



ETUDE DE CONCEPTION ET DE DIMENSIONNEMENT DE DISPOSITIFS DE DIVERSIFICATION DES HABITATS PISCICOLES EN SECTEUR ENDIGUE SUR LE BORNE AVAL

01642402 | Septembre 2018 | Version finale





Le Crystallin
191/193 Cours Lafayette
CS 20 087
69458 – LYON cedex 06
Email : lyon@hydra.setec.fr
T : 04.27.85.48.80

Responsable de l'étude : SYW

N°FUSO : 01642402

Fichier :
42402_SM3A_Amenagements_piscicoles_Borne_VF(0
9 2018).docx

Version	Date	Etabli par	Vérifié par	Nb pages	Observations / Visa
1	04/06/2018	AYD JPM SYW	SYW	42	
2	06/07/2018	AYD JPM SYW	SYW DUC	68	
3	04/09/2018	AYD JPM SYW	SYW DUC	70	Version finale

TABLE DES MATIERES

1	CONTEXTE ET OBJET DE L'ÉTUDE	6
2	MODELISATION HYDRAULIQUE DE L'ETAT DE REFERENCE.....	7
2.1	Objet de la modélisation.....	7
2.2	Présentation du logiciel de modélisation.....	7
2.2.1	Le logiciel hydra.....	7
2.2.2	Structure du modèle	8
2.3	Construction du modèle hydraulique	9
2.3.1	Périmètre modélisé.....	9
2.3.2	Données	10
2.3.3	Architecture du modèle.....	11
2.3.4	Conditions aux limites.....	14
2.4	Modélisation en situation de référence	14
2.4.1	Profils en long.....	14
2.4.2	Comparaison avec la ligne d'eau CNR pour la crue décennale	16
2.4.3	Aléa.....	17
3	ANALYSE DE LA CAPACITE D'ACCUEIL ACTUELLE DES MILIEUX.....	19
3.1	Philosophie de la méthode des microhabitats	19
3.2	Utilisation des modèles biologiques	21
3.3	Présentation des espèces cibles	22
3.3.1	La truite fario.....	22
3.3.2	Le chabot	23
3.4	Résultats : évolution des VHA et paramètres limitants.....	25
3.4.1	Cas de la truite fario	25
3.4.2	Cas du chabot.....	29
4	ANALYSE DIACHRONIQUE SOMMAIRE.....	33
5	PROPOSITION DE SCÉNARIOS D'AMÉNAGEMENTS	38
5.1	Rappels des objectifs	38
5.2	Modélisation hydraulique des aménagements « type » envisagés.....	39
5.2.1	Définition des scénarios unitaires.....	39
5.2.2	Résultats des modélisations.....	41
5.3	Synthèse	50
6	SCÉNARIO D'AMÉNAGEMENT RETENU.....	52
6.1	Principes retenus	52
6.2	Dimensionnement des aménagements	53

6.2.1	Dimensionnement des banquettes.....	53
6.2.2	Dimensionnement des épis	55
6.2.3	Blocométrie.....	55
6.3	Présentation du détail du projet.....	56
6.3.1	Banquettes.....	57
6.3.2	Epis.....	58
6.3.3	Fosses et recharge sédimentaire.....	58
6.3.4	Micro-seuils.....	59
6.3.5	Amas de blocs (caches)	59
6.3.6	Modalités de mise en œuvre	59
6.3.7	Vue d'ensemble des aménagements projetés.....	59
6.4	Résultats des modélisations des aménagements retenus	62
6.5	Chiffrage estimatif.....	66
6.5.1	Tronçon à l'amont du pont de la RD1203	67
6.5.2	Tronçons à l'aval du pont de la RD1203	68
6.6	Suivi des aménagements	69
ANNEXES	70

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Figure 2-1 : Emprise du modèle hydraulique du Borne aval	9
Figure 2-2 : Relevé Lidar du Borne en aval du pont de l'autoroute A40	10
Figure 2-3 : Relevés LIDAR 2015 au droit des seuils.....	11
Figure 2-4 : Exemple de localisation de lignes de contraintes sur un profil en travers type en rive gauche du Borne	12
Figure 2-5 : Maillage 2D au droit du pont de l'avenue Ravel.....	12
Figure 2-6 : Substrat du Borne aval	13
Figure 2-7 : Profils en long : hauteurs d'eau pour l'état actuel et hauteur de crête des digues....	15
Figure 2-8 : Ligne d'eau CNR et ligne d'eau hydratec pour Q10.....	16
Figure 2-9 : Importance relative des classes de hauteur d'eau (gauche) et de vitesse du courant (droite) en fonction du débit sur la partie aval du Borne.....	18
Figure 3-1 : Principes de la méthode des microhabitats (source : Cemagref)	19
Figure 3-2 : Courbes de préférences de la truite issues du logiciel EVHA.....	23
Figure 3-3 : Courbes de préférences du chabot (d'après Lamouroux et Capra, 2002).	24
Figure 3-4 : classes de VHA et code couleur associé	25
Figure 3-5 : zoom sur la partie du Borne située à l'aval du pont de l'autoroute – VHA du juvénile de truite au QMNA5.....	25

Figure 3-6 : cartographie des valeurs d'habitat des mailles du modèle pour différents débits (colonne) et les stades alevin, juvénile et adulte de la truite fario (lignes)	26
Figure 3-7 : Valeurs d'habitat associées à la hauteur d'eau (H), la vitesse du courant (V) et la granulométrie du substrat (S) pour les trois stades de développement de la truite fario (colonne) et pour six classes de débit (lignes).....	27
Figure 3-8 : zoom sur le Borne au niveau du pont Royal – VHA du chabot au module.....	29
Figure 3-9 : cartographie des valeurs d'habitat des mailles du modèle pour différents débits et les préférences du chabot.....	30
Figure 3-10 : Valeurs d'habitat associées à la hauteur d'eau (H), la vitesse du courant (V) et la granulométrie du substrat (S) du chabot pour six classes de débit.....	31
Figure 4-1 : « Plan relatif aux Corruzions du torrent de Bornes dez son débouché des montagnes ou du pont de Rumilly sous Cornillon jusques en Arve et aux travaux en Dignes Canal et Chaussées » 1766.....	33
Figure 4-2 : Largeurs du lit mineur mouillé le 26/07/1956 et le 19/07/1995 (source Géoportail)..	34
Figure 4-3 : Longueur de bancs sédimentaires le 26/07/1956 et le 19/07/1995 (source IGN)	35
Figure 4-4 : Etendue des bancs alluviaux non végétalisés le 26/07/1956 (limites en rouge) sur fond orthophotographique de 2015.....	36
Figure 5-1 : Impacts des aménagements des scénarios 1a et 1b sur la ligne d'eau	42
Figure 5-2 : Carte d'impacts des hauteurs et vitesses pour le débit QMNA5 – scénarios 1a et 1b	43
Figure 5-3 : Impacts des aménagements des scénarios 2a, 2b, et 2c sur la ligne d'eau	44
Figure 5-4 : Carte d'impacts des hauteurs et vitesses pour le débit QMNA5 – scénarios 2a et 2b	46
Figure 5-5 : Carte d'impacts des hauteurs et vitesses pour le débit QMNA5 – scénario 2c.....	47
Figure 5-6 : Impacts des aménagements du scénario 3c sur la ligne d'eau	48
Figure 5-7 : Carte d'impacts des hauteurs et vitesses pour le débit QMNA5 – scénario 3c.....	49
Figure 5-8 : Synthèse des impacts des différents scénarios	50
Figure 6-1 : Bilan des captures réalisées au niveau de la station du RCS située sur le Borne à St-Pierre en Faucigny – Source AFB.....	53
Figure 6-2 : Courbe des débits classés du Borne - source : HTV	54
Figure 6-3 : Courbes de tarage en différents points du modèle – scénario 1	55
Figure 6-4 : Principe du motif alterné.....	57
Figure 6-5 : Exemple d'agencement de blocs avec anfractuosités submergées	58
Figure 6-6 : Vue en plan et profils en travers et en long des aménagements retenus.....	61
Figure 6-7 : Impacts des aménagements du scénario final sur la ligne d'eau	62
Figure 6-8 : Carte d'impacts des hauteurs et vitesses pour le débit et le module.....	64
Figure 6-9 : Carte d'impacts des hauteurs et vitesses pour Q5 et Q10	65

1 CONTEXTE ET OBJET DE L'ÉTUDE

La présente mission ressort du volet travaux du Contrat Vert et Bleu « Arve Porte des Alpes », outil financier de la Région Auvergne Rhône Alpes porté par le SM3A sur son territoire.

Elle vise l'étude de la faisabilité d'aménagements de restauration du lit mineur du Borne aval et la définition des aménagements au stade Projet. Elle doit notamment fournir les éléments nécessaires à l'élaboration des dossiers réglementaires à élaborer avant d'engager les travaux.

Le contexte endigué, non remis en cause (existence et emplacement des digues), impose de ne travailler que dans le lit mineur actuel du cours d'eau. L'intérêt du cours d'eau mais aussi du continuum boisé des terrasses alluviales sont reconnus.

La chenalisation du cours d'eau, dont le tracé est d'origine artificielle sur ce secteur, offre actuellement un milieu très uniforme et de faible profondeur. L'enjeu pour la faune piscicole est important et justifie des aménagements de diversification qui auront en particulier pour vocation de favoriser le déplacement des poissons sur le linéaire, et de permettre leur reproduction localement. Il s'agit donc d'améliorer globalement la qualité des habitats aquatiques des différents tronçons homogènes préalablement définis.

2 MODELISATION HYDRAULIQUE DE L'ETAT DE REFERENCE

2.1 OBJET DE LA MODELISATION

Afin d'évaluer l'impact des aménagements sur le compartiment piscicole et de connaître les contraintes générées par ces aménagements en pied de digue, il convient de réaliser un modèle hydraulique suffisamment fin pour préciser la répartition des flux et les conditions d'écoulements en lit mineur.

Les objectifs de la modélisation sont les suivants :

- Dimensionner les ouvrages de renaturation du lit selon le niveau dit « R1 » (nomenclature des opérations de restauration hydromorphologique de l'Agence de l'Eau), pour obtenir une connectivité piscicole et une fonctionnalité optimale ;
- Evaluer l'effet attendu de la renaturation des trois tronçons sur l'hydraulique du cours d'eau pour ses débits les plus courants, afin de vérifier la pertinence des aménagements envisagés ;
- Estimer l'impact des aménagements sur le fil d'eau, et donc sur l'amélioration des habitats piscicoles, notamment en période d'étiage ;
- Mesurer la transparence hydraulique des aménagements projetés pour les épisodes de crues ;
- S'assurer de la compatibilité des aménagements projetés avec la réglementation relative aux ouvrages hydrauliques présents sur les deux rives du cours d'eau.

Le présent chapitre décrit le modèle hydraulique utilisé pour réaliser l'étude de faisabilité des aménagements.

2.2 PRESENTATION DU LOGICIEL DE MODÉLISATION

La modélisation numérique (hydrologique et hydraulique) est réalisée à l'aide du logiciel **hydra**, développé par Setec Hydratec.

2.2.1 Le logiciel hydra

hydra est un outil complet de modélisation du cycle de l'eau, intégré dans un SIG open source.

hydra est un outil de modélisation hydraulique adapté aux enjeux des gestionnaires publics et aux besoins des bureaux d'étude en ingénierie de l'eau.



Ses atouts sont nombreux :

- De vastes domaines d'application : **hydra** répond aux grands enjeux de l'eau : gestion de la ressource, prévention et protection contre les inondations, qualité de l'eau, prévision et gestion de crise, etc.
- Une interface 100% SIG : **hydra** bénéficie de l'ergonomie et des fonctionnalités de QGIS, ainsi que de l'ensemble des données spatiales, géographiques et topographiques disponibles au format SIG.
- Des fonctionnalités innovantes : Le modélisateur dispose d'une large palette d'outils et de méthodes constructives pour adapter son modèle aux enjeux et objectifs attendus et en visualiser facilement les résultats.
- Un moteur de calcul performant : **hydra** dispose d'un moteur de calcul précis, rapide et robuste basé sur une formulation aux volumes finis.

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

- les termes de volumes et d'inertie attachés aux nœuds de calcul élargis aux objets de stockage.
- les termes d'échanges de flux (débits, quantités de mouvements) entre les nœuds.
- A chaque pas de temps les équations discrétisées expriment l'égalité entre les variations des termes de volumes et d'inertie et les flux rentrant et sortant dans chaque nœud.

2.2.2 Structure du modèle

Principes de schématisation : coexistence des différents domaines au sein du même modèle

Le mode de schématisation hydraulique est adapté aux spécificités des différents secteurs : contexte morphologique, présence de digues, enjeux...etc. **hydra** intègre quatre types de schématisation qui peuvent coexister au sein d'un même modèle :

- le domaine filaire : l'écoulement le long d'un bief de rivière ou de vallée inondable est caractérisé par une direction privilégiée suivant son axe longitudinal ; la vallée est décrite par des profils en travers, distinguant le lit mineur, le lit majeur actif participant à l'écoulement de crue, et le lit majeur d'expansion. Outre les équations des tronçons de vallée, ce domaine peut aussi inclure des sections fermées, représentant des tronçons de cours d'eau canalisé en souterrain ou des collecteurs.
- le domaine multifilaire : plusieurs biefs filaires en parallèle, quand deux cours d'eau cheminent dans la même vallée par exemple.
- le domaine bidimensionnel : il s'applique aux zones avec écoulement fortement bidimensionnel, décrites par une topographie détaillée qui permet de restituer notamment la carte des vitesses locales (fortes différences entre une rive et l'autre de la vallée).
- le domaine casier : il correspond à la zone d'accumulation dans le lit majeur où la vitesse moyenne est faible. Ses contours s'appuient sur la topographie

naturelle ou sur des obstacles artificiels à l'écoulement des eaux (remblais, digues).

- le domaine des zones urbaines inondables (ZUI) : il schématise certains milieux urbains inondables pour lesquels les rues forment des axes privilégiés d'écoulements entre des rangées de bâtiments (chenalisation des eaux débordées dans les rues).

L'ensemble de ces modes de schématisation peuvent interférer hydrauliquement par l'intermédiaire des liaisons latérales qui les connectent. Ces liaisons peuvent être de différents types, selon les lois d'échange de débit adaptées (orifice, frottement, seuil...etc.).

2.3 CONSTRUCTION DU MODÈLE HYDRAULIQUE

2.3.1 Périmètre modélisé

Le modèle s'étend depuis une centaine de mètres à l'amont du pont de l'autoroute A40, jusqu'à la confluence Borne / Arve, sur les communes de Bonneville et de Saint-Pierre-en-Faucigny :

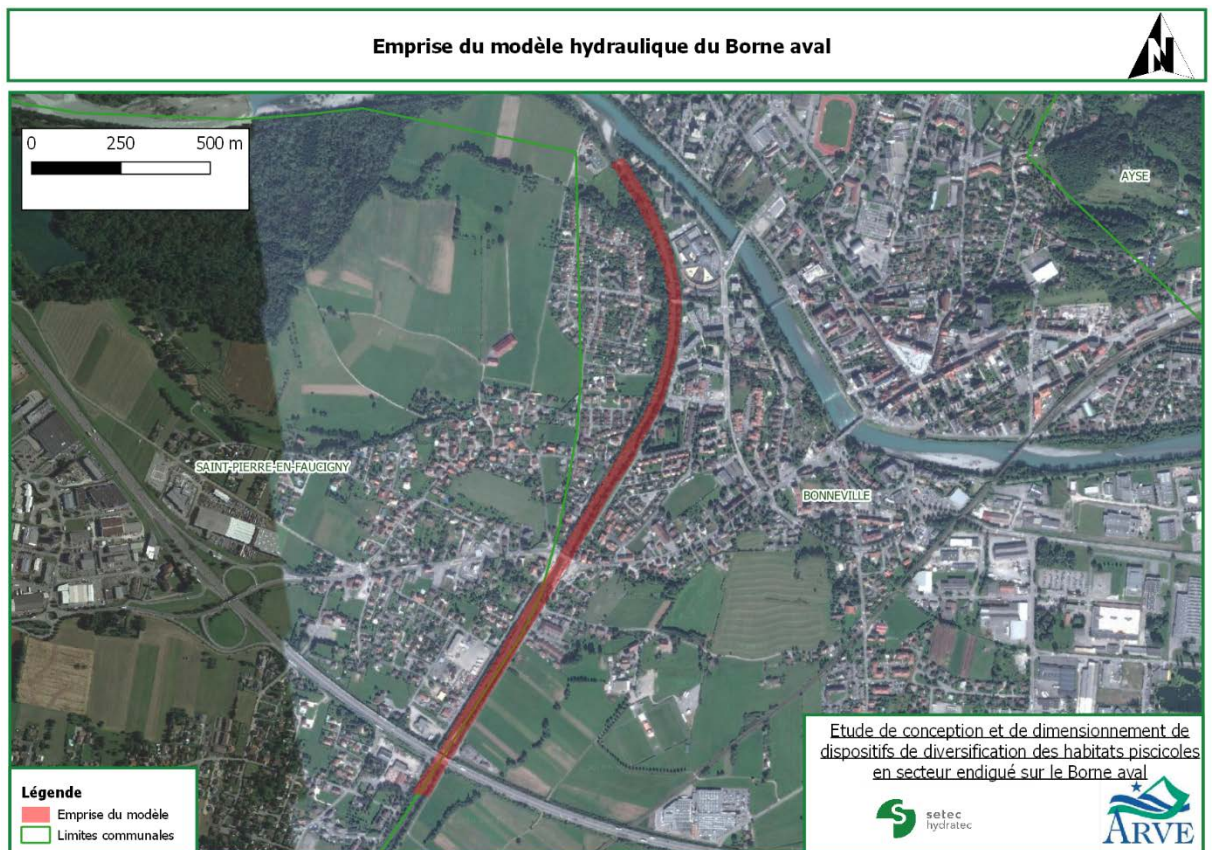


Figure 2-1 : Emprise du modèle hydraulique du Borne aval

2.3.2 Données

Bibliographie

La construction et le calage du modèle hydraulique se sont appuyés sur les études suivantes :

- Etude hydraulique et hydromorphologique du Borne, volet 1 à 5 (HTV, 2016)
- Etude préalable aux aménagements du Borne aval (Hepia, 2015)

Topographie

Le lit mineur a été décrit à partir du relevé topographique par la méthode LIDAR 2015 aéroporté permettant d'obtenir un MNT (Modèle Numérique de Terrain) complet.

Compte tenu du niveau de précision attendu, les profils en travers du Borne, levés en 2017 par le cabinet Sintégra, n'ont pas été intégrés au modèle (profils tous les 50 mètres environs).

Malgré une incertitude sur la bathymétrie des fonds en eau lors du levé, le LIDAR 2015 permet de mieux tenir compte des irrégularités des plages de dépôts du Borne et de disposer d'une description complète et continue du lit au pas 1 m.

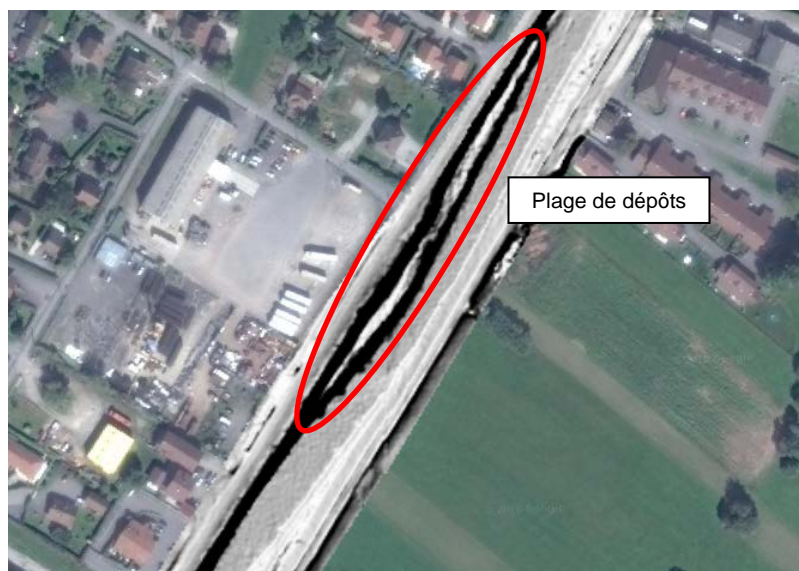


Figure 2-2 : Relevé Lidar du Borne en aval du pont de l'autoroute A40

Ouvrages

La géométrie des seuils est directement extraite du MNT utilisé pour construire le modèle, comme le montrent les exemples ci-après.

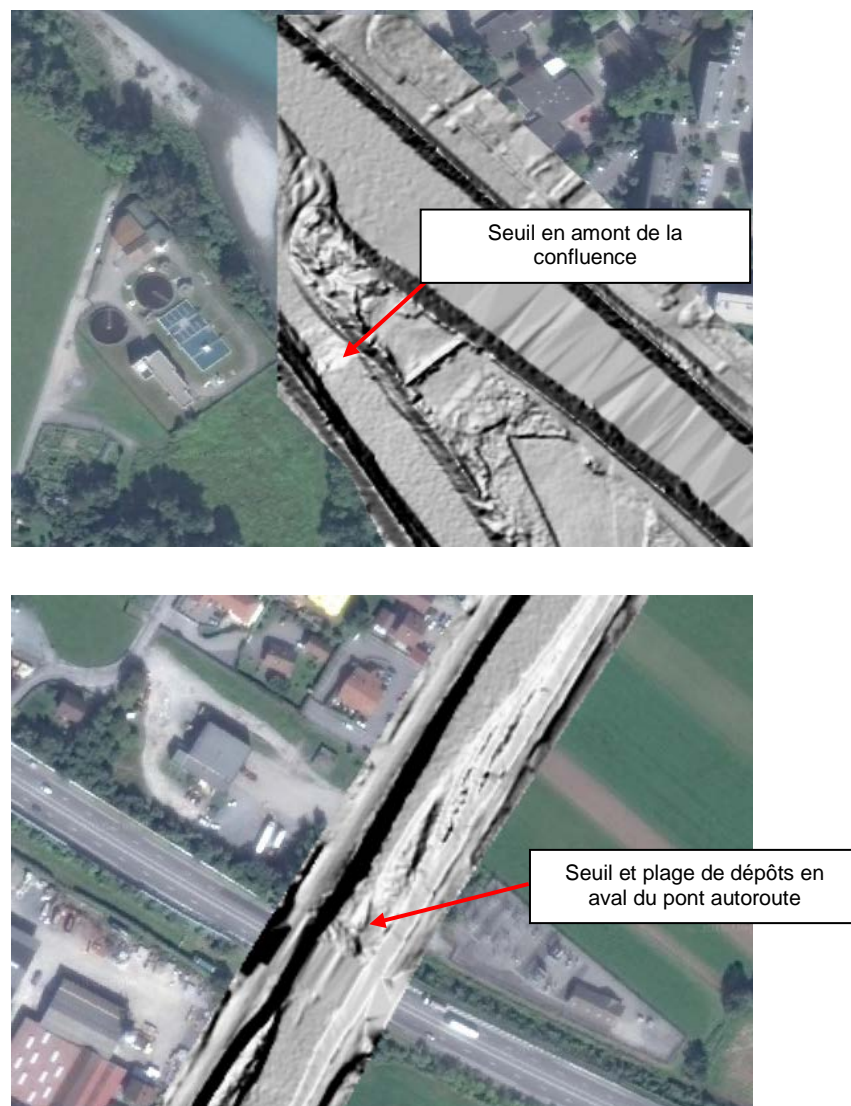


Figure 2-3 : Relevés LIDAR 2015 au droit des seuils

Les ouvertures des ouvrages de franchissement ont été extraites des données bibliographiques et complétées lors des visites de terrain.

