

Etude de la valeur des débits biologiques sur le Trèfle

Territoire du SAGE Charente

**ESTIMATION DES DEBITS
BIOLOGIQUES**

LOT 1

**Tranche
optionnelle 1.4**

TABLE DES MATIERES

1	POSITIONNEMENT DES STATIONS « DEBITS BIOLOGIQUES »	7
2	METHODOLOGIE	8
3	CHOIX DES DEBITS : FREQUENCE ET PERIODE HYDROLOGIQUE	9
3.1	Méthode	9
3.2	Résultats	12
3.2.1	Trèfle : hydrologie aux stations de débit biologiques	12
3.2.2	Calendriers hydrologiques et hydrobiologiques du Trèfle	14
3.2.3	Calendriers hydrobiologiques du Trèfle	17
4	ETUDE DES DEBITS BIOLOGIQUES DU TREFLE – STATION SEUIL	18
4.1	Paramètres physiques de la station et modélisation hydraulique	18
4.1.1	Description de la station	18
4.1.2	Modélisation hydraulique de la station	20
4.1.3	Exploitation des résultats	22
4.2	Oxygénation de la station	23
4.2.1	Points de qualité réalisés	23
4.2.2	Analyse des profils verticaux de l’oxygène et relation avec le débit	23
5	ETUDE DES DEBITS BIOLOGIQUES DU TREFLE - STATION DEBIT BIOLOGIQUE D’ALLAS CHAMPAGNE	26
5.1	Paramètres physiques de la station et modélisation hydraulique	26
5.1.1	Description de la station	26
5.1.2	Modélisation hydraulique de la station	29
5.1.3	Exploitation des résultats et présentation cartographique	32
5.2	Variables physiques débit-dépendantes (toutes périodes hydrologiques)	33
5.2.1	Surface mouillée	33
5.2.2	Granulométrie de la station	34
5.2.3	Profondeur	35
5.2.4	Vitesse d’écoulement	36
5.3	Habitat benthique	37
5.4	Capacité d’auto-entretien des faciès du cours d’eau (période hydrologique des hautes-eaux)	38
5.4.1	Colmatage	39
5.4.2	Entretien des frayères	39
5.4.3	Synthèse	39
5.5	Connectivité longitudinale	42
5.6	Habitats piscicoles (tous débits)	44
5.6.1	Valeurs d’habitat	44
5.6.2	SPU en m ² et en variations relatives	46
5.6.3	Interprétation	47
5.7	Conclusion concernant les débits biologiques de la station d’Allas-Champagne (matrice)	48
6	ETUDE DES DEBITS BIOLOGIQUES DU TREFLE – STATION ASSEC DU PONT D’USSEAU	51
6.1	Paramètres physiques de la station et modélisation hydraulique	51
6.1.1	Description de la station	51
6.1.2	Modélisation hydraulique de la station	54
6.1.3	Exploitation des résultats et présentation cartographique	57
6.1.4	Calendrier des assecs selon la piézométrie	57
6.2	Variables physiques débit-dépendantes (toutes périodes hydrologiques)	60
6.2.1	Surface mouillée	60
6.2.2	Granulométrie de la station	62

6.2.3	Profondeur	63
6.2.4	Vitesse d'écoulement	64
6.3	Intermittence des écoulements (Assecs)	65
6.3.1	Faune benthique.....	65
6.3.2	Faune piscicole.....	66
6.3.3	Bilan	66
6.4	Habitat benthique	67
6.5	Capacité d'auto-entretien des faciès du cours d'eau (période hydrologique des hautes-eaux)	69
6.5.1	Colmatage	69
6.5.2	Entretien des frayères.....	69
6.5.3	Synthèse.....	69
6.6	Connectivité longitudinale	74
6.7	Habitats piscicoles (tous débits).....	76
6.7.1	Valeurs d'habitat.....	76
6.7.2	SPU en m ² et en variations relatives	78
6.7.3	Interprétation	79
6.8	Conclusion concernant les débits biologiques de la station du Pont d'Usseau (matrice)	80
7	SYNTHESE SUR LES DEBITS BIOLOGIQUES ET PIEZOMETRIE ASSOCIEE.....	83
7.1.1	Valeurs des débits biologiques par station d'étude.....	83
7.1.2	Transposition des valeurs de débits biologique.....	85

Table des figures

Figure 1 : Stations du bassin du Trèfle	7
Figure 2: Hydrogrammes observés aux stations du Trèfle à Réaux et de la Seugne à Saint-Germain-de-Lusignan	9
Figure 3: Hydrogrammes observés aux stations du Trèfle à Réaux et de la Seugne à Saint-Germain-de-Lusignan – zoom basses eaux.....	10
Figure 4: Relation entre les débits moyens mensuels des stations du Trèfle à Réaux et de la Seugne à Saint-Germain-de-Lusignan	10
Figure 5 : Débits moyens mensuels mesurés et reconstitués du Trèfle.....	12
Figure 6: Courbe des débits journaliers classés du Trèfle à Allas-Champagne	13
Figure 7: Courbe des débits journaliers classés du Trèfle à la Cayenne (Pont d’Usseau)	13
Figure 8: Domaine des basses eaux : Courbe des débits journaliers classés en période de basses-eaux du Trèfle à la Cayenne (Pont d’Usseau)	13
Figure 9 : Débits mensuels statistiques et débits classés du Trèfle au Pont d’Usseau (station « Assec »)	15
Figure 10: Périodes hydrologiques du Trèfle à Allas-Champagne.....	15
Figure 11 : Débits mensuels statistiques et débits classés du Trèfle au Pont d’Usseau (station « Assec »)	16
Figure 12: Périodes hydrologiques du Trèfle au Pont d’Usseau.	16
Figure 13 : Position des transects de mesure de la station.....	19
Figure 14 : Discrétisation topographique de la station modélisée	21
Figure 15 : Profils réalisés à Guimps pour un débit de 7 l/s.....	23
Figure 16 : Coefficient de cisaillement des différents transects en fonction du débit (en rouge : cisaillement nul, en jaune cisaillement entre 0.001 N/m ² et 0.002 N/m ² et vert cisaillement supérieur ou égal à 0.002 N/m ²).....	25
Figure 17 : Position des transects de mesure de la station débit biologique	27
Figure 18 : Maillage de calcul et topographie de la station modélisée.....	30
Figure 19 : Faciès d’écoulements du modèle (fidèles aux observations de terrain) et profondeur (en mètre) ...	31
Figure 20 : Profil en long de la station et comparaison des niveaux d’eaux simulé et mesuré	32
Figure 21 : Evolution de la surface mouillée à Allas-Champagne	33
Figure 22 : Carte des substrats de la station débit biologique.....	34
Figure 23: Evolution des profondeurs sur la station débit biologique à différents débits.....	35
Figure 24: Evolution des vitesses d’écoulement sur la station débit biologique à différents débits	36
Figure 25: Evolution des milieux courants sur la station débit biologique	37
Figure 26 : Evolution de surface lotique (orange) et lenticue (vert).....	38
Figure 27 : Mise en mouvement des particules fines sur la station d’Allas-Champagne.....	40
Figure 28 Mise en mouvement des particules grossières sur la station d’Allas-Champagne	41
Figure 29: Connectivité de la station débit biologique pour un seuil de 5 cm de hauteur d'eau	42
Figure 30: Connectivité de la station sur le Trèfle pour un seuil de 10 cm de hauteur d'eau	43
Figure 31: Valeurs d'habitat des différents stades du brochet, du vairon et du chabot de la station débit biologique	44
Figure 32 : Evolution des composantes "vitesse" (en orange) et "hauteur d'eau" (en bleu) de la valeur d'habitat pour le chabot sur toute la gamme de débit	45
Figure 33: Surfaces pondérées utiles des différents stades du brochet, du vairon et du chabot de la station débit biologique.....	46
Figure 34: % de la surfaces pondérées utiles maximales des différents stades du brochet, du vairon et du chabot de la station débit biologique	47
Figure 35 Zoom sur les basses eaux du % des surfaces pondérées utiles maximales des différents stades du brochet, du vairon et du chabot de la station débit biologique	48
Figure 36 : Matrice période de basses-eaux	49
Figure 37 : Matrice des périodes de transition et de hautes-eaux	50
Figure 38 : Position des transects de mesure de la station Assec.....	52
Figure 39 : Maillage de calcul et topographie de la station Assec - Trèfle.....	55
Figure 40 : Faciès d’écoulements du modèle (fidèles aux observations de terrain) et profondeur (en mètre) ...	56
Figure 41 : Profil en long de la station et comparaison des niveaux d’eaux simulé et mesuré	56

Figure 42 : Calendrier des assecs calculés à partir de la chronique piézométrique du piézomètre 07314X0011/S	58
Figure 43 : Répartition mensuelle des intensités d'assecs calculées à partir de la chronique piézométrique mesurée au piézomètre 07314X0011/S.....	60
Figure 44 : Evolution de la surface mouillée au Pont d'Usseau	61
Figure 45 : Carte des substrats de la station du Pont d'Usseau.....	62
Figure 46: Evolution des profondeurs sur la station du Pont d'Usseau à différents débits.....	63
Figure 47: Evolution des vitesses d'écoulement sur la station du Pont d'Usseau à différents débits	64
Figure 48: Evolution des milieux courants sur la station du pont d'Usseau	67
Figure 49 : Evolution de surface lotique (orange) et lenticque (vert).....	68
Figure 50 : Mise en mouvement des particules fines sur la station du Pont d'Usseau.....	71
Figure 51 : Mise en mouvement des particules grossières sur la station du Pont d'Usseau	73
Figure 52: Connectivité de la station du Pont d'Usseau pour un seuil de 5 cm de hauteur d'eau	74
Figure 53: Connectivité de la station sur le Trèfle pour un seuil de 10 cm de hauteur d'eau	75
Figure 54: Valeurs d'habitat des différents stades du brochet, du vairon et du chabot de la station du Pont d'Usseau	76
Figure 55 : Evolution sans granulométrie (en orange) et avec granulométrie (en bleu) de la valeur d'habitat pour le chabot sur toute la gamme de débit	77
Figure 56 : Evolution des composantes "vitesse" (en orange) et "hauteur d'eau" (en bleu) de la valeur d'habitat pour le chabot sur toute la gamme de débit	77
Figure 57: Surfaces pondérées utiles des différents stades du brochet, du vairon et du chabot de la station du Pont d'Usseau	78
Figure 58: % de la surfaces pondérées utiles maximales des différents stades du brochet, du vairon et du chabot de la station du Pont d'Usseau.....	79
Figure 59 zoom sur les basses eaux du % des surfaces pondérées utiles maximales des différents stades du brochet, du vairon et du chabot de la station du Pont d'Usseau.....	80
Figure 60 : Matrice période de basses-eaux	81
Figure 61 : Matrice des périodes de transition et de hautes-eaux	82
Figure 62 : Tableau de synthèse des critères	83
Figure 63 : Tableau de synthèse des bornes de débits biologiques par périodes hydrologiques.....	84
Figure 64 : Bornes de basses-eaux positionnées aux stations de débits biologiques	84
Figure 65 : Bornes de hautes-eaux et de transition positionnées aux stations de débits biologiques	85
Figure 66 : Bornes de basses-eaux à la station hydrométrique	86
Figure 67 : Bornes de hautes-eaux et de transition à la station hydrométrique	87
Figure 68 : Position des piézomètres de référence pour les assecs.....	89

1 POSITIONNEMENT DES STATIONS « DEBITS BIOLOGIQUES »

Le choix des stations a été arrêté en Copil. Le Trèfle est étudié au niveau de trois stations de débit biologique du bassin :

- La station dite « Seuil » située à Guimps en amont ;
- La station dite « débit biologique » située à Allas-Champagne en position médiane ;
- La station dite « Assec » située au Pont d'Usseau en aval.

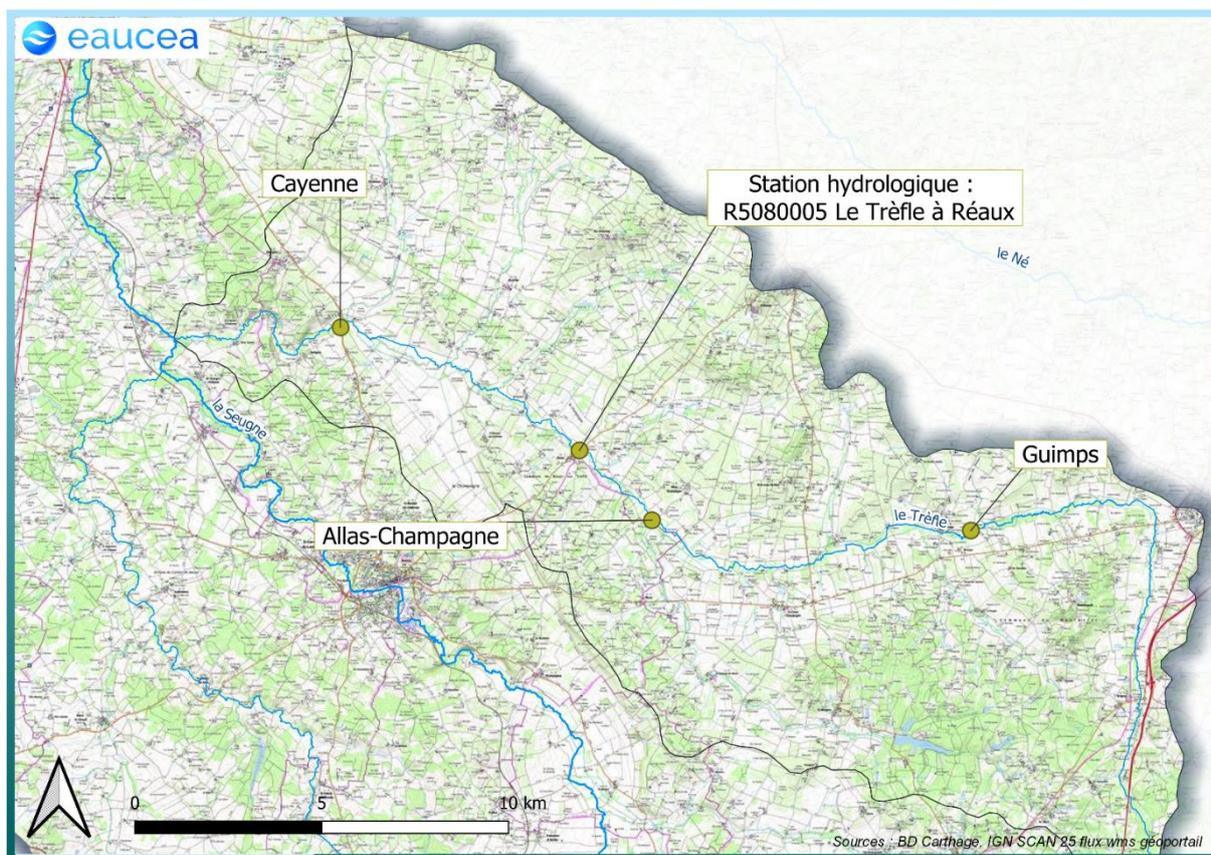
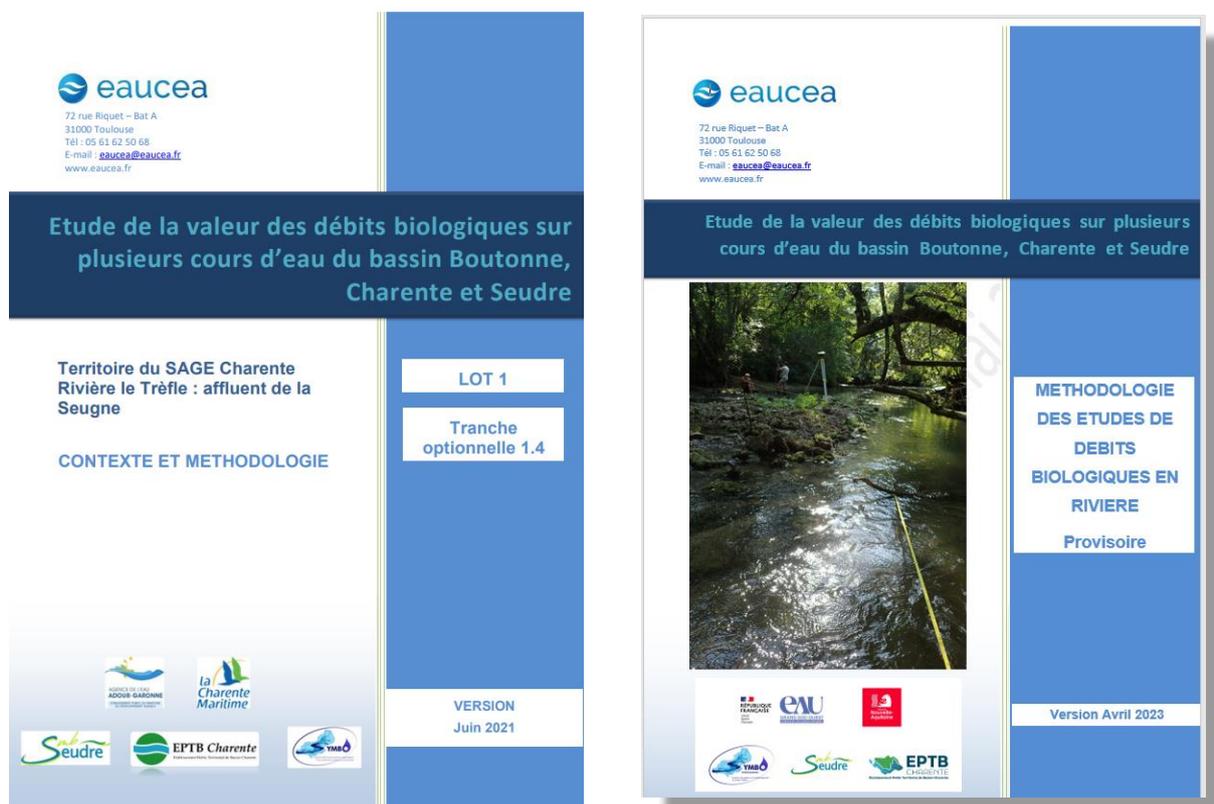


Figure 1 : Stations du bassin du Trèfle

2 METHODOLOGIE

La contextualisation des stations d'études de débit biologique, les raisons de leur positionnement définitif, la méthodologie appliquée pour l'analyse des liens entre biologie et débit, pour les prises de données terrain et pour certaines clés d'interprétation sont décrits dans des documents spécifiques précédant cette étape conclusive. En particulier, la présente étude doit donc être analysée en regard des documents suivants :



Il s'agit ici d'exposer les résultats des prospections de terrain réalisées durant l'les basses eaux 2021 et 2022, des modélisations hydrauliques consécutives (hiver 2021/22 et 2022/23) et des interprétations écologiques, hydrologiques et hydrogéologiques (hiver 2022/23).

Pour chaque station « débit biologique », sont successivement présentés :

- La position des mesures ;
- Les résultats des modèles hydrauliques 2D et leur conséquence sur la géométrie hydraulique des stations en fonction du débit ;
- Une analyse des enjeux sédimentaires en lien avec les débits de hautes eaux et le potentiel d'auto-entretien du cours d'eau ;
- Les modélisations biologiques ;
- Les analyses et proposition pour des débits biologiques en fonction des périodes hydrologiques.

Pour la station oxymétrique, sont successivement présentés :

- La position des mesures ;
- Les résultats du modèle hydrauliques 1 D et leur conséquence ;
- L'évolution des teneurs d'oxygènes ;
- Les analyses et propositions pour des débits biologiques.

3 CHOIX DES DEBITS : FREQUENCE ET PERIODE HYDROLOGIQUE

3.1 Méthode

Le choix des débits étudiés doit permettre de couvrir à la fois l'les basses eaux mais aussi le cycle annuel. Pour approcher la périodicité des enjeux, il faut donc apprécier le régime des débits auquel est soumise chaque station de débit biologique. Cela implique une analyse interannuelle qui ne peut se fonder que sur des extrapolations à partir de station de référence accumulant des historiques de mesures sur plusieurs années.

Le Trèfle est équipé d'une station hydrométrique sur la commune de Réaux depuis mai 2021 (station hydrométrique R5080005 - disponible sur l'HydroPortail). L'historique de données hydrométriques est donc faible sur ce cours d'eau. Une reconstitution de l'hydrologie sur une échelle de temps plus longue est nécessaire pour caractériser l'hydrologie du milieu.

Suivant la démarche menée en 2021 sur ce cours d'eau (cf. rapport tranche ferme), une simulation de l'hydrologie du Trèfle, fonction de celle observée à la station de la Seugne à Saint-Germain-de-Lusignan [R502331002], au pas de temps journalier, est proposée. Les régimes hydrologiques observés aux 2 stations Trèfle et Seugne sont comparables sur la période commune, mais avec des différences liées à la surface du bassin versant (cf. Figure 2 et Figure 3). Une chronique longue période à Réaux peut donc être reconstituée à partir de celle de la Seugne (cf. Figure 4).

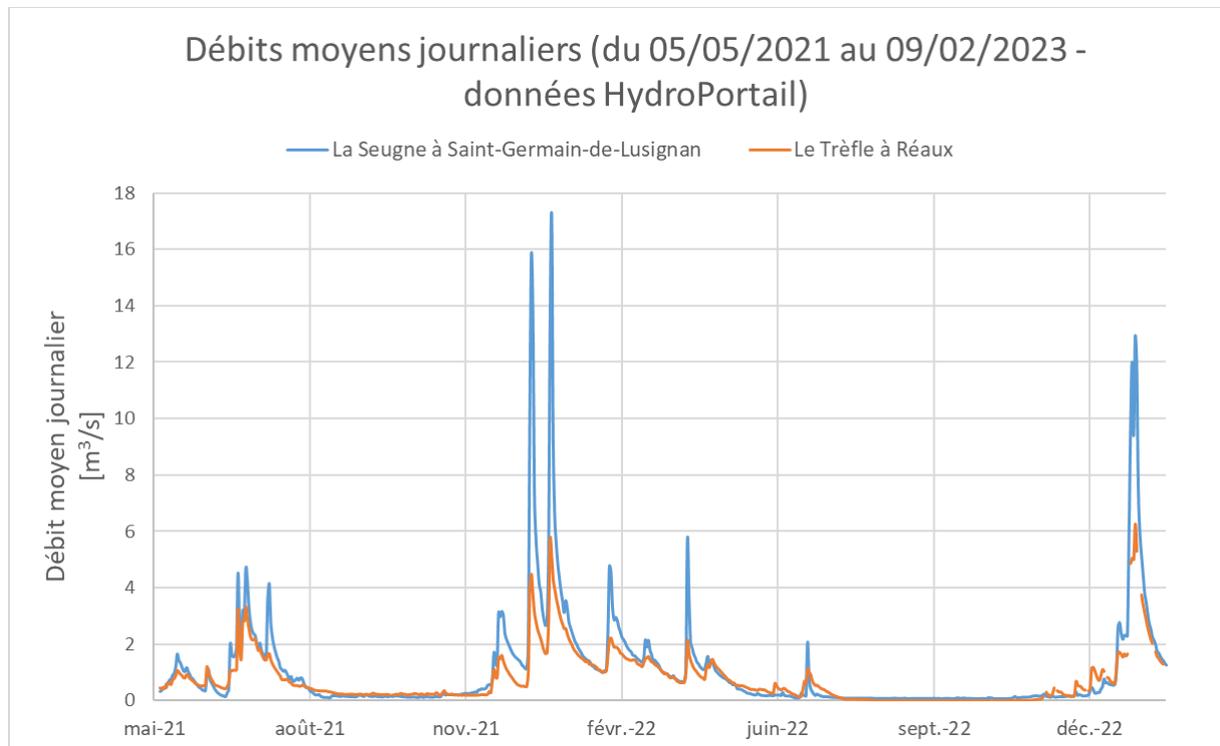


Figure 2: Hydrogrammes observés aux stations du Trèfle à Réaux et de la Seugne à Saint-Germain-de-Lusignan

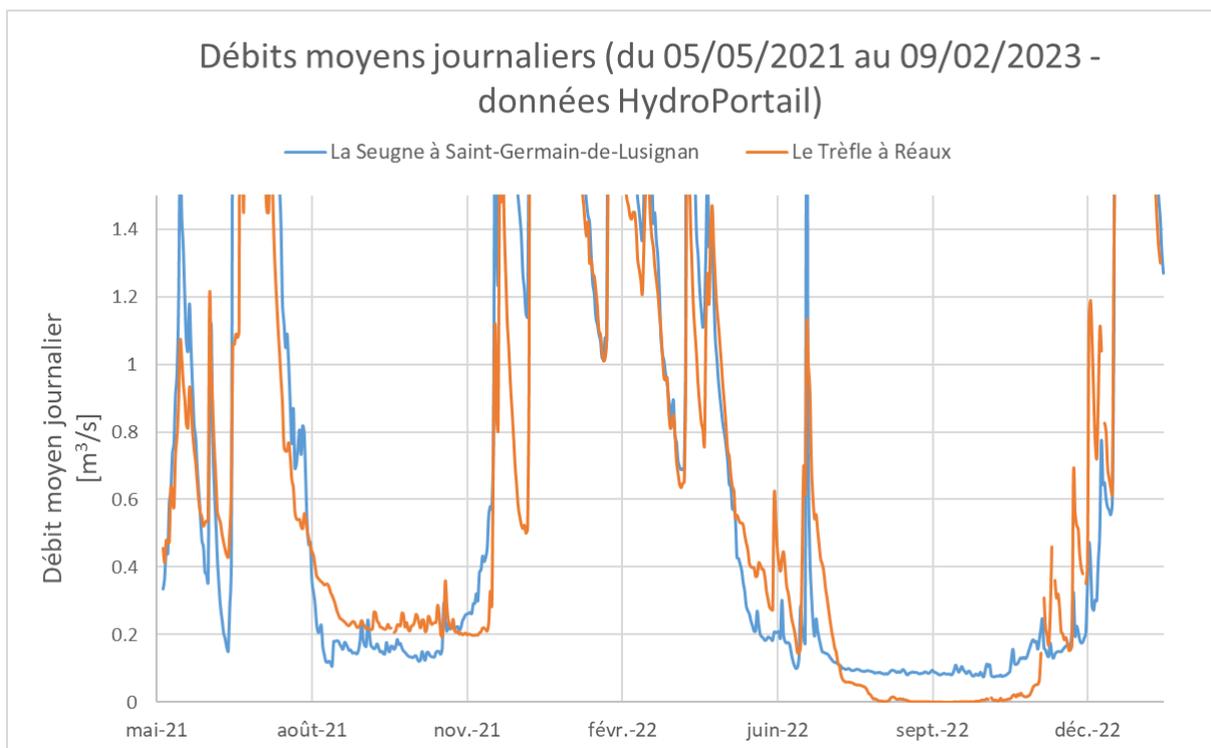


Figure 3: Hydrogrammes observés aux stations du Trèfle à Réaux et de la Seugne à Saint-Germain-de-Lusignan – zoom basses eaux

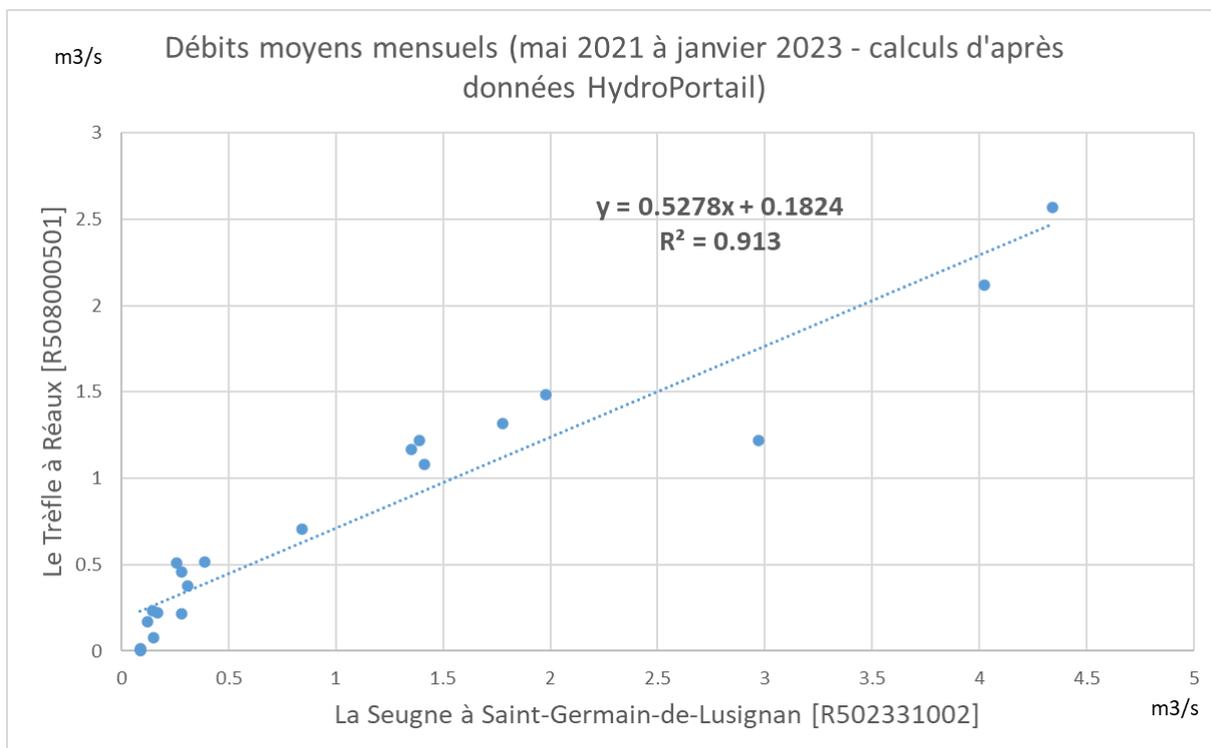


Figure 4: Relation entre les débits moyens mensuels des stations du Trèfle à Réaux et de la Seugne à Saint-Germain-de-Lusignan

Vérification de la cohérence avec les débits mesurés à Clam

La formule développée dans la tranche ferme simulait une hydrologie au niveau d'une station expérimentale située à Clam (drainant un bassin de 270 km² environ), en aval de Réaux. La corrélation obtenue entre l'hydrologie du Trèfle à Clam et les débits de la Seugne à Saint-Germain-de-Lusignan (bassin versant de 259 km²) donnait :

$$Q_{mj \text{ Trèfle à Clam, simulés}} = 0.8457 Q_{mj \text{ Seugne, observés}} - 0.2443$$

La nouvelle station de Réaux draine un bassin versant de 164 km² environ. La corrélation obtenue avec les débits de la Seugne à Saint-Germain-de-Lusignan (analysée sur les moyennes mensuelles de la chronique disponible, soit de mai 2021 à janvier 2023) conduit à la formule :

$$Q_{mj \text{ Trèfle à Réaux, simulés}} = 0.5278 Q_{mj \text{ Seugne, observés}} + 0.1824$$

Les formules décrivent des régimes hydrologiques comparables : les coefficients des équations sont proportionnels à la surface de bassin versant drainée au niveau de Clam et de Réaux. Ceci confirme, au moins pour le cours aval du Trèfle, que l'hydrologie suit un régime homogène dans le bassin versant du Trèfle. Nous pouvons donc extrapoler l'hydrologie des stations de débit biologique à partir des débits de la Seugne affectés d'un coefficient pondérateur. Afin de reconstituer une hydrologie cohérente sur les stations d'étude biologique située à l'amont (Guimps et Allas-Champagne) et à l'aval (situé à Clam, station appelée « Assec »), une chronique de débits moyens journaliers de référence est reconstituée au niveau du Trèfle à Réaux sur la période 2008-2023 (période équivalente à la chronique mesurée sur la Seugne au niveau de Saint-Germain-de-Lusignan) suivant la formule nouvellement développée.

Toutefois, la formule développée en 2021 concernait un point du Trèfle sujet aux épisodes d'assecs, moins fréquents à l'amont (mais possibles malgré tout comme le montre la chronique du Trèfle à Réaux sur l'les basses eaux 2022, Figure 3). Ces ruptures d'écoulement s'expliquent par des pertes souterraines qui soutirent une partie du débit produit par le bassin versant. Ces épisodes de rupture avaient été mis en relation en 2021 avec des niveaux piézométriques seuils mesurés au niveau des piézomètres présents à proximité. L'historique de la piézométrie recouvre en partie l'historique de la chronique hydrologique reconstituée. Quand la piézométrie mesurée par le piézomètre de Neuillac (07314X0011/S) franchit le seuil d'assec, le débit simulé est ramené à zéro : les débits de surface à la station DB sont nuls lorsque les niveaux piézométriques sont inférieurs au niveau seuil d'observation d'un assec (16.27 m NGF).

La chronique ainsi corrigée des assecs reste cependant assez sommaire puisqu'elle fonctionne sur un régime de perte en « tout ou rien ». En réalité, le potentiel des pertes évolue dans le temps au fur et à mesure de l'abaissement du niveau piézométrique qui entraîne le dénoiement du lit. D'autre part le débit des pertes est limité par les débits produits par le bassin versant. Cette combinaison complexe ne pourra être décrite qu'à la faveur des futures mesures des débits à Réaux et au maintien des observations d'assecs. Cependant différents indices hydrométriques suggèrent un débit potentiel de pertes de l'ordre de 200 l/s à 400 l/s en les basses eaux. Un second point devra être analysé quant à la possibilité d'une remise en eau temporaire en cas de pointe ponctuelle à la faveur d'orage par exemple.

3.2 Résultats

3.2.1 Trèfle : hydrologie aux stations de débit biologique

		Janv	Févr	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Année
Le Trèfle à Réaux reconstitué	Débits (m ³ /s)	2.37	2.34	1.23	0.72	0.59	0.51	0.16	0.05	0.05	0.09	0.61	1.49	0.84
164 km ²	l/s/km ²	14.4	14.3	7.5	4.4	3.6	3.1	1.0	0.3	0.3	0.5	3.7	9.1	5.1
Guimps (station DB)	Reconstitués	0.56	0.56	0.29	0.17	0.14	0.12	0.04	0.01	0.01	0.02	0.15	0.35	0.20
39 km ²	l/s/km ²	14.4	14.3	7.5	4.4	3.6	3.1	1.0	0.3	0.3	0.5	3.7	9.1	5.1
DMB (Allas-Champagne) (station DB)	Reconstitués	1.34	1.33	0.70	0.41	0.33	0.29	0.09	0.03	0.03	0.05	0.35	0.84	0.47
93 km ²	l/s/km ²	14.4	14.3	7.5	4.4	3.6	3.1	1.0	0.3	0.3	0.5	3.7	9.1	5.1
Assec (station DB)	Reconstitués	3.89	3.98	2.23	1.10	0.94	0.84	0.29	0.08	0.05	0.11	1.11	2.59	1.46
270 km ²	l/s/km ²	14.4	14.7	8.3	4.1	3.5	3.1	1.1	0.3	0.2	0.4	4.1	9.6	5.4

Calculées d'après données hydrologiques reconstituées à partir de l'hydrologie observée sur la Seugne (chroniques de mars 2008 à janvier 2023)

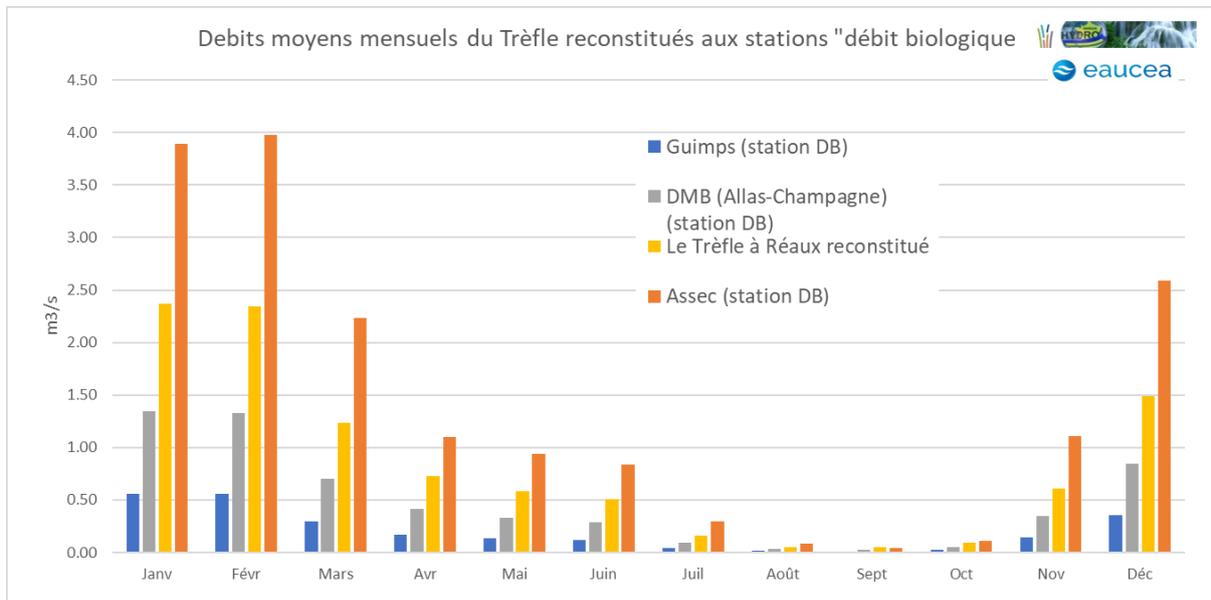


Figure 5 : Débits moyens mensuels mesurés et reconstitués du Trèfle

La reconstitution des débits classés a été effectuée sur la base des données reconstituées sur le trèfle à Réaux. Les débits classés offrent une analyse fréquentielle des débits que l'on s'attend à observer sur la station. Pour représenter les situations statistiques du cours d'eau comprises entre les basses eaux et les hautes eaux, les occurrences 75% (basse eau), 50% (médiane), 25% (hautes eaux et valeur proche du module) ont été estimées.

