PRÉFET
DE HAUTE-LOIRE
Liberté
Égalité
Fraternité

Direction départementale
des territoires de la Haute-Loire

MARCHE PUBLIC DE PRESTATIONS INTELLECTUELLES

Étude hydraulique sur la Loire, la Borne, le Dolaizon et leurs affluents sur le bassin du Puy-en-Velay

CAHIER DES CLAUSES TECHNIQUES PARTICULIÈRES

Maître de l'ouvrage :

ÉTAT – Direction départementale des territoires de la Haute-Loire

Marché à procédure formalisée
Conclu en application des articles L. 2123-1 et R. 2123-1 du Code de la commande publique.

Le présent marché public est soumis aux dispositions de l'ordonnance n°2018-1074 du 26 novembre 2018 portant partie législative du Code de la commande publique et du décret n°2018-1075 du 3 décembre 2018 portant partie réglementaire du Code de la commande publique (CCP).

Sommaire

Préambule....4
0. Introduction....5
1. Présentation de l'étude....6
1.1 Contexte....6
1.1.1 La politique de prévention des risques....6
1.1.2 Typologie des inondations sur le bassin du Puy-en-Velay....7
1.1.3 Études existantes – documents réglementaires....7
1.1.4 Le secteur géographique concerné....9
1.1.5 Les trois cours d'eau principaux....10
1.1.5.1 La Loire....10
1.1.5.2 La Borne....10
1.1.5.3 Le Dolaizon....10
1.2. Objectifs de l'étude....11
1.3. Périmètre de l'étude....12
1.3.1 Périmètre de l'étude hydrologique....12
1.3.2 Périmètre de l'étude hydraulique....13
2. Contenu de l'étude....14
2.1. Phase 1 – Approche historique, synthèse bibliographique, enquêtes et visites de terrain....14
2.1.1 Synthèse bibliographique....14
2.1.2 Enquêtes....16
2.1.3 Visites de terrain....16
2.2. Phase 2 – Topographie - Exploitation et acquisition de levés topographiques et bathymétriques....17
2.2.1 Exploitation du MNT issu du LIDAR HD....17
2.2.2 Exploitation des données topographiques existantes....18
2.2.3 Acquisition de nouveaux levés topographiques et bathymétriques....18
2.3. Phase 3 – Étude hydrologique....20
2.3.1 Pluies....20
2.3.2 Hydrométrie....21
2.3.3 Débits de référence....21
2.4. Phase 4 – Modélisation hydraulique de différentes occurrences de crues et qualification des aléas de référence sans et avec prise en compte du changement climatique....23
2.4.1 Objectif :....23
2.4.2 Méthodologie....23
2.4.3 Cartographie de l'aléa....25
2.5. Phase 5 – Modélisation des zones d'inondation potentielles (ZIP) et des zones d'iso-classes de hauteurs (ZICH)....27
3. Rendu de l'étude....30
3.1. Phasage....30
3.2. Caractéristiques du rendu de l'étude....31
3.2.1 Phase 1....31
3.2.1.1 Rapport :....31
3.2.1.2 Carte informative....31

3.2.2 Phase 2 32
3.2.2.1 Note technique d'analyse de la qualité du MNT et des besoins en nouvelles données topographiques et bathymétriques 32
3.2.2.2 Format des données topographiques et bathymétriques attendu 33
3.2.3 Phase 3 33
3.2.4 Phase 4 34
3.2.4.1 Rapport 34
3.2.4.2 Annexes au rapport de phase 4 35
3.2.4.3 Cartographies de la phase 4 37
3.2.4.4 Fourniture du modèle hydraulique 37
3.2.4.5 Couches SIG de la phase 4 37
3.2.4.6 Supports de communication à destination des élus 38
3.2.5 Phase 5 38
3.2.5.1 Rapport 38
3.2.5.2 Fourniture du modèle hydraulique 39
3.2.5.3 Couches SIG 39
3.3. Documents attendus 40
3.3.1 Phase 1 40
3.3.2 Phase 2 40
3.3.3 Phase 3 40
3.3.4 Phase 4 41
3.3.5 Phase 5 41
3.4. Réunions 42
3.4.1 Réunions de travail : 42
3.4.2 Réunions avec les collectivités : 43
3.5. Délais d'exécution (AE) 43
3.6. Pénalités de retard 44
3.7. Prix 44
3.8. Propriétés des études et des documents 44
3.9. Éléments fournis par la personne publique 44
3.10. Conditions de réalisation de l'étude 45
4. Annexes 46
Annexe 3 : Formats de restitution des données géomatiques 46

Préambule

Afin d'actualiser et d'améliorer ses connaissances relatives aux débordements de la Loire, de la Borne et du Dolaizon sur le périmètre du bassin du Puy-en-Velay, la Direction départementale des territoires de la Haute-Loire (DDT43) souhaite définir la cartographie de l'aléa inondation par débordement de cours d'eau.

La méthodologie mise en œuvre s'inscrira dans le cadre des préconisations de cartographie des aléas au titre de la Directive Inondation et du décret n°2019-715 du 5 juillet 2019 relatif aux plans de prévention des risques concernant les « aléas débordements de cours d'eau et submersion marine ». Le guide méthodologique pour l'élaboration des plans de prévention des risques d'inondation (2024) sera également une source d'appui : https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/documents/Guide_méthodologique - PPRI par débordement de cours d'eau - version 2024.pdf

0. Introduction

L'État a conduit en 2013 une étude hydraulique sur 11 communes du territoire du bassin du Puy-en-Velay. Cette étude menée par le bureau d'études ARTELIA s'est intéressée aux inondations par débordement de cours d'eau de la Loire, la Borne, le Dolaizon et leurs affluents respectifs (Le Riou Foirou, le ruisseau de Ceyssac, le Riou Pezouillou, le Riou et le ruisseau de Taulhac), auxquels ont été ajoutés la Laussonne, la Gagne et la Sumène modélisées précédemment au droit de leurs confluences avec la Loire.

Le Plan de Prévention des Risques d'inondation (PPRi) relatif à cette étude a été prescrit par arrêté préfectoral en date du 27 janvier 2010 et a été approuvé par arrêté préfectoral du 28 septembre 2015.

Néanmoins, depuis 2013, il apparaît que les moyens et les connaissances techniques ont considérablement évolué, tant au niveau de la précision des modèles hydrologiques et hydrauliques que des modèles numériques de terrain (MNT) sur lesquels ils sont adossés.

Par ailleurs, le territoire a connu ces dernières années de nombreux événements d'inondation impactants pour les populations et ayant causé de nombreux dégâts, dont la crue d'octobre 2024 sur la Loire, ainsi que des phénomènes de ruissellement et de débordement sur certains de ses affluents encore très récemment (juillet 2026).

La présente étude a donc pour objectif de permettre l'amélioration de la connaissance de l'aléa inondation sur le bassin du Puy-en-Velay pour la Loire, la Borne, le Dolaizon et leurs affluents, afin notamment de prendre en compte les progrès techniques et les derniers évènements historiques, mais aussi de permettre à terme la réduction de l'exposition des biens et des personnes vis-à-vis du risque inondation par la révision du PPRi existant.

Elle concerne les 12 communes suivantes :

- Aiguilhe,
- Brives-Charensac,
- Ceyssac,
- Chadrac,
- Chaspinhac (Peyredeyre),
- Coubon,
- Espaly Saint-Marcel,
- Le Monteil,
- Le Puy-en-Velay,
- Polignac,
- Saint-Germain-Laprade,
- Vals-près-le-Puy.

1. Présentation de l'étude

1.1 Contexte

1.1.1 La politique de prévention des risques

La maîtrise de l'urbanisation en zones inondables est l'une des principales préoccupations de l'État dans la mise en œuvre de sa politique de prévention des risques, politique définie dès 1992 dans un ensemble de textes législatifs dont les principaux sont :

La loi sur l'eau du 3 janvier 1992 définit une approche globale et systémique de la gestion de l'eau sur le principe d'une complémentarité amont/aval, en introduisant la réflexion et l'action à l'échelle du bassin versant et le Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SAGE). Ces orientations ont été confirmées par la loi sur l'eau du 30 décembre 2006.

La circulaire du 24 janvier 1994 définit les grands principes du renforcement de la politique de prévention et de gestion des inondations de l'État avec pour objectifs de préserver les capacités d'écoulement et d'expansion des crues en contrôlant strictement l'extension de l'urbanisation dans ces zones et éviter tout endiguement ou remblaiement nouveau.

La loi du 2 février 1995, relative au renforcement de la protection de l'environnement définit les mesures réglementaires applicables en zone inondable selon la connaissance du risque à un moment donné et amène la prise en compte des risques dans l'aménagement et le développement du territoire, avec comme outil : Le Plan de Prévention des Risques (PPR) qui, dès son caractère exécutoire prononcé, devra être annexé aux documents d'urbanisme (PLU-PLUi) en qualité de servitude d'utilité publique (l'article L 126.1 du Code de l'Urbanisme).

Le décret n° 95-1089 du 5 octobre 1995 relatif aux Plans de Prévention des Risques Naturels Prévisibles pris en application des lois précitées fixe les modalités de mise en œuvre des PPR. et les implications juridiques de cette nouvelle procédure.

La loi du 30 juillet 2003, relative à la prévention des risques technologiques et naturels et à la réparation des dommages a pour objectifs de renforcer la concertation avec les élus et l'information de la population; prévenir les risques à la source et maîtriser l'urbanisation dans les zones à risque. Elle préconise la transformation des anciens documents de référence (PSS, PER…) en PPR.

Le décret n°2019-715 du 05 juillet 2019 relatif aux plans de prévention des risques concernant les aléas débordement de cours d'eau et submersion marine » qui précise les modalités de qualification de l'aléa de référence, ainsi que les principes généraux du zonage réglementaire et du règlement pour ce qui concerne les constructions nouvelles.

Le décret n°2026-23 du 23 janvier 2026 relatif à la trajectoire de réchauffement de référence pour l'adaptation au changement climatique qui précise la trajectoire de réchauffement de référence pour l'adaptation au changement climatique définie pour différents horizons temporels et exprimée en niveaux de réchauffement par rapport à l'ère préindustrielle.

1.1.2 Typologie des inondations sur le bassin du Puy-en-Velay

Le bassin du Puy-en-Velay et plus généralement le bassin versant de la Loire amont est concerné par des crues à cinétique rapide, souvent à caractère torrentiel, se produisant à la suite de précipitations intenses dues à des épisodes cévenols. Ces phénomènes se produisent majoritairement en automne et peuvent donner lieu à des inondations dévastatrices.

La Borne est quant à elle soumise à l'influence des épisodes de type océanique, qui ont lieu surtout en hiver et au printemps. Ces crues sont provoquées par des fronts pluvieux venant de l'océan Atlantique.

Les crues du Dolaizon, compte-tenu de la taille de son bassin versant, sont plutôt le fait d'orages localisés.

Il en est de même pour les autres petits affluents alimentant les trois cours d'eau principaux.

