



Une ingénierie créative au service des équipements et infrastructures durables



**Direction
Départementale des
Territoires et de la
Mer de l'Hérault**

DÉFINITION DES ZONES INONDABLES (ALÉAS) ET DES ENJEUX DU BASSIN VERSANT DE LA BÉNOVIE

Commune de Saint Bauzille de Montmel

Date : Décembre 2013

Dossier n° : FL34.B.0036

Contact GEI : Grontmij Environnement et Infrastructures
Parc Eureka - 97 rue de Freyr - CS36038 - 34060 Montpellier cedex 02
T +33 (0)4 67 40 90 00 - F +33 (0)4 67 40 90 01 - contact@grontmij.fr

Contact DDTM : DDTM de l'Hérault - SERVICE EAU ET RISQUES
Bât.Ozone - 181 place Ernest Granier - CS60556 - 34064 Montpellier cedex 2
T +33 (0)4 34 46 60 00 - ddtm-contact@herault.gouv.fr

Sommaire

AVANT – PROPOS	5	III. SYNTHÈSE DES RENCONTRES AVEC LES COMMUNES.....	19
I. PRÉSENTATION GÉNÉRALE DU BASSIN VERSANT DE LA BÉNOVIE ET DE SES AFFLUENTS.....	7	III.1. SYNTHÈSE SUR LE BASSIN VERSANT	19
I.1. ZONE D'ÉTUDE.....	7	III.2. SYNTHÈSE DE LA COMMUNE DE SAINT BAUZILLE DE MONTMEL	19
I.2. HYDROGRAPHIE ET HYDROMORPHOLOGIE	7	IV. ANALYSE DES ENJEUX.....	20
I.3. GÉOLOGIE.....	8	IV.1. DÉFINITION	20
I.4. OCCUPATION DES SOLS ET DÉMOGRAPHIE	8	IV.2. MÉTHODOLOGIE.....	20
I.5. CLIMAT	9	IV.3. CARTOGRAPHIE	20
I.6. CRUES HISTORIQUES	9	V. REPÈRES DE CRUES.....	21
I.6.1. Evénements climatiques en cause.....	9	VI. ETUDE HYDROGÉOMORPHOLOGIQUE.....	22
I.6.2. Principales dates de “crues”	9	VI.1. CONTENU ET OBJECTIFS	22
I.6.3. Photographies.....	10	VI.2. PÉRIMÈTRE D'ÉTUDE	22
I.7. ETUDES EXISTANTES.....	11	VI.3. MÉTHODOLOGIE.....	22
I.7.1. Résumé des études consultées	11	VI.3.1. Principes de la cartographie hydrogéomorphologique	22
I.7.2. Données topographiques.....	11	VI.3.2. Les unités actives fonctionnelles	23
II. ETUDE HYDROLOGIQUE.....	12	VI.3.3. Les formes connexes	23
II.1. PRÉAMBULE	12	VI.3.4. Prise en compte des aménagements et de l'occupation des sols	23
II.2. CARACTÉRISTIQUES PHYSIQUES DU BASSIN VERSANT	12	VI.4. DIFFICULTÉS ET LIMITES DE L'APPROCHE.....	23
II.3. PLUVIOMÉTRIE.....	12	VI.4.1. Généralités.....	23
II.3.1. Choix de la pluviométrie de référence.....	12	VI.4.2. Cas particulier du bassin versant de la Bénovie	23
II.3.2. Les pluies de projet.....	13	VI.5. CARTOGRAPHIES	24
II.3.3. L'épisode des 8 et 9 septembre 2002	14	VI.5.1. Commentaire général.....	24
II.4. LE MODÈLE PLUIE DÉBIT : ATHYS.....	15	VI.5.2. Commentaire propre à la commune de Saint Bazille de Montmel.....	24
II.4.1. Le modèle utilisé : ATHYS (sous sa version couplée avec Hydrokit : HYDRATHYS)	15	VII. DÉTERMINATION DES ZONES DEVANT FAIRE L'OBJET D'UNE MODÉLISATION DETAILLÉE	26
II.4.2. La modélisation pluie-débit	15	VII.1. PROBLÉMATIQUE CONCERNANT LES BASSINS INFÉRIEURS AU KM².....	26
II.4.3. Le calage du modèle.....	16	VII.2. PRÉSENTATION DES SECTEURS MODÉLISÉS SUR LA COMMUNE DE SAINT BAUZILLE	26
II.4.4. Détermination des débits de crues.....	17		
II.4.5. Analyse et discussion	17		

VIII. LA MODÉLISATION HYDRAULIQUE..... 27

VIII.1. PRINCIPE 27

VIII.2. PRESENTATION DES MODELES 27

 VIII.2.1. La modélisation hydraulique – principes généraux..... 27

 VIII.2.2. Le modèle 1D 27

 VIII.2.3. Le modèle 2D 27

VIII.3. LES DONNEES TOPOGRAPHIQUES 27

VIII.4. CONSTRUCTION DES MODELES..... 28

VIII.5. CONDITIONS AUX LIMITES 30

VIII.6. PROCEDURE DE CALAGE DES MODELES 31

IX. RÉSULTATS ET CARTOGRAPHIE – CARACTÉRISATION DE L’ALÉA INONDATION..... 32

IX.1. LES RESULTATS 32

IX.2. CARACTERISATION DE L’ALEA INONDATION SUR LA ZONE D’ETUDE 32

 IX.2.1. Principes généraux 32

 IX.2.2. Secteur ayant fait l'objet de la modélisation hydraulique 32

 IX.2.3. Secteur uniquement couvert par l’hydrogéomorphologie 33

ANNEXES..... 35

Liste des annexes

N°	TITRE
1	Localisation géographique
2	Contexte géologique
3	Occupation des sols
4	Hydrologie – Points de calcul
5 et 5.9	Documents d’urbanisme
6.9	Cartographie des enjeux
7 et 7.9	Cartographie des zones inondables par analyse hydrogéomorphologique
8	Présentation de HEC-RAS
9	Présentation de SW2D
10	Cartographie des hauteurs d’eau
11	Cartographie de l'aléa inondation
12	Résultats de la modélisation 1D
13	Levés topographiques - Profils en travers

Avant – propos

► Contexte

Suite à la crue du Vidourle de septembre 2002, le Préfet de l'Hérault a prescrit, le 12 octobre 2007, la révision du Plan de Prévention des Risques d'inondation (PPRi) du Moyen Vidourle sur les communes de Saturargues, Saint-Séries, Villetelle et Boisseron.

Pour cette dernière commune, située à la confluence du Vidourle et de la Bénovie, le projet de PPRi a soulevé plusieurs interrogations. Il a notamment été relevé les hypothèses de modélisation retenues, la méthodologie employée pour définir le débit de référence sur la Bénovie, ainsi que la non prise en compte des éventuels effets d'écroulement naturel générés sur le bassin versant de cette rivière en amont de Boisseron.

Dans ce contexte, la DDTM de l'Hérault a jugé opportun de réaliser la présente étude de définition des zones inondables (aléas) et des enjeux, centrée sur le bassin versant de la Bénovie.

► Phases d'études

L'étude s'est articulée autour des phases suivantes :

- Tranche ferme (TF) : Approche générale et connaissance du fonctionnement du bassin versant
- Tranche conditionnelle (TC) : Connaissance et appréciation des risques

Le présent rapport correspond à la Tranche Ferme et à la Tranche Conditionnelle de l'étude, qui avaient pour but de :

- rassembler les éléments nécessaires à la connaissance précise du fonctionnement du bassin versant de la Bénovie ;
- déterminer les débits de référence ;
- recenser et apprécier les principaux enjeux du bassin versant ;
- déterminer les zones inondables par approche hydrogéomorphologique sur l'ensemble du linéaire des cours d'eau des 14 communes étudiées ;
- caractériser l'aléa inondation sur le bassin de la Bénovie.

→ Le présent rapport présente l'étude menée sur le bassin versant de la Bénovie et expose les résultats obtenus sur la commune de Saint Bauzille de Montmel.

I. PRESENTATION GENERALE DU BASSIN VERSANT DE LA BÉNOVIE ET DE SES AFFLUENTS

I.1. Zone d'étude

📍 Annexe n°1 : Localisation géographique

La Bénovie est une rivière héraultaise, affluent du Vidourle en rive droite, drainant une superficie de 92,5 km², dont 2 km² situés dans le département du Gard.

Son bassin versant présente une forme allongée suivant un axe Ouest-Est entre les communes de Saint Mathieu de Trévières et Sommières.

Quatorze communes sont concernées par la présente étude : Beaulieu, Boisseron, Buzignargues, Campagne, Fontanès, Galargues, Garriques, Montaud, Saint-Bauzille-de-Montmel, Saint-Hilaire-de-Beauvoire, Sainte-Croix-de-Quintillargues, Saint-Jean-de-Cornies, Saussines et Vacquières.

La délimitation du secteur d'étude est cartographiée en annexe 1. Il correspond à l'intersection entre le bassin versant de la Bénovie et les limites territoriales des 14 communes étudiées.



Le bassin versant de la Bénovie (en rouge) au sein du bassin versant du Vidourle (en noir)

I.2. Hydrographie et hydromorphologie

La Bénovie prend sa source dans les collines calcaires des garrigues montpelliéraines sur la commune de Sainte-Croix-de-Quintillargues. Suivant les bas reliefs vallonnés, elle parcourt 24.8 km, traverse 7 communes et rejoint le Vidourle, dont elle est le dernier affluent majeur, au niveau du village de Boisseron.

- Cours d'eau principal : **La Bénovie**
- Régime hydrologique : **Pluvial méditerranéen**
- Superficie du bassin versant : **92,5 km²**
- Longueur : **24,8 km**
- Dénivelé : **220 mNGF**
- Pente moyenne : **0,9%**
- Départements traversés : **Hérault (34) ; Gard (30)**
- Communes traversées de l'amont vers l'aval : **Sainte-Croix-de-Quintillargues, Fontanès, Saint-Bauzille-de-Montmel, Buzignargues, Galargues, Saussines, Boisseron**
- Principaux affluents de l'amont vers l'aval : **Ruisseau du Grand Bois, Ruisseau du Crouzet, Vallat de Conque, Ruisseau le Braou, Ruisseau le Budel, Ruisseau du Bois du Four, Ruisseau le Ribansol**
- Exutoire : **Le Vidourle, en rive droite au niveau du village de Boisseron**

L'atlas des zones inondables du bassin versant du Vidourle (CAREX 2004) décrit la vallée de la Bénovie selon trois unités morphologiques distinctes :

- sur la commune de Sainte-Croix-de-Quintillargues, l'extrémité amont de la vallée présente l'aspect d'une petit cuvette à font plat, alimentée par de nombreux vallons qui drainent les collines environnantes ;
- entre Fontanès et Buzignargues, la vallée est encaissée suivant une direction générale N-E – S-O guidée par les échines rocheuses des collines calcaires qui dominent le paysage. Le chenal d'écoulement, bordé d'une ripisylve très dense, recoupe une petite plaine alluviale assez étroite (50 à 100 m de large) ;
- au niveau de Buzignargues, jusqu'à son exutoire, la vallée s'inscrit dans des formations aux faciès variés qui favorisent un élargissement notable de la plaine et créent une morphologie particulière avec une série de petits pointements rocheux qui recoupent le plancher alluvial.

I.3. Géologie

📄 Annexe n°2 : Contexte géologique

Le bassin versant de la Bénovie repose essentiellement :

- à l'Ouest, sur des terrains imperméables du Crétacé inférieur (marnes et calcaires argilo-marneux) ;
- à l'Est, sur des terrains relativement peu perméables de l'Oligocène (formations essentiellement marneuses avec des intercalations de terrains calcaires ou gréseux plus perméables) ;

Au nord du bassin versant ainsi qu'au sud-ouest, l'affleurement des calcaires du Jurassique constitue des petites zones dites "perméables en grand" en raison du phénomène de karstification.

I.4. Occupation des sols et démographie

📄 Annexe n°3 : Occupation des sols

Les 14 communes étudiées sont des communes rurales dont la population permanente varie entre 150 et 1600 habitants.

Leur superficie et leurs caractéristiques démographiques sont détaillées dans le tableau ci-après (*source : Insee*) :

COMMUNE	SUPERFICIE (KM ²)	POPULATION 2008 (HAB)	DENSITE DE POPULATION 2008 (HAB/KM ²)	VARIATION ANNUELLE MOYENNE DE LA POPULATION 1999-2008 (%)
Beaulieu	7.73	1 616	209.1	+ 1.6
Boisseron	7.46	1 479	198.3	+ 2.8
Buzignargues	4.61	255	55.3	+ 2.8
Campagne	4.84	266	55.0	+ 1.4
Fontanès	8.19	249	30.4	+ 2.4
Galargues	11.44	629	55.0	+ 2.2
Garrigues	4.92	152	30.9	+ 2.0
Montaud	12.93	857	66.3	+ 3.7
Saint-Bauzille-de-Montmel	21.53	926	43.0	+ 2.6
Saint-Hilaire-de-Beauvoir	4.69	351	74.8	+ 2.8
Saint-Jean-de-Cornies	3.11	663	213.2	+ 3.7
Sainte-Croix-de-Quintillargues	6.62	575	86.9	+ 0.9
Saussines	6.28	906	144.3	+ 1.7
Vacquières	14.72	418	28.4	+ 4.1
TOTAL	119.07	9 342	78.5 (moyenne)	+2.4 (moyenne)

Les espaces urbanisés sont relativement groupés et ne représentent qu'une faible proportion du bassin versant. Le territoire est dominé par des zones agricoles (essentiellement viticoles), notamment sur sa moitié Est, et des zones naturelles du côté Ouest.

D'après la base de données Corine Land Cover, la répartition des différents types de sol est la suivante :

TYPE DE SOL	POURCENTAGE D'OCCUPATION DU TERRITOIRE
Zones urbanisées	3.4 %
Espaces verts artificialisés, non agricoles	0.3 %
Cultures permanentes	43.7 %
Zones agricoles hétérogènes	7.2 %
Forêts	12.2 %
Milieus à végétation arbustives et/ou herbacées	33.1 %

I.5. Climat

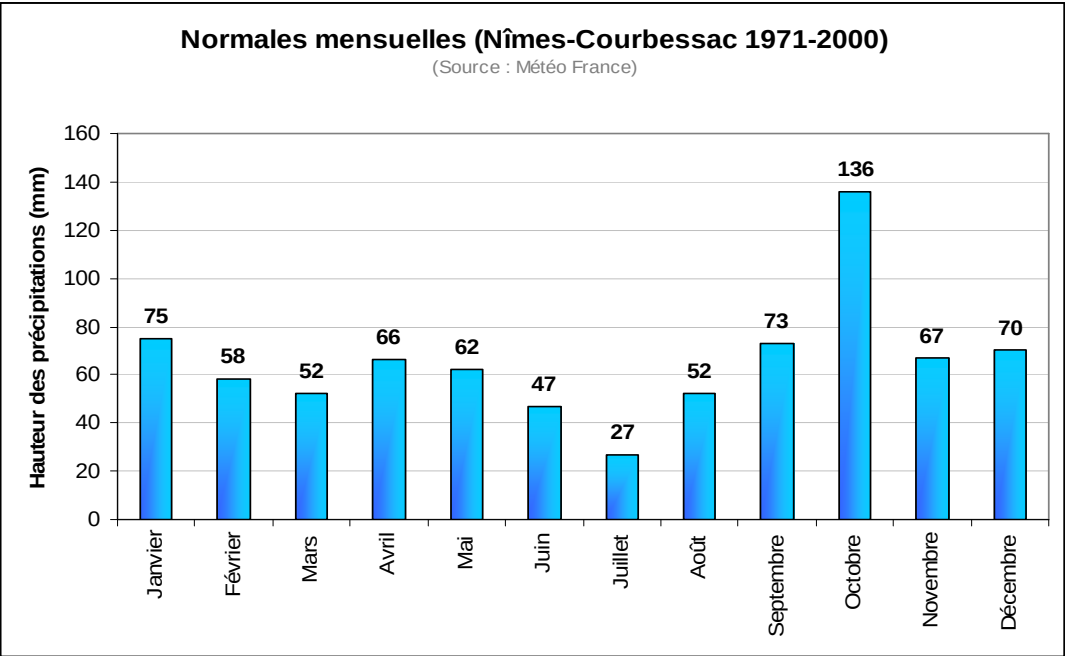
Comme les deux-tiers sud du département de l’Hérault, le bassin versant de la Bénovie est soumis au climat méditerranéen.

Caractérisé par des étés chauds et secs et des hivers doux et humides, le climat méditerranéen est particulièrement contrasté en termes de précipitations. Celles-ci se concentrent durant les saisons intermédiaires, essentiellement en automne et dans une moindre mesure au printemps. Leur caractère souvent orageux, bref et violent, peut-être à l’origine de débordements rapides et importants des cours d’eau.

Le climat méditerranéen est également caractérisé par un gradient de pluviométrie croissant du Sud vers le Nord, lié à la proximité des Cévennes. Au regard de la localisation et des caractéristiques physiques du bassin versant de la Bénovie, les précipitations y sont relativement homogènes.

D’après Météo France, les normales annuelles calculées à partir des données (1971-2000) du poste pluviométrique de Nîmes-Courbessac, représentatif du secteur d’étude bien qu’un peu éloigné, sont de 68 jours de précipitations (>1mm) pour une hauteur totale de 782,9 mm.

Les normales mensuelles sont les suivantes :



I.6. Crues historiques

La plupart des communes du bassin versant de la Bénovie sont peu concernées par le risque inondation, en raison de la construction des villages en hauteur, et des débordements peu importants et non dommageables observés en zones naturelles ou agricoles.

De ce fait, très peu de données sur ce sujet ont été trouvées aux archives départementales et communales, auprès du Syndicat Interdépartemental d’Aménagement du Vidourle, ou encore dans des études antérieures. Les informations ci-dessous proviennent majoritairement des enquêtes réalisées auprès des 14 communes lors de l’été 2011.

I.6.1. Evénements climatiques en cause

Les événements météorologiques à l’origine des débordements de la Bénovie et de ses affluents sont principalement des pluies de fin d’été et début d’automne, de type orageuses, brèves (quelques heures) mais aux fortes intensités.

Les pluies automnales moins intenses mais sur des durées plus longues (en générale 24 heures) peuvent également être responsables de débordements, notamment lorsque les sols sont déjà saturés d’eau suite à de précédentes précipitations.

I.6.2. Principales dates de “crues”

D’après les élus communaux rencontrés, certaines communes (Vacquières, Fontanès, Saint-Bauzille-de-Montmel) ne font état d’aucun débordement notable sur le bassin versant de la Bénovie. D’autres (Galargues, Beaulieu, Saint-Hilaire-de-Beauvoir, Buzignargues) sont régulièrement concernées avec des fréquences de débordements variables, sans toutefois connaître d’événement majeur.

Les 4 principales dates répertoriées par les communes, et corroborées par les données pluviométriques de Météo France, sont les suivantes :

DATE	COMMUNES DU BASSIN VERSANT DE LA BENOVIE CONCERNEES
30 Septembre et 04 Octobre 1958	Boisseron, Beaulieu, Buzignargues, Galargues, Montaud, Saint-Hilaire-de-Beauvoir, Fontanès, Sainte-Croix-de-Quintillargues
21 Septembre 1992	Boisseron, Garrigues, Montaud
8 et 9 Septembre 2002	Boisseron, Buzignargues, Campagne, Galargues, Garrigues, Montaud, Saint-Jean-de-Cornies, Sainte-Croix-de-Quintillargues, Saussines
22 Septembre 2003	Garrigues, Sainte-Croix-de-Quintillargues, Saussines

Ces dates concordent avec certaines crues historiques du Vidourle, plus marquantes en termes d’ampleur et de dégâts et donc mieux connues : 30 septembre et 04 octobre 1958, 21 septembre 1992, 8 et 9 septembre 2002.

Détails de l'événement de septembre 2002

Bien que certaines communes ne soient pas ou peu concernées, les crues de septembre 2002 sont les plus généralisées et les plus marquantes sur la zone d'étude.

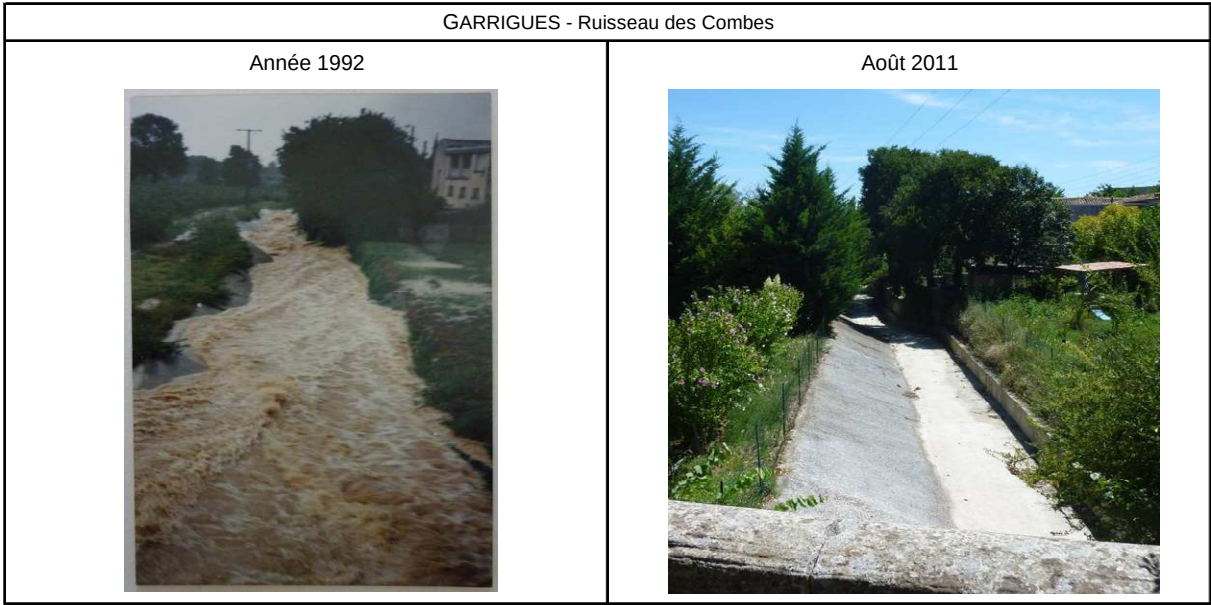
Mis à part les nombreuses routes barrées, la destruction d'un mur dans le centre du village de Montaud (liée à des problèmes d'évacuation des eaux pluviales) et la dérive d'une voiture sur la commune de Garrigues, aucun dégât notable n'a été observé.

D'après les données météorologiques, la pluviométrie sur le bassin versant de la Bénovie aurait atteint autour de 220 mm/j.

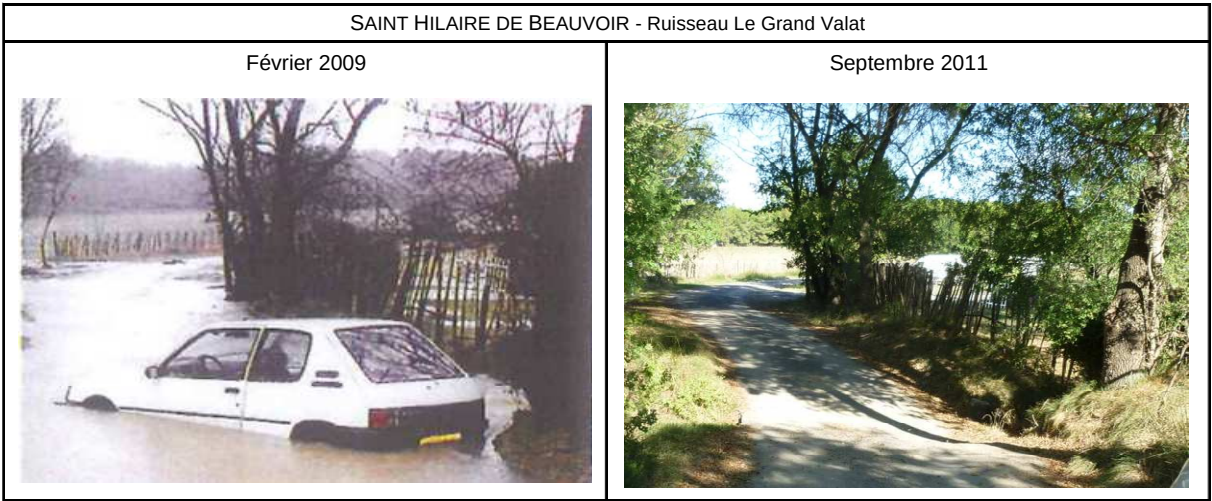
D'après l'étude de BRLi sur la crue du Vidourle, réalisée pour le compte des services de l'Etat en 2003, le débit de pointe de la Bénovie était de 408 m³/s.

I.6.3. Photographies

Ci-contre, trois photographies prises lors de débordements relativement importants (1992, 2002 et 2009), respectivement fournies par les communes de Garrigues, Beaulieu et Saint-Hilaire-de-Beauvoir. Pour comparaison, les mêmes sites ont été photographiés lors des visites de terrain en été 2011, alors que les ruisseaux étaient à sec.



Remarque : la vue de droite est prise selon la direction de la flèche noire.



I.7. Etudes existantes

I.7.1. Résumé des études consultées

Les études suivantes ont été consultées :

- Sainte Croix de Quintillargues, Etude hydraulique d'aménagements de protection contre les crues – BCEOM – Septembre 1999

Cette étude complète l'étude hydraulique préliminaire de mars 1999 qui avait abouti à la délimitation des zones inondables décennale et centennale, et de la zone d'aléa centennale (zone de risque grave et zone d'expansion des crues) sur la commune.

Elle établit un diagnostic des capacités des ruisseaux et ouvrages existants et définit les principaux points de dysfonctionnement hydraulique. Elle conclut sur la nécessité de redimensionner certains ouvrages de franchissement de la Bénovie et de réaliser des ouvrages de rétention afin de réduire le risque inondation au niveau du village (proposition, pré-dimensionnement et analyse de plusieurs scénarios).

- Sainte Croix de Quintillargues, Etude hydrologique et hydraulique des secteurs urbanisés – DDE Hérault – Mars 2002

Cette étude fait suite à l'étude hydraulique menée par BCEOM en septembre 1999. Elle aboutit aux mêmes conclusions quant au volume global de rétention proposé et au redimensionnement des ouvrages d'art sur le parcours de la Bénovie.

Elle préconise en outre la réalisation d'un chenal de dérivation des eaux de ruissellement (sur 300 ml) afin d'intercepter une partie des écoulements en amont des zones urbanisées et de les dévier vers l'aval. Le but est de diminuer les inondations dans l'agglomération, en particulier dans le secteur de la Roubiore.

- Vacquières, Délimitation des zones inondables – SIEE – Avril 1998

Cette étude redéfinit les zones inondables dans les secteurs urbanisés et urbanisables de la commune dans le cadre de la révision du Plan d'Occupation des Sols

Le bassin versant de la Bénovie n'est pas concerné.

- Bassin du Vidourle, Aménagement de protection contre les crues, Plan de gestion de la ripisylve – BRLi – Juillet 2000

Il s'agit d'un dossier de Déclaration d'Intérêt Général qui se concentre sur les deux opérations suivantes :

- réalisation d'un programme d'entretien de la végétation des berges et du lit mineur sur l'ensemble du Vidourle et de ses principaux affluents (notamment la Bénovie) ;
- réalisation d'un programme d'aménagement des digues de la basse vallée.

- Plan de Prévention des Risques d'Inondation – Moyen Vidourle – SAFEGE – Décembre 2007 (tranche ferme) et Mars 2008 (tranche conditionnelle 1)

Cette étude correspond à la proposition de PPRi faite par le bureau d'études SAFEGE en réponse à la prescription de révision du PPRi du Moyen Vidourle établie par le Préfet de l'Hérault en octobre 2007.

Elle concerne exclusivement les communes de Boisseron, Saint-Sériès, Saturargues et Villetelle, et se structure autour des points suivants :

- Fonctionnement du bassin versant du moyen Vidourle ;
- Etude hydrologique (détermination des débits et crues de référence) ;
- Etude hydrogéomorphologique ;
- Analyse des enjeux et analyse des dégâts ;
- Données d'entrée (modélisation hydraulique) ;
- Caractérisation de l'aléa.

Concernant la rivière de la Bénovie :

- le linéaire étudié et modélisé s'étend uniquement sur la commune de Boisseron, depuis la confluence du ruisseau du Nègue Capelan jusqu'à la confluence avec le Vidourle ;
- la crue de référence de la rivière est la crue 100 ans, car l'épisode de septembre 2002 est statistiquement inférieur à la crue centennale théorique ;
- le débit de référence, calculé en suivant une méthodologie approuvée par le Service de Prévision des Crues du Grand Delta, est de 820 m³/s en pointe au Vidourle ;
- au regard des résultats hydrauliques, l'aléa est entièrement considéré comme fort en raison des vitesses moyennes globalement supérieures à 3 m/s ;
- la modélisation hydraulique met en évidence une rétention importante en amont du pont de la Bénovie, avec une surélévation de l'ensemble de la ligne d'eau.

I.7.2. Données topographiques

Aucune donnée topographique n'a été fournie par le Syndicat Intercommunal d'Aménagement du Vidourle et les communes rencontrées. Le maître d'ouvrage a fourni le MNT GAIA Mapping.

Aucun levé topographique ne figurait dans les études consultées, à l'exception d'un profil en long de la Bénovie sur 200 ml dans l'étude de 1999 sur la commune de Sainte-Croix-de-Quintillargues. L'étude de SAFEGE précise que la modélisation hydraulique de la Bénovie sur la commune de Boisseron s'appuie sur 10 profils en travers et sur un ouvrage d'art (pont de la Bénovie).

II. ETUDE HYDROLOGIQUE

II.1. Préambule

Le but de l'analyse hydrologique est de caractériser les débits de crue de référence (notamment pour l'occurrence centennale) en différents points du bassin de la Bénovie.

Pour cela, un modèle hydrologique spatialisé est exploité : il s'agit d'ATHYS, développé par le Laboratoire Hydrosiences Montpellier (LHM) et présenté par la suite. Il nous a semblé plus pertinent d'utiliser un modèle déterministe, permettant d'avoir une approche physique de la genèse des crues, plutôt qu'un modèle statistique.

Les résultats obtenus ont été par la suite analysés et critiqués, notamment par rapport aux études antérieures déjà réalisées sur le bassin ou les bassins voisins. Compte tenu de la proximité de la zone avec le Gard, les débits de crue obtenus dans la présente étude ont été comparés avec les valeurs issues de l'application de la méthode FBG pour les bassins supérieurs à 20 km². De même, nous avons calculé les débits suivant la méthode SHYREG, développée par le CEMAGREF.

A noter que les méthodes consistant à l'extrapolation vers la fréquence centennale des débits décennaux préalablement définis à l'aide de formules classiques, déterministes ou statistiques (CRUPEDIX, SOCOSE, Rationnelle, SOGREAH,...) n'ont pas été retenus compte tenu de leur propension à sous-estimer fortement les débits de fréquence rare, comme cela a été démontré lors des retours d'expériences concernant les derniers évènements majeurs (Aude, 1999 – Gard, 2002 notamment).

II.2. Caractéristiques physiques du bassin versant

Le bassin versant de la Bénovie au droit de la zone d'étude est délimité sur l'annexe n°1.

De type essentiellement rural, il présente les caractéristiques suivantes :

BV DE LA BENOIE	CARACTERISTIQUES
Superficie (km²)	92.5
Cheminement hydraulique (km)	24.8
Dénivelé (m)	220
Pente moyenne (m/m)	0.009

II.3. Pluviométrie

II.3.1. Choix de la pluviométrie de référence

La détermination des débits de projet nécessite l'utilisation de données pluviométriques. Le choix concernant ces données constitue l'objet du présent chapitre. A cet égard, il est intéressant de rappeler le contexte climatique particulier de la région méditerranéenne.

Les pluies intenses sur l’Arc Méditerranéen

La région méditerranéenne, de part sa configuration (présence de massifs montagneux à proximité de la mer), est soumise régulièrement à des épisodes météorologiques particulièrement violents.

Ces épisodes, qui ont lieu généralement à la fin de l'été et au début de l'automne, ont comme origine principale la rencontre entre un courant dépressionnaire froid d'altitude et un courant chaud et humide venant de Méditerranée. Le relief joue un rôle important, en favorisant le soulèvement des masses d'air chaud et en bloquant sur place le déplacement des nuages.

Il s'en suit la formation d'orages parfois très violents, capables de générer des cumuls pluviométriques extrêmement importants.

Pour mémoire, on citera quelques valeurs remarquables ayant été relevées sur l'arc méditerranéen :

LIEU	DATE	HAUTEUR PRECIPITEE (MM)
Valleraugue (Gard)	29 septembre 1900	950 mm en 24h
Joyeuse (Ardèche)	9 octobre 1827	792 mm en 24 h
Anduze (Gard)	8-9 septembre 2002	687 mm en 24 h
Nîmes (Gard)	3 octobre 1988	420 mm en 6h
Valleraugue (Gard)	20-21 septembre 1890	828 mm en 24h
Lézignan-Corbières (Aude)	12-13 Novembre 1999	Plus de 600 mm en 36 h
Le Caylar (Hérault)	22 Septembre 1992	447 mm en 18 h
Saint Laurent de Cerdans (66)	17 octobre 1940	840 mm/24h
Bavella (Corse)	31 octobre 1993	794 mm/24h

De manière plus générale, plus de 140 épisodes dépassant 190 mm/24 h ont été observés dans les régions Languedoc-Roussillon et PACA durant la période 1958 – 2002, dont 65 pour le seul département de l'Hérault.

▪ **Les données locales : Montpellier et Nîmes**

La Bénovie se situe entre Montpellier et Nîmes, villes pour lesquelles il existe trois chroniques d’observation : 2 sur Montpellier, avec Fréjorgues et Bel-Air, et une sur Nîmes, avec Courbessac.

Les différents quantiles calculés à partir des observations sont présentés ci-après.

Montpellier Fréjorgues (1958-2009)							
T (année)	durée (heure)						
	0.25	0.5	1	2	3	6	12
5	21.6	34	46.2	60	67.8	82.8	96.7
10	25.2	39.4	55.1	76.3	86.7	108.7	122.7
30	30.4	46.2	68.2	106.3	121.6	162.3	173.7
100	35.7	51.9	81.8	147.2	169.7	247.2	249.6

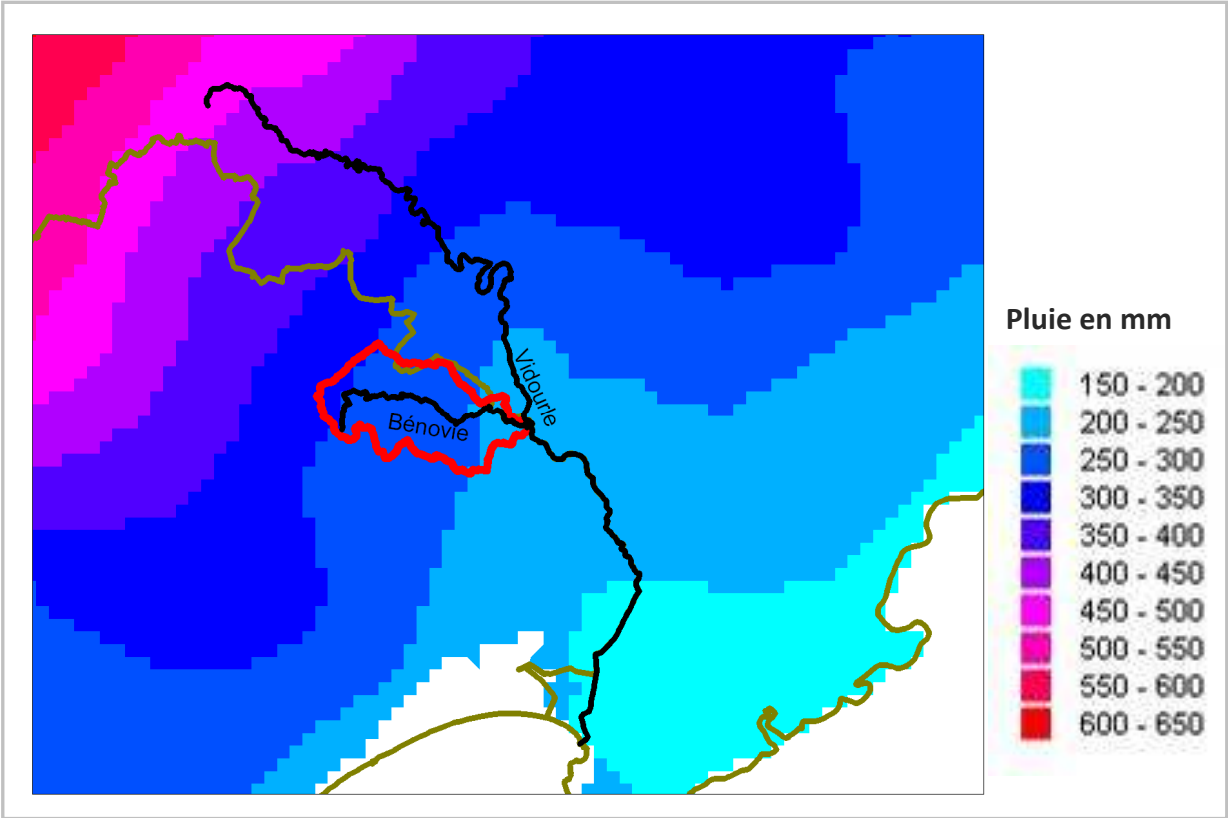
Montpellier Bel-Air (1920-1971)									
T (année)	durée (heure)								
	0.25	0.5	1	2	4	6	12	24	48
1	11	17	23	33	42	49.5	58	70	81
2	15	22	30	41	53.5	62	76	91	110
5	18.5	27	39	53	70	81.5	100	123	147
10	22	34	48	67	88	101	121	147	175
30	30	46	65	90	119	135	162	196	233
50	31.5	49	72	101	133	151	178	221	263
100	36	57	82	116	154	174	209	262	312

Nîmes Courbessac (1964-1992)									
T (année)	durée (heure)								
	0.1	0.25	0.5	1	2	3	6	12	24
1	9.5	17	24	30	35	37	46	58	72
10	15.9	27.8	45.1	67.5	92	118	156	167	175
20	18.2	31.8	52.2	79.2	110	143	192	203	211
25	19	33.1	54.5	83	116	151	203	215	223
30	19.6	34.2	56.5	86.2	121	158	213	224	233
50	21.2	36.9	61.4	94.2	133	176	237	249	257
100	23.5	40.7	68.2	105.4	150	200	272	284	292

▪ **Les données spatialisées : SHYREG**

Cette méthode, développée par le CEMAGREF en partenariat avec Météo-France, est basée sur l’exploitation des données statistiques des pluies qui ont été régionalisées à un pas d’espace de 1 km². Ces statistiques, issues de simulations par un générateur stochastique de pluies horaires, permettent d’estimer les quantiles de pluie pour différentes durées allant de 1 à 72 h.

Sur notre secteur d’étude, et à titre d’exemple, les quantiles centennaux pour une durée de 24 h sont présentés ci-après.



Quantiles centennaux de pluies de durée 24 heures

Sur la base des données SHYREG, il est possible de caractériser les quantiles de pluie pour 10 et 100 ans, et pour des durées de 1 et 24 h, sur le bassin versant de la Bénovie :

OCCURRENCE (T) (ANNÉE)	DURÉE	
	1 h	24 h
10	59	150
100	94	272

Ces valeurs, **qui nous ont servi de référence dans le cadre de la présente étude**, sont assez proches de celles concernant Montpellier Bel Air.

II.3.2. Les pluies de projet

L’analyse des derniers épisodes majeurs en date dans la région Languedoc-Roussillon (notamment novembre 1999 pour l’Aude et les Pyrénées-Orientales, ou septembre 2002 pour le Gard) montre que la durée pendant laquelle la quasi-intégralité des précipitations s’observe est de l’ordre de 24 heures. Ces épisodes sont aussi bien caractérisés par des cumuls importants que par des intensités très fortes.

Aussi, et après discussions avec le LHM, le choix concernant la pluie de projet s’est porté sur une pluie de type Keifer de durée 24 h, et d’intensité mono-fréquentielle quelque soit la durée considérée.

L'étude de l'évènement de septembre 2005 sur le Vistre, réalisée par le CETE, confirme que cette pluie de projet est tout à fait réaliste : en effet, l'analyse montre clairement que l'on peut avoir une homogénéité des périodes de retour des pluies maximales pour des durées comprises entre 1 h et jusqu'à 24h, et ce, pour des occurrences très fortes (par exemple : pour les postes de Nîmes et Générac, les périodes de retour des précipitations sont systématiquement de l'ordre de 100 ans, avec des pointes à 500 ans).

De plus, l'avantage de ce type de pluie est de pouvoir faire réagir tout le bassin étudié de façon uniforme sur le plan fréquentiel : quelle que soit la zone considérée, le débit est homogène en termes d'occurrence à l'échelle du bassin versant.

Pour générer la pluie de projet, les courbes IDF de Montpellier Bel-Air, pour lesquelles les coefficients de Montana sont précisés ci-dessous, ont été utilisées. Ces dernières ont été corrigées par un facteur égal au rapport entre les pluies SHYREG et celles de du poste pluviométrique exploité, rapport variant entre 1.02 et 1.3 suivant la durée considérée.

Coefficient de Montana de la station de Bel-Air, pour la formule $H=a.t^b$

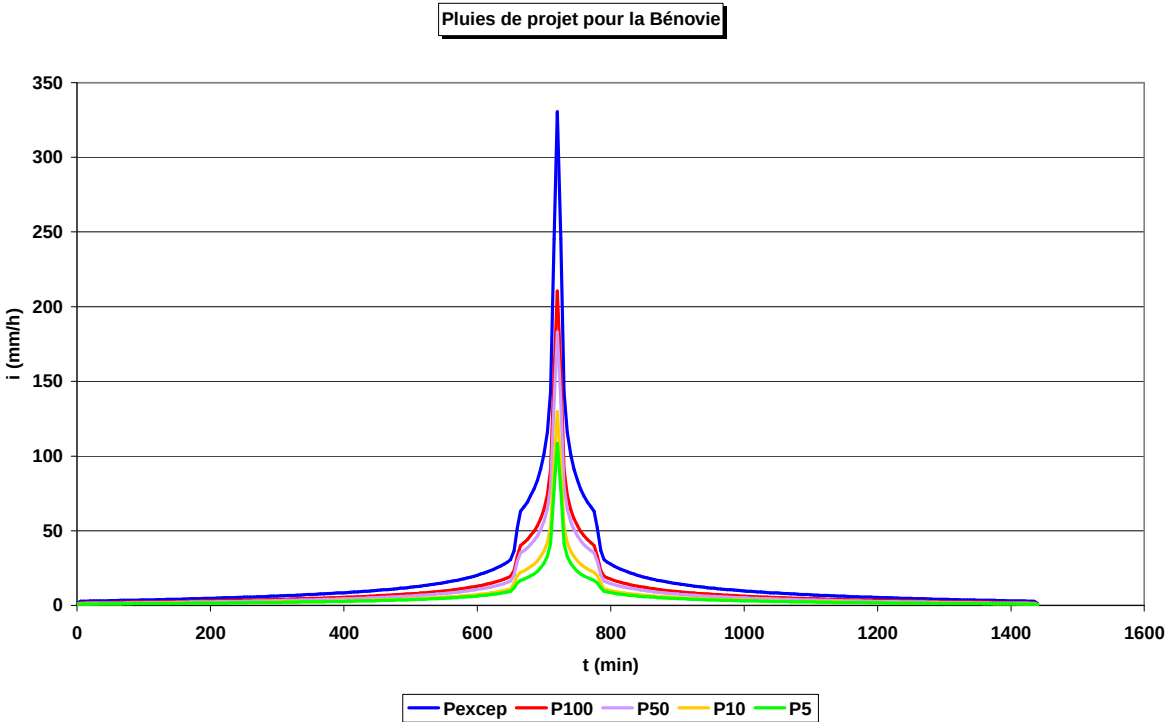
coefficient a				
durée	occurrence			
	5 ans	10 ans	50 ans	100 ans
< 2h	38.0	47.4	70.3	80.7
de 2 à 24 h	43.3	56.0	84.6	95.9
coefficient b				
durée	occurrence			
	5 ans	10 ans	50 ans	100 ans
< 2h	0.51	0.53	0.56	0.56
de 2 à 24 h	0.34	0.31	0.31	0.32

Pour obtenir les pluies pour une période de retour exceptionnelle (prise égale à 500 ans), nous avons utilisé un coefficient multiplicateur de 1.57 appliqué sur les précipitations centennales.

Sur les bases précédentes, la pluviométrie caractéristique du bassin de la Bénovie est récapitulée ci-dessous.

Intensité (mm/h) et Hauteur (mm) des précipitations sur le bassin versant		Période de retour (année)									
		5		10		30		50		100	
		mm/h	mm	mm/h	mm	mm/h	mm	mm/h	mm	mm/h	mm
durée (heures)	0.25	88.6	22	105.3	26	143.6	36	150.8	38	172.3	43
	0.5	64.5	32	81.2	41	109.9	55	117.1	59	136.2	68
	1	46.5	46	59.0	59	77.4	77	85.8	86	94.0	94
	2	31.4	63	39.7	79	53.3	107	59.8	120	68.7	137
	4	20.5	82	25.7	103	34.8	139	38.9	156	45.0	180
	6	15.7	94	19.5	117	26.0	156	29.1	175	33.5	201
	12	9.3	111	11.2	135	15.0	180	16.5	198	19.4	233
	24	5.3	126	6.3	150	8.4	201	9.5	227	11.3	271

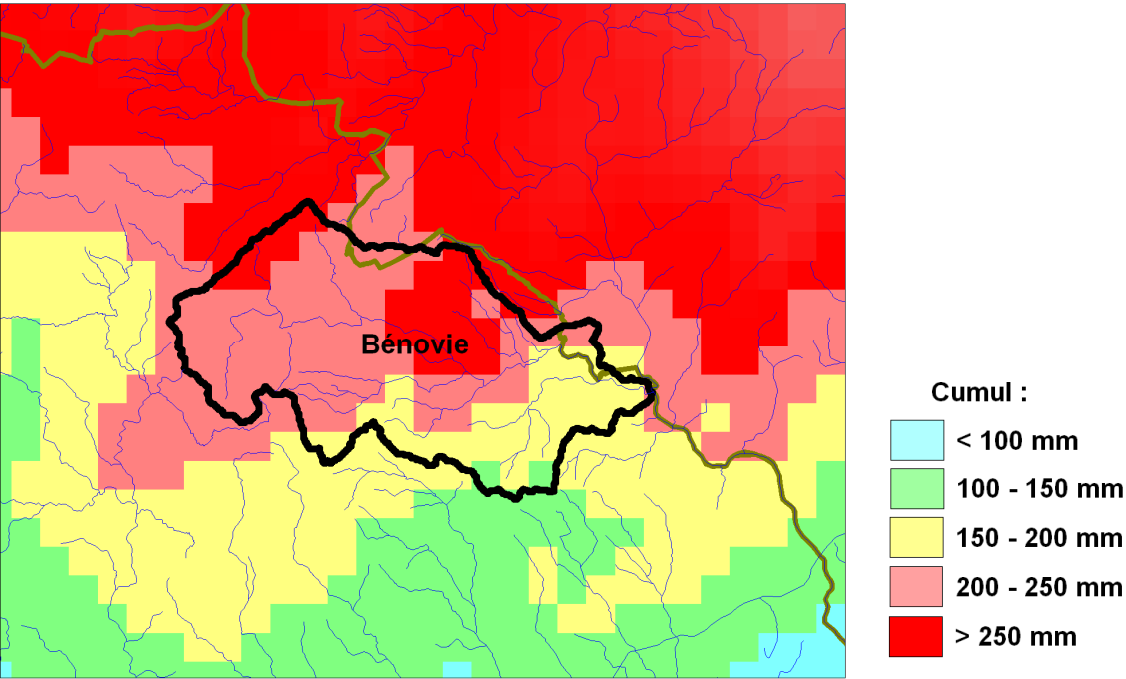
Les pluies de projet, mono-fréquentielles, d'une durée de 24 heures et construites en utilisant les données précédentes, sont présentées ci après.



II.3.3. L'épisode des 8 et 9 septembre 2002

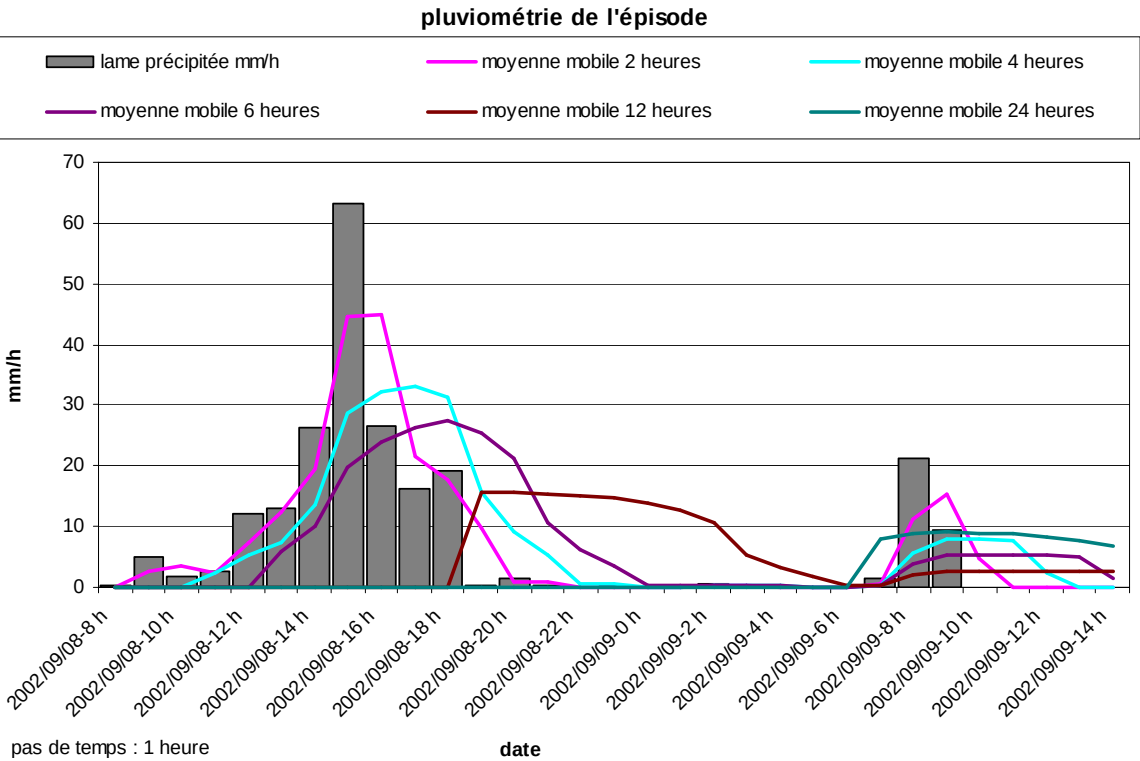
La figure ci-dessous présente le cumul pluviométrique calculé à l'aide des images radar de Météo-France pour l'épisode de septembre 2002.