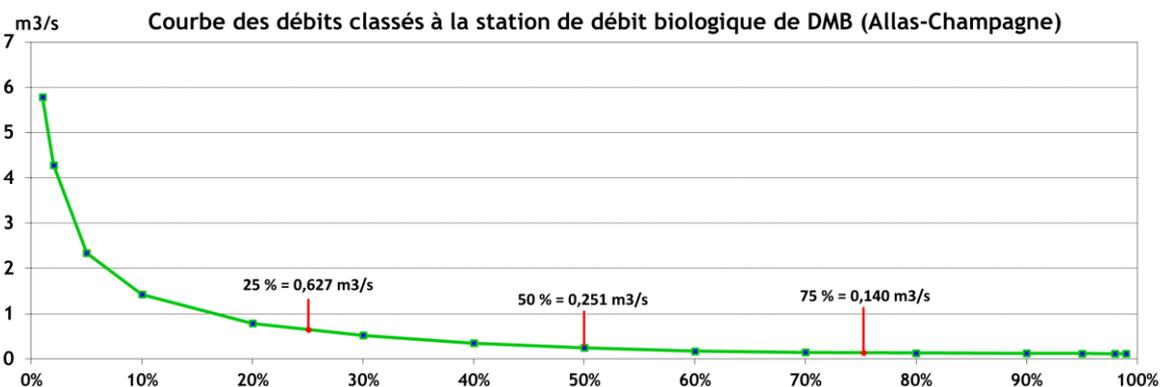


Figure 6: Courbe des débits journaliers classés du Trèfle à Allas-Champagne

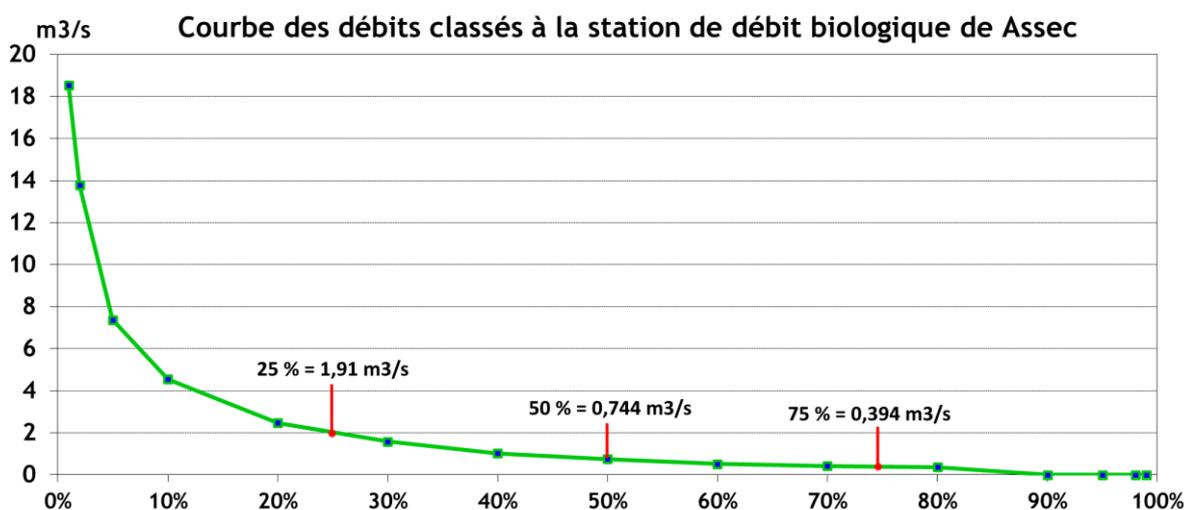


Figure 7: Courbe des débits journaliers classés du Trèfle à la Cayenne (Pont d'Usseau)

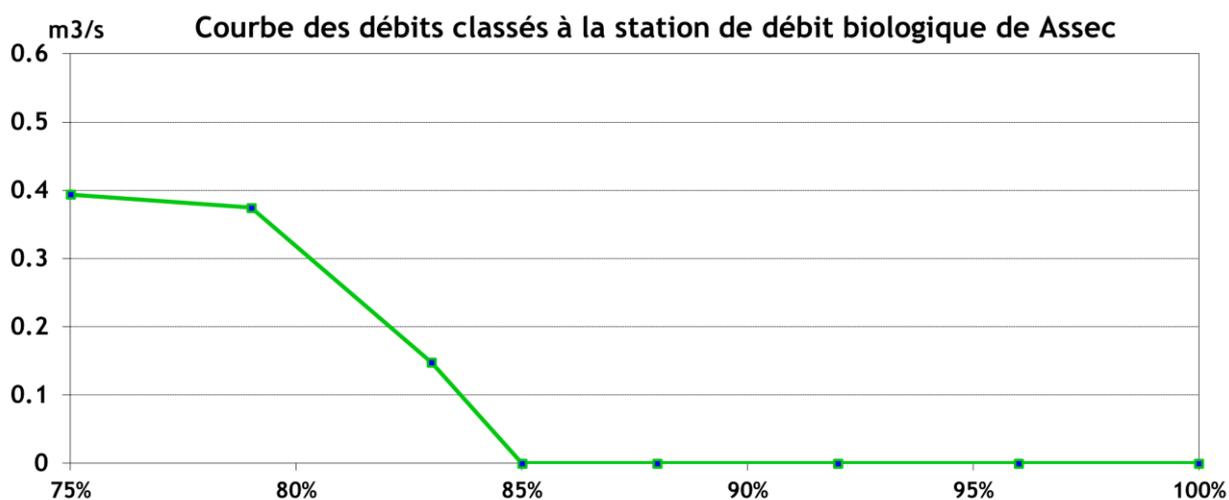


Figure 8: Domaine des basses eaux : Courbe des débits journaliers classés en période de basses-eaux du Trèfle à la Cayenne (Pont d'Usseau)

Ces bornes hydrologiques permettant de séparer les périodes d'eaux moyennes et de hautes eaux avec les périodes de transition ou les basses eaux sont appliquées aux débits moyens mensuels. Pour les eaux moyennes et hautes elle a été fixée arbitrairement à 50% des débits classés. Les basses eaux correspondent aux mois dont la moyenne mensuelle est plus faible que la valeur classée 75%. Entre les deux ce sont les eaux de transitions généralement observées au printemps puis à l'automne. Ces bornes n'ont pas ou peu de conséquences directes sur le choix des valeurs de débits biologiques.

Pour chaque station de débits biologiques, les bornes sont calculées au prorata du bassin versant. En très basses eaux, les apports ou pertes de la nappe ne peuvent être décrits simplement et il faut garder à l'esprit le caractère incertain de cette estimation. Comme visible sur la courbe ci-dessus, la station Assec serait en assec environ 15 % du temps.

	Trèfle	
	Débit biologique (station DB) (en m ³ /s)	Assec (station DB) (en m ³ /s)
Occurrence 75% (seuil de basses eaux et de transition)	0,14	0,39
Occurrence 50% (seuils des eaux moyennes et de transition)	0,25	0,74
Occurrence 25% (seuils des débits de hautes eaux)	0,63	1,91

3.2.2 Calendriers hydrologiques et hydrobiologiques du Trèfle

Afin de périodiser l'analyse des micro-habitats, quatre périodes hydrologiques sont identifiées sur des critères hydrologiques et le calendrier biologique des espèces présentes sur le cours d'eau.

Ces quatre périodes correspondront à :

- Une période hydrologique de hautes-eaux, où des enjeux de migration, de débordement, de reproduction des salmonidés et de mise en mouvement des particules fines (enjeu de granulométrie) sont prégnants ainsi qu'une analyse des valeurs d'habitat si les conditions hydrauliques respectent les limites d'interprétation ;
- Une période hydrologique de transition avec des débits diminuant (tarissement), où des enjeux de reproduction (cyprinidés), d'habitat et de connectivité seront analysés ainsi que le critère d'habitat rhéophile (vitesses élevées) ;
- Une période hydrologique de basses-eaux, où les enjeux d'habitat (y compris rhéophile) et de connectivité (circulation des poissons) seront analysés ;
- Une période hydrologique de transition avec des débits augmentant, où les mêmes enjeux que pour les deux périodes hydrologiques précédentes seront analysés.

Le cycle annuel est représenté par une approche par quantile des débits mensuels estimés avec les mêmes règles. Pour l'analyse des habitats aquatiques durant le cycle annuel, nous l'encadrerons par les valeurs mensuelles quinquennales sèches et humides ainsi que la médiane, écologiquement plus significative que la moyenne. Les débits mensuels médians comparés aux bornes hydrologiques issue des débits classés déterminent le calendrier hydrologique. Lorsque la valeur mensuelle est proche d'une borne de débit, un ajustement peut être proposé par l'expert.

Allas-Champagne (station « DB »)

A Allas-Champagne (station « DB »), la période hydrologique de basses-eaux correspond à celle où les débits se situe en dessous de la valeur de débit classé 75 % (dépassée 75% du temps) soit 140 l/s. En hydrologie médiane, cette période s'étend d'août à octobre compris. Les périodes hydrologiques de transition (entre 75% et 50%) sont très réduites avec une augmentation rapide des débits en novembre, période de transition automnale. La période hydrologique d'eaux moyennes et de hautes eaux (débit dépassé 50% du temps) s'observe de décembre à juin compris. Enfin, la période hydrologique de transition printanière est réduite au mois de juillet, bien que ce mois se partage entre basses-eaux et transition et que le mois de juin soit proche de la limite entre transition et hautes-eaux.

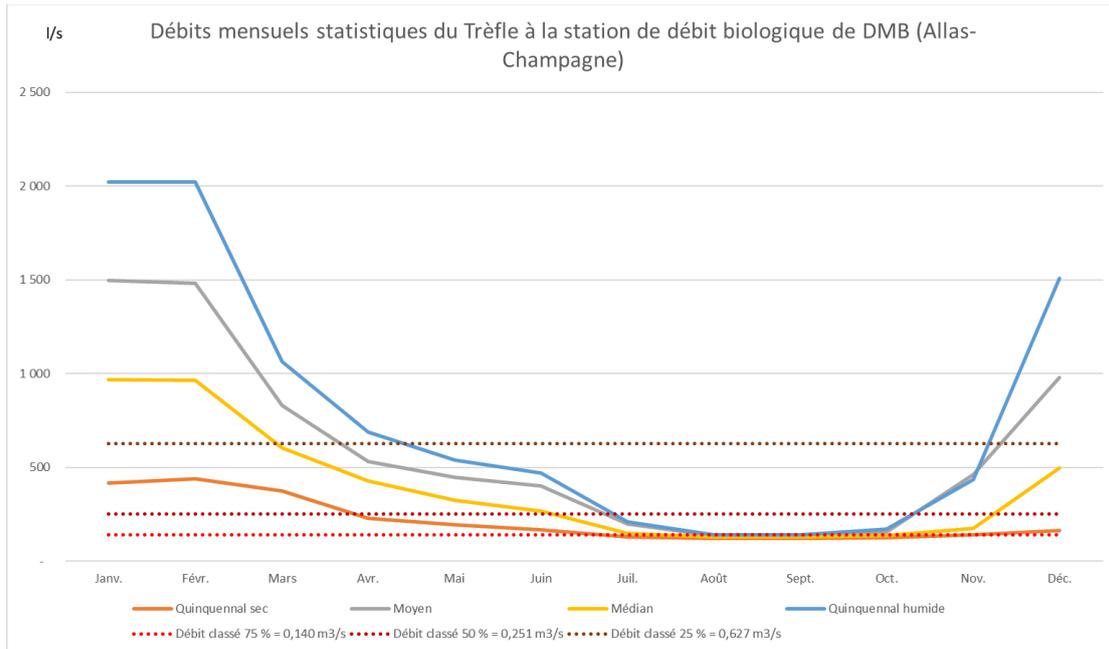


Figure 9 : Débits mensuels statistiques et débits classés du Trèfle au Pont d'Usseau (station « Assec »)

Les débits mensuels (m³/s) sont les suivants :

Le Trèfle à Allas-Champagne	Décenal sec	Quinquennal sec	Moyen	Médian	Quinquennal humide	Décenal humide
Janv.	0.308	0.416	1.496	0.968	2.023	3.797
Févr.	0.278	0.439	1.480	0.965	2.022	3.426
Mars	0.319	0.373	0.830	0.603	1.064	1.596
Avr.	0.173	0.227	0.530	0.427	0.687	1.010
Mai	0.159	0.194	0.448	0.325	0.540	0.830
Juin	0.135	0.167	0.401	0.268	0.469	0.695
Juil.	0.125	0.129	0.198	0.147	0.209	0.317
Août	0.118	0.120	0.135	0.129	0.141	0.152
Sept.	0.119	0.122	0.133	0.129	0.139	0.152
Oct.	0.123	0.126	0.156	0.137	0.172	0.218
Nov.	0.129	0.142	0.463	0.176	0.434	1.377
Déc.	0.152	0.164	0.978	0.496	1.510	2.401

 Basses-eaux Transition Hautes-eaux

Figure 10: Périodes hydrologiques du Trèfle à Allas-Champagne.

Pont d'Usseau (station « Assec »)

Au Pont d'Usseau (station « Assec »), la période hydrologique de basses-eaux correspond à celle où les débits se situent en dessous de la valeur de débit classé 75 % (dépassée 75% du temps) soit 394 l/s. En hydrologie médiane, cette période s'étend d'août à octobre compris. Les périodes hydrologiques de transition (entre 75% et 50%) sont très réduites avec une augmentation rapide des débits en novembre, période de transition automnale. La période hydrologique d'eaux moyennes et de hautes eaux (débit dépassé 50% du temps) s'observe de décembre à juin compris. Enfin, la période hydrologique de transition printanière est réduite au mois de juillet, bien que le mois de juin se partage entre basses-eaux et transition.

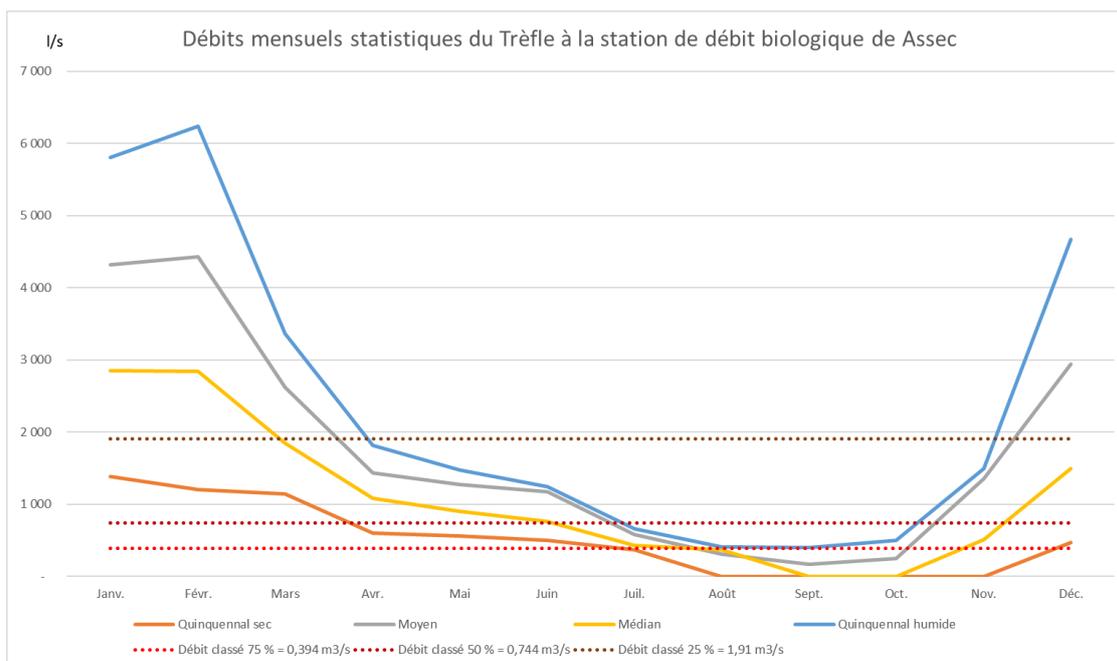


Figure 11 : Débits mensuels statistiques et débits classés du Trèfle au Pont d'Usseau (station « Assec »)

Les débits mensuels (m³/s) sont les suivants :

Le Trèfle à la Cayenne (Pont d'Usseau)	Décenal sec	Quinquennal sec	Moyen	Médian	Quinquennal humide	Décenal humide
Janv.	0.905	1.386	4.319	2.855	5.802	11.040
Févr.	0.786	1.201	4.429	2.846	6.235	10.241
Mars	0.905	1.146	2.615	1.847	3.366	5.136
Avr.	0.489	0.597	1.439	1.082	1.821	2.427
Mai	0.438	0.559	1.274	0.902	1.473	2.469
Juin	0.385	0.496	1.171	0.763	1.246	1.943
Juil.	0.358	0.370	0.578	0.433	0.664	1.045
Août	-	-	0.309	0.374	0.413	0.454
Sept.	-	-	0.169	-	0.401	0.443
Oct.	-	-	0.246	-	0.500	0.641
Nov.	-	-	1.356	0.507	1.498	4.687
Déc.	-	0.471	2.942	1.491	4.669	7.270

 Basses-eaux **Transition** **Hautes-eaux**

Figure 12: Périodes hydrologiques du Trèfle au Pont d'Usseau.

Synthèse

Les calendriers hydrologiques des deux stations sont cohérents entre eux.

Le calendrier des différentes périodes d'analyse hydrologiques est donc :

	Hiver			Printemps			Eté			Automne		
	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
Trèfle	Hautes-eaux						Période de transition	Basses-eaux			Période de transition	Hautes-eaux

NOTA

Les bornes des périodes de basses-eaux de transition et de hautes-eaux, construites sur la base de l'hydrologie, ont une vocation scientifique pour rapprocher l'hydrologie du calendrier écologique ; elles ne correspondent pas aux périodes figurant sur les arrêtés préfectoraux.

3.2.3 Calendriers hydrobiologiques du Trèfle

Les espèces cibles du secteur étant le brochet, le chabot (*Cottus gobio*) et le vairon (*Phoxinus phoxinus*), leurs calendriers biologiques sont présentés ci-après.

Espèce	Hiver			Printemps			Eté			Automne		
	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septemb	Octobre	Novemb	Décembr
Brochet (<i>Esox lucius</i>)	Migration		Ponte/ Maturation	Emergen ce alevin	Dévelo ppeme	Migration						
Chabot (<i>Cottus gobio</i>)	Reproduction			Emergence		Maturation						
Vairon (<i>Phoxinus phoxinus</i>)	Reproduction											

La période hydrologique de basses-eaux ne correspond à aucune étape sensible du cycle de reproduction des espèces concernées, seuls des enjeux de mobilité au sein du bassin et de croissance sont à signaler sur cette période mis à part sur la station Assec, ou des enjeux de recolonisation sont prégnants lors de la période de transition automnale avec la reprise des écoulements.

La période de hautes-eaux correspond à :

- La totalité des étapes du cycle du brochet ;
- La période de reproduction, d'émergence et le début de la maturation du chabot ;
- Le début de la reproduction du vairon.

La période de transition printanière correspond à :

- La fin de la maturation du chabot ;
- La fin de la période de reproduction du vairon.

4 ETUDE DES DEBITS BIOLOGIQUES DU TREFLE – STATION SEUIL

4.1 Paramètres physiques de la station et modélisation hydraulique

Cette modélisation a pour objectif de décrire les paramètres physiques des écoulements, c'est-à-dire les hauteurs d'eau et les vitesses s'établissant au sein de la station pour différentes conditions de débits.

4.1.1 Description de la station

Localisation et position des transects de mesure

La station est située sur un bras du Trèfle, environ 1 km en amont du hameau de Guimps.

Elle est située en amont d'un moulin, et prend donc la forme d'un canal d'amenée étroit. Le niveau d'eau est globalement tenu par les pertuis de passage sous le moulin et par la zone d'environ 20 m de long en amont du moulin, colonisée par des herbiers ayant un effet hydraulique sensible. Plus en amont, le canal/fossé circule sous couvert végétal. Sa forme est régulière et son fond relativement plat. Le plan d'eau généré par les ouvrages aval remonte très au-delà de la zone couverte pour l'étude.

Au passage sous le moulin, le canal possède une pente marquée, il ressort sur l'arrière du bâtiment dans une zone élargie. Plus en aval, le bras du trèfle étudié rejoint un autre bras.

Au total, 11 transects ont été positionnés sur le linéaire de la station, ils permettent de rendre compte de la topographie du trèfle à ce niveau comprenant le fond et les berges. Ils sont localisés ci-dessous.

Le pertuis du moulin est constitué de 2 voutes rectangulaires, séparées par une pile centrale.



Figure 13 : Position des transects de mesure de la station

Conditions de mesure

Les mesures ont été réalisées lors d'une venue sur site le 09/08/2022.

Lors des mesures les écoulements se faisaient par les 2 pertuis du moulin mais sous la forme d'un fin filet d'eau. La zone de 20 m en amont du moulin entre les transects 1 et 2 était couverte d'herbiers, les écoulements s'établissant de manière erratique au sein de la végétation. Le transect 2 correspondant au début de la zone d'herbier et à la fin de la zone de ripisylve s'étendant vers l'amont, constituait le véritable contrôle hydraulique du « plan d'eau » amont.

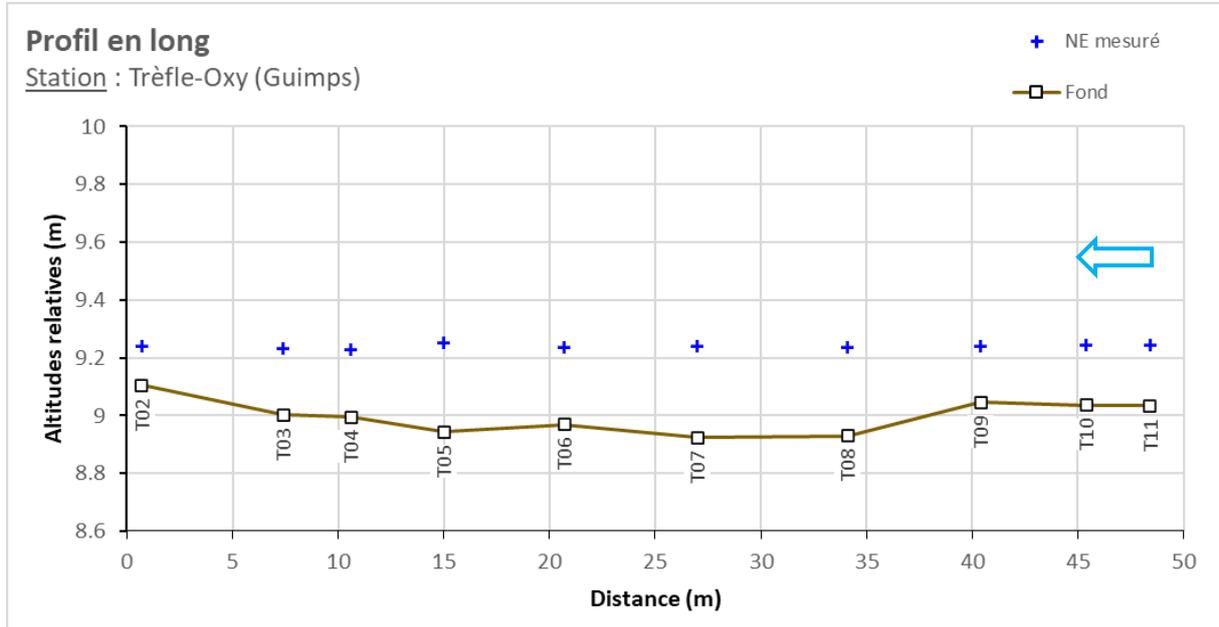
La venue sur site a permis la prise de mesure suivantes le long de la station :

- Points topographiques sur les berges, au fond du lit et au droit des pertuis, ainsi que les niveaux d'eau le long de la station ;
- Jaugeage du débit transitant dans la station, mesuré avec un profileur de courant à effet doppler.

Le débit mesuré le jour de la venue sur site (au niveau de la passerelle située environ 150 m en amont de la station) était compris entre 6 et 7 l/s. Cette valeur étant entachée d'une incertitude élevée du fait des vitesses d'écoulement extrêmement faibles le jour des mesures, largement influencées par l'effet du vent.

Profil en long

Sur la base des profils en travers relevés, le profil en long du fond et de la ligne d'eau relevée est représenté sur la figure suivante :



4.1.2 Modélisation hydraulique de la station

Principes du modèle

Une modélisation hydraulique 1D a été mise en œuvre, à l'aide du logiciel HEC-RAS 1D, permettant de calculer les paramètres physiques descriptifs de la station : Hauteurs d'eau et vitesses d'écoulement à différentes conditions de débits.

Les données bathymétriques et topographiques acquises sur le terrain ont été exploitées afin d'élaborer une représentation topographique de la station sous forme de transects ou profils en travers successifs.

Entre les profils en travers, une interpolation est réalisée afin d'affiner la discrétisation géométrique de la station et optimiser le calcul.

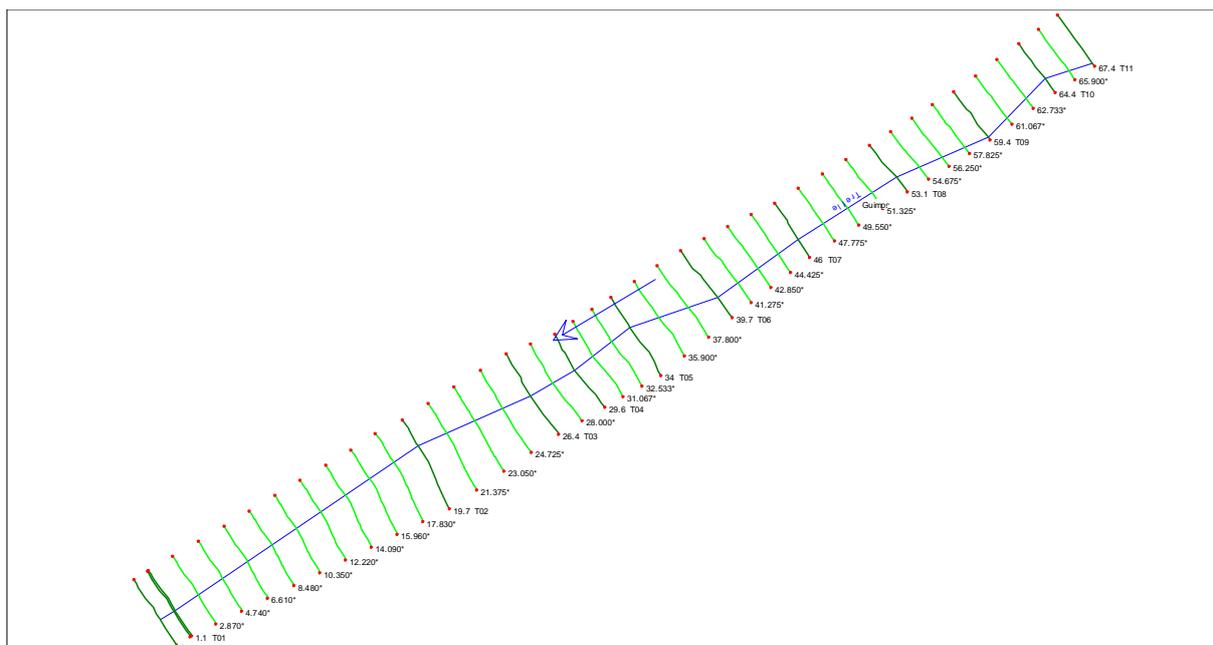
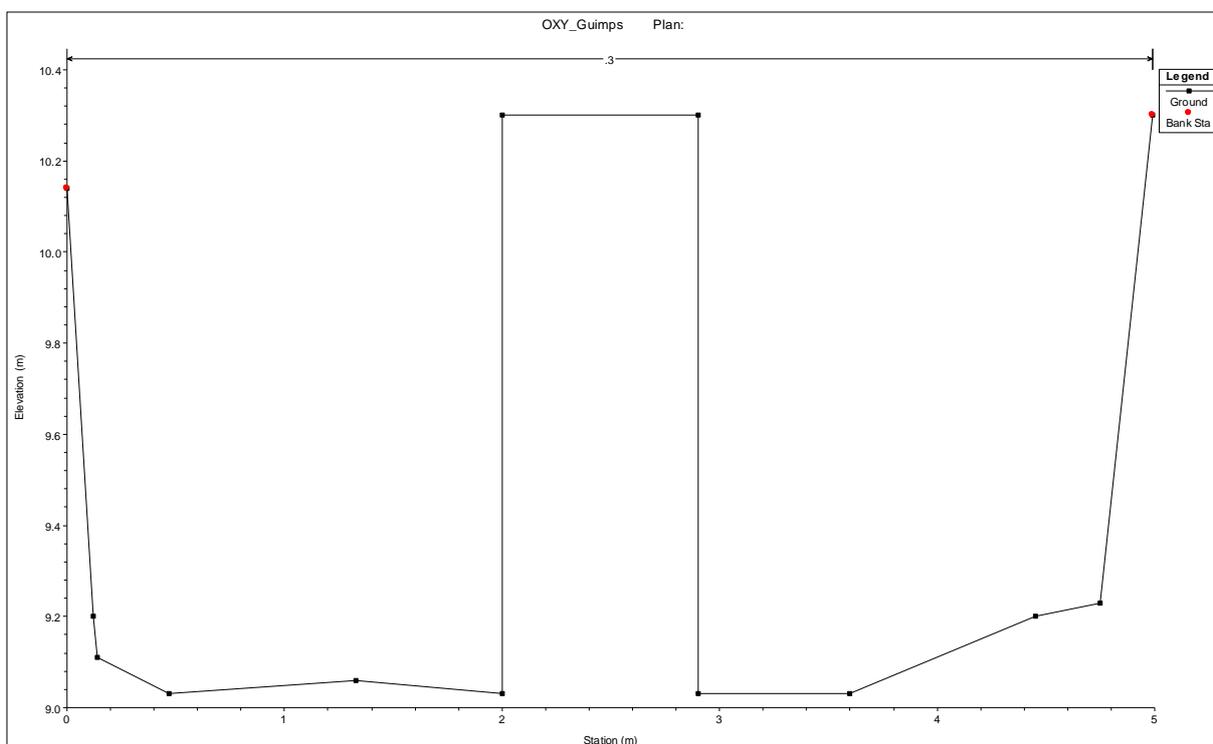


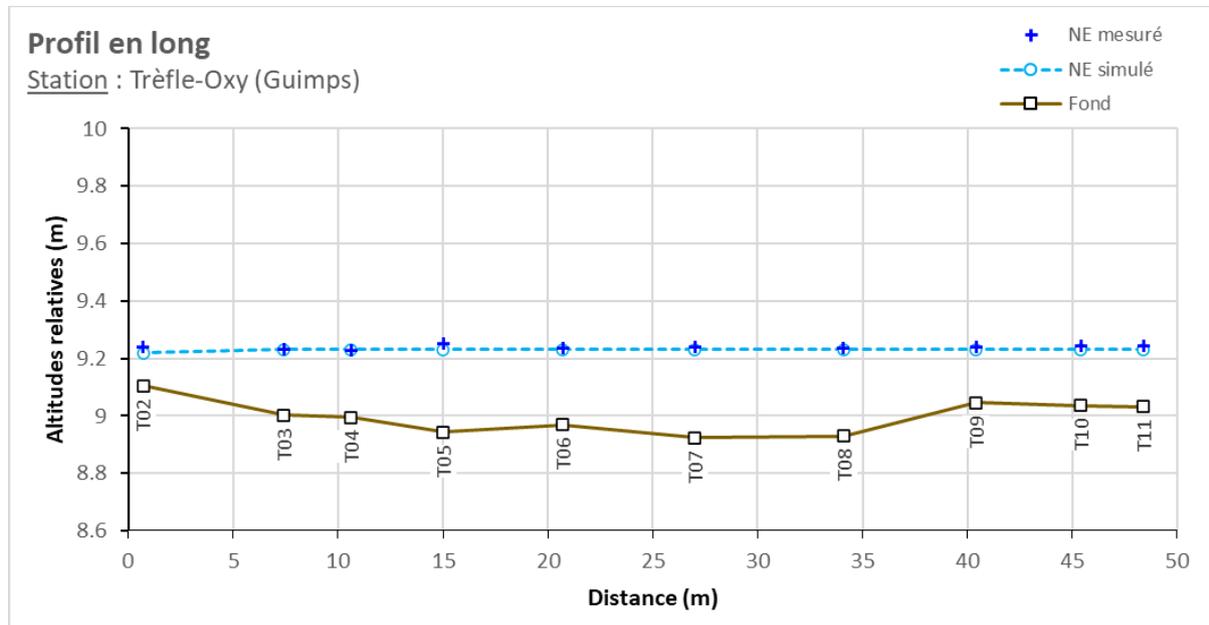
Figure 14 : Discretisation topographique de la station modélisée

Les pertuis terminaux ne se mettent pas en charge pour les débits visés par l'étude. Ils sont représentés comme une section d'écoulement classique dans le modèle en intégrant l'obstruction correspondant à la pile centrale. La rugosité au droit cette zone est adaptée pour respecter le revêtement en présence.



Calage du modèle

Le calage consiste à calibrer les paramètres physiques descriptifs de la station, en l'occurrence le frottement exprimé par le Manning (ou Strickler), de manière à reproduire le plus fidèlement possible la situation observée lors de mesures.



Les lignes d'eau ont pu être correctement reproduites.

On note que l'effet des herbiers sur l'hydraulique est très difficilement représentable par la modélisation sans passer par des valeurs de frottement extrêmes. Pour cette raison, seule la partie correspondant réellement à la zone de « plan d'eau » située en amont du transect 2 est représentée dans les résultats.

Simulations réalisées

Une fois le modèle calé, il peut être exploité pour différentes conditions de débits incidents en amont de la station.

Des simulations ont été réalisées pour plusieurs débits en régime permanent, sur une gamme allant de 1 l/s à 250 l/s. Cette gamme permet ainsi de couvrir des situations d'les basses eaux au module du Trèfle.

4.1.3 Exploitation des résultats

Les résultats seront exploités de manière à déterminer un débit permettant de maintenir l'oxygénation de la station en période de basses-eaux.

4.2 Oxygénation de la station

4.2.1 Points de qualité réalisés

Le relevé des caractéristiques physiques a été doublé d'une succession longitudinale de points de contrôle des deux paramètres qualitatifs sensibles au brassage des eaux (Oxygène, température). Le jour des mesures, la température moyenne relevée dans l'eau était de 24 °C.

11 profils de l'oxygène (point A à K) ont été réalisés entre la surface et le fond dans les zones les plus profondes. Le manque de hauteur sur le bief du moulin de Guimps est très limitant dans le nombre de points de mesures seuls 2 points, un point de fond et un point de surface.

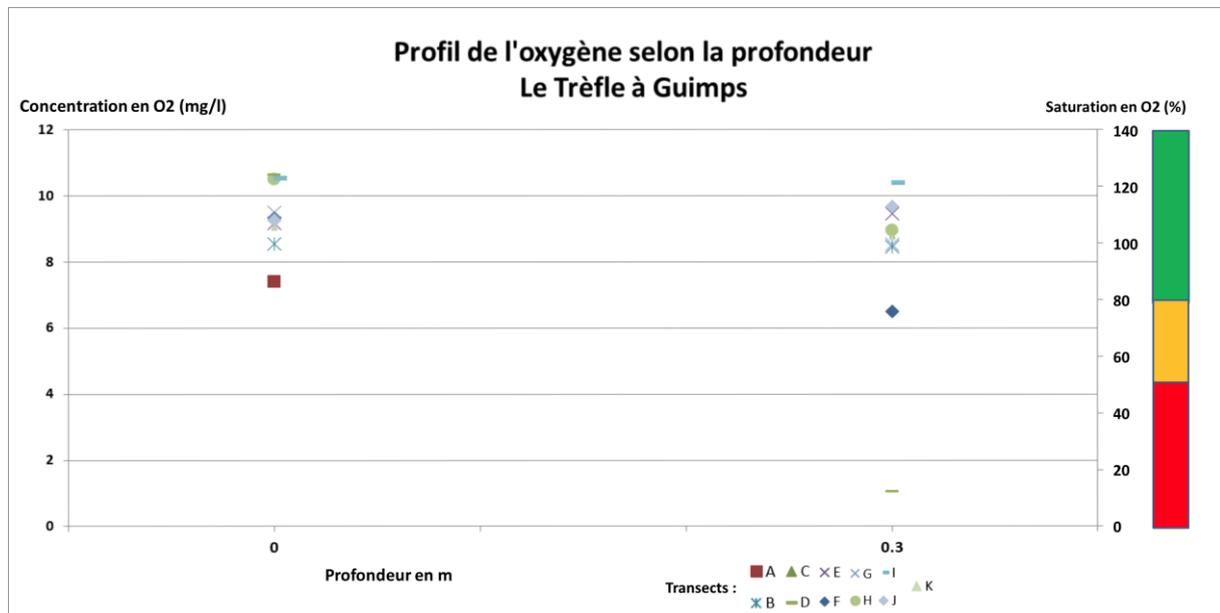


Figure 15 : Profils réalisés à Guimps pour un débit de 7 l/s

Le relevé des paramètres à un débit très faible de 7 l/s, correspondant à moins que le débit d'les basses eaux moyen de l'Irstea de 11 l/s, révèle que la station n'est pas vulnérable à la désoxygénation même en cas de forte chaleur (canicule de l'été 2022). Les mesures ont été réalisées de 8h30 à 9h 17. L'essentiel du bief est ombragé par la ripisylve. Seul les transects F et D présentent une désoxygénation (très marquée pour le D).

4.2.2 Analyse des profils verticaux de l'oxygène et relation avec le débit

La teneur en oxygène dissous d'un cours d'eau est un paramètre qualitatif essentiel pendant la période d'les basses eaux, notamment pour des cours d'eau lents. Ce paramètre a donc été plus finement analysé, afin de rendre compte des phénomènes particuliers qui ont été observés lors des campagnes de mesure.

Au fur et à mesure de son avancement dans le bief, le bilan en oxygène dissous d'une masse d'eau est fonction de plusieurs phénomènes de consommations :

- La consommation d'oxygène par dégradation de la matière organique ;
- La consommation d'oxygène par nitrification de l'ammoniac en nitrate ;
- La consommation d'oxygène des boues à l'interface eau – sédiment du fond du cours d'eau ;
- La consommation d'oxygène par respiration du phytoplancton et des algues.