1.1.3 Études existantes – documents réglementaires

Le titulaire aura à sa disposition les résultats des études antérieures ou en cours, et principalement les résultats des études suivantes :

Cours d'eau étudié	Intitulé de l'étude	Année
Loire et ses affluents	Étude Hydraulique de la Loire, la Borne, le Dolaizon et de leurs Affluents sur le bassin du Puy en Velay dans le cadre de la réalisation du PPRI, ARTELIA	2011
Loire et ses affluents	Étude hydrologique de la Loire et de ses affluents, OTEIS	2021
Loire	Étude Sud Aménagement pour l'établissement du PERi	1985
Loire	Étude BCEOM sur aménagement de la traversée de Brives-Charensac	1998
Loire	Étude du CETE des zones inondables de la Loire et de la Laussonne sur la Commune de Coubon	2006
Loire	Expertise CETMEF sur les aménagements de la Traversée de Brives-Charensac de 1996 à 2002	2009

Loire	Aménagement et mise en sécurité des berges de la Loire dans la traversée du bourg de Coubon, ARTELIA	2023
Loire	Système d'endiguement de Brives-Charensac – Etude de danger, SAFEGE (Suez Consulting)	2024
Loire	Étude pré-opérationnelle de l'axe Loire et confluences principales, ANTEA Group (PEP CAPEV)	2026
Dolaizon	Étude BCEOM en vue de réduire les dégâts dus aux crues	1998
Dolaizon	Projet de renaturation du Dolaizon en secteur urbain du Puy-en-Velay, HTV/VDI ingénierie • phase 1 : diagnostic • phase 2 : proposition d'aménagements	2025
Dolaizon amont, Riou et Taulhac	Étude SAFEGE de la réduction de la vulnérabilité des biens et des personnes face aux inondations du Riou	2009
Gagne	Étude d'aléa du CETE sur la Gagne et ses affluents	2010
Sumène	Étude d'Aléa de BRL sur la Sumène et la Trende	2007
Laussonne	Étude d'aléa Sogreah sur la Laussonne	2006
Borne	Impact hydraulique du projet de skate park sur les débordements en crue de la Borne, HTV , Le Puy-en-Velay	2021
Borne	Projet de restauration morphologique d'une berge de la Borne à Aiguilhe, HTV/VDI ingénierie (réception des travaux prévue en décembre 2027)	2026
Borne	Étude pré-opérationnelle sur la Borne et ses affluents urbains, CEREG (Cotech PEP CAPEV)	2026
Farnier, ruisseau de Taulhac, Plaisance	Étude retour d'expérience suite aux événements hydrologiques de juin 2020, HTV, CAPEV	2020
Farnier, Riou Foirou et Plaisance	Études pré-opérationnelles sur les bassins versants du Farnier, Riou Foirou et du ruisseau de Plaisance, Egis (PEP CAPEV)	2026

Ces études pourront être fournies au titulaire par le maître d'ouvrage sous format informatique et/ou papier selon leur disponibilité. Les données issues des études communiquées par le maître d'ouvrage seront utilisables exclusivement dans le cadre de la présente étude.

1.1.4 Le secteur géographique concerné

Le secteur géographique concerné par l'étude hydraulique est précisé en **Annexe 1** du CCTP.

Il concerne les inondations par débordement de :

- **La Loire et ses affluents :**
  - La Loire sur un linéaire d'environ 18 km depuis l'amont de Charentus (commune de Coubon) jusqu'à Peyredeyre (commune de Chaspinhac)
  - Le ruisseau de Champs de Cros (Coubon) sur 350 m,
  - La Laussonne sur 1 km,
  - Le ruisseau de Latour sur 700 m,
  - La Gagne sur 800 m,
  - Le Riou Foirou sur 1,7 km,
  - Le Farnier sur 2,6 km,
  - Le ruisseau de Plaisance sur 1,7 km,
  - La Sumène sur 800 m ;
- **La Borne et ses affluents :**
  - La Borne sur environ 12,4 km depuis la Source des Estreys (commune de Polignac) jusqu'à sa confluence avec la Loire (commune de Chadrac),
  - Le ruisseau de Ceyssac sur 2,3 km,
  - Le Riou Pezouillou sur 1 km ;
- **Le Dolaizon et ses affluents :**
  - Le Dolaizon sur environ 4,8 km depuis Les Vigneaux (commune de Vals-près-le-Puy) jusqu'à sa confluence avec la Borne (commune de Chadrac),
  - Le Riou sur 1,5 km,
  - Le ruisseau de Taulhac sur 2,8 km.

Ces linéaires sont approximatifs, et ne tiennent pas compte des éventuelles diffluences des différents cours d'eau.

Le phénomène de ruissellement ne sera pas étudié spécifiquement dans le cadre de cette étude hydraulique.

1.1.5 Les trois cours d'eau principaux

1.1.5.1 La Loire

La Loire est le plus long fleuve de France avec une longueur totale de 1 013 km. Elle prend sa source à 1408 m d'altitude au Mont-Gerbier-de-Jonc sur la commune de Sainte-Eulalie en Ardèche. Son bassin versant de 117 000 km² occupe plus d'une cinquième du territoire français métropolitain. Elle entre dans le département de la Haute-Loire environ 15 km après sa source.

Jusqu'à son arrivée dans le bassin du Puy-en-Velay, le fleuve traverse essentiellement des gorges ou des vallées étroites. Elle a pour affluents principaux la Laussonne, la Gagne et la Sumène en rive droite, ainsi que la Borne en rive gauche en aval de l'agglomération du Puy-en-Velay.

1.1.5.2 La Borne

La Borne est un affluent de la Loire en rive gauche qui rejoint le fleuve au niveau de la commune de Chadrac, un peu en aval du Puy-en-Velay. Ce cours d'eau a une longueur d'environ 48 km et son bassin versant s'étend sur 428 km². Elle prend sa source sur le plateau granitique du Nord du département. Elle traverse des paysages ruraux de plateaux, vallées et quelques gorges avant son arrivée sur le bassin du Puy-en-Velay. La Borne présente des fluctuations saisonnières de débits assez modérées. Les crues peuvent être importantes étant donné la faible largeur de son lit et la forme allongée de son bassin versant.

Elle a pour affluents principaux en rive droite le ruisseau de Ceyssac, le Riou Pezouillou et le Dolaizon.

1.1.5.3 Le Dolaizon

Le Dolaizon prend sa source sur le plateau du Devès, à quelques kilomètres au sud du Puy-en-Velay. Il a pour principaux affluents en rive droite le Riou et le ruisseau de Taulhac. C'est une rivière fortement anthropisée sur sa partie aval, qui s'étend sur 14,8 km avec un bassin versant de 62 km². Le Dolaizon, d'abord torrent, forme la « cascade de la Roche », traverse Vals-près-le-Puy et se jette en rive droite de la Borne à l'aval du Puy-en-Velay.

1.2. Objectifs de l'étude

L'étude aura pour objectifs principaux :

- d'obtenir des valeurs caractéristiques de l'hydrologie fiables et cohérentes sur l'ensemble du bassin versant ;
- de connaître le fonctionnement hydraulique des principaux cours d'eau qui drainent le bassin versant ;
- d'aboutir à la caractérisation des aléas (pour l'événement de référence, sans et avec prise en compte du changement climatique), préalable indispensable à la révision du PPRi sur le secteur étudié ;
- d'aboutir aux enveloppes de crues et cartographies des hauteurs d'eau et des vitesses d'écoulement pour diverses occurrences et la production de cartographies des zones d'inondation potentielles (ZIP), des zones d'iso-classes de hauteurs (ZICH) et les lignes d'iso-altitude des surfaces d'eau (LIC).

Elle comprendra la réalisation en particulier :

- d'une analyse historique des crues de la Loire, de la Borne et du Dolaizon et de leurs principaux affluents ;
- de l'étude hydrologique du bassin versant et de la caractérisation des débits et hydrogrammes des cours d'eau à modéliser par le titulaire ;
- d'une modélisation hydraulique sur un linéaire total de l'ordre de 53 km, par les moyens les plus appropriés à la réalisation d'une cartographie des aléas, en particulier sur les secteurs à enjeux. La modélisation portera sur la Loire, la Borne, le Dolaizon et certains affluents selon le périmètre de l'étude fourni en **Annexe 1.** Ce périmètre sera confirmé et validé par le maître d'ouvrage avant le début de la modélisation ;
- d'une modélisation de sous-scénarios pour l'événement de référence :
    - plusieurs scénarios de défaillances structurelle et/ou fonctionnelle intégrant des brèches et/ou l'effacement de tout ou partie des digues et systèmes d'endiguement localisés à Brives-Charensac (digue domaniale) et Coubon (digue démontable) ;
    - un scénario intégrant l'obturation de certains ouvrages hydrauliques par des embâcles ;
- de cartes de zones inondables (hauteurs et vitesses d'écoulement) pour des crues de différentes occurrences définies par le maître d'ouvrage, ainsi que des enveloppes ZIP, ZICH et lignes d'iso-altitude définies par le maître d'ouvrage ;
- d'une cartographie des hauteurs d'eau pour la crue de référence et la crue prenant en compte le changement climatique ;

- d'une cartographie des vitesses d'écoulement pour la crue de référence et la crue prenant en compte le changement climatique ;
- d'une cartographie des vitesses de montée des eaux pour la crue de référence et la crue prenant en compte le changement climatique ;
- d'une cartographie de la dynamique (croisement de la vitesse d'écoulement et de la vitesse de montée des eaux) pour la crue de référence et la crue prenant en compte le changement climatique ;
- de cartes d'aléas pour la crue de référence et la crue prenant en compte le changement climatique.

Les objectifs assignés à l'étude devront être atteints grâce à une approche pragmatique et réaliste vis-à-vis des phénomènes étudiés, en tenant compte du contexte et des singularités de terrains à partir de la topographie et des données mises à disposition par le maître d'ouvrage, à savoir :

- le MNT (source IGN) issu du LIDAR-HD. Toutefois, le titulaire devra en préalable analyser et critiquer ce MNT, en particulier dans les zones à enjeux, afin de s'assurer de sa bonne exploitation et cohérence avec d'autres levés topographiques existants. À défaut, dans le cas d'anomalies substantielles constatées, le RGE-Alti pourra exceptionnellement être utilisé pour combler les zones mal définies ;
- les données topographiques (levés d'ouvrages, seuils hydrauliques, digues, etc.) et profils en travers bathymétriques existants déjà levés et exploitables ;
- **une campagne complémentaire de topographie et bathymétrie à réaliser dans le cadre de ce marché**, afin de compléter les données sur les secteurs et tronçons non levés (phase 2 de l'étude).

1.3. Périmètre de l'étude

1.3.1 Périmètre de l'étude hydrologique

L'étude hydrologique portera sur l'ensemble du bassin versant de la Loire, de la Borne et du Dolaizon.

Le titulaire recensera les études existantes et en fera une analyse critique. Il établira les débits de crue aux fréquences demandées pour les cours d'eau du bassin versant alimentant le territoire du bassin du Puy-en-Velay. Le titulaire définira les points auxquels les fréquences sont établies pour identifier les débits à injecter dans le(s) modèle(s) hydraulique(s).

Par ailleurs, le titulaire proposera une méthodologie de détermination des débits de pointes pour les petits affluents de la Loire, de la Borne et du Dolaizon.

Enfin, il devra étudier la possibilité de concomitances entre les crues de la Loire, de la Borne et du Dolaizon et leurs affluents.

1.3.2 Périmètre de l'étude hydraulique

Le titulaire réalisera des modélisations numériques sur les zones inondables des cours d'eau du périmètre indiqué dans l'**Annexe 1**.

Pour les petits affluents des 3 cours d'eau principaux, le prestataire définira la méthodologie la plus appropriée pour cartographier les aléas associés (utilisation d'un modèle unique ou de plusieurs modèles hydrauliques). Cette méthodologie devra être validée avant le lancement de la phase 4.

Le cas échéant, le prestataire veillera à apporter les éléments permettant de mettre en cohérence les différentes études existantes.

Le titulaire précisera les parties des cours d'eau qu'il envisage d'étudier en 1D et ceux en 2D et les éventuelles interactions entre les différents modèles (le cas échéant). Ces tronçons seront validés par le maître d'ouvrage avant le début de la modélisation.

Les caractéristiques de la modélisation proposée devront être adaptées aux spécificités des cours d'eau et aux enjeux présents.

Il est à noter que sur une partie non négligeable de leurs linéaires, la Loire et la Borne ne présentent pas d'enjeux, mais il est souhaité d'assurer la continuité de la modélisation hydraulique sur la totalité des cours d'eau..

Ces périmètres pourront néanmoins évoluer en fonction des constatations qui auront pu être faites lors des éventuelles visites de terrain.

2. Contenu de l'étude

Le présent marché se décline en 5 phases distinctes et successives :

1. Approche historique, synthèse bibliographique, enquêtes et visites de terrain ;
2. Topographie - Exploitation et acquisition de levés topographiques et bathymétriques ;
3. Étude hydrologique ;
4. Modélisation hydraulique de différentes occurrences de crues et qualification des aléas de référence sans et avec prise en compte du changement climatique ;
5. Modélisation hydraulique, des zones d'inondation potentielle (ZIP), des zones d'iso-classes de hauteurs (ZICH) et les lignes d'iso-altitude des surfaces d'eau (LIC)

Le contenu de chacune de ces phases est décrit ci-dessous, le rendu qui devra en être fait est décrit dans le chapitre « Rendu de l'étude ».

2.1. Phase 1 – Approche historique, synthèse bibliographique, enquêtes et visites de terrain

2.1.1 Synthèse bibliographique

Pour l'ensemble des cours d'eau étudiés, le titulaire devra rassembler toutes les informations utiles à la compréhension du risque inondation sur le bassin versant considéré.

