



72 rue Riquet – Bat A

31000 Toulouse

Tél : 05 61 62 50 68

Etude de la valeur des débits biologiques sur le Trèfle

Territoire du SAGE Charente

**ESTIMATION DES DEBITS
BIOLOGIQUES**

LOT 1

**Tranche
optionnelle 1.4**



VERSION

Février 2023

TABLE DES MATIERES

1	POSITIONNEMENT DES STATIONS « DEBITS BIOLOGIQUES »	8
2	METHODOLOGIE	9
3	CHOIX DES DEBITS : FREQUENCE ET SAISONNALITE	11
3.1	Méthode	11
3.2	Résultats	14
3.3	Choix des 4 saisons hydrologiques	17
4	ETUDE DES DEBITS BIOLOGIQUES DU TREFLE – STATION SEUIL	21
4.1	Paramètres physiques de la station et modélisation hydraulique	21
	Description de la station	21
	Modélisation hydraulique de la station	23
	Exploitation des résultats	25
4.2	Oxygénation de la station	26
	Points de qualités réalisés	26
	Analyse des profils verticaux de l’oxygène et relation avec le débit	26
5	ETUDE DES DEBITS BIOLOGIQUES DU TREFLE – STATION DMB D’ALLAS CHAMPAGNE	30
5.1	Paramètres physiques de la station et modélisation hydraulique	30
	Description de la station	30
	Modélisation hydraulique de la station	33
	Exploitation des résultats	36
5.2	Variables physiques débit-dépendantes (toutes saisons)	37
	Surface mouillée	37
	Granulométrie de la station	38
	Profondeur	39
	Vitesse d’écoulement	40
5.3	Capacité d’auto-entretien des faciès du cours d’eau (saison de hautes-eaux)	42
5.4	Connectivité longitudinale (toutes saisons)	45
5.5	Valeurs d’habitats et surfaces pondérées utiles	47
	Courbes d’évolutions avec le débit jusqu’au débordement	47
	Saisonnalités	49
	5.5.1 Synthèse	53
5.6	Conclusion concernant les débits biologiques de la station DMB	53
6	ETUDE DES DEBITS BIOLOGIQUES DU TREFLE – STATION ASSEC	55
6.1	Paramètres physiques de la station et modélisation hydraulique	55
	Description de la station	55
	Modélisation hydraulique de la station	57
	Exploitation des résultats	61
6.2	Variables physiques débit-dépendantes (toutes saisons)	61
	Surface mouillée	61
	Granulométrie de la station	62
	Profondeur	63
	Vitesse d’écoulement	64
6.3	Capacité d’auto-entretien des faciès du cours d’eau (saison de hautes-eaux)	66
6.4	Connectivité longitudinale (toutes saisons)	70
6.5	Valeurs d’habitats et surfaces pondérées utiles	72
	Courbes d’évolutions avec le débit jusqu’au débordement	72
	Saisonnalités	74
	6.5.1 Synthèse	78
6.6	Conclusion concernant les débits biologiques de la station Assec	78
7	SYNTHESE SUR LES DEBITS BIOLOGIQUES ETIAGE ET HORS ETIAGE ET PIEZOMETRIE ASSOCIEE	82

7.1	Débits biologiques des stations.....	82
7.2	Piézométrie associée (à venir).....	82
8	BIBLIOGRAPHIE.....	83
9	ANNEXES.....	84
9.1	Annexe 1 : Tableau des différentes espèces-cibles validées en COPIL par bassin.....	84
9.2	Annexe 2 : Habitat des invertébrés.....	85

Figure 1 : Stations du bassin du Trèfle	8
Figure 3: Hydrogrammes observés aux stations du Trèfle à Réaux et de la Seugne à Saint-Germain-de-Lusignan	11
Figure 4: Hydrogrammes observés aux stations du Trèfle à Réaux et de la Seugne à Saint-Germain-de-Lusignan – zoom basses eaux.....	12
Figure 5: Relation entre les débits moyens mensuels des stations du Trèfle à Réaux et de la Seugne à Saint-Germain-de-Lusignan	12
Figure 6 : Débits moyens mensuels mesurés et reconstitués du Trèfle.....	14
Figure 7: Courbe des débits journaliers classés du Trèfle à Allas-Champagne	15
Figure 8: Courbe des débits journaliers classés du Trèfle à la Cayenne (Pont d’Usseau)	15
Figure 9: Courbe des débits journaliers classés en période de hautes-eaux du Trèfle à la Cayenne (Pont d’Usseau).....	15
Figure 10: Débits caractéristiques mensualisés à la station DMB Allas Champagne	16
Figure 11: Débits caractéristiques mensualisés à la station DMB Assec.....	17
Figure 12 : Débits mensuels statistiques et débits classés du Trèfle – Station DMB Alals Champagne.....	18
Figure 13 : Débits mensuels statistiques et débits classés du Trèfle – Station Assec	18
Figure 14 : Position des transects de mesure de la station.....	22
Figure 15 : Discrétisation topographique de la station modélisée	24
Figure 16 : Profils réalisés à Guimps pour un débit de 7 l/s.....	26
Figure 17 : 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).....	28
Figure 18 : Position des transects de mesure de la station DMB.....	31
Figure 19 : Maillage de calcul et topographie de la station de DMB - Trèfle	34
Figure 20 : Faciès d’écoulements du modèle (fidèles aux observations de terrain) et profondeur (en mètre) ...	35
Figure 21 : Profil en long de la station et comparaison des niveaux d’eaux simulé et mesuré	36
Figure 22: Evolution de la surface mouillée sur la station DMB	37
Figure 23: Carte des substrats sur la station DMB	38
Figure 24: Evolution des profondeurs sur la station DMB	39
Figure 25: Evolution des vitesses d’écoulements sur la station DMB	40
Figure 26: Carte des habitats courants sur la station DMB.....	41
Figure 27 : Mise en mouvement des particules sur la station DMB	44
Figure 28: Connectivité de la station DMB avec un seuil à 5 cm de hauteur d’eau.....	45
Figure 29: Connectivité de la station DMB pour un seuil de 10 cm de hauteur d’eau	46
Figure 30: Valeurs d’habitat des différents stades du brochet, du vairon et du chabot de la station DMB.....	47
Figure 31: Surfaces pondérées utiles des différents stades du brochet, du vairon et du chabot de la station DMB	48
Figure 32 : Evolution temporelle des surfaces pondérées utile du brochet, calendrier biologique et hydrologique	50
Figure 33 : Evolution temporelle des surfaces pondérées utile du chabot, calendrier biologique et hydrologique	51
Figure 34: Evolution des surfaces pondérées utiles du vairon suivant le cycle annuel et calendrier biologique .	52
Figure 35 : Matrice période de basses-eaux	53
Figure 36 : Matrice des périodes de transition	54
Figure 37 : Matrice de la période de hautes-eaux.	54
Figure 38 : Position des transects de mesure de la station Assec.....	55
Figure 39 : Maillage de calcul et topographie de la station de Assec - Trèfle.....	58
Figure 40 : Faciès d’écoulements du modèle (fidèles aux observations de terrain) et profondeur (en mètre) ...	59
Figure 41 : Profil en long de la station et comparaison des niveaux d’eaux simulé et mesuré	60
Figure 42: Evolution de la surface mouillée sur la station Assec	61
Figure 43: Carte des substrats sur la station Assec.....	62
Figure 44: Evolution des profondeurs sur la station Assec	63
Figure 45: Evolution des vitesses d’écoulements sur la station Assec.....	64
Figure 46: Carte des habitats courants sur la station Assec.....	65
Figure 47 : Mise en mouvement des particules sur la station Assec	69
Figure 48: Connectivité de la station Assec avec un seuil à 5 cm de hauteur d’eau.....	70

Figure 49: Connectivité de la station Assec pour un seuil de 10 cm de hauteur d'eau	71
Figure 50: Valeurs d'habitat des différents stades du brochet, du viron et du chabot de la station DMB.....	72
Figure 51: Surfaces pondérées utiles des différents stades du brochet, du viron et du chabot de la station DMB	73
Figure 52 : Evolution temporelle des surfaces pondérées utile du brochet, calendrier biologique et hydrologique	75
Figure 53 : Evolution temporelle des surfaces pondérées utile du chabot, calendrier biologique et hydrologique	76
Figure 54: Evolution des surfaces pondérées utiles du viron suivant le cycle annuel et calendrier biologique .	77
Figure 55 : Matrice période de basses-eaux	78
Figure 56 : Matrice des périodes de transition	79
Figure 57 : Matrice de la période de hautes-eaux.	80

1 POSITIONNEMENT DES STATIONS « DEBITS BIOLOGIQUES »

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

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

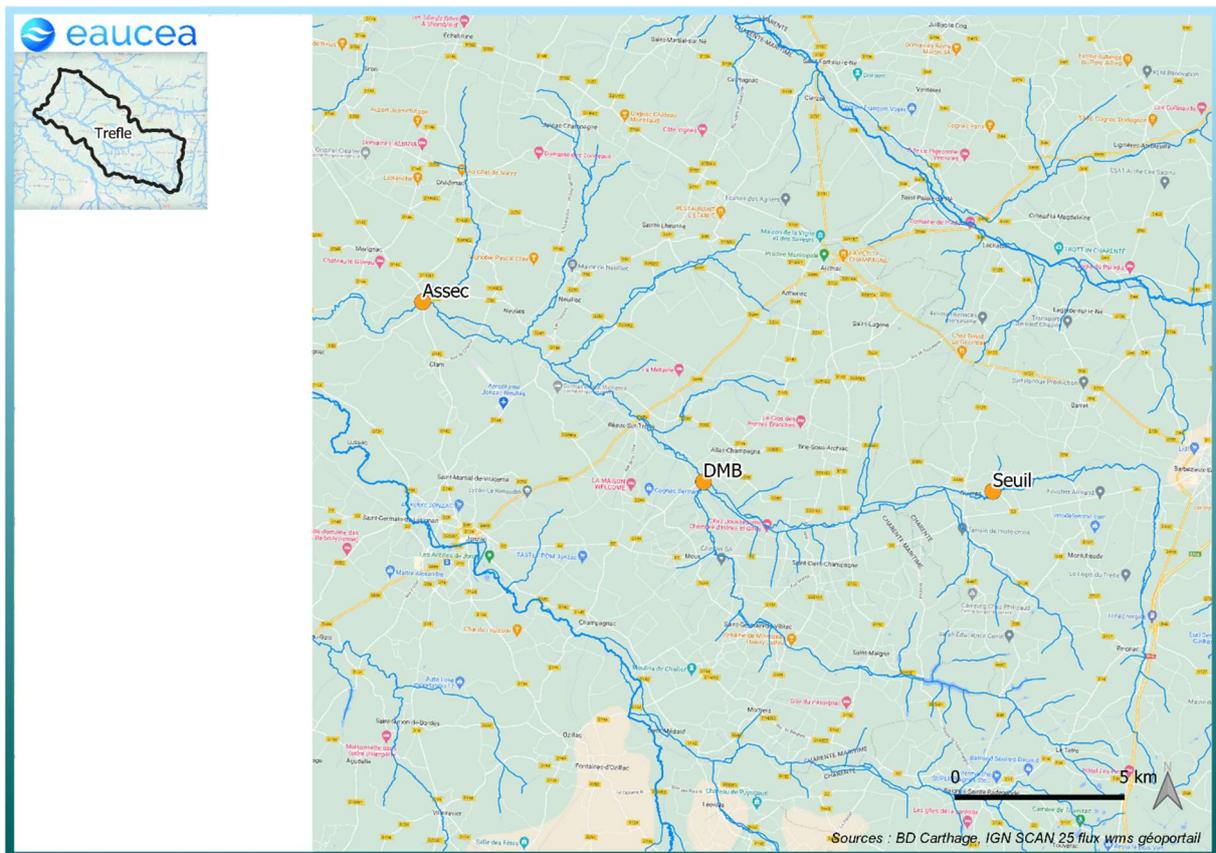


Figure 1 : Stations du bassin du Trèfle

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'été 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 saisonnalisés.

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 SAISONNALITE

3.1 Méthode

Le choix des débits étudiés doit permettre de couvrir à la fois l'étiage mais aussi le cycle annuel. Pour approcher la saisonnalité 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 R508000501 - 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).

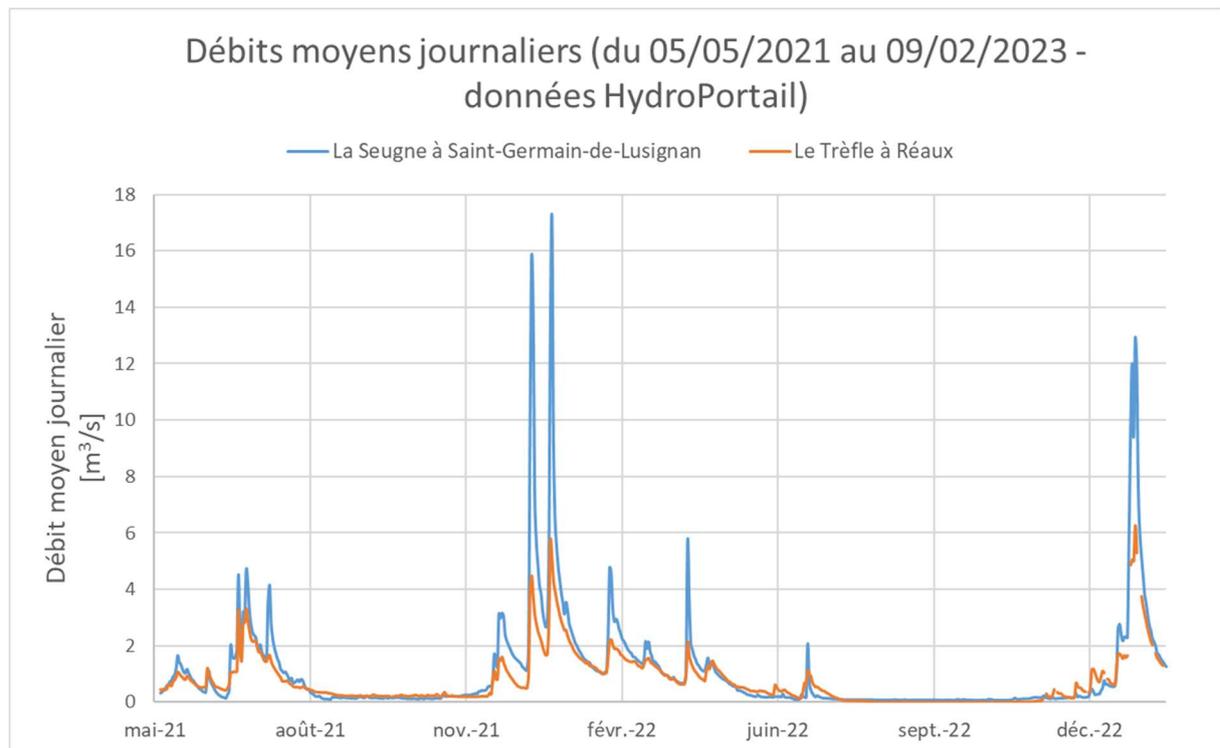


Figure 2: Hydrogrammes observés aux stations du Trèfle à Réaux et de la Seugne à Saint-Germain-de-Lusignan

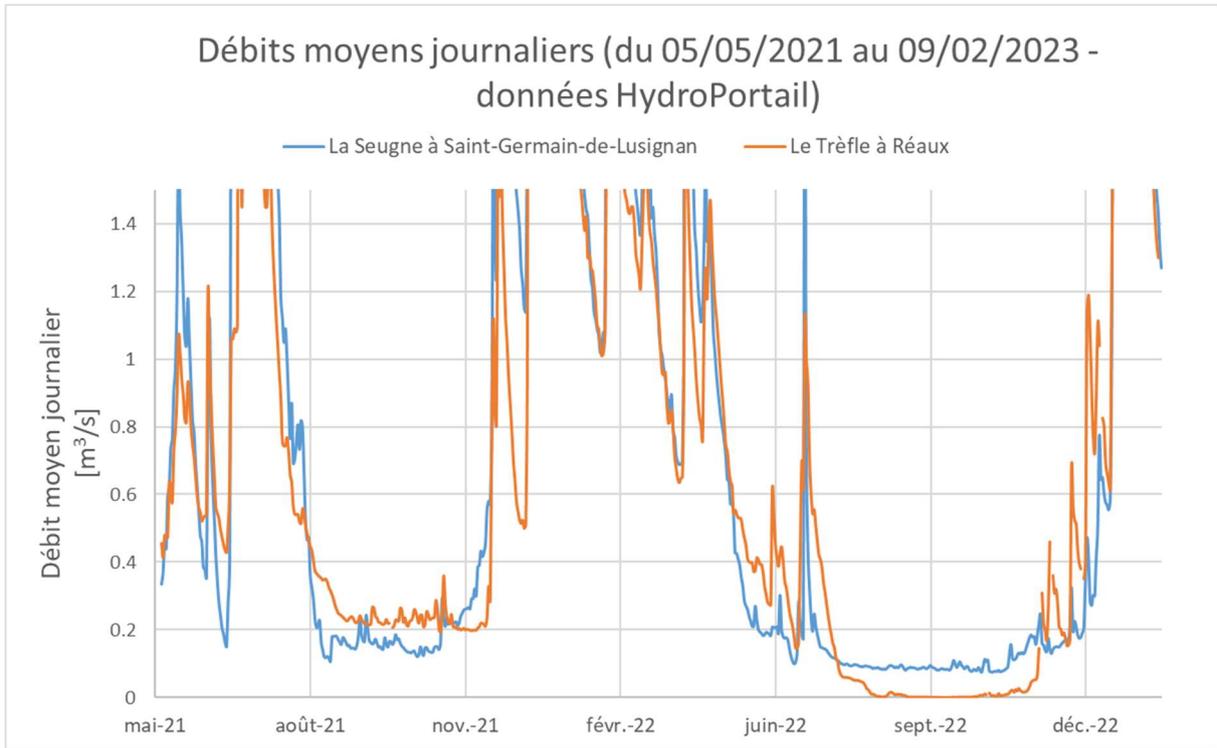


Figure 3: Hydrogrammes observés aux stations du Trèfle à Réaux et de la Seugne à Saint-Germain-de-Lusignan – zoom basses eaux

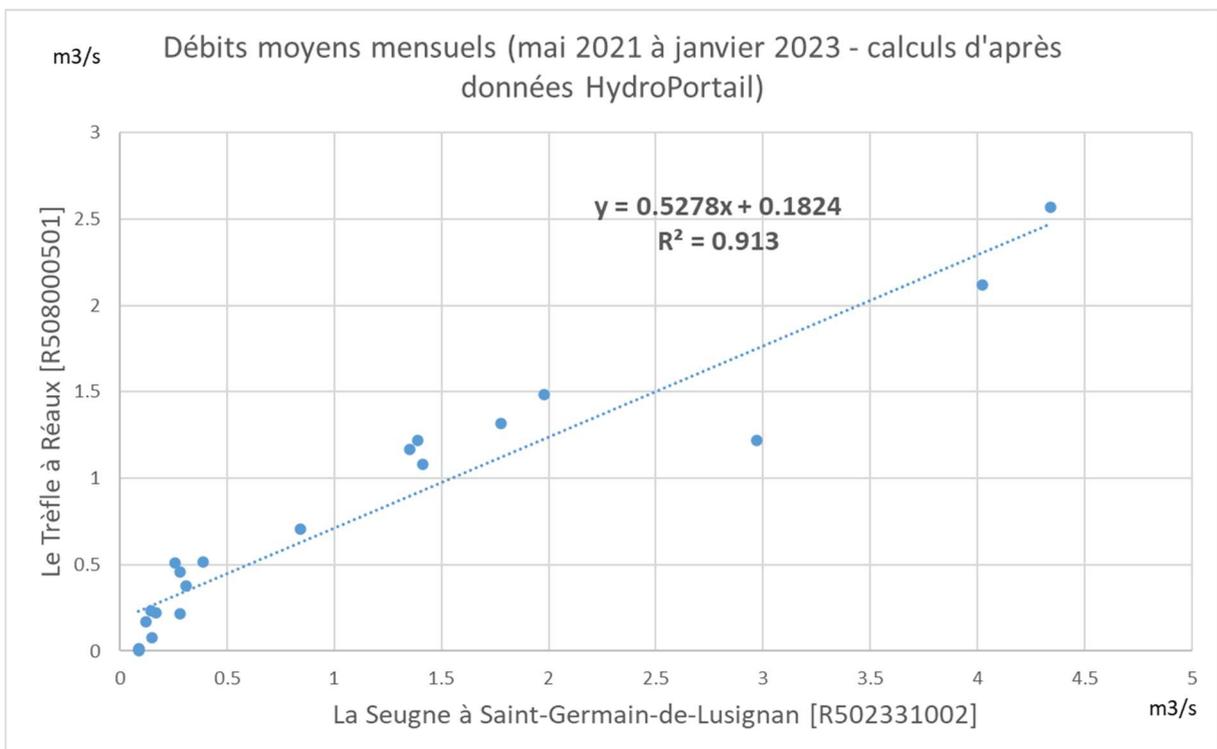


Figure 4: Relation entre les débits moyens mensuels des stations du Trèfle à Réaux et de la Seugne à Saint-Germain-de-Lusignan

