

M. christian Marcel
Moulin des Scaffarels, Les Scaffarels
04420 Annot

Étude de la restauration de la continuité écologique de la Galange au droit de la prise d'eau de M. Marcel sur la commune d'Annot

Phase I : État des lieux

Rapport d'étude

Réf. GA17-076/Phase I : État des lieux/Version 1

Août 2018

SUIVI ET VISA DU DOCUMENT

Réf. GA17-076

Etude : Étude de la restauration de la continuité écologique et sédimentaire de la Galange au droit de la prise d'eau de M. Marcel à Annot

Phase : Phase I : Etat des lieux

Date de remise : Août 2018

Version : 1

Statut du document : Provisoire

Propriétaire du document : M. Marcel

Chef de projet : Vincent ARNAUD

Rédacteurs : Eric LALOT, Marc INSARDI

Vérificateur : Vincent ARNAUD



SOMMAIRE

SOMMAIRE	3
ANNEXES	7
DEMANDEUR	8
CONTEXTE	9
PARTIE 1 : PRÉSENTATION GÉNÉRALE DU SITE.....	10
1. LOCALISATION.....	10
1.1. Zone d'étude	10
1.2. Localisation	11
2. DONNES EXISTANTES.....	13
2.1. Études réalisées.....	13
2.2. Données topographiques.....	13
3. PRÉSENTATION GÉNÉRALE DE LA PRISE DE M. MARCEL	13
4. MORPHOLOGIE AU NIVEAU DE L'OUVRAGE.....	15
5. ETAT DES MILIEUX TERRESTRES ET HUMAIN	16
5.1. Les portes à connaissances et zonages non réglementaires	16
5.2. Les Plans de Prévention des Risques (PPR).....	16
5.3. Occupation des sols	16
5.4. Les usages de l'eau	16
6. CADRE RÉGLEMENTAIRE.....	17
6.1. Classement au titre de l'article L217-17 du Code de l'environnement.....	17
6.2. Ouvrages cibles du Grenelle de l'Environnement	18
6.3. Cadre réglementaire en lien avec l'ouvrage et la pratique des activités d'eau vive	19
6.4. Catégories piscicoles	19
6.5. Classement et objectifs du SDAGE pour les cours d'eau considérés.....	20
6.6. Plan Anguille.....	21
6.7. Zonage Natura 2000	21
PARTIE 2 : ASPECTS HYDROLOGIQUES	22
1. CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES DU BASSIN VERSANT DE LA VAÏRE	22
2. ÉVALUATION DES DÉBITS.....	22
2.1. Historique des crues.....	23
2.2. Débits de pointe	25
2.3. Étiage, module, débits moyens.....	27
2.3.1. Débit prélevé	27
2.3.2. Module	29

2.3.3. Débits moyens mensuels à l'amont et à l'aval de l'ouvrage	32
PARTIE 3 : MORPHODYNAMIQUE ET TRANSPORT SOLIDE	34
1. ACTIVITÉ DU COURS D'EAU ET POSSIBILITÉS D'ÉVOLUTION	34
1.1. Puissance spécifique.....	34
1.2. Apports solides potentiels	35
1.3. Érodabilité des berges au niveau de la prise	37
1.4. Conclusion sur l'activité générale du cours d'eau.....	37
2. PROFIL EN LONG.....	38
3. TRANSPORT SOLIDE.....	40
3.1. Historique.....	40
3.1.1. Photographie aérienne de 1948	40
3.1.1. Photographie aérienne de 1965	40
3.1.1. Photographie aérienne de 1974	41
3.1.1. Photographie aérienne de 1982	42
3.1.1. Photographie aérienne de 1994	42
3.1.2. Bilan.....	43
3.2. Description du seuil de prise	44
3.3. Granulométrie et transport solide	44
4. CONCLUSION	46
PARTIE 4 : DESCRIPTION MORPHOLOGIQUE ET INVENTAIRE DES OBSTACLES À LA CIRCULATION PISCICOLE ET DES FRAYÈRES	47
1. DIAGNOSTIC ICE DE L'OUVRAGE DE PRISE	47
1.1. Franchissabilité de la prise d'eau à la montaison	47
1.2. Franchissabilité à la dévalaison.....	50
1.3. Conclusion sur la franchissabilité de l'ouvrage de prise	53
2. SITUATION PISCICOLE DU COURS DE LA GALANGE.....	54
2.1. Facies d'écoulement	54
2.2. Qualité piscicole.....	56
2.2.1. Résultats 2018	56
2.2.2. Conclusion sur la qualité piscicole	58
PARTIE 5 : BILAN	59
ANNEXES	60

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Localisation de la prise d'eau (Source : géoportail).....	10
Figure 2 : Photographie aérienne de la prise d'eau et cadastre (Source : Géoportail)	11
Figure 3 : Bassin versant capté par la prise d'eau Marcel – le bassin mesure environ 64 km ² (Source : Géoportail)	12
Figure 4 : Prise d'eau des Scaffarels (a) vue du dessus depuis de la rive gauche ; (b) vue depuis l'aval du canal de dérivation; (c) vue du dessus depuis la rive droite.	14
Figure 5 : Morphologie à l'amont immédiat (a) et dans le TCC à l'aval (b) de la prise d'eau Marcel.....	15
Figure 6: Rejet de la microcentrale Marcel dans la Vaïre, vue depuis le pont de la RN 202 vers l'amont (Photo du 29/06/2017)	15
Figure 7 : Degré de validité de la station hydrométrique de la Vaïre (source : hydro.eaufrance.fr)	23
Figure 8 : Historique des crues (source base de données RTM).....	24
Figure 9 : Hydrogrammes de crues au droit de la prise d'eau des Scaffarels sur la Vaïre. 26	
<i>Figure 10 : Hydrogrammes de crues au droit de la prise d'eau de M Marcel sur la Galange.</i>	26
Figure 11 : Rendement de différents types de turbine en fonction du débit (Source : www.turbinealternateur.fr)	27
Figure 12 : Vue du canal depuis l'aval des vannes de décharge (gauche) et depuis l'amont (droite).	29
Figure 13: Débits moyens mensuels de la Galange au droit du seuil de prise de M. Marcel (m ³ /s)	33
<i>Figure 14 : Seuils de puissance spécifique (d'après Brookes, 1988 in Wasson et al.,1998) (Source: Biotec Malavoï, 2007).</i>	34
<i>Figure 15 : Ravin d'Inarde à la traversée avec la D908.</i>	35
Figure 16 : Ravin de Maouna et des Louvrettes (Source : Géoportail).	35
<i>Figure 17 : a) Ravin au-dessus de la Condamine, b) Éboulis dans les gorges de la Galange (Source : géoportail)</i>	36
Figure 18 : Éboulis le long de la Galange 50 m à l'amont du seuil de prise.	36
<i>Figure 19 : Bacs alluviaux renouvelés à la confluence avec la Galange (29/06/2017).</i>	37
<i>Figure 20 : Berges peu érodables au droit de la prise : a) vue depuis la prise vers l'amont, b) vue depuis la rive gauche vers le verrou rocheux à l'aval de la prise d'eau</i>	37
Figure 21 : Profil en long de la Galange entre la Vaïre et la Bernarde.....	38
<i>Figure 22 : Profil en long de 1912 (Source RTM 2006).</i>	39
<i>Figure 23 : Photographie aérienne de 1948 (source : geoportail.fr)</i>	40
<i>Figure 24 : Photographie aérienne de 1965 (source : geoportail.fr)</i>	41

<i>Figure 25 : Photographie aérienne de 1974 (source : geoportail.fr)</i>	41
<i>Figure 26 : Photographie aérienne de 1982 (source : geoportail.fr)</i>	42
<i>Figure 27 : Photographie aérienne de 1994 (source : geoportail.fr)</i>	43
Figure 28 : Vue du seuil de prise depuis la rive droite.....	44
Figure 29 : Granulométrie grossière observée au fond du canal entre les 2 vannes de décharge amont (gauche) et absence de graviers à l'aval de la deuxième vanne de décharge (droite).	45
Figure 30 : Niveaux moyen du fond du lit modélisés pour différents régimes hydrauliques. Situation actuelle, avec aménagement. Source : diagnostic de la continuité écologique et sédimentaire au droit de la prise d'eau des Scaffarels.....	45
Figure 31 : Extrait du tableau des valeurs guide pour les seuils à parement inclinés et pour la reptation des anguilles (source ICE ONEMA, 2014).	48
Figure 32 : Vue du cheminement potentiel pour anguille en rive droite.	49
Figure 33 : Partie souterraine du canal de dérivation. On note la forte vitesse des écoulements.	49
Figure 34 : Sortie du canal de dérivation, hors période de fonctionnement de la centrale.	50
Figure 35 : Jets d'eau issue des vannes de décharge.....	51
Figure 36 : Faciès de la Galange à l'amont de la prise d'eau et jusqu'au pont Saint-Joseph.	55
Figure 37 : Structures des populations de truites par classe de taille.....	57
Figure 38 : Structures des populations d'anguille d'Europe par classe de taille et par cohorte	58

ANNEXES

Annexe 1 : Résultats des sondages piscicoles

DEMANDEUR

Le propriétaire et exploitant de la prise d'eau et demandeur de l'étude est:

Christian Marcel

Moulin des Scaffarels, les Scaffarels

04420 Annot

CONTEXTE

Le rétablissement des continuités écologiques est un enjeu important, sinon primordial, dans la gestion et la préservation des cours d'eaux. Le code de l'environnement et plus particulièrement l'article L 214-17 ont précisé les parties de cours d'eau et/ou cours d'eau concernés en instaurant les listes 1 et liste 2.

M. Marcel est propriétaire d'une prise d'eau à usage hydro-électrique sur la Galange qui a été classée en liste 2 depuis le pont de la RN 202 (ou pont Saint-Joseph) jusqu'à la confluence avec la Vaire, le 19 juillet 2013 en application de l'article L. 214-17 alinéa 2 du code de l'environnement.

L'arrêté du préfet coordonnateur de bassin Rhône-Méditerranée, entré en vigueur le 11 septembre 2013, prévoit que tous les ouvrages présents sur ce cours d'eau soient, à l'issue d'un délai de 5 ans, gérés, entretenus et/ou équipés pour assurer un transport suffisant des sédiments et la circulation des poissons migrateurs.

Cette obligation s'applique, sur la base de prescriptions à établir par l'autorité administrative en charge de la police de l'eau, en concertation avec le propriétaire ou l'exploitant. Le Préfet des Alpes de Haute Provence a précisé, par arrêté préfectoral le délai de soumission du projet de travaux qui a été fixé au 30 juin 2018. M Marcel ayant été notifié seulement à l'automne 2017 et au vu des forts débits printaniers interdisant toute campagne de pêche, il a été acté lors du comité de pilotage du 16 mai 2018 de rendre l'avant-projet de travaux avant le diagnostic finalisé.

La présente étude concerne le diagnostic de la situation actuelle de la prise vis-à-vis de la continuité écologique et sédimentaire. Elle est le fruit d'une collaboration entre :

- **HYDRETUDES**, mandataire du projet et en charge des éléments hydrauliques et sédimentaires ;
- **GAY ENVIRONNEMENT**, en charge du diagnostic biologique de la Galange.

PARTIE 1 : PRÉSENTATION GÉNÉRALE DU SITE

1. LOCALISATION

1.1. ZONE D'ÉTUDE

L'ouvrage concerné par le présent diagnostic, est situé sur la Galange, dans le département des Alpes de Haute-Provence, sur la commune d'Annot au niveau du hameau des Scaffarels.



Figure 1 : Localisation de la prise d'eau (Source : géoportail)

1.2. LOCALISATION

La prise d'eau est située sur la Galange en contrebas du village d'Annot et à l'amont immédiat de la confluence avec la Vaire. Le bassin versant capté par la prise d'eau de M. Marcel représente 64 km² et est situé sur les communes suivantes : Annot, Ubraye, Saint-Benoît, Entrevaux et Vergons. La centrale elle-même est située sur la commune d'Annot.

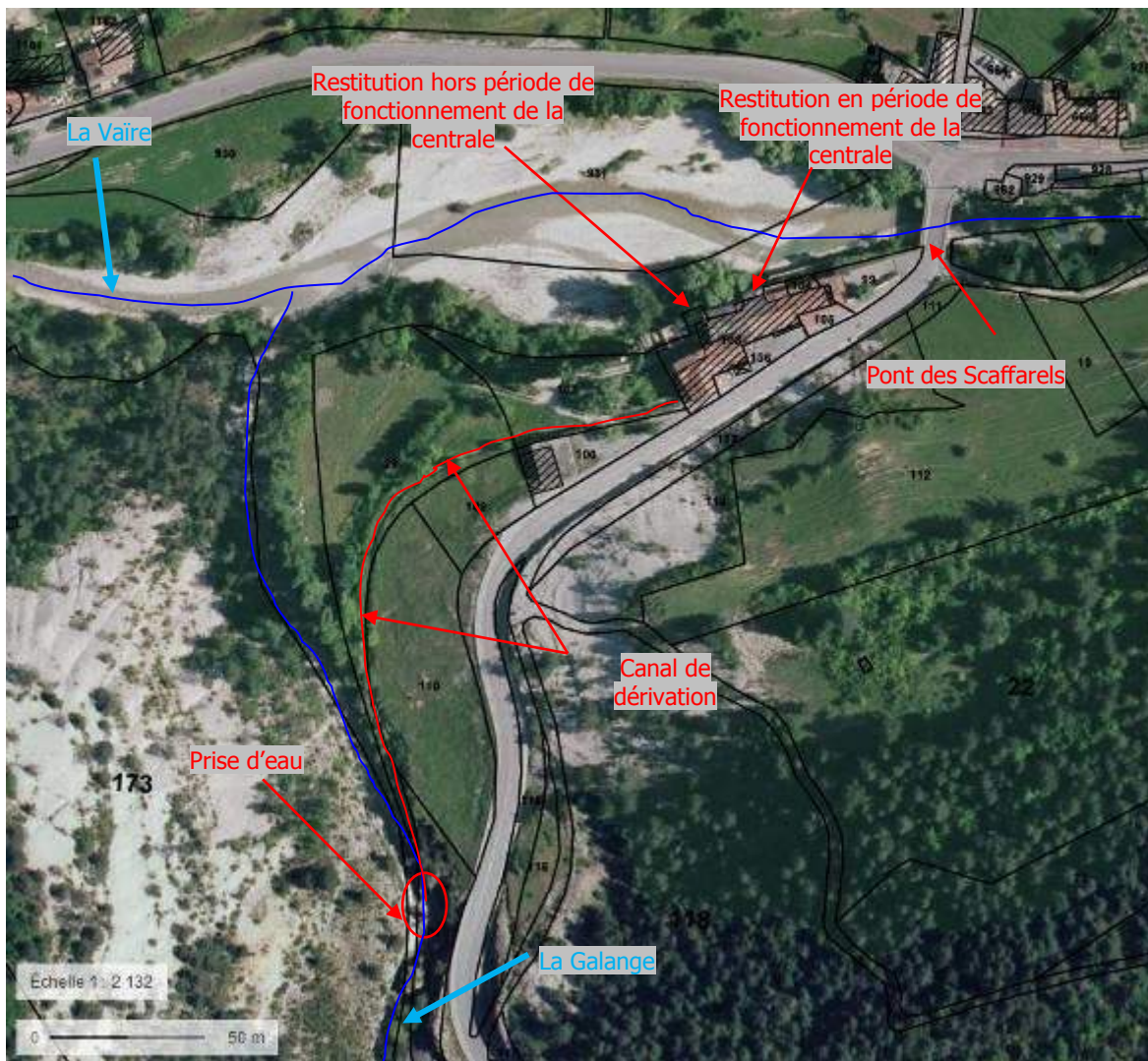


Figure 2 : Photographie aérienne de la prise d'eau et cadastre (Source : Géoportail)

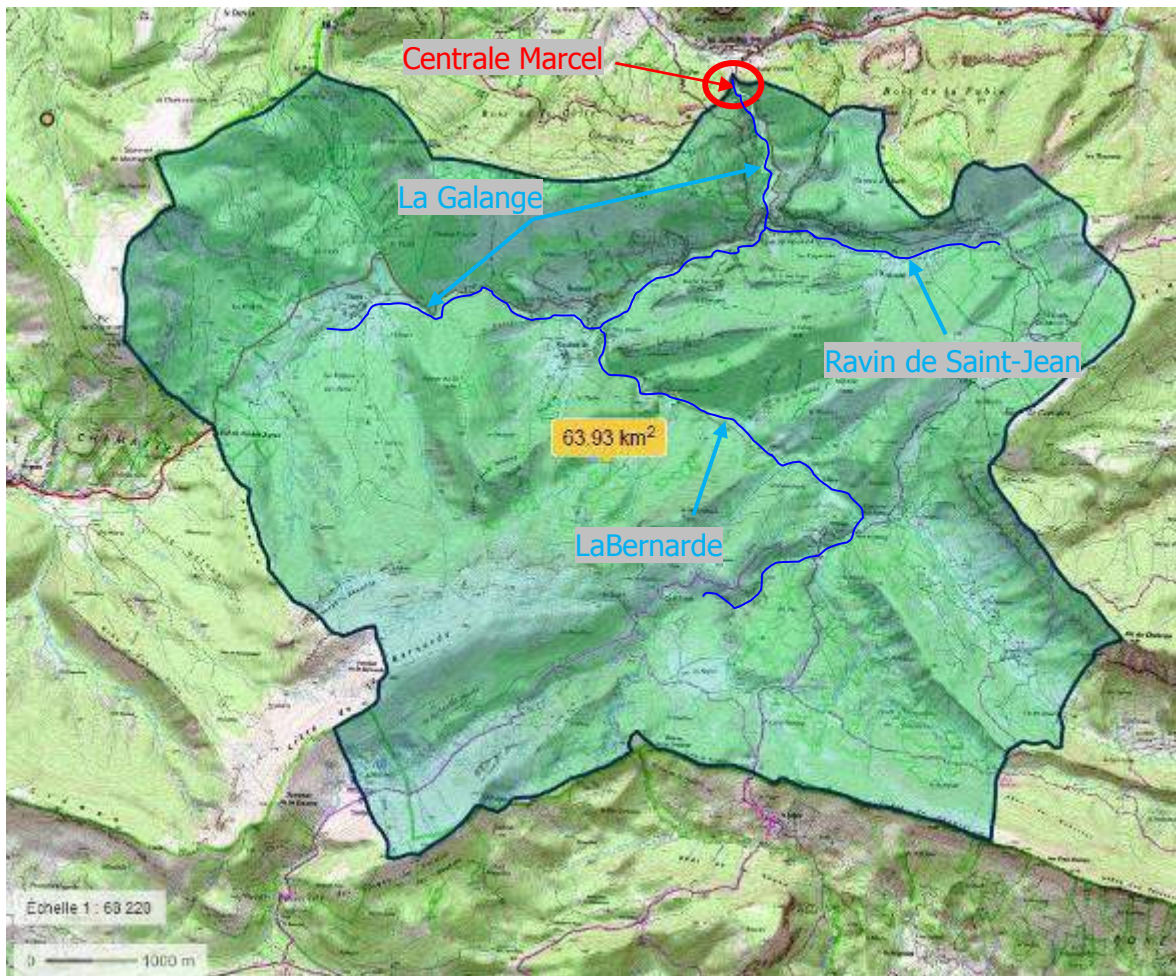


Figure 3 : Bassin versant capté par la prise d'eau Marcel – le bassin mesure environ 64 km² (Source : Géoportail)

2. DONNES EXISTANTES

2.1. ÉTUDES RÉALISÉES

Nous pouvons citer les études suivantes qui concernent la zone d'étude ou son voisinage :

- Diagnostic sur la continuité écologique et sédimentaire au droit de la prise d'eau des Scaffarels, 2017, bureau d'étude HYDRETTUES ALPES DU SUD.
- Étude hydraulique de la Vaire dans la traversée d'Annot, Commune d'Annot, Mars 2006, RTM.
- Étude hydraulique et morphologique de la Vaire au pont des Scaffarels, Note technique, Commune d'Annot, Mars 2001, P. Lefort.
- Expertise hydraulique de la crue de novembre 1994 sur la Vaire, Conseil général des Alpes de Haute Provence, Commune d'Annot, Février 1995, P. Lefort et ETRM.
- Analyse de l'évènement hydrologique du 5 novembre 1994, commune d'Annot, 1995, CEMAGREF.

On notera qu'aucune étude spécifique à la Galange n'a été retrouvée.

2.2. DONNES TOPOGRAPHIQUES

L'étude est réalisée à l'aide des données topographiques suivantes :

- Relevé de la prise d'eau de Moulin Marcel, Gilbert Boyer, 2018.

3. PRÉSENTATION GÉNÉRALE DE LA PRISE DE M. MARCEL

La prise alimente la centrale de M. Marcel, construite vers 1871, et autorisée par l'arrêté préfectoral en date du 9 août 1871. Elle comprenait initialement 2 ouvrages :

- un ouvrage de prise d'eau,
- un moulin à farine.

Cette prise d'eau située à la cote 657.54 m NGF alimente la centrale hydro-électrique de M. Marcel d'une puissance maximale brute de 12 KW. Cette centrale est actuellement en fonctionnement sur la période allant de Novembre à Avril et sert uniquement à satisfaire la consommation électrique (chauffage) de M. Marcel.

Le débit est ensuite restitué en rive droite de la Vaire à l'aval de la centrale, la hauteur de chute étant alors d'environ 7 mètres. Le tronçon court-circuité (TCC) présente une longueur de 340 m environ (200 m pour la Galange et 140 m pour la Vaire).

L'ouvrage de prise d'eau se présente comme un seuil constitué de blocs naturels, de maçonnerie et de planches en bois et est situé transversalement à l'écoulement de la Galange, à l'amont d'un saut naturel du cours d'eau. La crête du seuil est, en moyenne, à la cote 658.3 m, tandis que la vasque aval se situe aux environs de la cote 653.3 m.

Ce seuil comporte un canal de prise en rive droite, creusé dans la falaise. Le seuil de prise est en mauvais état, ainsi que le bord du canal de fuite : la maçonnerie a été emportée à plusieurs endroits et remplacée par des planches en bois. Le seuil n'est donc pas étanche et de nombreuses fuites sont observées.

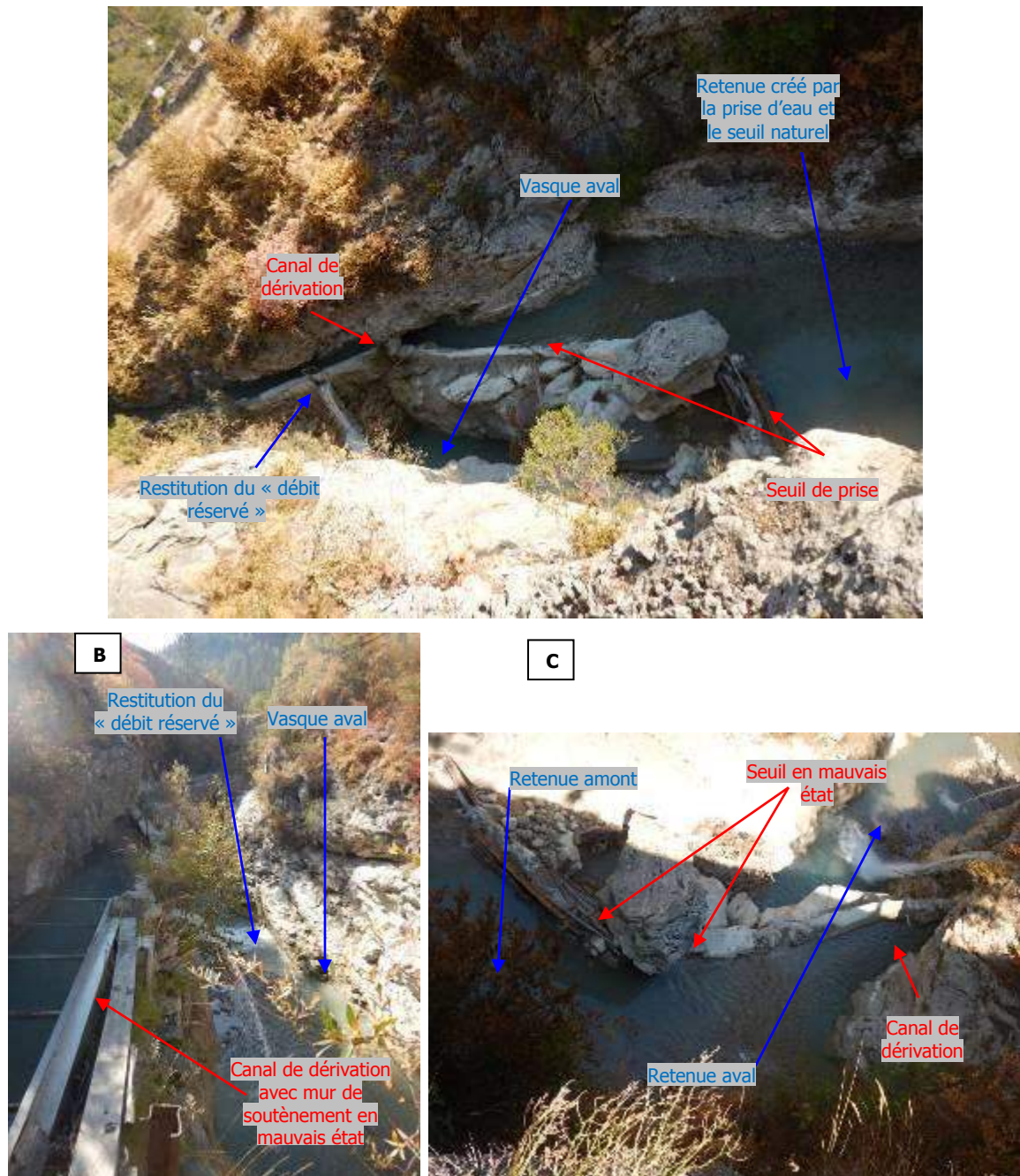


Figure 4 : Prise d'eau des Scaffarels (a) vue du dessus depuis de la rive gauche ; (b) vue depuis l'aval du canal de dérivation ; (c) vue du dessus depuis la rive droite.

Aucun débit réservé n'est actuellement défini pour cet ouvrage. En revanche, l'arrêté préfectoral de 1871 mentionne l'existence d'une vanne à l'entrée du canal de dérivation pour intercepter totalement le débit en hautes-eaux. Cette vanne n'existe plus. Il est également fait état d'une côte à ne pas dépasser dans la retenue à l'amont de la prise.

On notera que la gestion du débit de prise du canal s'effectue actuellement grâce à 3 vannes de décharges présentes en tête du canal de dérivation. En période de très hautes-eaux, ou lorsque la centrale ne turbine plus (soit généralement entre Mai et Octobre), les 2 vannes de décharges amont sont complètement ouvertes. Toutefois, malgré l'ouverture des vannes, un débit résiduel passe dans le canal de dérivation. La restitution dans la Vaïre hors période de fonctionnement de la centrale s'effectue environ 15 m à l'amont de la restitution en période de fonctionnement de la centrale.

4. MORPHOLOGIE AU NIVEAU DE L'OUVRAGE

Ce paragraphe décrit la morphologie de la Galange à proximité de la prise d'eau Marcel.

La Galange est un affluent de la Vaire située dans le bassin versant du Var. Elle draine un bassin versant de 64 km² qui culmine à la Bernarde à 1941 m.

L'ouvrage de prise d'eau Marcel est situé à l'amont immédiat de la confluence avec la Vaire, dans un secteur de resserrement des berges. La prise d'eau se situe juste au-dessus d'un verrou rocheux naturel.

À l'aval de la prise d'eau, l'espace de mobilité de la Galange augmente progressivement jusqu'à la confluence avec la Vaire. On notera toutefois que le lit demeure relativement encaissé, avec des versants peu érodables : bancs calcaires en rive gauche et végétation en rive droite.

À l'amont immédiat de la prise d'eau, le lit de la Galange s'écoule dans des gorges d'une longueur de l'ordre de 50 m. Un gros bloc est coincé à l'amont de ces gorges. L'espace de mobilité du cours d'eau dans ce secteur est donc très réduit. Les berges, sous la forme de falaises calcaires sont également peu érodables sur ce secteur.



Figure 5 : Morphologie à l'amont immédiat (a) et dans le TCC à l'aval (b) de la prise d'eau Marcel.

Au niveau de la restitution dans la Vaire, l'espace de mobilité de celle-ci est significativement plus important, avec une largeur de la bande active pouvant atteindre 60 à 70 m (voir figure ci-dessous).



