



## Direction Départementale des Territoires de l'Ardèche

---

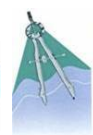
Etude hydrologique et hydraulique sur les  
bassins versants de : Cance -  
Déôme/Deûme et affluents du Rhône

### **Volet 3 : Modélisation et qualification de l'aléa** **Rapport commun à l'ensemble des secteurs**

01639176 | Janvier 2021



SOCIÉTÉ DU CANAL DE PROVENCE  
ET D'AMÉNAGEMENT DE LA RÉGION PROVENÇALE



**HYDROTOPO**

Philippe LAGNEAU

3549, route de Paris  
01440 VILLIAT  
Tél. / Fax : 04 74 14 81 59  
Port. : 06 81 85 82 29  
E-mail : lagneau.topo@free.fr



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

Directeur d'affaire : OVE  
Responsable d'affaire : DUC  
N°affaire : 01639176  
Fichier : 39176\_Rapport\_Ph3\_commun\_v3.odt

Version	Date	Etabli par	Vérifié par	Nb pages	Observations / Visa
1	01/20218	LSD	DUC		

## TABLE DES MATIÈRES

1	PREAMBULE .....	7
1.1	Objet du rapport.....	7
1.2	Rappel du périmètre de l'étude et de la sectorisation retenue .....	8
2	PRESENTATION DU LOGICIEL DE MODELISATION.....	12
2.1	Présentation générale .....	12
2.1.1	L'interface .....	13
2.1.2	Le moteur de calcul.....	14
2.2	Des schémas de modélisation adaptés aux systèmes étudiés et aux échelles de travail 14	
2.3	Mise en œuvre et exploitation .....	16
2.3.1	Flexibilité d'utilisation.....	16
2.3.2	Traçabilité .....	17
2.4	Le module hydrologique .....	17
2.5	Le module hydraulique .....	18
2.5.1	Le domaine filaire (ou multifilaire selon les cas).....	18
2.5.2	Le domaine casier .....	20
2.5.3	Le domaine bi-dimensionnel (2D).....	21
2.5.4	Prise en compte des singularités .....	24
2.5.5	Couplages .....	28
3	DONNEES TOPOGRAPHIQUES .....	32
4	ARCHITECTURE DES MODELES MIS EN ŒUVRE.....	34
4.1	Description générale, découpage en sous modèles .....	34
4.2	Choix des modes de représentation.....	35
4.2.1	Lit mineur.....	35
4.2.2	Lit majeur.....	36
5	CALAGE .....	37
5.1	Paramètres de calage .....	37
5.2	Résultats de calage .....	38
6	EXPLOITATION DES MODELES .....	39
6.1	Hypothèses hydrologiques et conditions limites aval.....	39
6.1.1	Scénarios hydrologiques.....	39
6.1.2	Conditions limites aval .....	40
6.2	Cartographie des zones inondables et des vitesses d'écoulement.....	40
6.3	Simulations de la crue de référence pour l'élaboration des cartes d'aléas .....	41

6.3.1	Scénario hydrologique de référence .....	41
6.3.2	Prise en compte des ouvrages longitudinaux .....	41
6.4	Approfondissement de la connaissance de l'alea .....	45
6.4.1	Simulation des scénarios de crues complémentaires .....	45
6.4.2	Analyse du fonctionnement des ouvrages hydrauliques .....	45
6.4.3	Prise en compte des embâcles .....	45
7	CARTOGRAPHIE DE L'ALEA DE REFERENCE PPRI .....	47
7.1	Méthodologie générale .....	47
7.2	Caractérisation de l'aléa par méthode hydrogéomorphologique .....	48
7.3	Caractérisation de l'aléa sur les secteurs modélisés .....	48
7.3.1	Principes généraux.....	48
7.3.2	Définition de la dynamique.....	49
7.3.3	Grille d'aléa sur le département de l'Ardèche .....	50
7.3.4	Grille d'aléa sur le département de la Loire .....	51
7.3.5	Iso-cotes de crue .....	52

## GLOSSAIRE

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

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

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

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

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

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

**Modèle mathématique** : outil de simulation informatique permettant de calculer avec les formules de l'hydraulique les conditions de débit et de hauteur en fonction du temps en tout point d'un cours d'eau, et de représenter ainsi les écoulements dans les conditions

d'aménagement actuelles ou futures. La représentation des modèles peut être filaire ou bidimensionnelle.

**Modèle 1D (ou filaire) :** l'écoulement est modélisé le long d'un bief de rivière ou de vallée inondable, caractérisé par une direction privilégiée d'écoulement le long de son axe longitudinal. La géométrie de la vallée est représentée par une succession de profils en travers positionnés le long de cet axe longitudinal, sur lesquels sont résolues les équations de Barré de Saint Venant à une dimension.

**Modèle 2D (ou bidimensionnel) :** la modélisation bidimensionnelle repose sur la résolution des équations de Barré de Saint Venant à deux dimensions basée sur un maillage schématisant le terrain naturel : les inconnues sont la cote d'eau et la composante de la vitesse dans chaque direction (x et y), calculées au centroïde de la maille.

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

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



# 1 PREAMBULE

## 1.1 OBJET DU RAPPORT

Ce rapport correspond au rapport principal du volet modélisation et qualification de l'aléa de l'étude hydrologique et hydraulique sur les bassins versants de : Cance -Déôme/Deûme et affluents du Rhône ; il est complété par un **rapport spécifique à chacun des secteurs d'étude** (cf. §Rappel du périmètre de l'étude et de la sectorisation retenue). Les objectifs de ce volet sont :

- la reconstitution des crues historiques,
- la définition des limites de la zone inondable pour différents scénarios de crues par débordement des cours d'eau du périmètre d'étude :
- sur la Cance et Déôme/Deûme : Q2, Q5, Q10, Q20, Q30, Q50, Q100, Qexceptionnelle
- sur les autres cours d'eau : Q10, Q30, Q50 et Q100, Q exceptionnelle
- la définition des cotes d'eau, des vitesses d'écoulement et des temps de submersion en tout point du périmètre d'étude pour les différents scénarios de crues,
- la cartographie de l'aléa de référence pour l'élaboration des futurs PPRI ou les futurs porter à connaissance

L'étude hydraulique s'appuie sur la construction, le calage et l'exploitation de modèles numériques d'écoulements.

Les modèles permettent de représenter précisément les conditions d'écoulements pour différentes situations hydrologiques ; ils s'appuient sur une connaissance fine du territoire :

- un Modèle Numérique de Terrain (MNT) obtenu par méthode LIDAR, qui permet de définir de manière performante (précision altimétrique de 10 cm, précision planimétrique de 20 cm) les côtes du terrain naturel,
- des levés topographiques complémentaires au sol (profils en travers des cours d'eau, ouvrages hydrauliques, ...),
- des enquêtes de terrain, permettant d'apprécier les conditions réelles d'écoulement.

Ce volet hydraulique fait suite :

- au volet hydrologique, qui a permis de définir des données hydrologiques fiables et cohérentes à l'échelle des bassins versants étudiés, constituant les débits d'entrée des modèles hydrauliques pour les différentes périodes de retour étudiées,
- au volet hydrogéomorphologique, qui a permis de définir l'emprise des zones inondables sur les secteurs qui ne feront pas l'objet de modélisations hydrauliques (secteurs sans enjeux), et de certains secteurs couverts par la modélisation sur lesquelles cette analyse permet de préparer la mise en œuvre des modèles.

La modélisation hydraulique permet ainsi de définir l'emprise des zones inondables pour les différents scénarios de crues étudiés et la cartographie des aléas en s'appuyant sur des données topographiques précises, après calage sur 6 crues historiques.

L'analyse hydrologique a cependant mis en évidence les incertitudes associées à l'estimation des débits des crues historiques, et aucune crue largement débordante n'est documentée sur le territoire, à l'exception de quelques informations ponctuelles sur des crues anciennes pour lesquelles aucune donnée hydrologique n'est disponible. Le calage des modèles est ainsi effectué sur des crues peu ou pas débordantes, garantissant une bonne représentation des seuils de premiers débordements. Le paramétrage du modèle sur le lit majeur s'appuie sur des valeurs issues de la bibliographie (frottement associé à l'occupation du sol notamment), et un contrôle de cohérence entre les zones inondables calculées pour les crues fortes avec les repères de crues fortes anciennes.

## 1.2 RAPPEL DU PERIMETRE DE L'ETUDE ET DE LA SECTORISATION RETENUE

L'étude porte sur le bassin versant de la Cance et de ses affluents et notamment la Déôme / Deûme ainsi que les bassins versants de plusieurs affluents directs du Rhône (l'amont du Torrenson (Ardèche, 07), l'amont du Crémieux (Loire, 42), le Faven (Loire, 42), le Batalon (Loire, 42), la Valencize (Loire, 42), le Vérin (Loire, 42)).

Le bassin versant de la Cance s'étend sur environ 410 km<sup>2</sup>, des sommets du massif du Pilat et du Vivarais septentrional jusqu'à la vallée du Rhône. Il se situe pour partie dans le département de la Loire au nord, et dans celui de l'Ardèche au sud.

Le réseau hydrographique repose essentiellement sur la Cance et son principal affluent de rive gauche, la Deûme (ou appelée Déôme dans le département de la Loire).



Département	Liste communes
Ardèche (07)	Annonay Boulieu-Les-Annonay Davézieux Monestier Peaugres Roiffieux Saint-Clair Saint-Cyr Saint-Etienne-De-Valoux Saint-Julien-Vocance Saint-Marcel-Les-Annonay Savas Thorrenc Vanosc Villevocance Vocance
Loire (42)	Bourg-Argental Burdignes Chavanay Colombier La Versanne Lupé Maclas Malleval Pélussin Saint-Julien-Molin-Molette Saint-Michel-Sur-Rhône Saint-Pierre-De-Boeuf Saint-Sauveur-En-Rue Thélis-La-Combe Véranne Vérin
Rhône (69)	Condrieu

Tableau 1 : liste des communes concernées par l'étude

Une partie des cours d'eau du territoire est étudiée soit uniquement par approche hydrogéomorphologique, soit uniquement par approche hydraulique soit par les deux approches.

Compte tenu de la complexité du territoire, la zone d'étude a été découpée en sous-secteurs cohérents d'un point de vue géographique, hydrologique et vulnérabilité (cf. carte Erreur ! Source du renvoi introuvable.) :

- Secteur 1 : Affluents rive droite du Rhône –Loire (42),
- Secteur 2 : Torrenson, Affluents de Crémieux – Ardèche (07),
- Secteur 3 : Cance amont – Ardèche (07),
- Secteur 4 : Deûme amont – Loire (42),

- Secteur 5 : Confluence Cance-Deûme – Ardèche (07),
- Secteur 6 : Deûme intermédiaire – Ardèche (07)

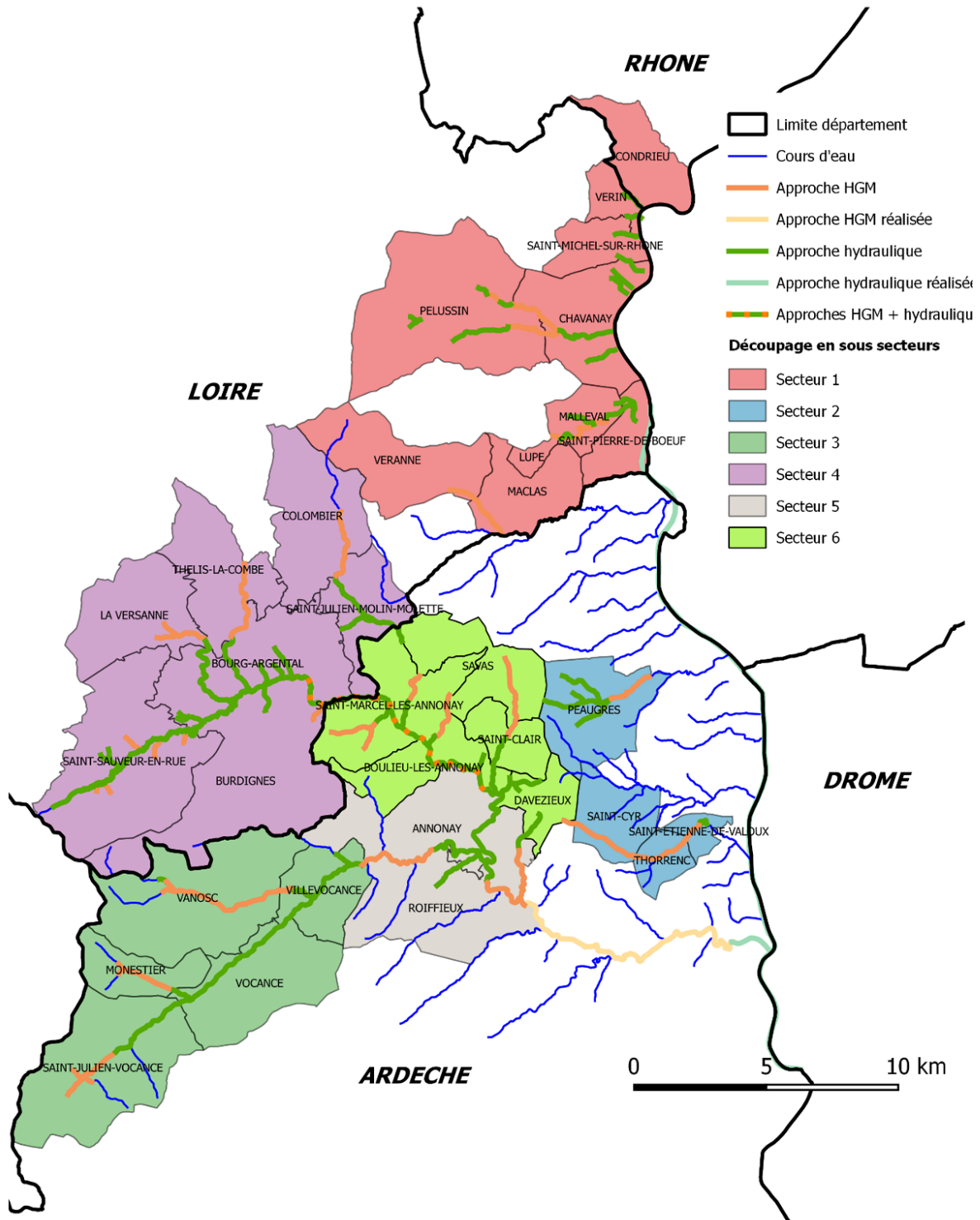


Figure 1: découpage du territoire en sous-secteurs cohérents

Secteur	Liste communes
Secteur 1	Chavanay Lupé Maclas Malleval Pélussin Saint-Michel-Sur-Rhône Saint-Pierre-De-Boeuf Véranne Vérin Condrieu
Secteur 2	Peaugres Saint-Cyr Saint-Etienne-De-Valoux Thorrenc
Secteur 3	Monestier Saint-Julien-Vocance Vanosc Villevocance Vocance
Secteur 4	Bourg-Argental Burdignes Colombier La Versanne Saint-Julien-Molin-Molette Saint-Sauveur-En-Rue Thélis-La-Combe
Secteur 5	Annonay Roiffieux
Secteur 6	Boulieu-Les-Annonay Davézieux Saint-Clair Saint-Marcel-Les-Annonay Savas

Tableau 2 : répartition des communes en sous-secteurs homogènes

## 2 PRESENTATION DU LOGICIEL DE MODELISATION

Le modèle numérique des écoulements a été élaboré à partir des levés topographiques mis à disposition et les compléments réalisés dans le cadre de l'étude, avec le logiciel dédié à l'hydraulique fluviale et urbaine HYDRA.