Et de phénomènes d'apports d'oxygène

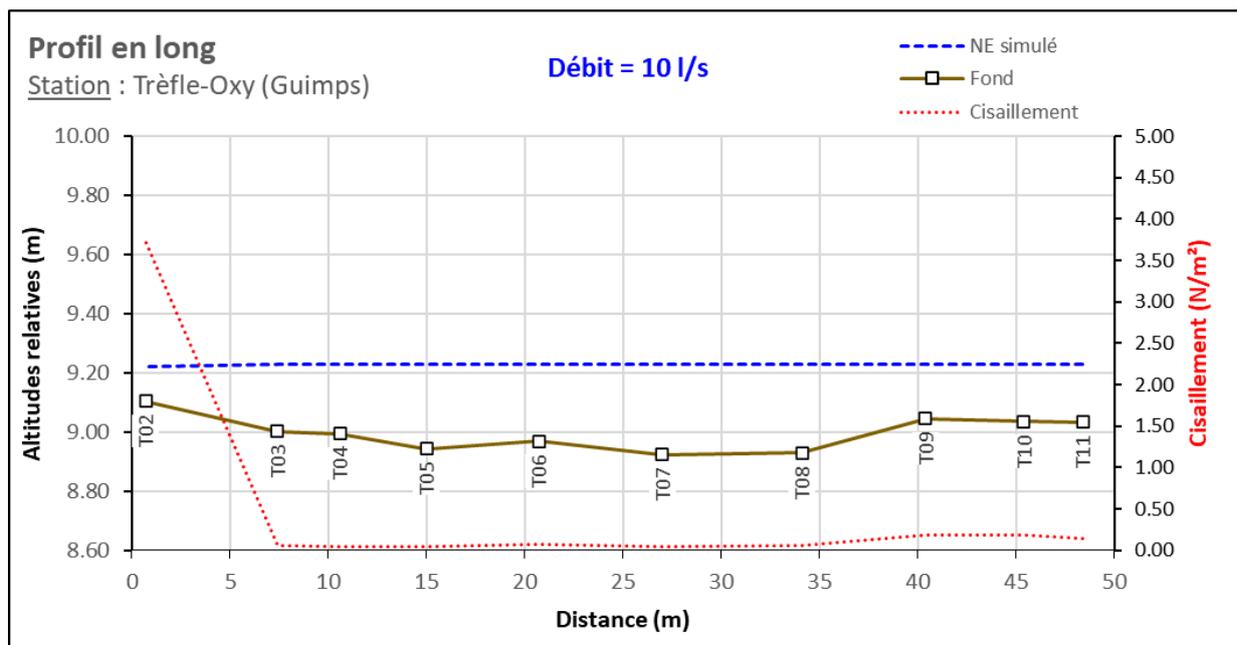
- La réoxygénation via l'interface eau – atmosphère ;
- La production d'oxygène par photosynthèse (algues et phytoplancton) efficace en journée ;
- La réoxygénation par chute d'eau au passage d'un seuil.

Les phénomènes précédents ont tendance à appauvrir en O_2 le fond du cours d'eau et à enrichir la proche surface. Ce déséquilibre dans les cours d'eau est en général effacé par la diffusion de l'oxygène des zones à forte concentration vers les zones à faible concentration. Les flux d' O_2 au travers de la tranche d'eau sont inversement proportionnels au gradient de concentration, et fonction du coefficient de mélange de l'oxygène. *Plus ce coefficient est fort, plus les échanges sont rapides. **Ce coefficient de mélange est variable et dépend notamment de la turbulence de l'écoulement.***

Pour le plan d'eau du Trèfle, la faible différence entre la teneur du fond et celle de la surface est due au temps de diffusion de l'oxygène dissous particulièrement court dans une lame d'eau d'à peine 30 cm.

Dans le cas du Trèfle à l'les basses eaux, les débits faibles et la faible profondeur peuvent induire des vitesses très faibles (à peine quelques cm/s) mais une diffusion rapide de l'oxygène.

Grace à la modélisation hydraulique et aux observations de terrain, il est possible de qualifier le risque de désoxygénation sur des zones significatives en s'intéressant au coefficient de cisaillement. Une valeur seuil caractérisant **le risque de « non mélange des eaux » et donc d'hypoxie** est issue des observations de terrain en dessous de 0,001 à 0,002 Pa. La répartition de ce risque a été étudiée sur le profil en long du cours d'eau.



Ce coefficient évolue avec le débit. Les situations à risque se réduisent rapidement avec l'augmentation du débit.

Débits		n°	1	2	3	4	5
		PF	PF 1	PF 2	PF 3	PF 4	PF 5
		Débit	0.001	0.002	0.005	0.008	0.01
Cisaillement (N/m²)	Nom						
	T11		0.00	0.01	0.06	0.11	0.14
	T10		0.01	0.02	0.08	0.15	0.19
	T09		0.01	0.02	0.08	0.14	0.19
	T08		0.00	0.00	0.02	0.04	0.06
	T07		0.00	0.00	0.02	0.03	0.05
	T06		0.00	0.01	0.03	0.05	0.07
	T05		0.00	0.00	0.02	0.04	0.05
	T04		0.00	0.00	0.02	0.04	0.05
	T03		0.00	0.01	0.02	0.04	0.06
	T02		0.74	1.09	2.34	3.22	3.74
T01		0.45	0.90	2.03	3.04	3.49	

Figure 16 : Coefficient de cisaillement des différents transects en fonction du débit (en rouge : cisaillement nul, en jaune cisaillement entre 0.001 N/m² et 0.002 N/m² et vert cisaillement supérieur ou égal à 0.002 N/m²)

Remarque : Cette matrice illustre la sensibilité du paramètre à la section mouillée et donc à la profondeur. Pour un même débit, une augmentation de la profondeur à la faveur d'un curage par exemple conduirait à une diminution du coefficient de cisaillement et donc une augmentation du risque d'hypoxie au fond. L'utilité écologique de maintien de stock d'eau profond dans des biefs peu renouvelés peut être partiellement réduite par ce mécanisme dégradant la qualité des eaux stockées.

Afin de maintenir la bonne oxygénation de la station, un débit minimal d'les basses eaux de 5 l/s est nécessaire à la station de Guimps.

5 ETUDE DES DEBITS BIOLOGIQUES DU TREFLE - STATION DEBIT BIOLOGIQUE D'ALLAS CHAMPAGNE

5.1 Paramètres physiques de la station et modélisation hydraulique

Cette modélisation a pour objectif de décrire les paramètres physiques des écoulements, c'est-à-dire les hauteurs d'eau et les vitesses s'établissant au sein de la station débit biologique pour différentes conditions de débits.

5.1.1 Description de la station

Localisation et position des transects de mesure

La station d'Allas-Champagne explorée est située sur le Trèfle. Elle est positionnée environ 100 m en aval du pont de la D149.

Elle s'étend sur environ 55 m de long.

19 transects de mesure ont été positionnés sur le linéaire de la station, ils permettent de rendre compte du fonctionnement hydraulique du trèfle à ce niveau (mouilles, plats, radiers ...). Ils sont positionnés ci-dessous.

Conditions de mesure

Les mesures ont été réalisées lors d'une venue sur site le 22/07/2022.

La venue sur site a permis la prise des mesures suivantes le long de la station :

- Profils topographies et lignes d'eau associées des transects repérés ci-avant. Acquis avec un tachéomètre de type station totale.
- Débit transitant dans la station, mesuré avec un courantomètre électromagnétique et un profileur de courant à effet Doppler.

Le débit le jour des mesures a été mesuré entre les transects T18 et T19. La valeur mesurée était alors de 26 l/s.

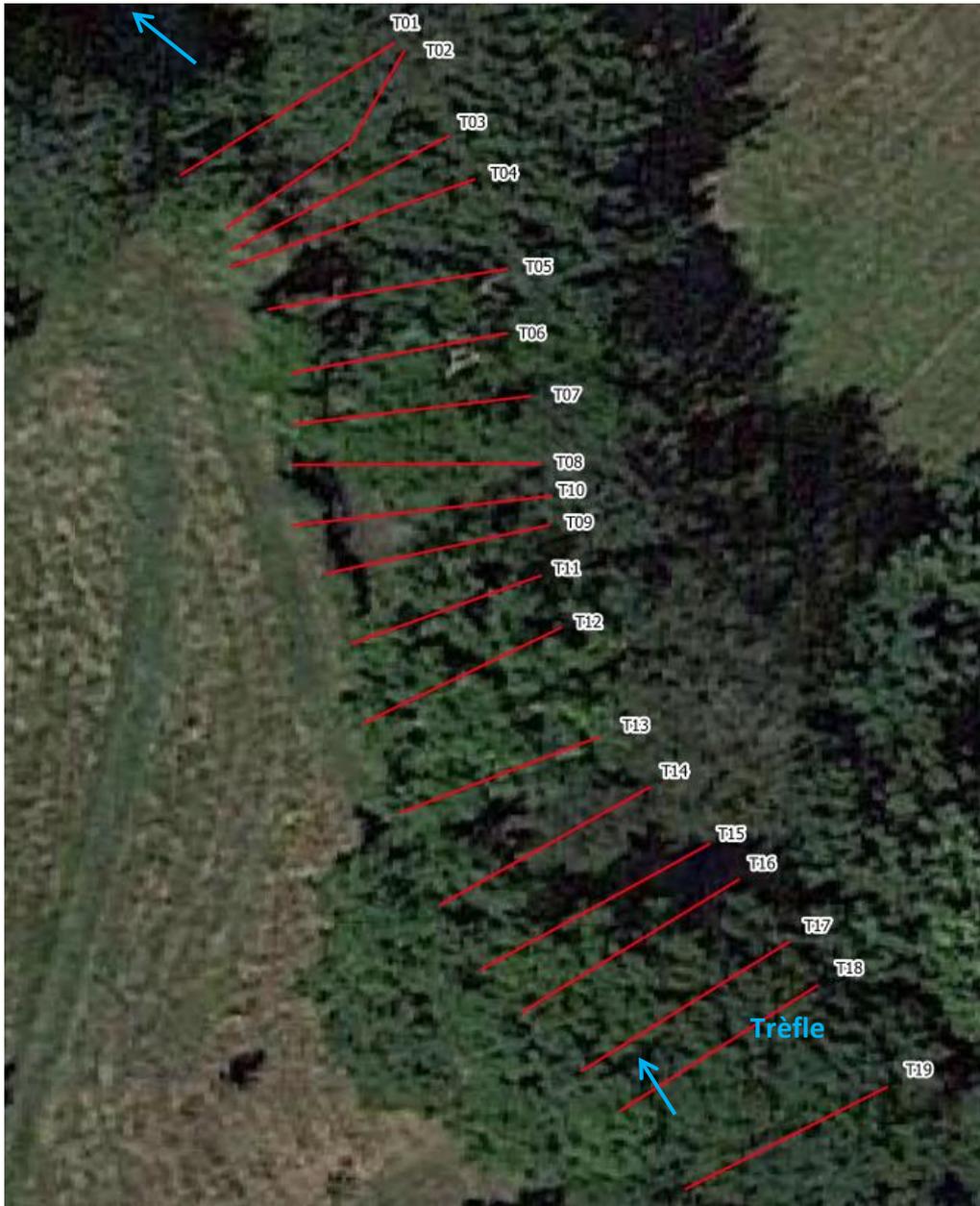


Figure 17 : Position des transects de mesure de la station débit biologique

Profil en long, faciès d'écoulement et type de berges

Les faciès d'écoulement et la connectivité des berges le long de la station ont été également relevés pour les conditions d'écoulement le jour des mesures.

- **Faciès d'écoulement**

Le linéaire parcouru présente un profil majoritairement calme avec toutefois quelques zones dynamiques (relativement au débit en présence le jour des mesures). Le Trèfle « serpente » en alternant des zones de plat avec de petits radiers.

L'amont de la station a été positionné au niveau d'un petit radier. Le lit peu profond présente un point légèrement haut au centre qui se prolonge jusqu'aux T18 et T17, générant également un effet radier

à ce niveau de la gauche du lit vers la droite. La rive droite montre sur cette partie amont une petite plage enherbée.

Après T17, le cours d'eau dérive vers la droite, contraint par une plage en rive gauche. Il reprend un faciès de radier jusqu'au T14, avec une largeur assez faible et des vitesses donc plus importantes.

Le Trèfle dérive de nouveau vers la gauche, en acquérant un faciès plus calme de type plat courant, avec toutefois des zones de légères accélérations au niveau de resserrments. On observe au droit du T13 une petite annexe rétrograde en rive gauche, faisant saillie dans la plage à ce niveau. En rive droite, une plage assez longue apparaît, avec quelques herbes implantées, se prolongeant quasi jusqu'en aval de la station.

La zone T08-T07 est marquée par une profondeur importante formant une zone de mouille.

Le faciès redevient progressivement plus rapide, passant à plat courant puis radier en T04-T02. La rive gauche présente alors sur l'aval de la station un profil en terrasses enherbées.

Enfin, l'aval de la station correspond à une zone de plat lent se convertissant plusieurs dizaines de mètres après en mouille au niveau de la confluence d'un petit affluent.

- **Type de berges**

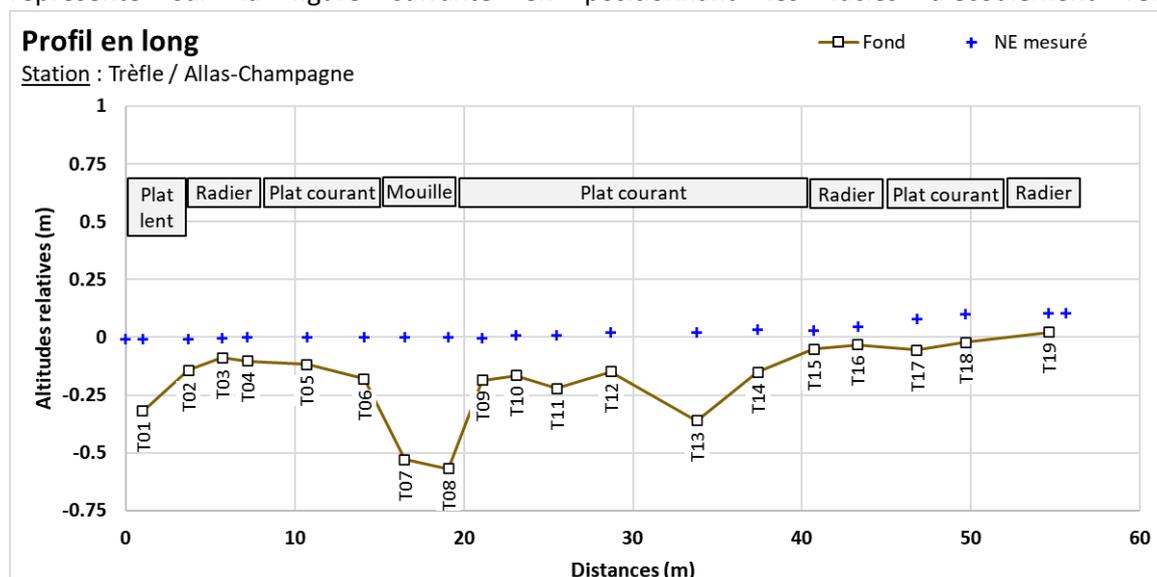
Les berges de part et d'autre du cours d'eau sont relativement uniformes, présentant une élévation maximale constante sur chaque rive. Elles présentent un profil abrupt, très marqué sur certaines zones, notamment en rive gauche, avec de petites sous berges.

Dans le lit mineur, comme évoqué, plusieurs plages sont présentes, tantôt à gauche et à droite. Ces plages montrent une granulométrie comparable à celle du lit lorsqu'elles ne sont pas enherbées. En aval, la berge gauche montre un profil en terrasse, potentiel témoin d'un affaissement de la berge.

La ripisylve gauche est peu fournie, correspondant seulement à des arbres isolés ou des pousses d'individus sur voire dans la berge abrupte. La rive gauche présente à l'inverse une ripisylve plus complète et dense.

- **Profil en long**

Sur la base des profils en travers relevés, le profil en long du fond et de la ligne d'eau relevée est représenté sur la figure suivante en positionnant les faciès d'écoulement relevés :



5.1.2 Modélisation hydraulique de la station

Principes du modèle

Une modélisation hydraulique 2D a été mise en œuvre, à l'aide du logiciel HEC-RAS 2D, permettant de calculer les paramètres physiques descriptifs de la station : Hauteurs d'eau et vitesses d'écoulement à différentes conditions de débits. La modélisation 2D permet d'obtenir une répartition dans les 2 dimensions d'espace horizontales de ces paramètres. L'analyse hydraulique qui en découle est plus fine qu'avec un modèle unidimensionnel.

Les données bathymétriques et topographiques acquises sur le terrain ont été exploitées afin d'élaborer une représentation topographique continue de la station (MNT). Sur cette base, un maillage de calcul a été élaboré, composé de mailles carrées de 20 cm x 20 cm au maximum et raffiné au droit de zones clés. On représente en suivant le maillage de calcul superposé au MNT construit pour la station.

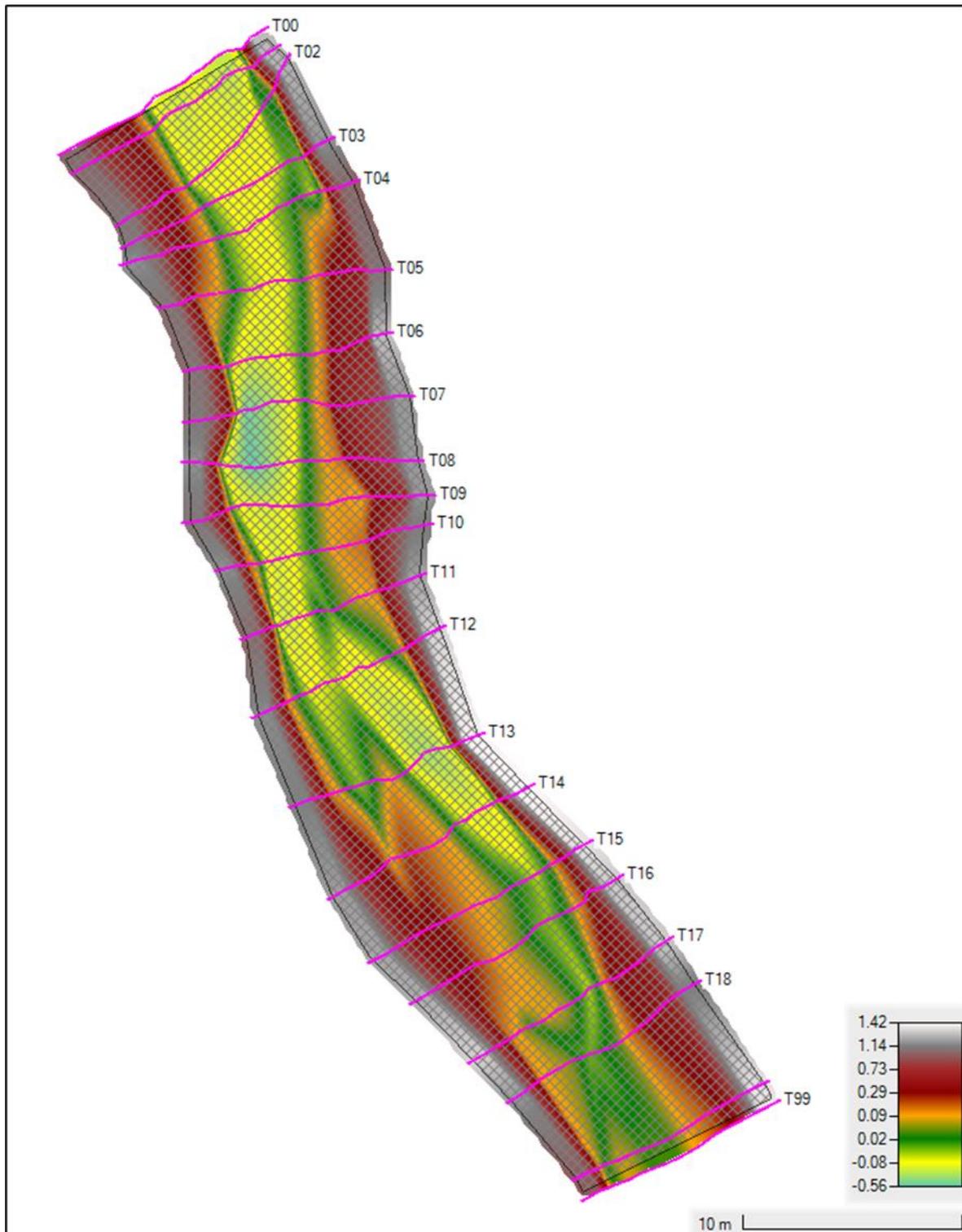


Figure 18 : Maillage de calcul et topographie de la station modélisée

Calage du modèle

Le calage du modèle se base sur les relevés de niveaux de hautes d'eau faits lors de la venue sur site. Pour rappel, le débit mesuré était de 26 l/s.

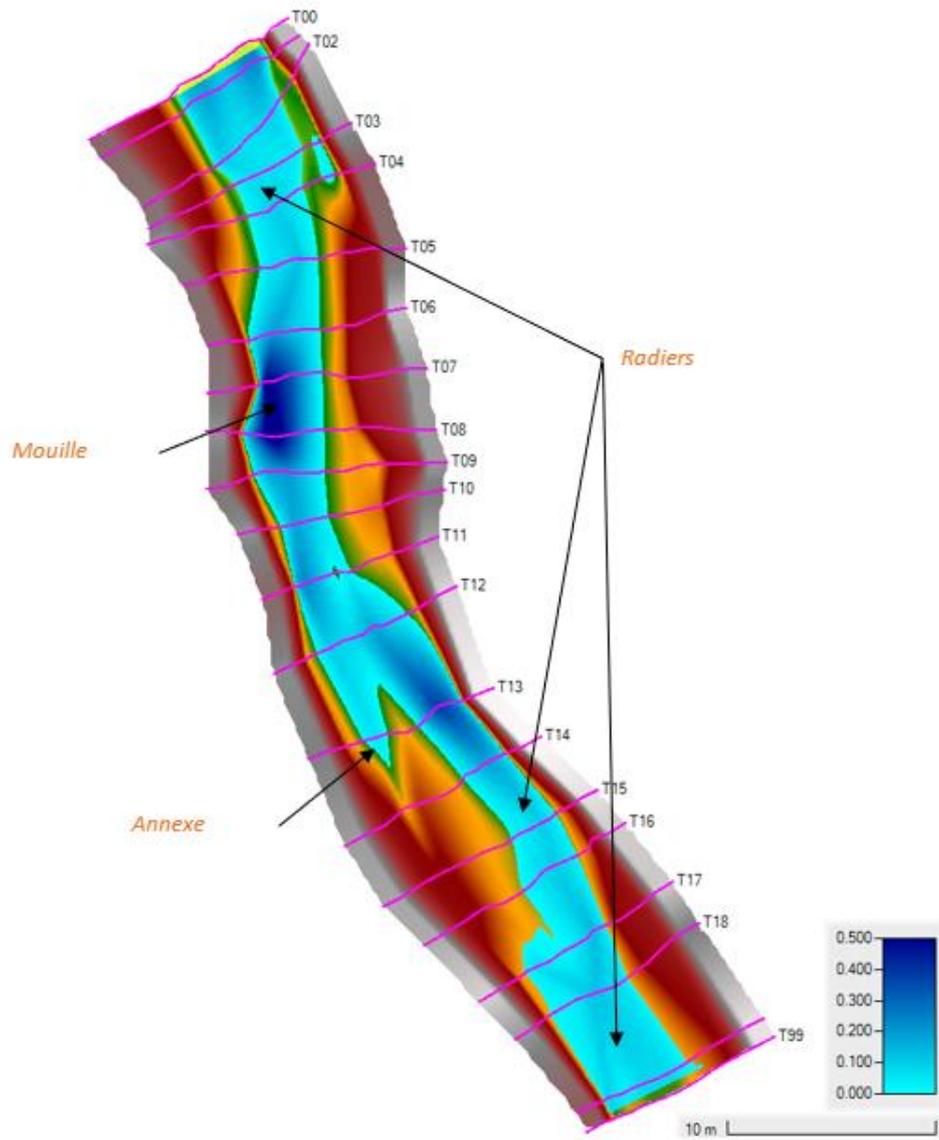


Figure 19 : Faciès d'écoulements du modèle (fidèles aux observations de terrain) et profondeur (en mètre)

Le paramètre de calage est le coefficient de Manning-Strickler, rendant compte des frottements de fond. Son ajustement par zones spatiales dans le modèle permet de caler le modèle avec les mesures de niveau d'eau.

On présente en suivant les résultats de calage sur le profil en long de la station.

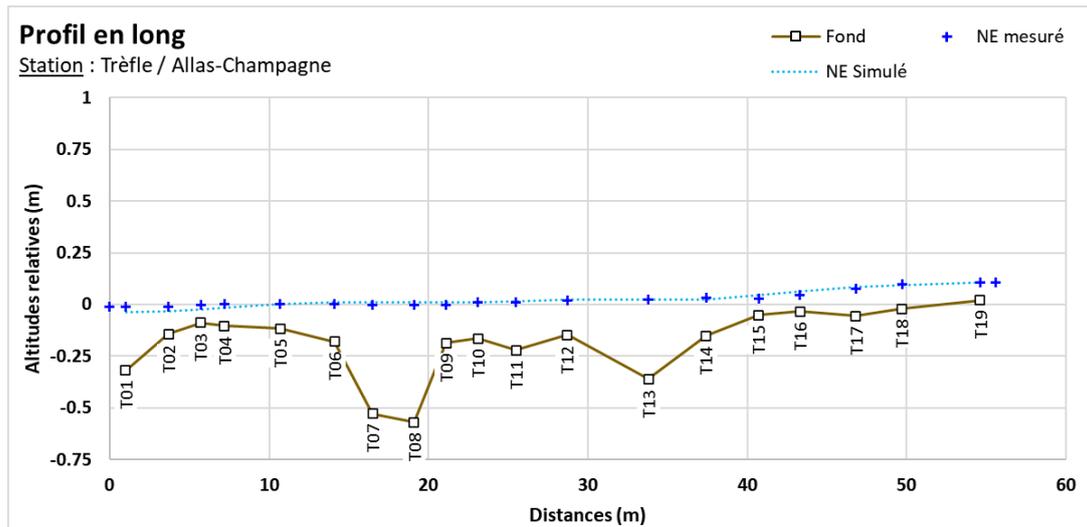


Figure 20 : Profil en long de la station et comparaison des niveaux d'eaux simulé et mesuré

Le calage de la ligne d'eau apparaît satisfaisant, permettant de reproduire les niveaux observés en chaque transect et la pente de ligne d'eau générale. L'effet du radier aval présentant un profil légèrement longitudinal apparaît légèrement surestimé par le modèle avec une différence n'excédant toutefois pas les 2 cm. La représentation des faciès et veines d'écoulement apparaît également cohérente, de même que l'emprise globale mouillée observée le jour des mesures sur site.

Simulations réalisées

Une fois le modèle calé, il peut être exploité pour différentes conditions de débits incidents en amont de la station et lignes d'eau aval.

Des simulations ont été mises en œuvre pour plusieurs débits en régime permanent, sur une gamme allant de 1 m³/s à 2 l/s. Cette gamme permet ainsi de modéliser des débits d'les basses eaux au-delà du module du trèfle à cette station.

5.1.3 Exploitation des résultats et présentation cartographique

Les résultats en termes de hauteurs d'eau et vitesses d'écoulement sont obtenus de manière spatialisée sur l'emprise de la station modélisée pour chacun des débits simulés. Les résultats sont présentés sous forme de courbe, de tableaux et de cartes. Pour les cartes, conformément aux recommandations du comité scientifique, les valeurs de débit représentées sont le QMNA5 minimum, QMNA5 moyen, 50 % du module, module et débit de débordement soit 5 cartographies. Rappelons que selon nos estimations le module serait de 470 l/s soit plus faible que celui évalué par Irstea.

Débit représenté	Equivalent sur la station (en l/s)
QMNA5 minimum (borne basse modélisation Irstea)	5
QMNA5 moyen (Modélisation Irstea)	52
50% du module (Irstea)	386
Module (Irstea)	771
Débit de débordement (Eaucea)	1000

Ils sont croisés avec les données de substrat relevées, et les courbes de préférence associées à chaque espèces et stades cibles sur la station débit biologique.

5.2 Variables physiques débit-dépendantes (toutes périodes hydrologiques)

5.2.1 Surface mouillée

Le modèle hydraulique permet de calculer l'évolution de la surface mouillée. La surface mouillée évolue de manière importante (cf. gradient) jusqu'aux environs de 80 l/s. Le lit se remplit ensuite progressivement jusqu'à son débordement à 1000 l/s.

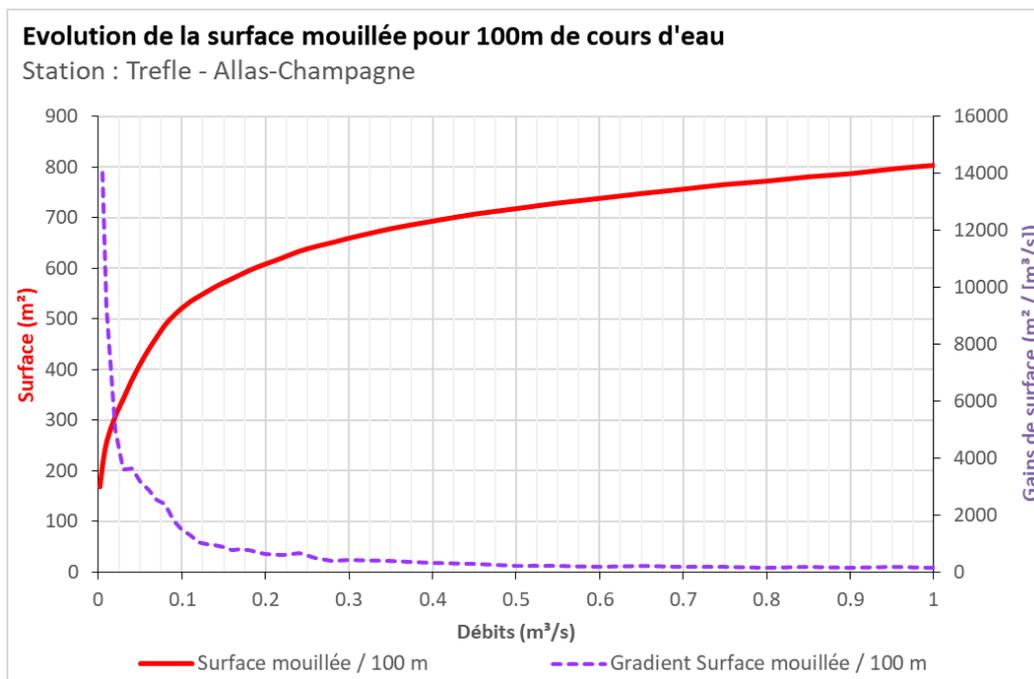


Figure 21 : Evolution de la surface mouillée à Allas-Champagne

5.2.2 Granulométrie de la station

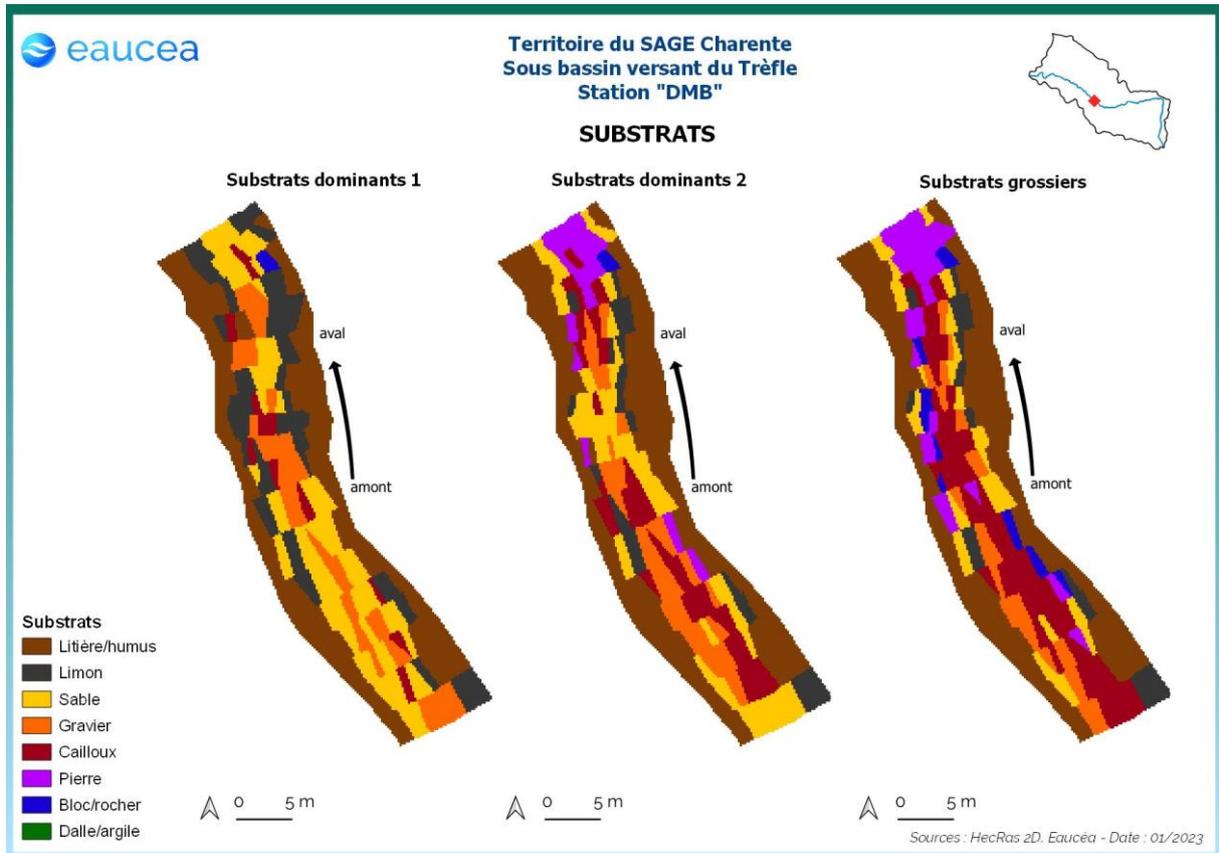


Figure 22 : Carte des substrats de la station débit biologique

La station présente des substrats dominés par la litière en berge et par les sables, graviers et cailloux dans le chenal central.

5.2.3 Profondeur

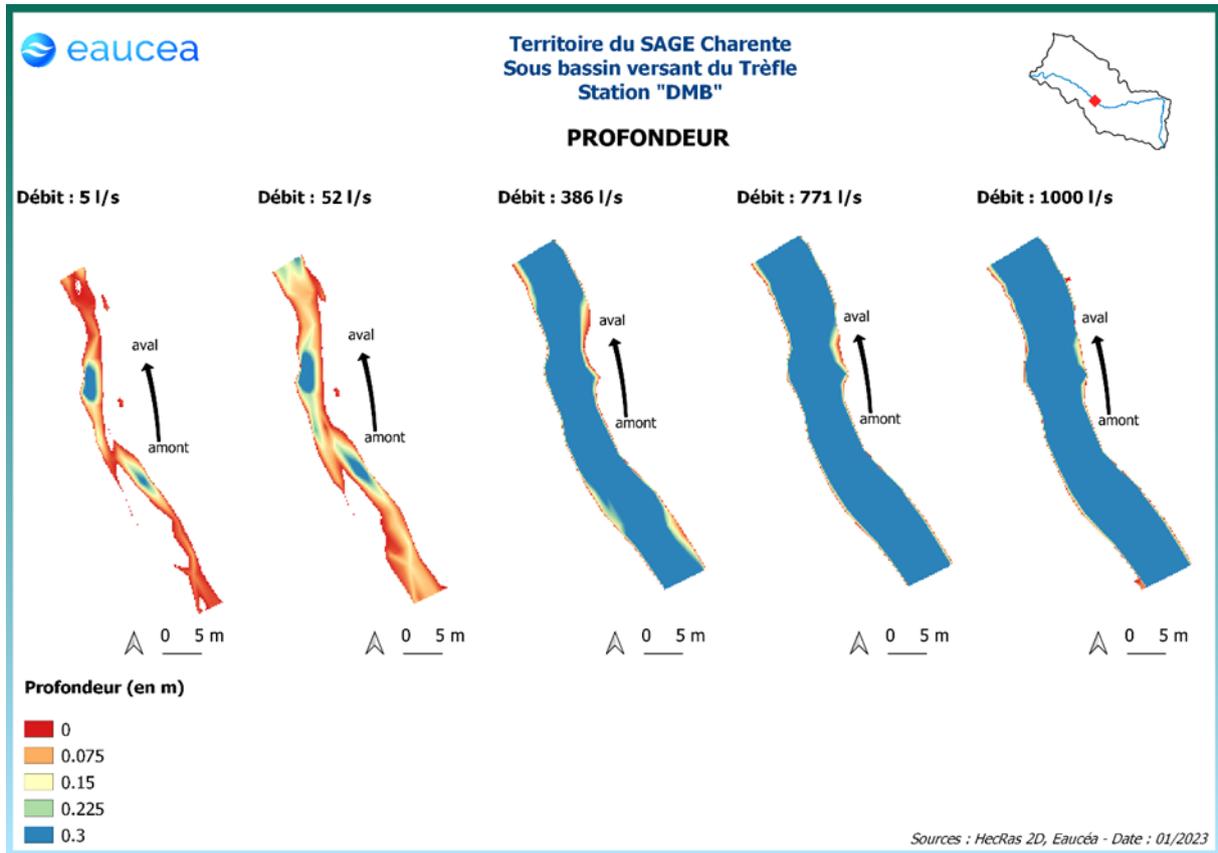


Figure 23: Evolution des profondeurs sur la station débit biologique à différents débits

Le Trèfle présente des hauteurs d'eau assez importantes dans ce secteur. A 5 l/s, deux petites fosses d'une trentaine de centimètres sont déjà présentes au centre et en aval de la station. A 50 % du module (386 l/s) l'ensemble de la station présentent des hauteurs d'eau d'au moins 30 cm.