Le titulaire rassemblera les données générales relatives au bassin versant :

- climatologie, caractéristiques géographiques principales du bassin versant ;
- facteurs conditionnant le ruissellement : perméabilité liée à la lithologie, pouvant induire des réponses atypiques (forte infiltration avec réponse en tout ou rien), occupation des sols, évolutions passées ou en cours ;
- facteurs anthropiques modifiant les ruissellements et les écoulements (barrages ou retenues d'eau, ponts, remblais, recalibrages, systèmes d'endiguements, busages…) ;
- les ouvrages en lien avec la gestion hydraulique (barrages, bassins d'orage, systèmes d'endiguement, fossés hydrauliques…) ;
- les zones d'écoulement, de débordement, et de ruissellements connues.

Il procédera à la recherche des évènements historiques pour lesquels le niveau d'aléa ou l'importance des dommages ont marqué le bassin versant et pour lesquels des données utiles soit à la détermination de l'aléa, soit au calage du modèle hydraulique sont potentiellement disponibles.

En particulier la crue récente du 17 octobre 2024, documentée de manière importante, devra être spécifiquement étudiée. Les crues plus anciennes du 21 septembre 1980 et des 2 et 3 novembre 2008 devront également être analysées finement.

Pour chaque événement retenu, le prestataire fera le point avec le maître d'ouvrage et exploitera la documentation disponible :

- date de l'événement ;
- informations relatives aux pluies : stations de mesures, hyétogrammes et épicentres, intensités, cumuls, durée et forme de l'épisode pluvieux, état initial des sols ;
- informations relatives aux débits : hydrogrammes (si existants) ou estimations de débits, occurrence présumée ;
- zone inondée et dégâts recensés ;
- plus hautes eaux (PHE) connues et repères de crues ; les PHE et repères de crue relevés dans le cadre de l'étude qui ne seraient pas recensés dans la Base Nationale des Repères de Crue feront l'objet d'une fiche signalétique qui sera jointe au rapport final (cf. exemple de fiche jointe en **Annexe 2**) et versés dans la base de données nationale. De plus, des repères de crues, levés par le maître d'ouvrage seront mis à disposition du titulaire ;
- retours d'expérience post-évènement.

Le titulaire réalisera une analyse critique des études qui lui sont fournies, notamment les études hydrologiques et/ou hydrauliques menées par les bureaux d'études ARTELIA (2011) et OTEIS (2021) sur la Loire et ses affluents, ou encore l'étude pré-opérationnelle sur la Borne et ses affluents urbains (CEREG, 2026, en cours), afin d'identifier les données exploitables dans le cadre de la présente étude. Il fournira un rapport de synthèse, avec en annexe une fiche pour chacune des études. Le modèle de fiche proposé par le titulaire du présent marché sera soumis à l'accord de la DDT43.

L'analyse portera notamment sur la topographie réutilisable, les données hydrologiques pertinentes, les données historiques valorisables.

Le travail de collecte de données s'effectue également auprès du Service de prévision des crues Loire Allier Cher Indre (SPC LACI) et auprès des collectivités et des services concernés tels que les communes, le Conseil départemental de la Haute-Loire, la communauté d'agglomération du Puy-en-Velay, l'EPAGE Loire-Lignon, la DREAL Auvergne-Rhône-Alpes, l'IGN, la Chambre d'Agriculture, la Fédération de la Région Auvergne pour la nature et l'environnement, etc.

Les données de pluies seront à récupérer auprès de Météo France (https://meteo.data.gouv.fr/) et du SPC LACI (images Radar de pluies par exemple). Les données devront être critiquées. Une attention

particulière devra être portée par le titulaire quant à la récupération des données qui devra être anticipée au maximum pour ne pas retarder le délai de l'étude (à convenir au moment de la réunion de lancement).

Le titulaire exploitera également la documentation disponible sur les sites web tels que :

- le site web Hydroportail : http:// hydro.eaufrance.fr/
- le site web des documents en ligne de la BNF : http://gallica.bnf.fr/
- le site web de publications dans le domaine de l'histoire, de la géographie… : http://www.persee.fr
- les études menées dans le cadre des PPRi (aléa de référence) ;
- les études en lien avec des projets d'aménagement des cours d'eau ;
- les études spécifiques intégrant un volet historique (EDD…) ;
- les recueils de témoignages sur les inondations ;
- les données par événements disponibles au sein du SPC LACI et DDT 43 (relevés limnimétriques, hydrogrammes, photos, notes et synthèses diverses, dossiers de presse…) ;
- les archives départementales ;
- les archives municipales.

2.1.2 Enquêtes

Une enquête sera réalisée auprès des 12 communes pour les études hydrauliques et auprès de la Communauté d'agglomération du Puy-en-Velay (CAPEV) afin de rassembler des informations complémentaires utiles à la compréhension du risque inondation sur le secteur d'étude, notamment les études et données topographiques, informations sur les crues passées (date, hauteurs d'eau, dégâts subis, mode de propagation…). Les éléments issus de cette enquête seront communiqués au maître d'ouvrage.

Une enquête sera réalisée aux archives départementales de façon à identifier tout élément historique utile à la compréhension des phénomènes.

Le guide d'entretien des enquêtes sera proposé au maître d'ouvrage qui le validera. Un compte-rendu de chaque entretien sera joint au rapport d'étude.

2.1.3 Visites de terrain

Elles auront pour objectifs :

- documenter et illustrer chaque secteur et notamment les points singuliers, pour les volets hydrométrie, topographie, hydraulique ;
- vérifier et mettre en cohérence les données recueillies auprès des services, les compléter ponctuellement si nécessaire ;
- repérer et documenter d'éventuelles marques et gravures des niveaux d'eau atteints par les crues historiques.

Lors des visites de terrain, seront précisés par anticipation de la phase 2 la position et le nombre de profils en travers et ouvrages hydrauliques complémentaires à lever (cette donnée sera géo-référencée et devra figurer dans une donnée SIG associée). Le titulaire précisera notamment les levés d'ouvrages à effectuer en complément de ceux déjà réalisés par le maître d'ouvrage (cf. chapitre relatif à la topographie).

Le maître d'ouvrage accordera la plus grande attention au respect des délais contractuels par le titulaire. C'est pourquoi il est attendu de la part du titulaire qu'il anticipe au plus tôt les visites de terrain (prévue en phase 1) et les premières étapes de vérification et validation des données topographiques et bathymétriques existantes (prévues en phase 2), afin de pouvoir définir puis réaliser le plus rapidement possible les levés topographiques et bathymétriques complémentaires nécessaires pour la construction du modèle hydraulique.

Le candidat précisera, dans son offre, la méthode utilisée et la forme du rendu relatives à la reconnaissance de terrain.

À la fin de cette phase 1, le titulaire pourra proposer (en les justifiant) des ajustements concernant le périmètre d'étude précisé en **Annexe 1** du présent CCTP ou les choix de modélisation (1D ou 2D) qui devront être soumis à la validation du maître d'ouvrage.

2.2. Phase 2 – Topographie - Exploitation et acquisition de levés topographiques et bathymétriques

2.2.1 Exploitation du MNT issu du LIDAR HD

Le Modèle Numérique de Terrain (MNT) ne sera pas fourni directement par le maître d'ouvrage. Le titulaire du présent marché devra le récupérer auprès de l'IGN, téléchargeable à l'adresse suivante :

https://cartes.gouv.fr/telechargement/IGNF_MNT-LIDAR-HD

Le titulaire aura également la possibilité d'utiliser à titre exceptionnel la donnée RGE-Alti critiquée si, après justifications, il estime que celle-ci est plus pertinente pour la construction du ou des modèle(s) hydraulique(s) .

Le titulaire devra mettre en œuvre tous les moyens nécessaires de contrôle et d'expertise pour s'assurer que le MNT issu du LIDAR HD soit exploitable et fiable. Ceci se fera par comparaisons avec les données topographiques et bathymétriques disponibles par échantillonnage. Pour ce faire, le titulaire pourra également utiliser l'outil du CEREMA (https://github.com/CEREMA/filino).

2.2.2 Exploitation des données topographiques existantes

Différentes campagnes de levés topographiques et bathymétriques ont été menées par le passé, couvrant une grande part des besoins en matière de données topographiques (ouvrages) et bathymétriques sur les cours d'eau principaux (Loire, Borne, Dolaizon). Les fichiers informatiques des prestations réalisées seront mis à disposition du titulaire par le maître d'ouvrage.

Le titulaire devra identifier les levés complémentaires indispensables à l'étude, notamment sur les affluents à étudier, dont certains n'ont fait l'objet d'aucun levé topographique et bathymétrique à ce jour.

Pour cela, le titulaire devra :

- **préciser l'ensemble des secteurs sur lesquels l'information topographique de précision est nécessaire** afin de garantir la qualité de ses résultats et de ses analyses hydrauliques : secteurs à enjeux, principales zones d'expansion de crue (ZEC), secteurs de confluence, ouvrages conditionnant l'écoulement en crue tels que les digues, remblais, ouvrages de franchissement ou souterrains…
- **proposer au maître d'ouvrage une implantation et un nombre de profils en travers, d'ouvrages** conditionnant les écoulements ou de protection afin de garantir la qualité des études à mener, suite à l'approche historique, comme indiqué en fin de phase 1.

Cependant, dans un souci d'optimisation des dépenses de l'État et de respect des délais contractuels du marché, il est demandé au futur prestataire de réutiliser et exploiter au maximum les données topographiques et bathymétriques déjà disponibles, l'acquisition de nouvelles données permettant seulement de compléter les secteurs essentiels dépourvus de données ou nécessitant des compléments.

2.2.3 Acquisition de nouveaux levés topographiques et bathymétriques

Cette étape de la phase 2 a pour objectif de définir les spécifications et les conditions d'exécution des travaux topographiques et bathymétriques nécessaires à la réalisation de la cartographie de l'aléa inondation sur le périmètre d'étude.

Ces levés viendront compléter les levés topographiques et bathymétriques déjà existants, ainsi que les données topographiques déjà disponibles en lit majeur (levé LIDAR). Ils seront exploités pour la construction d'un modèle hydraulique.

Les travaux à réaliser sont conduits selon les règles de l'art. Les méthodes et le matériel utilisés sont laissés aux soins du titulaire. Ils doivent cependant satisfaire aux exigences de précision et de restitution nécessaires pour la modélisation. Dans cet objectif, une précision de l'ordre de 2 à 3 cm en planimétrie et en altimétrie est attendue.

Les différents travaux à effectuer dans le cadre de ce marché par le titulaire dans la zone d'étude comprennent :

- le levé de profils en travers de lits mineurs de cours d'eau,
- le levé d'ouvrages hydrauliques de franchissement,
- le levé d'ouvrages hydrauliques de régulation (seuils, vannages…),
- le levé terrestre d'éléments ponctuels : tampons de collecteurs importants pouvant avoir un impact sur l'écoulement des eaux, repères de crue…
- la fourniture des plans, graphiques et fichiers informatiques.

Il est laissé au prestataire en charge de la réalisation du modèle hydraulique, le soin de définir le nombre, l'espacement et les différentes caractéristiques des levés qui lui seront nécessaires pour la bonne mise en œuvre du modèle. **Néanmoins, la justification de ces choix devra être présentée au maître d'ouvrage et validée par celui-ci avant les relevés sur le terrain**.

Toutefois, au vu de l'historique des crues, les relevés topographiques sur la Loire, en dehors du centre bourg de Brives-Charensac, sont à prévoir (environ 90 profils en travers et 10 ouvrages).

En ce qui concerne les affluents, au vu des données topographiques existantes, le maître d'ouvrage estime qu'il faut prévoir 75 relevés en travers complémentaires et prendre en compte environ 25 ouvrages.

Le prestataire se rapprochera des différents gestionnaires de voiries, préalablement à la réalisation des levés topographiques. Le titulaire réalisera un bilan de la topographie fournie et précisera au maître d'ouvrage les compléments topographiques nécessaires. Les précisions topographiques complémentaires permettront d'affiner localement la pertinence des zones inondables (profil en travers, relevé de laisses de crue…).

