

---

Rapport de stage individuel  
5<sup>ème</sup> année

Étude de diagnostic et proposition  
d'aménagements pour rétablir la  
continuité écologique sur 8 seuils en  
rivière dans le Var

---

**ANTEA GROUP**

Agence d'Aubagne 400  
avenue de Passe Temps,  
13400 Aubagne



**Tuteur entreprise :**  
**Benjamin QUITTET**

Chef de Projet – hydraulique,  
hydrologie et éco-hydraulique

**Tuteur académique :**  
**Stéphan RODRIGUES**

Enseignant chercheur – Hydraulique et  
transport solide

**Neil DUSSEAUX**

Étudiante en ingénierie  
des milieux aquatiques  
(IMA)

2021-2022

## RÉSUMÉ

De nos jours, les enjeux environnementaux occupent une place prépondérante dans notre quotidien, en particulier la ressource en eau. Dans le cadre de la Loi sur l'Eau et des Milieux Aquatiques, de nombreux projets voient le jour pour la préservation et la restauration de nos cours d'eau. Le présent rapport s'inscrit dans cette optique et s'articule autour de la restauration de la continuité écologique au droit d'ouvrages en rivière. Pour ce faire, des études préalables ont été réalisées (état des lieux et diagnostic) pour identifier les enjeux et les contraintes des territoires étudiés. Par la suite, des propositions d'aménagements compatibles avec les possibilités de réalisation ont été étudiées sous forme de scénarii (dérasement, arasement et équipement d'un dispositif de franchissement piscicole) pour restaurer la continuité écologique au droit d'ouvrage en rivière faisant obstruction au transport sédimentaire et au franchissement piscicole. Enfin des analyses comparatives entre chaque scénarii ont été réalisées pour identifier l'aménagement avec le meilleur rapport coût / gain écologique pour restaurer le milieu. Ce rapport présente de manière synthétique les phases d'études préalables et de faisabilités d'aménagement d'ouvrages pour la restauration de la continuité écologique avec les méthodes de calculs et de recherches nécessaires pour les produire.

**Mots clés :** Continuité écologique, ouvrages en rivière, transport sédimentaire, franchissement piscicole, restauration.

## ABSTRACT

Nowadays, environmental issues occupy an important place in our daily life, especially water resource. Within the framework of the Water and Aquatic Environments Law, many projects are emerging for the preservation and restoration of our water courses. In this context, this report revolves around the restoration of ecological continuity in rivers. Preliminary studies were carried out (inventory of fixtures and diagnosis) to identify the stakes and constraints of territories studied. Subsequently, proposals for development according to the possibilities of realization were studied in several scenarios to restore the free passage of sediment and fish (total or partial destruction or equipment with fish ways). At last, comparative analyses between each scenario were carried out to identify the development with the best ecological cost/gain ratio to restore the environment. Therefore, this report summarizes the stages of preliminary studies and feasibility to restore ecological continuity with the calculation and research methods necessary to produce them.

**Key words:** Ecological continuity, obstacles in river, sediment transport, fish crossing, restoration.

## REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier en premier lieu mon tuteur de stage M. Quittet Benjamin, chef de projet en hydraulique et éco-hydraulique chez Antea Group, pour m'avoir donné la chance de réaliser mon stage chez Antea Group. Je tenais à le remercier de m'avoir fait découvrir le métier d'ingénieur autour d'un sujet de stage très enrichissant que j'ai particulièrement affectionné et pour lequel je veux continuer à m'investir professionnellement. Je le remercie également pour toutes les connaissances qu'il a pu m'apporter et d'avoir toujours répondu présent pour répondre à mes questions.

Un grand merci à l'équipe Eau, dont j'ai pu énormément apprendre sur les métiers et missions en lien avec l'ingénierie en hydraulique fluviale. Je les remercie de m'avoir bien intégrée à l'équipe et surtout je les remercie pour le partage de connaissances et de savoir-faire en lien avec les études que j'ai été menée à réaliser.

Je tenais à remercier en particulier Mme Mouche Lise, notre responsable d'équipe, pour m'avoir présenté à l'ensemble de l'équipe et fait participer à diverses études pouvant être réalisées par l'entreprise dans le domaine de l'aménagement des milieux aquatiques (risque inondation, gestion des eaux pluviales et restauration de cours d'eau).

Je tenais également à remercier l'ensemble du personnel de l'agence de Aubagne, pour m'avoir chaleureusement accueillie au sein de l'implantation et pour tous les bons moments de convivialité que j'ai pu partager en leur présence. Je les remercie de m'avoir fait découvrir leurs métiers également en lien avec l'environnement, mais complètement différents des domaines d'activités sur lesquelles j'ai été menée à travailler durant mon stage.

Ensuite, je tiens à remercier l'ensemble des enseignants-chercheurs, professeurs et intervenants qui m'ont enseigné pendant ces 3 ans de formation à Polytech Tours dans le domaine de l'aménagement de l'environnement, que ce soit en urbanisme, en droit de l'environnement, dans l'aménagement des milieux aquatiques, des outils numériques développés ... et bien d'autre thématique dont j'ai été enseignée.

Je tiens particulièrement à remercier l'équipe d'enseignants de la formation IMA (Ingénierie des Milieux Aquatiques) qui m'a transmis à travers ses cours sa passion pour ce domaine d'étude. J'ai pris un très grand plaisir à apprendre à ses côtés et je suis particulièrement fière de transmettre à mon tour ces valeurs et ces connaissances au travers de mon futur métier.

Enfin, un grand merci à monsieur Rodrigues Stéphane, enseignant chercheur en hydraulique et transport solide à l'école Polytechnique de l'Université de Tours, pour avoir soutenu l'ensemble de notre promotion pendant cette période de pandémie de COVID-19, d'avoir toujours répondu présent auprès des élèves et surtout d'avoir fait vivre cette belle formation qu'est la filière IMA.

## TABLES

RÉSUMÉ

ABSTRACT

REMERCIEMENTS

TABLES

GLOSSAIRE

SIGLES

TABLE DES FIGURES

TABLE DES TABLEAUX

1.	PRÉSENTATION DE L'ORGANISME : ANTEA GROUP .....	1
2.	PRÉSENTATION DES MISSIONS.....	3
2.1.	Missions principales .....	3
2.2.	Missions secondaires .....	4
3.	DÉROULÉ DES MISSIONS .....	5
3.1.	Phase 1 : Étude préalable et diagnostic .....	5
3.1.1.	Collecte de données pour réaliser l'état des lieux sur l'étude de la restauration de la continuité écologique au droit de 8 seuils en rivière .....	5
3.1.1.1.	Veille bibliographique.....	5
3.1.1.2.	Prospection terrain.....	7
3.1.1.3.	Enquête des riverains et reconstitution des droits d'eau .....	8
3.1.1.3.1.	Recherche des Droits d'eau associés aux ouvrages étudiés.....	8
3.1.1.3.2.	Enquête auprès des riverains.....	9
3.1.2.	Traitement des données pour l'analyse à l'aide de divers outils .....	10
3.1.2.1.	Outil cartographique .....	10
3.1.2.2.	Outil de calcul .....	11
3.1.2.2.1.	Données hydrologiques .....	11
3.1.2.2.2.	Données sur la puissance spécifique des cours d'eau.....	13
3.1.2.2.3.	Données sur le transit sédimentaire .....	13
3.1.2.2.4.	Données sur le franchissement piscicole .....	14
3.1.2.3.	Outil de modélisation .....	16
3.1.2.3.1.	Traitement des données topographique du site d'étude et des ouvrages - ZWCAD .....	16
3.1.2.3.2.	Modélisation hydraulique – HEC-RAS .....	17
3.1.2.3.3.	Modélisation hydraulique – Méthode « Manning – Strickler ».....	18
3.2.	Phase 2 : Étude de faisabilité et proposition d'aménagements des seuils.....	19
3.2.1.	Détermination des enjeux et contraintes aux droits des ouvrages .....	20
3.2.2.	Étude du scénario de dérasement des 8 seuils.....	21
4.	PRÉSENTATION DES LIVRABLES .....	24
4.1.	Étude préalable – État des lieux et diagnostic de 4 seuils sur le Réal Martin & sur le Meige Pan (Phase 1 Lot1 & Phase 1 Lot2 – mission principale).....	24
4.2.	Étude de faisabilité – Proposition d'aménagement sur les 8 seuils sur le Réal Martin et le Meige Pan afin de restaurer la continuité écologique (Phase 2 Lot 1 & Phase 2 Lot2 – mission principale) .....	24
4.3.	Dossier de Déclaration Loi sur l'Eau – Réhabilitation d'une conduite d'eau potable en traversée de la Jordanne à Velzic (15) (mission secondaire).....	25
4.4.	Étude de faisabilité – Proposition d'aménagement de 2 seuils sur le Lez afin de restaurer la continuité écologique (Phase 3 – mission secondaire) .....	26
4.5.	Note technique – Étude hydraulique d'un fossé d'évacuation d'eau pluviale (mission secondaire) .....	26
4.6.	Etude de gestion des eaux pluviales d'un projet de lotissement à Rognes (13) (mission secondaire).....	26
4.7.	Etude d'incidence d'un rejet d'eau issu d'un forage géothermique GMM1 à Mont Marsan (40) (mission secondaire) .....	27
5.	RETOUR D'EXPÉRIENCE .....	28
5.1.	Démarche, Méthodes & Analyses critiques.....	28
5.2.	Projection professionnelle.....	28

BIBLIOGRAPHIE

ANNEXES

TABLE DES ANNEXES

## GLOSSAIRE

**Affluent** : Cours d'eau qui se jette dans un autre cours d'eau. (Le Robert, 2021)

**Bassin hydrographique** : Territoire drainé par des eaux souterraines ou superficielles qui se déversent dans un collecteur principal (cours d'eau, lac) et délimité par une ligne de partage des eaux. (Actu-Environnement, 2019)

**Charriage** : Déplacement des terrains sous l'effet d'une poussée latérale. Dans le domaine du transport solide en cours d'eau, le charriage correspond plus précisément au déplacement des matériaux solides sur le fond en roulant, en glissant ou en effectuant des bonds successifs grâce aux forces motrices exercées par l'eau. (CNRTL, 2012)

**Charge de fond** : Quantité de sédiment disponible dans le fond du lit d'un cours d'eau, participant au transport solide. (Glossaire eau, 2021)

**Continuité écologique** : Libre circulation des organismes vivants et leur accès aux zones indispensables à leur reproduction, leur croissance, leur alimentation ou leur abri ainsi que le bon déroulement du transport naturel des sédiments dans un cours d'eau (OFB)

**Érosion** : L'érosion désigne le déplacement de sol ou de roches sous l'action combinée de la gravité et des éléments naturels tels que le vent, la pluie, le ruissellement de l'eau ou les vagues. Ce phénomène naturel entraîne le transfert progressif de grands volumes de matière depuis l'amont des bassins versants vers l'aval. Selon les contraintes et forces qui s'appliquent sur les milieux, différentes formes d'érosion en cours d'eau sont observées : l'érosion progressive avec le transport de sédiment d'amont vers l'aval ; l'érosion régressive avec une reprise des sédiments d'aval vers l'amont pour réajuster la pente du cours d'eau ; l'érosion latérale avec une reprise de sédiments en berges. (Eau France)

**Lit majeur** : Fond de vallée exondé lors des périodes de crue. (Légi-France, 2020)

**Lit mineur** : Zone d'un cours d'eau où les eaux s'écoulent en temps normal à plein bords avant débordement. (Légi-France, 2020)

**Obstacles à l'écoulement** : Toute structure portant atteinte à la libre circulation des espèces biologiques et au bon déroulement du transport naturel des sédiments. (Légi-France, 2020)

**Remous liquide** : Dans le cas des ouvrages en rivière, les seuils et barrages engendrent à leur amont une retenue (plan d'eau/plat lentique) où les écoulements sont lents et homogènes sur une certaine distance. Cette distance où les faciès d'écoulements et les habitats sont homogénéisés par les ouvrages se nomme remous liquide.

**Remous solide** : Dans le cas des ouvrages en rivière, on appelle remous solide l'accumulation de sédiments en amont de l'ouvrage sur une certaine distance formant ainsi un stock sédimentaire. Ce remous solide est maximal lorsque l'entièreté de la retenue l'ouvrage est comblée.

**Ripisylve** : Formation végétale qui se développe sur les bords de cours d'eau ou des plans d'eau situés dans la zone de frontière entre l'eau et la terre. (Actu-Environnement, 2019)

**Ruine d'un ouvrage** : La ruine de l'ouvrage (chute, détérioration aggravée rendant l'ouvrage non utilisable), destiné à utiliser la pente et le volume du cours d'eau (c'est-à-dire tout ce qui concerne la hauteur de chute et le débit dérivé dont le produit constitue la puissance maximale brute), sont de nature à entraîner la perte du droit en titre associé. (Ministère de l'Écologie, de l'énergie, du développement durable et de la mer, 2010).

**Seuil en rivière** : Un seuil en rivière est un ouvrage, fixe ou mobile, qui barre tout ou une partie du lit mineur, contrairement au barrage qui, lui, barre le lit mineur et une partie ou la totalité du lit majeur. (Glossaire eau, 2021)

**Seuil en régime dénoyé** : le seuil contrôle le niveau d'eau amont.

**Seuil en régime noyé** : le niveau d'eau amont est en partie contrôlé par le niveau d'eau aval et non plus seulement par l'ouvrage.

## SIGLES

AAPPMA : Association Agrée pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique

ACT : Elément de mission de maîtrise d'œuvre correspondant à l'Assistance pour la passation des Contrats de Travaux

AEP : Alimentation en Eau Potable

AFB : Agence Française pour la Biodiversité (aujourd'hui OFB)

AOR : Elément de mission de maîtrise d'œuvre correspondant à l'Assistance lors des opérations de réception des travaux

ERC : Séquence « Éviter, Réduire, Compenser »

ARS : Agence régionale de la Santé

AVP : Stade Avant-Projet

BRGM : Bureau de Recherches Géologique et Minières

CAO : Conception Assistée par Ordinateur

CCTP : Cahier des Clauses Techniques Particulières

CEV : Cyprinidés d'Eau Vive

CLE : Commission Local de l'Eau

COTECH : COMité TECHnique

DDT(M) : Direction Départementale des Territoires (et de la Mer)

DET : Elément de mission de maîtrise d'œuvre correspondant à la Direction de l'Exécution des contrats de Travaux

DLE : Dossier Loi sur l'Eau

DT : Déclaration de projet de Travaux

FDPPMA 83 : Fédération Départementale de Pêche et de Protection des Milieux Aquatiques du Var

ICE : Indice d'évaluation de la Continuité Ecologique

MES : Matière En Suspension

MNT : Modèle Numérique de Terrain

OFB : Office Française de la Biodiversité

OPC : Elément de mission de maîtrise d'œuvre correspondant à l'Ordonnancement, le Pilotage et la Coordination du chantier

PACA : Région Provence Alpes Côtes d'Azur

PAPI : Programme d'Action de Prévention des Inondations

PLAGEPOMI : PLAN de GEstion des POissons Migrateurs

PPRI : Plan de Prévention du Risque Inondation

PRO : Elément de mission de maîtrise d'œuvre correspondant aux études de Projet

SAGE : Schéma d'Aménagement de Gestion des Eaux

SDAGE : Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux

SIG : Système d'Information Géographique

SLGRI : Stratégie Locale de Gestion des Risques d'Inondations

SMBVG : Syndicat Mixte du Bassin Versant du Gapeau

TVB : Trame Verte et Bleue

VISA : Elément de mission de maîtrise d'œuvre correspondant au contrôle des études d'exécution

ZAP : Zone d'Action Prioritaire

ZNIEFF : Zone Naturelle d'Intérêt Ecologique, Faunistique et Floristique

## TABLE DES FIGURES

Figure 1 : Pôles métiers chez Antea Group .....	1
Figure 2 : Localisation de l'étude principale sur la restauration de la continuité écologique au droit de 8 seuils en rivières .....	3
Figure 3 : Méthode de calcul pour estimer le volume de sédiments accumulés et le remous solide des seuils .....	14
Figure 4 : Grandeurs associées aux écoulements sur un seuil (Source : Degoutte).....	18
Figure 5 : Identification des enjeux et contraintes aux droits des ouvrages avant et pendant la phase travaux.....	20
Figure 6 : Incidences des projets de dérasement des seuils .....	23
Figure 7 : Architectures du modèle HEC-RAS 1D.....	XVIII

## TABLE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Synthèse des thématiques constitutives des rapports d'état des lieux de l'étude de restauration de la continuité écologique au droit des 8 seuils en rivières (phase 1 Lot 1 et 2) .....	6
Tableau 2 : Synthèse des droits d'eau associés au seuil .....	9
Tableau 3 : Débits caractéristiques pour la station de la Décapris sur le Réal Martin.....	11
Tableau 4 : Débits de crues modélisés sur le Meige Pan (source : Étude hydrologique Egis, 2019) ....	12
Tableau 5 : Débits caractéristiques calculés par méthode de transfert de bassin sur le Meige Pan....	12
Tableau 6 : Comparaison des débits de crues du Réal Martin sur la station hydrométrique de la Décapris et par modélisation HEC-HMS (source : Hydro Portail et étude hydrologique Egis, 2019) .....	12
Tableau 7 : Puissance spécifique du Réal Martin et du Meige Pan.....	13
Tableau 8 : Incidences des seuils étudiés sur la continuité sédimentaire du Réal Martin et du Meige Pan .....	14
Tableau 9 : Peuplement piscicole présent sur le Réal Martin et le Meige Pan au droit des ouvrages étudiés.....	15
Tableau 10 : Exemple de Notation ICE pour le seuil des Étangs de la Sauvebonne.....	16
Tableau 11 : Synthèse des débits d'ennoiement de chaque seuil sur le Réal Martin .....	18
Tableau 12 : Débit de plein bord et d'ennoiement des seuils sur le Meige Pan.....	19
Tableau 13 : Synthèse des travaux réalisés sur les seuils dans le cadre de leur dérasement.....	21
Tableau 14 : Avantages et inconvénients du dérasement de seuil.....	23
Tableau 15 : Rappel des données hydrologiques à la station hydrométrique de la Décapris sur le Réal Martin.....	XVI

# 1. PRÉSENTATION DE L'ORGANISME : ANTEA GROUP

Antea Group est un groupe d'ingénierie et de conseil dans le domaine de l'environnement à l'échelle internationale depuis 1951. Ce groupe rassemble près de 3 500 collaborateurs dans 15 pays à travers le monde. En France, ce grand groupe emploie plus de 990 experts, consultants et collaborateurs que se répartissent dans plus de 25 implantations en métropoles et outre-mer.

Les équipes qui composent l'organisme sont pluridisciplinaires et proposent des solutions globales dans différents domaines de l'environnement, tels que les infrastructures, l'aménagement du territoire et l'eau, pour des acteurs publics comme privés.

Dans le domaine de l'eau, ses compétences se sont développées depuis son rapprochement avec le Groupe IRH Environnement et ses filiales en 2015.

Les nombreuses disciplines traitées par Antea Group permettent d'offrir un éventail de prestation allant du conseil, de l'expertise, à la maîtrise d'œuvre en passant par l'audit, le diagnostic et le management de données environnementales.

De ce fait, les activités d'Antea Group se répartissent au sein de plusieurs métiers : l'Eau, l'Infrastructure, l'Aménagement du territoire, l'Environnement, la Mesure et le Data (Figure 1).

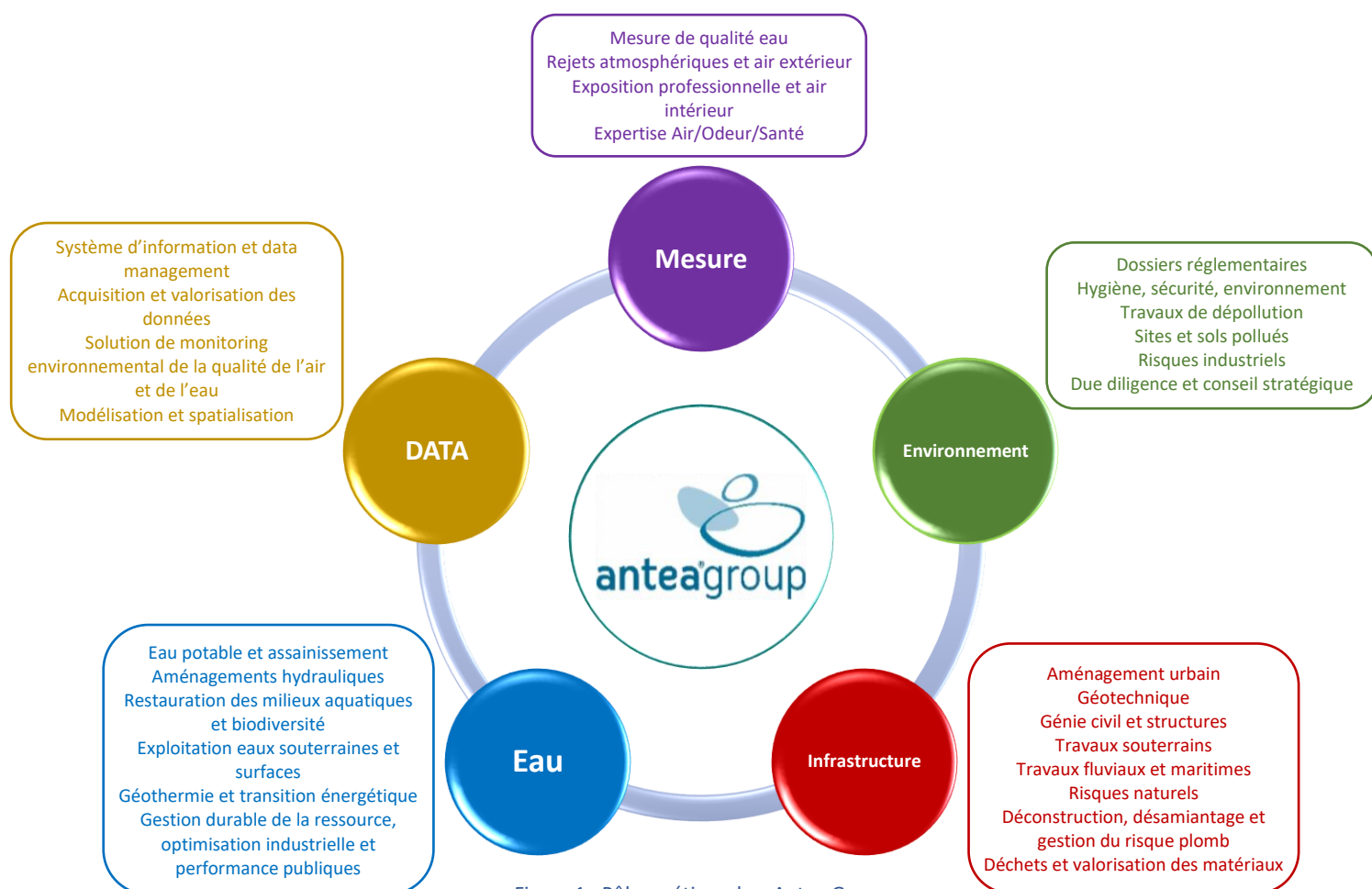


Figure 1 : Pôles métiers chez Antea Group



Le pôle Eau s'inscrit plus particulièrement dans la recherche de solution sur les enjeux majeurs de la ressource en eau (changement climatique, quantité et qualité de l'eau, aménagement hydraulique et préservation de la biodiversité, aléa inondation ...). Ces thématiques concernent à la fois les eaux de surface comme souterraines, mais également les systèmes d'assainissement et d'alimentation en eau potable.

Le service « Aménagements hydrauliques et milieux aquatiques » que j'ai intégré lors de mon stage réalise essentiellement des missions sur l'étude et la gestion du risque inondation, la gestion des eaux pluviales mais également la restauration du bon fonctionnement des écosystèmes aquatiques.

Les principales missions qui sont réalisées dans ces services concernent :

- La restauration hydromorphologique et la renaturation de cours d'eau
- La restauration de la continuité écologique d'un point de vue piscicole et sédimentaire
- L'aménagement, la protection et la requalification de berges
- La gestion du risque inondation
- L'aménagement de plans d'eau et bassin versant
- L'aménagement hydraulique sur des digues, barrages, eaux pluviales

L'équipe que j'ai intégrée intervient sur le sud de la France et se répartit les missions dans 3 implantations différentes que sont les implantations de Montpellier, d'Aubagne et de Grenoble.

L'équipe se compose d'un responsable Eau de l'équipe sud, d'une directrice de projet, de 7 chefs de projet, 3 ingénieurs de projet et de 2 stagiaires pendant ma période de stage. L'ensemble de l'organigramme est disponible en Annexe 1.

## 2. PRÉSENTATION DES MISSIONS

### 2.1. Missions principales

Lors de mon stage chez Antea Group, j'ai dû réaliser diverses tâches afin de mener une étude pour la restauration de la continuité écologique en cours d'eau. Cette étude se situe dans le département du Var (83) sur 4 communes que sont les communes de Cuers, Hyères, La Crau et Pierrefeu-du-Var.