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'assec, moins fréquents à l'amont (mais possibles malgré tout comme le montre la chronique du Trèfle à Réaux sur l'étiage 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 dénoisement 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 200L/s à 400L/s en étiage. 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

		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)

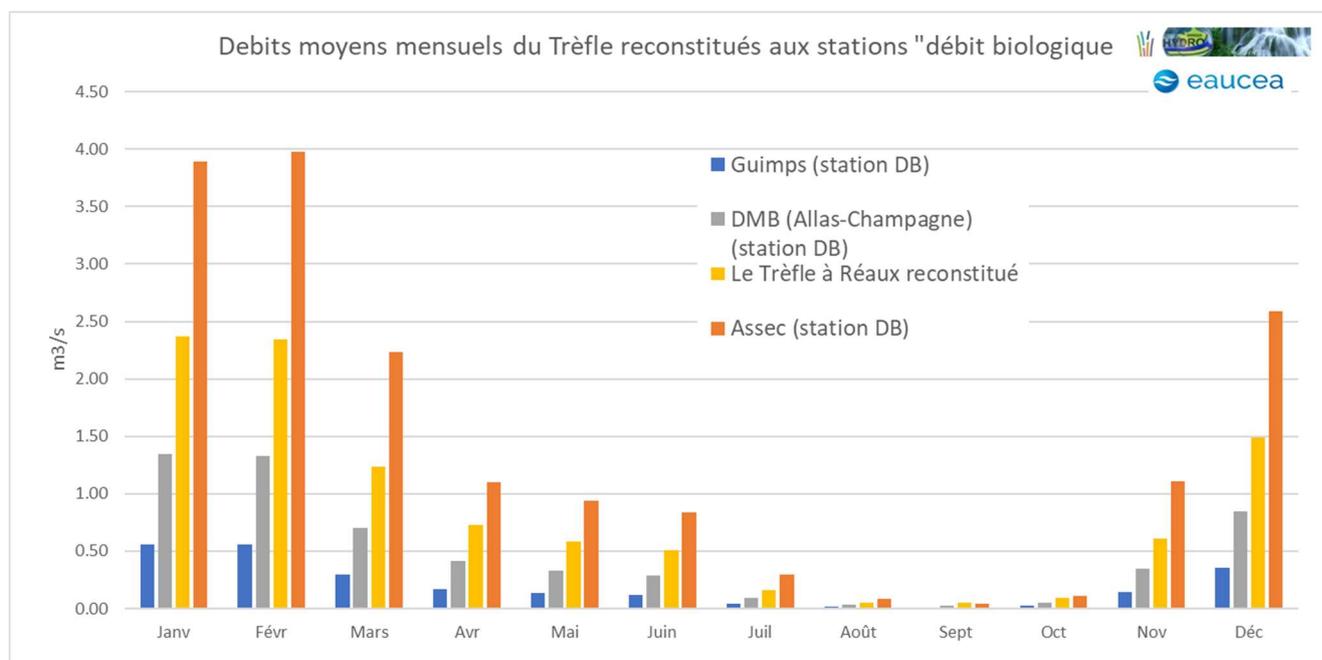


Figure 5 : Débits moyens mensuels mesurés et reconstitués du Trèfle

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 l'étiage et les hautes eaux, les occurrences 75% (basse eau), 50% (médiane), 25% (hautes eaux et valeur proche du module) ont été estimées.

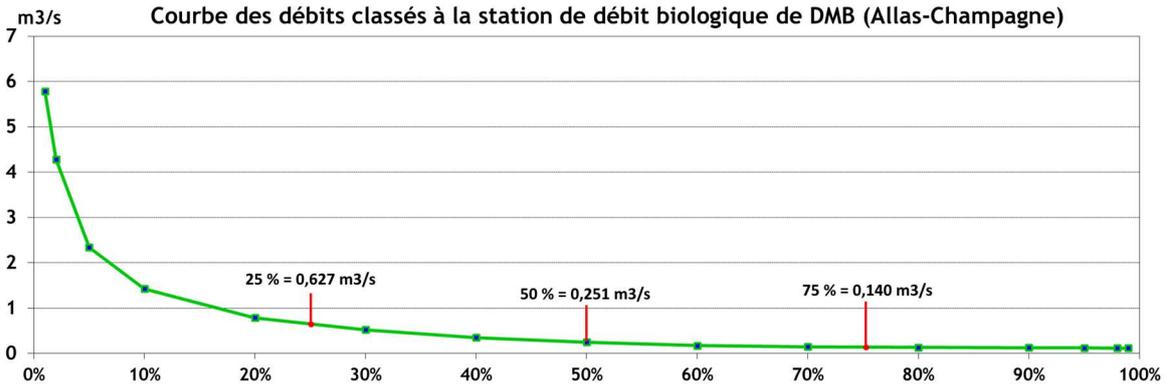


Figure 6: Courbe des débits journaliers classés du Trèfle à Allas-Champagne

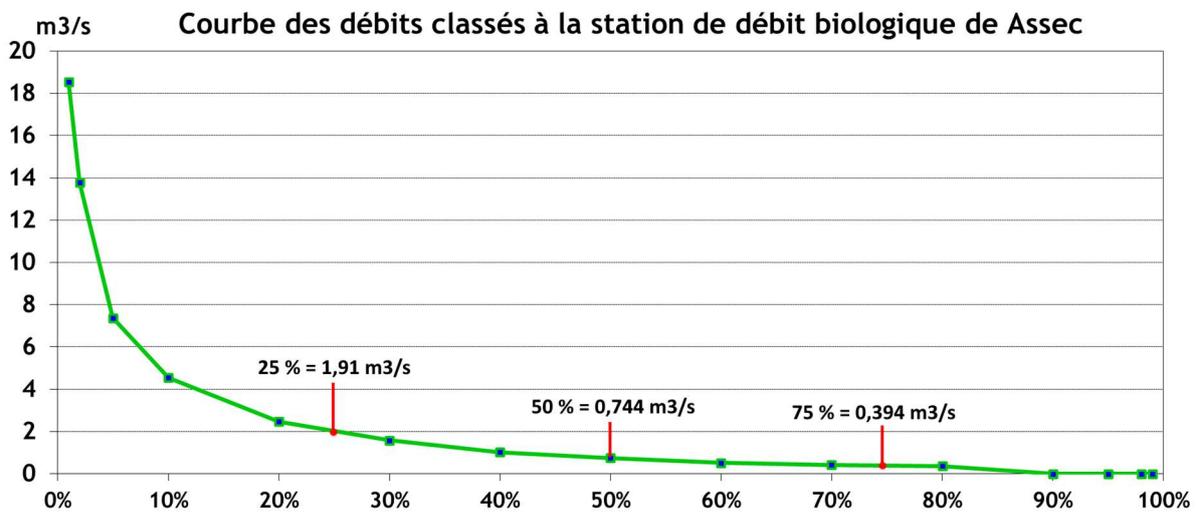


Figure 7: Courbe des débits journaliers classés du Trèfle à la Cayenne (Pont d'Usseau)

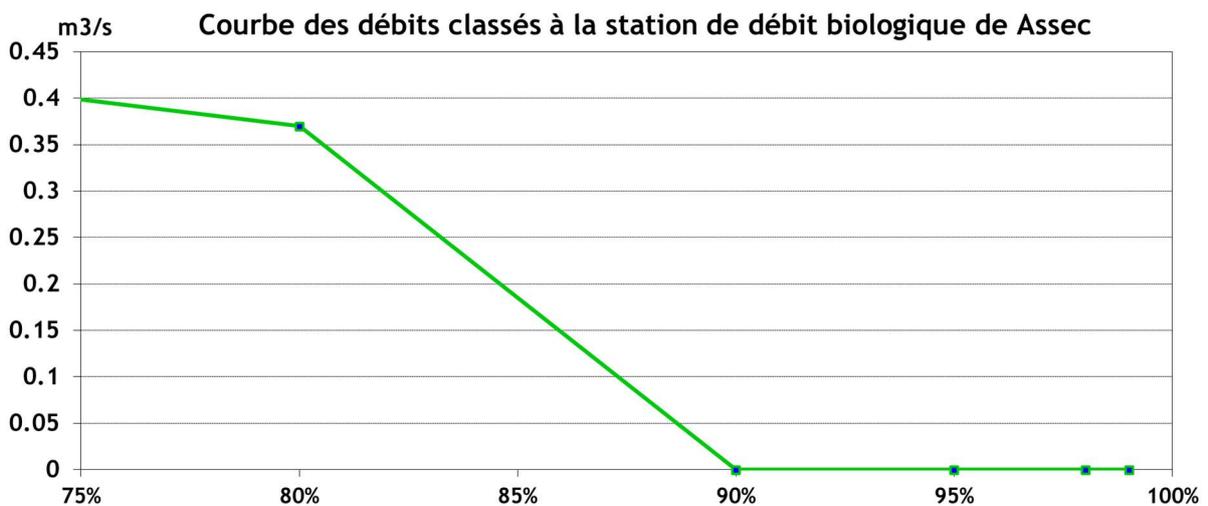


Figure 8: Courbe des débits journaliers classés en période de hautes-eaux du Trèfle à la Cayenne (Pont d'Usseau)

Pour les stations de débits biologiques, ils sont calculés au prorata du bassin versant bien qu'en étiage sévère avec des valeurs de quelques litres par seconde, les apports de la nappe ne peuvent être décrits simplement et il faut garder à l'esprit le caractère très incertains de cette estimation. Comme visible sur les courbes ci-dessus, la station Assec serait en assec 10 % du temps.

	DMB (en m3/s)	Assec (en m3/s)
Occurrence 25%	0,14	0,394
Occurrence 50%	0,251	0,744
Occurrence 75%	0,627	1,91

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.

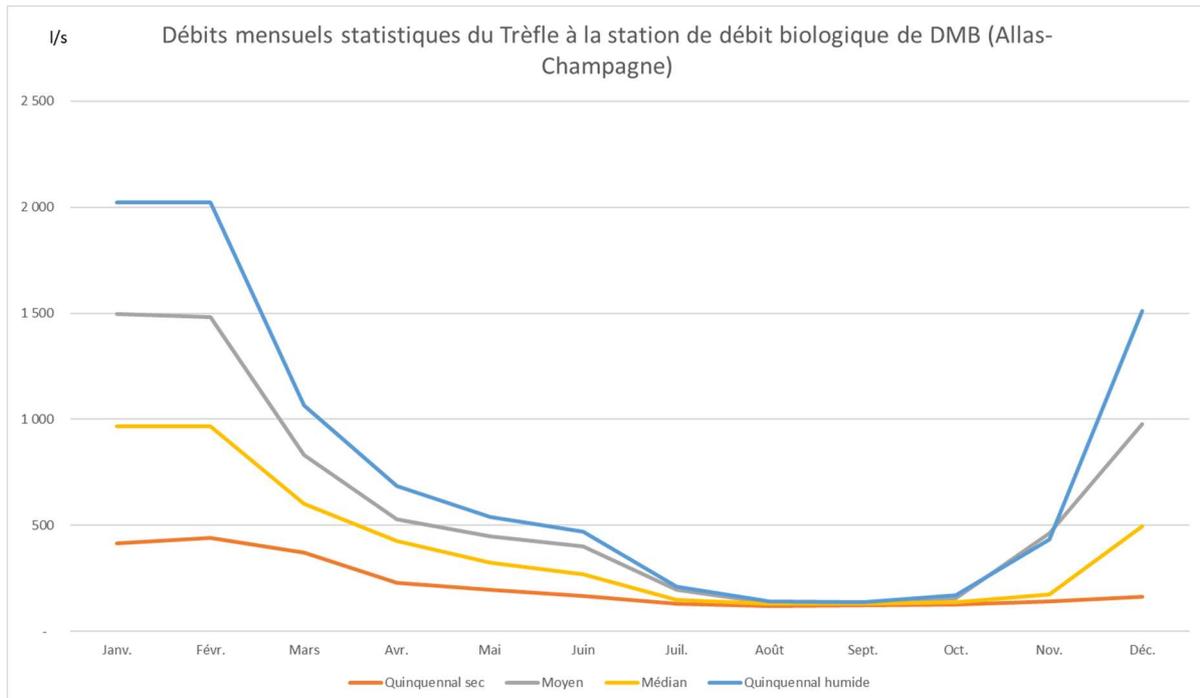


Figure 9: Débits caractéristiques mensualisés à la station DMB Allas Champagne

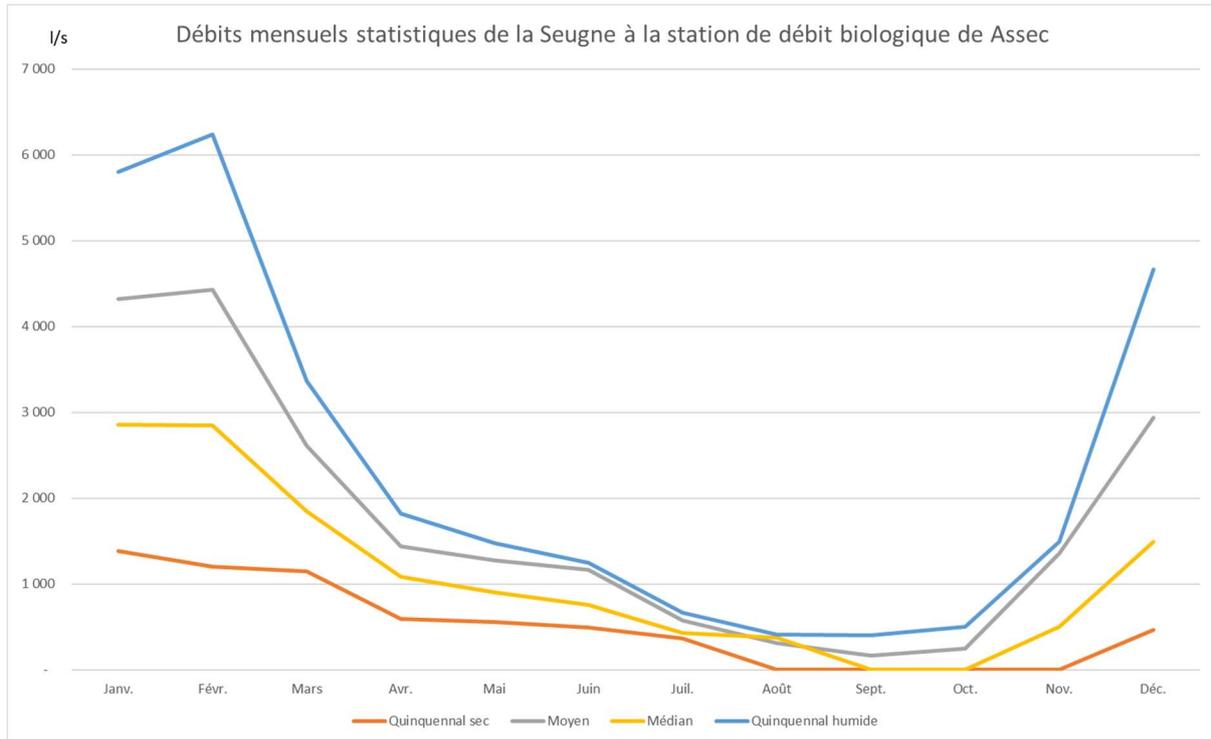


Figure 10: Débits caractéristiques mensualisés à la station DMB Assec

Les valeurs à chaque station sont calculées selon la méthodologie présentée en introduction.

3.3 Choix des 4 saisons hydrologiques

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

Ces quatre périodes correspondront à :

- une saison 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 saison 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 saison de basses-eaux, où les enjeux d'habitat (y compris rhéophile) et de connectivité (circulation des poissons) seront analysés ;
- une saison de transition avec des débits augmentant, où les mêmes enjeux que pour les deux saisons précédentes seront analysés.

Au regard de l'hydrologie, la saison 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 140 l/s à Allas-Champagne et 394 l/s à la Cayenne. En hydrologie médiane, cette période s'étend d'août à octobre compris. Les saisons de

transition (entre 75% et 50%) sont très réduites avec une augmentation rapide des débits en novembre. La saison d'eaux moyennes et de hautes eaux (débit dépassé 50% du temps) s'observe de décembre à juin compris. Enfin, la saison de transition printanière correspond au mois de juillet.

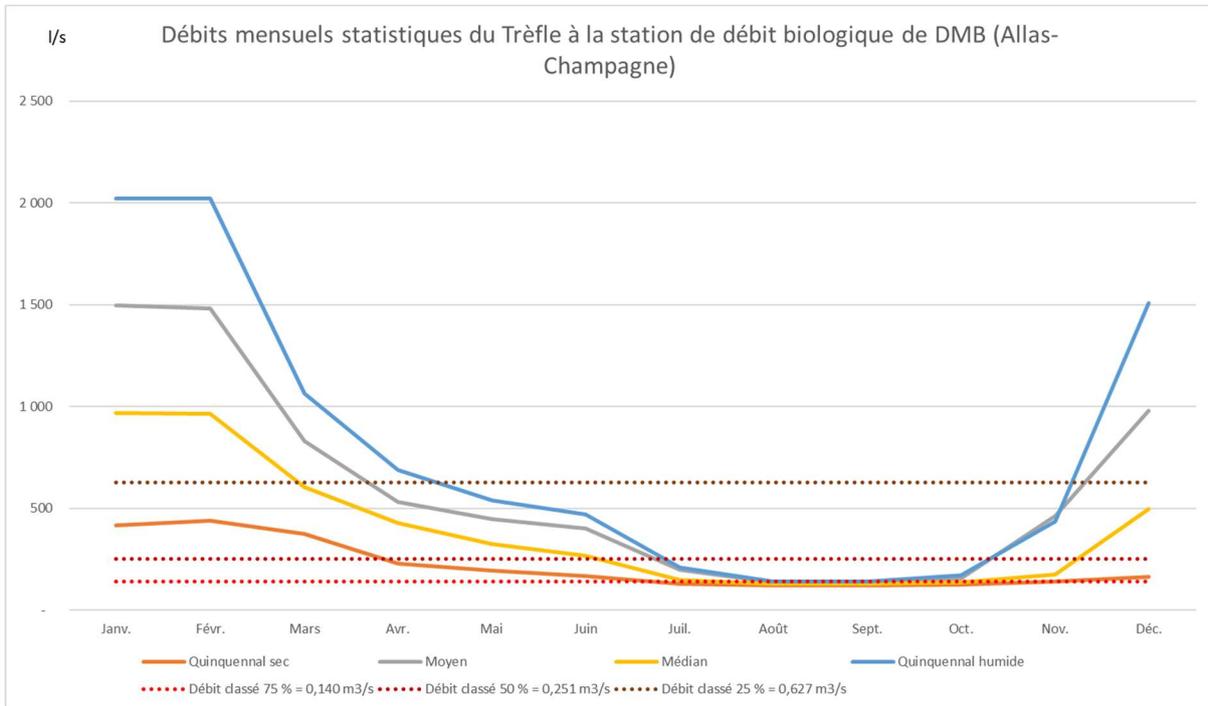


Figure 11 : Débits mensuels statistiques et débits classés du Trèfle – Station DMB Alals Champagne

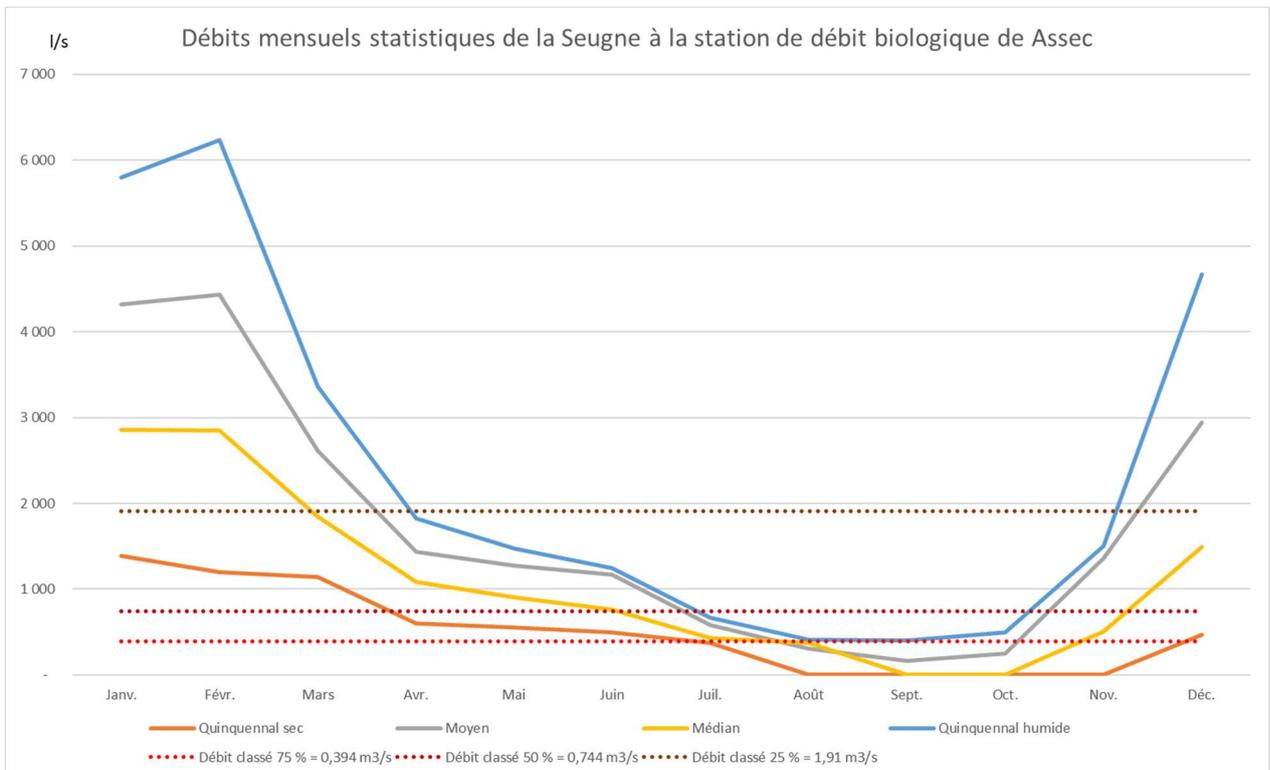


Figure 12 : Débits mensuels statistiques et débits classés du Trèfle – Station Assec

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

Espèce	Hiver			Printemps			Été			Automne		
	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septemb	Octobre	Novembre	Décembr
	Hautes-eaux											
Brochet (<i>Esox lucius</i>)		Migration	Ponte/ Maturation	Emergence alevin	Développement	Migration	Basses-eaux					
Chabot (<i>Cottus gobio</i>)				Reproduction		Emergence						Maturation
Vairon (<i>Phoxinus phoxinus</i>)						Reproduction						

La saison 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.