2.3. Phase 3 – Étude hydrologique

L'objectif de cette étape est de déterminer les hypothèses hydrologiques qui seront utilisées pour la modélisation hydraulique et au droit des stations hydrométriques existantes : débits de projet et hydrogrammes de projet et périodes de retour des crues observées. Une analyse hydrologique de la Loire et ses affluents a été réalisée dans le cadre de l'étude menée par le bureau d'études OTEIS en 2021-2023. Cette étude à l'échelle du bassin versant reste l'étude hydrologique la plus aboutie et récente menée à ce jour sur le périmètre de l'étude. Les résultats et le contenu de l'étude seront fournis au titulaire, pour analyse critique de sa part. Les principales hypothèses et résultats de cette étude seront confrontés aux données issues des dernières crues observées sur le territoire, notamment la crue du 17 octobre 2024 sur la Loire et ses affluents.

Les données issues de l'étude OTEIS et dans une moindre mesure celles de l'étude d'ARTELIA (2011) ayant permis l'élaboration du PPRI actuel devront être analysées, critiquées et éventuellement réévaluées.

En ce qui concerne les plus petits affluents, il appartient au titulaire du présent marché de proposer une analyse hydrologique avec plusieurs méthodes. Il confrontera les résultats à ceux des études précédentes et proposera les débits à retenir pour l'étude hydrologique.

Les chapitres suivants précisent la démarche qui sera attendue du prestataire pour traiter des trois volets pluies, hydrométrie et débits.

Les résultats obtenus correspondront aux données hydrologiques en version v0. Leur bien-fondé sera vérifié lors du calage et de l'analyse de sensibilité du modèle hydraulique au vu des données historiques, et pourront alors être rectifiés si nécessaire.

2.3.1 Pluies

Le titulaire exploitera les pluies historiques génératrices des crues les plus marquantes.

Rappel : les données de pluie (pluviomètres et radars) seront à récupérer par le titulaire auprès de Météo France (https://meteo.data.gouv.fr/) ou via le SPC LACI (cf. 2.1.1).

Il étudiera, après accord du maître d'ouvrage, les structures des pluies pour plusieurs épisodes pluvieux récents identifiés lors de l'étude historique, notamment l'épisode d'octobre 2024.

Pour l'estimation des quantiles statistiques, le bureau d'étude pourra s'appuyer sur les valeurs pluie/durée/fréquence issues de la méthode SHYREG (Météo France/IRSTEA). À noter que des statistiques sont également disponibles au droit des pluviomètres Météo France (licence de rediffusion nécessaire – anticiper les délais).

Il construira des hyétogrammes de projet en prenant en compte un abattement spatial des pluies (qui sera justifié sur la base de l'analyse météorologique des évènements majeurs sur le secteur d'étude).

Pour définir l'événement de référence, le prestataire proposera une méthodologie la plus adaptée possible à la problématique du secteur en tenant compte des spécificités du bassin versant.

Le titulaire devra préciser les stations météorologiques ayant servi de référence.

2.3.2 Hydrométrie

Le SPC Loire Allier Cher Indre dispose de plusieurs stations hydrométriques sur et en amont du bassin du Puy-en-Velay pour le suivi des débits :

- Sur la Loire et ses affluents :
  - Station K010002010 – La Loire à Goudet
  - Station K026001002 – La Loire à Chadrac - Pont du Monteil
  - Station K011403001 – La Gazeille à Chadron - Colempce Bas
  - Station K013401001 – La Laussonne à Lantriac - Pont de Moulines
  - Station K021401001 – La Gagne à Saint-Germain-Laprade - Les Pandraux
  - Station K027401002 – La Sumène à Blavozy - Le Bourg
- Sur la Borne :
  - Station K024301001 – La Borne à Saint-Paulien - La Rochelambert
  - Station K025302002 – La Borne à Aiguilhe
- Sur le Dolaizon :
  - Station K025801001 – Le Dolaizon à Vals-près-le-Puy - Les Vigneaux

Au travers de la modélisation hydraulique, une approche théorique de courbe de tarage sera proposée sur les sites des stations hydrométriques, et comparée aux courbes de tarages opérationnelles. Une comparaison supplémentaire pourra être réalisée avec les courbes issues de Baratin (études à récupérer auprès de l'unité hydrométrique de la DREAL Centre Val de Loire).

2.3.3 Débits de référence

Sur les bassins versants instrumentés, le titulaire comparera au moins 3 méthodes différentes (dont a minima une méthode d'ajustement utilisant les données hydrométriques et une comparaison aux Quantiles issus de la méthode Shyreg).

Une comparaison devra être faite avec les données d'Hydroportail en précisant la pertinence de ces données.

Sur les sous-bassins des petits affluents, non instrumentés, les calculs de débit de référence pourront être limités à une évaluation par des méthodes classiques de prédétermination, etc., sous réserve qu'ils soient correctement justifiés avec une comparaison motivée de résultats d'au moins 2 méthodes classiques d'ingénierie (type méthode Rationnelle, abaque Sogreah, méthode Crupedix, formule de Myer, etc.).

Le titulaire veillera notamment à intégrer dans cette approche les caractéristiques des sols en présence (nature, saturation, imperméabilité, urbanisation, ouvrages, réseaux…) et proposera une approche qui sera validée par le maître d'ouvrage.

Le bureau d'étude étudiera la fiabilité et la robustesse des différentes méthodologies retenues notamment à travers une analyse de sensibilité des principales grandeurs expliquant les écoulements : coefficient de ruissellement, temps caractéristiques, saturation initiale du bassin…

Une présentation des temps de concentration et des temps de réactions des différents sous-bassins sera également argumentée et réalisée.

Les résultats de calculs de débits obtenus (débits de pointe et hydrogrammes à injecter dans le modèle hydraulique) seront comparés à ceux estimés dans les études existantes et leur validité sera justifiée si possible avec des événements historiques connus comme celui d'octobre 2024 (cela sera également effectué en phase 4 par rapport à la capacité hydraulique des cours d'eau et des ouvrages hydrauliques existants). Les écarts éventuels devront être analysés, critiqués et justifiés.

Une analyse spécifique, fondée sur une approche pragmatique, sera portée sur différents points singuliers, notamment, toutes les confluences des cours d'eau et influence des phénomènes éventuels de concomitance des crues (particulièrement la confluence de la Borne avec la Loire). Les hypothèses retenues au niveau des confluences devront être explicitées.

Cette analyse devra notamment permettre d'arrêter, dans un souci d'homogénéité pour chaque cours d'eau, les débits caractéristiques de référence à prendre en compte dans la suite de l'étude :

Q2, Q5, Q10, Q20, Q30, Q50, Q100, Qref si différente de Q100, Q1000 et Qref_cc en prenant en compte le changement climatique (selon les instructions du futur arrêté de la direction générale de la prévention des risques – DGPR - à venir), en prévoyant une majoration des débits des cours d'eau en tenant compte du changement climatique avec les hypothèses de la trajectoire de réchauffement de référence pour l'adaptation au changement climatique (TRACC). Le maître d'ouvrage fournira l'ensemble des éléments nécessaire au titulaire lorsqu'ils seront à sa disposition.

Par ailleurs, 6 scénarios hydrologiques seront spécifiquement traités pour les besoins de production des cartographies ZIP/ZICH/LIC, en lien avec le SPC LACI.

L'étude hydrologique devra aussi proposer une qualification des crues historiques connues sur le bassin.

Au final, quelles que soient les méthodes mises en œuvre, le prestataire devra veiller à justifier leur fondement théorique et leur validité. Ainsi l'évaluation des débits caractéristiques devra résulter de l'analyse de l'ensemble des données historiques observées intégrant les évènements hydro-météorologiques les plus récents. S'il existe des hétérogénéités sur les résultats finaux, suivant l'approche retenue et les débits historiques connus, le titulaire devra les expliquer et justifier au final les débits ou hydrogrammes qu'il propose au maître d'ouvrage de retenir. Un résumé non technique exposera clairement et simplement la démarche mise en œuvre et les choix effectués, et devra être aisément accessible par un public non spécialiste.

2.4. Phase 4 – Modélisation hydraulique de différentes occurrences de crues et qualification des aléas de référence sans et avec prise en compte du changement climatique

2.4.1 Objectif :

Dans les secteurs définis au chapitre 1.3 « périmètre d'étude », il s'agit de réaliser une simulation des écoulements des cours d'eau pour les 10 scénarios de crues suivants : Q2, Q5, Q10, Q20, Q30, Q50, Q100, Qref si différente de Q100, Q1000 et Qref_cc en prenant en compte le changement climatique.

En fonction de la configuration des lieux et des enjeux présents, le candidat devra déterminer dans son offre le type de modélisation approprié (1D ou 2D) et le justifier, afin d'identifier au plus juste et au vu des enjeux présents : les hauteurs, vitesses d'écoulement, vitesse de montée des eaux, dynamique et les chenaux d'écoulements préférentiels, en tous points du lit majeur.

En tout état de cause, seront à minima modélisées en 2D les secteurs urbains de l'agglomération du Puy-en-Velay et les secteurs de confluence Dolaizon / Borne et Borne / Loire.

Le titulaire réalisera une modélisation en régime transitoire. En cas de difficulté ponctuelle (par exemple problématique de stabilité numérique du modèle en lien avec les pentes forte des cours d'eau) le prestataire devra en informer la DDT et faire des propositions (avec une évaluation des conséquences).

2.4.2 Méthodologie

Le titulaire, sur la base de l'hydrologie validée lors de l'étape précédente, construira un ou plusieurs modèle(s) hydraulique(s) ou si cela s'avère nécessaire pour chaque cours d'eau étudié (dans ce dernier cas, il devra prendre en compte les confluences aux interfaces des différents modèles).

Dans un souci de facilité d'exploitation et de réutilisation, le candidat utilisera prioritairement un **logiciel gratuit** qu'il proposera au maître d'ouvrage (HEC-RAS, TELEMAC, etc…).

Il précisera, pour le logiciel proposé, les avantages et inconvénients pour le maître d'ouvrage (ergonomie de l'interface, facilité de prise en main, temps de calcul, possibilités offertes, impacts sur les délais de réalisation de l'étude…).

Le titulaire définira et justifiera les paramètres de calage spécifiques à chaque situation : justification des crues de calage, géométrie, rugosité, points singuliers, obstacles, pertes de charge, zones d'expansion de crue… et il explicitera autant que faire se peut les écarts aux valeurs usuelles.

Il réalisera des tests de sensibilité aux données d'entrée et aux conditions aux limites : hydrogrammes (débit de pointe injectés, volumes des hydrogrammes injectés…), rugosité et coefficients de pertes de charges linéaires et singulières, condition limite aval de la Loire, qu'il lui appartiendra de présenter dans son offre.

Il veillera à la cohérence des résultats avec les données collectées lors de l'approche historique et procédera, le cas échéant, à une vérification sur le terrain. Dans l'hypothèse ou les crues génèrent plusieurs chenaux d'écoulements, le modèle devra permettre d'identifier les débits, les hauteurs et les vitesses propres à chaque chenal. Les profils devront rendre compte d'éventuelles différences de niveaux.

Dans la mesure où les données disponibles concernant les crues historiques le permettent, le titulaire veillera au calage du modèle vis-à-vis de celles-ci. Il s'assurera notamment que les données hydrologiques retenues sont cohérentes, et pourra les rectifier si nécessaire, en justifiant les choix effectués. La comparaison des cotes calculées avec les différents éléments issus des crues historiques sera systématiquement réalisée. Les incertitudes, les imprécisions et toutes les interrogations quant à la validité des résultats obtenus seront clairement explicitées.

Une attention particulière sera apportée aux zones de confluence où seront cumulés les débits de chaque cours d'eau. Les hypothèses de concomitance seront étudiées et soumises à validation par le maître d'ouvrage. L'architecture du modèle devra permettre de définir les limites d'influence entre le cours d'eau principal et les affluents étudiés.

Les terrains protégés par des ouvrages (digues, merlons, murs, etc.) seront considérés comme restant soumis aux aléas, c'est-à-dire vulnérables. Ainsi, devra être intégrée la défaillance structurelle et/ou fonctionnelle des ouvrages de protection et des systèmes d'endiguement pour les scénarios de référence (sans et avec prise en compte du changement climatique selon les modalités du futur arrêté DGPR en s'appuyant sur les données de la TRACC). Ainsi, le titulaire devra prévoir dans son offre plusieurs scénarios de défaillance pour les ouvrages et systèmes d'endiguement déjà identifiés : la digue domaniale de Brives-Charensac (classée en système d'endiguement) et la digue de protection démontable à Coubon.