2.3.3 Architecture du modèle

Le modèle couvre l'ensemble du lit mineur du Borne sur le linéaire d'étude. Il est de type **2D**, avec des tailles de **mailles comprises entre 1 et 2 m** afin de permettre la prise en compte de l'ensemble des singularités existantes et les ouvrages préconisés en phase aménagée. Les ouvrages (franchissement, seuil, ...) sont intégrés au maillage 2D

Les crues modélisées ne sont pas débordantes, le modèle n'est donc pas étendu en lit majeur.

Le maillage 2D s'appuie sur des « lignes de contraintes », définissant les marqueurs physiques du terrain naturel : amont / aval des seuils, limites des plages de dépôts, risbermes ...

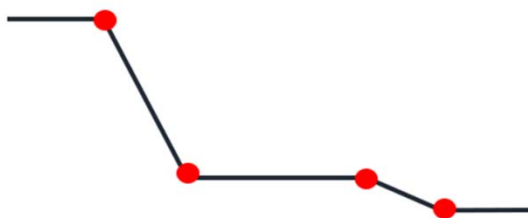


Figure 2-4 : Exemple de localisation de lignes de contraintes sur un profil en travers type en rive gauche du Borne

Chaque ligne de contrainte est caractérisée par une **largeur d'élément**, qui correspond à la largeur de la maille attendue le long de cette dernière. Celle-ci est fixée à 1.5 mètre sur l'ensemble des lignes de contraintes du modèle.



Figure 2-5 : Maillage 2D au droit du pont de l'avenue Ravel

Le coefficient de Strickler de chaque maille est adapté en fonction de la granulométrie du substrat fournie par le bureau d'études Aralep. Le type de substrat dans le lit mineur du Borne est donné sur la figure suivante.

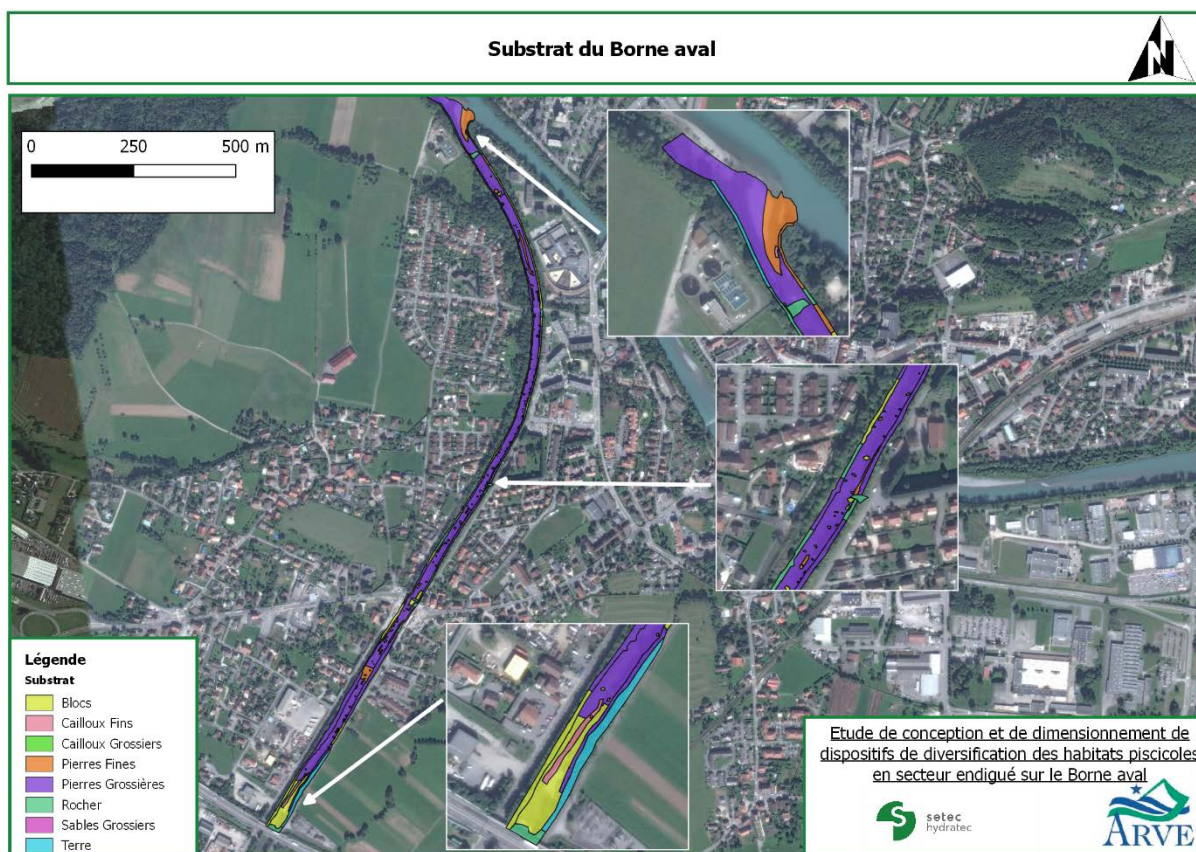


Figure 2-6 : Substrat du Borne aval

Les coefficients de Strickler ont été obtenus à partir de ces données spatialisées en calculant la moyenne des coefficients de Strickler obtenus par :

- la formule de Strickler : $K = 21/d_{50}^{1/6}$
- la formule Meyer-Peter et Müller : $K = 26/d_{90}^{1/6}$

Pour les zones non référencées dans les données SIG (en amont du modèle notamment), ce coefficient est par défaut à 30.

Sur les berges, le coefficient a été fixé à 25 (végétation arbustive).

Concernant les blocs et aspérités importantes présentes dans le lit mineur du Borne qui ne ressortent pas sur le LIDAR 2015 mais sont géoréférencés dans la table « substrat », il a été fait le choix suivant :

- pour les zones de blocs et roches dont la surface est supérieure à 15 m², un coefficient de Strickler moyen de 25 a été choisi.
- pour les zones de blocs et roches dont la surface est inférieure à 15 m², le centroïde de la zone a été extrait, et la maille intersectée a été surélevée de 40 cm (taille moyenne des blocs observée sur le terrain)

Ces hypothèses permettent ainsi de prendre en compte les irrégularités du lit dans la génération du maillage.

2.3.4 Conditions aux limites

La condition limite amont du modèle hydraulique est constituée des débits de projet définis par l'analyse hydrologique de l'« Etude hydraulique et hydromorphologique du Borne » (HTV, 2016), injectés en entrée du modèle. Ils sont rappelés dans le tableau suivant :

Q_{MNA5}	1.05 m3/s
Q_{Module}	6.96 m3/s
$Q_{Module} * 2$	13.92 m3/s
Q1	42 m3/s
Q2	72 m3/s
Q5	96 m3/s
Q10	120 m3/s

Tableau 2-1 : Débits du Borne à St-Pierre en Faucigny

Le modèle se termine en aval du seuil situé une centaine de mètre en amont de la confluence avec l'Arve, avec une condition aux limites aval de type débit/cote, issue des résultats de la modélisation réalisée par HTV (Volet 5, hydraulique), et donnée ci-après.

Débit (m3/s)	Cote (m NGF)
1.06	440
72	441.82
96	442.02
120	442.19

Tableau 2-2 : Condition limite aval du modèle

Le choix d'avoir prolongé le modèle en aval du seuil limite l'influence de la condition limite aval, l'écoulement étant contrôlé par cet obstacle pour les débits étudiés.

2.4 MODÉLISATION EN SITUATION DE RÉFÉRENCE

2.4.1 Profils en long

Les profils en long des lignes d'eau calculées du Borne aval pour les différents scénarios étudiés sont donnés sur la figure suivante.

Le 0 de l'axe des abscisses est pris une centaine de mètres en amont du pont de l'autoroute.

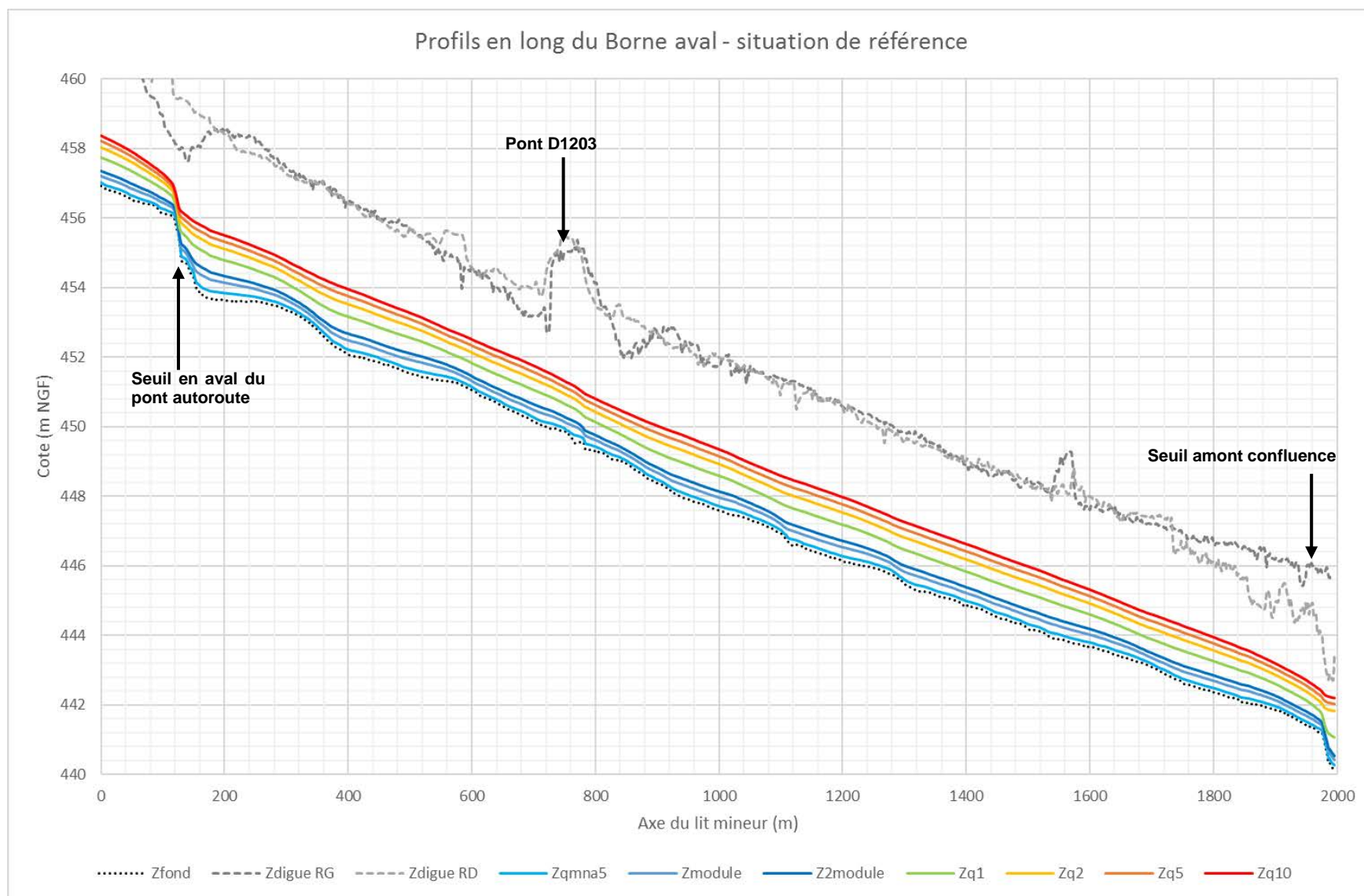


Figure 2-7 : Profils en long : hauteurs d'eau pour l'état actuel et hauteur de crête des digues

Ces résultats amènent les remarques générales suivantes :

- le seuil en aval du pont autoroutier créé une perte de charge importante, de 1.5 mètre pour la crue décennale et jusqu'à 2.5 mètres pour le scénario QMNA5 ;
- pour la crue décennale, la revanche est supérieure à 2 mètres sur l'ensemble du linéaire du Borne aval ;
- du fait de la présence du seuil en aval du modèle, la ligne d'eau n'est quasiment pas influencée par la condition limite aval ;
- la réponse du Borne aval aux différents événements est homogène sur l'ensemble du linéaire. Autrement dit, l'écart entre les lignes d'eau calculées pour les différentes périodes de retour est identique le long de l'axe du lit mineur.

2.4.2 Comparaison avec la ligne d'eau « CNR » pour la crue décennale

La figure suivante donne la ligne d'eau calculée par le logiciel hydra, et la ligne d'eau « CNR », issue d'une modélisation TELEMAC, pour la crue décennale.

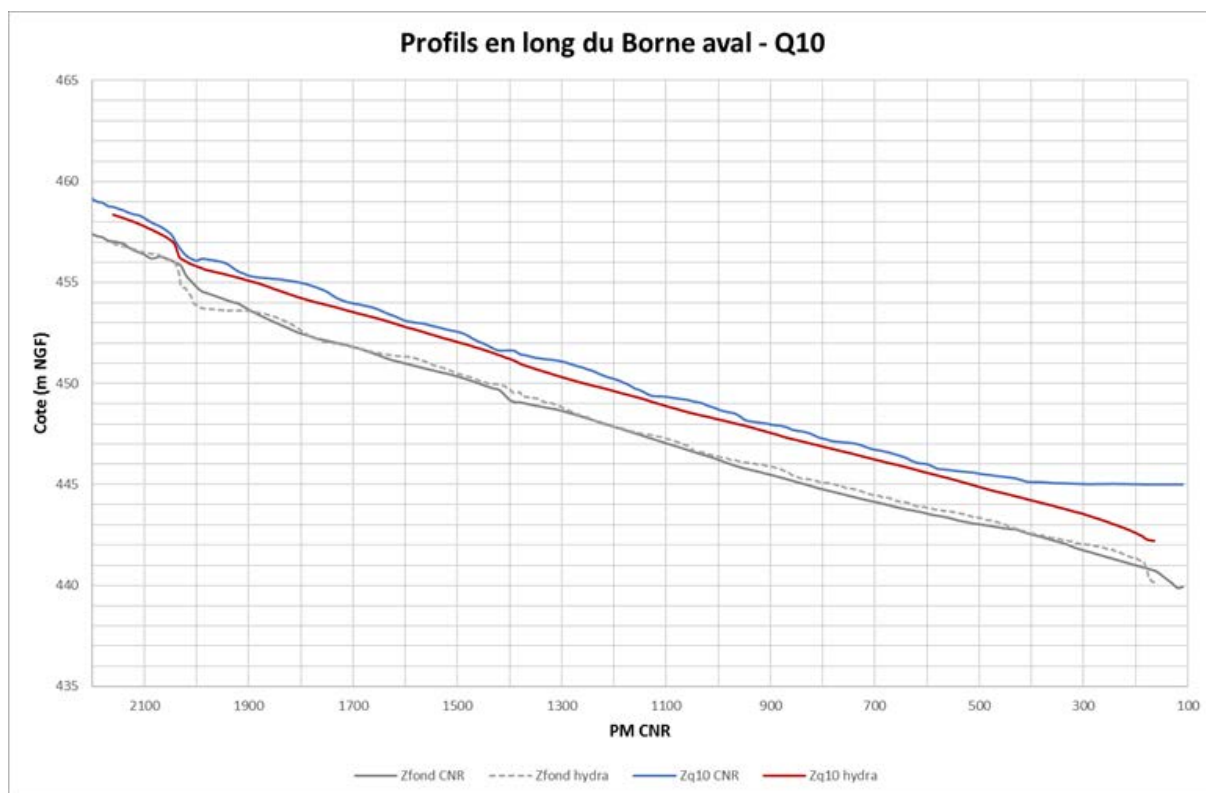


Figure 2-8 : Ligne d'eau CNR et ligne d'eau hydratec pour Q10

Ce graphique appelle les commentaires suivants :

La ligne d'eau de la crue décennale calculée par le logiciel hydra est inférieure à la ligne d'eau CNR, les Strickler obtenus étant supérieurs à ceux retenus par CNR.

On rappelle que la définition des Strickler à partir de la granulométrie est mieux adaptée aux objectifs recherchés, à savoir la caractérisation des écoulements pour les débits d'étiage et moyens (état actuel et dimensionnement des aménagements), fortement dépendants de la variation de la granulométrie du fond.

Pour cette crue décennale, il s'agit de travailler en relatif entre l'état actuel et l'état aménagé pour quantifier les incidences du projet ; le fait de travailler sur une ligne d'eau plus basse que celle de la CNR ne remet pas en cause les conclusions obtenues sur les impacts en crue, dans un contexte d'écoulement non débordants.

Concernant les conditions limites aval, nous avons repris les résultats de la modélisation de l'étude HTV avec une loi débit/cote pour QMNA5, Q2, Q5, et Q10 ; pour Q10, celle-ci diffère sensiblement de celle retenue par la CNR. Ce choix tend à sur-estimer les incidences du projet pour la crue décennale sur le linéaire aval. En effet, celles-ci auraient été plus faibles si on avait retenu la condition aval CNR. D'autre part, un unique point débit/cote aurait probablement faussé les résultats sur la partie aval pour les faibles débits.

2.4.3 Aléa

Pour chacun des évènements de référence modélisés, une cartographie de synthèse des conditions d'écoulement est réalisée ; elle présente :

- les différentes classes de hauteurs d'eau atteintes ($h < 25\text{cm}$, $25\text{cm} < h < 50\text{cm}$, $50\text{cm} < h < 1\text{m}$, $1\text{m} < h < 2\text{m}$, $h > 2\text{m}$)
- les axes d'écoulement et les différentes classes de vitesses atteintes ($v < 0.25\text{m/s}$, $0.25\text{m/s} < v < 0.5\text{m/s}$, $0.5\text{m/s} < v < 1\text{m/s}$, $1\text{m/s} < v < 1.5\text{m/s}$, $1.5\text{m/s} < v < 2\text{m/s}$, $v > 2\text{m/s}$)

Ces cartographies sont annexées au présent rapport :

- Cartographie des iso-hauteurs d'eau et des vitesses d'écoulement pour l'évènement hydrologique donnant le débit QMNA5 (1/600^{ème}, 14 planches A4)
- Cartographie des iso-hauteurs d'eau et des vitesses d'écoulement pour l'évènement hydrologique donnant le module,
- Cartographie des iso-hauteurs d'eau et des vitesses d'écoulement pour l'évènement hydrologique donnant le module*2,
- Cartographie des iso-hauteurs d'eau et des vitesses d'écoulement pour la crue de période de retour 1 ans,
- Cartographie des iso-hauteurs d'eau et des vitesses d'écoulement pour la crue de période de retour 2 ans,
- Cartographies des iso-hauteurs d'eau et des vitesses d'écoulement pour la crue de période de retour 5 ans,
- Cartographies des iso-hauteurs d'eau et des vitesses d'écoulement pour la crue de période de retour 10 ans.

Une synthèse de ces données est présentée ci-après.

A l'échelle du secteur d'étude, les conditions d'écoulement sont très homogènes, aussi bien du point de vue de la granulométrie du substrat, ultra-dominée par la classe pierre fine – pierre grossière (64 à 256 mm), qu'au niveau des classes de hauteur d'eau et de vitesse du courant (voir figure ci-après).

Concernant la hauteur d'eau, et pour les faibles comme pour les (très) fortes valeurs de débit ($> Q5$), une seule classe occupe près de 80% de la surface en eau. Pour le débit d'étiage (QMNA5, estimé à environ $1\text{ m}^3/\text{s}$), ce sont les faibles hauteurs d'eau (classe [0-

25 cm]) qui sont ultra dominantes, alors que c'est la classe [20-40 cm] qui domine au module, et la classe [40-60] pour une valeur de débit d'environ 14 m³/s (2 fois le module). La diversité des classes de hauteur est plus importante pour les débits de crue de période de retour 1 an (Q1) et deux ans (Q2).

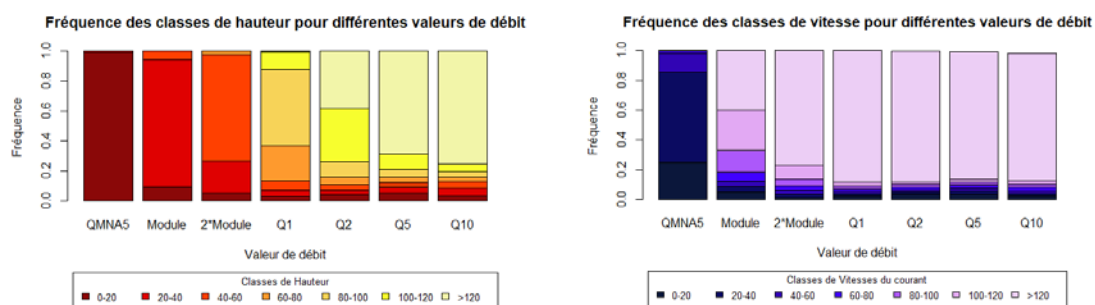


Figure 2-9 : Importance relative des classes de hauteur d'eau (gauche) et de vitesse du courant (droite) en fonction du débit sur la partie aval du Borne

Pour ce qui est de la vitesse du courant, c'est aux plus faibles débits (QMNA et module) que la diversité en termes de classes est la plus importante. L'évolution est ensuite très rapide puisque dès 14 m³/s (2 fois le module), la classe de vitesse la plus élevée (>120 cm/s) devient prépondérante. Comme pour les autres paramètres, l'élément majeur qui ressort est la très grande homogénéité des vitesses de courant, en particulier pour les débits supérieurs au module.

3 ANALYSE DE LA CAPACITE D'ACCUEIL ACTUELLE DES MILIEUX

3.1 PHILOSOPHIE DE LA MÉTHODE DES MICROHABITATS

La méthode des micro-habitats permet d'évaluer, en fonction du débit, l'évolution de la qualité de l'habitat « hydraulique » d'une portion de rivière vis-à-vis d'espèces cibles de poissons. Sur la partie amont des bassins versants, cette liste inclut prioritairement la **truite fario** *Salmo trutta fario*, espèce phare des têtes de bassin, comme c'est le cas sur le Borne, constat appuyé par les différents recensements piscicoles (Fédération Pêche 74, suivi de la station RCS de St Pierre en Faucigny, ...). Dans le cas du Borne, l'autre espèce dominante est le chabot *Cottus gobio*, bien à sa place sur ce type de cours d'eau.

Dérivée de la méthode « IFIM » ou Instream Flow Incremental Methodology développée par l'US Fish & Wildlife Service, Fort Collins (Colorado) au début des années 1980 (Stalnaker 1979, Bovee 1982), cette méthode a été mise au point en France par l'Irstea (ex Cemagref) en étroite collaboration avec le Département Etude et Recherche d'EDF. Cette méthode est basée sur le principe que l'habitat piscicole peut être apprécié à partir de trois composantes principales : la **vitesse du courant**, la **hauteur d'eau** et la granulométrie du **substrat**.