Le calendrier des différentes périodes d'analyse est donc :

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

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 DMB pour différentes conditions de débits.

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.

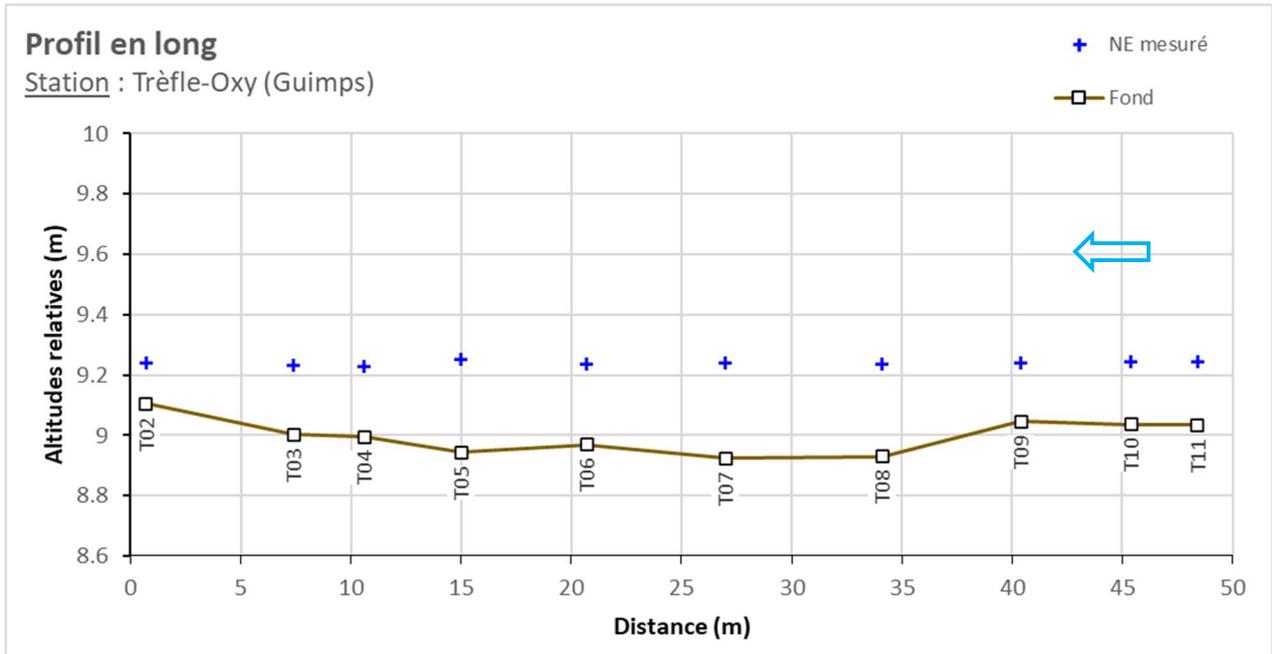
La venue sur site a permis la prise de mesure suivantes le long de la station :

- 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 entre l'amont et le profil 2 induisant le contrôle vers l'amont :



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.

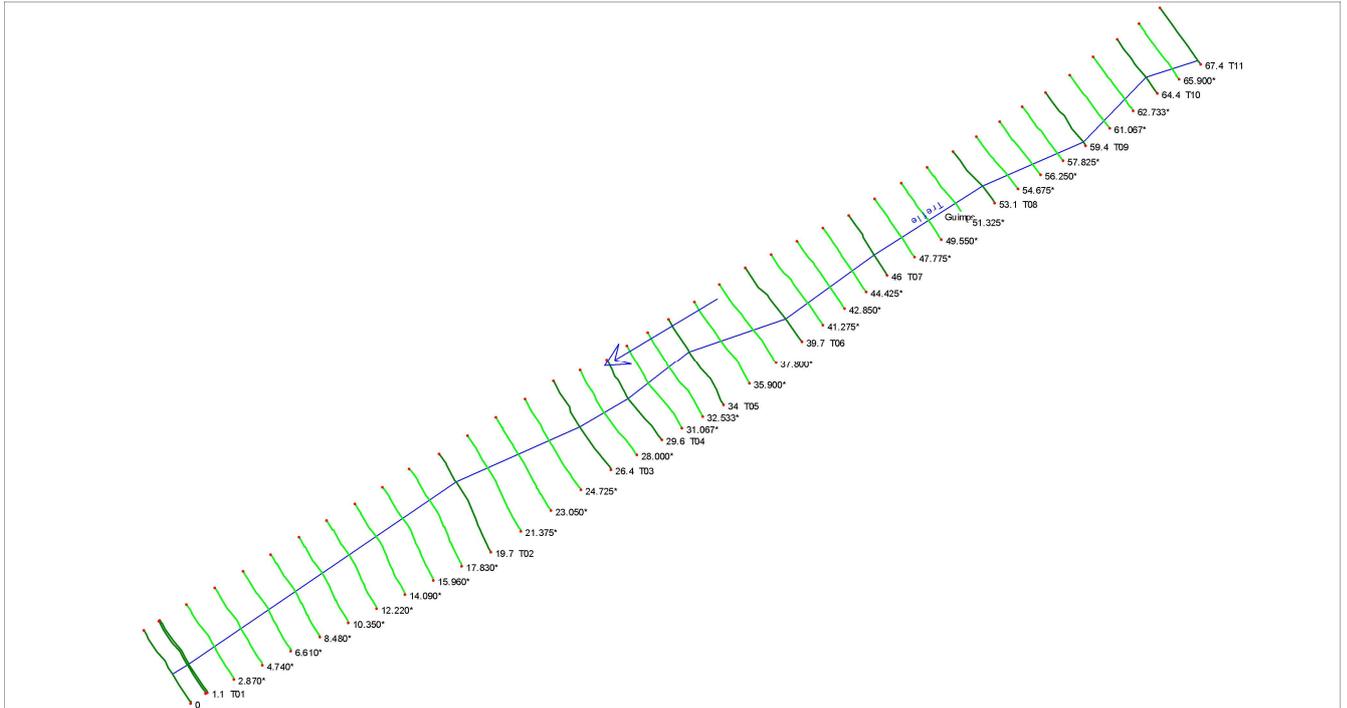
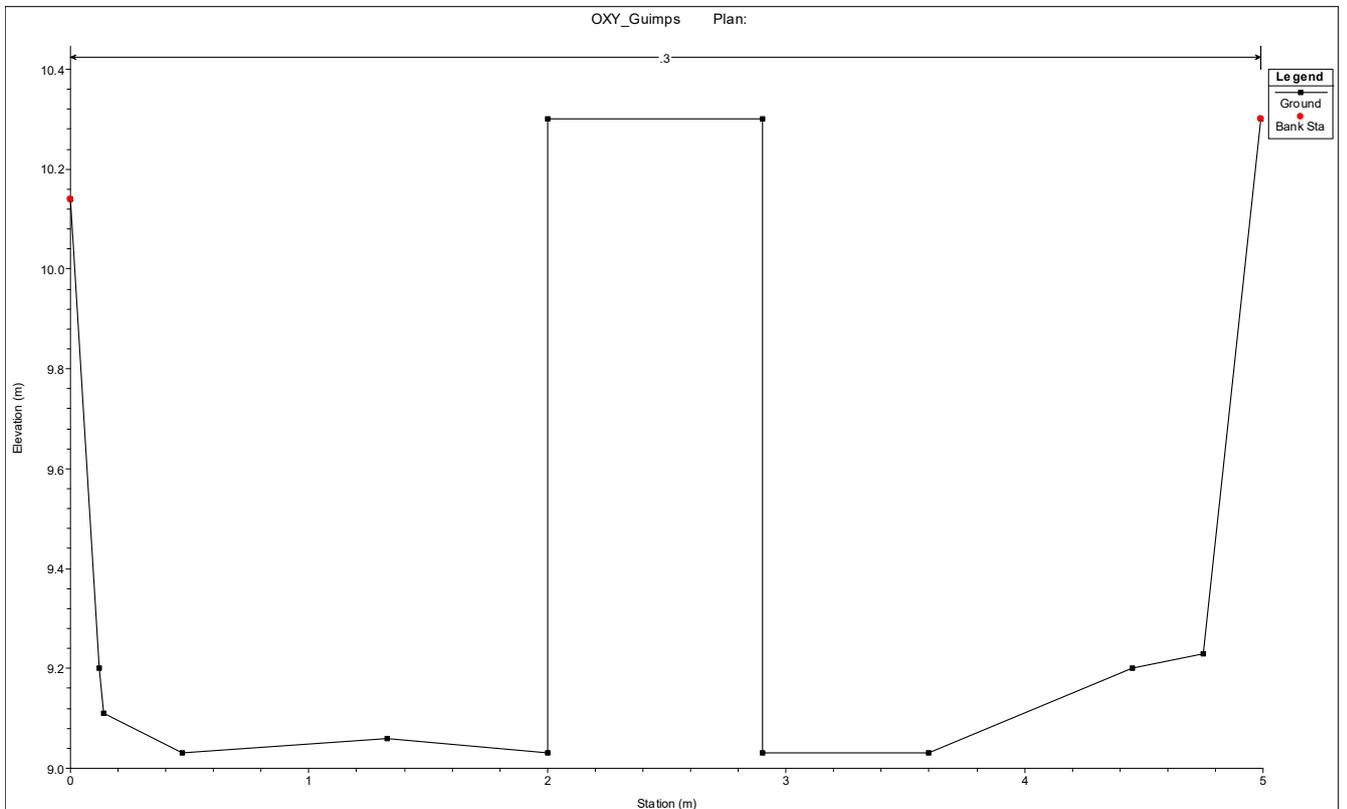


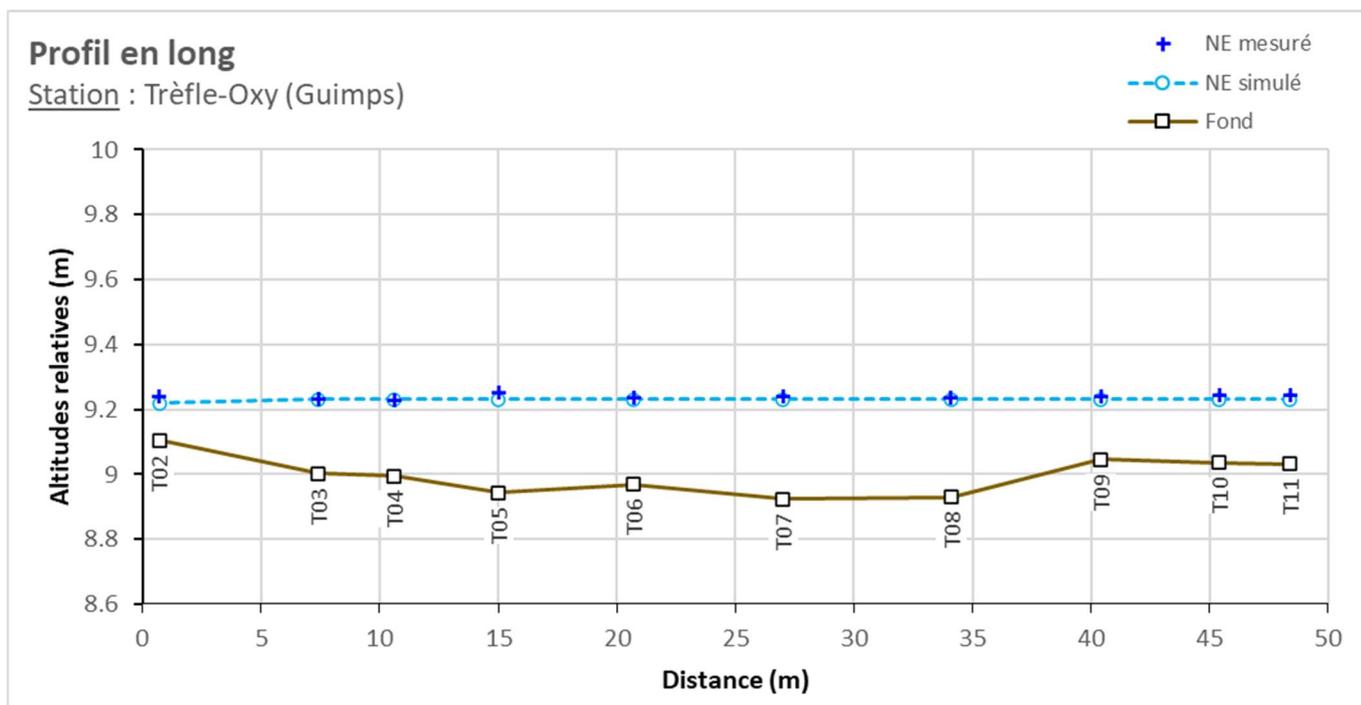
Figure 14 : Discrétisation topographique de la station modélisée

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'étiage au module du Trèfle.

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

Points de qualités 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).

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.

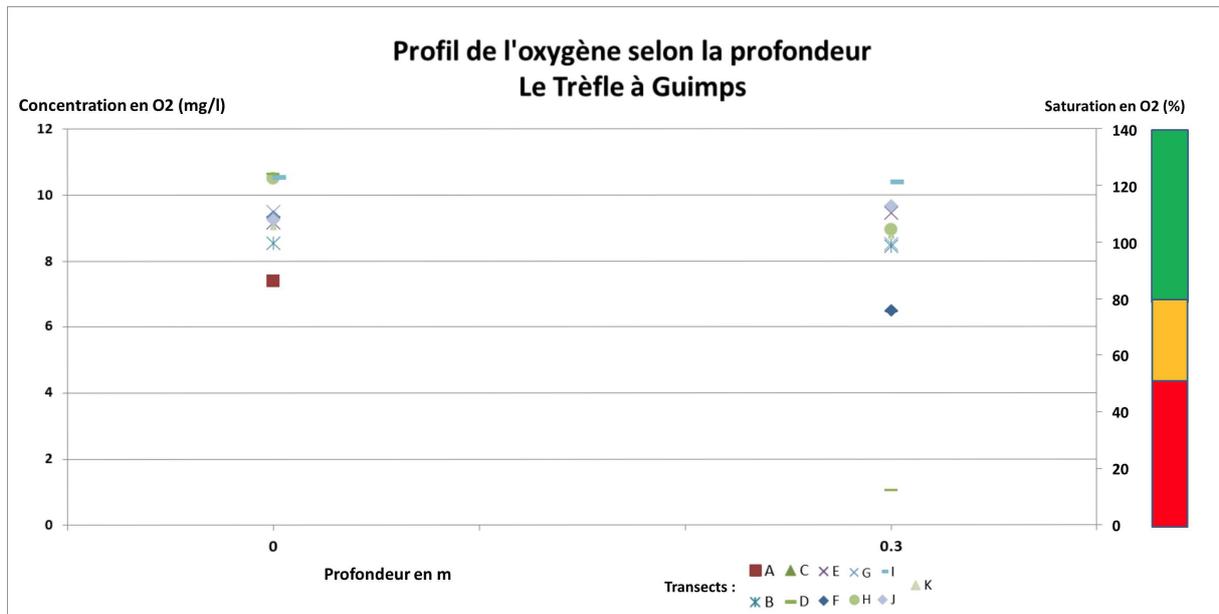


Figure 15 : Profils réalisés à Guimps pour un débit de 7 l/s

Le relevé des paramètres à un débit très faible de 7 l/s, correspondant à moins que le débit d'étiage 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).

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'étiage, 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

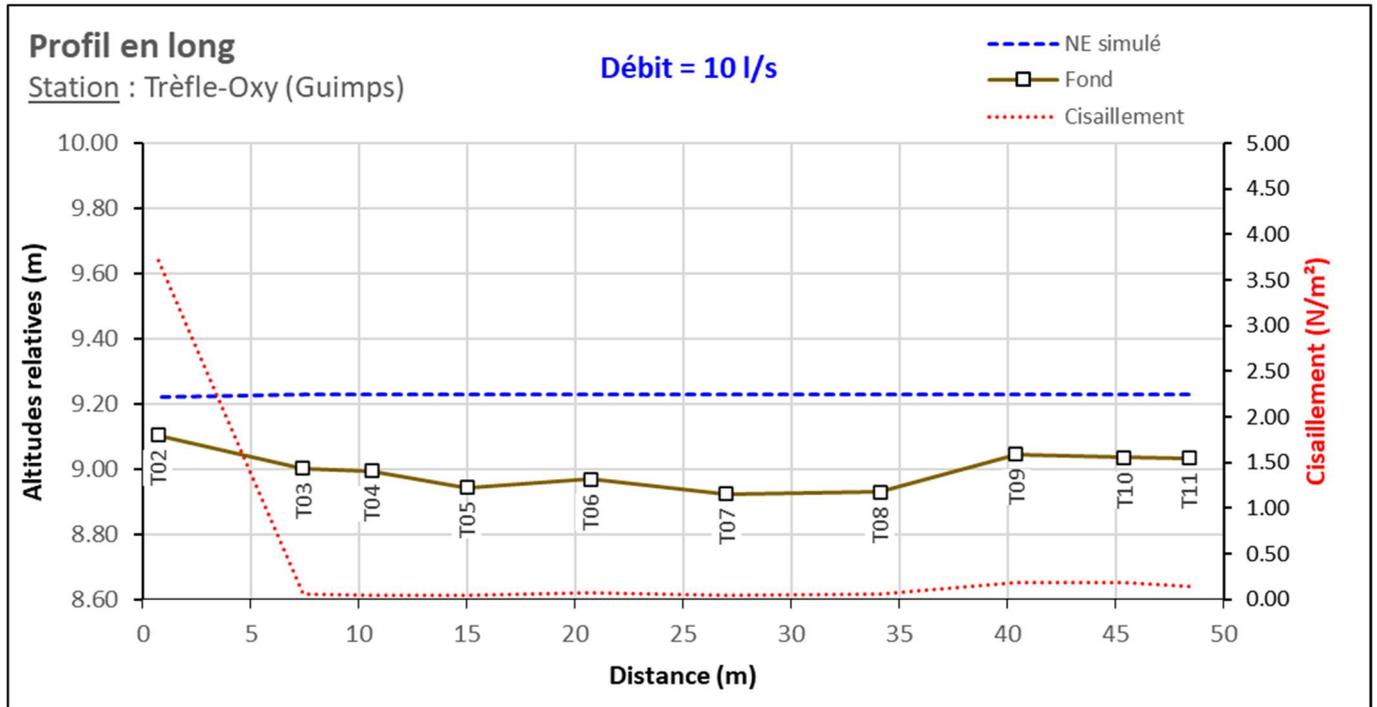
- La réoxygénation via l'interface eau – atmosphère ;
- La production d'oxygène par photosynthèse (algues et phytoplancton) efficace en journée ;
- La réoxygénation par chute d'eau au passage d'un seuil.

Les phénomènes précédents ont tendance à appauvrir en O₂ 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'O₂ 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'étiage, 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/m ²)	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		0.74	1.09	2.34	3.22	3.74	

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 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.

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

5 ETUDE DES DEBITS BIOLOGIQUES DU TREFLE – STATION DMB 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 DMB pour différentes conditions de débits.

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.