Par ailleurs, un scénario spécifique intégrant la présence d'embâcles en amont de certains ouvrages (à définir sur proposition du titulaire et à valider par le maître d'ouvrage) sera modélisé sur la base des hypothèses hydrologiques de l'événement de référence.

Le bureau d'études précisera dans son offre :

- le logiciel de modélisation hydraulique qu'il utilisera,
- la méthode qu'il emploiera pour le calage du modèle,
- la méthode et les tests de sensibilité qu'il réalisera,
- la composition et l'expérience de l'équipe projet pour ce type d'étude ,
- le temps et les moyens dévolus à chaque phase de l'étude,
- l'expérience que le chargé d'études a dans l'utilisation du logiciel utilisé pour la définition des zones inondables,
- le temps et les moyens mis en œuvre qu'il réserve à chacune des tâches,
- les supports utilisés pour les différents rendus et réunions.

2.4.3 Cartographie de l'aléa

Le titulaire produira, pour les crues de référence sans et avec prise en compte du changement climatique, une cartographie des hauteurs d'eau, une cartographie des vitesses d'écoulement, une cartographie de vitesse de montée des eaux, une cartographie de la dynamique retenue (croisement vitesse d'écoulement et vitesse de montée des eaux) ainsi que la cartographie finale (aléas) : les cartographies d'aléas représenteront l'ensemble des scenarii (défaillances d'ouvrages de protection, scénario avec prise en compte des embâcles, etc.) en retenant, pour l'ensemble du périmètre d'étude, l'emprise totale issue de l'addition des emprises des différents scénarios. Parmis ces scénarios, l'un d'eux devra prévoir une forte présence d'embâcles. À cette fin, le prestataire devra identifier les ouvrages les plus propices à l'accumulation d'embâcles (par exemple en utilisant le retour d'expérience des crues passées) et proposera des hypothèses d'obstruction. Les isocotes devront également être représentées. Par ailleurs, le prestataire produira des cartographies permettant d'apprécier l'évolution de l'emprise des zones inondables issues des précédentes études et le nouvel aléa issu de la présente étude.

L'offre précisera la méthodologie de passage des résultats hydrauliques à la cartographie de l'aléa.

La méthodologie veillera à éviter de représenter des bords de zones inondables ou de classes de hauteurs découpés selon les mailles du modèle hydraulique. Dans les parties modélisées en 1D, le titulaire veillera à la continuité de la représentation de l'aléa (le lit mineur, notamment devra toujours être en eau) par un post-traitement manuel si cela s'avère nécessaire.

L'offre précisera les post-traitements mis en œuvre :

- traitement du lit mineur ;
- traitement des têtes de bassins versants et points d'injection de débit ;
- traitement éventuel des zones non connectées à la zone inondable principale ;
- liaisons entre les parties modélisées en 1D et 2D ;

- méthodes de lissage et de simplification des enveloppes vecteurs.

Qualification de l'aléa.

Les résultats des différentes modélisations devront permettre d'identifier les différents niveaux d'aléa sur l'ensemble de la zone inondable de ces secteurs. Conformément au décret du 5 juillet 2019, ceux-ci sont déterminés à partir du croisement entre les différentes classes de hauteurs d'eau et les classes de dynamique d'écoulement. La dynamique est déterminée par le croisement entre la vitesse d'écoulement et la vitesse de montées des eaux. La dynamique liée à la combinaison de la vitesse d'écoulement de l'eau et de la vitesse de montée des eaux est qualifiée suivant trois classes :

« lente », « moyenne » et « rapide ».

Au regard des caractéristiques de la Loire, de la Borne, du Dolaizon et de leurs affluents, il est estimé en première approche que la vitesse de montée des eaux est rapide. Le titulaire devra définir la vitesse de montée des eaux par cours d'eau.

— Dans les secteurs modélisés en 2D, les vitesses d'écoulement peuvent être définies sur l'ensemble de la zone inondable.

Dans ce cas, la dynamique d'écoulement[1] est évaluée de la manière suivante :

		Vitesse de montée des eaux (V_m)	
		Faible (montée lente) *(par exemple V_m<0,15 m/h*)*	**Élevée** (montée rapide) *(par exemple V_m>0,15 m/h*)*
Vitesse d'écoulement (V_e)	**Faible** (écoulement lent) *(0<V_e<0,5 m/s)*	Dynamique lente	Dynamique moyenne
	Moyenne *(0,5 m/s<V_e<1 m/s)*	Dynamique moyenne	Dynamique rapide
	Élevée (écoulement rapide) (1 m/s<V_e)	Dynamique rapide	Dynamique rapide

** valeur à expertiser en fonction du contexte local par le bureau d'études*

En croisant la matrice de dynamique ci-dessus avec la matrice hauteurs tel que cela est prévu par le décret du 5 juillet 2019, on obtient, la grille d'aléa suivante :

[1] la vitesse d'écoulement maximale peut ne pas intervenir au même moment que la vitesse de montée des eaux maximale. Il faudrait analyser au fil de la simulation le croisement Ve x Vm .

Vitesse de montée des eaux et capacité de réaction	< 15 cm/h *			≥ 15 cm/h *		
Vitesse d'écoulement	V ≤ 0,5 (m/s)	0,5 < V ≤ 1 (m/s)	V > 1 (m/s)	V ≤ 0,5 (m/s)	0,5 < V ≤ 1 (m/s)	V > 1 (m/s)
Dynamique caractérisée	lente	moyenne	rapide	moyenne	rapide	rapide
H ≤ 0,2 m	Faible	Modéré	Modéré	Modéré	Modéré	Modéré
0,2 m < H ≤ 0,5 m	Faible	Modéré	Fort	Modéré	Fort	Fort
0,5 m < H ≤ 1 m	Modéré	Modéré	Fort	Modéré	Fort	Fort
1 m < H ≤ 2 m	Fort	Fort	Très fort	Fort	Très fort	Très fort
H > 2 m	Très fort	Très fort	Très fort	Très fort	Très fort	Très fort

** valeur à expertiser en fonction du contexte local par le bureau d'études*

— Dans les secteurs modélisés en 1D, la dynamique (croisement vitesse de montée des eaux – vitesse d'écoulement) ne peut pas être réellement qualifiée à l'aide des outils numériques.

Si le titulaire choisit cette méthode, il devra ainsi réaliser une analyse des écoulements tenant compte du fonctionnement hydraulique des cours d'eau afin de proposer une éventuelle évaluation qualitative des vitesses de montée permettant, le cas échéant, d'identifier une vitesse de montée des eaux faible ou rapide. La grille d'aléa sera la même.

2.5. Phase 5 – Modélisation des zones d'inondation potentielles (ZIP) et des zones d'iso-classes de hauteurs (ZICH)

L'élaboration des cartographies des ZIP / ZICH ne concerne que les cours d'eau surveillés. Chaque ZIP / ZICH caractérise un scénario hypothétique d'inondation correspondant à une hauteur d'eau atteinte à l'échelle d'une station hydrométrique de référence.

Cette modélisation, qui exploitera le modèle hydraulique réalisé dans le cadre de la phase 4 porte uniquement sur les trois cours d'eau principaux (Loire, Borne et Dolaizon). Le découpage en tronçons influencés par une station de référence sera précisé par le maître d'ouvrage, en lien avec le SPC LACI.

Les scenarii hydrologiques devront être définis avec le maître d'ouvrage et devront être a minima au nombre de 6 au total par cours d'eau modélisé et par station de référence.

Les stations hydrométriques qui feront l'objet de production de cartographies ZIP / ZICH sont les suivantes :

- <u>Sur la Loire et ses affluents :</u>
  - Station K026001002 – La Loire à Chadrac - Pont du Monteil
- <u>Sur la Borne :</u>
  - Station K025302002 – La Borne à Aiguilhe

- Sur le Dolaizon :
    - Station K025801001 – Le Dolaizon à Vals-près-le-Puy - Les Vigneaux

Le titulaire produira, pour l'ensemble des scénarios, une cartographie des zones d'inondation potentielles (ZIP), des zones d'iso-classes de hauteur (ZICH) et les lignes d'iso-altitude des surfaces d'eau (LIC).

En cas de besoins supplémentaires nécessaires dans le cadre de la définition des zones inondables potentielles, des nouvelles simulations pourront être rajoutées (prix supplémentaire à renseigner dans le bordereau des prix).

L'offre précisera la méthodologie de passage des résultats hydrauliques à la cartographie des ZIP et des ZICH.

Il est rappelé ici que pour la production des cartographies des ZIP/ZICH, les ouvrages de protection de type systèmes d'endiguement sont considérés comme non défaillants. Dans ce cas, les zonages « derrière digues » pourront être représentés. Ils correspondent à une zone d'incertitudes, où la protection ou l'inondation de la zone dépendent du fonctionnement de l'ouvrage et pas seulement de la crue dans le cours d'eau.

La méthodologie veillera à éviter de représenter des bords de zones inondables ou de classes de hauteurs découpés selon les mailles du modèle hydraulique. Dans les parties modélisées en 1D, le titulaire veillera à la continuité de la représentation de l'aléa (le lit mineur, notamment devra toujours être en eau) par un post-traitement manuel si cela s'avère nécessaire.

L'offre précisera les post-traitements mis en œuvre :

- traitement du lit mineur ;
- traitement des têtes de bassins versants et points d'injection de débit ;
- traitement éventuel des zones non connectées à la zone inondable principale ;
- liaisons entre les parties modélisées en 1D et 2D ;
- méthodes de lissage et de simplification des enveloppes vecteurs. Les couches produites devront respecter les limites de densité définies par **Viginond**.

Chaque scénario de zone d'inondation potentielle devra comprendre 3 couches SIG :

- **ZICH** : classes de hauteurs d'eau, tous les 50 cm jusqu'à une classe " supérieure à 2 m", soit au total 5 classes de hauteurs. La couche comprendra a minima les champs "hauteur_min" et "hauteur_max". Des zones d'incertitude peuvent également être intégrées dans les ZICH. Elles représentent les zones qui pourraient être inondables mais pour lesquelles l'inondation n'est pas certaine (revanche faible avant surverse par-dessus un remblai, mise en place d'un écoulement secondaire, présence hypothétique d'une canalisation, etc.). Ces zones seront identifiées avec "hauteur_min" = 0 et "hauteur_max" = 9999999 ;

- **ZIP** : enveloppe de l'inondation. Cette couche doit être générée à partir de la couche ZICH finale, par fusion de toutes les classes de hauteur et des éventuelles zones d'incertitudes. La couche comprendra a minima les champs "code_scenario" et "debit" (champ textuel précisant les débits aux points caractéristiques du domaine modélisé) ;
- **LIC** : les lignes d'iso-altitudes, tous les 25 cm, calculées à partir de la surface d'eau modélisée. La couche comprendra a minima un champ "cote".

Le format **Viginond** impose des géométries valides. Chaque couche ne devra présenter aucune auto-intersection, aucun espace inférieur à 1 m², ni aucune erreur géométrique. Le producteur devra contrôler la validité géométrique et topologique de chaque couche, avec un outil au moins aussi performant que l'outil "vérificateur de géométries" de QGIS.

Par ailleurs, le format **Viginond** impose des limitations de taille pour les données, à travers des seuils maximaux sur le ratio entre le nombre de points et la longueur des entités géométriques (somme de la longueur de tous les segments). Le producteur devra livrer des couches respectant ce ratio. Un lissage des couches peut être réalisé par différents outils, notamment le plugin cartoZI du réseau Vigicrues :

- **ZICH ou ZIP (polygones) :**
  - Seuil de blocage de l'importation : 0,5 point par mètre linéaire, soit 1 point décrit en moyenne 2 mètres linéaires,
  - Seuil d'avertissement à l'importation : utilisateur 0,15 point par mètre linéaire, soit 1 point décrit en moyenne 6,67 mètres linéaires ;
- **LIC (polylignes)**
  - Seuil de blocage de l'importation : 0,05 point par mètre linéaire, soit 1 point décrit en moyenne 20 mètres linéaires,
  - Seuil d'avertissement à l'importation : 0,02 point par mètre linéaire, soit 1 point décrit en moyenne 50 mètres linéaires.

3. Rendu de l'étude

Le marché est subdivisé en 5 phases décrites au chapitre précédent (approche historique, topographie, étude hydrologique, modélisation et qualification des aléas, production des cartographies ZIP/ZICH).