Sur la base des isohyètes calculées, on peut estimer la lame d'eau tombée sur le bassin de la Bénovie aux alentours de 220 mm pendant l'épisode.



Nous ne disposons pas de données précises sur le bassin. Par conséquent, la période de retour de l'épisode sur le plan pluviométrique sera analysée sur la base de la forme du hyétogramme observé sur le poste de Villevieille (cumul : 214 mm), à proximité immédiate de Sommières et du bassin. On considèrera ce dernier comme représentatif de la pluviométrie sur notre zone d'étude. Nous le recalons légèrement en fonction du rapport $P_{Bénovie}/P_{Villevieille}$.

L'analyse du hyétogramme est présentée ci-après. Afin de savoir à quelle période de retour pour une durée donnée correspond la pluie, un calcul de moyenne mobile a été réalisé pour des durées de 2, 4, 6, 12 et 24 heures (cf. graphique ci-après). L'analyse du maximum de chaque moyenne mobile a permis de caractériser la période de retour de l'épisode.



Les maxima, avec leur période de retour associée, sont récapitulés dans le tableau suivant :

Fréquence		Cumuls mm	
Durée (h)	Période de retour (ans) dépassée	cumul max. épisode (mm)	seuil dépassé (mm)
1	10	63	59
2	10	90	79
4	10	133	103
6	30	165	156
12	30	188	180
24	30	217	201

De manière générale, les périodes de retour sont relativement homogènes, et de l'ordre de **10 à 30 ans**. Le choix d'une pluie de projet monofréquentielle apparaît également cohérent avec les observations.

II.4. Le modèle pluie débit : ATHYS

II.4.1. Le modèle utilisé : ATHYS (sous sa version couplée avec Hydrokit : HYDRATHYS)

ATHYS est un modèle pluie-débit développé par l'IRD et HydroSciences Montpellier, permettant d'utiliser des informations géographiques et pluviométriques spatialisées afin de reconstituer ou de générer des épisodes de crue. Il dispose de plusieurs fonctions de production et de transfert.

Dans le cadre de l'étude, ce modèle a été couplé avec Hydrokit, logiciel développé par STRATEGIS. En effet, Hydrokit s'appuie sur une base de données pré-calculée pour la génération de bassins versants au sens hydrologique, ce qui permet de simplifier les prétraitements avant l'utilisation d'ATHYS.

II.4.2. La modélisation pluie-débit

Pour les besoins de l'étude, nous avons essentiellement utilisé les fonctions suivantes, relativement simples.

▪ La fonction de production SCS

Si l'on part de l'hypothèse que la crue a été essentiellement générée par un processus à réponse rapide (ruissellements superficiels et écoulements souterrains sur de très courtes distances), il est possible d'utiliser un modèle hydrologique simple afin de caractériser les hydrogrammes et les débits de crue.

Le modèle choisi ici est du type SCS, classiquement utilisé et retenu pour sa simplicité. La fonction de production est un modèle non linéaire de transformation pluie-débit ne comportant qu'un seul paramètre de ruissellement : le "Curve Number", dépendant notamment du sol et de la pluviométrie.

Cette fonction est un modèle de production très souple, capable de s'adapter à différents types de processus de formations de crues. La fonction peut être décrite succinctement par un coefficient de ruissellement variable dans le temps, augmentant avec le cumul des pluies depuis le début de l'événement, en fonction d'un paramètre S désignant le déficit initial en eau du bassin.

$$Pe(t) = Pb(t) \cdot \left(\frac{P(t) - 0.2S}{P(t) + 0.8S} \right) \left(2 - \frac{P(t) - 0.2S}{P(t) + 0.8S} \right)$$

où $P(t)$ désigne l'intensité de la précipitation à l'instant t ,
 $Pb(t)$ l'intensité brute à l'instant t ,
 $Pe(t)$ l'intensité de la pluie efficace à l'instant t .

Le paramètre S est aussi relié au Curve Number (CN) (adimensionnel, variant de 0 à 100), par la relation :

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

▪ La fonction de transfert lag-Route

Les fonctions de transfert acheminent les volumes produits par chaque maille à l'exutoire. Ces fonctions de transfert font intervenir un temps de transfert T_m et une diffusion K_m .

Le temps de transfert représente le temps de propagation de la pluie efficace de la maille m à l'exutoire du bassin. Ce temps est calculé par sommation des temps de parcours de chacune des mailles de la trajectoire :

$$T_m = \sum \frac{l_k}{V_k}$$

avec l_k et V_k longueur et vitesse d'écoulement des mailles comprises entre la maille m et l'exutoire.

La diffusion dans le temps représente l'étalement de la crue dans le temps, lié au fait que les vitesses V_k ne sont généralement pas uniformes dans le temps ou dans l'espace. La diffusion de l'onde de crue est réalisée à l'aide d'un réservoir linéaire, de capacité K_m ; la diffusion est d'autant plus importante que la maille est éloignée de l'exutoire :

$$q_m(t) = \begin{cases} 0 & \text{si } t < t_0 + T_m \\ \frac{P_e(t_0)}{K_m} \exp\left(-\frac{t - (t_0 + T_m)}{K_m}\right) \cdot A & \text{sinon} \end{cases}$$

avec A , la superficie de la maille

La vitesse de transfert sur une maille k est calculée à l'aide de 3 paramètres : V_0 , α , β

$$V_k = V_0 \cdot p_k^\alpha \cdot S_k^\beta$$

La diffusion de la crue au cours de son transfert à l'exutoire est proportionnelle au temps de parcours T_m :

$$K_m = K_0 \cdot T_m$$

avec p_k pente de la maille k ,
 S_k superficie drainée en amont de la maille k .

Cette paramétrisation fait explicitement varier la vitesse de transfert en fonction de la pente de la maille et de la superficie amont. Elle a été ici utilisée sous sa forme la plus simple, avec $\alpha = \beta = 0$.

La fonction de transfert comportera alors deux paramètres :

- V_0 , vitesse (m.s-1),
- K_0 , coefficient de diffusion.

▪ Les paramètres de base

Les études concernant l'utilisation d'ATHYS et son application à des cas concrets sur des bassins jaugés ont permis de dégager certaines valeurs de référence concernant les paramètres utilisés dans le modèle.

Ainsi :

- **le paramètre K_0 a été empiriquement fixé à 0.3 (valeur utilisée notamment sur le Lez – Thèse M. COUSTAU – LHM – 2010) ;**
- **la vitesse V_0 a été calculée à la maille en fonction de la pente p de cette dernière. Des valeurs qui se rapprochent de celles définies par la méthode FBG ont été adoptées, à savoir :**
 - o $p < 1\%$: $V_0 = 1$ m/s
 - o $1\% < p < 10\%$: $V_0 = 1.5$ m/s
 - o $p > 10\%$: $V_0 = 2$ m/s.

II.4.3. Le calage du modèle

Pour caler ATHYS, les données disponibles pour l'épisode de septembre 2002 ont été utilisées. Le principe a consisté principalement à déterminer CN de telle manière à retrouver le débit de pointe pour l'épisode considéré, ainsi que le volume écoulé.

Concernant cet épisode, le débit à Boisseron a été estimé aux alentours de 400 m³/s, par modélisation hydrologique, ainsi que par calage d'un modèle hydraulique sur une NPHE.

Concernant le CN, et dans le cadre du retour d'expérience concernant le dernier épisode majeur dans le Gard, celui de septembre 2002 (CEREVE – 2003, SIEE et SOGREAH – 2003), il a été montré que le déficit d'écoulement en fin d'évènement était généralement compris entre 100 et 150 mm, quelque soit le type de bassin considéré.

Plus particulièrement, l'étude des hydrogrammes sur les différentes stations du SPC 30 sur les Gardons et la Cèze permet de mettre en évidence une relation linéaire entre la pluie précipitée et le volume écoulé. Cette dernière est de la forme suivante (avec les volumes en mm) :

$$V_{\text{écoulé}} = 0.91 \cdot V_{\text{précipité}} - 94.5,$$

Si l'on s'en tient à cette formule, l'application à notre bassin nous donne un volume écoulé de l'ordre de 108 mm pour une lame d'eau précipitée de 222 mm. **On en déduit un CN d'environ 63.**

L'application de ce CN sur la Bénovie permet d'aboutir à un débit à Boisseron de l'ordre de 410 m³/s, en parfaite cohérence avec les estimations existantes. **Notre modèle est donc considéré comme calé.**

II.4.4. Détermination des débits de crues

Annexe n°4 : Localisation des points de calcul hydrologiques

Sur la base du modèle calé, et en considérant que les conditions d'humidité et de saturation des sols pour les différentes périodes de retour étaient équivalentes à 2002 (même CN), les débits de crues ont été déterminés en en trentaine de points du bassin.

Les points de calculs sont présentés sur la planche n°4 et les résultats dans les graphiques qui suivent et le tableau "débits de crue" en page suivante. Les valeurs calculés suivant les méthodes FBG ($Q=30 \times S^{0.75}$ pour $S > 20 \text{ km}^2$) et SHYREG ($Q=14 \times S^{0.75}$) sont également présentées à titre indicatif.

II.4.5. Analyse et discussion

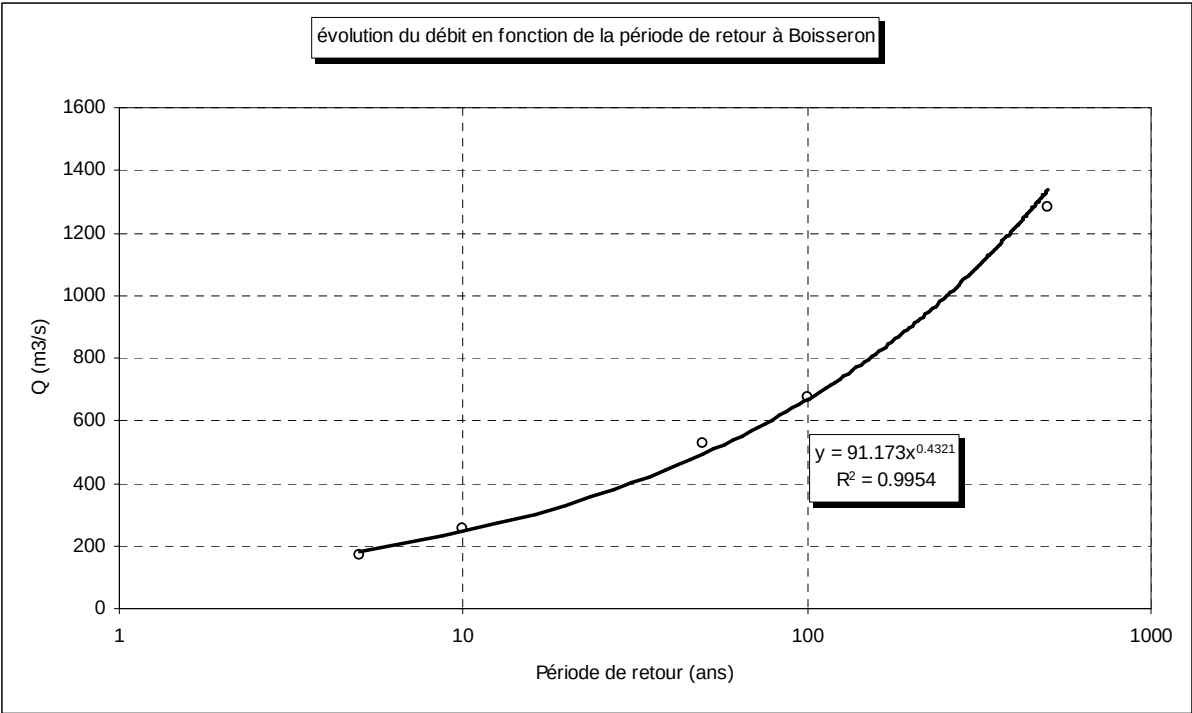
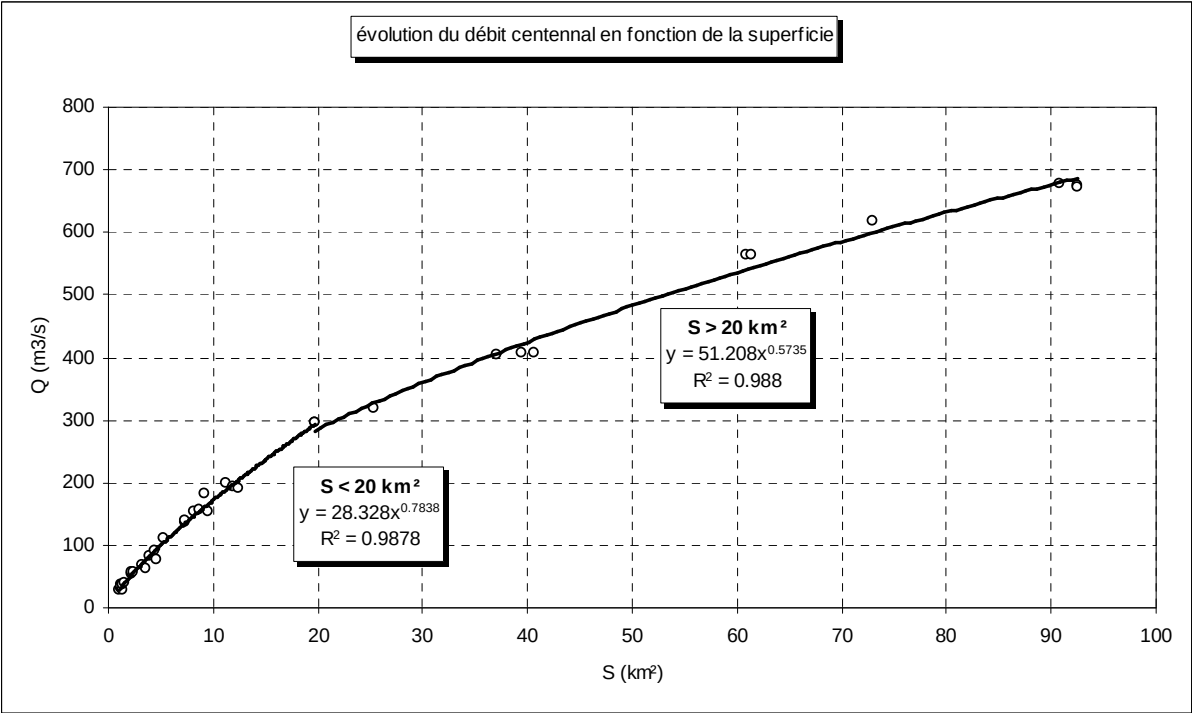
Pour la crue de 2002, la période de retour de l'épisode est estimée aux alentours de 30 ans, ce qui confirme l'analyse réalisée sur la pluviométrie.

Si la valeur caractérisée pour le débit d'occurrence décennale au droit de Boisseron est du même ordre de grandeur que celle issue de l'étude SAFEGE (250 m³/s), il n'en va pas de même pour le débit de période de retour centennale, inférieur d'environ 150 m³/s (673 m³/s contre 820 m³/s).

Cependant, la valeur estimée par SAFEGE, proche de celle calculée par la méthode FBG, nous semble un peu trop forte compte tenu de plusieurs facteurs :

- la pluviométrie sur le bassin de la Bénovie est plus faible que sur d'autres cours d'eau du bassin amont du Vidourle, tels que le Crieulon ou le Brestalou, de superficie équivalente, et pour lesquels les valeurs sur 24 h dépassent d'au moins 50 mm celle de la Bénovie ; avoir un débit centennal sur cette dernière du même ordre de grandeur que les deux bassins cités semble pessimiste ; si l'on considère en première approximation que le débit de pointe est « directement » proportionnel à la P24h (c'est-à-dire au volume précipité), l'application à notre débit d'un ratio égal au rapport entre les P24h des deux bassins cités en exemple et la P24h sur la Bénovie permet de tomber sur une estimation très proches des débits SAFEGE pour les deux cours d'eau amont.
- le ratio Q100/Q10, de 3.25, apparaît un peu fort compte tenu de la taille du bassin, de l'ordre de 100 km². Un ratio compris entre 2.5 et 3 nous apparaît plus approprié pour un bassin de ce type ;
- le débit du Lez, cours d'eau limitrophe à la Bénovie sur sa partie ouest, a été estimé à environ 700 m³/s (+/- 150 m³/s) par un groupe d'expert (2007), à la station de Lavalette, qui draine un bassin d'environ 110 km². Bien que ce cours d'eau ait un fonctionnement particulier, en raison notamment de la présence de karst, susceptible de drainer des écoulements complémentaires, la valeur estimée corrobore l'estimation faite dans la présente étude.
- Si l'on considère une incertitude classique de +/- 20 % sur notre débit, la plage ainsi déterminée est comprise entre 540 et 810 m³/s. La valeur SAFEGE apparaît donc comme la limite supérieure du débit envisageable sur la Bénovie.

→ En conclusion, les valeurs de débits retenues sont les valeurs calculées dans la présente étude et exposées dans le tableau "Débits de crue" en page suivante.



Débits de crue

Point N°	Superficie (km²)	Débits pour les crues autres que centennale (m³/s)					Crue de référence					
		Q2002	Q5	Q10	Q50	Qexcep	Q100 (m³/s)	Rapport Q100/Q10	Qsp (m³/s/km²)	Qsp0.75 (m³/s/km ^{1.5})	Q _{FBG} (m³/s)	Q _{SHYREG} (m³/s)
1	92.48	413	171	256	526	1280	674	2.6	7	23	895	418
2	90.8	415	172	258	529	1290	678	2.6	7	23	883	412
3	61.4	313	140	213	440	1080	563	2.6	9	26	658	307
4	60.9	314	141	213	442	1080	565	2.7	9	26	654	305
5	40.6	226	104	157	321	773	408	2.6	10	25	482	225
6	39.4	225	104	157	320	771	407	2.6	10	26	472	220
7	8.2	71	40	60	121	292	154	2.6	19	32		68
8	4.4	41	24	36	73	175	92	2.6	21	31		42
9	1.3	12	9	13	27	65	34	2.6	27	28		17
101	1.5	14	10	15	31	74	39	2.5	27	29		18
102	11.9	92	51	77	154	369	195	2.5	16	31		89
103	11.3	91	52	78	157	374	198	2.5	18	32		86
104	3.9	34	21	32	64	154	82	2.6	21	30		39
105	3.2	31	18	27	55	132	70	2.5	22	29		34
106	1.2	11	9	14	28	68	36	2.6	31	32		16
107	8.6	78	41	61	123	296	156	2.5	18	31		71
108	7.3	67	37	55	110	264	139	2.5	19	31		62
109	2.1	21	14	21	43	104	55	2.6	26	31		25
110	1.4	13	9	14	29	70	37	2.6	27	29		18
111	1.9	18	12	19	37	90	47	2.6	26	31		25
112	1.1	11	8	12	25	59	31	2.5	28	29		15
113	1.2	11	9	13	25	61	32	2.5	28	29		16
114	1.3	12	8	12	24	56	30	2.5	23	25		17
115	2.3	22	15	22	45	107	56	2.5	24	30		26
116	1.0	10	7	11	22	53	28	2.6	28	28		14
117	4.6	37	20	30	60	141	76	2.5	16	24		44
118	3.5	29	17	25	51	120	64	2.5	18	25		36
201	73.0	354	155	234	484	1180	619	2.6	8	25	749	350
202	9.5	75	40	60	121	287	153	2.5	16	28		76
203	7.2	62	36	54	108	261	137	2.5	19	31		62
204	12.3	92	50	75	150	361	191	2.6	15	29		92
205	37.1	219	103	156	319	768	405	2.6	11	27	451	210
206	9.2	83	48	72	145	346	183	2.5	20	35		74
207	25.4	168	81	122	251	605	318	2.6	13	28		158
208	19.7	146	75	114	233	565	296	2.6	15	32		131
209	5.2	49	30	44	88	211	111	2.5	21	32		48

III. SYNTHÈSE DES RENCONTRES AVEC LES COMMUNES

Au cours de l'été 2011, les 14 communes du secteur d'étude ont fait l'objet d'une rencontre avec les élus (une réunion par commune) complétée par une visite de terrain.

III.1. Synthèse sur le bassin versant

De manière générale, à l'échelle du bassin versant, les crues des cours d'eau sont peu importantes et peu dommageables.

En effet, elles inondent quasiment exclusivement des zones naturelles, agricoles, voire des jardins, et ne provoquent que des désagréments en termes de circulation, avec la submersion de nombreuses routes (départementales, communales, chemins vicinaux...) au droit des franchissements des cours d'eau. Les habitations, zones d'activités, établissements recevant du public et autres enjeux potentiels, sont situés hors zone inondables.

Du fait de son implantation à proximité immédiate de la rivière, le village de Sainte-Croix-de-Quintillargues reste une exception, avec des débordements de la Bénovie au sein du village (ouvrages d'art sous-dimensionnés).

La commune de Boisseron se distingue des autres en raison de la proche confluence de la Bénovie et du Vidourle et de l'influence non négligeable de ce dernier sur l'ampleur des crues de la Bénovie.

D'autre part, les villages des 14 communes sont très souvent soumis à des phénomènes de ruissellement importants (lors des épisodes pluvieux automnaux, brefs et violents) et à l'insuffisance de leurs réseaux de collecte des eaux pluviales.

Peu problématiques sur la majeure partie des communes, les eaux pluviales sont parfois plus préjudiciables que les cours d'eau en termes d'inondation. C'est par exemple le cas sur les communes de Montaud et dans une moindre mesure Garrigues. C'était également le cas sur Sainte-Croix-de-Quintillargues avant que plusieurs travaux ne soient réalisés.

Finalement peu concernées par les inondations, les communes ne disposent pas de digues de protection contre les inondations, pas de repères de crues (exception : Boisseron, Buzignargues), pas de plan d'alerte (exception : Boisseron, Montaud) et pas de sites d'hébergement de secours (exception : Boisseron).

III.2. Synthèse de la commune de Saint Bauzille de Montmel

Voir tableau ci-contre.

Commune de SAINT-BAUZILLE-DE-MONTMEL	
CONTEXTE	
A elle seule, la commune de Saint-Bauzille-de-Montmel représente 20% du bassin versant de la Bénovie. La majeure partie de son territoire est constituée de zones naturelles, bien que l'on retrouve une zone à dominante agricole à son extrémité sud-est. La zone urbanisée est scindée en deux entités : la zone principale, incluant le centre du village, et le hameau de Favas, exentré plus à l'est. En termes d'urbanisation future, la commune prévoit en priorité la densification de la zone principale existante, puis son extension périphérique progressive dans un second temps. Les crues de la Bénovie ne concernent que des zones naturelles assez loin du bourg et sont donc peu connues. Le ruisseau des Peyssels et le ruisseau des Pontils sortent parfois de leur lit en zone agricole mais ne causent pas de dommages. Le village n'est pas concerné par les inondations.	
INONDATIONS	
"Crues" historiques	<u>Dates</u> : Aucune date marquante. <u>Dommages causés</u> : Aucun. STEP inondée et vignes endommagées en 2002 (d'après l'entretien avec la commune de Montaud) .
Secteurs sensibles	<i>Habitat</i> - Point bas de la commune au niveau du lieu-dit "Les Barandons", au droit du franchissement du ruisseau du Valen : jusqu'à 20 cm d'eau observés dans le jardin de 2 habitations ; depuis, des travaux de dérivation des eaux de la coline "Truc de Salles" ont été réalisés pour protéger cette zone. <i>Axes de communication</i> - Route communale au droit de la station d'épuration : submersible par le ruisseau du Valen ; - Passages à gué sur petits chemins agricoles. <i>Autre</i> - Champ au lieu-dit "Favas", à proximité de la D1, en amont de la confluence de deux ruisseaux.
Problématique Pluvial	Lors d'orages violents (~100 mm en moins d'une heure), phénomène de ruissellement/ravinement au niveau des 3 talwegs descendant du Puech des Mourgues, mais sans dégât.
Plan d'alerte/de secours	Aucun
Sites d'hébergement	Aucun
Digues de protection	Aucune
Repères de crue	Aucun
Autres informations	/
COLLECTE DES INFORMATIONS	
Rencontre des élus communaux	Date de l'entretien : 23/08/2011 Interlocuteurs : M. DAUDE : Maire
Visite de terrain	Août 2011
Documents communaux	Plan d'Occupation des Sols

IV. ANALYSE DES ENJEUX

IV.1. Définition

Le terme “enjeux” désigne l'ensemble des personnes, biens, activités, moyens et patrimoine susceptibles d'être affectés par un phénomène naturel, une crue dans le cas présent.

IV.2. Méthodologie

📄 *Annexes n°5 et 5.9 : Documents d'urbanisme*

Les enjeux ont été définis à partir de documents existants (documents d'urbanisme, carte IGN et orthophotos) puis complétés et validés au cours des entretiens auprès des représentants des 14 communes étudiées (une réunion par commune).

La nature des documents d'urbanisme consultés et le zonage simplifié associé à ces documents sont présentés en annexe du présent rapport.

La plupart des communes sont dotées d'un Plan d'Occupation des Sols, à l'exception des communes de Boisseron et Beaulieu (Plan Local d'Urbanisme), Fontanès (Carte Communale), ainsi que Buzignargues, Galargues et Campagne qui ne disposent d'aucun document et sont soumises au Règlement Nationale d'Urbanisme.

Les enjeux ont été caractérisés en distinguant les enjeux dits “surfaciques” des enjeux “ponctuels”.

▪ Les enjeux surfaciques

La typologie du zonage de l'occupation des sols retenu pour la cartographie des enjeux est la suivante :

- ZONE D'HABITAT DENSE/CONTINU : secteur du cœur historique du village et des faubourgs présentant une continuité bâtie et une mixité des usages entre logements, commerces et services ;
- ZONE D'HABITAT CLAIRSEME/DISCONTINU : secteur urbanisé majoritairement résidentiel (habitat individuel et/ou collectif) en dehors de la zone d'habitat dense ;
- ZONE D'HABITAT TEMPORAIRE/TOURISTIQUE : campings notamment ;
- ZONE D'ACTIVITES INDUSTRIELLES/COMMERCIALES/ARTISANALES ;
- FUTURE ZONE D'HABITATION OU D'ACTIVITES : tous projets d'aménagement à vocation résidentielle ou économique à court, moyen ou long terme figurant ou non dans les documents d'urbanisme.

Que ce soient des friches, des zones agricoles ou des zones naturelles, tous les secteurs ne relevant pas de ces types d'occupation des sols correspondent à des “zones peu ou pas urbanisées”, sans autre distinction.

▪ Les enjeux ponctuels

Concernant les enjeux ponctuels, ont été identifiés :

- les infrastructures concernées par la gestion de la crise ou présentant un caractère d'intérêt général (mairie, pharmacie, station service, station de pompage pour l'alimentation en eau potable, réservoir) ;
- les établissements sensibles (écoles, crèches, maisons de retraite...) et/ou recevant du public (bibliothèques, foyers communaux, salles polyvalentes, terrains de sport, centre équestre) ainsi que les habitations isolées ;
- les infrastructures agricoles, telles que les serres ou les bâtiments agricoles ;
- les édifices et lieux de culte remarquables ;
- les sources potentielles de pollution (stations d'épuration, caves coopératives, installation classée...).

Le recensement tient compte à la fois des enjeux présents et des enjeux futurs, à savoir des infrastructures projetées à court ou moyen terme.

Le recensement des enjeux a été exhaustif sur l'ensemble des territoires communaux inclus dans le bassin versant de la Bénovie, et ne s'est pas limité aux seuls lits majeurs des cours d'eau.

Pour distinguer les “réels” enjeux (par définition : susceptibles d'être concernés par les crues), les zones indiquées comme vulnérables par les élus communaux, que ce soit vis-à-vis des inondations provoquées par les cours d'eau ou par les eaux pluviales, ont été reportées sur la même carte.

IV.3. Cartographie

📄 *Annexe n°6.9 : Cartographie des enjeux*

La cartographie des enjeux sur la commune de Saint Bauzille de Montmel est présentée en annexe.

V. REPERES DE CRUES

A l'issu des réunions avec les élus de chacune des 14 communes et des enquêtes de terrain réalisées en août-septembre 2011, 5 repères de crues matérialisés ont été recensés sur le bassin versant de la Bénovie :

- 1 sur la commune de Buzignargues ;
- 4 sur la commune de Boisseron (dont 1 chez un particulier).

Il s'agit uniquement de cotes de plus hautes eaux observées lors de la crue de septembre 2002, à l'exception d'un repère qui mentionne également un niveau atteint en 1958.

Aucun repère n'a été répertorié sur la commune de Saint Bauzille de Montmel.

Remarque : La DDTM de l'Hérault dispose également de données de Plus Hautes Eaux de la Bénovie au niveau des communes de Boisseron et de Sainte-Croix-de-Quintillargues.

VI. ETUDE HYDROGEOMORPHOLOGIQUE

VI.1. Contenu et objectifs

La cartographie produite par l'analyse hydrogéomorphologique, à l'échelle 1/10.000°, permet de disposer **d'une vision globale et homogène des champs d'inondation** sur l'ensemble des secteurs traités **en pointant à un premier niveau les zones les plus vulnérables** au regard du bâti et des équipements existants.

L'information fournie reste cependant essentiellement qualitative, même si elle sera complétée, là où elles existent, **par des données historiques, et des relevés topographiques ponctuels** qui fournissent localement des éléments de hauteur d'eau.

Cette **carte des phénomènes naturels à base hydrogéomorphologique et historique** constitue un document relativement précis mais dont les limites résident clairement dans la quantification des phénomènes, notamment vis-à-vis de la définition de la crue de référence et de la détermination des paramètres hauteur ou vitesse des écoulements. C'est pourquoi dans les zones à enjeux (tronçons urbains, péri-urbains et ponctuels) elle sera complétée dans la phase suivante de l'étude (tranche conditionnelle) par une modélisation hydraulique.

VI.2. Périmètre d'étude

Le périmètre d'étude retenu par la DDTM 34 couvre la totalité du bassin versant de la Bénovie jusqu'à sa confluence avec le Vidourle en rive droite au niveau de Boisseron.

L'intégralité des zones inondables de la vallée principale et des affluents principaux (Le Braou, le Ribansol) a été couverte par une cartographie hydrogéomorphologique issue de l'Atlas des Zones Inondables du Vidourle, Vistre et Rhône réalisée en 2004 (CAREX Environnement). La première phase de l'étude actuelle vise donc à réaliser des compléments cartographiques sur des tributaires secondaires qui n'avaient pas été traités lors de l'approche initiale. Cet ensemble représente un linéaire d'un peu plus de 60 kilomètres de cours d'eau répartis de manière homogène sur l'ensemble du bassin versant.

VI.3. Méthodologie

VI.3.1.Principes de la cartographie hydrogéomorphologique

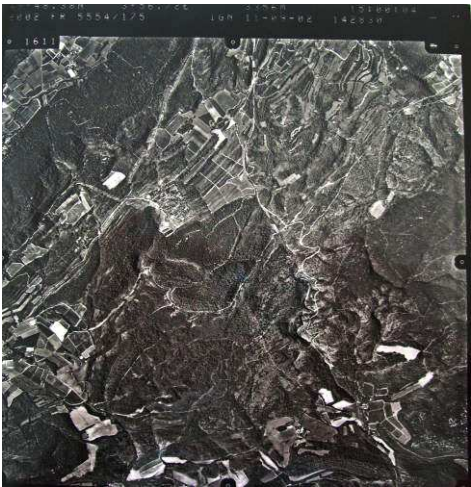
La méthode hydrogéomorphologique est une approche naturaliste de terrain, aujourd'hui préconisée par les services de l'Etat pour la cartographie des zones inondables.

Elle est basée sur l'identification des unités spatiales homogènes correspondant aux différents **lits topographiques que la rivière a façonné dans le fond de vallée**, par accumulation de ses sédiments, pour différentes gammes de crues (fréquentes, moyennes, exceptionnelles).

L'analyse hydrogéomorphologique se pratique sur le terrain et par photo-interprétation de clichés aériens.

Dans le cas du bassin de la Bénovie nous avons travaillé à partir de clichés stéréoscopiques issus de la mission IGN FR5554/175 à l'échelle 175.000° correspondant aux prises de vues réalisées pour les services de l'Etat après les crues de septembre 2002.

Dans certaines zones péri-urbaines qui ont connu un développement récent de l'habitat pavillonnaire (Saintes-croix-de-Quintillargues, Montaud, Saint-Bauzille-de-Montmel, Saussines), la photo-interprétation a été complétée par l'utilisation de clichés plus anciens (mission au 1/25.000° de 1946) pour faciliter le repérage des structures morphologiques naturelles.



Mission IGN de 2002

L'ensemble des éléments cartographiés dans le cadre du diagnostic hydrogéomorphologique sont présentés ci-dessous par grandes unités :

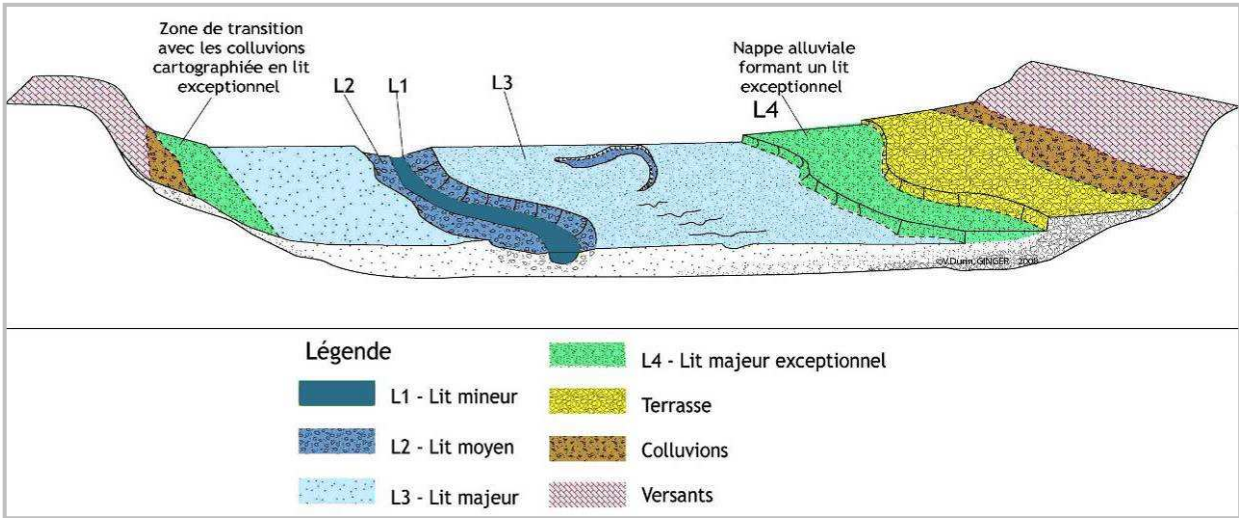


Schéma d'organisation de la plaine alluviale hydrogéomorphologique et de son encaissant (Source : GINGER)

Ainsi, la cartographie dissocie d'une part les unités hydrogéomorphologiques actives de la plaine alluviale (bleu et vert sur la carte ci-avant), et d'autre part, les terrains encaissants non inondables correspondant au substratum rocheux (rose) et aux dépôts détritiques de colluvions qui empâtent les pieds de versant.

VI.3.2. Les unités actives fonctionnelles

- **Le lit mineur**, incluant le lit d'étiage, correspond au lit intra-berges et aux secteurs d'alluvionnement immédiats (plages de galets). Il est emprunté par la crue annuelle, dite crue de plein-bord, n'inondant que les secteurs les plus bas et les plus proches du chenal d'écoulement permanent toujours en eau.
- **Le lit moyen**, fonctionnel pour les crues fréquentes à moyennes (période de retour 2 à 10 ans), assure la transition entre le lit mineur et le lit majeur. Il constitue ce que l'on appelle **la zone de mobilité du cours d'eau** où les mises en vitesse et les transferts de charge importants induisent une dynamique morphogénique complexe et changeante en liaison avec la présence de chenaux et axes de crue.
- **Le lit majeur** est fonctionnel pour les crues plus rares (période de retour 20 à 100 ans). Il présente un modelé plus plat, situé en contrebas de l'encaissant. La dynamique des inondations dans ces secteurs privilégie en général les phénomènes de décantation car ils sont submergés par des lames d'eau plus faibles que les unités précédentes. Toutefois, quand ils sont parcourus par d'anciens chenaux, ou gouttières connectées avec les talwegs latéraux, ils peuvent conserver ce que l'on appelle des axes de grand écoulement, qui restent relativement dynamiques en termes de hauteur et de vitesse.

VI.3.3. Les formes connexes

- **Les points de sortie et axes de crues** : ils constituent des vecteurs privilégiés d'évacuation des débits du chenal principal vers un bras de décharge ou un axe d'écoulement dans le lit majeur. Sur la cartographie, ils sont représentés par une flèche localisant la ligne de courant. Morphologiquement il s'agit de dépressions mobilisées pour les crues majeures traduisant localement un aléa plus fort (hauteur d'eau et vitesses) que dans le reste du champ d'inondation.
- **Les cônes de déjection** : les cours d'eau à caractère torrentiel, à forte pente et au contact des plaines littorales proches du niveau de base côtier, sont couronnés à leur exutoire par une accumulation de sédiments grossiers qui constituent des cônes de déjection.
- **Les ruissellements sur terres agricoles** : matérialisés par une trame hachurée verte, ils correspondent à des phénomènes de ruissellements surfaciques en nappe sur les versants pouvant aggraver le risque d'inondation. Concentrés dans les talwegs, ils peuvent se transformer en coulées boueuses si les pentes sont fortes. Les zones de production du ruissellement, en amont des bassins, sont repérées par une flèche verte.

VI.3.4. Prise en compte des aménagements et de l'occupation des sols

Les aménagements anthropiques, l'urbanisation ainsi que certains éléments du milieu naturel (verrous rocheux) ont des incidences directes, multiples et variées sur la dynamique des écoulements au sein du champ d'inondation.

Aussi, les éléments suivants sont cartographiés : ponts, digues, seuils, remblais d'infrastructures linéaires ou surfaciques, autant d'ouvrages longitudinaux ou transversaux susceptibles de faire obstacle aux écoulements ou de favoriser l'évacuation des crues vers l'aval.

Même si la méthode hydrogéomorphologique ne permet pas d'évaluer l'influence de ces aménagements sur la variation de la ligne d'eau ou des vitesses, elle permet toutefois, de donner un avis d'expert sur leurs impacts en termes hydrodynamique (surcote, sédimentation, etc....).

Sur le terrain, une attention particulière est également portée sur les objets naturels ou ouvrages transversaux pouvant générer des embâcles, aggravant ainsi notablement les risques d'inondation.

VI.4. Difficultés et limites de l'approche

VI.4.1. Généralités

La cartographie hydrogéomorphologique constitue un outil de diagnostic du risque inondation, complémentaire des autres méthodes hydrologiques et hydrauliques.

Elle possède ses propres atouts et limites, aujourd'hui bien connus. Analyse naturaliste fondée sur une science d'observation, elle permet d'obtenir uniquement des **informations qualitatives**. En particulier, elle ne fournit pas d'indication directe en termes de hauteurs d'eau et de vitesses d'écoulement.

VI.4.2. Cas particulier du bassin versant de la Bénovie

La structure du bassin versant de la Bénovie présente un **morphotype particulier** en raison de **l'importance des dépôts de colluvions et de marnes qui empâtent les pieds de versants**, dominés par un réseau de petites buttes et collines qui arment les reliefs.

Ces formations tendres sont largement disséquées par le réseau hydrographique secondaire qui crée des plaines alluviales assez larges pour des bassins versants de taille modeste (quelques dizaines de kilomètres carrés). Dans les colluvions, la morphologie des zones inondables s'apparente souvent à des vallons secs "en berceau" dont les limites externes sont difficiles à identifier car les contacts et les différences sédimentologiques sont peu marqués.

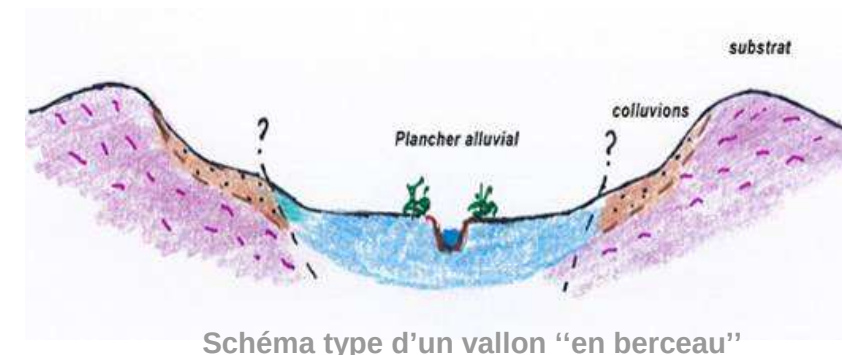


Schéma type d'un vallon "en berceau"

De fait, cette situation induit des difficultés d'interprétation **qui requièrent une analyse de terrain plus poussée dans certains bassins** à l'interface entre les zones de piedmont colluviales, soumises aux phénomènes de ruissellement sur terres agricoles drainées par une multitude de talwegs à écoulement temporaires, et le plancher alluvial des tributaires principaux, qui collectent et concentrent les écoulements.

La vallée de la Lequette, qui recueille les eaux du versant de la Cuesta de Bois Nègre qui domine Montaud (cf. photo ci-après), et le bassin de Sainte-Croix-de-Quintillargues, dégagés dans les colluvions, s'inscrivent dans cette situation.

Dans le même type de configuration lithologique, on retrouve le glacis de Campagne, dégagé dans un piedmont argilo-caillouteux oligocène qui recèle un certain nombre de petits vallats torrentiels à fond plat (Ruisseau des Combes, Ruisseau de la Barque, Ruisseau des Caunes) dont l'emprise des plaines alluviales (parfois coalescentes) est complexe à déterminer.

VI.5. Cartographies

Annexes n°7 et 7.9 : Cartographie des zones inondables par analyse hydrogéomorphologique

VI.5.1.Commentaire général

L'atlas est constitué des cartes effectuées avec la méthode décrite précédemment, présentées sur fond de plan Orthophoto (IGN BD Ortho) au 1/10 000ème sur l'ensemble des secteurs étudiés. Leur précision correspond à ces échelles et à ce support uniquement.

VI.5.2.Commentaire propre à la commune de Saint Bauzille de Montmel

Vallat de Conque et affluents

Dans la continuité de la section précédente, au Nord de la commune de Saint-Bauzille, le Vallat des Conques et ses affluents (Ru de la montée des Bans et tributaires) s'inscrivent dans des formations calcaires plus résistantes (Thitonique). Ils adoptent sur l'essentiel de leur parcours un profil en gorges avec une vallée étroite et encaissée où le plancher alluvial du cours d'eau est relativement réduit.

Le lit du cours d'eau entaille généralement le substratum rocheux (bed-rock) dégageant un profil en long erratique constitué d'une succession de seuils rocheux et de vasques (cf. photo ci-contre).



Seuils et vasques dans la partie naturelle du Vallat

L'essentiel du parcours des cours d'eau se déroule en milieu naturel de garrigue avec un fond de talweg qui peut, par endroit, être très embroussaillé par une ripisylve de pins et d'arbustes.

A l'amont du Mas de Martin où l'on recoupe des horizons calcaro-marneux (calcaires en plaquettes), la charge solide devient plus importante dans le chenal d'écoulement et les phénomènes d'érosion de berges traduisent la présence d'un cours d'eau potentiellement très dynamique.

Sur la section cartographiée les débordements significatifs concernent essentiellement la partie aval au niveau du petit bassin du Mas Martin où les terrains viticoles qui bordent le cours d'eau peuvent être inondés par des débordements. Le hameau en temps que tel, situé en position de terrasse par rapport au cours d'eau, ne peut pas être touché par les crues. En revanche, les bâtiments du domaine viticole situés dans l'axe du Ru de Saint-Martin pourraient être affectés par le débordement de ce petit affluent de taille modeste. En effet, ce dernier concentre les ruissellements susceptibles d'affecter le vignoble plus à l'amont, en pied de versant.

Ruisseau de Crouzet

Situé à l'Ouest de la commune le Ruisseau de Crouzet est un petit organisme méridien (orienté Sud-Nord) d'un peu plus de 2 kilomètres qui draine les crêtes de la colline de la Suque et de Serre-Pierrasses.

Sur l'ensemble de son parcours, le cours d'eau est relativement bien encaissé avec un plancher alluvial relativement réduit qui recoupe les formations calcaro-marneuses encaissantes occupées par des terrains naturels et agricoles.

Il est à noter que l'incendie récent d'une partie des terrains fragilise les sols et favorise localement les phénomènes d'érosion, qui se traduisent par un accroissement de la charge solide fine (limons argileux) en fond du lit. Ce phénomène est particulièrement visible à l'aval du hameau de Peyregrosse où le cours d'eau incise plus largement le substratum au contact d'affleurements marneux prédominant (cf. photo ci-contre).



Le Ru de Crouzet en aval de Peyregrosse

Ruisseau du Truc de Salles

Le Ruisseau du Truc de Salles est un petit vallon en berceau à fond plat, affluent du Ruisseau du Valen, qui se développe au niveau du quartier des Barandons au sud-ouest du village de Saint-Bauzille.

Ce bassin versant péri-urbain, inférieur à 1 km², est concerné par une problématique de ruissellement pluvial. Elle a été traitée dans la cartographie par :



- une zone de concentration (cartographiée en bleu) se développant de part et d'autre du talweg sec qui constitue le chenal d'écoulement. La visite de site (cf. photo ci-contre) montre que les écoulements peuvent y être assez dynamiques ;
- une zone de ruissellement sur colluvions correspondant à un phénomène d'étalement des eaux.

Le talweg du ruisseau du Truc de Salles

L'essentiel des habitations sont concernées par ces phénomènes, sachant que certains obstacles anthropiques (murets clôtures) peuvent créer des poches favorisant localement du sur-stockage des eaux.

- **Ruisseau de Valen**

En aval du village de St-Bauzille, le ruisseau de Valen, alimenté par une série de petits talwegs péri-urbains qui concentrent les écoulements, offre une plaine alluviale relativement étroite et encaissée dans les formations colluviales de piedmont très tendres. Il s'agit d'un secteur où les dynamiques peuvent être relativement importantes (notamment en termes de vitesses, ce qui se traduit par des phénomènes d'érosion de berges) en liaison avec la problématique de ruissellement en milieu urbain qui se produit plus en amont au niveau du village. Sur les 500 derniers mètres, son lit majeur s'élargit pour développer une petite zone d'expansion à la confluence avec le Ruisseau de la Lequette au niveau du moulin de Bourret.

- **Ruisseau du Pontil**

Situé au sud du village, en limite de la commune adjacente de Montaud, ce petit vallon dégagé dans les colluvions constitue le principal affluent de la Lequette.

Issu des reliefs de la colline de Serre-Pierrasses, il présente une pente assez forte sur son profil amont qui recoupe les reliefs calcaires, ce qui lui confère une certaine activité hydrodynamique. De part cet aspect, au droit de la confluence avec la Lequette, il contribue à élargir la zone inondable du cours d'eau principal, avec lequel il partage sa plaine alluviale sur les derniers 500 mètres de son parcours.

VII. DETERMINATION DES ZONES DEVANT FAIRE L'OBJET D'UNE MODELISATION DETAILLEE

Sur la base des éléments précédents (hydrologie, hydrogéomorphologie et études des enjeux), et en concertation avec la DDTM de l'Hérault, un certain nombre de secteurs ont fait l'objet d'une modélisation détaillée afin d'affiner l'aléa inondation. Sur le linéaire restant, une modélisation générale a également été réalisée, avec un espacement plus élevé des profils en travers.

VII.1. Problématique concernant les bassins inférieurs au km²

Si la modélisation d'un cours d'eau tel que la Bénovie ne soulève aucune interrogation, la problématique principale concerne les ruisseaux dont les bassins versants présentent des superficies inférieures au km², et qui en théorie relèvent de la problématique « ruissellement pluvial » et ne doivent pas être pris en considération dans le PPRi.

Nous nous sommes donc attachés à justifier la prise en compte ou non de ces petits ruisseaux dans le cadre d'une modélisation détaillée.

A noter également que si ces derniers n'ont pas fait l'objet d'une modélisation détaillée, et sauf cas particulier, ils n'ont également pas fait l'objet de calculs ponctuels : en effet, indépendamment du fait qu'ils ne doivent théoriquement pas être pris en considération dans le PPRi de part leur superficie, ils ne présentent généralement pas de thalweg marqué, et les débordements se font alors en nappe avec des hauteurs d'eau relativement faibles et étalées, et donc difficilement quantifiables par calcul.

VII.2. Présentation des secteurs modélisés sur la commune de Saint Bazille de Montmel

Cours d'eau concerné :

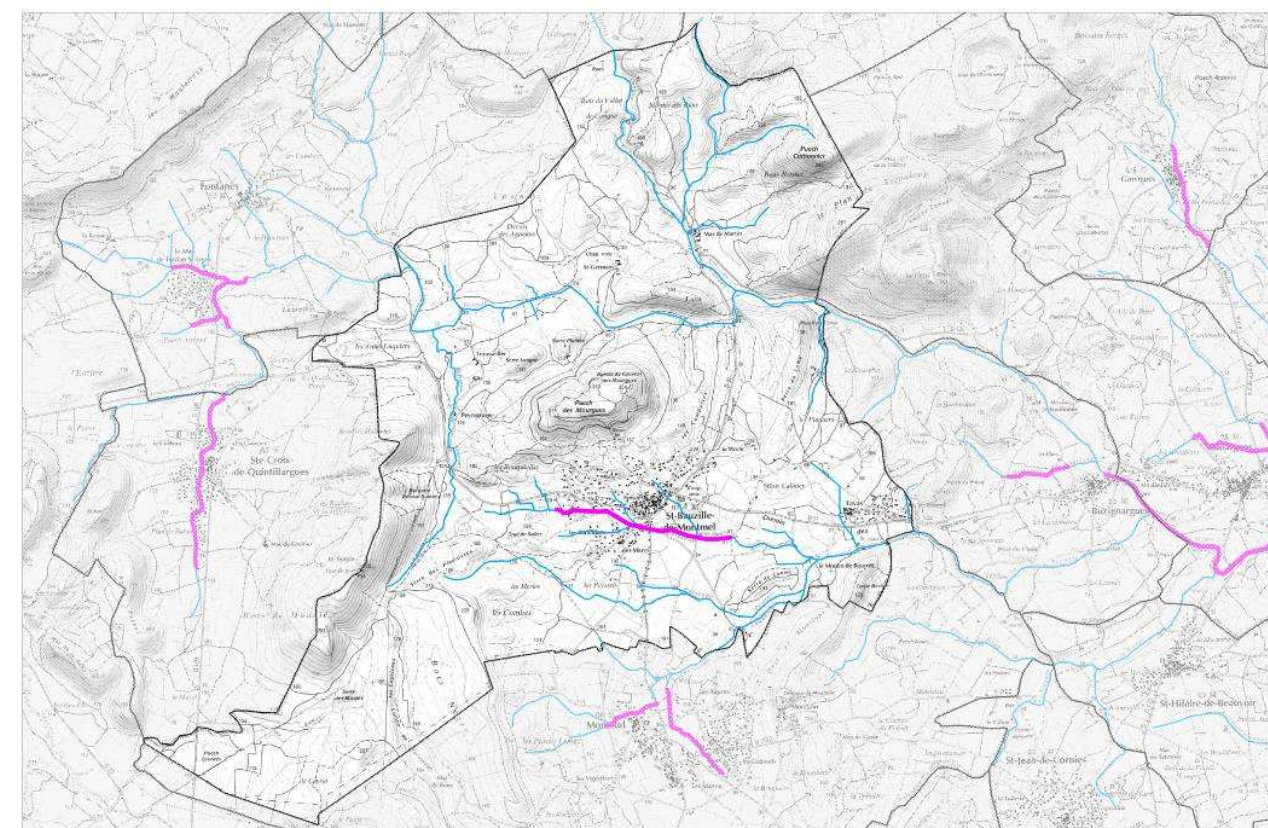
- Ruisseau du Valen, sur 1.61 km

Le tronçon correspondant est représenté en rose sur la carte ci-après.