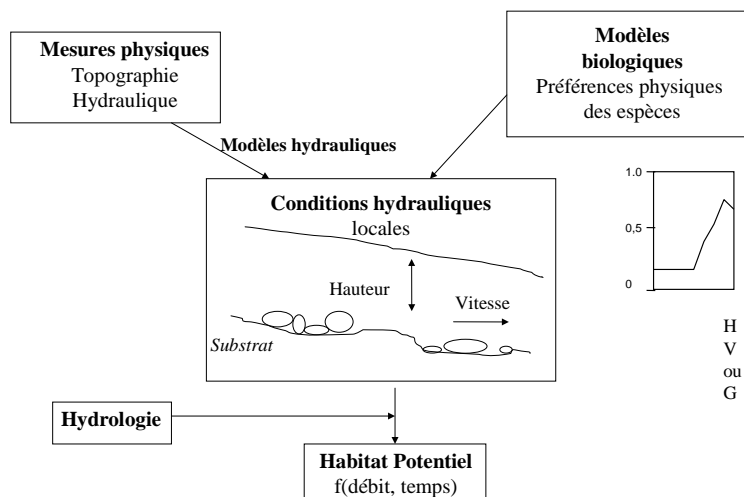


Figure 3-1 : Principes de la méthode des microhabitats (source : Cemagref)

Dans sa version initiale, le protocole EVHA (pour **E**valuation de l'**H**abitat), qui se situe à une échelle stationnelle représentative d'un tronçon de cours d'eau, consiste à coupler une information physique qui décrit l'habitat, et une réponse biologique qui va permettre d'en apprécier la qualité. Un modèle hydraulique permet de calculer les hauteurs d'eau et les vitesses de courant à différents débits à partir d'une campagne de mesures des

variables hydrauliques majeures (hauteur d'eau, vitesse de courant, granulométrie du substrat). Un modèle biologique traduit ces variables en termes de valeur d'habitat grâce à des courbes de préférences établies à partir de pêches électriques pour différents stades de développement d'espèces de poissons. Ces courbes de préférence calées pour des valeurs comprises entre 0 et 1 pour chacune des variables hydrauliques ont été mises au point et validées dans des cours d'eau non perturbés et aux débits non influencés.

Cette méthode a été principalement développée et validée en France afin de répondre au besoin de quantifier les effets des réductions de débit dans le contexte de la Loi Pêche de 1984 fixant le débit minimal au 1/10^{ème} du module du cours d'eau au droit de l'ouvrage et de vérifier que ce débit *“garantit en permanence la vie, la circulation et la reproduction des espèces”*.

Le protocole EVHA s'appuie donc sur une expertise hydrologique et biologique de la rivière en sélectionnant des secteurs représentatifs centrés sur un « point nodal » de la rivière.

L'étude hydrologique donne :

- les débits naturels pour connaître, entre autre, le module, le débit médian (*i.e.* dépassé la moitié du temps) ainsi que les débits d'étiage (QMNA5, QMNA2) ;
- éventuellement l'importance des apports en eau latéraux et leur influence sur le débit du cours d'eau. Pour rendre l'analyse la plus fine possible, plusieurs périodes sont généralement distinguées et l'impact des apports en eau est apprécié pour chaque période.

Dans le cas présent, nous n'avons pas utilisé le protocole EVHA, mais nous nous sommes appuyés sur les sorties du modèle hydraulique 2D décrit précédemment. Le modèle permet donc, au niveau de chaque maille, et pour chaque débit considéré, de calculer les paramètres hauteur d'eau, vitesse du courant et granulométrie du substrat¹.

Un script développé sous R, permet ensuite de traduire les valeurs de ces variables en valeur d'habitat (VHA) pour chacun des stades de développement des espèces de poissons cibles prises en compte. Ce protocole permet ainsi :

- une description fine du milieu aquatique « physique »,
- une estimation de la valeur d'habitat pour les espèces cibles témoins en fonction du débit transitant (pour des valeurs de débit connues et testées in situ),
- l'identification du ou des paramètres limitant, en regard des exigences écologiques des espèces/stades de développement considérés.

L'objectif n'est pas ici de déterminer un débit minimum biologique (DMB), comme c'est le cas « classiquement » avec les modèles de microhabitat, mais plutôt d'identifier les facteurs limitant le bon développement des espèces afin de proposer des aménagements ciblés permettant de corriger tout ou partie des contraintes identifiées.

¹ Ce paramètre n'évolue quasiment pas avec le débit ; seule la mise en eau des habitats de bordure vient modifier (à la marge donc) ce paramètre.

3.2 UTILISATION DES MODÈLES BIOLOGIQUES

Le modèle biologique se présente sous la forme de courbes de preferenda pour chaque variable d'habitat mesurée (profondeur, vitesse du courant et granulométrie), pour les stades alevin, juvénile, adulte (et fraie) de la truite fario et le stade adulte du chabot.

*NB : Nous avons initialement envisagé de prendre en compte les exigences écologiques d'une troisième espèce emblématique du bassin de l'Arve, à savoir l'ombre commun *Thymallus thymallus*. Les courbes de preferenda disponibles pour cette espèce (tirées de Mallet et col., 1999) se sont cependant avérées non pertinentes/applicables pour ce secteur aval du Borne. Cependant, les exigences de cette espèce, très rhéophiles, sont partiellement intégrées dans celles du chabot, pour ce qui est de la vitesse du courant, et celles de la truite fario vis-à-vis de la hauteur de l'eau. Quoiqu'il en soit, nous nous assurerons que les aménagements proposés permettent d'améliorer l'habitabilité du Borne aval pour l'ombre commun.*

A noter que chaque stade de développement de la truite fario n'est pas présent tout au long de l'année. Le calendrier de présence de chacun d'eux est détaillé dans le tableau ci-dessous. Ce dernier a été élaboré à partir de données bibliographiques issues de l'atlas des poissons d'eau douce de France (Keith & Allardi, 2001) et des connaissances de l'ONEMA.

	janv.	fev.	mars	avr.	mai	juin	juil.	août	sept.	oct.	nov.	dec.
Adulte												
Fraie												
Alevin												
Juvénile												

Des **valeurs d'habitat** (VHA) sont obtenues pour chaque maille du modèle. Ce nombre sans dimension compris entre 0 et 1 exprime la capacité du milieu à accueillir une espèce-stade selon la valeur des trois grandeurs d'habitats (hauteur d'eau, vitesse du courant, granulométrie). Une valeur de 0 signifie que le milieu est inapte à accueillir le stade de l'espèce considérée, une valeur de 1 signifie que le milieu est au maximum de sa capacité d'accueil sous réserve de la conformité des autres variables écologiques (température, oxygénation, écotoxicologie, etc.).

Par intégration, il est ensuite possible d'estimer la valeur d'habitat à l'échelle d'un faciès d'écoulement, d'une station d'étude ou encore à l'ensemble d'un tronçon de rivière concerné pour le ou les débits testés.

Il convient de préciser que la plupart des preferenda d'habitat ont été définis dans des conditions de débit moyens à faible (*i.e.* du module à l'étiage). Leur application à des débits plus élevés doit donc être accompagnée d'une analyse critique des résultats.

3.3 PRÉSENTATION DES ESPÈCES CIBLES

Une présentation succincte de la biologie/écologie de la truite fario et du chabot est donnée dans les paragraphes qui suivent.

3.3.1 La truite fario

Description

Espèce autochtone des rivières françaises, la truite fario peut mesurer plus de 60 cm pour un poids d'environ 3,5 kg. Elle est généralement de couleur brune, au dos foncé à vert clair, aux flans nacrés à jaunâtres, avec des tâches noires et des points rouges qui couvrent ses flancs, ses opercules et sa nageoire dorsale.



Source : <http://rdb.eaurmc.fr>



Biologie-Ecologie

La truite fario est un salmonidé rhéophile et pélagique. La truite est un poisson d'eau vive, froide et bien oxygénée. Elle colonise les secteurs amont des cours d'eau et se nourrit principalement d'invertébrés et de petits poissons. Les stades de développement de la truite fario pris en compte dans les modèles de microhabitat sont :

- adulte : sujet en âge de se reproduire (14 à 28 cm),
- juvénile : sujet de plus d'un an non encore reproductif (10 à 16 cm),
- alevin : sujet de moins d'un an mais de plus de 5 cm,
- fraie : non pris en compte dans le cas présent,

Elle atteint sa maturité sexuelle dès l'âge de 1 à 2 ans et la reproduction a lieu de novembre à fin février, au niveau des têtes de bassin (chevelu hydrographique) dans les zones de transition entre mouille et radier, là où le courant s'accélère, la profondeur est peu importante et sur fond de graviers (2 à 6 cm de diamètre).

La truite présente un intérêt patrimonial et halieutique important. Les habitats qu'elle utilise au cours de son cycle vital font l'objet d'une protection nationale (arrêté du 8 décembre 1988). Elle est un indicateur de la bonne qualité de l'eau et du maintien de l'intégrité des habitats aquatiques.

La truite est généralement présente dans les eaux fraîches (entre 0 et 17°C) et bien oxygénée (> 6 mg/L). L'habitat de la truite adulte se situe dans des eaux de profondeurs > 60 cm, des courants modérés (< 1m/s) et une granulométrie moyenne. En revanche, les juvéniles préfèrent des hauteurs d'eau comprises entre 20 et 100 cm (cf. courbes de préférences issues de EVHA, voir figure ci-après).

La **diversité des habitats est nécessaire au maintien de son habitat fonctionnel**. En effet, la truite au repos préférera les caches rivulaires et les milieux profonds ou ombragés, alors qu'elle s'alimentera des macro-invertébrés en dérives, qui suppose un positionnement dans la veine principale du chenal.

En termes de dynamique de population, le stade limitant est le plus souvent représenté par le stade adulte du fait de la forte territorialité des individus et de la réduction des surfaces colonisables en période d'étiage et/ou de faible débit. En effet, l'adulte est très rapidement défavorisé aux faibles débits (réduction des hauteurs d'eau et des vitesses).

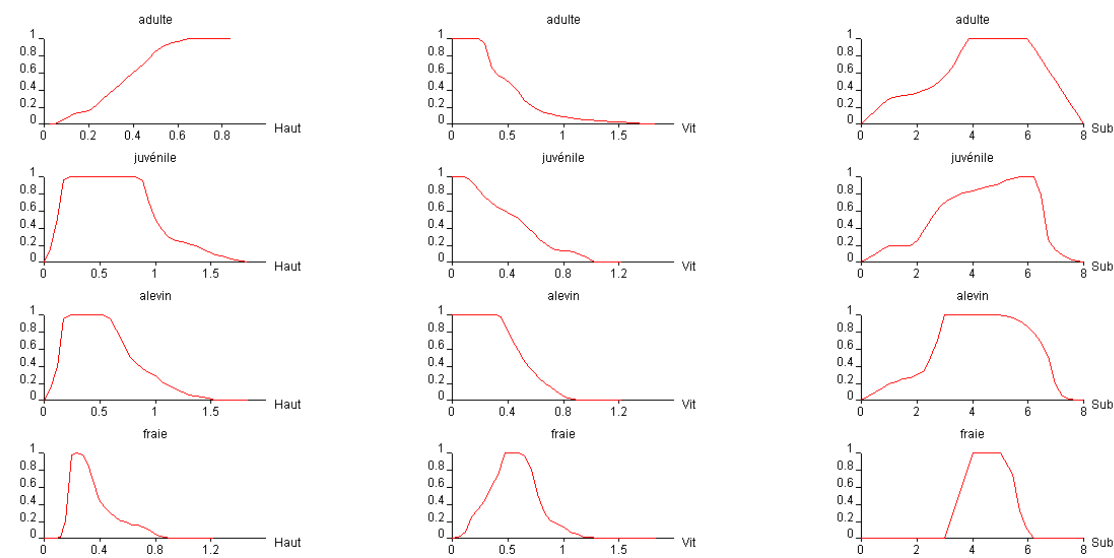


Figure 3-2 : Courbes de préférences de la truite issues du logiciel EVHA.

Haut : Hauteur d'eau (m) – Vit : Vitesse du courant (m/s) – Sub : Granulométrie du substrat (classe granulométrique)

3.3.2 Le chabot

La deuxième espèce cible retenue est donc le chabot.

Description de l'espèce

La silhouette du chabot est typique de celle de la famille des Cottidae avec une grosse tête aplatie, fendue d'une large bouche terminale, la présence d'une forte épine sur le préopercule et des nageoires ventrales légèrement plus longues chez le mâle que chez la femelle. La coloration est généralement brune tachetée ou marbrée, avec souvent 3 ou 4 larges bandes transversales.



Ecologie

Le chabot affectionne les eaux fraîches et turbulentes des parties amont et moyennes des cours d'eau (de la zone à truite à la zone à Barbeau) mais colonise également les grands lacs alpins. Très territorial, il vit isolé, caché dans les anfractuosités qu'il ne quitte que la nuit. La ponte est le plus souvent unique et se déroule en mars-avril (de février à mai-juin suivant les localités). La femelle colle ses œufs en grappe au plafond de l'abri du mâle qui en assure ensuite la garde et la ventilation. L'incubation dure approximativement 20 jours à 12°C. A l'éclosion, l'alevin mesure 7,2 mm et possède une espérance de vie comprise entre 4 et 6 ans. Il se nourrit de tous les organismes vivants sur le fond (œufs, larves d'insectes, alevins) et en lac, entre dans le régime alimentaire de la Lote, autre prédateur nocturne.

Statut

Directive « Habitats » : Annexes II

Évolution et état des populations

L'espèce n'est pas globalement menacée, mais ses populations locales le sont souvent par la pollution, les recalibrages ou les pompages. Ainsi, il est à craindre que certaines variantes méridionales n'aient déjà été éradiquées des sources qui constituent leur dernier retranchement en climat méditerranéen.

Menaces potentielles

L'espèce est très sensible à la modification des paramètres du milieu, notamment au ralentissement des vitesses du courant consécutif à l'augmentation de la lame d'eau (barrages, embâcles), aux apports de sédiments fins provoquant le colmatage des fonds, à l'eutrophisation et aux vidanges de plans d'eau.

La pollution de l'eau entraîne des accumulations de résidus qui provoquent baisse de fécondité, stérilité ou mort d'individus.

Les courbes de préférences sont présentées ci-après. Le chabot possède, en effet, des exigences plus importantes que la truite fario vis-à-vis de la vitesse du courant. Il aura donc tendance à « tirer vers le haut » les gammes de valeur de DMB.

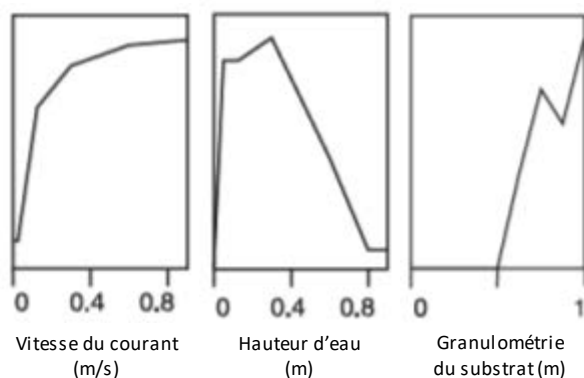


Figure 3-3 : Courbes de préférences du chabot (d'après Lamouroux et Capra, 2002).

3.4 RÉSULTATS : EVOLUTION DES VHA ET PARAMETRES LIMITANTS

Pour chacune des deux espèces, et pour les sept valeurs de débit modélisées (QMNA5, module, 2 x module, Q1, Q2, Q5 et Q10), les valeurs d'habitat (VHA) ont été cartographiées. Afin de faciliter la lecture des cartes, quatre classes de VHA ont été définies et associées à un code couleur selon la symbolique ci-dessous. Ces classes sont identiques à celles utilisées par le logiciel EVHA.

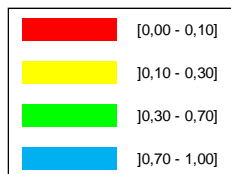


Figure 3-4 : classes de VHA et code couleur associé

Pour rappel, la valeur d'habitat est un nombre sans dimension compris entre 0 et 1 qui exprime la capacité du milieu à accueillir une espèce-stade selon la valeur des trois grandeurs d'habitats (hauteur d'eau, vitesse du courant, granulométrie). Une valeur de 0 signifie que le milieu est inapte à accueillir le stade de l'espèce considérée, une valeur de 1 signifie que le milieu est au maximum de sa capacité d'accueil sous réserve de la conformité des autres variables écologiques (température, oxygénation, écotoxicologie, etc.).

3.4.1 Cas de la truite fario

Concernant la truite fario (Figure 3-5), ce secteur aval du Borne présente des capacités d'accueil extrêmement limitées dès que le débit atteint le module pour les stades alevins et juvéniles, et dès le débit d'étiage (QMNA5) pour ce qui concerne l'adulte. En effet, la classe de VHA [0-0,10] est ultradominante quelle que soit la combinaison choisie, mettant en avant des conditions d'écoulements très éloignées des exigences des différents stades de développement de la truite fario. Les résultats de la modélisation pour des débits supérieurs à deux fois le module (Q1, Q2, Q5 et Q10) ne sont pas présentés car identiques à ceux obtenus pour cette valeur de débit (*i.e.* quasiment toutes les mailles présentent une VHA appartenant à la première classe [0 – 0,10]).

Pour le débit d'étiage (QMNA5, soit environ 1 m³/s), les conditions d'habitat apparaissent plus favorables vis-à-vis des stades alevins et juvéniles. Bien que très homogène, le secteur d'étude présente une alternance d'habitats appartenant aux classes 2 (0,10-0,30) et 3 (0,30-0,70) de VHA (couleur verte sur la figure ci-contre). Il convient cependant de rappeler que cette valeur de débit a une fréquence d'occurrence extrêmement faible, et donc peu représentative des conditions « moyennes » rencontrées par les poissons.

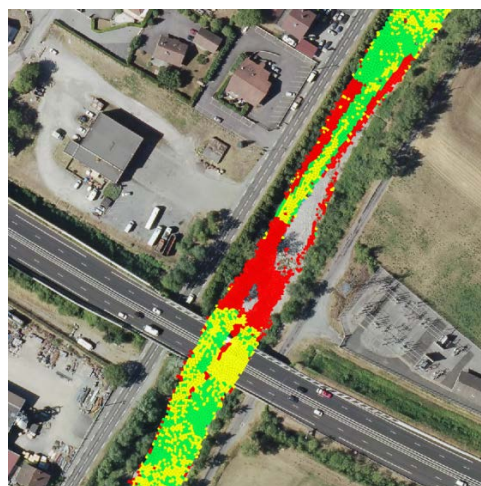


Figure 3-5 : zoom sur la partie du Borne située à l'aval du pont de l'autoroute – VHA du juvénile de truite au QMNA5

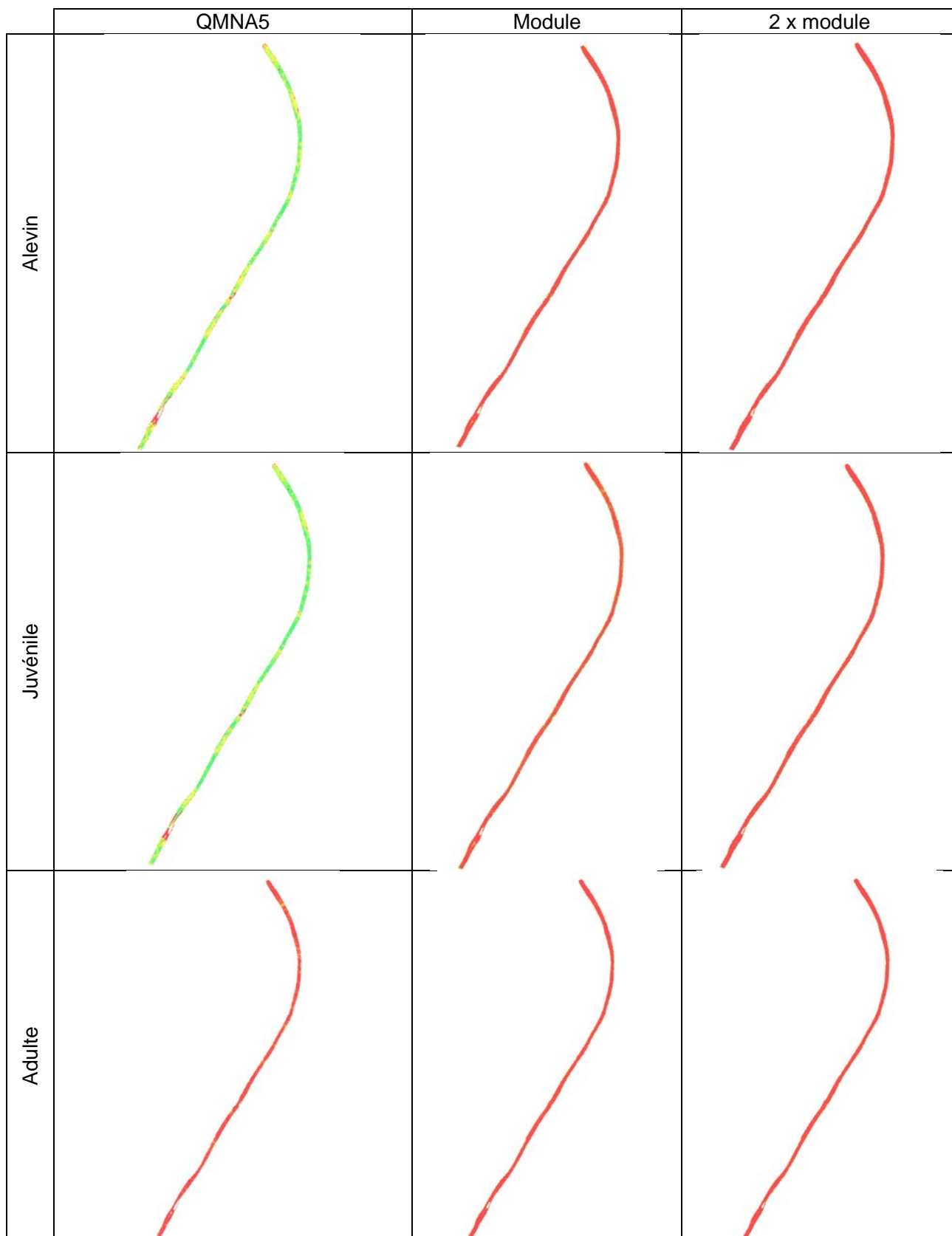


Figure 3-6 : cartographie des valeurs d'habitat des mailles du modèle pour différents débits (colonne) et les stades alevin, juvénile et adulte de la truite fario (lignes)

En descendant à l'échelle des paramètres (H, V et S) qui composent l'habitat hydraulique de la truite fario tel qu'il peut être décrit dans le modèle, l'analyse met en évidence le caractère très limitant de la vitesse du courant (V) dès que le débit atteint la valeur du module (*Figure 3-6*). Ce résultat concerne les trois stades de développement et reflète une contrainte très forte vis-à-vis de leurs exigences habitationnelles. Il traduit en fait l'augmentation très rapide de la vitesse du courant avec le débit, conséquence de l'endiguement et du caractère très rectiligne de cette partie du Borne. Les zones « abritées » de ces fortes vitesses, que l'on retrouve, sur les cours d'eau présentant un profil plus « naturel », au niveau des zones qui se mettent progressivement en eau (débordement), sont de ce fait, ici, extrêmement rares.