3.1. Phasage

Les 5 phases décrites au chapitre précédent feront l'objet d'une validation formelle du maître d'ouvrage. Le paiement du solde de chacune des phases sera effectué après cette validation.

Le titulaire produira à l'issue de chaque phase les documents attendus dont le contenu est précisé dans le chapitre « 3.3 Documents attendus ».

L'attention du titulaire est attirée sur le fait que le maître d'ouvrage procédera à une vérification de tous les documents produits. Ainsi, il appartiendra au titulaire de procéder à des vérifications de la qualité de ses rendus préalablement à leur transmission au maître d'ouvrage, étant entendu que celui-ci attache une grande importance à leur qualité.

Le maître d'ouvrage pourra alors produire ses observations, le cas échéant après avoir sollicité une assistance à maîtrise d'ouvrage au CEREMA de Clermont-Ferrand et du Service de prévision des crues Loire Allier Cher Indre (SPC LACI), dans un format déterminé en accord avec le titulaire, autant que de besoin. Le titulaire devra accuser réception des observations du maître d'ouvrage et devra y répondre obligatoirement dans un délai qui sera défini en accord avec le maître d'ouvrage, **sans que ce délai n'excède 15 jours**.

La validation de chaque phase ne pourra intervenir que lorsque la totalité des documents à fournir par le titulaire, et notamment les données vecteur et raster, aura été vérifiée et validée par le maître d'ouvrage, le cas échéant suite à des observations sur le rendu initial.

De plus, pour faciliter le bon avancement de l'étude, et décidé en concertation avec le maître d'ouvrage, le démarrage de la phase suivante pourra intervenir avant la finalisation de la phase en cours, dans un souci d'optimisation du planning global de l'étude.

Le contenu des documents attendus est indiqué dans le chapitre « 3.3. documents attendus ».

Suite aux réunions de présentation, un temps sera laissé aux collectivités pour donner un avis par écrit concernant notamment les cartes des aléas qui leur auront été remises. Le titulaire sera associé à ces réunions et apportera les corrections qui s'imposent au dossier. Cette prestation comprend l'ensemble des travaux nécessaires pour mener à bien les modifications (y compris visite de sites si nécessaires), et la fourniture du document correspondant à chaque modification (données SIG, cartes, rapport…).

3.2. Caractéristiques du rendu de l'étude

3.2.1 Phase 1

Le titulaire rendra une proposition de guide d'entretien avec les acteurs locaux en début de phase, qui sera validée par le maître d'ouvrage.

3.2.1.1 Rapport :

Le titulaire rendra un rapport de phase 1 présentant :

- ✓ **Les éléments d'ordre général** : le titulaire rappellera succinctement la définition des notions fondamentales afin que le rapport puisse être plus aisément accessible par le public non spécialiste ;

- ✓ **Critique et synthèse des études existantes** : cette partie fera la synthèse de l'analyse effectuée et des informations pouvant être exploitées dans le cadre de l'étude. Le titulaire établira notamment un état général des sources (EGS) où seront listées l'ensemble des références identifiées et consultées (bibliographie, documents dans les services, dossiers en archives) – En outre, une fiche bibliographique par étude sera annexée au rapport ;

- ✓ **Les éléments explicatifs de la carte informative des crues historiques** : dates – secteurs affectés – dégâts – principales caractéristiques, indiquant les degrés d'imprécision pouvant affecter ces documents ;

- ✓ **Résultats de l'enquête** : cette partie fera la synthèse des éléments collectés en matière de connaissance historique des phénomènes (conditions de genèse, fréquence de retour, hauteurs atteintes, repères de crues associés, dégâts enregistrés, fonctionnement des ouvrages hydrauliques…). Elle rendra compte des enquêtes menées notamment auprès des acteurs locaux et aux archives départementales – les compte-rendus des enquêtes menées seront annexés au rapport.

- ✓ **Résultats des visites de terrain** : cette partie comprendra un rapport photographique et des commentaires sur les secteurs visités, précisera et expliquera les points singuliers repérés et les PHE.

En conclusion de cette partie, le rapport proposera le cas échéant, des ajustements (en les justifiant) concernant les périmètres d'études annexés au présent CCTP, qui pourront être validés par le maître d'ouvrage.

3.2.1.2 Carte informative

Le titulaire rendra une carte informative localisant l'ensemble des données recueillies dans le cadre de l'approche historique (lieux cités, PHE, localisation des photos…). Cette cartographie devra aussi être fournie au format SIG.

3.2.2 Phase 2

3.2.2.1 Note technique d'analyse de la qualité du MNT et des besoins en nouvelles données topographiques et bathymétriques

Dans le cadre de la phase 2, le titulaire produira une note technique dans laquelle il analysera :

- ✓ **la fiabilité et l'exploitabilité du MNT issu du LIDAR HD** afin de s'assurer qu'il corresponde aux besoins de l'étude. En particulier, il est attendu que le titulaire réalise une analyse par comparaisons avec les données topographiques et bathymétriques disponibles par échantillonnage, afin de procéder à d'éventuels recalages altimétriques ;

- ✓ **la fiabilité et l'exploitabilité des données topographiques et bathymétriques existantes**, afin de s'assurer qu'elles correspondent bien aux besoins réels pour la construction et l'exploitation des modèles hydrauliques.

Par ailleurs, le titulaire devra préciser dans sa note :

- **l'ensemble des secteurs sur lesquels l'information topographique de précision est nécessaire** afin de garantir la qualité de ses résultats et de ses analyses hydrauliques : secteurs à enjeux, principales Zones d'Expansion de Crue, secteurs de confluence, ouvrages conditionnant l'écoulement en crue tels que les digues, remblais, ouvrages de franchissement ou souterrains…
- **l'implantation et le nombre de profils en travers et d'ouvrages** conditionnant les écoulements ou de protection qu'il juge nécessaires afin de garantir la qualité des études à mener.

Il devra définir les besoins topographiques et bathymétriques complémentaires selon 4 typologies de levés :

- levé de profils en travers de lits mineurs de cours d'eau,
- levé d'ouvrages hydrauliques de franchissement,
- levé d'ouvrages hydrauliques de régulation (seuils hydrauliques, vannages…),
- levé terrestre d'éléments ponctuels : tampons de collecteurs importants pouvant avoir un impact sur l'écoulement des eaux, repères de crue…

Ces besoins topographiques et bathymétriques complémentaires seront justifiés et soumis à validation du maître d'ouvrage.

3.2.2.2 Format des données topographiques et bathymétriques attendu

Pour des raisons de standardisation des données, les levés topographiques complémentaires seront rendus sous la forme d'un fichier texte XYZ et *Autocad3D*. Tous les compléments topographiques réalisés dans le cadre de cette étude (topographie, cartographie, laisse de crues…) seront en coordonnées RGF93.

À l'issue de cette phase, le bureau d'études devra remettre un rapport permettant de répondre à tous les attendus décrits au paragraphe 2.2.3, celui-ci comprendra notamment :

- Un cahier de tous les profils en travers levés,
- Un cahier de tous les ouvrages hydrauliques et éléments ponctuels levés,
- Les plans, graphiques et fichiers informatiques correspondants à toute la topographie acquise lors de cette phase,
- Une synthèse,
- Un résumé non technique.

3.2.3 Phase 3

Le titulaire rendra :

- **un rapport de l'étude hydrologique** présentant :

  ✔ **Les éléments d'ordre général** : le titulaire rappellera succinctement la définition des notions fondamentales de l'hydrologie (temps de concentration, temps de réaction…) afin que le rapport puisse être plus aisément accessible par le public non spécialiste. Il fournira en particulier les éléments caractéristiques du bassin versant étudié (tableau/carte des stations de mesures, présentation du bassin versant, occupation du sol, géologie…) ;

  ✔ **un résumé non technique de la démarche** et de la justification des choix effectués ;

  ✔ **les méthodologies et les résultats obtenus en termes d'hydrologie** en explicitant la démarche retenue en concertation avec le maître d'ouvrage. Il critiquera l'hydrologie utilisée dans le cadre des études précédentes, et justifiera les différences avec les résultats qu'il propose ;

  ✔ **les débits caractéristiques de chaque cours d'eau** étudié, la méthode de prise en compte des confluences, une analyse de la concomitance des crues, etc. Un tableau devra synthétiser les données, un graphique pourra également être proposé ;

✔ **le cheminement suivi pour passer des données pluviométriques et débit-métriques**, aux débits des crues historiques et crues de projet qui seront proposées pour la modélisation hydraulique ;

✔ **l'estimation des incertitudes** se rattachant aux valeurs proposées (débits de crues historiques et de crues de projet notamment). La sensibilité des modèles utilisés pour l'exploitation des données et la détermination des débits sera étudiée.

3.2.4 Phase 4

3.2.4.1 Rapport

Le titulaire rendra un **rapport de phase 4** structuré comme suit :

✔ **1ère sous-partie : Éléments d'ordre général**

Le titulaire rappellera succinctement la définition des notions fondamentales de l'hydraulique à surface libre (modélisation 1D /2D, régime permanent / transitoire…) afin que le rapport puisse être plus aisément accessible par le public non spécialiste.

Le titulaire fournira en outre une notice détaillée du ou des modèles de simulation qu'il utilisera. Cette notice détaillera leurs limites, leurs degrés de certitude, la prise en compte de phénomènes locaux, les hypothèses simplificatrices, etc.

✔ **2e sous-partie : Modélisation hydraulique**

Pour chacun des éventuels modèles construits, les éléments communiqués par le prestataire comprendront au minimum :

- **Le ou les modèles** qui seront, à l'issue de la mission, la propriété du maître d'ouvrage ;
- **L'architecture du modèle :** la méthode de représentation des ouvrages dans le modèle, l'ensemble du maillage, les coefficients de rugosité, l'ensemble des conditions aux limites définies pour chaque scénario hydrologique modélisé, l'ensemble des paramètres hydrodynamiques correspondant (pas de temps, durée de la simulation, mise en eau du modèle, coefficients de perte de charge appliqués aux ouvrages, etc.), les modalités d'intégration des systèmes d'endiguement dans le modèle et la prise en compte des paramètres de défaillance des ouvrages, la prise en compte de l'obturation des ouvrages pour simuler la présence d'embâcles, les paramètres de calage du modèle, etc. ;
- **Les données du modèle** à l'issue des différentes simulations et l'ensemble des fichiers résultats correspondants et notamment :
  - Les débits aux différents nœuds hydrauliques pour tous les scenarii étudiés ;
  - Les hydrogrammes correspondants aux crues de projet ;

- Les résultats des tests de sensibilité et leur analyse (limites – incertitudes…) ;

- **La description du fonctionnement hydraulique des cours d'eau** : en suivant le linéaire de l'amont vers l'aval et en prenant le nom des profils comme point de repères, explications des résultats – traitement de toutes les occurrences sur chaque profil, en précisant la description, au minimum, pour les points suivants :
  - au niveau des confluences : limites d'influence des cours d'eau, occurrence,
  - au niveau des ouvrages :
    - occurrence de la 1ère crue de débordement,
    - crue de mise en charge des ponts et description des écoulements,
    - description des écoulements des seuils ayant un impact significatif sur la ligne d'eau en Q100, ou la Qref si différente de la Q100 ;
  - secteurs à enjeux, écoulements secondaires significatifs, remontées par l'aval, secteurs où l'effacement d'un obstacle longitudinal a un impact sur la Q100, ou la Qref si différente de la Q100 : description et occurrence des crues de 1er débordement.

Par ailleurs, les profils en travers et profils en long seront complétés par les lignes d'eau des différentes crues étudiées.

✔ 3e sous-partie : Définition des aléas

Le bureau d'études rappellera les principes de définition de l'aléa (grille de croisement hauteur / dynamique) et toute information utile à la compréhension des cartes produites.

Il rectifiera, le cas échéant, les cartes d'aléas produites pour prendre en compte les éventuelles observations des collectivités suite aux réunions de présentation (voir chapitre 3.4.2).

✔ 4e sous-partie : Evolution des aléas

Le bureau d'études produira un commentaire de la carte comparative des aléas (ancienne/nouvelle étude) détaillant les évolutions entre les deux cartographies et expliquant cette évolution.