Le ruisseau du Valen est le seul cours d'eau du secteur drainant une superficie supérieure à 1 km². D'autres ruisseaux traversent le bourg, mais leur superficie demeure très largement inférieure à 1 km². En outre, ils sont généralement fortement anthropisés. Nous avons donc considéré que l'étude de ces derniers relève de la problématique « ruissellement pluvial ». Par ailleurs, aucun calcul ponctuel n'a été réalisé ($S < 1 \text{ km}^2$).

Les petits ruisseaux sur le hameau de Favas sont assimilables à des fossés, drainant qui plus est une superficie largement inférieure au km² ; là aussi, nous avons considéré que cela relève de la problématique « ruissellement pluvial ». Aucun calcul ponctuel n'a donc été réalisé. ($S < 1 \text{ km}^2$).

Le ruisseau qui traverse le Mas de Martin, au nord de la commune, draine un bassin de l'ordre de 0.9 km². Le thalweg est bien marqué, et cela concerne la problématique « débordement ». Cependant, les enjeux concernés demeurent faibles : un calcul ponctuel a été réalisé au droit de l'habitation concernée.



VIII. LA MODELISATION HYDRAULIQUE

VIII.1. Principe

Afin d'avoir une vision quantitative de la problématique inondation en tout point de la zone d'étude, il est nécessaire de simuler les crues et leur propagation. Pour ce faire, une modélisation hydraulique doit être réalisée. Elle a pour objectif de caractériser les paramètres permettant de définir l'aléa, notamment les niveaux des plus hautes eaux.

VIII.2. Présentation des modèles

VIII.2.1. La modélisation hydraulique – principes généraux

La modélisation hydraulique d'un cours d'eau consiste en la représentation mathématique des écoulements de ce dernier. Il s'agit de résoudre numériquement par l'intermédiaire d'un module de calcul adapté, les équations complètes régissant les écoulements à surface libre (équations de Barré de St-Venant), dont le principe est la conservation de la masse et de l'énergie.

Lorsque l'écoulement est supposé suffisamment rectiligne pour que chaque section soit sensiblement perpendiculaire à un axe dit axe de l'écoulement et soit définie par la connaissance de son abscisse, on parle alors d'écoulement unidimensionnel, ou 1D. Il s'agit du cas le plus souvent rencontré et modélisé.

Parmi les modèles 1D, on distingue les modèles à bief unique, les modèles ramifiés qui permettent de considérer des affluents et enfin les modèles maillés qui autorisent la prise en compte de bras multiples. Dans un modèle 1D, le lit mineur et le lit majeur actif coulent en même temps mais il est possible de différencier les coefficients de rugosité des deux lits.

Les modèles bidimensionnels horizontaux (dits 2D) sont libérés de cette hypothèse d'écoulement axial. Ils permettent de simuler en plan les écoulements et de tenir compte finement des obstacles dans le lit majeur. Ces modèles sont particulièrement adaptés aux configurations complexes, par exemple lorsque les écoulements sont fortement divergents, en milieu urbain notamment.

Pour l'étude sur la Bénovie, les deux types de modélisation hydraulique sont exploités :

- La modélisation 1D, qui, on le rappelle, apprécie les écoulements sur une seule direction (écoulements unidirectionnels) sera la plus couramment utilisée, car elle est adaptée aux cours d'eau ayant un sens d'écoulement privilégié, ce qui est le cas de la quasi-totalité des cours d'eau du bassin versant. Le modèle 1D est construit sur la base des données fournies par le maître d'ouvrage et des relevés topographiques réalisés dans le cadre de l'étude.
- La modélisation 2D, qui prend en compte les écoulements multidirectionnels, sera mise en œuvre dans la zone urbaine de Montaud, où, compte tenu du contexte hydraulique local et de la configuration topographique du site, le ruisseau drainant les Piochs Longs débordant forme des écoulements multidirectionnels. Le modèle est construit sur la base des relevés topographique réalisés dans le cadre de l'étude.

VIII.2.2. Le modèle 1D

 *Annexe n°8 : Présentation sommaire de HEC-RAS*

Pour la modélisation 1D, le code de calcul HEC-RAS a été utilisé. Il fournit, pour une crue donnée, une cote en chaque profil ainsi que les débits débordés et les vitesses moyennes d'écoulement. Il est particulièrement adapté à l'étude des réseaux filaires mais gère également les écoulements avec débordements latéraux et éventuellement maillés et permet de prendre en compte toutes les singularités y compris les franchissements d'ouvrages. Le logiciel est présenté en annexe 8.

Le calcul est effectué en régime permanent, c'est-à-dire en considérant un débit constant dans le temps. Les apports intermédiaires, liés en particulier aux affluents, seront ajoutés aux débits amont.

Plus de 95 % du linéaire étudié est modélisé suivant ce principe qui est totalement adapté au contexte du Bassin Versant de la Bénovie.

VIII.2.3. Le modèle 2D

 *Annexe n°9 : Présentation sommaire de SW2D*

Le modèle 2D utilisé sur Montaud du fait du contexte hydrographique particulier sur cette zone est SW2D et la chaîne de logiciels associés. Il s'agit d'un code développé par le Laboratoire HydroSciences Montpellier, en partenariat avec Grontmij. C'est un code de calcul bidimensionnel, calculant les champs de vitesses et les niveaux d'eau sur un domaine quelconque. Le logiciel est présenté en annexe 9.

Il résout les équations de l'hydraulique à surface libre par la méthode des volumes finis, requérant au préalable une discrétisation spatiale du terrain naturel en mailles triangulaires ou quadrilatérales. Cette discrétisation est particulièrement bien adaptée aux cas de rivières à géométrie complexe, car elle permet de coller précisément à la géométrie des lits mineurs et majeurs et à leurs singularités.

Par ailleurs, SW2D rend compte de la nature du terrain et de l'occupation des sols par des paramètres globaux de rugosité et de porosité : les obstacles naturels ou non aux écoulements sont donc simulés à l'échelle macroscopique, ce qui demandent un niveau de détail moindre.

A l'instar du 1D, le calcul est également effectué en régime permanent.

VIII.3. Les données topographiques

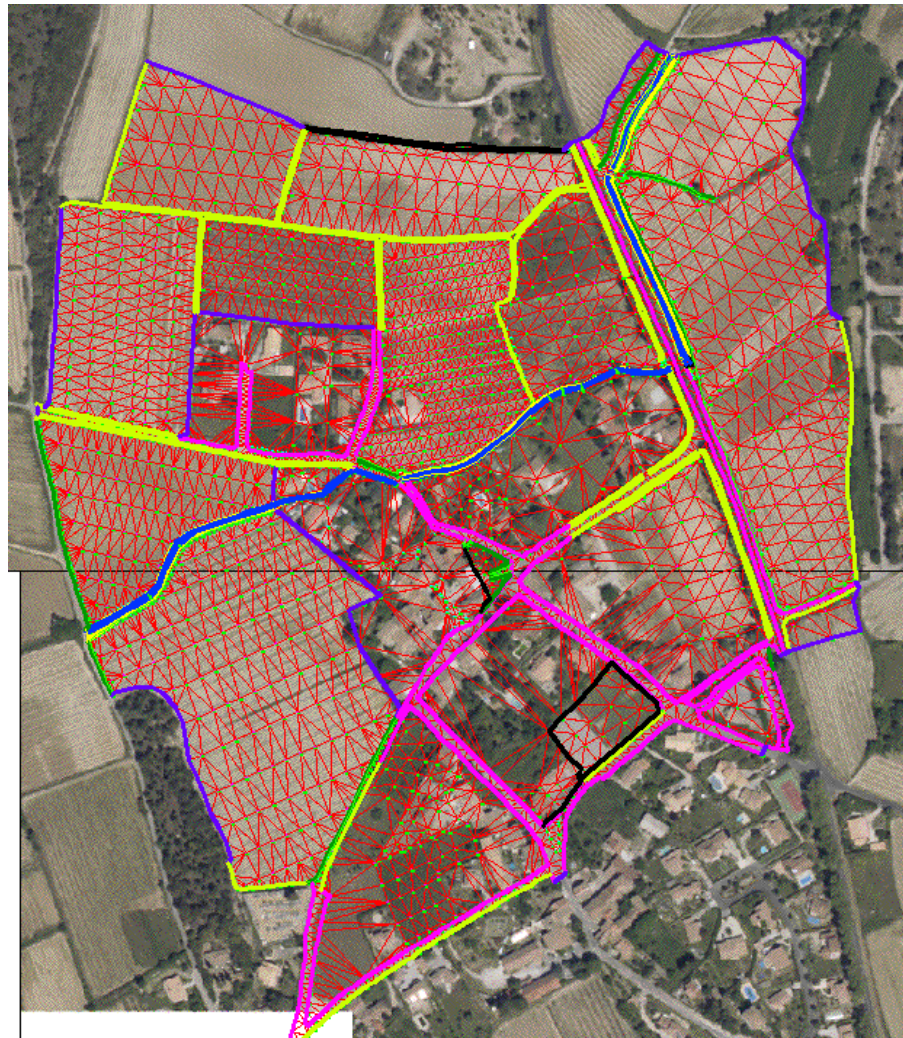
Les données topographiques relevées pour la mission sont de deux types :

1. Pour la modélisation 1D :

- profils en travers (et levés d'ouvrages le cas échéant) sur tous les cours d'eau concernés. Ces levés concernent l'ensemble du linéaire étudié. A noter que sur les secteurs faisant l'objet d'une modélisation détaillée (cf. chapitre précédent), une densification des profils a été réalisée (distance inter-profil de l'ordre de 50 à 100 m en général). Sur le reste, l'espacement est plus élevé (en moyenne, aux alentours de 500 m).
- semis de points complémentaires sur les secteurs à enjeux, qui après constitution d'un Modèle Numérique de Terrain (MNT), ont permis d'affiner l'emprise des zones inondables.

2. Pour la modélisation 2D :

- semis de points précis sur la traversée de Montaud. L'ensemble de la zone couverte par la modélisation 2D a fait l'objet d'un levé densifié (dans les limites des secteurs accessibles), avec plus de 1500 points nivelés, permettant de caractériser la topographie générale de la zone et les éléments structurant les écoulements. A partir de ce levé, un MNT a été construit dans le but de disposer d'une représentation fiable de l'altimétrie générale du terrain naturel en tout point de la zone d'étude. Ce MNT est particulièrement utile pour la construction du maillage 2D. Le levé est présenté ci-après, avec les points de semis en vert, les différentes lignes de structure en couleur, et la triangulation du MNT en rouge.



Le levé topographique sur Montaud

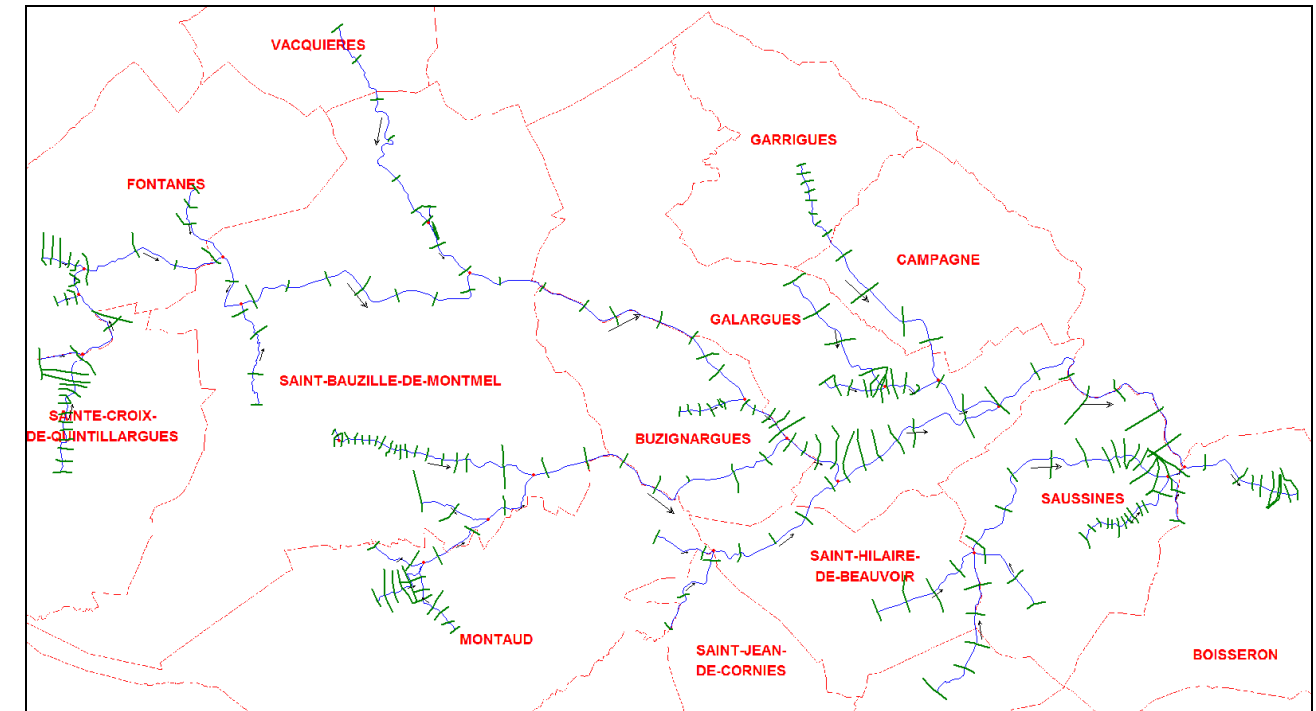
A noter que pour la cartographie des zones inondables à l'échelle du bassin, plus particulièrement sur les zones hors enjeux, un MNT a été construit sur la base des données GAiA Mapping fournies par le maître d'ouvrage.

VIII.4. Construction des modèles

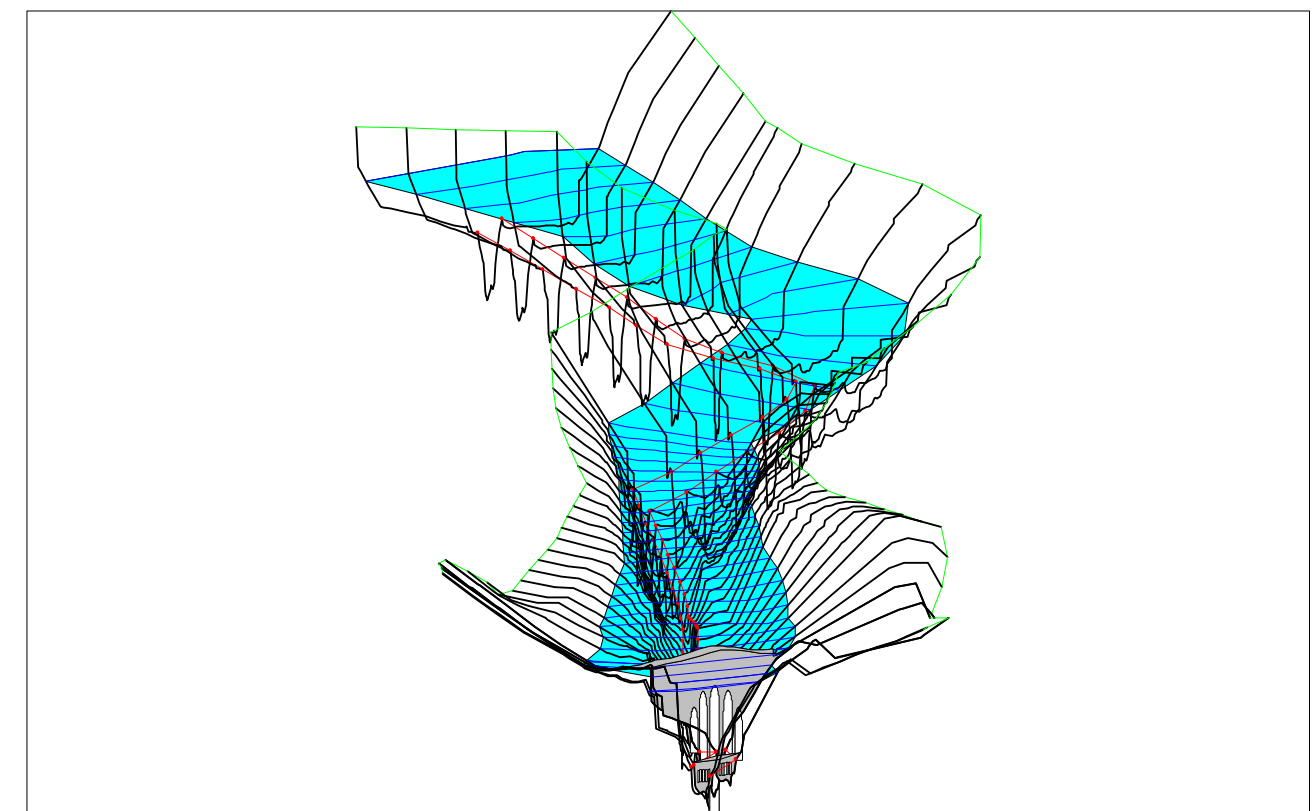
Pour la modélisation 1D, le modèle hydraulique est construit sur la base de levés topographiques terrestres réalisés par la brigade topographique de GINGER Environnement & Infrastructures, au moyen d'un matériel (GPS notamment) permettant une acquisition de précision centimétrique en X, Y et Z (profils lit mineur, profils champ majeur, ouvrages d'art, seuil, zones de stockage, zones de convergence ou divergence,...). Une vue générale de la localisation des profils est présentée page suivante.

La topographie a permis de prendre en compte dans la modélisation les principaux éléments structurant les écoulements (ponts, digues,...) au niveau des secteurs à enjeux.

Le modèle global est présenté schématiquement ci-après, ainsi qu'un extrait 3D.

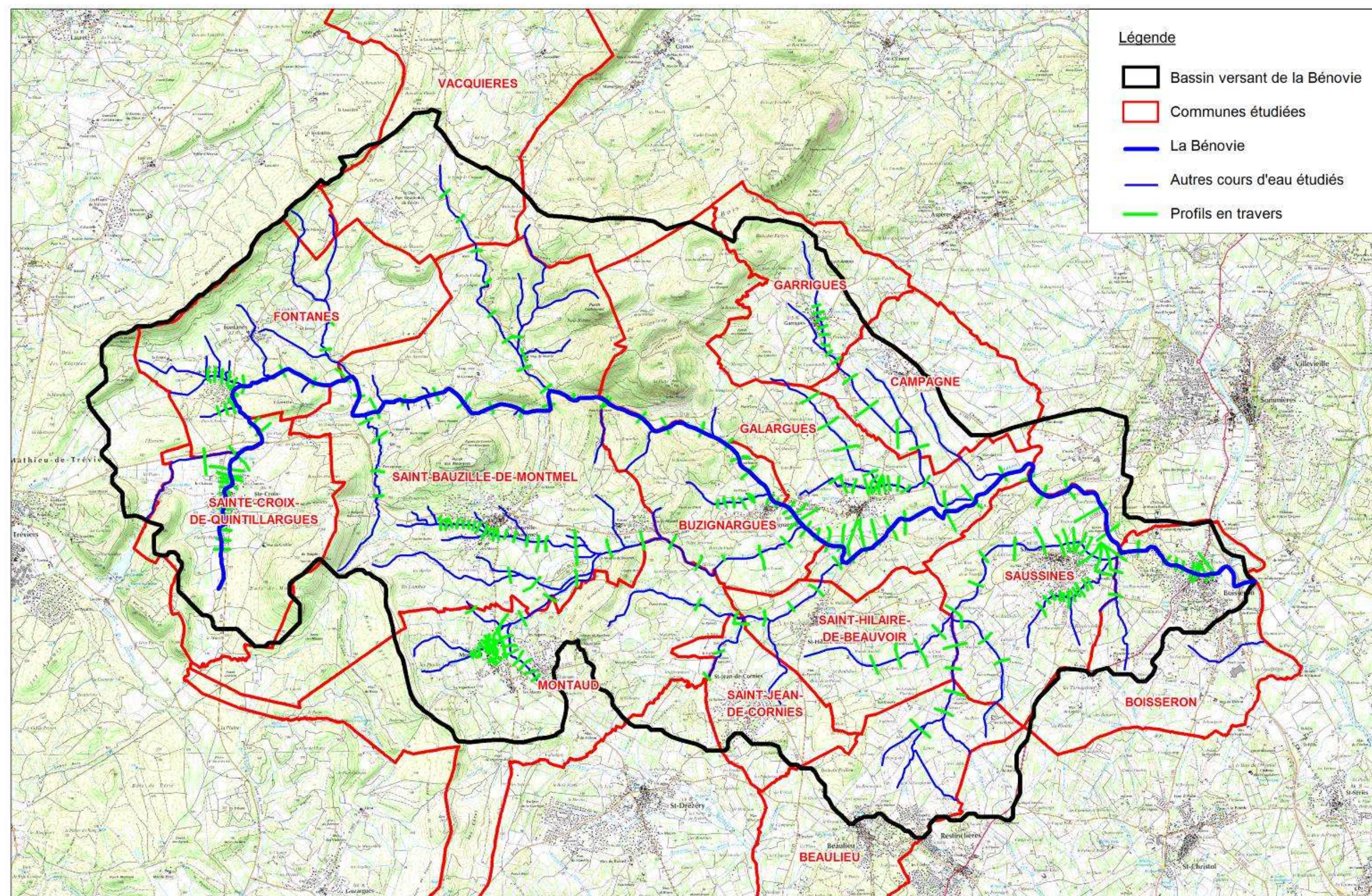


Représentation schématique de la structure du modèle 1D sur la Bènovie



Exemple de rendu 3D sur la Bènovie à Boisseron, montrant la structure générale du modèle à cet endroit, avec notamment la prise en compte de l'ouvrage de la RD 610

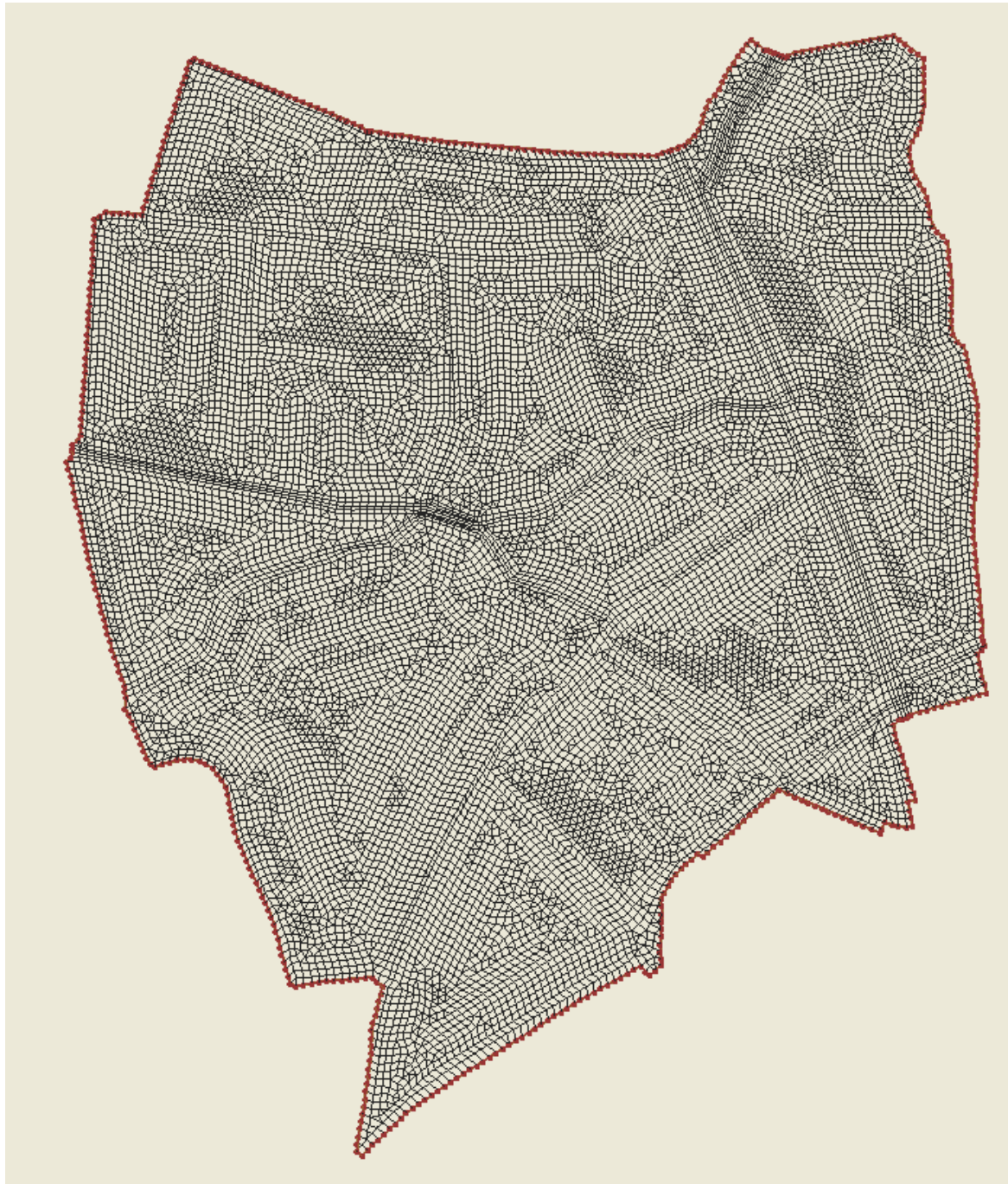
Localisation des profils en travers sur le bassin



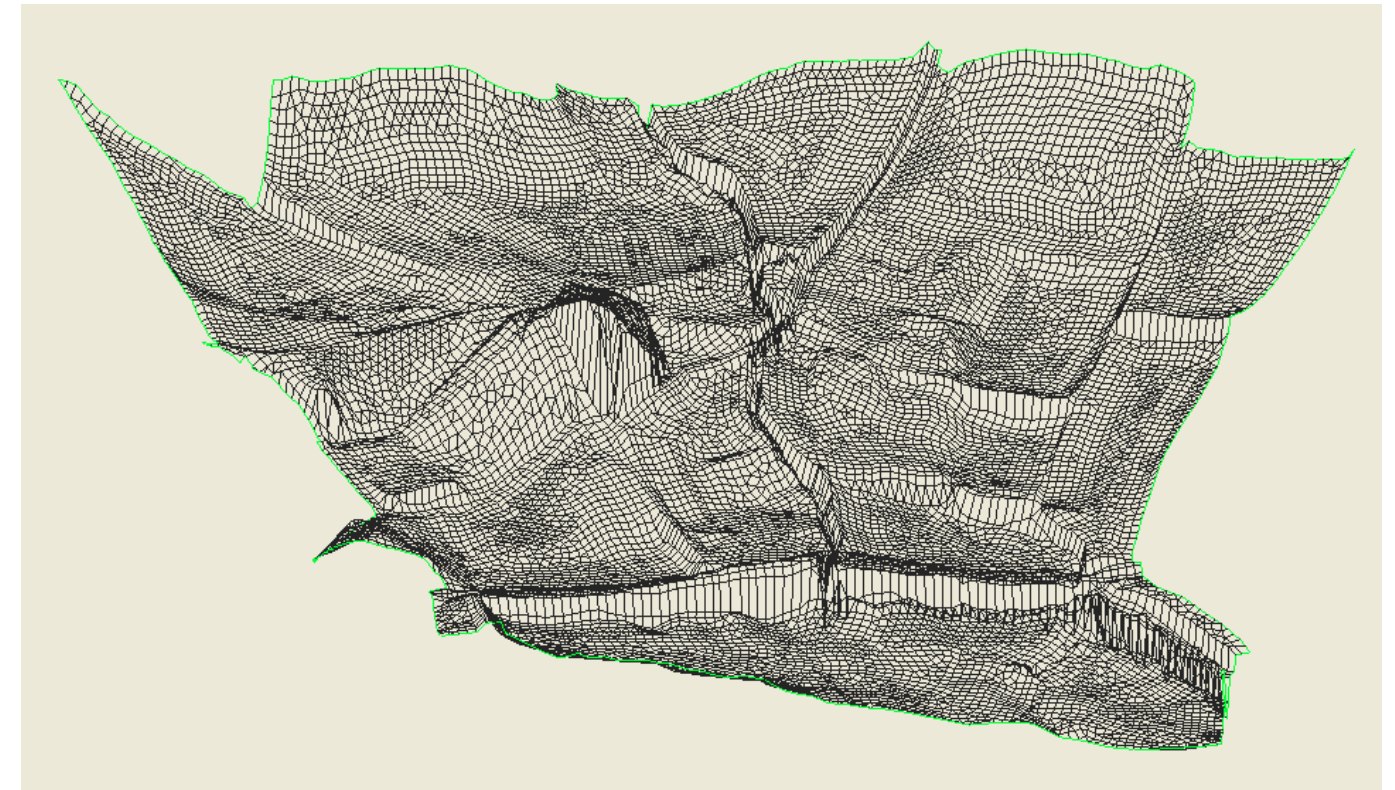
Afin de faciliter l'exploitation des résultats, et d'avoir une représentation réaliste dans l'espace, tous les points levés sont geo-référencés. Les profils en travers levés sont présentés en annexe 13.

Pour la modélisation 2D, le modèle hydraulique est construit sur la base d'un semis de points réalisé dans les mêmes conditions que pour la 1D. Dans un premier temps, le maillage du modèle est construit en 2D, puis calé en Z en plaquant celui-ci sur le MNT disponible.

Le maillage est caractérisé par la suite, d'abord en plan, puis en vue 3D après projection sur le MNT. A noter que le bâti n'est pas pris en compte « physiquement » (pas de représentation 3D des bâtiments), mais uniquement dans le cadre d'une variation locale du coefficient de porosité.



Vue en plan du maillage sur Montaud



Vue en 3D du maillage sur Montaud (de l'est vers l'ouest)

VIII.5. Conditions aux limites

Les conditions limites amont seront les débits de pointe issus de l'analyse hydrologique (Cf. chapitre II du rapport concernant la Tranche Ferme). **Sur la base des conclusions de cette dernière, la crue de référence retenue sur le bassin de la Bénovie est la crue centennale modélisée, en l'absence de données concernant des crues historiques d'ampleur supérieure.** A ce sujet, on rappellera notamment que l'épisode de 2002 est statistiquement inférieur à la crue centennale. Pour les cours d'eau principaux, les apports des différents affluents seront injectés de préférence aux points de confluence.

Les limites aval peuvent être de plusieurs types, dépendant notamment de l'appréciation du fonctionnement hydraulique aux confluences :

- hauteur issue d'une loi de tarage,
- hauteur normale,
- loi de seuil,
- données historiques,
- hauteur issue de la modélisation hydraulique pour les affluents (notion de contrôle aval des cours d'eau principaux sur les affluents),...

Après expertise de terrain et analyse des données existantes, les limites aval prises en compte dans le cadre de cette étude sont :

- la cote atteinte par la crue de septembre 2002 sur le Vidourle (25.56 m NGF), pour la crue de référence (Q100) de l'étude,
- la hauteur normale calculée avec la formule de Manning-Strickler, pour les autres crues.

VIII.6. Procédure de calage des modèles

Le calage s'effectue sur la base d'une estimation des coefficients de rugosité des lits mineurs et du champ majeur, généralement après expertise de terrain. Deux objectifs sont à atteindre :

- avoir une représentation physiquement réaliste des écoulements (pas de survitesses importantes, écoulement de type fluvial avec un nombre de Froude inférieur à 1 sauf exception très locale – seuil par exemples ou surverse par-dessus un pont –)
- retrouver une ligne d'eau modélisée cohérente avec les observations, lorsqu'elles existent. Concernant ce dernier point, il est important de préciser que très peu de PHEC fiables sont disponibles sur la Bénovie (cf. chapitre V). Elles ne concernent que la crue de septembre 2002, et uniquement sur la commune de Boisseron

Il est important de rappeler que les valeurs utilisées au cours de l'étude ne seront pas issues d'une nomenclature particulière, mais émanent du retour d'expérience acquis par GEI sur les cours d'eau régionaux. En théorie, si l'évaluation des coefficients de rugosité ne dépend que du tirant d'eau et de la dimension caractéristique des matériaux constitutifs du lit, on sait d'expérience que dans le cadre d'une modélisation, ces coefficients prennent en compte également les pertes de charges dues aux turbulences. Dans ces conditions, la quantification des coefficients de rugosité relève plus de l'expertise de terrain que de l'application d'une nomenclature donnée.

Pour la Bénovie et ses affluents, et après visite de terrain, les coefficients de rugosité (Strickler) sont estimés à des valeurs :

- de l'ordre de 10 pour le champ majeur, très encombré (présence de végétation, d'obstacles) ;
- aux alentours de 15 pour le lit mineur, fortement végétalisé.

Ces valeurs permettent de satisfaire aux deux objectifs précédents, à savoir :

■ une représentation physiquement réaliste des écoulements :

Les vitesses d'écoulements pour Q100 sont de l'ordre de 2 m/s en moyenne dans les lits mineurs, pour 0.5-1 m/s en champ majeur, ce qui est conforme aux ordres de grandeur attendu pour ce type de cours d'eau dans les conditions modélisées.

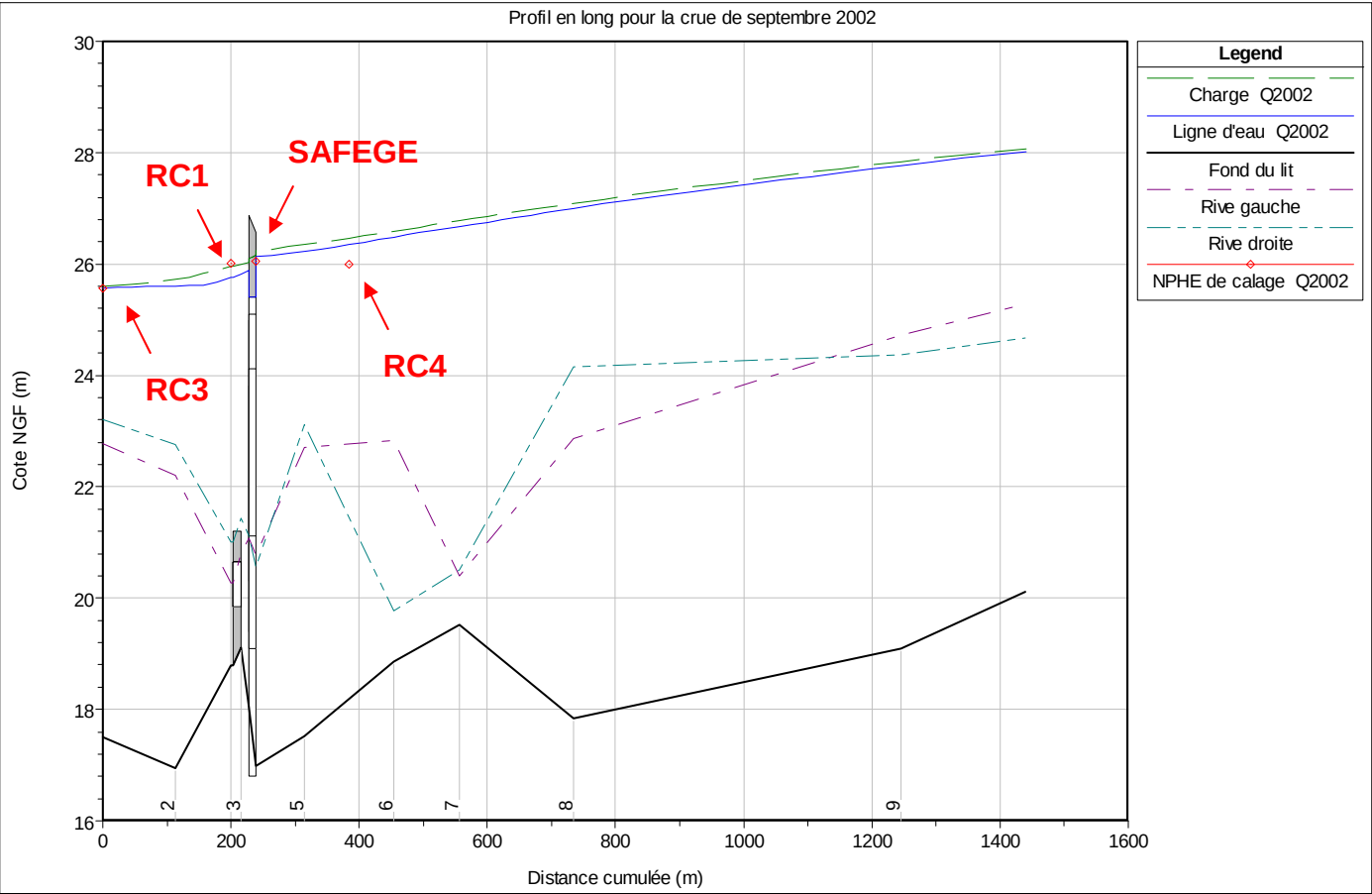
■ un calage sur les données observées sur 2002 :

On rappellera que Boisseron est la seule commune sur laquelle des données relativement fiables existent pour la crue de septembre 2002. Sur ce secteur, nous disposons en effet de 3 PHEC relevés dans le cadre de la présente étude, ainsi que la cote caractérisée par la SAFEGE à l'amont immédiat du pont de la RD 610.

La comparaison entre les cotes modélisées et observées est présentée sous deux formes :

- Un tableau récapitulatif, précisant notamment la valeur de la charge calculée (cote de la ligne d'eau sommée à énergie cinétique). Cette dernière donnée est intéressante, car une cote observée peut être représentative de la charge, par exemple au droit d'un obstacle, tout ou partie de l'énergie cinétique se dissipant pour se transformer en énergie potentielle, et donc en une remontée locale de la ligne d'eau.
- Un profil en long, avec la ligne d'eau, la ligne de charge et les niveaux observés.

N°PHE	Cote observée (m NGF)	Cote modélisée (m NGF)	différence/ cote modélisée (m)	Charge modélisée (m NGF)	différence/ charge (m)	Remarque
RC3	25.56	25.56	0	25.6	-0.04	condition limite aval du modèle
RC1	26.02	25.76	0.26	25.95	0.07	NPHE représentative de la charge
-	26.05	26.14	-0.09	26.24	-0.19	cote SAFEGE
RC4	26	26.35	-0.35	26.47	-0.47	cote observée soumise à très forte incertitude (estimation du propriétaire)



L'analyse des résultats précédents montre que globalement, et compte tenu des incertitudes inhérentes aux PHEC et à leur validité, le calage est satisfaisant pour la crue de septembre 2002 sur Boisseron.

IX. RESULTATS ET CARTOGRAPHIE – CARACTERISATION DE L’ALEA INONDATION

IX.1. Les résultats

- Annexe n°12 : Résultats de la modélisation 1D
- Annexe n°13 : Levés topographiques – Profils en travers

Pour la modélisation 1D, les résultats sont présentés en annexe 12, pour chaque occurrence 5, 10, 50 et 100 ans. Un tableau de synthèse indique, pour chaque crue et par profil, les cotes des plus hautes eaux, ainsi que les débits et vitesses moyennes.

Pour la modélisation 2D, les cotes des plus hautes eaux sont également récapitulées en annexe, mais uniquement graphiquement et pour la crue centennale. Elles ont été caractérisées sous formes d’isocotes, par pas de 1 m. Les débits associés sont explicités.

IX.2. Caractérisation de l’aléa inondation sur la zone d’étude

- Annexe n°10 : Cartographie des hauteurs d'eau
- Annexe n°11 : Cartographie de l'aléa inondation

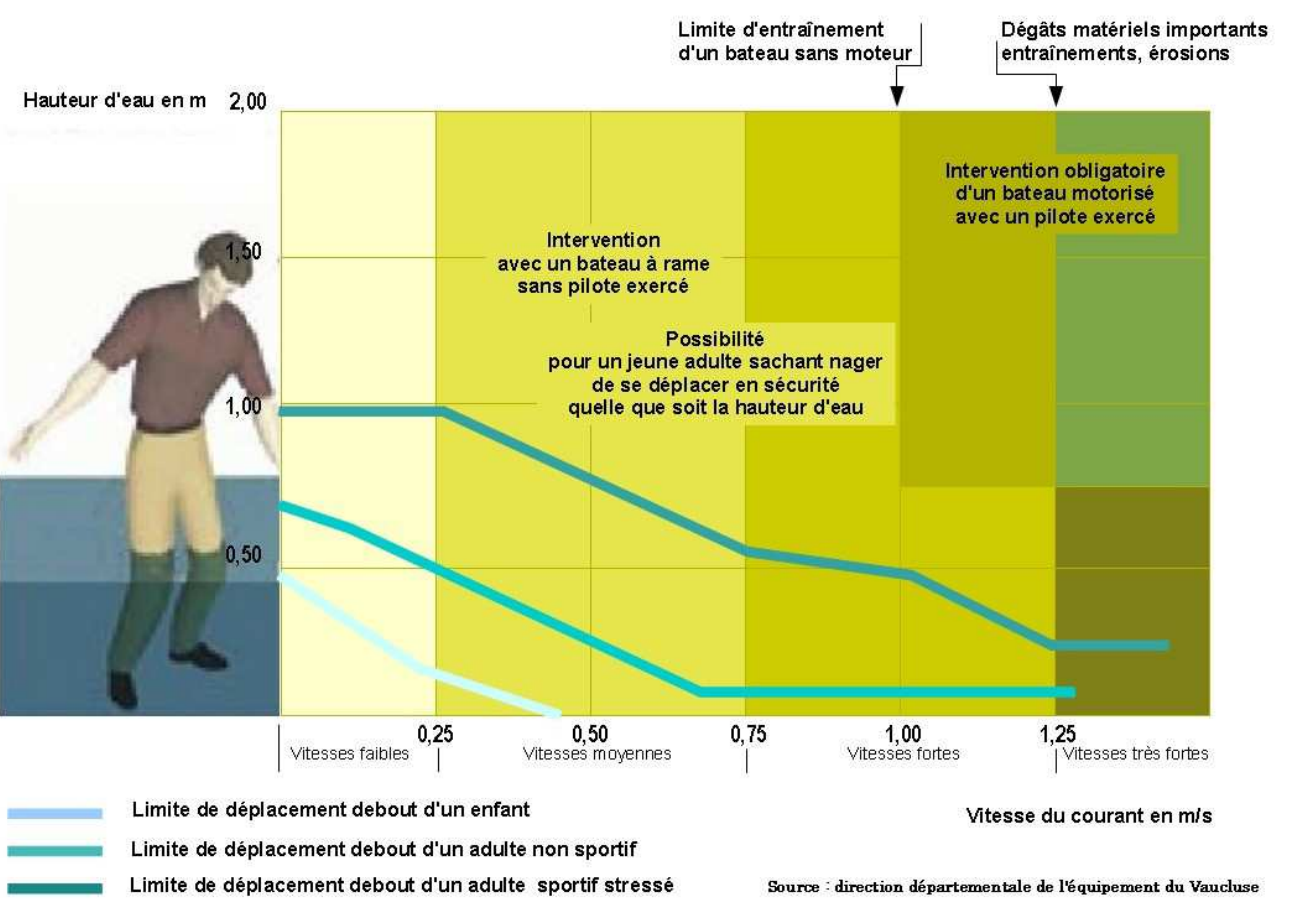
IX.2.1. Principes généraux

Conformément à la doctrine régionale approuvée en conférence administrative régionale de juin 2003, l'aléa inondation est caractérisé sur les critères exposés ci-après. La cartographie correspondante est présentée en annexe 11.

	Vitesse V < 0.5 m/s	Vitesse V ≥ 0.5 m/s
Hauteur d’eau H < 0.5 m	Modéré	Fort
Hauteur d’eau H ≥ 0.5 m	Fort	Fort

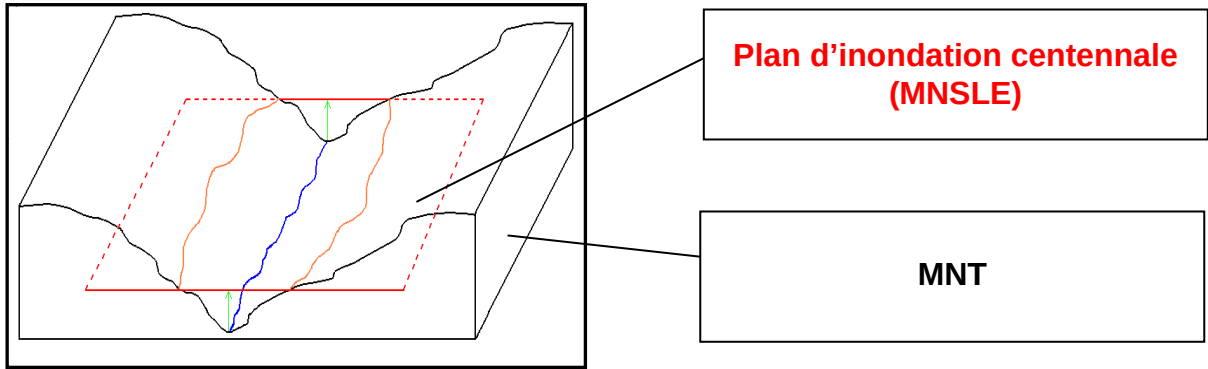
Dans l’Hérault d’une manière générale et pour la Bénovie en particulier, la hauteur et la vitesse sont les éléments pris en compte pour déterminer les caractéristiques de l’aléa. Elles peuvent en effet avoir un impact important sur les personnes et le bâti.

Pour l’homme, on considère généralement que des hauteurs d’eau supérieures à 50 cm sont dangereuses. En effet, l’expérience montre que – même avec une vitesse faible – ce seuil de 0.5 m rend impossible le déplacement d’un adulte, et a fortiori d’un enfant ou d’une personne âgée. Par ailleurs, une voiture commence à flotter à partir de 30 cm. La vitesse d’écoulement, très délicate à appréhender, est conditionnée par la pente du lit et sa rugosité. Elle peut atteindre plusieurs mètres par seconde. **La dangerosité de l’écoulement dépend du couple hauteur/vitesse.** Par ailleurs, la structure porteuse de l’habitation peut être endommagée et les sols et murs gorgés d’eau.



IX.2.2. Secteur ayant fait l’objet de la modélisation hydraulique

Pour la modélisation 1D, les hauteurs de submersion sur la zone sont obtenues en croisant le Modèle Numérique Surfaccique de Ligne d’Eau (MNSLE) défini sur la base des cotes des niveaux des plus hautes eaux calculées au droit des profils en travers, avec les MNT exploités dans le cadre de l’étude et issus des données à disposition (GAiA Mapping, et levés terrestres sur les zones à enjeux). Ainsi, ce croisement (schématisé sur la figure ci-après) permet de connaître la hauteur d’eau sur tout le secteur d’étude.

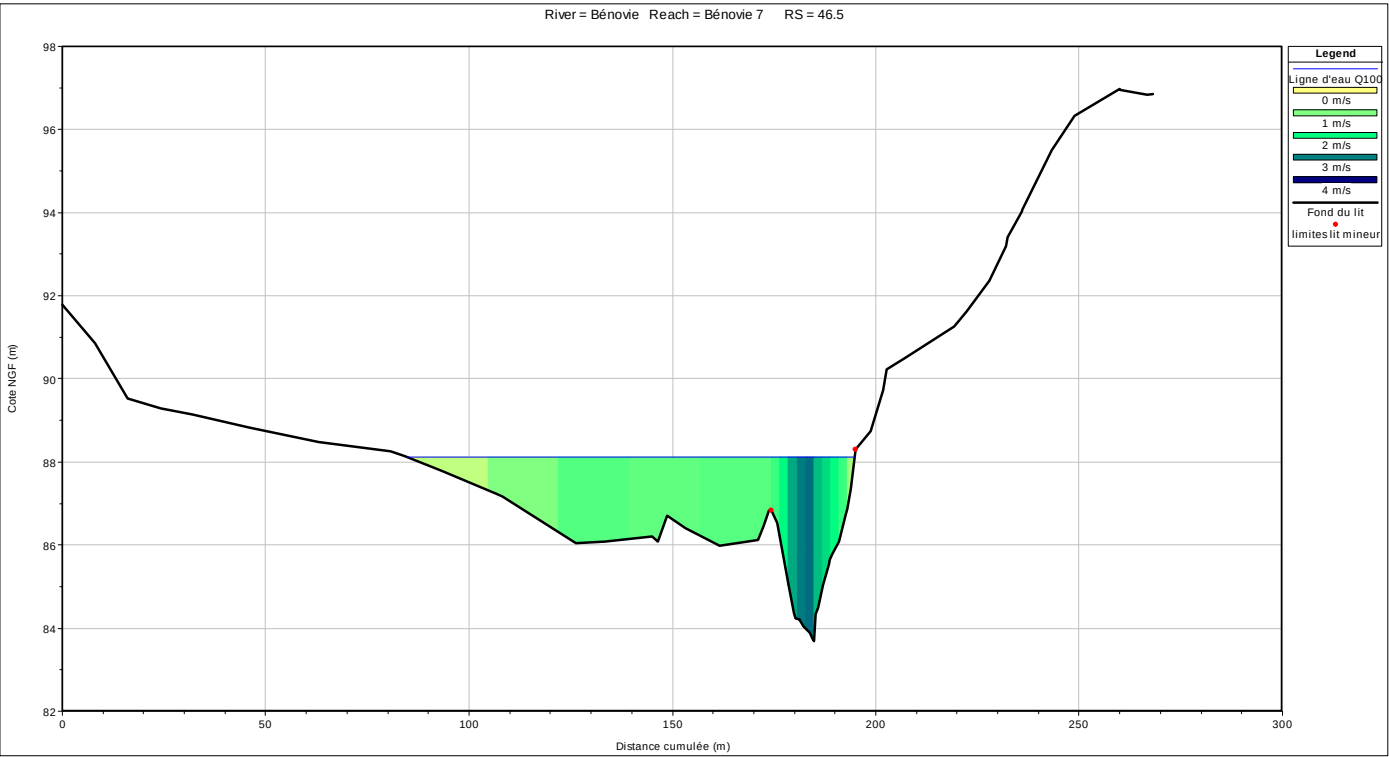


Pour la modélisation 2D, les hauteurs de submersion au droit de chaque maille seront directement extraites des résultats et cartographiées par pas de 0.5 m suivant les classes retenues.

Concernant les vitesses, ces dernières sont déterminées pour la modélisation 1D au droit de chaque profil (exemple ci-après), suivant la hauteur d'eau et les coefficients de rugosité. Pour le 2D, et à l'instar des hauteurs d'eau, les valeurs sont disponibles par mailles.