### 2.1 PRESENTATION GENERALE

**Hydra** est une plateforme de modélisation hydrologique et hydraulique permettant de faire appel dans un même modèle aux fonctionnalités propres aux réseaux d'assainissement, aux systèmes fluviaux et maritimes afin de répondre aux problématiques complexes d'interconnexion des réseaux de collecte des eaux pluviales et des débordements de surface dans la gestion des inondations des grandes métropoles,

Cette plateforme permet de piloter un moteur de calcul robuste et performant, fruit de 30 ans de développements et d'exploitation, capable de traiter l'ensemble des domaines suivants ainsi que leurs interactions :

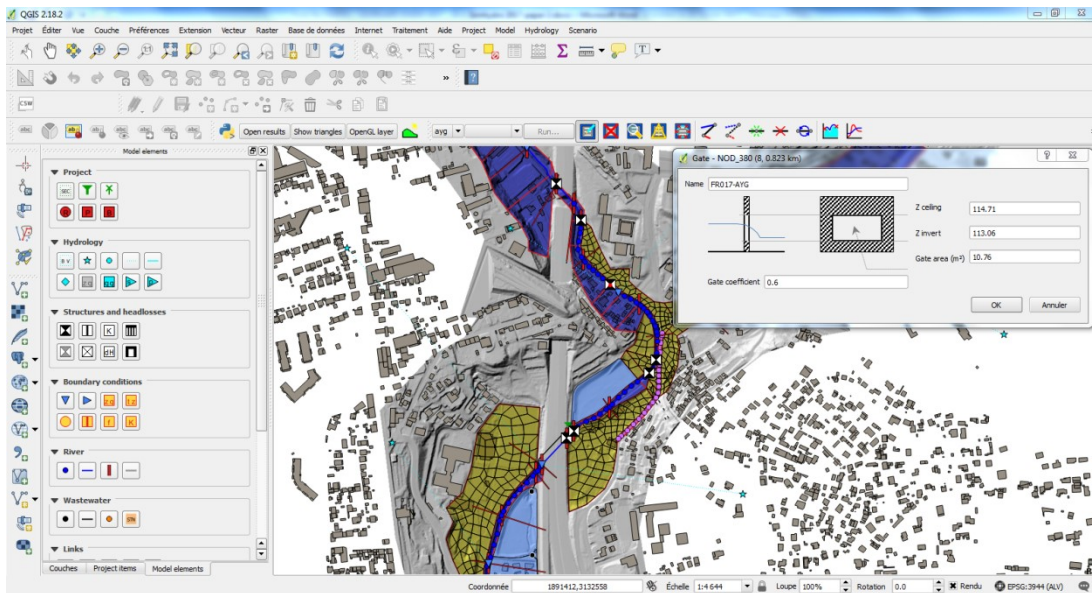
- hydrologie : calculs des lames d'eau précipitées en temps réel et prévisions pluviométriques par exploitation d'images radars, modélisation des ruissellements de surface et dans les branches amont de réseaux de collecte,
- modélisation des écoulements et des propagations de crue dans les réseaux d'assainissement, les cours d'eau et les plaines inondables,
- modélisation des interactions entre les débordements de cours d'eau, les débordements de réseaux d'assainissement et les écoulements de surface dans les zones urbaines,
- modélisation des submersions marines, intégrant les effets de marées, de surcotes, de vents et les franchissements d'ouvrages par la houle,
- modélisation des phénomènes transitoires rapides et leurs conséquences : rupture de barrage, fermeture rapide de vannes dans les canaux et formation d'intumescences, formation de mascarets dans les régions estuariennes ...
- modélisation courantologique dans les cours d'eau, les estuaires et régions côtières, simulation des impacts de rejets polluants sur la qualité du milieu récepteur : cours d'eau, estuaires, régions côtières,
- modélisation du transport solide et analyse d'impact des aménagements sur le transport hydro sédimentaire et ses conséquences sur les phénomènes d'incision et d'ensablement dans les cours d'eau.
- analyse locale fine d'ouvrages hydrauliques tels que : seuils déversant, chenaux de décharge, vannages ...
- optimisation de gestion des ouvrages et des grands systèmes hydrologiques et hydrauliques.

## 2.1.1 L'interface

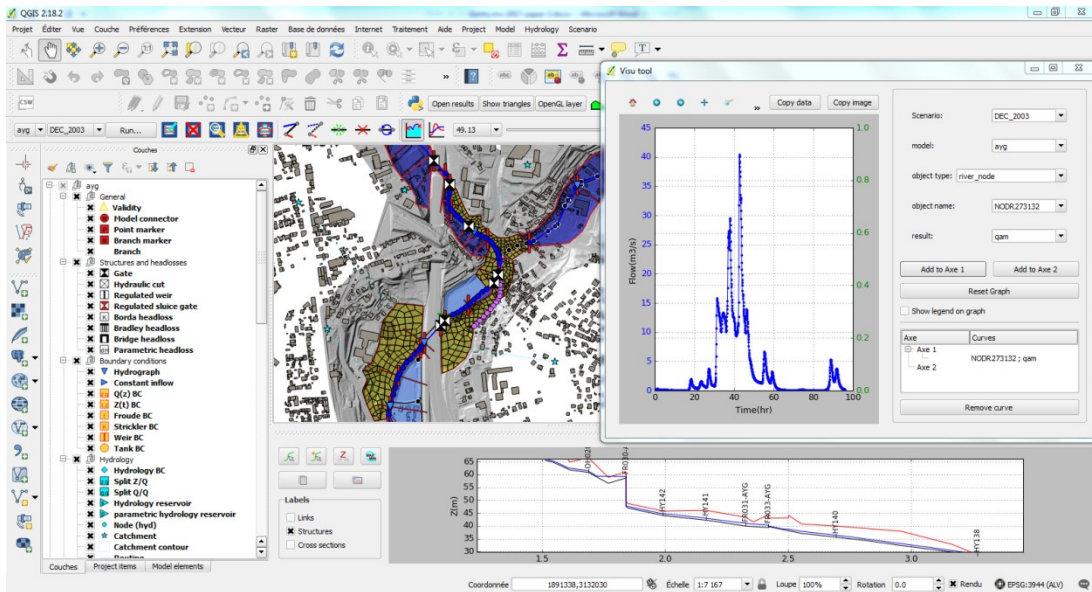
L'interface se présente sous forme d'un Plugin de `QGIS`, SIG (système d'information géographique) libre, multi plateforme, publié sous licence GPL, dialoguant avec une base de données. Les objets de modélisation sont décrits et stockés dans cette base de données, et affichés dans QGIS sous forme de couches.

QGIS dans ce contexte est utilisé comme pré et post-processeur graphique, l'ensemble de ses fonctions restant accessibles à l'utilisateur.

Des outils spécifiques permettent de créer ces objets et d'éditer leurs caractéristiques.



L'interface permet de paramétrer les scénarios de calcul, de lancer les calculs et d'effectuer les traitements des résultats : profils en long de lignes d'eau et de débits, hydrogrammes / limnigrammes sur les nœuds de calcul, cartographie des hauteurs d'eau et des vitesses d'écoulement, points de débordement des réseaux, ...



### 2.1.2 Le moteur de calcul

Le moteur de calcul est totalement indépendant de l'interface et de l'application Qgis. Il est développé en langages compilés C et Fortran et se compose de fichiers exécutables au format binaire .exe.

Une simulation est lancée via le plug-in de l'interface, qui génère des fichiers d'exports des données tabulaires de la base de données sous-jacente et lance les exécutables en séquence.

Après calcul, les exécutables produisent des fichiers résultats au format binaire et CSV qui sont exploités par les différents outils d'exploitation du plug-in ou des programmes externes spécifiques.

La formulation sous-jacente du moteur de calcul Hydra est fondée sur le concept de discrétisation des équations en volumes finis avec fondamentalement deux familles de termes :

- les termes de volumes et d'inertie attachés aux nœuds de calcul élargis aux objets de stockage.
- les termes d'échanges de flux (débits, quantités de mouvements) entre les nœuds.

A chaque pas de temps les équations discrétisées expriment l'égalité entre les variations des termes de volumes et d'inertie et les flux rentrant et sortant dans chaque nœud.

## 2.2 DES SCHEMAS DE MODELISATION ADAPTES AUX SYSTEMES ETUDIES ET AUX ECHELLES DE TRAVAIL

Le développement urbain rend de plus en plus complexe la gestion de l'eau et des risques associés. Les métropoles littorales peuvent ainsi être soumises à l'interaction de différents aléas : submersion marine, débordement de cours d'eau, saturation des réseaux

d'assainissement pluvial en cas d'événement pluvieux intense entraînant des débordements de surface.

Hydra permet de représenter ces différents phénomènes en un même modèle afin de mettre à disposition de l'ingénieur des outils de compréhension du fonctionnement du système et de lui permettre de proposer et dimensionner des solutions techniques adaptées.

La modélisation numérique est la représentation d'un système physique par une schématisation permettant sa description, sur laquelle sont résolues les équations propres aux phénomènes étudiés. La modélisation revêt ainsi nécessairement un caractère simplificateur de la complexité du système : simplification des caractéristiques géométriques, et simplification des lois physiques associées.

Se pose alors la question des méthodes de schématisation de ces différents systèmes hydrauliques. Alors que les systèmes maritimes peuvent être modélisés par un maillage représentant la bathymétrie (dont la résolution est dépendante de l'échelle de travail), la modélisation des systèmes fluviaux et d'assainissement nécessite de prendre en compte le fonctionnement des singularités que constituent les ouvrages hydrauliques ; l'échelle de travail et les enjeux associés à la modélisation mise en œuvre peuvent par ailleurs amener le modélisateur à simplifier ou affiner la schématisation du système.

Hydra propose ainsi différents schémas de modélisation, adaptés à l'échelle de travail et aux systèmes étudiés, tout en permettant leur couplage :

- filaire, ou unidimensionnel (1D) : les réseaux et cours d'eau (lits mineur et / ou majeur) sont représentés par des sections géométriques agencées le long d'un axe préférentiel d'écoulement ; les vitesses d'écoulement sont imposées le long de cet axe,
- bidimensionnel (2D) : le terrain naturel et / ou la bathymétrie sont schématisés par un maillage triangulaire ou quadrangulaire, chaque maille étant caractérisée par sa surface et la cote moyenne du terrain naturel,
- casiers, délimitant des zones de stockage présentant de faibles vitesses d'écoulement et de faibles variations de hauteurs d'eau, caractérisés par une loi de remplissage cote / volume,
- rues, axes potentiels privilégiés des écoulements dans un environnement urbain dense et/ou régulier, assimilées à un schéma filaire,
- stations de gestion, permettant une description fine des ouvrages hydrauliques complexes,
- bassins versants.

La connexion de ces différents domaines de modélisation (et plus généralement des différents objets de modélisation) est assurée par des liaisons, de natures différentes selon la topographie ou le type d'ouvrage le cas échéant.

Le schéma ci-dessous présente l'ensemble des domaines de schématisation disponibles ainsi que les liaisons hydrauliques permettant leur connexion.



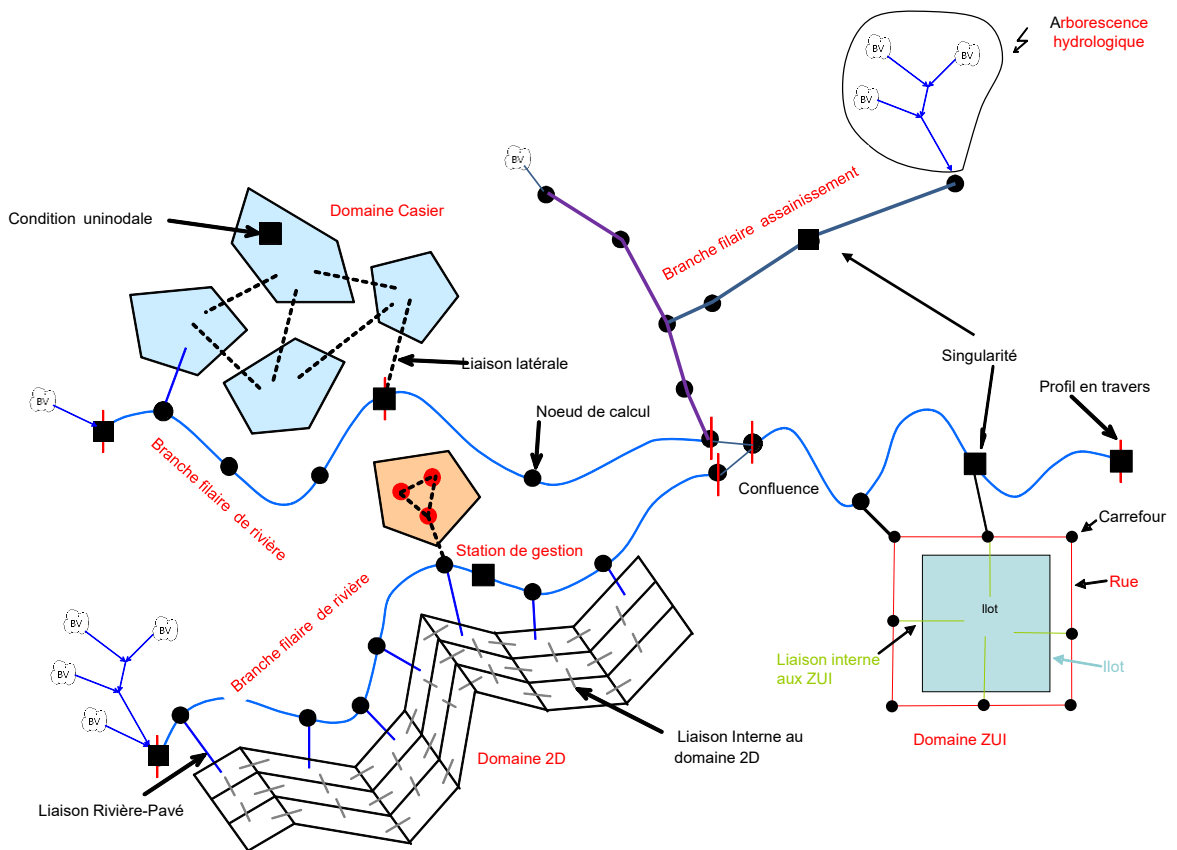


Figure 2 : Schéma de synthèse des domaines de schématisation disponibles et des liaisons hydrauliques permettant leur connexion

Dans le cas de schématisations 2D, la représentation des ouvrages et discontinuités par des lois d'écoulement précises permettent de conserver un maillage relativement lâche et d'optimiser les temps de calcul.