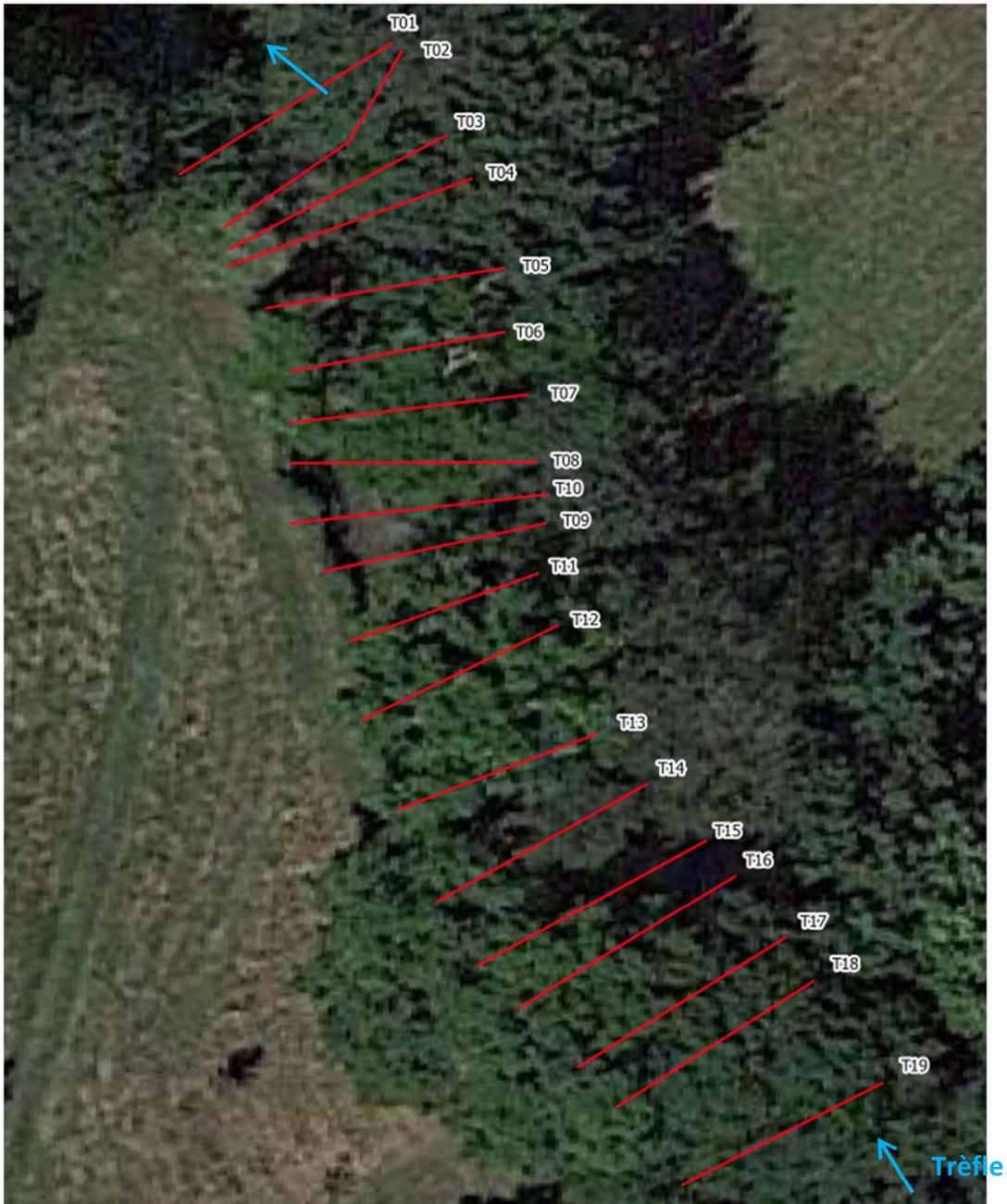


Figure 17 : Position des transects de mesure de la station DMB

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 topographiques 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.

Profil en long, faciès d'écoulement et connectivité aux 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.

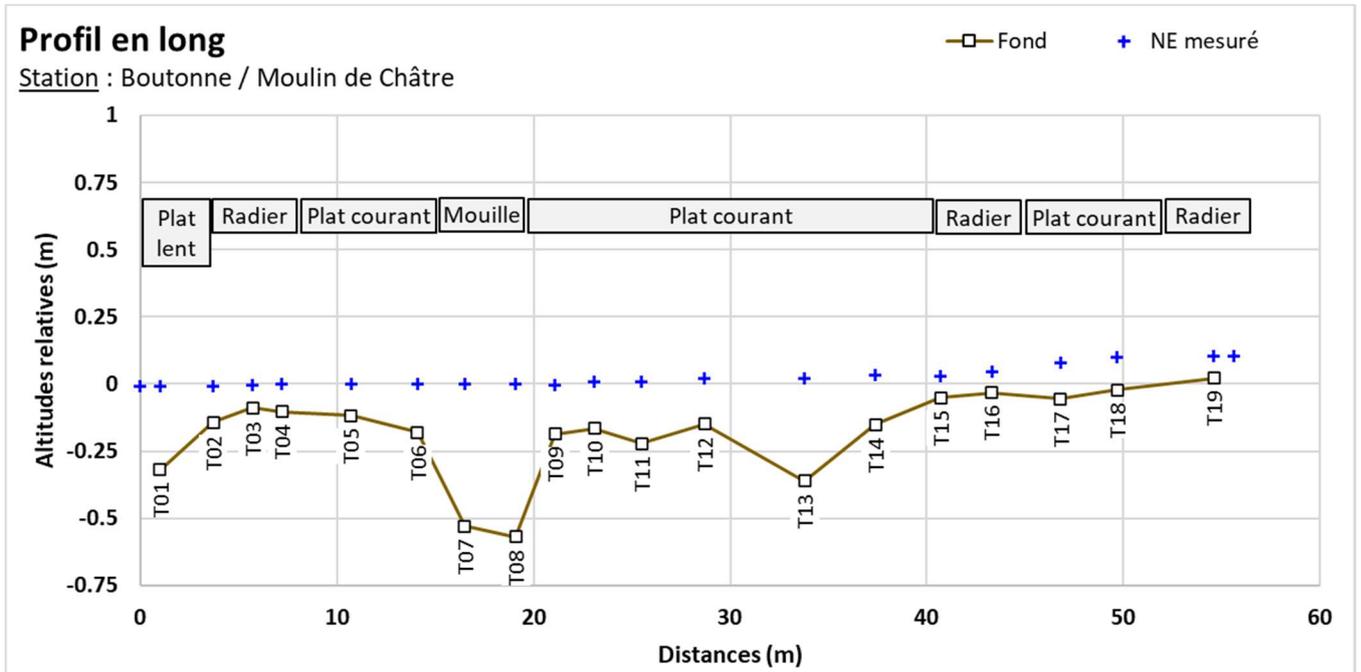
Enfin, l'aval de la station correspond à une zone de plat lent se convertissant plusieurs dizaines de mètres après en mouille au niveau de la confluence d'un petit affluent.

- **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.



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.

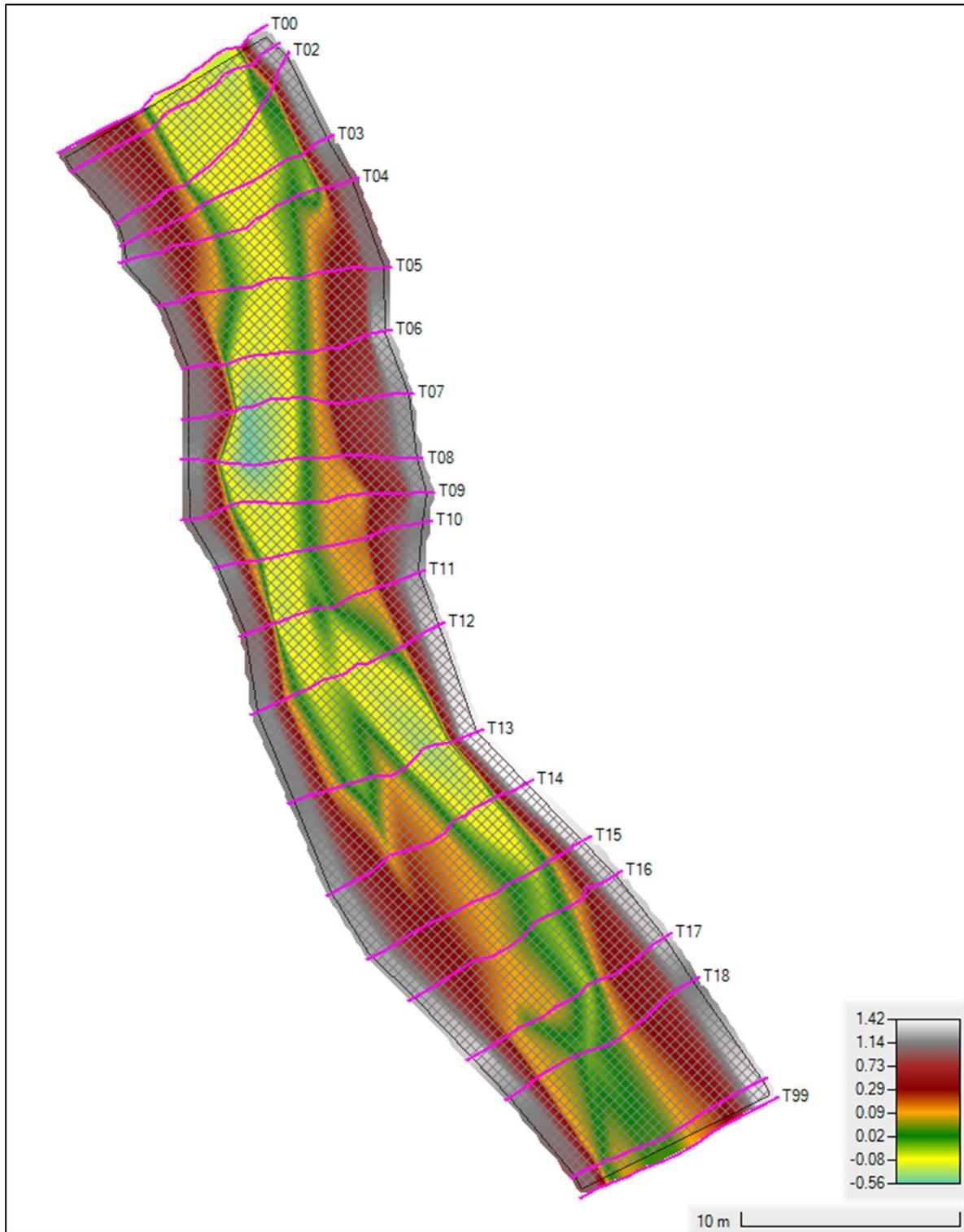


Figure 18 : Maillage de calcul et topographie de la station de DMB - Trèfle

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 26 l/s.

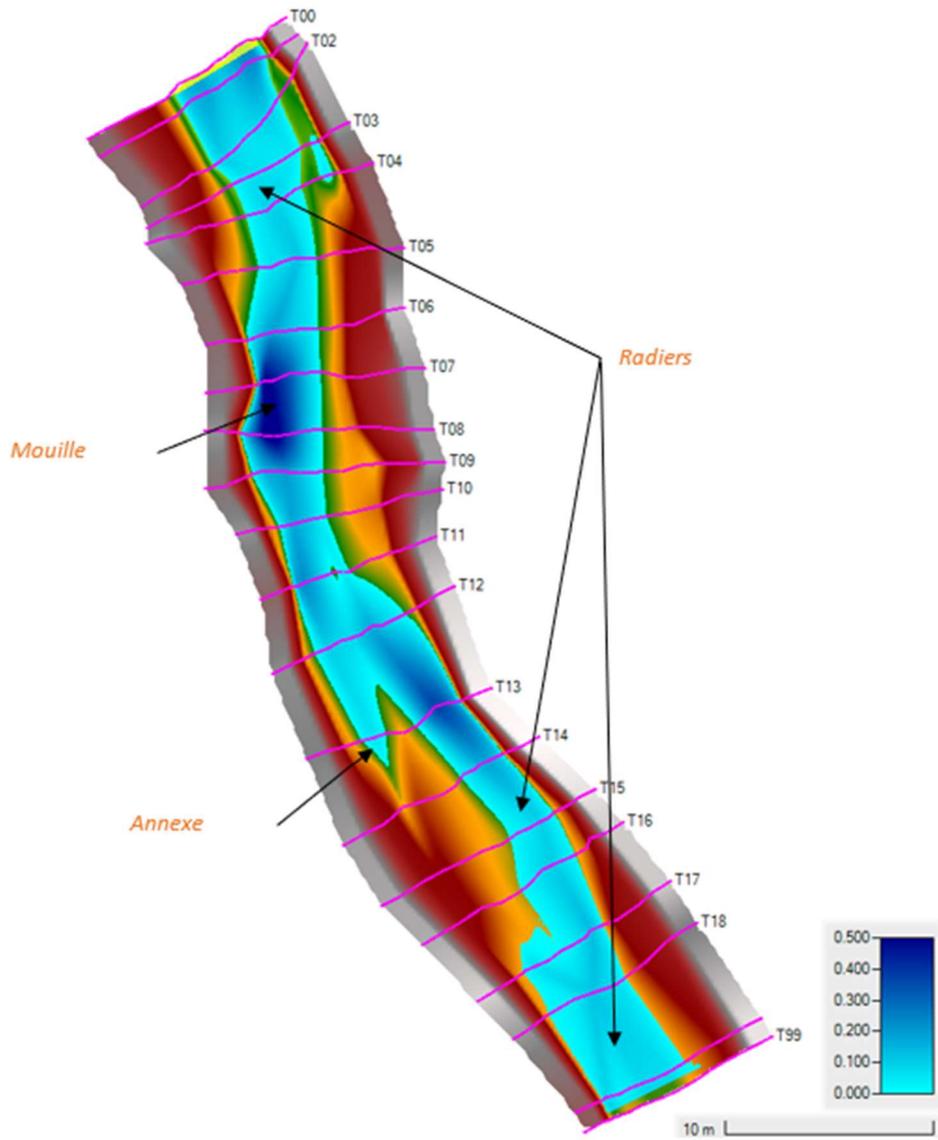


Figure 19 : Faciès d'écoulements du modèle (fidèles aux observations de terrain) et profondeur (en mètre)

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.

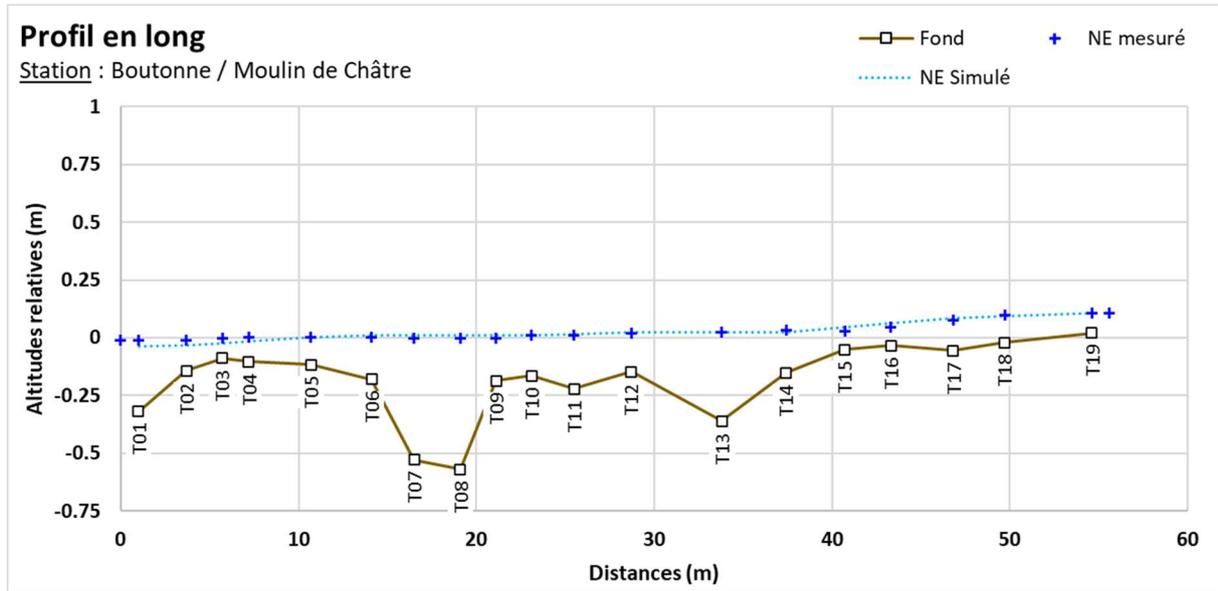


Figure 20 : Profil en long de la station et comparaison des niveaux d'eaux simulé et mesuré

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'étiage au-delà du module du trèfle à cette station.

Exploitation des résultats

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	5
QMNA5 moyen	42
50% du module	386
Module max	771
Débit de débordement	1000

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

5.2 Variables physiques débit-dépendantes (toutes saisons)

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 80 l/s. Son évolution est ensuite assez modérée entre 80 l/s et 250 l/s environ. Le lit se remplit progressivement jusqu'à son débordement à 1000 l/s. Au-delà de 1000 L/s le cours d'eau déborde sur cette section.