Figure 6 : Rejet de la microcentrale Marcel dans la Vaire, vue depuis le pont de la RN 202 vers l'amont (Photo du 29/06/2017)

5. ETAT DES MILIEUX TERRESTRES ET HUMAIN

5.1. LES PORTES À CONNAISSANCES ET ZONAGES NON RÉGLEMENTAIRES

Les ZNIEFF (Zone Naturelle d'Intérêt Ecologique, Floristique et Faunistique)

L'inventaire des ZNIEFF a pour objectif d'identifier et de déterminer des espaces naturels présentant de fortes capacités biologiques et un bon état de conservation. On distingue les ZNIEFF de type I qui recensent les secteurs de grand intérêt biologique ou écologique et les ZNIEFF de type II qui recensent les grands ensembles naturels riches et peu modifiés, offrant des potentialités biologiques importantes.

La prise d'eau est incluse dans la ZNIEFF de type II intitulée « LE HAUT VAR ENTRE DALUIS ET PUGET-THÉNIERS ET SES PRINCIPAUX AFFLUENTS (code zonage : 930020495) ».

Elle se situe également à la limite de la ZNIEFF de type I intitulée « Clue de Rouaine – La Lare – roche Rousse – gorges de la Galange – ravin de Saint-Jean ».

5.2. LES PLANS DE PRÉVENTION DES RISQUES (PPR)

Au droit du seuil de la prise d'eau et du canal de dérivation, le PPR identifie l'aléa inondation le long de la Galange.

5.3. OCCUPATION DES SOLS

A proximité de la prise d'eau, le couvert forestier est relativement peu dense, en raison de la présence d'éboulis et de bancs marno-calcaires. La principale infrastructure en rive droite est la RN 202. Deux habitations sont présentes à proximité de la partie aval du canal de fuite.

Un PLU est en cours de mise en œuvre, sur la commune d'Annot.

5.4. LES USAGES DE L'EAU

5.4.1.1. Alimentation en eau potable

Les communes voisines de la prise d'eau Marcel utilisent principalement les ressources suivantes :

- Ubraye : sources Fontenasse, Jaussiers, Vallon du pas, Juliennette et Font de Pandoue,
- Annot : sources de Roncharel, captage des Vernets.

La Galange n'est donc pas utilisée directement à proximité de la prise d'eau.

5.4.1.2. Agriculture

Les terrains agricoles à proximité de la prise d'eau Marcel sont peu nombreux, en raison de la présence de gorges en amont de la prise. À l'aval de la prise d'eau et au voisinage du canal de prise, on trouve un champ qui sert de pâturage.

5.4.1.3. Loisirs

La **pêche** est pratiquée sur l'ensemble du réseau hydrographique, hors réserve de pêche.

L'association agréée pour la pêche et la protection des milieux aquatiques intervenant sur la zone d'étude est l'AAPPMA d'Entrevaux.

La Galange au droit de la prise d'eau n'est pas concernée par les **activités d'eaux vives**. On notera toutefois qu'il existe un parcours de descente de canyon le long du ravin de Saint-Jean et jusqu'à l'aval du pont Saint-Joseph. Un site d'escalade se situe également en rive gauche, à l'amont immédiat de la prise d'eau.

5.4.1.4. Hydro-électricité

Aucune autre centrale hydro-électrique n'est présente dans le cours de la Galange ou dans l'un de ses affluents. En revanche, la prise d'eau de la centrale des Scaffarels sur la Vaïre se situe au voisinage de la restitution de la centrale Marcel, à l'aval du pont de la RN 202. M Marcel a indiqué que la sortie de sa prise d'eau pouvait être engravée en cas de non abaissement de la vanne clapet du seuil de prise des Scaffarels en crue. Il souligne qu'il s'agit toutefois d'une situation rare depuis la construction de cette vanne clapet.

5.4.1.5. Obstacles aux écoulements

Sur le bassin versant de la Galange, seuls 3 obstacles à l'écoulement sont identifiés :

- Buse sous le pont de Loule sur la Bernarde (code ROE : 49576);
- Radiers de chemin sur le ravin de Saint-Jean (codes ROE : 49579 et 49580).

On notera que la prise d'eau Marcel vient également d'être identifiée dans la base ROE, sous le numéro 112238.

5.4.1.6. Rejets

Aucune station d'épuration n'est identifiée à l'amont de la prise d'eau. Environ 1 km à l'aval de la confluence avec la Vaïre, se trouve la station d'épuration d'Annot.

6. CADRE RÉGLEMENTAIRE

6.1. CLASSEMENT AU TITRE DE L'ARTICLE L217-17 DU CODE DE L'ENVIRONNEMENT

La loi sur l'eau et les milieux aquatiques (LEMA) du 30 décembre 2006 réforme les classements antérieurs des cours d'eau en les adaptant aux exigences de la Directive Cadre européenne sur l'Eau (DCE). Ce nouveau classement se présente sous la forme de deux listes et relève de l'article L.214-17 du Code de l'environnement :

- L.214-17-I 1° (liste 1) : une liste de cours d'eau, parties de cours d'eau ou canaux parmi ceux qui sont en très bon état écologique ou identifiés par les SDAGE comme jouant le rôle de réservoir biologique nécessaire au maintien ou à l'atteinte du bon état écologique des cours d'eau d'un bassin versant ou dans lesquels une protection complète des poissons migrateurs vivant alternativement en eau douce et en eau salée est nécessaire, sur lesquels **aucune autorisation ou concession ne peut être accordée pour la construction de nouveaux ouvrages s'ils constituent un obstacle à la continuité écologique**. Le renouvellement de la concession ou de l'autorisation des ouvrages existants, régulièrement installés sur ces cours d'eau, parties de cours d'eau ou canaux, est subordonné à des prescriptions permettant de préserver le très bon état écologique des eaux, de maintenir ou d'atteindre le bon état écologique des cours d'eau d'un bassin versant ou d'assurer la protection des poissons migrateurs vivant

alternativement en eau douce et en eau salée.

- L.214-17-I 2° (liste 2) : une liste de cours d'eau, parties de cours d'eau ou canaux dans lesquels **il est nécessaire d'assurer le transport suffisant des sédiments et la circulation des poissons migrateurs**. Tout ouvrage doit y être géré, entretenu et équipé selon des règles définies par l'autorité administrative, en concertation avec le propriétaire ou, à défaut, l'exploitant. Chaque ouvrage devra être mis en conformité au plus tard **dans un délai de 5 ans après la publication de l'arrêté de classement**¹.

Les listes de cours d'eau classés ont été arrêtées par le préfet coordonnateur de bassin le 3 juillet 2013 et publiées au journal officiel de la République française le 11 septembre 2013.

Tronçon de cours d'eau	Proposition classement L. 214-17
Bassin versant de la Vaire	Liste 1
La Vaire de la confluence avec le Coulomb jusqu'à la prise d'eau de Vélara	Liste 2
La Galange de la confluence avec la Vaire jusqu'au pont de la RN 202	Liste 2

La Galange et la Vaire sur le TCC de la centrale Marcel sont donc classées en listes 1 et 2.

6.2. OUVRAGES CIBLES DU GRENELLE DE L'ENVIRONNEMENT

Le Grenelle de l'Environnement définit un plan d'actions pour respecter les engagements européens. Une circulaire du 25 janvier 2010 présente 5 principes complémentaires :

- La connaissance : établissement du référentiel national des obstacles à l'écoulement (ROE) et évaluation de l'impact de chaque ouvrage sur la continuité écologique (protocole ICE).
- Définition des priorités d'intervention par bassin : établissement d'une liste d'ouvrages prioritaires Grenelle.
- Intervention financière des Agences de l'eau.
- Mise en œuvre de la Police de l'Eau : programme pluriannuel de mise aux normes des ouvrages les plus perturbants (L.432-6 puis L.214-17-2°) en association autant que possible avec une maîtrise d'ouvrage locale.
- Evaluation des bénéfices environnementaux : mise en œuvre de suivis, capitalisation des retours d'expérience.

Ainsi les ouvrages ROE ont été classés en trois lots :

- lot n°1 : les ouvrages pour lesquels des actions, au sens de travaux, sont à définir et à lancer avant la fin 2012, en donnant la priorité aux actions de restauration

¹ Soit au plus tard en septembre 2018

- déoulant soit directement de la mise en œuvre du programme de mesures, soit des objectifs relatifs aux grands migrateurs ;
- lot n°2 : les ouvrages pour lesquels des actions, au sens de travaux, sont à définir et à lancer avant la fin 2015, en donnant la priorité aux actions de restauration déoulant soit directement de la mise en œuvre du programme de mesures, soit des objectifs relatifs aux grands migrateurs ;
 - lot n°3 : Les autres ouvrages sans enjeu stratégique prioritaire identifié au regard des objectifs généraux liés au chantier continuité.

Remarque :

Le classement en liste 1 et 2 étant intervenu entre temps, la liste des ouvrages présents sur les cours d'eau ou tronçons de cours d'eau classés est venue se substituer à la liste des ouvrages « Grenelle » en termes de priorité d'action.

Tous les ouvrages « Grenelle » ne sont pas situés sur des cours d'eau ou tronçons de cours d'eau classés. Dans ce cas, il n'y a pas d'obligation (sauf arrêté ou prescription individuelle contraire) de rétablissement de la continuité écologique pour ces ouvrages.

6.3. CADRE RÉGLEMENTAIRE EN LIEN AVEC L'OUVRAGE ET LA PRATIQUE DES ACTIVITÉS D'EAU VIVE

6.3.1.1. Article L211-1 du Code de l'Environnement

La loi sur l'eau impose la conciliation des aménagements ayant une incidence sur la continuité des parcours nautiques avec la libre circulation des engins nautiques non motorisés, et, de façon plus générale, avec le tourisme, les loisirs et les sports nautiques.

6.3.1.2. Ouvrages nécessitant un aménagement adapté à la circulation nautique

Le décret n°2008-699 du 15/07/2008 établit la liste des ouvrages nécessitant un aménagement adapté pour assurer la circulation sécurisée des engins nautiques non motorisés.

La Galange au droit du site n'est pas concernée par les activités d'eau vive.

6.4. CATÉGORIES PISCICOLES

Le classement en catégories piscicoles est un classement juridique et administratif départemental sur lequel s'appuie la réglementation halieutique.

Ce classement est basé sur les espèces dominantes ou méritant une protection. L'article L436-5 du Code de l'Environnement stipule que :

- la première catégorie comprend les cours d'eau, canaux et plans d'eau qui sont principalement peuplés de truites ainsi que ceux où il paraît désirable d'assurer une protection spéciale des poissons de cette espèce ;
- la seconde catégorie comprend tous les autres cours d'eau, canaux et plans d'eau soumis aux dispositions du présent titre.

En principe, un cours d'eau est classé en première catégorie lorsque le groupe dominant est constitué de salmonidés (rivières à truites) et en deuxième catégorie, lorsque le groupe dominant est constitué de cyprinidés (poissons blancs).

La Galange est classée en première catégorie.

6.5. CLASSEMENT ET OBJECTIFS DU SDAGE POUR LES COURS D'EAU CONSIDÉRÉS

En France métropolitaine, le schéma directeur d'aménagement et de gestion des eaux (SDAGE) a d'abord désigné (dans les années 90) le document de planification ayant pour objet de mettre en œuvre les grands principes de la loi sur l'eau du 3 janvier 1992.

Les SDAGE étaient élaborés (en France métropolitaine) par les comités de bassin, à l'échelle des grands bassins hydrographiques en associant des élus locaux, des représentants de l'État, des usagers (industriels et agriculteurs) et des associations.

Depuis le XXI^e siècle, le SDAGE est devenu en France un document de planification nommé « plan de gestion » par la directive cadre européenne sur l'eau (DCE) du 23 octobre 2000 (c'est en fait l'ancien SDAGE de 1996 qui est adapté et rendu conforme au *plan de gestion* imposé par la directive). Cette directive prévoit que chaque état-membre :

- prépare, pour chaque district hydrographique, un projet de plan de gestion (dit « SDAGE ») ;
- soumette ce projet (accompagné d'un « rapport environnemental ») à avis des autorités compétentes (du Préfet en France), et à la consultation (des citoyens puis des institutions), de même qu'un « programme de mesures » couvrant dans un premier temps la période 2010-2015. Ce programme de mesure doit énoncer la nature et l'ampleur des actions pertinentes et nécessaires à mettre en œuvre pour atteindre les objectifs fixés par la directive. Ces objectifs sont traduits dans le SDAGE aux échelles locales, pour atteindre le « bon état écologique » des masses d'eau en 2015 ;
- veille à ce que le processus d'élaboration des documents implique les citoyens et les « parties intéressées » (institutions et assemblées) ;
- fasse adopter ce schéma, avec un dispositif de suivi et d'évaluation (appelé Programme de surveillance par la directive) qui doit permettre de contrôler si les objectifs sont atteints.

Le SDAGE, une fois arrêté par le préfet de bassin, après avis du comité de bassin et consultation, devient le cadre légal et obligatoire de mise en cohérence des choix de tous les acteurs du bassin dont les activités ou les aménagements ont un impact sur la ressource en eau. Le SDAGE est renouvelé tous les 6 ans.

Le comité de bassin réuni le 20 novembre 2015 a adopté le SDAGE 2016-2021 et rendu un avis favorable sur le programme de mesures qui l'accompagne, il est depuis approuvé par arrêté en date du 3 décembre 2015.

Le SDAGE Rhône Méditerranée est opposable à l'Administration. Par Administration, il faut entendre l'Etat, les collectivités territoriales et leurs établissements publics. Sont concernées les décisions de type "réglementaire" (ex : décision liée à la police des eaux) mais aussi potentiellement les décisions à caractère budgétaire ou financier (ex : programme d'aide financière).

La Vaïre et la Galange appartiennent à la masse d'eau FRDR2031 qui est classée dans le cadre du SDAGE en bon état écologique mais en mauvais état chimique.

6.6. PLAN ANGUIILLE

Le Conseil des ministres a voté le 18 septembre 2007 un règlement européen instituant des mesures de reconstitution de stock d'anguilles européennes. Ce règlement s'applique directement à l'État Français, sans transposition dans les textes nationaux.

Pour mettre en œuvre le règlement européen, les États membres doivent rédiger un plan de gestion composé d'un volet national et d'autant de volets locaux que de bassins hydrographiques. En France, la rédaction a été pilotée au niveau national par le Ministère de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Pêche (MAAP) et par le Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement Durable et de la Mer (MEEDDM) et relayée au niveau local par les Directions Régionales de l'Environnement (DIREN secrétaires de COGEPOMI) en collaboration avec les différents organismes compétents : Directions Régionales des Affaires Maritimes (DRAM), Délégations régionales et inter-régionales ONEMA, Agences de l'Eau, Associations Migrateurs, pêcheurs, organismes de recherche...

Concernant la problématique « ouvrage », une méthodologie nationale a été adoptée. Elle consiste à expertiser la franchissabilité pour l'Anguille à la montaison ainsi qu'à la dévalaison de tous les ouvrages transversaux à l'écoulement présents dans les Zones d'Actions Prioritaires qui ont été identifiées. Sur ces zones, des ouvrages prioritaires ont également été sélectionnés. Le diagnostic de l'ouvrage devra y être lancé dans la période du plan de gestion (6 ans) afin de rechercher les solutions technico-économiques permettant le passage des anguilles tant à la montaison qu'à la dévalaison. À l'issue du diagnostic, si des solutions technico-économiques existent, la recherche de financement devra être lancée et les solutions mises en œuvre aussi vite que possible. Des zones d'actions à long terme ont également été définies. Elles doivent permettre aux gestionnaires d'améliorer la connaissance sur ces secteurs durant le premier plan de gestion afin de confirmer (ou pas) ces territoires en zones d'actions prioritaires dans le second plan de gestion.

Le plan de gestion de l'Anguille en France a ainsi été approuvé par la Commission européenne par une décision du 15 février 2010.

Ce diagnostic de 2010 met en avant l'importance de l'amélioration de la dévalaison et de la montaison au niveau du seuil des Scaffarels, à proximité de la confluence entre la Vaire, le Coulomb et la Galange, en raison de la forte densité d'anguilles présentes à l'aval. On notera toutefois que la prise d'eau de M. Marcel n'a pas été étudiée dans le cadre du diagnostic de 2010. D'autre part, le diagnostic de la franchissabilité écologique du seuil des Scaffarels réalisé en 2017 a établi que le claps rocheux naturel présent à l'aval de ce seuil était le principal facteur limitant la montaison des anguilles. Un projet de rampe à anguille est toutefois en cours de mise en œuvre au niveau du seuil des Scaffarels.

6.7. ZONAGE NATURA 2000

Aucun site Natura 2000 n'est situé à proximité immédiate de la prise d'eau Marcel.

PARTIE 2 : ASPECTS HYDROLOGIQUES

1. CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES DU BASSIN VERSANT DE LA VAÏRE

La Vaïre et la Galange sont soumis à un régime hydrologique pluvio-nival méditerranéen, ce régime est caractérisé par deux périodes :

- un étiage principal en août dues à la rareté des précipitations et un étiage secondaire hivernal où les précipitations se stockent sous forme de neige ;
- une période de hautes eaux en avril correspondant à la fonte du manteau neigeux combiné aux pluies du printemps, et en automne avec les orages à caractère méditerranéen (cf. Partie 2 2.1.Historique des crues).

2. ÉVALUATION DES DÉBITS

Cette partie déterminera deux sortes de débits :

- les débits de pointe (Q100, Q10,...),
- les débits moyens (module, étiage,...).

Pour cela la surface du bassin versant à l'amont est une donnée caractéristique majeure, nous l'avons déterminée sur la base de la carte IGN au 1/25000.

La surface du bassin versant de la Galange est de 64 km² au droit de la prise d'eau, tandis que la surface du bassin versant de la Vaïre est de 155 km² au droit de la restitution.

Une station hydrométrique sur la Vaïre existe au pont des Scaffarels ($S_{BV} = 155 \text{ km}^2$), 80 m en aval de la restitution et les débits mesurés s'étalent sur une période de 108 ans (1908-2017). Toutefois, pour cette station, seules 56 années ont fait l'objet de mesures de débits et 47 années ont été mesurées complètement (pas de mois manquants). D'autre part, les débits mesurés sont tous validés douteux. La DREAL PACA, qui a été contactée, a confirmé le caractère douteux des données, surtout depuis la mise en fonctionnement de la prise d'eau en 1978. La station de la Vaïre à Annot est très difficile à exploiter, d'une part parce que le fond est mobile et modifie beaucoup l'écoulement à débit égal et d'autre part, à cause de l'influence actuelle de la prise des Scaffarels située immédiatement en aval (effet de retenue liée à la présence du clapet). Le fonctionnement de la vanne clapet, qui s'ouvre progressivement entre un débit du cours d'eau de 3 et de 20 m³/s, complexifie la lecture des courbes de tarage pour les hautes-eaux.

La DREAL nous indique que, suite à la construction de la prise d'eau, une lettre du Directeur Départemental de l'Agriculture des Alpes de Haute Provence mentionne que " le remous créé par le barrage perturbe le fonctionnement de la station de jaugeage sur la Vaïre, pont des Scaffarels" et que cette perturbation conduit à envisager le déplacement de la dite station aux frais du permissionnaire (M.COZZI à l'époque). Malgré cela, la station n'a vraisemblablement pas été déplacée pendant la période 1978-2006. Lorsque les données ont été de nouveau bancarisées à partir de 2006, il a été noté que le capteur de pression immergé et l'échelle étaient régulièrement engravés ou hors d'eau. La fiabilité de la donnée hauteur enregistrée est donc vraiment douteuse. Les données sont d'autant moins fiables, depuis la reprise des mesures en 2006, que la prise des Scaffarels empêche régulièrement de faire des mesures de débits. En effet, quand le clapet est fermé, un plan d'eau se forme au niveau de la station et la DREAL n'est pas en mesure de jauger le débit

naturel de la rivière.

Un radar a été installé par la DREAL sous le pont au printemps 2017, mais les données ne sont pas encore accessibles.

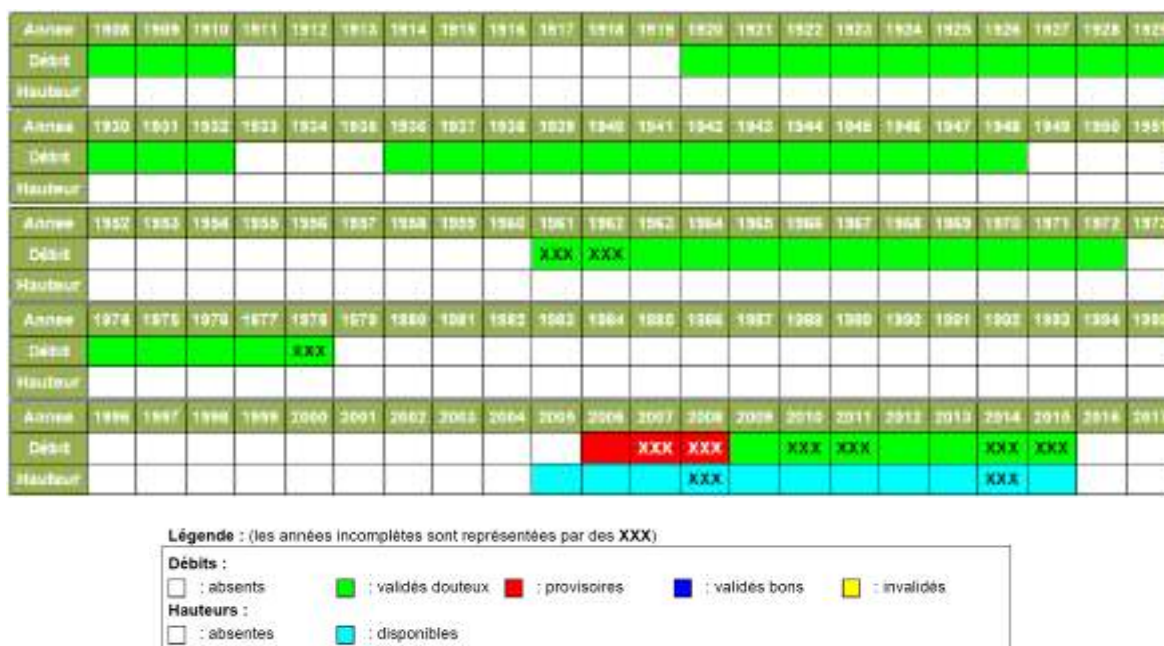


Figure 7 : Degré de validité de la station hydrométrique de la Vaire (source : hydro.eaufrance.fr)

La banque HYDRO dispose également d'une station hydrométrique sur le Var au pont d'Entrevaux (BV = 676 km²). Celle-ci est également gérée par la DREAL et le débit du Var y est souvent mesuré. Du fait de la mobilité des fonds du lit au gré des crues, la station du pont d'Entrevaux doit également être régulièrement jaugée. Les données présentées dans ce rapport sont issues des mesures en temps réel effectuées à cette station. On notera toutefois que, sur l'année 2018, les débits mesurés par la station n'ont pas encore été validés.

Trois séries de mesures de débit ont également pu être réalisées dans le cadre de cette étude, au printemps, le 19 mars et le 20 avril 2018 et en été, le 19 juillet 2018, pendant la campagne de pêche.

2.1. HISTORIQUE DES CRUES

La base de données événementielle du service RTM recense plusieurs évènements de crue de la Vaire entre le Fugeret et Annot. Les évènements en question sont détaillés dans les tableaux ci-après.

1527	Débordement, affouillement et engravement. Les dégâts reportés se situent sur la commune du Fugeret et ne sont pas quantifiés.
1529	La plaine d'Annot est touchée par des débordements, des affouillements et des engravements. L'activité agricole est perturbée par cette crue.
1676	La crue est consécutive à des pluies « diluviennes ». Le village d'Annot est touché. Le pont communal (en bois à l'époque) est emporté. Il sera remplacé par un pont en maçonnerie à 4 arches.
1698	Le territoire d'Annot (plaine agricole ?) est « ravagé » par la crue.
1773	Le village est atteint par cette crue. Les protections contre les inondations semblent touchées (« 7,5% des murs sont détruits »).
Sept. 1807	L'avenue d'Annot est détruite par l'inondation.
1881	Destruction d'une partie du chemin communal allant aux quartiers de Fey-Grillon, Serré Bas et Coste Mouline.
12-28 Oct 1882	Épisode pluvieux généralisé sur le département ayant a priori causé des dégâts à Annot.
2 Nov. 1968	Un gué provisoire à proximité du pont d'Annot est emporté.
8 Sept. 1994	La crue de la Vaïre et d'autres torrents provoque de nombreux dégâts sur Annot. Déclaration de l'état de catastrophe naturelle.
23 Sept. 1994	Une crue de la Vaïre provoque des affouillements sur le terrain de camping de la Ribière, des caravanes sont emportées. Déclaration de l'état de catastrophe naturelle.
5 Nov. 1994	Après de fortes pluies, la crue de la Vaïre entraîne de nombreux dégâts et notamment la destruction d'une habitation, d'une passerelle, d'une route, d'une partie du camping. Cette crue a fait l'objet d'une déclaration de l'état de catastrophe naturelle sur la commune. Sa durée de retour est estimée entre 10 et 15 ans par le CEMAGREF.
16-17 Aout 1997	Suite à des orages importants sur le haut bassin versant, la Vaïre entre en crue. Un embâcle résultant de l'important charriage menace le pont communal et nécessite l'intervention d'un tractopelle. Une passerelle est également emportée.
1 ^{er} Nov. 2012	Erosion de berge sous la RD en rive gauche (pas de localisation)
22 Nov. 2016	La vanne de la prise de Velara a été arrachée et la passe à poissons engravée. La goulotte du canal d'amenée de la prise des Scaffarels a été complètement engravée. Tous les bancs de sédiments ont été renouvelés.

Figure 8 : Historique des crues (source base de données RTM)

Cet historique conduit aux remarques suivantes :

- les crues automnales récentes semblent être les plus dévastatrices et les plus prédominantes ;
- on note l'absence de crue de 1882 à 1962 qui correspond vraisemblablement plus à une absence de données qu'à une accalmie des épisodes de pluie.

Sur la Galange, les crues recensées ayant causé des dégâts sont moins nombreuses, probablement en raison de la nature faiblement anthropisée du bassin versant. L'épisode d'octobre 1882 a causé des dégâts aussi bien sur le bassin de la Galange qu'à Annot le long de la Vaïre. Il n'existe toutefois pas suffisamment de données pour conclure sur la fréquence des concomitances des crues de la Vaïre et de la Galange.

<i>Octobre 1882</i>	Crue torrentielle sur la Bernarde
<i>Décembre 1888</i>	Crue torrentielle sur la Galange
<i>Janvier 1895</i>	Crue torrentielle sur la Bernarde
<i>Juillet 1959</i>	Crue torrentielle sur la Bernarde

2.2. DÉBITS DE POINTE

Les débits de pointe sur la Vaïre au droit de la restitution ont été estimés par comparaison avec le bassin du Verdon par Lefort (Lefort, 2001). En reprenant la même analogie, il est possible d'estimer le débit de point de la Galange au droit de la prise d'eau.

Les principaux débits sont présentés dans le tableau ci-dessous :

	La Vaïre au droit de la restitution	La Galange au droit de la prise d'eau
Superficie du BV (km²)	155	64
Q10 (m³/s)	98	87
Q100 (m³/s)	279	142

Les hydrogrammes des crues décennales et centennales sont établis à partir de la méthode SOCOSE et des valeurs instantanées caractéristiques détaillées ci-dessus.

Cette méthode permet d'évaluer la durée D, en heures, durant laquelle le débit demeure supérieur au débit de pointe sur 2.

La durée D s'obtient par son log népérien :

$$\ln(D) = -0.69 + 0.32\ln(S) + 2.2 \sqrt{\frac{P_a}{P10} \frac{1}{t_a}}$$

Les paramètres explicatifs sont :

- la surface S du bassin versant en km²
- la pluie journalière décennale P10 en mm/j
- la hauteur de pluie moyenne annuelle Pa en mm/an
- la température moyenne interannuelle ta en °C ramenée au niveau de la mer.

La formule donne une durée D = 4 à 5h pour la Vaïre et D = 3 à 4 h pour la Galange.

Une durée de 5 h est retenue pour la Vaïre, ce qui est conforme au temps retenu par l'étude RTM sur la Vaïre à Annot, et une durée de 4 h est prise en compte dans le cas de la Galange.

Les hydrogrammes établis pour la Q10 et la Q100 sont visibles ci-dessous.