Cette étude a été commandée par le Syndicat Mixte du Bassin Versant du Gapeau (SMBVG) afin de restaurer la continuité piscicole et sédimentaire au droit de 8 ouvrages en rivière répartis équitablement sur la rivière du Réal Martin et du Meige Pan (Figure 2).

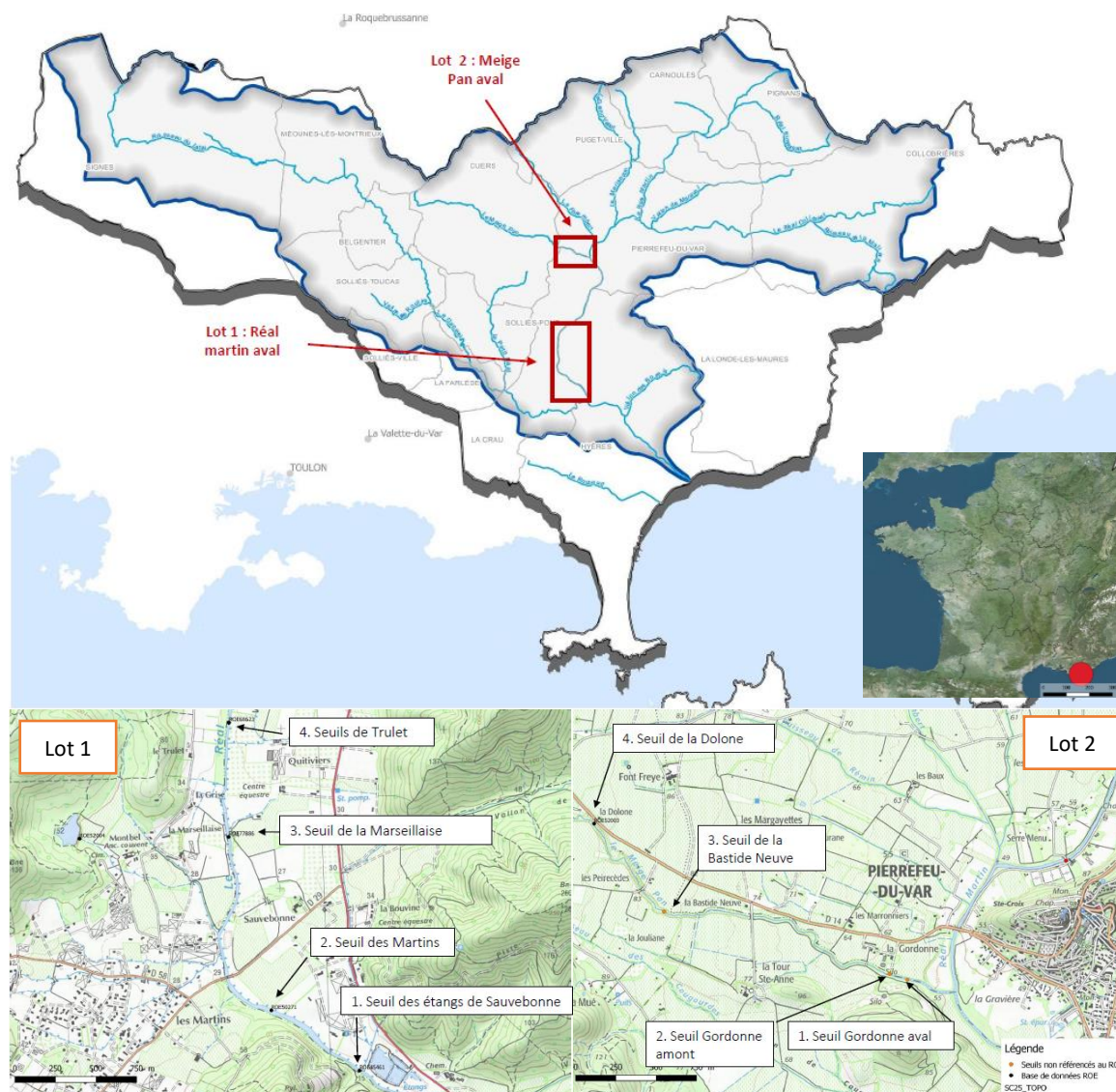


Figure 2 : Localisation de l'étude principale sur la restauration de la continuité écologique au droit de 8 seuils en rivières

Les objectifs de restauration de la continuité écologique qui s'inscrivent dans le cadre de cette étude découlent de plusieurs constats et enjeux :

- Le secteur d'étude fait partie d'une Zone d'Action Prioritaire (ZAP) pour l'anguille, espèce migratrice amphihaline en voie critique d'extinction dont la montaison est compromise par une densité d'obstacle très importante sur le Réal Martin et le Meige Pan. Ces ouvrages font donc l'objet d'une attention particulière dans le PLAGEPOMI et le SDAGE 2022-2027 (classés comme ouvrages prioritaires).

- D'autres études sur l'hydromorphologie du cours d'eau (Egis, 2019; Géopéka, 2018) ont montré que les seuils présents sur le Réal Martin et surtout sur le Meige Pan sont des freins considérables au transit sédimentaire. Les pertes de charge induites ont provoqué une rétention importante en amont des ouvrages et un déficit en aval jusqu'à atteindre le substratum sur certaine portion du cours d'eau. Cette modification de la morphologie au droit des ouvrages a également modifié les faciès d'écoulement aujourd'hui dominés par des sections homogènes lenticulaires homogénéisant également les habitats.

L'étude est composée de 2 lots et sa réalisation est échelonnée en plusieurs phases présentées dans l'Annexe 2, initialement proposée dans l'offre de marché du SMBVG (SMBVG, 2021). Les principales missions de mon stage ont concerné les tranches fermes des 2 lots qui se découpent en 2 phases.

La phase 1 concerne la réalisation d'un état des lieux et diagnostic de 8 seuils et de l'hydromorphologie du cours d'eau à la fois sur le Meige Pan et le Réal Martin (Phase 1 du Lot 1 & du Lot 2).

La phase 2 concerne la proposition d'aménagements de ces ouvrages afin de restaurer la continuité écologique. Dans le temps imparti de mon stage ces propositions concernent uniquement l'étude du scénario de dérasement sur les ouvrages du Réal Martin et du Meige Pan (Phase 2 du Lot 1 & du Lot 2).

## 2.2. Missions secondaires

Lors de mon stage, j'ai été amené à travailler en parallèle sur d'autres petites études ou en appui sur d'autres projets réalisés par mon équipe :

- **Réalisation d'un Dossier de déclaration Loi sur l'Eau (DLE)** : dans le cadre d'un projet qui concernait la réhabilitation d'une conduite d'adduction d'eau potable en traversée d'un cours d'eau (la Jordane dans le Cantal (15)) avec l'aménagement d'un système de franchissement piscicole.
- **Étude de faisabilité sur la restauration écologique de 2 seuils sur le Lez dans l'Hérault (34)** : avec la proposition de 2 scénarii par ouvrages. L'étude comprenait un scénario de dérasement ou d'arasement et un scénario d'équipement d'ouvrage avec un dispositif de franchissement piscicole (passe en enrochement et passe à anguille).
- **Note technique – hydraulique eau pluviale** : Dans le cadre d'une étude en infrastructure routière, j'ai été menée à réaliser une note technique sur la caractérisation des écoulements au droit d'un fossé d'évacuation d'eau pluviale. Pour cette mission, j'ai dû délimiter le bassin versant drainé et déterminer les débits et vitesses transitant dans ce fossé à partir de données pluviométriques en appliquant une méthode de calcul pluie-débit : la méthode rationnelle.
- **Etude de dimensionnement d'un bassin de rétention d'eau pluviale** : cette étude s'inscrit dans le cadre d'un projet de lotissement et plus particulièrement sur la gestion des eaux pluviales. Le dimensionnement du bassin s'est basé sur les surfaces à drainer et des données de débits (obtenus par méthode rationnelle). Ensuite, le dimensionnement du bassin de rétention des eaux pluviales a été fait à partir des méthodes recommandées dans le PLU et aussi par la DDTM locale.
- **Etude d'incidence d'un rejet de forage géothermique en rivière** : j'ai dû réaliser un modèle hydraulique sous le logiciel Mike Flood pour modéliser les écoulements avant rejet et la diffusion d'un panache thermique au sein du cours d'eau avant et après rejet. Avant de faire la modélisation et l'analyse d'incidence du rejet sur le milieu, j'ai dû réaliser au préalable un maillage du cours d'eau pour représenter en 2D le fond du lit du ruisseau et permettre les calculs intervenant dans la modélisation.
- **Autres missions** : Dans le cadre d'autres études hydrauliques, j'ai dû préparer des tableurs à partir de levés topographiques (profils en long et profils en travers de cours d'eau) et des levés d'ouvrages sous ZWCad, afin de faciliter la saisie sous des logiciels de modélisations hydrauliques (Hec-Ras, Mike). J'ai également été amenée à réaliser des cartographies sous logiciel de SIG Qgis (Système d'Information Géographique).

### 3. DÉROULÉ DES MISSIONS

En général, avant le traitement de chaque étude, que ce soit pour les missions principales ou secondaires, j'ai dû prendre connaissance du projet, de son état d'avancement, du site d'étude, des attentes du client et surtout des tâches qui m'incombaient dans la réalisation des études.

Pour ce faire, j'ai dû prendre connaissance des documents fournis par les maîtres d'ouvrage tel que l'offre de marché (CCTP principalement) et d'autres études réalisées sur le projet (étude préalable d'état des lieux et diagnostic, géotechnique, hydraulique, hydromorphologique, topographique ...). Mais j'ai également dû consulter les réponses aux appels d'offres fournies par Antea Group pour produire précisément les livrables vendus par l'entreprise.

Le déroulé global du stage et de l'ensemble des études et projets auxquels j'ai participé sont présentés en Annexe 3 dans un diagramme de Gantt.

Le déroulé des missions qui sont présentées dans le présent rapport concerne le travail réalisé sur l'étude principale de restauration de la continuité écologique au droit de 8 seuils en rivières sur le Réal Martin et le Meige Pan dans le Var.

Dans le cadre de cette étude et de mon stage, j'ai participé à diverses réunions auprès de mon équipe, des riverains ou encore en CLE (Commission Local de l'Eau) pour présenter les résultats.

#### 3.1. Phase 1 : Étude préalable et diagnostic

##### 3.1.1. Collecte de données pour réaliser l'état des lieux sur l'étude de la restauration de la continuité écologique au droit de 8 seuils en rivière

###### 3.1.1.1. Veille bibliographique

Afin de réaliser un diagnostic du territoire sur lequel sont présents les seuils et de pouvoir proposer un aménagement de ces derniers, il est essentiel d'en connaître le fonctionnement, les enjeux comme les contraintes qui y sont présents.

Pour cela, j'ai dû compléter un premier travail de compilation de données qui avait été initié par des membres de mon équipe afin de réaliser l'état des lieux des cours d'eau étudiés, les entités administratives concernées et les 8 seuils en rivières à aménager.

Pour réaliser cette étude préalable, diverses sources de données transmises directement par le Maître d'ouvrage (SMBVG) ont été exploitées et complétées par des données bibliographiques et webographiques disponibles.

L'ensemble des thématiques constitutives de l'état des lieux est présenté dans le Tableau 1 ci-dessous, ainsi que les sources d'informations exploitées.

Pour faire une synthèse des éléments importants de l'état des lieux nécessaire à la compréhension de la suite du rapport, la rivière du Réal Martin et du Meige Pan abritent une biodiversité riche justifiant la présence de nombreux zonages environnementaux à proximité. De ce fait, de forts enjeux de préservation concernent ces deux cours d'eau.

Dans le cadre de cette volonté de préservation, le projet de restauration de la continuité écologique de ces 8 seuils intègre les objectifs fixés par le PLAGEPOMI pour la préservation de l'anguille et ceux du SDAGE Rhône Méditerranée en termes de restauration des milieux et de la morphologie sur des axes de migration de l'anguille. Les espèces piscicoles cibles dans cette étude de restauration concerne en premier lieu l'Anguille d'Europe *Anguilla anguilla* (grand migrateur amphihalien en voie critique d'extinction) et deux espèces d'intérêts communautaires et patrimoniales, que sont le Blageon *Telestes souffia* et le Barbeau méridional *Barbus meridionalis*.

Tableau 1 : Synthèse des thématiques constitutives des rapports d'état des lieux de l'étude de restauration de la continuité écologique au droit des 8 seuils en rivières (phase 1 Lot 1 et 2)

Thématiques	Sous-thématiques	Éléments constitutifs	Sources
<b>Contexte réglementaire</b>	Classement au titre du code de l'environnement		Géoportail de l'Urbanisme, Site web des Mairies, Eau France, Sandre, Gest'eau, Site web du SMBVG, Département du Var.gouv et Données fournies par le SMBVG.
	Documents stratégiques, de planification et réglementaires	Document d'urbanisme, SDAGE, SAGE, PLAGEPOMI, PAPI, SLGRI, Contrat de milieux	
<b>Contexte naturel global du territoire</b>	Milieu physique	Climatologie, Géologie, Hydrogéologie, Captages souterrains, Hydrologie (débits caractéristiques, classés et de fonctionnement), Qualité eau de surface	Météo France, Infoterre BRGM, Banque des sous-sols, Géoportail, Ades, Sandre, BD Topage, ARS PACA - DT du Var, SIG Zone - Humide, Carmen, Eau France, Atlas SRCE PACA, Développement durable.gouv,
	Milieu naturel	Zone Natura2000, ZNIEFF, Zone Humide, Trames vertes et bleues, Paysage	Étude (Egis, 2019), Document Communal Synthétique (Risque naturel) et Données transmises par le SMBVG.
	Risques naturels et technologies	Inondation, Sismique, Mouvements de terrain, Retrait/gonflement des argiles, Incendies, Risques technologiques	
	Localisation		Base de données ROE Eau France, Sandre, Levés topographique (OPSIA, 2016, 2017, 2018, 2021), IGN, Prospection terrain, Données cadastrales communales, Enquête riverains et Données fournies par le SMBVG.
<b>Ouvrages</b>	Description des seuils	Topographie, Description générale, Fonctionnement, Parcelles cadastrales attenantes	
	Hydromorphologie générale		Géoportail, remonter le temps, IGN, Carte de Cassini, Carte de l'état-major et Carte de 1950.
<b>Hydrobiologie</b>	Analyse diachronique		
	Contexte piscicole	Activités présentes	
	Peuplement piscicole	Inventaires	
	Invertébrés benthiques et diatomées	Inventaires et note qualité	Fédération de Pêche du Var, AAPPMA, Sandre, Eau France et Données fournies par le SMBVG.
<b>Contexte foncier et économique du territoire</b>	Foncier et emprise cadastrale		Service d'urbanisme ou cadastrale des communes, Enquête riverains, Prospection terrain, FDPMA83, ARS, Infoterre, BRGM et DICT Service.
	Enjeux socio-économiques		
	Déclaration de projet de Travaux (DT)	Réseaux pluviaux, assainissement eaux usées et AEP, Réseau électrique et éclairage	
<b>Droits d'eau</b>	Recherches de données historiques	Documents officiels de prélèvements ou construction ou attestant de leur présence (canaux d'irrigation/prise d'eau)	Archives départementales du Var, Archives Communales, Inventaire général du patrimoine culturel de la région PACA, Carte de Cassini/Etat Major/1950, Enquête des riverains, Bosc, 1845, Documents fournis par des riverains.
	Synthèse des droits d'eau associés aux ouvrages		



En termes de réglementation, le tronçon aval du Réal Martin est classé en Liste 1. Ce qui signifie qu'aucune autorisation ou concession ne peut être accordée pour la construction de nouveaux ouvrages s'ils constituent un obstacle à la continuité écologique.

Ces cours d'eau fonctionnent selon un climat méditerranéen, dicté par des périodes de sécheresse longues pouvant causer des assèchs en été et des crues importantes en hivers avec des montées du niveau d'eau rapide.

Ce fonctionnement climatique ainsi que le développement démographique et l'extension de l'agriculture de la zone ont généré la construction de nombreux obstacles en rivières au XVIII<sup>e</sup> siècle pour rehausser la ligne d'eau et permettre l'irrigation des parcelles avoisinantes. Cet aménagement important des cours d'eau s'est accompagné d'une rectification du linéaire des cours d'eau à cette période, en particulier sur le Meige Pan où les berges ont été fortement rehaussées sur sa partie aval.

Les seuils présent sur le Réal Martin sont relativement semblables (Annexe 4). Les 3 seuils les plus en aval sont de constitution identique en pierres de taille maçonnées, de forme concave vers l'amont et surmontés de bloc permettant autrefois l'installation de batardeaux permettant la réhausse du niveau d'eau pour l'irrigation et l'inondation des parcelles viticoles riveraines. Le seuil du Trulet est constitué des mêmes matériaux, mais ne nécessitait pas la mise en place de batardeaux pour l'alimentation de ses prises d'eau. Dans l'ensemble, ces ouvrages sont en bon état malgré la profondeur des fosses de dissipation et l'affouillement qui en résulte dégradant les ouvrages à leur base et les murs latéraux notamment.

Les 4 seuils du Meige Pan sont de constitution identique en pierres de taille maçonnées et de forme rectiligne, perpendiculaire aux écoulements. Dans l'ensemble, ces ouvrages sont en mauvais état. Leur parement amont est relativement dégradé avec la chute de nombreuses pierres. Ces ouvrages sont également déstabilisés à leur base dû à l'affouillement des fondations causé par l'énergie de chute.

### 3.1.1.2. Prospection terrain

Afin de confirmer et de compléter l'état des lieux et le diagnostic des seuils, une prospection terrain a été réalisée. Cette prospection a également permis de réaliser un diagnostic hydromorphologique des cours d'eau.

La prospection terrain a été réalisée le 09/03/22 sur le Réal Martin. Le cours d'eau a été prospecté de manière exhaustive de l'aval vers l'amont, sur environ 4,7km. Depuis la confluence entre le Réal Martin et le Gapeau jusqu'au pont de la Décapris.

Concernant le Meige Pan la prospection terrain a été réalisée le 10/03/22. Le cours d'eau a été prospecté de manière exhaustive de l'amont vers l'aval, sur environ 3,2km. Depuis environ 300m en amont du seuil de la Dolone jusqu'à la confluence entre le Réal Martin et le Meige Pan.

Cette prospection a été réalisée par 2 intervenants d'Antea Group : Benjamin QUITTET, ingénieur éco-hydraulicien et moi-même. Nous avons été accompagnés par 2 représentants du SMBVG : Arthur JULLIEN, technicien de rivière et un stagiaire, et par 2 représentants de la Fédération de pêche du Var : Julien PREYNAT et un stagiaire.

- Diagnostic hydromorphologique :

Ce diagnostic a permis de connaître l'état hydromorphologique actuel du cours d'eau et d'identifier l'impact des ouvrages sur l'hydromorphologie. Le diagnostic a également permis de déterminer le gain écologique et l'incidence qu'auront les aménagements des ouvrages pour la restauration de la continuité écologique. La méthode utilisée pour ce diagnostic s'inspire de la méthode REH – Réseau d'Évaluation des Habitats (Vigneron, 2005). Ce diagnostic regroupe 5 volets qui composent l'hydromorphologie du cours d'eau :

- **L'hydrodynamique** (faciès et diversité d'écoulements)

- **La morphologie du lit mineur** (sinuosité, largeur du lit, incision, forme du profil, granulométrie, colmatage, développement d'hydrophytes, stabilité du substrat et diversité d'habitats)
- **Les berges et la ripisylve** (description générale des berges et de la ripisylve sur chaque rive en termes de hauteur, densité, pente, habitats ...)
- **La continuité transversale** (connexion avec le réseau secondaire et connexion entre lit mineur - lit majeur)
- **Les aménagements en lit mineur et lit majeur** (Recensement de toutes les Installations, Ouvrages, Travaux et Activités dans le lit mineur et/ou majeur du cours d'eau)

Cette analyse a permis de découper la portion de cours d'eau prospectée en tronçons homogènes. Au total, 9 tronçons composent la portion prospectée du Réal Martin et 5 pour le Meige Pan (voir le découpage en Annexe 5). Une fiche synthétique a été réalisée pour chaque tronçon dont un exemple est disponible en Annexe 6.

D'autres éléments remarquables ont également fait l'objet d'une attention particulière, tel que le substratum affleurant, remous liquide et solide, autres ouvrages en rivière ... Ces points ont permis de connaître les linéaires impactés par les seuils, mais ont également permis d'anticiper certains phénomènes qui pourraient être engendrés par l'aménagement des seuils (érosion régressive et latérale).

- Diagnostic ouvrage :

La prospection terrain a permis d'affiner les observations faites sur photos, avec l'état général de l'ouvrage, les matériaux utilisés, ses mesures et son implantation, l'état des prises d'eau et des canaux associés, la présence d'une fosse de dissipation (profondeur, longueur, largeur), l'accès à l'ouvrage, l'état des berges aux alentours, les enjeux attenants, et les possibilités d'aménagements de l'ouvrage. Une attention particulière a été portée sur les possibilités de franchissement piscicole et les possibles voies de reptations pour les anguilles.

### 3.1.1.3. Enquête des riverains et reconstitution des droits d'eau

#### 3.1.1.3.1. Recherche des Droits d'eau associés aux ouvrages étudiés

L'une des principales requêtes du SMBVG, mentionnée dans les documents de consultation, était la recherche des droits d'eau associés aux ouvrages afin d'en déterminer la nature et les contraintes que cela implique pour la suite de l'étude.

Pour rappel, divers droits d'eaux s'appliquent aux cours d'eau non domaniaux :

- **Les droits d'eau fondés en titre** : sont des droits d'eau à caractère « perpétuel » établis sous le régime féodal et que la Révolution Française de 1789 n'a pas aboli. Une justification de l'existence ancienne de ces droits de prélèvements, ou bien un bilan descriptif précis des ouvrages datant d'**avant 1789**, suffisent à prouver leur autorisation. Ce droit peut être perdu si la « ruine » de l'ouvrage est déclarée, si le propriétaire abandonne ses droits ou si la police de l'eau intervient dans le cadre de l'intérêt général pour la protection des milieux aquatiques (Ministère de l'écologie, de l'énergie, du développement durable et de la mer, 2010).
- **Les droits d'eau fondés sur titre** : Après la révolution, tous les propriétaires de canaux ou d'ouvrages en mesure de justifier le format papier d'une autorisation, datant d'**après 1789**, sont alors en possession d'un droit fondé sur titre. Une mise en conformité des ouvrages avec la réglementation actuelle est obligatoire.

Pour identifier l'existence et, le cas échéant, le type de droit d'eau associé à chaque ouvrage, j'ai dû consulter diverses sources d'archives pouvant témoigner de leur présence.

Les premiers documents consultés étaient d'anciennes cartes illustrant la présence des obstacles dans les cours d'eau ou, a minima, celle des canaux d'irrigation à proximité de l'emplacement actuel des

seuils. En effet, les seuils étudiés sont associés à des prises d'eau alimentant des canaux, à des fins d'irrigation. La présence de canaux d'irrigation sur d'anciens documents atteste donc de la présence des ouvrages à cette même époque. Les cartes consultées sont les suivantes :

- Carte de Cassini (1714-1784)
- Carte de l'État-major (1820-1866)
- Scan historique de 1950
- Plan parcellaire napoléonien (1828-1845) disponible aux archives départementales du Var et les registres parcellaires des propriétés foncières bâties et non bâties pour retrouver les anciens propriétaires des parcelles attenantes à l'emplacement actuel des seuils.

Pour compléter les observations faites sur les cartes, j'ai dû consulter d'autres documents écrits pour estimer les dates de construction ou à minima établir une date/époque où les ouvrages étaient déjà présents. Les documents consultés sont les suivants :

- Documents disponibles sur l'Inventaire Général du Patrimoine Culturel de la région de PACA (1746-1885).
- Archives de Hyères (1793-1853) consultées sur place : documents dédiés au Réal Martin et à l'établissement de barrage en rivière ; l'histoire de la vallée de Sauvebonne ; actes notariés des anciens propriétaires des parcelles attenantes à l'emplacement des seuils actuel.
- Documents de droits et accords de prise d'eau fournis par M. Dupuy, propriétaire de 3 des 8 ouvrages (1840) et de nombreuses parcelles riveraines, enquêté lors de la campagne de terrain.
- Rapport Bosc, 1845: Rapport de recensement des ouvrages de prise d'eau pour l'irrigation par M. Bosc en 1845 dans le Département du Var pour le préfet.

La reconstitution des dates de construction ou à minima de présence des ouvrages s'est avérée relativement complexe. En effet, selon la précision des cartes et les éléments y figurants certains ouvrages pouvaient être présents sur des cartes antérieures, mais non représentés sur des cartes plus récentes. De plus, la description des ouvrages dans les documents écrits est peu précise et leurs dénominations se réfèrent souvent à la toponymie locale de l'époque, ne correspondant pas à la toponymie actuelle. Cette enquête a été encore plus compliquée sur le cours d'eau du Meige Pan du fait de sa plus faible importance impliquant moins d'informations disponibles sur ce cours d'eau. Par conséquent, seules des hypothèses ont été établies quant à la date d'établissement des ouvrages et aux droits d'eau qui y sont associés (Tableau 2).