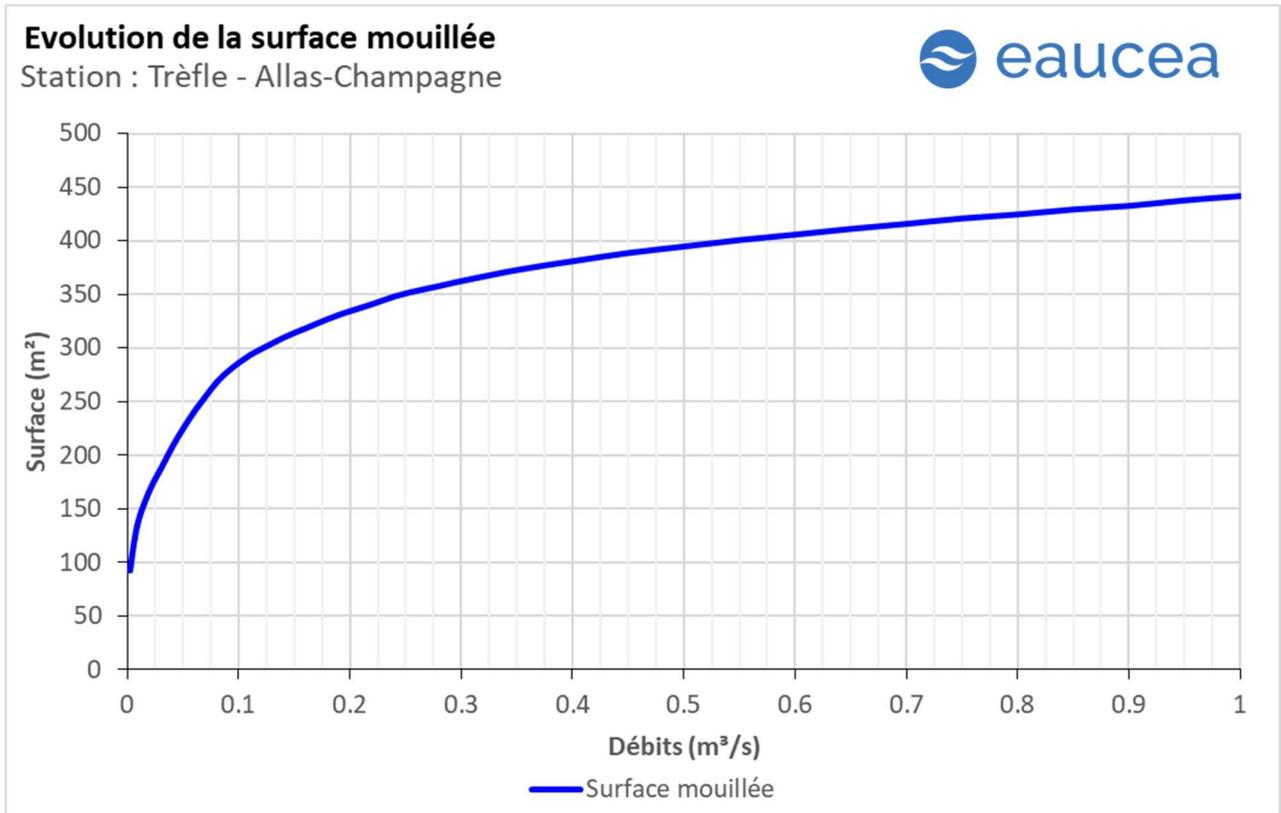


Figure 21: Evolution de la surface mouillée sur la station DMB

Granulométrie de la station

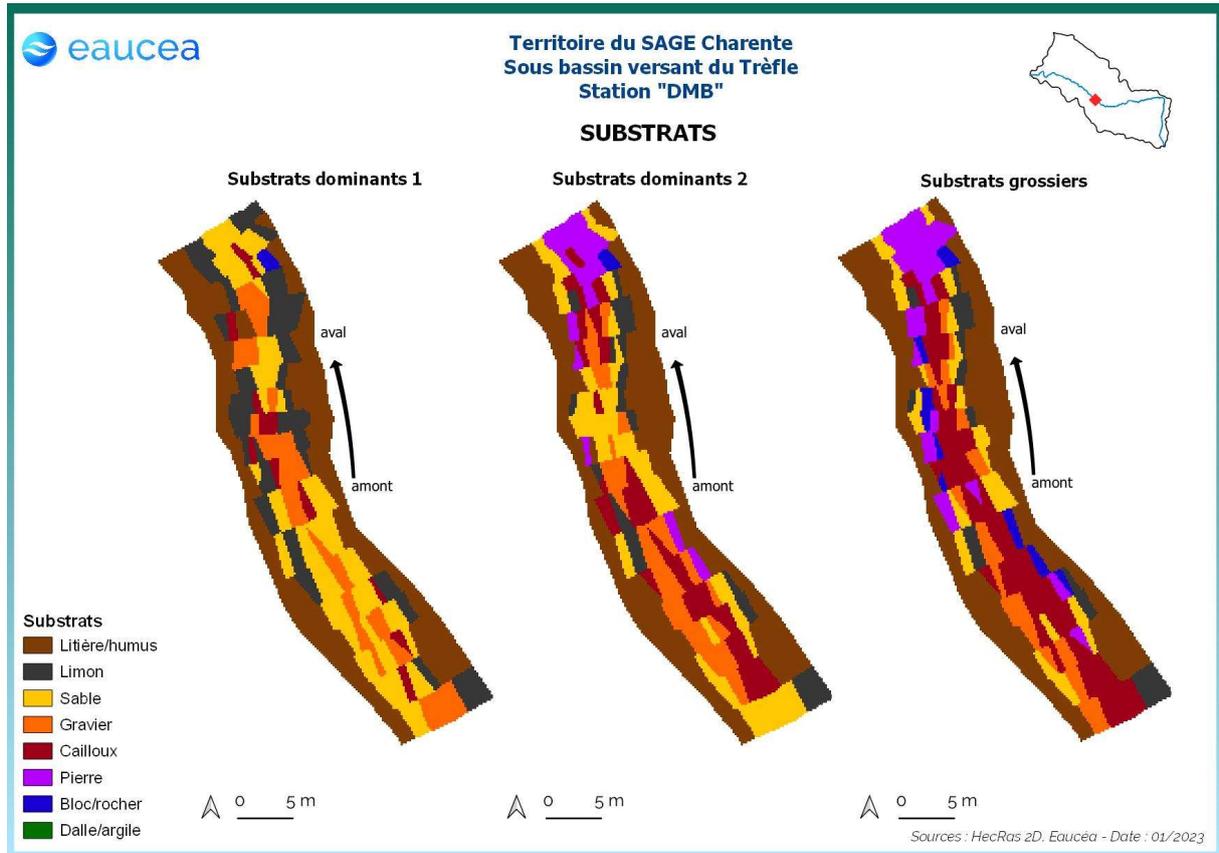


Figure 22: Carte des substrats sur la station DMB

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

Profondeur

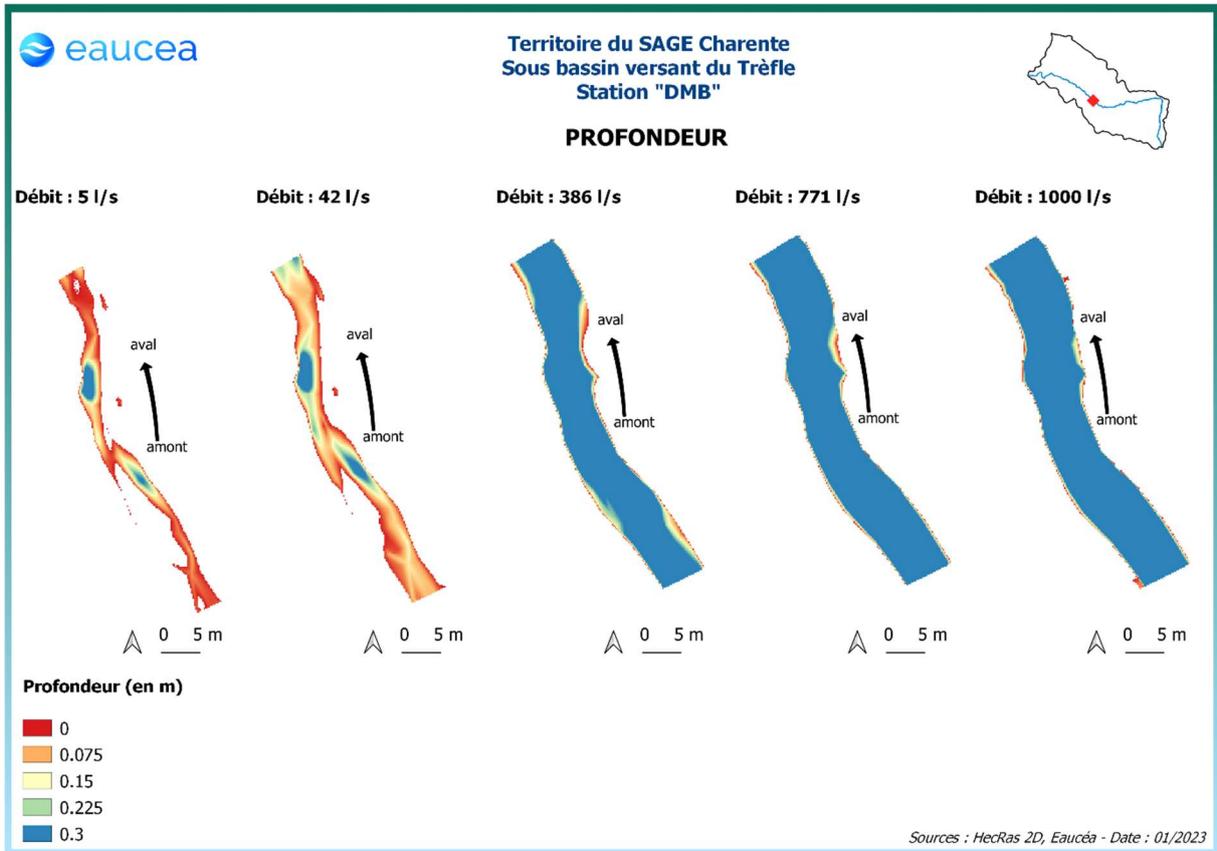


Figure 23: Evolution des profondeurs sur la station DMB

Le Trèfle présente des hauteurs d'eau assez importantes dans ce secteur. A 5 l/s, deux 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.

Vitesse d'écoulement

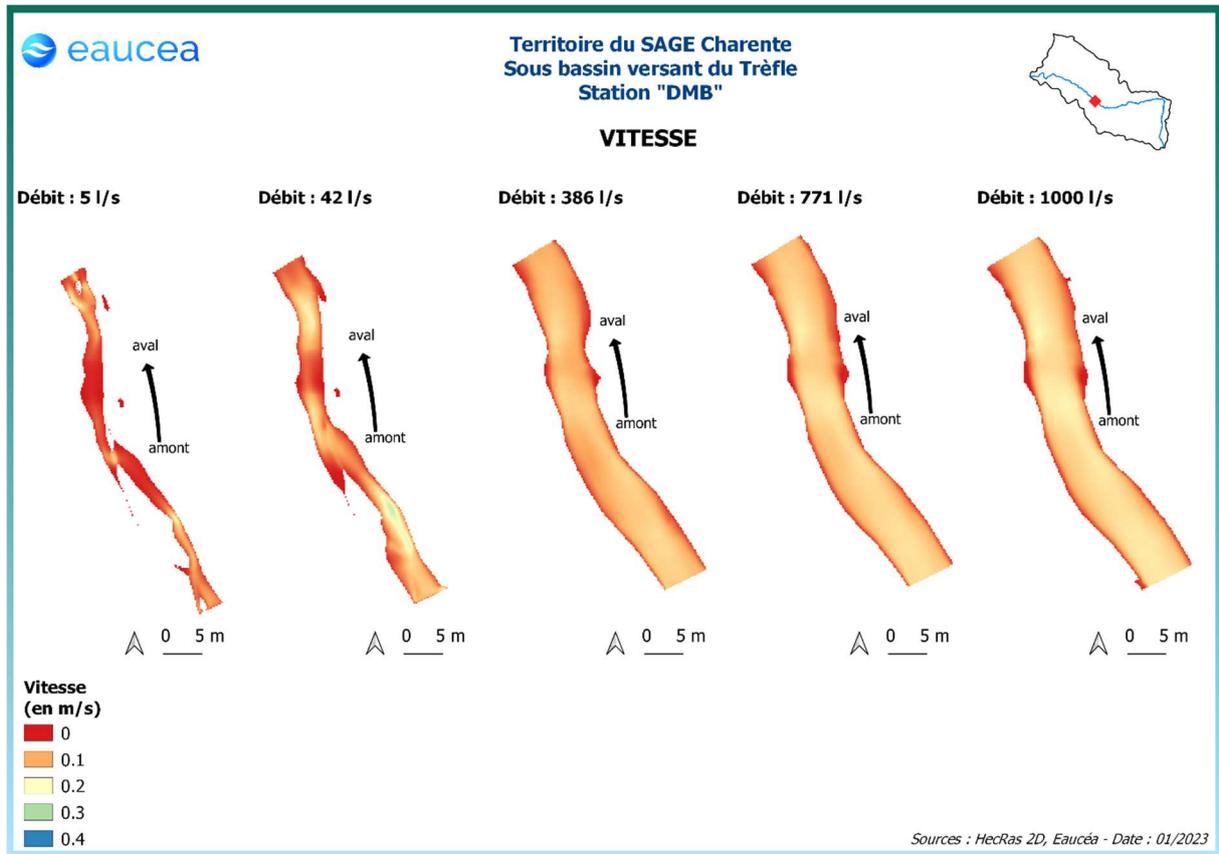


Figure 24: Evolution des vitesses d'écoulements sur la station DMB

La station DMB, 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. La valeur repère de 25 cm/s est justifiée dans le rapport méthodologique.

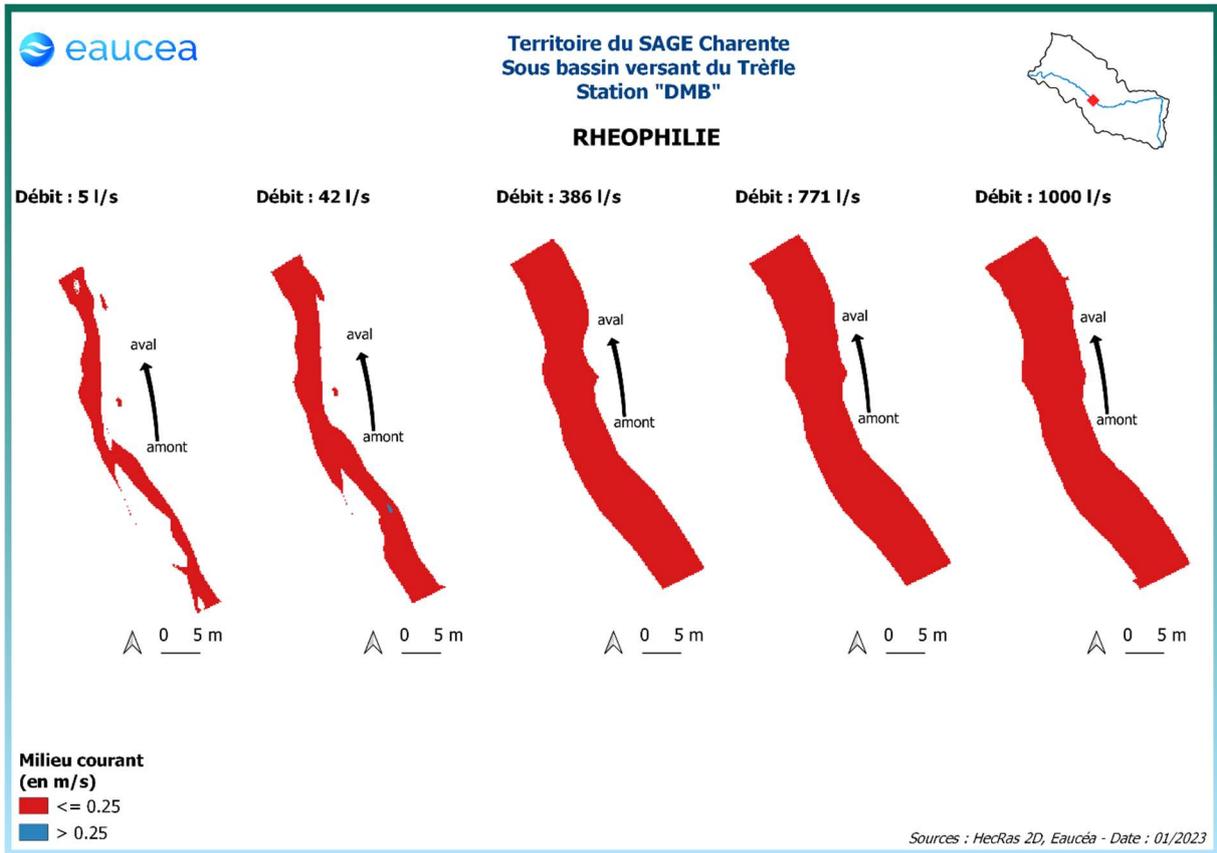
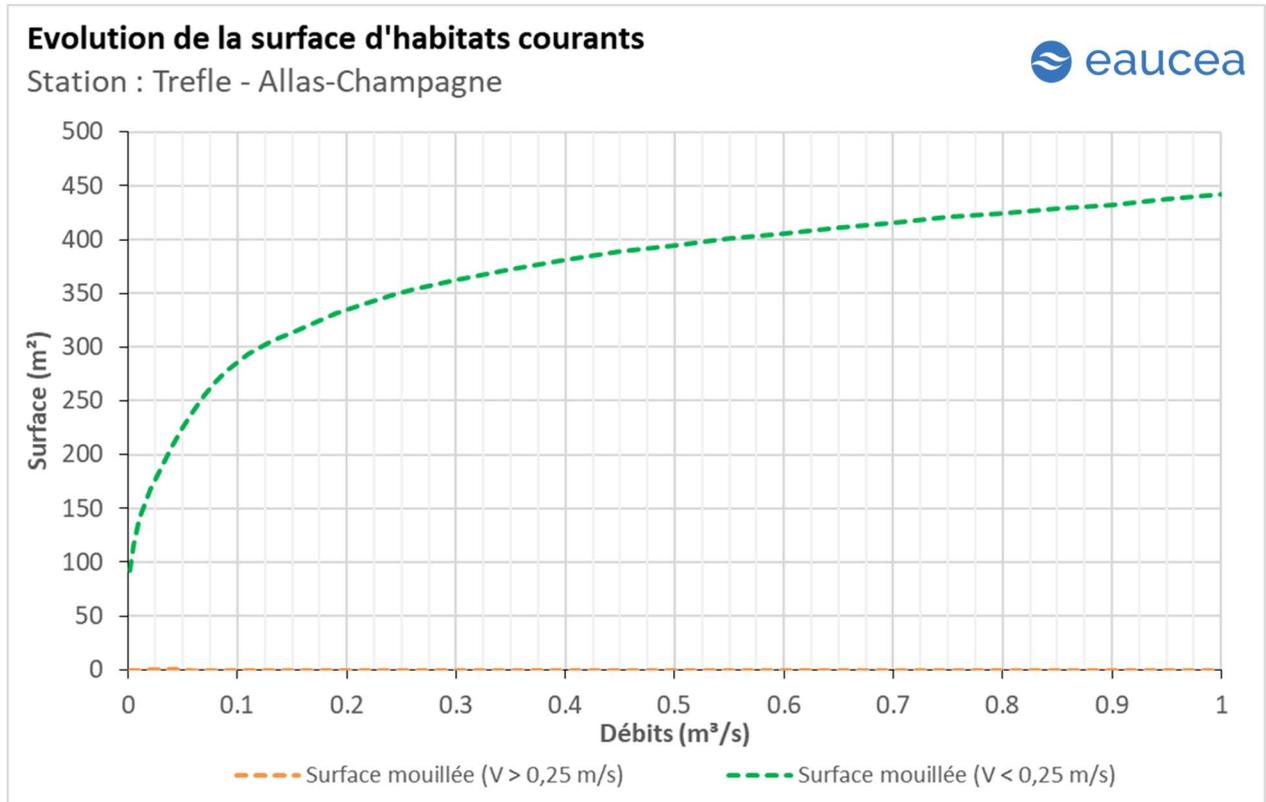


Figure 25: Carte des habitats courants sur la station DMB

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.



Les courbes ci-dessus traduisent une quasi absence d'habitat rhéophile à tous les débits. La station est donc majoritairement lenticule. Concernant le critère d'habitat rhéophile sur la station, les seuils de 10 % pour la saison de transition et de 20 % pour la période des hautes-eaux ne sont jamais atteints.

5.3 Capacité d'auto-entretien des faciès du cours d'eau (saison de 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.

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 étiage.

¹ Paramètre de Shields (cf annexe)

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.

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. Ce débit est atteint la majorité de l'année et correspond à un débit d'étiage. Lors de la saison des hautes eaux, des particules plus volumineuses peuvent être mise en mouvement. La station n'est donc pas vulnérable au colmatage.

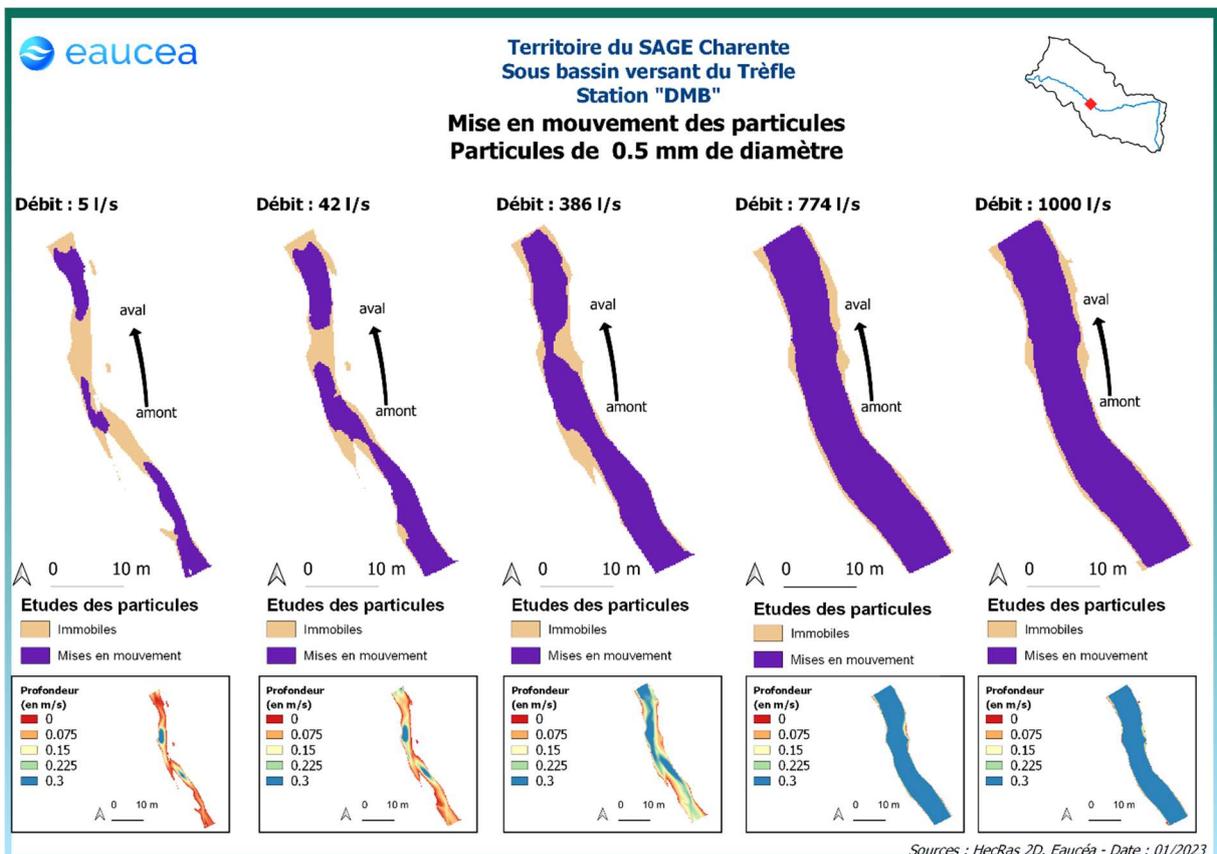
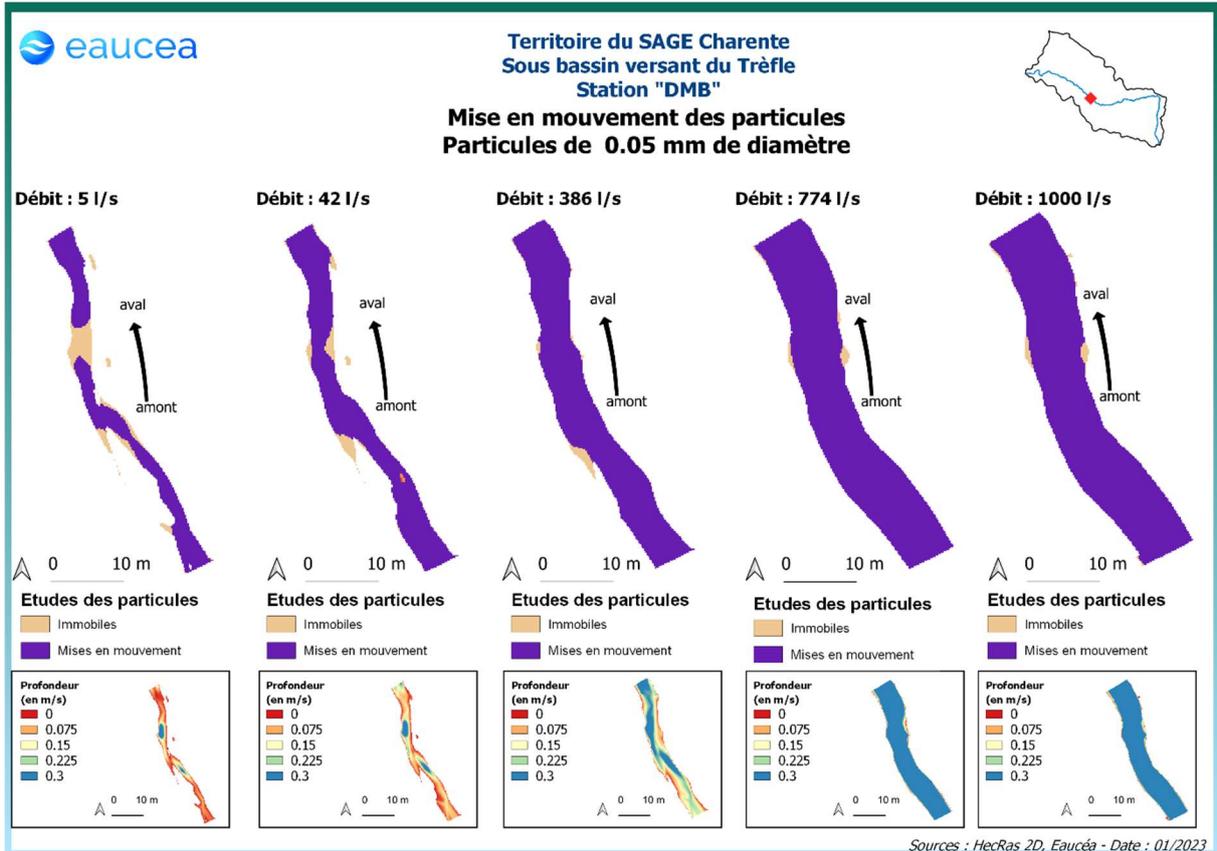


Figure 26 : Mise en mouvement des particules sur la station DMB

5.4 Connectivité longitudinale (toutes saisons)

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 la station est encore bonne pour les petites espèces à un débit de 30 l/s, elle ne l'est plus à 20 l/s.