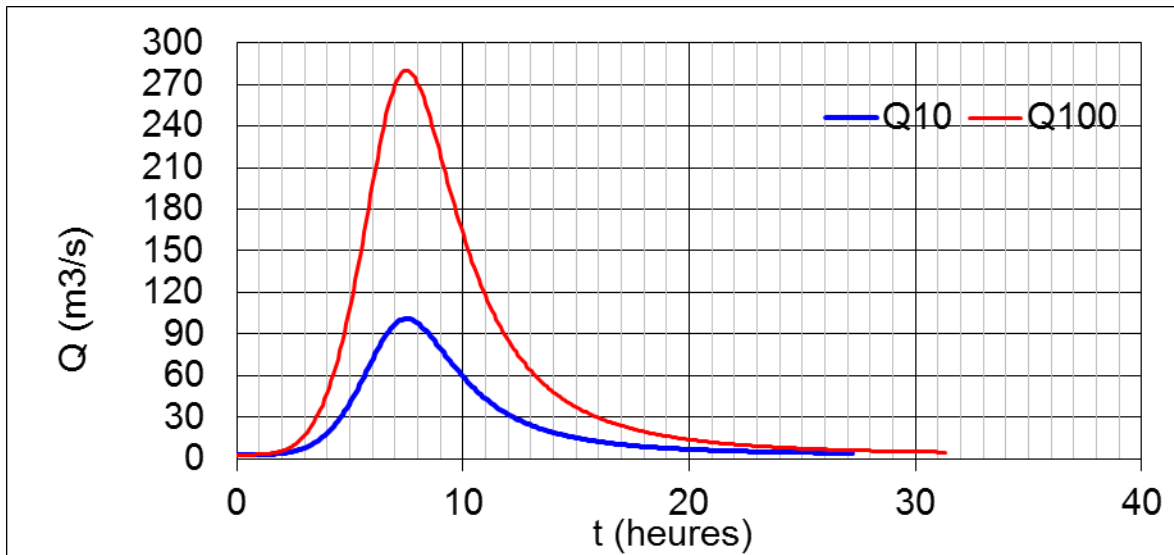


Figure 9 : Hydrogrammes de crues au droit de la prise d'eau des Scaffarels sur la Vaire.

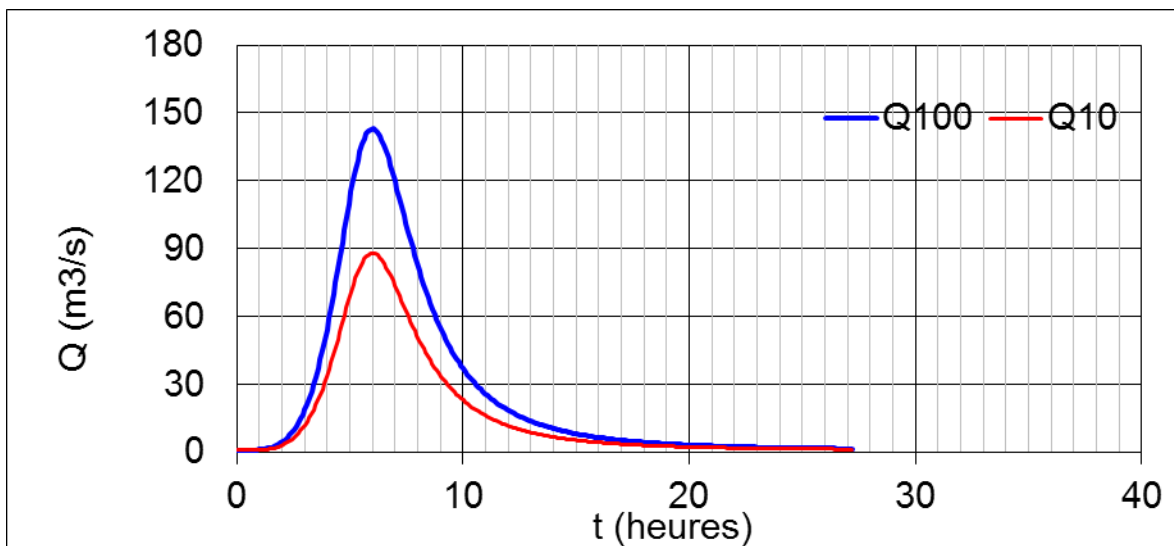


Figure 10 : Hydrogrammes de crues au droit de la prise d'eau de M Marcel sur la Galange.

2.3. ÉTIAGE, MODULE, DÉBITS MOYENS

2.3.1. Débit prélevé

Le débit est prélevé en rive droite de la Galange et restitué en rive droite de la Vaïre. La turbine ne fonctionne qu'en période hivernale, celle-ci servant à alimenter le système de chauffage de la maison de M. Marcel.

Le débit prélevé maximal n'est pas connu avec précision. Trois campagnes de mesures de débits ont toutefois pu être conduites, deux en période de hautes-eaux et une en période de basses-eaux.

En période de fonctionnement de la turbine, un débit de $0.285 \text{ m}^3/\text{s}$ a été mesuré dans le canal le 19/03/2018, avec la vanne de tête partiellement ouverte. Le débit maximal prélevé est donc potentiellement plus important. On notera toutefois qu'en situation de hautes-eaux dans la Galange, une ou deux vannes de tête sont systématiquement ouvertes pour éviter tout engravement du canal de dérivation.

Hors période de fonctionnement de la turbine, le canal est toujours en eau, notamment en période de hautes-eaux. Ainsi, le 20/04/2018, un débit de $0.065 \text{ m}^3/\text{s}$ a été mesuré dans le canal, bien que les deux vannes de décharge en tête aient été ouvertes. En période de basses eaux, avec les vannes de décharges ouvertes, le débit dans le canal est quasiment nul : $0.01 \text{ m}^3/\text{s}$ mesuré le 19/07/2018.

Bien que le débit maximal prélevé n'ait pu être quantifié précisément à l'aide de ces campagnes de mesure, il est toutefois possible d'estimer celui-ci à partir des caractéristiques de la prise d'eau et de la turbine.

❖ *Caractéristique de la turbine*

M. Marcel a précisé que la puissance maximale de la turbine lors du fonctionnement du moulin était de l'ordre de 200 Ch, ce qui est équivalent à 14,7 kW. A l'heure actuelle, un alternateur limite la production à 12 kW.

La turbine datant de 1940 est de type inconnue, mais probablement Banki ou Francis, le type Kaplan, plus adapté aux petites chutes, ne faisant son apparition en France qu'en 1960. Le rendement r est donc supposé très dépendant du débit, ce que confirme l'exploitant (voir figure ci-dessous).

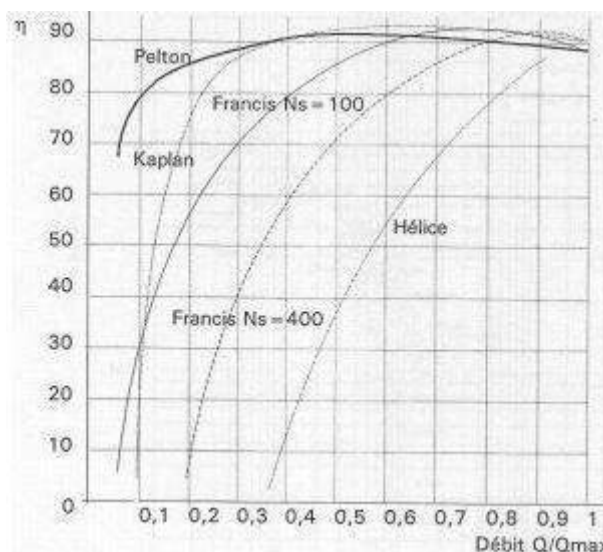


Figure 11 : Rendement de différents types de turbine en fonction du débit (Source :

www.turbinealternateur.fr)

En se basant sur un rendement maximum de 80 à 90 %, et au vu de la puissance maximale produite, le débit maximal de dimensionnement est probablement compris entre 280 à 310 l/s, soit légèrement supérieur au débit mesuré le 19 mars, ce que confirme M Marcel. L'excédent de débit n'a pas d'utilité directe pour l'exploitant.

Le débit d'armement de la centrale, de l'ordre de 40% de Qmax sous l'hypothèse d'une turbine Francis, serait de 130 à 150 l/s. C'est-à-dire que l'exploitant doit mettre la centrale hors fonctionnement si le débit dans le canal de dérivation n'atteint pas cette valeur.

❖ *Caractéristique de la prise d'eau*

Le canal mesure environ 1.8 m de largeur, pour une pente moyenne de l'ordre de 1/1000. La pente du fond ne s'accroît qu'à l'amont, à cause de l'engravement, et à l'aval, sous la maison de M. Marcel, au droit de la retenue.

Le dénivelé dans le canal étant très faible (de l'ordre de 30 cm), l'impact théorique du fonctionnement de la turbine sur la ligne d'eau dans le canal est important. Toutefois, M. Marcel précise que la turbine ne peut plus être réglée.

En se basant sur la relation Manning-Strickler (pour un Strickler de 40), il est possible d'estimer le débit maximal du canal à la limite de débordement par-dessus le muret, à l'aval immédiat des vannes de décharge. Celui-ci serait voisin de 0.7 m³/s.

On notera, qu'à l'amont des vannes de décharge, le lit du canal est très irrégulier (creusé dans le rocher) et que le fond peut évoluer en raison de l'engravement. Il est donc difficile d'estimer le débit maximal capable du canal sur cette section. On peut toutefois considérer qu'il ne doit pas dépasser 1 m³/s.

Sous cette hypothèse et dans le cas où les deux vannes amont sont totalement ouvertes, les débits se répartissent à peu près de la manière suivante (débits sortant des vannes estimés à l'aide d'une loi de vanne) :

	Débit (m³/s)
Canal amont	1,0
Vanne amont (0.7 m de large)	0,55
Vanne aval (0.5 m de large)	0,20
Canal aval	0,25

On notera qu'en situation de très hautes-eaux, M. Marcel ouvre une troisième vanne, plus à l'aval, ce qui limite encore plus le débit du canal. Un débit résiduel s'écoule toutefois toujours dans le canal, même en situation de vannes ouvertes (65 l/s mesuré le 20 avril en situation de vannes ouvertes et 10 l/s mesuré le 19 juillet).

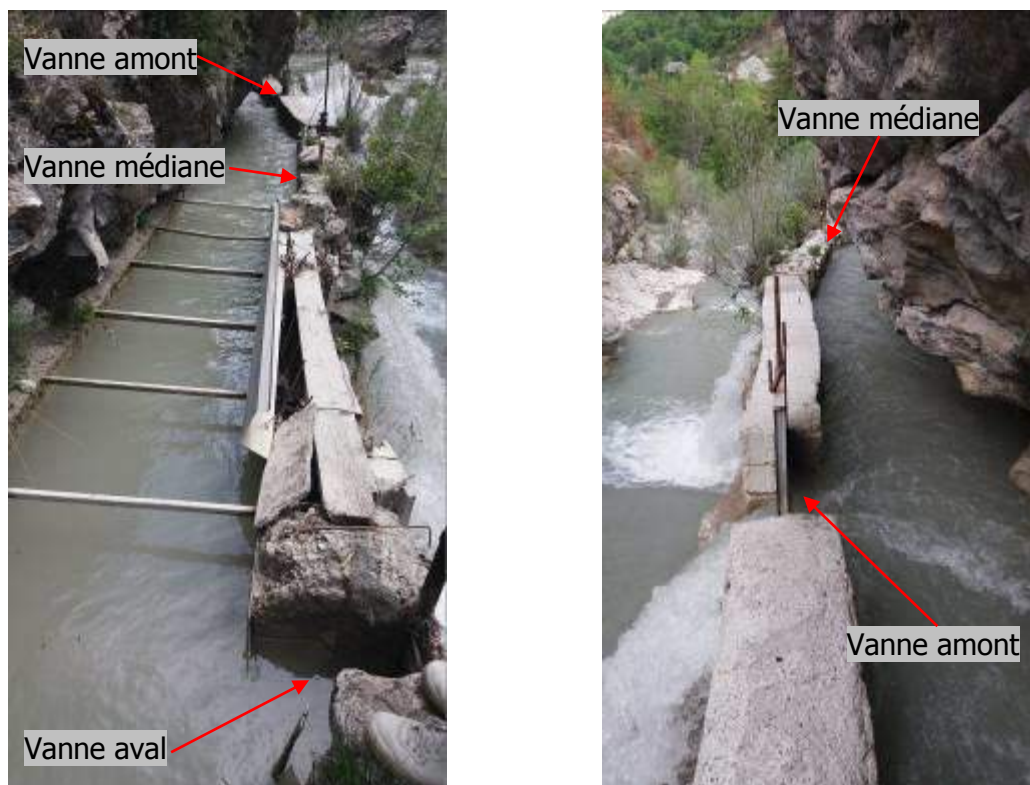


Figure 12 : Vue du canal depuis l'aval des vannes de décharge (gauche) et depuis l'amont (droite).

Lors de la campagne de mesure du 19 juillet 2018, les deux vannes de décharges amont étant ouvertes, les débits suivants ont été mesurés :

	Débit (m ³ /s)
Galange	0.592
Canal à l'amont de la vanne de décharge amont	0,468
Canal à l'amont de la vanne de décharge aval	0,251
Canal aval	0,01

Ainsi, en situation de basses-eaux, le canal capte l'essentiel des écoulements de la Galange, mais la quasi-intégralité de ceux-ci se déversent à l'aval du seuil de prise par le biais des 2 vannes de décharge amont.

❖ Bilan

On pourra retenir que le débit prélevé par l'exploitant s'élève actuellement probablement entre 150 et 350 l/s en situation de fonctionnement de la centrale. Hors fonctionnement de la centrale, l'exploitant ouvre les vannes de décharge en tête de canal et le débit du canal descend en dessous de 100 l/s et est quasiment nul en basses eaux.

2.3.2. Module

Afin de déterminer les débits moyens, nous disposons des données suivantes (voir précédemment) :

- données disponibles sur la banque HYDRO à la station du pont des Scaffarels sur

la Vaire (en conservant uniquement les données antérieures à la mise en place de la prise d'eau en 1978) ;

- données disponibles sur la banque HYDRO au droit de la station d'Entrevaux sur le Var ;
- trois campagnes de jaugeages ont également été réalisées en mars, avril et juillet 2018.

- **Mesures réalisées par HYDRÉTUDES :**

4 sections ont été mesurées afin d'étudier l'hydrologie de la Vaire, de la Galange et le débit de prise du canal de dérivation :

- ✓ A l'amont de la prise d'eau sur la Galange,
- ✓ A l'aval de la prise d'eau, sur la Galange, dans le tronçon court-circuité (TCC),
- ✓ A l'amont de la confluence avec la Galange, sur la Vaire,
- ✓ Sur le canal de dérivation.

2 mesures de débit ont été réalisées au printemps 2018, en période de hautes-eaux et une mesure a été réalisée en juillet en période de moyennes-eaux. Ces mesures ont été effectuées à l'aide d'un courantomètre HYDREKA BFM 801 d'une précision de 5 mm/s. L'opérateur tient une perche sur laquelle est fixé un capteur immergé qui crée un champ magnétique entre deux électrodes fixes. Le déplacement de l'eau, conductrice, dans ce champ magnétique, produit une tension induite proportionnelle à sa vitesse.

Le principe de l'utilisation du courantomètre est de déterminer le champ de vitesses dans une section transversale du cours d'eau. Pour cela, nous prenons au moins 3 valeurs de vitesse par verticale, au fond, en surface et au milieu. En partant du fond, l'espacement vertical entre les mesures est doublé à chaque nouvelle mesure. L'espacement latéral entre les mesures est déterminé en fonction de la variation des profils de vitesse et est d'autant plus réduit que la variabilité des vitesses est importante. Un espacement latéral compris entre 0.2 m et 1 m a été considéré. À ces fins, un décamètre a été placé en travers du cours d'eau.

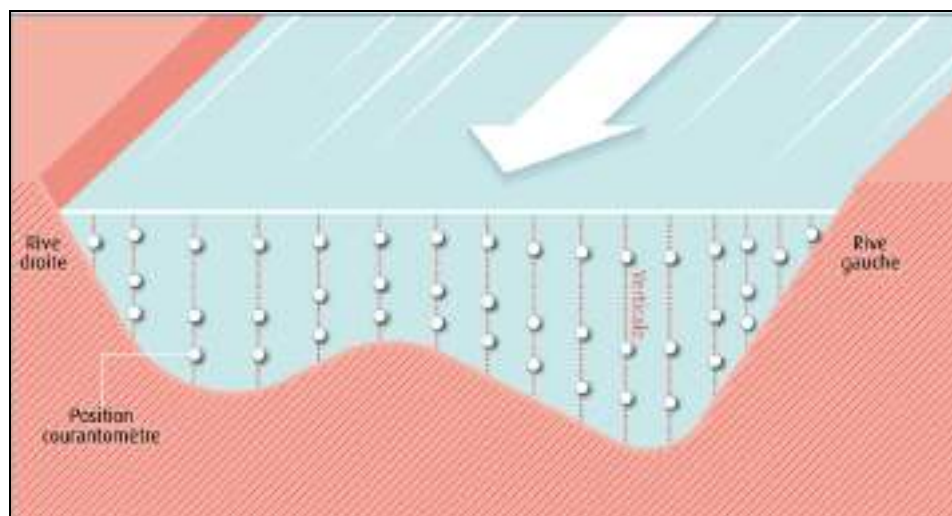




Figure 21 : Mesures de débit sur la Vaire (gauche) et à l'aval de la Galange (droite) le 19-03-2018

Les débits ainsi obtenus sont présentés dans le tableau ci-dessous :

	Débits de la Vaire, de la Galange et du canal			
Dates	Galange à l'amont de la prise (m ³ /s)	Galange à l'aval prise (TCC) (m ³ /s)	Vaire à l'amont de la confluence (restitution) (m ³ /s)	Canal d'alimentation de la centrale (m ³ /s)
19 Mars 2018	3,762	3,496	1,729	0,285
20 Avril 2018		6,005	6,939	0,065
19 juillet 2018		0.582	0.808	0.01

Lors des différentes campagnes de mesures, le débit dérivé est très faible au regard du débit du cours d'eau, ce qui s'explique par :

- Le débit très élevé de la Galange ;
- L'ouverture partielle de la vanne en tête du canal le 19/03/2018 et l'ouverture totale des 2 vannes le 20/04/2018 et le 19/07/2018.

Hors période de fonctionnement de la turbine, le débit de 0,065 l/s peut être considéré comme une valeur quasiment maximale du débit résiduel dans le canal. En revanche, le débit maximal dérivé en période de fonctionnement de la centrale n'est pas connu avec autant de précision (voir partie précédente).

La bonne corrélation entre le débit mesuré à l'amont de la prise d'eau et le débit mesuré à l'aval le 19 mars montre qu'aucun apport (ou perte) significatif n'a lieu sur le secteur.

Enfin, les mesures montrent que les comportements hydrologiques de la Vaire et de la Galange peuvent être sensiblement différents. Lors des deux campagnes printanières, le débit spécifique de la Galange est plus élevé que celui de la Vaire, tandis que l'inverse est observé en été.

Les débits de la Galange mesurés en amont de la prise d'eau peuvent être comparés aux débits journaliers mesurés par la station hydrométrique du Var à Entrevaux (676 km²) qu'il est possible d'interpoler (voir tableau ci-dessous).

Date	Débit Var à Entrevaux : 676 km ² (m ³ /s)	Débit interpolé de la Galange à partir de la station d'Entrevaux (m ³ /s)	Débit de la Galange mesuré à l'amont de la prise de M Marcel (m ³ /s)	Rapport (débit mesuré / débit interpolé)
19 Mars 2018	22	2.082	3.762	1.81
20 Avril 2018	43	4.071	6.070	1.49
19 juillet 2018	14	1.325	0.592	0.45

Entre les différentes dates, les débits évoluent de la même manière entre le Var et la Galange. Le rapport des débits mesurés sur les débits interpolés est toutefois compris entre 0.45 et 1.81 : il semble donc difficile de conclure sur la représentativité de la station de mesure d'Entrevaux vis-à-vis de la Galange à partir de ces seules mesures.

En conséquence, pour le calcul des débits moyens de la Galange au droit de la prise d'eau, nous proposons de repartir des données de la station de mesure des Scaffarels antérieures à 1978 mais actualisée avec l'hydraulicité des 10 dernières années. Ces données sont interpolées pour la Galange pour prendre en compte la différence de taille des bassins versants (64 km² pour la Galange et 155 km² pour la Vaïre).

Le module annuel de la Vaïre à la station de mesure du pont des Scaffarels, calculé antérieurement à l'installation de la prise d'eau des Scaffarels en 1978, est de 2.95 m³/s. En prenant en compte la plus faible hydraulicité des dix dernières années (mesuré à partir de la station de mesure d'Entrevaux), le module annuel de la Vaïre à cette station est de 2.49 m³/s.

Sous l'hypothèse de représentativité de ces données pour la Galange, le module de la Galange au droit de la prise d'eau serait de 1.02 m³/s.

2.3.3. Débits moyens mensuels à l'amont et à l'aval de l'ouvrage

En reprenant la même méthode que pour le calcul du module annuel, les débits moyens mensuels en amont de l'ouvrage sont déterminés à partir de la station du pont des Scaffarels et avec les données antérieures à 1978. Dans une approche sécuritaire, un débit moyen prélevé de 0.4 m³/s a été considéré en période de fonctionnement de la centrale et un débit de 0.1 m³/s a été retenu hors période de fonctionnement de la centrale.

	Janv	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Déc
Débit moyen mensuel à l'amont (m³/s)	0.9	1.0	1.4	1.7	1.5	1.1	0.6	0.4	0.5	0.9	1.3	1.0
Débit moyen mensuel à l'aval de l'ouvrage (m³/s)	0.5	0.6	1	1.3	1.4	1	0.5	0.3	0.4	0.8	0.9	0.6

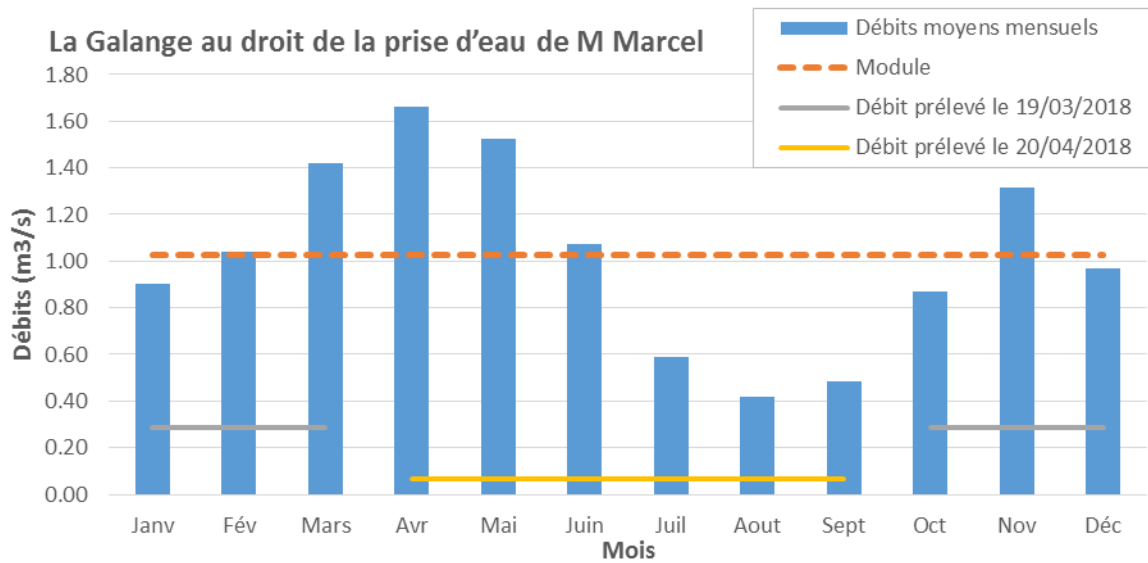


Figure 13: Débits moyens mensuels de la Galange au droit du seuil de prise de M. Marcel (m³/s)

PARTIE 3 : MORPHODYNAMIQUE ET TRANSPORT SOLIDE

1. ACTIVITÉ DU COURS D'EAU ET POSSIBILITÉS D'ÉVOLUTION

Pour estimer l'activité hydromorphologique de la Vaire et de la Galange au droit de la prise d'eau de M Marcel, il est important d'étudier différents paramètres physiques tels que :

- la puissance spécifique,
- l'érodabilité potentielle naturelle,
- les apports solides potentiels.

1.1. PUISSANCE SPÉCIFIQUE

La puissance spécifique peut être déterminée sommairement par le produit « pente X débit ».

La formule est la suivante : $W = Q^2 * \varphi_{\text{eau}} * J / L$

Avec :

- J = pente de la ligne d'énergie (m/m)
- L = largeur du lit pour le débit utilisé (m)
- φ_{eau} = poids volumique de l'eau (9810 N/m³)
- Q^2 = débit dominant (souvent débit plein bord) (m³/s)

On trouve **W largement supérieure à 100 W/m²** au niveau de la prise d'eau de M Marcel, que ce soit pour la Vaire ou la Galange.

D'après la littérature (Brookes, 1988 in Wasson et al, 1998) la puissance d'un cours d'eau traduit l'activité morpho-dynamique du lit et sa capacité à mobiliser les sédiments et éroder ses berges.

Les cours d'eau de plus faible puissance (10 à 15 W/m²) ont peu d'activité géodynamique sauf lorsque les berges sont non ou peu cohésives et le transport solide provenant de l'amont important.

Pour un cours d'eau dont la puissance spécifique est comprise entre 35 W/m² et 50 W/m², des réajustements morphologiques sont possibles en fonction de la nature des berges.

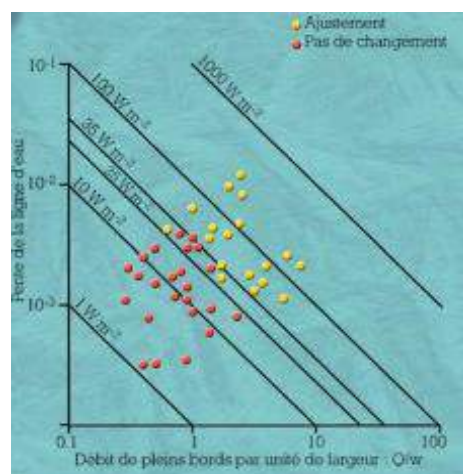


Figure 14 : Seuils de puissance spécifique (d'après Brookes, 1988 in Wasson et al.,1998) (Source: Biotec Malavoi, 2007)

Ainsi, le secteur concerné présente une très forte puissance spécifique indiquant que le cours d'eau dispose d'une grande capacité (« Ajustement » sur la figure ci-dessus) à revenir à son état naturel suite à un aménagement anthropique dans son lit.

1.2. APPORTS SOLIDES POTENTIELS

L'essentiel des ravins productifs en matériaux est situé à l'amont du bassin versant.

Pour la Vaire, les apports se font essentiellement en amont du Fugeret notamment en rive droite depuis la Montagne de Charmette (cf. Figure 3) où tous les versants Est donnent naissance à des ravins très pentus et sources de laves torrentielles donc excessivement contributeurs en matériaux.

Le ravin d'Inarde busé sous la D908 menant à la Colle Saint-Michel fait partie de ces ravins (tout comme le Rioufred) comme l'atteste les clichés ci-dessous montrant l'amont de la buse et les curages réalisés.



Figure 15 : Ravin d'Inarde à la traversée avec la D908

En rive gauche, les ravins issus du massif du Grand Coyer sont également fortement producteurs de matériaux, notamment le ravin du Maouna et des Louvrettes qui conflue avec la Vaire au niveau de Méailles (voir figure ci-dessous).



Figure 16 : Ravin de Maouna et des Louvrettes (Source : Géoportail).

Pour la Galange, les apports solides ont lieu sur la majeure partie du linéaire. Des éboulis s'observent quasiment tout le long des gorges de la Galange (voir figures ci-après), y compris à l'amont immédiat verrou rocheux dans lequel se situe le seuil de prise de M. Marcel.



Figure 17 : a) Ravin au-dessus de la Condamine, b) Éboulis dans les gorges de la Galange
(Source : géoportail)



Figure 18 : Éboulis le long de la Galange 50 m à l'amont du seuil de prise.

Remarque : La crue décennale du 20 novembre 2016 a renouvelé le substrat de la Vaire sur la quasi-totalité de son linéaire. De nombreux bancs alluviaux sont apparus et une part importante de la végétation arbustive présente dans le lit mineur a été arrachée (notamment à l'amont du pont des Scaffarels).

Cette crue a permis également de remobiliser le substrat de la Vaire et de la Galange en partie colmaté par une pollution du type organique (algues).



Figure 19 : Bancs alluviaux renouvelés à la confluence avec la Galange (29/06/2017).

1.3. ÉRODABILITÉ DES BERGES AU NIVEAU DE LA PRISE

L'érodabilité des berges est une caractéristique importante de l'activité d'un cours d'eau même si elle n'est pas aussi primordiale qu'un ravin actif du point de vue des apports sédimentaires. En effet, dans le cas présent les matériaux transitant dans le lit de la Vaire et de la Galange proviennent de l'amont. En revanche, l'érodabilité des berges au droit de la prise est quasiment nulle. Les photographies ci-dessous réalisées aux abords de la prise d'eau de M Marcel attestent du caractère non-érodable des berges avec la présence d'un verrou rocheux.