Tableau 2 : Synthèse des droits d'eau associés au seuil

Seuils	Date de construction théorique	Droit d'eau	Seuils	Date de construction théorique	Droit d'eau
Étang de Sauvebonne	1844	Sur Titre	Gordonne Aval	1828-1845	Sur titre
Martins	1844	Sur Titre	Gordonne Amont	1922	Sur titre
Marseillaise	Antérieur 1784	En Titre	Bastide Neuve	1769-1845	En ou Sur titre
Trulet	1828-1840	Sur Titre	Dolone	1769-1843	En ou Sur titre

### 3.1.1.3.2. Enquête auprès des riverains

Dans le cadre de la recherche des droits d'eau et des propriétaires des seuils, une enquête a été réalisée pour rentrer en contact avec les propriétaires des parcelles attenantes aux seuils. Cette enquête a également permis d'informer les riverains de la réalisation de la présente étude et de recueillir leur avis sur le projet.



Afin de retrouver les propriétaires des parcelles, les services cadastraux ou d'urbanismes des communes concernées ont été contactés.

Après avoir obtenu la liste des propriétaires de chaque parcelle concernée, les coordonnées de ces personnes ont été recherchées au travers de divers moyens (page blanche, réseaux sociaux, contact fourni par d'autres personnes ...).

À la suite de cette étape, les personnes dont le contact a pu être trouvé ont été contactées, avec plus ou moins de succès malgré les nombreux essais.

Lors de ces échanges, après avoir annoncé le sujet de mon travail et le cadre de l'étude, les principales informations demandées concernaient :

- Le type d'utilisation de la ou des parcelle(s).
- L'utilisation ou non du seuil attenant, quel que soit l'usage.
- La propriété du seuil et les documents attestant de cette propriété.
- Leurs avis quant au projet de restauration de la continuité écologique au droit de ces seuils.

Il en est ressorti essentiellement que les parcelles sont utilisées à des fins agricoles ou à usages personnels. La fonction principale des ouvrages pour l'irrigation est aujourd'hui abandonnée (excepté pour le seuil de la Dolone sur le Meige Pan). Seules des activités de pêche et de baignade sont présentes sur le Réal Martin mais peu pratiquées. En ce qui concerne l'avis des riverains sur le projet de restauration de la continuité écologique au droit des ouvrages, les avis divergent entre les 2 cours d'eau.

- Avis sur le Réal Martin

Bien que les ouvrages ne soient plus utilisés, leur valeur historique et patrimoniale par rapport à l'ancienne pratique agricole et leur valeur sentimentale font qu'en première approche les riverains sont globalement contre le dérasement des ouvrages.

De plus, la crainte des possibles impacts induits par un tel projet (risque inondation, risque d'érosion, baisse des niveaux d'eau et de la nappe souterraine, perte d'arbre en ripisylve, cours d'eau plus souvent assec ...) tend à renforcer le refus de dérasement. Cependant, les riverains ne sont pas contre l'aménagement des seuils afin de permettre le franchissement piscicole.

- Avis sur le Meige Pan

Du fait des débordements récurrents du cours d'eau attribués par les riverains à la présence des seuils, de leurs non-usages et de la qualité médiocre du cours d'eau, les riverains sont peu concernés et globalement favorables au dérasement des seuils.

### 3.1.2. Traitement des données pour l'analyse à l'aide de divers outils

Afin d'analyser les données collectées, divers outils numériques ont été utilisés pour faciliter leur interprétation et visualisation.

#### 3.1.2.1. Outil cartographique

Dans l'état des lieux et diagnostic du territoire, diverses cartes ont été produites afin de représenter géographiquement certaines informations, les rendant plus facilement interprétables. Pour cela, l'outil utilisé en SIG est QGIS 3.16.13. Cet outil de cartographie permet de gérer diverses informations géoréférencées en couche superposables afin d'implémenter des cartes qui ont été intégrées aux rapports. Ces informations de toutes natures concernent principalement :

- Les zonages environnementaux (périmètre ZNIEFF, Natura 2000, zone humide ...).
- Cartes d'Aléa (inondation, cavités souterraines, gonflement/retrait d'argiles et incendies).
- Carte sur la nature physique du territoire (réseau hydrographique, géologie, hydrogéologie et occupation du sol).

- Périmètre des entités administratives concernées (département, communes, cadastres ...).
- Informations ponctuelles (prélèvements de nappe, station de mesure météorologique et hydrométrique, inventaires d'espèces exotiques envahissantes ...).
- Installations et infrastructure humaines (ouvrages en rivière, ouvrages d'art, réseaux et bâtiments).
- Diagnostic hydromorphologique avec le découpage en tronçon homogène.

Ce traitement cartographique a permis d'obtenir également des informations surfaciques ou linéaires de certaines entités (par exemple, la superficie des bassins versants étudiés, des linéaires de cours d'eau et bien d'autres informations).

### 3.1.2.2. Outil de calcul

Afin de traiter certaines sources de données numériques et faciliter leur interprétation à l'aide de tableaux et graphiques, un traitement Excel (pack MS Office) a été effectué. Les résultats induits par le traitement de ces données ont permis d'enrichir l'état des lieux sur le territoire, mais également de quantifier et qualifier l'incidence écologique des seuils sur le plan sédimentaire comme piscicole.

#### 3.1.2.2.1. Données hydrologiques

- Cas du Réal Martin – Lot 1

Les données de débits ont été récupérées en ligne sur Hydro-Portail – Eau France à partir de la station hydrométrique (du Réal Martin à La Crau – La Décapris – Code station : Y4615020) située à 500m en amont du seuil du Trulet. Cette station a fourni des informations sur l'hydrologie du territoire sur 57 ans.

Les débits caractéristiques mesurés au niveau de la station hydrométrique sont présentés dans le Tableau 3. Ces débits ont ensuite été exploités dans le modèle hydraulique présenté dans la partie §3.1.2.3.2 et sont considérés valables aux droits des 4 seuils du fait des faibles apports latéraux sur le tronçon (absence d'affluents).

Tableau 3 : Débits caractéristiques pour la station de la Décapris sur le Réal Martin

Données hydrologiques	Débit à la station de Décapris (source : Banque Hydro) (m <sup>3</sup> /s)
<b>Q<sub>MNAS</sub></b>	0,093
<b>Module</b>	2,21
<b>Crue biennale</b>	92
<b>Crue quinquennale</b>	150
<b>Crue décennale</b>	180
<b>Crue vicennale</b>	220
<b>Crue cinquantennale</b>	260

- Cas du Meige Pan – Lot 2

Pour les débits caractéristiques du Meige Pan, aucune station hydrométrique n'est présente. Pour obtenir les débits moyens, d'étiage et de crues diverses méthodes ont été utilisées.

Tout d'abord, les débits de crues ont pu être obtenus à partir d'une précédente étude hydrologique menée par EGIS en 2019, au niveau du Meige Pan aval. Les résultats de l'étude hydrologique sont présentés dans le Tableau 4. Ces débits sont également valables pour l'ensemble des 4 seuils étudiés sur le Meige Pan du fait des faibles apports en eau entre les seuils.

Tableau 4 : Débits de crues modélisés sur le Meige Pan (source : Étude hydrologique Egis, 2019)

Occurrence	Débit de pointe (m³/s)
Q5	88
Q10	124
Q20	161
Q30	183
Q50	213
Q100	250

Les débits moyen et d'étiage sur le Meige Pan ont été calculé par la méthode de transfert de bassin de Myer. Cette méthode de calcul permet d'estimer les débits d'un cours d'eau à partir des données mesurées sur un autre cours d'eau à proximité pour lequel une station hydrométrique est présente et dont le fonctionnement du bassin versant est similaire (hydrologie, géologie, superficie, pente ...).

Formule de Myer :  $Q_{BV2} = Q_{BV1} \cdot \left( \frac{S_{BV2}}{S_{BV1}} \right)^\alpha$

Avec  $Q_{BV1}$  le débit du cours d'eau de référence,  
 $Q_{BV2}$  le débit du cours d'eau recherché,  
 $S_{BV1}$  la superficie de bassin versant du cours d'eau de référence,  
 $S_{BV2}$  la superficie de bassin versant du cours d'eau dont le débit est recherché,  
 $\alpha$  le coefficient de comparaison Myer.

Dans le cas du Meige Pan, le cours d'eau de référence utilisé est le Réal Martin. Les caractéristiques et données ayant servi pour le calcul des débits sont disponibles dans le Tableau 5 suivant :

Tableau 5 : Débits caractéristiques calculés par méthode de transfert de bassin sur le Meige Pan

$S_{BV1}$ Réal Martin (km²)	281	BV1 Réal Martin		BV2 Meige Pan	
$S_{BV2}$ Meige Pan (km²)	24.5	Q Module	2.21	Q Module	0.19
Coef $\alpha$ crue	0.8	QMNA5	0.093	QMNA5	0.01
Coef $\alpha$ étiage	1.1	Q2	92	Q2	13.07
Coef $\alpha$ module	1	Q5	150	Q5	25.56
		Q10	180	Q10	21.30
		Q20	220	Q20	31.25
		Q50	260	Q50	36.93

On peut noter que les débits de crues du Meige Pan obtenus par EGIS à l'aide d'un modèle hydrologique (Tableau 4) sont beaucoup plus importants que ceux obtenus par méthode de transfert de bassin (Tableau 5). Cette différence peut être expliquée par :

- Une surestimation des débits modélisés dans l'étude d'Egis, 2019 afin d'obtenir les valeurs maximales atteintes pour les crues dans le cadre de prévention d'inondation,
- Une sous-estimation des débits de crues par méthode de transfert de bassin. En effet, les débits de référence sont ceux utilisés sur le Réal Martin à la station de la Décapris pour laquelle il est notifié qu'une partie des écoulements en crue contourne la station de mesure par débordement en amont.

Cette observation a été confirmée pour les débits de crues sur le Réal Martin, mesurés au niveau de la Décapris et modélisés par d'EGIS, 2019 au même point (Tableau 6).

Tableau 6 : Comparaison des débits de crues du Réal Martin sur la station hydrométrique de la Décapris et par modélisation HEC-HMS (source : Hydro Portail et étude hydrologique Egis, 2019)

Stations	Comparaison des débits de crues			
	Q5	Q10	Q20	Q50
<b>Réal Martin – tronçon N° 18</b> (Valeurs modélisées sous HEC-HMS)	400	542	691	911
<b>Réal Martin – station Y4615020</b> (valeurs mesurées)	150	180	220	260

De ce fait, les débits pris en compte dans la suite de l'étude pour le Meige Pan correspondent, pour les débits de crue aux valeurs sécuritaires modélisées dans l'étude d'Egis, 2019, et aux résultats par transfert de bassin versant pour les débits d'étiage et de module.

### 3.1.2.2.2. Données sur la puissance spécifique des cours d'eau

Dans le cadre des propositions de restauration ou d'aménagement des seuils, il est important de connaître les capacités de réajustement des cours d'eau et la dynamique sédimentaire induite. Pour cela, la puissance spécifique du cours d'eau a été calculée de la manière suivante :

- La puissance d'un cours d'eau est calculée comme suit :  $\Omega = \gamma QJ$  (W/m)
- La puissance spécifique est quant à elle calculée de la manière suivante :  $\omega = \Omega/l$  (W/m<sup>2</sup>)

Avec  $\gamma$  le poids volumique de l'eau (= 9810 N/m<sup>3</sup>),  
 $Q$  le débit de plein bord (m<sup>3</sup>/s),  
 $J$  la pente de la ligne d'énergie (m/m),  
 $l$  la largeur moyenne du cours d'eau (m).

Les valeurs de puissance spécifique obtenues pour le Réal Martin et le Meige Pan sont présentées dans le Tableau 7, de même que les valeurs des caractéristiques des cours d'eau considérées dans le calcul :

Tableau 7 : Puissance spécifique du Réal Martin et du Meige Pan

	Réal Martin	Meige Pan
Pente moyenne (m/m)	0,004	0,016
Q plein bord (m <sup>3</sup> /s)	122	115
Poids volumique de l'eau (N/m <sup>3</sup> )	9810	9810
Largeur moyenne plein bord (m)	17,5	6,6
Puissance $\Omega$ (W/m)	4 398	18 050,40
Puissance spé $\omega$ (W/m <sup>2</sup> )	251	2 724,59

Dans la littérature, le seuil de 30 ou 35 W/m<sup>2</sup> est souvent retenu avec :

- Si puissance spécifique > 35 W/m<sup>2</sup> = chenal capable de se réajuster morphologiquement et naturellement après chenalassations ;
- Si puissance spécifique < 35 W/m<sup>2</sup> (et surtout < 25 W/m<sup>2</sup>) = chenal incapable de se réajuster.

Le Réal Martin est capable de se réajuster morphologiquement et naturellement à partir d'un débit de 17 m<sup>3</sup>/s ; pour le Meige Pan le débit seuil est de 1, 48 m<sup>3</sup>/s.

Le Réal Martin et le Meige Pan sont donc des cours d'eau actifs, capables de se réajuster rapidement. Le phénomène d'incision observé sur certaine portion des cours d'eau est le résultat de la construction des seuils. En effet, les seuils ont perturbé le transit sédimentaire (stockage en amont et déficit en aval). Pour compenser ce déficit et pour dissiper l'énergie de chute, les cours d'eau se sont localement incisés. Ce phénomène d'incision est d'autant plus important que la puissance spécifique est élevée.

Pour le cas du Meige Pan, la détérioration du cours d'eau est inévitable. Le débit contenu dans le lit mineur est excessif et un phénomène d'incision de grande ampleur se produit et s'amplifie crue après crue.

### 3.1.2.2.3. Données sur le transit sédimentaire

Une estimation de l'impact des seuils sur la continuité sédimentaire, le remous solide, le stock sédimentaire et le déficit aval au niveau de la fosse de dissipation a été calculée à partir des observations terrain et des levés topographiques des ouvrages.

Pour calculer le volume du stock sédimentaire bloqué en amont par les seuils, les paramètres suivants ont été utilisés :

- La pente du cours d'eau (estimée à partir du levé de profil en long du Réal Martin et du Meige Pan (OPSIA, 2016))
- La longueur du remous solide réellement observé lors de la prospection terrain
- La largeur moyenne du lit du cours d'eau en amont du seuil
- Les hauteurs de sédiments théoriques en amont de l'ouvrage (estimée à partir des profils en travers du Réal Martin et du Meige Pan (OPSIA, 2016, 2017, 2018, 2021))

Cela permet d'obtenir comme l'illustre la Figure 3, l'aire totale de sédiments retenus sur le profil en long et in fine le volume de sédiments accumulés.

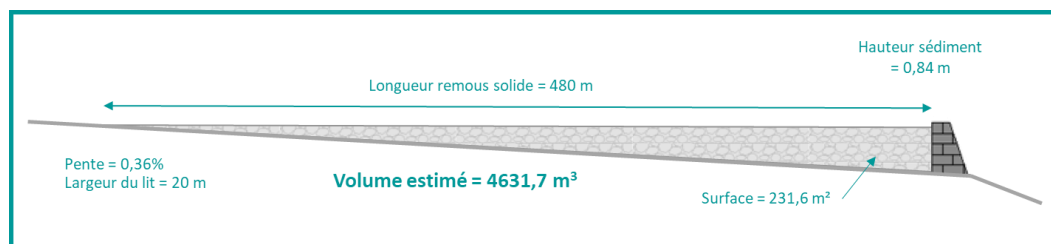


Figure 3 : Méthode de calcul pour estimer le volume de sédiments accumulés et le remous solide des seuils

Ainsi, pour chaque seuil, les résultats obtenus sont présentés dans le Tableau 8.

Tableau 8 : Incidences des seuils étudiés sur la continuité sédimentaire du Réal Martin et du Meige Pan

Seuils	Étangs de Sauvebonne	Martins	Marseillaise	Trulet	Gordonne aval	Gordonne amont	Bastide Neuve	Dolone
Pente du cours d'eau (%)	0,36	0,23	0,58	0,3	1,6	1,6	1,6	1,6
Hauteur moyenne de l'ouvrage (m)	1,71	1,46	2,27	2,36	1,17	0,99	1,2	2,36
Hauteur moyenne de sédiment à l'amont de l'ouvrage (m)	0,84	0,39	1,12	0,93	1,06	0,99	0,3	2,36
Largeur du cours d'eau amont de l'ouvrage (m)	20	21	19	17	8	7	7	4,5
Distance de remous sédimentaire (m)	480	540	526	329	90	50	30	40 (-10m de radier)
Stock sédimentaire amont (m³)	4631,7	3192,9	6612,2	4841,3	381,6	173,3	31,5	160
Déficit sédimentaire aval (m³)	840	471	987	444	NA	NA	NA	NA

Dans le cas du Réal Martin, les ouvrages sont actuellement totalement comblés ; les volumes bloqués par les seuils sont relativement importants. Ce comblement témoigne d'un impact passé des ouvrages sur le transit sédimentaire. En effet, lors de leur construction les seuils ont bloqué le transport solide, remplissant progressivement la retenue amont et créant un phénomène d'incision en aval pour compenser le déficit. Aujourd'hui les ouvrages sont dits transparent au regard du transport solide du fait du comblement de la retenue jusqu'à la crête des ouvrages rendant le transport solide de nouveau effectif au droit de l'ouvrage.

Dans le cas du Meige Pan, les volumes stockés sont très importants pour un cours d'eau de faible largeur et de forte pente. L'importance de ces volumes témoignent de l'impact passé des ouvrages sur le transport solide. Comme pour les seuils sur le Réal Martin, les seuils sur le Meige Pan sont aujourd'hui transparents vis-à-vis du transport sédimentaire par le comblement de la retenue amont.

#### 3.1.2.2.4. Données sur le franchissement piscicole

L'impact des ouvrages sur la circulation des poissons a été estimé par la constitution de la note ICE (Indice d'évaluation de la Continuité Écologique) à l'aide du protocole établi par l'OFB en 2014 (ONEMA, 2014).

Ce système de notation confronte les caractéristiques morphologiques des ouvrages, aux capacités physiques de chaque espèce (ou groupe d'espèces) présentes sur le cours d'eau pour déterminer l'incidence de l'obstacle sur leurs déplacements.

Les caractéristiques retenues dans la description des ouvrages sont extraites des levés topographiques réalisés par OPSIA le 23/11/2021. Elle concerne :

- La Hauteur de chute de l'ouvrage (DH)
- La Charge amont de l'ouvrage (H)
- La Hauteur d'eau de la fosse aval au pied de l'ouvrage (Hf)
- La pente du coursier (portion à franchir la plus abrupte sur l'ouvrage au niveau de la voie de reptation identifiée)
- La distance à franchir sur l'obstacle (longueur du pied de l'ouvrage jusqu'à sa crête)

Le Tableau 9 présente le peuplement piscicole identifié aux droits des seuils sur le Réal Martin et le Meige Pan. L'Annexe 7 présente les capacités de nage prise en comptes pour chaque espèce considérée dans l'analyse ICE.

Tableau 9 : Peuplement piscicole présent sur le Réal Martin et le Meige Pan au droit des ouvrages étudiés

Peuplement piscicole du Réal Martin	Peuplement piscicole du Meige Pan	
Anguille d'Europe <sup>(1)</sup>	Anguille d'Europe <sup>(1)</sup>	(1) Espèce migratrice amphihaline en danger critique d'extinction.
Barbeau méridional <sup>(2)</sup>	Barbeau méridional <sup>(2)</sup>	
Goujon	Goujon	(2) Espèce d'intérêt communautaire et patrimoniale (Annexe II de la Directive habitats).
Blageon <sup>(2)</sup>	Blageon <sup>(2)</sup>	
Vairon	Chevaine	
Gardon		
Truite fario		
Chevaine		

Le peuplement piscicole est dominé sur les 2 cours d'eau par des cyprinidés d'eau vive et correspond au peuplement piscicole théorique attendu sur ce type de cours d'eau.

Pour chacun des seuils la méthodologie appliquée pour déterminer l'indice de franchissement est développée en Annexe 8.

Afin de faciliter l'interprétation des résultats dans le rapport de diagnostic, une fiche ouvrage a été réalisée pour chaque seuil sous forme de tableau synthétisant les grandes caractéristiques de l'ouvrage, les espèces présentes et la note ICE associée. Une brève analyse de l'état de l'ouvrage et des axes préférentiels de franchissement a également été menée. Un exemple de fiche ouvrage est présenté dans le Tableau 10 suivant :

Tableau 10 : Exemple de Notation ICE pour le seuil des Étangs de la Sauvebonne

Ouvrage seuil de la Sauvebonne			
N° ouvrage	ROE 45461		
Date relevé terrain	09/03/2022		
Condition hydrologique	Moyenne eau		
DH / hauteur de chute (m)	1,68		
H / charge d'eau sur l'ouvrage (m)	0,14		
Hf / hauteur de la fosse en pied (m)	2,5		
Pente du coursier en %	136		
L Distance à franchir (m)	3,72		

Légende classes ICE	
1	Barrière franchissable à impact limité
0,66	Barrière partielle à impact significatif
0,33	Barrière partielle à impact majeur
0	Barrière totale
NC	Barrière à impact indéterminé

Classes ICE spécifiques			DH extrême (m)
	Anguille (aiguillette)	0,33	-
10	Vairon	0	1
	Barbeau méridional	0	1
9b	Goujon	0	1
	Gardon	0	1
9a	Blageon	0	1
7a	Chevaine	0	1,5
4b	Truite fario	0	1,5

Analyse			
Jet plongeant (DH>H).			
Le seuil présente plusieurs axes préférentiels d'écoulement en raison de l'état dégradé de l'ouvrage. La forte rugosité induit par les cailloux et blocs en pierre de taille permet la montaison des anguilles en période de basses eaux lorsque des zones du parement ne présentent que des ruissellements. Cet ouvrage est cependant infranchissable pour les autres espèces piscicoles présents sur la zone du fait de leurs capacités natatoires réduites.			

En somme, les seuils ont une incidence importante sur le franchissement piscicole. Seule l'anguille est capable de franchir certains des seuils :

- Sur le Réal Martin, les seuils des étangs de Sauvebonne et du Trulet sont des barrières partielles à impact majeur pour cette espèce (ICE=0,33). Les 2 autres seuils sont des barrières infranchissables pour l'Anguille (ICE=0).
- Sur le Meige Pan, le seuil de la Gerdonne aval a un impact majeur sur le franchissement de l'Anguille (ICE=0,33) et le seuil de la Bastide Neuve représentent une barrière partielle à impact significatif (ICE=0,66). Les 2 autres seuils sont des barrières infranchissables (ICE=0).
- Les 8 obstacles étudiés constituent des barrières totalement infranchissables pour les autres espèces piscicoles (ICE=0).

Malgré la possibilité de franchissement de l'Anguille, ces seuils restent sélectifs et favorisent les individus en capacités de les franchir. Par conséquent la densité d'Anguille est plus importante sur la portion aval du bassin versant. Cette concentration en individus crée de la compétition intraspécifique, impactant le cycle de croissance des Anguilles avec une réduction des taux de survie et de reproduction.

### 3.1.2.3. Outil de modélisation

#### 3.1.2.3.1. Traitement des données topographique du site d'étude et des ouvrages - ZWCAD

Dans le cadre de l'étude, différents levés topographiques ont été utilisés pour représenter la géométrie des cours d'eau et ouvrages étudiés. Ces levés topographiques se composent de profils en long et en travers. Ils ont été réalisés en 2016, 2017 et 2018 sur différentes portions du Réal Martin et du Meige Pan et sont visibles en Annexe 9.

Des levés d'ouvrages complémentaires ont également été réalisés par OPSIA en 2021 dans le cadre de la présente étude pour obtenir des mesures de chaque seuil. Un exemple de levés topographiques d'ouvrage et de profil en travers est disponible en Annexe 10.

Les levés ont été transmis sous format .dwg et ont pu être traités sous logiciel CAO ZWCAD 2019. Ce traitement a permis de relever les grandeurs suivantes :

- Pente moyenne du lit sur le profil en long.



- Coordonnées X, Y, et Z des points constitutifs des profils transversaux pour modéliser le fond du lit sous HEC-RAS.
- Dimension des ouvrages : largeur (extension transversale), longueur (extension longitudinale), profondeur et longueur de la fosse de dissipation, forme de l'ouvrage et son implantation dans le cours d'eau, charge amont, charge aval (le cas échéant), hauteur de chute, hauteur de l'ouvrage, pente moyenne du coursier ...

### 3.1.2.3.2. Modélisation hydraulique – HEC-RAS

Une modélisation hydraulique a été réalisée pour différents débits caractéristiques (étiage, module et crues d'occurrences différentes) afin d'évaluer l'impact hydraulique des ouvrages. Cette modélisation a également permis d'estimer le débit à partir duquel les seuils passent en régime noyé.

Cette modélisation hydraulique a été réalisée uniquement sur le Lot 1 sur demande du Maître d'ouvrage.