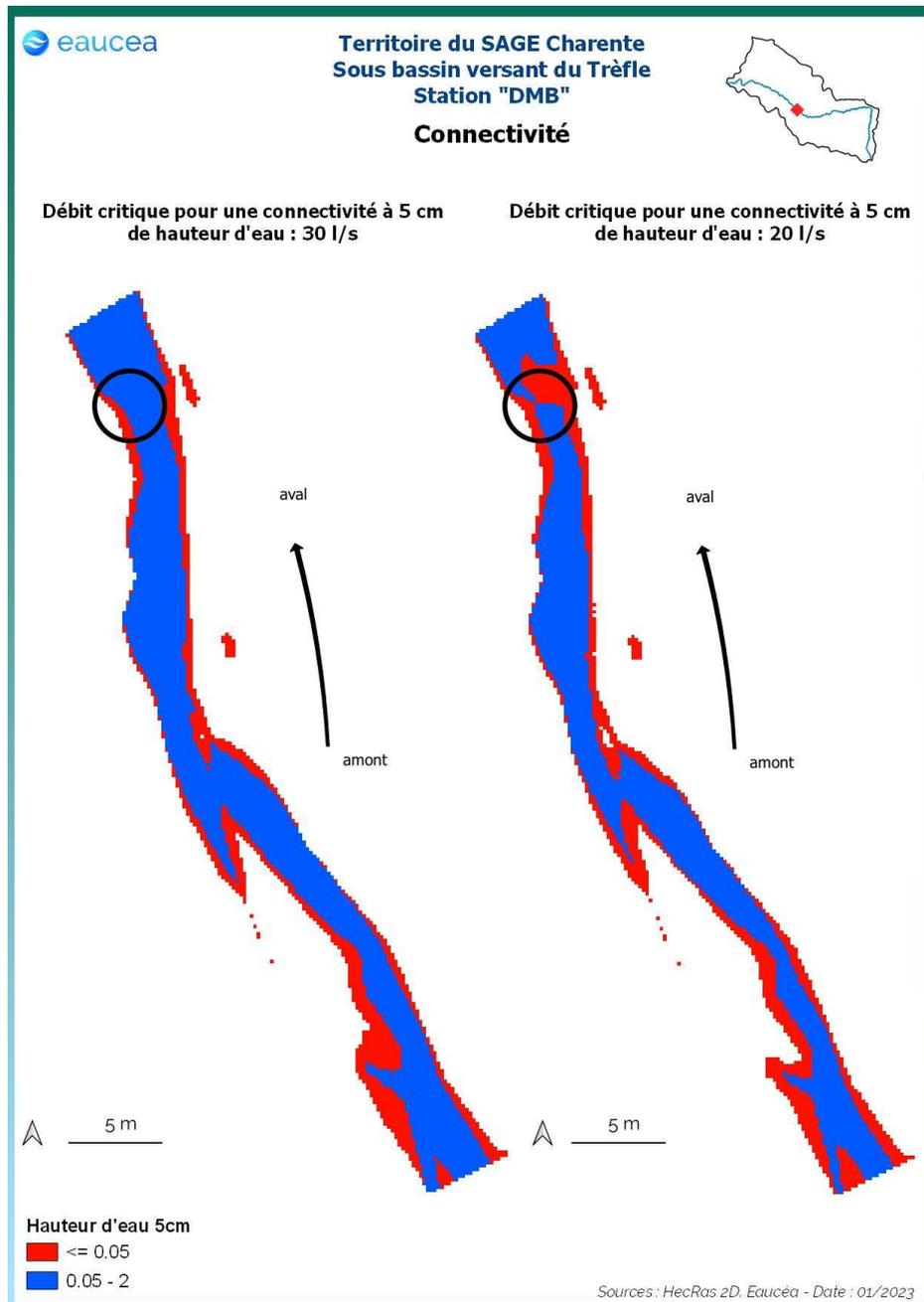


Figure 27: Connectivité de la station DMB avec un seuil à 5 cm de hauteur d'eau

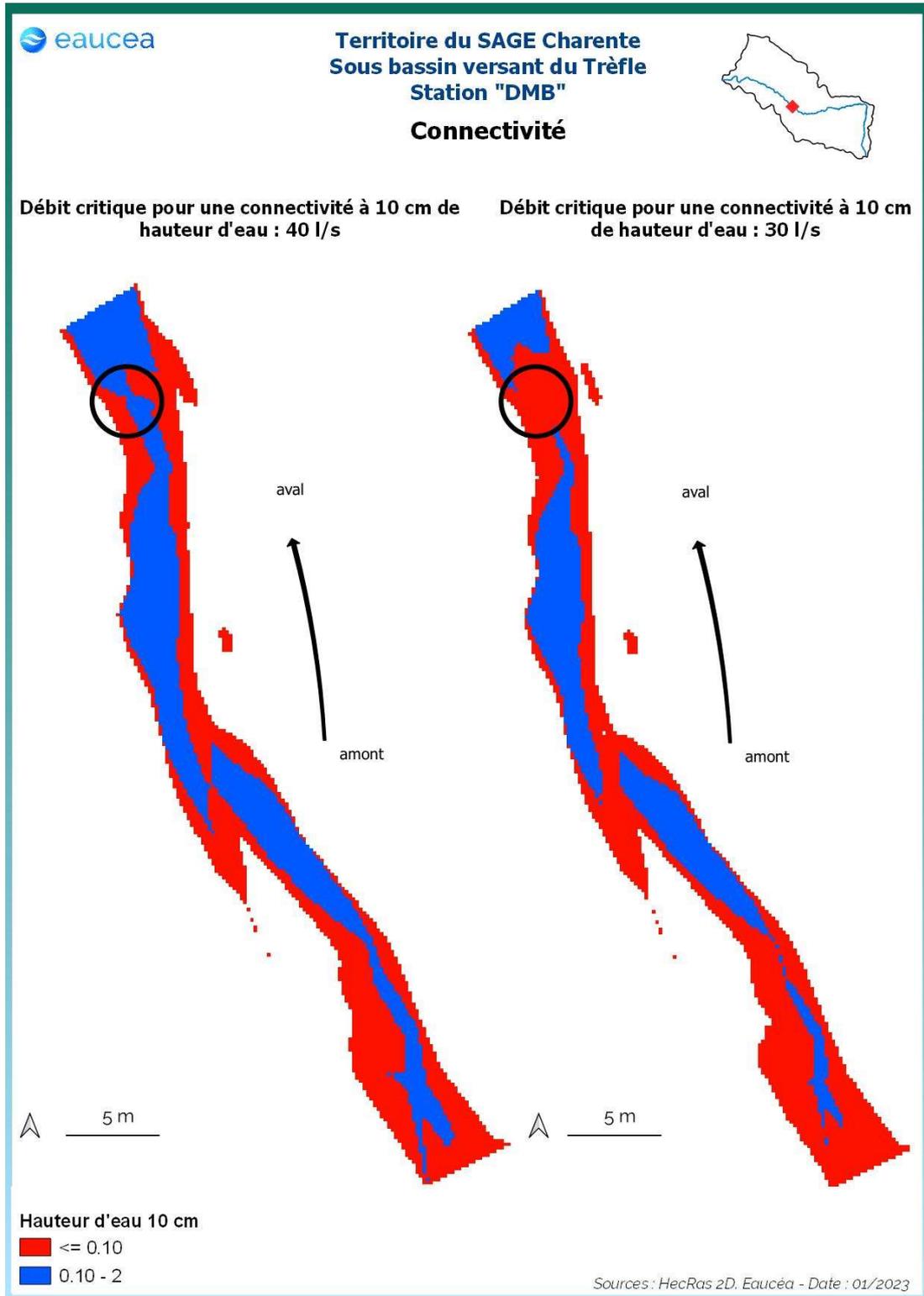


Figure 28: Connectivité de la station DMB pour un seuil de 10 cm de hauteur d'eau

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

5.5 Valeurs d'habitats et surfaces pondérées utiles

Courbes d'évolutions avec le débit jusqu'au débordement

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.

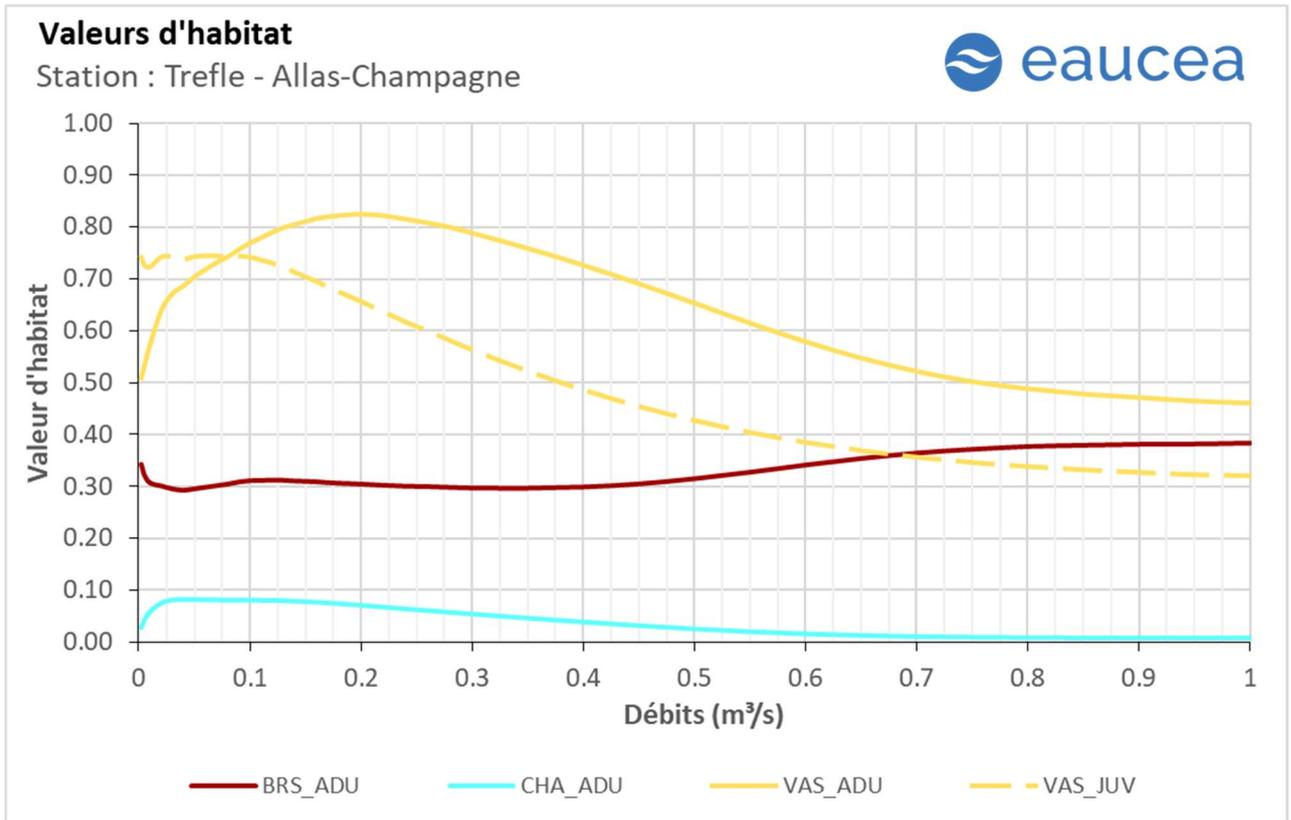


Figure 29: Valeurs d'habitat des différents stades du brochet, du vairon et du chabot de la station DMB

La station est assez 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 environ 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.

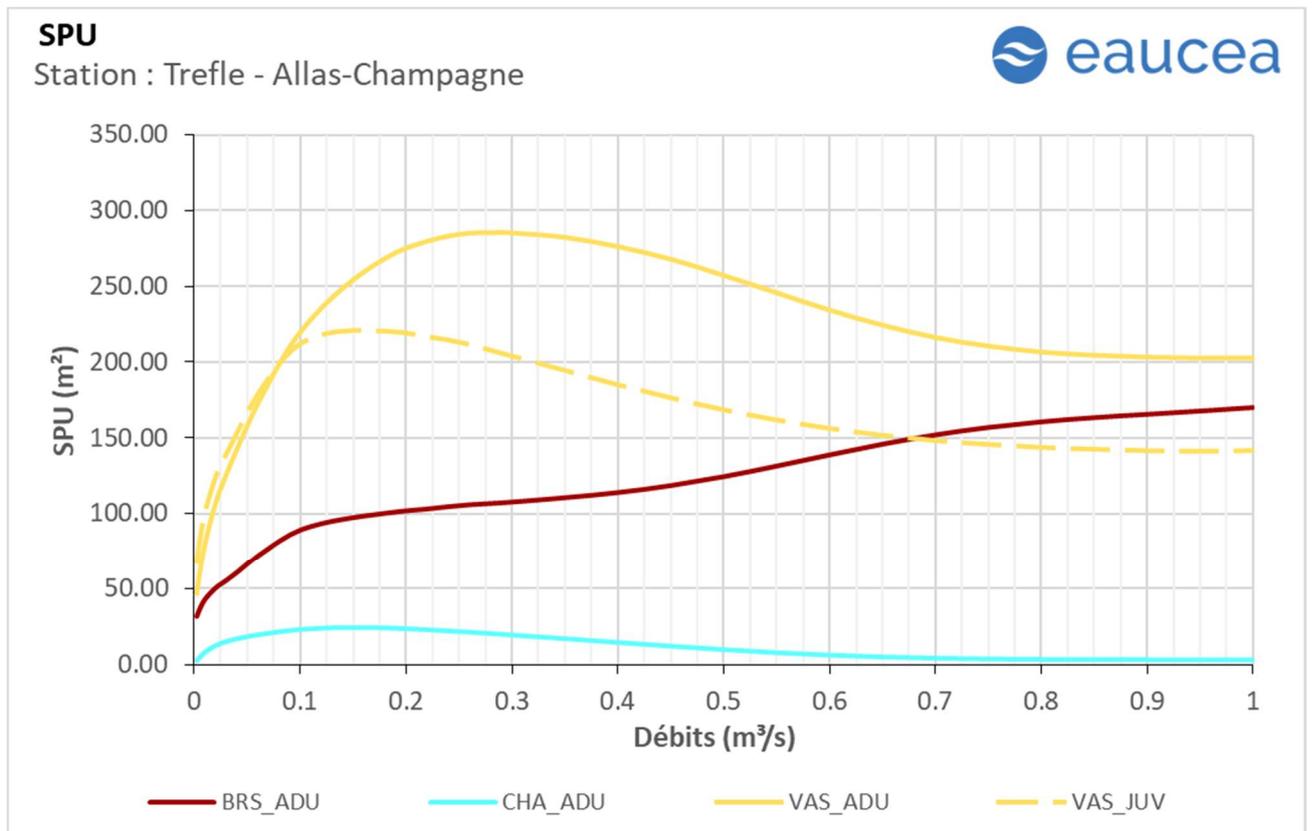


Figure 30: Surfaces pondérées utiles des différents stades du brochet, du vairon et du chabot de la station DMB

Les surfaces pondérées utiles suivent globalement les mêmes évolutions en fonction du débit mais avec le bénéfice de l'augmentation de la surface mouillée. La station est favorable à tous les stades du vairon et au brochet. Le chabot bénéficie de surface habitable entre 0 l/s et 700 l/s. L'optimum est aux environs de 200 l/s.

Saisonnalités

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

La période des hautes-eaux favorise des échanges faunistiques entre les différents tronçons qui peuvent être temporairement déconnectés en raison des assecs ou des très faibles débits. Les poissons de plus grande taille peuvent explorer ces milieux pour s'y alimenter ou s'y reproduire. La première des conditions est donc celle de la connectivité qui doit être garanti au mieux pour permettre cette colonisation plus ou moins temporaire.

Le débit de 40 l/s est donc la première valeur constitutive d'un débit biologique toutes eaux.

L'évolution de l'habitat peut être approchée par un graphe annuel pour des quantiles sec, médian et humide des débits mensuels.

Pour le brochet adulte en période de basses-eaux, l'habitabilité de la station est d'environ 93 m² et correspondant à un débit de 120 l/s.

La période de transition automnale voit une SPU du brochet adulte de 96 m² environ (soit un débit de 142 l/s) en novembre d'une année sèche contre 117 m² (pour 434 l/s) en novembre d'une année humide.

La période de transition printanière voit une SPU du brochet adulte de 95 m² environ (soit un débit de 129 l/s) en juillet d'une année sèche contre 102 m² (pour 209 l/s) lors d'une année humide.