5.2.4 Vitesse d'écoulement

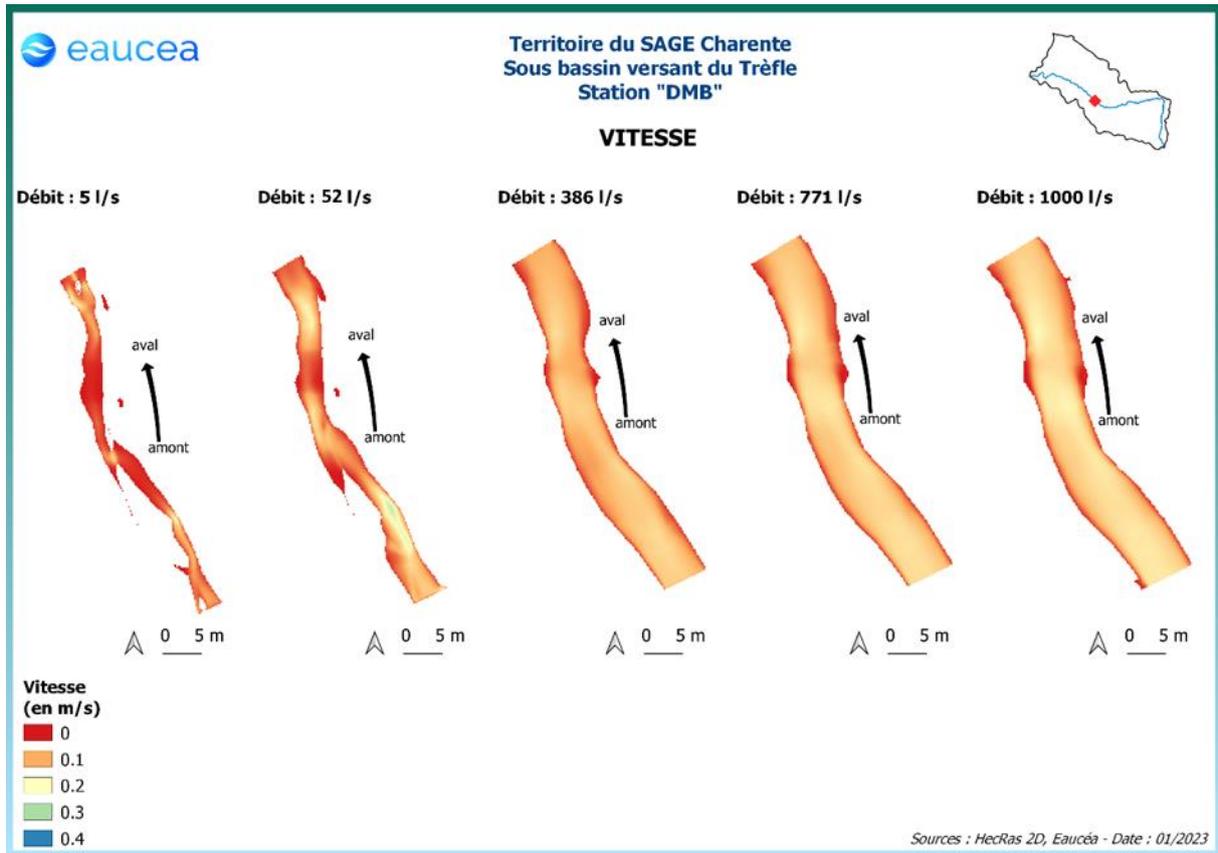


Figure 24: Evolution des vitesses d'écoulement sur la station débit biologique à différents débits

La station débit biologique, dans un secteur avec peu de pente, ne présente que des vitesses d'écoulement faibles à bas débit et l'évolution des débits n'entraîne qu'une augmentation très modérée de ces vitesses : même au débit de débordement les vitesses d'écoulement ne dépassent pas la vingtaine de centimètres par seconde.

La modélisation des vitesses nous permet aussi d'identifier les habitats courants favorables aux espèces rhéophiles comme la vandoise et dans une moindre mesure le vairon.

5.3 Habitat benthique

La différenciation des habitats benthiques en lien avec la vitesse, critère le plus discriminant en les basses eaux, peut s'analyser en distinguant deux zones de part et d'autre de la valeur-seuil de 25 cm/s (cf. Note méthodologique : « *Habitat aquatique et invertébrés benthiques* »). La valeur repère de 25 cm/s séparant les milieux rhéophiles des milieux lentiques présente en effet une forte valeur descriptive de l'habitat des invertébrés inventoriés dans le bassin charentais.



Figure 25: Evolution des milieux courants sur la station débit biologique

On peut noter ici que la quantité d'habitats rhéophiles sur la station est quasi nulle à tous les débits. Un tout petit secteur d'habitat rhéophile apparaît cependant entre 20 l/s et 50 l/s mais cela est fugace et ne peut servir au sens écologique.

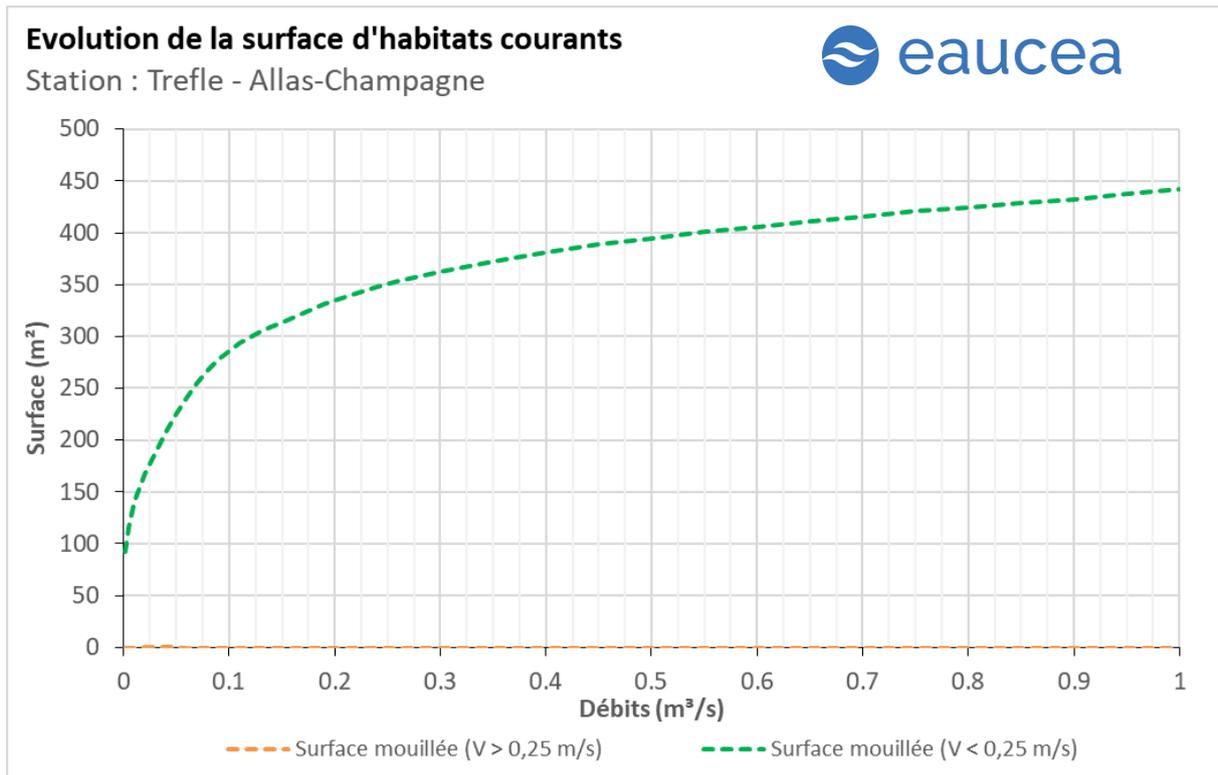


Figure 26 : Evolution de surface lotique (orange) et lentique (vert)

La station est lentique. A mesure que les débits augmentent, la quantité de surface rapide n'évolue pas et ce jusqu'au débit de débordement.

Que ce soit en les basses eaux soit en hautes-eaux, les seuils de 10 % et 20 % de surface rapide ne sont jamais atteint.

En conséquence, ce critère ne peut être retenu et ne figurera pas sur les matrices.

5.4 Capacité d'auto-entretien des faciès du cours d'eau (période hydrologique des hautes-eaux)

La modélisation hydraulique 2 D permet de calculer en tous points de la station, la valeur du paramètre $\tau^{* 1}$ qui caractérise les conditions de début d'entraînement ou de charriage des particules. Nous avons retenu les sables qui sont les principales particules susceptibles de s'accumuler dans les fosses et de les combler. Pour les limons (tourbes et argiles), fréquemment transportés dans les rivières, le cycle de sédimentation érosion est complexe en raison d'un risque de cohésion par tassement et d'une évolution plus complexe en cas d'assec. Néanmoins, nous pouvons considérer que le maintien d'épisodes hydrauliques suffisants en intensité en durée pour évacuer des sables évitera un temps d'accumulation trop long aussi pour les limons.

¹ Paramètre de Shields (cf note méthodologique)

Le principe est donc de vérifier si pour des débits importants mais fréquents, les conditions hydrauliques permettent de maintenir les faciès d'écoulement. Une comparaison réalisée avec la topographie observée permet de conclure au maintien ou non d'une dynamique d'entretien des zones les plus profondes, qui jouent un rôle majeur en les basses eaux. La modélisation hydraulique 2 D, montre que les particules les plus fines sont régulièrement transportées mais fait aussi apparaître que des débits sensiblement plus élevés sont nécessaires pour éviter le comblement par l'amont de la principale zone profonde de la station en cas de charriage de sables plus grossiers.

5.4.1 Colmatage

A Allas-Champagne, la mise en mouvement des particules fines se fait dès que le débit dépasse 5 l/s dans les zones amont du bras principal ainsi que dans le bras secondaire. Néanmoins l'augmentation du débit s'accompagne d'une forte augmentation de la surface mouillée dans ce domaine (cf. 5.2.1). Les simulations montrent qu'au-delà de 52 l/s, les surfaces sensibles au colmatage par les sables fins (0,5 mm) se résume aux bords du lit mouillé. La station n'est donc pas ou peu vulnérable au colmatage l'essentiel de l'année.

5.4.2 Entretien des frayères

La mise en mouvement des particules plus grossière, de l'ordre de 5 à 10 mm permet de s'affranchir des éventuelles forces de cohésion dû au tassement, de quantifier le transit du substrat et l'entretien du lit en particulier à l'automne. Concernant les particules de l'ordre de 5 millimètres de diamètre, seuls les deux radiers entre en mouvement lorsque le débit est situé entre 5 et 52 l/s. A la moitié du module soit 386 l/s, cette mise en mouvement n'est plus observable. Concernant les particules de 10 millimètres, le même constat peut être fait autour de 52 l/s pour ensuite disparaître aussi. Ce fonctionnement un peu surprenant s'explique par l'enneigement de la station et l'homogénéisation des conditions d'écoulements.

Les enjeux de reproduction concernant la truite (frayères) requièrent une mobilité de la granulométrie à la période hydrologique automnale. La génération des milieux favorables aux frayères s'effectue donc dans des conditions hydrauliques spécifiques non décrites dans les simulations mais peut être sur des événements hydrologiques plus intenses (crues).

5.4.3 Synthèse

Nous recommandons de retenir les valeurs de 52 l/s en les basses eaux qui garantit un chenal sans limon sur l'ensemble de la station. En transition d'automne et hautes eaux (novembre à juillet) et pour l'entretien sédimentaire des frayères et du lit, les forces de frictions ne sont pas suffisantes. Le potentiel de frayère repose donc uniquement sur le non-colmatage de la station.

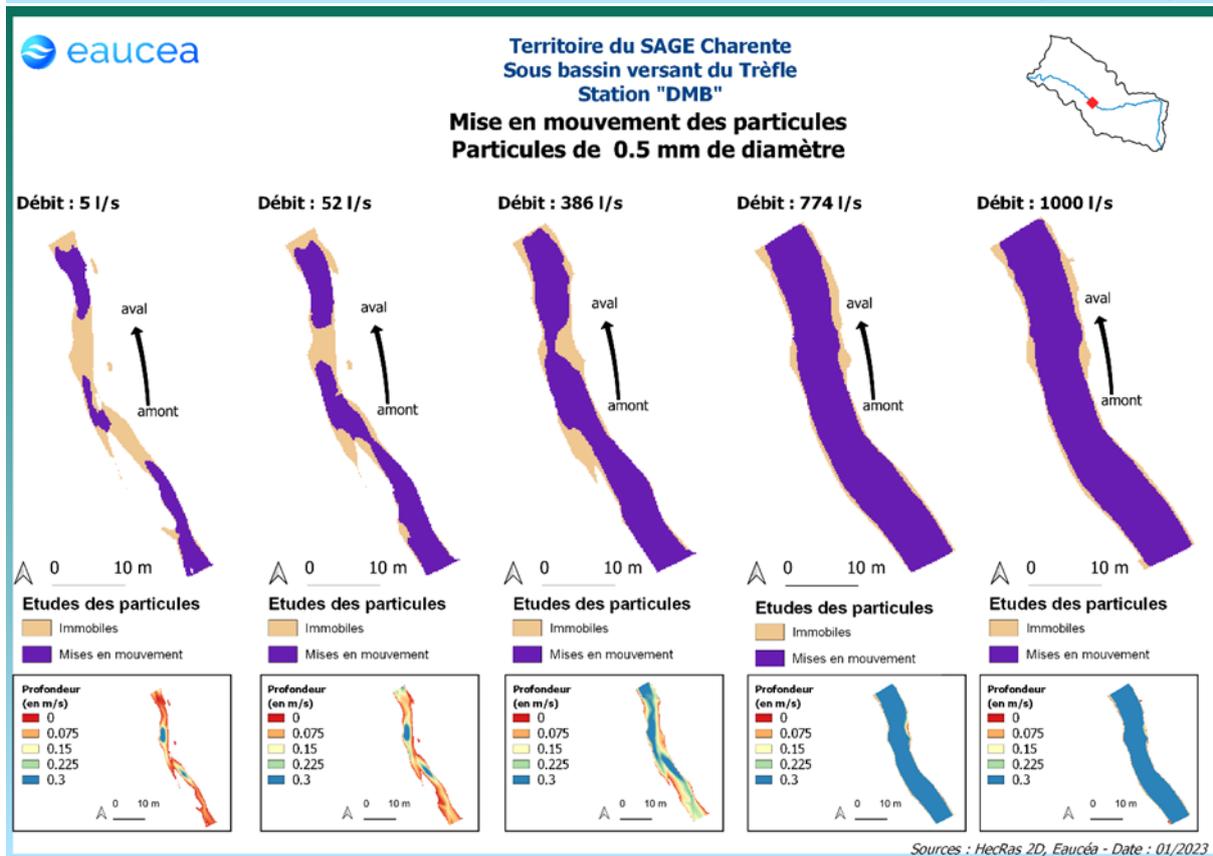
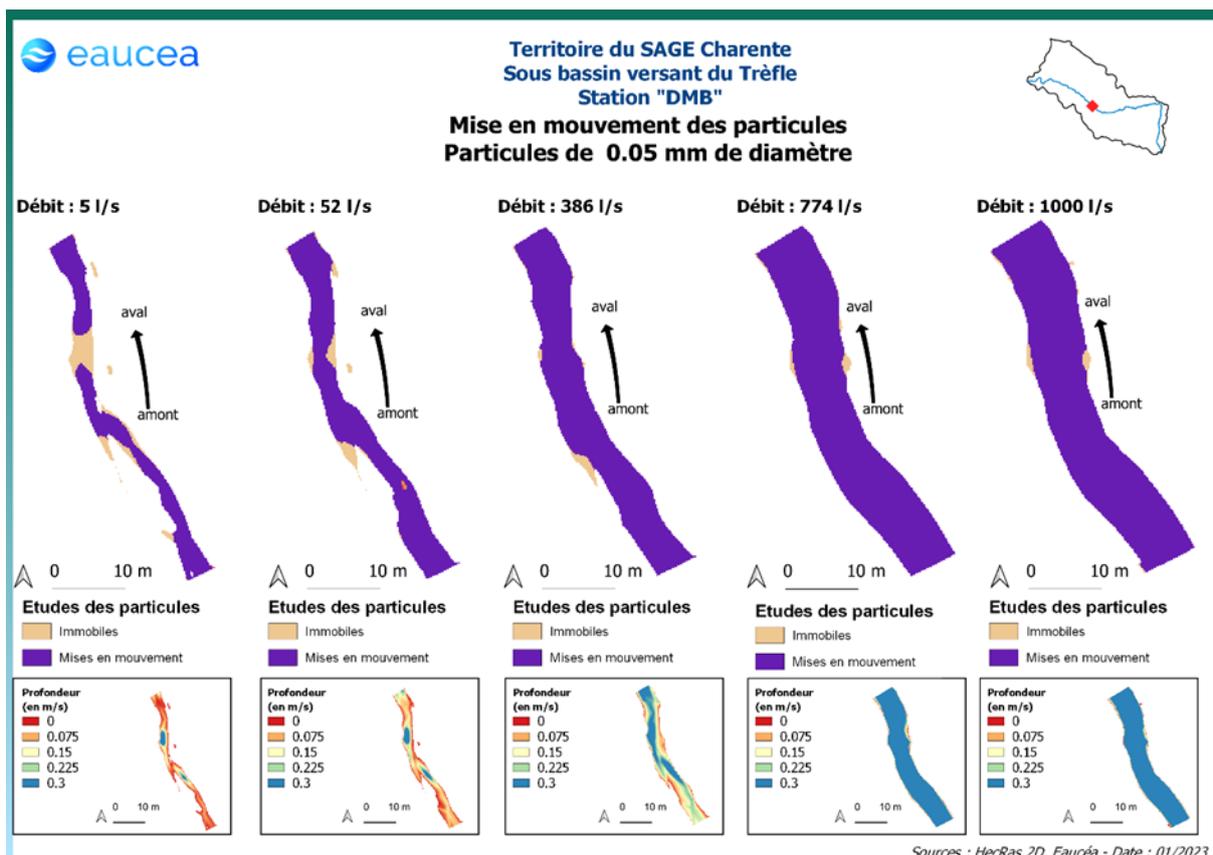


Figure 27 : Mise en mouvement des particules fines sur la station d'Allas-Champagne

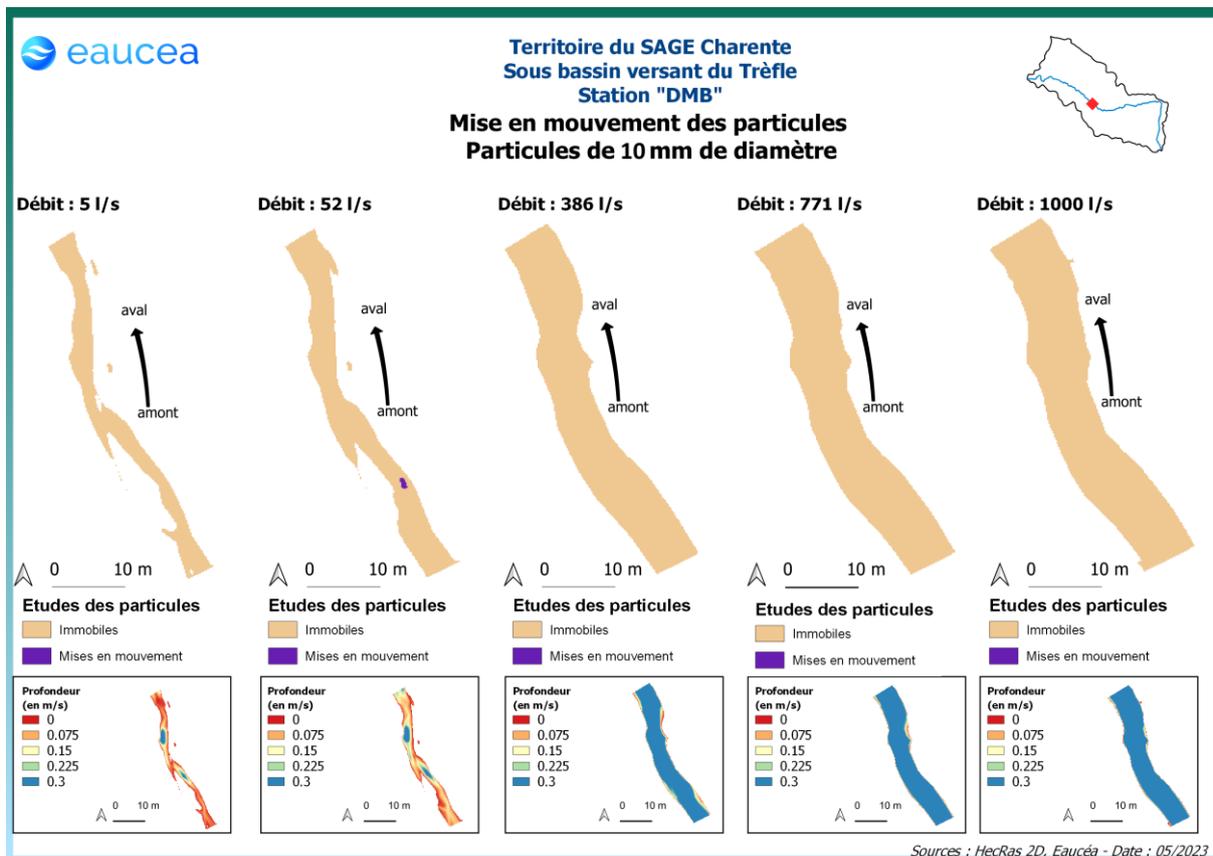
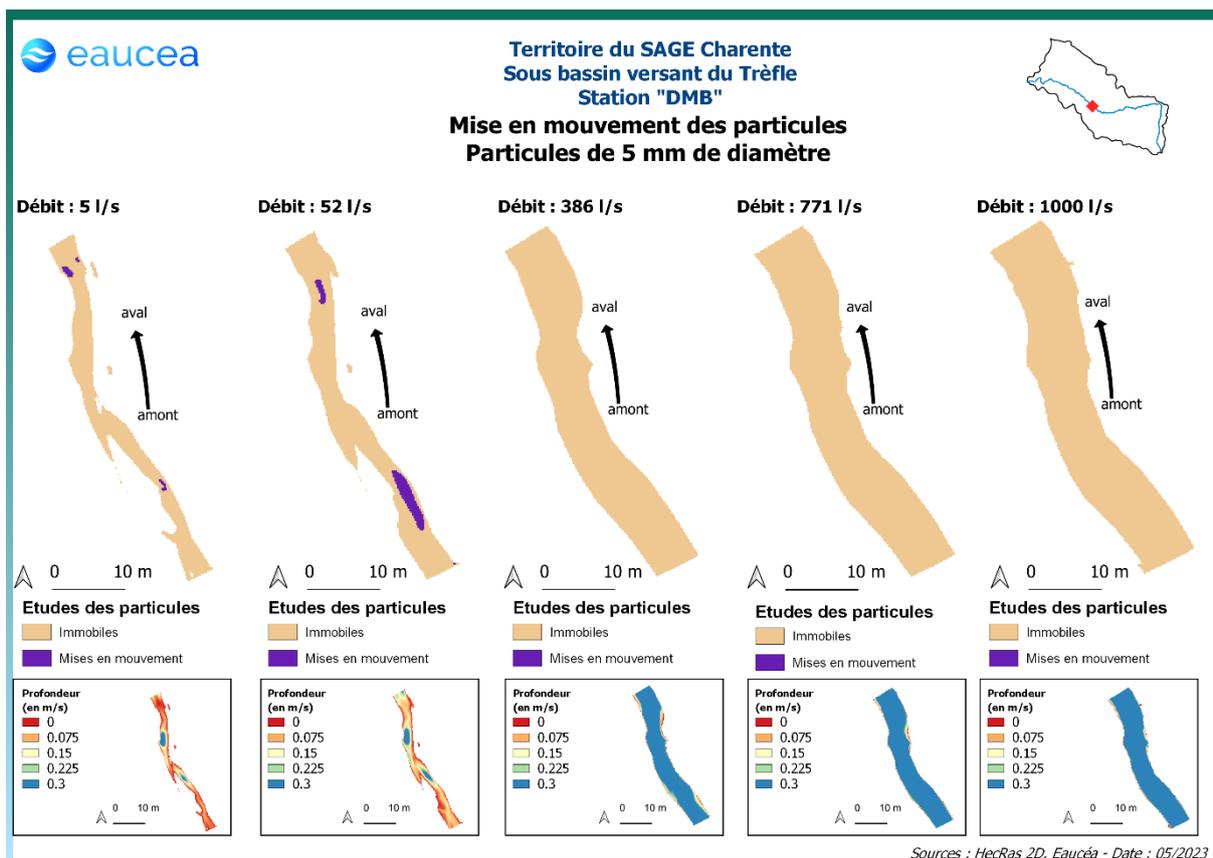


Figure 28 Mise en mouvement des particules grossières sur la station d'Allas-Champagne

5.5 Connectivité longitudinale

Il s'agit ici de vérifier à quelle condition de débit, la circulation des poissons est possible au sein de la station.

La connectivité de cette station sur le Trèfle est aisée pour les petites espèces à un débit de 30 l/s. Elle ne l'est plus pour 20 l/s.

La connectivité de la station est encore aisée pour les grandes espèces à un débit de 40 l/s. Elle ne l'est plus à 30 l/s.

La valeur de 60 l/s est recommandé.

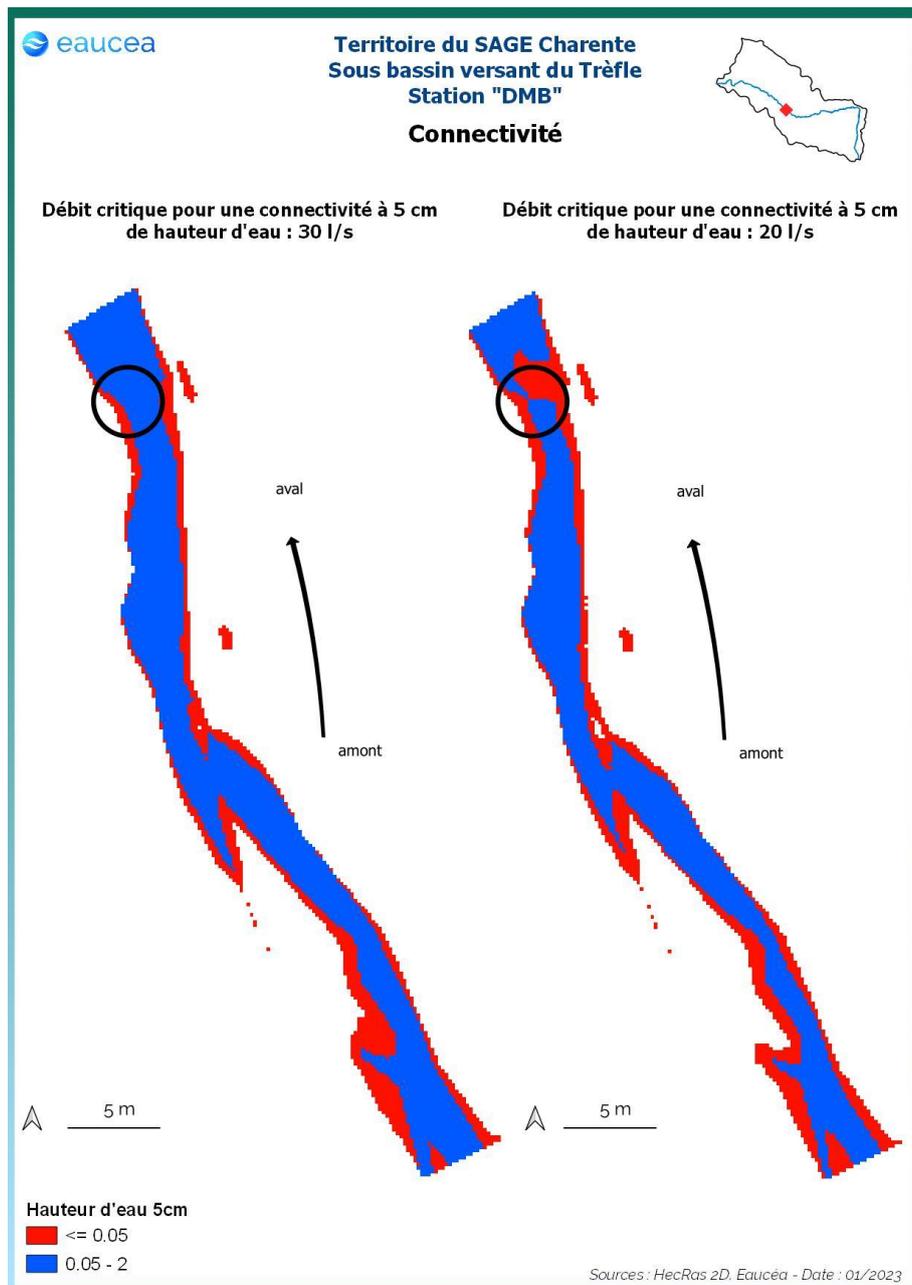


Figure 29: Connectivité de la station débit biologique pour un seuil de 5 cm de hauteur d'eau

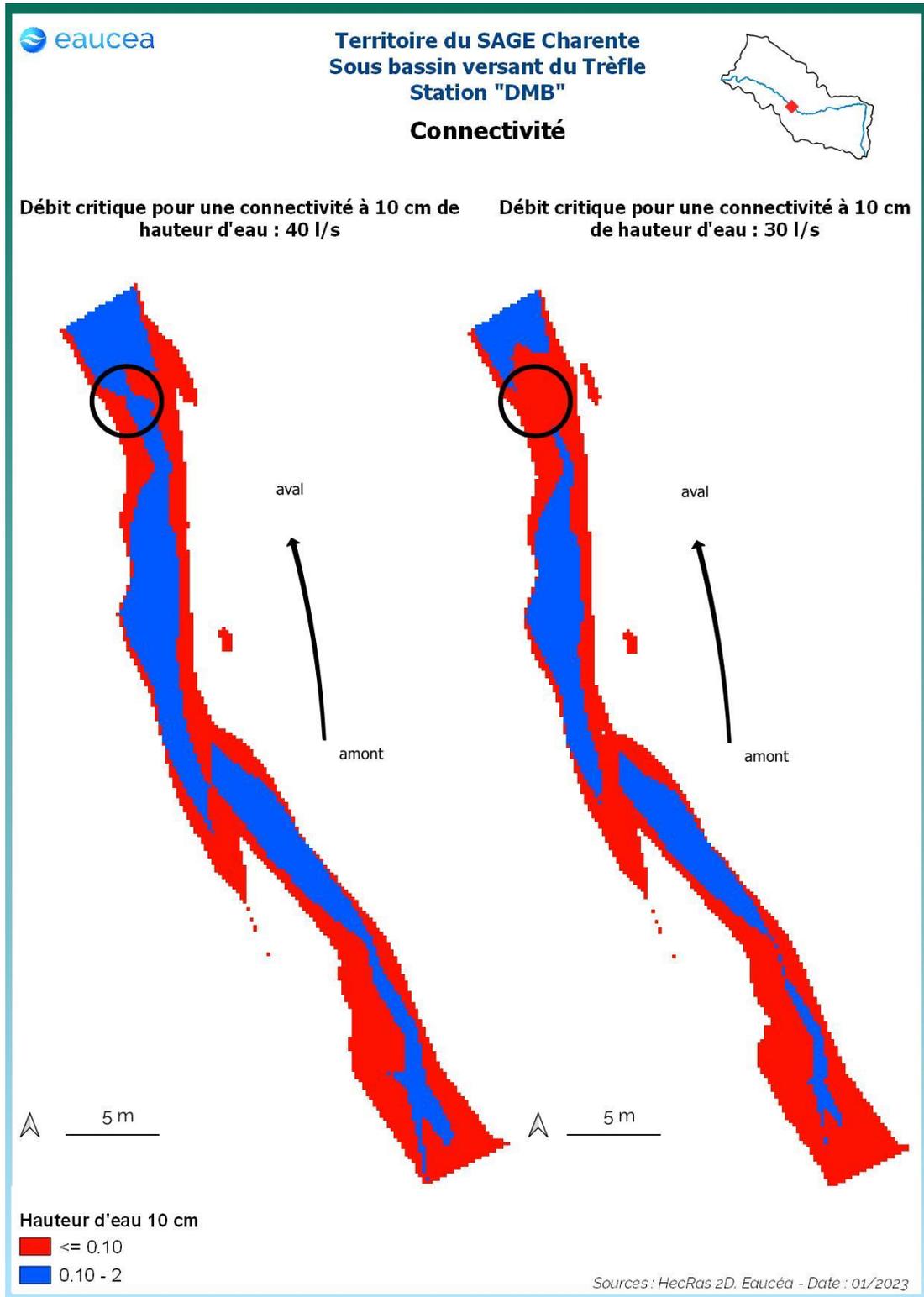


Figure 30: Connectivité de la station sur le Trèfle pour un seuil de 10 cm de hauteur d'eau

5.6 Habitats piscicoles (tous débits)

5.6.1 Valeurs d'habitat

Le premier critère est la valeur d'habitat moyenne de la station. Cette valeur serait de 1 pour un potentiel excellent et de 0 pour un potentiel nul.

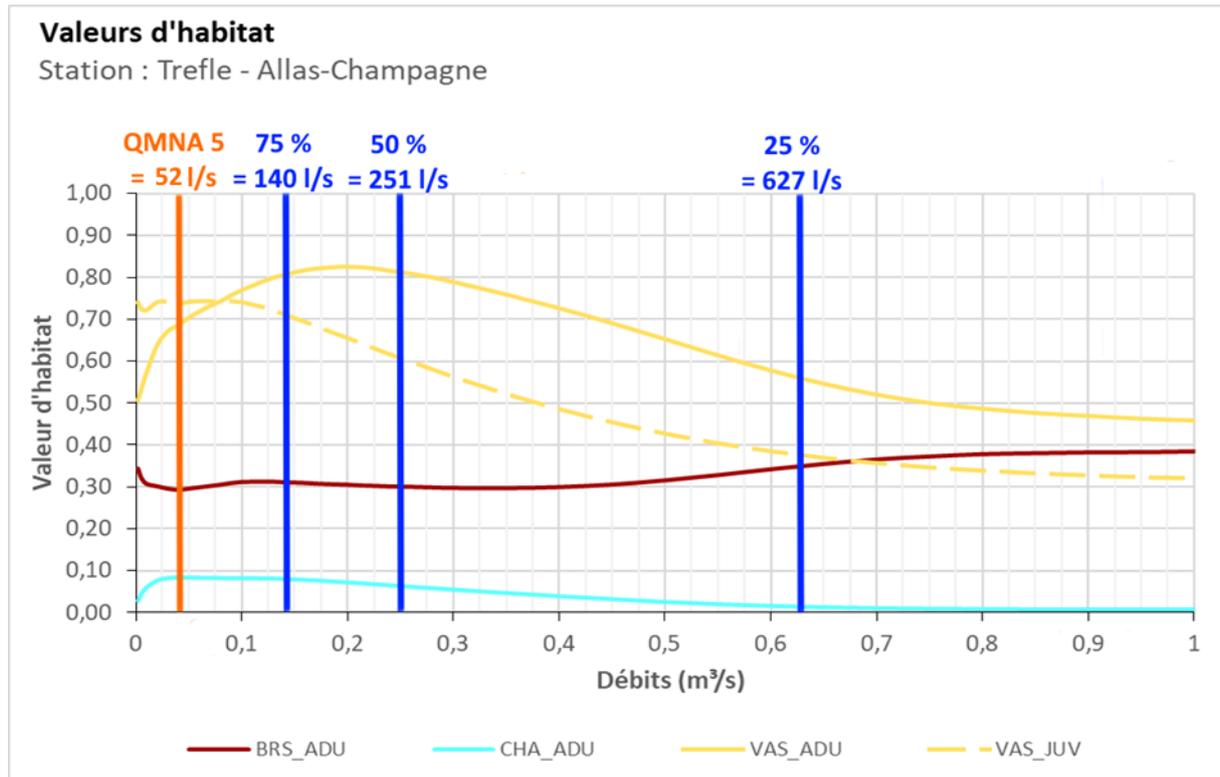


Figure 31: Valeurs d'habitat des différents stades du brochet, du vairon et du chabot de la station débit biologique

En orange : le QMNA5 naturalisé IRSTEA.

En bleu : les valeurs de débit classé mesuré

La station est moyennement favorable pour le brochet à tous les débits. La valeur est de 0,3 à bas débit avant d'observer une descente douce et d'atteindre un plancher de 0,3 pour remonter aux environs de 0,4 jusqu'au débit de débordement.

La station semble favorable au vairon adulte, sa valeur d'habitat est d'environ 0,5 aux bas débits, atteint son maximum de 0,85 aux environs de 200 l/s puis chute avec le débit pour atteindre 0,45 au débordement. Pour le juvénile, la valeur est de 0,75 à bas débit et chute aux environs de 0,35.

La station est peu favorable au chabot dont la valeur d'habitat augmente avec les bas débits pour atteindre un maximum d'environ 0,08 à 20 l/s puis chute pour être presque nulle au débit de débordement. Pour cette espèce le critère le plus pénalisant est la granulométrie avec une valeur d'habitat de 0,08. Il convient de modérer ce constat par le fait que le chabot se contente de petite placette de l'ordre du mètre carré dans les abris hydrauliques. Le potentiel est donc faible mais pas nul y compris en les basses eaux.

D'autre part, le graphe ci-dessous des valeurs habitats fondés sur les seuls critères hydrauliques, montre que l'augmentation des profondeurs avec le débit pénalise le gain dû à l'augmentation des vitesses.