## 2.3 MISE EN ŒUVRE ET EXPLOITATION

### 2.3.1 Flexibilité d'utilisation

Hydra offre la possibilité de connecter différents domaines de modélisation (hydrologie, filaire, casier, bi dimensionnel et station de gestion) par le biais de liaisons hydrauliques latérales, de natures différentes selon la topographie ou le type d'ouvrage. Cette conception offre la **possibilité d'étendre ou d'affiner localement le schéma de modélisation d'un modèle existant.**

Hydra dispose d'une fonctionnalité dite de « **Configurations** » qui permet de générer et de tracer des scénarios impliquant des modifications de paramètres géométriques, topographiques et hydrauliques attachées aux objets de modélisation d'un modèle hydraulique donné : coefficients de frottements, cotes de digues, sections de lit mineur, ouverture d'ouvrages hydrauliques, ...



Hydra dispose également d'un module de **gestion de contrôle et de régulation des ouvrages** hydrauliques. Les ouvrages hydrauliques ponctuels modélisés dans Hydra sont paramétrés par défaut dans l'interface de façon à fonctionner en mode local : la plupart des actionneurs sont fixes, d'autres sont mobiles et régulés par rapport à une consigne de déplacement, de niveau ou de débit. L'état des variables géométriques et les consignes de gestion de l'ensemble de ces ouvrages peuvent également être pilotées par un fichier externe contenant un script de programmation plus ou moins complexe totalement interactif avec les algorithmes de calcul hydrauliques du noyau de calcul d'Hydra. Cette possibilité permet de prendre en compte des systèmes d'asservissement complexes, faisant intervenir tout un ensemble de paramètres d'état du système et d'actionneurs, pour lesquels la régulation locale n'est plus adaptée.

Ces caractéristiques d'Hydra offrent à l'utilisateur une très forte souplesse pour faire évoluer un modèle donné :

- Extension par ajout d'éléments complémentaires,
- Intégration d'aménagements hydrauliques tels que des protections rapprochées, le recalibrage d'un cours d'eau, l'abaissement ou la rehausse de cotes de digues, ... et quantification des incidences engendrées,
- Modification des règles de gestion d'ouvrages asservis (modification de la cote de régulation d'un barrage en fonction de la saison par exemple).

### 2.3.2 Traçabilité

Hydra dispose des fonctionnalités de gestion des scénarios de calcul **garantissant la totale traçabilité des simulations effectuées** ; la topologie du modèle et l'ensemble des paramètres de chaque scénario sont intégrés dans un fichier unique : paramètres numériques, fichiers externes de définition des hydrogrammes d'entrée, ... La gestion des répertoires de stockage des résultats de calcul pour chaque scénario est automatisée, assurant un lien direct entre le fichier « modèle » et les résultats des différents scénarios de calcul.

## 2.4 LE MODULE HYDROLOGIQUE

Le module hydrologique utilisé dans le cadre de la présente étude est intégré à Hydra. Pour plus de précisions, se reporter au chapitre 6.3 du rapport de phase 2.

Les hydrogrammes calculés par le module pluie-débit sont directement injectés dans le modèle hydraulique, qui en assure la propagation.

## 2.5 LE MODULE HYDRAULIQUE

Hydra propose différents domaines de modélisation, interconnectés entre eux par le biais de liaisons hydrauliques spécifiques.

### 2.5.1 Le domaine filaire (ou multifilaire selon les cas)

La schématisation filaire repose sur la résolution des équations de Barré de Saint Venant à lits composés, avec des lois de partage entre les différents lits qui sont conçues pour reproduire au mieux les cotes d'eau dans le lit mineur, les temps de propagation et la déformation des ondes de crues influencées par l'action de laminage joué par le lit majeur. A chaque nœud de calcul sont associées plusieurs variables : la cote d'eau dans la section composée et les débits longitudinaux dans chaque lit. Outre les équations des tronçons de vallée Hydra propose un large choix de singularités spécialement adaptés aux types d'ouvrages et d'obstacles rencontrés dans les vallées fluviales.

Le domaine filaire modélise l'écoulement le long d'un bief de rivière ou de vallée inondable, caractérisé par une direction privilégiée d'écoulement le long de son axe longitudinal. Le bief de vallée, dénommé « branche », est composé d'une succession de tronçons de rivière entrecoupés de singularités hydrauliques formant obstacle à l'écoulement.

Le domaine filaire modélisé par Hydra se présente comme une juxtaposition de sous-réseaux arborescents. Un sous-réseau consiste en un assemblage de branches de calcul connectées les unes aux autres par des confluences ou des liaisons latérales. A chaque branche est associé un système de repérage curviligne kilométrique qui lui est propre, avec des PK croissants de l'amont vers l'aval de la branche. Une branche est jalonnée d'une succession ordonnée de modules hydrauliques. Chaque module est délimité par un PK amont et un PK aval. On distingue :

i. **Les tronçons élémentaires de rivière ou de vallée** régis par les équations de Barré de St Venant ; les équations distinguent pour chaque section de vallée 7 zones d'écoulements contrastés dans la direction transversale (voir figure ci-après) :

- le lit moyen où coule l'eau en l'absence de débordement,
- le lit majeur actif, c'est-à-dire la fraction de la plaine inondable qui participe à l'écoulement longitudinal en vallée après débordement, en distinguant la rive gauche et la rive droite,
- le lit d'expansion qui simule les poches de stockage et d'accumulation dans le lit majeur.

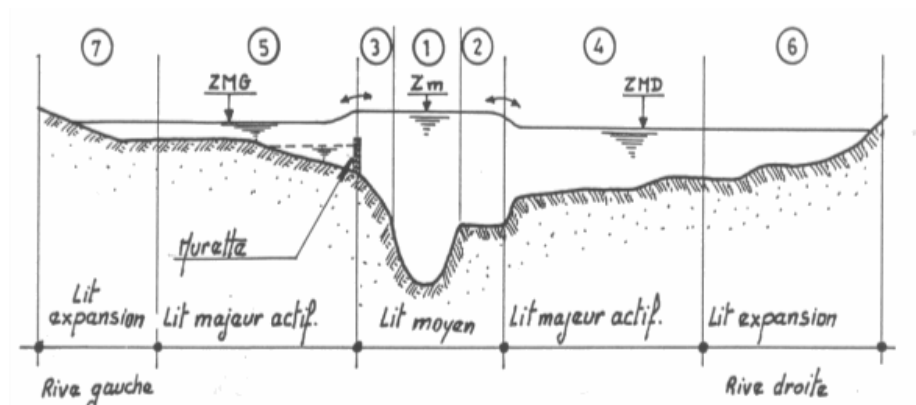


Figure 3 : Schématisation de la vallée : coupe transversale

Le modèle filaire se construit à partir de profils en travers. L'hydraulicien synthétise avec 14 points, les profils en travers levés par le géomètre. Il interpole des profils supplémentaires pour rester fidèle à la géométrie du lit du fleuve.

Les équations résolues sont données ci-après.

### Equations de Barré-de-Saint-Venant :

**Continuité :** 
$$\frac{\partial}{\partial t} \left( S_m + \frac{S_M}{s} \right) + \frac{\partial Q}{\partial x} = \frac{q_l}{s} + q_a$$

**Quantité de mouvement :** 
$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{d}{dx} \left( \beta \frac{Q^2}{S_m + S_M} \right) + g(S_m + S_M) \frac{\partial Z}{\partial x} + \frac{Q|Q|}{D^2} = 0$$

t : temps

s : coefficient de sinuosité

$S_m$  : surface de la section mouillée du lit mineur

$S_M$  : surface de la section mouillée du lit majeur actif

D : débitance =  $S_m K_m R_m^{2/3} + \sqrt{s} S_M K_M R_M^{2/3}$

avec •  $K_m$  et  $K_M$  : Stricklers des lits mineur et majeur  
 •  $R_m$  et  $R_M$  : rayons hydrauliques des lits mineur et majeur

$\beta$  : coefficient d'échange de quantité de mouvement entre lits mineur et majeur

$$\beta = \left( \frac{1}{S_M} + \frac{r^2}{S_m} \right) \left( \frac{S_m + S_M}{1 - \eta^2} \right)$$

avec 
$$\eta = \frac{Q_m}{Q_M} = \frac{S_m K_m R_m^{2/3}}{S_M K_M R_M^{2/3}}$$

$q_l$  : débit d'échange latéral

$q_l = \mu \sqrt{2g} (Z - Z_d)^{3/2}$  en régime dénoyé

$q_l = \mu \sqrt{2g} (Z - Z_d) (Z - Z_1)^{1/2}$  en régime noyé

i. **Les singularités hydrauliques** ; sont classés dans cette catégorie tous les ouvrages hydrauliques apportant une modification à l'écoulement le long d'un tronçon de rivière, dont les lois d'écoulement sont régies par des équations autres que celles du tronçon de vallée. Une singularité peut :

- être courte (localisée en un seul PK) ou longue (étendue entre un PK début et un PK fin le long d'une branche de calcul),
- se caractériser par une discontinuité de débit (hydrogramme d'apport ou dérivation), ou de cote piézométrique, ou les deux à la fois,
- être de type passif (ouvrage statique) ou actif (organe réglable).

Chaque branche est constituée en définitive d'une succession de points de calculs. À chaque point sont calculés une cote  $Z$  et un débit longitudinal  $Q$  le long de la branche. Ce débit est positif lorsque le courant s'écoule de l'amont vers l'aval de la branche, c'est-à-dire dans le sens croissant des PK. Il est négatif dans le cas contraire.

Chaque sous-réseau comprend une et une seule condition à la limite aval, définie au nœud aval par une relation de la forme :  $f(Q,Z) = 0$

### *Schématisation d'un domaine filaire maillé*

## 2.5.2 Le domaine casier

Le domaine casier est classiquement utilisé pour représenter les zones de stockage caractérisées par de faibles vitesses d'écoulement, situées à l'écart des écoulements dynamiques. Les limites des éléments casiers s'appuient généralement sur des limites physiques contraignant les écoulements (digues, remblais, ...). Il peut également être utilisé pour schématiser le lit majeur actif lorsque les objectifs de la modélisation ne nécessitent pas une représentation détaillée des conditions écoulement (vitesses, hauteurs d'eau, ...).

Le domaine « casier » comprend une collection de surfaces polygonales, ou casiers, chaque casier est converti en interne en un nœud de calcul caractérisé par :

- une cote d'eau  $Z$ ,
- une capacité de stockage décrite par une surface au miroir ou une courbe  $S(z)$ .

L'équation de base d'un casier exprime la loi de conservation de la masse :

$$S \frac{d Z_c}{dt} = \sum i q_{li}(z_c, z_i)$$

où :

- $S$  : surface au miroir du casier
- $Z_c$  : cote d'eau (supposée uniforme dans le casier)
- $q_{li}$  : débit échangé avec un autre domaine. Les liaisons latérales disponibles sont de plusieurs types suivant la nature physique de la liaison : seuil, orifice, frottement sur le fond, écoulement poreux.

Chaque casier est défini géographiquement par ses contours qui correspondent, en général à des obstacles physiques influençant l'écoulement : levées, coteaux, routes, talus ... puis numériquement par sa superficie et par une courbe  $\alpha(Z)$  où  $\alpha$  est le pourcentage de la superficie du casier situé sous la cote  $Z$ .

La planimétrie générale du terrain est ainsi entrée dans le modèle ce qui définit le volume d'eau susceptible d'être stocké dans la zone inondée.

Les entrées et sorties d'eau pour un casier sont analysées et dimensionnées : des liaisons numériques sont définies pour représenter dans le modèle les échanges d'eau entre casiers.

Les casiers sont principalement utilisés ici pour modéliser les retenues (barrages), les petits plans d'eau et les secteurs déconnectés du lit majeur actif sur lesquels les vitesses d'écoulement sont très faibles (délaissés à l'arrière de remblais routiers ou ferroviaires, anciennes gravières, ...).

### 2.5.3 Le domaine bi-dimensionnel (2D)

#### a) Schématisation et équations

Le domaine 2D comprend une collection de mailles quadrangulaires ou triangulaires, ou pavés, chaque pavé étant converti en interne en un nœud de calcul caractérisé par :

- une cote d'eau  $Z$ ,
- les composantes  $u_x$  et  $u_y$  de la vitesse d'écoulement,
- une capacité de stockage décrite par une cote moyenne de fond  $Z_f$  et une surface  $S$ .