- Architecture du modèle hydraulique

La construction du modèle consiste à représenter les lits mineurs et majeurs de la rivière ainsi que les ouvrages contrôlant les écoulements, à partir des données topographiques, bathymétriques et géométriques, complétées par la reconnaissance terrain.

Les écoulements ont été modélisés à l'aide du logiciel HEC-RAS 6.1 pour les débits de crues et d'étiages.

La méthode et les paramètres ayant servi à la construction du modèle (profils transversaux, RGE ALTI 1m, repère de crue, coefficient de rugosité, conditions aux limites, débits simulés ...) sont présentés en Annexe 11.

- Résultats des modélisations hydrauliques

Les lignes d'eau des différents débits simulés sont représentées graphiquement sur l'Annexe 12.

La simulation sous HEC-RAS a permis de mettre en évidence la longueur d'incidence des seuils sur les écoulements avec la représentation du remous liquide et l'étendus des fosses de dissipation sur le profil en long. La modélisation a également permis d'identifier l'évolution des hauteurs de chutes en fonction de l'occurrence modélisée et l'incidence hydraulique des ouvrages à l'amont. Pour chaque seuil, la hauteur de chute tend à diminuer plus le débit est important. Par conséquent l'incidence des seuils sur les hauteurs est plus importante en période d'étiage.

La modélisation a surtout permis de mettre en évidence les zones de débordement du Réal Martin. Ces points d'inondation sont amplifiés avec des occurrences de crues plus importantes. Cependant, au droit des seuils aucun débordement n'est constaté tant que les ouvrages sont en régime dénoyé. Les inondations observées à proximité des seuils se réalisent pour des occurrences de crues importantes, lorsque les seuils sont noyés. C'est-à-dire que les niveaux d'eau aval contrôlent les niveaux d'eau amont et par conséquent, les seuils ne sont pas à l'origine de ces inondations.

- Détermination des débits d'enneigement des seuils

Pour chacun des seuils, les débits d'enneigement ont été obtenus par itération des débits sur le modèle hydraulique HEC-RAS, de sorte que les hauteurs d'eau à l'aval contrôlent les niveaux d'eau à l'amont de l'ouvrage et donc que les seuils n'aient plus d'effet sur les niveaux d'eau. Pour obtenir ce débit, l'inégalité suivante doit être vérifiée :

$$H' > \frac{2}{3} H$$

Avec  $H'$ , la charge aval et  $H$  la charge amont ([Lien](#)) comme illustrée sur la Figure 4.



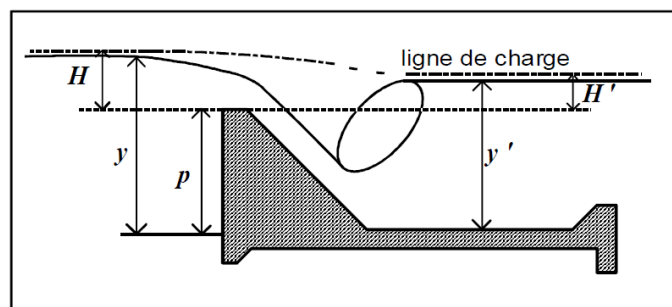


Figure 4 : Grandeurs associées aux écoulements sur un seuil (Source : Degoutte)

Les débits d'enneigement des seuils ont été retrouvés par cette méthode et sont présentés dans le Tableau 11 suivant :

Tableau 11 : Synthèse des débits d'enneigement de chaque seuil sur le Réal Martin

Seuils	Étangs de Sauvebonne	Martins	Marseillaise	Trulet
Débit d'enneigement (m <sup>3</sup> /s)	121	34,5	127	110,5
Occurrence correspondante	Q2 – Q5	Module – Q2	Q2 – Q5	Q2 – Q5

Par conséquent, les seuils ont une incidence hydraulique sur les écoulements en période d'étiage et en période de moyennes eaux, mais ont une incidence relativement faible et localisée en période de crue. À partir d'une crue quinquennale pour la majeure partie des seuils, ces derniers n'ont plus d'incidence sur les niveaux d'eau amont.

Cependant, il est important de rappeler que depuis la construction des ouvrages, les seuils ont une incidence sur les niveaux d'eau. En effet, la retenue des sédiments en amont des seuils, a provoqué une rehausse locale du fond du lit, réhaussant également les niveaux d'eau. Par comparaison, la fréquence de débordement au droit des ouvrages a augmenté avec la construction des seuils.

### 3.1.2.3.3. Modélisation hydraulique – Méthode « Manning – Strickler »

Afin d'évaluer l'incidence hydraulique des seuils du Meige Pan sur les hauteurs d'eau, des calculs hydrauliques de type « Manning-Strickler » ont été réalisés sur les profils transversaux amont et aval des ouvrages. Ces modélisations ont pour objectif d'estimer le débit à partir duquel les seuils sont noyés et n'ont plus d'influence sur les niveaux d'eau en amont des ouvrages, et si ces ouvrages génèrent un aléa inondation pour de tels débits.

Ce modèle de calculs a été choisi du fait de sa simplicité et rapidité de mise en œuvre pour obtenir des données de débits et hauteurs d'eau. Cette méthode a également été utilisée à la demande du client qui n'a pas jugé utile qu'un modèle hydraulique 1D soit réalisé sous HEC-RAS pour l'analyse hydraulique du Meige Pan.

- Typologie et architecture de la méthode

La base des calculs s'appuie sur la méthode « Manning-Strickler » pour calculer les débits d'une section mouillée selon la formule suivante :  $Q = K \cdot S_m \cdot \sqrt{J} \cdot R_h^{2/3}$

Avec K le coefficient de Strickler (m<sup>1/3</sup>/s),  
 S<sub>m</sub> la section mouillée (m<sup>2</sup>), calculée à partir des levés d'ouvrage par OPSIA 2021,  
 J la pente du cours d'eau (m/m), calculée à partir des profils longitudinaux (J≈1,6%),  
 R<sub>h</sub> le rayon hydraulique de la section où R<sub>h</sub>= S<sub>m</sub>/P<sub>m</sub> (m),  
 P<sub>m</sub> le périmètre mouillé de la section (m), calculé à partir des levés d'ouvrage.

Au droit de la section, la rugosité est différente dans le lit mineur et le lit mineur, modifiant ainsi le comportement des écoulements. Il est défini un coefficient de rugosité Manning-Strickler (K) pour le

lit mineur et le lit majeur, respectivement de 20 (petit cours d'eau de plaine avec végétation et embâcle) et 10 (lit majeur en forêt, vigne ou taillis).

Par conséquent, le débit total au sein de la section s'exprime comme suit :

$$Q_{total} = Q_{lit\ majeur\ rive\ gauche} + Q_{lit\ mineur} + Q_{lit\ majeur\ rive\ droite}$$

Cela a permis d'estimer le débit de plein bord au droit des seuils, mais également les débits d'ennoiement de ces derniers par itération, à l'aide d'un tableur Excel (Annexe 13). Cette recherche itérative a consisté à comparer la charge à l'amont et la charge à l'aval des ouvrages.

Ces calculs ont été réalisés pour tous les seuils étudiés sur le Meige Pan excepté celui de la Bastide Neuve pour lequel aucun levé n'avait été effectué.

- Résultats

Les résultats des calculs hydrauliques par méthode « Manning-Strickler » sont présentés dans le Tableau 12 ci-dessous, comprenant les débits de pleins bords au droit des seuils et les débits d'ennoiement de ces derniers.

Tableau 12 : Débit de plein bord et d'ennoiement des seuils sur le Meige Pan

Seuils	Dolone	Gordonne amont	Gordonne aval
Débit de plein bord (m <sup>3</sup> /s)	76,6	4,5	20,9
Débit de référence (m <sup>3</sup> /s)	472	293,3	343,5
Débit noyé (m <sup>3</sup> /s)	87	88,2	66,8

Ainsi, les 3 seuils modélisés ont le même fonctionnement hydraulique et passent en régime noyé avant une crue quinquennale ( $Q_5 = 88 \text{ m}^3/\text{s}$ ).

Concernant l'incidence hydraulique des seuils, ces derniers débordent du lit mineur principalement en rive gauche. L'incidence des seuils sur le plan hydraulique reste donc très localisée.

Le fonctionnement étant quasiment identique entre les seuils étudiés sur le plan hydraulique, l'hypothèse peut être faite qu'il peut être étendu au seuil de la Bastide Neuve.

## 3.2. Phase 2 : Étude de faisabilité et proposition d'aménagements des seuils

À l'issue de la phase 1, deux scénarii d'aménagement de chaque ouvrage pour la restauration de la continuité écologique ont été proposés et comparés.

Pour chacun des seuils et des aménagements proposés, une analyse des incidences attendues est réalisée. La conception des aménagements s'appuie des manuels de restauration hydromorphologique réalisés par l'Agence de l'Eau Seine Normandie et la Direction de l'Eau, des Milieux Aquatiques et de l'Agriculture (AESN & DEMAA, 2007b, 2007a) et le guide d'informations de la continuité écologique sur le franchissement piscicole (ONEMA, 2014). Une analyse comparative multicritère est également réalisée pour comparer les bénéfices et inconvénients des aménagements à la fois sur l'aspect écologique, social, technique et financier.

Concernant le Réal Martin, le SMBVG a fait la demande d'étudier 2 scénarii d'aménagements pour chaque seuil en imposant le cas du dérasement de l'ouvrage.

Concernant le Meige Pan, l'objectif principal est le rétablissement de la continuité sédimentaire du fait des apports importants sur ce bassin versant. Par conséquent seul l'étude du dérasement a été faite.

Dans le cadre de mon stage, j'ai pu réaliser seulement l'étude du dérasement des seuils sur le Réal Martin et sur le Meige Pan. En effet, face à la réaction des riverains, l'étude et la présentation des scénarii a été repoussée en vue de l'organisation préalable d'une réunion de concertation.

### 3.2.1. Détermination des enjeux et contraintes aux droits des ouvrages

En préambule de la proposition d'aménagement des seuils, une partie enjeux et contraintes aux droits de chaque seuil est rappelée aux vues des observations faites dans la phase 1 d'état des lieux.

Cette partie vise également à identifier pour chaque scénario, les contraintes liées aux travaux à prendre en compte en terme techniques, réglementaires, environnementales ... La Figure 5 présente les différentes parties abordées dans la détermination des enjeux et contraintes aux droits des seuils.



Figure 5 : Identification des enjeux et contraintes aux droits des ouvrages avant et pendant la phase travaux

### 3.2.2. Étude du scénario de dérasement des 8 seuils

L'étude du dérasement comme scénario d'aménagement des seuils est imposée par le client, pour les 2 lots, du fait : des enjeux piscicoles importants sur le cours d'eau du Réal Martin ; de l'enjeu sédimentaire sur le Meige Pan ; de la faible franchissabilité de ces ouvrages ; et de leurs non-usages.

Pour les 8 seuils, l'étude du dérasement a été réalisée en suivant le développement présenté ci-dessous :

- **Principes et justification du choix du dérasement :**

**Cette partie a servi essentiellement à rappeler la définition et l'intérêt d'un tel aménagement.** Pour rappel, le dérasement d'un obstacle à l'écoulement signifie la démolition de l'ouvrage sur la totalité de sa hauteur jusqu'à atteindre le substrat naturel du lit et sur l'intégralité de sa largeur. Le dérasement de l'ouvrage vise à redonner au cours d'eau son profil en long naturel.

- **Définition des aménagements :**

**Cette partie a pour but de présenter succinctement pour chaque seuil les travaux à mener dans le cadre du dérasement.** Le Tableau 13 présente de manière synthétique la consistance des principaux travaux à réaliser.

Tableau 13 : Synthèse des travaux réalisés sur les seuils dans le cadre de leur dérasement

<b>Démantèlement des seuils</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Démantèlement à la pelle mécanique, depuis les berges et le lit du cours d'eau après la mise hors d'eau.</li> <li>• Les pierres et le béton constitutif des ouvrages étant inertes peuvent être laissés dans le cours d'eau afin d'intégrer le débit solide ou combler la fosse de dissipation, ou extraits du lit et évacués pour permettre un retour plus rapide à une situation visuellement acceptable.</li> <li>• Risques attendus : érosion régressive initiée depuis le fond de la fosse de dissipation par le transport sédimentaire et la reprise progressive du stock sédimentaire pour retrouver la pente d'équilibre du cours d'eau ; érosion latérale à la suite de l'abaissement du plan d'eau amont avec une remise en circulation des échanges entre la nappe d'accompagnement et le cours d'eau rendant les berges instables ; mortalité de la ripisylve par déconnexion du système racinaire pouvant accentuer l'érosion latérale, car le rôle de soutien de berge n'est plus assuré.</li> </ul>
<b>Restauration hydromorphologique</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• But : accompagner la reprise sédimentaire pour limiter les phénomènes d'érosion évoqués ci-dessus &amp; restaurer la morphologie, les faciès d'écoulement et les habitats aquatiques. Cette restauration se base sur la pente d'équilibre projetée du cours d'eau, illustrée en Annexe 14. La pente d'équilibre projetée a été estimée à partir du profil en long du cours d'eau. Cette pente projetée correspond à la pente que suivrait le cours d'eau en l'absence du seuil et correspond donc à la pente visée après dérasement de l'ouvrage.</li> <li>• Proposition de 2 niveaux d'ambitions de restauration hydromorphologique : L'ambition la plus forte aboutira au terrassement de la totalité du stock sédimentaire afin de combler la fosse de dissipation et atteindre directement la pente d'équilibre sur tout le linéaire du remous solide &amp; L'ambition la plus faible se limitera au terrassement aux abords du seuil pour amorcer le retour du tronçon à son profil d'équilibre avec le comblement de la fosse. Il a également été proposé une reprise du stock sédimentaire progressive et accompagnée dans le temps pour éviter les problèmes d'atterrissements voire de bouchons sédimentaires dans les resserrements de vallée en aval.</li> </ul>
<b>Restauration des berges</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Retalutage des berges en pente plus douce (3H/2V 3 longueurs horizontales pour 2 longueurs verticales, ce qui correspond à une pente de 67%) pour limiter les phénomènes d'érosions latérales.</li> <li>• Revégétalisation par ensemencement d'herbacées d'essences locales à 35 g de semences/m<sup>2</sup> avec quelques boutures de saules (4 u/m<sup>2</sup>) pour assurer la tenue de la berge.</li> <li>• Restauration de la ripisylve avec plantation de plans ligneux de 100cm minimum.</li> </ul>

### ***Aménagement de protection à l'aval des ouvrages d'art impactés par la reprise sédimentaire***

- Le dérasement des seuils et la reprise du stock sédimentaire amont peuvent avoir des incidences sur des ouvrages d'art en amont et, à long terme, déstabiliser leurs fondations. C'est le cas de plusieurs ouvrages (ponts ou autres seuils) situés en amont des seuils faisant l'objet d'un dérasement. Afin de contrôler la reprise des sédiments et éviter une érosion régressive impactant les ouvrages d'arts, un ou plusieurs points durs peuvent être mis en place, dans le fond du lit, sur tout ou partie de la largeur du lit mineur. Pour cela, diverses méthodes existent telles que des radiers de fond ou rampes en enrochements aménagés de sorte à permettre la continuité piscicole et sédimentaire. Dans le cadre du rapport d'étude de faisabilité, seules les possibilités de réalisation ont été évoquées. L'emplacement et le dimensionnement du dispositif seront détaillés dans les phases ultérieures si le scénario du dérasement est retenu.

### ***Protection de berge (si nécessaire)***

- Enjeux : Présence d'habitations, chemins d'accès ou autres infrastructures pouvant être menacés par la restauration ou le réajustement hydromorphologique du cours d'eau.
- Protection de berge mixte : ensemencement d'herbacées d'essences locales et boutures de saules avec la possibilité de réutiliser des pierres de taille issues du démantèlement du seuil pour une meilleure tenue de berge.

### • **Métre sommaire :**

Pour l'ensemble des parties évoquées dans la « définition des aménagements », des métrés sommaires avec plans et cartographies à l'appui ont été donnés pour les 8 seuils. Ces métrés permettent d'avoir un ordre d'idée de l'ampleur des interventions et de réaliser un chiffrage grossier du montant des travaux. Ils permettent également de déterminer les régimes réglementaires des rubriques de la nomenclature loi sur l'eau article R214-1 du code de l'environnement en vue d'établir un dossier loi sur l'eau soumis, selon l'ampleur de travaux, au régime d'autorisation ou de déclaration.

Ce métrage se base sur :

- Les levés d'ouvrages, pour estimer les volumes de matériaux constitutifs des ouvrages à démolir et extraire.
- Les profils en long et en travers réalisés du lit du Réal Martin et du Meige Pan (pente, largeur, section mouillée ...), pour estimer les volumes des stocks sédimentaires amont, déficits des fosses aval, pentes de réajustement dans le cas d'une restauration hydromorphologique à ambition forte et faible.
- Les 2 niveaux d'ambitions, induisant des linéaires et surfaces de restauration différentes sur la morphologie du fond du lit et sur les berges.
- Les observations terrain (morphologie du fond du lit et des berges en l'état) pour ajuster leur restauration.
- Les plans cadastraux et IGN pour les enjeux latéraux notamment pour la protection de berges du seuil des étangs de la Sauvebonne.
- Guide de restauration de berges et des ripisylves (consolidation par génie végétal, retalutage des berges en pente naturelle).

- **Incidences attendues :**

Pour chaque seuil, le scénario de dérasement à fait l'objet d'une étude d'incidences sur les volets présentés dans la Figure 6 suivants :

<b>Incidences sur les usages</b>	Prélèvements, infrastructures humaines à proximité, valeur patrimoniale et historique auprès des riverains, paysagères, pêche et autres loisirs si existant au droit des seuils.
<b>Incidences biologiques</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bilan des gains écologiques sur la continuité écologique sur l'aspect piscicole et sédimentaire, sur le fonctionnement hydraulique et les habitats en cours d'eau et en ripisylve.</li> <li>• Bilan des inconvénients induits avec notamment les désordres sédimentaires pouvant être causés à l'aval, le risque d'érosion régressive et latérale. Une quantification de ces deux phénomènes a été estimée</li> <li>• Estimation des volumes et linéaires d'érosion régressive à partir des points les plus bas sur le profil en long (fosses à l'aval des seuils), des points durs amont et des pentes d'équilibre projetée.</li> <li>• Estimation des volumes et linéaires d'érosion latérale sur ZWcad, à partir d'une comparaison entre les profils transversaux avant et après dérasement du seuil et pour une pente de berge naturelle recherchée de 3H/2V.</li> </ul>
<b>Incidences hydrauliques</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reprise du modèle hydraulique sous Hec Ras et ajustement des profils en travers pour correspondre aux pentes d'équilibre projetées après dérasement des seuils.</li> <li>• Comparaison des niveaux d'eau (étiage, module, crues à différentes occurrences) avant et après dérasement sur les profils transversaux en aval et en amont direct des seuils mais également sur un profil transversale éloigné.</li> </ul>

Figure 6 : Incidences des projets de dérasement des seuils

- **Analyse comparative multicritère :**

A l'issue de la définition des aménagements et du métré sommaire, un bilan des avantages et des inconvénients de chaque scénario est réalisé sur le plan écologique comme anthropique et permet de faire une analyse comparative des aménagements. Dans l'attente du dimensionnement d'un second scénario (équipement d'un dispositif de franchissement piscicole) et de la réalisation d'une analyse comparative multicritères, le bilan avantages/inconvénients est présenté dans le Tableau 14 pour le cas du dérasement.

Tableau 14 : Avantages et inconvénients du dérasement de seuil

Avantage	Inconvénient
Restauration de la continuité piscicole et sédimentaire	Perte de valeur historique, patrimoniale et paysagère
Diversification des habitats et des faciès d'écoulement par suppression du plan d'eau amont	Abaissement des niveaux d'eaux amont et suppression du plan d'eau
Réduction des phénomènes de réchauffement d'eau, évaporation et eutrophisation	Abaissement de la nappe d'accompagnement – impact sur les zones humides et mortalité en ripisylve
Réduction/pas d'impact sur les hauteurs d'eau en crue	Risque d'érosion régressive et latérale

## 4. PRÉSENTATION DES LIVRABLES

### 4.1. Étude préalable – État des lieux et diagnostic de 4 seuils sur le Réal Martin & sur le Meige Pan (Phase 1 Lot1 & Phase 1 Lot2 – mission principale)

Lors de mon stage, j'ai dû compléter et finaliser le rapport d'étude préalable qui concernait l'état des lieux et diagnostic des 4 seuils étudiés sur le Réal Martin (Figure 2). J'ai également dû réaliser le rapport d'étude préalable qui concernait les 4 seuils étudiés sur le Meige Pan basé sur la même architecture que celui du Réal Martin.

Ces rapports ont pour principal but de rassembler dans un seul et même document les informations relatives à diverses thématiques sur le territoire d'étude (réglementaire, milieux physiques et naturels, risques naturels ou technologiques ...) mais également de manière plus ciblée sur les cours d'eau étudiés que sont le Réal Martin et le Meige Pan (réglementaire, état des masses d'eau superficielle et souterraine, biodiversité, zonages environnementaux, enjeux ...) et sur les ouvrages en rivières faisant l'objet principal de l'étude (description, impacts ...). Ces éléments constituent l'état actuel du territoire et présentent les principaux atouts, enjeux et contraintes du site.

Avec cet état initial, un diagnostic a été réalisé de manière plus approfondie sur les ouvrages en rivière afin de déterminer leurs impacts sur le milieu et identifier les axes possibles d'actions pour restaurer la continuité écologique des cours d'eau.

Ce rapport reprend les thématiques évoquées dans la partie §3.1 pour l'état des lieux et le diagnostic ouvrage.

Le rapport sur le Réal Martin est disponible en Annexe 15 et le rapport produit sur le Meige Pan est disponible en Annexe 16.

### 4.2. Étude de faisabilité – Proposition d'aménagement sur les 8 seuils sur le Réal Martin et le Meige Pan afin de restaurer la continuité écologique (Phase 2 Lot 1 & Phase 2 Lot2 – mission principale)

Cette phase s'inscrit en continuité de l'étude préalable sur le Réal Martin, le Meige Pan et les 8 seuils en rivière étudiés. En effet, ce livrable traite plusieurs possibilités d'aménagement des seuils en vue de restaurer la continuité écologique. Plus particulièrement, pour permettre la migration de l'Anguille européenne qui est l'espèce cible principale et pour améliorer le transit sédimentaire.

Pour chacun des ouvrages, 2 scénarii sont proposés avec à minima le dérasement de l'ouvrage. En second scénario il est proposé soit l'arasement partiel soit l'aménagement de l'ouvrage avec un dispositif de franchissement piscicole accès sur les espèces cibles (l'Anguille en premier lieu et des CEV en second lieu).

Une première grande partie du rapport rappelle les enjeux du territoire et le contexte général de l'étude avec une présentation globale des aménagements proposés (avantages et inconvénients).

Pour chacun des seuils, une partie générale présente les enjeux et contraintes au droit du site du projet, comme présenté dans le paragraphe §3.2.1 du présent rapport.

Enfin, pour chaque scénario de chaque seuil, il est développé : le principe et la justification du choix de l'aménagement ; une définition des aménagements à réaliser ; un métrage sommaire des opérations ;



une estimation des coûts ; les incidences attendues. Une partie de ces thématiques est présentée dans le paragraphe §3.2.2 du présent rapport dans le cadre de l'étude du scénario de dérasement.

Afin de comparer les avantages/inconvénients et coûts/bénéfices de chaque scénario proposé, une analyse comparative multicritère est réalisée pour chaque seuil. Elle compare l'efficacité de la restauration piscicole et sédimentaire, les incidences, les difficultés techniques de réalisation et les coûts. L'analyse est donc un outil d'aide à la décision pour le maître d'ouvrage.

Dans l'ensemble de ces étapes, j'ai réalisé pour chaque seuil la partie générale portant sur les enjeux et contraintes aux droits des sites de projet. Puis, pour chaque seuil, j'ai été amenée à développer le scénario du dérasement avec une définition des aménagements à réaliser, le métré sommaire et les incidences attendues.

Le rapport sur le Réal Martin est disponible en Annexe 17 et le rapport produit sur le Meige Pan est disponible en Annexe 18.

### 4.3. Dossier de Déclaration Loi sur l'Eau – Réhabilitation d'une conduite d'eau potable en traversée de la Jordanne à Velzic (15) (mission secondaire)

Dans le cadre d'un projet portant sur la réhabilitation d'une conduite d'eau potable qui passe dans le lit mineur d'un cours d'eau dénommé la Jordanne j'ai dû réaliser un Dossier de Déclaration Loi sur l'Eau au titre de l'article R214-1 du Code de l'Environnement. Le contenu du dossier suit l'article R214-32 qui définit les parties à développer dans le cadre d'une procédure de déclaration de projet.

Ce rapport sert de base d'évaluation auprès des autorités compétentes au sujet d'un projet d'aménagement pouvant avoir des incidences sur les milieux aquatiques.