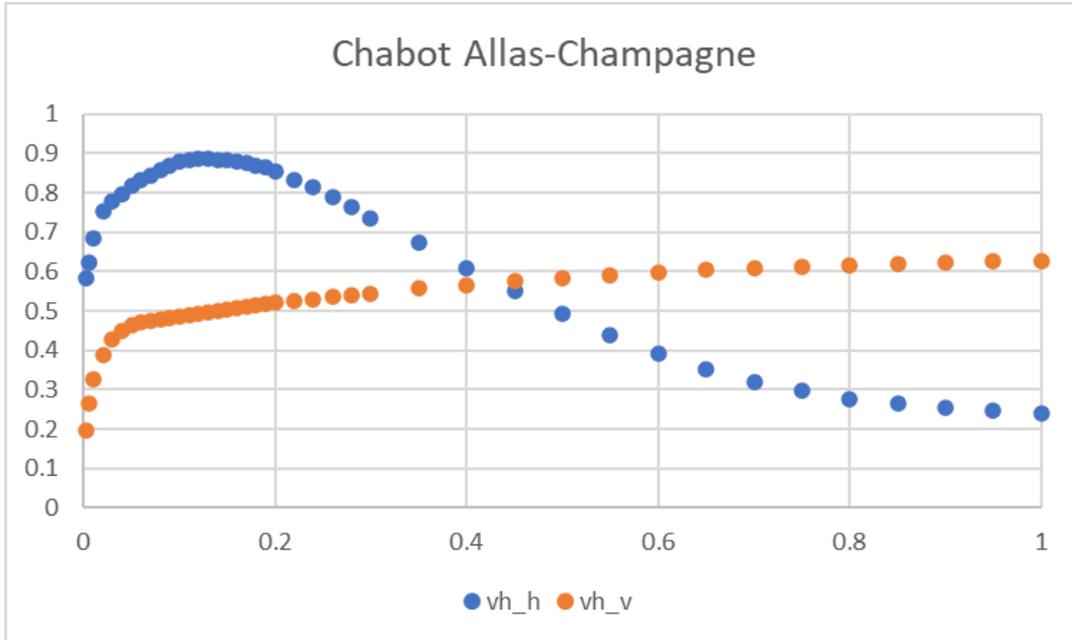


Figure 32 : Evolution des composantes "vitesse" (en orange) et "hauteur d'eau" (en bleu) de la valeur d'habitat pour le chabot sur toute la gamme de débit

5.6.2 SPU en m² et en variations relatives

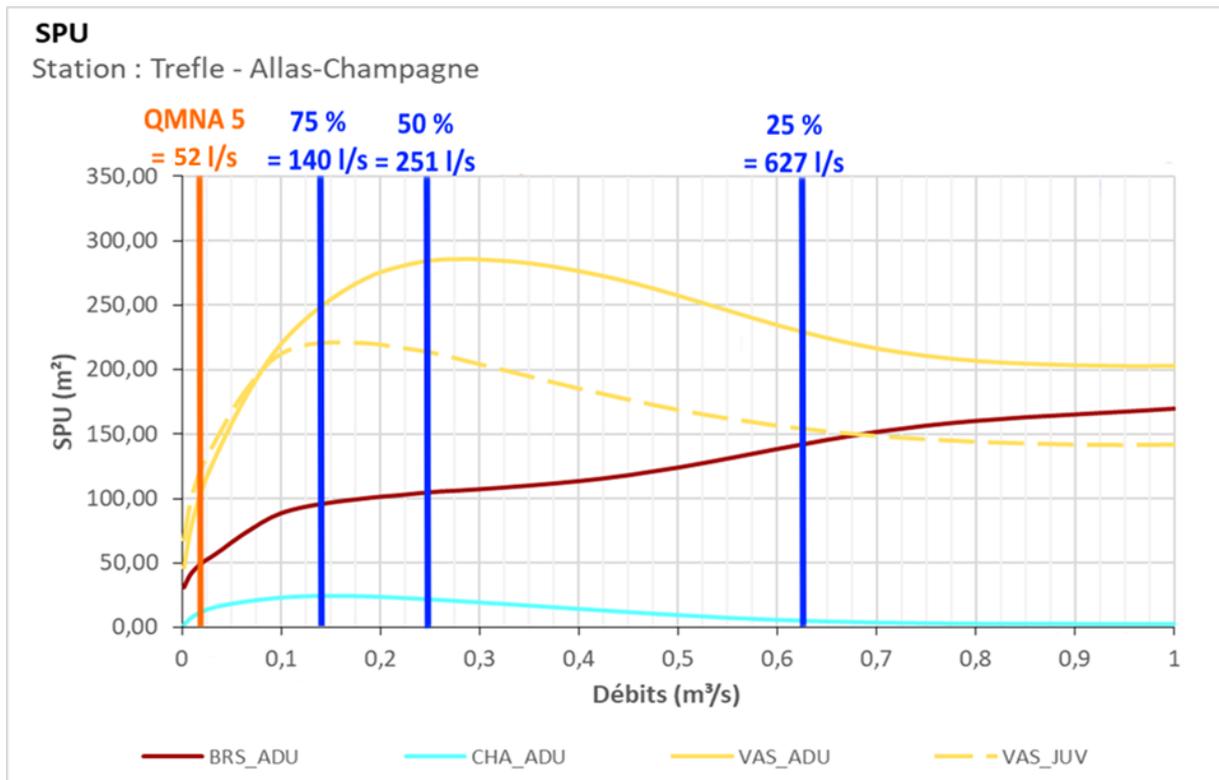


Figure 33: Surfaces pondérées utiles des différents stades du brochet, du vairon et du chabot de la station débit biologique

En orange : le QMNA5 naturalisé IRSTEA.

En bleu : les valeurs de débit classé mesuré

Les surfaces pondérées utiles suivent globalement les mêmes évolutions en fonction du débit mais avec le bénéfice de l'augmentation de la surface mouillée.

Cette surface d'habitat peut être aussi explorée par rapport à la SPU maximale observée sur la gamme de débit testée.

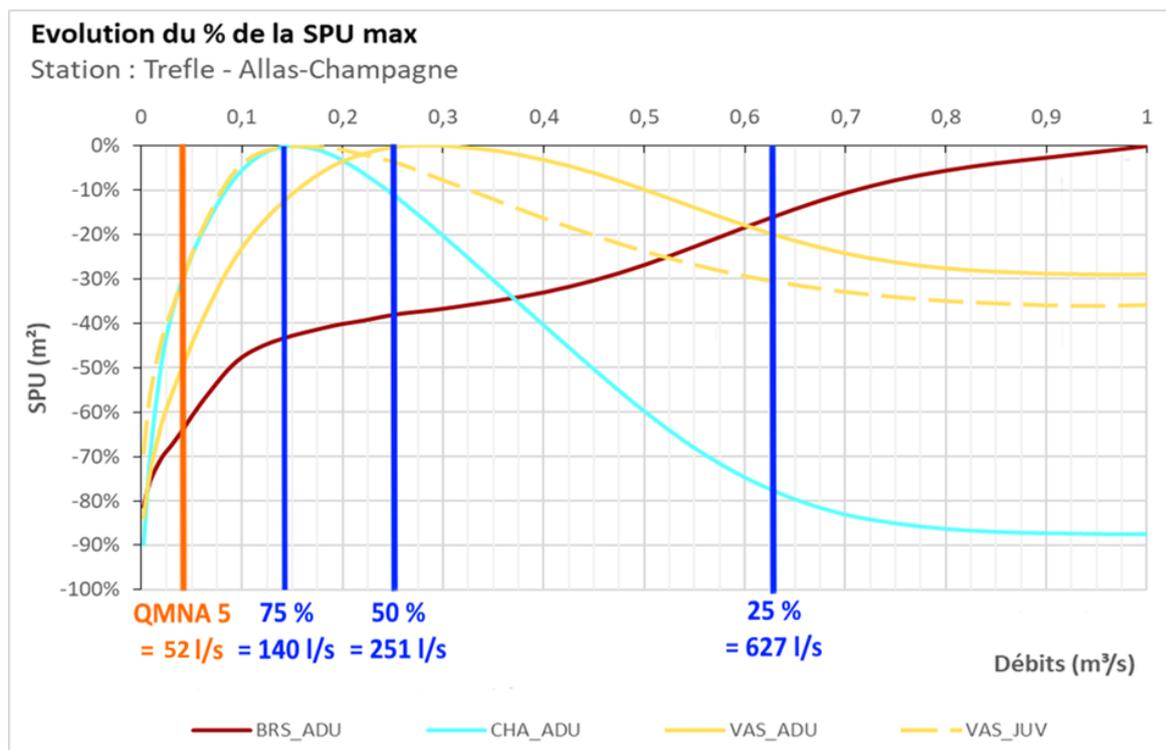


Figure 34: % de la surfaces pondérées utiles maximales des différents stades du brochet, du vairon et du chabot de la station débit biologique

En orange : le QMNA5 naturalisé IRSTEA.

En bleu : les valeurs de débit classé mesuré

5.6.3 Interprétation

Le meilleur compromis entre toutes les espèces est observé entre 60 l/s et 300 l/s. Dans ce domaine, la majorité des espèces présentent un potentiel supérieur ou égal à 80% du maximum de leur SPU.

Les cibles biologiques à fortes valeurs patrimoniales (directrices) sont le brochet pour la période de hautes-eaux et le chabot en période de basses-eaux.

Pour le brochet, espèce la plus exigeante, la courbe présente deux plateaux correspondant à des gains de zone profonde. En hiver, le seuil de 80% de la SPU max est atteint à partir de 580 l/s, valeur correspondant à un débit de hautes-eaux. Il pourra être conservé comme plancher de débit biologique entre novembre et juillet, période couvrant la reproduction des brochets. Néanmoins, le débit de débordement sur la station soit 1000 l/s, nécessaire à la ponte sur des terres inondées, pendant les trois mois minimums à la reproduction n'est probablement pas réalisable sauf année exceptionnelle car dépassé seulement 10 % du temps. La station est donc à considérer comme un milieu de vie pour les adultes qui iront pondre dans des secteurs proches de la station au potentiel de débordement supérieur. **Le débit de référence hiver sera donc fixé à 580 l/s.**

En les basses eaux, le milieu est moins favorable aux grandes espèces. Le chabot, espèce patrimoniale du secteur, le seuil de 80% de surface utile maximale correspond à 90 l/s. En dessous de 30 l/s, la situation se dégrade plus rapidement pour des débits inférieurs (fort gradient de baisse). **Le débit de référence les basses eaux sera donc fixé à 60 l/s.**

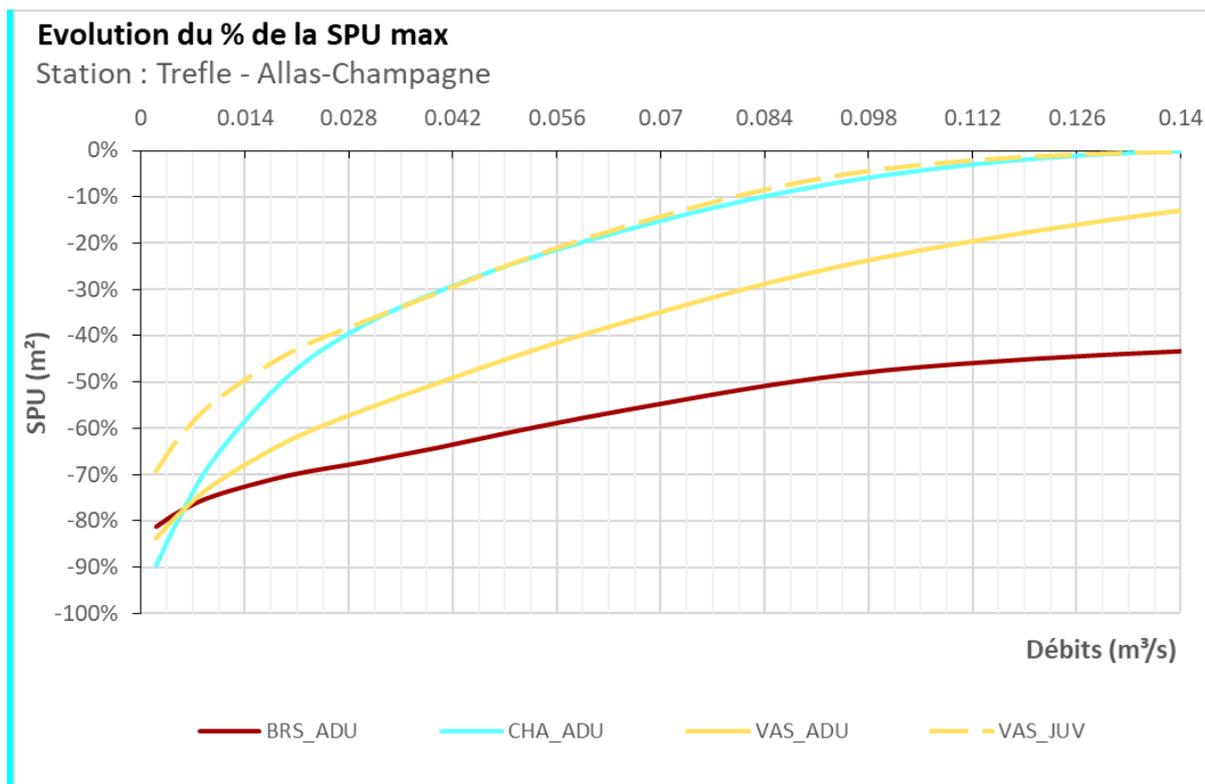


Figure 35 Zoom sur les basses eaux du % des surfaces pondérées utiles maximales des différents stades du brochet, du vairon et du chabot de la station débit biologique

5.7 Conclusion concernant les débits biologiques de la station d'Allas-Champagne (matrice)

Le rapprochement de l'ensemble des critères répartis en fonction de la période hydrologique aboutit aux préconisations suivantes pour qualifier le débit biologique.

En les basses eaux estival, d'août à octobre, le chabot est l'espèce la plus sensible et pilote le choix de la valeur basse du débit biologique fixée à 60 l/s.

En tolérant une perte de 20% de surface pour cette espèce, qui peut tolérer temporairement des habitats réduits en termes de surface, vis-à-vis de cette valeur de référence, le débit plancher s'établit à 33 l/s, valeur atteinte ou dépassée 83 % du temps. Pour cette valeur, la connectivité est garantie pour les petites espèces et la surface mouillée est juste supérieure à 44 % du maximum.

Les habitats benthiques ne sont pas un paramètre pertinent sur cette station.

La gamme de débits biologiques pour la période de basses-eaux proposée est donc de 33 l/s à 60 l/s.

Matrice Allas-Champagne					Basses-eaux									
Niveau	Critère	Code	Espece	Stade						Qref				
Principal	Hydrologique	Débit en m3/s			0.02	0.03	0.033	0.04	0.05	0.06	0.08	0.10	0.15	0.20
		% des débits classés			84%	83%	83%	82%	81%	81%	79%	77%	63%	57%
Principal	Habitat	BRS_ADU	Brochets	Adulte	-30%	-23%	-21%	-16%	-7%	72	14%	24%	35%	41%
Principal	Habitat	CHA_ADU	Chabot	Adulte	-36%	-23%	-20%	-14%	-6%	20	10%	18%	24%	20%
Principal	Habitat	VAS_ADU	Vairon	Adulte	-38%	-27%	-24%	-18%	-8%	173	15%	27%	47%	59%
Principal	Habitat	VAS_JUV	Vairon	Juvenile	-30%	-22%	-20%	-14%	-7%	179	11%	18%	23%	22%
Principal	Surface mouillée	% du maximum			38%	43%	44%	47%	51%	55%	61%	65%	71%	76%
Complémentaire	Circulation au niveau des radiers	Gros poissons			non	non	non	oui						
		Petits poissons			non	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui
Synthèse indicateurs principaux														
Habitat	SPU													
Habitat	Surface mouillée													
Habitat	Connectivité	Longitudinale												
Résultat														

Figure 36 : Matrice période de basses-eaux

En période de hautes-eaux, le débit biologique doit permettre l'accès aux zones inondées et la présence de brochets reproducteurs sur le secteur. **Le débit de référence hiver est fixé à 580 l/s.** Pour le brochet un écart de 10% vis-à-vis de la SPU de référence peut être toléré ce qui conduirait à retenir une valeur basse de la plage de débit à 480 l/s, valeur dépassée seulement 33 % du temps. Si l'on tolère un écart de 20 % vis-à-vis de la SPU de référence, la valeur basse de débit serait de 325 l/s réalisé 44 % du temps. Cette valeur est proche de la borne haute du meilleur compromis piscicole (de 60 l/s à 300 l/s) et permettrait de ne pas trop porter préjudice au chabot en période hivernale. En revanche le reste de l'année (hors les basses eaux), le premier plateau décrivant la SPU du brochet correspond à un objectif raisonnable pour la colonisation durable du milieu eu égard au régime des débits. La valeur associée est d'environ 200 l/s.

Concernant le débordement, le débit de 1000 l/s n'est dépassé que 10 % du temps. Il se situe bien au-delà de la gamme minimale proposé et, est rare voire inexistant, sur une année particulièrement sèche. La station d'Allas-Champagne ne peut pas être un lieu de ponte.

La gamme de débits proposés pour la période de transition et de hautes-eaux est donc de 200 l/s à 580 l/s.

Matrice		Allas-Champagne			Hautes-eaux et transition								
Niveau	Critère	Code	Espece	Stade							Qref		
	Hydrologique	Débit en m3/s			0.20	0.30	0.325	0.40	0.48	0.50	0.58	0.80	1.00
Principal		% des débits classés			57%	46%	44%	38%	33%	32%	27%	17%	10%
Principal	Habitat	BRS_ADU	Brochets	Adulte	-25%	-21%	-20%	-16%	-10%	-8%	136	18%	25%
Principal	Habitat	CHA_ADU	Chabot	Adulte	245%	184%	166%	113%	57%	44%	7	-51%	-55%
Principal	Habitat	VAS_ADU	Vairon	Adulte	15%	19%	19%	16%	9%	8%	239	-14%	-15%
Principal	Habitat	VAS_JUV	Vairon	Juvenile	38%	29%	26%	17%	8%	6%	158	-9%	-11%
Principal	Surface mouillée	% du maximum			76%	82%	83%	86%	89%	89%	91%	96%	100%
Synthèse indicateurs principaux													
Habitat	SPU												
Habitat	Surface mouillée												
Résultat													

Figure 37 : Matrice des périodes de transition et de hautes-eaux

6 ETUDE DES DEBITS BIOLOGIQUES DU TREFLE – STATION ASSEC DU PONT D'USSEAU

Bien que sujette à des assecs récurrents cette station présente une valeur biologique notamment en période d'écoulement mais possiblement aussi dans cette phase temporaire où les écoulements disparaissent de la surface et donc les poissons mais avec une adaptation du reste du compartiment biologique (invertébrés, végétation, etc..). Cette spécificité justifie donc une réflexion autour de la valeur biologique. C'est le seul cas de figure étudié ainsi dans l'ensemble du programme d'étude des débits biologiques du bassin de la Charente.

6.1 Paramètres physiques de la station et modélisation hydraulique

Cette modélisation a pour objectif de décrire les paramètres physiques des écoulements, c'est-à-dire les hauteurs d'eau et les vitesses s'établissant au sein de la station débit biologique pour différentes conditions de débits.

6.1.1 Description de la station

Localisation et position des transects de mesure

La station de Cayenne explorée est située sur le Trèfle. Elle est positionnée entre les ponts de la D142 et de la route du Pont d'Usseau sur le cours d'eau. Elle s'étend sur environ 90 m de long (70 m entre les 2 ponts).

20 transects de mesure ont été positionnés sur le linéaire de la station, ils permettent de rendre compte du fonctionnement hydraulique du Trèfle à ce niveau (mouilles, plats, radiers ...).

Conditions de mesure

Les mesures ont été réalisées lors d'une venue sur site le 20/07/2022.

La venue sur site a permis la prise des mesures suivantes le long de la station :

- Profils topographies et lignes d'eau associées des transects repérés ci-avant. Acquis avec un tachéomètre de type station totale ainsi qu'à l'aide d'un profileur de courant à effet doppler (ADCP).
- Débit transitant dans la station, mesuré avec un courantomètre électromagnétique et un profileur de courant à effet Doppler.

Le débit le jour des mesures a été mesuré au droit des profils T14-T15 en un point où la largeur d'écoulement était resserrée. La valeur mesurée était alors de 21 l/s.



Figure 38 : Position des transects de mesure de la station Assec

Profil en long, faciès d'écoulement et type de berges

Les faciès d'écoulement et la connectivité des berges le long de la station ont été également relevés pour les conditions d'écoulement le jour des mesures.

On précise en préambule qu'au vu du débit sur la station le jour des mesures, les écoulements étaient très calmes. Le cours d'eau était couvert en plusieurs endroits de végétation aquatique plus ou moins dense, ayant un effet non négligeable sur les écoulements. De plus, la nature du substrat, de type limoneux voire argileux laisse penser à une forte variabilité de la topographie du lit au grès des épisodes de fortes eaux, la situation relevée le jour des mesures ne rend donc peut-être compte que d'un état temporaire.

Enfin il est utile d'indiquer que l'aval de la station a été positionné au droit du pont d'Usseau qui présente 4 arches en largeur au radier bétonné, séparées par 3 piles en pierres maçonnées situées dans le cours d'eau. Ces éléments peuvent constituer selon les conditions hydrologiques, la section de contrôle des niveaux sur la station. Leur représentation était donc indispensable à la modélisation hydraulique.

- **Faciès d'écoulement**

Le linéaire parcouru présente un profil calme et peu pentu. Quelques zones dynamiques sont toutefois observées en des points de rétrécissement du lit notamment.

L'amont de la station a été positionné au niveau du pont de la D142. Le lit y est assez profond, surtout du côté droit, et forme une mouille. Celle-ci s'étend assez longuement vers l'amont, elle se termine au niveau du T01 vers l'aval, pour laisser place à une zone de plat courant jusqu'au T04 puis de plat courant jusqu'au T08. Les écoulements sont globalement situés sur la droite du lit. A gauche, de petites annexes se sont formées, alimentées par l'amont uniquement. Localement, quelques zones d'accélération relatives sont observées au droit de ruptures de pentes légères.

En aval, entre T09 et T13, le cours d'eau s'élargit de nouveau et s'approfondit pour former une mouille assez conséquente. Une petite annexe rétrograde est observée en rive gauche encore une fois, rejoignant presque une des annexes évoquées ci-avant.

Entre T13 et T16, la section d'écoulement le jour des mesures se rétrécissait brutalement jusqu'à près d'1/4 de la largeur en amont. Les écoulements forment une veine rapide présentant un effet de radier.

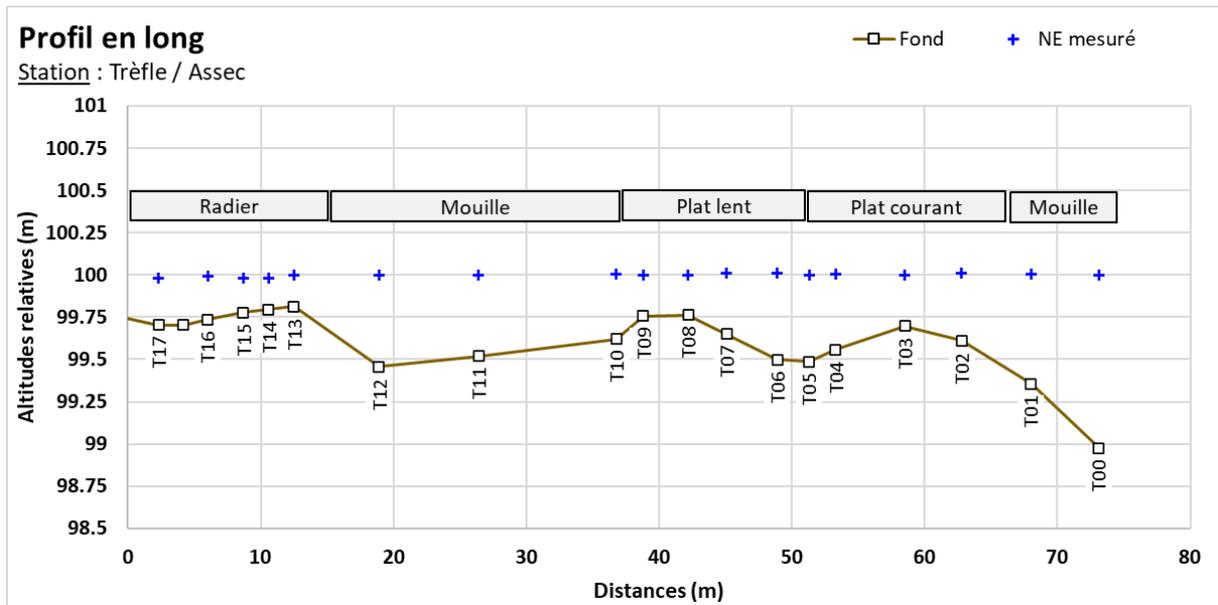
S'ensuit un nouvel élargissement jusqu'au pont dont le radier constitue un contrôle hydraulique de la zone juste en amont. Le jour des mesures, seules les arches centrales présentaient un écoulement. Les deux arches latérales partiellement envasées sur le fond présentaient une cote de radier supérieure à la cote d'écoulement du Trèfle à ce niveau. Dans les arches centrales, un léger effet de mise en vitesse était constaté, rapidement piloté en aval par une grande mouille de dissipation se prolongeant très en aval de la station.

- **Type de berges**

Les berges de part et d'autre du cours d'eau sont relativement uniformes, présentant une élévation maximale constante sur chaque rive. La berge droite montre un profil très abrupt, présentant plusieurs arbres directement en haut de berge et dont les racines affleurent parfois. En débit faible comme le jour des mesures, les écoulements se font proche de cette berge sur toute la partie amont de la station. Au droit du rétrécissement, une avancée de substrat limoneux exondée et plate prolonge la berge jusqu'à plus du centre du lit. En rive gauche, la berge est légèrement moins abrupte, présentant un profil plus doux formant parfois une petite terrasse avant le haut de berge. Les arbres sont plus éloignés du cours d'eau, mais la berge elle-même est colonisée par des végétaux arbustifs ou herbacés. Aux conditions de débit très faible, des zones s'exondent dans le lit côté gauche et laissent apparaître les petites annexes hydrauliques.

- **Profil en long**

Sur la base des profils en travers relevés, le profil en long du fond et de la ligne d'eau relevée est représenté sur la figure suivante en positionnant les faciès d'écoulement relevés :



6.1.2 Modélisation hydraulique de la station

Principes du modèle

Une modélisation hydraulique 2D a été mise en œuvre, à l'aide du logiciel HEC-RAS 2D, permettant de calculer les paramètres physiques descriptifs de la station : Hauteurs d'eau et vitesses d'écoulement à différentes conditions de débits. La modélisation 2D permet d'obtenir une répartition dans les 2 dimensions d'espace horizontales de ces paramètres. L'analyse hydraulique qui en découle est plus fine qu'avec un modèle unidimensionnel.

Les données bathymétriques et topographiques acquises sur le terrain ont été exploitées afin d'élaborer une représentation topographique continue de la station (MNT). Sur cette base, un maillage de calcul a été élaboré, composé de mailles carrées de 10 cm x 10 cm au maximum et raffiné au droit de zones clés. On représente en suivant le maillage de calcul superposé au MNT construit pour la station.

Bien que la topographie de la station ait été levée jusqu'en aval du pont routier, la modélisation elle n'est mise en œuvre que jusqu'à l'axe du pont. En effet, la mouille de dissipation située en aval du pont et se prolongeant très en aval, ne peut être représentée de manière fiable dans la modélisation, en l'absence de contrôles hydrauliques relevés en aval. De plus, les arches du pont ne constituent une rupture évidente entre les milieux en amont et en aval. On s'attache donc à ne modéliser que la partie amont de la station (linéaire d'environ 70 m) qui présente les caractéristiques requises pour ce type d'analyse.

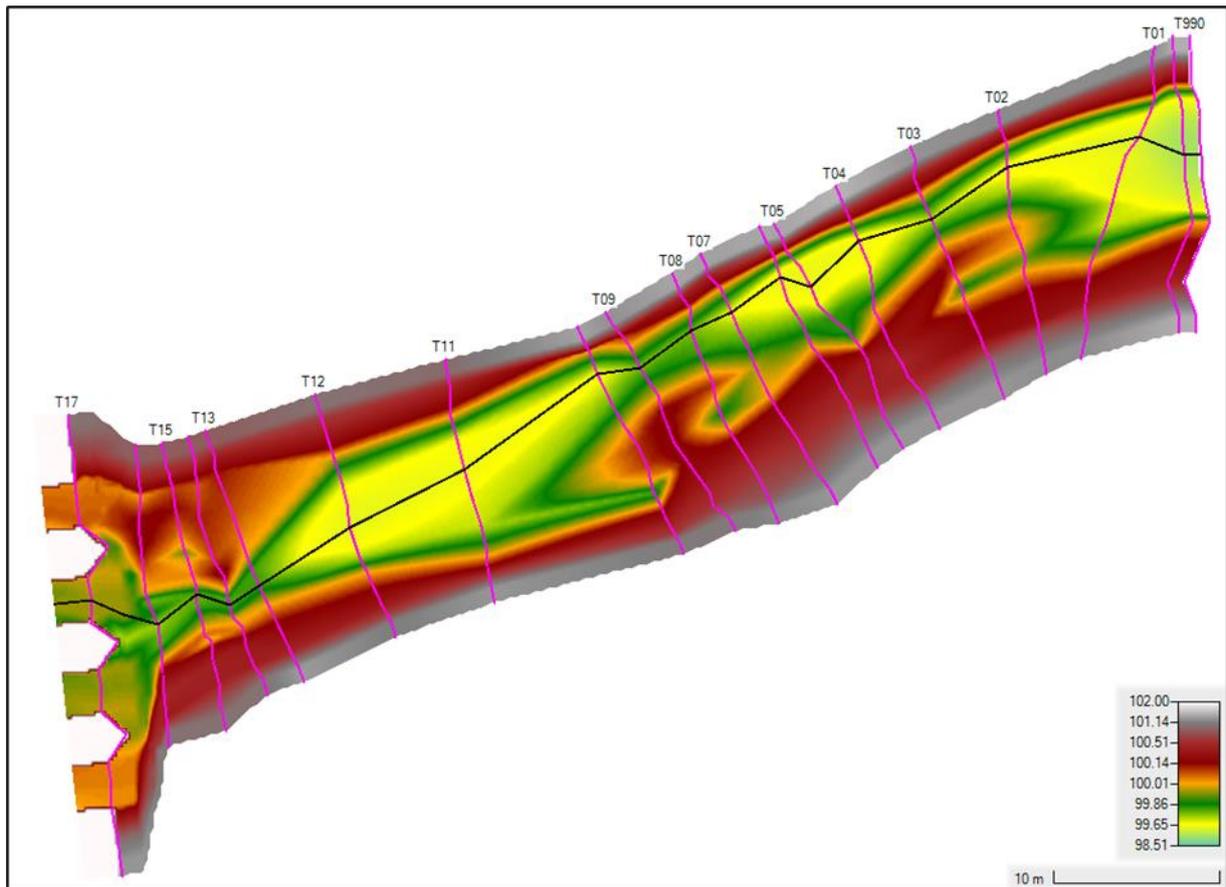


Figure 39 : Maillage de calcul et topographie de la station Assec - Trèfle

Calage du modèle

Le calage du modèle se base sur les relevés de niveaux de hautes d'eau faits lors de la venue sur site. Pour rappel, le débit mesuré était de 21 l/s.

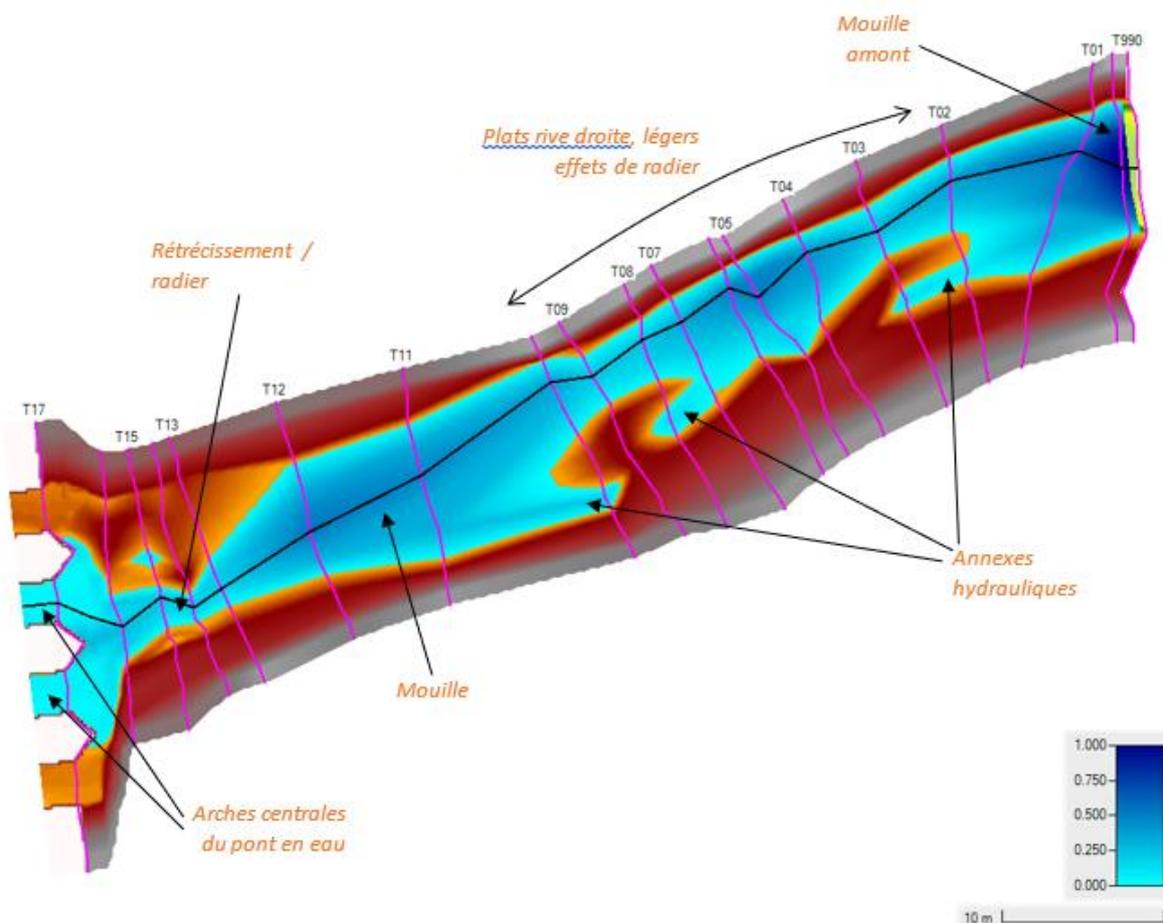


Figure 40 : Faciès d'écoulements du modèle (fidèles aux observations de terrain) et profondeur (en mètre)

Le paramètre de calage est le coefficient de Manning-Strickler, rendant compte des frottements de fond. Son ajustement par zones spatiales dans le modèle permet de caler le modèle avec les mesures de niveau d'eau.

On présente en suivant les résultats de calage sur le profil en long de la station.

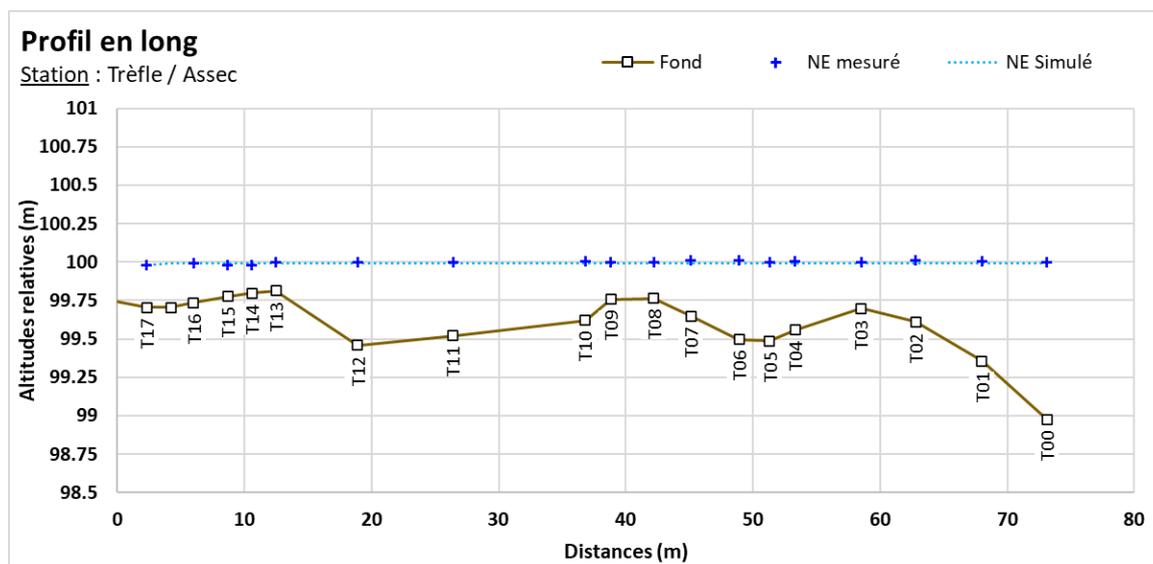


Figure 41 : Profil en long de la station et comparaison des niveaux d'eaux simulé et mesuré

Le calage de la ligne d'eau apparait satisfaisant, permettant de reproduire les niveaux observés en chaque transect et la pente de ligne d'eau générale. L'effet du radier aval présentant un profil légèrement longitudinal apparait légèrement surestimé par le modèle avec une différence n'excédant toutefois pas les 2 cm.

La représentation des faciès et veines d'écoulement apparait également cohérente, de même que l'emprise globale mouillée observée le jour des mesures sur site.

Simulations réalisées

Une fois le modèle calé, il peut être exploité pour différentes conditions de débits incidents en amont de la station et lignes d'eau aval.

Des simulations ont été mises en œuvre pour plusieurs débits en régime permanent, sur une gamme allant de 1.5 m³/s à 1 l/s. Cette gamme permet ainsi de modéliser des débits d'les basses eaux à plus que le module du Trèfle à cette station.