La modélisation bidimensionnelle repose sur la résolution des équations de Barré de Saint Venant à deux dimensions à l'aide d'une méthode de volumes finis : les inconnues sont la cote d'eau et la composante de la vitesse dans chaque direction, calculées au centroïde de la maille.

Les équations de base s'expriment sous la forme :

**Continuité :**

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(uh) + \frac{\partial}{\partial y}(vh) = 0$$

**Dynamiques selon x et y**

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + g \left( \frac{\partial z}{\partial x} + j_x \right) = 0$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + g \left( \frac{\partial z}{\partial y} + j_y \right) = 0$$

Avec :

$h$  : hauteur d'eau

u, v	: composante de la vitesse
g	: accélération de la gravité
z	: cote de la surface libre
x, y	: abscisse et ordonnée du point où sont définis (h, u, v)
j	: gradient de perte de charge engendré par le frottement

Les équations précédentes sont transformées dans le module 2D en intégrales de surface et sont discrétisées par la **méthode des volumes finis**.

Pour ce domaine le nombre de variables indépendantes au centroïde de chaque élément est égal à trois : h,u et v.

Le maillage proposé dans le module bidimensionnel est quadrangulaire et triangulaire. La densité et la taille moyenne des mailles sont adaptées en fonction de la cohérence de la précision des levés topographiques et des attendus du projet.

Le maillage proposé présente deux particularités :

- Il est déstructuré, c'est-à-dire que les frontières de chaque maille ont des directions quelconques : elles s'appuient sur les rives du cours d'eau, le long des obstacles dans le lit majeur,
- Il est possible de partager une frontière entre plus de deux éléments (cf. ci-contre).

Cette souplesse permet de facilement traiter les situations géométriques les plus complexes.

Les frontières entre deux mailles contiguës sont traversées par des liaisons d'échanges hydrauliques qui découlent de la discrétisation des deux équations ci-dessus.

La grande majorité de ces liaisons sont intérieures au domaine 2D : elles sont régies par des lois d'échange satisfaisant les équations de Barré de St Venant en deux dimensions ; les vitesses sont calculées au centroïde de l'élément.

A chaque frontière on peut également renseigner une loi d'échange spécifique du type de celles disponibles pour le domaine casier, dans le cas d'un obstacle régi par une loi de singularité hydraulique spécifique.

On peut également spécifier des liaisons régies par des lois de singularités hydrauliques.

La méthode des volumes finis offre une grande souplesse dans la définition du maillage, ce qui lui confère un avantage certain compte tenu des nombreuses lignes de fractures (obstacles en ligne) présentes dans les plaines alluviales.

Le maillage s'appuie notamment sur des limites physiques contraignant les écoulements (digues, remblais, ...), la taille des mailles étant définie par le modélisateur en fonction de la précision attendue et de la morphologie de la vallée.

Les singularités ponctuelles au droit des franchissements routiers ou ferrés sont schématisées par des liaisons spécifiques reliant les mailles amont et aval :

- des lois d'orifice pour les buses et les ponceaux de décharge,
- des lois de seuil pour les routes, chemins, digues, murets, ... submersibles.

## b) Prise en compte du bâti

Hydra permet différentes approches pour la **prise en compte du bâti** dans la modélisation mise en œuvre :

- Cas des **grands bâtiments**, et / ou des **bâtiments susceptibles de modifier sensiblement la répartition des écoulements en aval : le maillage 2D s'appuie sur le bâti :**

Les mailles contenues dans le bâti sont conservées, mais les largeurs disponibles pour l'écoulement sur la frontière du bâti sont fixées à une largeur faible forfaitaire, traduisant les possibilités de pénétration de l'eau via les portes et autres orifices majeurs.



- Cas des **bâtiments de dimensions réduites présentant une implantation relativement diffuse** : le maillage ne s'appuie pas sur les contours précis de chacun des bâtiments ; les largeurs disponibles pour l'écoulement sur la frontière des mailles sont corrigées pour tenir compte de l'obstacle créé par le bâti sur la dynamique des écoulements (cf. partie sud de l'illustration précédente).
- Cas d'une **urbanisation régulière** (structurée par un **réseau de voiries régulier**, notamment dans les centres-villes et les zones pavillonnaires : un schéma de modélisation bidimensionnelle spécifique est mis en œuvre :
  - les rues sont des éléments de modélisation à part entière sur lesquelles sont résolues les équations appliquées à la schématisation 1D,
  - les ilots bâtis encadrés par les rues sont couverts par un maillage 2D,
  - les largeurs disponibles pour l'écoulement sur la frontière des mailles (dans les ilots) ou aux frontières rues / mailles 2D sont corrigées pour tenir compte de l'obstacle créé par le bâti sur la dynamique des écoulements.

Sur le schéma ci-dessous, les rues sont matérialisées en rose (caractérisées par leur largeur, leur pente entre deux nœuds de calcul et un coefficient de frottement).



#### 2.5.4 Prise en compte des singularités

Hydra dispose d'un panel de singularités hydrauliques ponctuelles permettant de **schématiser** ces différentes situations. Des singularités ou liaisons binodales sont également disponibles, afin de tenir compte des échanges de débits entre deux points différents d'un bief par exemple (ou entre deux biefs, ou un bief et un casier).

Les ponts sont modélisés par une perte de charge prenant en compte la taille et l'emplacement des culées et des éventuelles piles du pont.



## a) Les liaisons latérales

**Les liaisons latérales** symbolisent des relations de transfert de débit entre des nœuds de calcul attachés aux éléments des différents domaines. L'équation associée à chaque liaison est de la forme :

$f(Q_L, Z_1, Z_2)$  où  $Q_L$  est le débit d'échange entre les nœuds 1 et 2,

$Z_1$  et  $Z_2$  sont les cotes d'eau aux nœuds 1 et 2 respectivement,

$f$  est une fonction spécifique à la nature hydraulique de la liaison : seuil, orifice, poreuse, ...

Dans le cas d'une liaison uninodale, la relation est de la forme :  $g(Q_L, Z_1) = 0$ . La liaison s'apparente alors à une condition à la limite appliquée au nœud 1.

Les principales liaisons hydrauliques binodales sont les suivantes :

- **La loi de surverse (overflow)** : débordement au-dessus d'une levée ou d'un talus. La liaison est calée au niveau de l'arase du point bas de la levée ou de la banquette. Les débits susceptibles d'entrer dans le val sont calculés par une loi de type déversement simple fonction de la cote d'arase, de la largeur de la zone basse et du coefficient de seuil.
- **La loi d'orifice (gate)** : La liaison simule un passage par une ouverture quelconque : buse, dalot ou pont. Elle est représentée par les dimensions de l'orifice et les coefficients de seuil et d'orifice.
- **L'écoulement rugueux (strickler)** : de casier à casier, l'eau coule sans obstacle précis, mais les forces de frottement de l'eau sur le terrain sont représentées. La liaison est définie par sa cote, sa largeur, un coefficient de rugosité et la distance entre casiers. La loi d'écoulement est régie pour cette liaison par l'équation :

$$Q_{ij} = K * H_{ij}^{5/3} * l * \text{racine}((Z_i - Z_j)/L)$$

Où  $Q_{ij}$  est le débit d'échange entre les casiers,  $H_{ij}$  est la hauteur d'eau moyenne,  $Z_i$  et  $Z_j$  les cotes moyennes dans les casiers  $i$  et  $j$  respectivement et  $K$  est le coefficient de frottement de Strickler<sup>1</sup> sur le fond.

- **La brèche** : La liaison représente l'ouverture d'une brèche dans le calcul lorsque le niveau d'eau, calculé à un pas de temps, dépasse un niveau altimétrique prédéfini (généralement le niveau de la levée ou de la digue). Ce type de liaison est défini par un seuil de déclenchement, une largeur, un seuil bas, un coefficient de seuil et un temps d'ouverture.

Deux nœuds de calcul peuvent être reliés par plusieurs liaisons.

## b) Les ouvrages sur domaines 1D

Ce paragraphe présente les principes généraux de modélisation des principaux types d'ouvrages hydrauliques sur les domaines 1D.

Certains points particuliers sont présentés plus en détail dans les chapitres spécifiques à chacun des modèles.

- **Ouvrages de franchissement**

---

<sup>1</sup> Coefficient de Strickler : traduit le frottement du lit. Le frottement est d'autant plus important que le coefficient est faible.

Les ouvrages de franchissement sont définis par les cotes de radier et de sous-poutre et la section totale.

Les pertes de charge sont calculées par une loi fonction de la réduction de section créée par l'ouvrage par rapport à la section du cours d'eau :

$$E_1 - E_2 = \frac{1}{2g} (u_{B'} - u_2)^2 = \frac{Q^2}{2g} \left( \frac{1}{CS_B} - \frac{1}{S_2} \right)^2$$

- E<sub>1</sub>* : énergie spécifique en amont
- E<sub>2</sub>* : énergie spécifique en aval
- S<sub>B</sub>* : section mouillée de l'ouvrage
- S<sub>2</sub>* : section mouillée du cours d'eau calculée en aval
- u<sub>B'</sub>* : vitesse calculée dans l'ouvrage
- u<sub>2</sub>* : vitesse calculée dans la section aval de l'ouvrage
- C* : coefficient de contraction qui est fonction du rapport *S<sub>B</sub>/S<sub>2</sub>*. Il varie entre 0.6 (si *S<sub>B</sub>/S<sub>2</sub>* < 0.6) et 1 (si *S<sub>B</sub>/S<sub>2</sub>* = 1.)

- **Ouvrages souterrains**

Les collecteurs souterrains sont modélisés par des sections paramétriques fermées ; Hydra utilise la méthode de la fente de Preissmann pour résoudre les équations de Barré de Saint Venant.

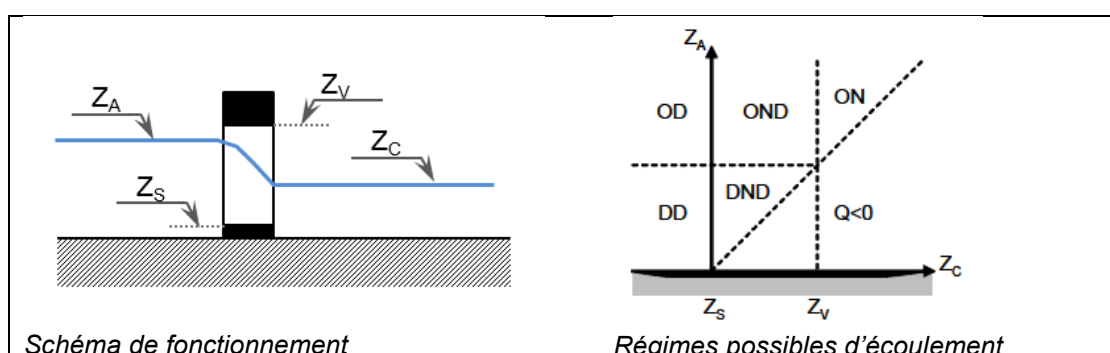
Une perte de charge à l'entonnement est ajoutée, sous la même forme que les ouvrages de franchissement.

- **Seuils et vannages**

Les seuils frontaux et latéraux sont modélisés par des lois de seuil.

Les vannages sont modélisés par des lois mixtes seuil (tant que l'ouvrage n'est pas en charge) / orifice.

Ces ouvrages peuvent être asservis à une cote ou un débit de consigne.



Régime d'écoulement	Désignation	Loi d'ouvrage
Déversoir dénoyé	DD	$Q_{DD} = \frac{2}{3} C_d b \sqrt{2g} (E_1 - z_s)^{\frac{3}{2}}$

Déversoir noyé - dénoyé	DND	$QD_N = \frac{2}{3} C_d b \sqrt{2g} (E_1 - E_2)^{\frac{3}{2}} + C_n b \sqrt{2g} (E_2 - z_s) (E_1 - E_2)^{\frac{1}{2}}$
Orifice dénoyé	OD	$QV_D = \frac{2}{3} b C_d \sqrt{2g} \left[ (E_1 - z_s)^{\frac{3}{2}} - (E_1 - z_v)^{\frac{3}{2}} \right]$
Orifice noyé - dénoyé	OND	$QV_{ND} = \frac{2}{3} b C_d \sqrt{2g} \left[ (E_1 - E_2)^{\frac{3}{2}} - (E_1 - z_v)^{\frac{3}{2}} \right] + b C_n \sqrt{2g} (E_2 - z_s) (E_1 - E_2)^{\frac{1}{2}}$
Orifice noyé	ON	$QV_N = b C_n \sqrt{2g} (z_v - z_s) (E_1 - E_2)^{\frac{1}{2}}$
Avec $C_D$ coefficient en régime dénoyé $C_N$ coefficient en régime noyé $b$ largeur		$E_1$ énergie spécifique en amont $E_2$ énergie spécifique en aval

Le coefficient  $C_d$  est le coefficient de seuil déversant en régime dénoyé. Il est défini par l'utilisateur, il est généralement égal à sa valeur théorique : 0.6. L'utilisateur peut rentrer une valeur plus faible pour tenir compte d'un coefficient de contraction latérale de la veine fluide lorsque  $b/b_0 < 1$ , où  $b_0$  est la largeur du canal ou du cours d'eau en amont de la vanne.

Le coefficient  $C_N$  est le coefficient de seuil déversant ou de vanne en régime noyé. Il est par défaut sélectionné automatiquement par le programme qui tient compte du rapport de section  $s/S$ , où :

- $s$  est la section d'ouverture de la vanne,
- $S$  est la section mouillée dans la section courante.

$s/S$	$C_N$
0.	0.6
0.3	0.73
0.6	1.0
0.8	1.87
0.9	3.12
0.95	5.0

Ce tableau résulte d'une analyse spécifique hydraulique basée sur la formulation de perte de charge à la Borda. L'utilisateur peut également imposer une valeur de son choix pour le coefficient  $C_n$ .