Pour constituer ce dossier, diverses informations générales sont données concernant le demandeur (ici la communauté d'agglomération du bassin d'Aurillac dans le Cantal), un résumé non technique et la localisation du projet.

Une seconde partie est dédiée à l'état actuel du milieu et de l'ouvrage en rivière (l'eau superficielle ; l'eau souterraine ; le patrimoine naturel ; le contexte géotechnique du site ; et le contexte réglementaire). L'ouvrage n'étant pas référencé par la DDT une « déclaration d'existence de l'ouvrage » au titre du code de l'environnement a été réalisée préalablement.

Une autre partie vient présenter le projet dans sa globalité. Elle décrit les aménagements qui seront réalisés et une explication du choix retenu parmi d'autres scénarii préalablement étudiés. Il est également présenté les travaux préalables à la mise en place du chantier, le chantier en lui-même ainsi que le chiffrage et les éléments techniques des aménagements. Un planning prévisionnel est également fourni avec les rubriques concernées par la nomenclature Loi sur l'Eau et le régime de soumission pour la phase travaux et opérationnelle du projet. Cela a permis de mettre en lumière les rubriques de la nomenclature Loi sur l'Eau concernées afin de définir la procédure : déclaration ou autorisation

À la suite de cet état des lieux, il est présenté les incidences du projet en phase travaux, en phase opérationnelle et les mesures d'évitement et de réduction voir de compensation (ERC) pour les thématiques suivantes :

- Hydrauliques et inondabilité
- Niveaux d'eau souterraine
- Qualité des eaux souterraines
- Qualité des eaux superficielles
- Milieu naturel



Une attention particulière est portée sur l'incidence en zone Natura 2000 présente au sein du site et la compatibilité du projet avec les objectifs du SDAGE présent sur la zone.

Le rapport est disponible en Annexe 19.

#### 4.4. Étude de faisabilité – Proposition d'aménagement de 2 seuils sur le Lez afin de restaurer la continuité écologique (Phase 3 – mission secondaire)

Dans le cadre d'un projet dans l'Hérault (34) portant sur la restauration de la continuité écologique au droit de 2 seuils en rivière sur le Lez (seuil 2L et 16L) j'ai dû réaliser une étude de faisabilité (Phase 3). Cette étude s'inscrit dans la continuité de 2 études préalables menées sur l'ensemble des ouvrages du Lez (Phase 1) puis plus spécifiquement sur un diagnostic approfondi des 2 seuils étudiés (Phase 2, (Antea Group, 2021)).

Les parties abordées dans ce rapport reprennent la même architecture que celles présentées dans l'étude de faisabilité – de proposition d'aménagements des 4 seuils en rivière sur le Réal Martin §4.2 : présentation des enjeux et contraintes aux droits des ouvrages et l'étude de 2 scénarii de restauration de la continuité écologique sur chaque seuil (un premier scénario qui étudie le dérasement ou l'arasement de l'ouvrage et un second scénario qui étudie l'équipement de l'ouvrage avec un dispositif de franchissement piscicole).

Dans cette étude-là, j'ai dû réaliser pour les 2 seuils la partie générale portant sur les enjeux et contraintes aux droits des sites de projet. Puis j'ai réalisé l'étude des scénarii de dérasement et d'équipement d'une rampe en enrochement d'une partie du seuil 2L et l'étude du scénario de l'équipement d'une partie du seuil 16L par une rampe en enrochement et d'une passe à anguille.

Le rapport est disponible en Annexe 20.

#### 4.5. Note technique – Étude hydraulique d'un fossé d'évacuation d'eau pluviale (mission secondaire)

Dans le cadre d'une étude en infrastructure routière sur la Maîtrise d'œuvre d'un remblai contigu au niveau du viaduc St-Isidore à Nice (06), j'ai été menée à réaliser une note technique sur la caractérisation des écoulements au droit d'un fossé d'évacuation d'eau pluviale.

Cette étude présente le contexte et les désordres observés sur un remblai sous le viaduc causé par une surverse des écoulements d'eau pluviale et faisant l'objet d'un projet d'aménagement pour stopper les désordres. C'est dans ce cadre-là que l'étude hydraulique a été réalisée pour connaître le fonctionnement du système pluvial et adapter les aménagements en conséquence.

Cette étude présente donc les moyens mis en place pour caractériser les écoulements (délimitation du bassin drainant à partir des données connues sur le système d'évacuation d'eau pluviale du viaduc et méthode de calcul du débit et des vitesses transitant dans le fossé) et les résultats obtenus.

Le rapport est disponible en Annexe 21.

#### 4.6. Etude de gestion des eaux pluviales d'un projet de lotissement à Rognes (13) (mission secondaire)

Dans le cadre d'un projet de lotissement sur la commune de Rognes, j'ai été menée à réaliser une étude sur la gestion de l'eau pluviale du lotissement. Cette étude a pour objectif de dimensionner le bassin de rétention des eaux pluviales du projet tout en respectant les prescriptions communales et départementales.

Le rapport remis au client rend compte de l'état initial du site, de l'interprétation des essais d'infiltration et du dimensionnement du bassin de rétention envisagé. Ce rapport correspond à la mise à jour de l'étude antérieure de dimensionnement d'un bassin de rétention réalisée sur le même projet (Antea Group, 2019) suite à la modification des superficies exploitées par le lotisseur.

A l'aide des surfaces exploitées pour le projet de lotissement et l'intensité de pluies sur le territoire, un débit de crue a été déterminé pour une période de retour de 20 ans sur la parcelle drainée par méthode rationnelle pluie-débit à l'état initial, puis après projet. Ce débit a permis de dimensionner le bassin de rétention d'eau pluviale selon 2 méthodes de calcul : prescription propre au PLU de Rognes (PLU Rognes, 2018) & prescription propre à la DDTM13 (DDTM13, & CEREMA, 2015). Pour chacune des 2 méthodes un volume de rétention de bassin a été calculé en fonction du débit de fuite prescrit par les méthodes. Le volume de rétention retenu pour le dimensionnement du bassin est celui du PLU beaucoup plus contraignant.

Cette étude a ensuite été utilisée comme référence dans la réalisation d'un Dossier Loi sur l'Eau pour déclarer le projet au titre du Code de l'Environnement.

Le rapport produit est disponible en Annexe 22.

#### 4.7. Etude d'incidence d'un rejet d'eau issu d'un forage géothermique GMM1 à Mont Marsan (40) (mission secondaire)

Dans le cadre de l'exploitation d'un forage géothermique et d'un rejet de ces eaux après utilisation dans le milieu naturel, une étude de compatibilité du rejet avec le milieu récepteur a été réalisée.

Une étude similaire a déjà été faite de ce point de rejet sur la Douze en 2018 (Antea Group, 2018), rivière confluent avec le ruisseau de St-Anne dans lequel le rejet de forage géothermique GMM1 se rejette. Dans une volonté de prolonger l'exploitation du forage une étude complémentaire a été demandée traitant de la compatibilité du rejet dans le ruisseau de Sainte Anne.

Pour ce faire un modèle hydraulique a été réalisé sur MIKE FLOOD 2014 pour représenter le panache thermique du rejet d'eau dans le ruisseau. Ce modèle se base sur des levés topographiques en rivière, des mesures de débit et des rejets du forage afin de modéliser les écoulements thermiques avec ou sans le rejet dans le ruisseau de Sainte Anne. Une analyse de compatibilité du rejet avec le milieu a ensuite été faite sur les paramètres physico-chimiques du ruisseau.

Le rapport est disponible en Annexe 23.

## 5. RETOUR D'EXPÉRIENCE

### 5.1. Démarche, Méthodes & Analyses critiques

L'ensemble des démarches réalisées dans le cadre des études chez Antea Group reste identique sur tous les projets. En effet pour toute étude, que ce soit propre au domaine de l'eau ou une étude hydraulique nécessaire pour d'autre projet, la prise de connaissance de l'étude, de son état d'avancement et des attentes du clients sont nécessaires avant la réalisation des livrables.

Afin d'optimiser le temps de production des études et d'améliorer l'efficacité de réalisation, les mêmes méthodes opérantes sont utilisées. En effet, une fois les attentes du client et les besoins pour l'études identifiés, les rapports produits suivent les mêmes trames directrices d'une étude à l'autre. Avec les nombreux cas d'études réalisés par Antea Group, d'anciennes études similaires aux projets en cours de réalisation sont reprises afin de servir de base et de référence.

Toujours dans cette optique d'efficacité, des outils numériques ont été développés pour faciliter la production de résultats ou de rendus. En effet, sur le logiciel cartographique Qgis, une extension nommée « Mappea » a été développée par Antea. Cet outil interne permet d'obtenir directement des données environnementales ou fonds cartographiques disponibles sur internet, sans perdre de temps à regrouper ces informations soit même avec de multiples recherches qui sont chronophages. Il en est de même pour les nombreux calculs en hydraulique faisant intervenir diverses formules et paramètres. Ainsi des tableurs ont été développés pour chaque méthode afin d'implémenter des résultats rapidement et surtout sans erreur de calcul.

Enfin pour assurer une qualité de rendu, l'ensemble des rapports produits ont subi plusieurs relectures à la fois par des personnes qualifiées dans le domaine d'étude pour s'assurer de la véracité et de la validé de production, mais également par des secrétaires pour s'assurer de la qualité rédactionnelle.

Lors de mon stage, j'ai pu constater une surcharge générale de l'équipe en termes de travail, avec des difficultés de rendus des livrables dans les temps impartis. Pour améliorer ce point-là, une réduction ou une optimisation des plans de travail sont nécessaires afin d'éviter de saturer l'équipe. La recherche de nouveau membre peut également être une solution.

Ce manque de temps s'est fait également ressentir sur la validation de réception de données externes notamment avec des sous-traitants. En effet, dans certaines études faisant intervenir des relevés topographiques, des données manquantes ou de mauvais levés ont posés problèmes et ont créés du retard dans les études, pour corriger les erreurs. Pour limiter ce type de problème, un regard plus attentif sur la transmission de données est nécessaire ou du moins une définition plus précise des attentes que les sous-traitants devront réaliser doit être donnée.

### 5.2. Projection professionnelle

Ce stage m'a permis de découvrir le fonctionnement d'un bureau d'étude et le métier d'ingénieur d'étude. Ce que j'ai énormément apprécié, c'est la pluridisciplinarité qui existe au sein de ce métier. En effet, j'ai eu à réaliser plusieurs études et projets simultanément faisant intervenir différentes notions en lien avec les milieux aquatiques sur différents territoires. Ce qui m'a donc plu c'est de faire des études et de chercher des solutions adaptées à chaque problématique et enjeux pour répondre au mieux aux besoins du client. Ce que j'ai beaucoup aimé dans ce métier concerne la diversité de missions, impliquant des échanges avec le client, les riverains et les usagers d'un territoire, les prospections terrains, suivis de chantier, veille bibliographique, notions réglementaires, manipulation de logiciels, rédaction ... rendant le métier dynamique.

J'ai également apprécié l'autonomie et les responsabilités nécessaires dans la pratique de ce métier, avec une gestion personnelle de son temps de travail et des études en parallèles. Avec également le travail en collaboration avec des membres de mon équipe ou avec d'autres personnes de corps de

métier différents, avec les possibilités d'échanger et de chercher des solutions collectivement, mais également de développer de nouvelles compétences ou connaissances à leur côté.

J'ai énormément aimé travailler sur la restauration de la continuité écologique aux droits d'ouvrages en rivière avec la recherche et la proposition d'aménagement. Cependant, j'aimerais que ce volet d'étude soit étendu à l'ensemble d'un cours d'eau ou d'une zone humide avec la restauration de milieux et des études plus approfondies dans les domaines de l'hydrobiologie et de l'hydromorphologie.

Pour toutes ces raisons je souhaite continuer à travailler dans le domaine de l'ingénierie des milieux aquatiques et plus particulièrement sur des thématiques de gestion et restauration de cours d'eau et milieux annexes.

## BIBLIOGRAPHIE

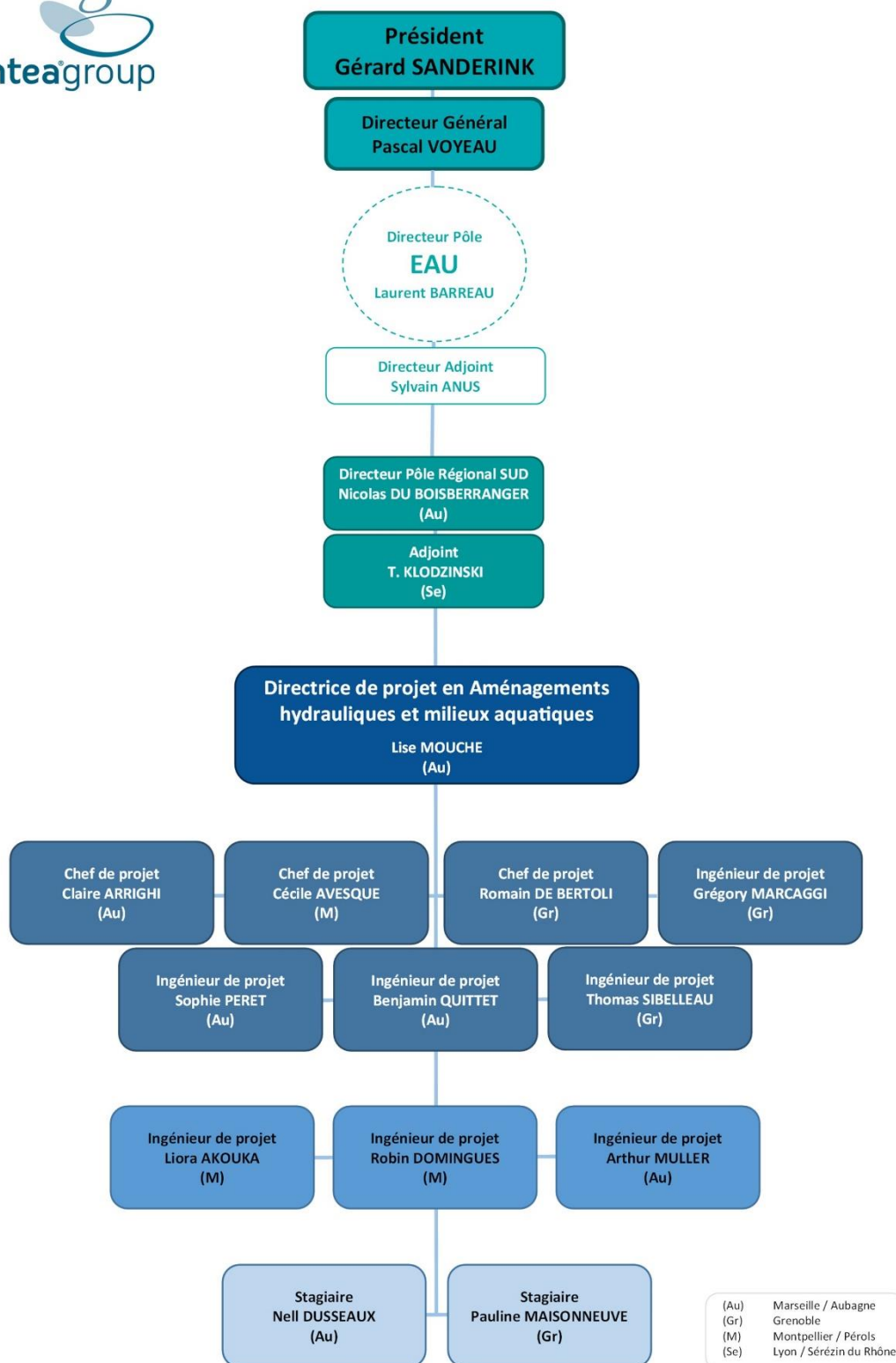
- Actu-Environnement. (2019). *L'actualité de l'Environnement*. Actu-Environnement. <https://www.actu-environnement.com/>
- AESN, & DEMAA. (2007a). *Manuel de restauration hydromorphologique des cours d'eau—Volet 1 & 2*.
- AESN, & DEMAA. (2007b). *Manuel de restauration hydromorphologique des cours d'eau—Volet 3*.
- Antea Group. (2018). *Exploitation du forage géothermique GMM1 à Mont de Marsan (40) - Etude de la compatibilité du rejet avec le milieu récepteur* (N°A94441; p.65).
- Antea Group. (2019). *Gestion des eaux pluviales du projet "Domaine de Versailles" à Rognes (13)* (N° 101378; p.26).
- Antea Group. (2021). *Etude globale des ouvrages hydrauliques transversaux du bassin versant du Lez—Phase 2 : Impacts hydrauliques et environnementaux des ouvrages 2L et 16L* (N° 1132954; p. 59).
- Bosc. (1845). *Rapport sur les cours d'eau du département du Var et sur les moyens d'augmenter les irrigations*.
- CNRTL. (2012). *Centre National de Ressources Textuelles et Lexicales*. <https://www.cnrtl.fr/definition/charriage>
- DDTM13, & CEREMA. (2015). *Rubrique 2.1.5.0. de la loi sur l'eau - Principe de gestion des eaux pluviales dans les projets d'aménagement dans les Bouches du Rhône* (p.20).
- Egis. (2019). *Etudes hydraulique et hydromorphologique sur le bassin versant du fleuve du Gapeau et du Roubaud en vue de la réalisation de Plans de Prévention des Risques Inondation et d'un programme d'aménagement et de restauration du bassin versant du Gapeau*.
- Géopéka. (2018). *Etudes hydraulique et hydromorphologique sur le bassin versant du fleuve du Gapeau et ses affluents*.
- Glossaire eau. (2021). *Glossaire eau, milieux marins et biodiversité*. <http://www.glossaire-eau.fr/>
- Le Robert. (2021). *La référence en langues pour définir, traduire, corriger et certifier—Dictionnaire Le Robert*. (Editions Le Robert). <https://www.lerobert.com/>
- Légi-France. (2020). *Décret n° 2020-828 du 30 juin 2020 modifiant la nomenclature et la procédure en matière de police de l'eau*. <https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000042070963>
- Ministère de l'écologie, de l'énergie, du développement durable et de la mer. (2010). *Guide pratique relatif à la police des droits fondés en titre—Suivi d'un question-réponse et de la jurisprudence essentielle* (p. 25).
- ONEMA (2014). *Informations sur la Continuité Ecologique - ICE - Evaluer le franchissement des obstacles par les poissons - Principes et méthodes* (P.204).
- OPSIA. (2016). *Relevés topographique d'ouvrages et cours d'eau du bassin du Gapeau, Marché S.M.B.V.G.*
- OPSIA. (2017). *Relevés topographiques des seuils, cours d'eau du bassin du Gapeau, Marché S.M.B.V.G.*
- OPSIA. (2018). *Relevés topographiques, cours d'eau du bassin du Gapeau, Marché S.M.B.V.G.*
- OPSIA. (2021). *Relevés topographiques des seuils, cours d'eau du Meige Pan et du Réal Martin, Marché S.M.B.V.G.*
- PLU Rognes. (2018). *Modification n°1 du Plan Local d'Urbanisme Commune de ROGNES - IV Reglement* (P.105).
- SMBVG. (2021). *Cahier des clauses techniques particulières de l'étude d'obstacles transversaux à l'écoulement pour le rétablissement de la continuité écologique*.
- Vignerot, T. (2005). *Le réseau d'Evaluation des habitats—Note méthodologique* (p. 39).

## ANNEXES

### TABLE DES ANNEXES

Annexe 1 : Organigramme - Pôle Eau SUD .....	II
Annexe 2 : Composition de l'offre de marché du SMBVG pour la restauration de la continuité écologique au droit de 8 seuils en rivières .....	III
Annexe 3 : Diagramme de Gantt du déroulé du stage et des missions réalisées .....	IV
Annexe 4 : Photo et dimensions principales des 8 seuils étudiés .....	V
Annexe 5 : Diagnostic hydromorphologique - découpage en tronçons homogènes des portions de cours d'eau prospectées .....	VI
Annexe 6 : Exemple de fiche synthèse tronçons réalisée à l'issue de la prospection terrain pour le diagnostic hydromorphologique .....	VIII
Annexe 7 : Capacités physiques des espèces piscicoles présentes au droit des ouvrages étudiés .....	IX
Annexe 8 : Méthodes suivies pour déterminer la note ICE de chaque seuil pour chaque espèce présente au droit des seuils .....	X
Annexe 9 : Localisation des levés topographiques réalisés au cours des différentes campagnes .....	XII
Annexe 10 : Exemple de levés de profil en travers et d'ouvrages au niveau du seuil des étangs de Sauvebonne sur le Réal Martin .....	XIV
Annexe 11 : Architecture du modèle 1D sous HEC RAS .....	XVI
Annexe 12 : Lignes d'eau simulées pour les différentes occurrences de débits étudiés par modélisation hydraulique HEC-RAS sur le Réal Martin .....	XIX
Annexe 13 : extrait du modèle Manning-Strickler dans la recherche des débits de plein bord et d'enneigement en amont et en aval du seuil de la Dolone .....	XX
Annexe 14 : Identification des points durs sur le profil en long et estimation des pentes d'équilibres projetée après dérasement des seuils .....	XXI
Annexe 15 : Rapport d'étude - Mission de maîtrise d'œuvre pour la restauration de la continuité écologique Lot 1 - 4 seuils du Réal Martin aval - Étude préalable .....	XXIII
Annexe 16 : Rapport d'étude - Mission de maîtrise d'œuvre pour la restauration de la continuité écologique Lot 2 - 4 seuils du Meige Pan aval - Étude préalable .....	XXIII
Annexe 17 : Rapport d'étude - Mission de maîtrise d'œuvre pour la restauration de la continuité écologique Lot 1 - 4 seuils du Réal Martin aval - Étude préalable Proposition de scénarios d'aménagement .....	XXIII
Annexe 18 : Rapport d'étude - Mission de maîtrise d'œuvre pour la restauration de la continuité écologique Lot 2 - 4 seuils du Meige Pan aval - Étude préalable Proposition de scénarios d'aménagement .....	XXIII
Annexe 19 : Rapport - Réhabilitation de la conduite d'adduction Fonte DN600 en traversée de Jordanne - Dossier de déclaration au titre du Code de l'Environnement .....	XXIII
Annexe 20 : Rapport d'étude - Etude globale des ouvrages hydrauliques transversaux du bassin versant du Lez - Phase 3 Propositions techniques d'aménagement des ouvrages 2L & 16L .....	XXIII
Annexe 21 : Rapport - MOE Remblai contigu Viaduc St-Isidore Nice (06) - Etude hydraulique .....	XXIII
Annexe 22 : Projet de lotissement " Domaine de Versailles " - Commune de Rognes (13) - Dossier de Déclaration au titre du Code de l'Environnement .....	XXIII
Annexe 23 : Mise à jour de l'étude de compatibilité du rejet de forage géothermique GMM1 avec le milieu récepteur à Mont de Marsan (40) .....	XXIII

Annexe 1 : Organigramme - Pôle Eau SUD



Annexe 2 : Composition de l'offre de marché du SMBVG pour la restauration de la continuité écologique au droit de 8 seuils en rivières

Lot 1 : 4 seuils du Réal Martin				Lot 2 : 4 seuils du Meige Pan	
Tranche Ferme				Tranche Ferme	
Phase 1 :	Étude préalable état des lieux et diagnostic			Phase 1 :	Étude préalable état des lieux et diagnostic
Phase 2 :	Étude de faisabilité avec la proposition de 2 aménagements, avec obligatoirement l'étude du dérasement			Phase 2 :	Étude de faisabilité avec la proposition de 1 à 2, avec obligatoirement l'étude du dérasement
Tranche Optionnelle 1	Tranche Optionnelle 2	Tranche Optionnelle 3	Tranche Optionnelle 4	Tranche Optionnelle	
Seuil 1	Seuil 2	Seuil 3	Seuil 4	Pour les 4 seuils	
Seuil des étangs de Sauvebonne	Seuil des Martins	Seuil de la Marseillaise	Seuil du Trulet	Seuil de la Gordonne aval ; Seuil de la Gordonne amont ; Seuil de la Bastide Neuve ; Seuil de la Dolone	
AVP	AVP	AVP	AVP	AVP	
PRO	PRO	PRO	PRO	PRO	
ACT	ACT	ACT	ACT	ACT	
VISA	VISA	VISA	VISA	VISA	
DET	DET	DET	DET	DET	
OPC	OPC	OPC	OPC	OPC	
AOR	AOR	AOR	AOR	AOR	
SUIVI	SUIVI	SUIVI	SUIVI	SUIVI	
Option : Documents graphiques, Réunion publique, Assistance pour étude géotechnique				Option : Documents graphiques, Réunion publique, Assistance pour étude géotechnique	



### Annexe 3 : Diagramme de Gantt du déroulé du stage et des missions réalisées

#### Étude de diagnostic et proposition d'aménagements pour rétablir la continuité écologique sur 8 seuils en rivière dans le Var

Société ANTEA GROUP : Pôle EAU

Date de début du stage 15/05/2022

Date de fin de stage 12/08/2022

Date de début du stage	15/05/2022																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																</
------------------------	------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----