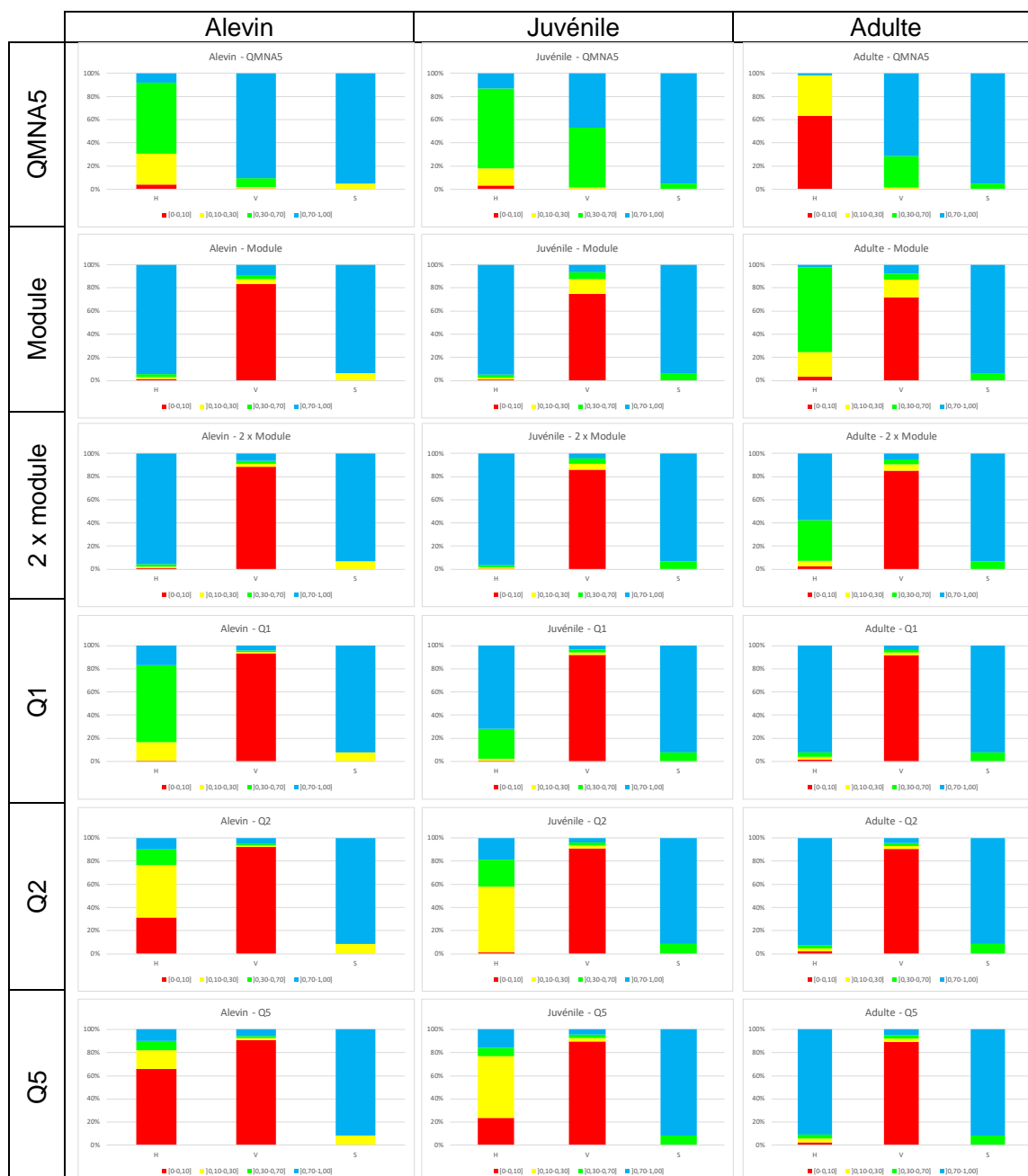


Figure 3-7 : Valeurs d'habitat associées à la hauteur d'eau (H), la vitesse du courant (V) et la granulométrie du substrat (S) pour les trois stades de développement de la truite fario (colonne) et pour six classes de débit (lignes)

Concernant les autres paramètres, la granulométrie du substrat apparaît largement favorable vis-à-vis des stades de développement étudiés. Il est cependant important de préciser que :

- ✓ le stade « fraie », non étudié dans le cas présent, est celui qui est le plus sensible vis-à-vis de ce paramètre, utilisant une gamme restreinte de granulométrie du substrat (0,5 à 6 cm), granulométrie qui doit de plus être meuble et située préférentiellement dans les zones de transition entre mouille et radier, là où la percolation de l'eau à travers les sédiments est maximum. Cet habitat n'a pas été étudié dans le cas présent du fait de son absence à l'échelle du secteur d'étude ;
- ✓ le protocole des microhabitats ne prend que très partiellement en compte la notion d'abris, si importante vis-à-vis d'une espèce telle que la truite fario.

Pour ce qui est de la hauteur de l'eau, les résultats sont plus nuancés. Pour l'alevin et le juvénile, les faibles hauteurs d'eau sont finalement assez peu limitantes au QMNA5, et la situation s'améliore nettement pour les deux débits suivants (module et deux fois le module), voire même pour le débit de crue annuel (Q1) pour l'alevin. Il convient de rappeler que pour ces mêmes valeurs de débit, les vitesses de courant sont très largement défavorables, ce qui fait qu'au global, la capacité d'accueil est très limitée vis-à-vis de ces deux stades. Au-delà, les hauteurs d'eau deviennent trop importantes et sont de ce fait limitantes, tout en conservant un potentiel intéressant, surtout chez l'alevin.

Pour le stade adulte de la truite fario, les trop faibles hauteurs d'eau sont limitantes à faible débit (QMNA5). Les VHA associées à ce paramètre augmentent ensuite sensiblement avec le débit, deviennent majoritairement très favorables à 14 m³/s (module x2) et le restent jusqu'à Q10.

En conclusion, concernant la truite fario, la partie aval du Borne offre finalement une capacité d'accueil très limitée, conséquence de l'homogénéisation et de la banalisation des faciès d'écoulement, en lien avec les modifications que le cours d'eau a subi : rectification, endiguement, recalibrage, incision.

Les raisons sont liées au fait qu'aux faibles débits, c'est la hauteur d'eau qui est limitante, vis-à-vis du stade adulte, alors que dès le module, ce sont les trop fortes vitesses de courant qui représentent le facteur limitant prépondérant pour les trois stades de développement étudiés. Les aménagements à mettre en place doivent donc viser à :

- ✓ diversifier les conditions d'écoulement, trop homogènes actuellement ;
- ✓ augmenter les hauteurs d'eau, ou du moins créer des habitats avec des hauteurs d'eau plus importantes (>50 cm), pour les faibles débits (de l'étiage au module) ;
- ✓ limiter l'augmentation de la vitesse du courant lorsque le débit augmente. Cela peut passer par la création d'abris hydrauliques offrant autant de refuges en période de « hautes eaux ».

3.4.2 Cas du chabot

Pour cette espèce, et à la différence de la truite, les conditions habitationnelles apparaissent bien meilleures, que ce soit dès les faibles débits (QMNA5), avec une majorité de mailles du modèle retournant une VHA de la classe 3 ($[0,30 - 0,70]$), comme pour les deux débits suivants (module et 2 x module), pour lesquels les VHA appartiennent majoritairement à la dernière classe ($[0,70 - 1,00]$), traduisant des potentialités importantes.

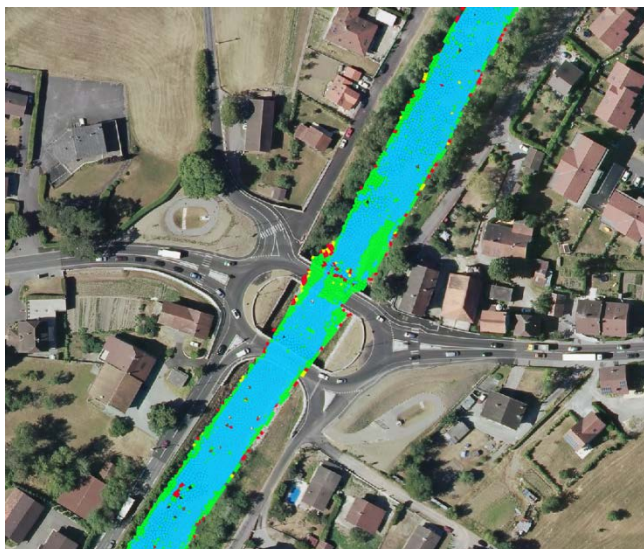


Figure 3-8 : zoom sur le Borne au niveau du pont Royal – VHA du chabot au module

Les quelques singularités mises en évidence par le modèle se concentrent au niveau des ouvrages de franchissement (pont de l'autoroute et de la nationale). Ces singularités se traduisent par des valeurs moindres de VHA en regard du reste du tronçon.

Ce n'est qu'à partir du débit de crue de période de retour un an (Q1) que les conditions habitationnelles se dégradent, la majorité des VHA intégrant la première classe $[0 - 0,10]$.

Comme précisé dans les paragraphes précédents, les courbes de préférence du chabot, en terme d'habitat hydraulique, englobent tous les stades de développement.

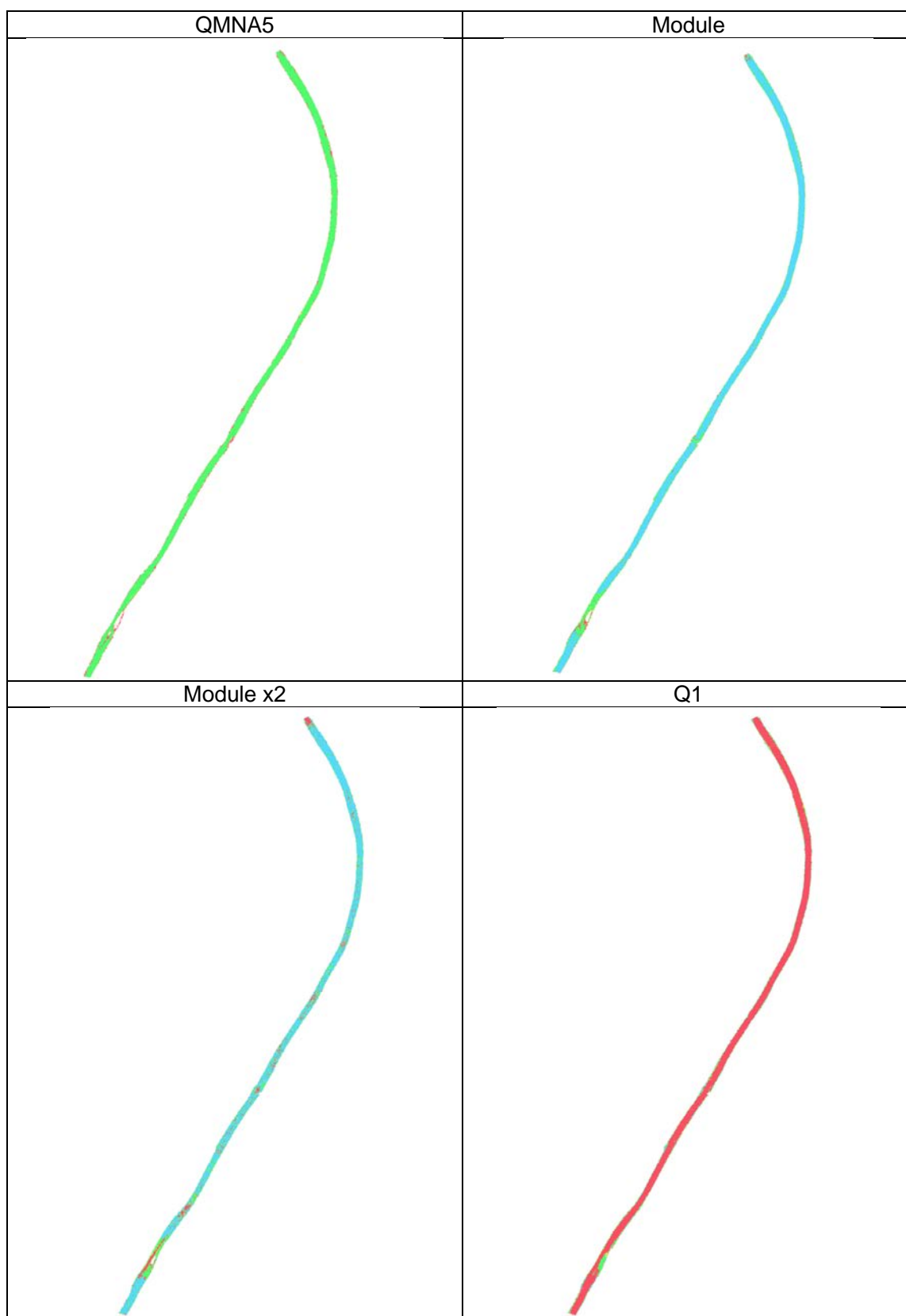


Figure 3-9 : cartographie des valeurs d'habitat des mailles du modèle pour différents débits et les préférences du chabot

A l'échelle des trois paramètres pris en compte dans le modèle (H, V et S), et comme pour la truite fario, la granulométrie du substrat n'est pas limitante (*Figure 3-10*). Ce résultat recouvre probablement une réalité écologique plus importante que pour la truite, le chabot affectionnant le type de substrat présent dans le Borne (pierre et blocs), dans les interstices duquel il s'abrite.



Figure 3-10 : Valeurs d'habitat associées à la hauteur d'eau (H), la vitesse du courant (V) et la granulométrie du substrat (S) du chabot pour six classes de débit

Pour le débit d'étiage, les surfaces d'habitat potentiellement très favorable (VHA>0,7) sont majoritaires, dépassant les 95% pour ce qui est de la hauteur de l'eau, et approchant les 2/3 pour la vitesse. Pour les valeurs de débit du module et de son double, la quasi-totalité des VHA (>90%) sont dans la classe la plus élevée [0,70 – 1,00], reflet de conditions d'habitat (potentiel) particulièrement favorables pour cette espèce.

Pour les débits plus élevés, et jusqu'à Q10, ce sont à la fois la hauteur d'eau et la vitesse du courant qui deviennent limitantes du fait de valeurs trop élevées. La classe 1 des VHA (0-0,10) représente plus de 60% de la surface en eau à Q1, et autour de 80% à Q2.

Au final, pour le chabot, les conditions d'habitat de la partie aval du Borne sont bonnes des faibles débits (QMNA5) jusqu'à une valeur d'environ 14 m³/s (module x 2). Il n'y a donc pas d'aménagement spécifique à prévoir, ce qui revient également à dire qu'il faudrait conserver une partie significative des habitats actuels. Aux plus forts débits, il faudrait pouvoir proposer des habitats avec des hauteurs d'eau et des vitesses de courant plus faibles que celles rencontrées actuellement sur ce secteur du Borne (e.g. abris hydrauliques).

Ce type d'habitat est « naturellement » mis à disposition des poissons lorsque le cours d'eau déborde et que la lame d'eau s'étale dans sa plaine d'inondation. L'endiguement du secteur d'étude empêche cet étalement et provoque l'entonnement du débit dans son chenal unique.

4 ANALYSE DIACHRONIQUE SOMMAIRE

Les modifications du tracé aval du Borne sont très anciennes. La carte ci-dessous (issue de l'étude hydromorphologique HTV de 1997), présente les travaux "initiaux" de chenalisation ; elle est datée de 1766.

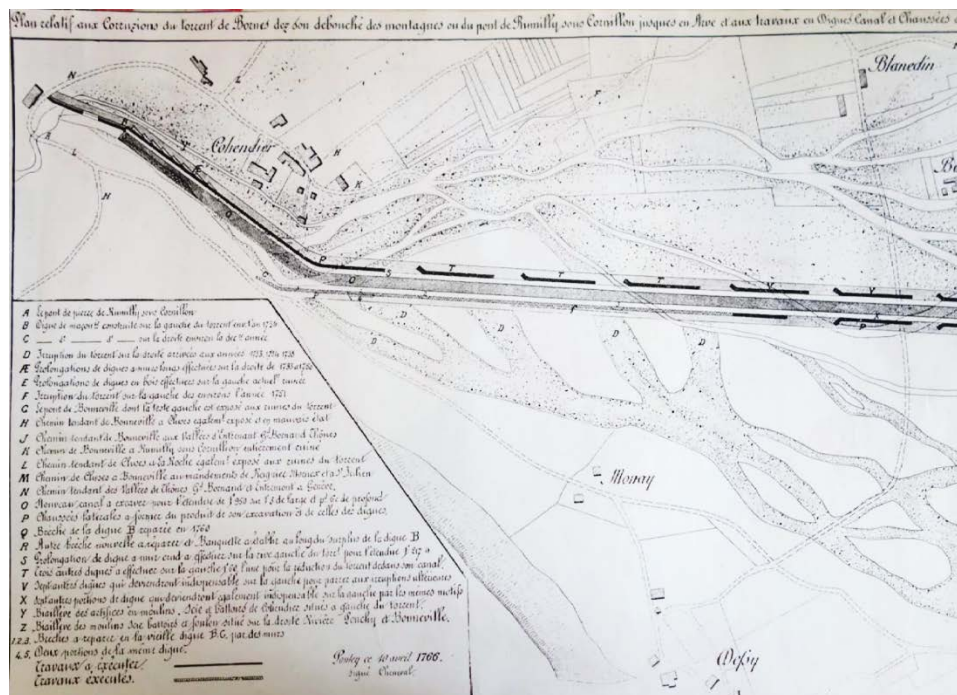


Figure 4-1 : « Plan relatif aux Corruzions du torrent de Bornes des son débouché des montagnes ou du pont de Rumilly sous Cornillon jusques en Arve et aux travaux en Dignes Canal et Chaussées » 1766

Nous avons cherché, dans le cadre de l'étude, à comparer la situation actuelle à des situations plus anciennes afin d'appréhender l'évolution des dernières décennies et envisager d'en tirer d'éventuels éléments pour aider au dimensionnement des aménagements.

Les photographies aériennes mises à disposition par l'IGN (sur les sites www.geoportail.gouv.fr et/ou remonterletemps.ign.fr) ont été analysées succinctement en vue de retenir quelques dates pour l'analyse en fonction des grandes mutations observées.

Les clichés les plus anciens font apparaître d'importants bancs alluviaux exondés et nus aux dates de prise de vue. La situation a apparemment peu évolué dans le lit mineur entre 1926, date du premier cliché disponible, et 1956, date du cliché recalé superposable en ligne avec l'orthophotographie actuelle sur le site Géoportail (présenté comme représentant la période 1950-1965). Le profil en travers semble s'être ensuite progressivement stabilisé, en particulier entre les années 1970 et 1990). En 1995, très peu de bancs semblent encore « actifs » et le chenal semble assez élargi.

Les 3 clichés suivants ont donc été retenus :

- 26/07/1956 : photo prise dans le spectre visible, recalée par l'IGN et superposable à l'orthophotographie de 2015 (a priori non orthorectifiée car des décalages subsistent)
- 19/07/1995 : photo prise dans le proche infrarouge, géoréférencée dans le cadre de l'étude pour minimiser les décalages avec l'orthophotographie de 2015
- 2015 : date exacte non précisée, période estivale de basses eaux (proche de l'étiage a priori)

Deux paramètres liés à l'hydromorphologie ont été analysés :

- l'extension des bancs alluviaux nus
- la largeur mouillée du lit mineur selon plusieurs transects le long du linéaire.

Les figures suivantes représentent les données exploitées.



Figure 4-2 : Largeurs du lit mineur mouillé le 26/07/1956 et le 19/07/1995 (source Géoportail)

La largeur du lit mineur en étiage en 1956 est constituée d'alternances entre des largeurs importantes de l'ordre de 20 m et des étranglements réguliers de 7 à 9 m.

En 1995, les largeurs sont plus homogènes, avec des resserrments plus proches de 14-15 m et une largeur atteignant le plus souvent 20 m environ. Les largeurs mouillées en 2015 sont sensiblement les mêmes qu'en 1995.

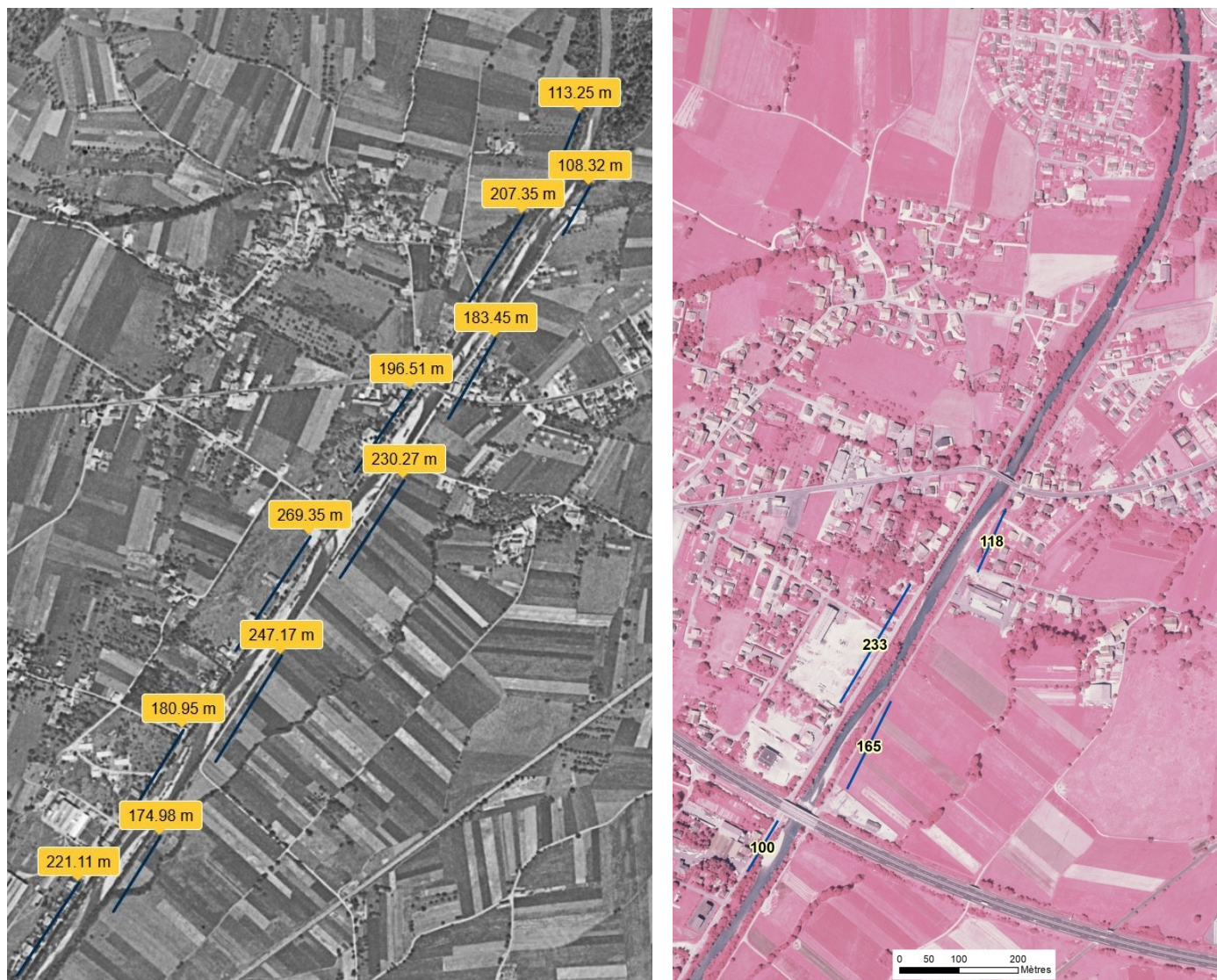


Figure 4-3 : Longueur de bancs sédimentaires le 26/07/1956 et le 19/07/1995 (source IGN)

En 1956, des bancs alternés de grande extension sont observés sur les 2/3 amont du secteur d'étude et la moitié aval du dernier tiers, au voisinage de la confluence ; leur longueur est importante, variant entre 180 et 270 m. Une partie d'entre eux s'est végétalisée à la fin du siècle ; les bancs nus sont rares, étroits et de moindre longueur en 1995, et ont presque totalement disparu en 2015.