On notera également que la présence d'un gros bloc à l'amont de la prise contribue à limiter le risque de formation d'embâcles au droit même de la prise d'eau. En revanche, entre la rive gauche et le bloc, de nombreux arbres morts se retrouvent coincés. L'exploitant a déclaré qu'avant que cet embâcle ne se forme, le lit principal s'écoulait le long de la rive gauche.

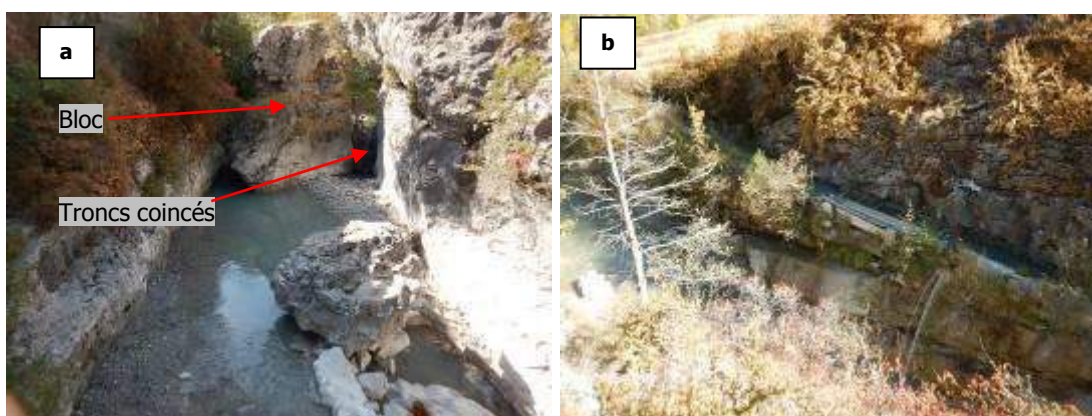


Figure 20 : Berges peu érodables au droit de la prise : a) vue depuis la prise vers l'amont, b) vue depuis la rive gauche vers le verrou rocheux à l'aval de la prise d'eau

1.4. CONCLUSION SUR L'ACTIVITÉ GÉNÉRALE DU COURS D'EAU

Du point de vue hydromorphologique, la puissance spécifique importante associée à la présence d'apports potentiels généreux montrent une forte activité de la Vaire et de la Galange au niveau de la prise de M Marcel. Les matériaux constituant le lit se renouvellent

très souvent au gré des crues assurant un charriage important de la Vaïre et de la Galange à l'amont comme à l'aval de la prise d'eau. L'érodabilité des berges est toutefois très peu prononcée au droit de l'ouvrage.

2. PROFIL EN LONG

Nous disposons du profil en long levé en 1912 par les Grandes Forces Hydrauliques sur la Galange (voir figure ci-après). Ce profil est toutefois peu intéressant car aucun point topographique n'a été relevé à l'amont de la confluence avec la Galange, sur un linéaire de 1.2 km. En particulier, la chute, déjà présente à l'aval de la prise d'eau, n'est pas visible. En revanche, ce profil permet d'observer deux grandes zones de rupture de pente le long de la Galange, à mi-chemin entre le pont Saint-Joseph et la Bernarde et à l'aval du pont Saint-Joseph. Sur ces secteurs, la pente du cours d'eau est respectivement de 14% et de 5.5%.

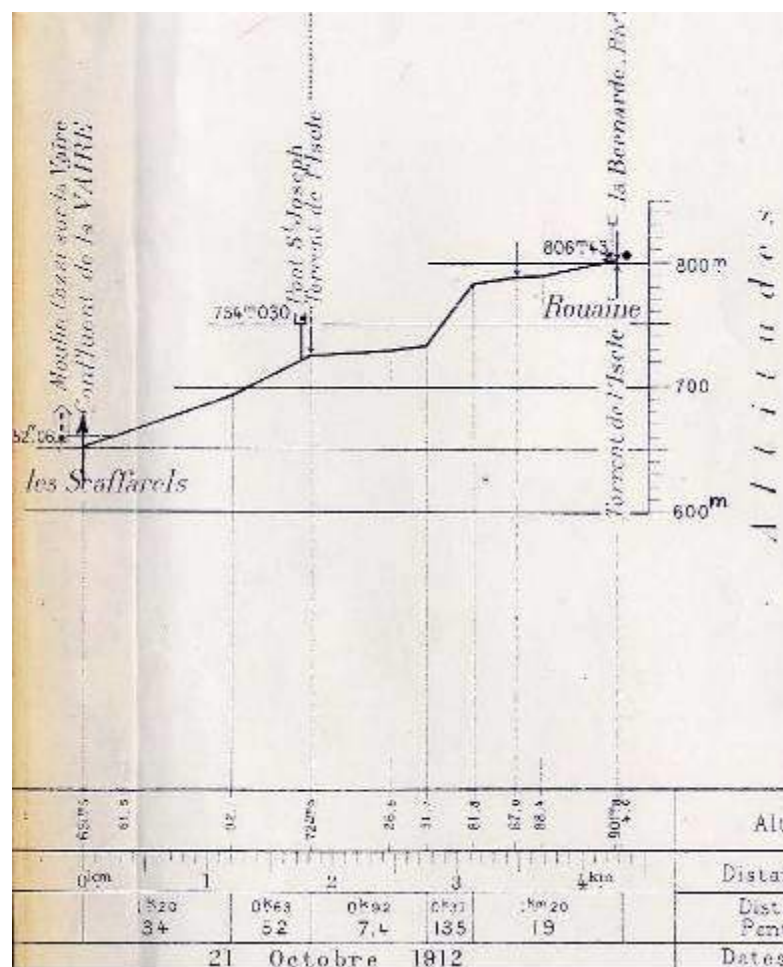


Figure 21 : Profil en long de la Galange entre la Vaïre et la Bernarde.

À l'amont de la prise d'eau et jusqu'au pont Saint-Joseph, la pente moyenne de la Galange est de l'ordre de 5%. À l'aval du seuil, la pente est beaucoup plus faible, de l'ordre de 1 à 2%.

La pente de la Vaïre entre la confluence avec la Galange et la restitution est d'environ 2% (voir figure ci-après).

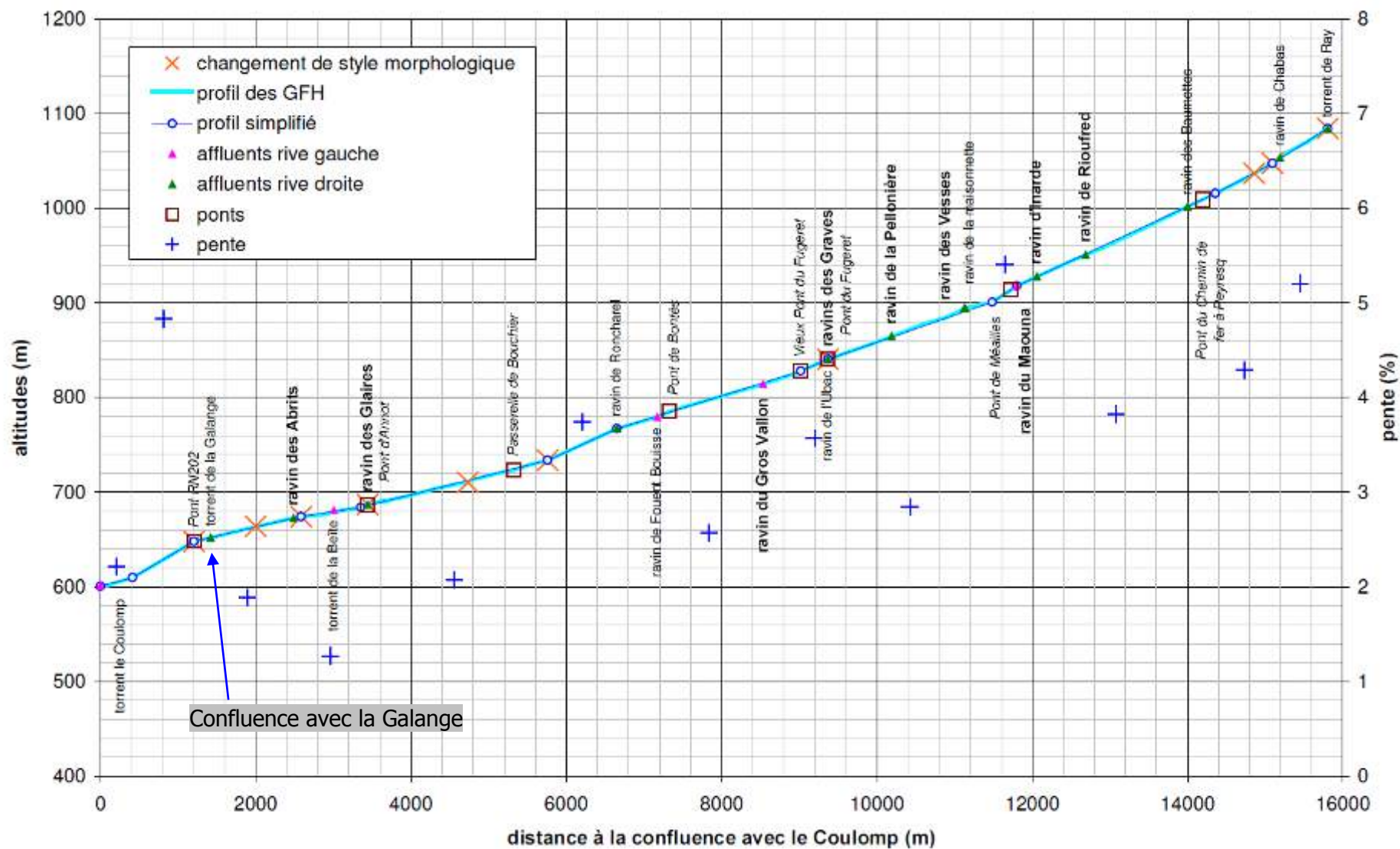


Figure 22 : Profil en long de 1912 (Source RTM 2006)

3. TRANSPORT SOLIDE

3.1. HISTORIQUE

Cette partie s'intéresse aux changements morphologiques observables à partir des images aériennes. Peu de changements sont observables sur la Galange qui est fortement encaissée. En revanche, la morphologie de la Vaire a quelque peu évolué depuis 1948.

3.1.1. Photographie aérienne de 1948

À l'amont du pont des Scaffarels, aucune végétation rivulaire n'est observable, sur une largeur importante (entre 40 et 90 m) et sur une longueur de l'ordre de 400 m. À l'aval de la confluence avec la Galange, le cours d'eau suit plutôt la rive droite. Les routes actuelles sont déjà construites.

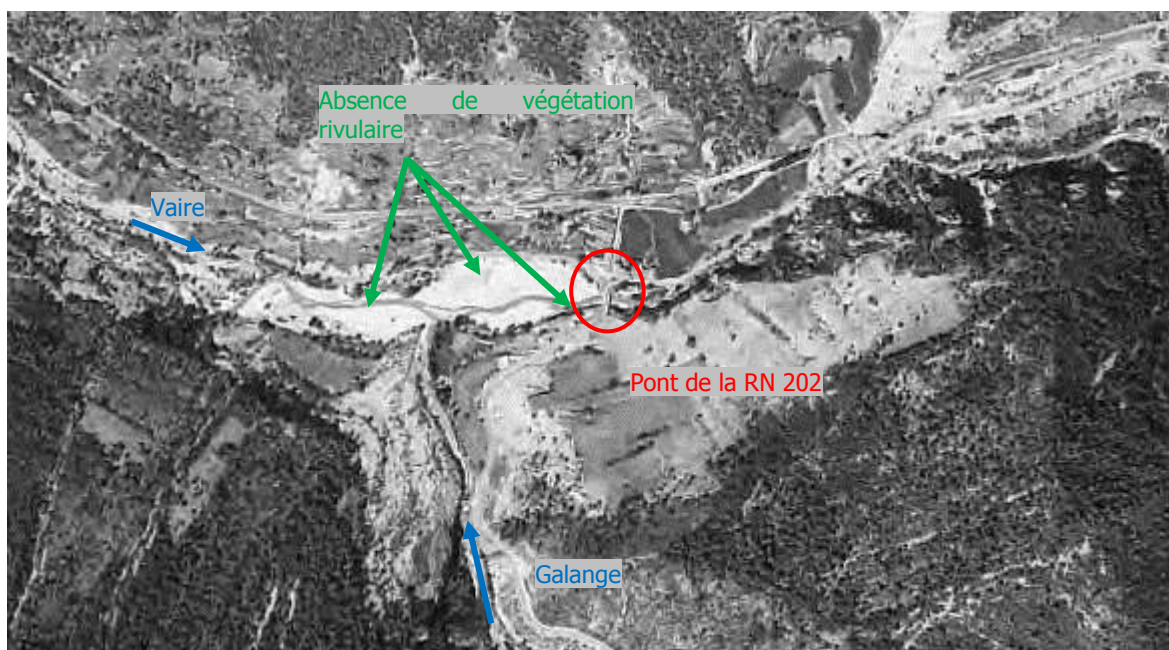


Figure 23 : Photographie aérienne de 1948 (source : geoportail.fr)

3.1.1. Photographie aérienne de 1965

À l'amont du pont des Scaffarels, et à l'aval de la confluence avec la Galange, la Vaire longe maintenant la rive gauche, tandis qu'elle longe la rive droite à l'amont de la confluence avec la Galange. La végétation rivulaire commence à repousser. Des arbres apparaissent au droit de la sortie de la turbine.

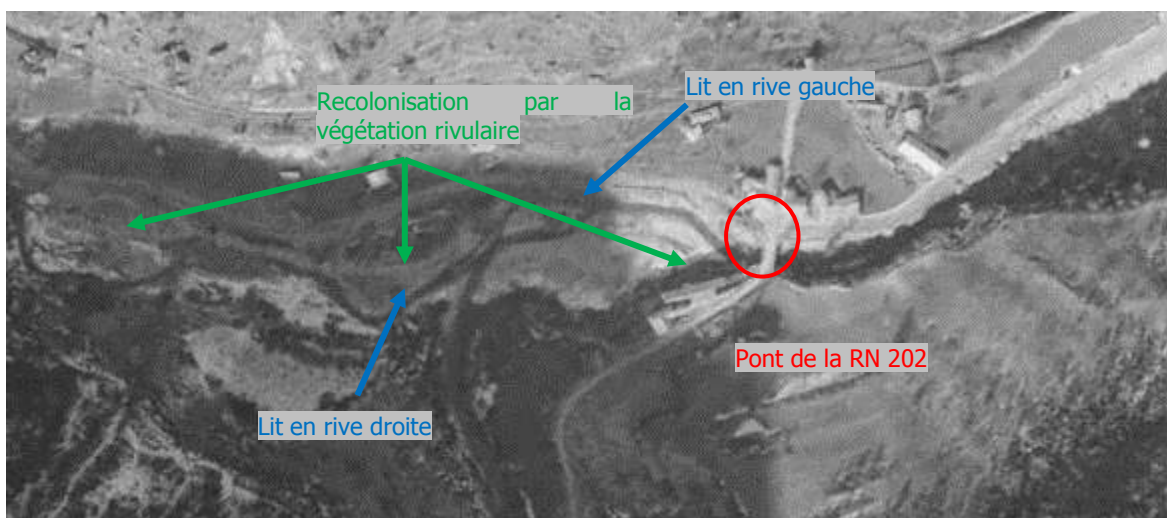


Figure 24 : Photographie aérienne de 1965 (source : geoportail.fr)

3.1.1. Photographie aérienne de 1974

Le lit de la Vaïre n'a pas significativement évolué, si ce n'est que la végétation rivulaire continue de pousser. Ce cliché, montre la présence de nombreux arbres au droit de la restitution de la prise d'eau.

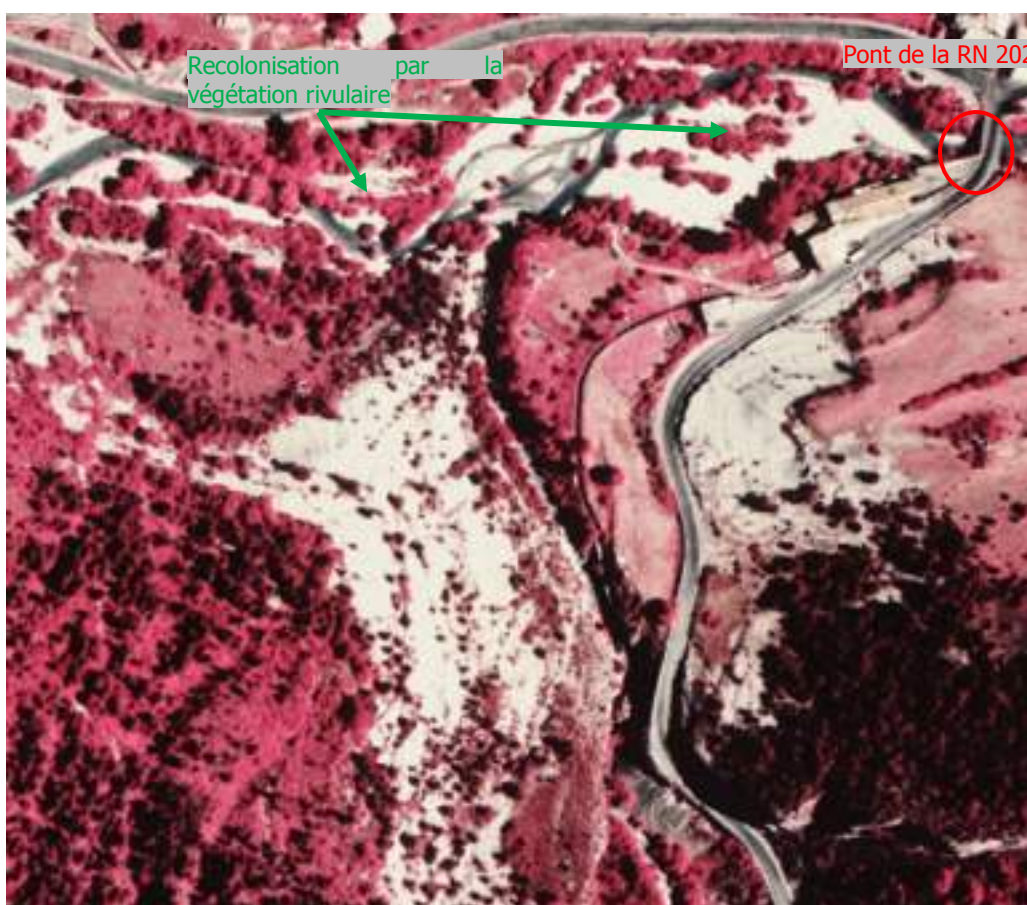


Figure 25 : Photographie aérienne de 1974 (source : geoportail.fr)

3.1.1. Photographie aérienne de 1982

La végétation rivulaire a encore eu tendance à croître. Il s'agit du premier cliché avec une résolution assez bonne pour pouvoir observer la prise d'eau. Le gros bloc coincé à l'amont de la prise est visible. Un banc de galet semble être présent à l'amont du seuil de prise, en rive gauche.



Figure 26 : Photographie aérienne de 1982 (source : geoportail.fr)

3.1.1. Photographie aérienne de 1994

À l'amont du pont des Scaffarels, et à l'aval de la confluence avec la Galange, la Vaire s'est rapprochée de la rive droite. Un cliché de 1993 montre la Vaire longeant la rive droite et la végétation déjà disparue au niveau de la confluence. Le changement s'est produit entre 1991 et 1993.



Figure 27 : Photographie aérienne de 1994 (source : geoportail.fr)

3.1.2. Bilan

Aucun changement notable de la morphologie de la Galange n'a pu être observé à l'aide des photographies aériennes. Il est possible que la construction de la RN 202 ait modifié la morphologie du cours d'eau. Toutefois, cette route existait déjà en 1948, date de la première image aérienne disponible. M. Marcel précise que l'axe principale du cours d'eau à l'amont du seuil de prise n'a pas toujours passé par le même côté du gros bloc (il longe actuellement la rive droite, en raison d'un arbre coincé en rive gauche). Un tel changement est toutefois difficilement observable à partir des images aériennes.

En revanche, sur la Vaire l'impact de certaines crues morphogènes est visible. De telles crues se sont déroulées entre 1948 et 1965 et entre 1992 et 1994. Au gré de ces crues, la Vaire change de lit à l'amont du pont des Scaffarels et s'écoule en longeant tantôt la rive droite, tantôt la rive gauche.

3.2. DESCRIPTION DU SEUIL DE PRISE

Le seuil de prise est situé au niveau d'une chute d'eau naturelle. Au vu de l'âge de la prise d'eau (1871), il est difficile de déterminer dans quelle mesure la hauteur de chute a été augmentée par rapport à la situation avant aménagement. Toutefois, l'observation de la prise laisse penser que l'augmentation de la hauteur de chute a été très limitée (voir figure ci-dessous).



Figure 28 : Vue du seuil de prise depuis la rive droite.

Le seuil de prise est constitué d'un mur bétonné en mauvais état renforcé par des planches. Ce mur est constitué autour des blocs naturellement coincés dans l'étranglement, en rive gauche, et posé directement sur la roche mère en rive droite.

À l'amont du seuil, la rive droite a été élargie, afin de permettre l'alimentation du canal de prise. Aucune vanne ne bloque ce canal de prise.

3.3. GRANULOMÉTRIE ET TRANSPORT SOLIDE

Aucune granulométrie n'a été prévue dans le cadre de cette étude. Il est néanmoins possible d'observer une variation granulométrique en fonction de la pente du cours d'eau. Ainsi, la granulométrie du fond de la Galange est plus grossière à l'amont du verrou rocheux et moins grossière à l'aval où elle se rapproche de celle de la Vaïre.

En tête du canal de prise, dès que les matériaux du fond du cours d'eau sont mis en mouvements, l'exploitant laisse ouvert les vannes de décharge, afin d'éviter l'engravement du canal. Les matériaux grossiers ne se déposent donc que sur une dizaine de mètres en amont des vannes, ce qui constitue un volume global de seulement quelques mètres cubes. Seules les fines passent plus à l'aval, en raison des faibles vitesses dans le canal (0.5 à 0.7 m/s) ce qui nécessite un curage régulier du canal (assuré tous les 3 ans environs).

On notera que le débit prélevé par la prise d'eau en crue est faible au regard du débit du cours d'eau : le risque de stockage de sédiment induit par cette prise est donc faible.



Figure 29 : Granulométrie grossière observée au fond du canal entre les 2 vannes de décharge amont (gauche) et absence de graviers à l'aval de la deuxième vanne de décharge (droite).

L'absence de mesures granulométrique ne permet pas de déterminer les débits de début d'entraînement au droit de la prise d'eau. Dans le cadre du diagnostic de la continuité sédimentaire au droit de la prise d'eau des Scaffarels, l'ordre de grandeur du transport solide en crue centennale courte a toutefois été estimé à environ 20 000 m³ de matériaux pour la Galange et 30 000 m³ pour la Vaïre.

Dans le cadre de ce même diagnostic, l'évolution de la côte du fond de la Vaïre à l'amont du seuil des Scaffarels a également été modélisée. Il a été montré que la fermeture de la vanne clapet du seuil des Scaffarels en période de charriage pouvait entraîner une rehausse du fond du lit jusqu'à la sortie de la prise d'eau de M Marcel, avec des conséquences sur la sortie de la prise d'eau de M Marcel (voir figure ci-après). Pour permettre le bon fonctionnement de la turbine, la côte du fond de la Vaïre au niveau de la sortie de la prise d'eau ne doit pas dépasser 650 à 650.9 m.

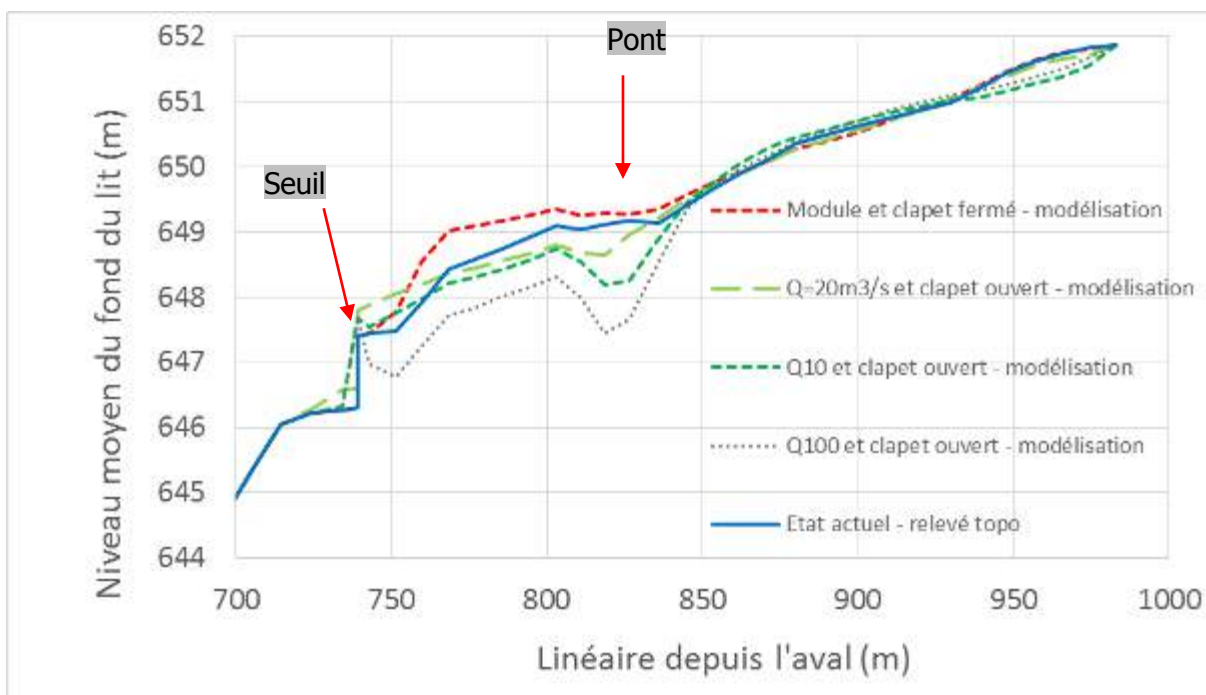


Figure 30 : Niveaux moyen du fond du lit modélisés pour différents régimes hydrauliques. Situation actuelle, avec aménagement. Source : diagnostic de la continuité écologique et sédimentaire au droit de la prise d'eau des Scaffarels.

4. CONCLUSION

L'effet du seuil de prise sur le transport solide du cours de la Galange paraît être très limité, en particulier car se situant sur un seuil naturel. En période de crue, le débit s'écoulant dans le canal de dérivation est très limité. Celui-ci ne peut dépasser $0.7 \text{ m}^3/\text{s}$ si les vannes de décharges sont fermées et environ $0.1 \text{ m}^3/\text{s}$ sinon. La vitesse dans le canal étant limitée (0.5 à 0.7 m/s), seules les fines peuvent s'y écouler, des dépôts de matériaux plus grossiers ne pouvant se former qu'entre l'entrée amont de la prise d'eau et la deuxième vanne de décharge (en partant de l'amont). Le volume stocké (quelques m^3) est toutefois négligeable au vu des capacités de charriage du cours d'eau. **Le seuil peut donc être considéré comme transparent vis-à-vis du transport solide.**

PARTIE 4 : DESCRIPTION MORPHOLOGIQUE ET INVENTAIRE DES OBSTACLES À LA CIRCULATION PISCICOLE ET DES FRAYÈRES

En premier lieu la classe de franchissabilité de l'ouvrage existant sera déterminée en appliquant le protocole ICE "Informations sur la Continuité Ecologique" établi par l'Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques ONEMA (juillet 2014).

Les investigations menées par la SCOP GAY Environnement de part et d'autre de la prise Marcel seront présentées dans un second temps.

Elles consistent à réaliser :

- ❖ une description des faciès d'écoulement,
- ❖ un inventaire des obstacles à la circulation piscicole,
- ❖ un inventaire des frayères potentielles et effectives pour la truite fario.

Les résultats et l'analyse de ces investigations permettront dans un second temps de conclure sur la nécessité d'un aménagement éventuel de la prise d'eau pour améliorer la continuité piscicole.

1. DIAGNOSTIC ICE DE L'OUVRAGE DE PRISE

La Galange est concernée par deux espèces piscicoles au niveau de la prise de M. Marcel.

On ne retrouve au droit de la prise des Scaffarels que les espèces suivantes :

- ✓ l'Anguille d'Europe
- ✓ la truite Fario.

Ce seront les espèces cibles considérées pour la suite de l'étude.

1.1. FRANCHISSABILITÉ DE LA PRISE D'EAU À LA MONTAISON

Au vu des caractéristiques de la prise d'eau (saut de 5 m), seules les anguilles sont concernées par ce diagnostic, la montaison des truites étant impossible.