6.1.3 Exploitation des résultats et présentation cartographique

Les résultats en termes de hauteurs d'eau et vitesses d'écoulement sont obtenus de manière spatialisée sur l'emprise de la station modélisée pour chacun des débits simulés. Les résultats sont présentés sous forme de courbe, de tableaux et de cartes. Pour les cartes, conformément aux recommandations du comité scientifique, les valeurs de débit représentées sont le QMNA5 minimum, QMNA5 moyen, 50 % du module, module et débit de débordement soit 5 cartographies.

Débit représenté	Equivalent sur la station (en l/s)
QMNA5 minimum (borne basse modélisation Irstea)	25
QMNA5 moyen (Modélisation Irstea)	163
50% du module (Irstea)	1151
Module (Irstea)	2301
Débit de débordement (Eaucea)	6500

Ils sont croisés avec les données de substrat relevées, et les courbes de préférence associées à chaque espèces et stades cibles sur la station débit biologique.

A noté que le débit de cette station est souvent nul en les basses eaux (=0) car cette station, est sensible aux assecs environ 10% du temps. Rappelons que selon nos estimations le module serait de 1460 l/s soit plus faible que celui évalué par Irstea. Il y a donc une forte différence avec les résultats des simulations de l'Irstea qui s'explique par le régime de pertes hydrogéologiques.

6.1.4 Calendrier des assecs selon la piézométrie

Au Pont d'Usseau, les écoulements ou leur absence sont étroitement liés aux niveaux d'eau souterrains. Il est donc parfois possible d'effectuer un rapprochement entre le niveau d'un piézomètre du secteur et l'intensité des assecs observés qui a été effectué dans le rapport méthodologique. Les deux piézomètres exploités produisent un résultat similaire.

Des valeurs seuils permettent de faire le lien entre une intensité d’assec et un niveau piézométrique. Les chroniques piézométriques des forages retenus permettent de calculer une chronique d’intensité d’assec sur toute la période 2010-2020. Ce calendrier des assecs est calculé à partir de variations piézométriques mesurées à 10 km de distance. Il est important de garder en tête les incertitudes liées à ces calculs.

Ce calendrier permet de restituer à la fois la dimension périodique des événements et d’autre part leur répartition plus ou moins intense sur une période pluriannuelle. Ainsi, d’après cette simulation sur les 10 années d’observation, aucune n’est exempte de rupture d’écoulement visible.

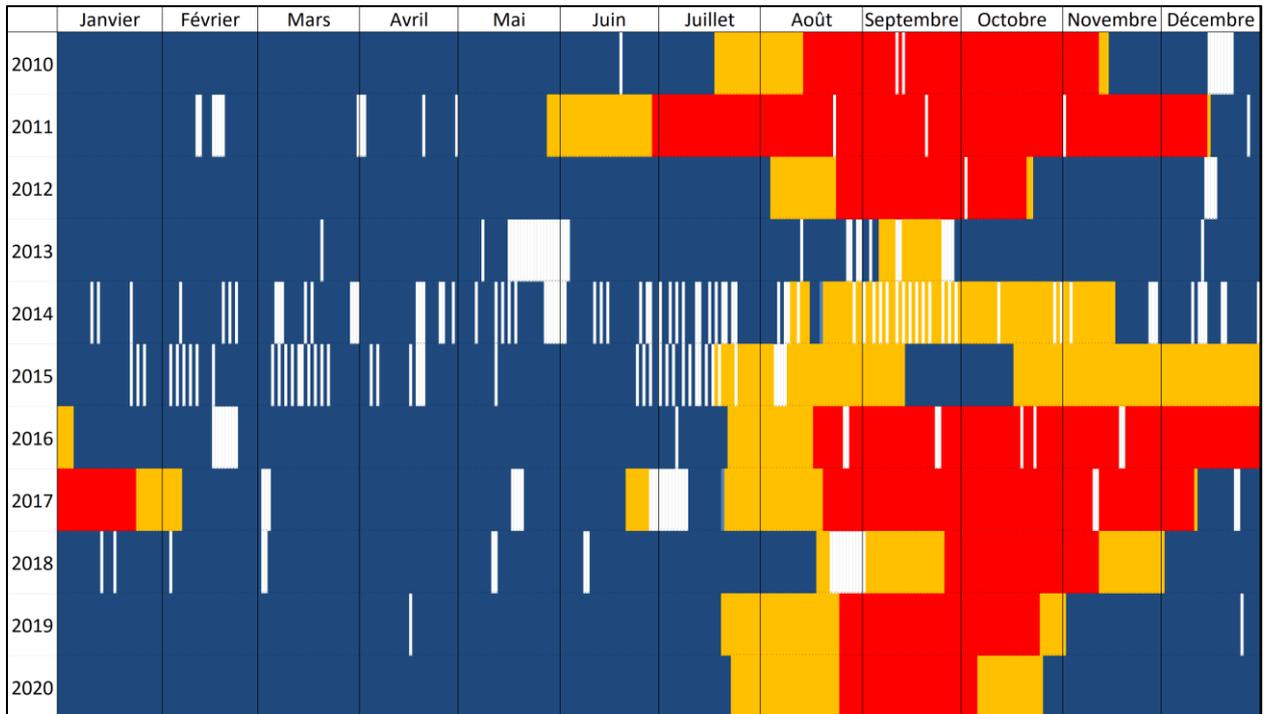


Figure 42 : Calendrier des assecs calculés à partir de la chronique piézométrique du piézomètre 07314X0011/S

Sur la base de ce modèle, il est aussi possible de calculer en moyenne mensuelle sur la période 2010-2020 la répartition des intensités d’assec par mois. Le piézomètre 07314X0011/S a été retenu pour effectuer ce calcul. Il est ainsi mis en évidence que l’intensité des assecs est plus forte à la fin de l’été avec un maximum en septembre/octobre correspondant à la fin de la période de basses-eaux.

Si l’on prend l’exemple du, les assecs représenteraient au total 66 jours sur l’année soit 19 % du temps, valeur un peu supérieure à celle évaluée dans le calcul hydrologique (15%) sur une période un peu plus longue (2008/2022). Les écoulements non-visibles représentent 48 jours pour un total de 114 jours cumulés sans écoulements visibles soit 33 % de l’année.

Les situations d’assec sont principalement centrées sur les mois d’août, septembre et octobre ce qui correspond à la période hydrologique de basses-eaux identifiés sur la base de l’hydrologie. Sur cette période, sont observés 28 jours d’écoulement non-visible (34 %) et 46 jours d’assec (56 %) pour un cumul de 74 jours sans écoulement (90 %).

Les assecs sont donc autant régulier dans le temps que dans leur intensité avec une période de basses-eaux hydrologique présentant des assecs de forte intensité.

Les résultats de cette analyse sont synthétisés dans le tableau ci-dessous.

		Écoulement visible acceptable	Écoulement visible faible	Écoulement non-visible	Assec	Sans écoulement (cumul ENV + AS)
Janvier	jours	30	0	1	2	3
	%	90	0	3	7	10
Février	jours	27	0	1	0	1
	%	98	0	2	0	2
Mars	jours	31	0	0	0	0
	%	100	0	0	0	0
Avril	jours	28	0	0	0	0
	%	100	0	0	0	0
Mai	jours	28	0	0	0	0
	%	99	0	1	0	1
Juin	jours	25	0	3	0	3
	%	88	0	12	0	12
Juillet	jours	19	0	6	3	8
	%	69	0	20	10	30
Août	jours	1	0	15	8	23
	%	2	0	64	34	97
Septembre	jours	2	0	7	19	26
	%	7	0	24	69	93
Octobre	jours	6	0	6	19	25
	%	18	0	21	61	82
Novembre	jours	13	0	6	10	16
	%	45	0	21	34	55
Décembre	jours	20	0	3	5	8
	%	71	0	11	18	29
Année	jours	234	0	48	66	114
	%	67	0	14	19	33

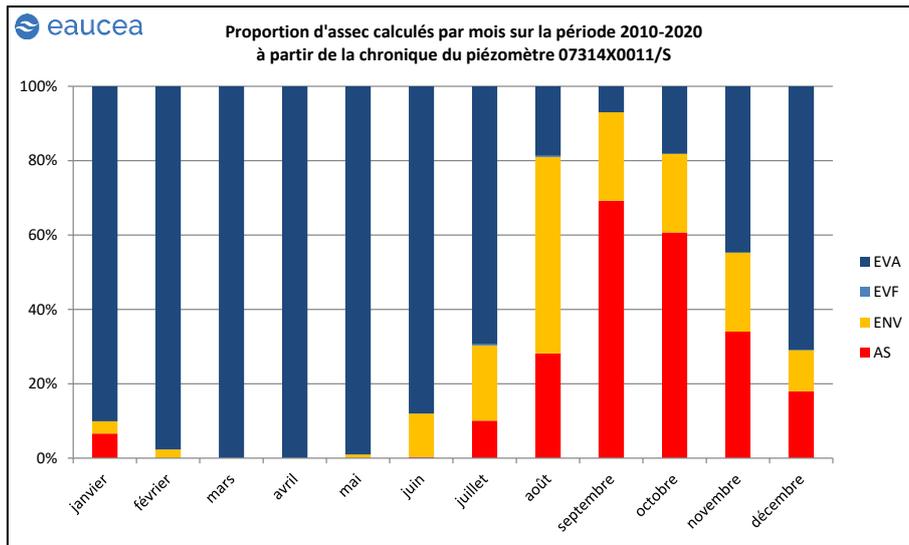


Figure 43 : Répartition mensuelle des intensités d'assec calculées à partir de la chronique piézométrique mesurée au piézomètre 07314X0011/S

6.2 Variables physiques débit-dépendantes (toutes périodes hydrologiques)

6.2.1 Surface mouillée

Le modèle hydraulique permet de calculer l'évolution de la surface mouillée.

Le modèle hydraulique permet de calculer l'évolution de la surface mouillée. La surface mouillée évolue de manière importante jusqu'aux environs de 120 l/s. Son évolution est ensuite assez modérée jusqu'à presque 2000 l/s. Ensuite la station se remplit encore plus doucement et le lit se remplit jusqu'au débordement de la station à 6500 l/s. Au-delà de 6500 l/s le cours d'eau déborde sur cette section. Le calcul est arrêté.

En rupture d'écoulement, la surface résiduelle est d'environ 600 m² mais qui finiront par se dessécher complètement avec l'évaporation et la percolation.

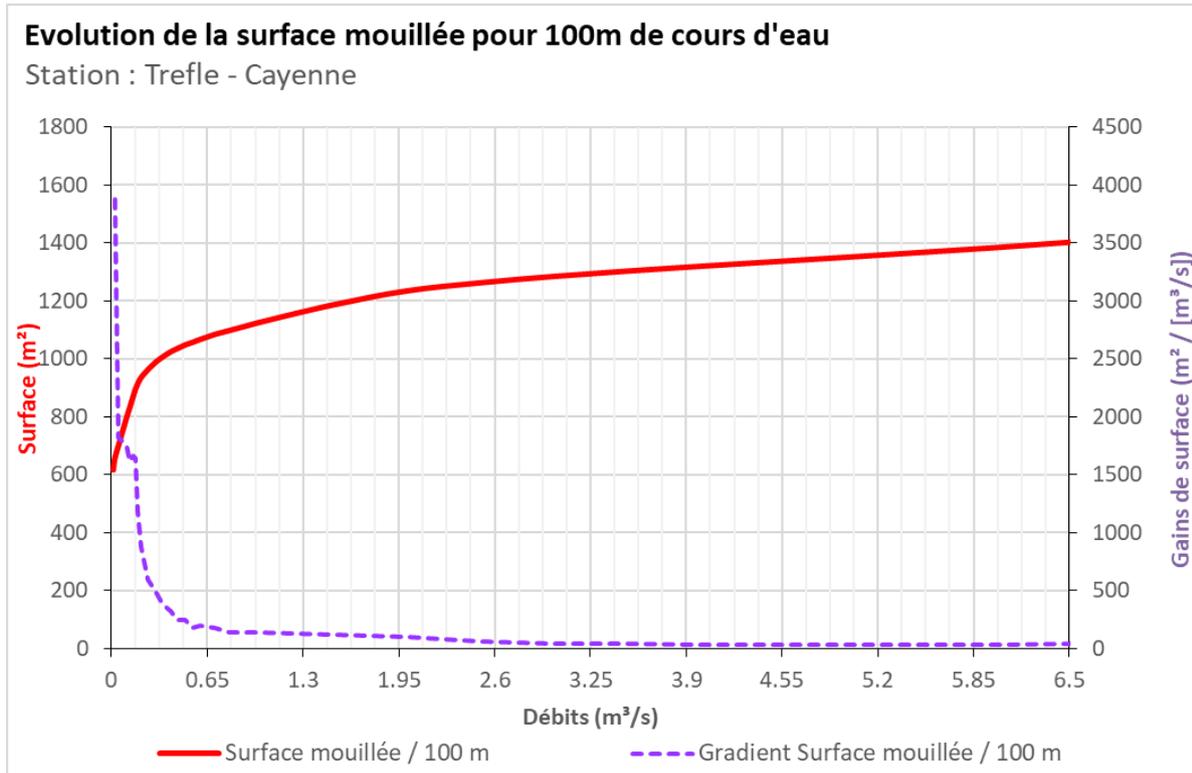


Figure 44 : Evolution de la surface mouillée au Pont d'Usseau

6.2.2 Granulométrie de la station

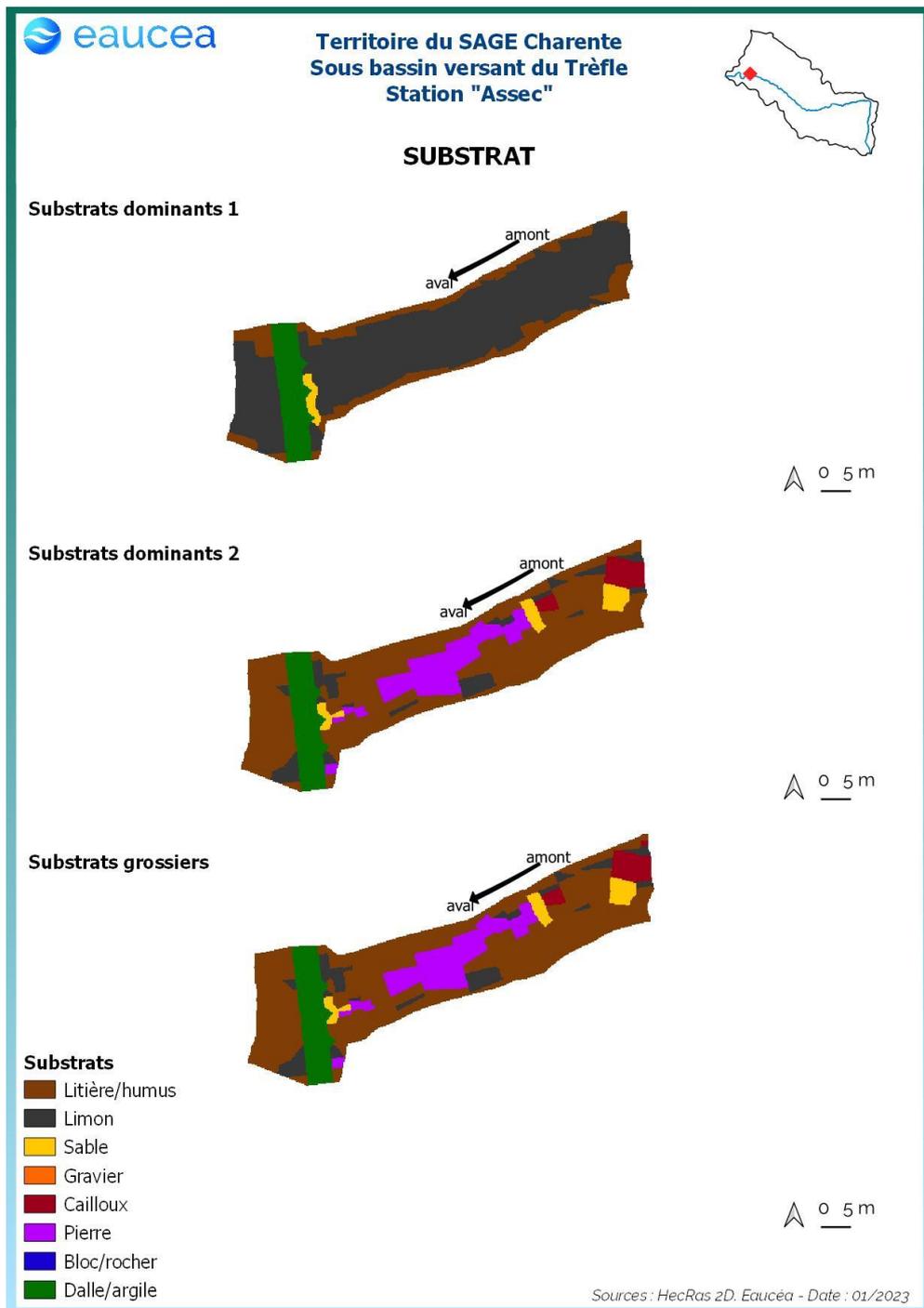


Figure 45 : Carte des substrats de la station du Pont d'Usseau

La station présente des substrats dominés par la litière et le limon. Quelques secteurs de pierres sont cependant à signaler ainsi que des sables et des cailloux dans l'amont de la station. La zone de dalle (en vert) figure le radier du pont.

6.2.3 Profondeur

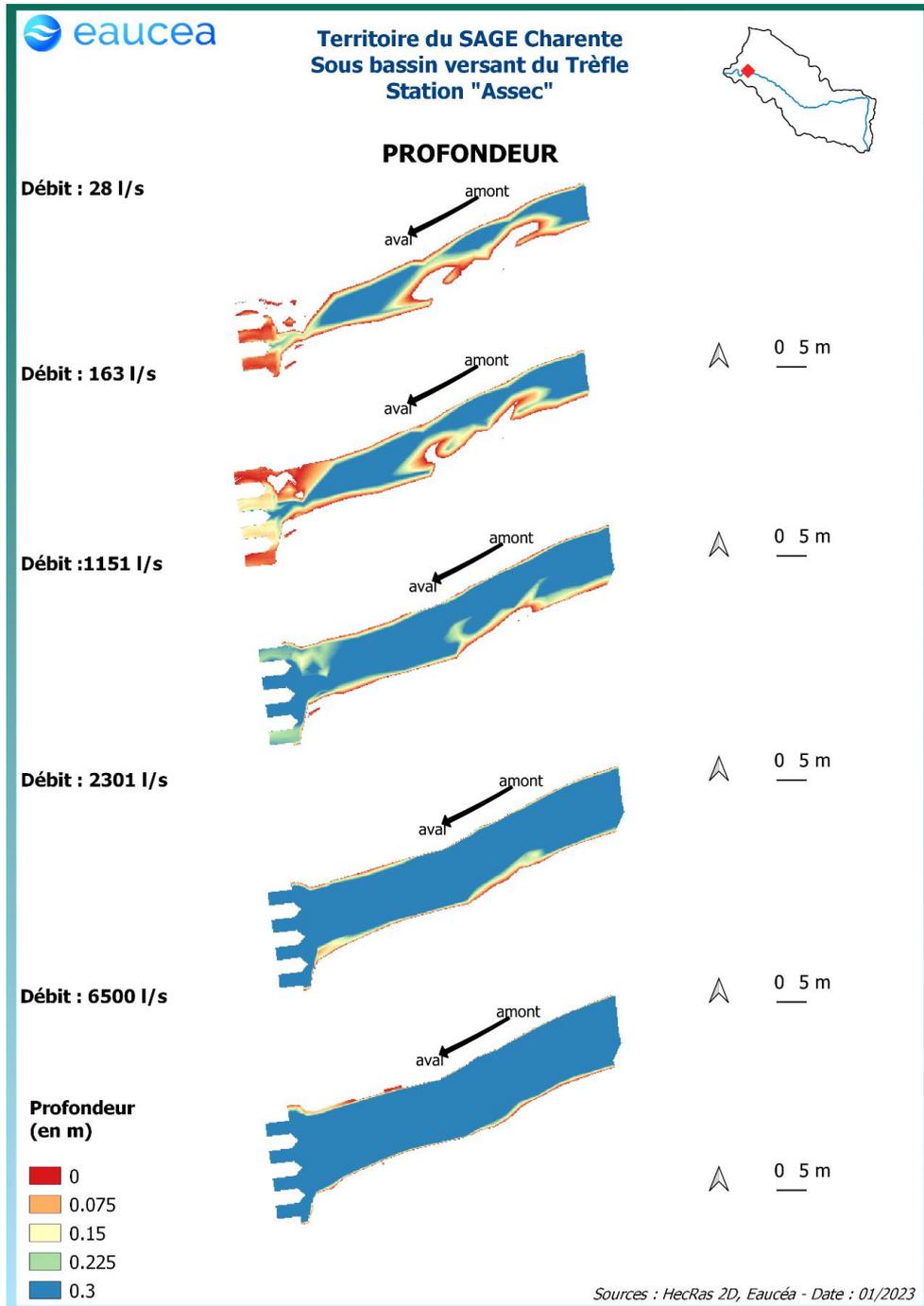


Figure 46: Evolution des profondeurs sur la station du Pont d'Usseau à différents débits

Le Trèfle présente des hauteurs d'eau assez importantes mais aussi des atterrissements nombreux en débit d'les basses eaux. Les secteurs les plus profonds sont constitués par 3 fosses reliées par un chenal un peu moins profond. A la moitié du module, les atterrissements sont immergés et la quasi-totalité de la station présente des hauteurs d'eau d'une trentaine de centimètres minimum.

6.2.4 Vitesse d'écoulement

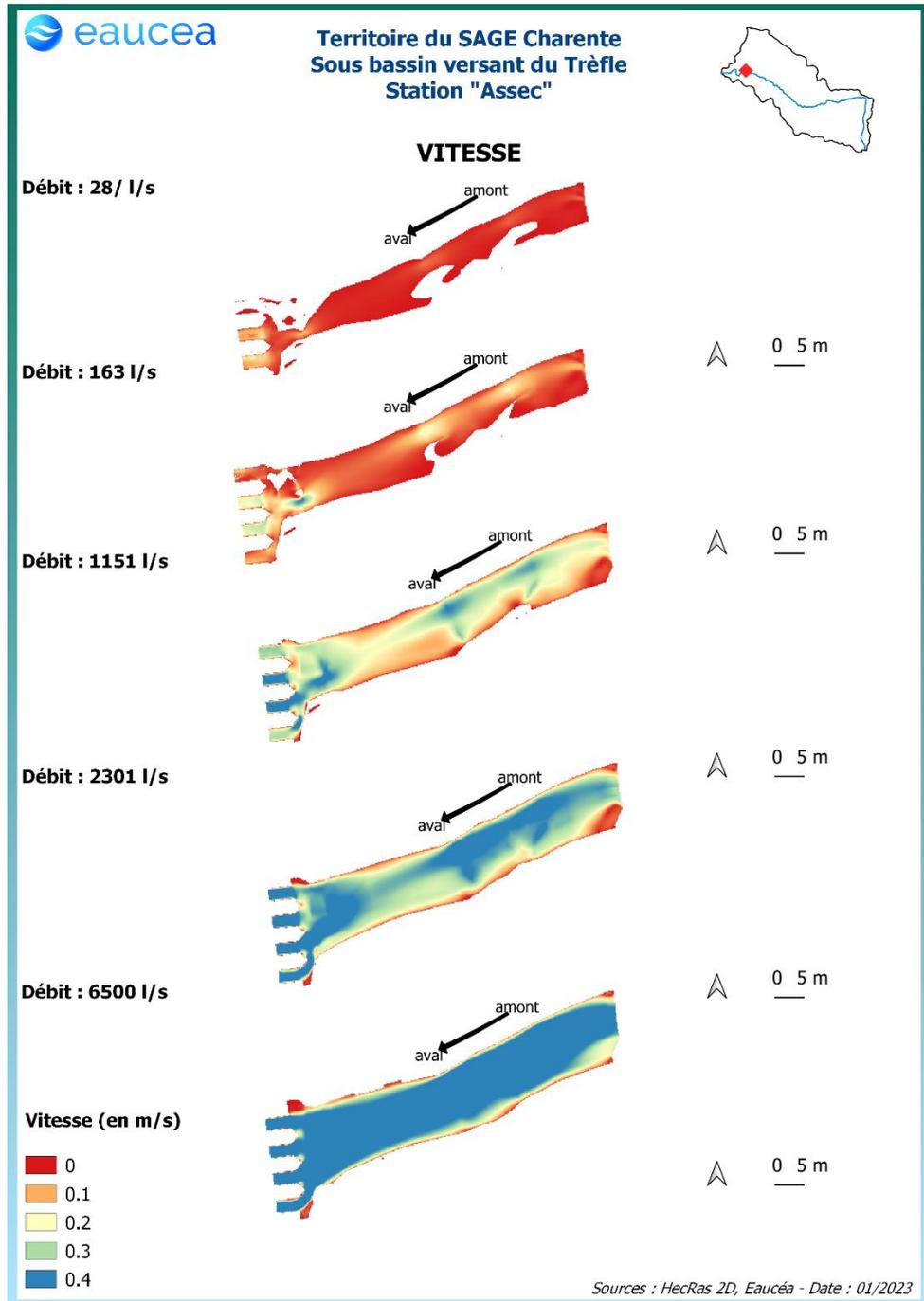


Figure 47: Evolution des vitesses d'écoulement sur la station du Pont d'Usseau à différents débits

La station Assec, dans un secteur avec peu de pente, ne présente que des vitesses d'écoulement faibles à bas débit et l'évolution des débits entraîne une accélération significative que dans le secteur de radier du pont et de constriction dans le chenal de vitesse (en bleu/vert à 1151 l/s).

La modélisation des vitesses nous permet aussi d'identifier les habitats courants favorables aux espèces rhéophiles comme la vandoise et dans une moindre mesure le vairon.

6.3 Intermittence des écoulements (Assecs)

Le Trèfle aval est fréquemment en assec malgré des écoulements permanents issus de la nappe du tertiaire en tête de bassin versant ce qui s'explique par un régime de perte vers le sous-sol dont le potentiel est supérieur aux apports hydrologiques d'elles basses eaux. Pour le réseau ONDE une station en assec est caractérisée par une eau évaporée ou infiltrée sur plus de 50 % de la station (source EauFrance)

Rappelons qu'un cours d'eau intermittent n'est pas biologiquement « mort ». D'une part, des périodes d'écoulements permettent l'expression d'une vie aquatique temporaire mais qui peut être importante pour l'écosystème à grande échelle (zone de reproduction par exemple ou de transit entre l'amont et l'aval ou plus simplement exploité par la faune et la flore pour une phase de croissance). D'autre part, la fonction de corridor écologique offerte par la végétation des berges perdure pendant l'assec et favorise l'ombrage de poches d'eau oasis. La présence de ces trous d'eau pérennes devient alors un avantage décisif pour la recolonisation de la rivière au retour des débits. Les apports de la nappe même très ténus, jouent un rôle majeur dans la préservation de ces zones relictuelles et pour la faune qui survit enfouies dans le sédiment humide. La dynamique d'entretien de ces trous d'eau permise par les débits de hautes eaux devient un enjeu fort pour l'écosystème.

Les débits biologiques proposés sont donc à considérer de façon spécifique dans ces cours d'eau. Les cours d'eau intermittents ne sont pas des milieux sans potentiel biologique et possèdent un fonctionnement spécifique dépendant notamment des caractéristiques des assecs :

- Fréquence des assecs dans le cycle annuel et interannuel ;
- Durée des assecs ;
- Intensité des assecs (rupture d'écoulement partielle, totale ou assec total, ...) ;
- Linéaire en assecs ;
- Présence ou non d'une zone hyporhéique et de sous-écoulements et profondeur de ces derniers (piézométrie) ;
- Présence ou non de zones refuges sur le bassin versant (mouilles non asséchées, linéaire ou affluent pérenne, étang, ...), et caractéristiques de ces zones (durée de vie, capacité d'accueil, fonctionnalité, éloignement, effectif, ...) ;
- Capacité de dispersion et de recolonisation des espèce-cibles du bassin versant depuis l'amont (cas possible pour le Trèfle) et plus généralement depuis l'aval à partir d'axe hydrographique plus important et pérenne (ici la Seugne). Cette situation n'est pas figée d'une année à l'autre. Le Trèfle dans sa partie médiane (secteur d'Allas-Champagne) semble par exemple être un secteur relativement pérenne (hors années très sèches) qui peut servir la plupart des années de réservoir biologique pour des secteurs plus sensibles aux assecs comme au Pont d'Usseau.

6.3.1 Faune benthique

Concernant la faune benthique, une mise en assec ne signifie pas forcément perte d'individu c'est pourquoi il convient de dissocier les assecs des écoulements non-visibles qui suggèrent le maintien éventuel d'une circulation dans le compartiment hyporhéique et donc une survie des taxons fouisseurs. Sur la station, la granulométrie, à tendance limoneuse limite cet aspect mais la présence de cailloux et de pierres sur certaines zones permet un maintien de zone refuge sur environ un tiers de la station.

Cette zone hyporhéique sert lors de la recolonisation du lit mouillé lors de la reprise des écoulements. Cela dépend notamment de la porosité du fond mais il nous est à ce jour impossible de juger de cette porosité. La station est donc à considérer comme très perturbée par ces épisodes d'assecs. L'enjeu consiste ici à la recolonisation rapide du milieu par les invertébrés lors de la reprise des débits et ce par deux mécanismes :

- Par dérive ou par déplacement volontaire lors de la reprise des débits ;
- Par ponte tout au long de l'année notamment par les taxons polyvoltins favorisés dans ce type de milieu.

Ces constats sont cohérents avec les communautés benthiques présentes sur les stations biologiques DCE du bassin concernées par les assecs.

6.3.2 Faune piscicole

Concernant la faune piscicole, le constat est ressemblant sauf que le potentiel de zone refuge est encore plus réduit du fait que les fosses encore en eaux sont rares. Néanmoins, la présence de trois zones profondes de plus de trente centimètres à faible débit suggère un potentiel de zones refuges assez important sur la station en ce qui concerne les petites espèces comme le vairon ou le chabot.

Concernant le chabot, l'habitat préférentiel de l'espèce est relativement peu présent sur la station ce qui suggère une absence d'individus sur la station lorsque les conditions se dégradent à l'approche des basses-eaux.

Concernant le vairon, les zones refuges de la station présentent des profondeurs et des surfaces aptes à offrir le gîte à un grand nombre d'individus. Ce constat va dans le sens d'une recolonisation rapide de la station par l'espèce lors de la reprise des écoulements car le vairon est une espèce résiliente et pionnière. L'éventuel paramètre limitant serait alors la teneur en oxygène de l'eau qui baisse à mesure que les températures augmentent soit à la période concernée par les assecs. La ripisylve abondante sur ce tronçon favorise l'ombrage et donc la réduction des pics de température.

Enfin concernant le brochet, il est clairement absent sur la station lors de la période des assecs, les hauteurs d'eau ne lui permettant plus de circuler étant atteintes bien avant la période des assecs. Cependant, la surface du lit émergé lors des assecs se voit colonisée par de la végétation terrestre. Cette végétation est ensuite immergée lorsque les débits remontent et notamment lors de la période des hautes-eaux. La reproduction du brochet serait alors possible sur cette végétation même si le cours d'eau ne fait pas l'objet d'une crue et que lit est simplement "plein".

6.3.3 Bilan

L'intermittence du cours d'eau impacte clairement les communautés qu'elles soient piscicoles ou benthiques, enchainant crise et recolonisation du milieu. Sur cette station, les populations adaptées à ce fonctionnement sont constituées soit de taxons pionniers comme le vairon, qu'ils soient autochtones à la station ou qu'ils aient migrés, mais aussi par des individus présentant de fortes capacités de résilience. Concernant plus particulièrement la communauté benthique, les taxons polyvoltins, aptes à pondre dans le cours d'eau plusieurs fois dans l'année, et les taxons fouisseurs, aptes à s'échapper dans le compartiment hyporhéique seraient sur-représentés si un échantillonnage était effectué.

Pour autant, les durées et fréquences d'assèchements doivent autant que possible être limitées. Bien que non visible, le sous-écoulement qui constitue un débit reste déterminant dans la résilience des

communautés d'organismes aquatiques. La recolonisation est rapide mais dépend du retour des modalités de retour à des conditions favorables même s'il faut parfois plusieurs mois pour revenir à un équilibre total.

6.4 Habitat benthique

La différenciation des habitats benthiques en lien avec la vitesse, critère le plus discriminant en les basses eaux, peut s'analyser en distinguant deux zones de part et d'autre de la valeur-seuil de 25 cm/s (cf Note méthodologique : « *Habitat aquatique et invertébrés benthiques* »). La valeur repère de 25 cm/s séparant les milieux rhéophiles des milieux lenticques présente en effet une forte valeur descriptive de l'habitat des invertébrés inventoriés dans le bassin charentais.

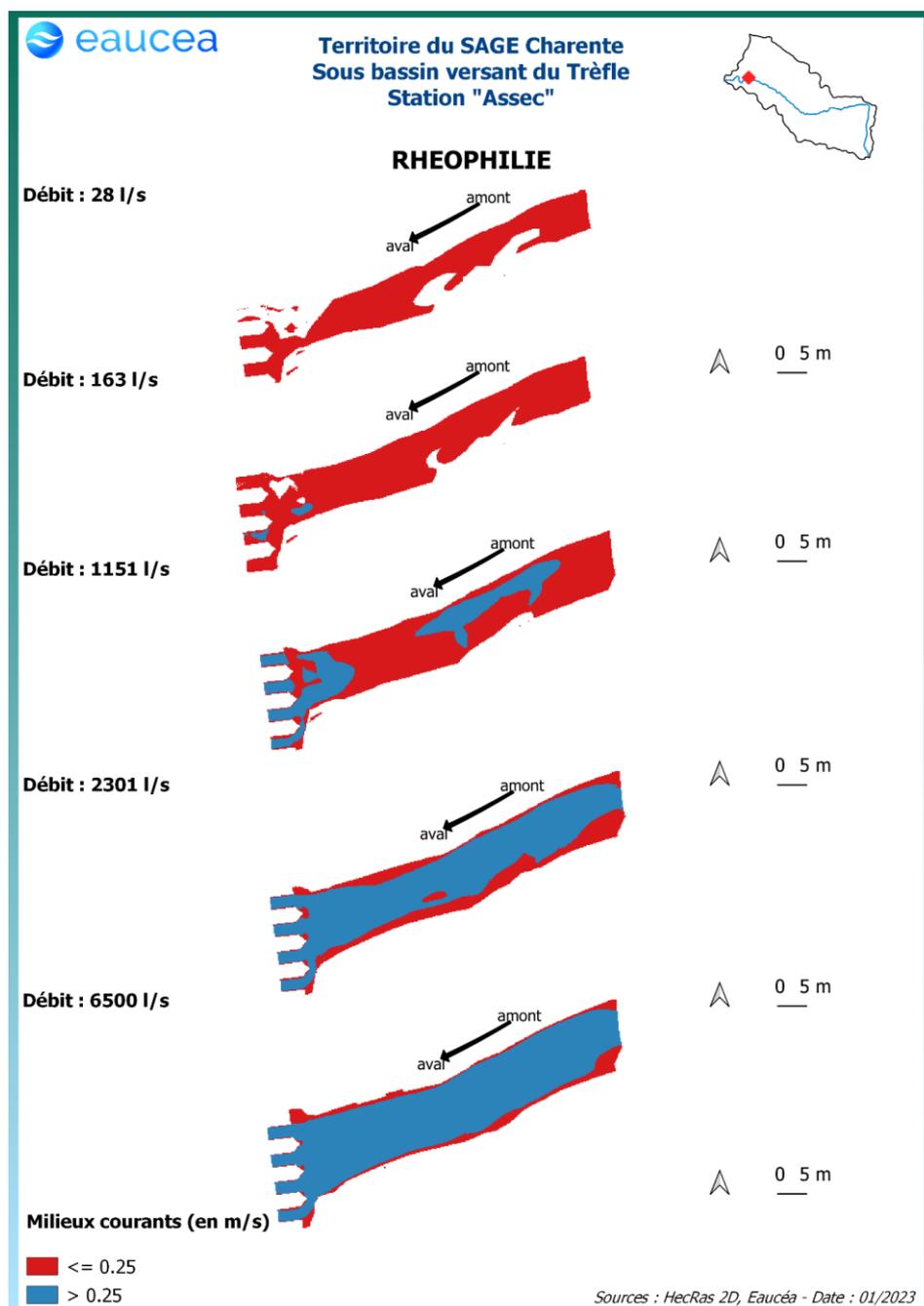
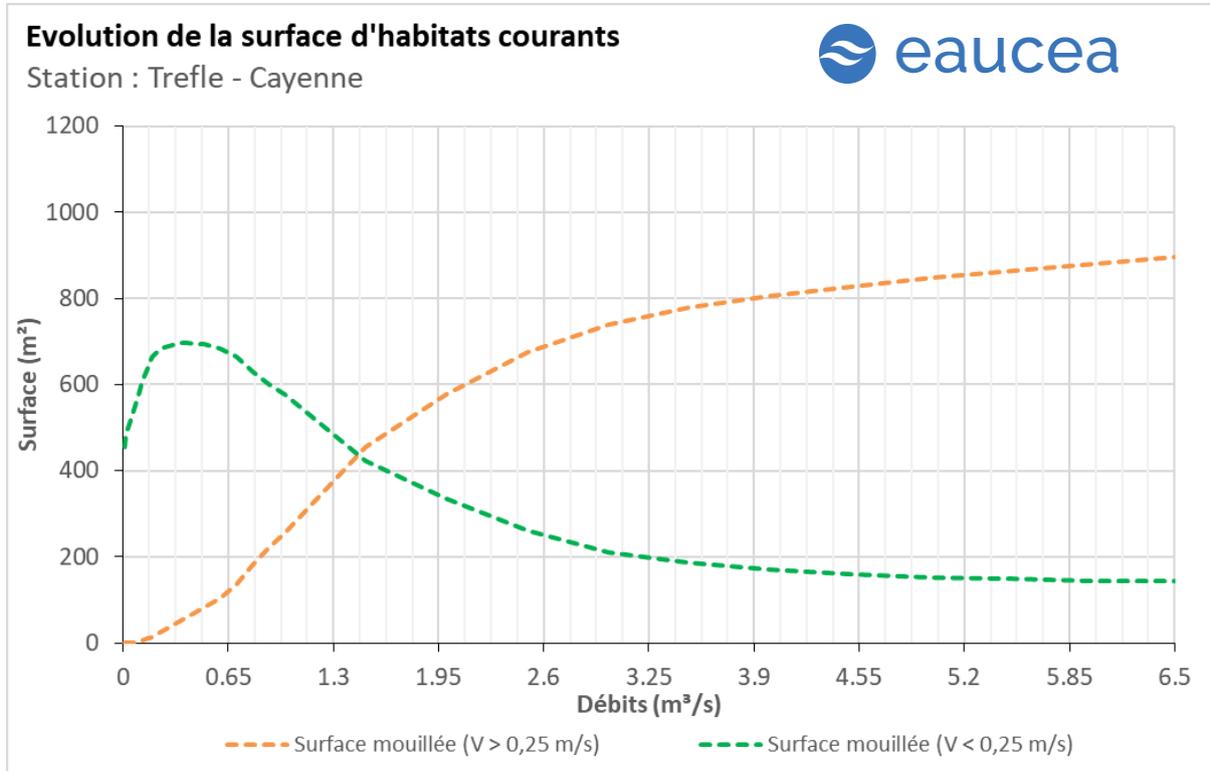


Figure 48: Evolution des milieux courants sur la station du pont d'Usseau

On peut noter ici que la quantité d'habitats rhéophiles sur la station est assez limitée en débit d'les basses eaux. A la moitié du module, un chenal de vitesse en amont de la station et une zone d'accélération en amont du pont se forment. Au module et au débit de débordement, la majorité de la station présente des vitesses d'écoulements supérieures à 25 cm/s.