## 2.5.5 Couplages

### a) Couplage 1D-1D

Lorsque le lit majeur est représenté par un modèle filaire 1D et que le lit mineur est constitué par un bief à ciel ouvert directement intégré au profil en travers du lit majeur. Le modèle est alors constitué de profils en travers complets comprenant le lit mineur et le lit majeur comme indiqué sur la figure ci-dessous :

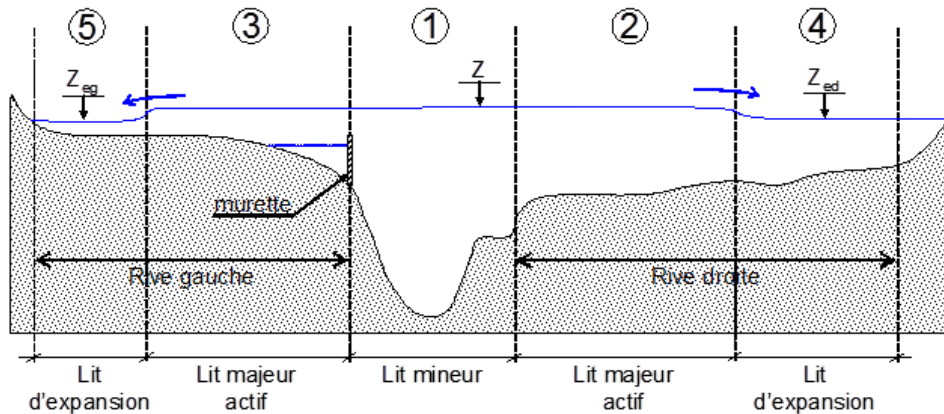


Figure 4: Modélisation filaire 1D

Lorsque le lit mineur est représenté par un bief de collecteurs fermés on réalise un coulage entre deux biefs filaires 1D, l'un souterrain modélisant le collecteur et l'autre à surface libre modélisant l'écoulement de surface, comme indiqué sur la figure ci-dessous.

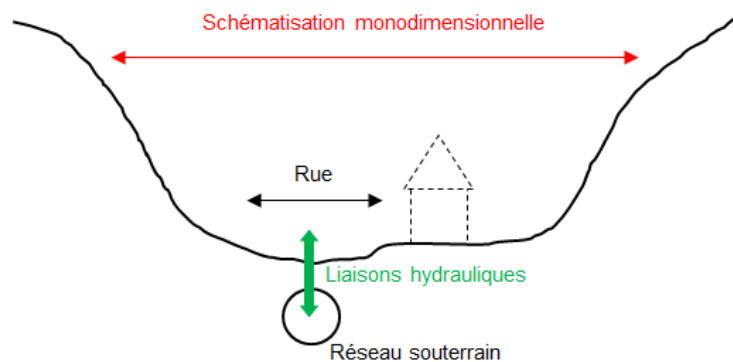


Figure 5: Modélisation couplée 1D-1D

### b) Couplage 1D-2D

Le maillage 2D est couplé au bief 1D de deux façons :

- Maillage 2D appuyé sur les limites du domaine 1D,

- Bief 1D immergé dans le maillage 2D et/ou vers les Rues.

Ces couplages peuvent être construits :

- au passage d'un lit majeur 1D vers un lit majeur 2D (et inversement), dans l'axe principal de l'écoulement,
- du lit mineur vers le lit majeur (couplage latéral : le lit mineur est modélisé en 1D et le lit majeur en 2D).

Le maillage 2D peut également être couplé aux voiries et rues.

- **Maillage 2D appuyé sur les limites du domaine 1D**

Lorsque le cours d'eau est à surface libre les berges de chaque lit de cours d'eau sont connectées au domaine bidimensionnel par l'intermédiaire de liaisons spécifiques apparentées à des déversoirs, la cote et la largeur de chacune étant fonction du profil de la berge. Le maillage 2D est appuyé sur les limites du domaine 1D.

Les liaisons latérales schématisent les capacités de débordement du bief 1D vers le maillage 2D à partir des caractéristiques géométriques de la berge considérée (altimétrie), de la géométrie de chacune des mailles (largeur de contact avec la berge) et de l'occupation du sol (frottement et éventuelle obstruction créée par le bâti).

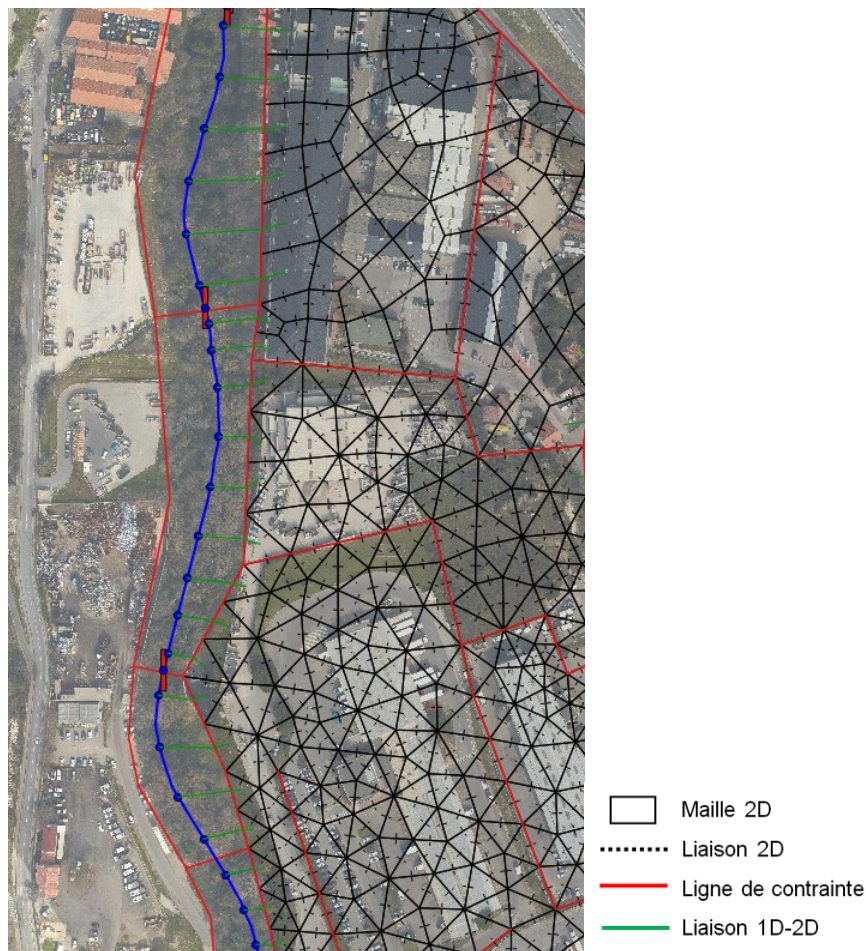
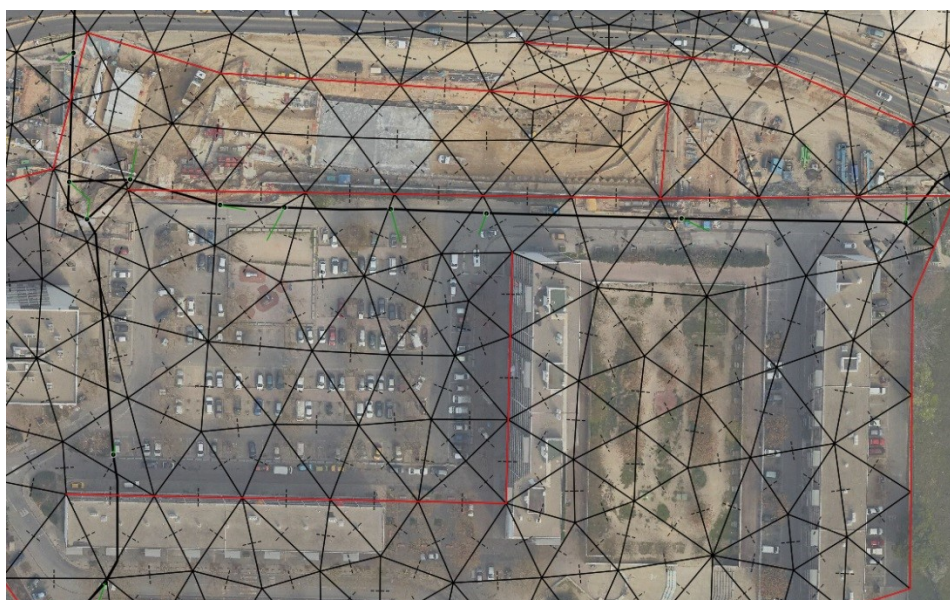
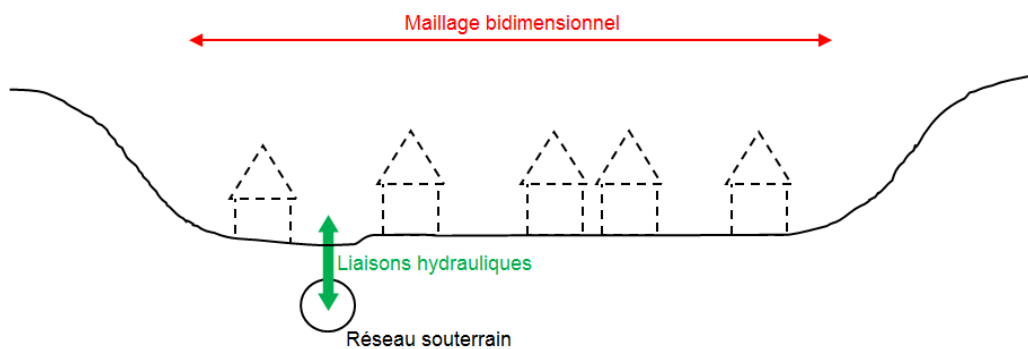


Figure 6 : Maillage 2D appuyé sur les limites du domaine 1D

- **Bief 1D immergé dans le maillage 2D**

Lorsque les biefs 1D sont constitués de collecteurs fermés, les débordements potentiels des réseaux sont représentés par des liaisons entre les biefs filaires souterrains et les mailles de surface, au droit des regards. Le bief 1D est immergé dans le maillage 2D.



- Maille 2D
- ..... Liaison 2D
- Ligne de contrainte
- Liaison 1D-2D
- Collecteur (bief 1D)

Figure 7: Exemple de bief 1D immergé dans le maillage 2D



- **Maillage 2D appuyé sur les voiries et rues**

Lorsque que les voiries et rues sont représentées par des éléments « Rues » le maillage 2D est appuyé sur les limites des voiries.

Les liaisons latérales schématisent les capacités de débordement des voiries vers le maillage 2D à partir des caractéristiques géométriques de la ligne de contrainte et de la géométrie de chacune des mailles (largeur de contact avec la voirie) et de l'occupation du sol (frottement et éventuelle obstruction créée par le bâti).



- Maille 2D
- ..... Liaison 2D
- Ligne de contrainte
- Liaison Rue-2D
- Rue
- Carrefour

Figure 8 : Exemple de maillage 2D en secteur urbain avec voiries et rues

### 3 DONNEES TOPOGRAPHIQUES

La modélisation hydraulique et l'élaboration des cartes de zones inondables et d'aléa s'appuient sur des données topographiques précises acquises dans le cadre de la présente mission :

- Un levé LIDAR, réalisé spécifiquement pour la présente étude hydraulique en 2016. Le pas du modèle numérique de terrain est de 1m, pour une précision altimétrique de 30cm. L'emprise du LIDAR est présentée sur la carte en page suivante.
- Une campagne de levés topographiques terrestres a été réalisée entre janvier et août 2017 par HydroTopo et a permis de lever sur l'ensemble du territoire :
  - 935 profils en travers des cours d'eau,
  - 261 ouvrages de franchissement,
  - 215 seuils et/ou vannages,
  - 22 sections couvertes (souterraines), sur un linéaire total de 2 750 m,
  - 24 km de berges et digues.

L'ensemble des levés identifiés au début de la mission ont pu être réalisés sans difficultés particulières.

- Ces données ont été complétées par :
  - les données collectées dans la première phase d'étude, identifiées sur l'atlas des levés topographiques établi dans le cadre de la phase 1 :
    - levés de la section d'écoulement du Riotet sous la couverture à Bourg-Argental ( CNR, 2002),
    - levés sur le site de Faya (commune d'Annonay) de 15 profils en travers en amont de la couverture et profils tous les 50mètres sous la couverture. (Anteagroup, 2015),
    - levés de profils en travers et en long sur les secteurs présentant des remblais en lit mineur et majeur sur la vallée de la Vocance (CDTOPO, 2008).
  - Des levés de secteurs ponctuels ayant évolué depuis la réalisation du LIDAR, mis à disposition par le Syndicat des 3 rivières ou les DDT. Les secteurs concernés sont rappelés dans les rapports spécifiques à chaque secteur d'étude.

Les levés terrestres ont une précision altimétrique centimétrique.

