouvrage :</b>			
<b>Largeur du lit mouillé (amont/aval) :</b>			
<b>Hauteur d'eau :</b>			
<b>Hauteur de berge RG :</b>			
<b>Hauteur de berge RD :</b>			
<b>Désordres/Pathologie :</b>			

### **Pente**

**Longueur de la station** :

**Côte repère**

**Amont (ouvrage) :**

**Aval (ouvrage) :**

### **Occupation du sol (dominance amont)**

Agricole

Urbain

Naturel

# **Fiche plan d'eau**

## **Localisation :**

**Commune :** La Brûlatte

**Cours d'eau :**

**Coordonnée GPS :**

X :

Y :

## **Caractéristiques du Plan d'eau :**

**Déversoir de crue :** Oui Non

**Si Oui :**

**Longueur :**

**Largeur du haut :**

**Largeur du bas :**

**Hauteur :**

**Usage :** Pêche Rien

**Vanne de décharge :** Oui Non

**Grille pour le poisson :** Oui Non

**Pathologie :** Oui Non

**Si oui, laquelle :**

### Annexe 3 : Calculs du débit de pointe de chaque bassin versant

#### Intensité de pluie 5 ans (I5=Q5)

Br	Longueur hydraulique (M)	Surface M²	Surface HA	Surface KM²	Cote haut	Cote bas	Peate (m/m)	TC Passigni (min)	TC Yeatura (min)	TC Irstea (min)	TC moyen (min)	Tc reteaux (min)	H (mm)	I (mm/heure)	CR	Formule rationnelle (M3/s)	crupedix (M3/s)	Myer (M3/s)	Rezeaux méthodes (M3/s)
1	1084	1037343	103,7	1,0	188,5	141,89	0,043	32,6	37,4	42,2	35,0	35,0	22,8	33,1	46,737	0,23		0,6	1,2
2	230,6	215451	21,5	0,2	163	132,69	0,104	8,0	11,0	23,4	9,5	9,5	10,3	65,2	0,14	0,4		0,2	0,3
3	1910	345279	34,5	0,3	163	123,59	0,021	55,1	51,6	40,8	53,3	53,3	20,6	23,2	0,14	0,7		0,6	0,6
4	382,5	516339	51,6	0,5	150,1	106	0,115	11,1	16,1	32,5	13,6	13,6	12,4	54,6	0,13	0,8		0,3	0,6
5	1508	1011552	101,2	1,0	161	100,5	0,040	37,3	38,3	41,8	37,8	37,8	13,1	30,4	0,15	1,0		0,6	0,8
6	4129	5467439	546,7	5,5	186,6	100,19	0,021	127,0	123,2	78,7	125,1	125,1	24,8	11,9	0,15	2,2		2,3	2,2
7	501,2	563640	56,4	0,6	148,6	100,9	0,095	13,8	18,5	33,6	16,2	16,2	15,3	59,0	0,17	1,3		0,4	0,8
8	2343,9	3308861	330,9	3,3	181,39	95,19	0,029	81,1	81,0	65,2	81,1	81,1	22,6	16,7	0,18	2,2		1,5	1,9
9	2800	4209572	421,0	4,2	141	100,09	0,015	122,3	129,3	71,4	125,8	125,8	24,8	11,8	0,17	1,9		1,8	1,9
10	6127	6000000	600,0	6,0	192,39	103,8	0,013	186,1	160,8	81,5	173,4	172,8	26,6	9,2	0,19	2,3		2,4	2,4