La dernière carte, page suivante, présente l'extension des bancs de 1956 superposée à la photographie actuelle.

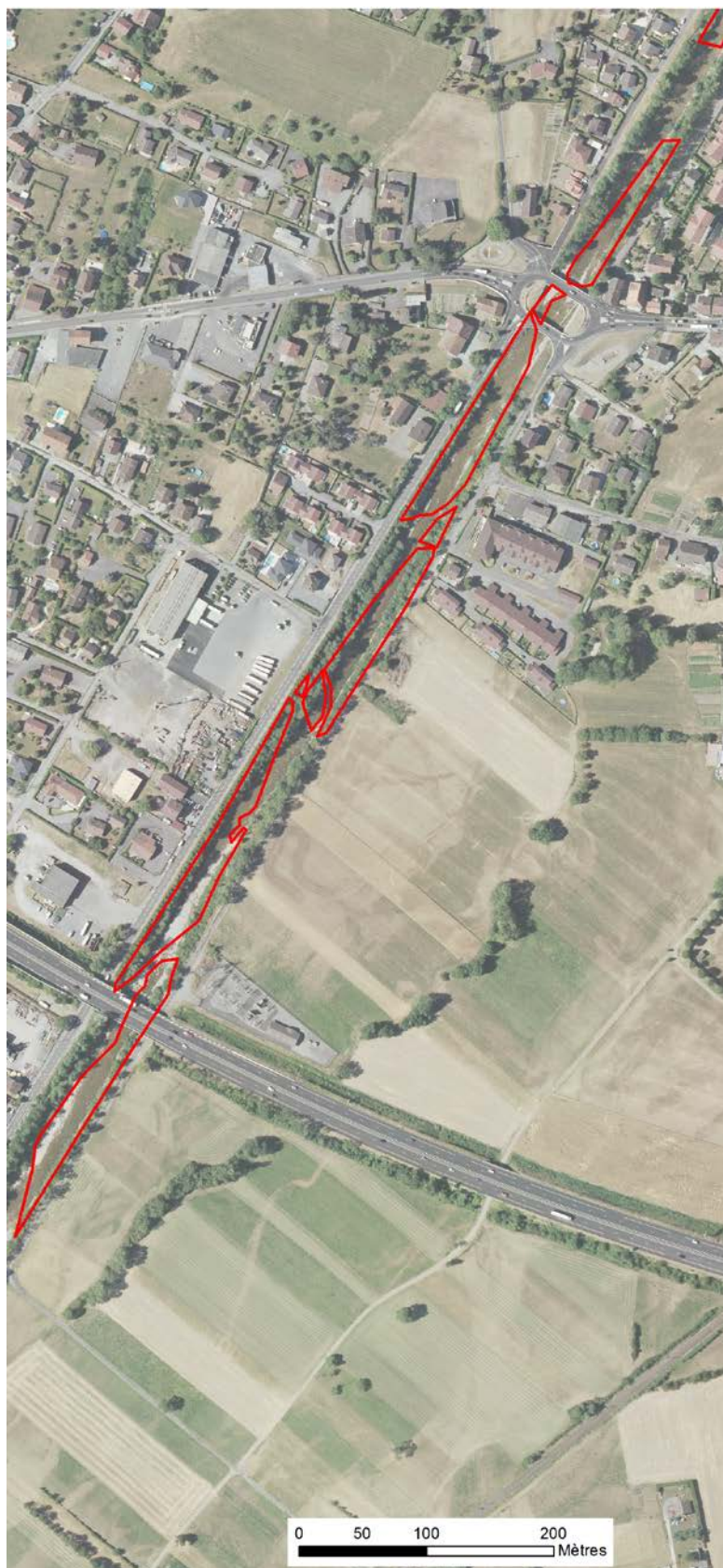


Figure 4-4 : Etendue des bancs alluviaux non végétalisés le 26/07/1956 (limites en rouge) sur fond orthophotographique de 2015

La superposition n'est pas suffisamment précise pour effectuer des mesures comparatives fiables – les bancs de 1956 ont visiblement une extension surestimée par rapport au chenal de la photo de 2015, et l'hydrologie n'est pas connue à chaque date. Le contraste est cependant évident : en 2015 les bancs mobiles ont presque totalement disparu, le chenal présente une largeur régulièrement importante et une hauteur de fond homogène ; les alternances radier/mouille (ou du moins faciès lotique/faciès lentique, la hauteur de la ligne d'eau n'étant pas connue) ont quasiment disparu alors qu'elles caractérisaient le profil en 1956. L'appauvrissement de diversité morphologique est donc manifeste au cours des 60 dernières années.

L'endiguement a été achevé vers 1850 et n'a jamais été repris sauf ponctuellement récemment aux environs de l'autoroute.

L'enfoncement du lit s'est poursuivi jusqu'à récemment du fait du déficit d'apport (enrochements des berges : Grand Bornand, RD, traversées urbaines des affluents dans le bas du cône de déjection, avec curages réguliers), du barrage EDF dans les gorges en amont du seuil Métral, de l'érosion régressive.

L'étude hydromorphologique du SAGE (Artelia/Asconit) précise qu'il a peu d'espoir de voir un changement du transport solide sur le tronçon aval. Une scarification des bancs serait probablement sans effet du fait de la granulométrie trop grossière.

5 PROPOSITION DE SCÉNARIOS D'AMÉNAGEMENTS

5.1 RAPPELS DES OBJECTIFS

Nous avons montré au §3.4 que les caractéristiques actuelles des écoulements sur la partie aval du Borne génèrent des contraintes fortes vis-à-vis des exigences écologiques de la truite fario, aussi bien à bas débit (hauteur d'eau) qu'à fort débit (vitesse du courant). Concernant le chabot, les conditions actuelles sont bien meilleures au moins jusqu'au débit de crue annuelle (Q1).

Enfin, pour l'ombre commun, l'analyse n'a pas pu être menée de façon aussi poussée du fait de l'absence de courbe de préférence « adaptée » à cette portion du Borne. Néanmoins, et à dire d'expert, les conditions semblent favorables pour les juvéniles qui recherchent des habitats courants sous des hauteurs d'eau limitées, comparables aux habitats du chabot. Les individus plus grands (adultes et sub-adultes) sont pénalisés par l'absence de zones profondes et courantes, alors que les alevins (taille <5 cm) ont très probablement beaucoup de mal à trouver des habitats favorables (faibles hauteur et vitesse de courant), d'autant plus lorsque le débit est élevé, ce qui est généralement le cas lorsqu'ils sortent du gravier (avril-mai, période de fonte des neiges). Il convient cependant de préciser qu'actuellement, l'ombre commun ne semble pas se reproduire dans le Borne aval du fait notamment de l'absence d'une granulométrie du substrat favorable (0,5 à 2 cm), et que la présence de l'espèce au sein de cet affluent, régulière depuis 2015 d'après les données de l'AFB, semble être liée à la remontée d'individus depuis l'Arve.

Dans ces conditions, les aménagements à mettre en place doivent viser à :

- diversifier les conditions d'écoulements en permettant notamment d'**augmenter les hauteurs d'eau à faible débit** et de **ralentir les vitesses pour les débits plus élevés** ;
- favoriser la **sédimentation d'éléments de substrat plus fins** que ceux actuellement présents (majoritairement dans la classe 128-256 mm), ce qui contribuera à la fois à la diversification des écoulements, et devrait également permettre la reproduction des salmonidés (truite et ombre) ;
- créer des **abris hydrauliques**, des caches, habitats indispensables à la truite fario ;
- **conserver en l'état une partie du linéaire** qui constitue un habitat favorable pour le chabot, espèce globalement la mieux représentée dans les inventaires de ces dernières années ;
- **ne pas supprimer toute la végétation en place** (ou alors la remplacer), car c'est un élément prépondérant du bon fonctionnement des cours d'eau (rôles trophiques, d'ombrage, d'abris, etc.).

Il subsiste cependant des interrogations sur la nature et l'importance du transport solide. Comme vu au §4, le Borne aval a connu d'importantes modifications sur les 60 dernières années, soit bien après la mise en place des principaux aménagements à la fin du XVIII^{ème} et au cours du XIX^{ème} siècle. La disparition progressive des bancs alluviaux semble s'être accompagnée d'un enfoncement du lit et d'un pavage progressif du substrat. Dans l'attente des résultats de l'étude en cours, il convient d'envisager de

renforcer l'impact des aménagements proposés par l'injection de sédiments fins (gamme 2 à 100 mm), soit à l'entrée (amont) du secteur rectifié, soit directement au droit des aménagements (épis). L'objectif étant clairement de favoriser la reproduction de la truite fario et de l'ombre commun.

5.2 MODÉLISATION HYDRAULIQUE DES AMÉNAGEMENTS « TYPE » ENVISAGES

5.2.1 Définition des scénarios unitaires

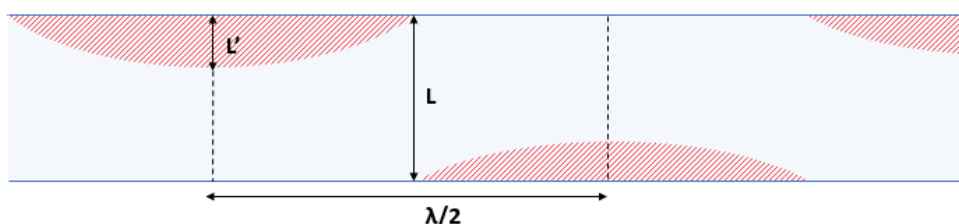
3 types d'aménagements ont été définis :

- banquettes alternées ou continues en bordure de lit ;
- épis plongeants en enrochements libre ;
- micro-seuils partiels en blocs disjoints.

On rappelle que ces aménagements devront en particulier ne pas entraîner une aggravation du risque d'érosion des digues, et avoir une incidence faible au-delà d'une crue décennale.

Plusieurs scénarios unitaires sont testés :

- **scénario 1a** : Banquettes alternées sur 1/3 de la largeur mouillée au module, définies selon le schéma suivant :



avec :

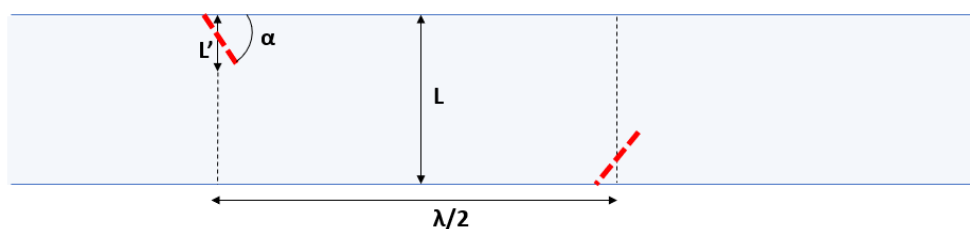
- L : largeur au miroir pour le module
- $L' = L/3$
- $\lambda/2 = 5 \cdot L_2$, où L_2 est la largeur à pleins bords, ici la largeur moyenne du lit pour Q2

La cote des banquettes est fixée à la cote du module augmentée de +10 cm.

- **scénario 1b** : Banquettes alternées sur 2/3 de la largeur au miroir au module

Cette configuration est similaire à la précédente, avec cette fois $L' = 2/3 L$.

- **scénario 2a** : Epis alternés sur 1/3 de la largeur au miroir du module, définis selon le schéma suivant :



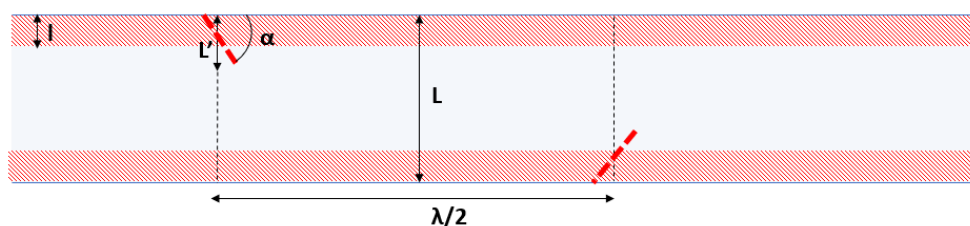
- L : largeur au miroir pour le module
- $L' = L/3$
- $\lambda/2 = 5 \cdot L_2$, où L_2 est la largeur à pleins bords, ici la largeur moyenne du lit pour Q2
- $\alpha = 60^\circ$

La cote des épis est fixée à la cote du module diminuée de 20 cm pour la partie éloignée des berges, et à la cote du module pour l'autre moitié (simulation d'une forme plongeante).

- **scénario 2b** : Epis alternés sur 2/3 de la largeur au miroir du module

Cette configuration est similaire à la précédente, avec cette fois $L' = 2/3 L$.

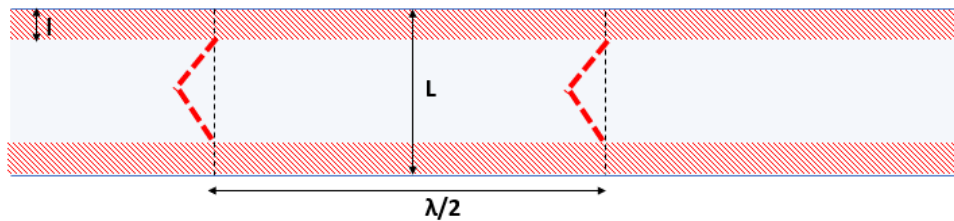
- **scénario 2c** : Epis alternés sur 1/3 de la largeur au module, avec une banquette continue au pied des berges, sur 1/6^e de la largeur en rive droite et 1/6^e en rive gauche. La configuration est donnée dans le schéma suivant :



- L : largeur au miroir pour le module
- $L' = L/3$
- $l = L/6$
- $\lambda/2 = 5 \cdot L_2$, où L_2 est la largeur à pleins bords, ici la largeur moyenne du lit pour Q2
- $\alpha = 60^\circ$

La cote de la banquette continue est fixée à la cote du module augmentée de 20 cm pour la partie éloignée des berges, et à la cote du module augmentée d'un mètre pour l'autre moitié.

- **scénario 3c** : Micro-seuils en blocs disjoints de 75 cm de côté fichés de 25cm dans le fond du lit et espacés de 40 cm environ avec une risberme continue au pied des berges, sur 1/6^e de la largeur en rive droite et 1/6^e en rive gauche



Pour ces deux derniers scénarios, une modélisation simplifiée a été mise en œuvre, l'outil utilisé ne permettant pas la création de mailles inférieures à 1 m : suivant la forme du micro-seuil donnée dans le schéma précédant, la cote de fond d'une maille sur deux a été augmentée de +50 cm.

5.2.2 Résultats des modélisations

Les modifications du lit sont prises en compte dans le modèle hydraulique. Les caractéristiques des mailles (cotes de fond, cote de liaisons hydrauliques entre les mailles) sont mises à jour pour représenter les aménagements.

Les impacts en lit mineur sont calculés en comparant les résultats de la modélisation de l'état projet avec les résultats du scénario de référence.

L'ensemble des résultats de la modélisation sont donnés en annexe pour chaque scénario et chaque évènement hydrologique considéré.

a) Scénarios 1

- Impacts sur la ligne d'eau en situation de crue

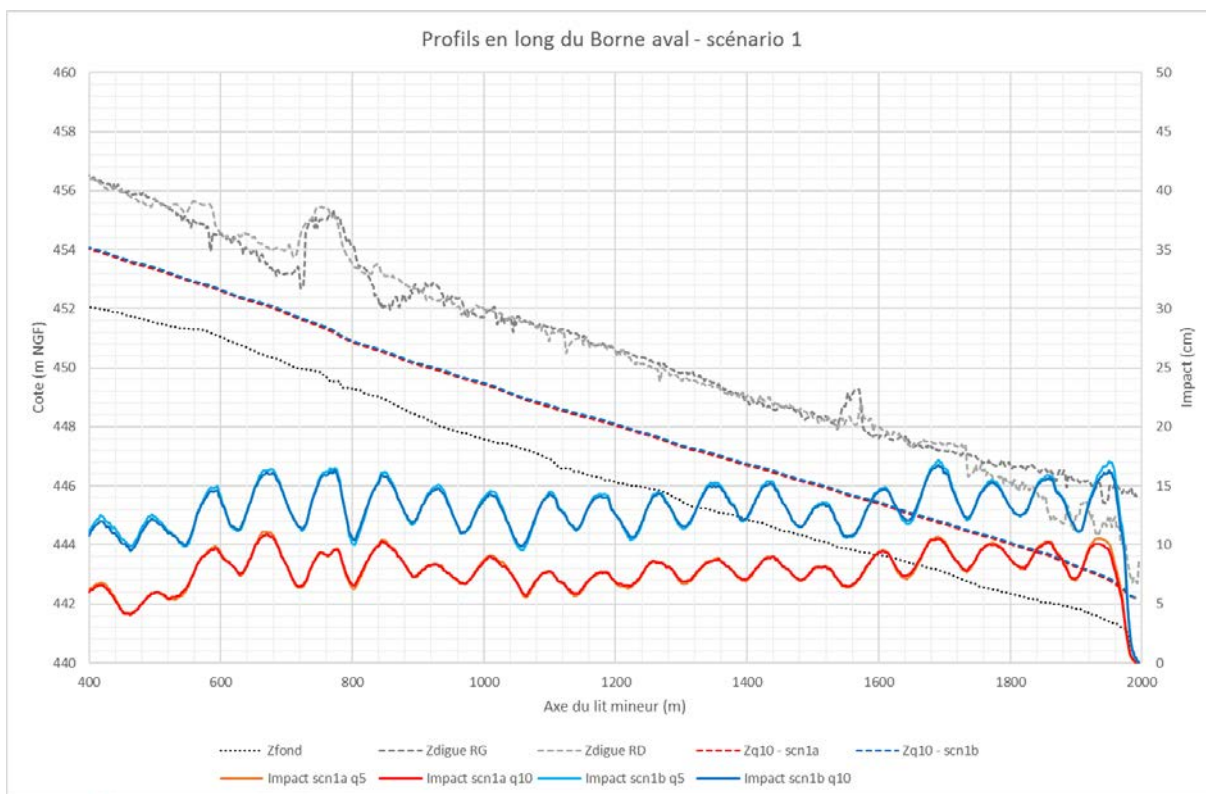


Figure 5-1 : Impacts des aménagements des scénarios 1a et 1b sur la ligne d'eau

L'allure des impacts des aménagements du scénario 1a et du scénario 1b sur la ligne d'eau est identique pour la crue 5 ans et la crue 10 ans : on constate une variation sinusoïdale des impacts, avec une distance entre chaque pic égale à la longueur d'onde des aménagements définie précédemment.

L'impact maximal pour le scénario 1a est de 11 cm contre 17 cm pour le scénario 1b, pour la crue 5 ans.

On constate également une diminution de l'impact entre la crue 10 ans et la crue 5 ans de l'ordre de 2 mm pour les deux scénarios.

- Modification du champ des vitesses

Les figures suivantes sont des aperçus de vue en plan des impacts en lit mineur et des champs des vitesses avec la prise en compte des aménagements selon le scénario considéré pour le débit QMNA5, une centaine de mètres en aval du pont de la D1203.



Figure 5-2 : Carte d'impacts des hauteurs et vitesses pour le débit QMNA5 – scénarios 1a et 1b

On constate une légère accélération du champ des vitesses au droit du plus fort rétrécissement du lit pour les deux scénarios : +0.05 m/s pour le scénario 1a, +0.12 m/s pour le scénario 1b.

Les impacts sont proches de zéro pour le scénario 1a, alors qu'ils sont compris entre +1 et +5 cm au droit de la zone de rétrécissement pour le scénario 1b.

b) Scénarios 2

- Impacts sur la ligne d'eau en situation de crue

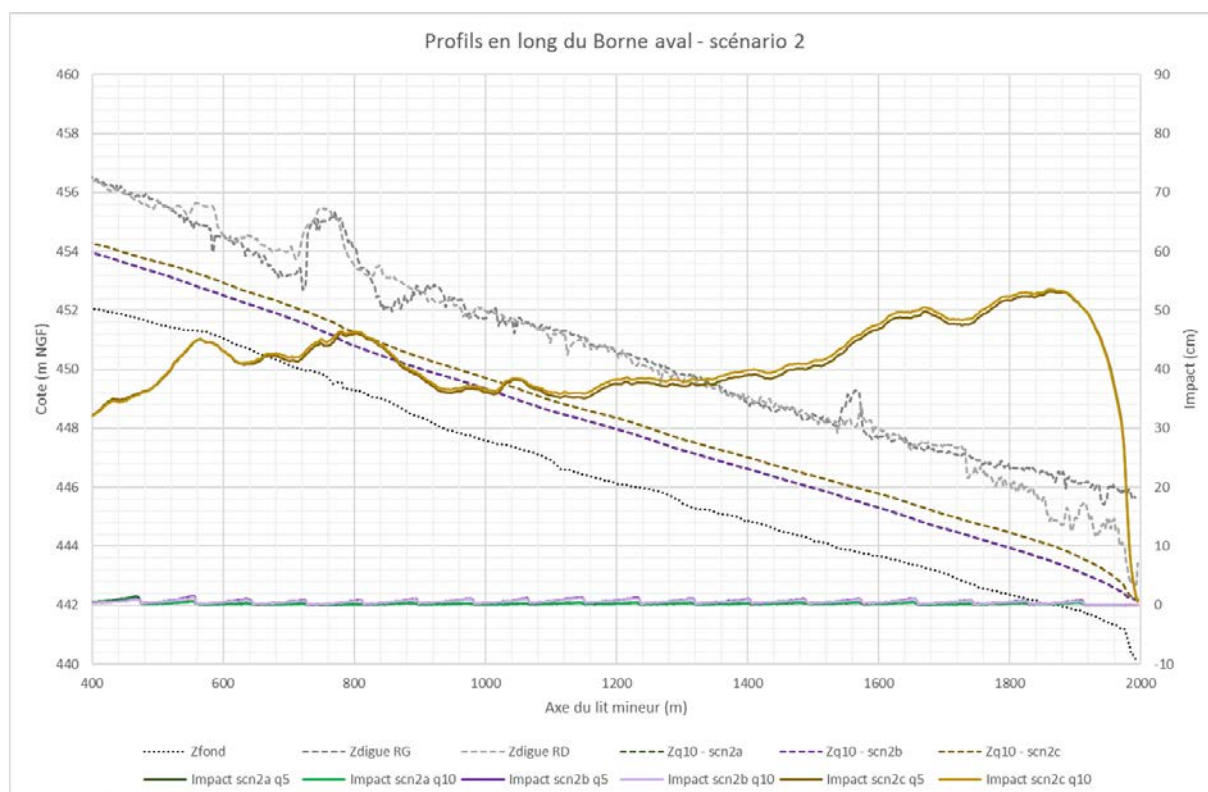


Figure 5-3 : Impacts des aménagements des scénarios 2a, 2b, et 2c sur la ligne d'eau

L'allure des impacts des aménagements du scénario 2a et du scénario 2b sur la ligne d'eau est identique pour la crue 5 ans et la crue 10 ans : on constate une variation sinusoïdale des impacts, avec une distance entre chaque pic égale à la longueur d'onde des aménagements telle que définie précédemment.