**L'ensemble des données topographiques exploitées est présenté dans « L'atlas de localisation au 1/5000<sup>ème</sup> des levés topographiques » annexé au rapport de phase 1.**



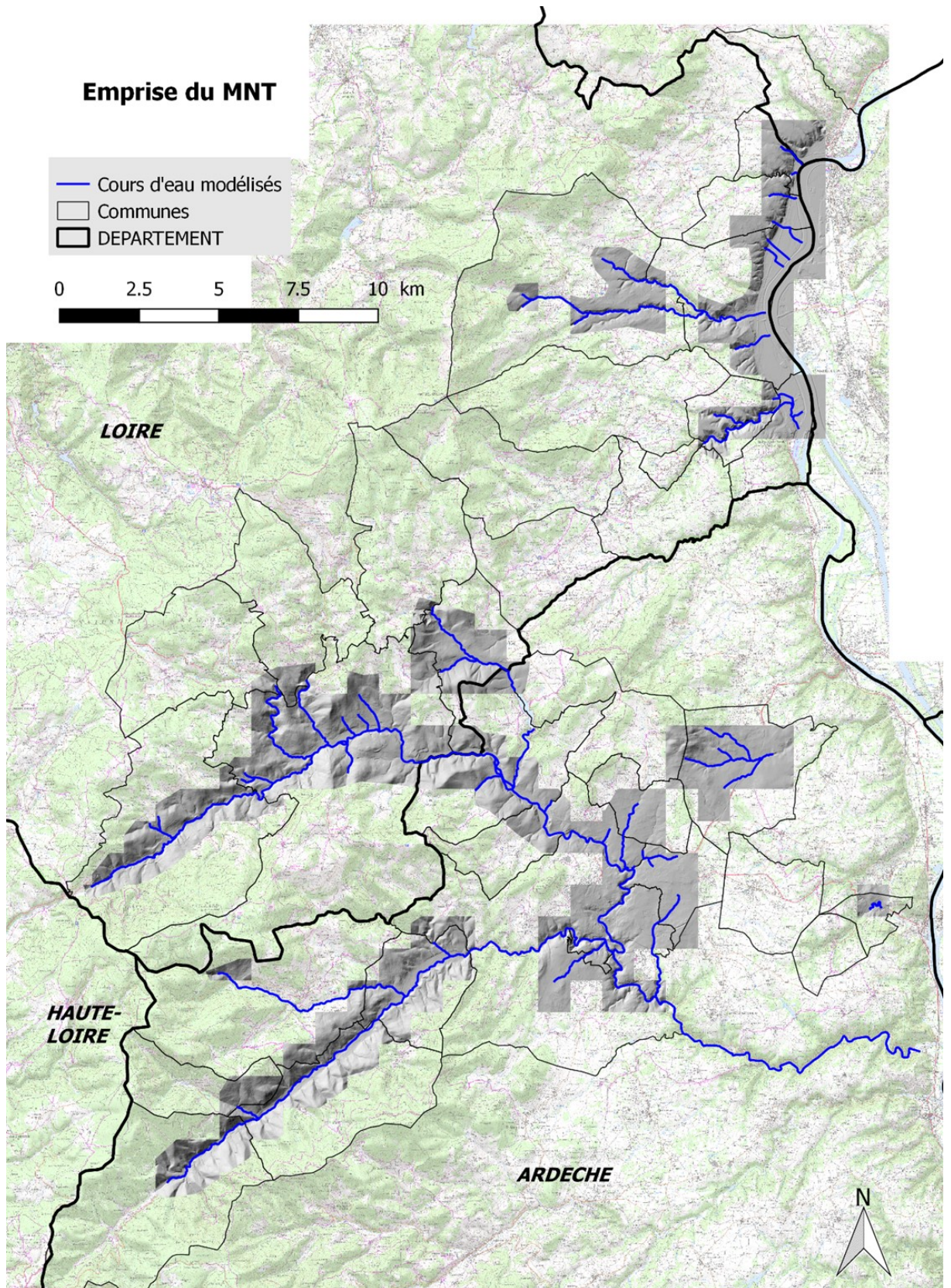


Figure 9 : Emprise du lever LIDAR



## 4 ARCHITECTURE DES MODELES MIS EN ŒUVRE

L'architecture détaillée des modèles est présentée dans les atlas annexés à chacun des rapports de secteurs.

### 4.1 DESCRIPTION GENERALE, DECOUPAGE EN SOUS MODELES

Le logiciel hydra permet de construire des sous modèles séparés et de les raccorder pour la phase de calcul. Ces possibilités sont exploitées pour l'élaboration de modèles complexes nécessitant une sous structuration par cours d'eau et/ou le travail de plusieurs équipes en parallèle.

Dans le cadre de cette étude, quatre sous modèles sont ainsi construits :

- Les modèles **deume**, **canceam** et **canceav** qui couvrent l'ensemble du bassin de la Cance. Ces 3 sous modèles sont assemblés lors de la phase de calcul, pour n'en constituer qu'un seul afin d'assurer la propagation des hydrogrammes vers l'aval et de s'affranchir des conditions limites à l'aval des modèles canceam et deume ;
- Le modèle **secteur12** qui couvre les autres cours d'eau. Ce sous modèle peut tourner indépendamment des 3 autres ; le calcul est effectué simultanément sur tous les cours d'eau le constituant, qui disposent chacun de leur propre condition limite aval (cf. rapports spécifiques).

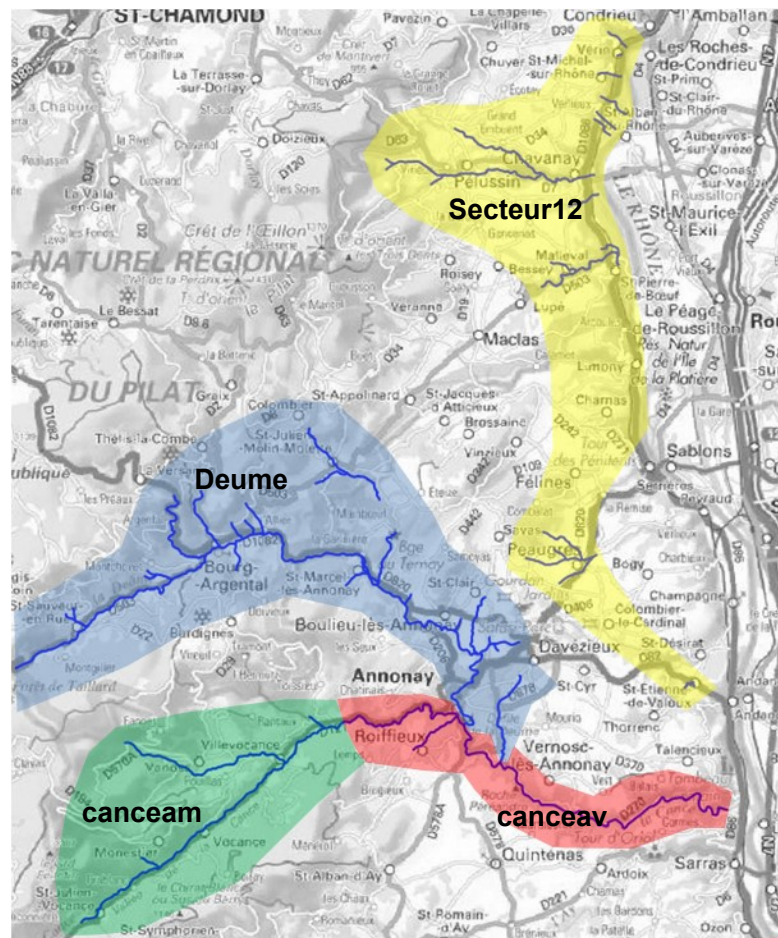


Figure 10 : sous modèles hydrauliques

Sous modèles	Cours d'eau	
deume	Argental	Gournay
	Bras de Dérivation Deûme	Noharet
	Chalon	Ogelière
	Chantecaille	Plagnol
	Concise	Poulet
	Deûme	Le Pouyat
	Le Ru	Ruisseau de Chantecaille
	Bois d'Aumas	Riotet
	Fontanes	Trancon
	Francillon	Vercantine
canceam	Cance	
	Cansonnet	
	Malbuisson	
	Moulin Laure	
canceav	les Aygas	
	Cance	
secteur12	AffBourgon	Morquenat
	l'Aleau	Monieux
	Batalon	Patouse
	Bois Lombard	Regrillon
	Bourgon	La Scie
	Colombier	Solon
	Cremieux	Torrenson
	Epervier	Valencize
	HautGaillard	Verin
	Malatras	

Tableau 3 : répartition des cours d'eau par sous-modèles

## 4.2 CHOIX DES MODES DE REPRESENTATION

Le présent chapitre présente les grandes orientations retenues pour l'ensemble du territoire. Ces éléments sont présentés plus en détail dans les rapports spécifiques à chacun des secteurs.

### 4.2.1 Lit mineur

L'ensemble des **lits mineurs** des cours d'eau est représenté **en 1D** (domaine filaire). Les lits mineurs sont constitués par :

- Des biefs de cours d'eau, canaux ou fossés à ciel ouvert,
- Des collecteurs fermés.

Leur géométrie est décrite par une succession de profils en travers issus des levés topographiques (cf. §Données topographiques).

## 4.2.2 Lit majeur

### a) Têtes de bassin versant et linéaires de cours d'eau encaissés

Sur les secteurs situés en tête de bassin versant et situés dans des vallons encaissés présentant des pentes relativement marquées, l'écoulement en cas de crue présente une direction privilégiée dans l'axe du talweg, et les obstacles longitudinaux à même de cloisonner les vallées sont peu nombreux.

Dans ces secteurs, une modélisation filaire de la vallée est privilégiée, incluant le lit mineur lorsqu'il est à surface libre (filaire 1D), ou couplé à une modélisation filaire des collecteurs souterrains lorsque le cas se présente (couplage 1D-1D).

### b) Lits majeurs avec écoulements complexes, secteurs urbanisés

Dans les secteurs de plaines plus larges susceptibles de présenter des écoulements en lit majeur dissociés de ceux du lit mineur du fait de la topographie naturelle ou anthropique, une schématisation 2D est mise en œuvre.

Dans **les zones d'urbanisation dense et régulière**, nous avons opté pour la modélisation **2D-Rues** couplée aux biefs filaires 1D du lit mineur.

Dans **les zones d'urbanisation plus ouvertes**, un **schéma 2D** classique est privilégié, le maillage s'appuyant alors sur les obstacles physiques aux écoulements (bâties de grande taille, remblais, ...), couplé aux biefs filaires 1D du lit mineur.

## 5 CALAGE

Le calage du modèle s'appuie sur la comparaison des mesures et observations et des résultats des simulations des différentes crues historiques modélisées.

Nous présentons ici les grandes lignes de la phase de calage.

Les résultats détaillés sont présentés dans les rapports spécifiques à chacun des secteurs.

### 5.1 PARAMETRES DE CALAGE

Les paramètres de calage sont principalement :

- Les coefficients de rugosité (Strickler) en lit mineur et en lit majeur,
- Les coefficients de seuils noyés / dénoyés,
- Les pertes de charge des ouvrages de franchissement ;

Les coefficients de Strickler retenus sur l'ensemble des modèles sont compris entre :

- 20 pour les lits mineurs à ciel ouvert, à l'exception des secteurs 1 et 2 où ils sont compris entre 20 et 25.
- 30 et 50 pour les parties souterraines et canalisées : le coefficient est affecté à partir d'abaques expérimentales, en fonction des matériaux constituant la partie souterraine et de l'état de celle-ci. Les coefficients ainsi retenus varient entre 30 pour un pont voûté et 50 pour une buse en béton récente.
- 6 et 15 pour le lit majeur.

Les coefficients retenus, détaillés dans les rapports spécifiques à chaque secteur, sont établis à partir des caractéristiques physiques du terrain :

- Pour le lit mineur : largeur du lit et matériaux du substrat. Les valeurs ont été validées lors de la phase de calage, qui s'appuie sur des crues peu débordantes (mobilisant ainsi principalement le lit mineur).
- Pour le lit majeur : occupation du sol
  - 6 pour les zones urbaines très denses et présentant d'importants obstacles à l'écoulement (uniquement le centre-ville d'Annonay)
  - 8 pour les secteurs urbanisés périphériques avec obstacles marqués (haies, murs, ...) ou zones boisées
  - 12 pour les secteurs urbains ouverts et de manière générale des secteurs ouverts présentant de la végétation basse : prairies, cultures, zones d'activités et zones périurbaines sans obstacles aux écoulements
  - 15 pour les zones rurales de type cultures marquées ou prairies entretenues

## 5.2 RESULTATS DE CALAGE

La phase de calage a été menée sur les modèles pluie - débit et sur les modèles hydrauliques pour les 6 événements historiques ayant fait l'objet d'une analyse hydrologique détaillée (cf. rapport de phase 2) :

- Octobre 1999,
- Novembre 2002,
- Décembre 2003,
- Novembre 2008,
- Octobre 2014,
- Novembre 2014.

La comparaison entre les observations et les résultats de calcul portent sur les éléments suivants :

- Repères de crue ; ces derniers peuvent être précis (ils ont alors fait l'objet d'une fiche de plus hautes eaux connues, PHE) ou plus qualitatifs,
- Zooms sur les secteurs historiquement inondés,
- Comparaison des hydrogrammes et limnigrammes au droit des stations hydrométriques.

## 6 EXPLOITATION DES MODELES

Les modèles ainsi calés sont exploités pour modéliser les crues de projet, suivant différentes hypothèses hydrologiques et différentes configurations des ouvrages hydrauliques (franchissements, ouvrages de protection longitudinaux), détaillées dans les chapitres suivants.

Ces simulations visent à :

- Produire les éléments nécessaires à l'élaboration des cartes d'aléa des PPRI,
- Définir les enveloppes de crues pour diverses occurrences (mission « référent départemental inondation » et gestion de crise),
- Alimenter la définition de la stratégie et des objectifs de réduction et de prévention des inondations du territoire.

### 6.1 HYPOTHESES HYDROLOGIQUES ET CONDITIONS LIMITES AVAL

#### 6.1.1 Scénarios hydrologiques

Les apports hydrologiques sont définis à l'aide de la modélisation pluie – débit, décrite dans le rapport de phase 2.

Pour chaque période de retour étudiée (2, 5, 10, 20, 30, 50, 100 et crue exceptionnelle), une série de pluies de durées différentes est définie, après analyse détaillée des structures spatiales et temporelles des événements historiques ; chaque pluie est affectée à l'ensemble du bassin versant. Les débits maximums d'un bassin versant sont en effet généralement obtenus pour des événements pluvieux d'une durée proche de leur temps de concentration.

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

Pour une période de retour  $T$ , l'aléa est défini comme l'enveloppe maximale de l'aléa calculé pour chacun des scénarios de pluie considérés pour cette même période de retour :

- Sur les têtes de bassins versants présentant des temps de concentration courts, les débits et cotes d'eau maximum seront obtenus pour des durées de pluie courtes,
- Sur les secteurs aval des principaux cours d'eau, les débits et cotes d'eau maximum seront obtenus pour des durées de pluie plus longues.

Le routage des hydrogrammes générés par la modélisation pluie – débit par les modèles hydrauliques permet d'intégrer de fait les déphasages de pointes de crue entre les différents cours d'eau, liées à leur morphologie (caractéristiques des bassins versants amont, dynamique de propagation des crues, ...).

### 6.1.2 Conditions limites aval

Les modèles deume, canceam et canceav (cf. Description générale, découpage en sous modèles) qui couvrent l'ensemble du bassin de la Cance (y compris leurs affluents le cas échéant) sont assemblés lors de la phase de calcul, pour n'en constituer qu'un seul afin d'assurer la propagation des hydrogrammes vers l'aval et de s'affranchir des conditions limites à l'aval des modèles canceam et deume.

L'aval du secteur d'étude du modèle canceav (pont de Sarras, à hauteur de la station hydrométrique) est hors d'influence de la condition limite aval, définie plus d'1km en aval (cette condition limite est elle-même hors d'influence de la crue du Rhône).