Le croisement de ce paramètre avec les hauteurs d'eau permettra de caractériser l'aléa inondation suivant la grille précédente.

En parallèle, on caractérisera le cas échéant **un aléa résiduel**, différence entre le champ majeur défini par approche hydrogéomorphologique et les zones inondables caractérisées par modélisation. Cette zone d'aléa résiduel est potentiellement mobilisée pour une crue supérieure à la crue centennale de référence.



IX.2.3. Secteur uniquement couvert par l’hydrogéomorphologie

Les secteurs concernés sont principalement les têtes de bassin et les affluents secondaires dont la superficie ne dépasse généralement pas le km², et qui n'ont donc pas fait l'objet d'une modélisation hydraulique.

Sur ces zones, et lorsque l'axe d'écoulement est bien défini (présence d'un thalweg bien marqué) les hauteurs de submersion seront estimées de la manière suivante :

- dans un premier temps, projection de l'emprise du champ majeur issu de l'analyse hydrogéomorphologique sur le MNT construit à partir de GAïA Mapping,
- caractérisation des altimétries de l'emprise 3D ainsi définie, et construction d'un Modèle Surfamique de Ligne d'eau (MNSLE),
- croisement du MNSLE avec le MNT, et caractérisation des hauteurs de submersion de la même manière que pour la modélisation 1D,

- en cas d'incohérence flagrante (décalage du lit du cours d'eau du fait d'un facteur d'échelle, par exemple) ou dans un souci de vérification, calcul local de type Manning-Strickler, sur la base d'un profil extrait du MNT et d'une estimation du débit pour Q100, et reconstruction du MNSLE.

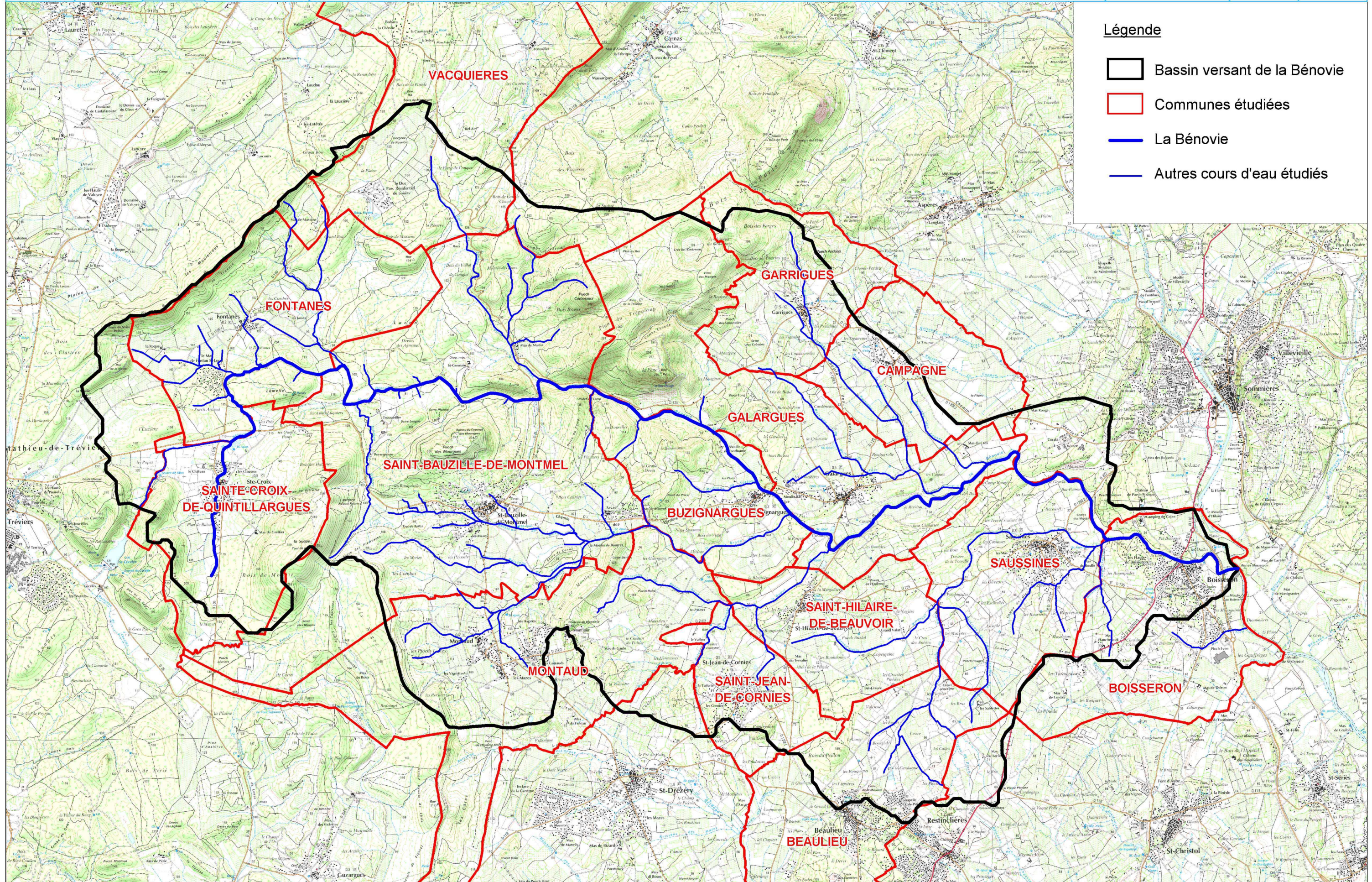
Sur ces secteurs, **en l'absence de données précise sur les vitesses**, et quel que soit la hauteur d'eau, **l'aléa sera considéré comme fort** sur la base de la doctrine régionale.

A noter qu'on pourra retrouver également un **aléa résiduel**, qui représentera le champ majeur exceptionnel.

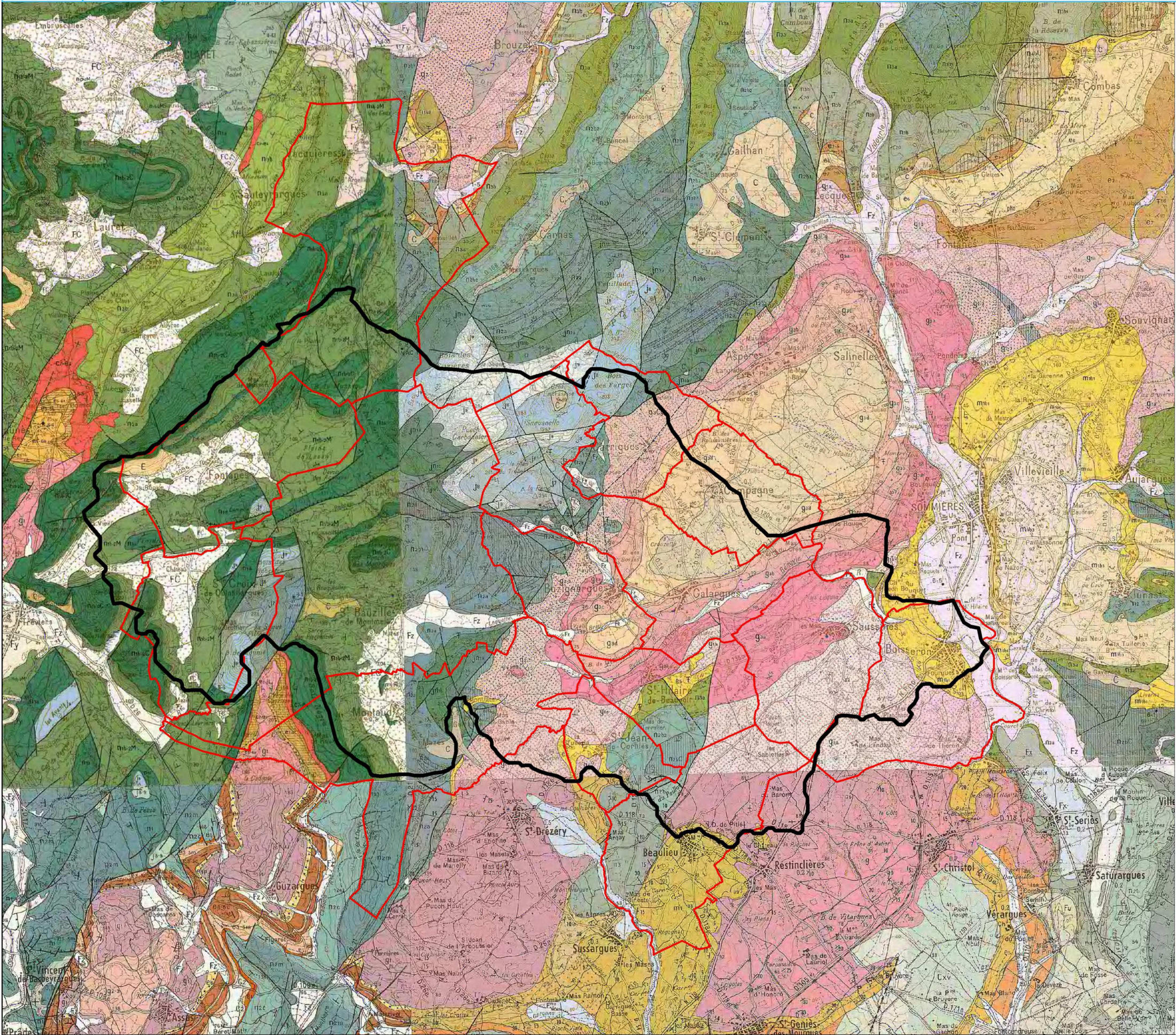
ANNEXES

N°	TITRE
1	Localisation géographique
2	Contexte géologique
3	Occupation des sols
4	Hydrologie – Points de calcul
5 et 5.9	Documents d'urbanisme
6.9	Cartographie des enjeux
7 et 7.9	Cartographie des zones inondables par analyse hydrogéomorphologique
8	Présentation de HEC-RAS
9	Présentation de SW2D
10	Cartographie des hauteurs d'eau
11	Cartographie de l'aléa inondation
12	Résultats de la modélisation 1D
13	Levés topographiques - Profils en travers

Localisation géographique à l'échelle du bassin versant de la Bénovie



Contexte géologique



Légende

 Bassin versant de la Bénovie

 Communes étudiées

GEOLOGIE :

QUATERNAIRE

- | | |
|----|---|
| C | C : Colluvions |
| C | C : Colluvions indifférenciées, sablo-limoneuses |
| Fz | Fz : Alluvions récentes : limons, sables, graviers et galets |
| Fy | Fy : Alluvions anciennes indifférenciées : sables, graviers et galets |
| FC | FC : Alluvions et colluvions indifférenciées |
| E | E : Eboulis récents |

TERTIAIRE

- Oligocène supérieur du bassin de Salinelles**
- | | |
|-----|--|
| g3d | g3d : Cailloux de la plaine de Campagne |
| g3c | g3c : Calcaires de Salinelles |
| g3a | g3a : Marnes et grès de la Bénovie |
| g3b | g3b : Calcaires de Pondrès ou de Montrédon |
| g3c | g3c : Conglomérats |
| g3 | g3 : Marnes bariolées avec intercalations de poudingues (1), de brèches (2) et de calcaires grumeleux (3) (Stampien et Oligocène supérieur indifférenciés) |

Oligocène inférieur

- | | |
|-----|--|
| g1 | g1 : Conglomérats à éléments exogènes, marnes et grès continentaux |
| g1a | g1a : Grès de Célas ou de Sauzet |

Eocène moyen

- | | |
|-------|-------------------------------------|
| e3-sL | e3-sL : Calcaires lacustres massifs |
| e5 | e5 : Calcaires lacustres (Lutécien) |
| e7-e4 | e7-e4 : Marnes infra-lutéciennes |

SECONDAIRE

Hauterivien

- | | |
|------|---|
| n3b | n3b : Calcaires argileux à débit en boules (Hauterivien supérieur) |
| n3a | n3a : Calcaires et marnes (Hauterivien inférieur indifférencié) |
| n3a1 | n3a1 : Calcaires gnsâtres à intertits de marnes feuilletées (Hauterivien inférieur) |
| n3a2 | n3a2 : Calcaires bioclores et marnes (Hauterivien inférieur) |

Valanginien

- | | |
|------|--|
| n2 | n2 : Marnes et calcaires argileux (Valanginien indifférencié) |
| n2b | n2b : Marnes (Valanginien supérieur) |
| n2b1 | n2b1 : Marno-Calcaires (Valanginien supérieur) |
| n2b2 | n2b2 : Calcaires mirotants bioclastiques (Valanginien supérieur) |
| n2a | n2a : Calcaires et marnes avec intercalations de bandes de calcaires bioclastiques (Valanginien inférieur) |

Berriasien

- | | |
|--------|---|
| n1b-2C | n1b-2C : Calcaires mirotants (Berriasien moyen et supérieur, Valanginien) |
| n1b-2M | n1b-2M : Marnes (Berriasien moyen et supérieur, Valanginien) |
| n1a | n1a : Calcaires argileux gris centré à débit nodulaire (Berriasien inférieur) |
| jn1 | jn1 : Calcaires argileux (Berriasien indifférencié) |
| jn1b | jn1b : Calcaires graveleux et microconglomérats (Berriasien supérieur) |
| jn1a | jn1a : Calcaires argileux, noduleux (Berriasien inférieur) |

Tithonien

- | | |
|----|---|
| j3 | j3 : Calcaires massifs, gris clair (Tithonique Portlandien) |
|----|---|

Kimméridgien

- | | |
|----|---|
| j3 | j3 : Calcaires gris bleu (Kimméridgien supérieur) |
| j3 | j3 : Calcaires argileux liés (Kimméridgien inférieur) |

Occupation du territoire



Légende

Bassin versant de la Bénovie

Communes étudiées

Cours d'eau étudiés

OCCUPATION DES SOLS (Corine Land Cover)

Zones urbanisées

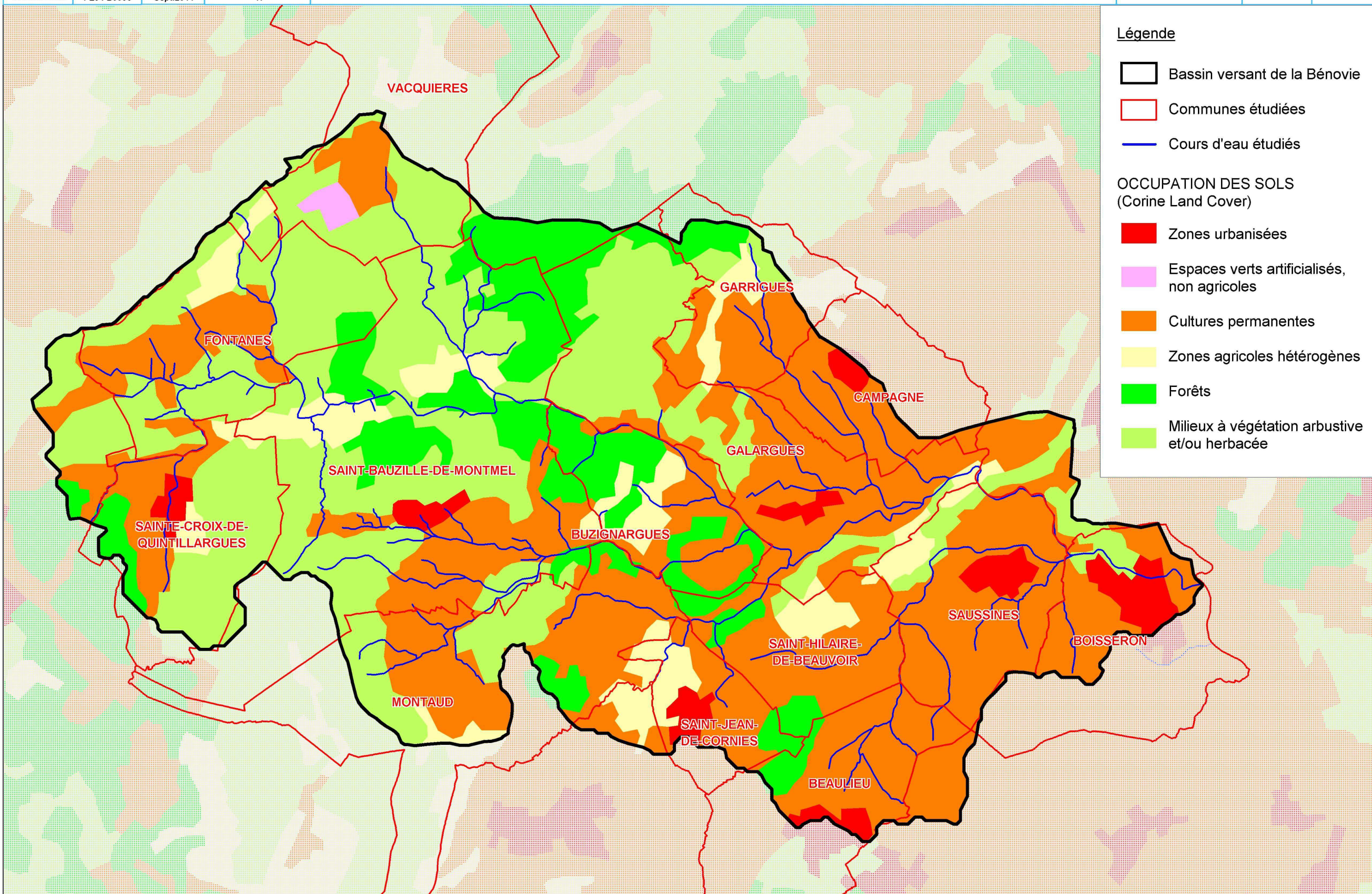
Espaces verts artificialisés,
non agricoles

Cultures permanentes

Zones agricoles hétérogènes

Forêts

Milieux à végétation arbustive
et/ou herbacée

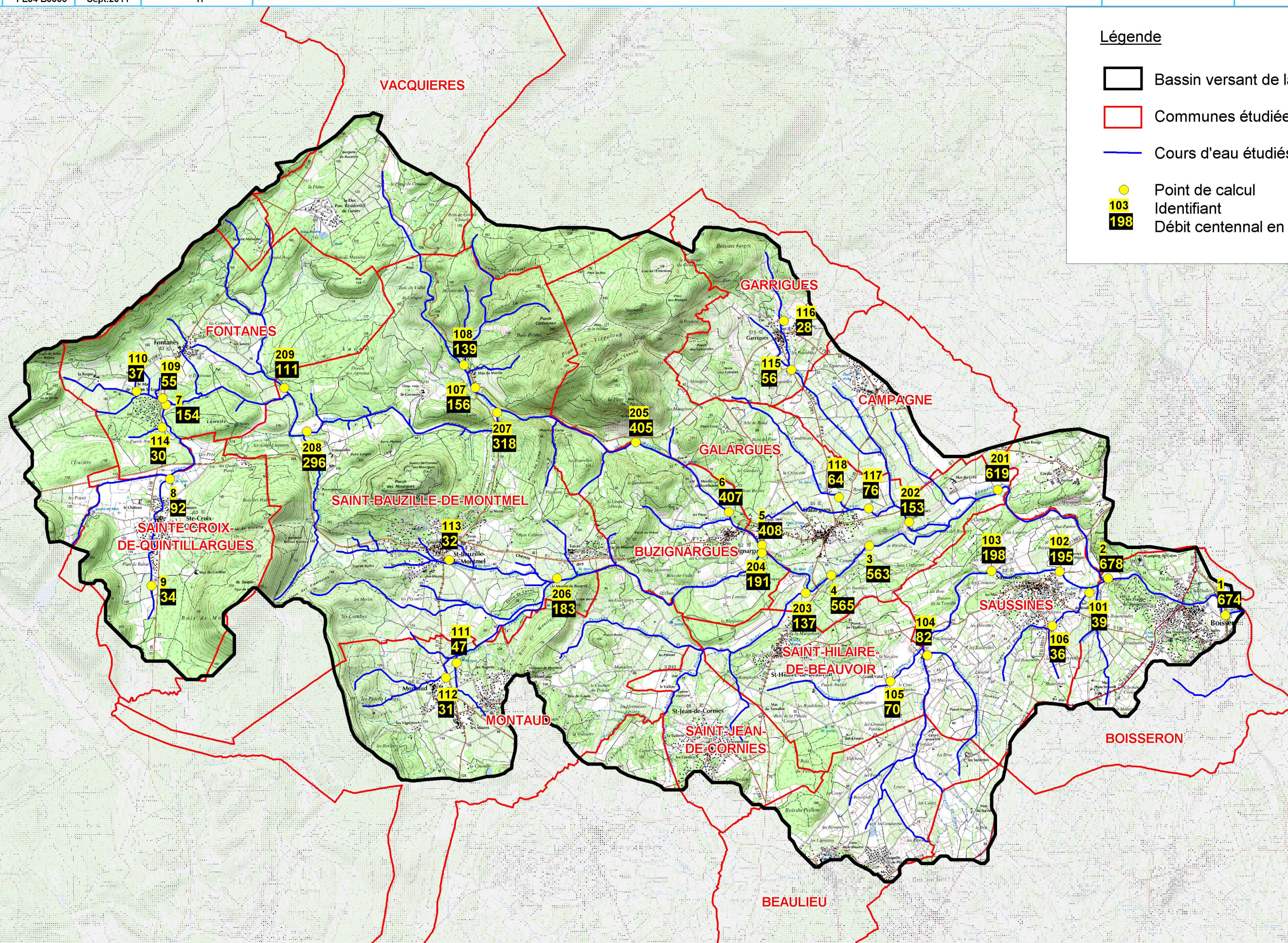


Hydrologie - Points de calculs

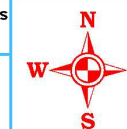


Légende

-  Bassin versant de la Bénovie
-  Communes étudiées
-  Cours d'eau étudiés
-  Point de calcul
-  Identifiant
-  Débit centennal en m3/s



Documents d'urbanisme



Légende

- Bassin versant de la Bénovie
- Communes étudiées

NATURE DES DOCUMENTS D'URBANISME

- (POS)** Plan d'Occupation des Sols
- (PLU)** Plan Local d'Urbanisme
- (CC)** Carte Communale
- (-)** Aucun document

ZONAGE SIMPLIFIE

- Zone d'habitat existant
- Zone d'habitat futur
- Zone touristique ou de loisir
- Zone d'activités existantes
- Zone d'activités futures
- Zone agricole
- Zone naturelle
- Zone naturelle avec habitat
- Zone non constructible
- Zone urbanisable

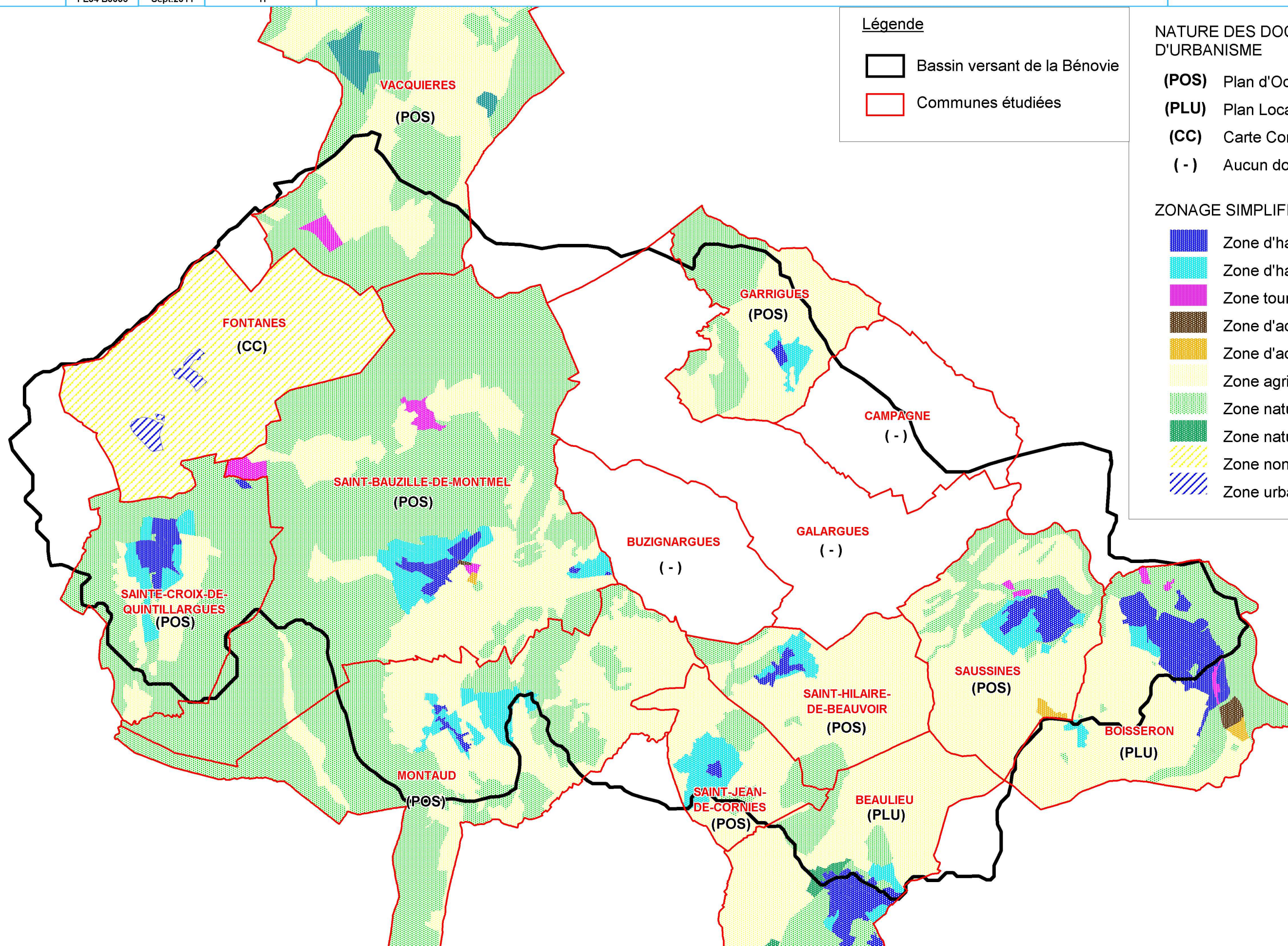
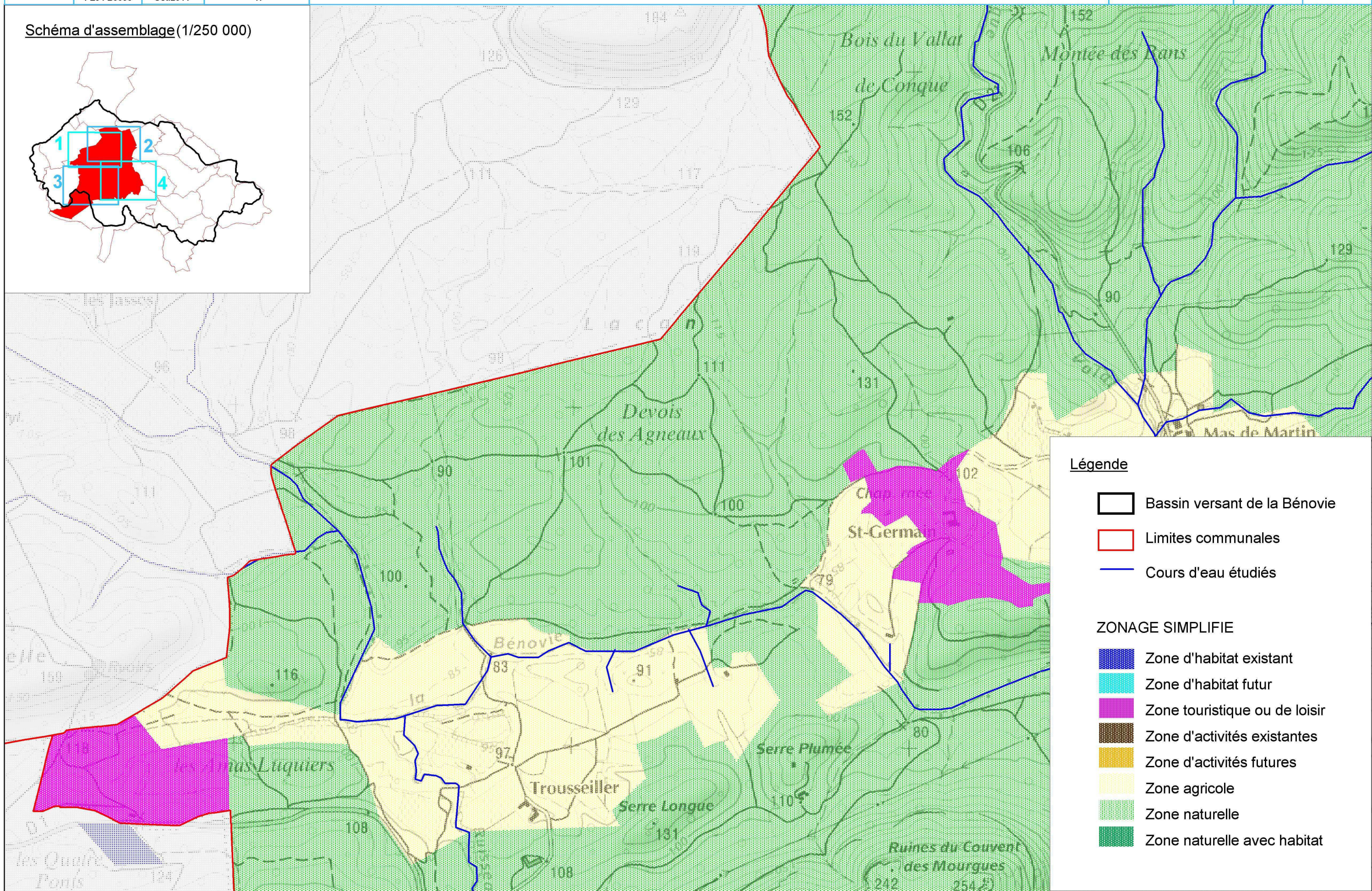
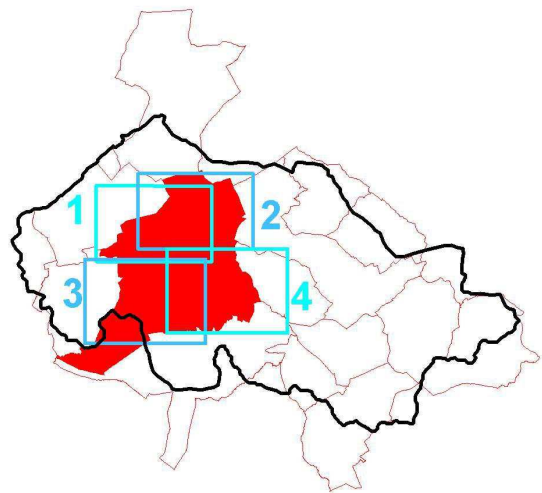


Schéma d'assemblage(1/250 000)



Légende

 Bassin versant de la Bénovie

 Limites communales

 Cours d'eau étudiés

ZONAGE SIMPLIFIE

 Zone d'habitat existant

 Zone d'habitat futur

 Zone touristique ou de loisir

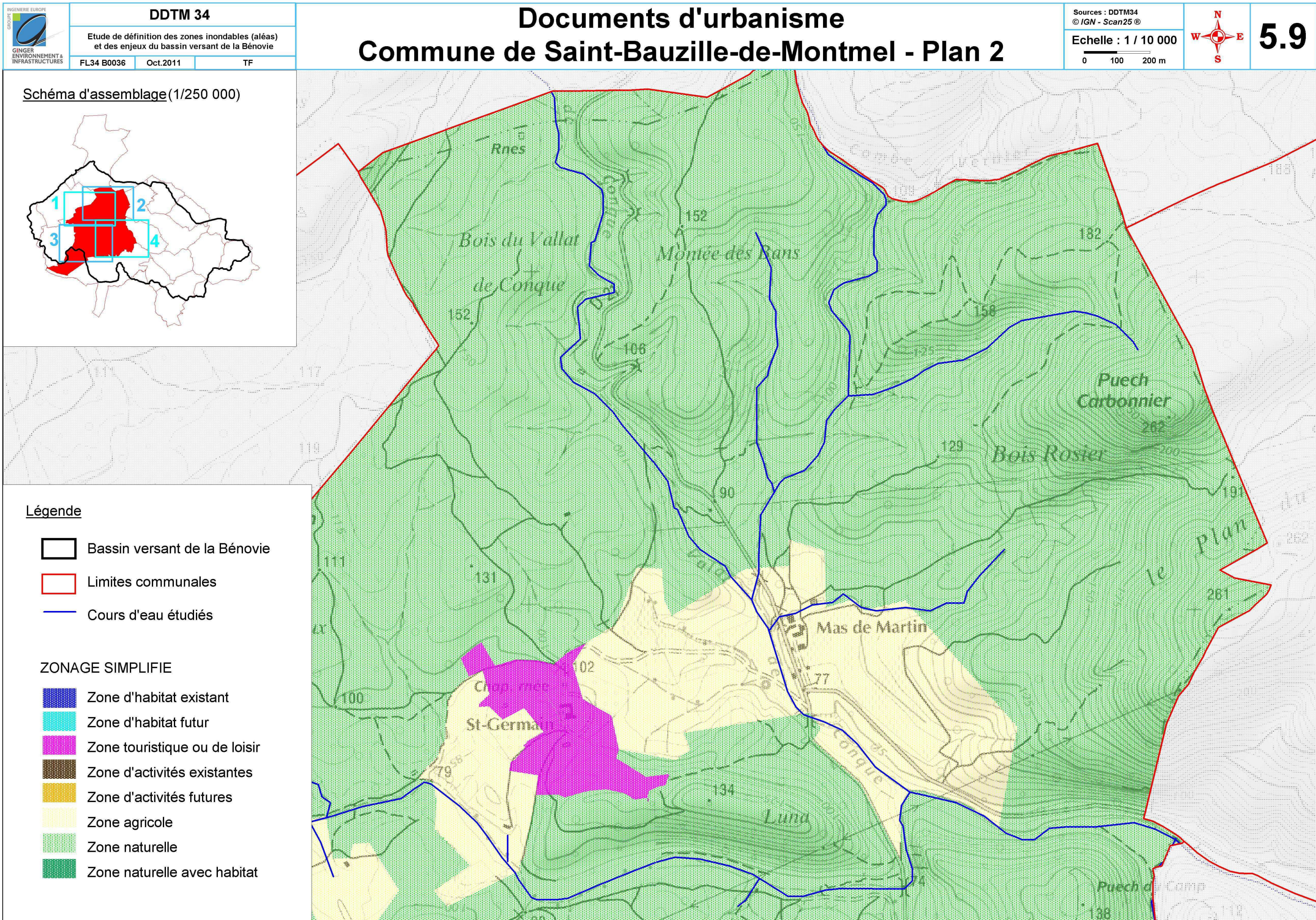
 Zone d'activités existantes

 Zone d'activités futures

 Zone agricole

 Zone naturelle

 Zone naturelle avec habitat



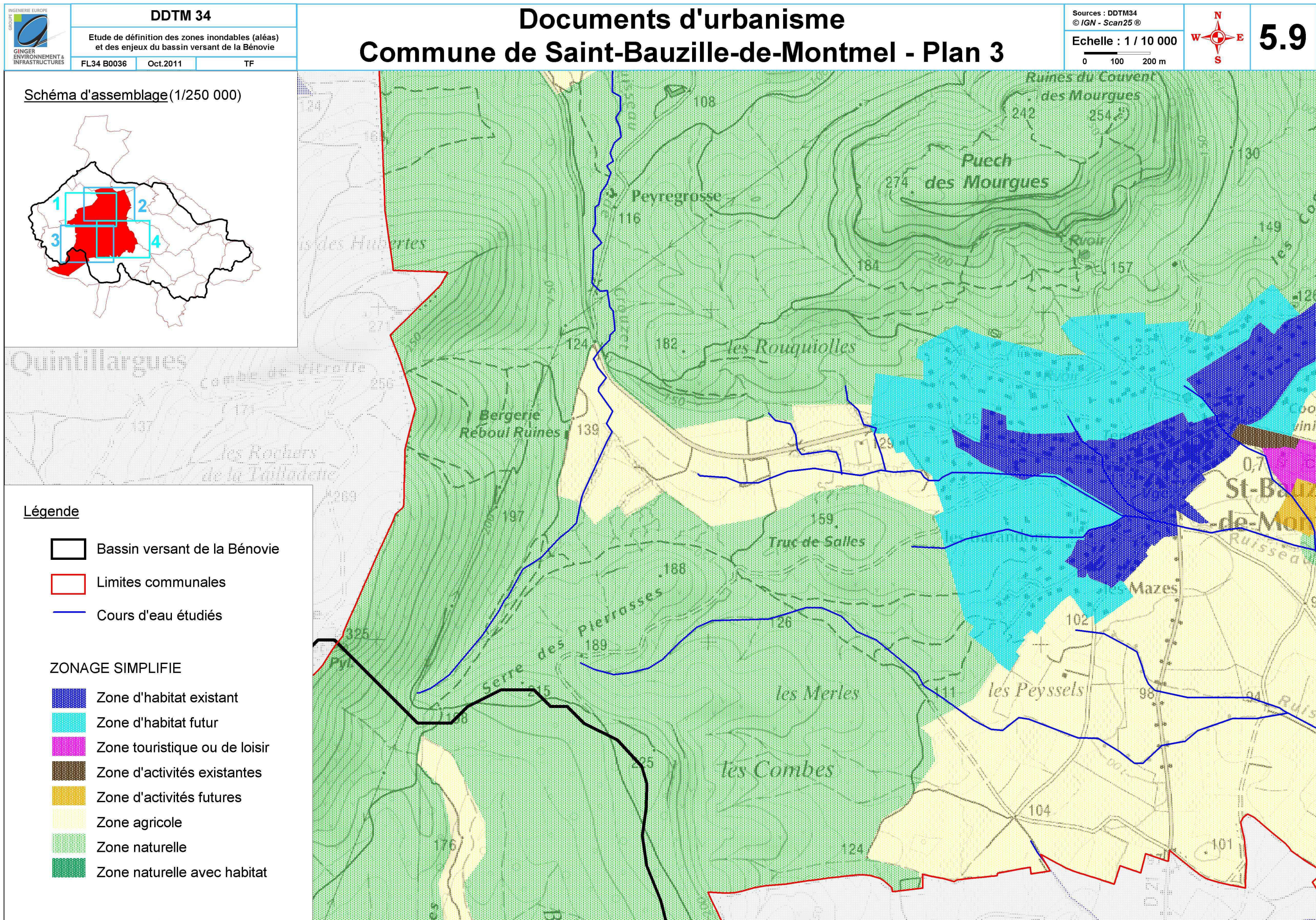
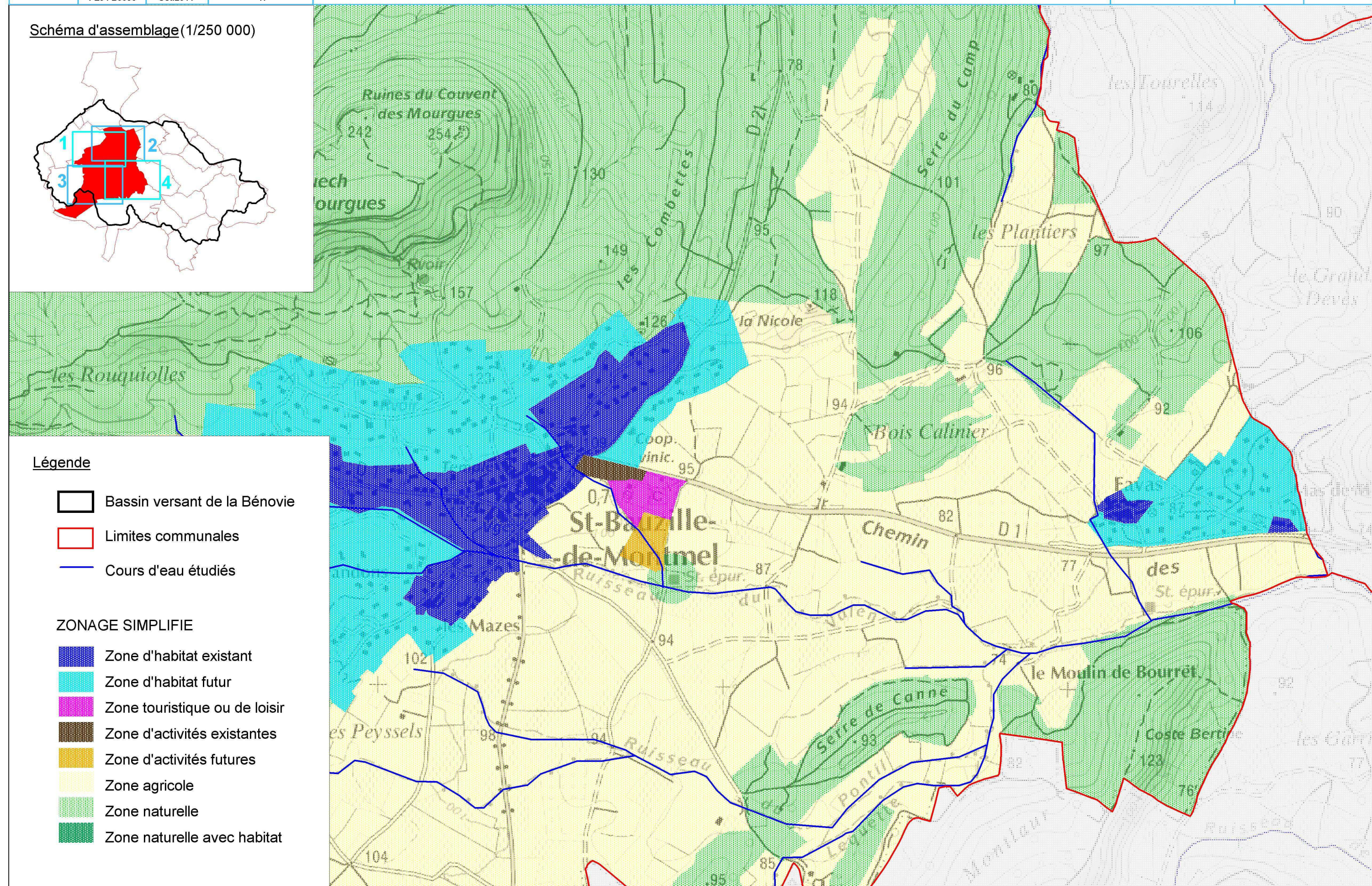
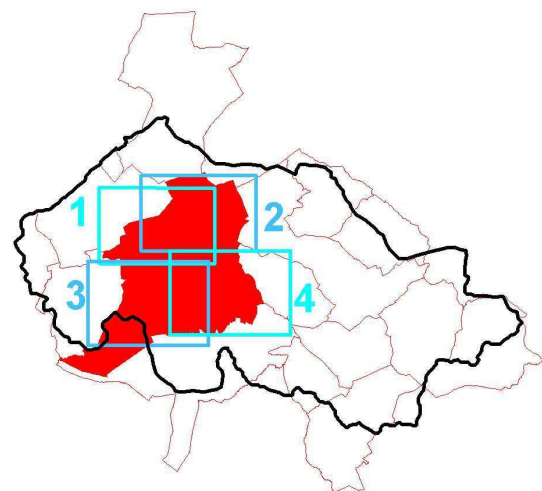


Schéma d'assemblage (1/250 000)



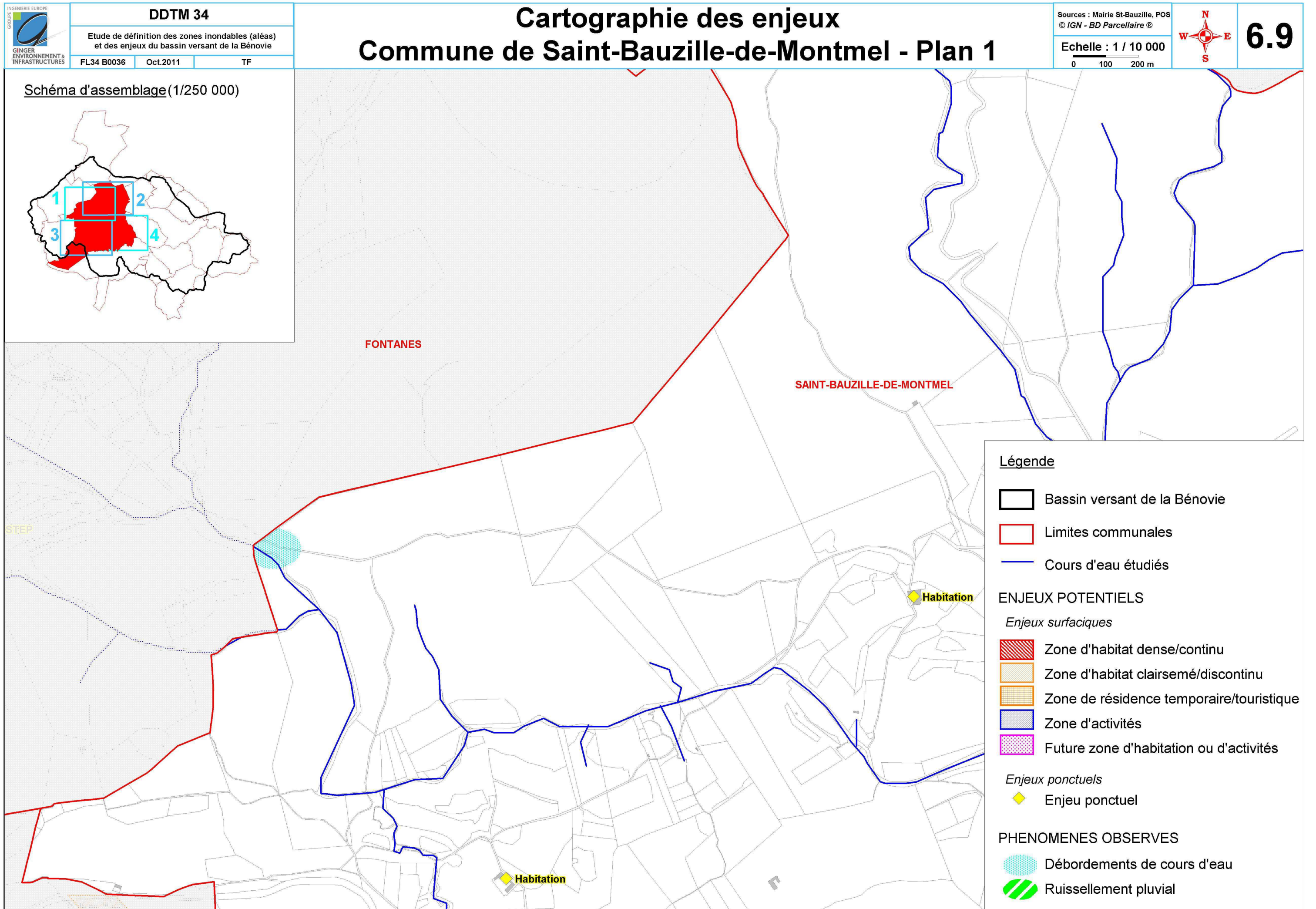
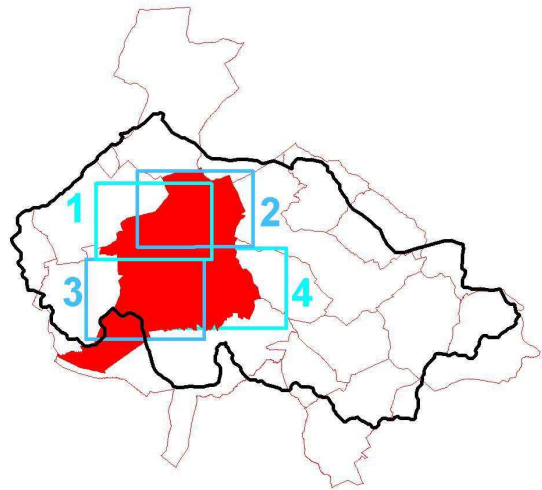


Schéma d'assemblage (1/250 000)



Légende

-  Bassin versant de la Bénovie
 Limites communales
 Cours d'eau étudiés

ENJEUX POTENTIELS

Enjeux surfaciques

- | | |
|---|--|
|  | Zone d'habitat dense/continu |
|  | Zone d'habitat clairsemé/discontinu |
|  | Zone de résidence temporaire/touristique |
|  | Zone d'activités |
|  | Future zone d'habitation ou d'activités |

Enjeux ponctuels

- ◆ Enjeu ponctuel

PHENOMENES OBSERVES

-  Débordements de cours d'eau
-  Ruissellement pluvial

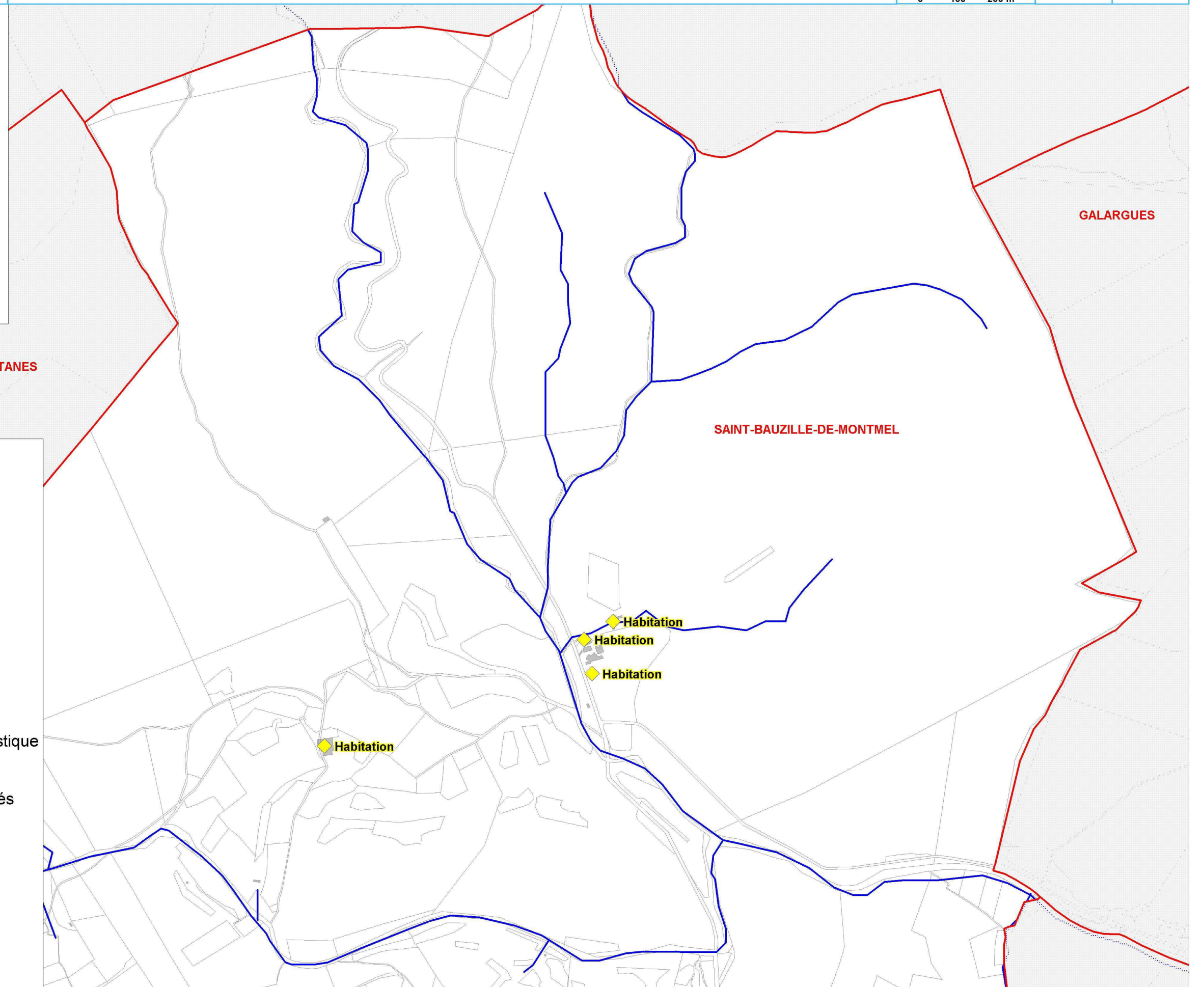
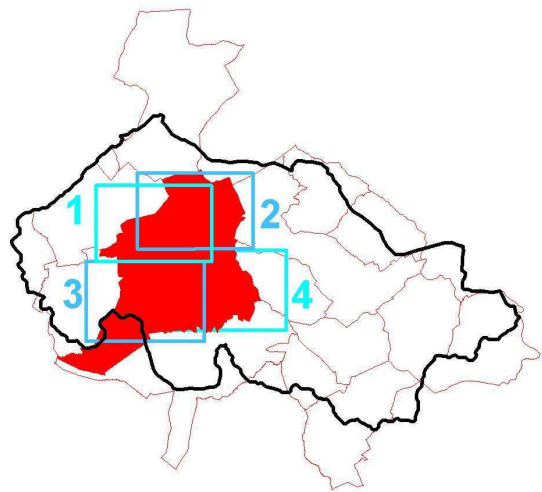