La montaison des anguilles pourrait théoriquement s'effectuer par :

- Le seuil de prise ;
- Le canal de dérivation, hors période de fonctionnement de la centrale.

L'anguille européenne dispose en effet de capacités de reptation (voir figure ci-dessous), surtout lorsqu'elle est jeune.

Matrice permettant de calculer la classe de franchissabilité ICE d'ouvrages présentant une zone de reptation pour la civelle (60mm-120 mm) en fonction de la pente et de la longueur de la voie de passage, et à l'aide de l'arbre de décision de la figure 107.

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	0,66	0,66	0,66
12,5 < P ≤ 25	1	1	1	1	0,66	0,66	0,66
25 < P ≤ 50	1	1	1	0,66	0,66	0,66	0,33
50 < P ≤ 75	1	1	1	0,66	0,66	0,33	0,33
75 < P ≤ 100	1	1	0,66	0,66	0,33	0,33	0,33
100 < P ≤ 150	1	1	0,66	0,66	0,33	0,33	0
150 < P ≤ 300	1	0,66	0,66	0,33	0,33	0	0
P > 300	0,66	0,66	0,66	0,33	0	0	0

Matrice permettant de calculer la classe de franchissabilité ICE d'ouvrages présentant une zone de reptation pour l'anguillette (120 mm- 400 mm) en fonction de la pente et de la longueur de la voie de passage, et à l'aide de l'arbre de décision de la figure 107.

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

Figure 31 : Extrait du tableau des valeurs guide pour les seuils à parement inclinés et pour la reptation des anguilles (source ICE ONEMA, 2014).

❖ Seuil de prise

La chute d'eau au niveau du seuil de prise à une hauteur d'environ 5 m, ce qui empêche théoriquement toute remontée d'anguille. Une voie d'ascension possible pourrait exister en rive gauche (voir figure ci-après). La longueur de la rampe jointe à sa forte inclinaison latérale n'est toutefois guère propice à la montaison des anguilles.



Figure 32 : Vue du cheminement potentiel pour anguille en rive droite.

❖ Canal de dérivation

À l'amont de la maison de M. Marcel, le canal ne présente aucun obstacle à la montaison. Les algues présentes dans le canal limitent les vitesses d'écoulement en fond. Toutefois, la partie située entre la chambre de mise en charge et la Vaire présente une très forte pente, ainsi qu'une petite chute d'eau, quelques mètres à l'amont de la sortie du canal de dérivation. Cette section paraît donc difficilement franchissable par les anguilles.



Figure 33 : Partie souterraine du canal de dérivation. On note la forte vitesse des écoulements.



Figure 34 : Sortie du canal de dérivation, hors période de fonctionnement de la centrale.

❖ Bilan

La montaison des anguilles, bien que peut-être possible, semble très délicate, que ce soit par le canal de dérivation ou par le seuil naturel présent au niveau de la prise d'eau.

1.2. FRANCHISSABILITÉ À LA DÉVALAISON

La dévalaison (migration de l'amont vers l'aval) est encore un phénomène peu connu, en effet, le protocole ICE indique :

« Une restriction concerne toutefois la migration de dévalaison. En effet, au regard de la complexité des mécanismes de dévalaison et de la nécessité d'avoir une bonne connaissance de l'hydrologie, des modalités de prélèvement et des caractéristiques hydromécaniques des installations, aucuns critères simples et synthétiques n'ont été définis pour à appréhender la franchissabilité des ouvrages à la dévalaison. Ainsi, l'appréciation de l'impact potentiel d'une prise d'eau sur la dévalaison nécessitera toujours une expertise spécifique par des techniciens spécialisés. **Le protocole ICE s'attachera essentiellement** au diagnostic de l'état de franchissabilité d'un ouvrage pour des espèces en **montaison**. Lors de sa mise en œuvre, un recueil de données de terrain utiles à l'expertise de la dévalaison sera tout de même effectué. »

La dévalaison est problématique pour les espèces diadromes (cycle de vie en eau douce et en eau salée) pour lesquelles cette migration est indispensable dans leur cycle de vie, tels les juvéniles des saumons atlantiques, les truites de mer et les anguilles argentées². Les espèces potamodromes (cycle de vie en eau douce) ne sont pas touchées par cette problématique à l'exception des populations de truites au niveau des prises d'eau de montagne ce qui est le cas ici.

Ainsi, il n'existe pas à ce jour de protocole reconnu par l'AFB pour diagnostiquer la franchissabilité d'un ouvrage vis-à-vis de la dévalaison, le recours à l'expertise est alors nécessaire.

Les poissons dévalants situés en amont de l'ouvrage sont en mesure de le franchir par :

² Source : « Guide pour la conception de prises d'eau « ichtyocompatibles » pour les petites centrales hydro-électriques » publié en novembre 2008 par l'ADEME et réalisé par D. Courret et M. Larinier.

- ✓ Surverse du seuil de prise ;
- ✓ Les vannes de décharges en tête du canal de dérivation ;
- ✓ Le canal de dérivation, hors période de fonctionnement de la turbine ;
- ✓ La turbine.

La mortalité des individus passant par-dessus le seuil de prise est inconnue. On peut toutefois considérer le seuil comme d'origine naturel, le seuil de prise n'induisant pas de mortalité supplémentaire.

Les vannes de décharge n'induisent pas, a priori, de mortalité chez les poissons dévalants, l'eau se déversant directement dans le cours d'eau (voir figure ci-contre).

On notera que quelques individus pourraient toucher la paroi lors de leur chute, notamment au niveau de la vanne amont. Toutefois, le risque d'impact semble modéré en comparaison du risque existant au niveau de la chute d'eau naturelle.



Figure 35 : Jets d'eau issue des vannes de décharge.

Hors période de fonctionnement de la turbine, la mortalité des individus dévalants dans le canal de dérivation est probablement nulle. Une seule chute d'eau est présente, sous la maison. Le matelas d'eau à l'aval est toutefois suffisant pour la réception (de l'ordre de 1 m).

La mortalité des individus dévalants au travers de la turbine est en revanche plus difficile à estimer.

La grille en tête de mise en charge agit comme un premier filtre. L'espacement inter-barreaux est compris entre 10 et 15 mm, ce qui constitue une barrière physique pour la plupart des anguilles et est conforme aux préconisations de l'AFB vis-à-vis de celles-ci. En ce qui concerne les truites, les individus juvéniles de dimensions inférieures à 10 à 15 cm de longueur sont toutefois susceptibles de passer, bien que la grille joue également un rôle de barrière comportementale. On notera cependant que, le courant du canal étant faible au fond et sur les bords, les individus qui ne passent pas au travers de la grille sont susceptibles de remonter jusqu'au seuil de prise ou aux vannes de décharge.

La turbine de M. Marcel est de type inconnu. Toutefois, il s'agit probablement d'une turbine FRANCIS. Ce type de turbine implique une mortalité piscicole comprise entre 5 et

90 % avec une moyenne de 30-40 % d'après le RefMADI (Référentiel Milieux Aquatiques Documents d'Incidence). Au vu de la faible chute (7 m), une mortalité moyenne, de 40 %, semble pouvoir être retenue.

Pour compléter le diagnostic, l'impact de la prise d'eau de M. Marcel est apprécié à partir des éléments d'analyses fournis par la fiche correspondante de Ref-MADI qui repose l'estimation du pourcentage de poissons piégés et dirigés vers les turbines à partir de la comparaison des débits entrants et des débits turbinés :

- ❖ entre avril et octobre - période préférentielle de dévalaison pour la truite fario ;
- ❖ entre octobre et décembre - période préférentielle pour l'anguille d'Europe³.

Les tableaux ci-dessous récapitulent les résultats des différentes estimations en ce qui concerne **la part des poissons théoriquement piégés** par la dérivation des eaux, à la fois pour l'anguille européenne et la truite fario.

Truites de rivière								
Mois	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	
Débit amont (m ³ /s)	1.654	1.513	1.077	0.590	0.410	0.487	0.859	
Débit turbiné (en m ³ /s)	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.30	
% de poissons dévalant	5.0%	30.0%	30.0%	20.0%	5.0%	5.0%	5.0%	100.0%
% de poissons piégés	0.3%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	1.1%	1.5%
Taux de survie dans les turbines	40%	40%	40%	40%	40%	40%	40%	
Taux de mortalité global	0.13%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.46%	0.6%

Tableau 1 : Incidence théorique de la prise d'eau de M. Marcel sur les truites dévalantes.

S'agissant de la truite fario, il apparaît que le taux de piégeage théorique est très faible, la turbine fonctionnant principalement en dehors de la période de dévalaison des truites : au total seulement 2% des truites seraient piégées, avec un taux de mortalité global de 1%.

Anguilles d'Europe										
Mois	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	
Débit amont (m ³ /s)	0.487	0.859	1.308	0.974	0.897	1.038	1.410	1.654	1.513	
Débit turbiné (en m ³ /s)	0.00	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.00	
% de poissons dévalant	11.0%	11.0%	12.0%	11.0%	11.0%	11.0%	11.0%	11.0%	11.0%	100.0%
% de poissons piégés	0.0%	2.5%	1.2%	2.0%	2.3%	1.8%	1.0%	0.7%	0.0%	11.5%
Taux de survie dans les turbines	40%	40%	40%	40%	40%	40%	40%	40%	40%	
Taux de mortalité global	0.0%	1.0%	0.5%	0.8%	0.9%	0.7%	0.4%	0.3%	0.0%	4.6%

Tableau 2 : Incidence théorique de la prise d'eau de M. Marcel sur les anguilles dévalantes.

En ce qui concerne les anguilles, l'impact théorique est à peine plus important, 12% des individus étant potentiellement piégés et le taux de mortalité étant de l'ordre de 5%. On notera toutefois que cette analyse n'est valable qu'en présence d'individus jeunes, les individus de plus de 40 cm ne pouvant passer au travers de la grille.

³ In « La migration d'avalaison de l'anguille européenne, *Anguilla anguilla* : Caractérisation des fractions dévalantes, phénomènes de migration et franchissement d'obstacles ». Thèse de doctorat. Caroline Durif ; Janvier 2003.

1.3. CONCLUSION SUR LA FRANCHISSABILITÉ DE L'OUVRAGE DE PRISE

L'impact de la prise d'eau sur la continuité piscicole est limité. **L'impact sur la montaison est nul**, voir légèrement positif (des anguilles pourraient peut-être remonter par le canal de dérivation, même si cela semble peu probable). **L'impact sur la dévalaison est faible en l'état actuel de fonctionnement de la centrale**. En effet, la centrale ne fonctionne pas pendant la principale période de dévalaison piscicole des truites, tandis qu'une grille limite la mortalité des anguilles éventuellement présentes en amont.

2. SITUATION PISCICOLE DU COURS DE LA GALANGE

2.1. FACIES D'ÉCOULEMENT

La description des faciès et l'inventaire des obstacles ont été réalisés préalablement aux sondages piscicoles et pour les conditions de moyennes basses eaux.

Les différents grands types de faciès identifiés et leur représentativité figurent ci-après.

Sur la base de ces éléments, la Galange sur le linéaire reconnu présente des modalités d'écoulement dominées par les rapides (et assimilés) associés aux radiers (et assimilés), ainsi qu'aux chenaux et mouilles (lotiques). Les autres faciès identifiés - chute/baignoire, plat - sont anecdotiques.

A noter, cependant, que les ruptures de pentes – au cœur desquelles s'inscrivent des seuils naturels verticaux très sélectifs – constituent autant de freins à la circulation piscicole.



Figure 36 : Faciès de la Galange à l'amont de la prise d'eau et jusqu'au pont Saint-Joseph.

2.2. QUALITÉ PISCICOLE

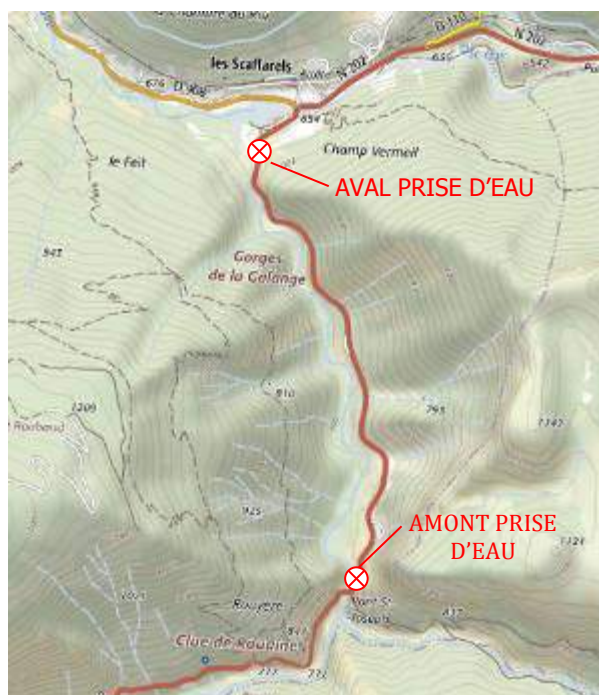
2.2.1. Résultats 2018

2.2.1.1. Effectifs et biomasses

Des sondages piscicoles ont été réalisés le 19 juillet 2018 au niveau de 2 stations d'étude situées :

- en aval immédiat du « Pont Saint-Joseph », c'est-à-dire environ 1,9 Km en amont de la prise d'eau de M. Marcel – le choix de cette station résulte de la difficulté d'accès en amont immédiat de la prise d'eau ;
- en aval immédiat de la prise d'eau de M. Marcel et à l'amont de la confluence avec la Vaire.

La localisation des points de sondages est reportée sur l'extrait cartographique ci-contre.



Localisation des stations d'échantillonnage

Stations	Pont St-Joseph	Amont Vaire	
Longueur pêchée (m)	110	169	
Largeur (m)	4,5	6,1	
Surface pêchée (m ²)	455	1 031	
Nb d'anode	1	1	
Participants	5	5	
Nb de passage	1	1	
Nb de poissons capturés	TRF : 11	TRF : 25	ANG : 4
Biomasse pêche (Kg)	TRF : 0,442	TRF : 0,836	ANG : 0,655
Effectifs (N/ha)	TRF : 242	TRF : 243	ANG : 39
Biomasse (Kg/ha)	TRF : 9,7	TRF : 8,1	ANG : 6,4

En termes de nature, le peuplement piscicole de cette partie de la Galange est composé de 2 espèces : la truite fario et l'anguille d'Europe.

En 2018, en référence aux classes définies par l'AFB (mai 1995) les densités sont :

- ❖ **s'agissant de la truite de rivière**, « faibles » tant en termes de densité numérique qu'en termes de densité pondérale et ce, aussi bien en amont de la prise d'eau (au pont Saint-Joseph) qu'en aval de celle-ci (amont Vaire) ;

- ❖ **s'agissant de l'anguille européenne – présente uniquement en aval de la prise d'eau** - numériquement « moyennes » et pondéralement « faibles ».

Ces résultats montrent clairement que :

- ❖ l'anguille d'Europe est absente sur les secteurs amont de Galange ;
- ❖ les capacités d'accueil naturelles de la Galange pour la truite de rivière sont modestes, sinon faibles.

2.2.1.2. Structures des populations

Les graphiques ci-dessous présentent les structures des populations - par classe de taille et par cohorte - de truites et d'anguilles par station.

S'agissant de la truite fario, il apparaît que :

- ❖ au pont St-Joseph, la population en place est déséquilibrée avec en particulier l'absence de très jeunes individus (< 100 mm) et d'individus âgés (> 210 mm) ;
- ❖ en aval de la prise d'eau, la population est moins déséquilibrée avec un déficit en individus de très petite taille (< 100 mm) en partie compensé par l'abondance relative en « juvéniles » (90-130 mm).

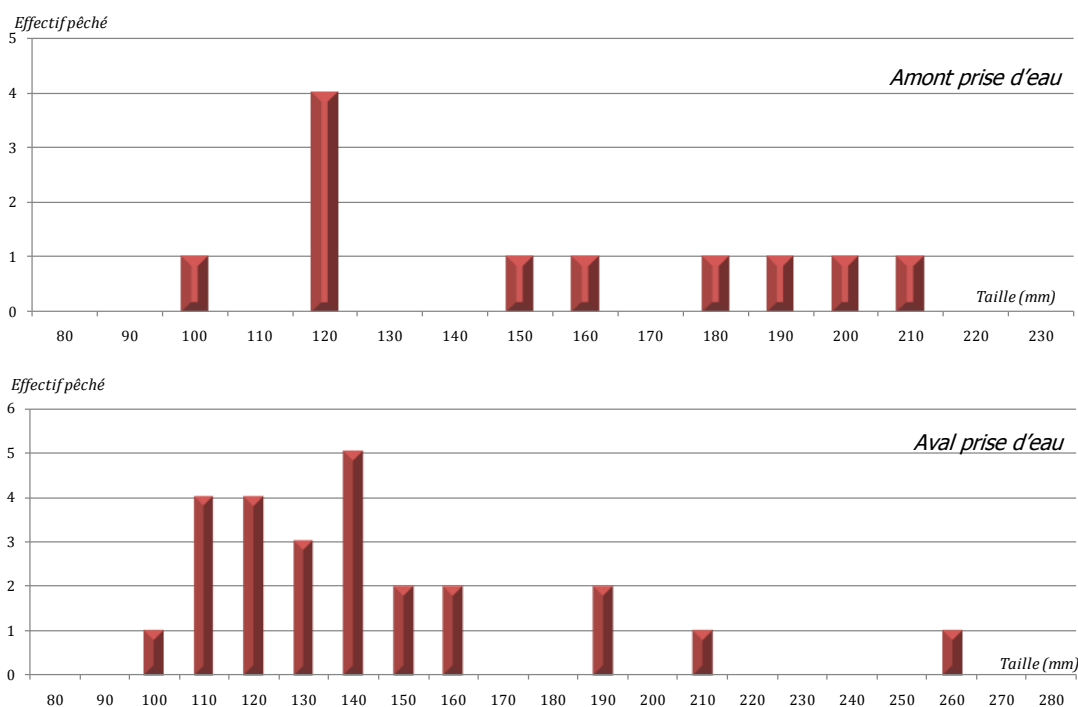


Figure 37 : Structures des populations de truites par classe de taille

S'agissant de l'anguille, il apparaît que seuls des individus de « grande » taille sont présents, les spécimens capturés mesurant entre 410 et 500 mm.

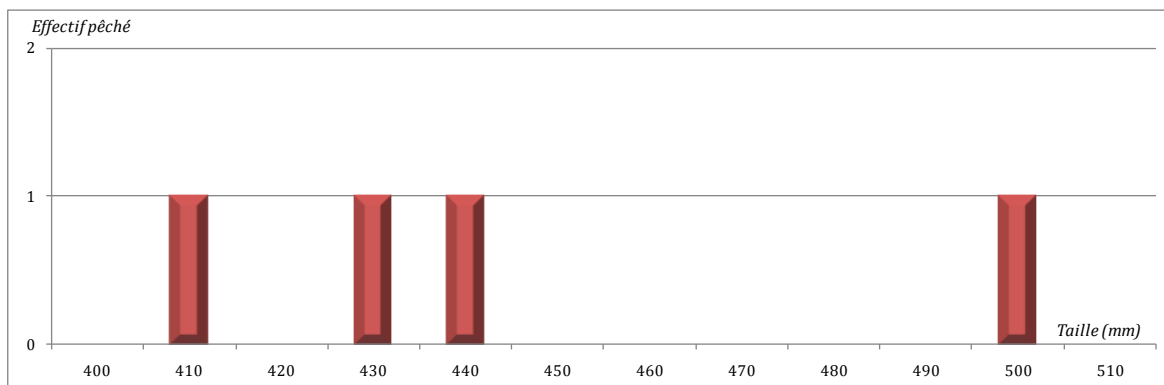


Figure 38 : Structures des populations d'anguille d'Europe par classe de taille et par cohorte

2.2.2. Conclusion sur la qualité piscicole

Les différents éléments recueillis indiquent que :

- ❖ **s'agissant de la truite fario**, les populations sont peu développées et attestent la modeste, sinon faible, hospitalité naturelle de cette rivière ;
- ❖ **s'agissant de l'anguille d'Europe** :
 - ✓ celle-ci est absente en amont de la prise d'eau de M. Marcel,
 - ✓ la population mise en évidence en amont de la Vaire ne compte que des grands individus (prédévalants ?).

PARTIE 5 : BILAN

Cette partie vise à récapituler et synthétiser le diagnostic réalisé dans la phase 1 pour cette prise d'eau.

Prise d'eau de M. Marcel	
Description de l'ouvrage	<ul style="list-style-type: none"> • Hauteur de chute : environ 7 m • Seuil en maçonnerie complétant un seuil naturel, situé à la cote 658.3 m NGF • TCC de 340 m sur la Galange et la Vaïre • Canal de dérivation de 240 m • ROE 112238
Hydrologie	<p style="text-align: center;"><i>Débits de pointe</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Surface du BV : 64 km² • Q10 = 87 m³/s • Q100 = 142 m³/s <p style="text-align: center;"><i>Débit prélevé maximal utile</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Q_{pr max} = environ 350 l/s <p style="text-align: center;"><i>Débits réservés</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Non défini, égal à 102 l/s si considéré comme le dixième du module <p style="text-align: center;"><i>Module</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Q_m = 1.02 m³/s
Activité du cours d'eau	<ul style="list-style-type: none"> • L'étude de la puissance spécifique, de l'érodabilité des berges et de la présence d'apports potentiels montrent un cours d'eau très actif. • Renouvellement constant de la fourniture sédimentaire au gré des crues avec un charriage important et des apports solides potentiels en amont de la prise.
Transport solide	<ul style="list-style-type: none"> • Très faible volume de sédiment stocké en tête du canal de dérivation (qq m³) • Capacité maximale de charriage en crue centennale courte durée : 20 000 m³ <p style="text-align: right;">Impact de la prise d'eau sur le transport solide faible</p>
Description morphologique (faciès)	<p>Les faciès sont l'image de la pente générale du cours d'eau : ils sont assez homogènes sur l'ensemble du tronçon reconnu qui est largement dominé par le type rapide-escalier entrecoupé assez régulièrement par des secteurs de rupture de pente incluant des seuils naturels (très) sélectifs.</p>
Qualité piscicole	<p>Les inventaires piscicoles effectués en juillet 2018 mettent en évidence :</p> <ul style="list-style-type: none"> • des populations de truites fario dont les densités (numériques et pondérales) sont « faibles » en amont comme en aval de la prise d'eau de M. Marcel et qui présentent des structures déséquilibrées ; • l'anguille d'Europe n'est présente qu'en aval de la prise d'eau de M. Marcel, en quantité modeste, la population ne comptant que des individus de grande taille (> 400 mm).
Impact de la prise sur la continuité écologique	<p>L'impact de la prise est nul vis-à-vis de la montaison.</p> <p>L'impact est limité vis-à-vis de la dévalaison en l'état de fonctionnement actuel, notamment en raison de l'arrêt des prélèvements en période printanière et estivale.</p>

ANNEXES

Annexe 1 : Résultats des sondages piscicoles du 19 juillet 2018 sur la Galange

Christian Marcel

Moulin des Scaffarels, les Scaffarels
04420 Annot

DÉFINITION D'UN PROGRAMME D'AMÉNAGEMENT POUR LE RÉTABLISSEMENT DE LA CONTINUITÉ ÉCOLOGIQUE DE LA GALANGE AU DROIT DE LA PRISE D'EAU DE M MARCEL

Phase II : Étude d'avant-projet

Étude d'avant-projet

Réf. GA17-076/Phase III : Étude d'avant-projet/Version 2

Octobre 2018

SUIVI ET VISA DU DOCUMENT

Réf. GA17-076

Etude : DEFINITION D'UN PROGRAMME D'AMENAGEMENT POUR LE
RETABLISSEMENT DE LA CONTINUITE ECOLOGIQUE DE LA GALANGE AU
DROIT DE LA PRISE D'EAU DE M MARCEL

Phase : Phase III : Étude d'avant-projet

Date de remise : Octobre 2018

Version : 2

Statut du document : provisoire

Propriétaire du document : M Christian Marcel

Diffusion :

Chef de projet : Vincent Arnaud

Rédacteur : Eric LALOT

Vérificateurs : Vincent ARNAUD, Marc INSARDI



SOMMAIRE

DEMANDEUR	6
PARTIE 1 : SITUATION.....	7
PARTIE 2 : RAPPEL DES OBJECTIFS	9
PARTIE 3 : ORIENTATIONS D'AMÉNAGEMENTS RETENUS EN COMITÉ DE PILOTAGE ...	10
1. MONTAISON PISCICOLE	10
2. DÉVALAISON PISCICOLE.....	10
3. FIABILISATION DES DÉBITS	10
PARTIE 4 : DESCRIPTION DES TRAVAUX.....	11
1. AMÉNAGEMENTS ENVISAGÉS POUR RÉPONDRE AUX DEMANDES DE L'ÉTAT – DESCRIPTION GLOBALE	11
2. DÉTAILS TECHNIQUES.....	12
2.1. Gamme de débits considérée	13
2.2. Impact paysager.....	13
2.3. Aménagement du système de débit réservé et de dévalaison.....	14
3. IMPACTS	23
3.1. Bilan paysager	23
3.2. Bilan hydrologique	23
3.3. Bilan morphologique.....	23
4. ENTRETIEN DES OUVRAGES.....	24
5. MESURES D'EFFICACITÉ DES OUVRAGES	24
PARTIE 5 : DÉROULEMENT DES TRAVAUX.....	25
6. PÉRIODE DE RÉALISATION	25
7. ACCÈS AU SITE	25
8. DÉRIVATION DES EAUX ET PÊCHE DE SAUVETAGE.....	25
9. ASPECT RÉGLEMENTAIRE	25
PARTIE 6 : COÛT ESTIMATIF DES TRAVAUX	26
10. MÉTRÉS DU PROJET.....	26
11. DEVIS ESTIMATIF	26
CONCLUSION	27
ANNEXE	28

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Localisation de la prise d'eau (Source : géoportail).....	7
Figure 2 : Photographie aérienne de la prise d'eau et cadastre (Source : Géoportail)	8
Figure 3 : Vue de la vanne de décharge en tête de la grille de prise.	11
Figure 4 : Conduite enterrée en aval de la vanne.	12
Figure 5: Débits moyens mensuels du cours d'eau de la Galange au droit de la prise d'eau de M. Marcel (m ³ /s).....	13
Figure 6 : Vue de la prise d'eau depuis le haut de berge en rive gauche.	14
Figure 7 : Vue du canal et des vannes de décharges.	15
Figure 8 : Vue de la deuxième vanne de décharge depuis l'amont.	16
Figure 9 : Vue de la vanne de décharge et localisation de l'échelle de contrôle.	19
Figure 10 : Vue de la section du canal confortée à l'aval de la deuxième vanne de décharge.	20
Figure 11 : Zone d'installation de la grille.	21
Figure 12 : Vue de la chute d'eau au niveau de la deuxième vanne et de la fosse de réception en pied (hautes-eaux à gauche et basses eaux à droite).....	22
Figure 13 : Vue de la fosse de réception et des chutes sortant par les deux premières vannes de décharge.	23
Figure 14 : Loi d'orifice pour le calcul du débit sous la vanne (Note technique sur la conception des dispositifs de restitution du débit minimal, Onema, 2014).	29
Figure 15 : Loi de seuil pour le calcul du débit passant par l'échancrure (Note technique sur la conception des dispositifs de restitution du débit minimal, Onema, 2014).....	29

ANNEXES

Annexe 1 : Loi d'orifice

Annexe 2 : Perte de charge au travers d'une grille

Annexe 3 : Plans

DEMANDEUR

Le demandeur de la réalisation de l'étude est :

Christian Marcel

Moulin des Scaffarels, les Scaffarels

04420 Annot

PARTIE 1 : SITUATION

L'ouvrage concerné par le présent diagnostic, est situé sur la Galange, dans le département des Alpes de Haute-Provence, sur la commune d'Annot au niveau du hameau des Scaffarels.