L'impact maximal pour le scénario 1a est de 1.5 cm contre 1.6 cm pour le scénario 1b, pour la crue 5 ans.

On constate également une diminution de l'impact entre la crue 10 ans et la crue 5 ans de l'ordre de 0.2 cm pour les deux scénarios.

Le fort rétrécissement du lit induit par le scénario 2c provoque des impacts de 53 cm pour les crues 5 ans et 10 ans. L'effet sinusoïdal des épis est bien moins marqué.

Notons tout de même que ce dernier scénario conserve une revanche minimale de l'ordre de +70 cm pour la crue décennale.

Au QMNA5, les impacts sont compris entre +1 et +5 cm et se propagent une dizaine de mètres plus en amont pour le scénario 2a, alors qu'ils sont compris entre +5 et +10 cm au droit de la zone de rétrécissement pour le scénario 2b, et ne s'atténuent qu'une vingtaine

de mètres plus à l'amont. Le rétrécissement du lit (2c) induit quant à lui un impact compris entre +1 et +5 cm sur l'ensemble du linéaire, et compris entre +5 et +10 en amont immédiat des épis.

- Modification du champ des vitesses

Les extraits de cartes résultantes sont présentés page suivante.

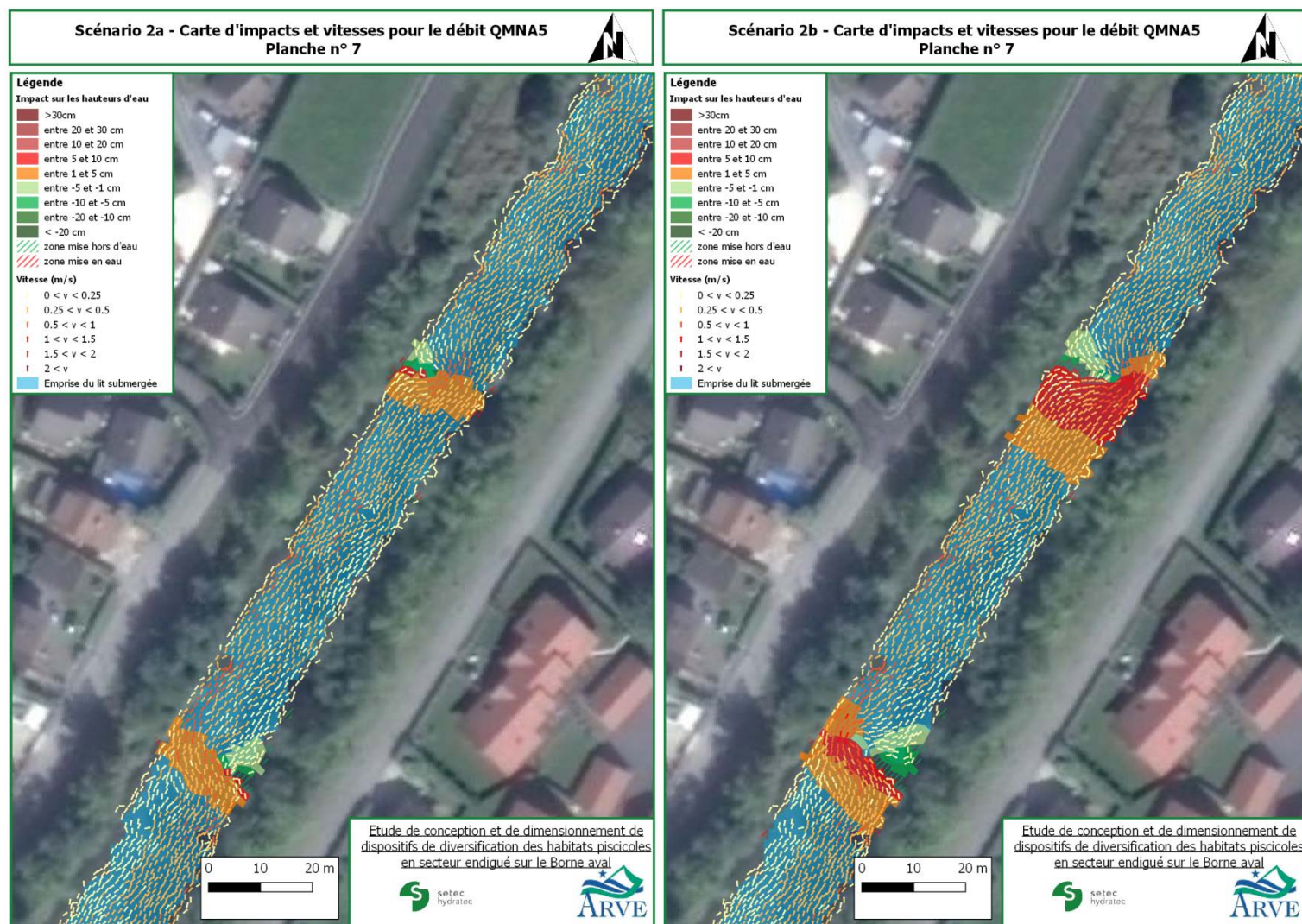


Figure 5-4 : Carte d'impacts des hauteurs et vitesses pour le débit QMNA5 – scénarios 2a et 2b

L'impact sur les vitesses est de +0.2 m/s pour le scénario 2a et +0.6 m/s pour le scénario 2b. Il est de +0.3 m/s pour le scénario 2c.

En aval des épis, côté berges, on constate des vitesses quasi nulles, du fait du rétrécissement du lit au droit de l'épi et de l'élargissement en aval immédiat. Ce phénomène est d'autant plus marqué que le lit est réduit.

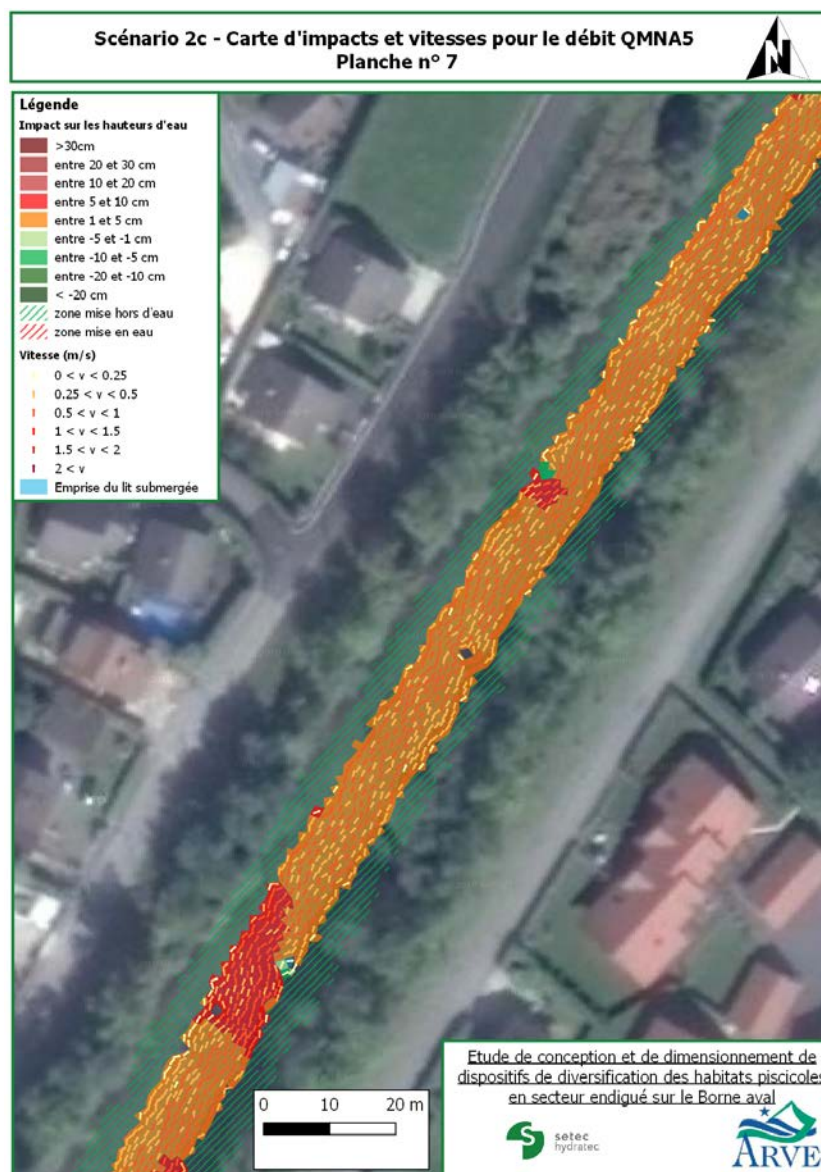


Figure 5-5 : Carte d'impacts des hauteurs et vitesses pour le débit QMNA5 – scénario 2c

Le champ des vitesses est assez peu influencé par ces épis.

c) Scénarios 3

Seuls les résultats du scénario 3c sont représentés, la modélisation des micro-seuils n'étant pas forcément représentative des futurs aménagements envisagés.

- Impacts sur la ligne d'eau en situation de crue

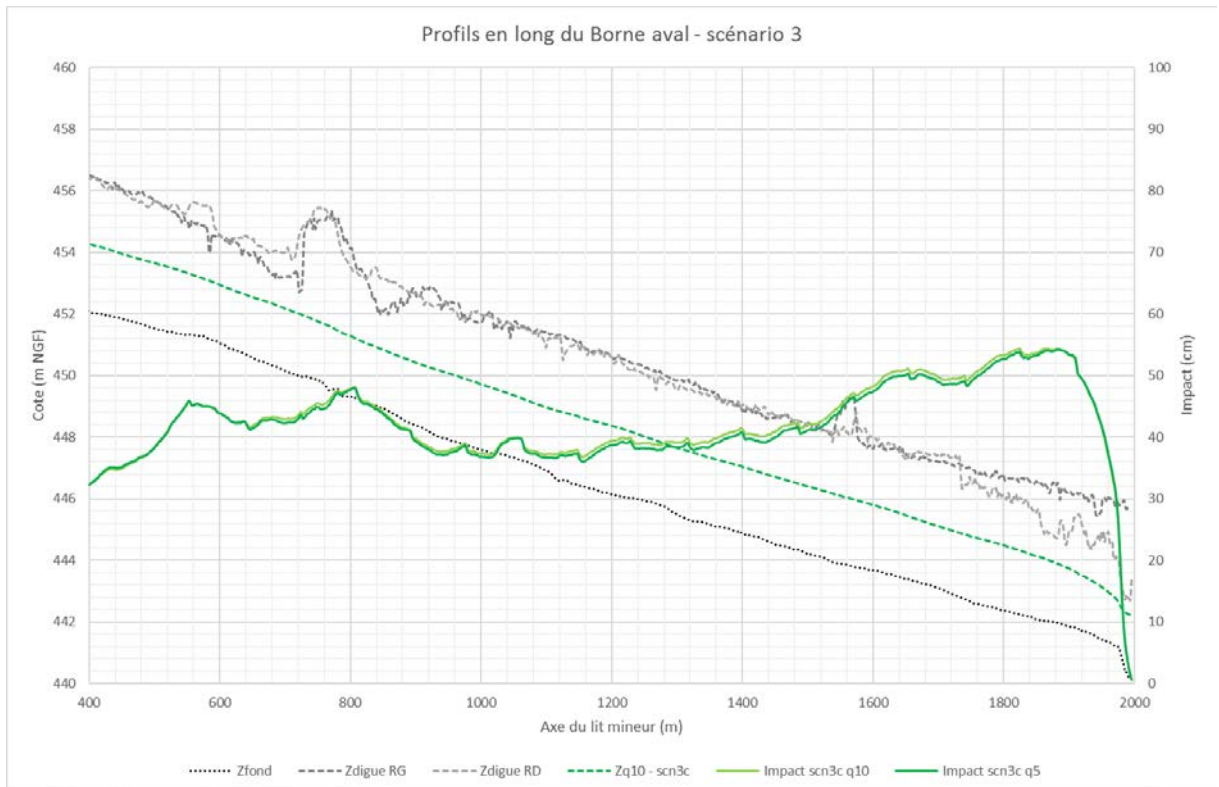


Figure 5-6 : Impacts des aménagements du scénario 3c sur la ligne d'eau

L'allure des impacts des aménagements du scénario 3c pour les crues 5 et 10 ans est identique au scénario précédent (2c) : on constate des impacts maximaux de 53 cm pour les crues 5 ans et 10 ans. L'effet sinusoïdal de l'impact des micro-seuils est très peu marqué.

Le rétrécissement du lit induit un impact compris entre +1 et +5 cm sur l'ensemble du linéaire, et compris entre +5 et +10 en amont immédiat des seuils au QMNA5.

Ce scénario conserve également une revanche minimale de l'ordre de +70 cm pour la crue décennale.

- Modification du champ des vitesses

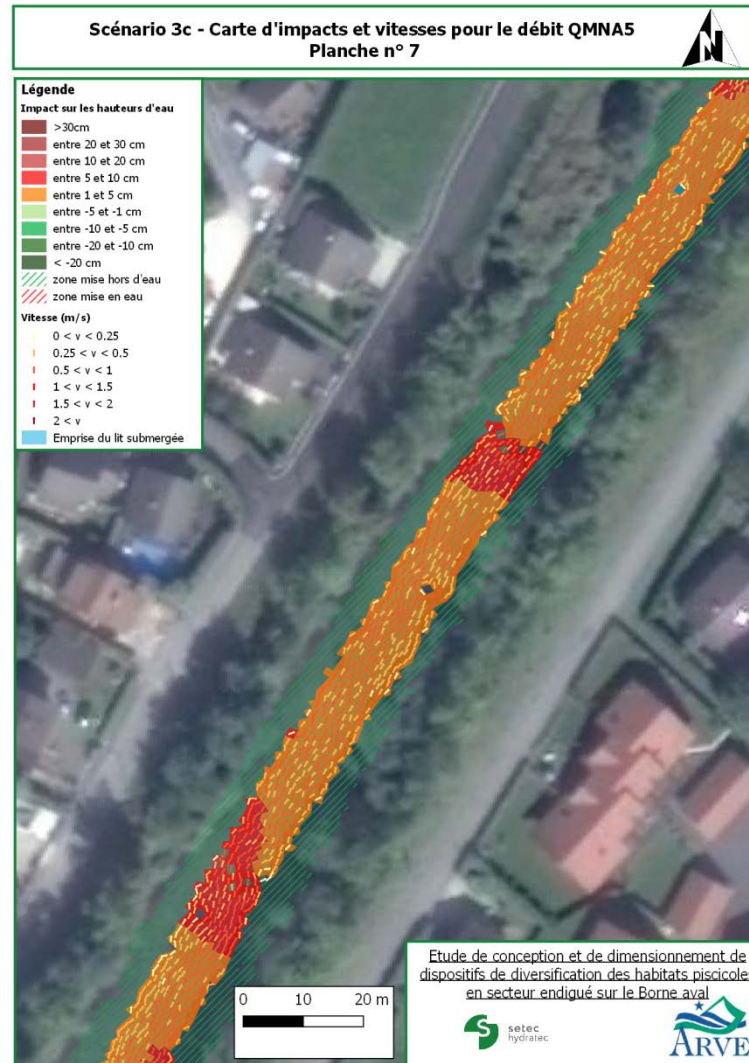


Figure 5-7 : Carte d'impacts des hauteurs et vitesses pour le débit QMNA5 – scénario 3c

Le champ des vitesses en est assez peu influencé : +0.25 m/s. Notons que les impacts se propagent un peu plus à l'amont que les impacts du scénario précédent, sur une distance comprise entre 10 et 20 m environ.

5.3 SYNTHÈSE

Aménagements	Impacts max en crue Q10	Champ des vitesses pour le QMNA5	Hauteurs d'eau pour le QMNA5	Incidences écologiques
Banquettes alternées 1/3 largeur du lit	+11 cm	Faible modification du champ des vitesses : accélération de +0.05 m/s	+0 cm	Sans incidence
Banquettes alternées 2/3 largeur du lit	+17 cm	Faible modification du champ des vitesses : accélération de +0.12 m/s	+1 à +5 cm le long des banquettes	Légère amélioration localisée de l'habitat pour la truite adulte
Epis 1/3 largeur du lit	+2 cm	Modification importante du champ des vitesses : accélération de +0.2 m/s sur la section réduite et fort ralentissement en aval de l'épi près des berges (-0.5 m/s)	+1 à +10 cm sur quelques mètres	Nette amélioration localisée de l'habitat pour la truite adulte, et du potentiel de sédimentation de fractions granulométriques favorable à la reproduction de la truite et de l'ombre sur des surfaces faibles
Epis 2/3 largeur du lit	+2 cm	Modification importante du champ des vitesses : accélération de +0.6 m/s sur la section réduite et fort ralentissement en aval de l'épis près des berges (-0.6 m/s)	+1 à +10 cm sur 25 à 65 m	Nette amélioration de l'habitat sur d'importants linéaires pour la truite adulte, et du potentiel de sédimentation de fractions granulométriques favorables à la reproduction de la truite et de l'ombre sur des surfaces significatives Sans incidence pour le chabot.
Banquettes continues + Epis 1/3 largeur du lit	+53 cm	Légère modification du champ des vitesses : accélération de +0.3 m/s	+1 à +5 cm	Pour la truite : légère dégradation de l'habitat par l'augmentation de vitesse (peu impactante pour le QMNA5), légère amélioration pour l'adulte sur le paramètre hauteur d'eau. Sans incidence pour le chabot.
Banquettes continues + Micro-seuils	+53 cm	Légère modification du champ des vitesses : accélération de +0.25 m/s	+5 à +10 cm sur quelques mètres +1 à +5 cm localement	Pour la truite : légère dégradation de l'habitat par l'augmentation de vitesse (peu impactante pour le QMNA5), nette amélioration de l'habitat pour l'adulte sur le paramètre hauteur d'eau. Sans incidence pour le chabot.

Figure 5-8 : Synthèse des impacts des différents scénarios

Compte tenu des forts impacts induits en crue décennale par la mise en place de **banquettes continues**, mais aussi de l'effet induit de chenalisation/artificialisation supplémentaire et d'accélération des vitesses, ce type d'aménagement est à éviter. Il présente par contre un intérêt notoire pour la continuité écologique pour la faune terrestre.

Les **banquettes alternées** telles que définies en scénario 1 induisent quant à elles un impact sur les hauteurs d'eau en crue non négligeable (compris entre 10 et 20 cm pour Q10) et diversifient peu le champ des vitesses. Elles augmentent la ligne d'eau pour les faibles débits, mais de façon assez faible.

Les aménagements ponctuels de type **épis** ont un impact négligeable sur la ligne d'eau en crue. Ils permettent une forte diversification du champ des vitesses au droit de l'ouvrage et de part d'autre, favorable à la truite et à l'ombre ; ils augmentent également les hauteurs d'eau pour les faibles débits sur une longueur significative, comprise entre 2 et 4 fois la largeur du lit dans le cas d'une réduction des 2/3 de la largeur mouillée au module.

Les **micro-seuils** génèrent une augmentation de hauteur d'eau à l'amont similaire aux épis. Sans que cela ne soit mis en évidence par le modèle, ils génèrent par ailleurs, à l'instar de blocs isolés dispersés dans le lit, une diversification des conditions de vitesse et de petites zones de refuge et de sédimentation à leur aval.

Une combinaison de ces différents aménagements est donc à rechercher pour atteindre les objectifs fixés.

6 SCÉNARIO D'AMÉNAGEMENT RETENU

6.1 PRINCIPES RETENUS

Comme rappelé dans les paragraphes précédents, les aménagements qu'il est proposé de mettre en place sont en premier lieu destinés à augmenter la diversité des conditions d'écoulements afin d'augmenter l'habitabilité de ce secteur aval du Borne vis-à-vis des espèces « cibles » que sont la truite fario, le chabot et l'ombre commun. L'augmentation des hauteurs d'eau pour les faibles débits (du QMNA5 au module), la réduction des vitesses pour les débits plus élevés (du module à Q2), et la diversification du champ des vitesses pour favoriser la sédimentation des fractions fines, favorables au frai, sont les trois objectifs pratiques qui ont servi de ligne directrice à ces aménagements. Ces derniers sont une combinaison des différents éléments testés individuellement, en les optimisant pour compenser les éventuels effets indésirables.

La réduction du lit d'étiage définie est volontairement limitée, et la hauteur des banquettes est également faible, afin de ne pas générer d'augmentation du champ des vitesses aux plus forts débits. C'est aussi pourquoi il est proposé d'accompagner la mise en place des banquettes et épis d'un surcreusement du lit, permettant de gagner de la profondeur sans (trop) impacter les vitesses. Ces sur-profondeurs sont généralement les habitats colonisés par les individus de plus grande taille, aussi bien chez la truite fario que chez l'ombre commun.

Un autre type d'aménagement non évoqué précédemment est proposé : la mise en place d'abris/caches par amas de 3 blocs, disposés aléatoirement dans le lit mineur mouillé à l'étiage, sur environ 3% de la surface mouillée (d'après un retour d'expériences menées dans les Pyrénées notamment – TRF, voir Baran, 1995). Il s'agit d'une forme améliorée des blocs dispersés dans le lit, communément mis en œuvre pour diversifier les écoulements à des fins piscicoles.

La présence d'anfractuosités au sein des épis/banquettes, associée à la mise en place de séries caches doit à terme constituer autant d'abris et de caches, habitats indispensables à la présence de la truite fario.

Enfin, le diagnostic ne serait pas complet sans parler de la continuité. En effet, en l'état actuel, la partie aval du Borne ne constitue pas une zone de reproduction (privilégiée) au moins pour la truite fario et l'ombre commun. Seul le chabot semble être en mesure de se reproduire sur ce secteur.

La truite fario doit pouvoir trouver des habitats de reproduction favorables sur la partie amont de ce secteur (amont du pont de l'A40), voire à l'amont du seuil Métral. Elle doit pour cela franchir ce seuil, ainsi que les autres obstacles situés plus en aval et que rencontrent les individus remontant de l'Arve : seuil de la confluence, seuil sous le pont de la route nationale, sous le pont de l'A40. Les investigations menées dernièrement par la Fédération de Pêche de Haute Savoie montrent qu'une large gamme de tailles de truite (entre 10 et 50 cm) est capable de franchir l'ensemble de ces seuils qui ne constituent donc pas un obstacle vis-à-vis du déplacement de cette espèce.