Les courbes ci-dessus traduisent la présence d'une majorité d'habitats lenticques sur la station à bas débit, les habitats lotiques évoluant très rapidement mais restant largement minoritaires.

En les basses eaux, soit en dessous de 394 l/s, les surfaces rapides sont inférieures à 1%. Cet objectif ne peut pas être retenu pour le débit biologique d'les basses eaux.

Nous considérerons qu'un seuil garantissant environ 10% d'habitat rhéophile peut être retenu pour les périodes de transition soit environ 470 l/s (correspondant à un débit dépassé 65 % du temps). Le taux de 20 % pour les périodes de hautes eaux est d'environ 760 l/s (correspondant à un débit dépassé 49 % du temps).

En conséquence, il est recommandé à titre conservatoire, de viser uniquement en période de transition un seuil de 10% soit 470 l/s et en période de hautes-eaux un seuil de 20% soit 760 l/s.

6.5 Capacité d'auto-entretien des faciès du cours d'eau (période hydrologique des hautes-eaux)

La modélisation hydraulique 2 D permet de calculer en tous points de la station, la valeur du paramètre τ^* ² qui caractérise les conditions de début d'entraînement ou de charriage des particules. Nous avons retenu les sables qui sont les principales particules susceptibles de s'accumuler dans les fosses et de les combler. Pour les limons (tourbes et argiles), fréquemment transportés dans les rivières, le cycle de sédimentation érosion est complexe en raison d'un risque de cohésion par tassement et d'une évolution plus complexe en cas d'assec. Néanmoins, nous pouvons considérer que le maintien d'épisodes hydrauliques suffisants en intensité en durée pour évacuer des sables évitera un temps d'accumulation trop long aussi pour les limons.

Le principe est donc de vérifier si pour des débits importants mais fréquents, les conditions hydrauliques permettent de maintenir les faciès d'écoulement. Une comparaison réalisée avec la topographie observée permet de conclure au maintien ou non d'une dynamique d'entretien des zones les plus profondes, qui jouent un rôle majeur en les basses eaux.

La modélisation hydraulique 2 D, montre que les particules les plus fines sont régulièrement transportées mais fait aussi apparaître que des débits sensiblement plus élevés sont nécessaires pour éviter le comblement par l'amont de la principale zone profonde de la station en cas de charriage de sables plus grossiers.

6.5.1 Colmatage

Au Pont d'Usseau, la mise en mouvement des particules fines se fait dès que le débit dépasse 163 l/s dans le chenal de vitesse. Ce débit est atteint la majorité de l'année et correspond à un débit des basses eaux. Lors de la période hydrologique des hautes eaux, des particules plus volumineuses peuvent être mise en mouvement. Cependant, le jour des observations, les substrats étaient plutôt limoneux mais cette station est susceptible d'être très remodelée pendant les épisodes de hautes-eaux.

6.5.2 Entretien des frayères

La mise en mouvement des particules plus grossière, de l'ordre de 5 à 10 mm permet de s'affranchir des éventuelles forces de cohésion dû au tassement, de quantifier le transit du substrat et l'entretien du lit en particulier à l'automne. Concernant les particules de l'ordre de 5 millimètres de diamètre, seul l'aval de la station et la constriction centrale entre en mouvement lorsque le débit dépasse 1151 l/s soit la moitié du module. Au module soit 2301 l/s, c'est la quasi-totalité de la station qui entre en mouvement.

Concernant les particules de 10 millimètres, seul l'aval de la station et la constriction centrale entre en mouvement lorsque le débit dépasse 2301 l/s soit le module. Au débit de débordement soit 6500 l/s, l'ensemble de la station entre en mouvement.

6.5.3 Synthèse

Nous recommandons de retenir les valeurs de 163 l/s en les basses eaux.

Des périodes de débit supérieur à 1151 l/s sont nécessaires en transition d'automne et hautes eaux (novembre à juillet) pour l'entretien sédimentaire des frayères et du lit.

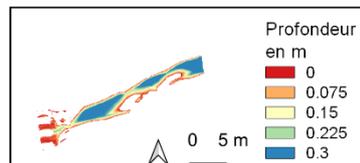
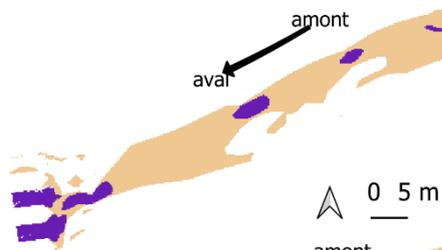
² Paramètre de Shields (cf annexe)

**Territoire du SAGE Charente
Sous bassin versant du Trèfle
Station "Assec"**

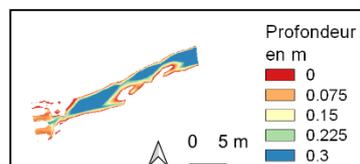
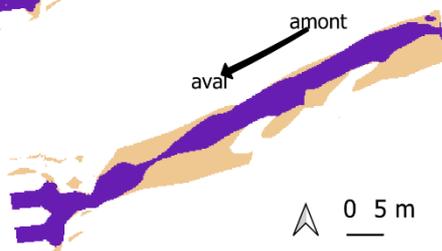


**Mise en mouvement des particules
Particules de 0.05 mm de diamètre**

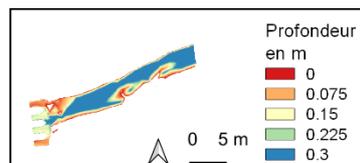
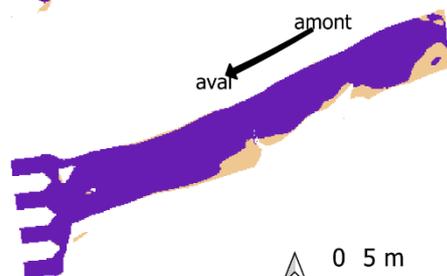
Débit : 28 l/s



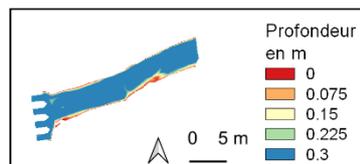
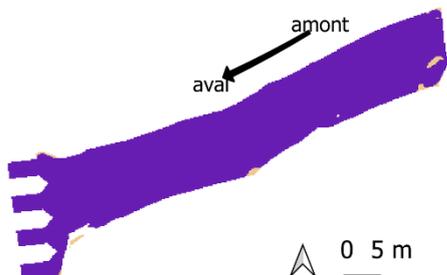
Débit : 163 l/s



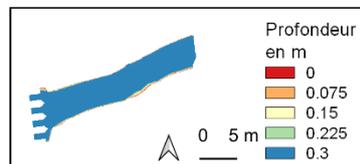
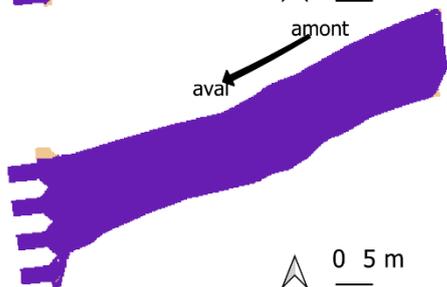
Débit : 1151 l/s



Débit : 2301 l/s



Débit : 6500 l/s



Etude des particules

- Immobiles
- Mises en mouvement

Sources : HecRas 2D, Eauceaa - Date : 01/2023

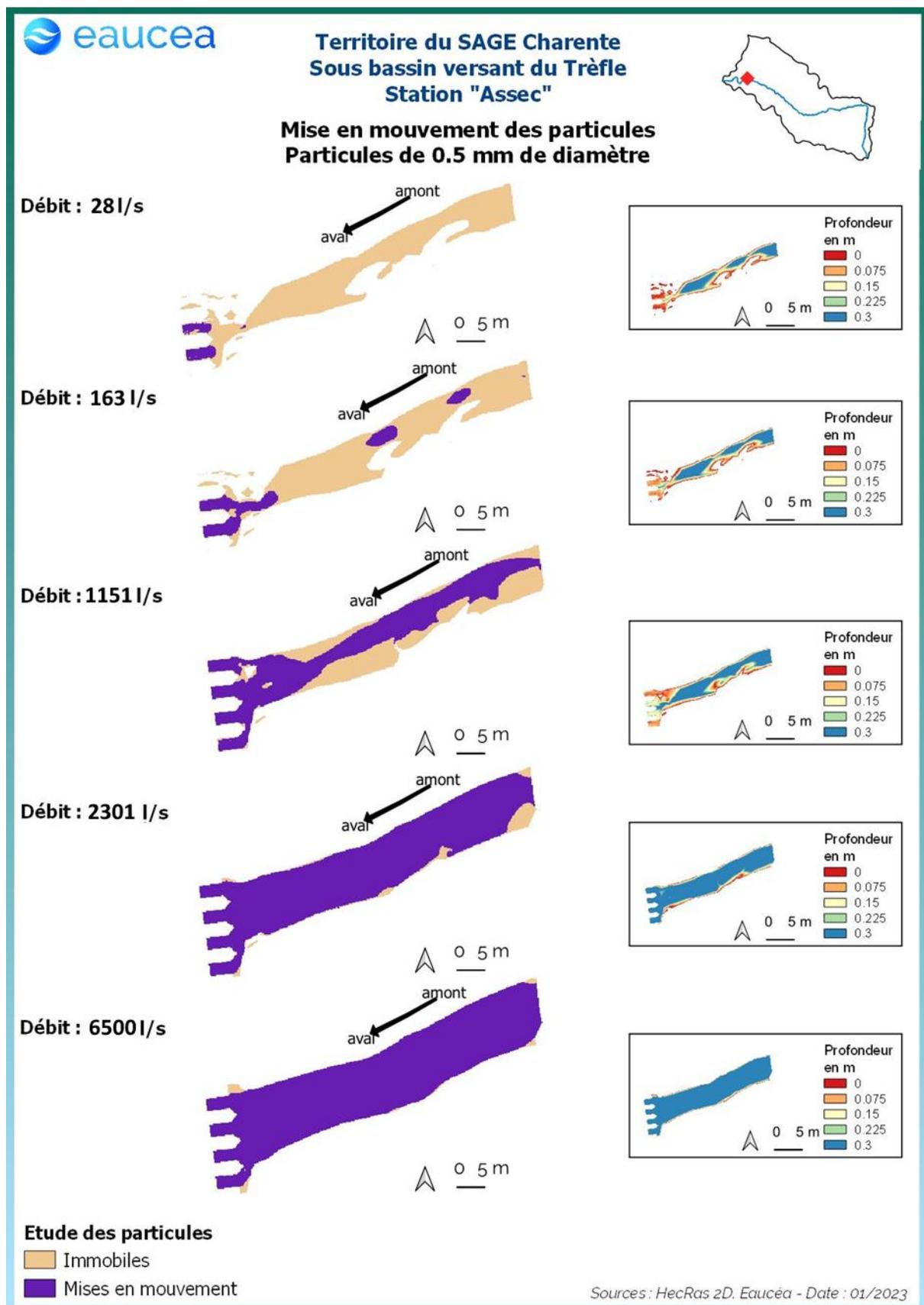


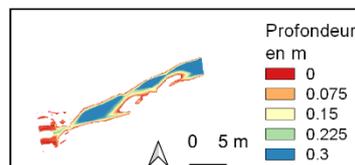
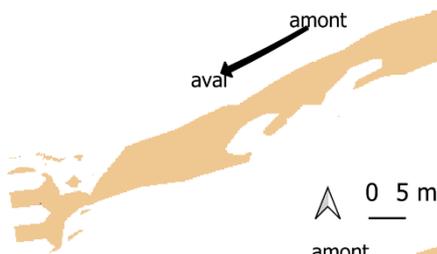
Figure 50 : Mise en mouvement des particules fines sur la station du Pont d'Usseau

**Territoire du SAGE Charente
Sous bassin versant du Trèfle
Station "Assec"**

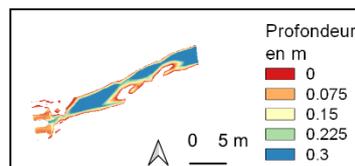
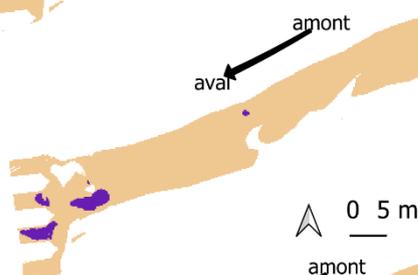


**Mise en mouvement des particules
Particules de 5 mm de diamètre**

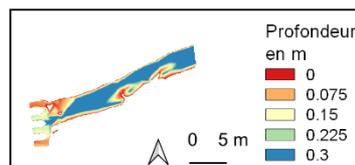
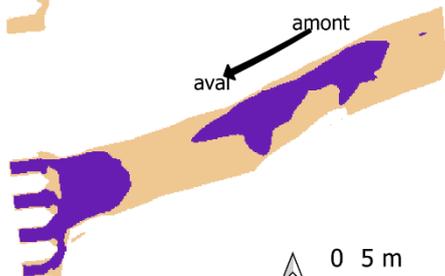
Débit : 28 l/s



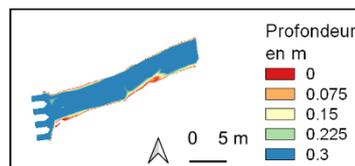
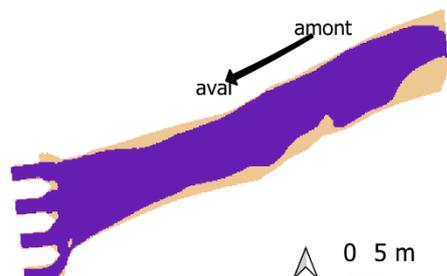
Débit : 163 l/s



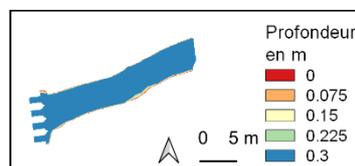
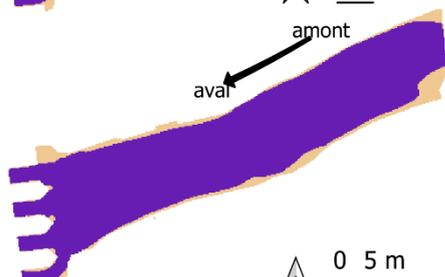
Débit : 1151 l/s



Débit : 2301 l/s



Débit : 6500 l/s



Etude des particules

- Immobiles
- Mises en mouvement

Sources : HecRas 2D, Eaucea - Date : 05/2023

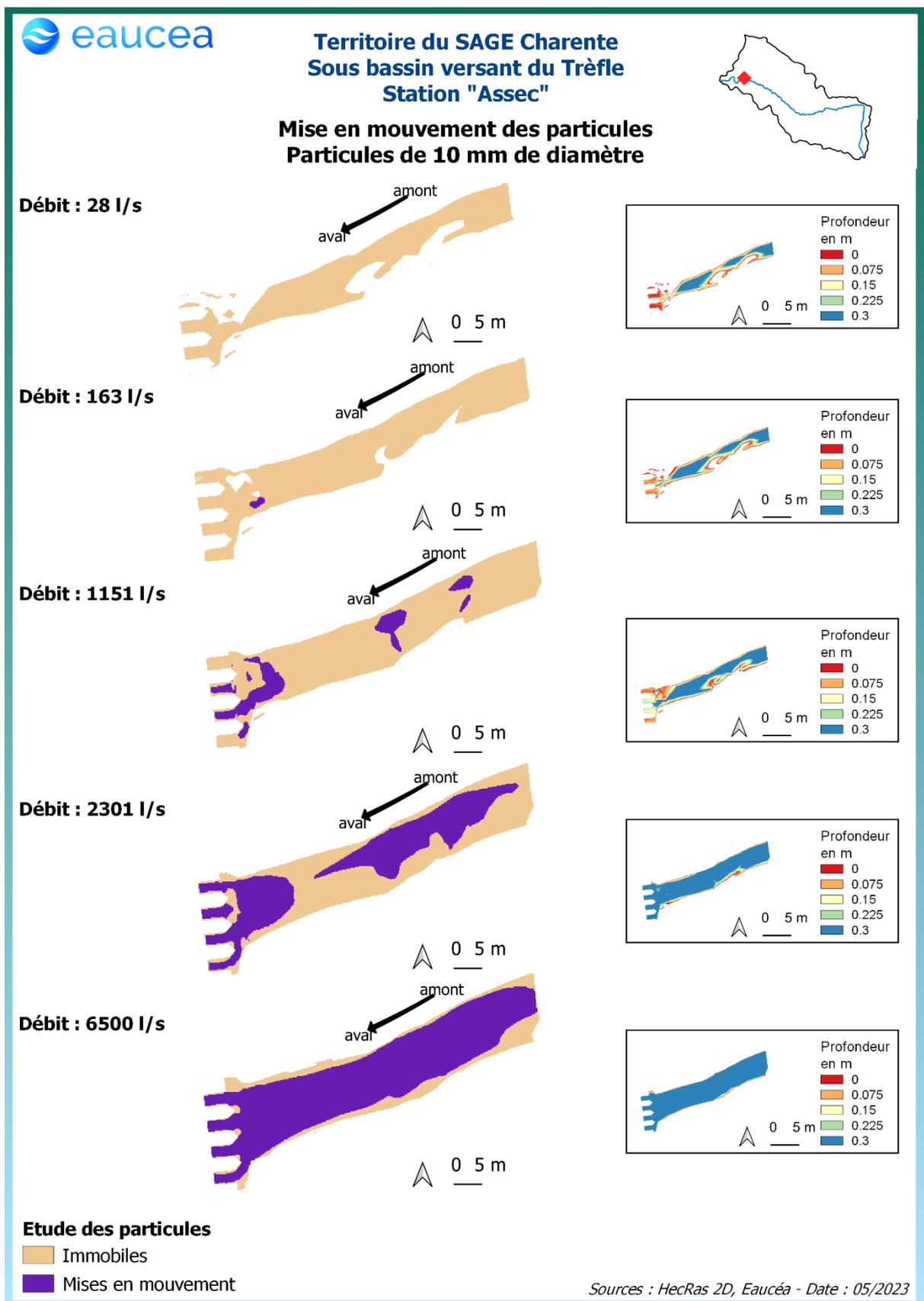


Figure 51 : Mise en mouvement des particules grossières sur la station du Pont d'Usseau

6.6 Connectivité longitudinale

Il s'agit ici de vérifier à quelle condition de débit, la circulation des poissons est possible au sein de la station.

La connectivité de cette station sur le Trèfle est aisée pour les petites espèces à un débit de 50 l/s. Elle ne l'est plus pour 20 l/s.

La connectivité de la station est encore aisée pour les grandes espèces à un débit de 120 l/s. Elle ne l'est plus à 100 l/s.

En sortie d'assec, dès que les débits superficiels dépassent 50 l/s, la recolonisation du milieu et le transit des poissons peut s'engager pleinement.

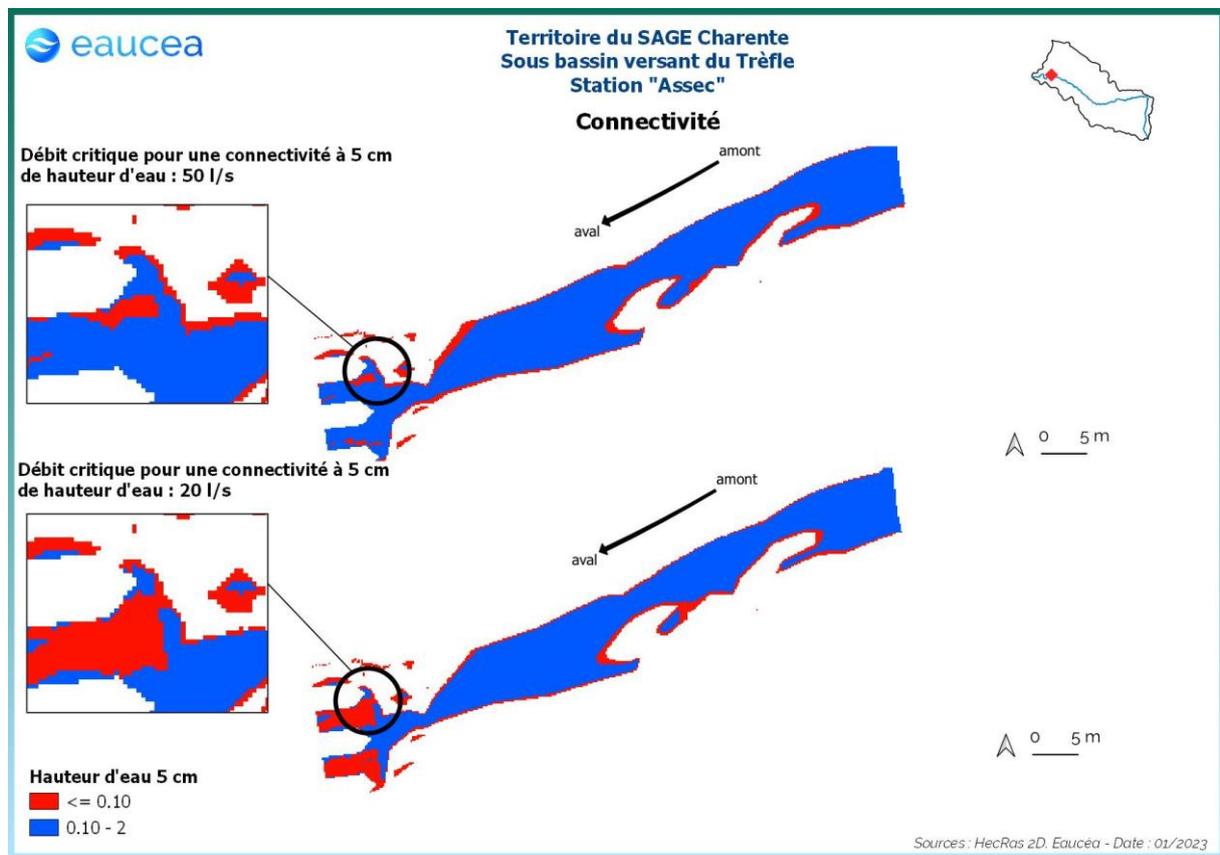


Figure 52: Connectivité de la station du Pont d'Usseau pour un seuil de 5 cm de hauteur d'eau

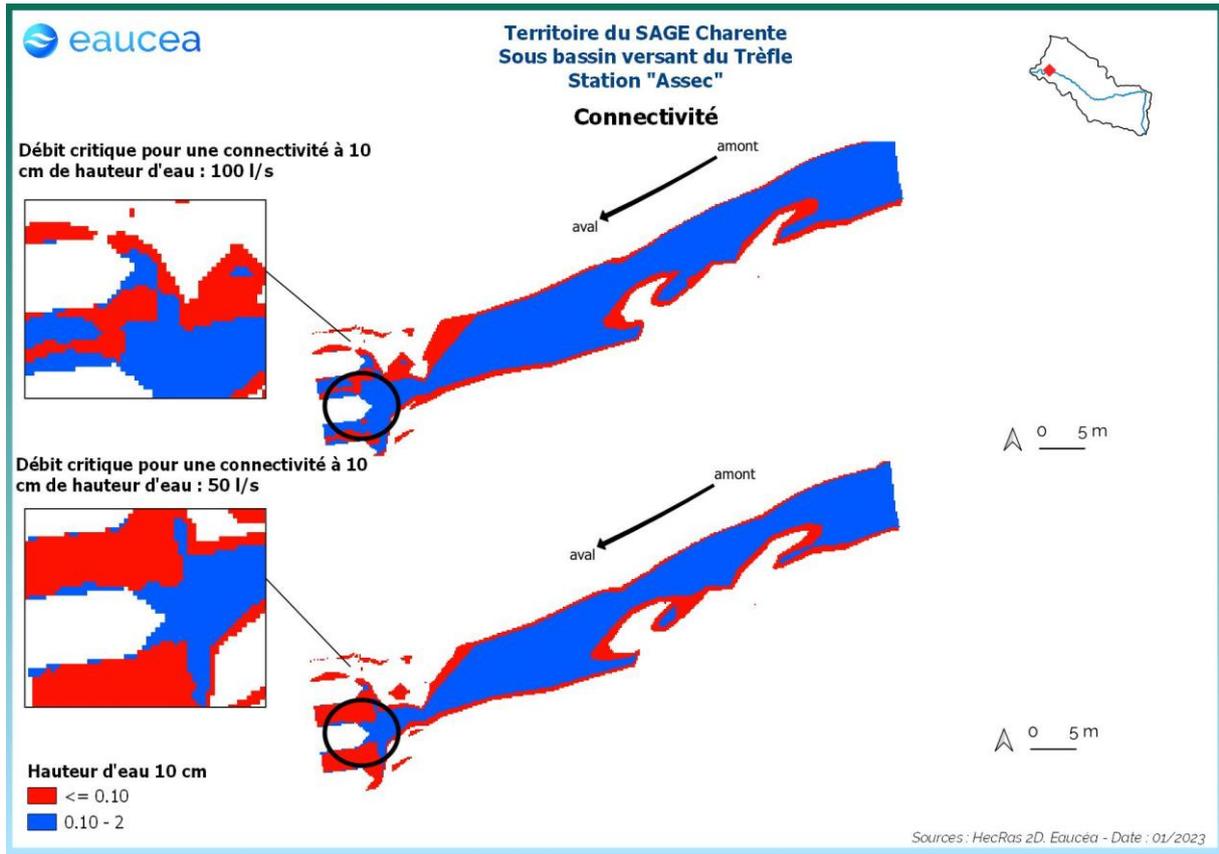


Figure 53: Connectivité de la station sur le Trèfle pour un seuil de 10 cm de hauteur d'eau

6.7 Habitats piscicoles (tous débits)

6.7.1 Valeurs d'habitat

Le premier critère est la valeur d'habitat moyenne de la station. Cette valeur serait de 1 pour un potentiel excellent et de 0 pour un potentiel nul.

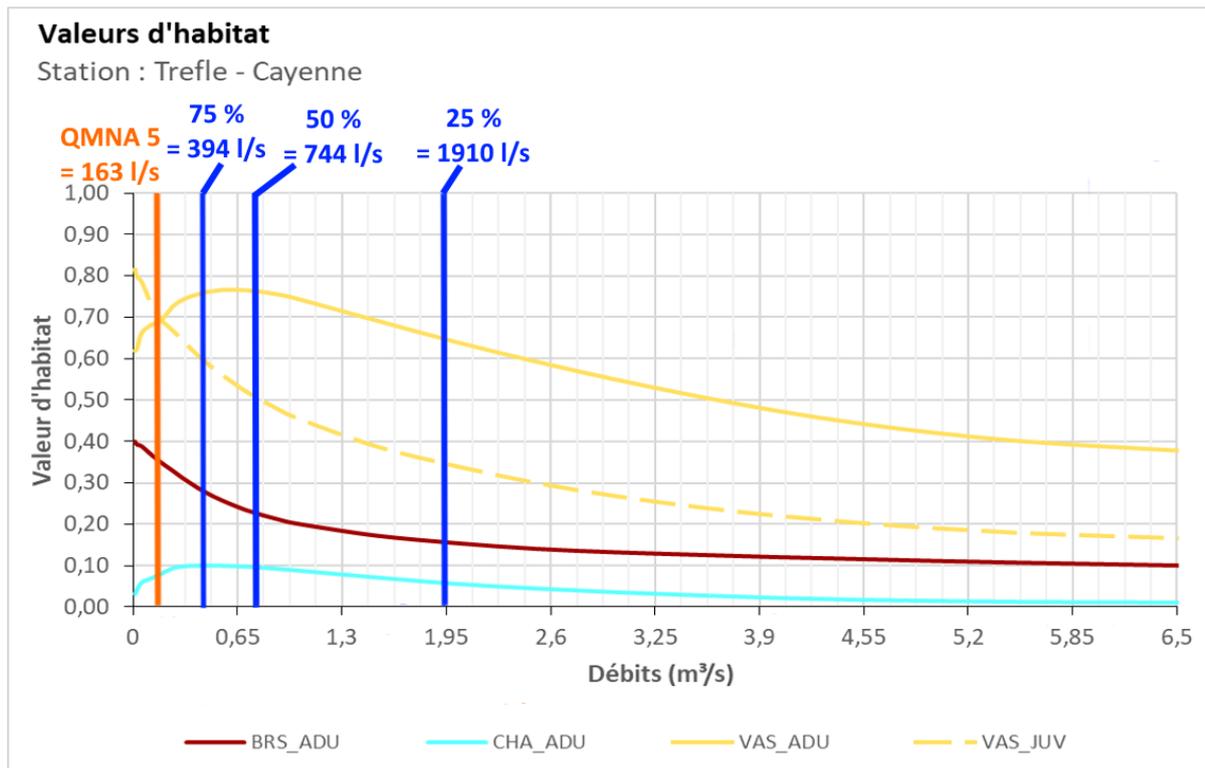


Figure 54: Valeurs d'habitat des différents stades du brochet, du vairon et du chabot de la station du Pont d'Usseau

En orange : le QMNA5 naturalisé IRSTEA.

En bleu : les valeurs de débit classé mesuré

La station est peu favorable pour le brochet à tous les débits. La valeur est de 0.4 à bas débit avant d'observer une descente douce et d'atteindre un plancher de 0.1 au débit de débordement.

La station est favorable au vairon adulte, sa valeur d'habitat est d'environ 0.6 aux bas débits, atteint son maximum de 0.75 aux environs de 600 l/s puis chute avec le débit pour atteindre 0.4 au débordement. Pour le juvénile, la valeur est de 0.8 à bas débit et chute aux environs de 0.15.

La station est peu favorable au chabot dont la valeur d'habitat augmente avec les bas débits pour atteindre un maximum d'environ 0.1 de 250 l/s à 700 l/s puis chute pour être presque nulle au débit de débordement. Il convient de modérer ce constat par le fait que le chabot se contente de petite placette de l'ordre du mètre carré dans les abris hydrauliques. Le potentiel est donc faible mais pas nul y compris en les basses eaux.

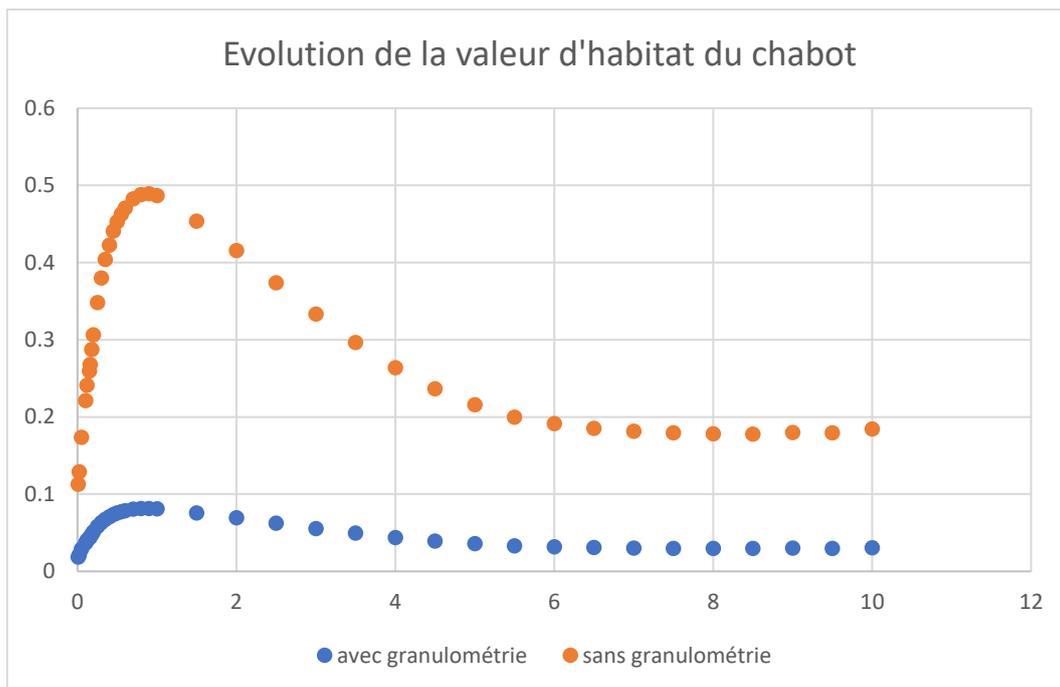


Figure 55 : Evolution sans granulométrie (en orange) et avec granulométrie (en bleu) de la valeur d'habitat pour le chabot sur toute la gamme de débit

D'autre part, le graphe ci-dessous des valeurs habitats fondés sur les seuls critères hydrauliques, montre que l'augmentation des profondeurs avec le débit pénalise le gain dû à l'augmentation des vitesses.

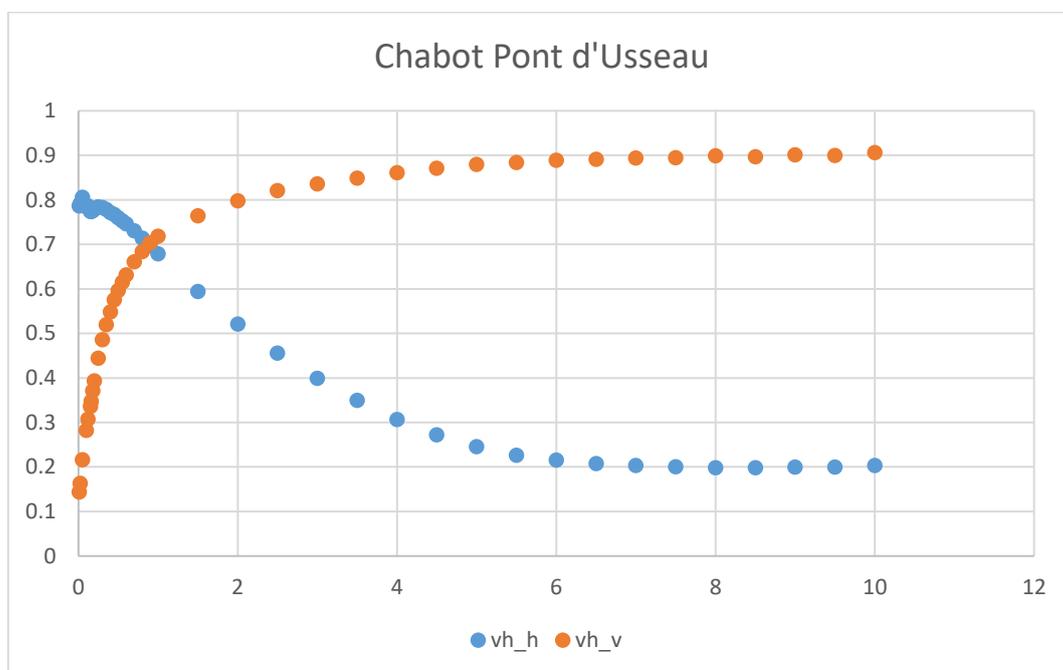


Figure 56 : Evolution des composantes "vitesse" (en orange) et "hauteur d'eau" (en bleu) de la valeur d'habitat pour le chabot sur toute la gamme de débit

6.7.2 SPU en m² et en variations relatives

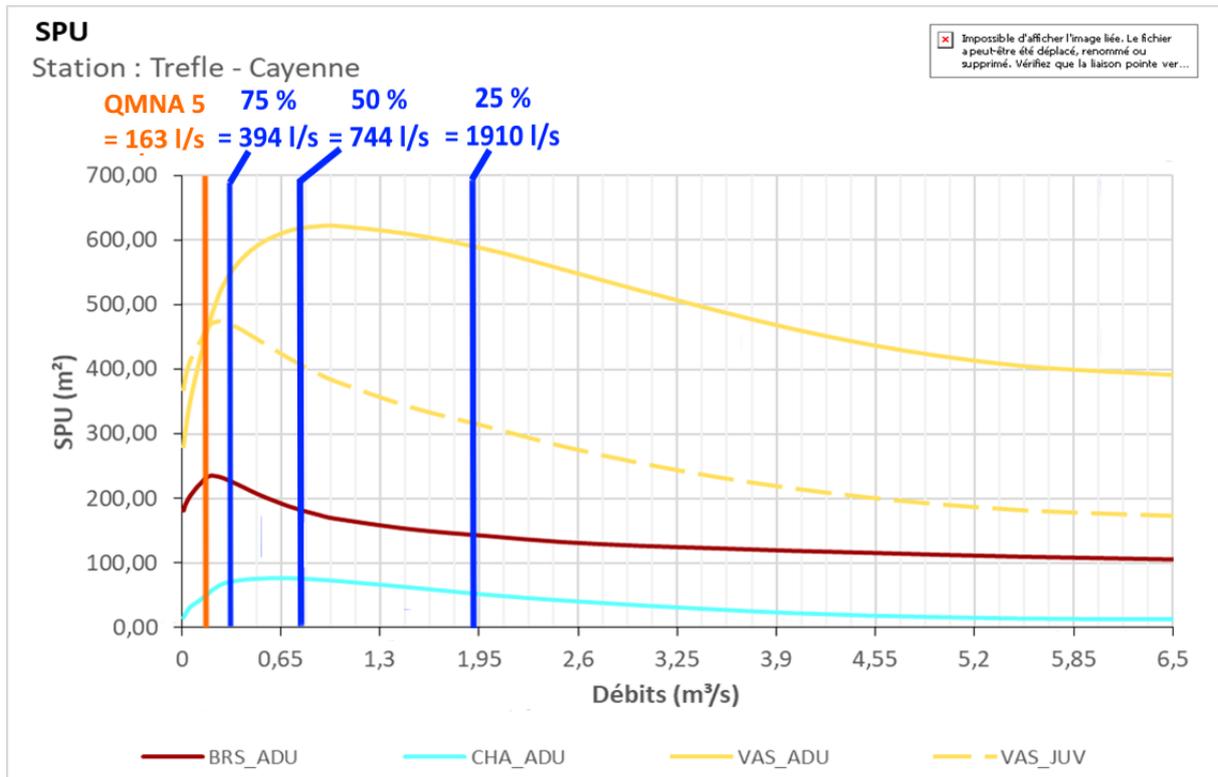


Figure 57: Surfaces pondérées utiles des différents stades du brochet, du vairon et du chabot de la station du Pont d'Usseau

En orange : le QMNA5 naturalisé IRSTEA.