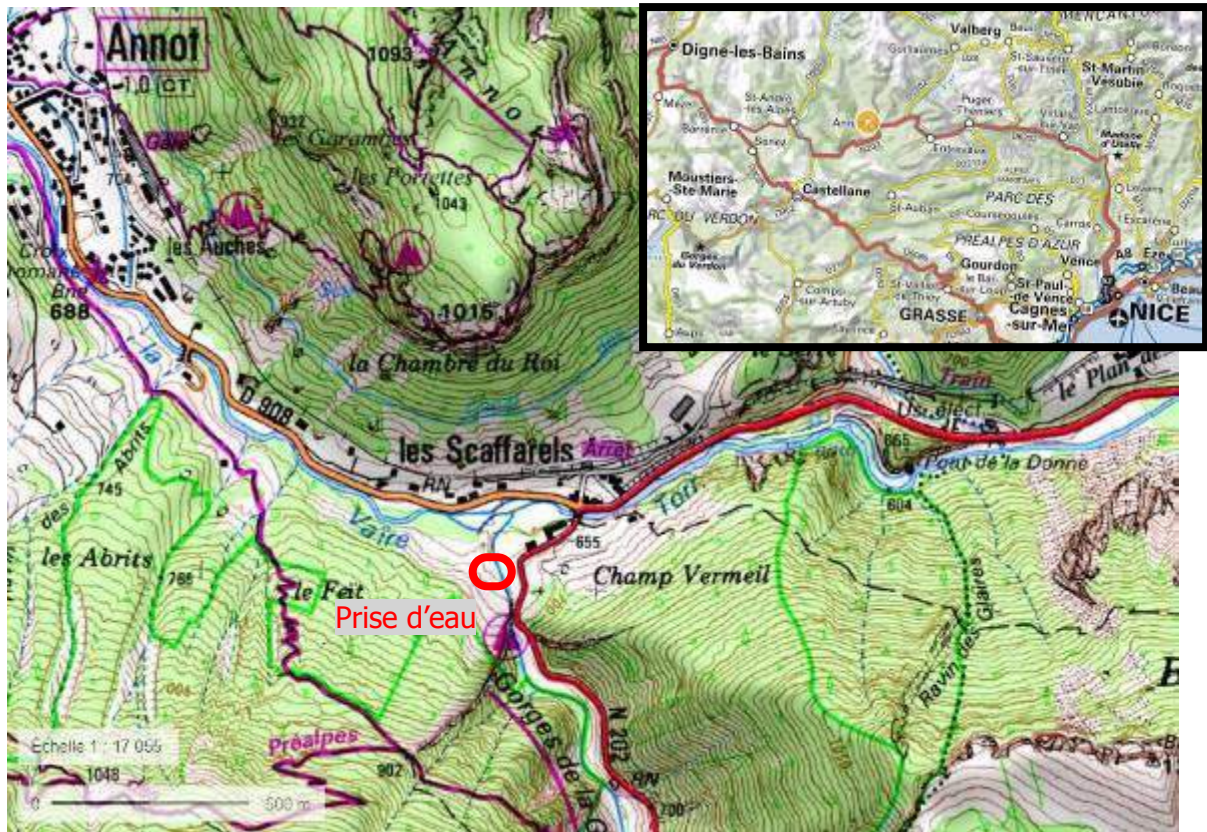


Figure 1 : Localisation de la prise d'eau (Source : géoportail)

La prise d'eau est située en contrebas de la RN 202, au niveau d'une cluë naturelle.

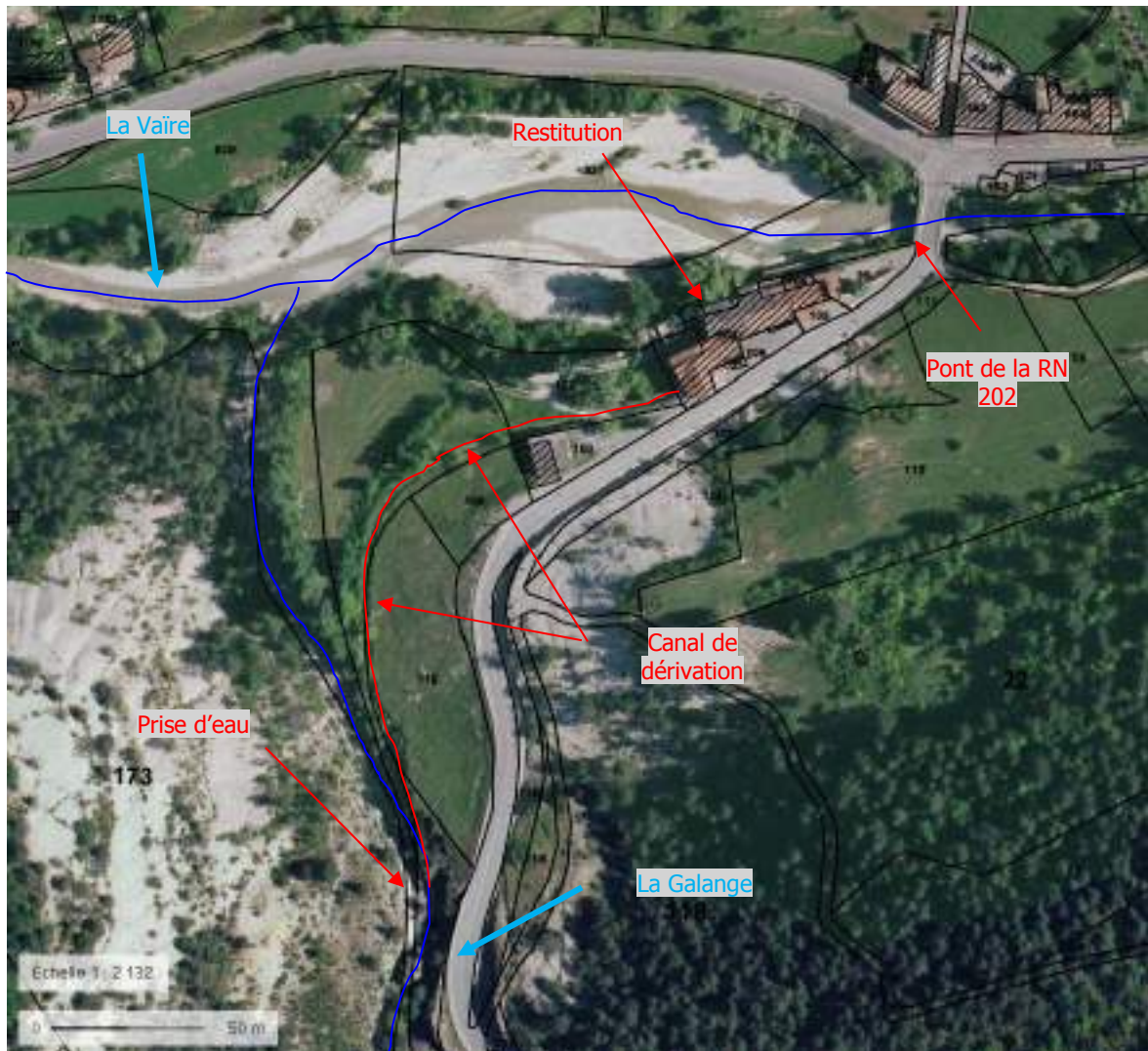


Figure 2 : Photographie aérienne de la prise d'eau et cadastre (Source : Géoportail)

PARTIE 2 : RAPPEL DES OBJECTIFS

M. Christian Marcel est propriétaire de la prise d'eau du Moulin Marcel sur la Galange. Cette prise d'eau a été autorisée par arrêté préfectoral du 9 août 1871.

La Galange a été classée en liste 2 depuis la confluence avec la Vaire jusqu'au pont Saint-Joseph, le 19 juillet 2013 en application de l'article L. 214-17 alinéa 2 du code de l'environnement. L'arrêté du préfet coordonnateur de bassin Rhône-Méditerranée, entré en vigueur le 11 septembre 2013, prévoit que tous les ouvrages présents sur ce cours d'eau soient, à l'issue d'un délai de 5 ans, gérés, entretenus et/ou équipés pour assurer un transport suffisant des sédiments et la circulation des poissons migrateurs.

Dans ce cadre, M. Christian Marcel a mandaté le bureau d'étude HYDRETTUDES ALPES DU SUD pour réaliser le diagnostic et l'avant-projet de rétablissement des continuités écologiques et sédimentaires au droit de la prise d'eau du Moulin Marcel.

Un premier rapport d'avant-projet sommaire a été soumis en juin 2018, pour satisfaire à la limite réglementaire du 30 juin. Cette première version a dû être rendue avant le diagnostic, celui-ci ne pouvant être produit avant l'été en raison des hautes-eaux printanières interdisant toutes pêches.

Ces deux rapports ont ensuite fait l'objet d'un courrier de l'État en date du 25 septembre 2018. Dans son courrier, l'État demande que les modifications suivantes soient apportées à l'avant-projet :

- Dévalaison assurée par le haut ;
- Dispositif permettant d'assurer le débit réservé sans intervention extérieure.

Se basant sur ces préconisations, le présent rapport d'avant-projet précise les aménagements pouvant être mis en œuvre pour améliorer l'impact de la prise d'eau vis-à-vis de la dévalaison piscicole et fiabiliser le débit réservé.

PARTIE 3 : ORIENTATIONS D'AMÉNAGEMENTS RETENUS EN COMITÉ DE PILOTAGE

À l'issu du comité de pilotage du 16 mai 2018 et du courrier du 25 septembre 2018 portant sur l'impact de la prise d'eau et les solutions à retenir dans le cadre du rétablissement de la continuité écologique et sédimentaire au droit de la prise d'eau du Moulin Marcel, l'État a demandé que soient étudiés les aménagements suivants.

1. MONTAISON PISCICOLE

Au vu de la campagne de pêche menée à l'été 2018, l'enjeu est faible, car seulement 3 anguilles ont été repérées entre la confluence avec la Vaire et la chute d'eau (et aucune à l'amont). D'autre part, l'impact de la prise d'eau en elle-même est faible, celle-ci étant située au droit d'une chute d'eau naturelle infranchissable. Enfin, il semble difficile de proposer un aménagement pour la montaison au vu de l'encaissement de la prise d'eau.

Par conséquent, l'Etat a acté qu'aucun aménagement ne serait proposé pour la montaison dans cet avant-projet.

2. DÉVALAISON PISCICOLE

L'impact actuel de la prise d'eau sur la dévalaison est reconnu comme faible. Ce faible impact s'explique par le faible débit dérivé relativement au débit de la Galange, par l'arrêt de la centrale en période de dévalaison des truites, et par la présence d'une grille en tête de la mise en charge. L'État a toutefois souligné que le fonctionnement de la centrale pouvait être amené à évoluer (prise d'eau fonctionnant en période estivale, débit dérivé augmenté), conduisant à une augmentation significative de l'impact de la prise d'eau. Par conséquent, il a été demandé que soit traitée la dévalaison piscicole.

Par rapport aux propositions de l'avant-projet sommaire, l'État a demandé que :

- la dévalaison soit réalisée par le haut ;
- les conditions à la réception soient précisées.

3. FIABILISATION DES DÉBITS

Le système proposé dans le cadre de l'avant-projet sommaire n'est pas satisfaisant en ce qu'il demande une intervention manuelle de l'exploitant. Il est demandé un dispositif assurant un débit minimum hors de toute intervention de l'exploitant.

PARTIE 4 : DESCRIPTION DES TRAVAUX

1. AMÉNAGEMENTS ENVISAGÉS POUR RÉPONDRE AUX DEMANDES DE L'ÉTAT – DESCRIPTION GLOBALE

Dévalaison :

L'État a initialement proposé que la dévalaison soit gérée au niveau de la grille actuellement présente en tête de mise en charge. En effet, il existe une vanne de décharge en amont de cette grille qui sert à l'évacuation des eaux du canal lorsque la turbine est arrêtée.

Cette solution paraît toutefois difficilement envisageable. En effet, l'évacuation des eaux du canal s'effectue par le bas, dans une conduite en pierres maçonnées passant sous la maison et qui mesure 0.5 m de hauteur pour 0.8 m de largeur (voir figures ci-après).

Il manque donc la place nécessaire derrière la vanne pour installer le bassin de réception qui serait nécessaire pour amortir les 2 m de chutes existant lorsque la turbine fonctionne.



Figure 3 : Vue de la vanne de décharge en tête de la grille de prise.



Figure 4 : Conduite enterrée en aval de la vanne.

Une deuxième solution, retenue dans le cadre de ce projet, consiste à gérer la dévalaison à l'amont du canal de dérivation. Il est proposé d'installer une grille en travers du canal de dérivation à faible distance de la prise d'eau.

Conformément aux demandes exprimées dans le courrier de 25 septembre 2018, la dévalaison piscicole pourra s'effectuer par une échancrure percée en rive gauche du canal de dérivation, à l'amont immédiat de la grille. Une goulotte permettra de s'assurer que les poissons soient dirigés vers le centre du cours d'eau.

Débit réservé :

Aucun débit réservé n'a été défini réglementairement pour la Galange. En l'absence de réglementation, nous proposons de retenir le minimum imposé par la loi, à savoir le dixième du module interannuel à la prise d'eau. **Considérant que le module estimé est de 1.02 m³/s, la valeur retenue pour le débit réservé est alors de 102 l/s. Les aménagements proposés se baseront sur cette valeur (cf diagnostic).**

On notera que la solution évoquée en comité de pilotage de la création d'un seuil en travers du canal à l'aval des vannes de décharge, afin d'assurer une cote minimum dans le canal pour fiabiliser le débit réservé, n'a pas été retenue. En effet, la création d'un tel seuil (de l'ordre de 25 cm de hauteur au minimum) entraînerait une hausse du niveau d'eau en amont et un débordement par-dessus le seuil de prise. Il serait donc nécessaire de remonter le seuil de prise et le bord du canal, au risque de déstabiliser l'ouvrage de prise actuel qui est en mauvais état.

2. DÉTAILS TECHNIQUES

Conformément aux solutions évoquées lors du comité de pilotage du 16 mars et aux prescriptions de l'État par courrier du 25 septembre 2018, les aménagements proposés dans le cadre du présent rapport d'avant-projet sont décrits ci-dessous.

2.1. GAMME DE DÉBITS CONSIDÉRÉE

Les résultats, issus du diagnostic, sont présentés dans le tableau ci-dessous :

Localisation	Débit d'équipement (m ³ /s)	Module (m ³ /s)	Débit décennal (m ³ /s)	Débit centennal (m ³ /s)
Prise d'eau de M. Marcel	0.35	1.02	87	142

Tableau 1 : Débits caractéristiques du cours d'eau de la Galange au droit de la prise d'eau de M. Marcel.

Les débits moyens mensuels sont présentés sur la figure ci-dessous.

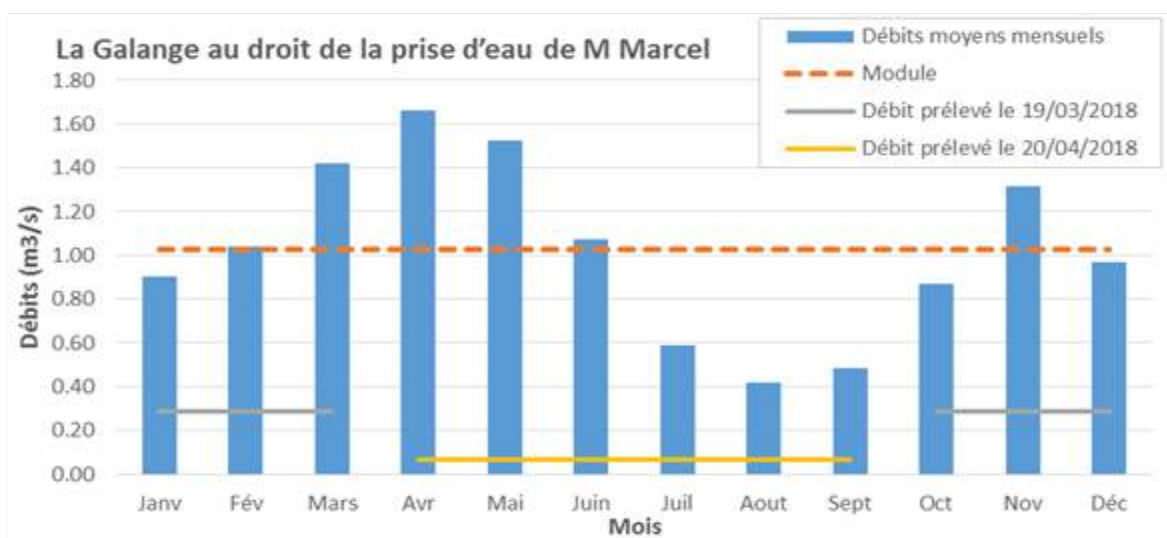


Figure 5: Débits moyens mensuels du cours d'eau de la Galange au droit de la prise d'eau de M. Marcel (m³/s).

2.2. IMPACT PAYSAGER

La prise d'eau est très peu visible depuis les abords du cours d'eau (en particulier, elle n'est pas visible depuis la route). Elle est perceptible uniquement en vision rapprochée depuis la rive gauche, en dehors de toute zone fréquentée (voir figure ci-dessous).

Le risque d'impact est donc très limité, d'autant que les travaux envisagés sont modestes.



Figure 6 : Vue de la prise d'eau depuis le haut de berge en rive gauche.

2.3. AMÉNAGEMENT DU SYSTÈME DE DÉBIT RÉSERVÉ ET DE DÉVALAISON

Le plan des aménagements proposés est joint en annexe 3.

❖ *Contraintes et positionnement*

Le niveau d'eau dans le canal est susceptible de varier significativement en fonction du débit turbiné. Si l'on considère une pente du canal de 1/1000, hors zone amont influencée par le cours d'eau et zone aval influencée par la turbine, le niveau d'eau moyen dans la section confortée du canal est théoriquement susceptible de varier entre environ 24 cm et 44 cm, pour un débit de prise variant entre 150 l/s et 350 l/s (Strickler de 40, et largeur moyenne du canal de 1.5 m). Le marnage est donc significatif :

Niveau d'eau dans la section confortée du canal (m)	0.25	0.3	0.35	0.4	0.45	0.5	0.55
Débit du canal vers la turbine (l/s)	155	204	255	310	367	425	485

A ce marnage doit être ajouté l'irrégularité du fond du canal. Ainsi, à l'aval de la deuxième vanne de décharge (depuis l'amont), le canal a été renforcé, suite à un effondrement partiel, ce qui crée un seuil de l'ordre de 20 cm de hauteur. Ce seuil (voir figures ci-après), joint à la vanne de décharge, tend à limiter l'engravement à l'aval, tout en maintenant un niveau d'eau important à l'amont.

Ce marnage et ces irrégularités doivent être pris en compte dans le calcul du débit réservé. En raison de la demande de l'État de ne pas régler manuellement le, ou les dispositifs de débit réservé, une perte de débit est à attendre pour l'exploitant. **Il s'agit de minimiser cette perte autant que possible, tout en assurant le débit réservé.** On notera à ce titre que le débit au travers d'un orifice de fond est moins sensible aux fluctuations de niveau d'eau que le débit passant par une échancrure.

Une deuxième contrainte s'ajoute. **Il s'agit d'assurer une dévalaison satisfaisante, y compris par le dispositif de débit réservé.** Dans ce cadre, on notera que la sortie d'une partie du débit réservé au niveau de la deuxième vanne de décharge (depuis l'amont) présente un avantage par rapport à une sortie du débit au niveau de la troisième vanne : la fosse de réception naturelle entre la cascade et le pied de la deuxième vanne disparaît à l'aval et les conditions de réception ne sont donc pas satisfaisantes en général à l'aplomb de la troisième vanne. Au niveau de la première vanne de décharge, les conditions ne sont pas satisfaisantes non plus, le transport solide et les vitesses d'écoulement étant importants en hautes-eaux.

Une sortie du débit réservé /débit de dévalaison au voisinage de la deuxième vanne paraît donc pertinente. On notera d'autre part qu'une telle sortie permet de conserver l'alimentation de la fosse présente au pied de la cascade. Il n'y a donc pas risque de mise à sec d'une partie du cours d'eau.



Figure 7 : Vue du canal et des vannes de décharges.

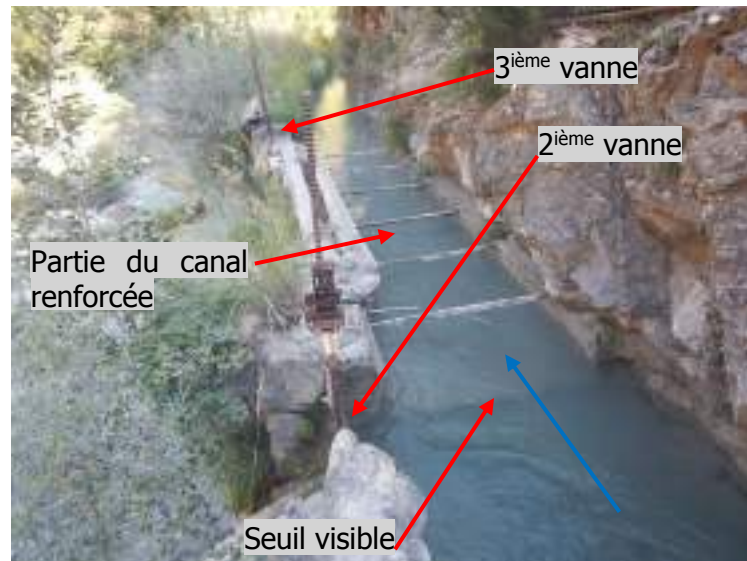


Figure 8 : Vue de la deuxième vanne de décharge depuis l'amont.

Compte-tenu du fait que :

- **M. Marcel laisse la deuxième vanne de décharge régulièrement ouverte en hautes eaux, pour assurer le désengrèvement ;**
- **Que le débit au travers de cette vanne est relativement peu sensible aux fluctuations de niveau d'eau dans le canal ;**
- **Cette vanne rejette l'eau directement dans la Galange ;**

Nous proposons de conserver une sortie d'une partie du débit réservé par cette vanne.

Par rapport à la problématique de la dévalaison, compte-tenu :

- **Du fort risque d'engrèvement en amont de la deuxième vanne de décharge (depuis l'amont) ;**
- **De l'absence de fosse de réception au niveau de la troisième vanne de décharge (depuis l'amont), et plus à l'aval ;**

Nous proposons de positionner une grille dans le canal, à l'aval immédiat de la deuxième vanne de décharge.

Deux solutions sont possibles pour cette grille :

- Grille inclinée ;
- Grille orientée par rapport à la direction de l'écoulement.

La grille orientée permettrait de « rabattre » les poissons vers la rive gauche. En revanche, elle augmenterait la perte de charge, à moins que les barreaux ne soient orientés dans l'axe du cours d'eau, ce qui rendrait le nettoyage compliqué (voir annexe 2).

C'est pourquoi nous proposons d'incliner la grille et de positionner une échancrure à l'amont immédiat, permettant une dévalaison par le haut au voisinage de la deuxième vanne. Selon les préconisations de l'AFB, le débit de dévalaison par cette échancrure doit être compris entre 2% et 10% du débit turbiné.

❖ *Dimensionnement de l'échancrure de dévalaison et de l'orifice sous la vanne*

À l'aval immédiat de la deuxième vanne de décharge, dans le tronçon renforcé, le canal a une profondeur de l'ordre de 55 cm. Compte-tenu de la hauteur de marnage théorique calculée et en prenant en compte une marge de sécurité, on peut considérer que la hauteur d'eau à cet endroit du canal demeure toujours comprise entre 25 cm et 55 cm, lors du fonctionnement de la centrale. On notera que cette analyse théorique, tend à majorer la fluctuation de la ligne d'eau (approche sécuritaire) par rapport à ce qui a été observé lors des visites sur site (niveau d'eau de l'ordre de 35 à 45 cm). Toutefois, le colmatage progressif du canal et les curages réguliers par l'exploitant sont également susceptibles de modifier la ligne d'eau.

Pour cette gamme de niveau d'eau, il est possible de calculer le débit passant sous la vanne en fonction de l'ouverture de la vanne :

La vanne étant dénoyée à l'aval, le débit passant sous la vanne peut être calculé à l'aide d'une loi d'orifice, en fonction de la hauteur d'eau dans le canal (voir annexe 1). En première approximation, on peut considérer dans ce cas un coefficient de débit de 0.6, ce qui permet de conserver une marge vis-à-vis du respect du débit réservé. En effet, la position de l'orifice en fond permet de supprimer une partie des décollements et le coefficient de débit est probablement légèrement supérieur. Dans ce contexte, pour une largeur de vanne de 0.5 m, le débit en fonction de la hauteur d'eau dans le canal et de l'ouverture de la vanne est représenté dans le tableau ci-après (voir Annexe 1) :

Hauteur d'eau au droit de la vanne (m)	0.45	0.5	0.55	0.6	0.65	0.7	0.75
Niveau d'eau dans le canal au droit de la vanne (m)	658.05	658.1	658.15	658.2	658.25	658.3	658.35
Niveau du fond du canal au droit de la vanne (m)	657.6	657.6	657.6	657.6	657.6	657.6	657.6
Ouverture sous la vanne de 0.1 m							
Débit passant par la vanne (l/s)	84	89	94	99	103	107	111
Ouverture sous la vanne de 0.12 m							
Débit passant par la vanne (l/s)	100	106	112	117	122	128	132
Ouverture sous la vanne de 0.15 m							
Débit passant par la vanne (l/s)	122	130	137	144	151	158	164

Pour ce qui est de l'échancrure, nous proposons de la placer 0.15 m au-dessus du fond du canal (côte 657.95 m), afin qu'elle soit toujours noyée par l'amont, en situation où l'usine turbine. En fonction de la largeur de l'échancrure et de la hauteur d'eau dans le canal, le débit de dévalaison est présenté dans le tableau ci-après (échancrure supposée dénoyée à l'aval et avec un coefficient de seuil de 0.4 – voir Annexe 1) :

Hauteur d'eau dans la section de canal confortée (m)	0.25	0.3	0.35	0.4	0.45	0.5	0.55
Niveau d'eau dans le canal au droit de l'échancrure (m)	658.05	658.1	658.15	658.2	658.25	658.3	658.35

Hauteur d'eau sur l'échancrure (m)	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4
Largeur de l'échancrure de 0.08 m							
Débit passant par l'échancrure (l/s)	4	8	13	18	23	29	36
Pourcentage du débit de dévalaison par rapport au débit turbiné (%)	3	4	5	6	6	7	7
Ouverture sous la vanne de 0.1 m							
Débit passant par l'échancrure (l/s)	6	10	16	22	29	37	45
Pourcentage du débit de dévalaison par rapport au débit turbiné (%)	4	5	6	7	8	9	9
Ouverture sous la vanne de 0.12 m							
Débit passant par l'échancrure (l/s)	7	12	19	27	35	44	54
Pourcentage du débit de dévalaison par rapport au débit turbiné (%)	4	6	7	9	10	10	11

On constate que la solution la moins pénalisante pour l'exploitant, tout en permettant de respecter le débit réservoir de 102 l/s, consisterait à maintenir une ouverture minimale de 12 cm sous la vanne, tout en dimensionnant une échancrure de dévalaison de 8 cm de largeur. On aurait alors les débits suivants :

Niveau d'eau dans le canal au droit de l'échancrure (m)	658.05	658.1	658.15	658.2	658.25	658.3	658.35
Débit passant par l'échancrure pour la dévalaison (l/s)	4	8	13	18	23	29	36
Pourcentage du débit de dévalaison par rapport au débit turbiné (%)	3	4	5	6	6	7	7
Débit passant par la vanne (l/s)	100	106	112	117	122	128	132
Débit total (l/s) : vanne + échancrure	104	114	125	135	145	157	168
Débit du canal vers la turbine (l/s)	155	204	255	310	367	425	485

Hors période d'exploitation de la centrale, la vanne sera totalement ouverte, ce qui permettra de respecter le débit réservé.

Afin de faciliter les contrôles ultérieurs des débits, nous proposons de placer deux échelles limnimétrique:

- une échelle dans le canal entre l'échancrure et la vanne, donnant le niveau d'eau dans le canal ;
- une échelle à l'aval immédiat de la vanne, permettant un contrôle facile de l'ouverture de celle-ci.

Une campagne de tarage devra être effectuée à la fin de la phase travaux pour s'assurer du respect des débits et du bon fonctionnement du dispositif. Elle servira à confirmer l'ouverture minimale à conserver sous la vanne.



Figure 9 : Vue de la vanne de décharge et localisation de l'échelle de contrôle.

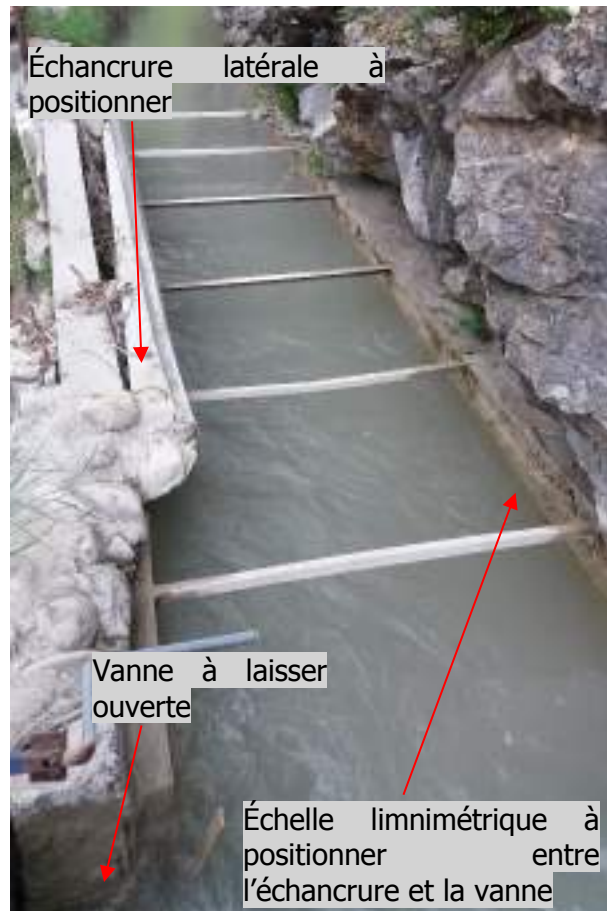


Figure 10 : Vue de la section du canal confortée à l'aval de la deuxième vanne de décharge.