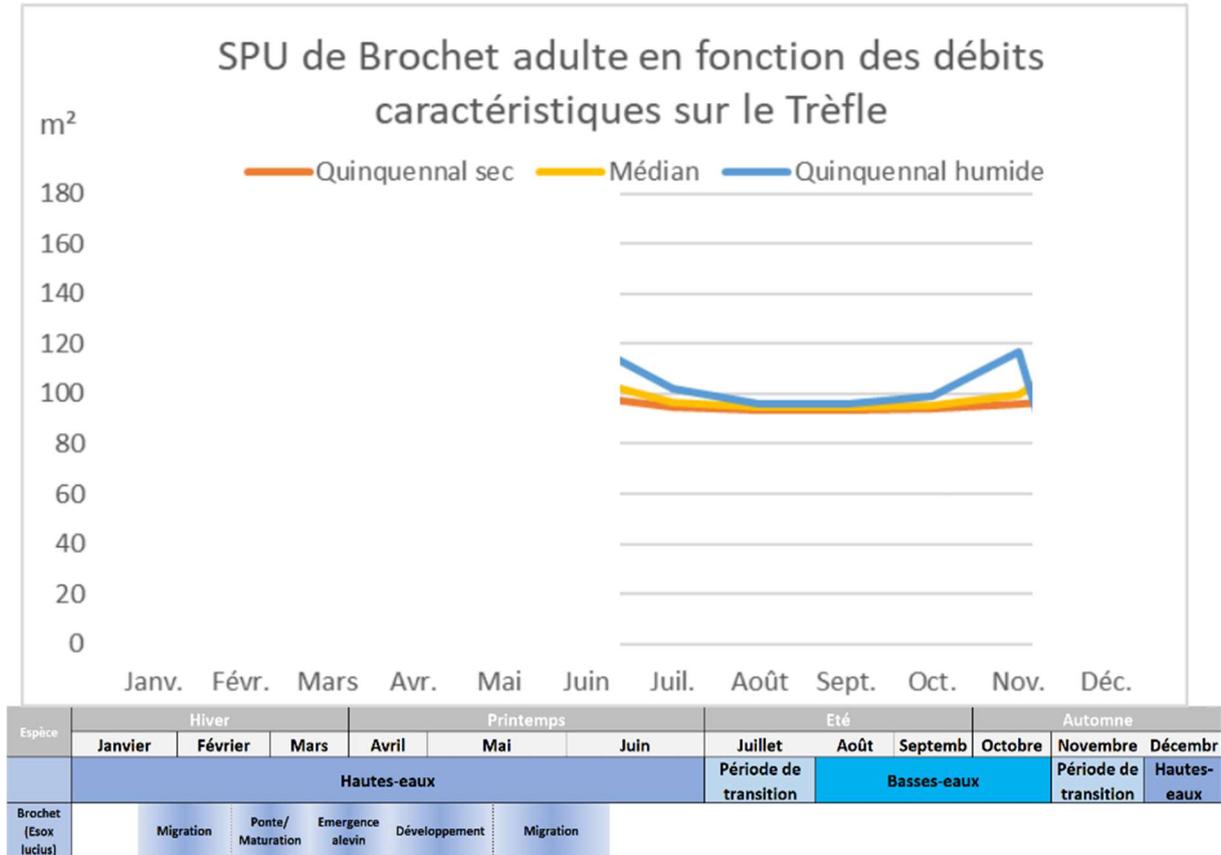


Figure 31 : Evolution temporelle des surfaces pondérées utile du brochet, calendrier biologique et hydrologique

Pour le chabot adulte en période de basses-eaux, l'habitabilité de la station est d'environ 24 m² et correspondant à un débit de 120 l/s.

La période de transition automnale voit une SPU du chabot adulte de 25 m² environ (soit un débit de 142 l/s) en novembre d'une année sèche contre 13 m² en novembre d'une année humide (pour 1718 l/s).

La période de transition printanière voit une SPU du chabot adulte de 24 m² environ (soit un débit de 129 l/s) en juillet d'une année sèche contre 209 m² (pour 209 l/s) lors d'une année humide.

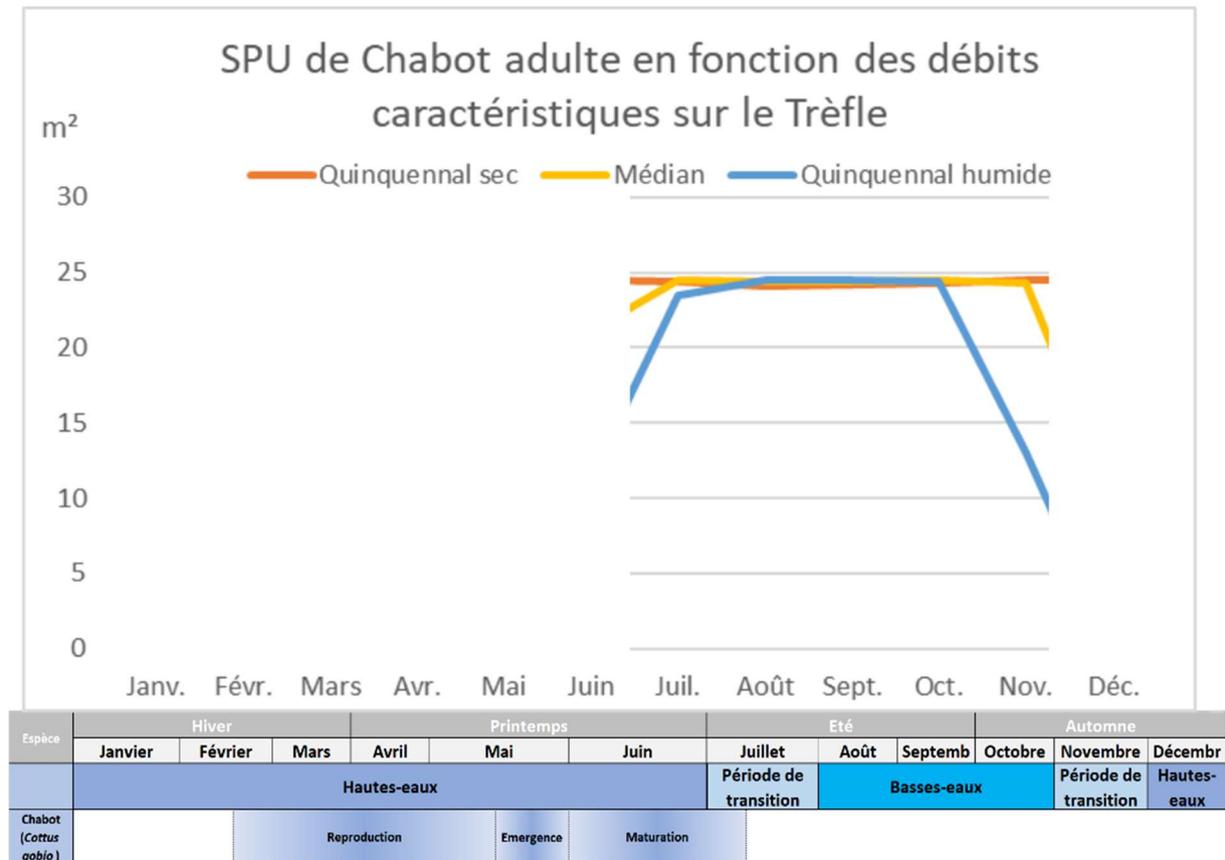


Figure 32 : Evolution temporelle des surfaces pondérées utiles du chabot, calendrier biologique et hydrologique

Pour le vairon adulte en période de basses eaux, l’habitabilité de la station est d’environ 237 m² et correspondant à un débit de 120 l/s. Les juvéniles de l’espèce bénéficie de 218 m² de surface pondérée utile.

La période de transition automnale voit une SPU du vairon adulte de 250 m² environ (soit un débit de 142 l/s) en novembre d’une année sèche contre 271 m² en novembre d’une année humide (pour 434 l/s). Pour le juvénile, la variation de SPU est de 220 m² pour une année sèche contre 179 m² en année humide.

La période de transition printanière voit une SPU du vairon adulte de 242 m² environ (soit un débit de 129 l/s) en juillet d’une année sèche contre 278 m² (pour 209 l/s) lors d’une année humide. Pour le juvénile, la SPU est de 220 m² en année sèche contre 218 m² en année humide.

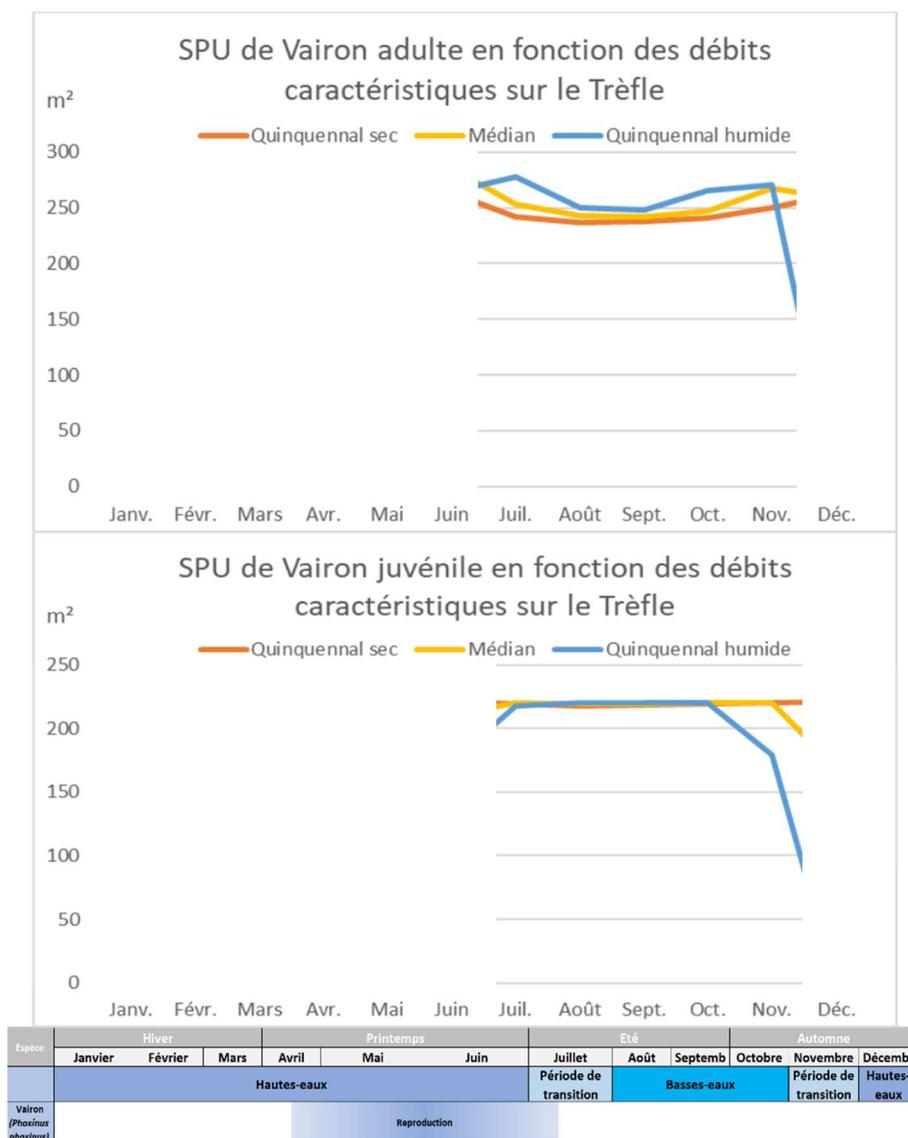


Figure 33: Evolution des surfaces pondérées utiles du vairon suivant le cycle annuel et calendrier biologique

5.5.1 Synthèse

Les valeurs proposées pour l’analyse de la sensibilité des conditions d’habitats aux débits sont donc les suivantes :

-pour la période estivale, la valeur de déconnexion longitudinale pour les grandes espèces comme valeur de référence soit 40 l/s et est inférieure au débit d’étiage moyen de 42 l/s), la valeur de référence retenue est donc cette valeur de 42 l/s bornée par le débit le plus bas (10 l/s) et le débit classé 75 % (140 l/s) ;

-pour la période de transition, une valeur intermédiaire entre les débits classés 75 % et 50 % comme valeur de référence, bornée par ces mêmes débits (140 l/s et 251 l/s) ;

-pour la période de hautes-eaux, la valeur de référence est l’optimum de débit biologique (200 l/s) comparée à une gamme de débit allant jusqu’au débit de débordement.

5.6 Conclusion concernant les débits biologiques de la station DMB

Analyse piscicole		Allas-Champagne				Qref													
Niveau	Critère	Code	Espec	Stade	0.01	0.02	0.03	0.04	0.042	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.1	0.11	0.12	0.13	0.14
Principal	Habitat	BRS_A DU	Broche ts	Adulte	-30%	-18%	-10%	-2%	62	7%	16%	24%	32%	39%	44%	48%	51%	53%	55%
Principal	Habitat	CHA_A DU	Chabot	Adulte	-52%	-27%	-12%	-2%	17	7%	14%	20%	25%	30%	34%	37%	39%	40%	41%
Principal	Habitat	VAS_A DU	Vairon	Adulte	-45%	-26%	-14%	-2%	146	8%	13%	28%	37%	44%	51%	57%	62%	67%	71%
Principal	Habitat	VAS_J UV	Vairon	Juvenile	-35%	-20%	-11%	-2%	156	7%	15%	21%	28%	32%	36%	38%	40%	41%	41%
Principal	Vitesses	Milieu rapide > 25 cm/s			-100%	-79%	-7%	9%	1	-34%	-100%	-100%	-100%	-100%	-100%	-100%	-100%	-100%	-100%
Principal	Surface mouillée				-33%	-20%	-11%	-2%	211	7%	14%	21%	27%	32%	35%	39%	41%	44%	46%
Complémentaire	Circulation au niveau des radiers	Gros poissons			non	non	non	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui
		Petits poissons			non	non	oui	oui	oui	oui	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 34 : Matrice période de basses-eaux

La variation des SPU autour du débit d’étiage moyen, proche du débit de déconnexion, est faible. Elle est plus sensible à la baisse qu’à la hausse. Si nous considérons le chabot et les stades du vairon, une variation à +/- 20% de la SPU de référence est observée entre la valeur de 30 l/s comme borne basse et 60 L/s en borne haute en période de basses-eaux.

Analyse piscicole					Allas-Champagne										Qref	
Niveau	Critère	Code	Espec	Stade	0.14	0.15	0.16	0.17	0.18	0.19	0.2	0.21	0.22	0.23	0.24	0.25
Principal	Habitat	BRS_A DU	Broche ts	Adulte	-6%	-4%	-3%	-3%	-2%	-1%	102	1%	1%	2%	3%	3%
Principal	Habitat	CHA_A DU	Chabot	Adulte	3%	3%	3%	3%	2%	1%	24	-1%	-3%	-5%	-6%	-8%
Principal	Habitat	VAS_A DU	Vairon	Adulte	-10%	-8%	-6%	-4%	-2%	-1%	276	1%	2%	2%	3%	3%
Principal	Habitat	VAS_J UV	Vairon	Juvenile	1%	1%	1%	1%	1%	0%	219	-1%	-1%	-2%	-2%	-3%
Principal	Surface mouillée				-7%	-6%	-5%	-3%	-2%	-1%	334	1%	2%	3%	4%	5%
Complémentaire	Circulation au niveau des radiers	Gros poissons			oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui
		Petits poissons			oui	oui	oui	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 35 : Matrice des périodes de transition

En période de transition, tous les indicateurs sont stables et remplissent les conditions de vie des espèces. L'habitat lotique est nul et les variations autour de l'optimum d'habitat de 200 l/s sont faibles.

Nous proposons donc de retenir une plage de débit fondée sur des considérations hydrologiques caractéristiques de cette période de transition soit entre 140 l/s et 250 l/s.

Analyse piscicole					Allas-Champagne										Qref	
Niveau	Critère	Code	Espec	Stade	0.2	0.25	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1		
Principal	Surface mouillée				334	5%	8%	14%	18%	21%	24%	27%	29%	32%		
Complémentaire	Circulation au niveau des radiers	Gros poissons			oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui		
		Petits poissons			oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui		
Synthèse indicateurs principaux																
Habitat	Habitats rapides															
Habitat	Surface mouillée															
Habitat	Connectivité	Longitudinale														
Résultat																

Figure 36 : Matrice de la période de hautes-eaux.

En période de hautes-eaux, la plupart indicateurs sont stables et remplissent les conditions de vie et de mobilité des espèces. Les habitats lotiques sont absents.

Nous proposons donc de retenir un débit biologique entre 200 l/s, optimum de l'habitat, à 1000 l/s, débit de débordement potentiellement favorable à la mise en eau de frayère à brochet.

6 ETUDE DES DEBITS BIOLOGIQUES DU TREFLE – STATION ASSEC

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 DMB pour différentes conditions de débits.

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 ...). Ils sont positionnés ci-dessous.



Figure 37 : Position des transects de mesure de la station Assec

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.

Profil en long, faciès d'écoulement et connectivité aux 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.

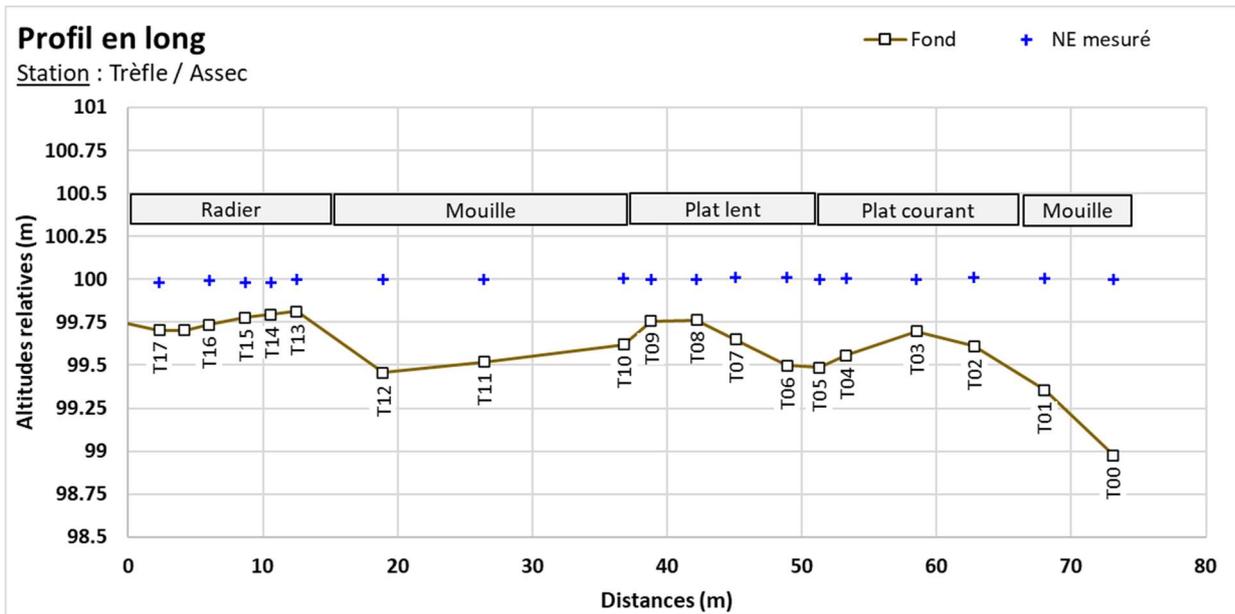
Entre T13 et T16, la section d'écoulement le jour des mesures se rétrécissait brutalement jusqu'à près d'1/4 de la largeur en amont. Les écoulements forment une veine rapide présentant un effet de radier.

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.



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.

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.

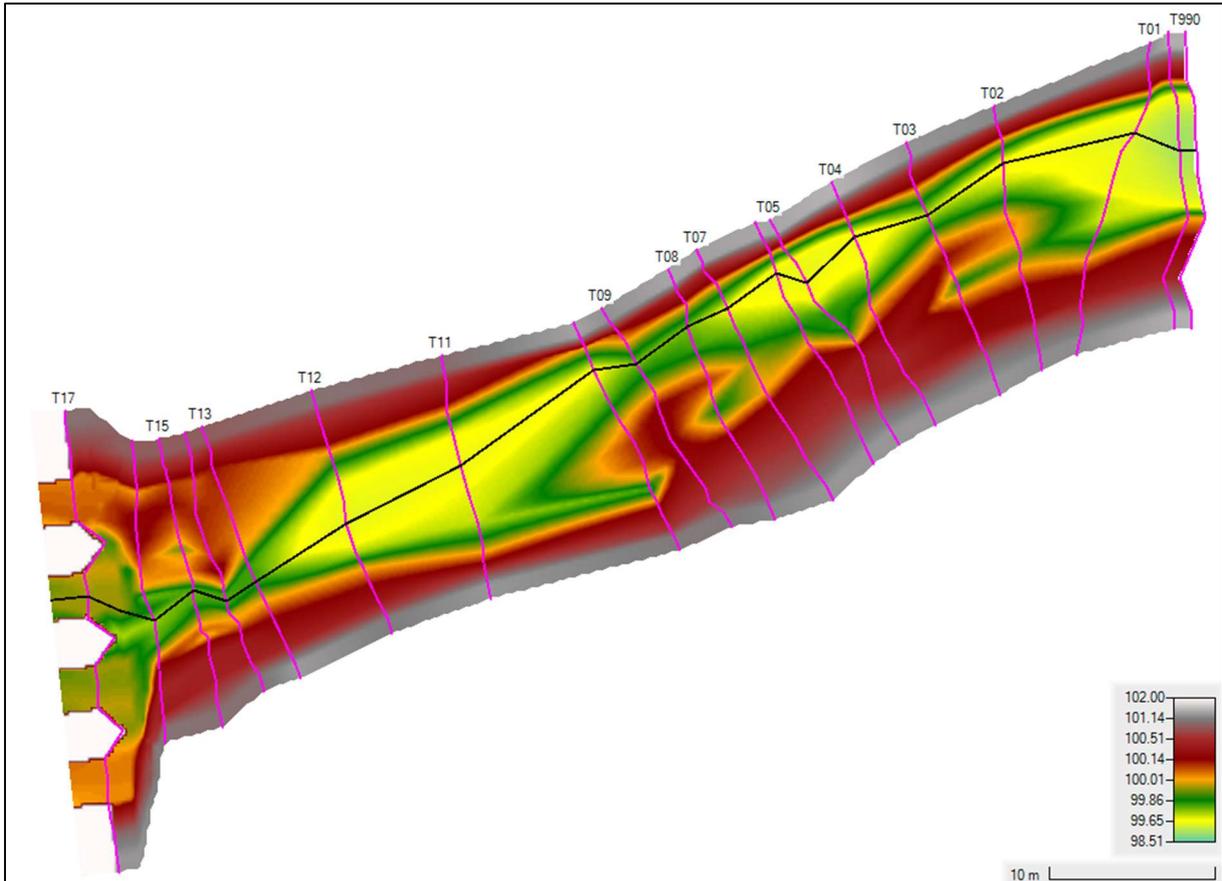


Figure 38 : Maillage de calcul et topographie de la station de Assec - Trèfle

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.