3.2.4.2 Annexes au rapport de phase 4

1. Fiches ouvrages

Pour chaque ouvrage, le titulaire produira en annexe du rapport, une fiche ouvrage reprenant :
- les caractéristiques de celui-ci (dimension, gabarit, débit capable, type, usage…),
- un schéma coté et rattaché en altitude (NGF-IGN69), avec la représentation des lignes d'eau en crue,
- une photo de l'ouvrage vu de l'amont.

2. Fiches PHE

Le titulaire fournira un cahier des nouvelles PHE et repères de crues qu'il aura identifiés en phase 1.
Par ailleurs, le titulaire saisira les nouvelles informations sur la plateforme nationale collaborative des sites et repères de crue: https://www.reperesdecrues.developpement-durable.gouv.fr/

3. Cahier de profils en travers (pour la partie modélisée en 1D)

Il sera numéroté de l'amont vers l'aval sur chaque branche du modèle, et comportera :

- la date de levé, l'indication de la rive droite et de la rive gauche, le nom du cours d'eau, le point kilométrique compté depuis l'amont, le nom des communes sur chaque rive, les éléments caractéristiques de l'occupation du sol (voiries bâtiments…) et les points singuliers (murets, fossés, enrochements…) ;
- l'abscisse curviligne du profil, la distance en mètre de chaque point par rapport à l'origine,
- les inter-distances et la cote NGF de chaque point ;
- les lignes d'eau pour Q2, Q5, Q10, Q20, Q30, Q50, Q100, Qref si différente de la Q100, Q1000, Qref_cc.

En complément du profil amont des ouvrages, il appartiendra au titulaire d'apprécier la nécessité d'effectuer un profil aval.

4. Cahier des ouvrages hydrauliques

Il précisera le nom du cours d'eau, le numéro de l'ouvrage et/ou son nom, le point kilométrique compté depuis l'amont, à partir du premier profil levé, les lignes d'eau amont et aval en Q2, Q5, Q10, Q20, Q30, Q50, Q100, Qref si différente de la Q100, Q1000, Qref_cc.

5. Profil en long de chaque cours d'eau

Il comprendra la localisation des profils en travers et de chaque ouvrage repéré et la représentation des lignes d'eau pour les Q2, Q5, Q10, Q20, Q30, Q50, Q100, Qref si différente de la Q100, Q1000, Qref_cc.

Comme pour les profils en travers, les profils en long devront indiquer :

- le nom des communes en rive droite et gauche ;
- les éléments caractéristiques de l'occupation du sol, le nom du cours d'eau ;
- l'abscisse curviligne de chaque profil, les inter-distances, la cote et la ligne de fond et les cotes de lignes d'eau en mètre NGF ;
- Les éléments structurants levés : nom de l'ouvrage (routes, digues…) et le cas échéant les points singuliers (ouvrages, routes…) et les informations permettant de situer l'élément structurant par rapport aux profils en travers et aux ouvrages levés.

3.2.4.3 Cartographies de la phase 4

Le Titulaire remettra :

1. **un plan de situation** des profils en travers, ouvrages, éléments structurants et PHE,
2. **des atlas cartographiques** sur fond cadastral et orthophotographique (données fournies par le maître d'ouvrage) à minima à l'échelle 1/25 000. Dans les secteurs à enjeux l'échelle devra être plus précise (1/5000 voire 1/2000).

Ces atlas consisteront en :

- pour les différents scénarios (hors scénario de référence) :
  - carte des hauteurs
  - carte des vitesses d'écoulement
- pour les crues de référence sans et avec prise en compte du changement climatique :
  - carte des hauteurs
  - carte des vitesses d'écoulement
  - carte des vitesses de montée des eaux
  - carte des dynamiques retenues
  - carte d'aléa issues de la cartographie finale, avec notamment représentation des profils en travers et des lignes isocotes. Cette carte devra faire figurer l'aléa en totalité sur les communes concernées.
- **Les cartes comparatives des aléas** des anciennes et nouvelles études (PPRi ou cartographies des zones inondables).

3.2.4.4 Fourniture du modèle hydraulique

Le titulaire livrera au maître d'ouvrage le ou les modèles hydrauliques utilisés pour la totalité de l'étude. Le maître d'ouvrage en sera le propriétaire.

Le titulaire du marché précisera les références des logiciels (nom, version …) nécessaires à leur fonctionnement.

3.2.4.5 Couches SIG de la phase 4

Toute donnée géo-référencée utilisée pour une sortie graphique, et présente sous format papier (cartes, atlas…) devra respecter le format de restitution explicité en annexe 3 :

- éléments recensés lors de l'approche historique : lieux cités, PHE, informations sur les crues, localisation photos…
- architecture du modèle ;
- emprises des zones inondables Q2, Q5, Q10, Q20, Q30, Q50, Q100, Qref si différente de Q100, Q1000, Qref_cc ;

- carte des hauteurs pour Q2, Q5, Q10, Q20, Q30, Q50, Q100, Qref si différente de Q100, Q1000, Qref_cc et pour chaque scénario ;
- cartes des vitesses d'écoulement, de montée des eaux et de dynamique pour Q2, Q5, Q10, Q20, Q30, Q50, Q100, Qref si différente de Q100, Q1000, Qref_cc pour chaque scénario ;
- aléas pour les crues de référence sans (Qref) et avec prise en compte du changement climatique (Qref_cc) ;
- profils en travers avec la cote de référence ;
- ouvrages ;
- obstacles longitudinaux ;
- lignes iso-cotes.

Le format attendu est précisé à l'annexe 3.

3.2.4.6 Supports de communication à destination des élus

La phase 4 comprend également la réalisation d'un outil vidéo permettant de sensibiliser le public et les élus aux conséquences des inondations sur le territoire du bassin du Puy-en-Velay, pour l'occurrence Qref_cc.

Sur les communes à enjeux, Il pourra être demandé plusieurs vidéos par commune.

Cet outil devra permettre :

- de simuler en trois dimensions (ou à défaut d'image google 3D disponible en deux dimensions) ces éléments sur la base du MNT ayant permis la construction du modèle,
- de simuler en trois dimensions (ou à défaut d'image google 3D disponible en deux dimensions) ces éléments sur certains points particuliers avec un niveau de réalisme élevé.

3.2.5 Phase 5

3.2.5.1 Rapport

Le titulaire rendra un **rapport de phase 5** structuré comme suit :

✔ **1re sous-partie : Éléments d'ordre général :**

Le titulaire rappellera succinctement la définition des notions fondamentales de l'hydraulique à surface libre (modélisation 1D /2D, régime permanent / transitoire…) afin que le rapport puisse être plus aisément accessible par le public non spécialiste.

Le titulaire fournira en outre une notice détaillée du ou des modèles de simulation qu'il utilisera. Cette notice détaillera leurs limites, leurs degrés de certitude, la prise en compte de phénomènes locaux, les hypothèses…

✔ **2e sous-partie : Modélisation hydraulique :**

Pour chacun des éventuels modèles construits, les éléments communiqués par le prestataire comprendront au minimum :

- **Le ou les modèles** qui seront, à l'issue de la mission, la propriété du maître d'ouvrage ;
- **L'architecture du modèle :** la méthode de représentation des ouvrages dans le modèle, l'ensemble du maillage, les coefficients de rugosité, l'ensemble des conditions aux limites définies pour chaque scénario hydrologique modélisé, l'ensemble des paramètres hydrodynamiques correspondant (pas de temps, durée de la simulation, mise en eau du modèle, coefficients de perte de charge appliqués aux ouvrages, etc.), les modalités d'intégration des systèmes d'endiguement dans le modèle, les paramètres de calage du modèle, etc. ;
- **Les données du modèle** à l'issue des différentes simulations et l'ensemble des fichiers résultats correspondants et notamment :
  - Les débits aux différents nœuds hydrauliques pour tous les scenarii étudiés ;
  - Les hydrogrammes correspondants aux crues de projet ;
  - La courbe de tarage reconstituée à la station hydrométrique à partir des scénarios modélisés ;
  - Les résultats des tests de sensibilité et leur analyse (limites – incertitudes…).

Pour chaque scénario, le producteur précisera dans le rapport les débits modélisés sur chaque cours d'eau. Au niveau de chacune des stations hydrométriques de la zone d'étude, le producteur indiquera le débit et la cote modélisée. En cas d'utilisation de plusieurs modèles hydrauliques, il faudra aussi préciser la condition limite aval appliquée à chaque sous-modèle.

3.2.5.2 Fourniture du modèle hydraulique

Le titulaire livrera au maître d'ouvrage le ou les modèles hydrauliques utilisés pour la totalité de l'étude. Le maître d'ouvrage en sera le propriétaire.

Le titulaire du marché précisera les références des logiciels (nom, version …) nécessaires à leur bon fonctionnement.

3.2.5.3 Couches SIG

Toute donnée géo-référencée utilisée pour une sortie graphique, et présente sous format papier (cartes, atlas…) devra respecter le format de restitution explicité en annexe 3 et être fournie dans un format vectoriel SIG (au format **Viginond** et avec une projection en Lambert 93) :

Pour les cartes des zones inondables sur la Loire, La Borne et le Dolaizon (pour les 6 scénarios hydrologiques définies avec le maître d'ouvrage) :

- cartographies ZIP : emprise des zones d'inondation potentielles en fonction de la hauteur d'eau à la station de référence (à définir avec le maître d'ouvrage selon les secteurs) ;

- cartographies ZICH : hauteurs de submersion en fonction de la hauteur d'eau à la station de référence (à définir avec le maître d'ouvrage selon les secteurs).

Le format attendu est précisé à l'annexe 3.

3.3. Documents attendus

Tous les documents communiqués, y compris intermédiaires, seront datés sur la base de la date de la dernière rectification apportée.

*L'attention du titulaire est attirée sur le fait que l'ensemble des documents devront être **produits directement à partir des suites logicielles LibreOffice** afin d'éviter toute erreur de mise en page en raison d'une génération au format .odt ou .pdf à partir d'une autre suite logicielle.*

3.3.1 Phase 1

Le rapport de phase 1 sera rendu en 1 exemplaire papier et un exemplaire au format LibreOffice version 6.1 ou ultérieur et format pdf.

Toute donnée géo-référencée utilisée pour une sortie graphique (carte, atlas…), et présente sous format papier (carte, atlas…) dans la phase 1 devra être conforme au format de restitution présentés en annexe 3.
Une attention particulière sera portée à la qualité géométrique des données fournies

3.3.2 Phase 2

Le rapport de restitution des données topographiques et bathymétriques sera rendu en 1 exemplaire papier et un exemplaire au format LibreOffice version 6.1 ou ultérieur et format pdf.

Les données relatives aux levés topographiques et bathymétriques seront remises au format XYZ (projection en Lambert 93) et au format *Autocad3D*.

3.3.3 Phase 3

Le rapport de phase 3 sera rendu en 1 exemplaire papier et un exemplaire au format LibreOffice version 6.1 ou ultérieur et format pdf.

Pour rappel, toute donnée géo-référencée utilisée pour une sortie graphique (carte, atlas…), et présente sous format papier (carte, atlas,…) dans la phase 3 devra être fournie dans un format vectoriel SIG conformément aux règles énoncées de ce cahier des charges qui s'appuie sur le standard CNIG dans sa dernière version. Pour chaque donnée, une fiche de métadonnée sera fournie, elle devra être au format demandé par la directive INSPIRE. Une attention particulière sera portée à la qualité géométrique des données fournies.
Se référer à l'annexe 3.

3.3.4 Phase 4

Le rapport et les atlas seront rendus au maître d'ouvrage en 1 exemplaire papier, un exemplaire au format LibreOffice version 6.1 ou ultérieur pour le rapport, et un exemplaire format pdf interactif, en vue d'une impression à l'échelle 1/5 000.

Une carte d'aléa provisoire sera rendue au maître d'ouvrage dans le but d'être communiquée aux collectivités et de recueillir leurs remarques avant la validation définitive.

Les cartes d'aléas définitives, seront rendues au maître d'ouvrage en un exemplaire format .pdf en respectant strictement le formalisme du standard CNIG dans sa dernière version.

Le ou les modèles hydrauliques utilisés pour la totalité des études sera fourni au maître d'ouvrage. Le titulaire fournira au maître d'ouvrage l'ensemble des documents supports, nécessaires pour la prise en main du modèle.