Schéma d'assemblage (1/250 000)



Légende

-  Bassin versant de la Bénovie
-  Limites communales
-  Cours d'eau étudiés

ENJEUX POTENTIELS

Enjeux surfaciques

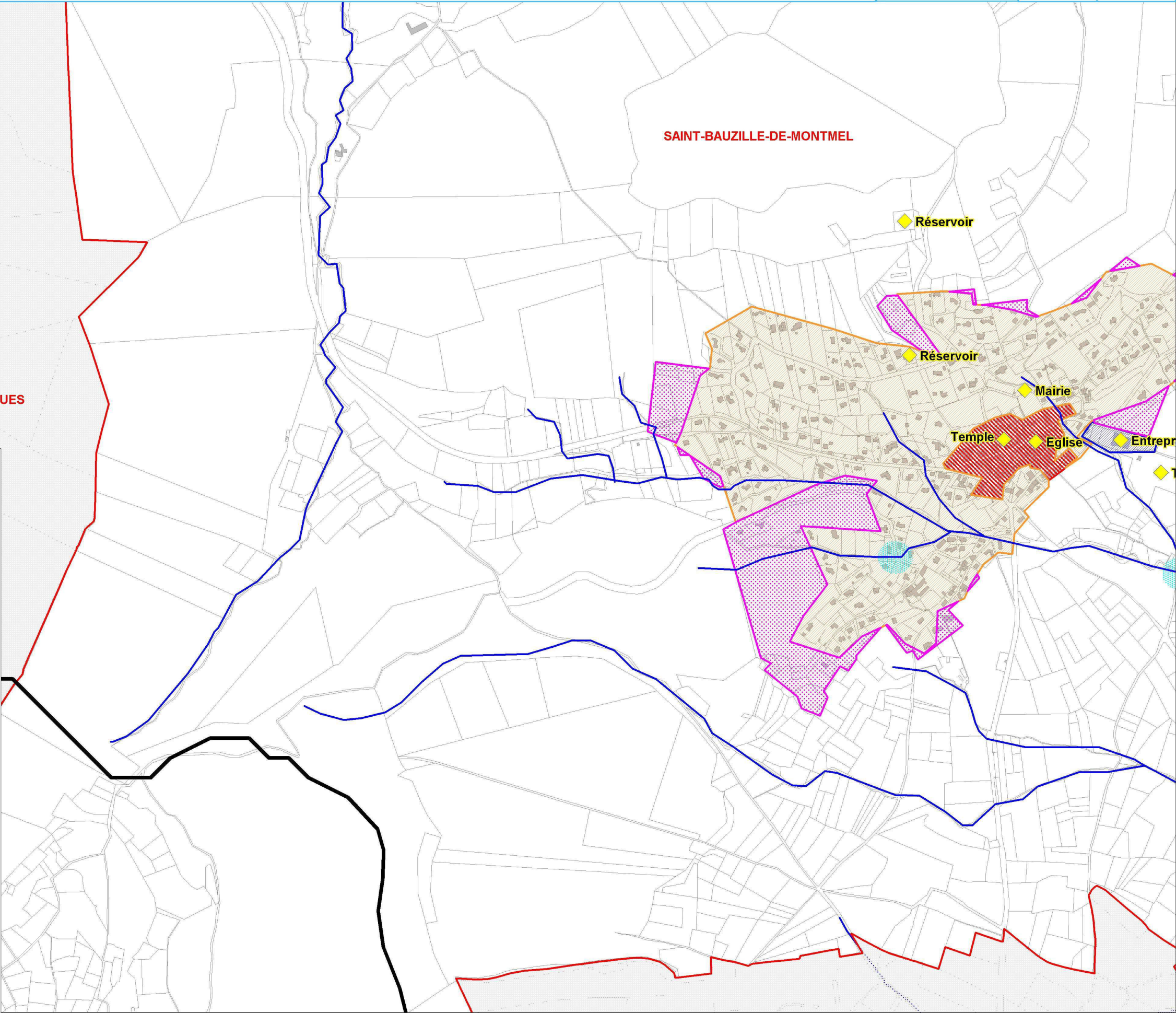
-  Zone d'habitat dense/continu
-  Zone d'habitat clairsemé/discontinu
-  Zone de résidence temporaire/touristique
-  Zone d'activités
-  Future zone d'habitation ou d'activités

Enjeux ponctuels

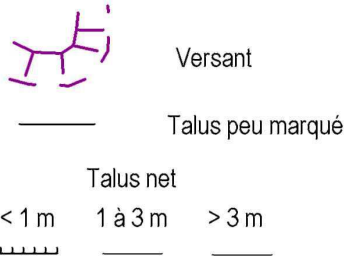
-  Enjeu ponctuel

PHENOMENES OBSERVES

-  Débordements de cours d'eau
-  Ruissellement pluvial

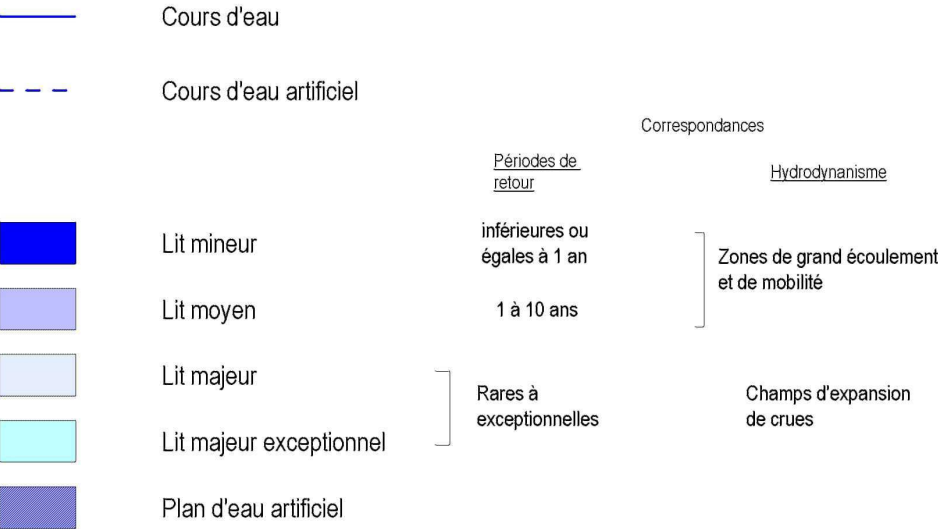


1 - Limites morphologiques



2 - Plaine alluviale fonctionnelle

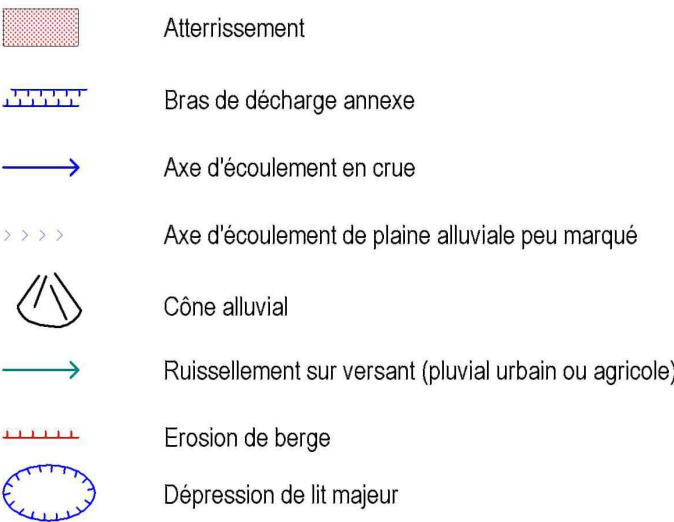
2.1 - Unités hydrogéomorphologiques actives



2.2 - Zones d'inondation potentielle



2.4 - Structures secondaires

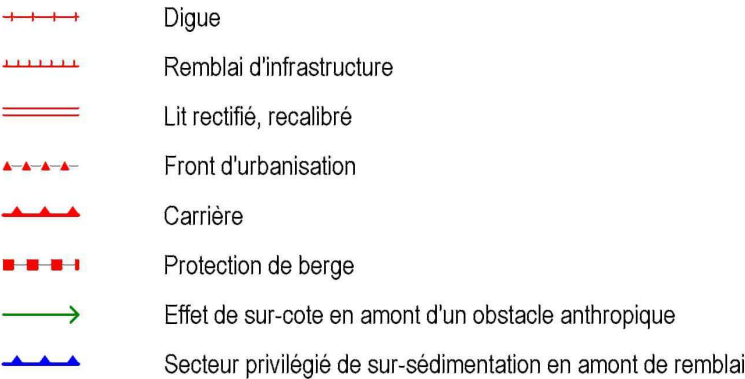


3 - Terrains encaissants



4 - Eléments d'occupation du sol à rôle hydrodynamique

4.1 - Structures linéaires

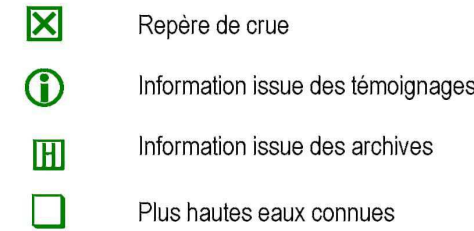


4.2 - Eléments isolés



5- Informations historiques

5.1- Points d'information historique



5.2 - Limite d'extension de crue historique



6 - Limite d'étude

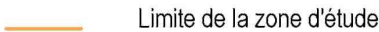


Schéma d'assemblage (1/250 000)

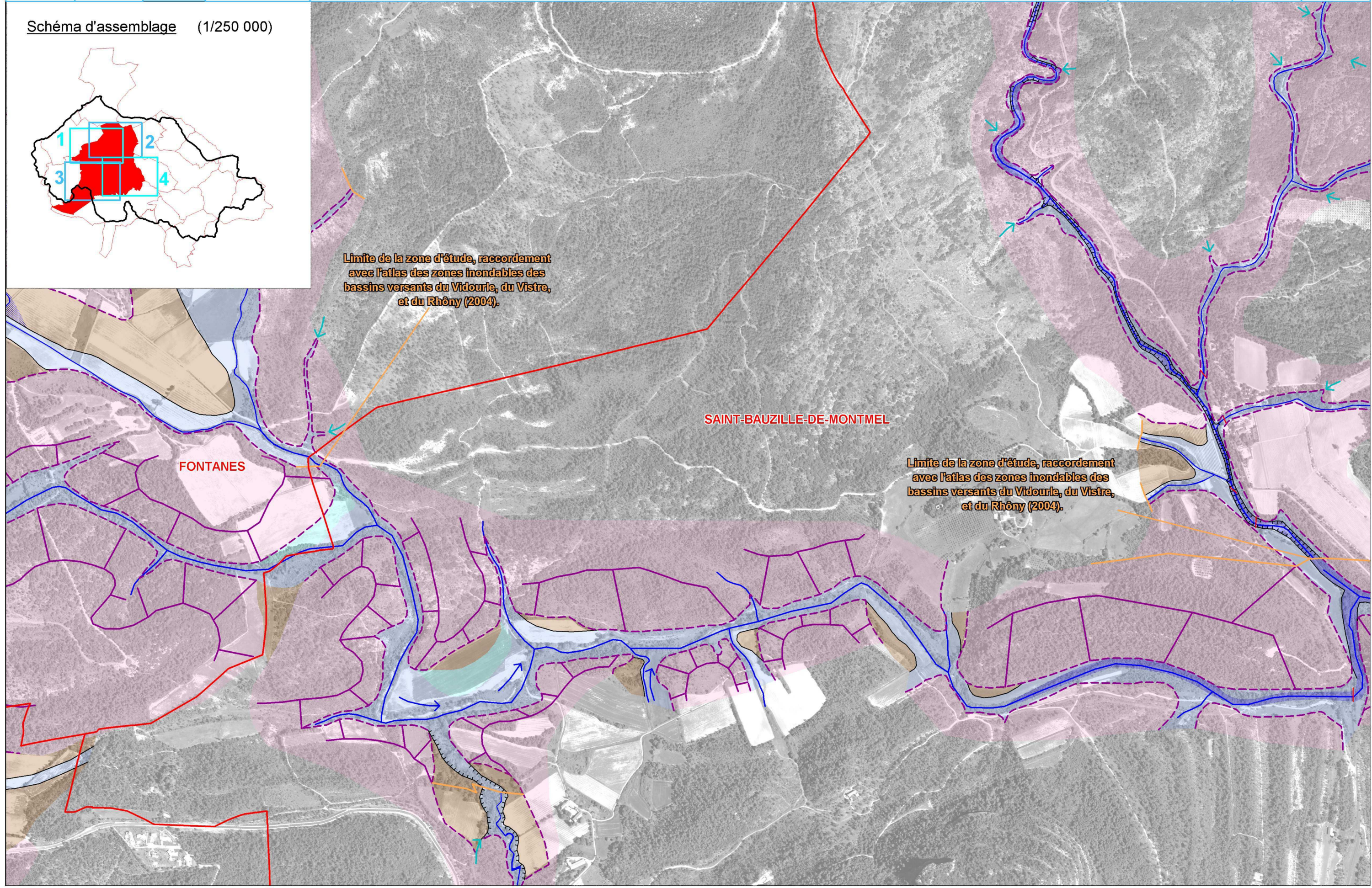
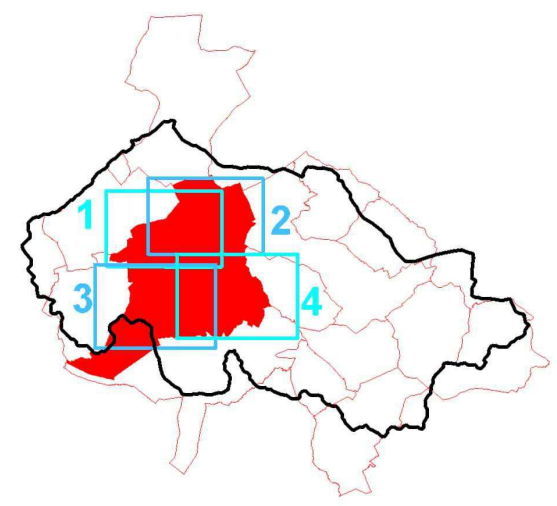
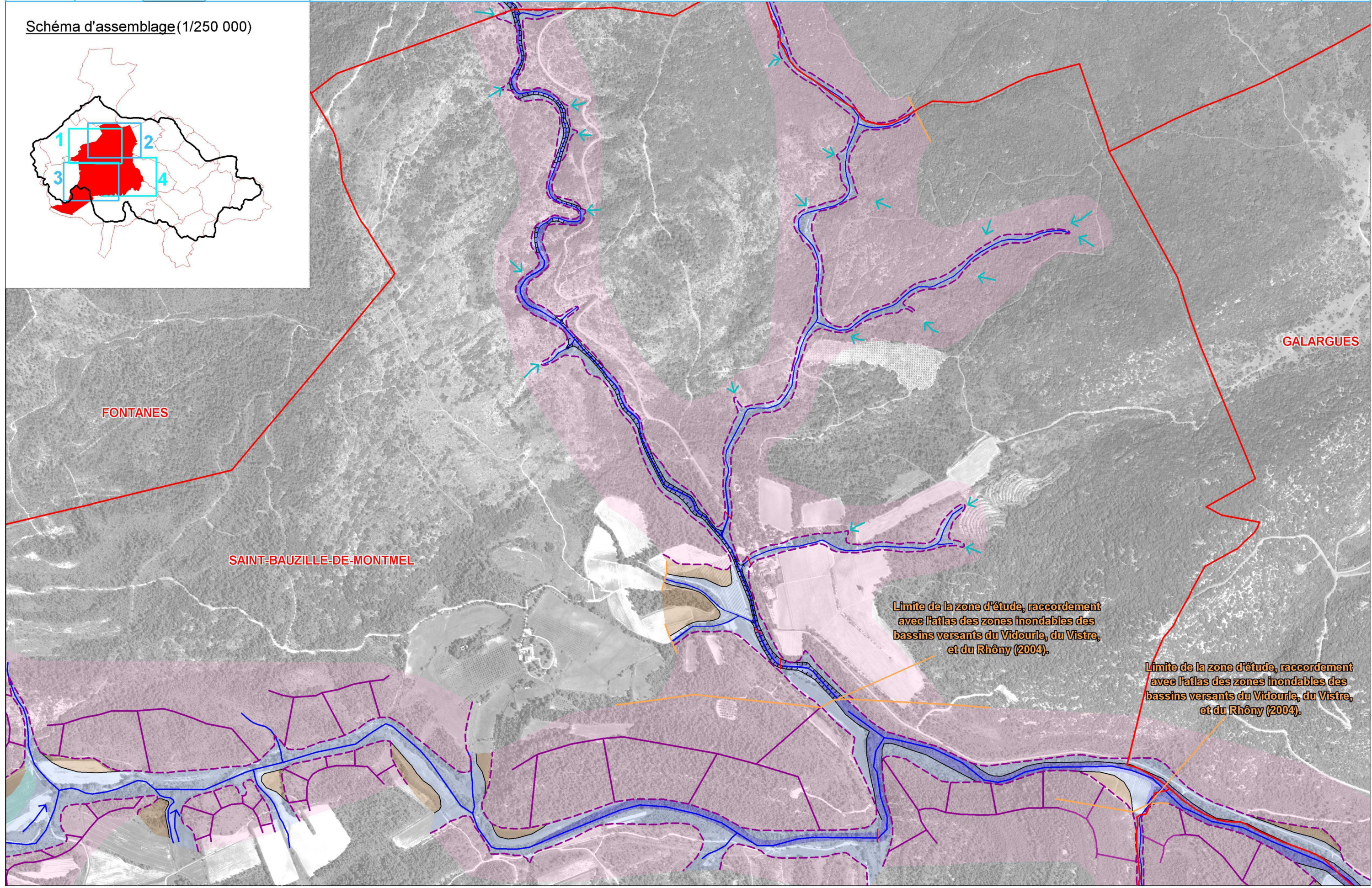
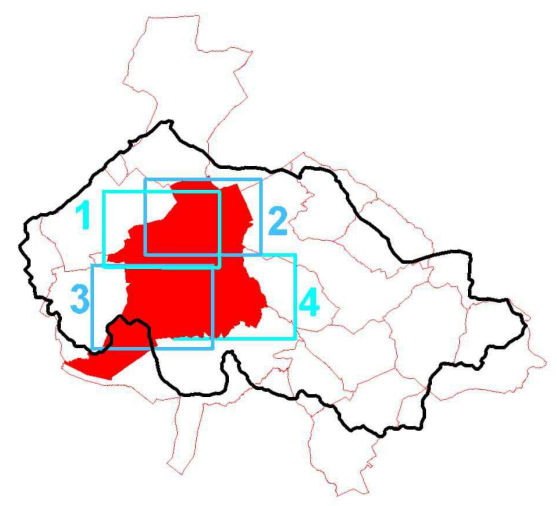


Schéma d'assemblage (1/250 000)



Cartographie des zones inondables par analyse hydrogéomorphologique

Commune de Saint-Bauzille-de-Montmel - Plan 3

Schéma d'assemblage (1/250 000)

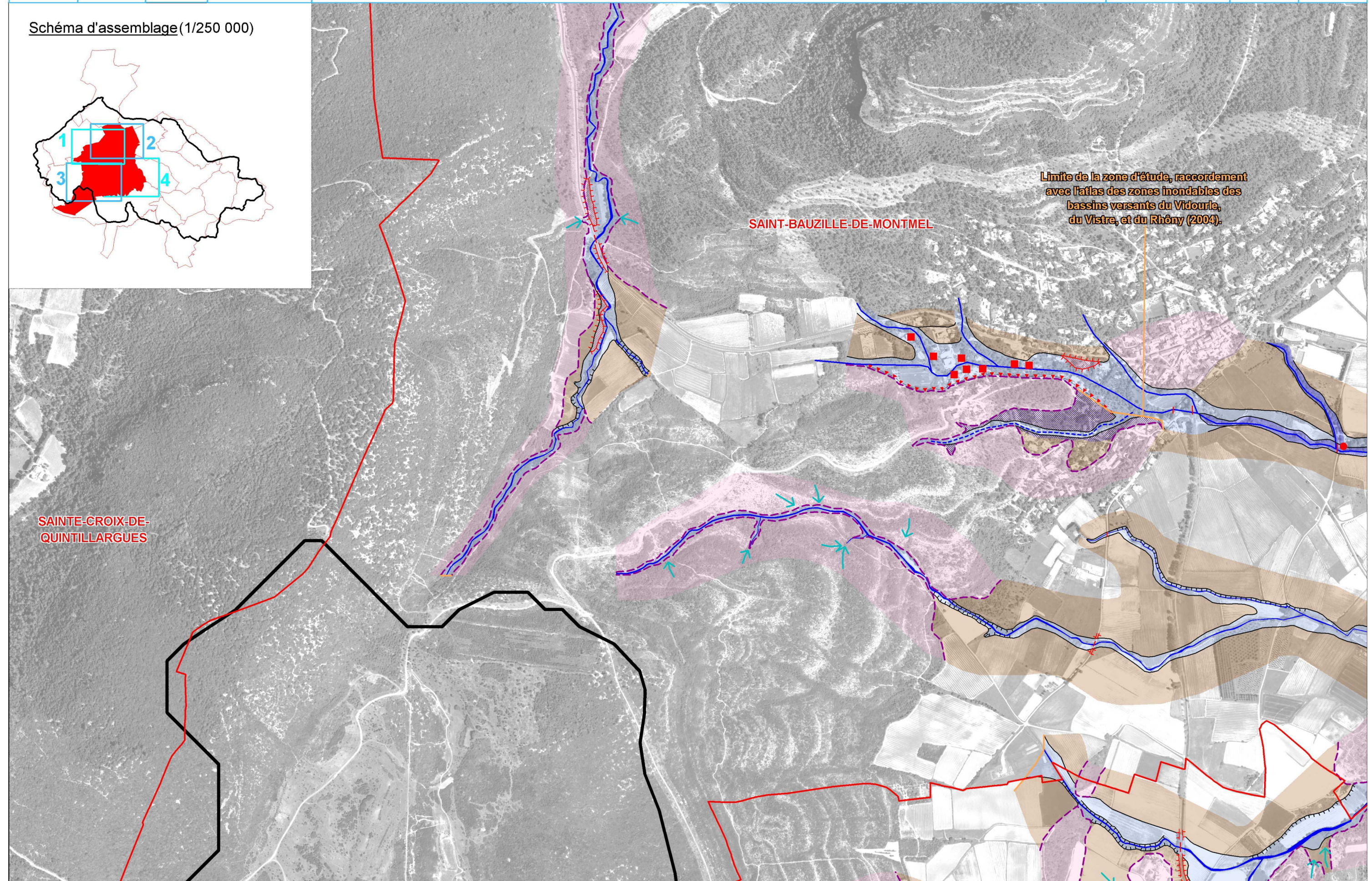
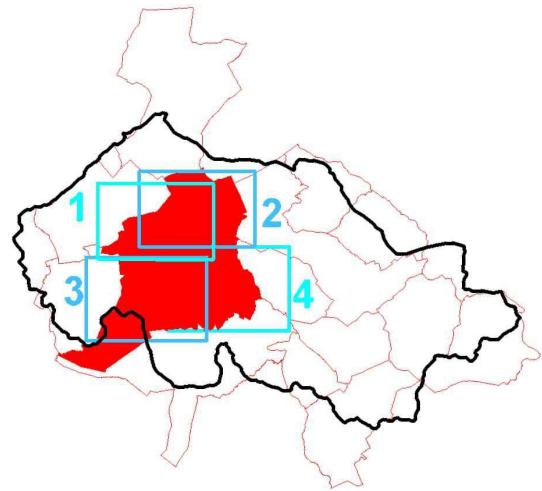
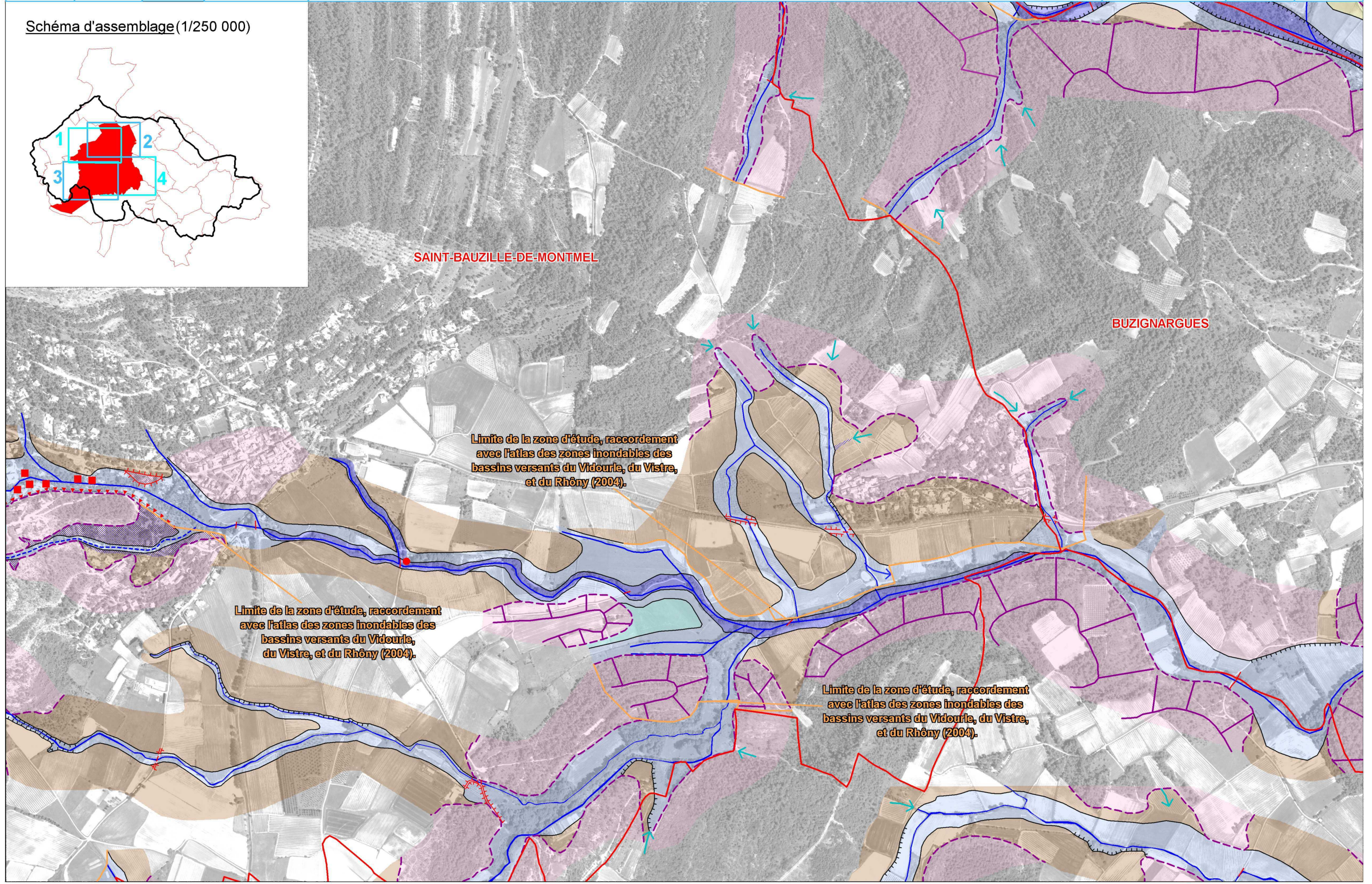
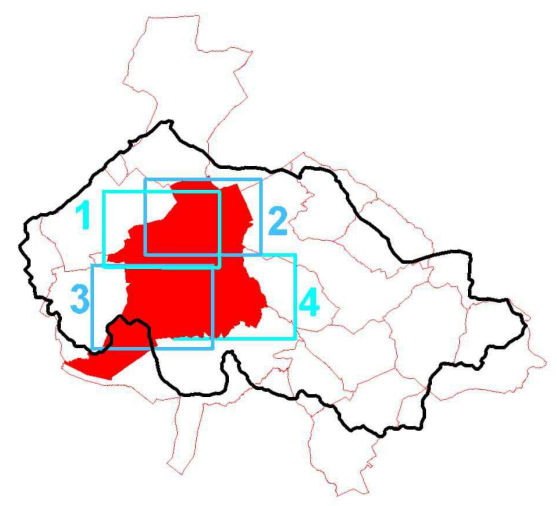


Schéma d'assemblage (1/250 000)



Annexe 8 : Présentation sommaire de HEC-RAS

HEC-RAS est conçu pour effectuer des calculs hydrauliques unidimensionnels pour un réseau complet de canaux naturels et artificiels. Ce qui suit est une description des principales fonctionnalités de HEC-RAS.

1. Interface utilisateur

L'utilisateur interagit avec HEC-RAS via une interface utilisateur graphique. L'objectif principal dans la conception de l'interface a été de la rendre facile d'utilisation, tout en conservant un haut niveau d'efficacité pour l'utilisateur.

L'interface permet notamment les fonctions suivantes :

- Gestion des fichiers
- Saisie et édition
- Analyses hydrauliques
- Éditions des résultats et des affichages graphiques d'entrée et de sortie de données

2. Composants d'analyse hydraulique

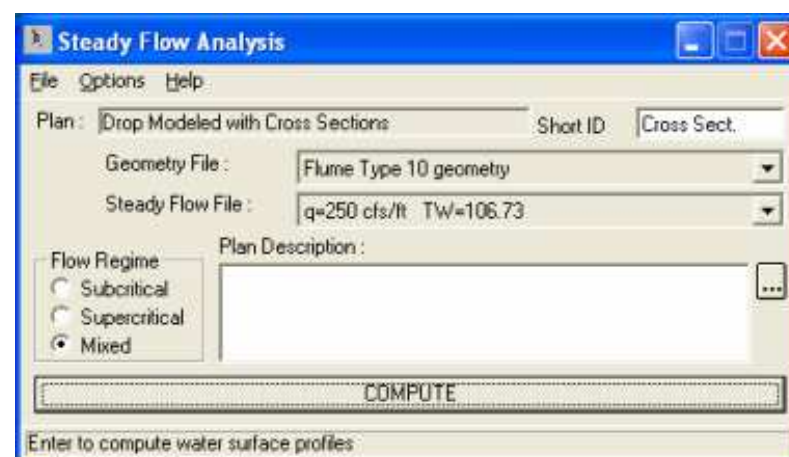
Le système de HEC-RAS contient quatre modules d'analyse 1D dont les principaux sont les calculs en régime permanent et en régime transitoire.

3. Calcul en régime permanent

Ce module permet le calcul des profils de surface de ligne d'eau pour les écoulements graduellement variés. Le système peut gérer un réseau complet de canaux, un système dendritique ou un tronçon de rivière unique. Les calculs peuvent être réalisés en régime fluvial, torrentiel et mixte.

La procédure de calcul se base sur la résolution de l'équation 1D de la conservation de l'énergie. Deux types de perte de charges sont évaluées : celles par friction et celles concernant la contraction/expansion des écoulements.

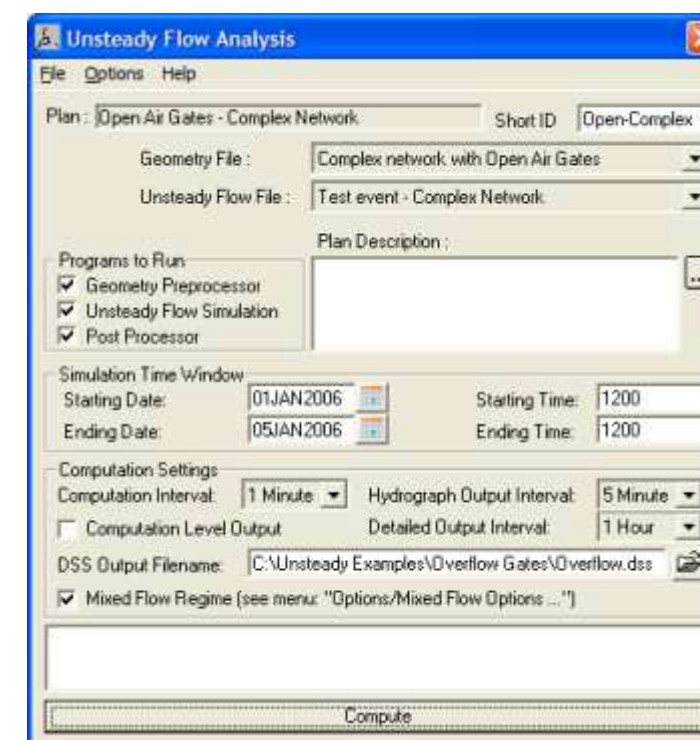
L'équation de quantité de mouvement peut être utilisée dans des situations où le profil des eaux de surface est rapidement varié. Ces situations comprennent notamment les calculs de régime en flux mixtes (c'est-à-dire, les ressauts hydrauliques).



4. Calcul en régime transitoire

Cette composante du système de modélisation HEC-RAS est capable de simuler les écoulements 1D non permanents. Le solveur est une adaptation du modèle d'UNET de Dr. Robert L. Barkau (Barkau, 1992 et HEC, 1997). Ce solveur a été développé principalement pour les calculs en régime fluvial. Cependant, avec la sortie de la Version 3.1, les changements de régime peuvent être gérés.

Le moteur de calcul en régime transitoire permet de gérer également les situations suivantes : analyse de rupture de barrage, rupture de la digue et de déversement, stations de pompage, opérations de navigation de barrage, réseaux sous pression.

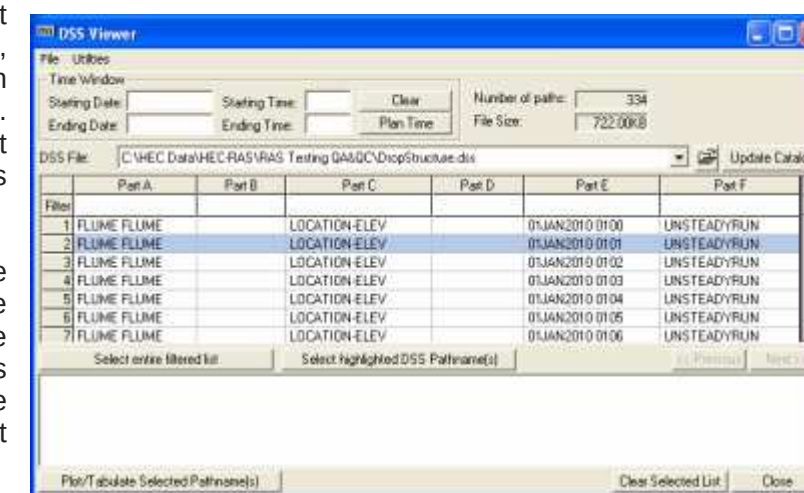


5. Gestion et stockage de données

Le stockage des données s'effectue principalement grâce à l'utilisation des fichiers de type ASCII et binaire.

Les données d'entrée de l'utilisateur sont stockées par catégories : projet, plan, géométrie, débits, écoulement non permanent et données sur les sédiments. Les données en sortie (résultats) sont principalement stockées dans des fichiers binaires séparés.

La gestion des données s'effectue par le biais de l'interface utilisateur. Le modélisateur est invité à entrer un nom de fichier unique pour le projet en cours d'élaboration. Après avoir entré le nom de fichier de projet, tous les autres fichiers sont

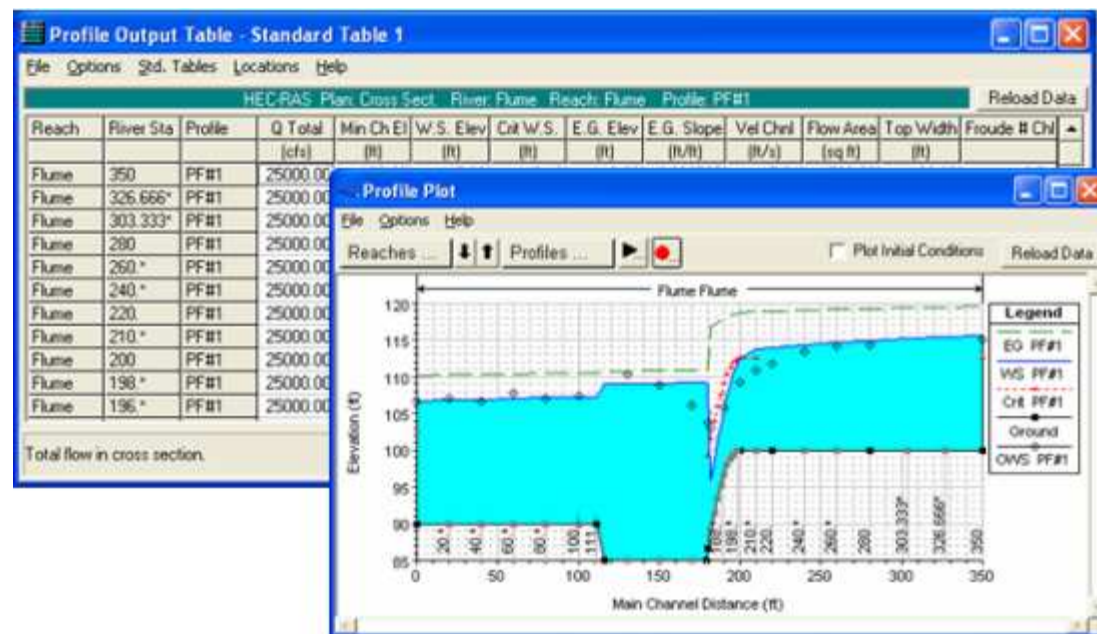


automatiquement créés et nommés par l'interface selon les besoins.

6. Graphiques et rapports

Les graphiques comprennent les représentations XY du réseau de la rivière, les coupes, les profils, les courbes de tarage, les hydrogrammes et bien d'autres variables hydrauliques. Une représentation en trois dimensions est également fournie.

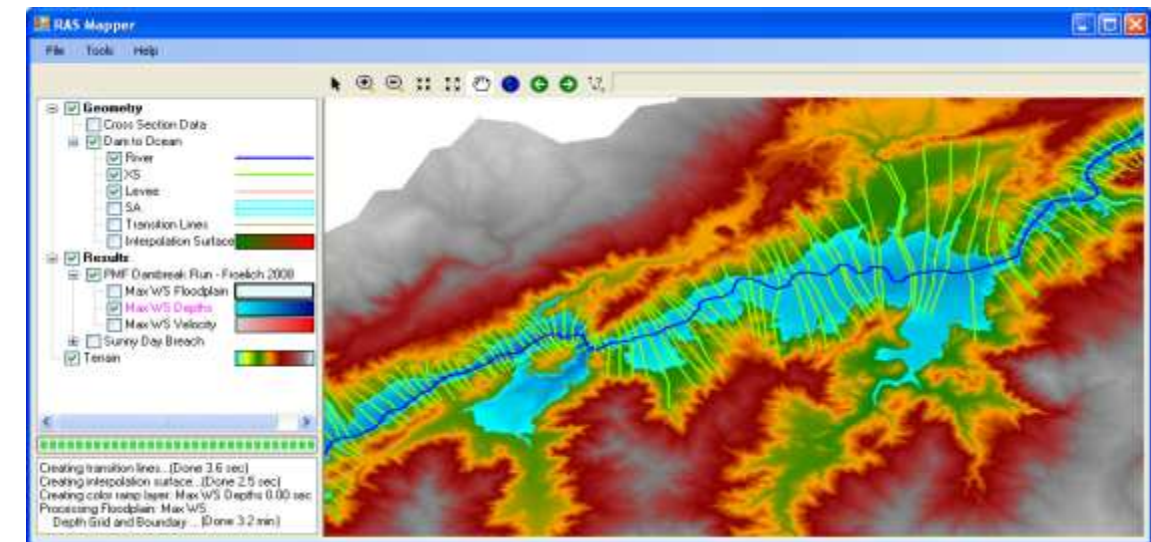
Les utilisateurs peuvent sélectionner des tables prédéfinies ou développer leurs propres tableaux personnalisés. Toutes les sorties graphiques et tabulaires peuvent être affichées sur l'écran, envoyées directement à une imprimante (ou traceur) ou copiées via le presse-papiers de Windows vers d'autres logiciels, tels qu'un tableur ou un traitement de texte.



7. Mappeur RAS

HEC-RAS est capable d'effectuer la cartographie automatique des zones inondables directement à partir des résultats des calculs. À l'aide de la géométrie stockée sous HEC-RAS et des profils de ligne d'eaux calculées, les iso-profondeurs et l'emprise de la zone inondable sont créées par le mappeur de RAS. Des données géospatiales supplémentaires peuvent être générées, par exemple pour l'analyse de la vitesse, des flux,...

Pour pouvoir utiliser le mappeur de RAS, il est nécessaire d'avoir un modèle de terrain au format raster binaire à virgule flottante (.flt). La grille de profondeur qui en résulte est stockée dans le format .flt tandis que le groupe de données associées est au format Shapefile d'ESRI pour une utilisation ultérieure sous SIG.



Annexe 9 : Présentation sommaire de SW2D

SW2D, code 2D, développé par l'UMII, est un code de calcul hydrodynamique bidimensionnel horizontal, calculant les champs de vitesses et les niveaux d'eau sur un domaine quelconque. Il résout les équations de l'hydraulique à surface libre (ou équation de Saint-Venant) par la méthode des volumes finis, méthode qui repose sur une discrétisation spatiale utilisant les triangles. Cette discrétisation par triangles est particulièrement bien adaptée aux cas de rivières à géométrie complexe, car elle permet de coller précisément à la géométrie des lits mineurs et majeurs et à leurs singularités.

La modélisation bidimensionnelle aux volumes finis est particulièrement adaptée aux écoulements fortement divergents ou présentant des changements de régime (ressaut par exemple), comme les plaines inondables. Par rapport aux modélisations bidimensionnelles classiques (type éléments finis), l'approche proposée présente les avantages de la rapidité et de la robustesse.

En effet, l'approche bidimensionnelle traditionnelle impose de représenter la totalité des détails topographiques, ce qui conduit très rapidement à des modèles très lourds, tant au point de vue de la construction que des temps de calcul. L'exploitation de tels modèles est plus longue, donc plus coûteuse.

Par ailleurs, SW2D rend compte de la nature du terrain et de l'occupation des sols par des paramètres globaux de rugosité et de porosité : les obstacles naturels ou non aux écoulements sont donc simulés à l'échelle macroscopique et demande un niveau de détail moindre.

SW2D comprend quatre éléments principaux :

- **Geo**, un compilateur pour les mailles et la géométrie, qui convertit les données issues d'un mailleur tel que SMS en un fichier binaire contenant toutes les informations géométriques nécessaires à la modélisation,
- **Zone**, un utilitaire permettant de définir le zonage suivant les conditions de rugosité et de porosité. Il est basé sur les résultats des compilations de **Geo**,
- **2D**, le moteur de simulation, qui utilise le fichier binaire préparé par **Geo** (ainsi que les fichiers additionnels pour les différents paramètres, tels que la pluie, les caractéristiques des ouvrages, etc...). Il génère différents fichiers binaires pour les résultats.
- **Ex**, l'utilitaire d'extraction qui permet de cartographier les résultats sur la base des fichiers binaires de résultats.

Il existe actuellement quatre versions principales du logiciel SW2D, dont les principales sont :

- **SW2D**, qui résout les équations 2D suivant un schéma de type Godounov pour les volumes finis. La dernière version disponible est Sw2D 2.6e. Cette version inclut le modèle de porosité unique pour la modélisation macroscopique des inondations urbaines.
- **SW12D** est un modèle qui permet de coupler 1D et 2D pour les interactions rivière-plaine d'inondation. Il comprend le modèle unique de porosité.