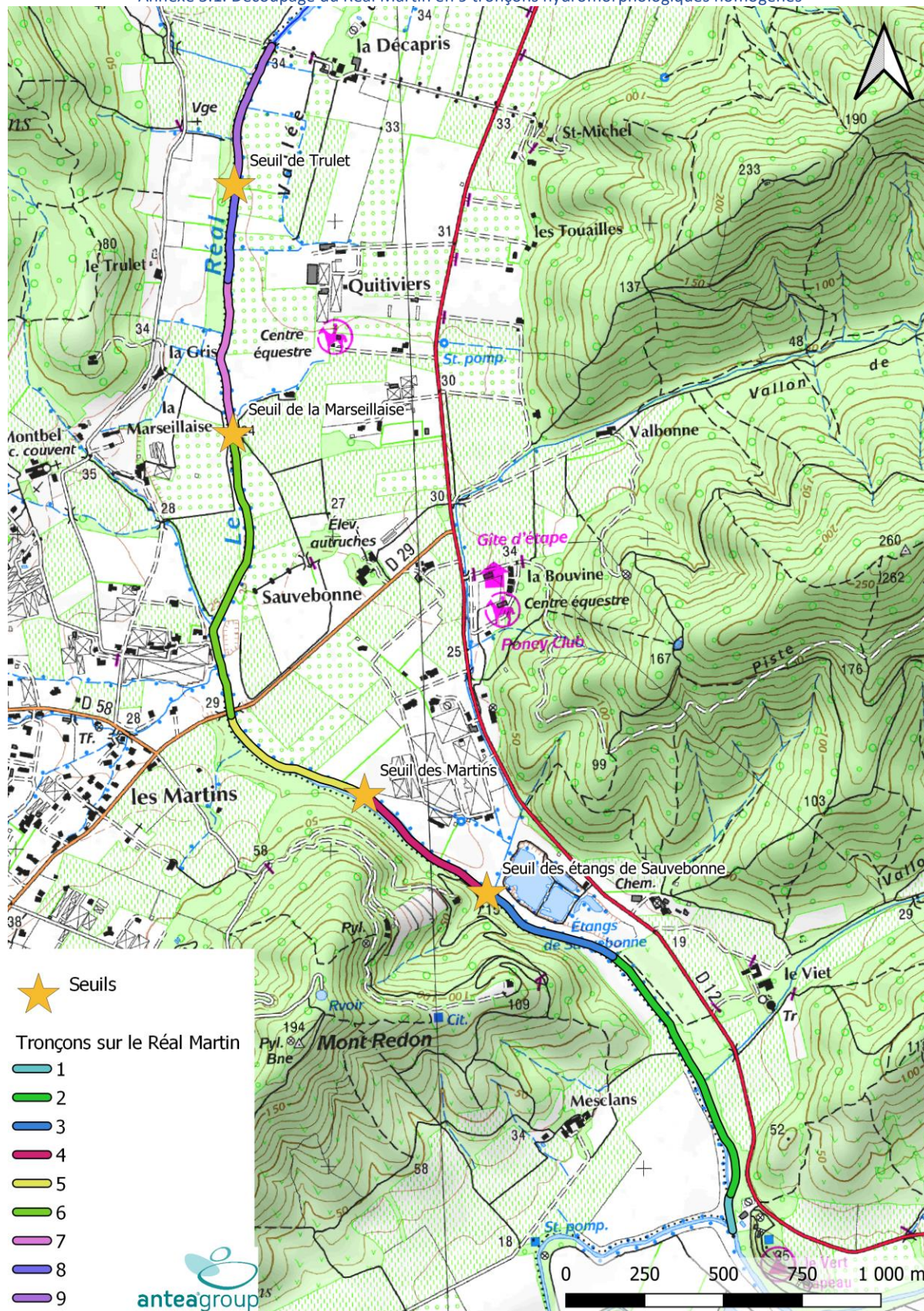
Annexe 4 : Photo et dimensions principales des 8 seuils étudiés

	
<p>Seuil des étangs de Sauvebonne – Réal Martin</p>	<p>Seuil des Martins – Réal Martin</p>
	
<p>Seuil de la Marseillaise – Réal Martin</p>	<p>Seuil du Trulet – Réal Martin</p>
	
<p>Seuil de la Gordonne aval – Meige Pan</p>	<p>Seuil de la Gordonne amont – Meige Pan</p>
	
<p>Seuil de la Bastide Neuve – Meige Pan</p>	<p>Seuil de la Dolone – Meige Pan</p>



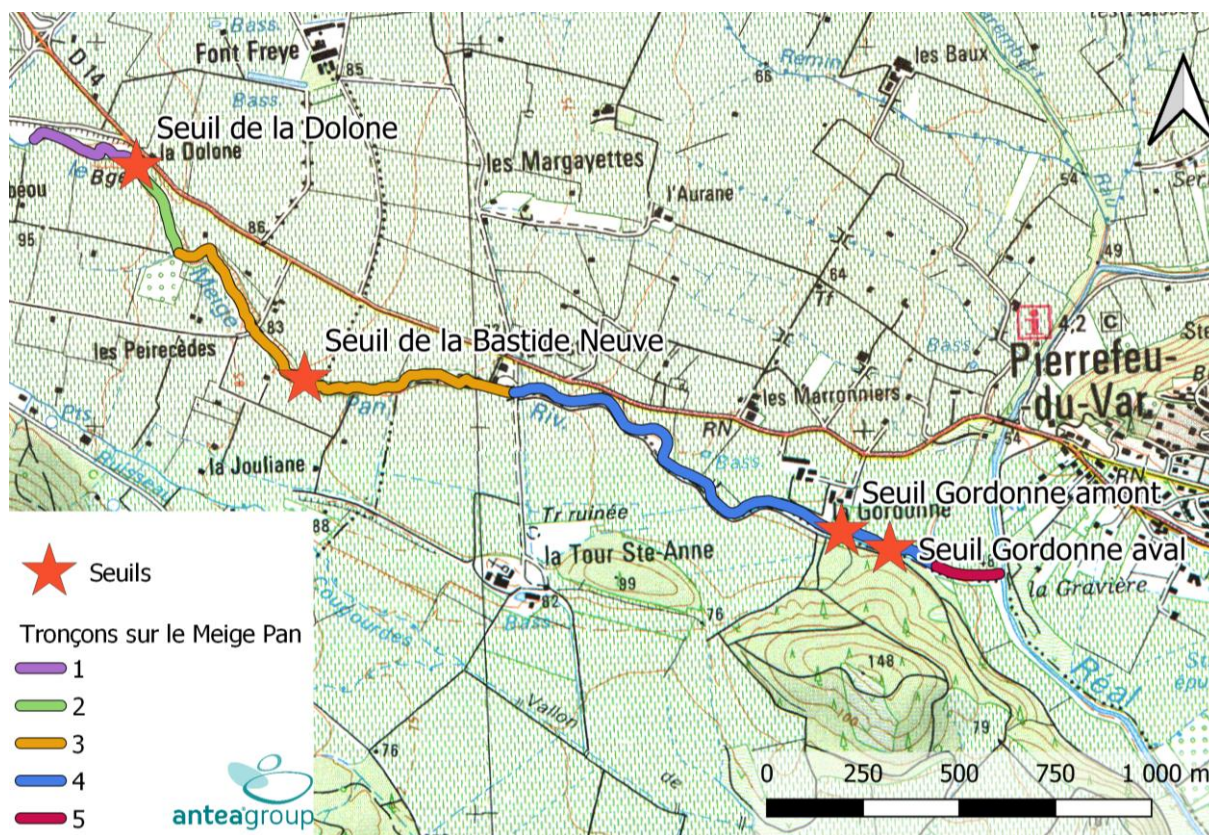
Annexe 5 : Diagnostic hydromorphologique - découpage en tronçons homogènes des portions de cours d'eau prospectées

Annexe 5.1. Découpage du Réal Martin en 9 tronçons hydromorphologiques homogènes





Annexe 5.2. Découpage du Meige Pan en 5 tronçons hydromorphologiques homogènes



Annexe 6 : Exemple de fiche synthèse tronçons réalisée à l'issue de la prospection terrain pour le diagnostic hydromorphologique


**FICHE TRONÇON N°5**

Date : 09/03/22

Opérateur : QUITTET Benjamin / DUSSEAUX Nell

ELEMENTS GENERAUX			
Cours d'eau : Réal Martin	Hauteur plein bord (m) : 1,3	Curage : non	Longueur tronçon : 516,8 m
Limite amont : Pont de RD29	Lame d'eau (m) : 0,2 - 0,8	Linéaire restauré : non	Occupation du sol : Friche, forêt, jardin, parcelle agricole en RG Forêt en RD
Limite aval : Seuil des Martins	Largeur plein bord (m) : 15	Annexes hydrauliques : non	
Q estimé (m³/s) : 0,57	Largeur en eau (m) : 15	Linéaire court-circuité : non	

Description du milieu physique	
LIGNE D'EAU	
Diversité des écoulements	Homogène
Faciès	Plat lentique

LIT MINEUR	
Sinuosité	Rectiligne
Largeur du lit	Contrôlée par le Seuil des Martins à l'aval
Incision du lit	Aucune. Profil tenu par le seuil
Profil en travers	symétrique 
Granulométrie	Vases, galets, sables,
Colmatage minéral	Faible [25-50%]
Recouvrement d'hydrophytes	<30% par algues filamenteuses et mousses
Stabilité du substrat	Sédiments bloqués par le seuil. Mobilisables en crue morphogène.
Diversité d'habitats	Moyenne : bas fonds/systèmes racinaires

BERGES & RIPISYLVES	
Berges	Rives gauche et droite naturelles en terre puis en partie agricole en rive gauche, raides (>70°) hautes entre 0.8-1m, stabilisées par le système racinaire de la végétation
Ripisylve	Ripisylve altérée. Plantation sur les 2 berges de platanes en rangée unique serrée. Le système racinaire fixe les berges. En rive gauche quelques arbustes puis des champs. En rive droite, la forêt en arrière complète la ripisylve et la rend plus naturelle.

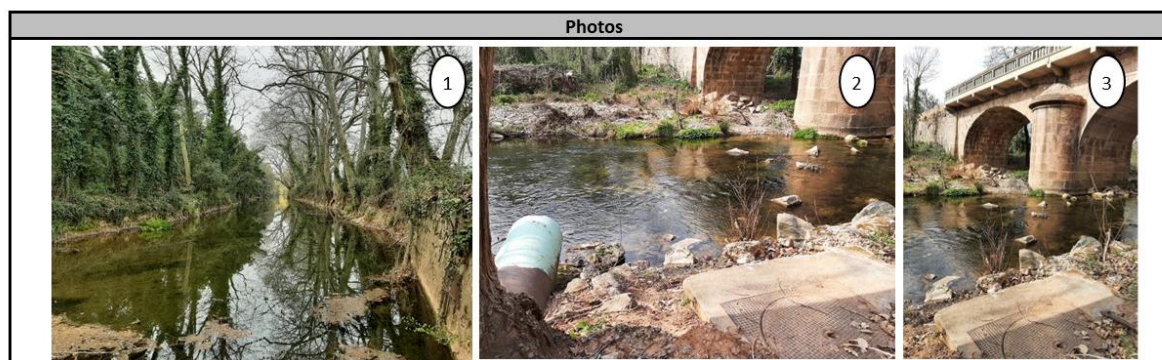
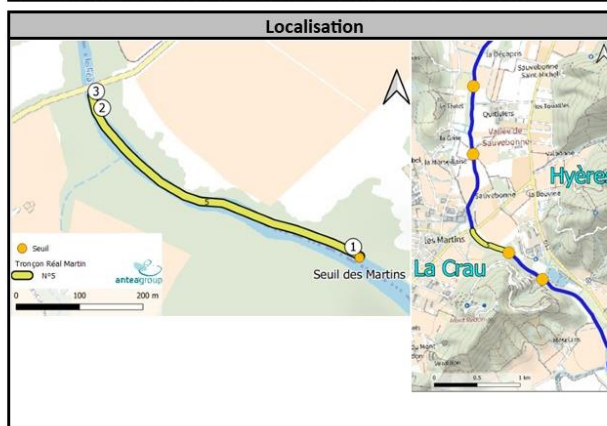
CONTINUITE	
Connexion lit mineur-lit majeur et annexe	Connexion difficile avec les berges hautes et raides, réseau secondaire non relié
Continuité longitudinale	Seuil des Martins en aval, Pont RD29 de Sauvebonne en amont

AMENAGEMENT LIT MINEUR & LIT MAJEUR	
Seuil des Martins en aval avec prise d'eau en rive gauche. Pont de la RD29 à plusieurs piles et dalle en soutien des piles dans le lit.	

Synthèse Diagnostic					
	Très bon	Bon	Moyen	Mauvais	Très mauvais
Etat général			x		
Etat lit mineur			x		
Diversité faciès				x	
Etat berges		x			
Qualité ripisylve			x		
Continuité écologique					x
Etat lit majeur		x			

Points positifs	Points négatifs
Berges et ripisylve relativement naturelles en rive droite	Impact du seuil et du pont - discontinuité
	Homogénéisation des habitats et faciès d'écoulement

Commentaires
Buse de rejet (pluvial/fossé) en rive gauche à l'aval du pont de la RD29. Dalle sous le pont et à son aval pour le passage d'une conduite. Du Seuil des Martins jusqu'au pont, la strate arborée de la ripisylve se compose d'un alignement de platanes dont les racines canalisent les écoulements du cours d'eau





## Annexe 7 : Capacités physiques des espèces piscicoles présentes au droit des ouvrages étudiés

Groupe ICE	Espèce présente	Lame d'eau min	Vitesse de sprint	Saut	Taille	Hauteur de chute (DH) difficile	Hauteur de chute (DH) extrême
-	<b>Anguille</b>	<2cm	1,5 m/s	Non	12-40 cm	-	-
10	<b>Vairon</b>	5cm	1-2 m/s	Non	8 cm	30cm	1m
9b	<b>Barbeau méridional</b>	5cm	1,5-3 m/s	Non	18 cm	50cm	1m
	<b>Goujon</b>	5cm	1,5-3 m/s	Non	13 cm	50cm	1m
9a	<b>Gardon</b>	5cm	1,5-3 m/s	Non	23 cm	50cm	1m
	<b>Blageon</b>	5cm	1,5-3 m/s	Non	18 cm	50cm	1m
7a	<b>Chevaine</b>	10cm	2,5-4 m/s	Non	45 cm	90cm	1,5m
4b	<b>Truite fario</b>	5-10cm	2,5-3,5m/s	Oui	15-30 cm	80cm	1,5m

Le stade de croissance des anguilles dans cette analyse ICE a été déterminé à partir :

- des obstacles présents sur le linéaire à parcourir jusqu'à atteindre les seuils étudiés depuis l'embouchure ;
- et la franchissabilité de ces obstacles pour l'anguille.

Sur le Gapeau aval et le Réal Martin, plusieurs ouvrages impactent encore fortement la circulation des anguilles. Le seuil des étangs de Sauvebonne, le plus en aval des 4 ouvrages étudiés sur le Réal Martin, se situe à près d'1,5 km en amont de la confluence avec le Gapeau et à un peu moins de 10 km de l'embouchure en mer Méditerranée. Sur le Gapeau aval, 2 ouvrages impactent encore fortement la circulation des anguilles : le barrage anti-sel devrait prochainement être équipé d'un ouvrage de montaison ; en revanche, aucun projet n'a pour l'instant abouti concernant le barrage de Saint-Eulalie, installé sur un obstacle naturel.

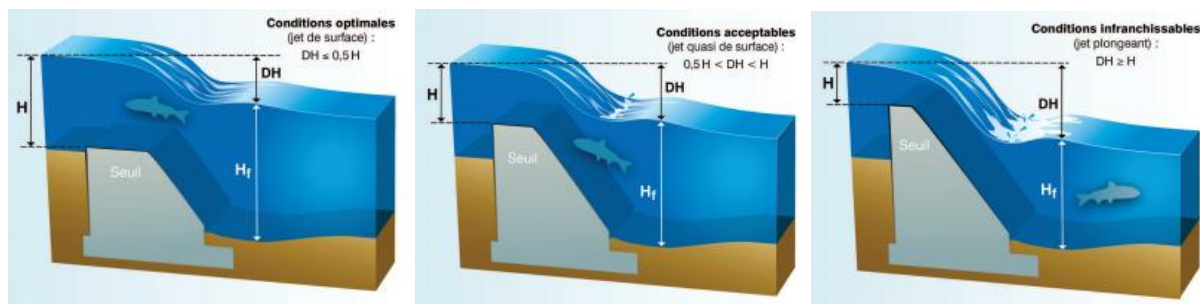
Sur le Meige Pan, le seuil de la Gordonne aval, le plus en aval des 4 ouvrages étudiés, se situe à près de 295 m en amont de la confluence avec le Réal Martin et à un peu plus de 18 km de l'embouchure en mer Méditerranée.

Ainsi, les nombreux ouvrages présents sur le Gapeau, le Réal Martin et le Meige Pan depuis l'embouchure en mer Méditerranée ralentissent la progression des anguilles et limitent leur nombre.

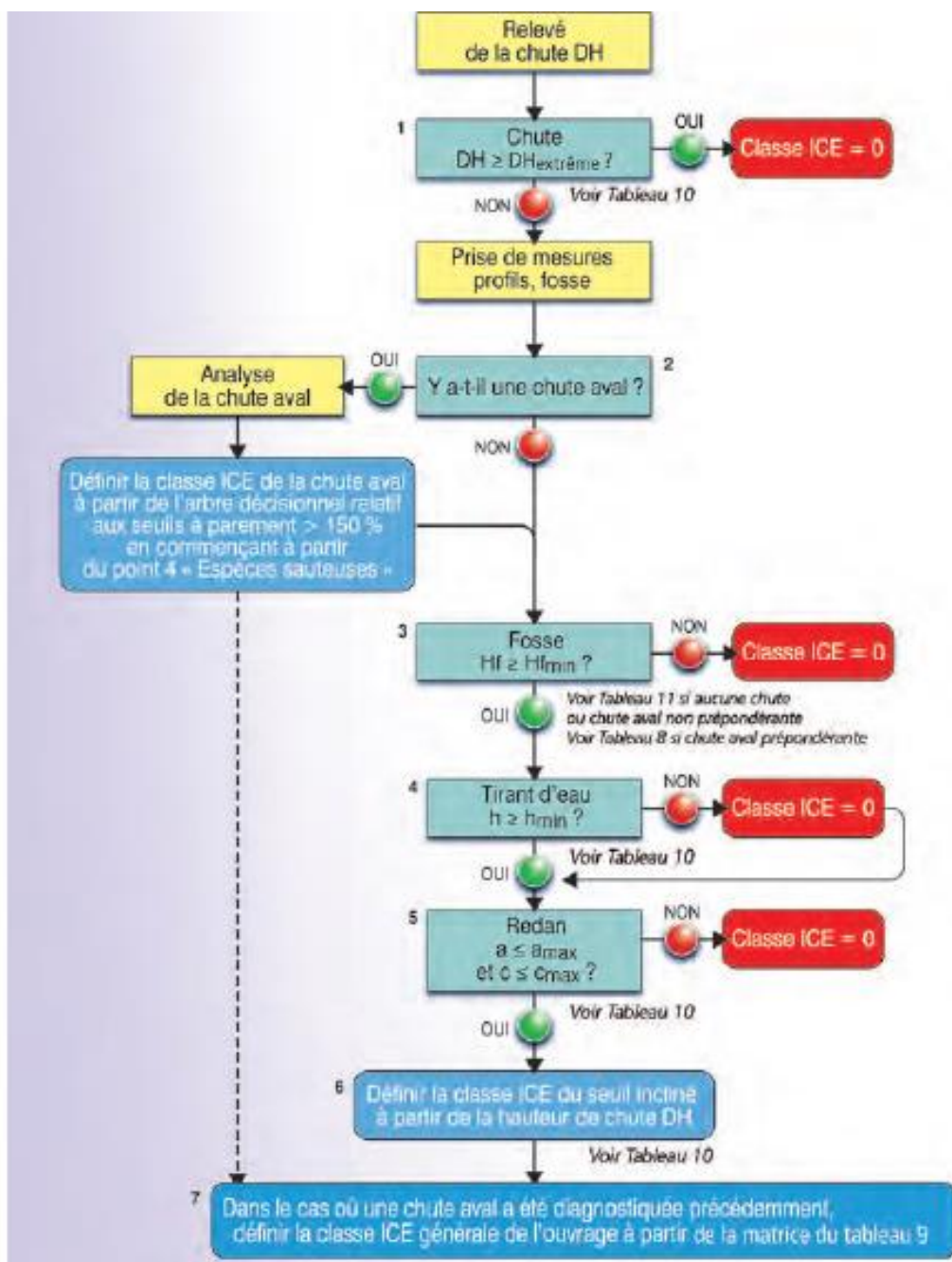
De ce fait, les anguilles qui se présentent aux droits des ouvrages étudiés sont déjà à un stade de croissance avancé de type anguillette d'une taille comprise entre 12-40cm.

Annexe 8 : Méthodes suivies pour déterminer la note ICE de chaque seuil pour chaque espèce présente au droit des seuils

Annexe 8.1 : Condition de franchissement piscicole

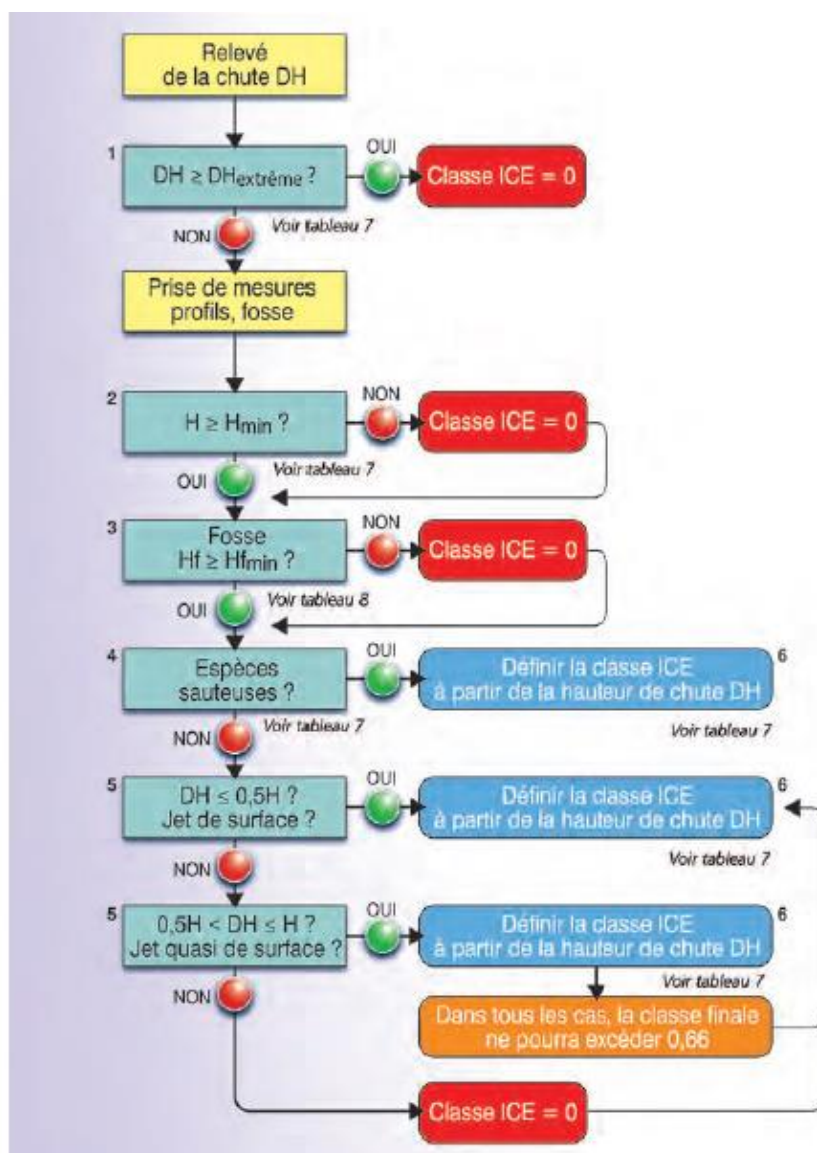


Annexe 8.2 : Arbre décisionnel permettant de définir les classes de franchissabilité ICE au niveau d'un seuil à parement incliné ( $\leq 150\%$ )





Annexe 8.3 : Arbre décisionnel permettant de définir les classes de franchissabilité ICE au niveau d'un seuil vertical ou quasi-vertical ( $\geq 150\%$ )

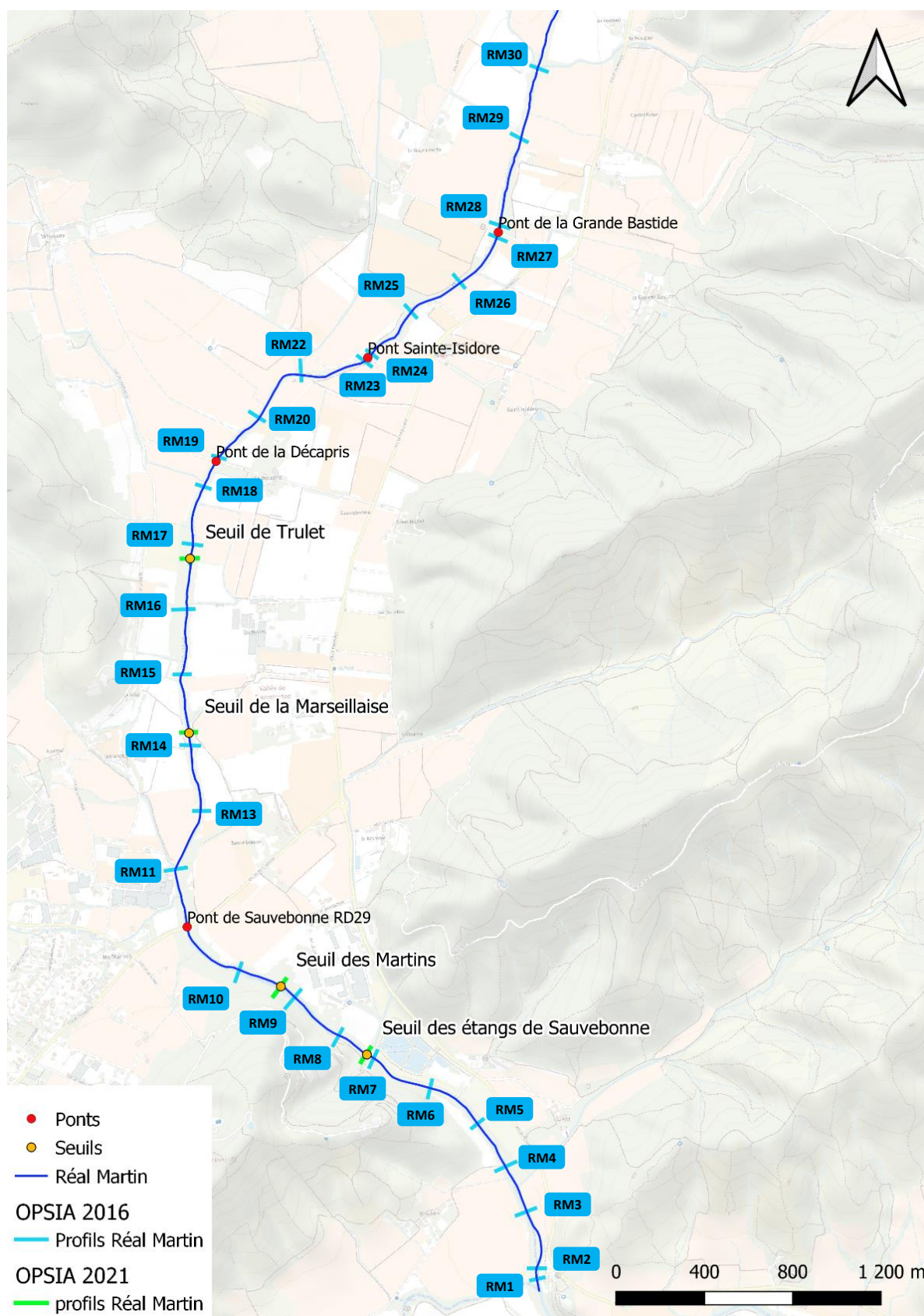


Annexe 8.4 : Matrice permettant de calculer la classe de franchissabilité ICE d'ouvrage présentant une zone de reptation pour l'anguillette (120mm-400mm) en fonction de la pente et de la longueur de la voie de passage.