Le modèle secteur12 couvre les autres cours d'eau, indépendants de la Cance et de la Deume ; le calcul est effectué simultanément sur tous les cours d'eau le constituant, qui disposent chacun de leur propre condition limite aval (cf. rapports spécifiques). Pour les cours d'eau influencés par la crue du Rhône, la condition limite aval est constituée par la cote de la crue centennale du Rhône pour toutes les crues simulées.

Pour le Crémieux (Peaugres) et le Torrenson (Saint Etienne de Valoux), la condition limite aval est définie suffisamment en aval pour ne pas influencer les secteurs d'étude.






## 6.2 CARTOGRAPHIE DES ZONES INONDABLES ET DES VITESSES D'ÉCOULEMENT

Le modèle hydraulique fournit pour chaque scénario modélisé en chaque nœud (1D et 2D) et pour chaque pas de temps de calcul une cote d'eau et une vitesse d'écoulement. Ces éléments permettent d'extraire les valeurs maximales atteintes en chaque nœud de calcul et de définir :

- Un Modèle Numérique de Ligne d'Eau (MNLE),
- Un champ de vecteurs de vitesses d'écoulement (pour les secteurs modélisés en 1D, les vecteurs sont orientés dans l'axe du lit mineur, et les vitesses reportées correspondent aux vitesses moyennes calculées dans le lit majeur),

Pour une période de retour T, les hauteurs et vitesses retenues à chacun des nœuds de calcul correspondent à l'enveloppe maximale de ces paramètres calculés pour chacun des scénarios de pluie considérés pour cette même période de retour.

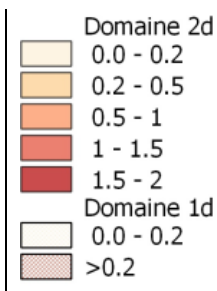
Un croisement entre le Modèle Numérique de Ligne d'Eau (MNLE) et le Modèle Numérique de Terrain (MNT) est ensuite réalisé pour définir des classes d'iso-hauteurs d'eau.

	$h < 0.25 \text{ m}$
	$0.25 \text{ m} < h < 0.50 \text{ m}$
	$0.50 \text{ m} < h < 1.00 \text{ m}$
	$1.00 \text{ m} < h < 2.00 \text{ m}$
	$h > 2.00 \text{ m}$



Une interpolation spatiale des vitesses entre les différents nœuds de calcul permet de produire les classes d'iso-vitesses d'écoulement.

Sur les secteurs 1D, seules des vitesses moyennes sont calculées en lit majeur ; pour tenir compte de cette incertitude sur la définition des champs de vitesse, seuls les secteurs de très faibles vitesses (<0.2m/s) sont identifiés.



## 6.3 SIMULATIONS DE LA CRUE DE REFERENCE POUR L'ELABORATION DES CARTES D'ALEAS

### 6.3.1 Scénario hydrologique de référence

La cartographie de l'aléa des PPRI doit être établie sur la base de l'évènement historique le plus fort connu ou si sa période de retour est inférieure à 100 ans sur la base d'une crue centennale reconstituée. Des inondations exceptionnelles ayant entraîné d'importantes inondations sont relatées dans les archives. Cependant les éléments disponibles ne permettent pas de quantifier ces évènements hydrologiques ni de déterminer précisément les zones inondées.

Les évènements récents pour lesquels de telles informations sont disponibles présentent des périodes de retour nettement inférieures à 100 ans (cf. rapport volet hydrologique).

En conséquence les cartes d'aléa PPRI sont établies sur la base de l'évènement centennal défini dans le cadre de la présente étude (cf. rapport volet hydrologique).

### 6.3.2 Prise en compte des ouvrages longitudinaux

Sur le périmètre d'étude, aucun ouvrage de protection en vue de prévenir les inondations au sens des articles R. 562-13 (système d'endiguement) et R. 562-18 (aménagement hydraulique) du code de l'environnement ne sont recensés.

Cependant, certaines infrastructures (routières ou ferroviaires) ou murs latéraux peuvent, selon leur configuration, influencer sur le risque d'inondation et de fait jouer un rôle de "protection" de zones situées à l'aval. Ces infrastructures ne peuvent pour autant pas être considérées comme digues de protection, considérant qu'elles n'ont pas été conçues et gérées à cet effet.

Il demeure constant en termes de politique de prévention des risques, que le principe général est de considérer le caractère faillible de ces ouvrages et de ce fait, à l'instar des ouvrages de protection, d'identifier dans la **cartographie de la crue de référence** pour l'élaboration des PPRI (ici la crue centennale), les surfaces inondées en l'absence de l'ouvrage considéré. En effet, les contraintes auxquelles sont soumis ces remblais peuvent engendrer divers phénomènes les fragilisant et susceptibles de provoquer leur défaillance (érosion, surverse, renard hydraulique, glissement de talus, etc).

La méthodologie mise en œuvre est la suivante pour les **simulations de la crue centennale** et l'élaboration des **cartes d'aleas** :

a) Une première modélisation a été réalisée sans tenir compte du risque de défaillance de ces ouvrages longitudinaux. Celle-ci a permis d'identifier sur le périmètre d'étude les infrastructures perturbant les écoulements en cas de crue.

b) Afin de considérer le risque d'inondation à l'aval de ces ouvrages, et à défaut de modéliser des scénarios de rupture qui nécessitent la mise en œuvre d'études approfondies, les infrastructures considérées ont été effacées dans une seconde modélisation.

c) Les cartographies finales des hauteurs d'eau et de l'aléa pour la crue de référence (crue centennale) sont définies comme l'enveloppe maximale des scénarios avec et sans prise en compte de ces ouvrages longitudinaux.

Les cartes en page suivante localisent les ouvrages longitudinaux et murs perturbant significativement les écoulements, pour lesquels le risque de défaillance a été pris en compte.

Une analyse détaillée des incidences sur les hauteurs d'inondation de ces défaillances d'ouvrages est présentée dans les rapports spécifiques à chaque secteur.

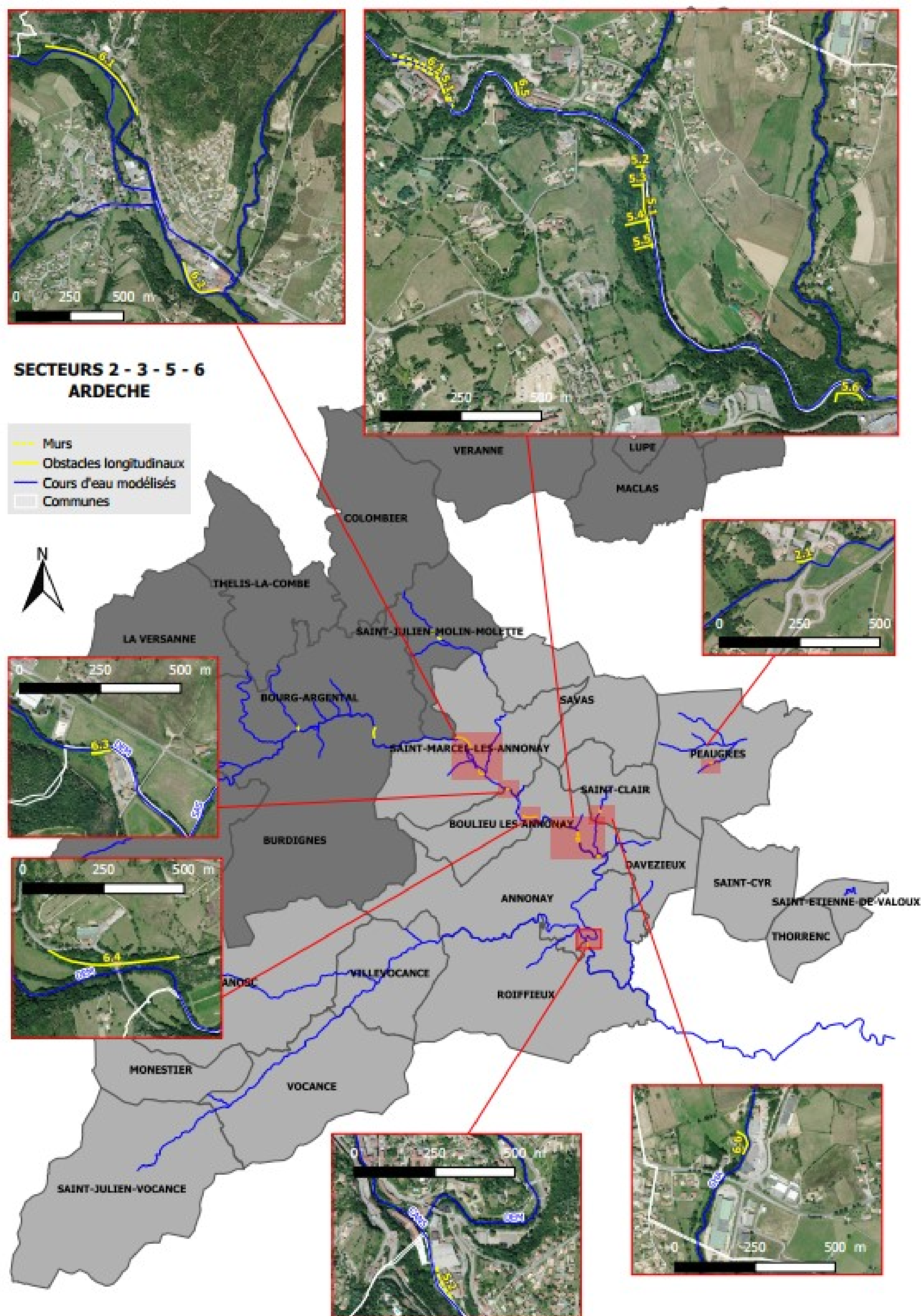


Figure 11 : Localisation des ouvrages longitudinaux et murs pris en compte dans les modèles – Secteurs 1 et 4

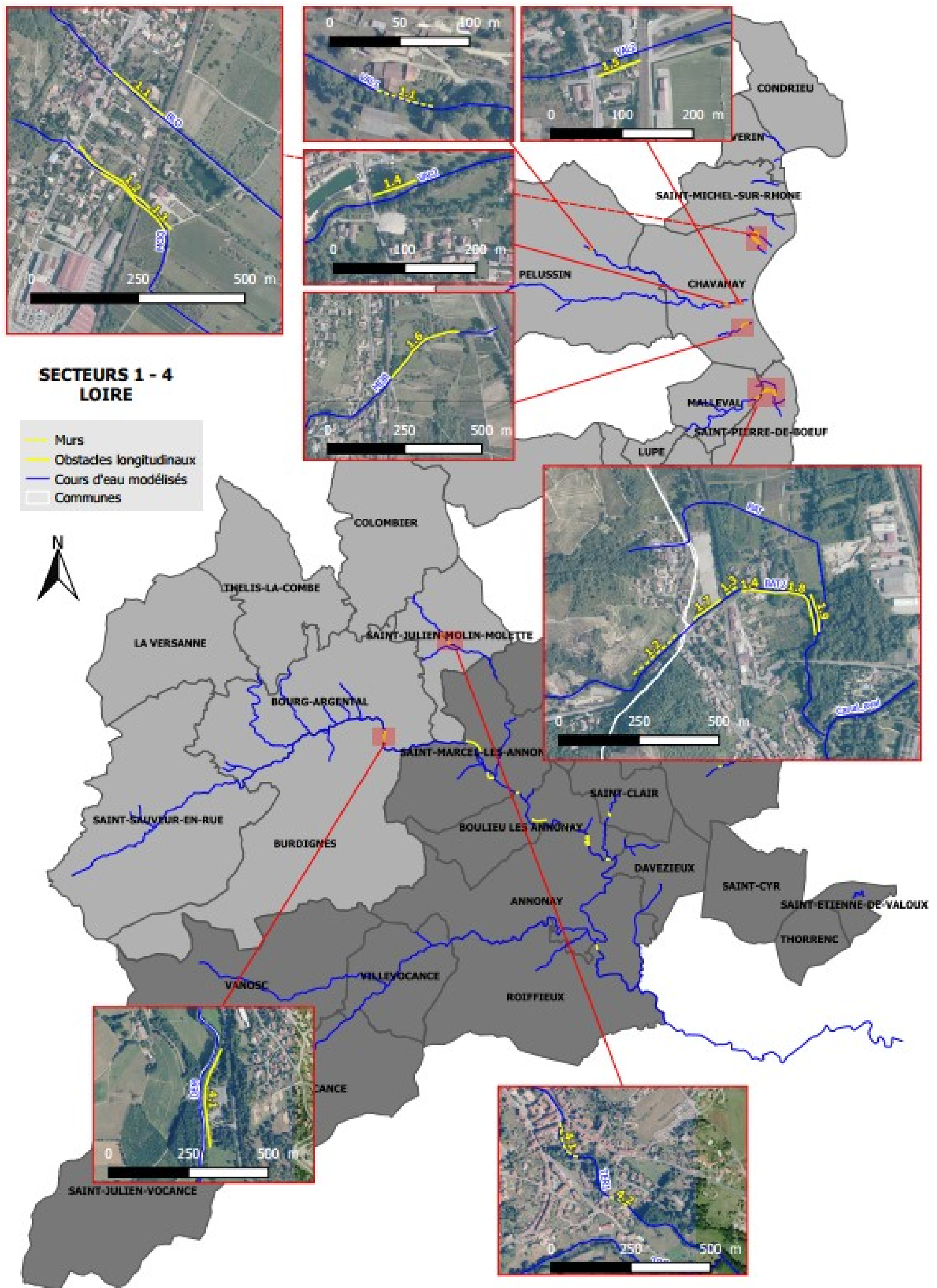


Figure 12 : Localisation des ouvrages longitudinaux et murs pris en compte dans les modèles – Secteurs 2, 3, 5 et 6

## 6.4 APPROFONDISSEMENT DE LA CONNAISSANCE DE L'ALEA

### 6.4.1 Simulation des scénarios de crues complémentaires

Afin d'améliorer la connaissance du risque inondation, les crues suivantes ont été simulées : Q2, Q5, Q10, Q20, Q30, Q50 et Qexceptionnelle. Ces cartographies serviront de base pour alimenter :

- La mission « référent départemental inondation » et la gestion de crise,
- La définition de la stratégie et des objectifs de réduction et de prévention des inondations du territoire

La cartographie de l'emprise des surfaces inondables est fournie dans un atlas A3 au 1/5000<sup>ème</sup> annexé à chacun des rapports de secteur.