Cartographie des hauteurs d'eau - Vue générale

Sources : GEI, cadastre

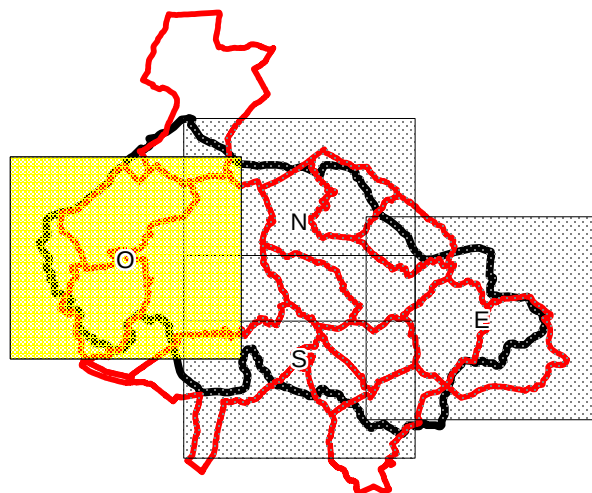
Echelle : 1 / 25 000

0 250 500 m



10.
0

Schéma d'assemblage (1/250 000)



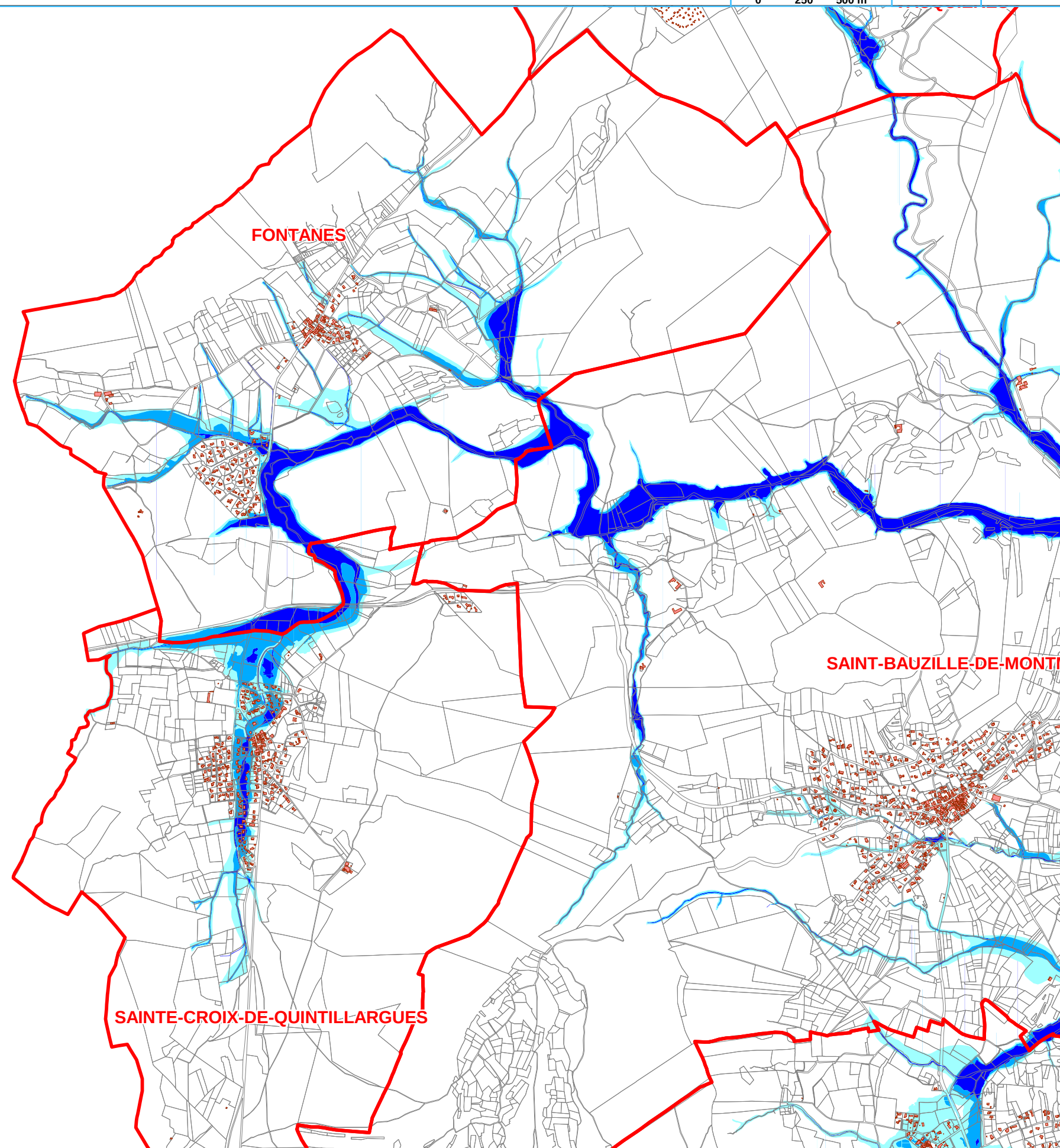
Légende

Général

-  Bassin versant de la Bénovie
-  Limites communales

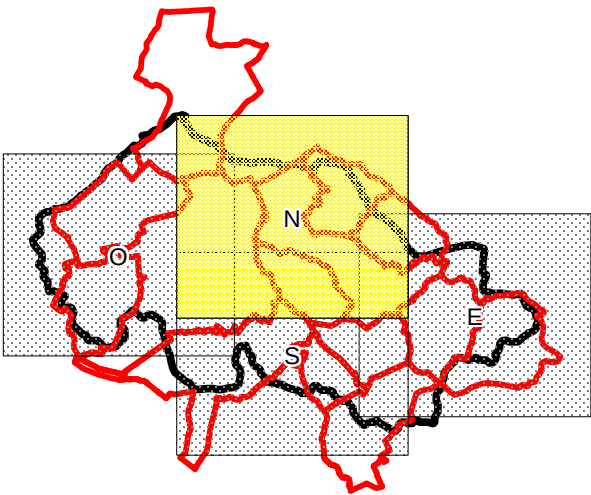
Hauteur d'eau

-  $H < 0.5 \text{ m}$
-  $0.5 \text{ m} < H < 1 \text{ m}$
-  $H > 1 \text{ m}$



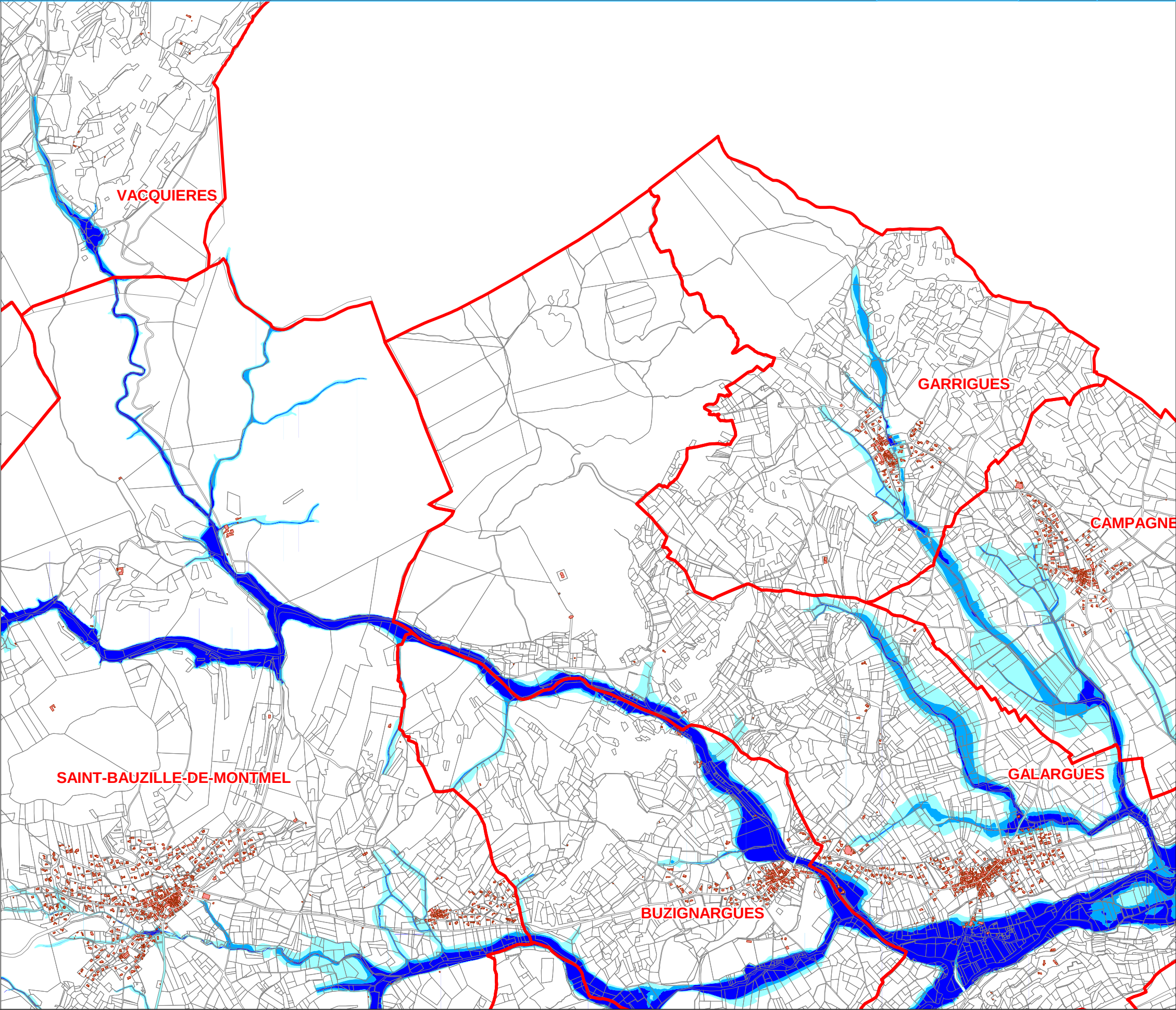
Cartographie des hauteurs d'eau - Vue générale

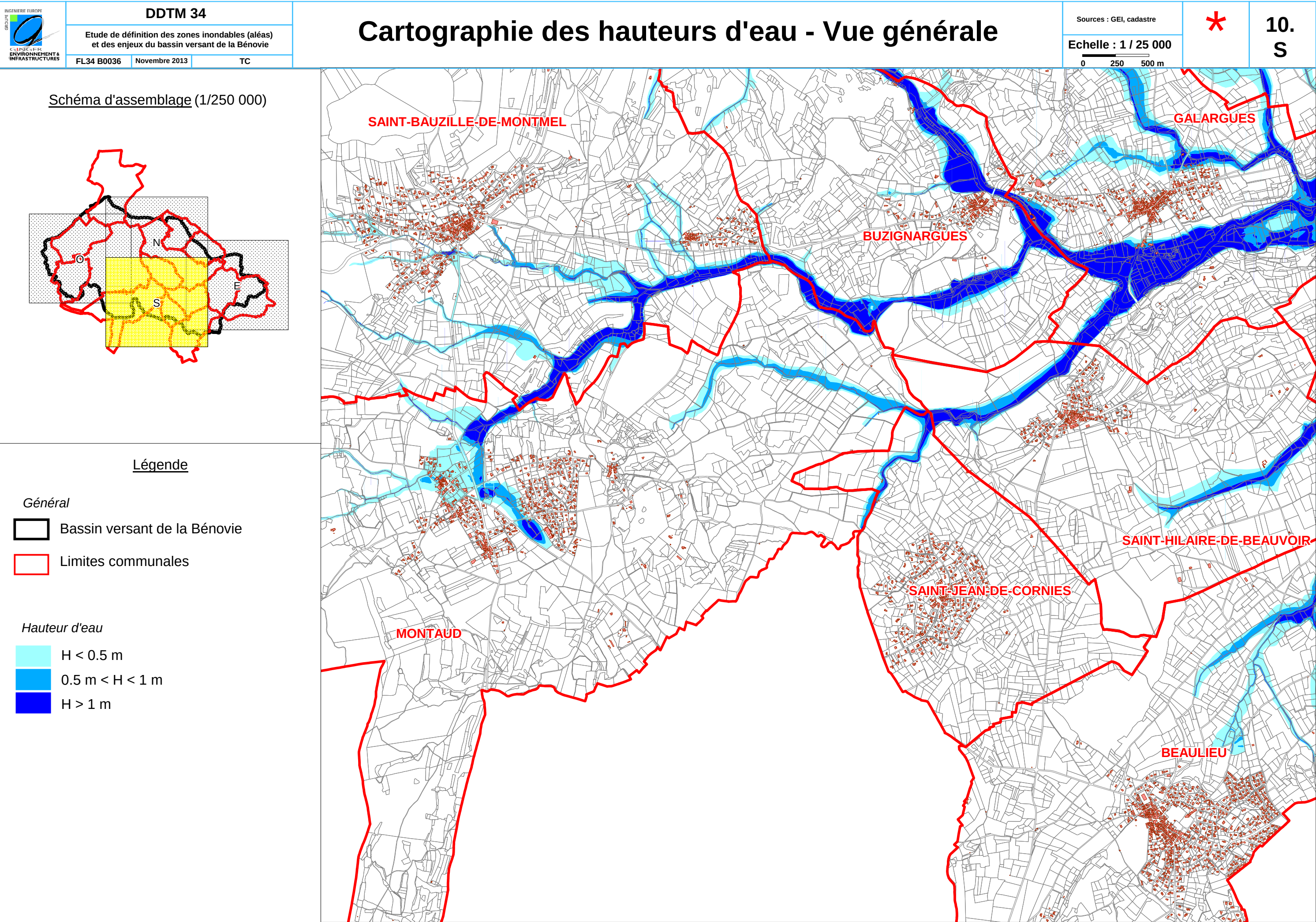
Schéma d'assemblage (1/250 000)



Légende

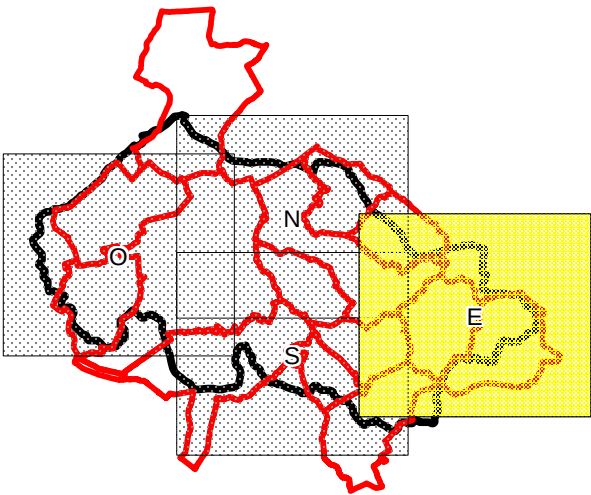
- Général
-  Bassin versant de la Bénovie
 -  Limites communales
- Hauteur d'eau
-  $H < 0.5 \text{ m}$
 -  $0.5 \text{ m} < H < 1 \text{ m}$
 -  $H > 1 \text{ m}$





Cartographie des hauteurs d'eau - Vue générale

Schéma d'assemblage (1/250 000)



Légende

- Général
-  Bassin versant de la Bénovie
 -  Limites communales
- Hauteur d'eau
-  $H < 0.5 \text{ m}$
 -  $0.5 \text{ m} < H < 1 \text{ m}$
 -  $H > 1 \text{ m}$

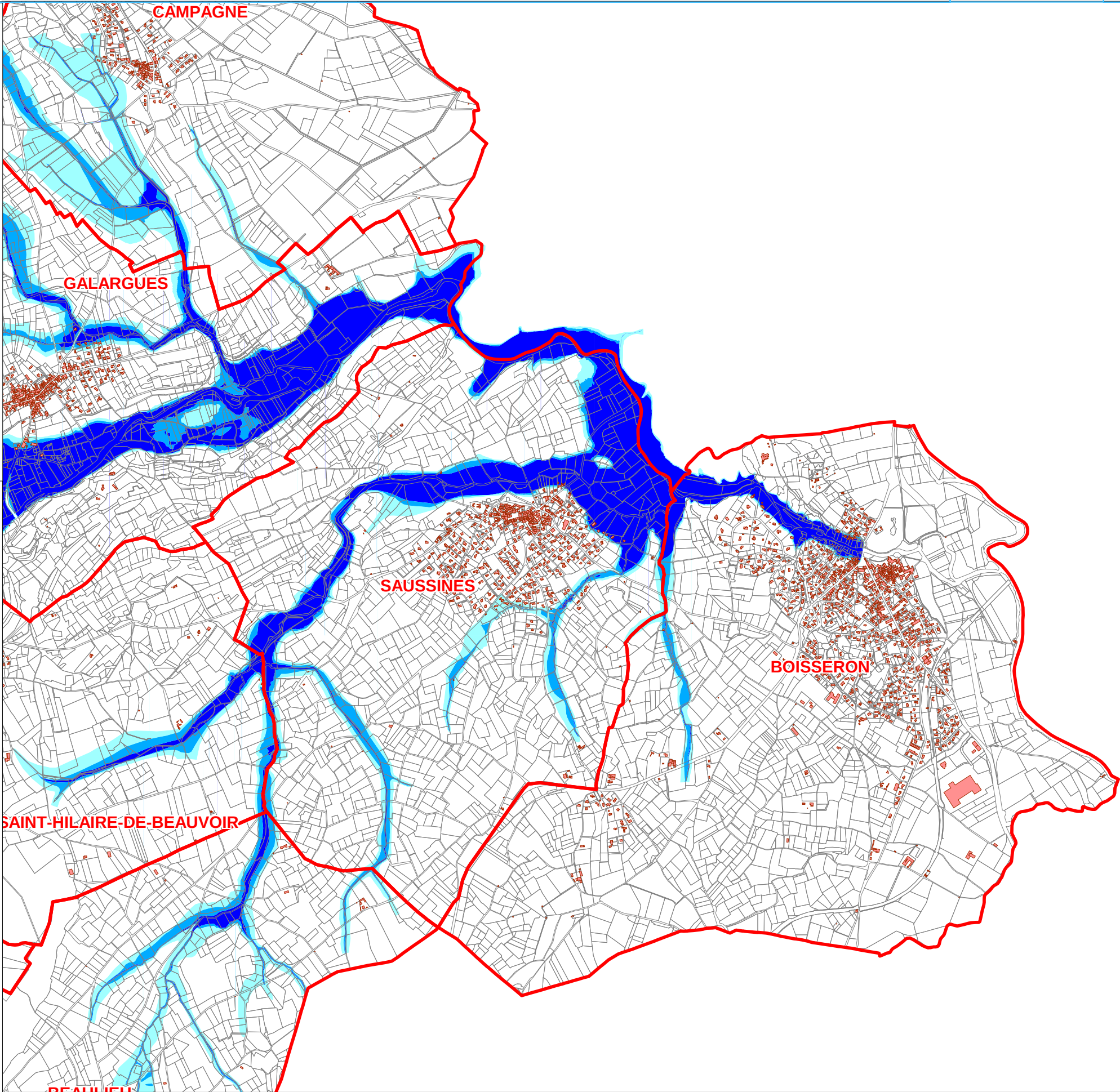
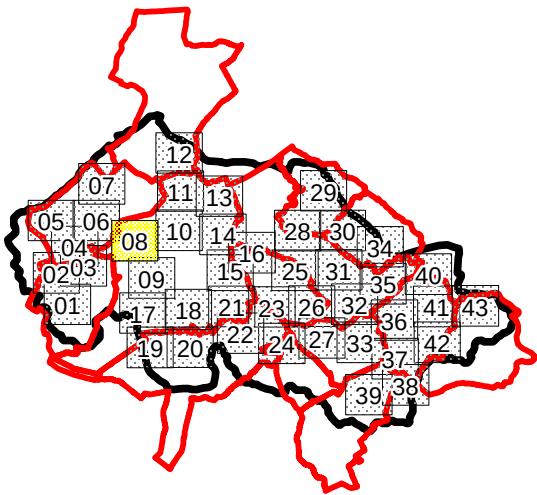


Schéma d'assemblage (1/250 000)



Légende

Général

-  Bassin versant de la Bénovie
-  Limites communales

Hauteur d'eau

-  $H < 0.5 \text{ m}$
-  $0.5 \text{ m} < H < 1 \text{ m}$
-  $H > 1 \text{ m}$

Profil en travers (numéro, débit et cote)

-  10
- 52 m³/s
- 101.25 mNGF

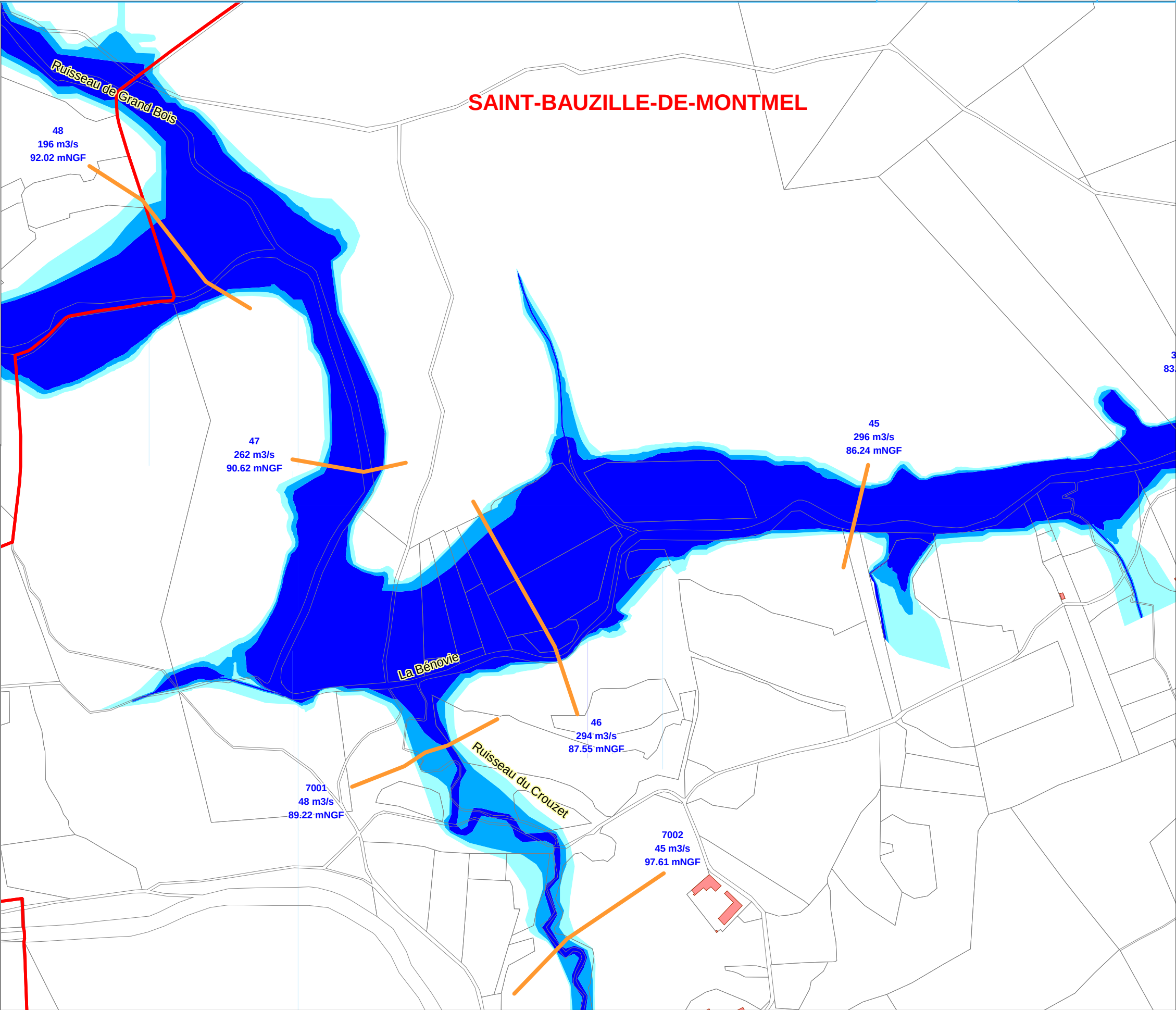
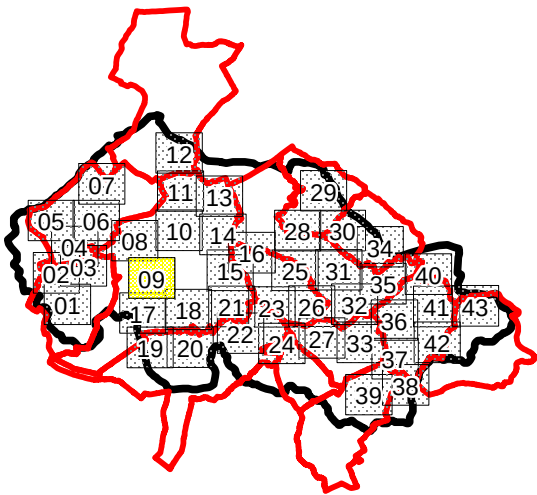


Schéma d'assemblage (1/250 000)



Légende

Général

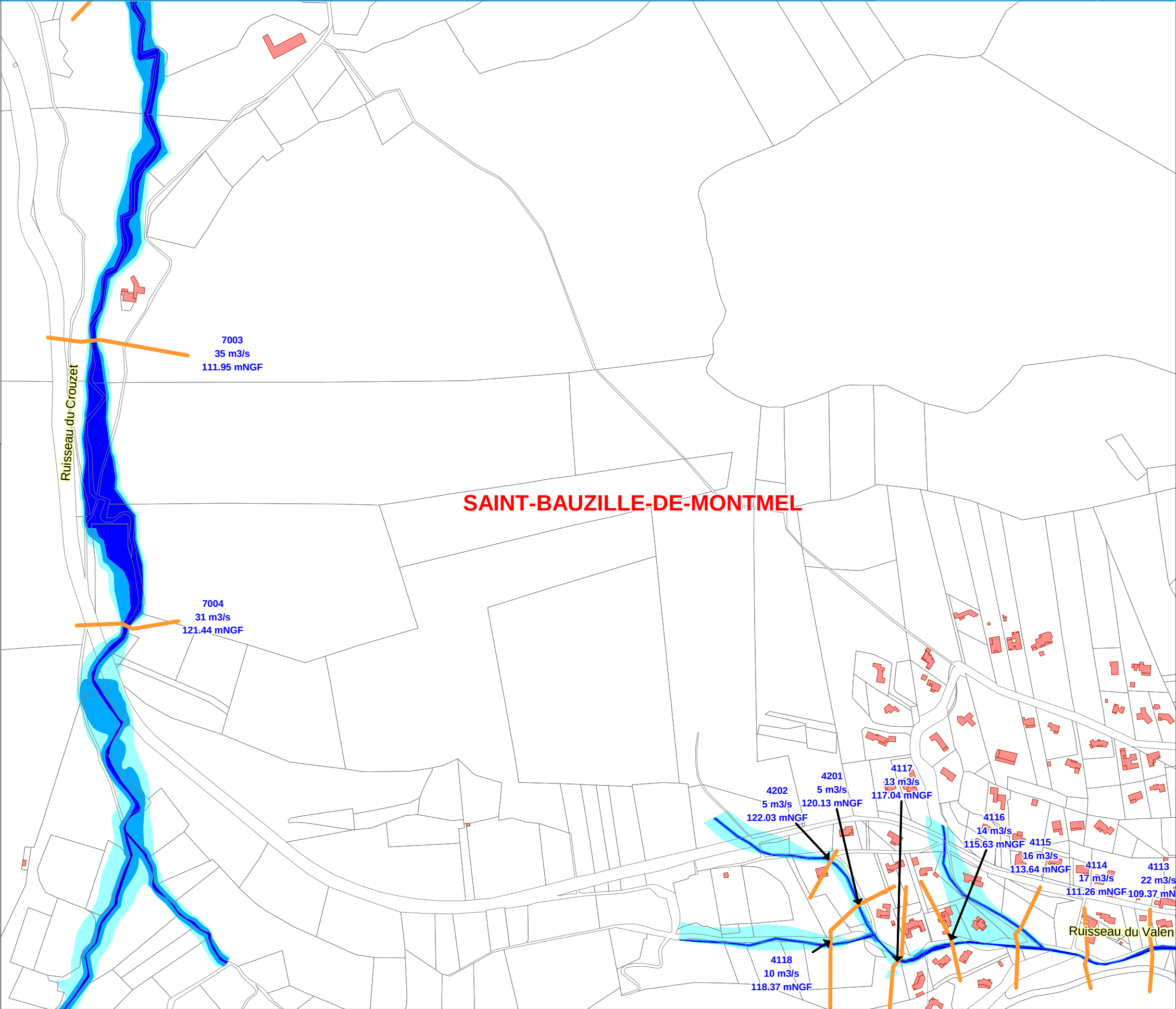
-  Bassin versant de la Bénovie
-  Limites communales

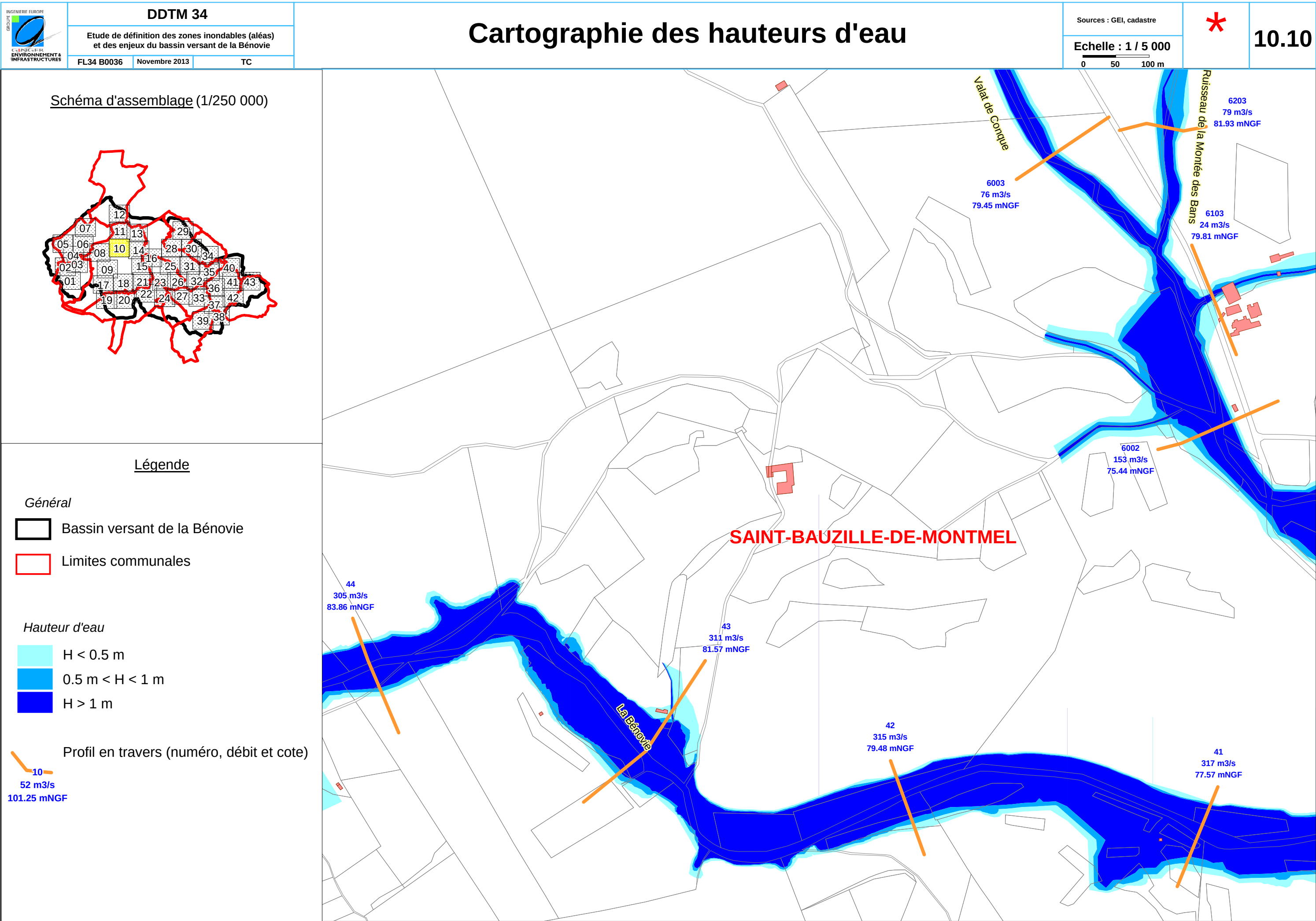
Hauteur d'eau

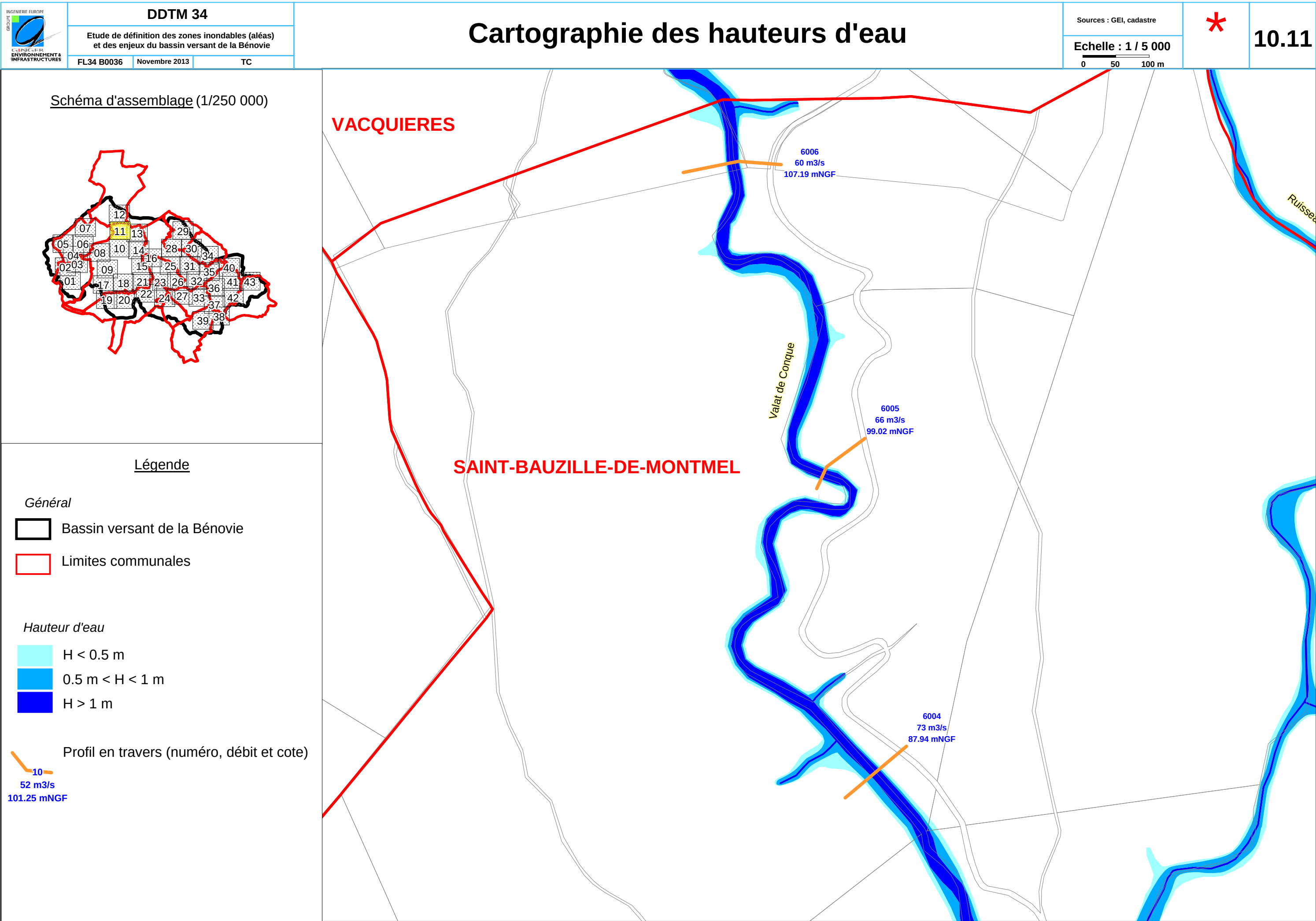
-  $H < 0.5 \text{ m}$
-  $0.5 \text{ m} < H < 1 \text{ m}$
-  $H > 1 \text{ m}$

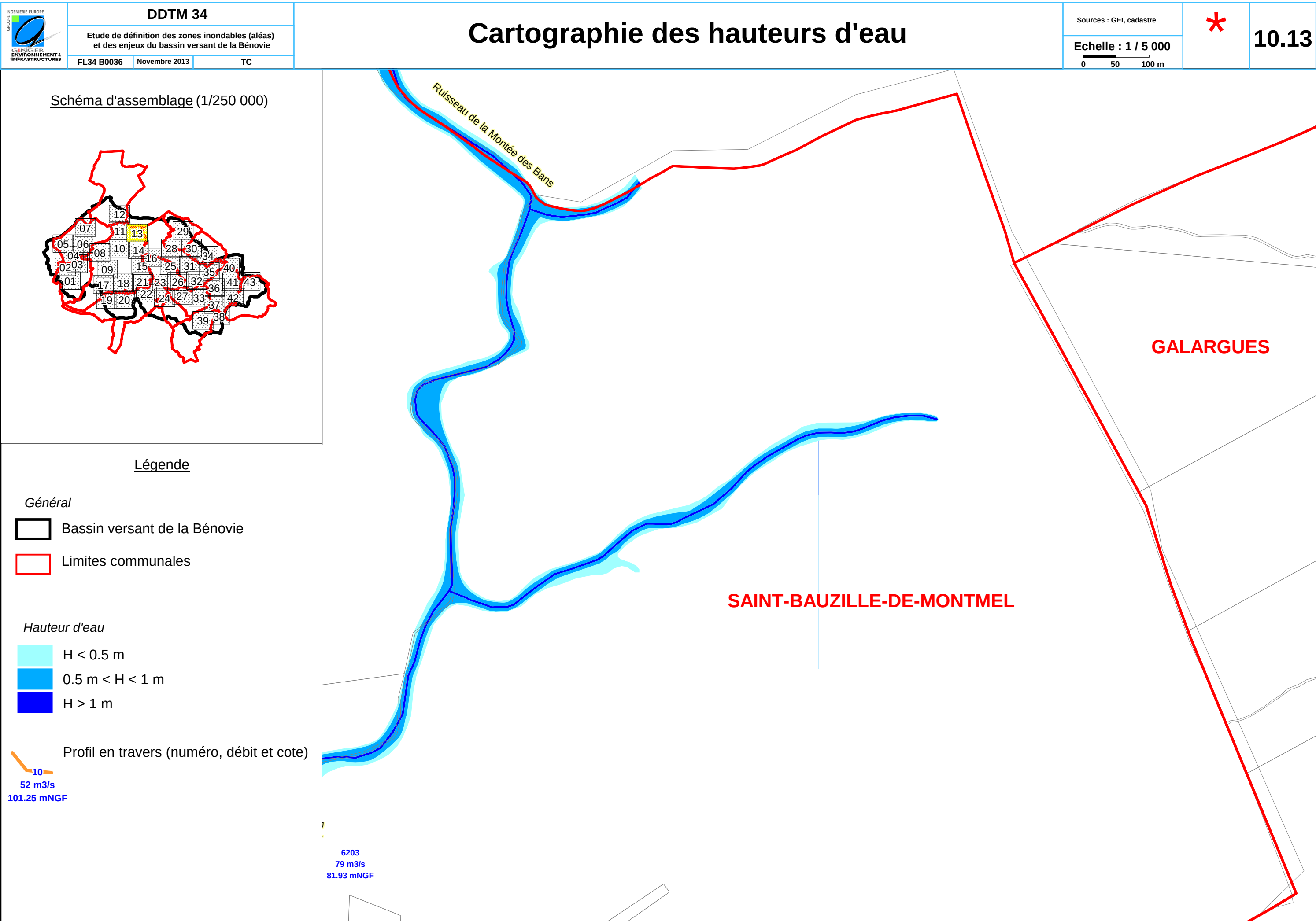
Profil en travers (numéro, débit et cote)

 10
52 m3/s
101.25 mNGF









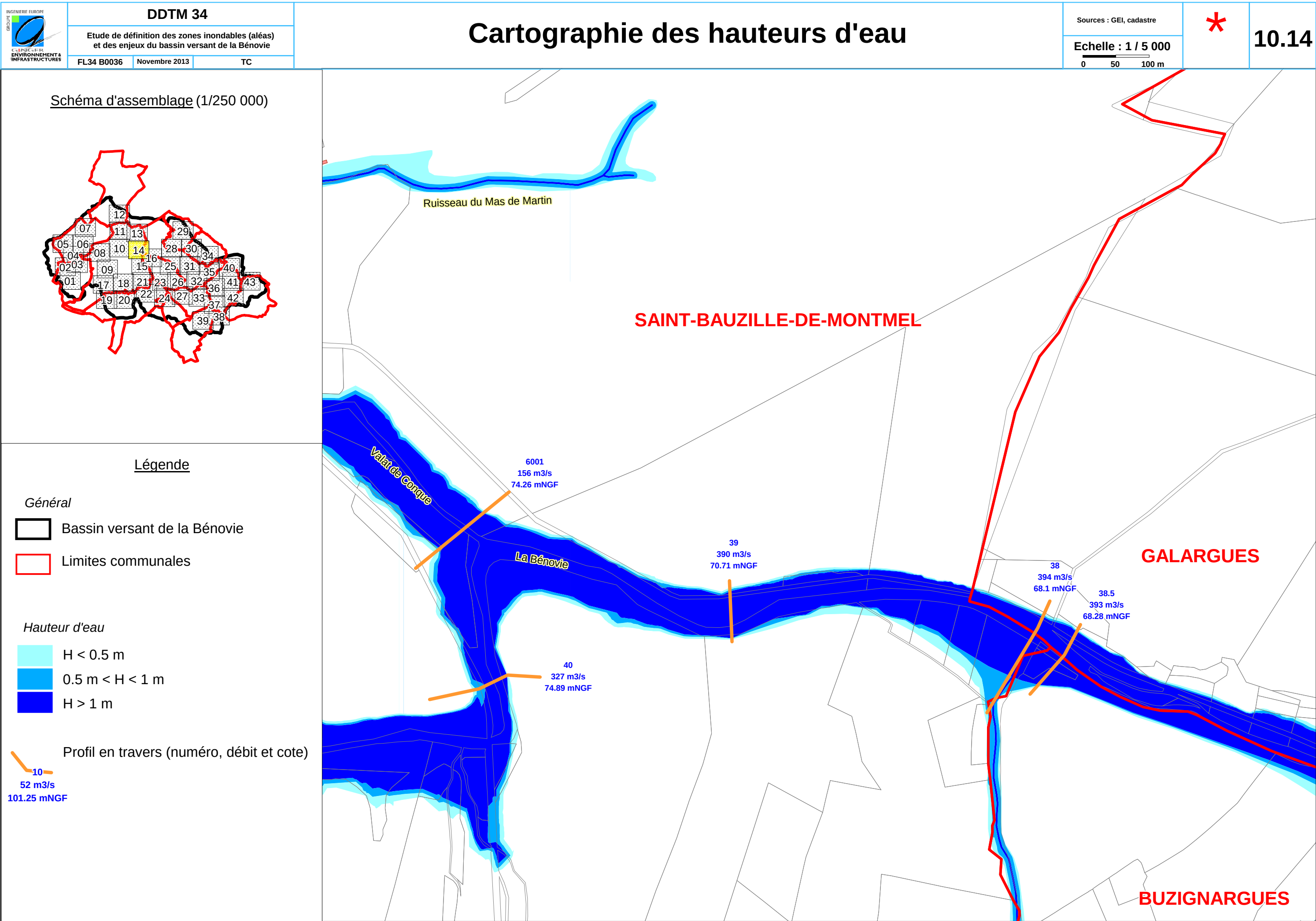
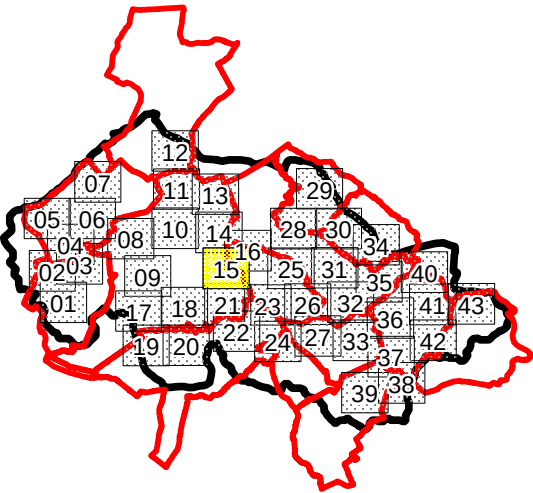


Schéma d'assemblage (1/250 000)



Légende

Général

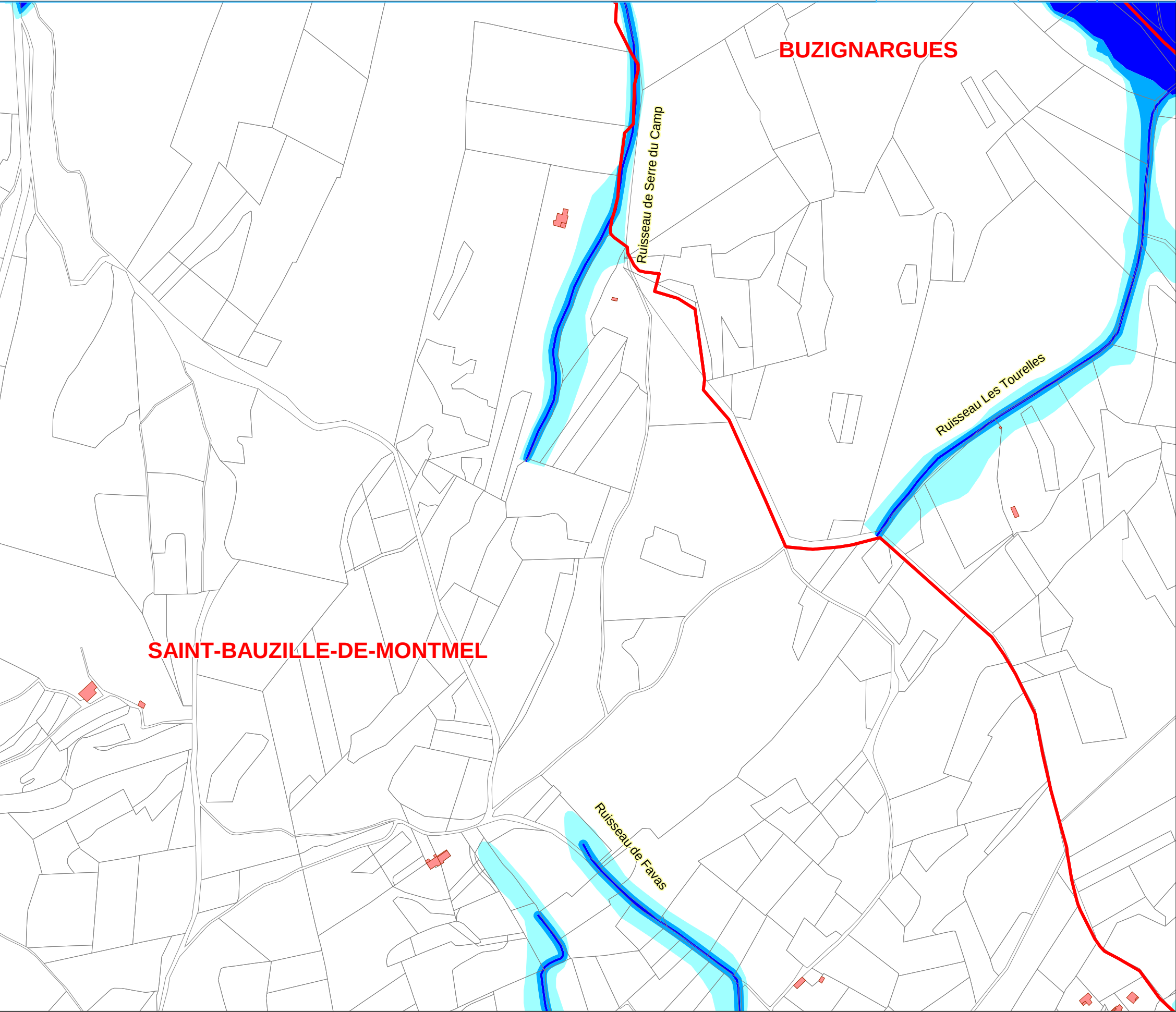
-  Bassin versant de la Bénovie
-  Limites communales

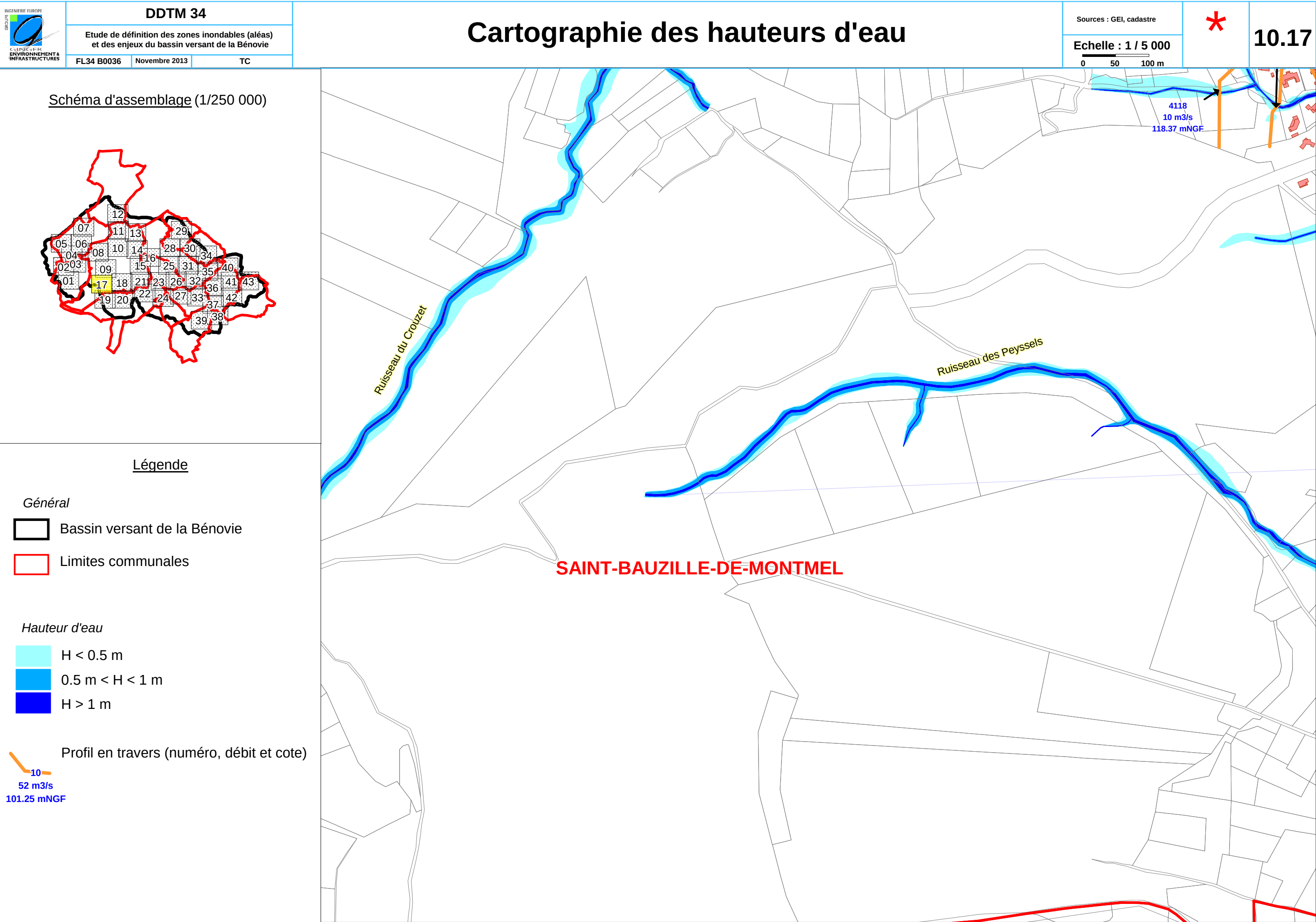
Hauteur d'eau

-  $H < 0.5 \text{ m}$
-  $0.5 \text{ m} < H < 1 \text{ m}$
-  $H > 1 \text{ m}$

Profil en travers (numéro, débit et cote)

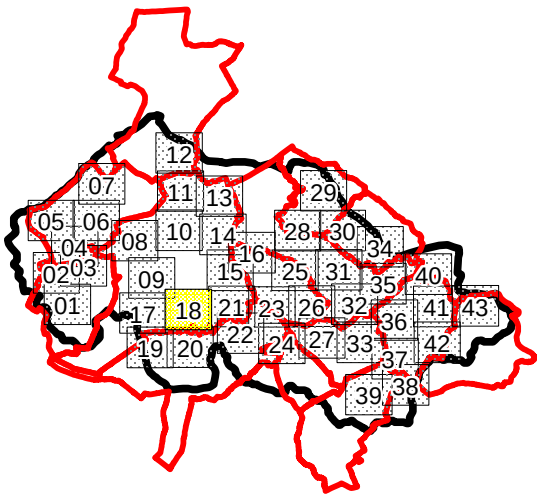
 10
52 m³/s
101.25 mNGF





Cartographie des hauteurs d'eau

Schéma d'assemblage (1/250 000)



Légende

Général

-  Bassin versant de la Bénovie
-  Limites communales

Hauteur d'eau

-  $H < 0.5 \text{ m}$
-  $0.5 \text{ m} < H < 1 \text{ m}$
-  $H > 1 \text{ m}$

Profil en travers (numéro, débit et cote)

-  10
-  52 m³/s
-  101.25 mNGF

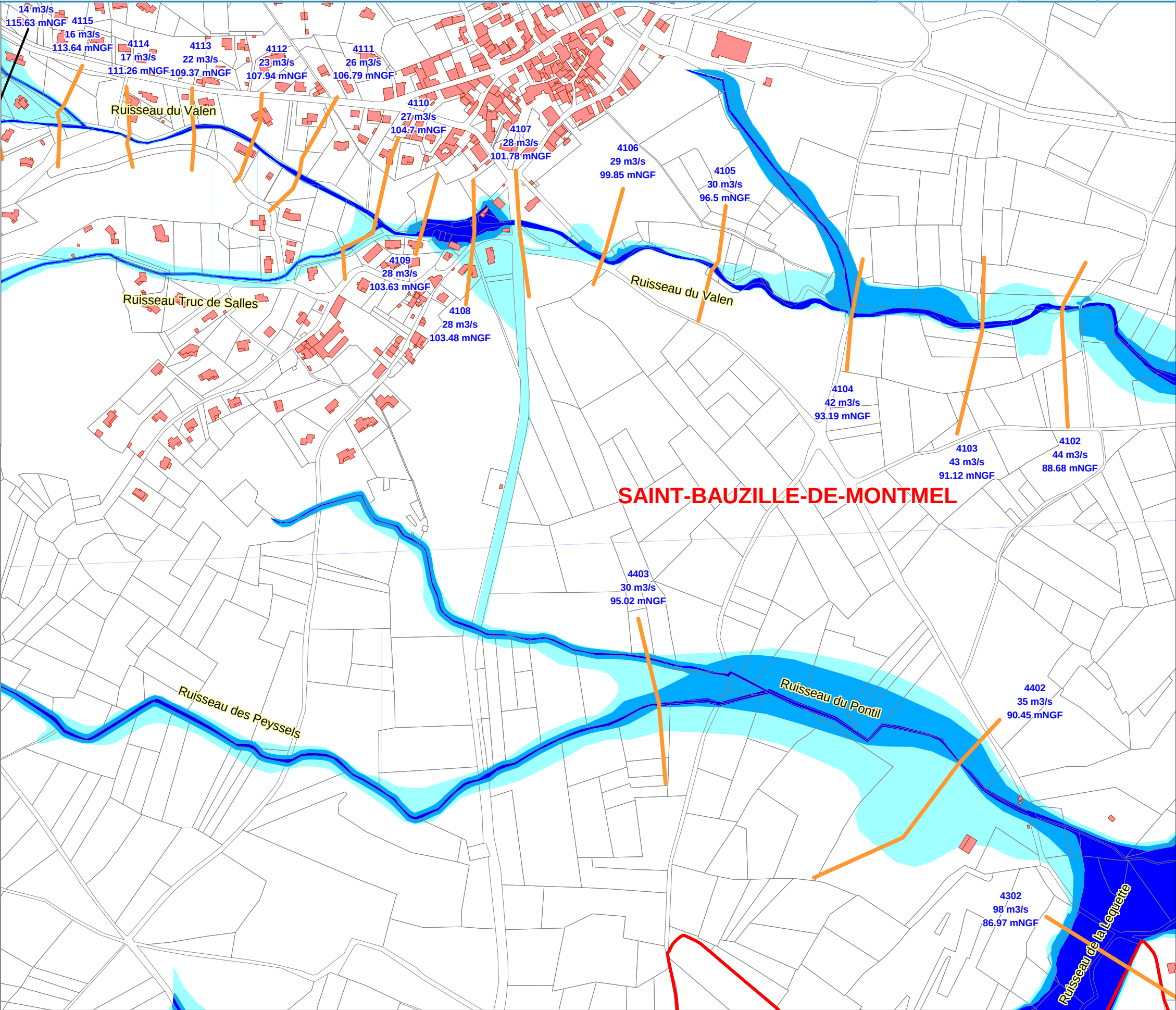
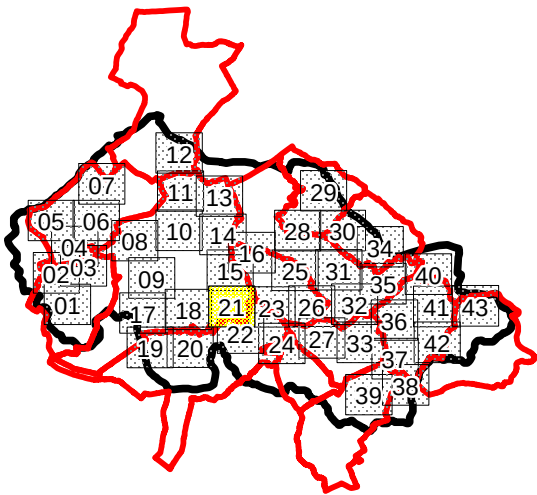