Pente du coursier en %	Distance à franchir L (m)						
	L ≤ 0,5	0,5 < L ≤ 1	1 < L ≤ 2	2 < L ≤ 5	5 < L ≤ 10	10 < L ≤ 20	L > 20
P ≤ 5	1	1	1	1	1	1	1
5 < P ≤ 12,5	1	1	1	1	1	0,66	0,66
12,5 < P ≤ 25	1	1	1	1	0,66	0,66	0,33
25 < P ≤ 50	1	1	1	0,66	0,66	0,33	0,33
50 < P ≤ 75	1	1	0,66	0,66	0,33	0,33	0
75 < P ≤ 100	1	0,66	0,66	0,33	0,33	0	0
100 < P ≤ 150	1	0,66	0,33	0,33	0	0	0
150 < P ≤ 300	0,66	0,33	0,33	0	0	0	0
P > 300	0,66	0,33	0	0	0	0	0

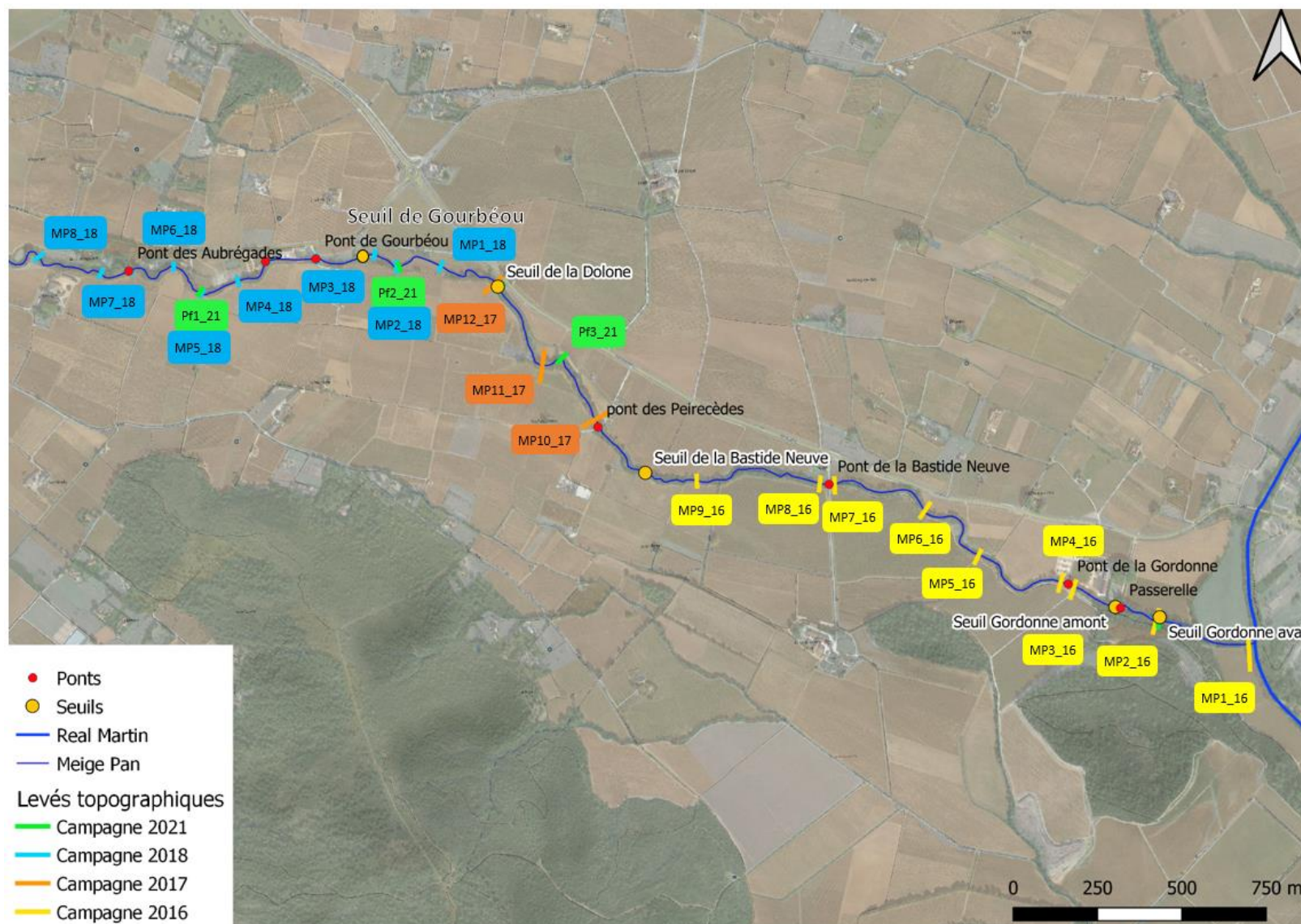
Annexe 9 : Localisation des levés topographiques réalisés au cours des différentes campagnes

Annexe 9.1 : Localisation des levés topographiques sur le Réal Martin



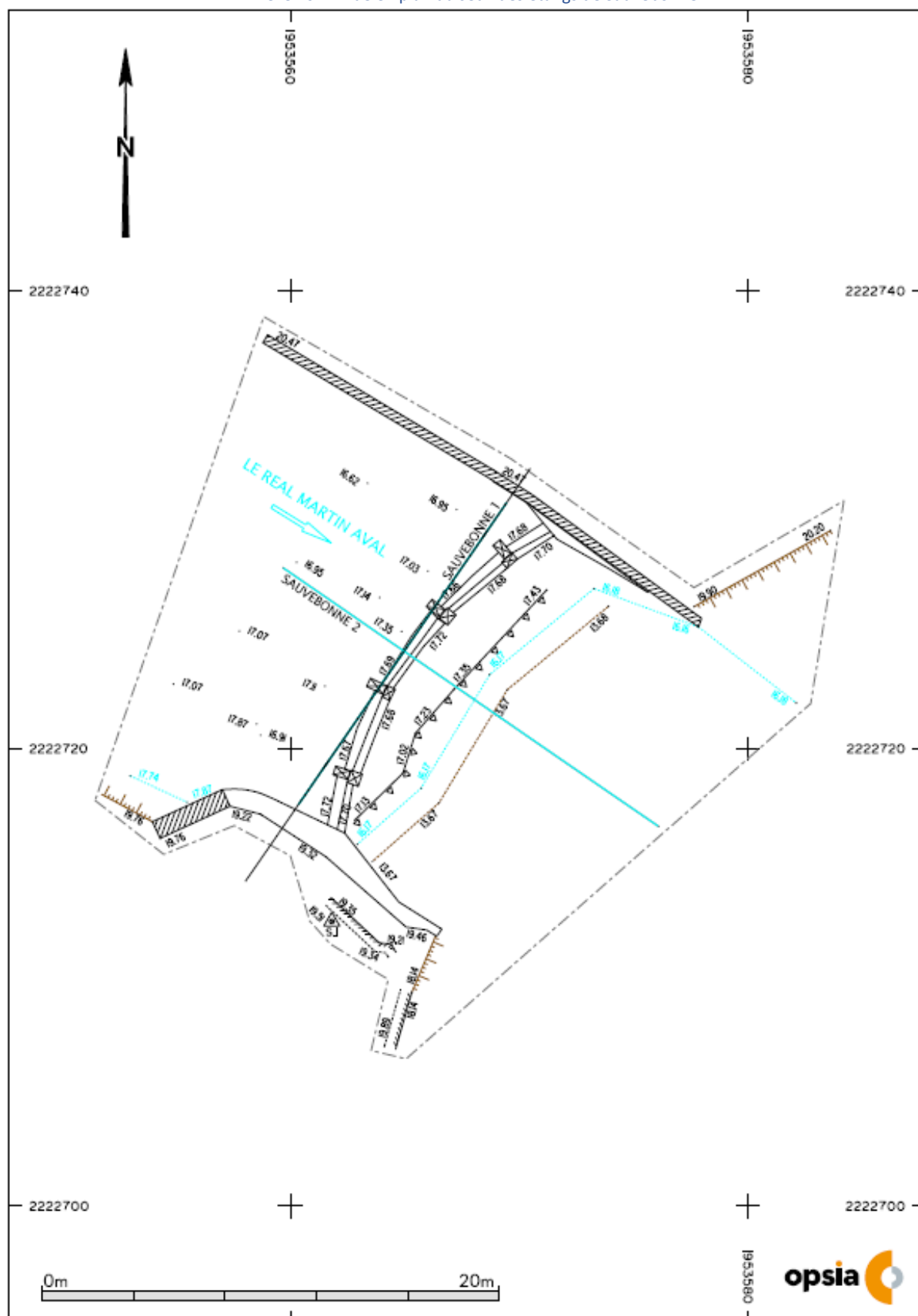


Annexe 9.2 : Localisation des levés topographiques sur le Meige Pan

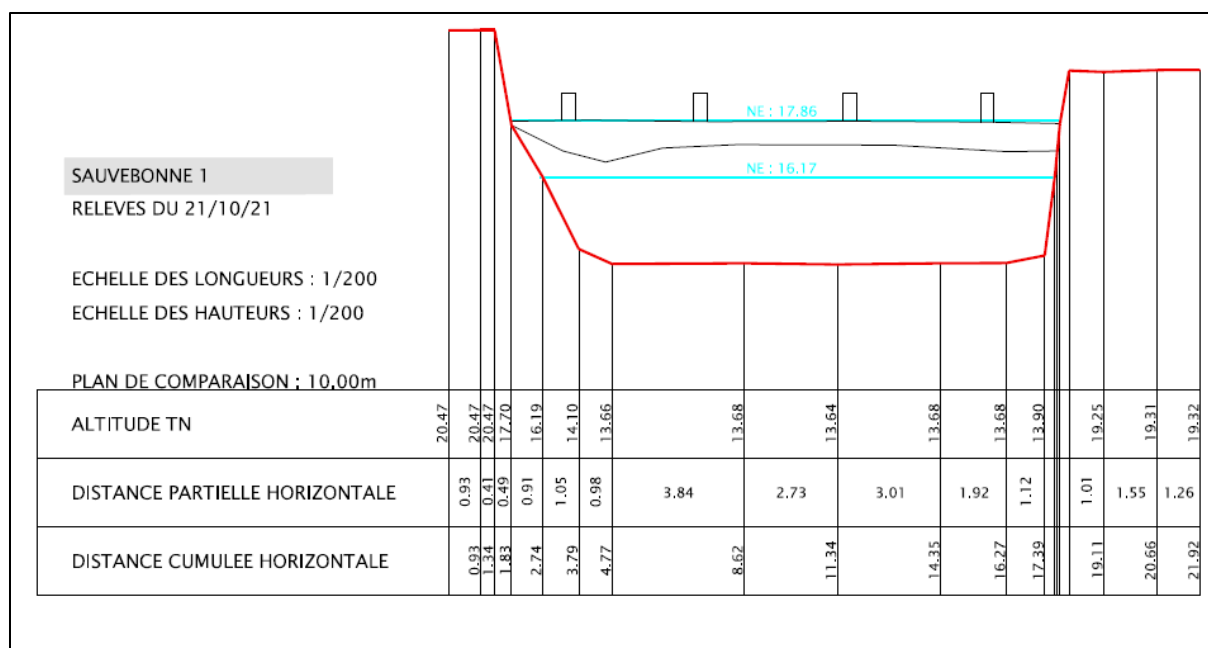


Annexe 10 : Exemple de levés de profil en travers et d'ouvrages au niveau du seuil des étangs de Sauvebonne sur le Réal Martin

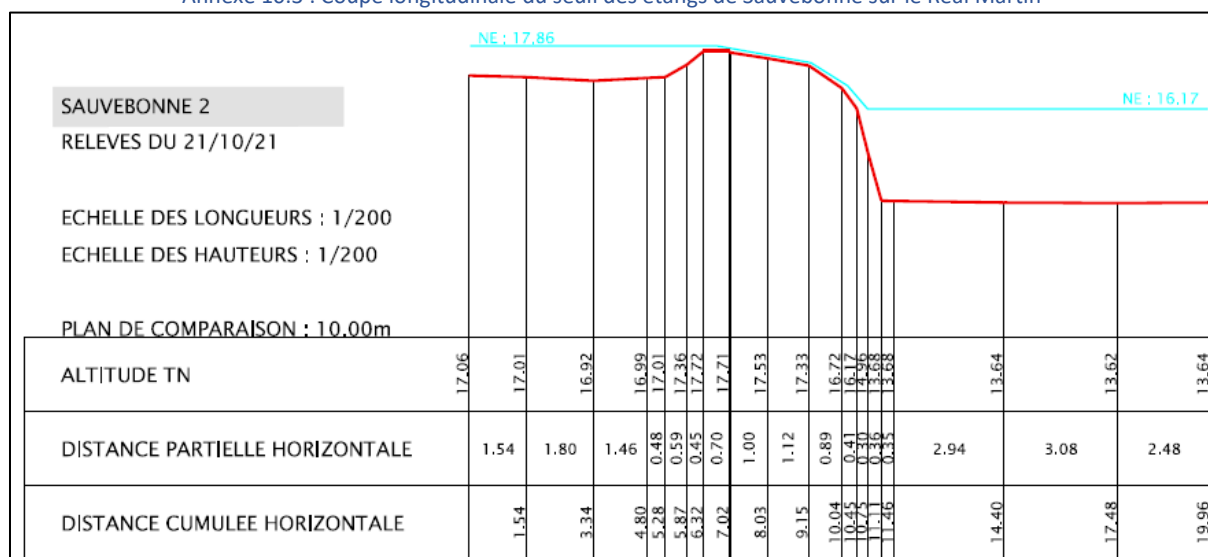
Annexe 10.1 : Vue en plan du seuil des étangs de Sauvebonne



Annexe 10.2 : Coupe transversale du seuil des étangs de Sauvebonne sur le Réal Martin



Annexe 10.3 : Coupe longitudinale du seuil des étangs de Sauvebonne sur le Réal Martin



## Annexe 11 : Architecture du modèle 1D sous HEC RAS

La construction du modèle consiste à représenter le lit de la rivière et le lit majeur ainsi que les ouvrages contrôlant les écoulements, à partir des données topographiques, bathymétriques et géométriques, complétées par la reconnaissance terrain.

Les écoulements des débits de crues et d'étiages ont été modélisés à l'aide du logiciel HEC-RAS 6.1 (Hydrologic Engineering center's River Analysis System). Ce logiciel permet d'effectuer des calculs d'écoulements en surface libre en régime permanent ou transitoire.

La modélisation des écoulements dans le lit mineur du Réal Martin s'appuie sur les relevés topographiques du cours d'eau et de ses ouvrages présentés dans la §3.1.2.3.1.

Les ouvrages d'art présents sur le tronçon étudié ont également été intégrés dans le modèle afin d'intégrer leur influence sur les écoulements. Au total, 8 ouvrages sont présents sur le tronçon étudié du Réal Martin (4 seuils et 4 ponts).

Pour décrire la géométrie du lit majeur, les profils en travers du lit mineur ont été étendus dans la plaine inondable de part et d'autre du cours d'eau. L'information altimétrique a été échantillonnée sur les dalles RGE ALTI® au pas de 1 m.

Le modèle s'étend ainsi sur 7140m entre la confluence avec le ruisseau des Cougourdes à proximité de la limite intercommunale entre Pierrefeu-du-Var et Hyères et la confluence avec le Gapeau, dans lequel le Réal Martin se jette.

### • Condition limite amont

Les conditions limites amont correspondent aux données hydrologiques injectées à l'entrée du modèle hydraulique. Ces données correspondent aux différents débits hydrologiques sur le Réal Martin à la station de mesure hydrométrique de la Décapris, rappelés dans le Tableau 15 ci-dessous.

Tableau 15 : Rappel des données hydrologiques à la station hydrométrique de la Décapris sur le Réal Martin

Données hydrologiques	Débit à la station de Décapris (source : Banque Hydro) (m <sup>3</sup> /s)
<b>Q<sub>MNA5</sub></b>	0,093
<b>Module</b>	2,21
<b>Crue biennale</b>	92
<b>Crue quinquennale</b>	150
<b>Crue décennale</b>	180
<b>Crue vicennale</b>	220
<b>Crue cinquantennale</b>	260

### • Condition limite aval

Pour que le logiciel puisse réaliser une modélisation, il est indispensable de lui renseigner la condition limite aval.

L'hypothèse d'une hauteur d'eau normale a été définie en condition limite aval du modèle. Cette méthode considère au profil aval du modèle, un écoulement uniforme impliquant une pente de la ligne d'eau égale (parallèle) à la pente du fond du lit. Dans le cas du Réal Martin la pente moyenne du cours d'eau est de 0,37%.

Le modèle s'étend suffisamment en aval de la zone d'étude, de sorte à s'affranchir de l'impact de cette condition limite : sa valeur n'impacte donc pas les résultats hydrauliques au droit du 1<sup>er</sup> seuil rencontré en amont (Seuil des étangs de Sauvebonne).

### • Coefficient de Rugosité Manning

Les coefficients de rugosité ( $n$  : Manning) ont été fixés en fonction de la nature des sols dans le lit mineur et le lit majeur observée lors de la visite de site, par application des grilles disponibles dans « HEC-RAS 6.0 Reference manual – Table 3-1 Manning's 'n' values ». Par défaut, les coefficients suivants ont été appliqués :

- Lit mineur  $n = 0,035$  (propre, droite, pleine, pas de radiers ou de bassins profonds, mais plutôt des pierres et des mauvaises herbes)
- Lit majeur  $n = 0,067$  (broussailles légères et arbres en été / terrain défriché avec souches d'arbres, pas de pousses)
- Coefficient de seuil paramétré à 1,4 pour chaque ouvrage.

Les coefficients de rugosité ont ensuite été affinés lors de l'opération de calage, qui vise à adapter les paramètres du modèle pour faire correspondre au mieux les résultats obtenus avec les observations ayant pu être réalisées lors des crues historiques.

Sur le secteur, la crue de référence est la crue du 27 novembre 2014, et les repères de crues ayant servi au calage sont visibles dans la Figure 7 ci-dessous.

Le débit de pointe a atteint environ  $160 \text{ m}^3/\text{s}$  au niveau de la station hydrométrique de la Décapris. Cependant, comme évoqué précédemment dans la § 3.1.2.2.1 une partie des écoulements de crue mesurés sur la station de la Décapris sont contournés en amont et sont donc sous-estimés. Ceci explique en partie les difficultés rencontrées à faire correspondre les débordements simulés par le modèle avec les niveaux de laisses de crue identifiées sur le secteur.

Pour cette raison, l'hydrogramme de la crue 2014 a été extrait du modèle hydrologique établi à partir des relevés de pluies réelles dans le cadre de l'étude hydrologique d'EGIS, 2019. Le débit de pointe modélisé pour cet événement atteint  $229,3 \text{ m}^3/\text{s}$ .

À la suite du calage, il apparaît que les coefficients de rugosité de Manning sont les suivants :

- **Lit mineur  $n = 0,045$**  (cours d'eau naturel propre, sinueux avec quelques bassins et hauts-fonds, mais aussi des herbes et des pierres)
- **Lit majeur en amont du pont de la Sauvebonne  $n = 0,07$**  (plaine d'inondation composée de broussailles moyennes à denses, correspondant ici à la ripisylve, vergers, exploitation de cannes de Provence et vignobles)
- **Lit majeur en aval du pont de la Sauvebonne en rive droite  $n = 0,1$**  (plaine d'inondation composée de broussailles moyennes à denses, avec des arbres à forte densité, et nombreux branchages)
- **Lit majeur en aval du pont de la Sauvebonne en rive gauche  $n = 0,06$**  (plaine d'inondation composée de broussailles faibles à moyennes, correspondant ici à la ripisylve, vergers, exploitation de cannes de Provence et vignobles).