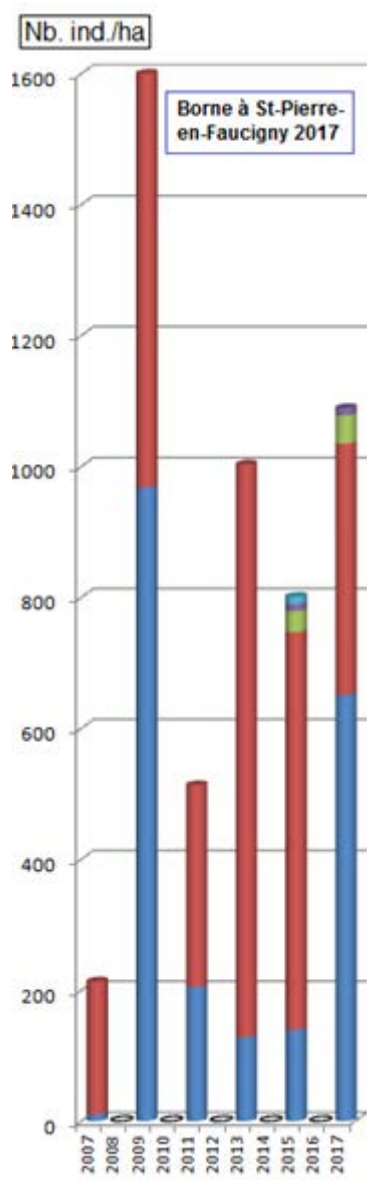
Il n'en est a priori pas de même pour l'ombre commun. Absent (ou quasiment absent) des relevés réalisés sur la partie aval du Borne avant 2015 (inventaires réalisés par l'AFB, la Fédération de Pêche), cette espèce semble à nouveau fréquenter de façon – certes limitée – ce secteur depuis cette date, rejoignant en cela les informations transmises par les pêcheurs en 2016, faisant état de captures plus nombreuses.

Dans le cadre du suivi des déplacements des poissons mentionné précédemment et réalisé par la Fédération de Pêche 74, un ombre (13,3 cm) marqué dans l'Arve a été détecté au niveau des antennes installées sur le seuil Métral, confirmant des conditions de déplacement a priori favorables. Néanmoins, ces observations semblent être liées à l'amélioration de la franchissabilité du seuil situé au niveau de la confluence Arve-Borne suite à la crue de 2015, qui est venue engraver la partie aval du seuil. Une attention particulière devra donc être portée à l'évolution de cet aménagement afin de maintenir de bonnes conditions de franchissabilité.

Le maintien de la continuité écologique terrestre est à réfléchir par une combinaison des aménagements dans le lit et en berge (digues).

■ Truite fario
■ Chabot
■ Ombre commun

Figure 6-1 : Bilan des captures réalisées au niveau de la station du RCS située sur le Borne à St-Pierre en Faucigny – Source AFB



6.2 DIMENSIONNEMENT DES AMÉNAGEMENTS

6.2.1 Dimensionnement des banquettes

Les banquettes ont été dimensionnées de manière à être émergées au moins 50% de l'année, tout en réduisant la largeur mouillée au module de 2/3. Cette disposition a pour intérêt de contribuer à la continuité écologique terrestre.

Le débit médian annuel du Borne est donné dans l'Etude hydraulique et hydromorphologique du Borne, (volet 2, hydrologie) (HTV, 2016) :

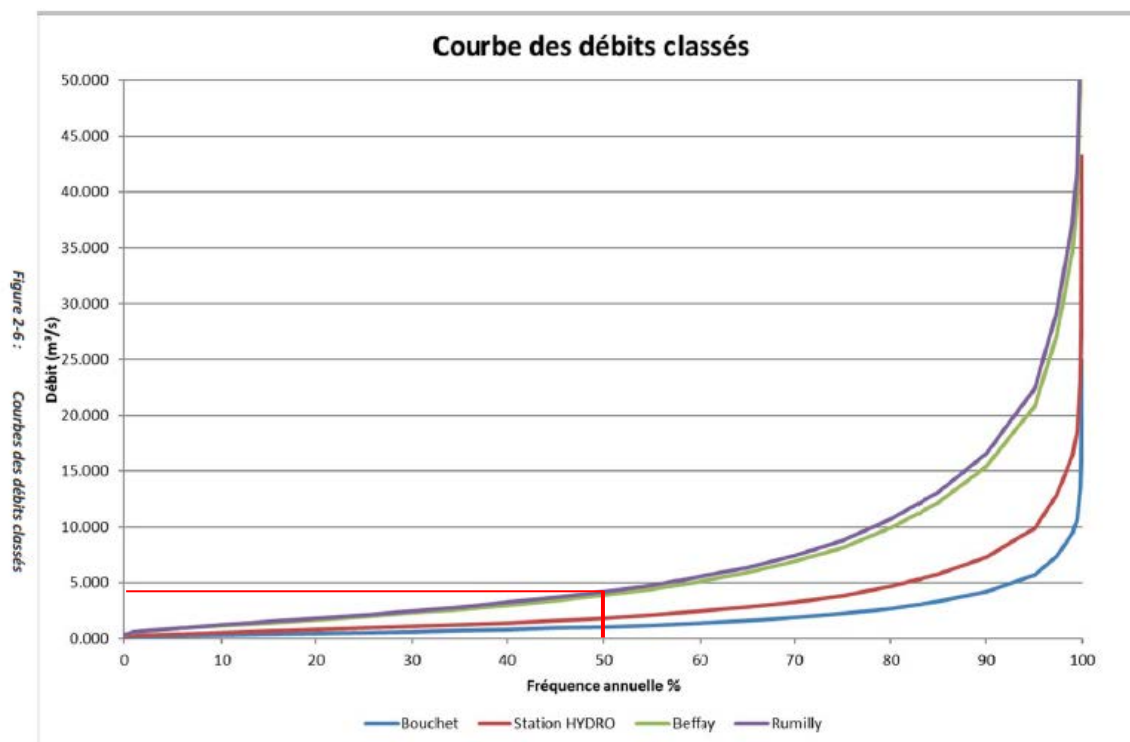


Figure 6-2 : Courbe des débits classés du Borne - source : HTV

Le débit médian du Borne à St-Pierre-en-Faucigny (Rumilly) est estimé à 4.18 m³/s.

Les simulations effectuées avec le modèle d'écoulement du Borne permettent de produire la relation niveaux- débit.

Afin de tenir compte du rehaussement de la ligne d'eau lié aux futurs aménagements, il convient de dimensionner l'ouvrage en prenant comme référence la ligne d'eau futur. On estime les impacts futurs proches des impacts du scénario 1. Les relations hauteur-débit sont par conséquent établies à partir de ce scénario.

Le modèle étant uniquement 2D, plusieurs courbes de tarage en différents points du modèle sont données ci-après :

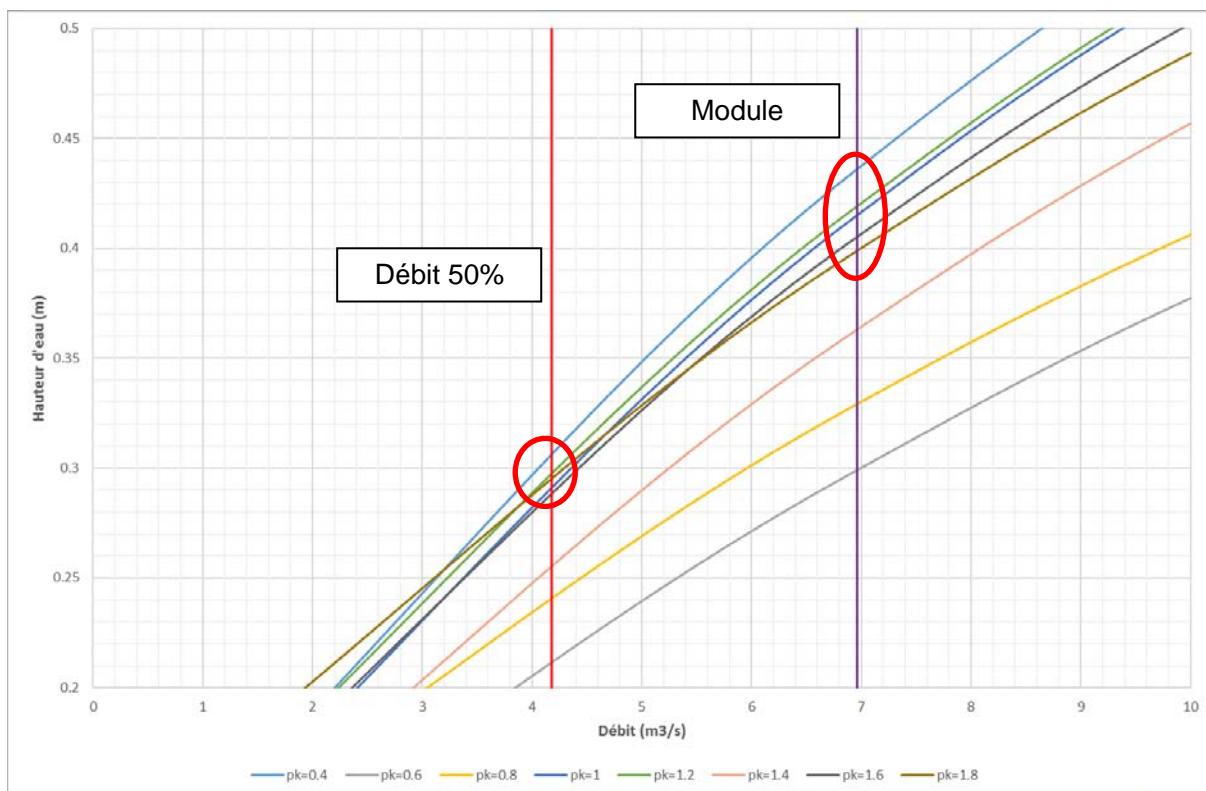


Figure 6-3 : Courbes de tarage en différents points du modèle – scénario 1

En ne tenant pas compte des courbes de tarage qui s'éloignent de la tendance générale (courbes établies à partir de mailles 2D pouvant avoir une cote de fond particulière correspondant à une irrégularité du fond du lit mineur avec une différence entre la cote d'eau et la cote de fond éloignée de la différence moyenne de cote d'eau et cote de fond : $pK=0.8$, $pK=1.4$ et $pK=1.6$), la hauteur d'eau moyenne pour le débit 50% est estimée à 30 cm environ, contre 42 cm pour le module.

Pour avoir des banquettes émergées au moins 50% de l'année, compte tenu de l'incertitude liée aux calculs numériques, on choisit une hauteur de banquette de +35 cm par rapport au fond du lit mineur.

6.2.2 Dimensionnement des épis

Les épis ont été dimensionnés de manière à maximiser les effets hydrauliques, en étant exondés pour le module. On propose donc un calage de l'épis en prenant une hauteur égale à la hauteur au module augmentée de +10 cm environ, soit environ 50 cm.

6.2.3 Blocométrie

La formule d'Isbach permet de dimensionner les enrochements à mettre en œuvre, donnant en écoulement turbulent :

Diamètre nominal : $D = 0.044 * V^2$

D'après le modèle hydraulique, la vitesse lors de la crue centennale à la pointe des épis projetés (lieu où la valeur est la plus élevée dans le lit) est de 3.25 m/s.

Le diamètre nominal des blocs doit donc être de 0.465 m, soit une masse de l'ordre de 271 kg (hypothèse d'un bloc cubique de masse volumique 2,7 t/m³).

La blocométrie prévue pour les digues est de **400 à 800 kg**, soit une gamme de diamètres de l'ordre de 0.52 à 0.82 m, selon la masse et la forme des blocs. Pour faciliter l'organisation des chantiers, il est proposé d'utiliser cette même classe pour les aménagements dans le lit mineur. Cette blocométrie est supérieure à celle nécessaire d'après nos calculs ; elle offre donc une marge de sécurité et permettra des aménagements résistant à des débits supérieurs à Q100.

Lors de la sélection des blocs (si possible à l'occasion du chantier de réfection des digues afin de bénéficier d'un gisement plus important), le choix se portera sur ceux qui présentent des arêtes vives et des faces irrégulières (intérêt pour la diversification des écoulements et la création d'anfractuosités) ; ils seront choisis parmi les plus petits disponibles (taille moyenne plus faible que la moyenne), mais devra tout de même permettre un agencement sur deux rangées superposées et un agencement satisfaisant.

6.3 PRÉSENTATION DU DÉTAIL DU PROJET

Les aménagements retenus sont les suivants :

- **répétition d'un motif alterné en rives droite et gauche** du pont autoroute au pont Tucinge (avenue Ravel) comprenant :
 - une **banquette** végétalisée d'environ 35 cm de haut, 30 ml, et large de 10 m,
 - un **épi** accolé plongeant en enrochement d'environ 50 cm de haut, et large de 12 m,
 - une **fosse** surcreusée de 1 m de profondeur le long et à l'aval des épis,
 - une **recharge** granulométrique de diamètre 0.2 et 10 cm à l'aval de la fosse,
 - un **micro-seuil** transversal en blocs disjoints sur l'aval du motif,
 - des **amas de blocs** assemblés par 3 formant un abri dispersés de part et d'autre du micro-seuil, sur moins de 2% de la surface
- **interruption intermédiaire sur environ 300 ml** entre le pont de la D1203 et le pont de Tucinge pour maintenir les conditions favorables au **chabot**
- **en aval du pont de Tucinge, pose dans le lit d'amas de blocs assemblés par 3** formant des abris sur environ 3% de la surface, soit de l'ordre de 3 dispositifs pour 100m².

Un exemple de motif répété est donné sur la figure suivante :

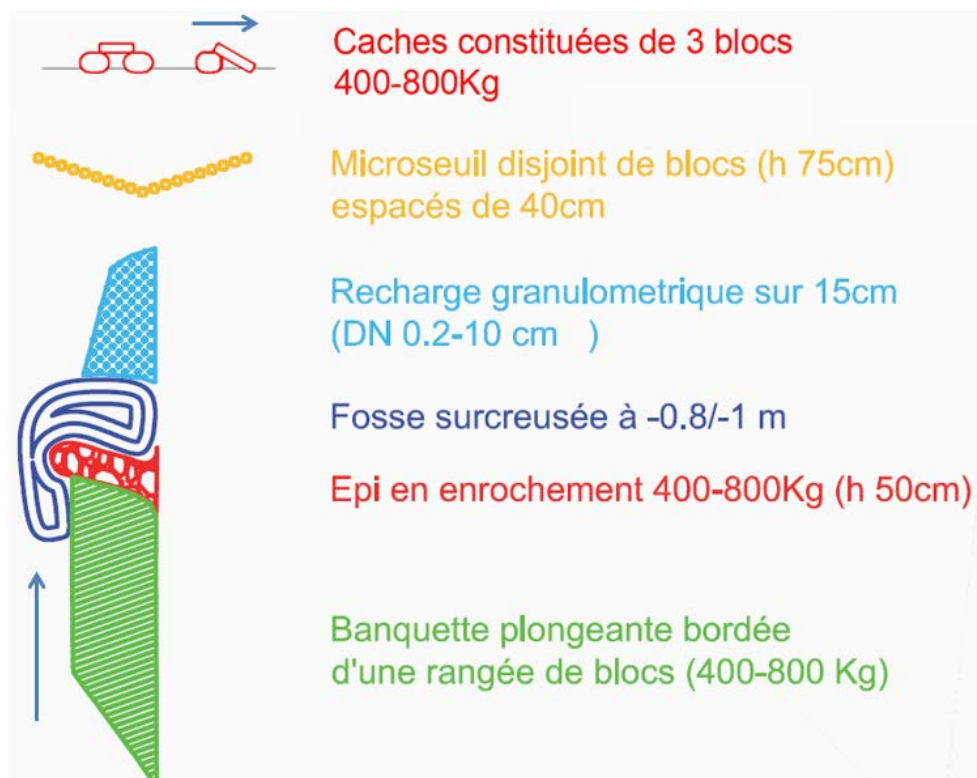


Figure 6-4 : Principe du motif alterné

6.3.1 Banquettes

Les banquettes seront **bordées de blocs** (avec une rangée en soubassement) de 400 à 800 kg, les forces tractrices ne permettant pas la mise en œuvre de techniques de génie végétal. Les blocs à l'amont seront ancrés en berge. Les blocs choisis auront un maximum d'arêtes vives et leur agencement au contact de l'eau permettra la présence d'anfractuosités submergées, caches pour la truite notamment – voir § suivant concernant les épis.

Elle seront constituées d'un mélange de terre végétale et de matériaux de granulométrie 2 à 100 mm, similaires à celui utilisé pour la recharge sédimentaire.

Elles seront recouvertes d'un aiguilleté coco pour prévenir le lessivage des fines et d'un géotextile coco tressé H2M7 de 1250 g/m² ancré par un « repli » de 50 cm environ sous la banquette.

Des boutures de saules arbustifs seront implantées sur l'ensemble de la banquette afin de favoriser sa stabilisation rapide :

- Espèces : *Salix viminalis*, *Salix triandra*, *Salix purpurea*
- Dimensions : diamètre 2 à 4 cm, longueur 80 cm, à enfouir aux 3/4
- Densité : un plant pour 4 m² environ
- Protection contre le castor notamment par structures métalliques de type arbre de fer (ne pas protéger individuellement mais plutôt par « massifs », en particulier la moitié du peuplement située du côté de la berge).

Un ensemencement de type prairie hygrophile sera réalisé en complément sur l'ensemble de la surface (à une période minimisant les risques de lessivage avant levée).

La provenance des graines et boutures devra être autant que possible locale (label Végétal Local).

N.B. 1 : Une fois la banquette stabilisée (deuxième ou troisième année après travaux) , il est préconisé de débroussailler mécaniquement la moitié de la banquette située au centre du lit mineur, afin de substituer au peuplement de ligneux qui se sera développé à partir des boutures un peuplement herbacé hygrophile (hélrophytes et autres espèces hygrophiles spontanées).

Les peuplements ligneux des banquettes seront par ailleurs à recéper tous les 4 à 6 ans (lorsque le diamètre des brins atteindra ou dépassera 5 cm).

N.B. 2 : Afin de favoriser une continuité écologique terrestre, le profil des berges/digues sera adouci entre deux banquettes sur une même rive afin de créer un corridor en pente douce (4H/1V) à nulle, si possible végétalisé par des ligneux en densité faible à moyenne pour favoriser les passages.

6.3.2 Epis

Les épis seront constitués de blocs de 400 à 800 kg auront une forme légèrement plongeante à l'extrémité côté cours d'eau.

Ils seront ancrés en berge, dans la structure des digues le cas échéant, par l'utilisation des plus gros blocs disponibles agencés selon les règles de l'art pour maximiser la stabilité et minimiser les risques d'érosion (emboîtement/enchâssement). La continuité entre épi et banquette sera assurée par l'ancrage des blocs de bordure de la banquette dans la structure de l'épi.

Les épis seront ancrés sous la ligne d'eau sur environ 1 m de profondeur.

Les blocs choisis auront comme pour la bordure des banquettes un maximum d'arêtes vives et leur agencement au contact de l'eau permettra la présence d'anfractuosités submergées, caches pour la truite notamment, comme sur la figure suivante.



Figure 6-5 : Exemple d'agencement de blocs avec anfractuosités submergées

6.3.3 Fosses et recharge sédimentaire

Les pentes des fosses seront d'environ 2H/1V. Leur profondeur sera de 80 cm à 1m.

Les matériaux extraits, complétés par ceux du chantier de réfection des digues, permettra de fournir par criblage le volume nécessaire à la recharge sédimentaire en fraction 2-100 mm. Cette recharge visant à fournir un substrat pour la fraie de la truite et de l'ombre

sera mise en place à l'aval immédiat de la fosse sur une épaisseur de 15 cm environ et une surface de 100 m² environ.

6.3.4 Micro-seuils

Les blocs des micro-seuils seront également dans la gamme 400-800 kg. Les blocs de plus grande taille seront choisis (hauteur de 75 cm minimum) afin de permettre un ancrage sur 25 cm environ et une émergence de la partie supérieure jusqu'au module inclus.

Les blocs seront espacés de 40 cm environ.

Ils reposeront sur un seuil de fond en enrochement 400-800 kg qui sera mis en place entre les sabots des digues de chaque rive pour la partie endiguée, afin de prévenir une incision du lit.

6.3.5 Amas de blocs (caches)

Les blocs seront disposés par 3 selon le schéma présenté. Le bloc supérieur sera choisi de forme relativement plate et surtout allongée pour lui permettre de reposer sur le substrat du côté aval. Les deux blocs inférieurs seront ancrés dans le substrat sur environ 25 cm.

Les blocs choisis auront des arêtes vives, ou minimum une forme cubique, pour permettre le bon agencement et la stabilité du dispositif.

Les amas seront répartis de façon relativement aléatoire, et non systématique et régulière comme présenté schématiquement sur les plans projet. L'espacement latéral et longitudinal moyen entre les différents dispositifs sera en moyenne de 5 m ; il variera en pratique entre 2 et 8 m.

6.3.6 Modalités de mise en œuvre

Au vu des faibles hauteurs des aménagements projetés et des bouleversements prévus sur les tronçons aval du fait du chantier de réfection des digues, une marge d'appréciation est à laisser à l'entreprise et au maître d'œuvre travaux pour le calage fin des aménagements. Un travail en eau est à ce titre souhaitable, au moins pour (ré)ajuster les blocs (avec une bonne connaissance des conditions hydrologiques du moment) ; une pelle araignée peut être l'engin adapté pour minimiser le passage d'engins dans l'eau.

La période de mise en œuvre devra éviter les périodes de reproduction de la truite et les hautes eaux, donc se situer entre juillet et octobre.

6.3.7 Vue d'ensemble des aménagements projetés

Une vue d'ensemble est proposée ci-après. Une version agrandie de ces pièces graphiques est fournie en annexe.