Schéma d'assemblage (1/250 000)



Légende

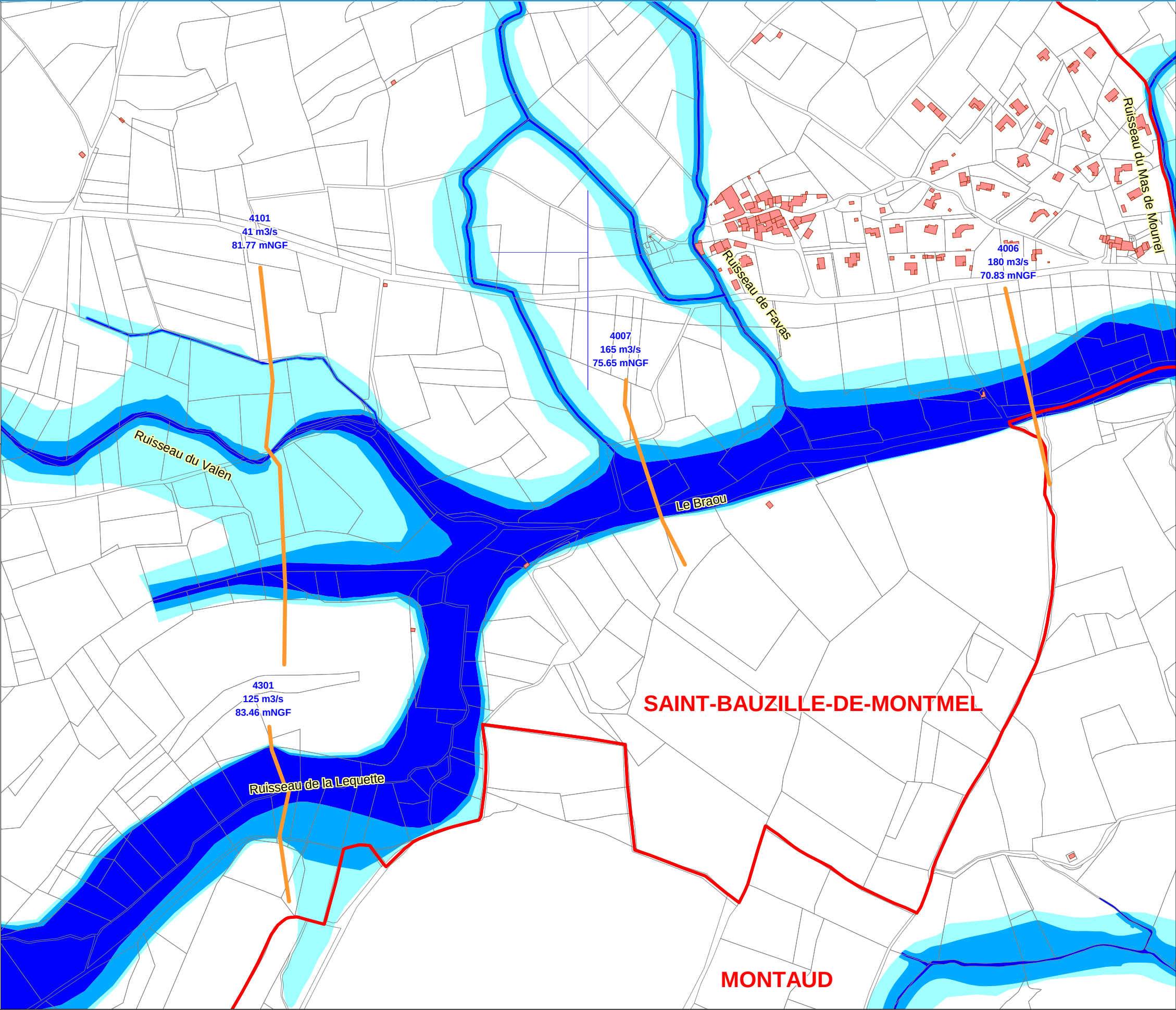
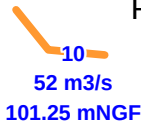
Général

-  Bassin versant de la Bénovie
-  Limites communales

Hauteur d'eau

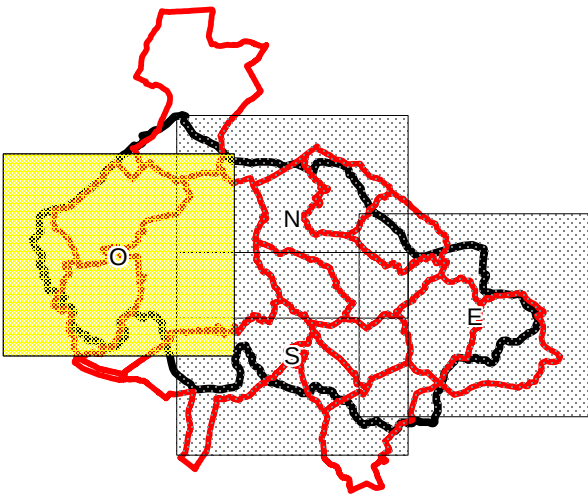
-  $H < 0.5 \text{ m}$
-  $0.5 \text{ m} < H < 1 \text{ m}$
-  $H > 1 \text{ m}$

Profil en travers (numéro, débit et cote)



Cartographie de l'aléa inondation - Vue générale

Schéma d'assemblage (1/250 000)



Légende

- Général
- 

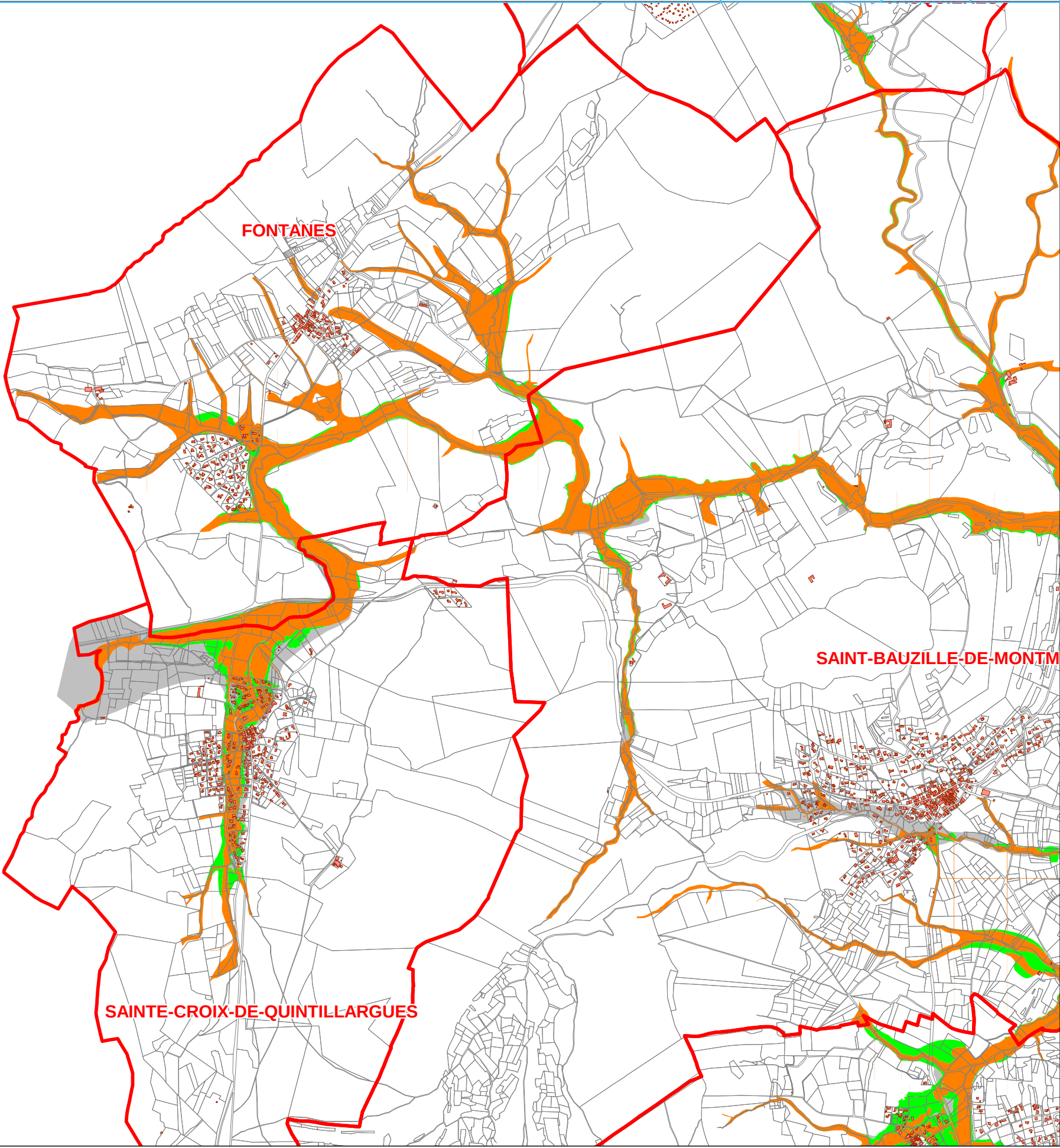
 Bassin versant de la Bénovie
- 

 Limites communales
-
- Aléa inondation
- 

 Aléa fort
- 

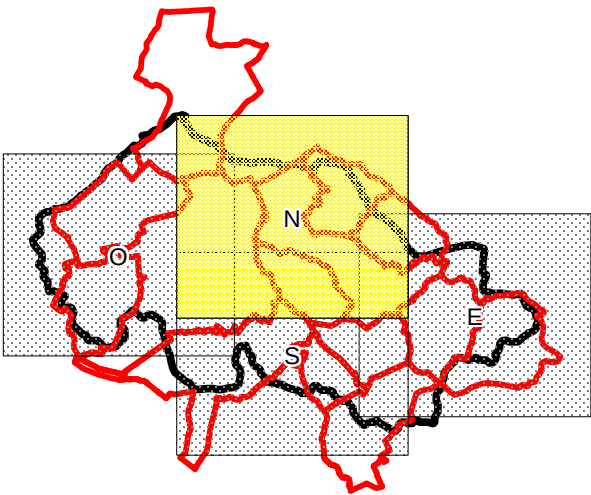
 Aléa modéré
- 

 Aléa résiduel



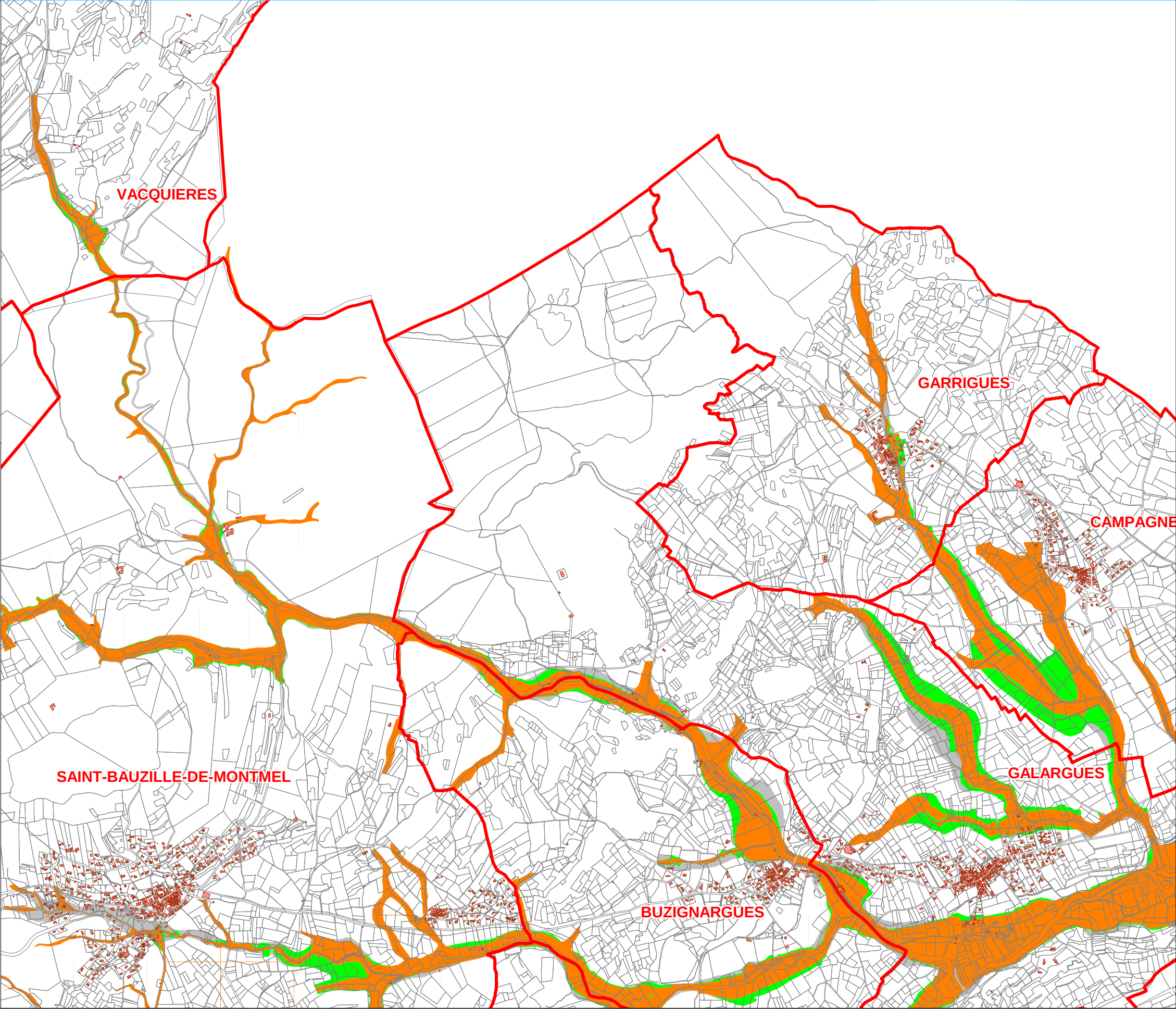
Cartographie de l'aléa inondation - Vue générale

Schéma d'assemblage (1/250 000)



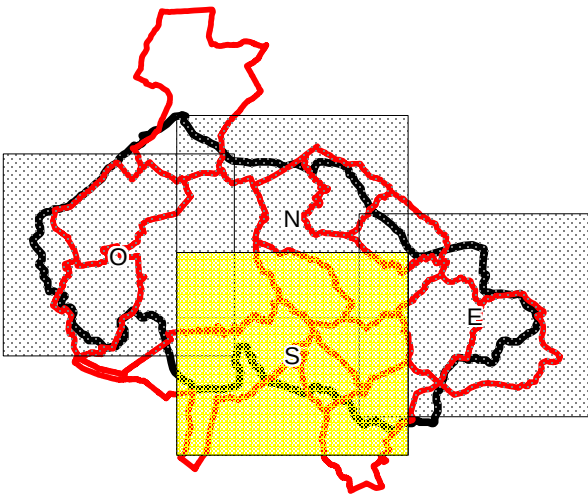
Légende

- Général
-  Bassin versant de la Bénovie
 -  Limites communales
- Aléa inondation
-  Aléa fort
 -  Aléa modéré
 -  Aléa résiduel



Cartographie de l'aléa inondation - Vue générale

Schéma d'assemblage (1/250 000)



Légende

- Général
- 

 Bassin versant de la Bénovie
- 

 Limites communales
- Aléa inondation
- 

 Aléa fort
- 

 Aléa modéré
- 

 Aléa résiduel

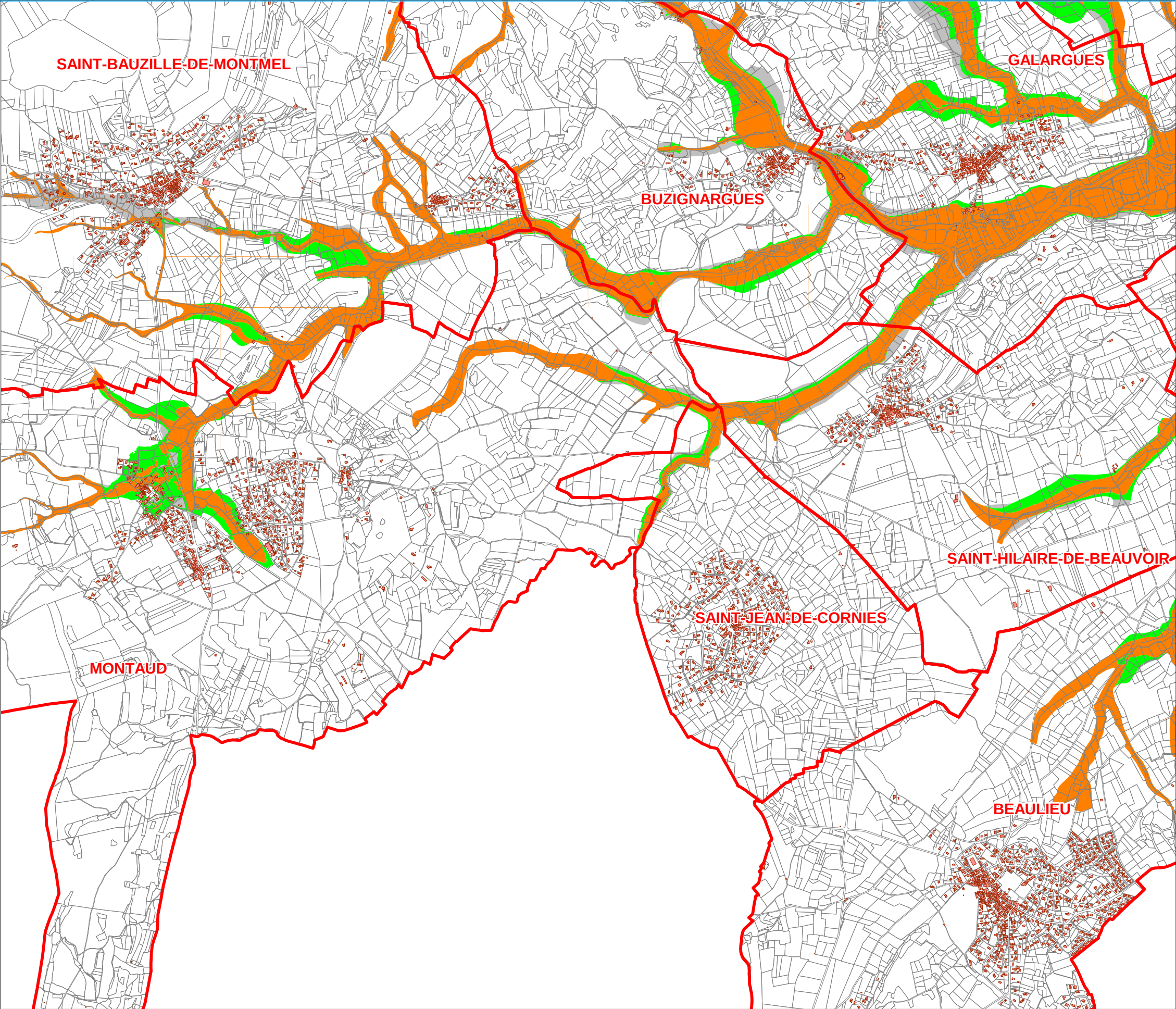
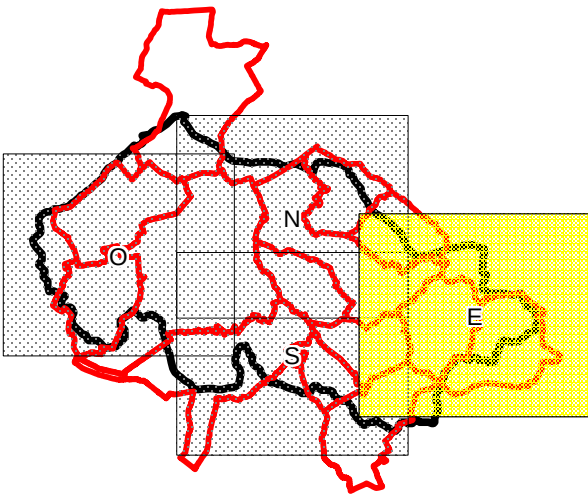


Schéma d'assemblage (1/250 000)



Légende

- Général
-  Bassin versant de la Bénovie

 Limites communales
- Aléa inondation
-  Aléa fort

 Aléa modéré

 Aléa résiduel

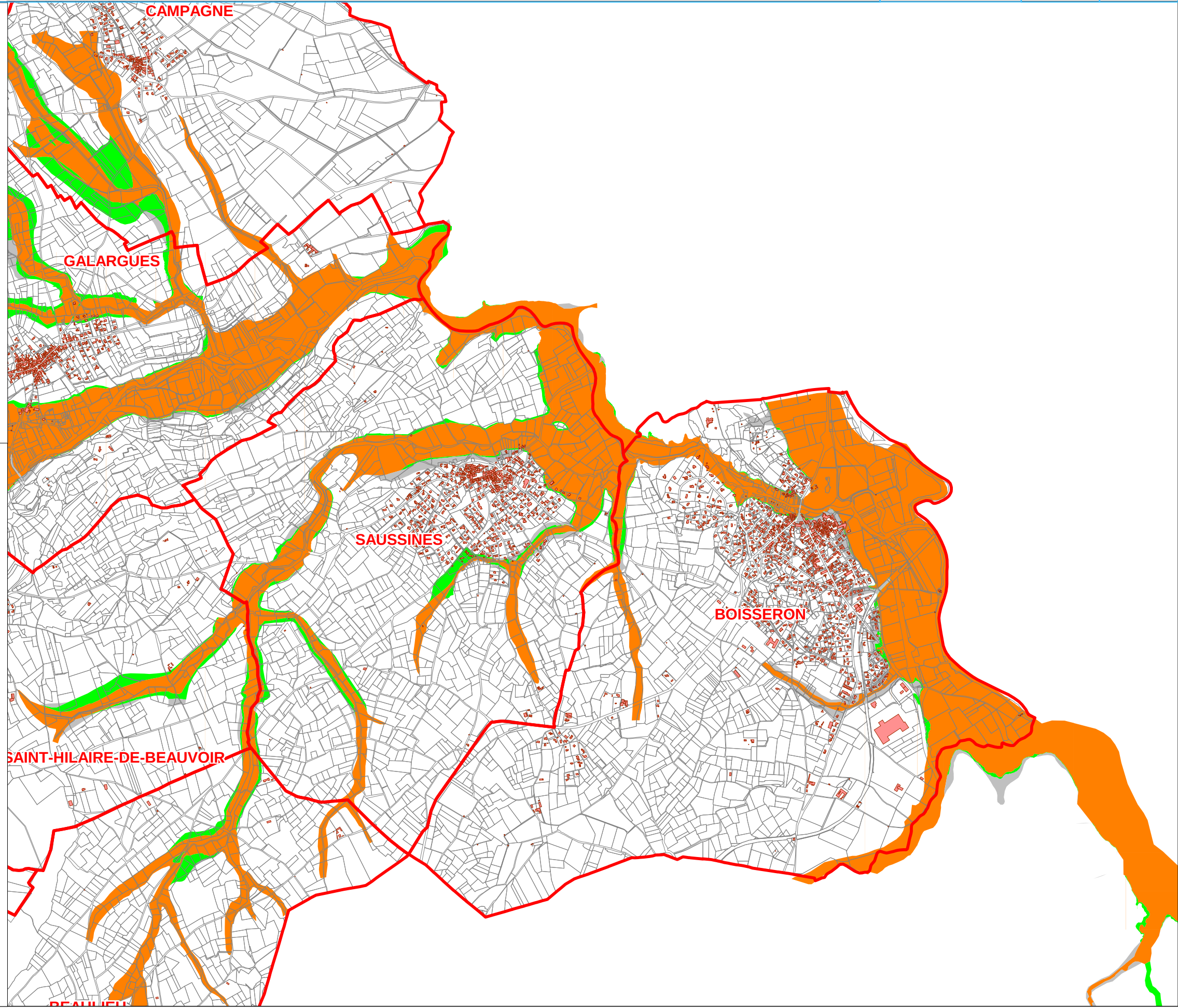
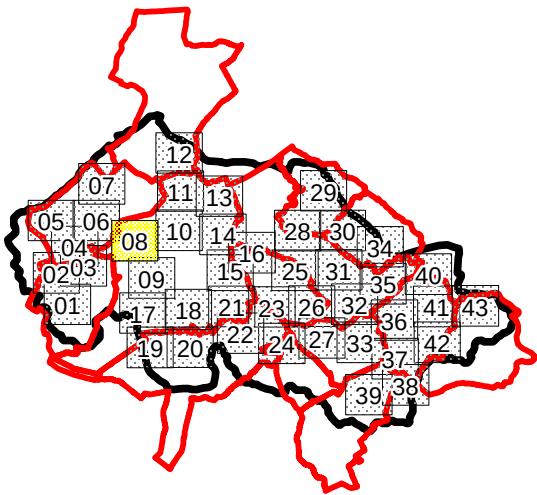


Schéma d'assemblage (1/250 000)



Légende

Général

-  Bassin versant de la Bénovie
-  Limites communales

Aléa inondation

-  Aléa fort
-  Aléa modéré
-  Aléa résiduel

Profil en travers (numéro, débit et cote)

 10
52 m3/s
101.25 mNGF

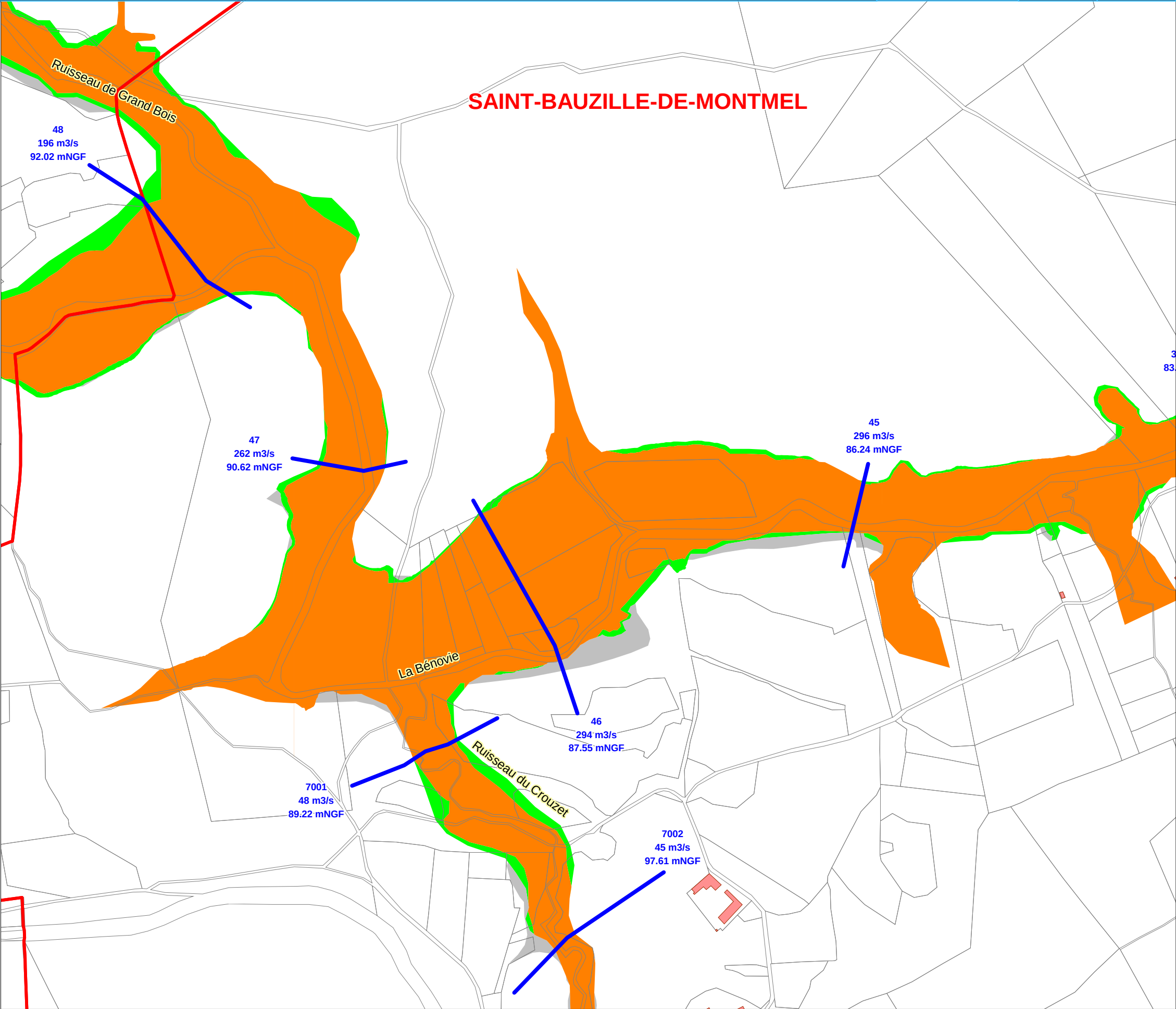
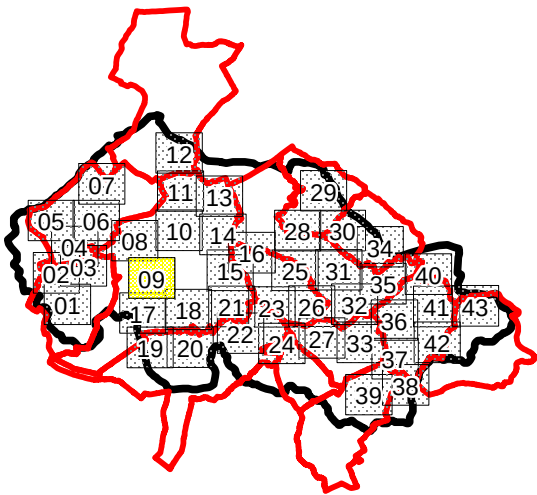


Schéma d'assemblage (1/250 000)

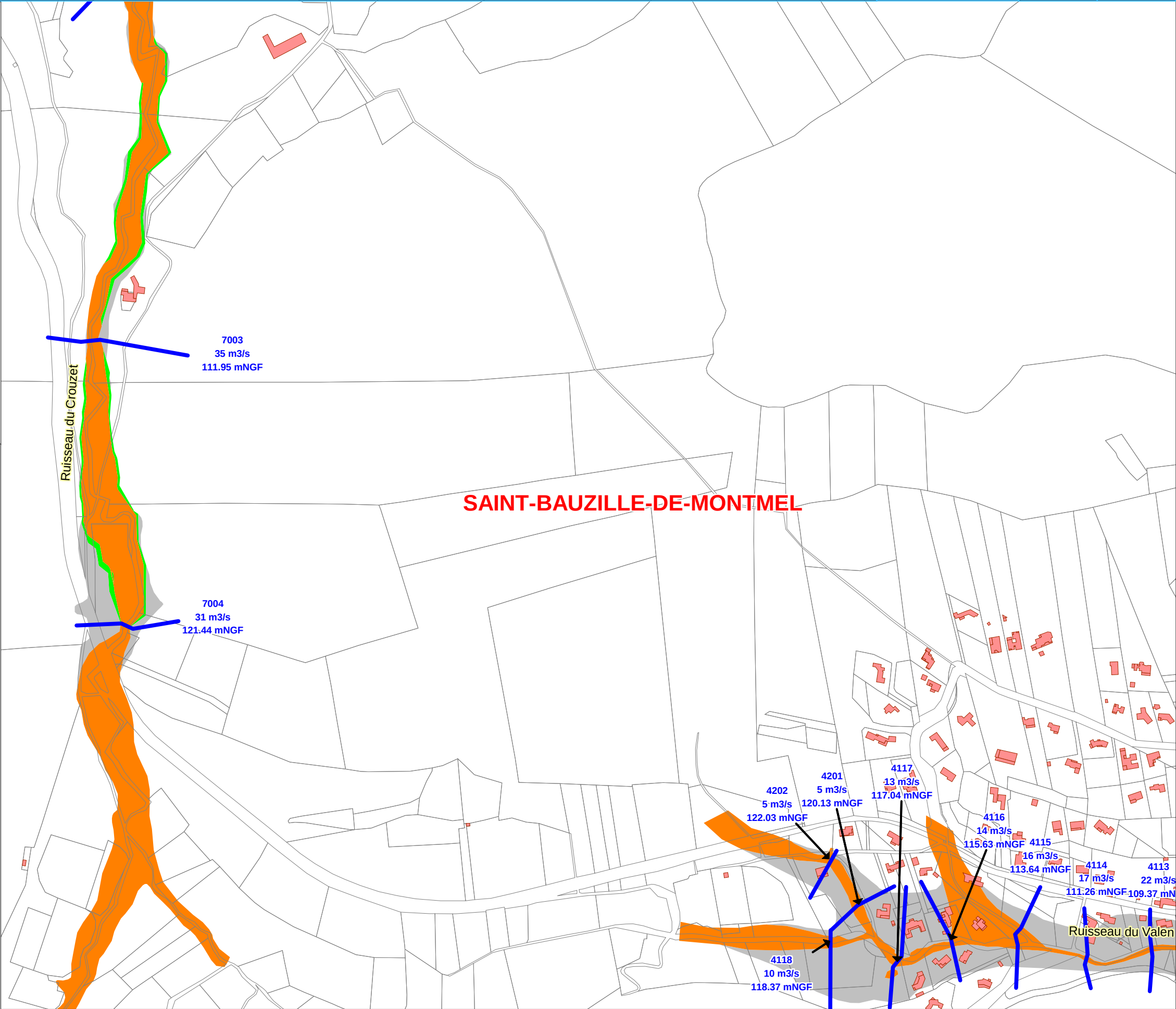


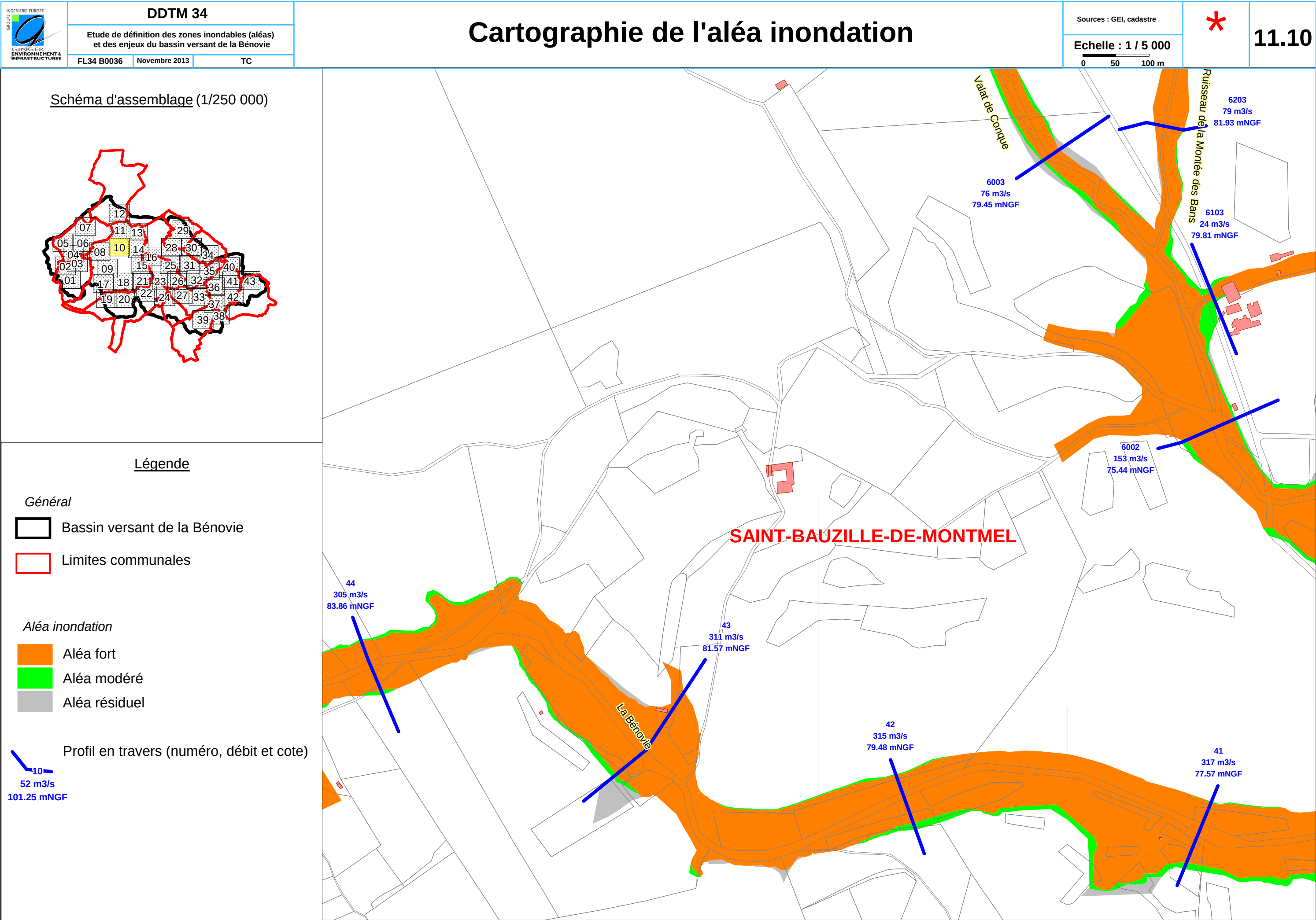
Légende

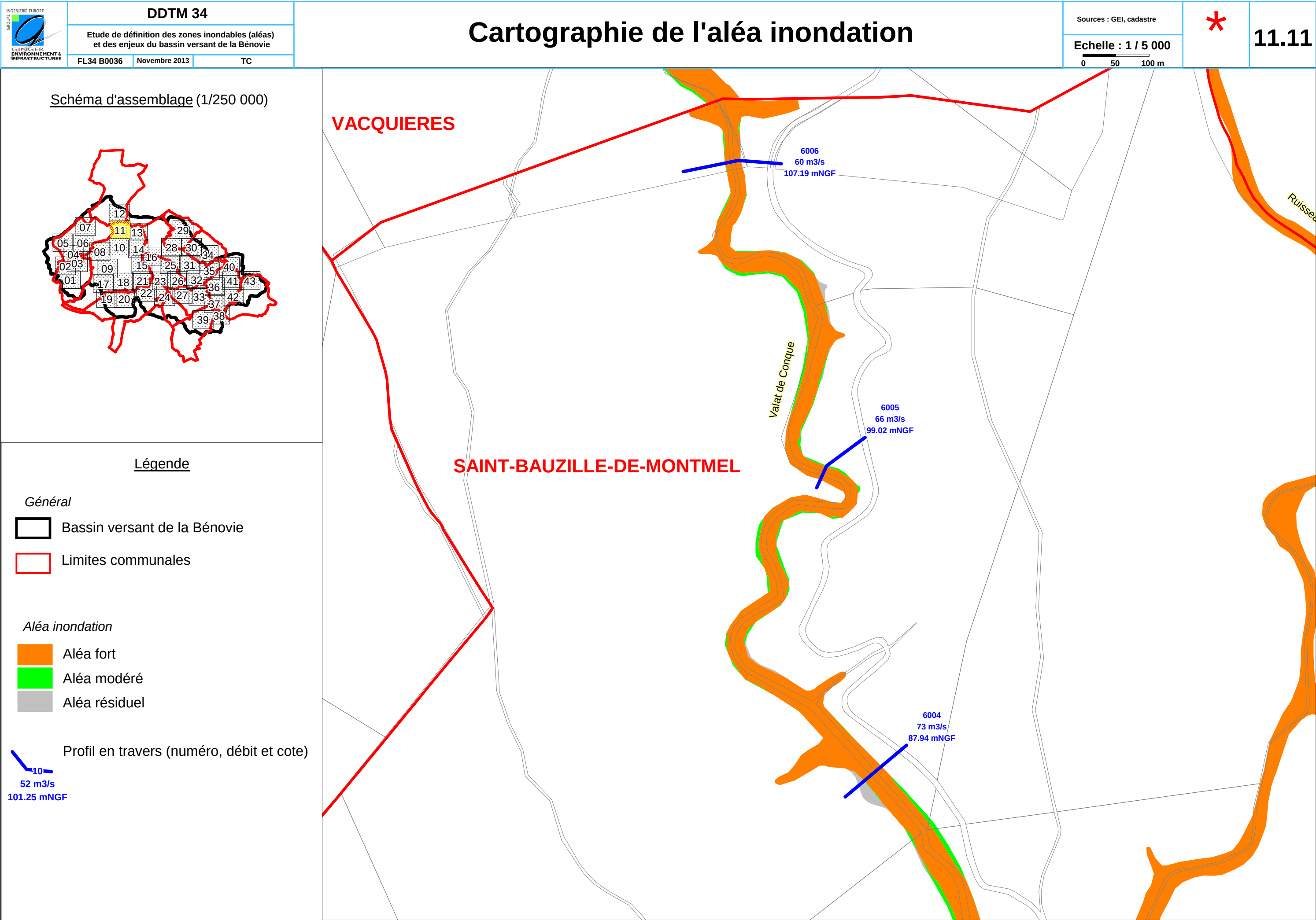
- Général
-  Bassin versant de la Bénovie
 -  Limites communales

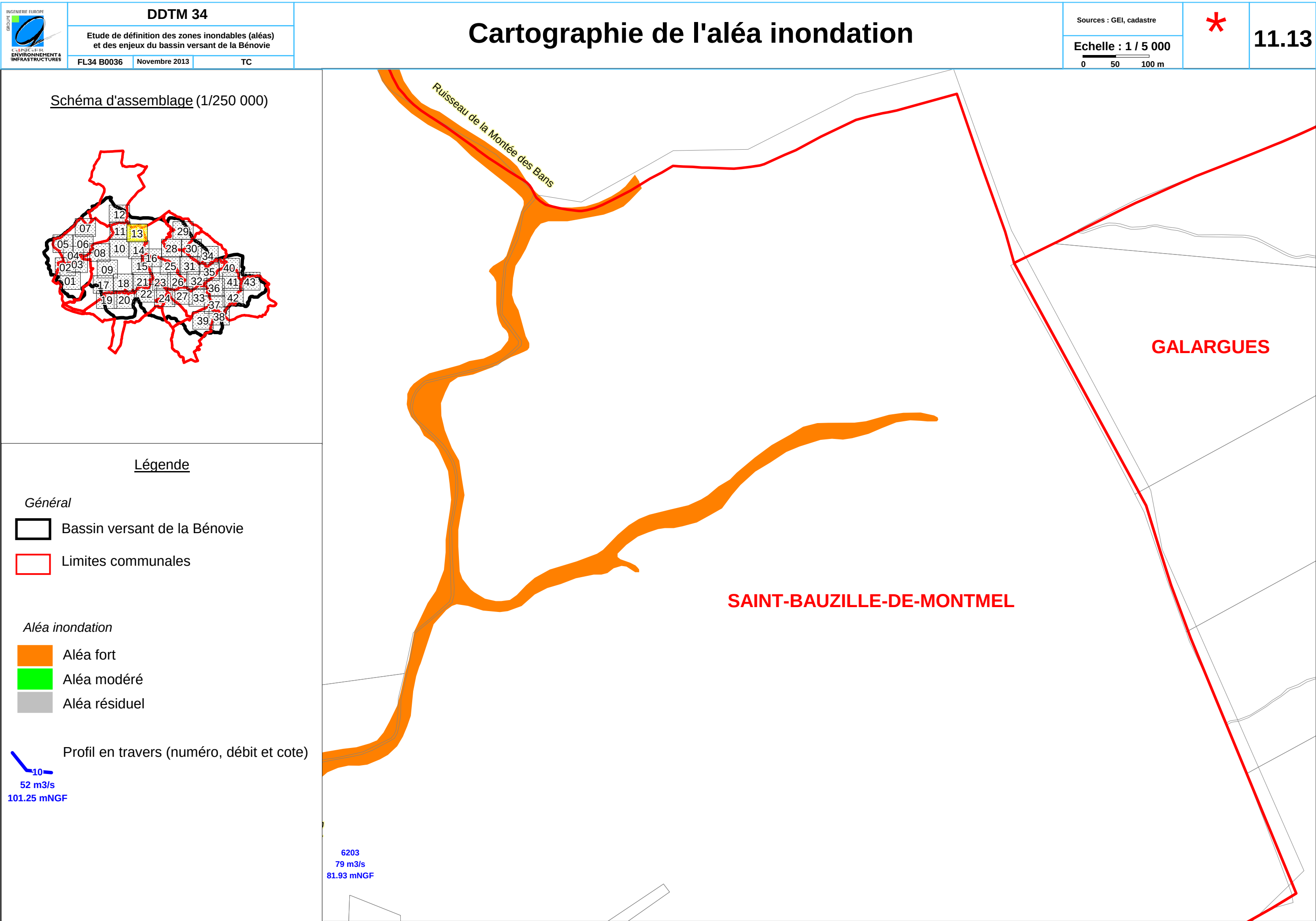
- Aléa inondation
-  Aléa fort
 -  Aléa modéré
 -  Aléa résiduel

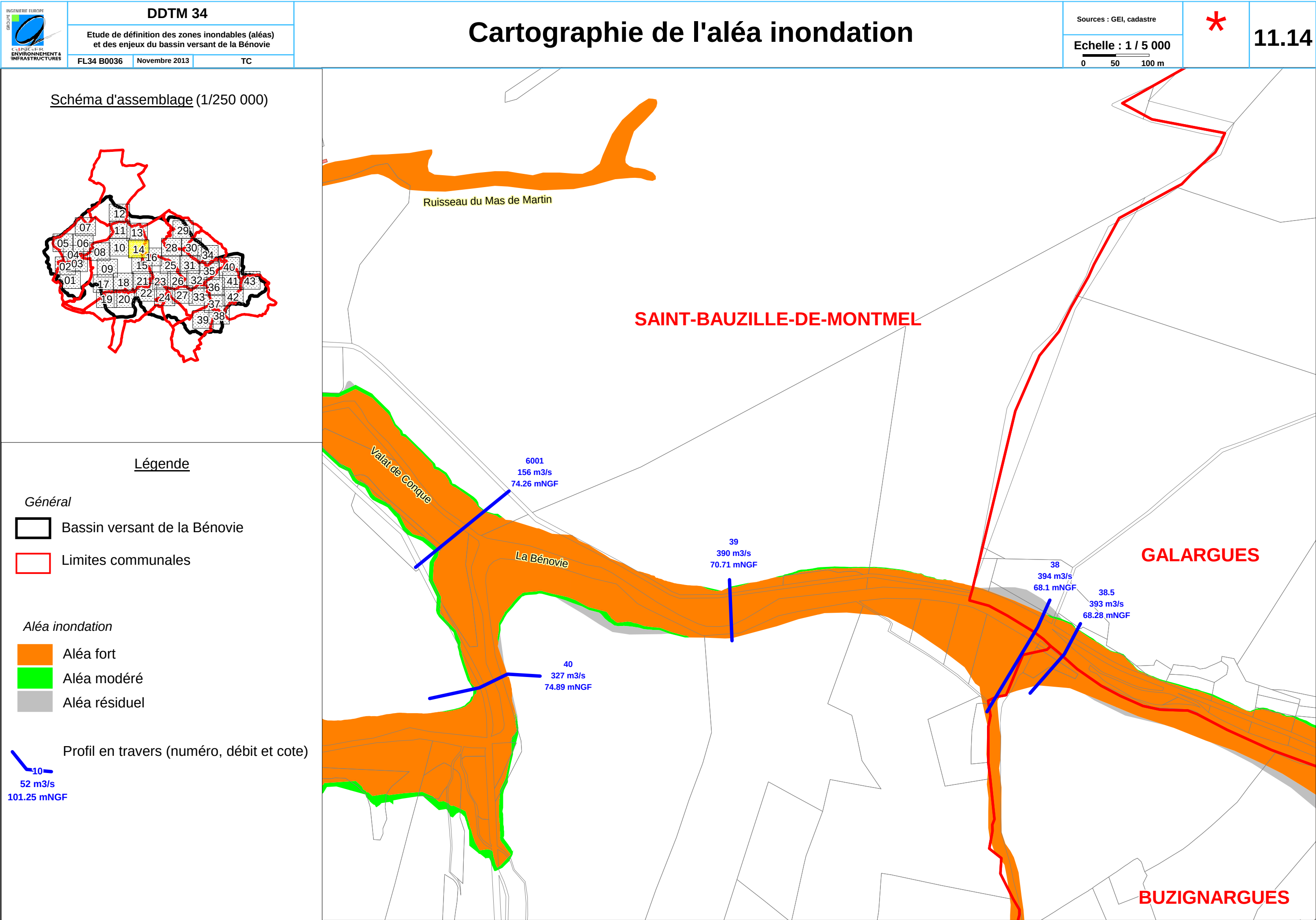
- Profil en travers (numéro, débit et cote)
-  10
52 m3/s
101.25 mNGF