❖ Dimensionnement de la grille

Une inclinaison minimale de 26° par rapport à l'horizontale et un espacement inter-barreaux maximum de 1 cm sont recommandés par l'AFB. Pour cet espacement, on peut envisager un degré d'obstruction global de 0.3 (+0.05 lié aux entretoises). Pour ces dimensions et des barreaux hydrodynamiques, il est possible de calculer la perte de charge au travers de la grille en fonction de son inclinaison (voir Annexe 2):

Inclinaison de la grille	26°
Longueur de grille nécessaire (m)	1.6
Perte de charge maximale pour un colmatage de 10% (cm)	1.1
Perte de charge maximale pour un colmatage de 50% (cm)	4.0
Vitesse normale au plan de grille (m/s)	0.3
<hr/>	
Inclinaison de la grille	20°
Longueur de grille nécessaire (m)	2.1
Perte de charge maximale pour un colmatage de 10% (cm)	1
Perte de charge maximale pour un colmatage de 50% (cm)	2.6
Vitesse normale au plan de grille (m/s)	0.24

Afin de limiter la perte de charge, nous proposons d'incliner la grille à 20°. Une plus faible inclinaison nécessiterait une longueur de grille importante et rendrait problématique l'entretien sous la grille. Pour ne pas impacter significativement le débit de prise, il s'agira pour l'exploitant de maintenir un taux de colmatage limité (inférieur à 50%). Les barreaux hydrodynamiques présenteront également l'avantage de faciliter le nettoyage de la grille. Le coefficient de Kirschmer des barreaux devra être précisé avant les travaux.

Au débit maximum turbinable, la vitesse normale au plan de grille V_N serait de l'ordre de 0.24 m/s, ce qui demeure inférieure aux préconisations pour la truite ($V_N < 0.5$ m/s). On notera en revanche que la vitesse d'approche moyenne dans la section du canal est alors de l'ordre de 0.7 m/s, soit légèrement supérieur à la vitesse de croisière des truites de 15 cm.

La grille devra être capable de résister à une charge d'au moins 1 m d'eau, en situation de colmatage complet.



Figure 11 : Zone d'installation de la grille.

❖ Dimensionnement de l'exutoire de dévalaison en aval de l'échancrure

En raison de la hauteur d'eau importante prévue sur l'échancrure prévue et afin d'éloigner les poissons de la paroi et pour leur permettre de plonger directement dans le cours d'eau, il paraît nécessaire d'implanter un bassin à l'aval, suivi d'une goulotte.

En aval de l'échancrure, un bassin de réception métallique sera donc placé, de dimension au sol 0.5 m*0.5 m et de 0.4 m de hauteur. Une nouvelle échancrure de 0.25 m de hauteur et 0.2 m de largeur permettra d'évacuer les poissons dans une goulotte inclinée vers le cours d'eau de 0.25 m de hauteur par 0.2 m de largeur et d'au moins 0.3 m de longueur.

La hauteur d'eau attendue dans le bassin est présentée en fonction de la hauteur d'eau dans l'échancrure amont :

Niveau d'eau sur l'échancrure amont (m)	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4
Débit de dévalaison (l/s)	4	8	13	18	23	29	36
Niveau d'eau sur l'échancrure aval (m)	0.05	0.08	0.11	0.14	0.16	0.19	0.22
Niveau d'eau dans le bassin (m)	0.2	0.23	0.26	0.29	0.31	0.34	0.37

L'installation de ce bassin et de cette goulotte nécessitera de reprendre le mur de soutènement entre la deuxième et la troisième vanne. Le mur sera repris intégralement en béton armé sur la zone où il s'est effondré. La reprise de ce mur nécessitera l'amenée d'un camion pompe pour le béton, le secteur étant difficilement accessible.

On notera qu'au vu des observations effectuées, la fosse de réception au pied de la deuxième vanne de décharge et du futur exutoire de dévalaison semble toujours être en eau (voir figures ci-après). En revanche, le lit évolue sans doute significativement dans le temps (fond composé de galets et de blocs) et il semble délicat de garantir une profondeur minimale de 1 m. On notera toutefois, qu'il existe également des risques des blessures pour les poissons au niveau de la chute d'eau naturelle. D'autre part, la dévalaison s'effectue principalement en période de hautes-eaux, pendant laquelle le matelas d'eau est plus important.



Figure 12 : Vue de la chute d'eau au niveau de la deuxième vanne et de la fosse de réception en pied (hautes-eaux à gauche et basses eaux à droite).

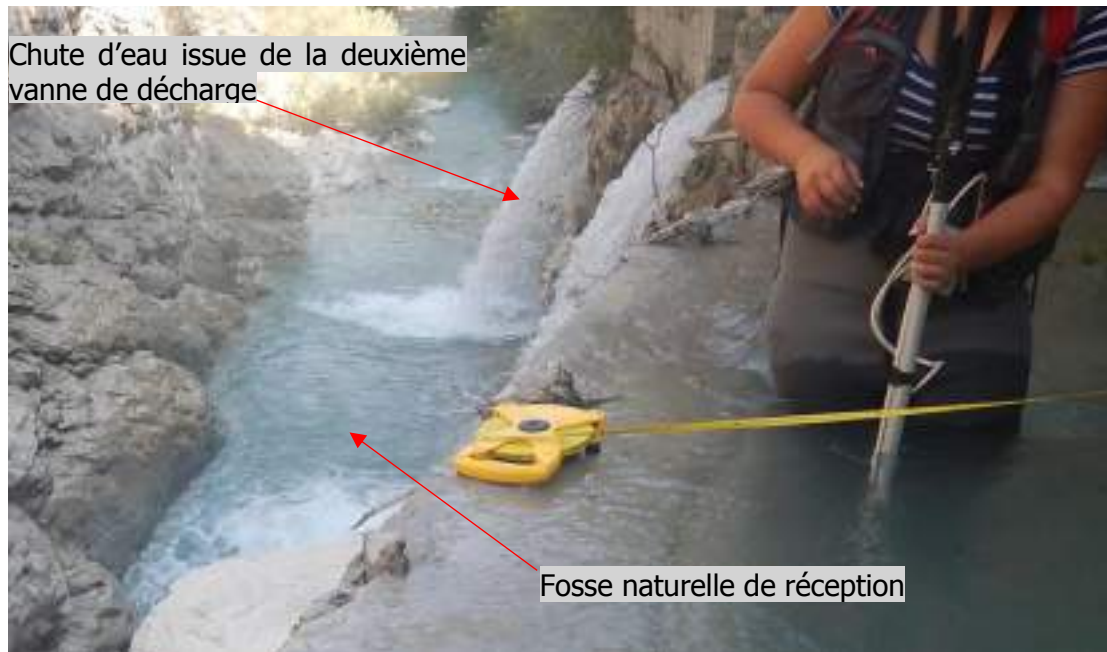


Figure 13 : Vue de la fosse de réception et des chutes sortant par les deux premières vanes de décharge.

3. IMPACTS

3.1. BILAN PAYSAGER

L'impact sera faible, les aménagements restant peu visibles, car situés dans une gorge encaissée. La grille ne sera visible que depuis le bord du canal. L'impact le plus important sera dû à la reprise du mur. Un parement en pierre pourrait être mis en place.

3.2. BILAN HYDROLOGIQUE

La vanne de décharge laissée ouverte et l'échancrure latérale permettront d'assurer le respect du débit réservé dans la Galange.

On notera que compte-tenu du fonctionnement actuel de l'aménagement (dérivation des eaux entre octobre et avril), le risque de non-respect du débit réservé retenu est très faible. En effet, durant la période d'exploitation, les débits moyens en rivière sont compris entre $0.85 \text{ m}^3/\text{s}$ et $1.65 \text{ m}^3/\text{s}$ et sont donc largement supérieurs à la somme du débit réservé et du débit dérivé ($0.102 \text{ m}^3/\text{s} + 0.35 \text{ m}^3/\text{s} = 0.45 \text{ m}^3/\text{s}$).

D'autre part, les nombreuses fuites au niveau du seuil de prise contribueront à augmenter significativement le débit sur le TCC de la Galange.

3.3. BILAN MORPHOLOGIQUE

L'aménagement n'aura pas d'impact important. La grille dans le canal de dérivation limitera le risque d'engravement du canal à l'aval. L'exploitant souligne toutefois, qu'à l'heure actuelle, seules les fines parviennent jusqu'à l'aval de la deuxième vanne de décharge. Le risque de colmatage de la grille par des graviers devrait donc demeurer modéré sous réserve de la bonne gestion par l'exploitant des vanes de décharge.

4. ENTRETIEN DES OUVRAGES

Il devra être veillé à ce que la vanne permettant le respect d'un débit réservé en rive gauche ne soit pas obstruée. L'absence d'obstruction de l'échancrure devra également être vérifiée.

La grille permettant d'éviter aux poissons de se retrouver dans le canal de dérivation devra également être régulièrement nettoyée afin de ne pas engendrer une perte de charge trop importante qui serait préjudiciable pour l'exploitant. Cet entretien sera similaire à celui qui doit être conduit sur la grille actuellement présente en tête de mise en charge.

5. MESURES D'EFFICACITÉ DES OUVRAGES

Au vu du faible impact de la prise d'eau sur la continuité piscicole, lié en grande partie à son mode de fonctionnement actuel, il n'est pas proposé de suivi de l'efficacité de l'ouvrage.

PARTIE 5 : DÉROULEMENT DES TRAVAUX

6. PÉRIODE DE RÉALISATION

Les travaux en rivière doivent être réalisés en tenant compte des débits du cours d'eau et des périodes de travaux autorisées (interdiction des travaux en rivière entre le 1^{er} novembre et le 1^{er} mars dans le département des Alpes de Haute-Provence). La période favorable se situe donc entre août et octobre, profitant de l'étiage estival et automnal.

7. ACCÈS AU SITE

L'accès au site est relativement compliqué en raison de l'encaissement de la prise d'eau et ne pourra se faire qu'à pied depuis le Moulin Marcel en longeant le bord du canal. Le béton devra être amené par camion pompe depuis la route.

8. DÉRIVATION DES EAUX ET PÊCHE DE SAUVETAGE

Les travaux s'effectueront en dehors du cours de la Galange. Aucune pêche de sauvetage ne paraît nécessaire. Une rapide investigation devra toutefois vérifier l'absence de poissons dans le canal avant la mise hors d'eau de celui-ci.

9. ASPECT RÉGLEMENTAIRE

Les travaux doivent être réalisés en conformité de la législation et notamment le code de l'environnement.

Il sera donc nécessaire de faire un point avec la DDT des Alpes de Haute-Provence pour définir la procédure administrative liée à ces travaux.

PARTIE 6 : COÛT ESTIMATIF DES TRAVAUX

10. MÉTRÉS DU PROJET

Les métrés ont été réalisés sur la base des coupes types jointes en annexe. Ils sont présentés dans la colonne « Quantité » du devis ci-dessous.

11. DEVIS ESTIMATIF

Nous fournissons un chiffrage estimatif ci-dessous.

Reprise de la prise d'eau du Moulin Marcel				
DESCRIPTIF DES PRIX ET PRIX H.T. EN TOUTES LETTRES	Unité	Quantité	Prix unitaire HT en euros	Prix total HT en euros
<i>Échelles limnimétriques (fourniture et pose)</i>				
RÉFECTION du MUR incluant le coffrage, l'ancrage dans le rocher, le ferrailage, l'étude béton armé et l'amenée du béton par camion pompe – La fourniture et l'installation de l'échancrure, du bassin et de la goulotte de dévalaison est également incluse	forfait	1	15,000.00 €	15,000.00 €
ÉCHELLES LIMNIMÉTRIQUES (fourniture et pose)	forfait	2	200.00 €	400.00 €
GRILLE ICTHYOCOMPATIBLE (fourniture et pose)	forfait	1	5,000.00 €	5,000.00 €
TARAGE DES ÉCHELLES	forfait	1	1,500.00 €	1,500.00 €

TOTAL HT (€)	21,900.00 €
TVA (20%)	4,380.00 €
TOTAL TTC (€)	26,280.00 €

CONCLUSION

M. Marcel, propriétaire de la prise d'eau du moulin Marcel a missionné le bureau HYDRETTUES ALPES DU SUD pour la réalisation de l'avant-projet en vue du rétablissement de la continuité écologique sur le cours d'eau de la Galange au droit de la prise d'eau du Moulin Marcel.

Le présent rapport présente les grands axes du projet :

- Installation d'échelles limnimétriques au droit de la deuxième vanne de décharge du canal de dérivation et respect d'une ouverture minimale de la vanne;
- Installation d'une grille dans le canal de dérivation, à l'aval immédiat de la vanne de décharge, afin d'éviter aux poissons d'être dirigés vers la turbine ;
- Création d'une échancrure latérale entre la grille et la vanne afin d'assurer la dévalaison des poissons par le haut et confortement du mur de soutènement du canal.

ANNEXE

Annexe 1

Note de calcul : Débit au travers de l'orifice de débit réservé

Le débit sortant sous la vanne peut être calculé pour différentes hauteurs d'eau dans le canal à l'aide de la loi d'orifice suivante :

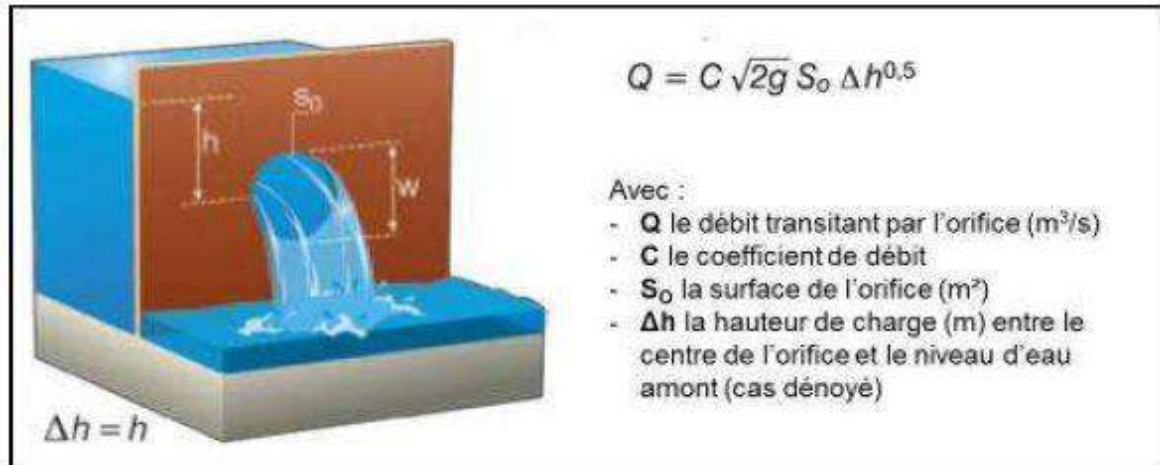


Figure 14 : Loi d'orifice pour le calcul du débit sous la vanne (Note technique sur la conception des dispositifs de restitution du débit minimal, Onema, 2014).

Le débit passant par l'échancrure de dévalaison peut être calculé pour différentes hauteurs d'eau dans le canal à l'aide de la loi de seuil suivante (section rectangulaire) :

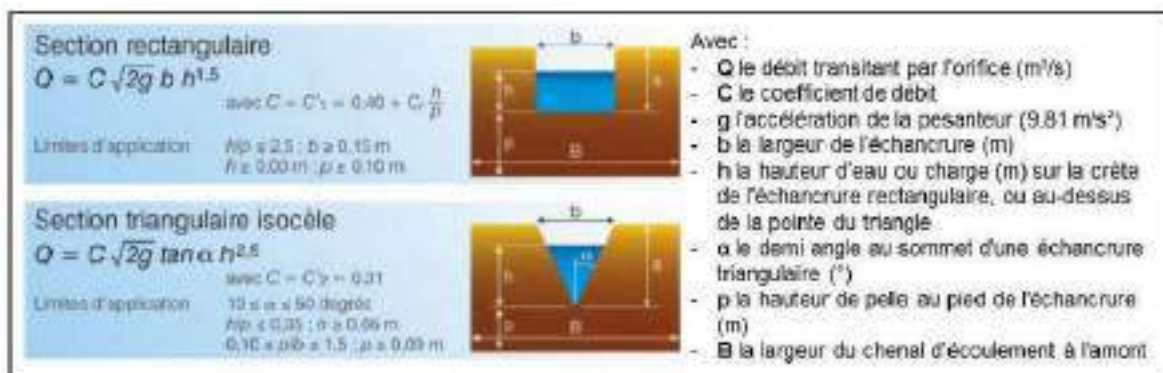


Figure 15 : Loi de seuil pour le calcul du débit passant par l'échancrure (Note technique sur la conception des dispositifs de restitution du débit minimal, Onema, 2014).

On notera que la perte de charge liée à la grille a été négligée dans les calculs des débits sous la vanne et au travers de l'orifice.

Annexe 2

Note de calcul : Grille ichtyocompatible

1. Grille inclinée :

La perte de charge au travers d'une grille inclinée à barreaux peut se calculer à l'aide de la formule suivante (Raynal, 2013) :

$$\Delta H = \frac{V^2}{2g} * \left[A * \left(\frac{O_b}{1 - O_b} \right)^{1.65} * \sin^2(\beta) + C * \left(\frac{O_{ent}}{1 - O_{ent}} \right)^{0.77} \right]$$

Où V est la vitesse, O_b l'obstruction transversale (barreaux et supports verticaux), O_{ent} l'obstruction des entretoises et supports latéraux, C un coefficient lié à la forme des éléments transversaux (C=1.79 pour des cylindres), A un coefficient lié à la forme des barreaux (2.1 pour des barreaux hydrodynamiques et 3.85 pour des barreaux rectangulaires).

La hauteur d'eau dans le canal en fonction du débit est calculée avec la relation de Manning-Strickler, en supposant un Strickler de 40 et une pente de 1/1000. Pour ce calcul, une largeur moyenne de 1.5 m est considérée pour le canal. On notera par contre qu'au droit du site de pose de la grille prévu, la largeur du canal n'est que de 1.15 m.

On suppose une obstruction transversale du plan de grille de 0.3 et une obstruction des entretoises de 0.05.

Grille inclinée à β=26° par rapport à l'horizontale (inclinaison maximale admise) :

Sont présentées ci-dessous les pertes de charge en fonction du taux de colmatage de la grille, pour un débit de 0.15 m³/s (débit minimum d'utilisation du canal) et un débit de 0.35 m³/s (débit maximal d'utilisation du canal).

Débit = 0.35 m ³ /s	Grille propre	Grille colmatée									
		5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%	45%	50%
Colmatage	0%	5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%	45%	50%
ΔH (cm)	0.8	0.9	1.0	1.1	1.3	1.5	1.8	2.1	2.6	3.2	4.0

La vitesse normale au plan de grille est de 0.3 m/s, pour une vitesse d'approche de 0.69 m/s.

Débit = 0.15 m ³ /s	Grille propre	Grille colmatée									
		5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%	45%	50%
Colmatage	0%	5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%	45%	50%
ΔH (cm)	0.5	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.1	1.3	1.6	2.0	2.5

La vitesse normale au plan de grille est de 0.24 m/s pour une vitesse d'approche de 0.54 m/s.

Grille inclinée à β=20° par rapport à l'horizontale :

Sont présentées ci-dessous les pertes de charge en fonction du taux de colmatage de la grille, pour un débit de 0.15 m³/s (débit minimum d'utilisation du canal) et un débit de 0.35 m³/s (débit maximal d'utilisation du canal).

Débit = 0.35 m ³ /s	Grille propre	Grille colmatée									
		5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%	45%	50%
Colmatage	0%	5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%	45%	50%
ΔH (cm)	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.3	1.5	1.8	2.1	2.6

La vitesse normale au plan de grille est de 0.24 m/s, pour une vitesse d'approche de 0.69 m/s.

Débit = 0.15 m ³ /s	Grille propre	Grille colmatée									
		5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%	45%	50%
Colmatage	0%	5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%	45%	50%
ΔH (cm)	0.4	0.4	0.5	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.1	1.3	1.6

La vitesse normale au plan de grille est de 0.19 m/s pour une vitesse d'approche de 0.54 m/s.

2. Grille orientée :

La perte de charge au travers d'une grille inclinée à barreaux peut se calculer à l'aide de la formule suivante (Raynal, 2013) :

$$\Delta H = \frac{V^2}{2g} * [A * \left(\frac{O}{1-O}\right)^{1.6} * (1 + C * \left(\frac{90-\alpha}{90}\right)^{2.35} * \left(\frac{1-O}{O}\right)^3)]$$

Où O est le degré d'obstruction global (entretoise, barreaux et colmatage), et A et C liés à la forme des barreaux.


Si l'on suppose une grille orientée à α=45° par rapport à la direction de l'écoulement (angle maximal à donner), et pour un même taux global d'obstruction de la grille, la perte de charge en fonction du colmatage peut être visualisée dans le tableau ci-dessous :

Débit = 0.35 m ³ /s	Grille propre	Grille colmatée									
		5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%	45%	50%
Colmatage	0%	5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%	45%	50%
ΔH (cm)	5.6	5.0	4.7	4.6	4.8	5.1	5.7	6.6	7.8	9.5	11.7

On note que la perte de charge est plus conséquente que dans le cas précédent.

La vitesse normale au plan de grille est de 0.3 m/s, pour une vitesse d'approche de 0.69 m/s.

Annexe 3


 Agence Hautes-Alpes
 Bât.2 - résidence Forest d'Entrais
 25 rue du Forest d'Entrais - 05 000 GAP
 Tél : 04.92.21.97.26
 Télécopie : 04.92.21.87.83
 E-mail : contact-gap@hydretudes.com

Vue en plan

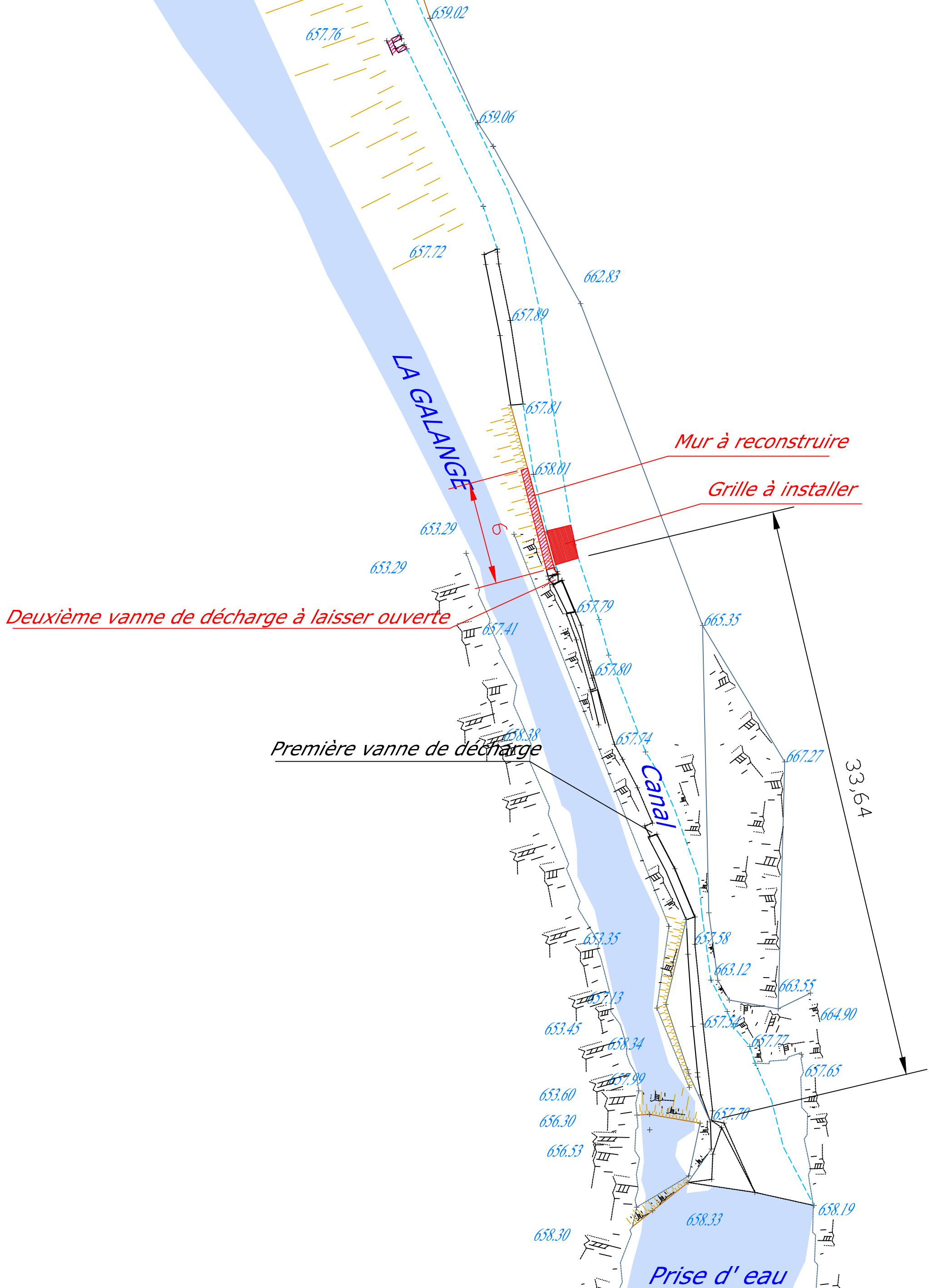
Christian Marcel :
Retablissement de la continuité écologique de la
Galange au droit de la prise de M. Marcel