Toute donnée géo-référencée utilisée pour une sortie graphique (carte, atlas…), et présente sous format papier (carte, atlas,…) dans la phase 4 devra être fournie dans un format vectoriel SIG conformément aux règles énoncées de ce cahier des charges qui s'appuie sur le standard CNIG dans sa dernière version. Pour chaque donnée, une fiche de métadonnée sera fournie, elle devra être au format demandé par la directive INSPIRE.
Une attention particulière sera portée à la qualité géométrique des données fournies.

Sont notamment concernées l'ensemble des données SIG suivantes :

- données SIG relatives aux cartes informatives de la phase 1 ;
- données SIG relatives aux informations concernant les crues historiques ;
- données SIG concernant l'architecture du modèle ;
- données SIG des résultats hydrauliques (profils, casiers, mailles…) avec les valeurs des paramètres en attributs (format SHP) ;
- données SIG concernant les enveloppes des zones inondables pour chaque occurrence étudiée et scenario étudié ;
- données SIG concernant les cartes de hauteurs et isocotes pour chaque occurrence étudiée et scénario étudié ;
- données SIG concernant les cartes de vitesses de l'écoulement, de montée des eaux et de dynamique pour chaque occurrence étudiée et scénario étudié ;
- données SIG concernant les cartes d'aléas.

Le format attendu est précisé à l'annexe 3.

3.3.5 Phase 5

Le rapport de restitution sera rendu au maître d'ouvrage en 1 exemplaire papier, un exemplaire au format LibreOffice version 6.1 ou ultérieur pour le rapport, et un exemplaire format pdf interactif.

Les cartes des zones d'inondation potentielles (ZIP) et des zones d'iso-classes de hauteurs (ZICH) seront rendues au maître d'ouvrage, pour chaque scénario, au format SIG uniquement.

Le ou les modèles hydrauliques utilisés pour la totalité des études sera fourni au maître d'ouvrage. Le titulaire fournira au maître d'ouvrage l'ensemble des documents supports, nécessaires pour la bonne prise en main du modèle.

Toute donnée géo-référencée utilisée dans la phase 5 devra être fournie dans un format vectoriel SIG conformément aux règles énoncées de ce cahier des charges qui s'appuie sur le standard CNIG dans sa dernière version. Pour chaque donnée, une fiche de métadonnée sera fournie, elle devra être au format demandé par la directive INSPIRE. Une attention particulière sera portée à la qualité géométrique des données fournies.

Sont notamment concernées l'ensemble des données SIG suivantes :

- données SIG concernant l'architecture du modèle ;
- données SIG des résultats hydrauliques (profils, casiers, mailles…) avec les valeurs des paramètres en attributs (format SHP) ;
- données SIG concernant les enveloppes des zones inondables pour chaque occurrence étudiée (ZIP) ;
- données SIG concernant les cartes de hauteurs pour chaque occurrence étudiée (ZICH).

Le format attendu est précisé à l'annexe 3.

3.4. Réunions

Tout au long de l'étude, le bureau d'études devra prévoir la participation à deux types de réunions :

- réunions de travail avec le maître d'ouvrage auxquelles pourront être associés d'autres services ;
- réunions avec les collectivités.

3.4.1 Réunions de travail :

Le titulaire devra intégrer dans son offre la participation (et le cas échéant leur organisation) à des réunions techniques qui pourront par exemple se répartir de la manière suivante :

- 1 réunion de lancement de l'étude ;
- 1 réunion sur le diagnostic et la définition des besoins en topographie (phase 2) ;
- 1 réunion de restitution et de validation de la phase 1 ;
- 2 réunions de travail sur l'hydrologie (phase 3) ;
- 1 réunion de restitution et de validation de la phase 3 ;
- 2 réunions de travail sur l'hydraulique de la phase 4 ;
- 1 réunion de restitution et de validation de la phase 4 ;
- 1 réunion de travail sur les ZIP et ZICH (phase 5) ;

- 1 réunion de restitution et de validation de la phase 5 ;
- le cas échéant d'autres réunions pourront être programmées.

Le titulaire fournira l'ensemble des documents nécessaires à la tenue de ces réunions (diaporamas, plans dont le nombre sera déterminé en accord avec le maître d'ouvrage…).

À l'issue de chacune de ces réunions, le titulaire rédigera un compte rendu adressé au maître d'ouvrage pour rectifications éventuelles (à apporter par le bureau d'études) et validation.

Le planning des réunions sera défini conjointement par le maître d'ouvrage et le bénéficiaire. Ce dernier devra fournir tous les documents techniques nécessaires à la préparation et au déroulement des réunions, au moins deux semaines avant celles-ci.

Par ailleurs, pour s'assurer du bon avancement de l'étude et du respect des délais contractuels, des points réguliers par visioconférence seront faits entre le titulaire et le maître d'ouvrage tous les 15 jours en moyenne.

3.4.2 Réunions avec les collectivités :

Le titulaire devra intégrer dans son offre la participation à :

- une réunion de lancement associant toutes les collectivités concernées sur le site du Puy-en-Velay ;
- des réunions de présentation des aléas aux collectivités en fin d'étude. Ces réunions seront à minima au nombre de 8 : le candidat détaillera dans son offre un prix forfaitaire et précisera par ailleurs le montant unitaire pour d'éventuelles réunions supplémentaires.

Pour ces réunions, le titulaire aura préparé une présentation sous forme de diaporama, adapté à chaque réunion.

Pour les réunions de présentation des aléas, il réalisera également un support de communication qui sera compréhensible par un public non-spécialiste (voir paragraphe 3.2.4.6 ci-dessus). Ce support pourra prendre la forme de vidéos 3D, de maquettes, des photos aériennes en 3D (…). Le support sera soumis à validation du maître d'ouvrage qui en sera propriétaire pour une utilisation future à destination de réunions publiques. Il fournira en outre un exemplaire papier des cartes d'aléas à communiquer aux communes lors des réunions. Il se rendra disponible, le cas échéant pour répondre aux questions et aux contestations des résultats, lever des incertitudes, y compris avec visite de terrain.

Si les collectivités font valoir des observations pouvant entraîner des modifications des cartes d'aléas, il appartiendra au titulaire de les étudier et soit de les intégrer, soit de justifier auprès du maître d'ouvrage et des collectivités leur non prise en compte.

3.5. Délais d'exécution (AE)

Le délai global d'exécution de la mission sera au maximum de 18 mois. Ce délai prend en compte les temps de validation des livrables par le maître d'ouvrage, dans la limite de 15 jours de temps de

validation par livrable. Le titulaire devra ainsi en tenir compte dans son projet de planning au moment de la remise des offres.

Le candidat détaillera dans son offre un planning détaillé de réalisation de l'étude qui devra être réaliste, et prévoir notamment les réunions telles que définies dans le présent CCTP avec les contraintes afférentes, et les envois de documents préalables. Les délais relatifs aux demandes de données devront être prises en compte.

3.6. Pénalités de retard

L'attention du titulaire est attirée sur l'impératif du respect des délais fixés au marché pour la réalisation des prestations.
À ce titre, des pénalités de retard conséquentes sont fixées au CCAP par dérogation au CCAG.

3.7. Prix

Le bénéficiaire proposera une rémunération qui tient compte de l'ensemble des activités, des moyens et personnels mobilisés, définis ou non par le maître d'ouvrage. Elle sera détaillée dans le bordereau des prix et répartie par phase d'étude afin de permettre un paiement fractionné à l'issue de chaque phase.

Le bénéficiaire ne sera pas en droit de réclamer un surcoût pour une prestation qu'il aurait omise de définir dans son offre.

3.8. Propriétés des études et des documents

Les éléments fournis par le maître d'ouvrage (études, photos, couches SIG, modèles hydrauliques …) seront supprimées par le bénéficiaire en fin de contrat (sauf les éventuels formats papier qui seront restitués).

Les études, les documents produits, les résultats du modèle hydraulique retenu (…), en exécution du présent contrat seront la propriété exclusive du maître d'ouvrage et ne pourront faire l'objet d'aucune diffusion ou utilisation sans son accord.

3.9. Éléments fournis par la personne publique

Ils seront de plusieurs natures :

- **Études** :
  - les études disponibles sur les secteurs d'études.

- **Fonds de plans et données SIG à la demande du titulaire** :
  - cartes topographiques, SCANS 25 IGN sur la zone d'études (cartes IGN 1/25 000) ;

- extraits de la BD Topo et de la BD Parcellaire de l'IGN sur la zone d'étude ;
- BD-ortho de l'IGN ;
- levés topographiques disponibles.

Le cas échéant des conventions de mise à disposition des données pour la durée de l'étude seront signées entre le maître d'ouvrage et le titulaire.

3.10. Conditions de réalisation de l'étude

En ce qui concerne les moyens à mettre en œuvre et le rendu de l'étude, le candidat devra préciser dans son offre les points suivants :

Équipe d'étude : le titulaire présentera dans son offre l'équipe d'étude proposée, et fournira les curriculum vitae correspondants. Il désignera nommément le chef de projet qui sera le représentant du titulaire auprès du maître d'ouvrage pendant toute la durée de l'étude.

Phasage de l'étude : le titulaire proposera un planning de réalisation des différentes phases de l'étude avec un détail temps x agent par phase technique. Il indiquera également le délai global de réalisation de l'étude, qui, en tout état de cause, ne devra pas excéder **18 mois (temps de validation des livrables par le maître d'ouvrage inclus)**.

Méthodologie et moyens informatiques : le candidat présentera dans son offre, de manière précise, la méthodologie et les moyens informatiques et de calculs qu'il envisage de mettre en œuvre pour la réalisation de l'étude.

4. Annexes

Annexe 3 : Formats de restitution des données géomatiques

1. Formats de restitution

Les données couvertes par le Géostandard PPR (aléas, enjeux, zonage réglementaire) seront livrées préférentiellement au format **GeoPackage (.gpkg)**, structuré selon les tables gpkg_contents, gpkg_geometry_columns et gpkg_metadata qu'il prescrit. Un autre format Shapefile (.shp) pourra être accepté à titre alternatif si dûment justifié, selon les règles de nommage et de structuration de tables définies en section « Livraison au format Shapefile » du standard. Les profils en travers levés seront fournis au format DAO (.dwg), et tout document produit en complément (rapport, plan) sera livré en PDF éditable.

2. Géoréférencement

Toutes les données seront géoréférencées en projection Lambert 93 – RGF93 (EPSG:2154) pour la planimétrie et rattachées au système NGF-IGN69 pour l'altimétrie.

3. Précision et incertitude

Le candidat précisera dans son mémoire technique la précision planimétrique et altimétrique du MNT utilisé (source, résolution, millésime) et des levés de profils en travers, avec un seuil d'incertitude maximal à justifier au regard des enjeux de l'étude.

4. Structuration des données

La structuration des couches relevant du périmètre du standard (zones d'aléas, enjeux, zonage réglementaire) suit impérativement le catalogue d'objets et le modèle conceptuel de la dernière version du Géostandard PPR.

Pour les données qiu ne sont pas définies dans le Géostandard, elles devront respecter les règles génériques de structuration (identifiant unique par objet, organisation en couches par thème et type de géométrie, respect de la cohérence topologique).

5. Métadonnées et documents associés

Chaque fichier livré sera accompagné d'un catalogue de métadonnées décrivant son contenu et ses couches, ainsi que d'une table de nomenclature explicitant les champs et termes métier. Le prestataire fournira également les documents ayant servi à l'étude (rapport de modélisation, hypothèses hydrauliques, sources du MNT, méthode d'exploitation des profils en travers).

6. Contrôle qualité

Le prestataire n'est pas tenu de produire un rapport de validation formel. s'assurera, au moyen d"outils de contrôle géométrique et topologique (tels que le Vérificateur de géométrie et le Vérificateur de topologie de QGIS, ou équivalent), que les livrables respectent les éléments de qualité définis par le standard : validité et complexité des géométries, absence de superposition ou de lacune entre entités contiguës, cohérence topologique des zones d'aléas et de zonage réglementaire.

7. Chaîne de responsabilités

Le marché impliquant plusieurs intervenants (bureau d'études pour la simulation, éventuellement un géomètre pour les levés), le candidat fournira une matrice de responsabilités (type RACI) précisant, pour chaque livrable (aléas, enjeux, zonage), qui produit, qui valide et qui est consulté. Le titulaire restant in fine seul responsable de la conformité globale vis-à-vis du maître d'ouvrage, même en cas de sous-traitance.