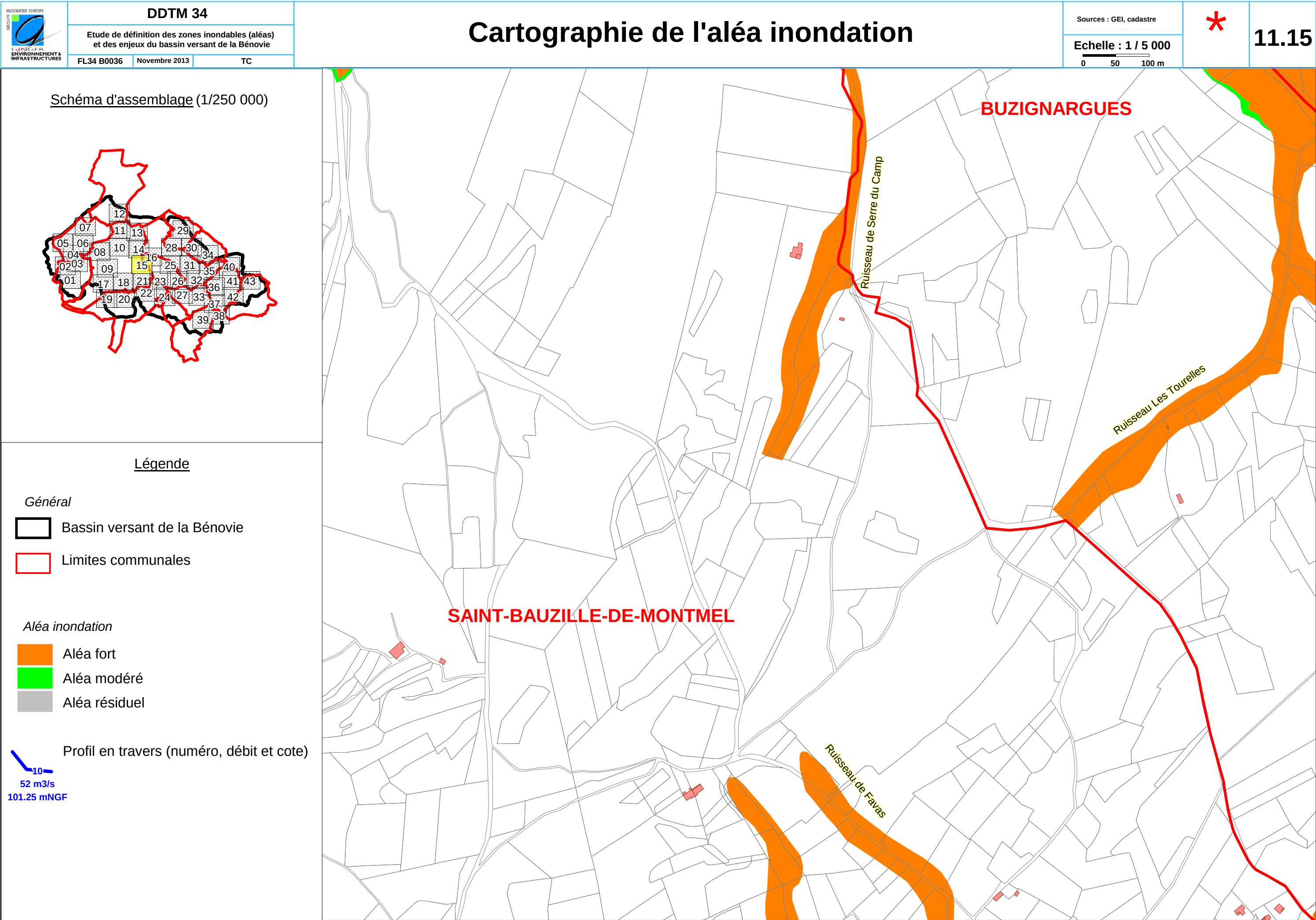












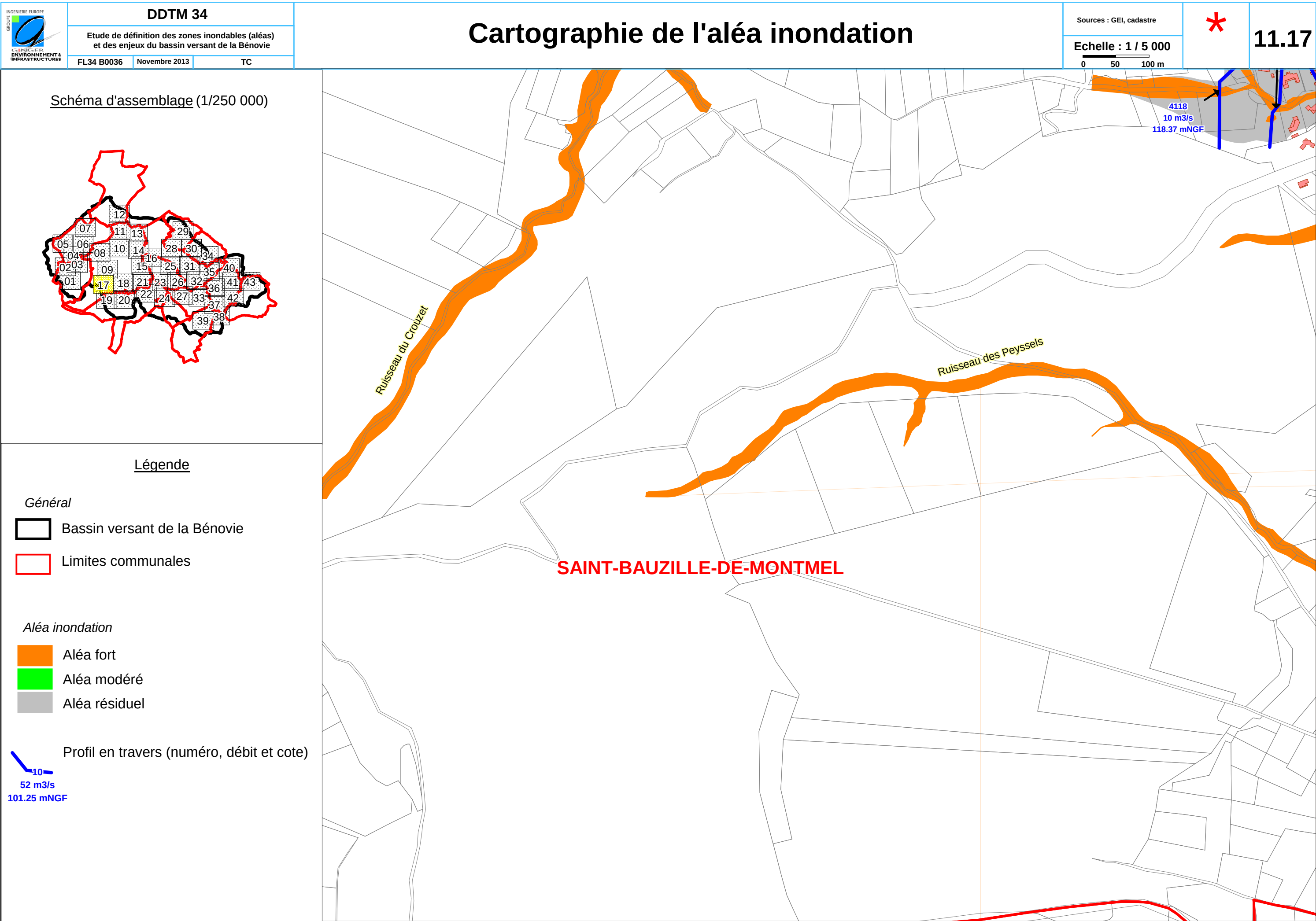
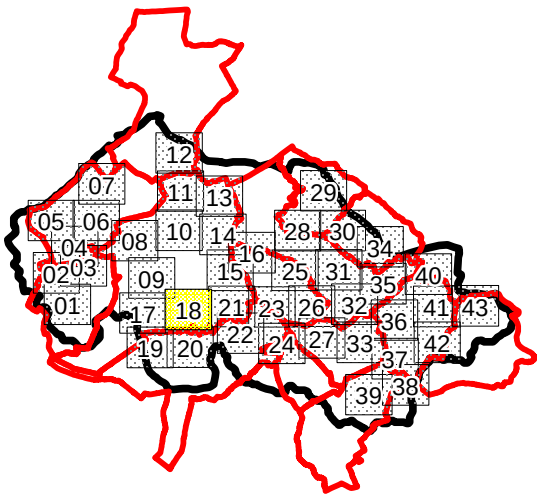


Schéma d'assemblage (1/250 000)



Légende

- Général
-  Bassin versant de la Bénovie
 -  Limites communales

- Aléa inondation
-  Aléa fort
 -  Aléa modéré
 -  Aléa résiduel

- Profil en travers (numéro, débit et cote)
-  10
 - 52 m3/s
 - 101.25 mNGF

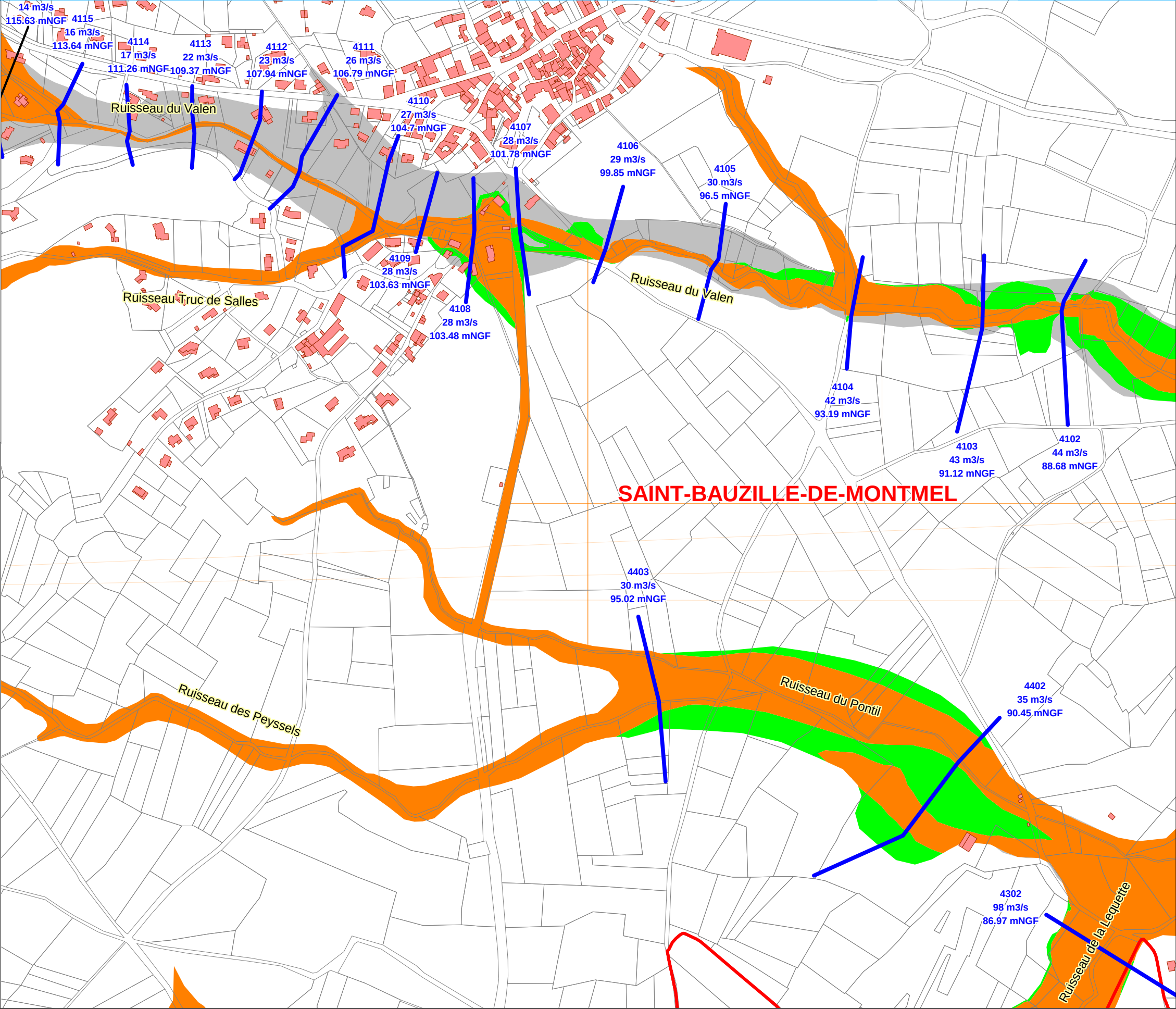
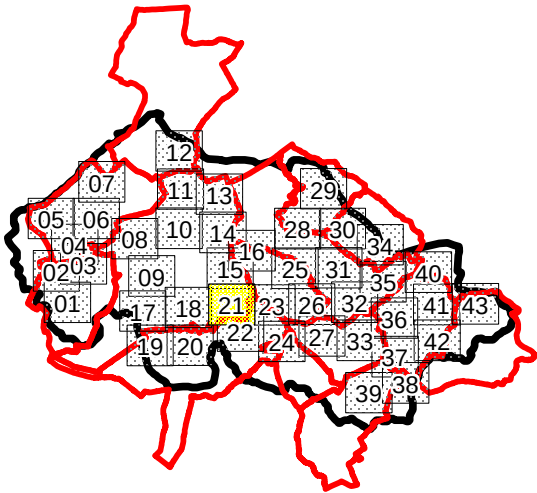


Schéma d'assemblage (1/250 000)



Légende

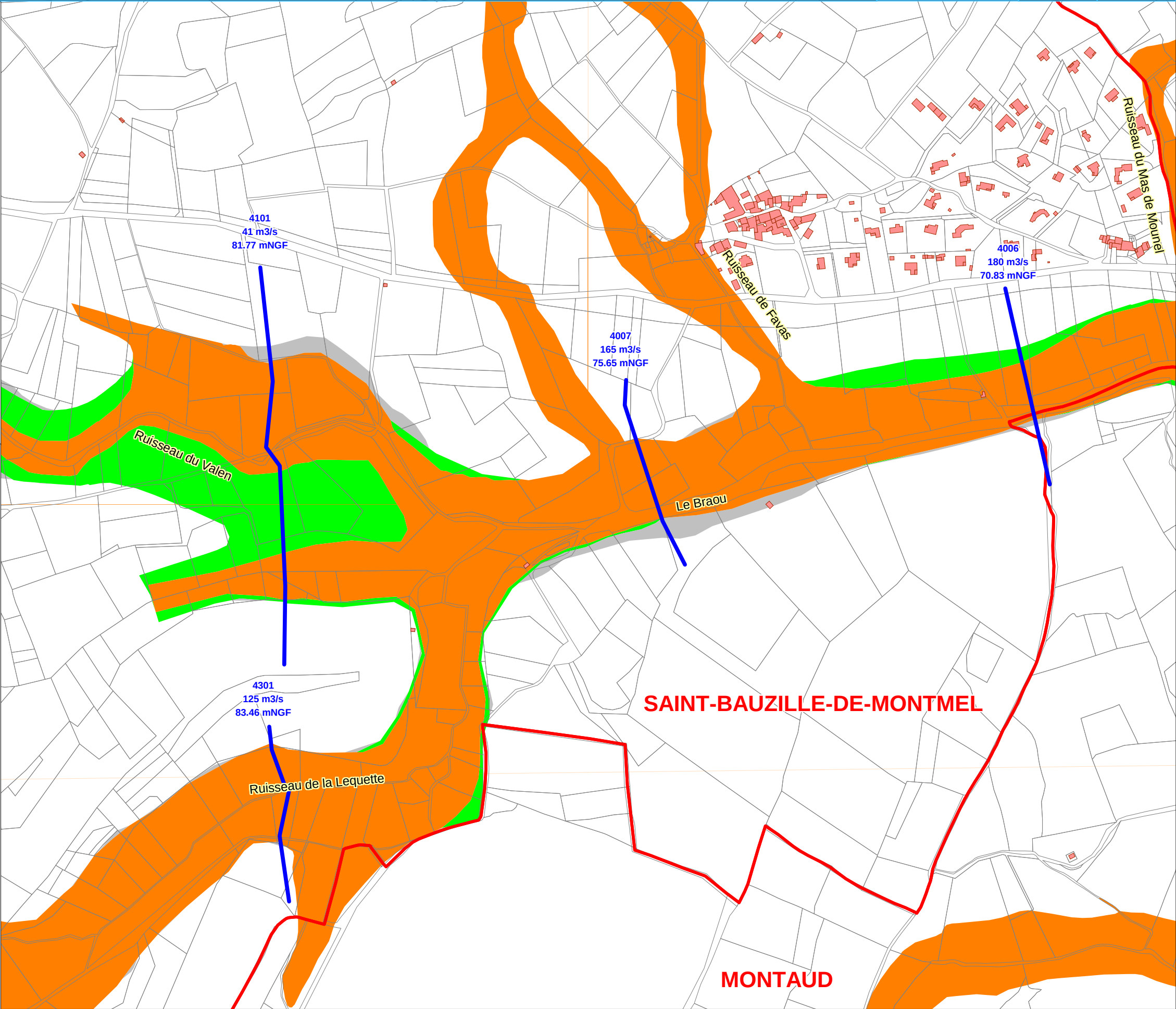
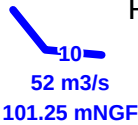
Général

-  Bassin versant de la Bénovie
-  Limites communales

Aléa inondation

-  Aléa fort
-  Aléa modéré
-  Aléa résiduel

Profil en travers (numéro, débit et cote)

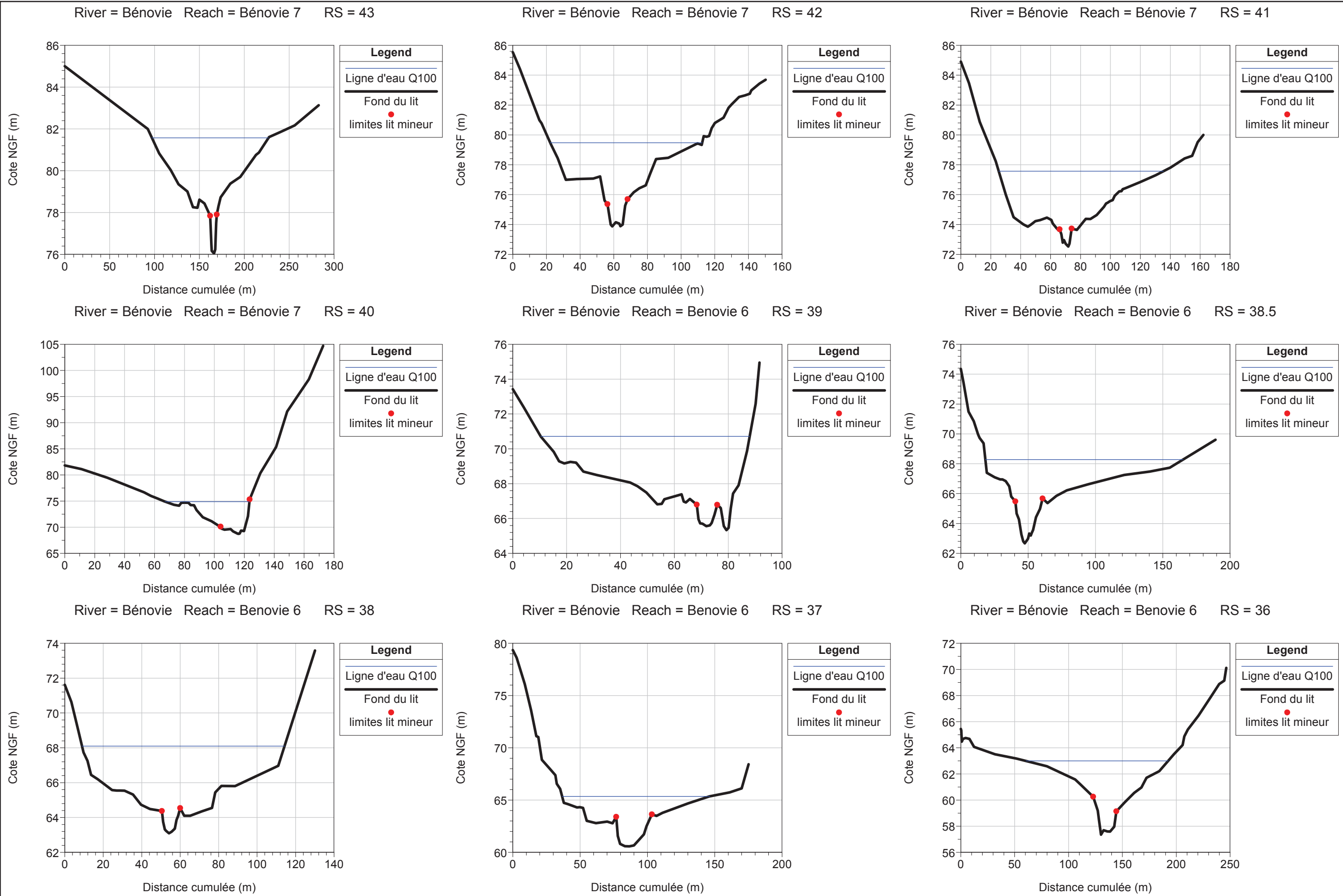


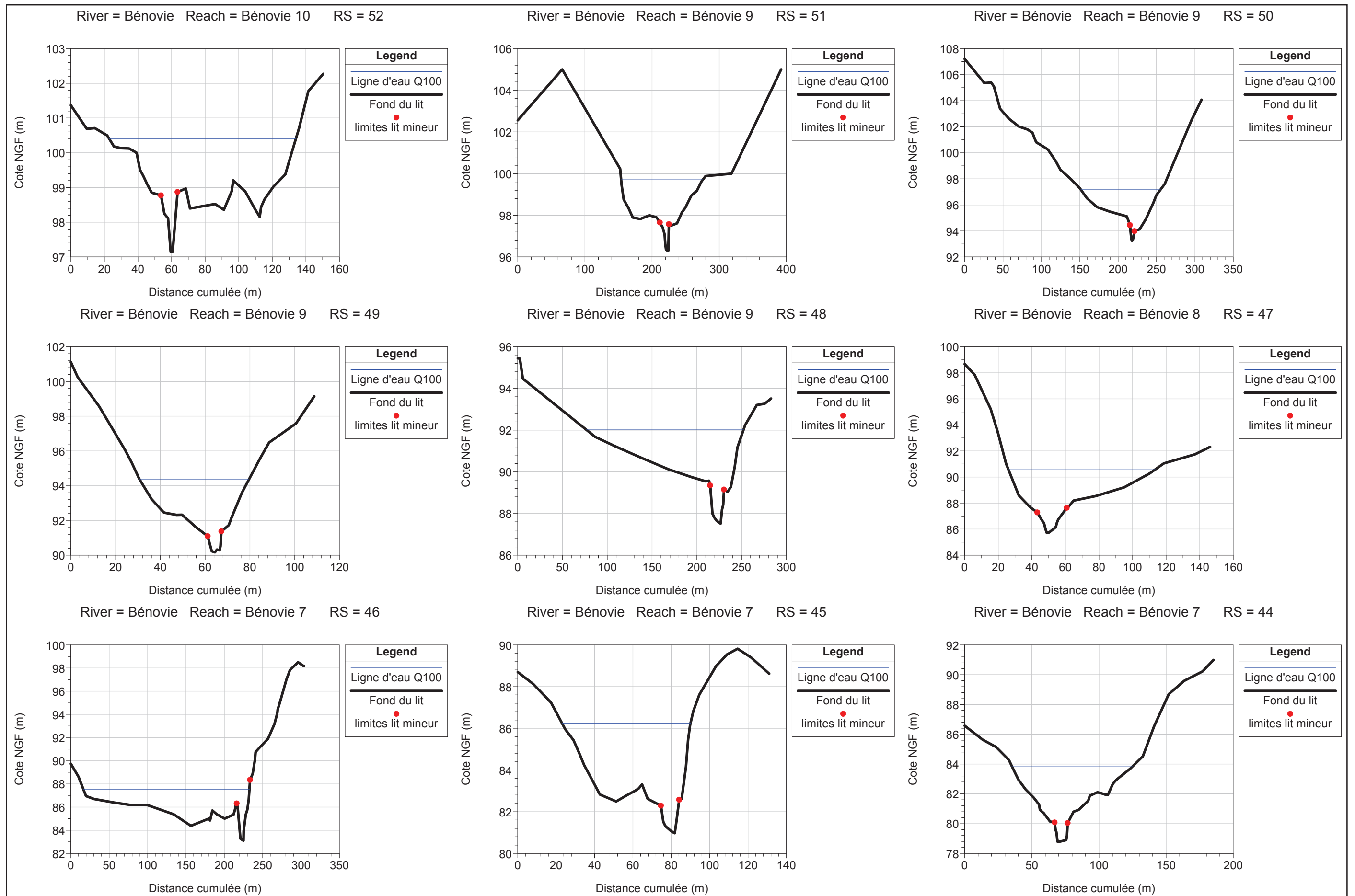
Annexe 12 : Résultats de la modélisation 1D

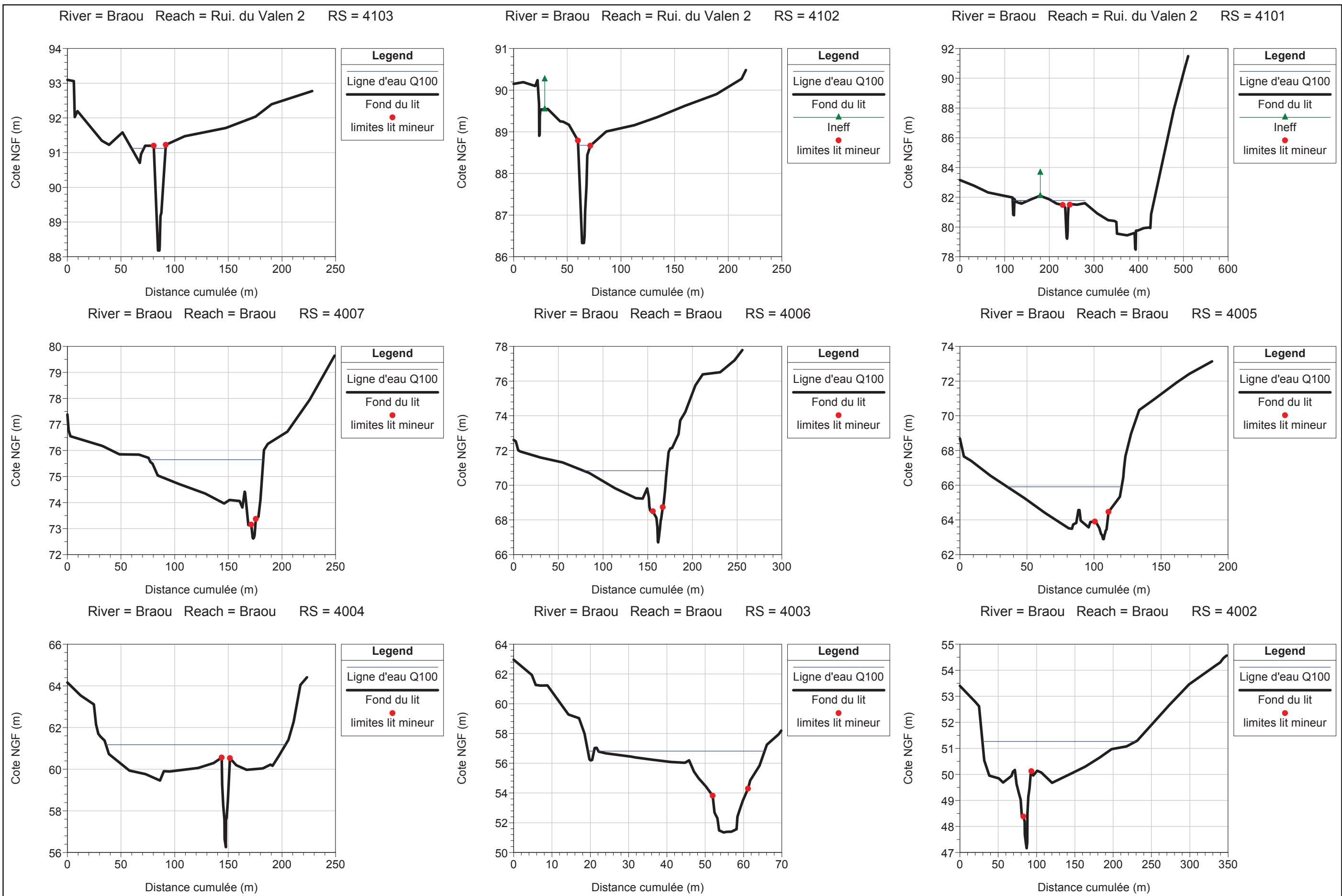
Numéro profil	Cours d'eau	Occurrence											
		Q5			Q10			Q50			Q100		
		PHEC (m NGF)	débit (m3/s)	vitesse moyenne (m/s)	PHEC (m NGF)	débit (m3/s)	vitesse moyenne (m/s)	PHEC (m NGF)	débit (m3/s)	vitesse moyenne (m/s)	PHEC (m NGF)	débit (m3/s)	vitesse moyenne (m/s)
38.5	Bénovie	66.46	100	1.47	66.92	151	1.55	67.87	309	1.52	68.28	393	1.50
39	Bénovie	68.72	99	1.22	69.23	150	1.34	70.3	307	1.63	70.71	390	1.77
40	Bénovie	72.09	83	1.41	72.82	126	1.53	74.37	257	1.86	74.89	327	1.99
41	Bénovie	75.53	81	0.88	76	122	0.97	77.1	250	1.14	77.57	317	1.18
42	Bénovie	77.43	80	1.24	77.93	121	1.33	79.05	248	1.51	79.48	315	1.58
43	Bénovie	79.73	79	1.00	80.21	120	1.02	81.18	245	1.12	81.57	311	1.16
44	Bénovie	82	78	1.17	82.49	118	1.22	83.48	241	1.42	83.86	305	1.50
45	Bénovie	84.1	75	0.96	84.62	114	1.08	85.76	233	1.35	86.24	296	1.46
46	Bénovie	86	76	0.69	86.37	115	0.71	87.18	232	0.71	87.55	294	0.72
47	Bénovie	88.88	68	1.06	89.33	103	1.12	90.26	207	1.28	90.62	262	1.36
48	Bénovie	90.23	51	0.77	90.68	77	0.71	91.64	155	0.66	92.02	196	0.65
4006	Le Braou	69.66	47	1.41	69.98	71	1.40	70.58	142	1.51	70.83	180	1.55
4007	Le Braou	74.73	44	0.91	74.98	67	0.96	75.45	132	1.14	75.65	165	1.20
4101	Rui. du Valen	80.95	12	1.86	81.22	18	2.19	81.71	34	1.47	81.77	41	1.47
4102	Rui. du Valen	87.83	12	1.92	88.12	17	2.05	88.71	34	2.51	88.68	44	3.36
4103	Rui. du Valen	89.87	11	1.74	90.21	17	1.93	90.87	34	2.25	91.12	43	2.19
4104	Rui. du Valen	92.48	11	0.92	92.65	16	0.93	93.05	33	1.02	93.19	42	1.08
4105	Rui. du Valen	95.53	8	1.44	95.76	12	1.63	96.29	24	1.97	96.5	30	2.10
4106	Rui. du Valen	99.1	8	1.42	99.3	12	1.58	99.69	23	1.89	99.85	29	1.98
4107	Rui. du Valen	100.94	8	1.32	101.11	11	1.48	101.59	22	1.88	101.78	28	2.03
4108	Rui. du Valen	101.79	7	0.94	102.03	11	0.86	102.91	22	0.53	103.48	28	0.45
4109	Rui. du Valen	102.85	7	0.73	102.99	11	0.85	103.29	22	1.08	103.63	28	0.96
4110	Rui. du Valen	103.81	7	1.20	104.06	11	1.40	104.5	21	1.77	104.7	27	1.97
4111	Rui. du Valen	105.87	7	1.51	106.07	10	1.67	106.61	21	2.04	106.79	26	2.16
4112	Rui. du Valen	106.9	6	1.32	107.15	9	1.49	107.71	18	1.84	107.94	23	2.00
4113	Rui. du Valen	108.42	6	1.59	108.67	9	1.76	109.14	17	2.08	109.37	22	2.23
4114	Rui. du Valen	110.54	5	1.51	110.69	7	1.68	111.06	13	2.02	111.26	17	2.17
4115	Rui. du Valen	112.89	4	1.48	113.06	6	1.68	113.49	13	2.12	113.64	16	2.27
4116	Rui. du Valen	114.82	4	1.27	114.93	5	1.35	115.43	11	1.71	115.63	14	1.83
4117	Rui. du Valen	116.25	3	1.18	116.46	5	1.32	116.86	10	1.35	117.04	13	1.16
4118	Rui. du Valen	117.95	3	0.83	118.07	4	0.80	118.3	8	0.98	118.37	10	1.08
4201	Affluent	119.91	1	1.06	119.98	2	1.29	120.08	4	1.56	120.13	5	1.55
4202	Affluent	121.75	1	0.62	121.85	2	0.81	121.98	4	1.09	122.03	5	1.20
4301	Rui. de la Lequette	82.9	33	0.66	83.03	49	0.75	83.33	98	0.96	83.46	125	1.05
4302	Rui. de la Lequette	86.24	26	0.49	86.4	38	0.56	86.79	77	0.72	86.97	98	0.78
4402	Rui. du Pontil	90.13	9	0.43	90.21	14	0.43	90.37	27	0.45	90.45	35	0.47
4403	Rui. du Pontil	94.64	8	0.56	94.74	12	0.58	94.95	24	0.67	95.02	30	0.71
6001	Vallat Conques	71.6	41	0.48	72.31	61	0.45	73.72	123	0.49	74.26	156	0.52
6002	Vallat Conques	74.39	40	1.16	74.64	60	1.24	75.19	121	1.40	75.44	153	1.42
6003	Vallat Conques	78.35	20	1.24	78.62	30	1.42	79.21	60	1.75	79.45	76	1.84
6004	Vallat Conques	87.15	19	1.56	87.36	29	1.63	87.77	58	1.89	87.94	73	2.00
6005	Vallat Conques	98.01	17	1.53	98.28	26	1.69	98.8	52	2.05	99.02	66	2.19
6006	Vallat Conques	106.21	16	1.33	106.45	24	1.46	106.96	47	1.73	107.19	60	1.83
6103	Mas Martin	77.24	6	0.63	77.74	9	0.66	79.45	19	0.58	79.81	24	0.46
6203	Montée des Bans	81.03	21	1.61	81.32	31	1.45	81.76	62	1.62	81.93	79	1.72
7001	Crouzet	88.73	13	1.44	88.85	19	1.50	89.08	38	1.75	89.22	48	1.62
7002	Crouzet	97.01	12	1.28	97.16	18	1.43	97.5	35	1.58	97.61	45	1.51
7003	Crouzet	111.11	9	1.70	111.35	14	1.92	111.77	27	2.36	111.95	35	2.52
7004	Crouzet	120.59	8	1.41	120.8	12	1.56	121.24	24	1.89	121.44	31	2.04

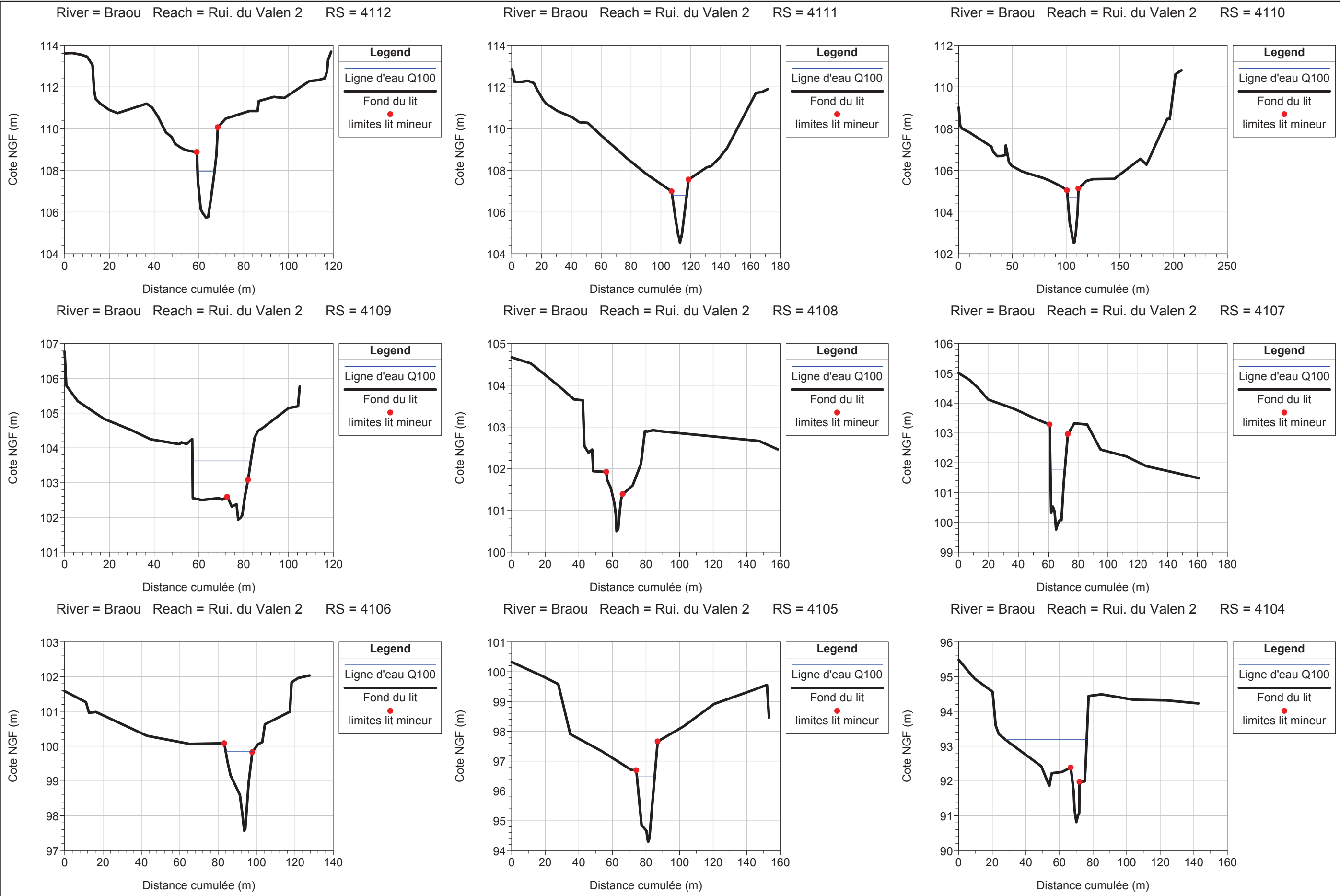
Annexe 13 :

Levés topographiques – Profils en travers

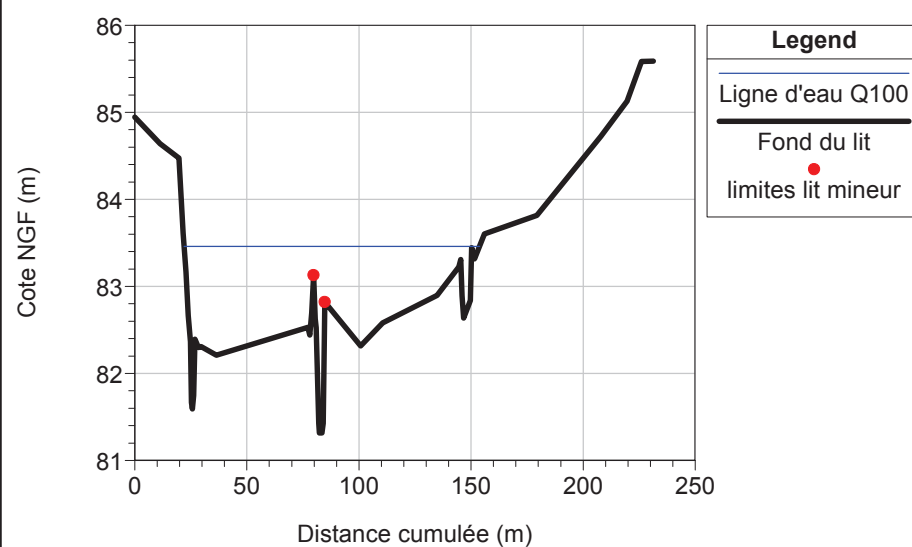




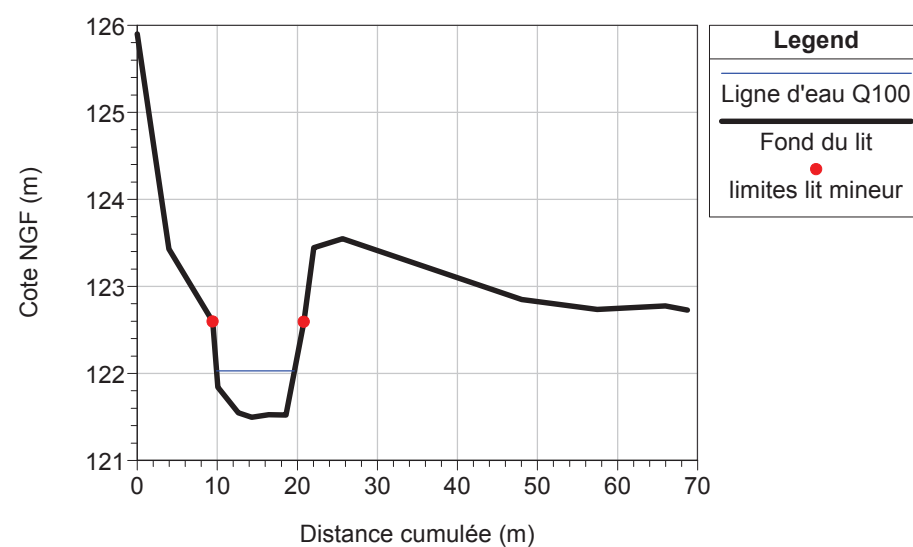




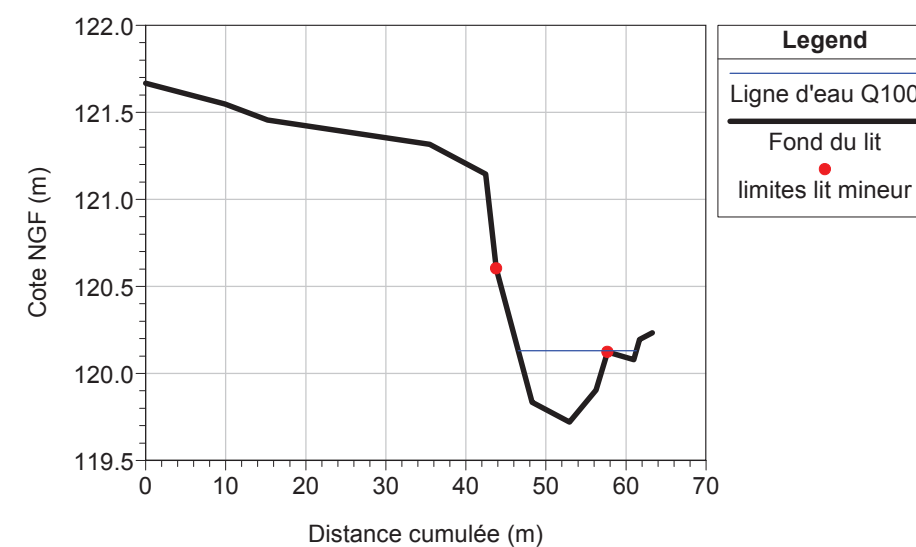
River = Braou Reach = Rui. Lequette 3 RS = 4301



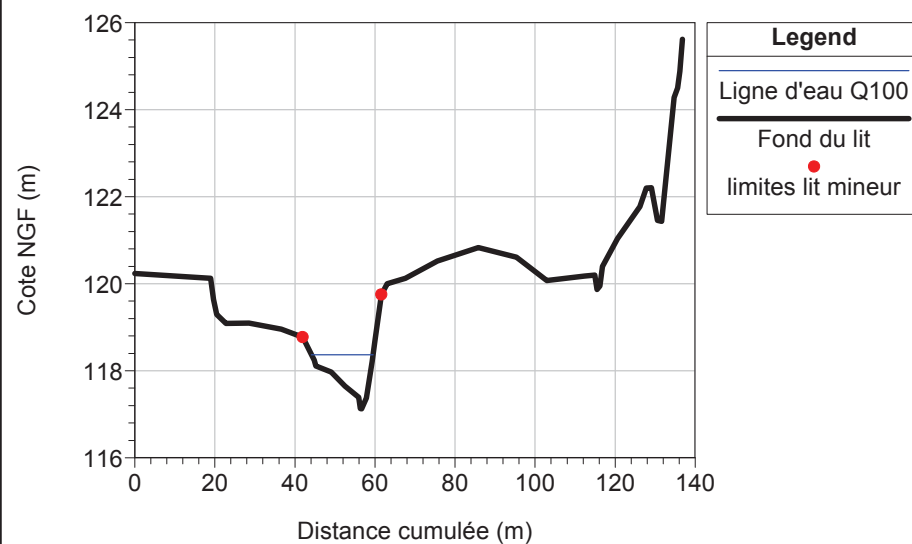
River = Braou Reach = Affluent RS = 4202



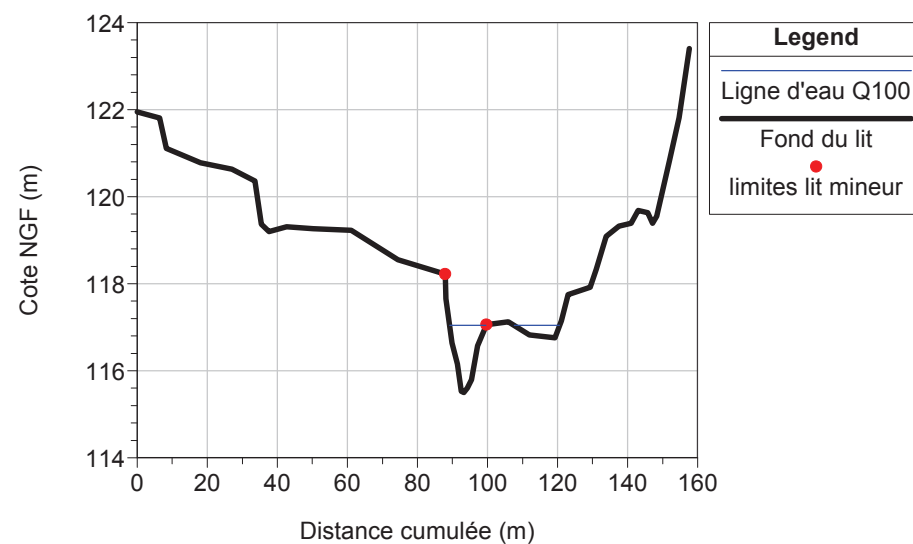
River = Braou Reach = Affluent RS = 4201



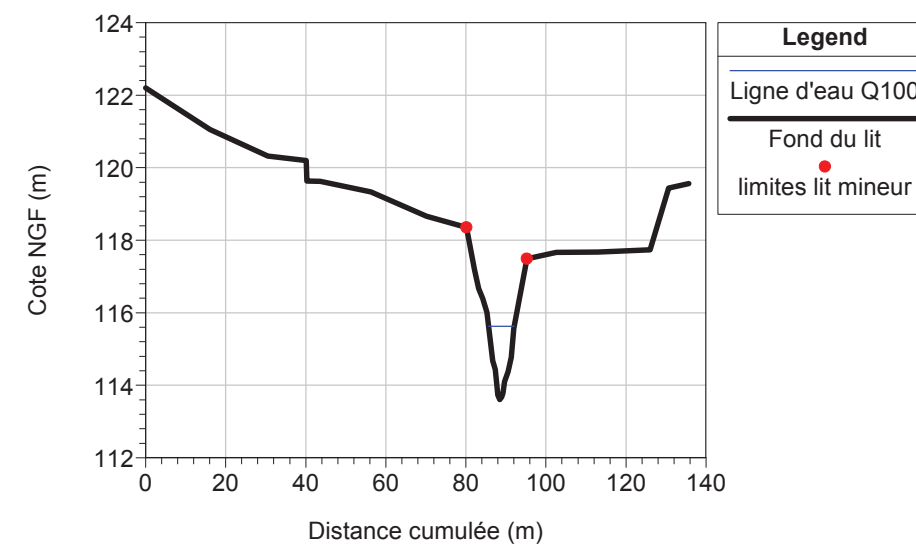
River = Braou Reach = Rui. du Valen RS = 4118



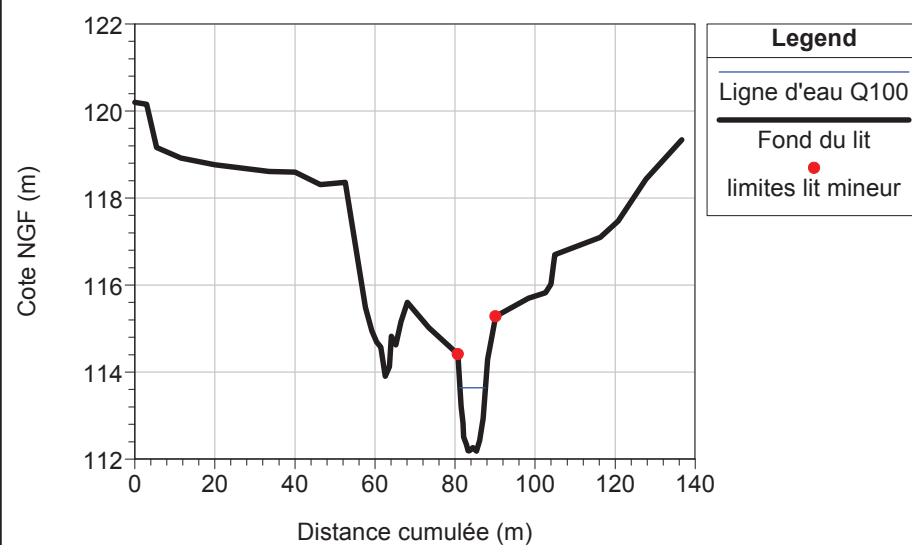
River = Braou Reach = Rui. du Valen 2 RS = 4117



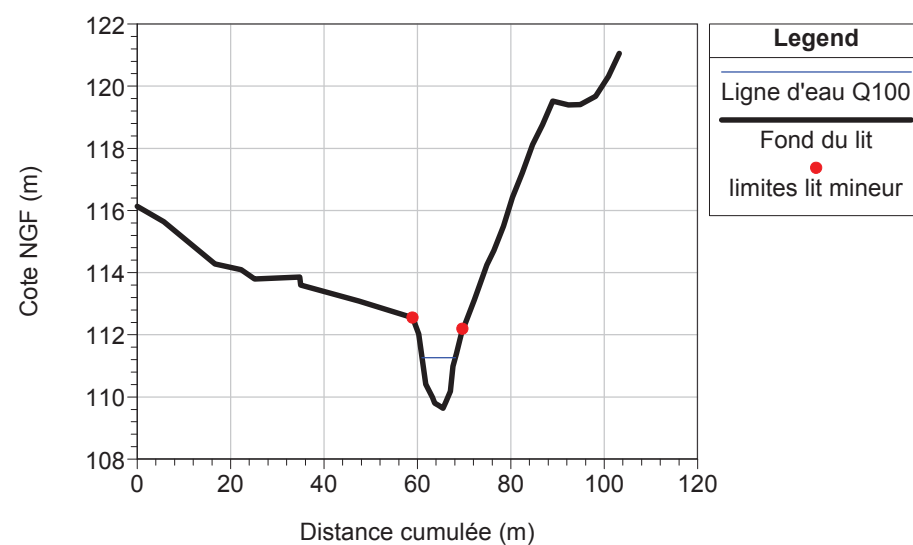
River = Braou Reach = Rui. du Valen 2 RS = 4116



River = Braou Reach = Rui. du Valen 2 RS = 4115



River = Braou Reach = Rui. du Valen 2 RS = 4114



River = Braou Reach = Rui. du Valen 2 RS = 4113