Pour ces scénarios de crues, les cartographies des surfaces inondables ont été produites en considérant les ouvrages longitudinaux et des murs identifiés précédemment effacés.

### 6.4.2 Analyse du fonctionnement des ouvrages hydrauliques

Les simulations hydrauliques réalisées pour les crues de différentes occurrences permettent d'analyser la sollicitation des ouvrages hydrauliques, et notamment :

- Pour les ouvrages de franchissement et sections souterraines :
  - Le niveau de sollicitation des ouvrages (% de remplissage),
  - La cote d'eau amont calculée par rapport à la cote de surverse sur le tablier.
- Pour les seuils : la hauteur d'eau sur la crête.

Ces éléments sont présentés sous forme de tableaux de synthèse dans les rapports de secteurs.

### 6.4.3 Prise en compte des embâcles

Afin de caractériser l'incidence que pourrait avoir la formation d'embâcles dans les ouvrages, un scénario d'embâcles pour la crue centennale a été défini. Les ouvrages les plus sensibles aux risques d'embâcles ont été identifiés par le Syndicat des 3 Rivières, et un taux d'obstruction leur a été associé. Les ouvrages considérés sont listés dans le tableau ci-dessous, et localisés sur la carte page suivante.

Nom de l'ouvrage	Type d'ouvrage	Cours d'eau	Commune	Secteur	% d'obstruction
BAT_002	pont busé	Batalon		1	80
BAT_008	pont busé	Batalon		1	50
VAL_015	pont voute	Valencize		1	50
MAL_007	pont voute	Malbuisson	Villevocance	3	50
FO3_001	passage busé	Affluent Gournay		4	100
FRA_005	passage busé	Françillon		4	50
OGE_004	passage busé	Olagnière		4	100
RIO_Couvam	couverture	Riotet		4	80
TER_019	couverture	Ternay		4	50
TER_024	dalot béton	Ternay		4	50
VCN_004am	couverture busée	Vercantine		4	100
DEM_CouvAm	couverture	Deûme		5	50
CHA_007	passage busé	Chalon		6	100
FO5_001am	couverture busée	Concise		6	50
POU_008	couverture busée	Rio Poulet		6	50

*Tableau 4 : Identification des ouvrages ayant fait l'objet de simulations avec embâcles*

Les incidences de l'obstruction de ces ouvrages sur les hauteurs d'inondation et l'emprise des inondations pour la crue centennale sont présentées dans les rapports de secteurs.

## 7 CARTOGRAPHIE DE L'ALEA DE REFERENCE PPRI

### 7.1 METHODOLOGIE GENERALE

Sur les secteurs ne présentant pas d'enjeux majeurs, l'aléa est défini par méthode hydrogéomorphologique. Sur les autres secteurs, l'aléa s'appuie sur les résultats de la modélisation hydraulique. Au regard des conclusions de l'analyse hydrologique, la crue de référence retenue pour ces secteurs correspond à la crue centennale modélisée.

Les aléas ne sont pas cartographiés sur les petits cours d'eau :

- présentant de fortes pentes et/ou des lits mineurs peu marqués présentant d'importantes variations de sections pour lesquels la densité de profils en travers levés est insuffisante pour restituer des cartes avec le niveau de précision attendu,
- dont le bassin versant est faible, ce qui rend difficile l'évaluation des débits à utiliser, et/ou pour lesquels les débordements sont très sensibles aux hypothèses hydrologiques,
- situés dans des milieux fortement anthropisés dans lesquels les inondations sont davantage liés à une problématique d'assainissement ou de ruissellement pluvial qu'à un débordement naturel de cours d'eau.

Secteur	Cours d'eau	Commune(s)	Justification
1	Solon amont	Saint-Michel-sur-Rhône	Fortes pentes, densité de profils en travers insuffisante. Faible superficie de bassin versant.
	Colombier amont	Saint-Michel-sur-Rhône	
	Valencize amont de la confluence avec le Regrillon	Chavanay, Pélussin	
	Malatras et Scie	Pélussin	
	Mornieux amont	Chavanay	
	Batalon amont	Malleval	
2	Haut Gaillard	Peaugres	Lits des cours d'eau peu marqués présentant d'importantes discontinuités que la densité de profils en travers relevés ne permet pas de représenter suffisamment finement.
	Bourgon		
	Affluent du Bourgon		
	Crémieux		
3	Malbuisson amont	Vanosc	Fortes pentes et lits localement peu marqués, densité de profils en travers insuffisante. Faible superficie de bassin versant.
4	Déôme amont	Saint-Sauveur-en-Rue	
	Gournay amont et son affluent rive gauche		
	Plagnol amont et son affluent rive gauche		
Vercantine amont	Bourg-Argental		
Ogelière amont			

	Francillon amont		
	Pouyat	Burdignes	
5	Aygas	Roiffieux	Fortes pentes et lits localement peu marqués, densité de profils en travers insuffisante.
	Poulet	Annonay	
6	Ternay amont de la retenue	Saint-Marcel-lès-Annonay, Savas	Fortes pentes et lits localement peu marqués, densité de profils en travers insuffisante.
	Fontanes	Boulieu-lès-Annonay,	
	Chantecaille	Boulieu-lès-Annonay, Davézieux	
	Poulet	Davézieux	

Tableau 5 : cours d'eau sur lesquels l'aléa n'est pas cartographié

## 7.2 CARACTERISATION DE L'ALEA PAR METHODE HYDROGEOMORPHOLOGIQUE

La méthodologie de détermination des zones inondables par la méthode hydrogéomorphologique est détaillée dans le rapport spécifique Volet 2.2 : Analyse hydrogéomorphologique.

Cette analyse a permis notamment de délimiter les emprises :

- Du lit mineur (matérialisé par une simple polygline sur les petits cours d'eau),
- Du lit moyen lorsque celui-ci est identifiable,
- Du lit majeur,

L'aléa résultant est défini suivant la grille suivante :

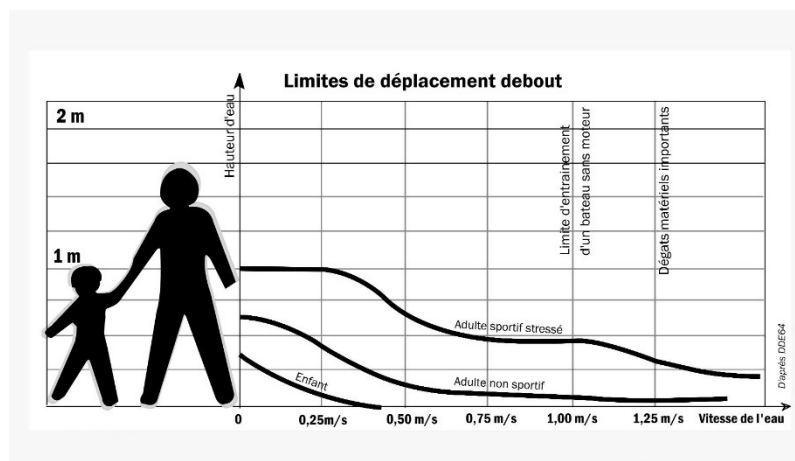
- Lit mineur (lorsque matérialisé par un polygone) et lit moyen : alea très fort
- Lit majeur : alea fort.

## 7.3 CARACTERISATION DE L'ALEA SUR LES SECTEURS MODELISES

### 7.3.1 Principes généraux

La grille utilisée est fondée sur les principes de la prévention des risques tels qu'ils ressortent du code de l'environnement et qui ont été précisés par le Guide PPR, puis par les modalités d'application du décret de juillet 2019, qui prévoient notamment que « *les PPR visent en 1er lieu à **maîtriser l'urbanisation en zone inondable** : l'objectif est d'une part de **limiter l'exposition de nouvelles population ou activités** à un risque d'inondation, et d'autre part de préserver les zones d'expansion des crues afin de ne pas aggraver les risques d'inondation sur d'autres territoires* ».





La démarche s'appuie sur le fait que la limitation de la constructibilité en zone inondable doit prendre en compte une approche la plus objective possible de la dangerosité des écoulements vis-à-vis des populations exposées à une crue sur la base du graphique ci-dessous :

Comme indiqué au chapitre Simulations de la crue de référence pour l'élaboration des cartes d'aléas, l'aléa est établi sur la base des modélisations de la crue centennale.

Conformément à l'article R. 562-11-4 du Code de l'environnement, l'aléa de référence est qualifié et représenté de manière cartographique, selon au maximum quatre niveaux : «faible», «modéré», «fort» et «très fort», en fonction de la hauteur d'eau ainsi que de la dynamique liée à la combinaison de la vitesse d'écoulement de l'eau et de la vitesse de montée des eaux. La vitesse d'écoulement et la vitesse de montée des eaux sont en effet des facteurs d'aggravation de l'aléa et doivent être pris en compte, notamment pour la sécurité des populations (possibilité d'évacuation).

### 7.3.2 Définition de la dynamique

La dynamique telle que présentée dans le décret n° 2019-715 du 5 juillet 2019 se définit comme la combinaison de deux critères :

- La vitesse de montée des eaux
- La vitesse de l'écoulement

Elle est qualifiée en trois catégories distinctes : lente, moyenne et rapide.

La vitesse de montées des eaux est considérée rapide sur tout le secteur d'étude, à l'exception de secteurs spécifiques situés sur les larges zones d'expansion en secteurs de plaine (plaine du Rhône). Sur ce dernier secteur, la dynamique est qualifiée de moyenne quelle que soit la vitesse d'écoulement.

Le croisement de cette « vitesse de montées des eaux » rapide avec la « vitesse d'écoulement » donne le résultat suivant :

<i>Vitesse de montée des eaux</i>	Rapide
<i>Vitesse d'écoulement (VE)</i>	
Forte supérieure à 0,5 m/s	Dynamique rapide
Moyenne entre 0,2 m/s et 0,5 m/s	Dynamique rapide
Faible inférieure à 0,2 m/s	Dynamique moyenne

Figure 13 : Grille de définition de la dynamique

### 7.3.3 Grille d'aléa sur le département de l'Ardèche

#### a) Grille d'aléas des zones modélisées en 2D

**Dans les secteurs modélisés en 2D**, qui correspondent à des secteurs où figurent des enjeux et où la modélisation permet d'identifier des écoulements multidirectionnels, les vitesses d'écoulement ont pu être définies sur l'ensemble de la zone inondable.

En croisant la matrice de dynamique ci-dessus avec la matrice hauteur tel que cela est prévu par le décret, on obtient, la **grille d'aléa** suivante :

<i>Dynamique</i>	Moyenne	Rapide	
Hauteur			
H > 2	<b>Très Fort</b>	<b>Très Fort</b>	<b>Très Fort</b>
1 < H < 2	<b>Fort</b>	<b>Très Fort</b>	<b>Très Fort</b>
0,5 < H < 1	<b>Modéré</b>	<b>Fort</b>	<b>Fort</b>
H < 0,5	<b>Modéré</b>	<b>Fort</b>	<b>Fort</b>

Figure 14 : Grille d'aléa - secteurs modélisés en 2D

Le décret de juillet 2019 offre la possibilité de classer en aléa modéré les secteurs impactés par de très faibles hauteurs ( $H < 0,25$  m). Compte tenu de la dynamique des cours d'eau, cette possibilité a été retenue dans la présente étude pour les secteurs où la vitesse est moyenne, c'est-à-dire  $VE < 0,5$  m/s. On obtient alors la **grille d'aléa** complémentaire suivante :

<i>Vitesse VE en m/s</i>	VE < 0,2	0,2 < VE < 0,5	VE > 0,5
--------------------------	----------	----------------	----------

Hauteur H en m			
H < 0,25	modéré	Modéré	Fort

Figure 15 : Grille d'aléa - secteurs modélisés en 2D pour des hauteurs d'eau < 0,25m

## b) Grille d'aléas des zones modélisées en 1D

**Les secteurs modélisés en 1D** (dans lesquels les enjeux sont généralement moindres) sont des secteurs où l'écoulement est en général mono-directionnel dans le sens d'écoulement principal du cours d'eau : la vitesse d'écoulement y est généralement forte.

La modélisation en 1D ne fournit que des vitesses moyennes sur les sections de vallées considérées. Compte tenu des pentes du bassin versant, de la nature encaissée des cours d'eau dans les secteurs modélisés en 1D et de la faible ampleur des zones de débordement sur ces secteurs, les vitesses moyennes calculées sont systématiquement moyennes à fortes.

Dès lors, on obtient après croisement avec la matrice dynamique présentée précédemment, la **grille d'aléa** suivante :

	Dynamique	Rapide
Hauteur H en m		
H > 2		Très Fort
1 < H < 2		Très Fort
0,5 < H < 1		Fort
H < 0,5		Fort

Figure 16 : Grille d'aléa - secteurs modélisés en 1D

Une expertise spécifique a permis d'identifier certains secteurs de faibles vitesses, sur lesquels un aléa moyen a été retenu. Il s'agit de secteurs situés en marge du champ des écoulements principaux.

### 7.3.4 Grille d'aléa sur le département de la Loire

Sur le département de la Loire, la dynamique est qualifiée de rapide lorsque la vitesse de montée des eaux est rapide, sans distinction des vitesses locales calculées. La grille d'aléa est la suivante :

	Dynamique	Moyenne	Rapide
Hauteur			

$H > 2$	<b>Très Fort</b>	<b>Très Fort</b>	<b>Très Fort</b>
$1 < H < 2$	<b>Fort</b>	<b>Très Fort</b>	<b>Très Fort</b>
$0,5 < H < 1$	<b>Modéré</b>	<b>Fort</b>	<b>Fort</b>
$H < 0,5$	<b>Modéré</b>	<b>Fort</b>	<b>Fort</b>

Figure 17 : Grille d'aléa – Département de la Loire

La dynamique est qualifiée de moyenne sur la plaine de Rhône ; elle est rapide sur tous les autres secteurs.

### 7.3.5 Iso-cotes de crue

Des isocotes exprimées dans le système de Nivellement général de la France (NGF) permettent d'identifier la cote du niveau de l'eau atteint par la crue centennale modélisée.