En bleu : les valeurs de débit classé mesuré

Les surfaces pondérées utiles suivent globalement les mêmes évolutions en fonction du débit mais avec le bénéfice de l'augmentation de la surface mouillée.

Cette surface d'habitat peut être aussi explorée par rapport à la SPU maximale observée sur la gamme de débit testée.

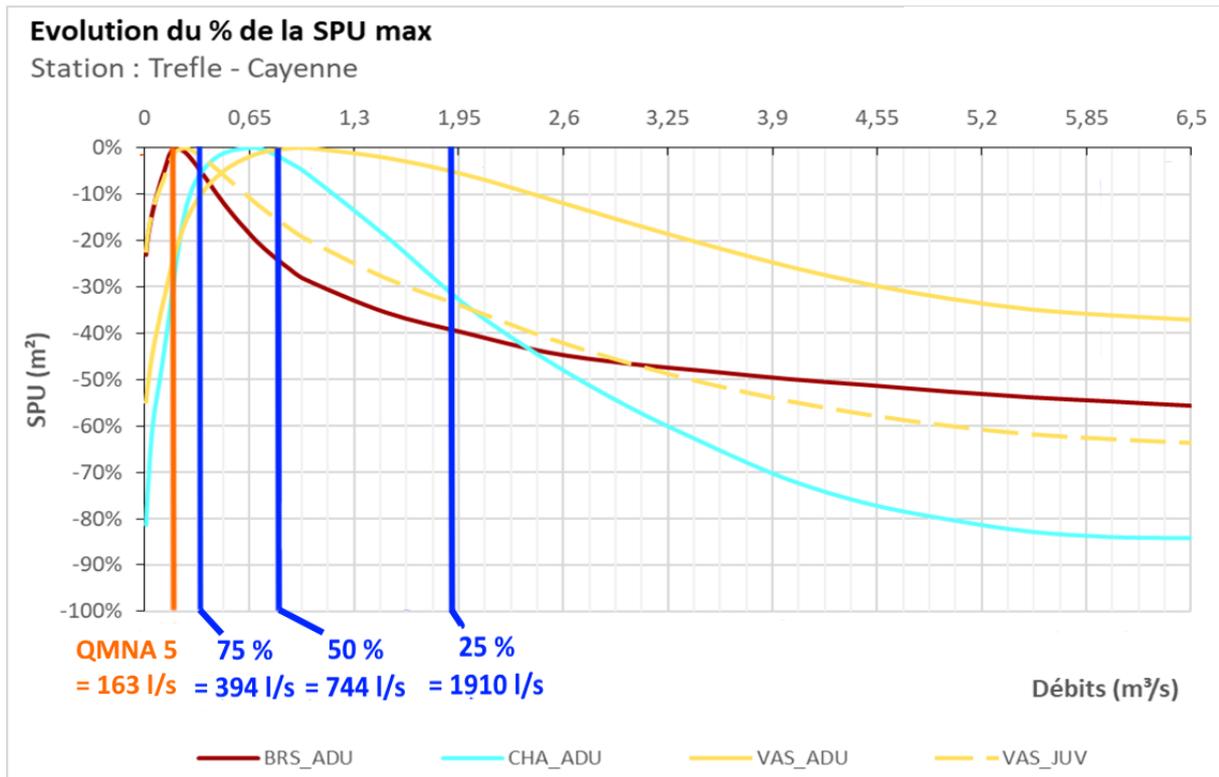


Figure 58: % de la surfaces pondérées utiles maximales des différents stades du brochet, du vairon et du chabot de la station du Pont d'Usseau

En orange : le QMNA5 naturalisé IRSTEA.

En bleu : les valeurs de débit classé mesuré

6.7.3 Interprétation

Le meilleur compromis entre toutes les espèces est observé entre 220 l/s et 650 l/s. Dans ce domaine, la majorité des espèces présentent un potentiel supérieur ou égal à 80% du maximum de leur SPU. Cette gamme de débit

Les cibles biologiques à fortes valeurs patrimoniales (directrices) sont le brochet pour la période de hautes-eaux et le chabot en période de basses-eaux.

Pour le brochet, espèce la plus exigeante en hiver, ce seuil de 80% est atteint autour de 650 l/s, valeur correspondant à un débit de transition. Il pourra être conservé comme plancher de débit biologique entre novembre et juillet, période couvrant la reproduction des brochets. Néanmoins, le débit de débordement sur la station soit 6500, nécessaire à la ponte sur des terres inondées, n'est pas réalisable pendant les trois mois minimums à la reproduction car dépassé seulement 7 % du temps. La station est donc à considérer comme un milieu de vie pour les adultes qui iront pondre dans des secteurs proches de la station au potentiel de débordement supérieur. **Le débit de référence hiver sera donc fixé à 650 l/s.**

En les basses eaux, le milieu est moins favorable aux grandes espèces. Le chabot, espèce patrimoniale du secteur, le seuil de 80% de surface utile maximale correspond à 220 l/s. En dessous, la situation se dégrade rapidement (fort gradient de baisse). **Le débit de référence les basses eaux sera donc fixé à 220 l/s.**

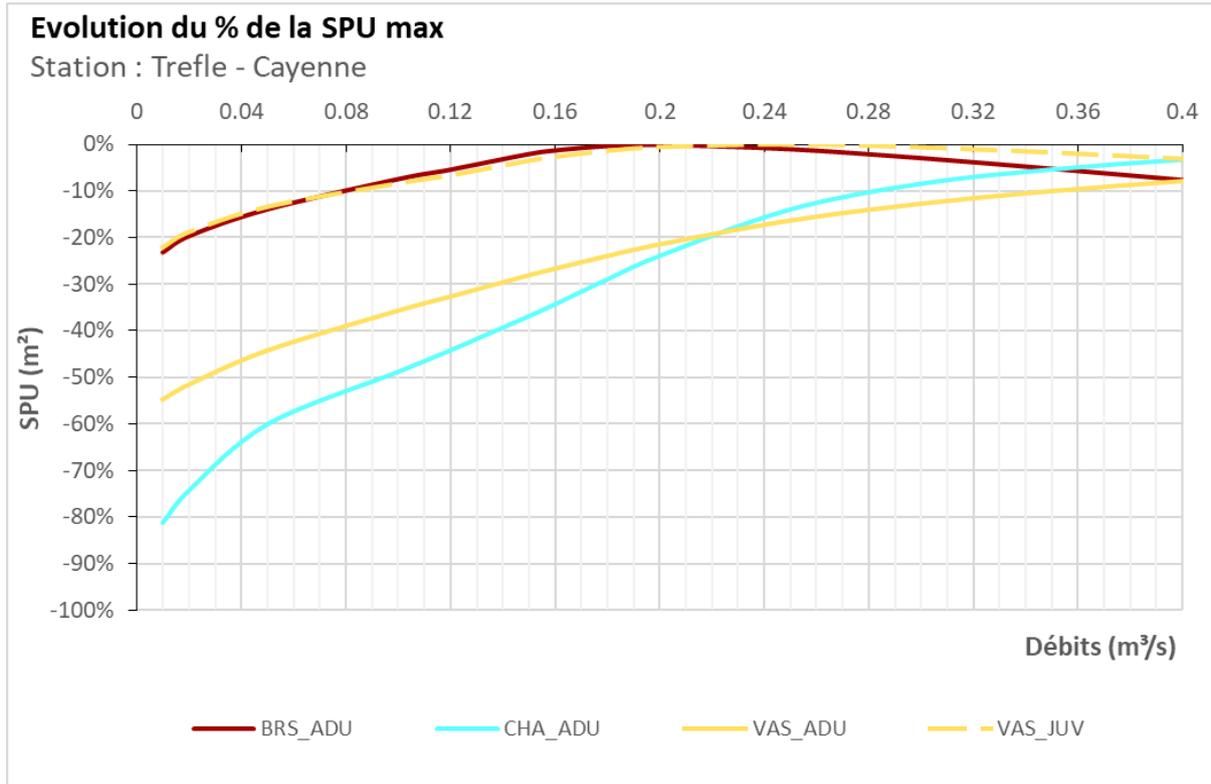


Figure 59 zoom sur les basses eaux du % des surfaces pondérées utiles maximales des différents stades du brochet, du vairon et du chabot de la station du Pont d'Usseau

6.8 Conclusion concernant les débits biologiques de la station du Pont d'Usseau (matrice)

Le rapprochement de l'ensemble des critères répartis en fonction de la période hydrologique aboutit aux préconisations suivantes pour qualifier le débit biologique.

En les basses eaux estival, d'août à octobre, le chabot est l'espèce la plus sensible et pilote le choix de la valeur basse du meilleur compromis fixée à 220 l/s.

En tolérant une perte de 20% de surface pour cette espèce, qui peut tolérer temporairement des habitats réduits en termes de surface, vis-à-vis de cette valeur de référence, le débit plancher s'établit à 155 l/s, valeur atteinte ou dépassée 83 % du temps. Pour cette valeur, les autres espèces conservent une SPU peu différente de celle de la référence. La connectivité est garantie pour toute taille et la surface mouillée est juste supérieure à 62% du maximum.

Concernant les assecs récurrents au sein de la station, leur impact est certain et sélectionne des taxons benthiques et piscicoles présentant des caractéristiques de résilience ou de résistance à ses périodes plus ou moins longue sans eau et se produisant chaque année. Lorsque l'assec se produit, d'autres secteurs du bassin comme à Allas-Champagne deviennent alors des secteurs refuges où les individus peuvent poursuivre leur cycle biologique durant la période hydrologique des basses-eaux. Ensuite, lorsque les écoulements reprennent, une recolonisation de la station par les individus provenant de ces secteurs refuges se produit, dépendant d'une reprise rapide et précoce des écoulements. La station du Pont d'Usseau fonctionne donc par une succession d'épisode de sélection de taxons tolérants en période de basses-eaux et de recolonisation en période de transition avec une stabilisation en hautes-

eaux. L'établissement d'une borne basse à la gamme de débit biologique de basses-eaux au Pont d'Usseau n'est donc pas pertinent. La recolonisation de la station dépend cependant de la qualité des habitats de secteur comme celui de la station d'Allas-Champagne en été et donc au respect de la gamme de débit biologique de basses-eaux de cette dernière. Cependant, la station étant très souvent en assec en période de basses-eaux. Nous proposons donc de ne retenir qu'une borne haute à 220 l/s. Si l'on devait retenir un critère de minimisation du risque biologique en phase critique d'assec, il faudrait définir une durée admissible d'assec (au sens de la définition Onde) correspondant par exemple au maintien de fosses toujours en eau créant un habit pérenne mais discontinu. Cette durée n'est pas connue mais pourrait être issue d'observation à venir en période d'les basses eaux. Cette limite pourrait correspondre à la rupture d'écoulement, qui est associé à un niveau piézométrique évalué à :

Pour le piézomètre 07325X0018/F : 23.88 m NGF ;

Pour le piézomètre 07314X0011/S : 19.15 m NGF ;

Les habitats benthiques ne sont pas un paramètre pertinent pour ce contexte hydraulique.

La gamme de débits biologiques pour la période de basses-eaux est proposée avec uniquement une borne haute à 220 l/s.

Remarque : la période d'les basses eaux correspond à celle des pertes vers le sous-sol de débit qui peuvent être importants. Il faut donc considérer que pour sécuriser un débit en surface, il faut sans doute un débit en amont augmenté de 200 à 400 l/s pour saturer les pertes selon nos estimations (à vérifier sur le moyen terme) soit un débit cumulé compris entre 400 et 600 l/s. Ces valeurs sont très élevées sauf pour des années humides où les pertes disparaissent spontanément avec la remontée des niveaux phréatiques.

Matrice Cayenne					Basses-eaux									
Niveau	Critère	Code	Espece	Stade							Qref			
Principal	Hydrologique	Débit en m3/s			0.02	0.05	0.10	0.12	0.155	0.185	0.22	0.30	0.40	0.47
		% des débits classés			85%	84%	84%	83%	83%	82%	82%	81%	74%	64%
Principal	Habitat	BRS_ADU	Brochets	Adulte	-19%	-14%	-7%	-5%	-1%	0%	235	-2%	-7%	-11%
Principal	Habitat	CHA_ADU	Chabot	Adulte	-68%	-50%	-36%	-30%	-20%	-10%	62	14%	21%	23%
Principal	Habitat	VAS_ADU	Vairon	Adulte	-40%	-31%	-20%	-16%	-10%	-5%	501	8%	14%	17%
Principal	Habitat	VAS_JUV	Vairon	Juvenile	-19%	-13%	-8%	-6%	-3%	-1%	473	0%	-3%	-5%
Principal	Vitesses	Milieu rapide > 25 cm/s			0%	0%	1%	1%	2%	2%	3%	5%	8%	10%
Principal	Surface mouillée	% du maximum			42%	46%	52%	54%	58%	60%	62%	64%	67%	68%
Complémentaire	Circulation au niveau des radiers	Gros poissons			non	non	non	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui
		Petits poissons			non	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui
Synthèse indicateurs principaux														
Habitat	SPU													
Habitat	Habitats rapides													
Habitat	Surface mouillée													
Habitat	Connectivité	Longitudinale												
Résultat														

Figure 60 : Matrice période de basses-eaux

En période de hautes-eaux, le débit biologique doit permettre l'accès aux zones inondées et la présence de brochets reproducteurs sur le secteur. **Le débit de référence hiver est fixé à 650 l/s.** Pour le brochet un écart de 10% vis-à-vis de la SPU de référence peut être toléré ce qui conduirait à retenir une valeur basse de la plage de débit à 450 l/s. Cette valeur est centrale dans la gamme du meilleur compromis piscicole (de 220 l/s à 650 l/s).

Concernant le débordement, le débit de 6500 l/s n'est dépassé que 7 % du temps. Il se situe bien au-delà de la gamme minimale proposé et est rare voire inexistant sur une année particulièrement sèche. La station du pont d'Usseau ne peut pas être un lieu de ponte régulier malgré un bon potentiel en termes d'habitats pour le brochet et des abords directs du cours d'eau caractéristiques d'une zone de ponte.

La gamme de débits proposés pour la période de transition et de hautes-eaux est donc de 450 l/s à 650 l/s.

Matrice Cayenne					Hautes-eaux et transition									
Niveau	Critère	Code	Espece	Stade					Qref					
		Débit en m3/s			0.40	0.45	0.474	0.500	0.65	0.76	1.00	2.00	4.00	6.50
Principal	Hydrologique	% des débits classés			74%	67%	64%	62%	54%	49%	41%	24%	12%	7%
Principal	Habitat	BRS_ADU	Brochets	Adulte	13%	10%	9%	7%	193	-5%	-12%	-26%	-38%	-46%
Principal	Habitat	CHA_ADU	Chabot	Adulte	-3%	-2%	-1%	-1%	77	-1%	-5%	-34%	-71%	-84%
Principal	Habitat	VAS_ADU	Vairon	Adulte	-6%	-4%	-4%	-3%	610	1%	2%	-4%	-24%	-36%
Principal	Habitat	VAS_JUV	Vairon	Juvenile	8%	7%	6%	5%	424	-3%	-10%	-27%	-49%	-59%
Principal	Vitesses	Milieu rapide > 25 cm/s			8%	9%	10%	11%	15%	20%	31%	63%	83%	86%
Principal	Surface mouillée	% du maximum			67%	67%	68%	68%	70%	71%	73%	80%	86%	91%
Synthèse indicateurs principaux														
Habitat	SPU													
Habitat	Habitats rapides													
Habitat	Surface mouillée													
Résultat														

Figure 61 : Matrice des périodes de transition et de hautes-eaux

7 Synthèse sur les débits biologiques et piézométrie associée

Sont présentés dans ce chapitre les différents éléments de conclusion développés dans les chapitres précédant. Concernant les périodes hydrologiques, les périodes de hautes-eaux et de transition sont regroupées car leurs enjeux se recouvrent temporellement ou sont identiques.

7.1.1 Valeurs des débits biologiques par station d'étude

Les critères ayant menés aux bornes de débit biologique sont synthétisés ci-dessous. Ils tiennent compte des espèces cibles et de l'ensemble des critères (connectivité longitudinale, mise en mouvement du fond, etc...). Sur le Trèfle, les bornes de hautes-eaux et de transition ont été essentiellement guidées par le maintien de l'habitat pour le brochet. Les bornes de basses-eaux ont été guidées par le chabot ou le meilleur compromis piscicole. Les bornes – de basses-eaux des stations de Guimps et de la Cayenne sont particulières et liées à la nature de la station (oxymétrique ou présence d'assec). Ils sont synthétisés ci-dessous.

		Hautes-eaux	Transition	Basses-eaux
Guimps	Borne +			
	Borne -			Maintien de l'oxygénation
Allas-Champagne	Borne +	80 % de la SPU max pour le brochet		Valeur basse du meilleur compromis piscicole
	Borne -	Stabilité de l'habitat du brochet pour recolonisation		80 % de la SPU de référence pour le chabot
La Cayenne	Borne +	80 % de la SPU max pour le brochet		80 % de la SPU max pour le chabot
	Borne -	90 % de la SPU de référence pour le brochet		Assec : seuil piézométrique

Figure 62 : Tableau de synthèse des critères

Les valeurs de l'ensemble des stations sont présentées et comparées. Pour faciliter l'analyse elles sont transformées en débit spécifique (l/s/km²) au prorata de leur bassin versant. Exemple : le bassin versant intercepté par la station d'Allas-Champagne est égal à 93 km². Sa « borne + » en basses-eaux étant de 580 l/s, le débit spécifique pour cette borne est de $580 \div 93 = 6,2$ l/s/km².

	Hiver			Printemps			Eté			Automne		
	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
en L/s	Hautes-eaux						Période de transition	Basses-eaux			Période de transition	Hautes-eaux
Guimps	Borne +											
	Borne -							5				
DMB	Borne +	580						60			580	
	Borne -	200						33			200	
Assec	Borne +	650						220			650	
	Borne -	450						seuil piézométrique			450	

	Hautes-eaux						Période de transition	Basses-eaux	Période de transition	Hautes-eaux		
	en L/s/km2											
Guimps	Borne +							-	-	-		
	Borne -							-	0.1	-		
DMB	Borne +	6.2						0.6			6.2	
	Borne -	2.2						0.4			2.2	
Assec	Borne +	2.4						0.8			2.4	
	Borne -	1.7									1.7	

Figure 63 : Tableau de synthèse des bornes de débits biologiques par périodes hydrologiques

Enfin, les bornes peuvent être visualisées « géographiquement » sur les cartes ci-dessous.

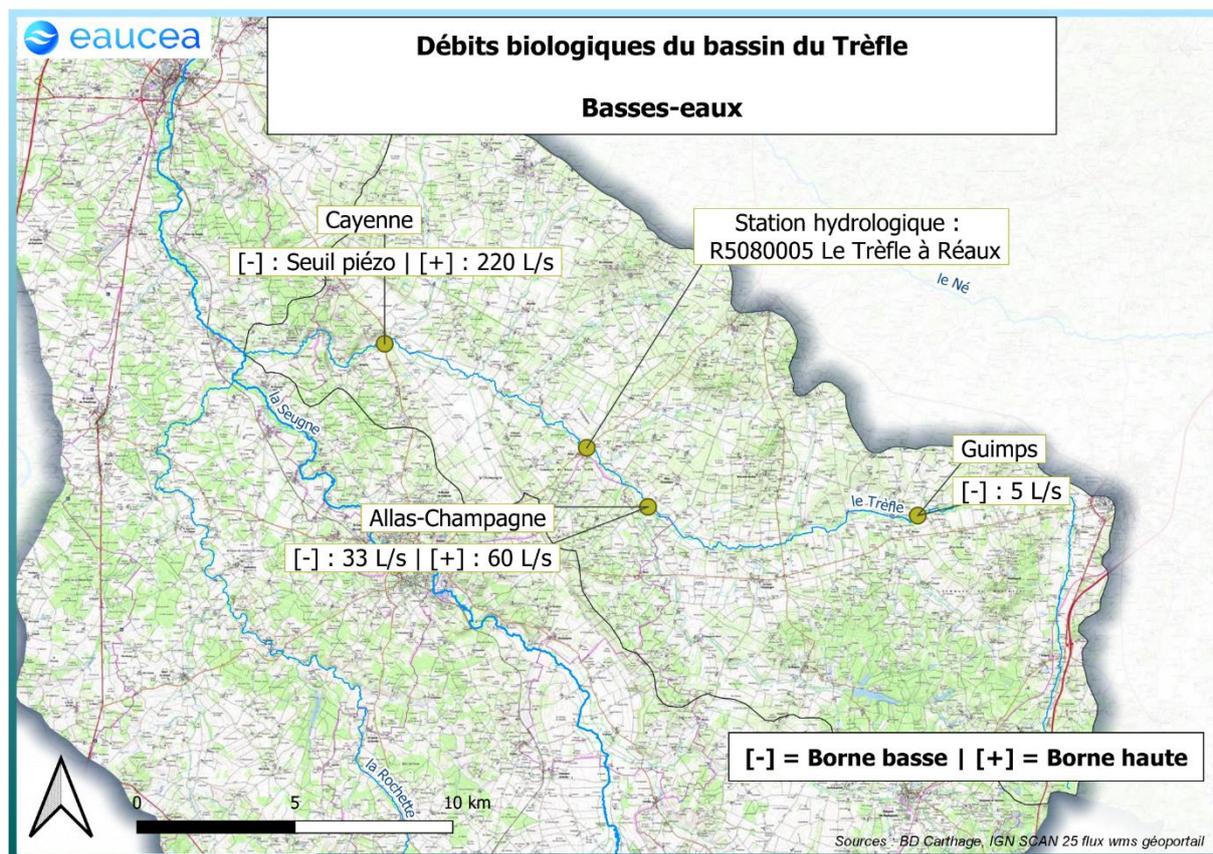


Figure 64 : Bornes de basses-eaux positionnées aux stations de débits biologiques

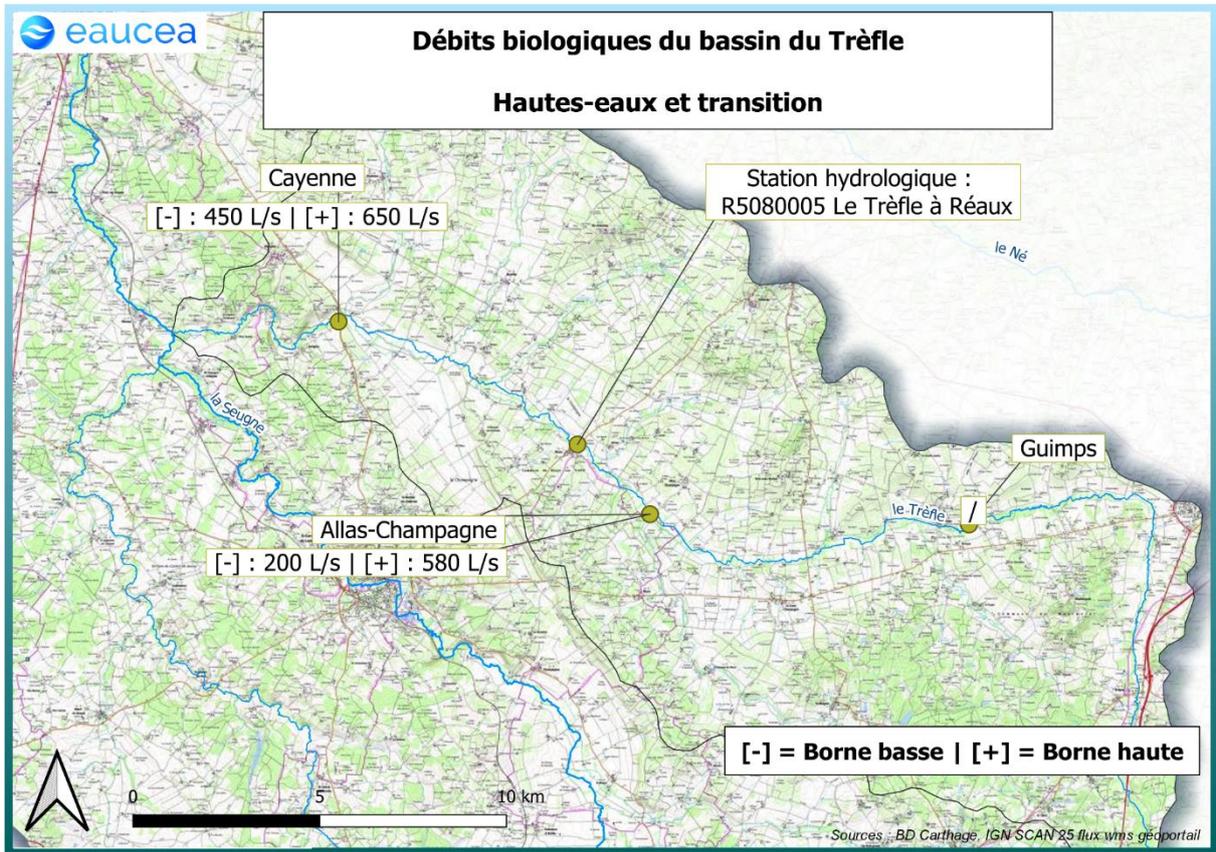


Figure 65 : Bornes de hautes-eaux et de transition positionnées aux stations de débits biologiques

7.1.2 Transposition des valeurs de débits biologique

Hydrométrie

Pour le Trèfle, le pilotage par les débits paraît suffisant à partir de la station « R5080005 - Le Trèfle à Réaux ». Le principe de passage de la station « débit biologique » à la station « hydrométrique » est la pondération par le rapport de bassin versant en utilisant le débit spécifique de la borne choisie et en le multipliant par le bassin versant intercepté par la station hydrométrique.

Les bornes sélectionnées pour la période hautes-eaux et de transition sont la borne haute d'Allas-Champagne et un compromis entre les deux bornes basses pour la borne basse car elles garantissent un bon maintien de l'habitat pour le brochet. Les bornes de basses eaux sont la borne basse à Allas-Champagne pour le maintien des habitats de toutes les espèces et un compromis entre les deux bornes hautes pour la borne haute.

La traduction des valeurs de débits biologiques est présentée dans le tableau ci-dessous.

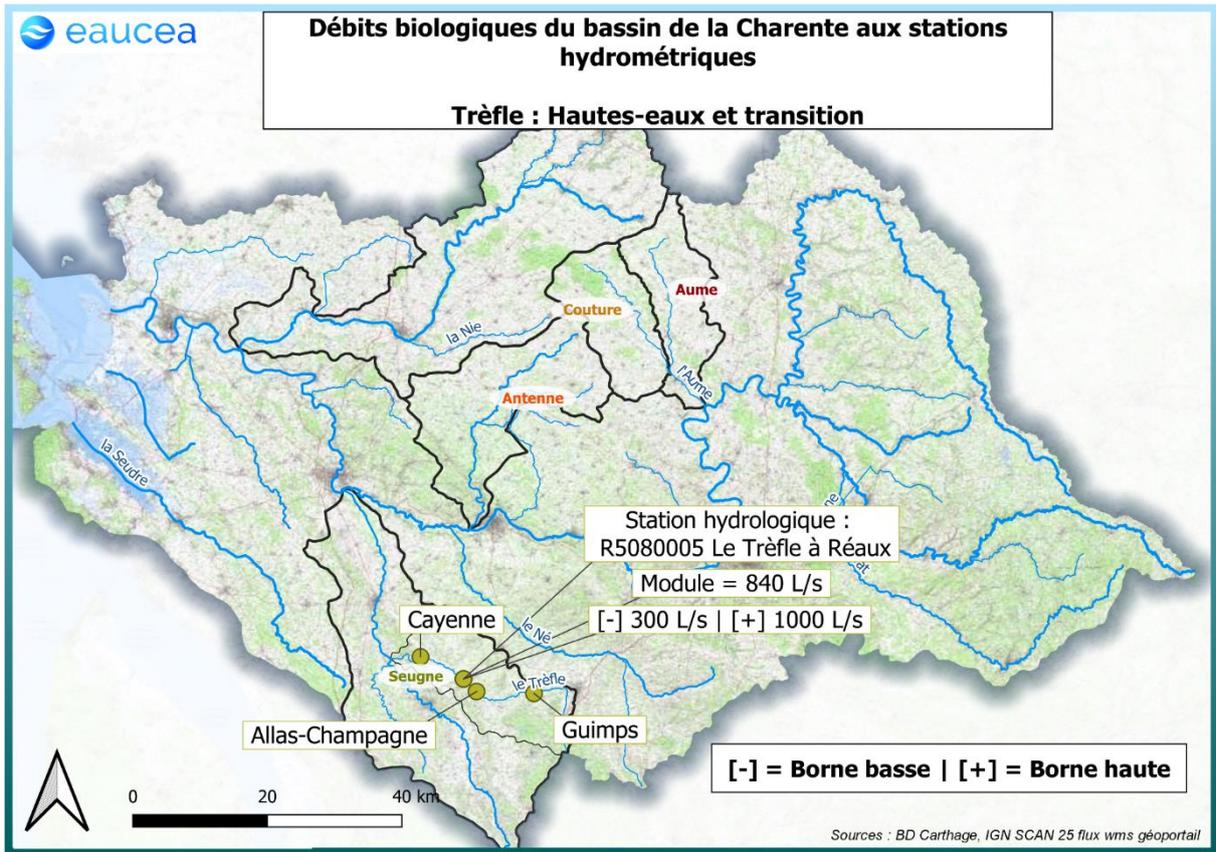


Figure 67 : Bornes de hautes-eaux et de transition à la station hydrométrique

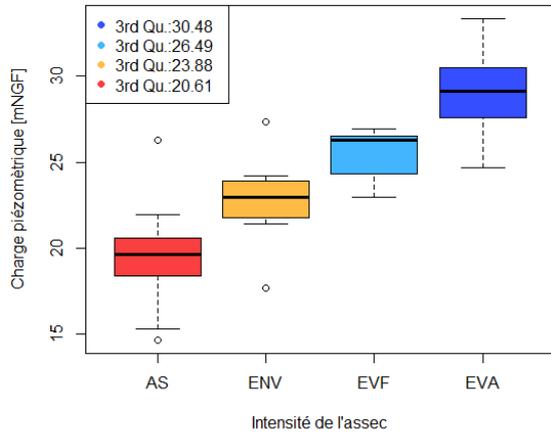
Piézométrie

L'exploitation des données piézométriques vient compléter les objectifs précédents, pour prévenir les épisodes d'assec total sur le cours aval du Trèfle. Pour un suivi à distance, les piézomètres 07325X0018/F, situé à Champagnac, et le piézomètre 07314X0011/S, situé à Neuillac peuvent servir de référence.

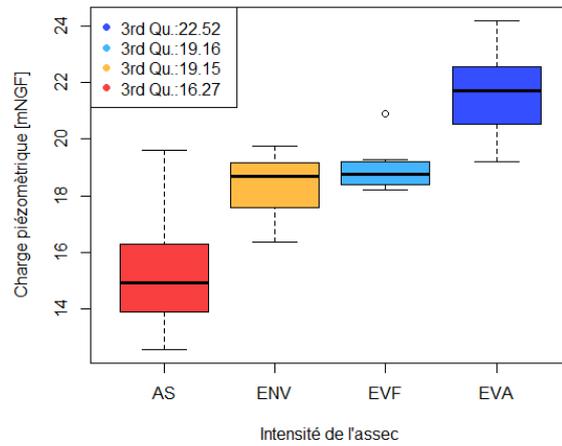
Le seuil de rupture d'écoulement, assec ou écoulement non visible, sur le secteur soumis au assec est atteint pour un seuil de 23,88 m NGF à Champagnac et pour un seuil de 19,15 m NGF à Neuillac. La position de ces piézomètres est visible sur la carte ci-dessous.

Ce dispositif de suivi a été complété par une sonde limnimétrique télétransmise a été installée au Pont d'Usseau à environ 100 m de la station « assec » de La Cayenne. Les données enregistrées par cette station constituent une référence piézométrique de proximité qui permettra de préciser la relation statistique calculée avec les deux piézomètres distants précédents. En effet une certaine incertitude subsiste comme le montre l'écart représenté dans la boîte à moustache rouge des deux piézomètres (environ 2 m dans les deux cas). Rappelons que nous avons présélectionné la valeur haute de la piézométrie pour proposer « une » valeur seuil de précaution : Le 3eme quartile est la valeur de charge piézométrique qui est supérieure ou égale à au moins 75% des charges composant la série statistique.

Piézomètre 07325X0018/F



Piézomètre 07314X0011/S



Le niveau du piézomètre installé dans le cadre de l'étude doit être très proche du niveau du plan d'eau libre de la rivière Trèfle et permet de mesurer l'enfoncement des écoulements souterrains vis-à-vis du lit de surface. L'observation des assec nous donnera aussi une information importante sur le :

Débit minimum des pertes du Trèfle aval \geq débit mesuré station SPC en assec. L'exploitation de ces données nécessitent cependant une période d'enregistrement de plusieurs années.

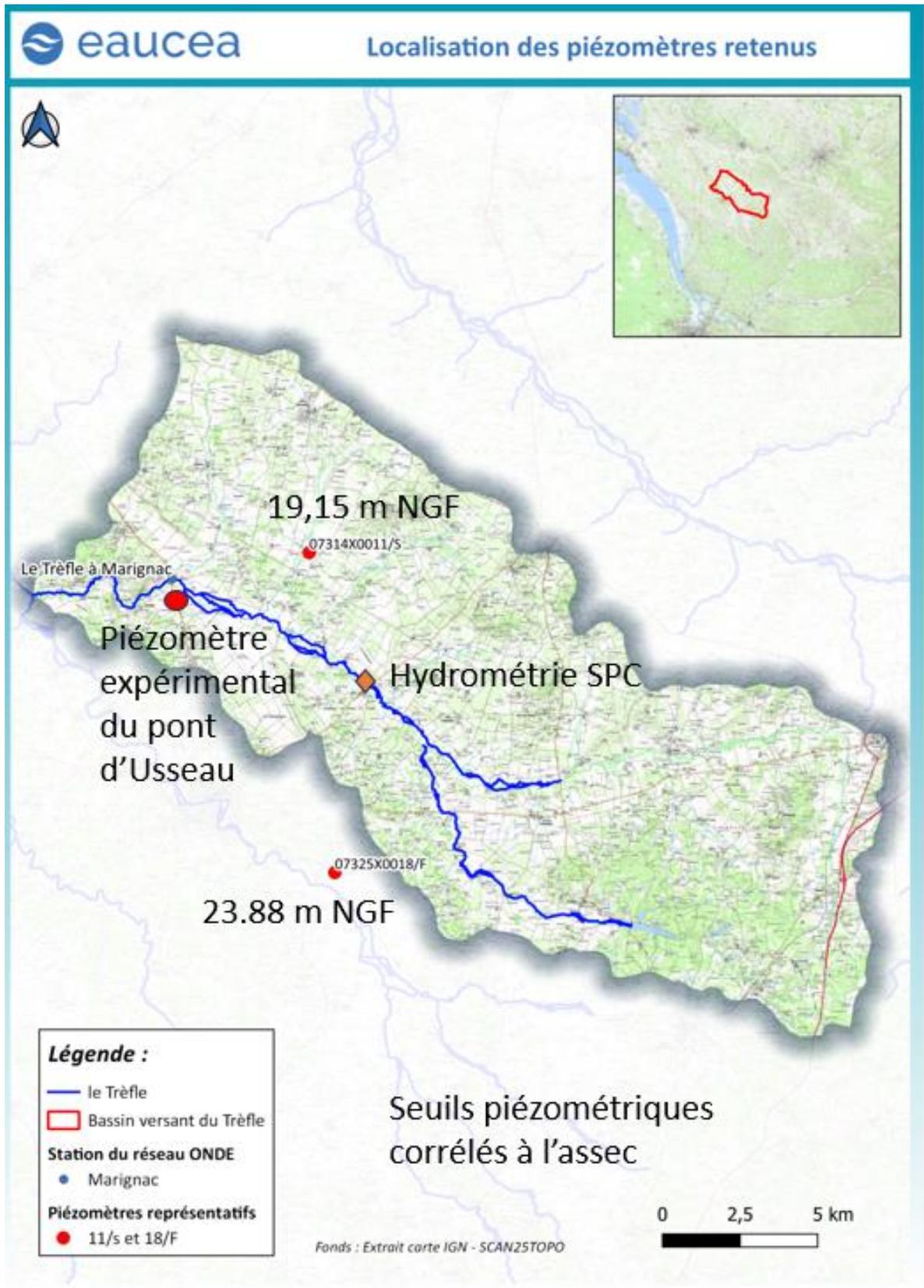


Figure 68 : Position des piézomètres de référence pour les assecs.