**L'ensemble des points évoqués ci-dessus ayant servi à la création du modèle sont représentés cartographiquement dans la Figure 7 ci-dessous.**



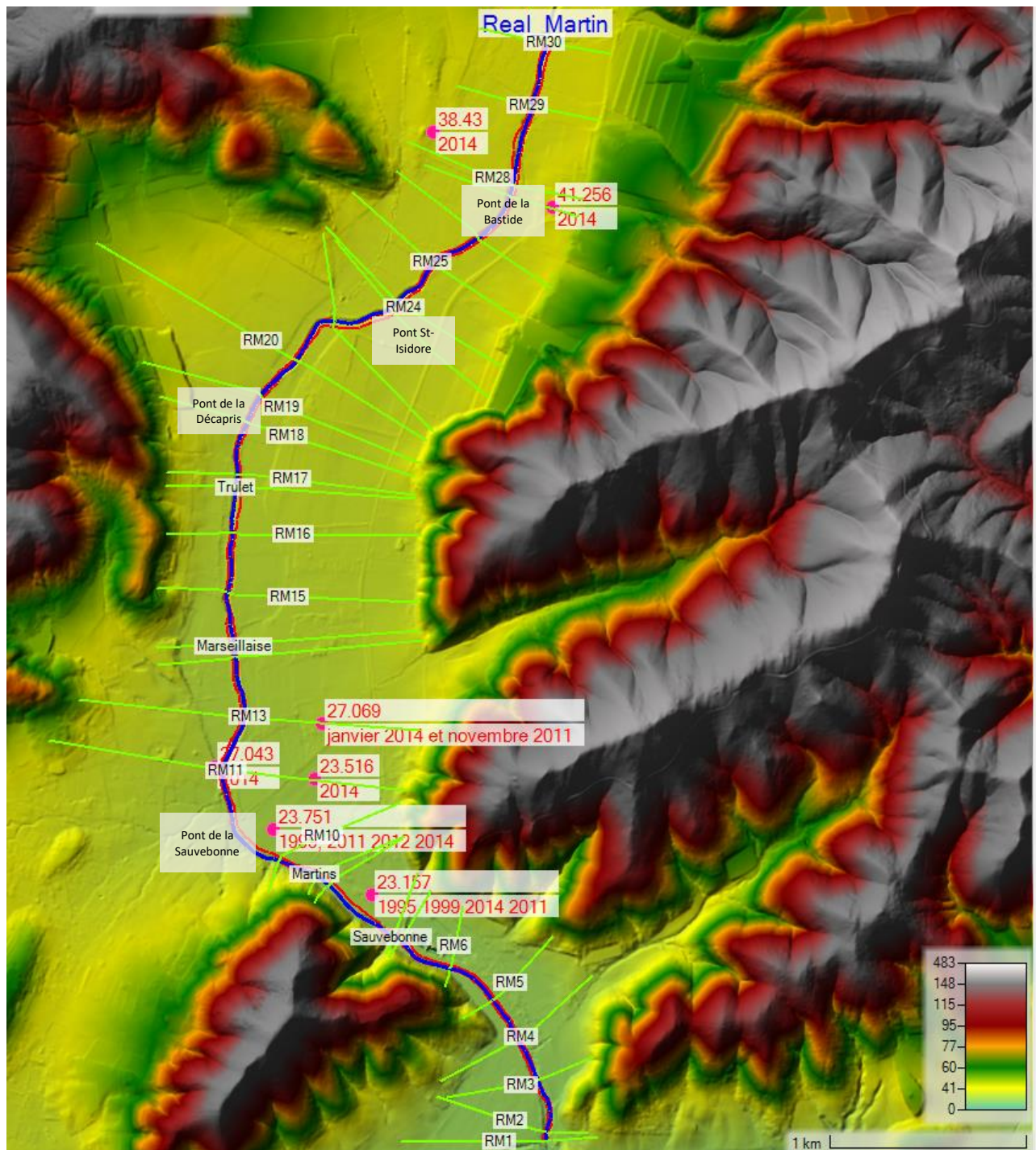
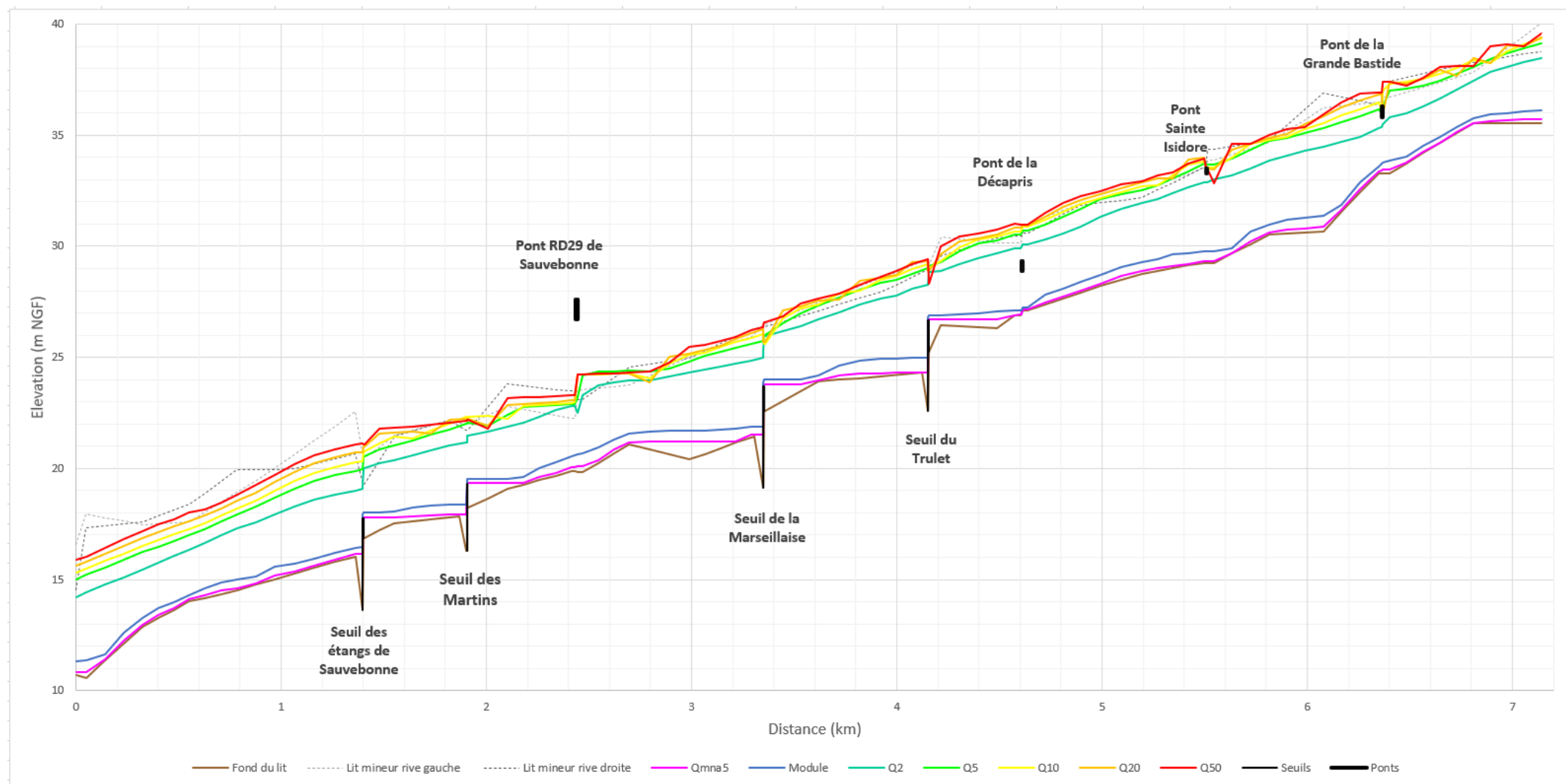
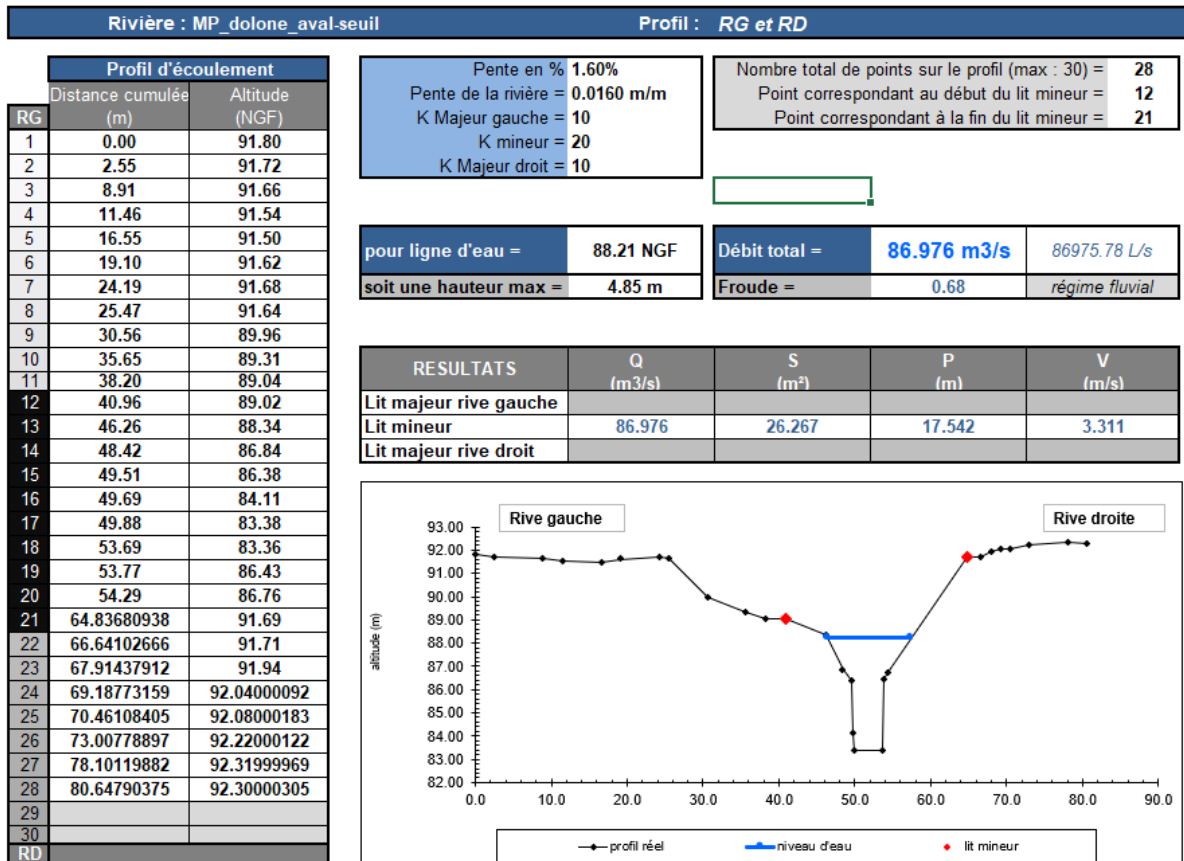
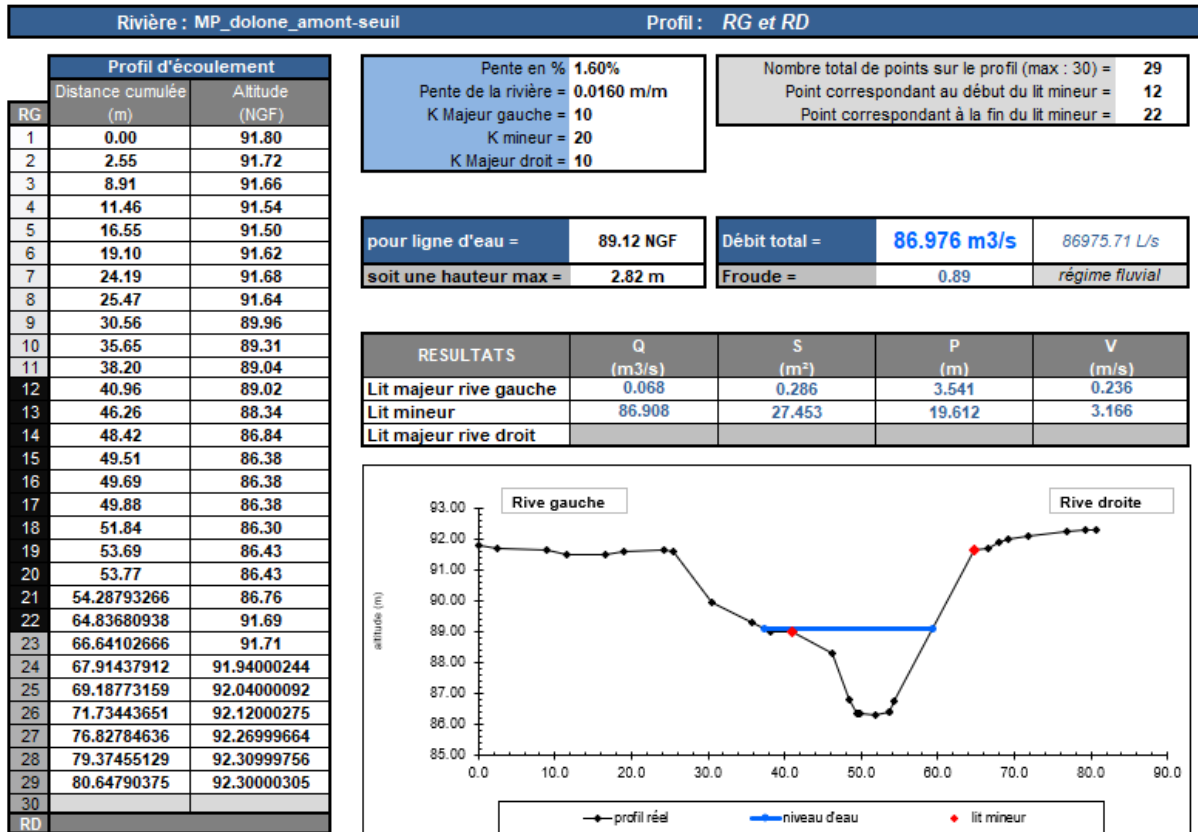


Figure 7 : Architectures du modèle HEC-RAS 1D

Annexe 12 : Lignes d'eau simulées pour les différentes occurrences de débits étudiés par modélisation hydraulique HEC-RAS sur le Réal Martin

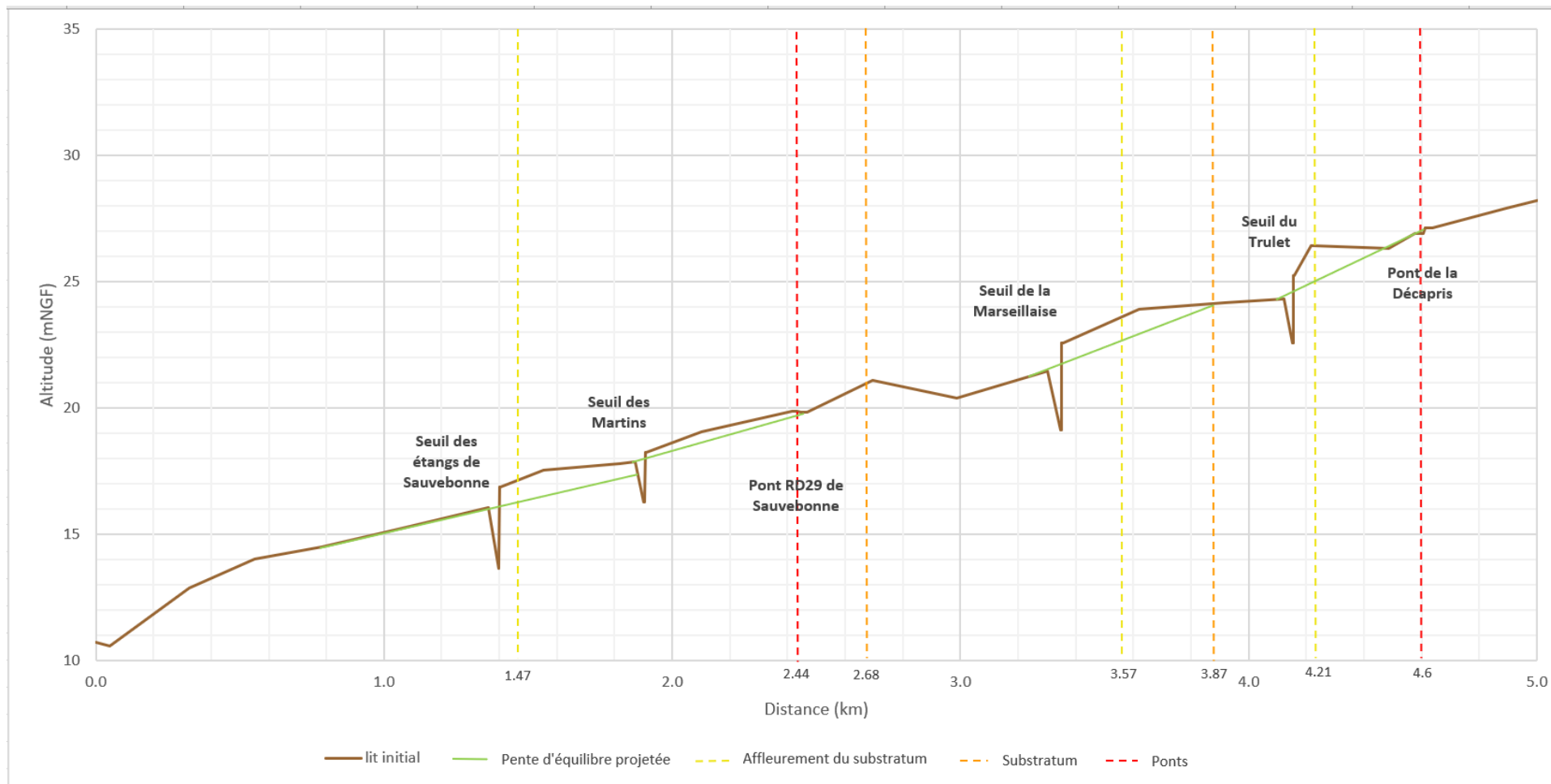


Annexe 13 : extrait du modèle Manning-Strickler dans la recherche des débits de plein bord et d'envoie en amont et en aval du seuil de la Dolone

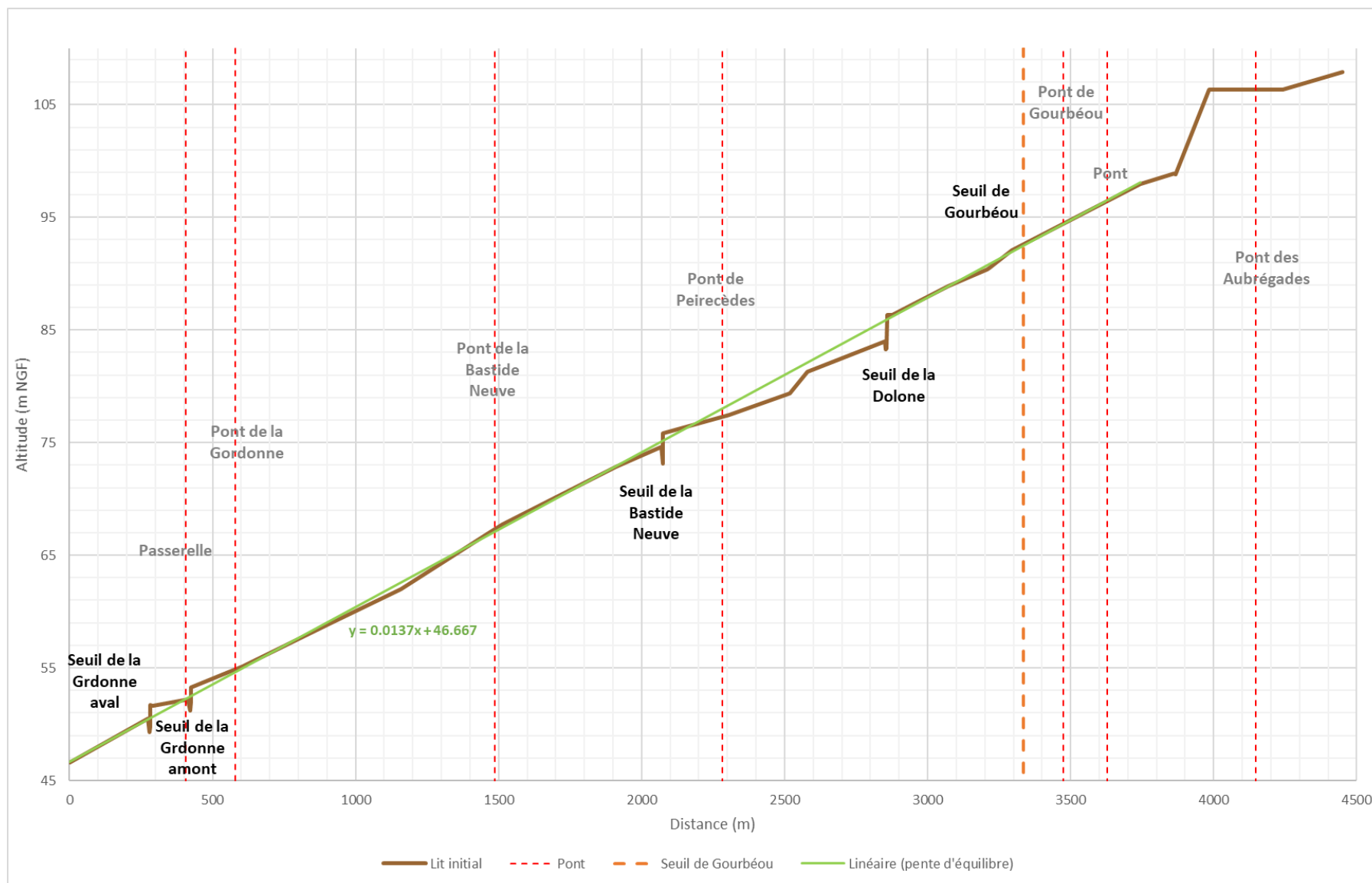


Annexe 14 : Identification des points durs sur le profil en long et estimation des pentes d'équilibres projetée après dérasement des seuils

Annexe 14.1 : Cas du Réal Martin



Annexe 14.2 : Cas du Meige Pan



Annexe 15 : Rapport d'étude - Mission de maîtrise d'œuvre pour la restauration de la continuité écologique Lot 1 - 4 seuils du Réal Martin aval - Étude préalable

Rapport disponible dans le fichier Annexes.pdf fourni en supplément du rapport de stage – Version achevée.

Annexe 16 : Rapport d'étude - Mission de maîtrise d'œuvre pour la restauration de la continuité écologique Lot 2 - 4 seuils du Meige Pan aval - Étude préalable

Rapport disponible dans le fichier Annexes.pdf fourni en supplément du rapport de stage – Version achevée.

Annexe 17 : Rapport d'étude - Mission de maîtrise d'œuvre pour la restauration de la continuité écologique Lot 1 - 4 seuils du Réal Martin aval - Étude préalable Proposition de scénarios d'aménagement

Rapport disponible dans le fichier Annexes.pdf fournis en supplément du rapport de stage – Version inachevée.

Annexe 18 : Rapport d'étude - Mission de maîtrise d'œuvre pour la restauration de la continuité écologique Lot 2 - 4 seuils du Meige Pan aval - Étude préalable Proposition de scénarios d'aménagement

Rapport disponible dans le fichier Annexes.pdf fourni en supplément du rapport de stage – Version inachevée.

Annexe 19 : Rapport - Réhabilitation de la conduite d'adduction Fonte DN600 en traversée de Jordanne - Dossier de déclaration au titre du Code de l'Environnement

Rapport disponible dans le fichier Annexes.pdf fourni en supplément du rapport de stage – Version inachevée.

Annexe 20 : Rapport d'étude - Etude globale des ouvrages hydrauliques transversaux du bassin versant du Lez - Phase 3 Propositions techniques d'aménagement des ouvrages 2L & 16L

Rapport disponible dans le fichier Annexes.pdf fourni en supplément du rapport de stage – Version inachevée.

Annexe 21 : Rapport - MOE Remblai contigu Viaduc St-Isidore Nice (06) - Etude hydraulique

Rapport disponible dans le fichier Annexes.pdf fourni en supplément du rapport de stage – Version achevée.

Annexe 22 : Projet de lotissement " Domaine de Versailles " - Commune de Rognes (13) - Dossier de Déclaration au titre du Code de l'Environnement

Rapport disponible dans le fichier Annexes.pdf fourni en supplément du rapport de stage – Version achevée.

Annexe 23 : Mise à jour de l'étude de compatibilité du rejet de forage géothermique GMM1 avec le milieu récepteur à Mont de Marsan (40)

Rapport disponible dans le fichier Annexes.pdf fourni en supplément du rapport de stage – Version inachevée.





**POLYTECH<sup>®</sup>**  
TOURS

35 ALLÉE FERDINAND DE LESSEPS  
37200 TOURS

**Neil DUSSEAUX**

Etudiante en ingénierie des  
milieux aquatiques (IMA)  
2021-2022

## Étude de diagnostic et proposition d'aménagements pour rétablir la continuité écologique sur 8 seuils dans le Var

**Résumé :** De nos jours, les enjeux environnementaux occupent une place prépondérante dans notre quotidien, en particulier la ressource en eau. Dans ce cadre de la Loi sur l'Eau et des Milieux Aquatiques, de nombreux projets voient le jour pour la préservation et la restauration de nos cours d'eau. Le présent rapport s'inscrit dans cette optique et s'articule autour de la restauration de la continuité écologique au droit d'ouvrages en rivière. Pour ce faire, des études préalables ont été réalisées (état des lieux et diagnostic) pour identifier les enjeux et les contraintes des territoires étudiés. Par la suite, des propositions d'aménagements compatibles avec les possibilités de réalisation ont été étudiées sous forme de scénarii (dérasement, arasement et équipement d'un dispositif de franchissement piscicole) pour restaurer la continuité écologique au droit d'ouvrage en rivière faisant obstruction au transport sédimentaire et surtout au franchissement piscicole. Enfin des analyses comparatives entre chaque scénarii ont été réalisées pour identifier l'aménagement avec le meilleur rapport coût / gain écologique pour restaurer le milieu. Ce rapport présente de manière synthétique les phases d'études préalables et de faisabilités d'aménagement d'ouvrages pour la restauration de la continuité écologique avec les méthodes de calculs et de recherches nécessaires pour les produire.

**Mots clés :** Continuité écologique, ouvrages en rivière, transport sédimentaire, franchissement piscicole, restauration.

### **ANTEA GROUP**

Agence d'Aubagne  
400 avenue de Passe Temps,  
13400 Aubagne



### **Tuteur entreprise :**

**Benjamin QUITTET**

Chef de Projet – hydraulique, hydrologie  
et éco-hydraulique

### **Tuteur académique :**

**Stéphan RODRIGUES**

Enseignant chercheur –  
Hydraulique et transport solide