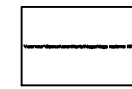
Affaire : GA17-076

Date : octobre 2018

Version : V2

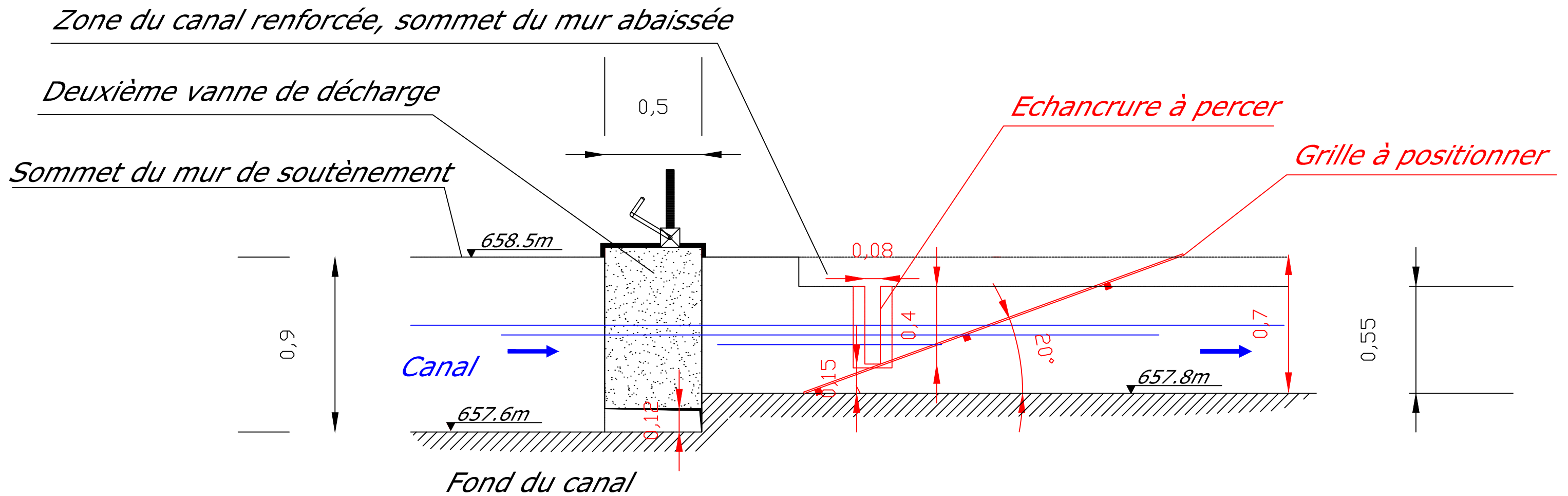
Echelle 1/200

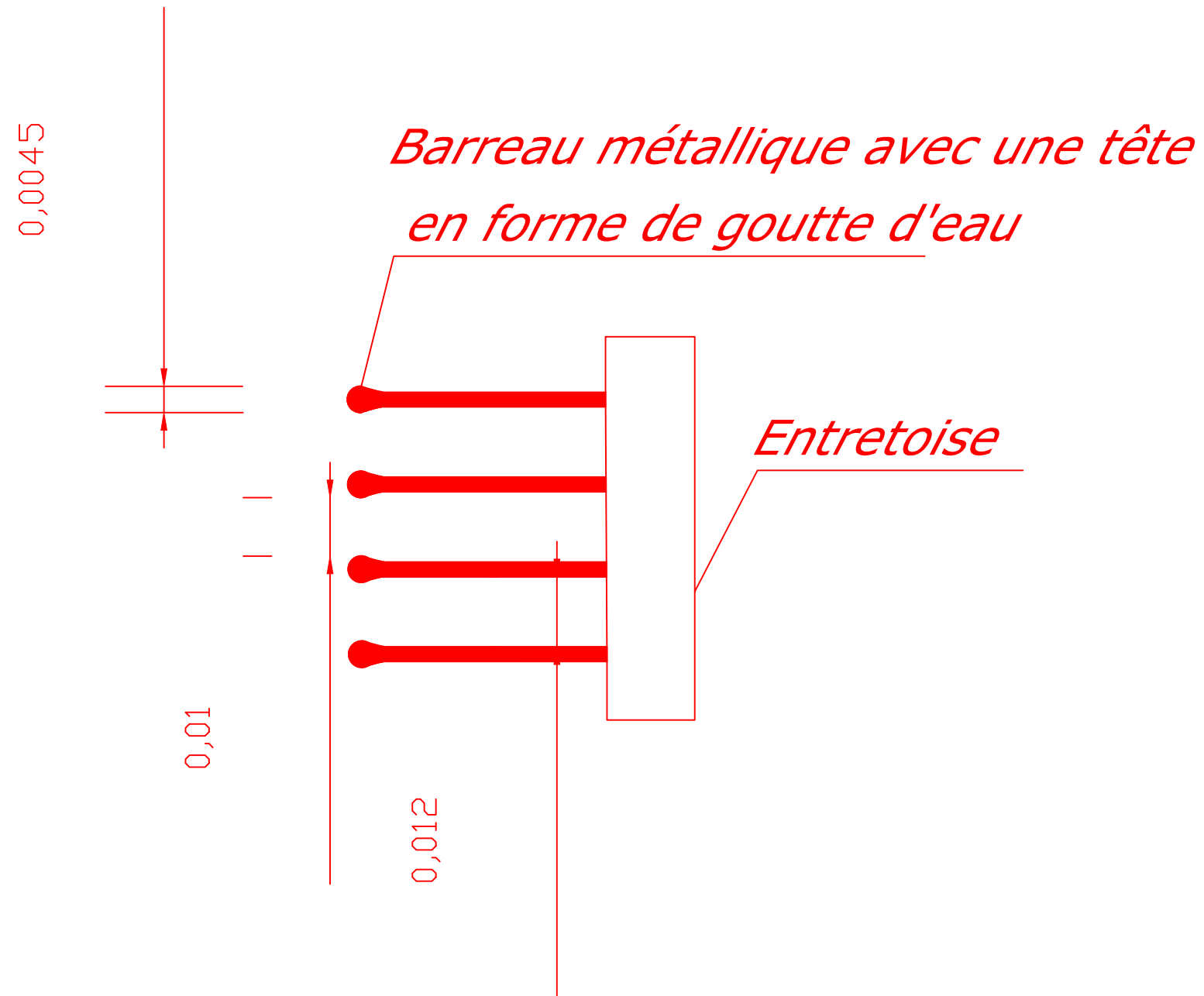




Agence Hautes-Alpes
Bât.2 - résidence Forest d'Entrais
25 rue du Forest d'Entrais - 05 000 GAP
Tél : 04.92.21.97.26
Télécopie : 04.92.21.87.83
E-mail : contact-gap@hydretudes.com

Christian Marcel :
Retablisement de la continuité écologique de la
Galange au droit de la prise de M. Marcel





Sondage piscicole du 19 juillet 2018

Identification

Station : Amont prise d'eau
 Localisation : Aval immédiat du pont Saint-Joseph
 Chenal : unique

Synthèse des résultats

Résultats bruts

Passage 1			Passage 2			Total		
Espèce	Effectif (nb)	Biomasse (g)	Espèce	Effectif (nb)	Biomasse (g)	Espèce	Effectif (nb)	Biomasse (g)
TRF	11	442					11	442
Total	11	442					11	442

Résultats estimés

Diversité : 1

Densités				
Espèce	Numérique absolue (nb/ha)	Pondérale absolue (Kg/ha)	Numérique relative	Pondérale relative
TRF	242	9,7	100,0%	100,0%
Total	242	9,7	100%	100%

Sondage piscicole du 19 juillet 2018

Identification

Station : Amont prise d'eau
 Localisation : Aval immédiat du pont Saint-Joseph
 Chenal : unique
 Coordonnées Lambert 2
 Xamont : 996052 Xaval : 995977,8 Pente (%) : 1,98
 Yamont : 6322690 Yaval : 6322732,9
 Zamont : 722 Zaval : 720

Description de la station

Faciès : Rapide/escalier - Mouille/chenal lotique
 Longueur (m) : 101,0
 Largeur (m) : 4,50
 Surface (m²) : 454,5
 Profondeur moyenne estimée (cm) : 20
 Granulométrie : B PFCGB

D : Dalle *GG : Grevier grossier*
B : Bloc *GF : gravier fin*
PG : Pierre grossière *S : Sable*
PF : Pierre fine *L : limon*
CG : cailloux grossier *V : vase*
CF : cailloux fin

Effort de pêche

Nombre d'électrode(s) : 1
 Nombre d'épuisette(s) : 2
 Personnel : 5

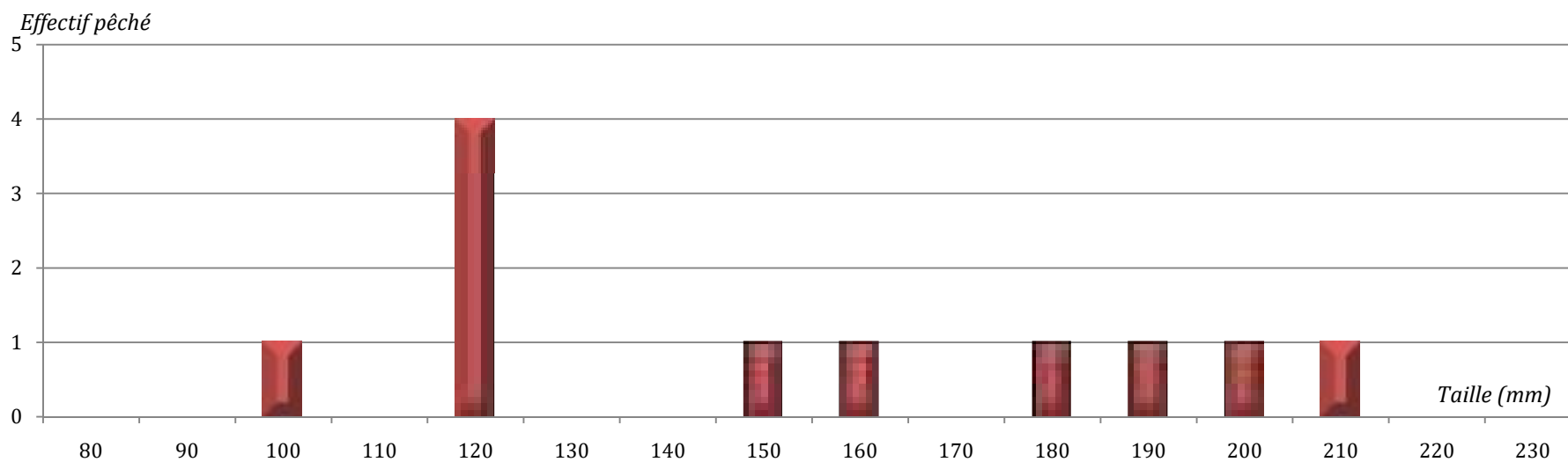
Passage	Espèce	Nb	Longueur (mm)	Poids (g)	Lot	Passage	Espèce	Nb	Longueur (mm)	Poids (g)	Lot
1	TRF	1	195	65							
1	TRF	1	182	60							
1	TRF	1	158	39							
1	TRF	1	211	105							
1	TRF	1	186	65							
1	TRF	1	116	16							
1	TRF	1	146	28							
1	TRF	1	117	17							
1	TRF	1	118	18							
1	TRF	1	119	19							
1	TRF	1	103	10							

Sondage piscicole du 19 juillet 2018

Identification

Station : Amont prise d'eau
Localisation : Aval immédiat du pont Saint-Joseph
Chenal : unique

Structures des populations



Sondage piscicole du 19 juillet 2018

Identification

Station : Aval prise d'eau
 Localisation : Amont immédiat de la Vaïre
 Chenal : unique

Synthèse des résultats

Résultats bruts

Passage 1			Passage 2			Total		
Espèce	Effectif (nb)	Biomasse (g)	Espèce	Effectif (nb)	Biomasse (g)	Espèce	Effectif (nb)	Biomasse (g)
TRF	25	836					25	836
ANG	4	655					4	655
Total	29	1 491					29	1 491

Résultats estimés

Diversité : 2

Densités				
Espèce	Numérique absolue (nb/ha)	Pondérale absolue (Kg/ha)	Numérique relative	Pondérale relative
TRF	243	8,1	86,2%	56,1%
ANG	39	6,4	13,8%	43,9%
Total	281	14,5	100%	100%

Sondage piscicole du 19 juillet 2018

Identification

Station : Aval prise d'eau
 Localisation : Amont immédiat de la Vaire
 Chenal : unique
 Coordonnées Lambert 2
 Xamont : 995631,9 Xaval : 995588,4 Pente (%) : 1,3
 Yamont : 6324113,9 Yaval : 6324266,1
 Zamont : 654,2 Zaval : 652

Description de la station

Faciès : Radier - chenal lotique
 Longueur (m) : 169,0
 Largeur (m) : 6,10
 Surface (m²) : 1030,9
 Profondeur moyenne estimée (cm) : 20
 Granulométrie : B PFCGB

D : Dalle GG : Grevier grossier
B : Bloc GF : gravier fin
PG : Pierre grossière S : Sable
PF : Pierre fine L : limon
CG : cailloux grossier V : vase
CF : cailloux fin

Effort de pêche

Nombre d'électrode(s) : 1
 Nombre d'épuisette(s) : 2
 Personnel : 5

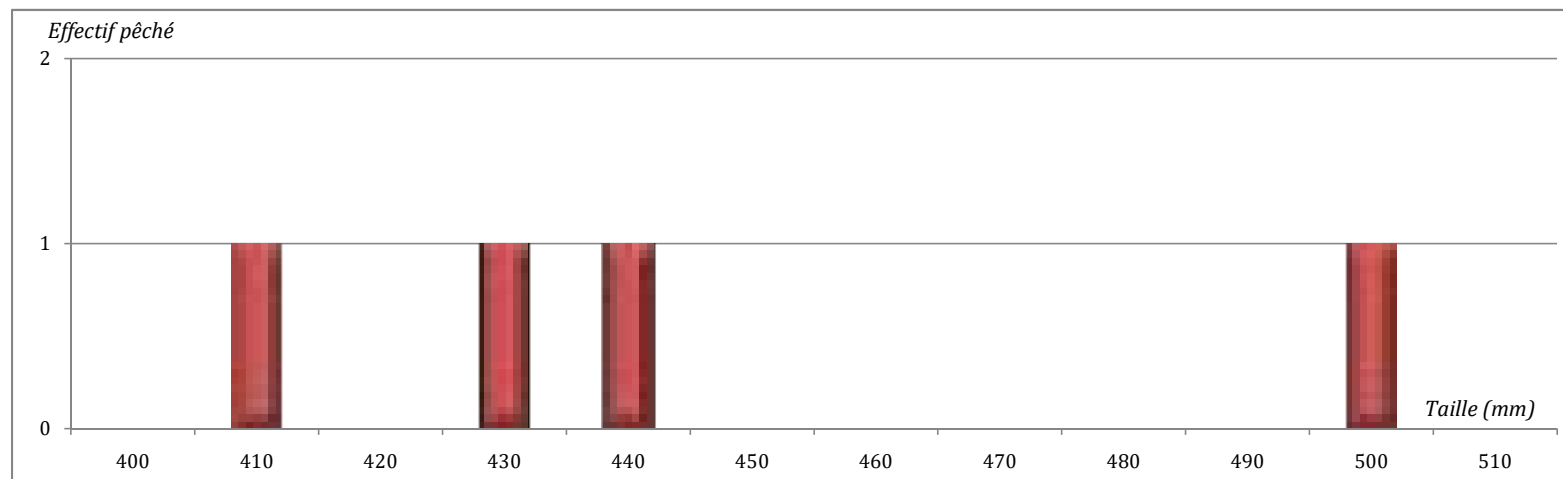
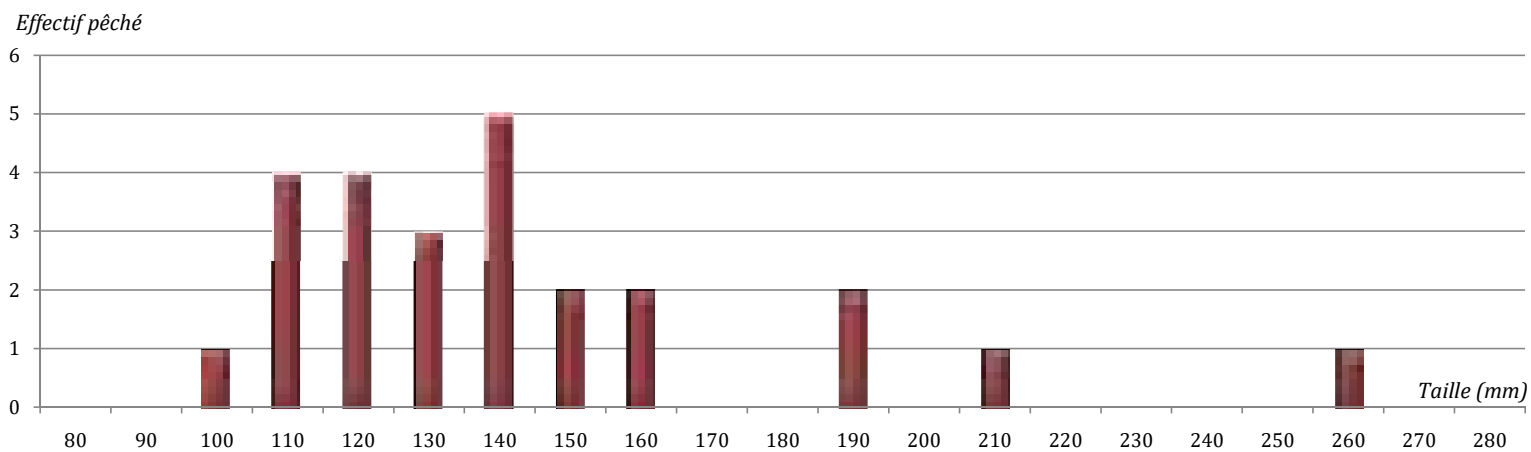
Passage	Espèce	Nb	Longueur (mm)	Poids (g)	Lot	Passage	Espèce	Nb	Longueur (mm)	Poids (g)	Lot
1	TRF	1	255	160			ANG	1	440	145	
1	TRF	1	130	24			ANG	1	500	268	
1	TRF	1	149	35			ANG	1	405	102	
1	TRF	1	137	28			ANG	1	430	140	
1	TRF	1	110	14							
1	TRF	1	156	38							
1	TRF	1	135	26							
1	TRF	1	187	65							
1	TRF	1	207	79							
1	TRF	1	192	61							
1	TRF	1	123	15							
1	TRF	1	134	23							
1	TRF	1	140	27							
1	TRF	1	151	36							
1	TRF	1	118	19							
1	TRF	1	155	36							
1	TRF	1	126	21							
1	TRF	1	124	17							
1	TRF	1	112	13							
1	TRF	1	144	26							
1	TRF	1	110	13							
1	TRF	1	100	10							
1	TRF	1	140	24							
1	TRF	1	122	16							
1	TRF	1	105	10							

Sondage piscicole du 19 juillet 2018

Identification

Station : Aval prise d'eau
Localisation : Amont immédiat de la Vaire
Chenal : unique

Structures des populations

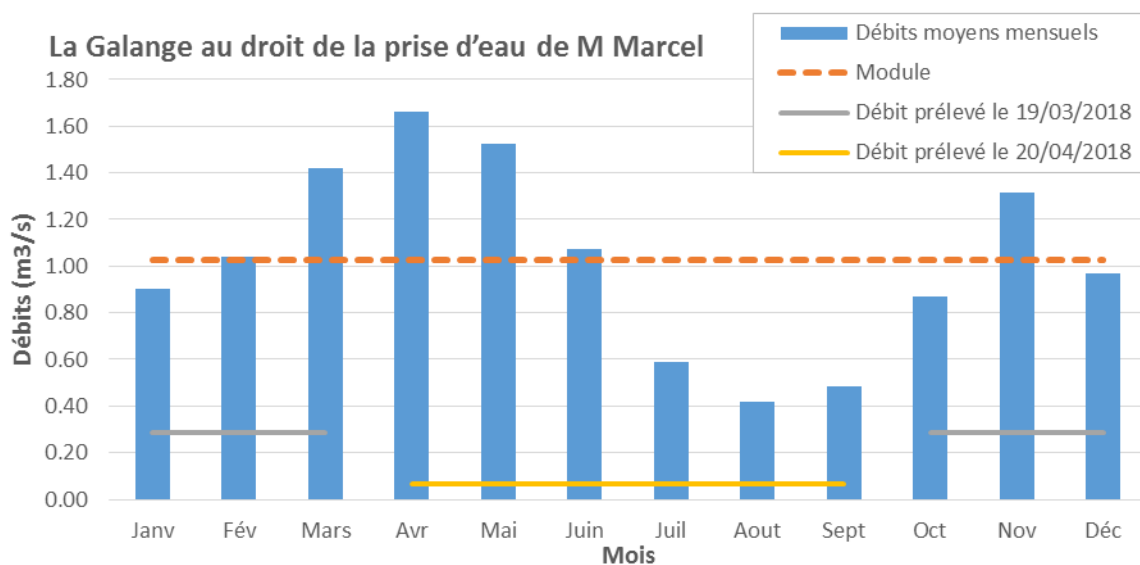


PARTIE 1 : HYDROLOGIE

Les débits moyens de la Galange au niveau de la prise d'eau ont été estimés, dans le cadre du diagnostic, à partir des mesures de débits effectuées sur la Vaïre au droit du pont des Scaffarels sur la période antérieure à 1978 et corrigés en prenant en compte l'hydraulicité des 10 dernières années.

Le débit moyen a été estimé à 1.02 m³/s. Les débits moyens mensuels sont présentés ci-dessous.

	Janv	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Déc
Débit moyen mensuel à l'amont (m³/s)	0.9	1.0	1.4	1.7	1.5	1.1	0.6	0.4	0.5	0.9	1.3	1.0
Débit moyen mensuel à l'aval de l'ouvrage (m³/s)	0.5	0.6	1	1.3	1.4	1	0.5	0.3	0.4	0.8	0.9	0.6



Les débits classés peuvent également être estimés à partir de la station de mesure du pont des Scaffarels.

Fréquence de dépassement	0.99	0.98	0.95	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	0.05	0.02	0.01
Débit (m³/s)	6.606	5.120	3.468	2.461	1.672	1.189	0.933	0.743	0.578	0.462	0.363	0.248	0.198	0.136	0.104

FONCTIONNEMENT DE LA PRISE D'EAU ET DE LA TURBINE

1. CANAL DE PRISE DANS L'ÉTAT ACTUEL

Le débit maximal de prise du canal a été estimé dans le cadre du diagnostic à partir de plusieurs sources :

- Un débit de 285 l/s a été mesuré en période de fonctionnement de la turbine, et en situation de vannes de décharges partiellement ouvertes (très hautes eaux dans la Galange).
- M. Marcel a précisé que la puissance maximale de la turbine lors du fonctionnement du moulin était de l'ordre de 200 Ch, ce qui est équivalent à 14,7 kW. A l'heure actuelle, un alternateur limite la production à 12 kW. En se basant sur des caractéristiques moyennes supposées de la turbine, un débit d'équipement de l'ordre de 300 l/s peut en être déduit.
- Compte-tenu des dimensions générales et de la pente du canal (1/1000), le débit capable serait de l'ordre de 700 l/s. On notera toutefois que le tronçon du canal conforté situé à l'aval de la deuxième vanne de décharge a fait l'objet d'une réduction de section, avec une profondeur de 0.55 m et une largeur de seulement 1.15 m. Selon les hypothèses retenues, la capacité réelle du canal en tenant compte de cette section serait comprise entre 350 et 450 l/s.

En l'état actuel, le débit maximal turbiné est probablement voisin de 350 l/s.

2. CANAL DE PRISE AMÉNAGÉ COMME PRÉVU DANS L'AVANT-PROJET

Dans le cadre de l'avant-projet, il est prévu de faire passer 100 à 130 l/s par la deuxième vanne de décharge et 5 à 35 l/s par l'échancrure de dévalaison. Compte-tenu de la configuration du canal, on peut considérer que seul le débit passant par l'échancrure doit être retranché au débit de prise actuel, en période de hautes-eaux. En effet, le canal limite le débit de prise à l'aval de la vanne de décharge.

En revanche, en période de basses eaux, la somme du débit passant sous la vanne et du débit au travers de l'échancrure doit être considéré comme perdu par l'exploitant, soit 105 à 165 l/s.

3. PLAGES DE FONCTIONNEMENT DE LA TURBINE

La turbine datant de 1940 est de type inconnue, mais probablement Banki ou Francis, le type Kaplan, plus adapté aux petites chutes, ne faisant son apparition en France qu'en 1960. Le rendement r est donc supposé très dépendant du débit, ce que confirme l'exploitant (voir figure ci-dessous).

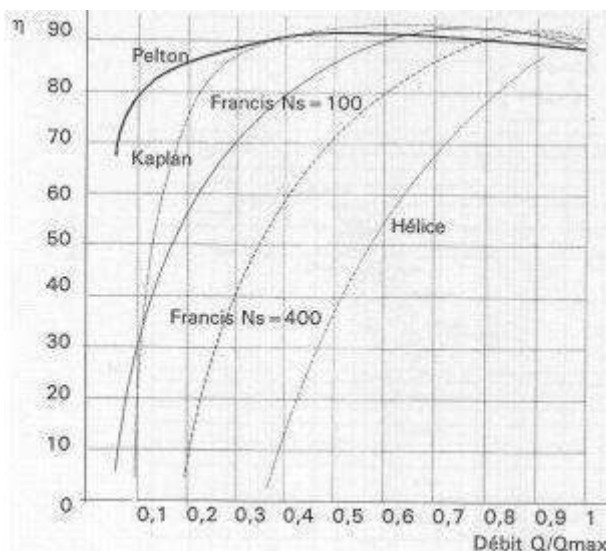


Figure 1 : Rendement de différents types de turbine en fonction du débit (Source : www.turbinealterateur.fr)

Le débit d'armement de la centrale serait de l'ordre de 40% du débit maximum sous l'hypothèse d'une turbine Francis, soit 130 à 150 l/s. En-dessous de ce débit, la centrale est en arrêt.

4. BILAN :

On pourra considérer qu'en période de moyennes et hautes-eaux de la Galange ($Q > 0.5 \text{ m}^3/\text{s}$), le débit dans le canal sera de l'ordre de 300 à 350 l/s. Pour un débit de la Galange inférieur à environ 150 l/s, la centrale sera en arrêt. Cette valeur ne peut toutefois être qu'une estimation, compte tenu des pertes qui ont lieu au niveau du seuil.

PRODUCTION ÉLECTRIQUE

La puissance produite se calcule comme :

$$P = r.H.g.Q$$

Où P est la puissance en kW

R le rendement de la turbine

H le dénivelé, prenant en compte les pertes de charge

g la constante gravitationnelle (9.81)

L'Énergie produite se calcule comme :

$$E = P.t.\alpha$$

Où E est l'énergie produite en kWh

T le temps en heures

α le rendement du générateur

Au vu des nombreuses sources d'incertitudes, 2 hypothèses sont posées, une hypothèse plutôt pessimiste (dans laquelle les fuites sont notamment majorées) et une hypothèse plutôt optimiste.

Les hypothèses sont décrites ci-après :

5. HYPOTHÈSE PESSIMISTE :

On considère les paramètres suivants :

Chute d'eau (m)	6 m
Rendement maximal de la turbine	0.8
Rendement du générateur	0.9
Débit d'équipement (l/s)	300

La puissance produite peut être estimée pour les débits classés suivants :

Fréquence de dépassement	0.01	0.02	0.05	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
Débit de la Galange (m3/s)	6.606	5.120	3.468	2.461	1.672	1.189	0.933	0.743	0.578	0.462	0.363	0.248
Débit turbiné (m3/s)	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0	0
Rendement de la turbine	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.5		
Puissance kW	14.1	14.1	14.1	14.1	14.1	14.1	14.1	14.1	14.1	5.9	0.0	0.0

L'Énergie globale produite sur une année serait de l'ordre de 71.5 MWh.

6. HYPOTHÈSE OPTIMISTE :

On considère les paramètres suivants :

Chute d'eau (m)	7 m
Rendement maximal de la turbine	0.9
Rendement du générateur	0.95
Débit d'équipement (l/s)	350

La puissance produite peut être estimée pour les débits classés suivants :

Fréquence de dépassement	0.01	0.02	0.05	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
Débit de la Galange (m3/s)	6.606	5.120	3.468	2.461	1.672	1.189	0.933	0.743	0.578	0.462	0.363	0.248
Débit turbiné (m3/s)	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.25	0.15	0
Rendement de la turbine	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.5	
Puissance kW	18.5	18.5	18.5	18.5	18.5	18.5	18.5	18.5	18.5	13.2	4.4	18.5

L'Énergie globale produite sur une année serait de l'ordre de 107.2 MWh.

7. BILAN :

Les incertitudes demeurent nombreuses, tant sur le débit moyen de prise, que sur la hauteur de chute réelle ou sur le rendement de la turbine. L'énergie globale productible semble toutefois être comprise entre 71 et 107 MWh.

On notera que selon M Marcel, la production électrique en fonctionnement normal à l'époque du Moulin à farine était de 14.7 kW, soit plutôt voisine de l'hypothèse pessimiste.

ESTIMATION DE LA RECETTE POUR L'EXPLOITANT :

La recette est liée à la vente de l'électricité produite sur le réseau, par l'intermédiaire d'une obligation d'achat du fournisseur historique. Ces tarifs sont fixes par décret et mis à jour annuellement (voir annexe n° 1 de l'arrête du 13 décembre 2016 « *fixant les conditions d'achat et du complément de rémunération pour l'électricité produite par les installations utilisant l'énergie hydraulique des lacs, des cours d'eau et des eaux captées gravitairement* »).

Deux types de tarif peuvent être pris en considération pour les ouvrages de basse chute :

- Tarif a une composante :

Tarif annuel : 132 € HT / MWh

- Tarif a 2 composantes :

Tarif hiver du 1er novembre au 31 mars : 182 € HT / MWh

Tarif été du 1er avril au 31 octobre : 96 € HT / MWh

On notera que ces tarifs sont susceptibles de subir des actualisations.

7.1.1. Tarif à 1 composante :

Le gain financier annuel pour l'exploitant serait de 9 433 € selon l'hypothèse pessimiste et de 14 160 € selon l'hypothèse optimiste.

7.1.2. Tarif à 2 composantes :

Le calcul du gain pour l'exploitant est plus compliqué si l'on considère ce tarif, la répartition des différents débits classés étant inconnue dans l'année. Toutefois, ce tarif devrait être favorable à l'exploitant, car la courbe des débits mensuels montre que les basses eaux sont principalement observées en été.

Le gain financier annuel pour l'exploitant serait probablement compris entre 10 000 € et 15 000 €.

7.1.3. Raccordement au réseau électrique :

Pour le coût de raccordement de la production au réseau électrique, il est nécessaire de se rapprocher d'Enedis (se référer au Mode d'emploi pour raccorder son installation de production de puissance inférieure ou égale à 36 kVA). Compte tenu du fait que l'ancien moulin possède déjà une alimentation électrique, le coût devrait rester modéré.