#### Intensité de pluie décennale (I10=Q10)

Br	Longueur hydraulique (M)	Surface M²	Surface HA	Surface KM²	Cote haut	Cote bas	Peate (m/m)	TC Passigni (min)	TC Yeatura (min)	TC Irstea (min)	TC moyen (min)	Tc reteaux (min)	H (mm)	I (mm/heure)	J10 24h (mm)	CR	Formule rationnelle (M3/s)	crupedix (M3/s)	Myer (M3/s)	Rezeaux méthodes (M3/s)	
1	1084	1037343	103,7	1,0	188,5	141,89	0,043	32,6	37,4	42,2	35,0	35,0	22,8	33,1	46,737	0,23	2,1		0,53	0,7	1,4
2	230,6	215451	21,5	0,2	163	132,69	0,104	8,0	11,0	23,4	9,5	9,5	12,3	77,9	22,312	0,14	0,5		0,09	0,2	0,4
3	1910	345279	34,5	0,3	163	123,59	0,021	55,1	51,6	40,8	53,3	53,3	24,7	27,8	46,737	0,14	0,8		0,49	0,7	0,7
4	382,5	516339	51,6	0,5	150,1	106	0,115	11,1	16,1	32,5	13,6	13,6	14,8	65,5	22,312	0,13	1,0		0,07	0,4	0,7
5	1508	1011552	101,2	1,0	161	100,5	0,040	37,3	38,3	41,8	37,8	37,8	23,1	36,7	46,737	0,15	1,2		0,52	0,7	1,0
6	4129	5467439	546,7	5,5	186,6	100,19	0,021	127,0	123,2	78,7	125,1	125,1	23,2	14,0	46,737	0,15	2,6		1,99	2,8	2,7
7	501,2	563640	56,4	0,6	148,6	100,9	0,095	13,8	18,5	33,6	16,2	16,2	16,2	60,2	22,312	0,17	1,3		0,07	0,4	0,9
8	2343,9	3308861	330,9	3,3	181,39	95,19	0,029	81,1	81,0	65,2	81,1	81,1	26,8	19,8	46,737	0,18	2,6		1,33	1,8	2,2
9	2800	4209572	421,0	4,2	141	100,09	0,015	122,3	129,3	71,4	125,8	125,8	23,2	13,9	46,737	0,17	2,2		1,62	2,2	2,2
10	6127	6000000	600,0	6,0	192,39	103,8	0,013	186,1	160,8	81,5	173,4	172,8	31,0	10,8	46,737	0,19	2,7		2,15	3,0	2,9

#### Intensité de pluie vingtennale (I20=Q20)

Br	Longueur hydraulique (M)	Surface M²	Surface HA	Surface KM²	Cote haut	Cote bas	Peate (m/m)	TC Passigni (min)	TC Yeatura (min)	TC Irstea (min)	TC moyen (min)	Tc reteaux (min)	H (mm)	I (mm/heure)	CR	Formule rationnelle (M3/s)	crupedix (M3/s)	Myer (M3/s)	Rezeaux méthodes (M3/s)	
1	1084	1037343	103,7	1,0	188,5	141,89	0,043	32,6	37,4	42,2	35,0	35,0	26,9	46,1	0,23	2,4			0,9	1,7
2	230,6	215451	21,5	0,2	163	132,69	0,104	8,0	11,0	23,4	9,5	9,5	14,2	89,8	0,14	0,6			0,2	0,4
3	1910	345279	34,5	0,3	163	123,59	0,021	55,1	51,6	40,8	53,3	53,3	23,0	32,6	0,14	1,0			0,8	0,9
4	382,5	516339	51,6	0,5	150,1	106	0,115	11,1	16,1	32,5	13,6	13,6	17,2	75,7	0,13	1,1			0,5	0,8
5	1508	1011552	101,2	1,0	161	100,5	0,040	37,3	38,3	41,8	37,8	37,8	27,3	43,3	0,15	1,5			0,8	1,2
6	4129	5467439	546,7	5,5	186,6	100,19	0,021	127,0	123,2	78,7	125,1	125,1	33,7	16,2	0,15	2,9			3,2	3,1
7	501,2	563640	56,4	0,6	148,6	100,9	0,095	13,8	18,5	33,6	16,2	16,2	18,8	69,7	0,17	1,5			0,5	1,0
8	2343,9	3308861	330,9	3,3	181,39	95,19	0,029	81,1	81,0	65,2	81,1	81,1	31,2	23,1	0,18	3,1			2,2	2,6
9	2800	4209572	421,0	4,2	141	100,09	0,015	122,3	130,7	71,3	108,1	130,7	34,0	15,6	0,17	2,5			2,6	2,6
10	6127	6000000	600,0	6,0	192,39	103,8	0,013	186,1	160,8	81,5	173,4	172,8	35,7	12,4	0,19	3,1			3,5	3,3