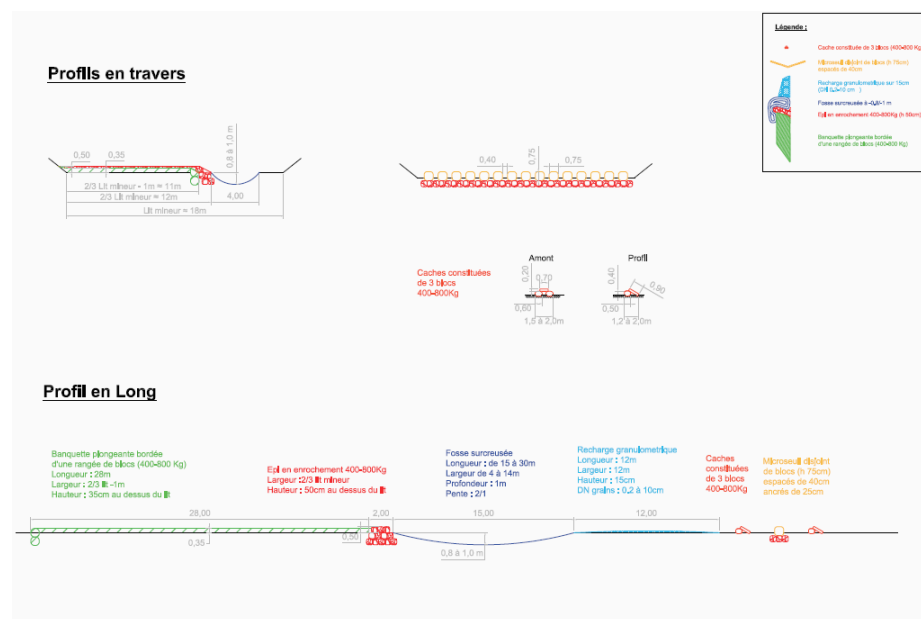


Figure 6-6 : Vue en plan et profils en travers et en long des aménagements retenus

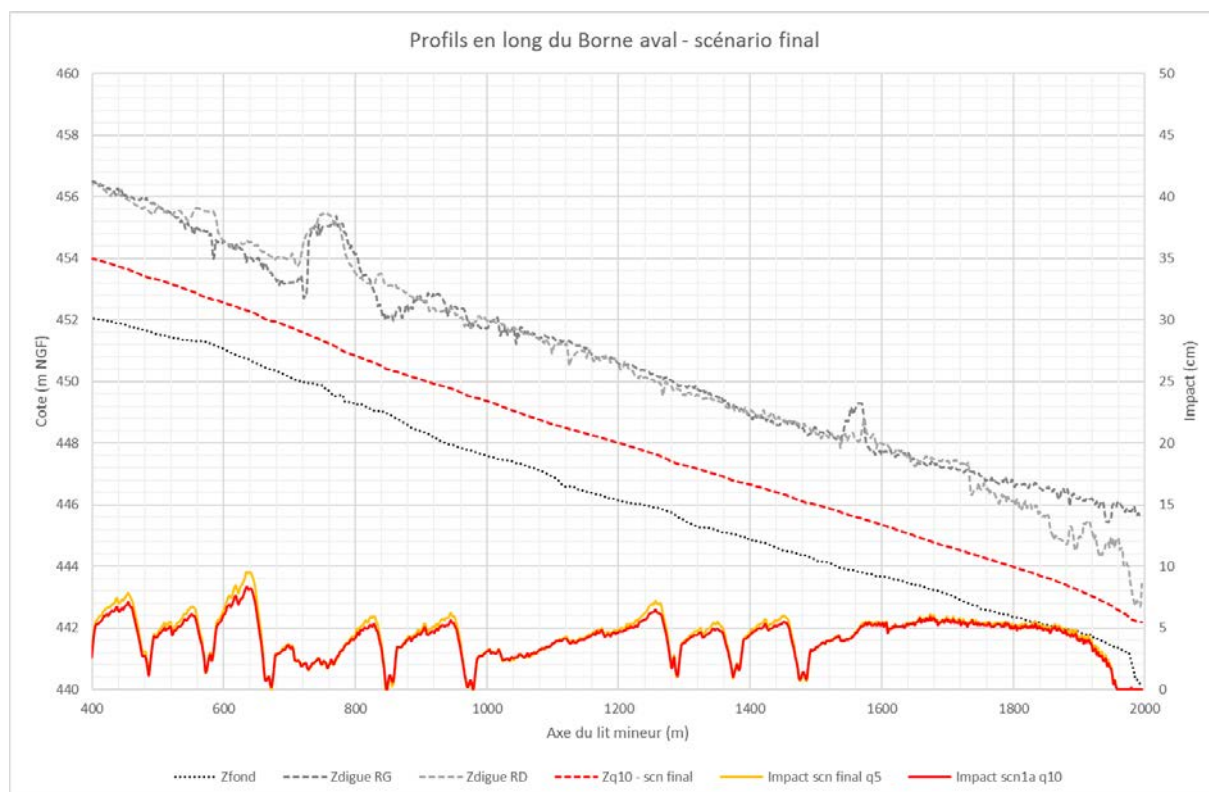
6.4 RÉSULTATS DES MODÉLISATIONS DES AMÉNAGEMENTS RETENUS

Comme établi précédemment, les modifications du lit sont prises en compte dans le modèle hydraulique. Les caractéristiques des mailles (cotes de fond, cote de liaisons hydrauliques entre les mailles) sont mises à jour pour représenter les aménagements.

Les impacts en lit mineur sont calculés en comparant les résultats de la modélisation de l'état projet avec les résultats du scénario de référence.

L'ensemble des résultats de la modélisation sont donnés en annexe pour chaque scénario et chaque évènement hydrologique considéré.

- Impacts sur la ligne d'eau en situation de crue



L'allure des impacts des aménagements du scénario final sur la ligne d'eau est identique pour la crue 5 ans et la crue 10 ans : on constate des impacts qui varient au droit de chaque motif. Sur la partie aval où les aménagements prévus (blocs posés dans le lit) sont homogènes, l'impact est constant.

L'impact maximal est de +10 cm pour la crue 5 ans et de +8 cm pour la crue 10 ans. Sur l'aval, l'impact moyen constaté est de + 5 cm.

- Modification du champ des vitesses

Les figures suivantes sont des aperçus de vue en plan des impacts en lit mineur et des champs des vitesses autour d'un motif comprenant tous les aménagements pour le débit QMNA5, le module, Q5 puis Q10, une centaine de mètres en aval du pont de la D1203.

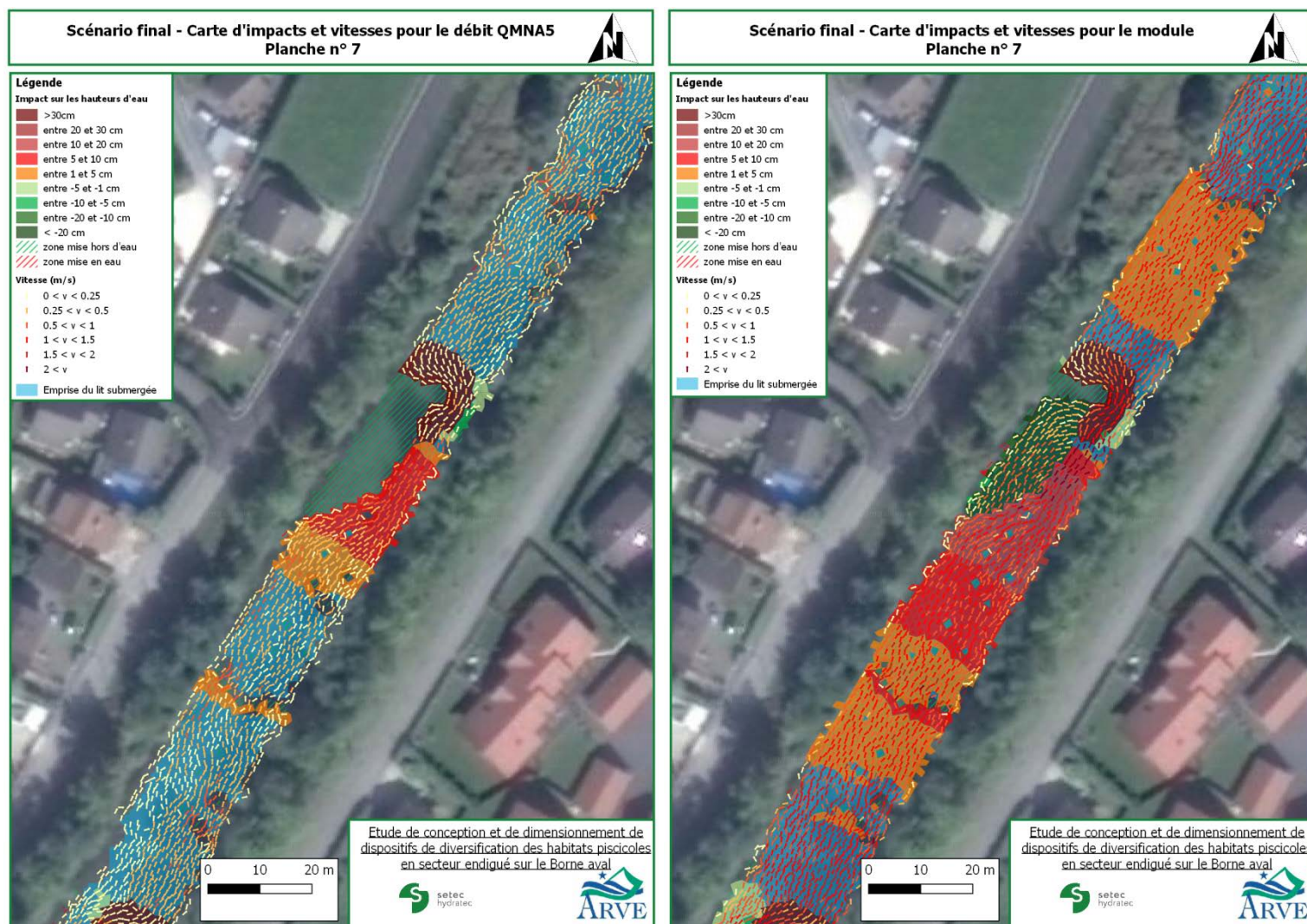


Figure 6-8 : Carte d'impacts des hauteurs et vitesses pour le débit et le module

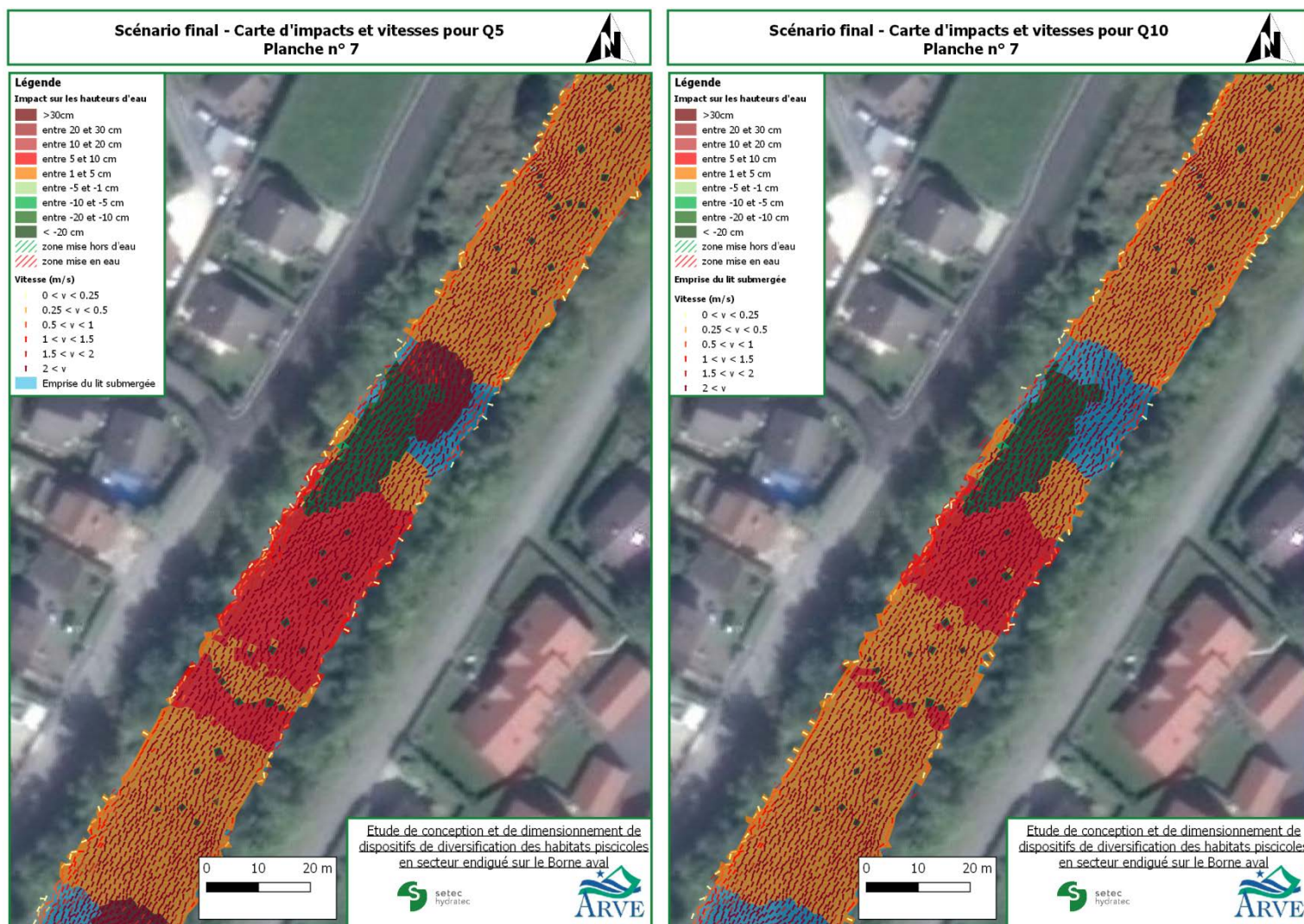


Figure 6-9 : Carte d'impacts des hauteurs et vitesses pour Q5 et Q10

Pour les deux événements hydrologiques les plus faibles (QMNA5 et module), on constate une accélération du champ des vitesses au droit du plus fort rétrécissement du lit pour les deux scénarios, ainsi qu'une forte diversification des vitesses d'écoulement au droit de chaque motif.

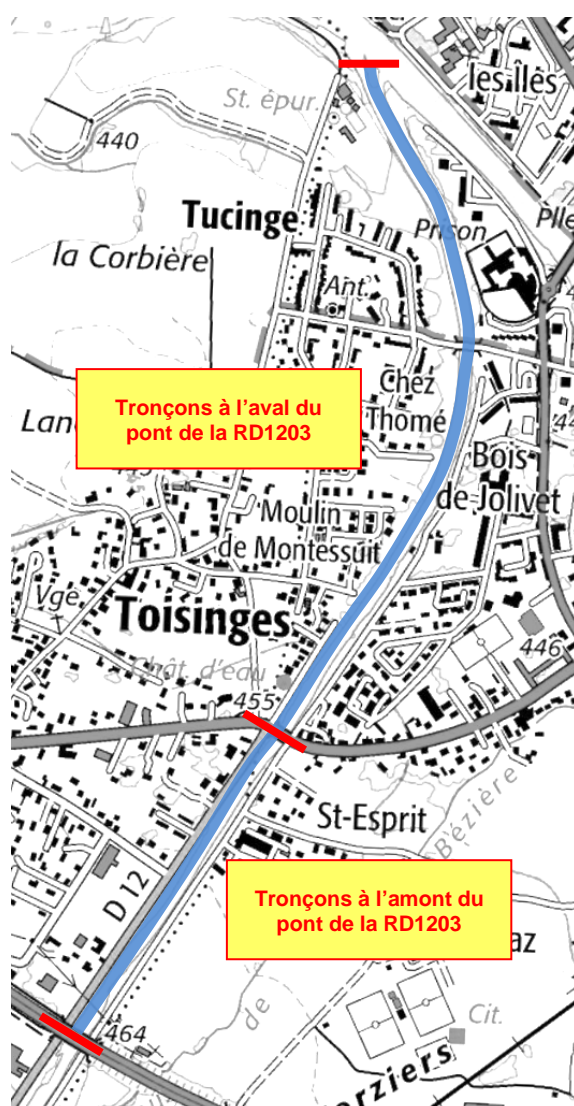
En crue, comme vu sur les profils en long, les impacts sont compris entre +5 et +10 cm pour Q5 et Q10. L'impact est maximal en amont de chaque motif.

N.B. : on constate des impacts supérieurs à 30 cm au droit de chaque fosse ; ceci s'explique par le calcul des impacts se basant sur les hauteurs d'eau et non sur les cotes, ne représentant donc pas une réelle augmentation du niveau d'eau.

6.5 CHIFFRAGE ESTIMATIF

L'estimatif présenté dans les pages suivantes est dissocié entre amont de la RD1203 et aval jusqu'à la confluence. Les aménagements des tronçons aval devant être mis en œuvre simultanément avec la réfection des digues. Le tronçon amont en est indépendant et le chantier pourrait éventuellement débuter plus tôt.

L'estimation des quantités tient compte d'une marge de sécurité de 10 à 20%.



6.5.1 Tronçon à l'amont du pont de la RD1203

Le tronçon amont compte :

- 5 complexes banquettes-épi-fosse-recharge,
- 5 micro-seuils,
- environ 50 amas de blocs.

N° de prix	Désignation et définition des prix	Unité	Quantité	Prix unitaire Euros H.T.	Montant Euros H.T.
0.00	TRAVAUX PRELIMINAIRES ET DE REPLIEMENT				15 000.00 €
0.10	Dossier Loi sur l'Eau	ft	1	5 000.00 €	5 000.00 €
0.20	Installations spécifiques de chantier-Signalisation-PAQ-PAE-Hygiène et sécurité-Remise en état	ft	1	7 000.00 €	7 000.00 €
0.30	Dossier de récolement	ft	1	3 000.00 €	3 000.00 €
1.00	BANQUETTES				40 000.00 €
1.10	Fourniture de blocs 400-800 kg	m3	300	50.00 €	15 000.00 €
1.20	Mise en œuvre soignée de blocs	m3	300	25.00 €	7 500.00 €
1.30	Mise en œuvre remblai 1/3 terre végétale + 2/3 matériaux 2-100 mm	ml	400	10.00 €	4 000.00 €
1.40	Fourniture et mise en œuvre de géotextile coco H2M7 1250 g/m²	m²	1500	3.00 €	4 500.00 €
1.50	Fourniture et mise en œuvre d'aiguilleté coco (antilessivage des fines)	ml	1200	3.00 €	3 600.00 €
1.60	Fourniture et mise en œuvre d'ensemencement par mélange d'herbacées hygrophiles/hélrophytes	m²	1200	3.00 €	3 600.00 €
1.70	Fourniture et mise en œuvre de boutures de saule densité 1 / 4 m² avec protection par structures métalliques de type arbre de fer	unité	300	6.00 €	1 800.00 €
2.00	EPIS				18 750.00 €
2.10	Fourniture de blocs 400-800 kg	m3	250	50.00 €	12 500.00 €
2.20	Mise en œuvre soignée de blocs	m3	250	25.00 €	6 250.00 €
3.00	MICROSEUILS				11 250.00 €
3.10	Fourniture de blocs 400-800 kg	m3	150	50.00 €	7 500.00 €
3.20	Mise en œuvre soignée de blocs en 12 seuils de 15 blocs avec enrochement de fond continu en soubassement	m3	150	25.00 €	3 750.00 €
4.00	FOSSE ET RECHARGE SEDIMENTAIRE				14 000.00 €
4.10	Déblai pour creusement de fosse et évacuation des déblais	m3	1300	10.00 €	13 000.00 €
4.20	Mise en œuvre de matériaux 2-100 mm	m3	100	10.00 €	1 000.00 €
5.00	AMAS DE BLOCS				4 500.00 €
5.10	Fourniture de blocs 400-800 kg	m3	60	50.00 €	3 000.00 €
5.20	Mise en œuvre soignée de blocs en 400 amas de 3 blocs	m3	60	25.00 €	1 500.00 €
TOTAL TRANCHE FERME H.T.					103 500.00 €
T.V.A. à 20.00 %					20 700.00 €
TOTAL TRANCHE FERME T.T.C.					124 200.00 €

6.5.2 Tronçons à l'aval du pont de la RD1203

Les tronçons aval comptent :

- 5 complexes banquette-épi-fosse-recharge,
- 7 micro-seuils,
- environ 350 amas de blocs.

N° de prix	Désignation et définition des prix	Unité	Quantité	Prix unitaire Euros H.T.	Montant Euros H.T.
0.00	TRAVAUX PRELIMINAIRES ET DE REPLIEMENT				13 000.00 €
0.10	Installations spécifiques de chantier-Signalisation-PAQ-PAE-Hygiène et sécurité-Remise en état	ft	1	9 000.00 €	9 000.00 €
0.20	Dossier de récolement	ft	1	4 000.00 €	4 000.00 €
1.00	BANQUETTES				40 000.00 €
1.10	Fourniture de blocs 400-800 kg	m3	300	50.00 €	15 000.00 €
1.20	Mise en œuvre soignée de blocs	m3	300	25.00 €	7 500.00 €
1.30	Mise en œuvre remblai 1/3 terre végétale + 2/3 matériaux 2-100 mm	ml	400	10.00 €	4 000.00 €
1.40	Fourniture et mise en œuvre de géotextile coco H2M7 1250 g/m²	m²	1500	3.00 €	4 500.00 €
1.50	Fourniture et mise en œuvre d'aiguilleté coco (antilessivage des fines)	ml	1200	3.00 €	3 600.00 €
1.60	Fourniture et mise en œuvre d'ensemencement par mélange d'herbacées hygrophiles/hélrophytes	m²	1200	3.00 €	3 600.00 €
1.70	Fourniture et mise en œuvre de boutures de saule densité 1 / 4 m² avec protection par structures métalliques de type arbre de fer	unité	300	6.00 €	1 800.00 €
2.00	EPIS				18 750.00 €
2.10	Fourniture de blocs 400-800 kg	m3	250	50.00 €	12 500.00 €
2.20	Mise en œuvre soignée de blocs	m3	250	25.00 €	6 250.00 €
3.00	MICROSEUILS				15 750.00 €
3.10	Fourniture de blocs 400-800 kg	m3	210	50.00 €	10 500.00 €
3.20	Mise en œuvre soignée de blocs en 12 seuils de 15 blocs avec enrochement de fond continu en soubassement	m3	210	25.00 €	5 250.00 €
4.00	FOSSE ET RECHARGE SEDIMENTAIRE				14 000.00 €
4.10	Déblai pour creusement de fosse et évacuation des déblais	m3	1300	10.00 €	13 000.00 €
4.20	Mise en œuvre de matériaux 2-100 mm	m3	100	10.00 €	1 000.00 €
5.00	AMAS DE BLOCS				33 000.00 €
5.10	Fourniture de blocs 400-800 kg	m3	440	50.00 €	22 000.00 €
5.20	Mise en œuvre soignée de blocs en 400 amas de 3 blocs	m3	440	25.00 €	11 000.00 €
TOTAL TRANCHE FERME H.T.					134 500.00 €
T.V.A. à 20.00 %:					26 900.00 €
TOTAL TRANCHE FERME T.T.C.					161 400.00 €

6.6 SUIVI DES AMENAGEMENTS

Différents suivis sont à mettre en place pour s'assurer de l'efficacité des aménagements, de leur stabilité, permettre des adaptations et générer un retour d'expérience :

- Suivi visuel de la stabilité des structures mises en place : affouillements éventuels, incision... pour les ouvrages en génie civil

⇒ **Annuel pendant 5 ans puis biennal à quinquennal**

- Suivi de la sédimentation et des surfaces de frayères potentielles pour la truite fario et l'ombre commun : identification des zones de dépôt, surfaces, épaisseur et granulométrie, délimitation au GPS et report sous SIG pour permettre une analyse diachronique

⇒ **Tous les deux ans pendant 6 ans**

- Suivi du développement de la végétation et de l'évolution des banquettes

⇒ **Tous les deux ans pendant 6 ans**

- Suivi biologique : au minimum 2 stations, l'une en zone restaurée, l'autre en secteur non restauré. Pour chacun, un suivi de deux indicateurs est à réaliser :

- Macroinvertébrés (IBG) : 2 campagnes /an

⇒ **Annuel pendant 5 ans**

- Poissons :

- Peuplement : 1 campagne/an
- Suivi de la reproduction de la truite fario et de l'ombre commun

⇒ **Annuel pendant 5 ans**

En fonction des évolutions morphologiques et biologiques, des adaptations et reprises des aménagements seront définies : remise en place de dispositifs effondrés, ajustement d'épis (allongement/rétraction...), recharge sédimentaire supplémentaire en fraction fine, végétalisation ou dévégétalisation, densification des dispositifs de caches...

ANNEXES

Pièces graphiques : Plans PROJET des aménagements