#### Intensité de pluie trentennale (I30=Q30)

Br	Longueur hydraulique (M)	Surface M²	Surface HA	Surface KM²	Cote haut	Cote bas	Peate (m/m)	TC Passigni (min)	TC Yeatura (min)	TC Irstea (min)	TC moyen (min)	Tc reteaux (min)	H (mm)	I (mm/heure)	CR	Formule rationnelle (M3/s)	crupedix (M3/s)	Myer (M3/s)	Rezeaux méthodes (M3/s)	
1	1084	1037343	103,7	1,0	188,5	141,89	0,043	32,6	37,4	42,2	35,0	35,0	23,3	50,2	0,23	2,7			0,9	1,8
2	230,6	215451	21,5	0,2	163	132,69	0,104	8,0	11,0	23,4	9,5	9,5	15,3	96,8	0,14	0,6			0,3	0,5
3	1910	345279	34,5	0,3	163	123,59	0,021	55,1	51,6	40,8	53,3	53,3	31,4	35,4	0,14	1,0			0,9	1,0
4	382,5	516339	51,6	0,5	150,1	106	0,115	11,1	16,1	32,5	13,6	13,6	19,5	81,8	0,13	1,2			0,5	0,9
5	1508	1011552	101,2	1,0	161	100,5	0,040	37,3	38,3	41,8	37,8	37,8	31,8	50,5	0,15	1,7			0,9	1,3
6	4129	5467439	546,7	5,5	186,6	100,19	0,021	127,0	123,2	78,7	125,1	125,1	36,3	17,4	0,15	3,2			3,5	3,3
7	501,2	563640	56,4	0,6	148,6	100,9	0,095	13,8	18,5	33,6	16,2	16,2	20,3	75,3	0,17	1,6			0,6	1,1
8	2343,9	3308861	330,9	3,3	181,39	95,19	0,029	81,1	81,0	65,2	81,1	81,1	33,7	25,0	0,18	3,3			2,3	2,8
9	2800	4209572	421,0	4,2	141	100,09	0,015	122,3	130,7	71,3	108,1	130,7	36,6	16,8	0,17	2,7			2,8	2,8
10	6127	6000000	600,0	6,0	192,39	103,8	0,013	186,1	160,8	81,5	173,4	172,8	38,3	13,3	0,19	3,4			3,8	3,6

#### Intensité de pluie cinquantennale (I50=Q50)

Br	Longueur hydraulique (M)	Surface M²	Surface HA	Surface KM²	Cote haut	Cote bas	Peate (m/m)	TC Passigni (min)	TC Yeatura (min)	TC Irstea (min)	TC moyen (min)	Tc reteaux (min)	H (mm)	I (mm/heure)	CR	Formule rationnelle (M3/s)	crupedix (M3/s)	Myer (M3/s)	Rezeaux méthodes (M3/s)	
1	1084	1037343	103,7	1,0	188,5	141,89	0,043	32,6	37,4	42,2	35,0	35,0	32,3	55,4	0,23	3,3			1,0	2,0
2	230,6	215451	21,5	0,2	163	132,69	0,104	8,0	11,0	23,4	9,5	9,5	16,6	105,1	0,14	0,7			0,3	0,5
3	1910	345279	34,5	0,3	163	123,59	0,021	55,1	51,6	40,8	53,3	53,3	34,6	39,0	0,14	1,1			0,8	1,0
4	382,5	516339	51,6	0,5	150,1	106	0,115	11,1	16,1	32,5	13,6	13,6	20,2	88,9	0,13	1,3			0,6	1,0
5	1508	1011552	101,2	1,0	161	100,5	0,040	37,3	38,3	41,8	37,8	37,8	32,7	52,0	0,15	1,8			1,0	1,4
6	4129	5467439	546,7	5,5	186,6	100,19	0,021	127,0	123,2	78,7	125,1	125,1	33,7	19,0	0,15	3,5			3,9	3,7
7	501,2	563640	56,4	0,6	148,6	100,9	0,095	13,8	18,5	33,6	16,2	16,2	22,1	81,3	0,17	1,7			0,6	1,2
8	2343,9	3308861	330,9	3,3	181,39	95,19	0,029	81,1	81,0	65,2	81,1	81,1	37,0	27,4	0,18	3,6			2,6	3,1
9	2800	4209572	421,0	4,2	141	100,09	0,015	122,3	130,7	71,3	108,1	130,7	40,0	18,4	0,17	2,9			3,1	3,0
10	6127	6000000	600,0	6,0	192,39	103,8	0,013	186,1	160,8	81,5	173,4	172,8	41,8	14,5	0,19	3,7			4,2	3,9

#### Intensité de pluie Centennale (I100=Q100)

Br	Longueur hydraulique (M)	Surface M²	Surface HA	Surface KM²	Cote haut	Cote bas	Peate (m/m)	TC Passigni (min)	TC Yeatura (min)	TC Irstea (min)	TC moyen (min)	Tc reteaux (min)	H (mm)	I (mm/heure)	CR	Formule rationnelle (M3/s)	crupedix (M3/s)	Myer (M3/s)	Rezeaux méthodes (M3/s)	
1	1084	1037343	103,7	1,0	188,5	141,89	0,043	32,6	37,4	42,2	35,0	35,0	36,5	62,6	0,23	3,3			1,1	2,2
2	230,6	215451	21,5	0,2	163	132,69	0,104	8,0	11,0	23,4	9,5	9,5	18,4	116,2	0,14	0,8			0,3	0,5
3	1910	345279	34,5	0,3	163	123,59	0,021	55,1	51,6	40,8	53,3	53,3	38,9	43,8	0,14	1,3			1,0	1,1
4	382,5	516339	51,6	0,5	150,1	106	0,115	11,1	16,1	32,5	13,6	13,6	22,3	93,8	0,13	1,5			0,6	1,0
5	1508	1011552	101,2	1,0	161	100,5	0,040	37,3	38,3	41,8	37,8	37,8	36,9	58,6	0,15	2,0			1,1	1,5
6	4129	5467439	546,7	5,5	186,6	100,19	0,021	127,0	123,2	78,7	125,1	125,1								

**Annexe 4 :** Exemple de débit capable (145 ouvrages) Manning Strickler

Ouvrage	Surface	RH	SDC	CR	Pente (%)	Pente M/M	Strickler
Bu1	0,07068583	0,075	PVC	90	0,63	0,0063	0,090
Bu2	0,50265482	0,2	Béton	80	0,1	0,001	0,435
Bu3	0,12566371	0,1	Béton	80	0,1	0,001	0,068
Bu4	R	R	R	R	R	R	R
Bu5	R	R	R	R	R	R	R
Bu6	R	R	R	R	R	R	R
Bu7	0,12566371	0,1	Béton	80	0,01	0,0001	0,022
Bu8	R	R	R	R	R	R	R
BU9	0,07068583	0,075	Béton	80	6,29	0,0629	0,252
Bu10	0,07068583	0,15	Béton	80	3,1	0,031	0,281
Bu11	0,00785398	0,025	PVC	90	1,57	0,0157	0,008
Bu12	0,07068583	0,075	Béton	80		0,040	0,201
Bu13	0,12566371	0,1	PVC	90	1,25	0,0125	0,272
Bu1 4	0,78539816	0,25	Béton	80	0,01	0,0001	0,249
Bu15	0,28274334	0,15	Béton	80	R	0,02092759	0,924
Bu16	0,3848451	0,175	Béton	80	1,41	0,0141	1,144
Bu17	0,12566371	0,1	PVC	90	2	0,02	0,345
Bu18	0,12566371	0,1	Béton	80	0,01	0,0001	0,022
Bu19	0,03141593	0,05	PVC	90	R	0,02092759	0,056
Bu20	0,28274334	0,15	Béton	90	1,99	0,0199	1,013
Bu21	0,07068583	0,075	PVC	90	R	0,02092759	0,164
Bu22	R	R	R	R	R	R	R
Bu23	0,07068583	0,075	Béton	80	R	0,02092759	0,145

**Annexe 5 :** exemple de Tableau récapitulatif des ouvrages acceptant une crue (10 bassins versants \* 6 période de retour)

BV6	Surface (Km <sup>2</sup> )		Formule rationnelle (M3/s)	Loi de Myer (M3/s)	Moyenne (M3/s) Formule rationnelle/loi de Myer	1 = oui 2 = non	Nombre d'ouvrage qui accepte
	5,5		2,2	2,26	2,2		
	Ouvrage	Surface KM <sup>2</sup>	Strickler	Débit de pointe	Ouvrage accepte		
	Bu14	5,01	0,249	2,05	2		
	Bu15	4,88	0,924	2,01	2		
	Bu16	4,78	1,144	1,98	2		
	Bu17	0,87	0,345	0,51	2		
	Bu18	0,80	0,022	0,47	1		
	Bu19	0,75	0,056	0,45	1		
	Bu20	0,46	1,013	0,30	1		
	Bu21	0,42	0,164	0,28	2		
	Bu22	0,42	R	0,28			
	Bu23	0,31	0,145	0,22	2		
	Bu24	0,06	0,519	0,06	1		
	Bu25	0,09	0,878	0,08	1		
	Bu26	0,07	0,049	0,07	2		
	Bu27	0,35	0,450	0,24	1		
	Bu28	0,35	0,415	0,24	1		
	Bu29	0,15	0,174	0,12	1		
	Bu69	0,05	0,049	0,05	2		
	PAS1	5,25	6,409	2,13	1		
	PAS2	5,00	1,581	2,05	2		
	PAS3	4,45	3,785	1,87	1		
	PAS4	0,93	0,961	0,53	1		
	PAS5	0,93	1,187	0,53	1		
	PAS6	2,92	1,218	1,33	2		
	PAS7	2,92	2,098	1,33	1		
	PAS8	0,07	1,561	0,07	1		
	PT2	5,36	18,347	2,17	1		
	PT3	5,34	3,516	2,16	1		
	PT4	4,36	5,142	1,84	1		
	PTC3	0,49	1,521	0,32	1		
	PTC4	0,46	0,608	0,30	1		

19/29