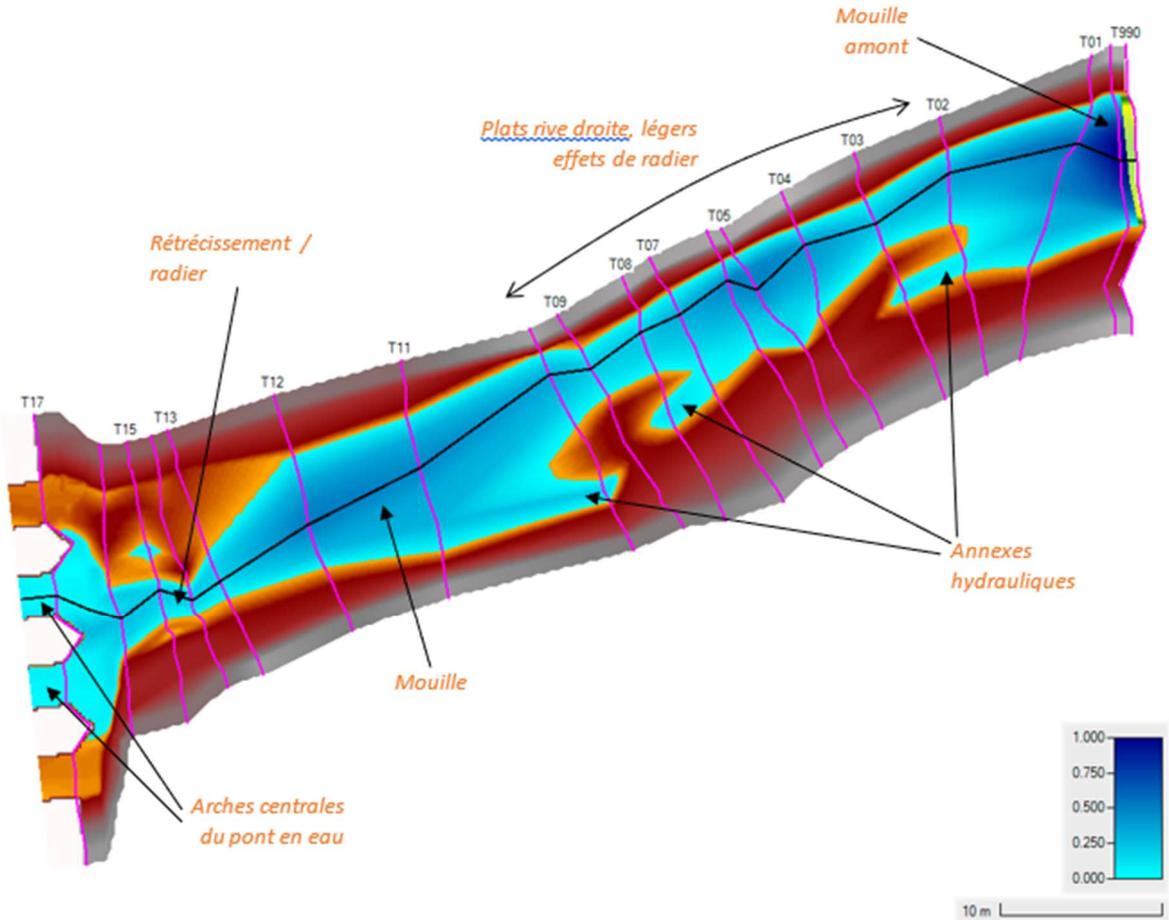


Figure 39 : Faciès d'écoulements du modèle (fidèles aux observations de terrain) et profondeur (en mètre)

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.

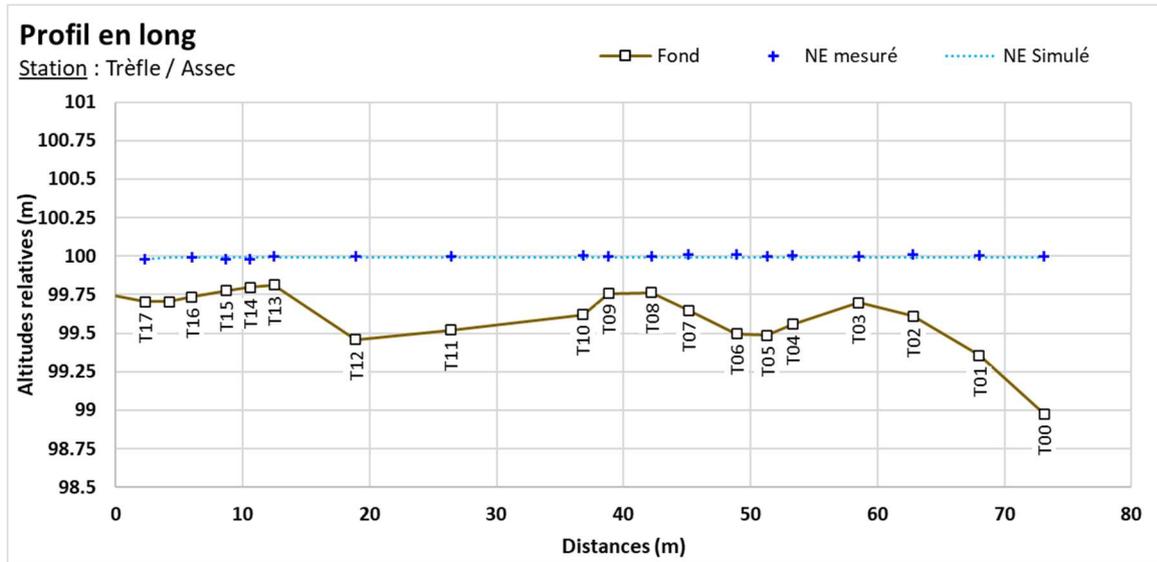


Figure 40 : Profil en long de la station et comparaison des niveaux d'eaux simulé et mesuré

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 1.5 m³/s à 1 l/s. Cette gamme permet ainsi de modéliser des débits d'étiage à plus que le module du Trèfle à cette station.

Exploitation des résultats

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. A noter que le débit d'étiage de cette station est souvent nul car cette station, comme son nom l'indique, est sensible aux assecs.

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

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

6.2 Variables physiques débit-dépendantes (toutes saisons)

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.

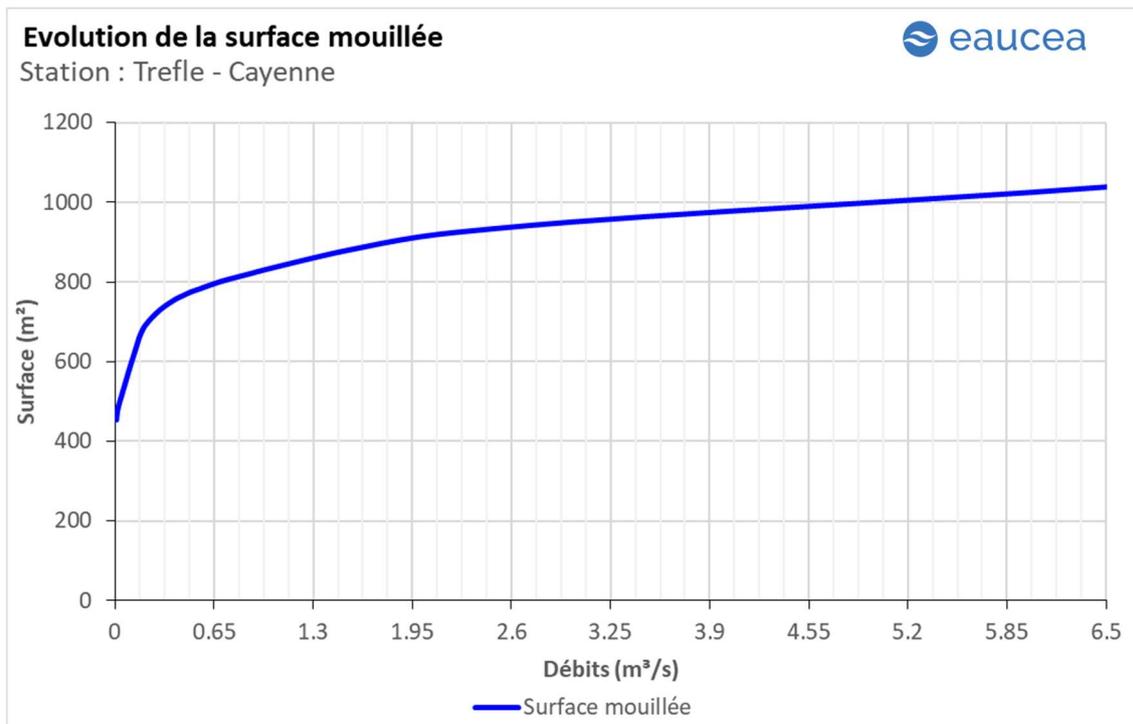


Figure 41: Evolution de la surface mouillée sur la station Assec

Granulométrie de la station

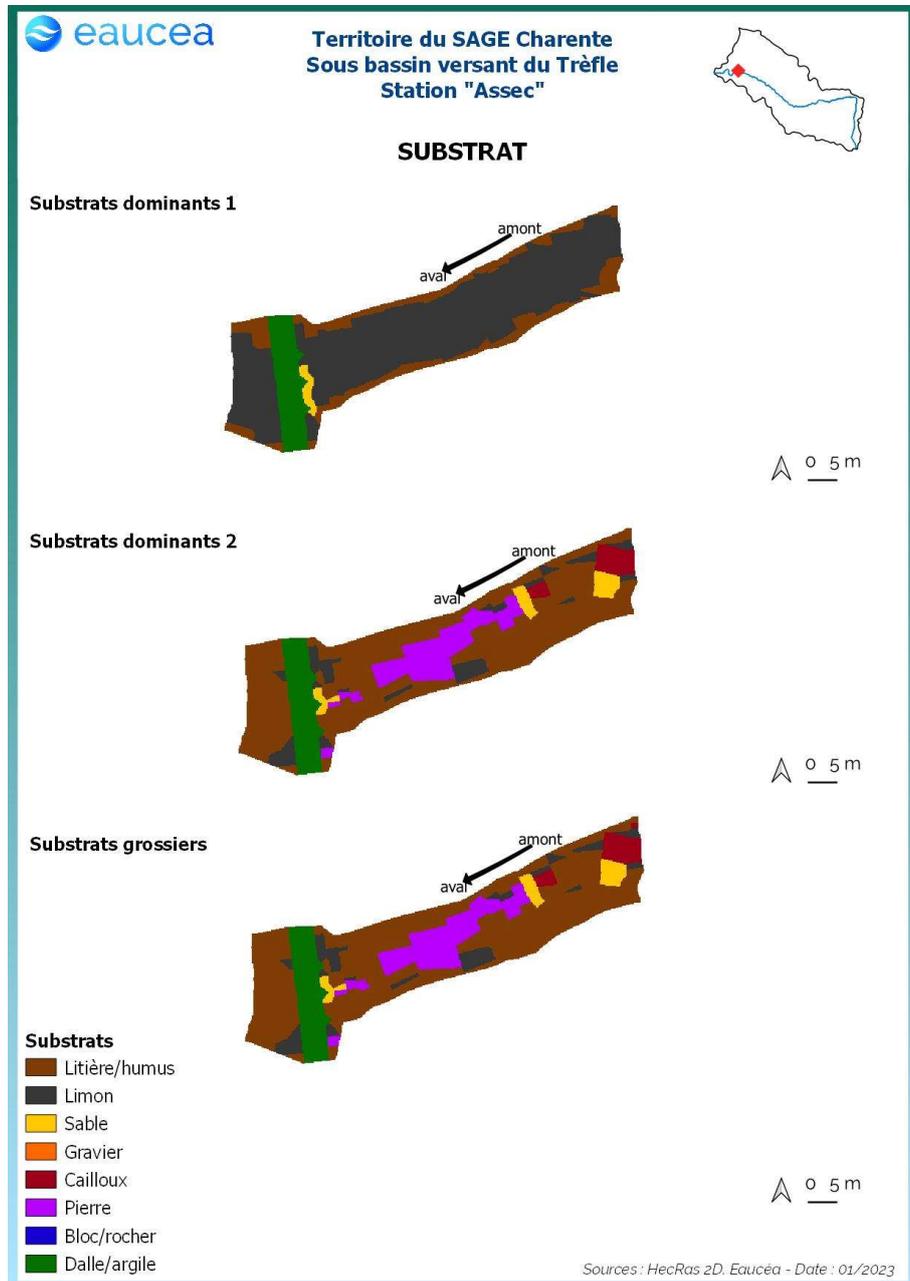


Figure 42: Carte des substrats sur la station Assec

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.

Profondeur

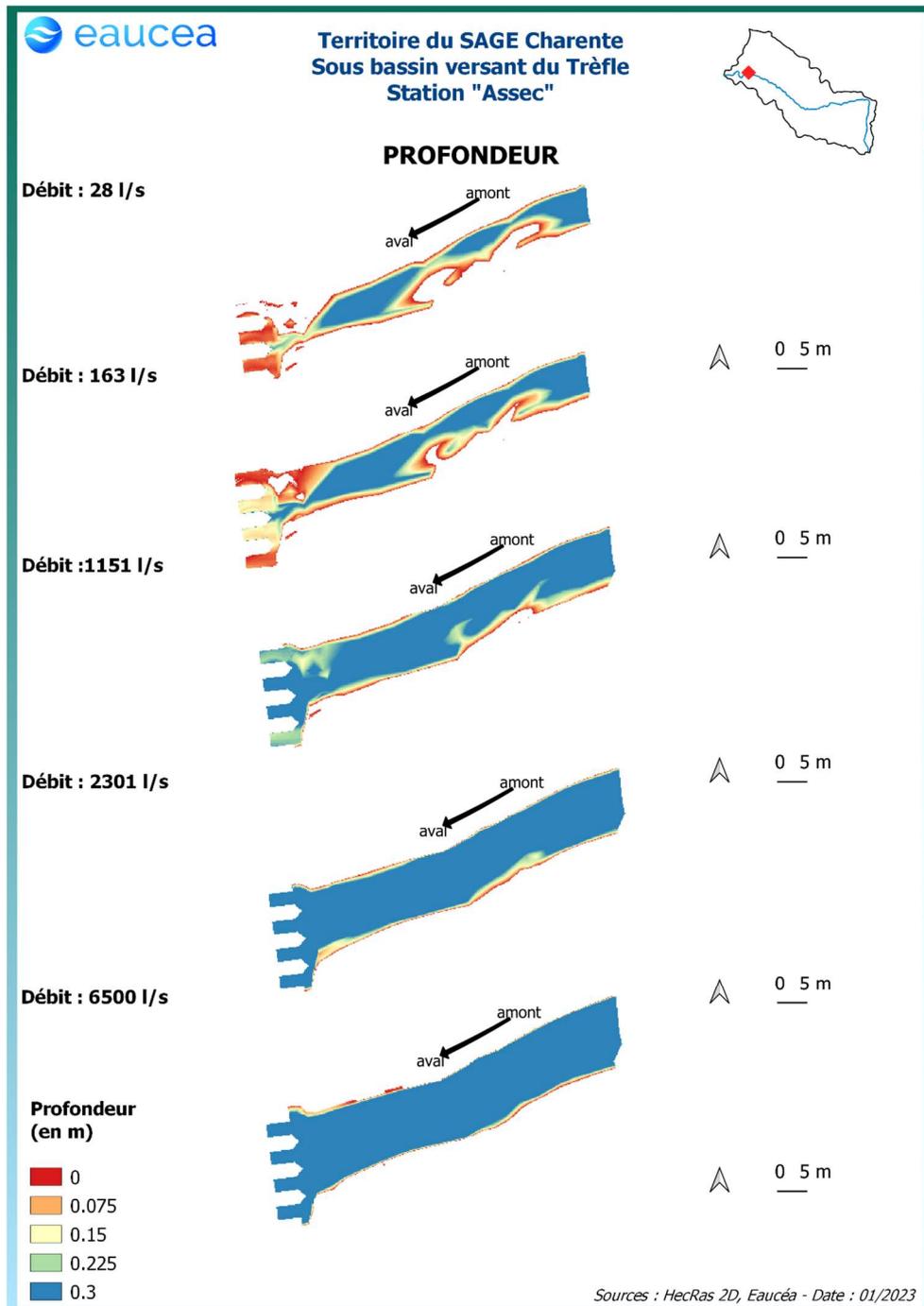


Figure 43: Evolution des profondeurs sur la station Assec

Le Trèfle présente des hauteurs d'eau assez importantes mais aussi des atterrissements nombreux en débit d'étiage. Les secteurs les plus profonds sont constitué 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.

Vitesse d'écoulement

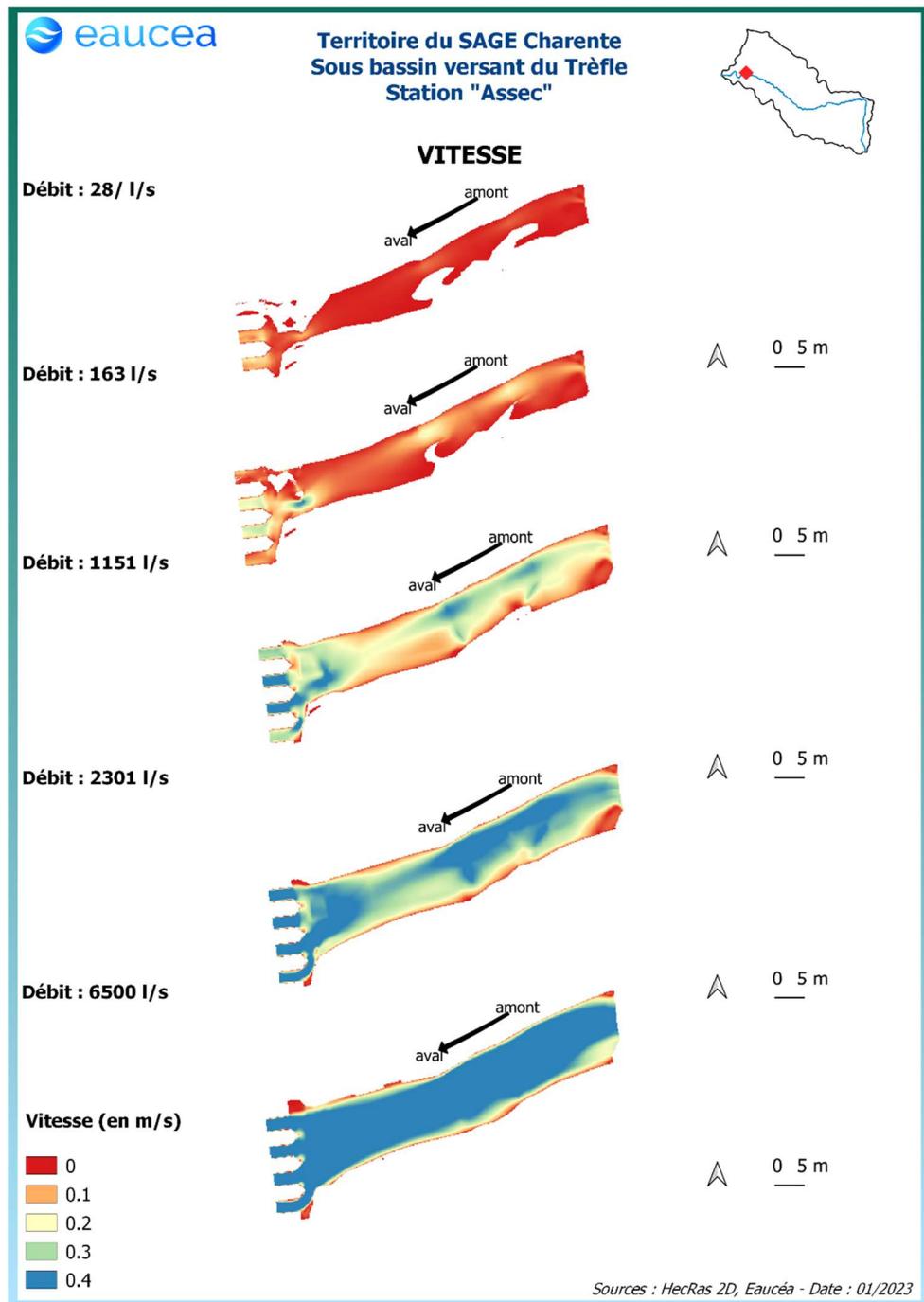


Figure 44: Evolution des vitesses d'écoulements sur la station Assec

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. La valeur repère de 25 cm/s est justifiée dans le rapport méthodologique.

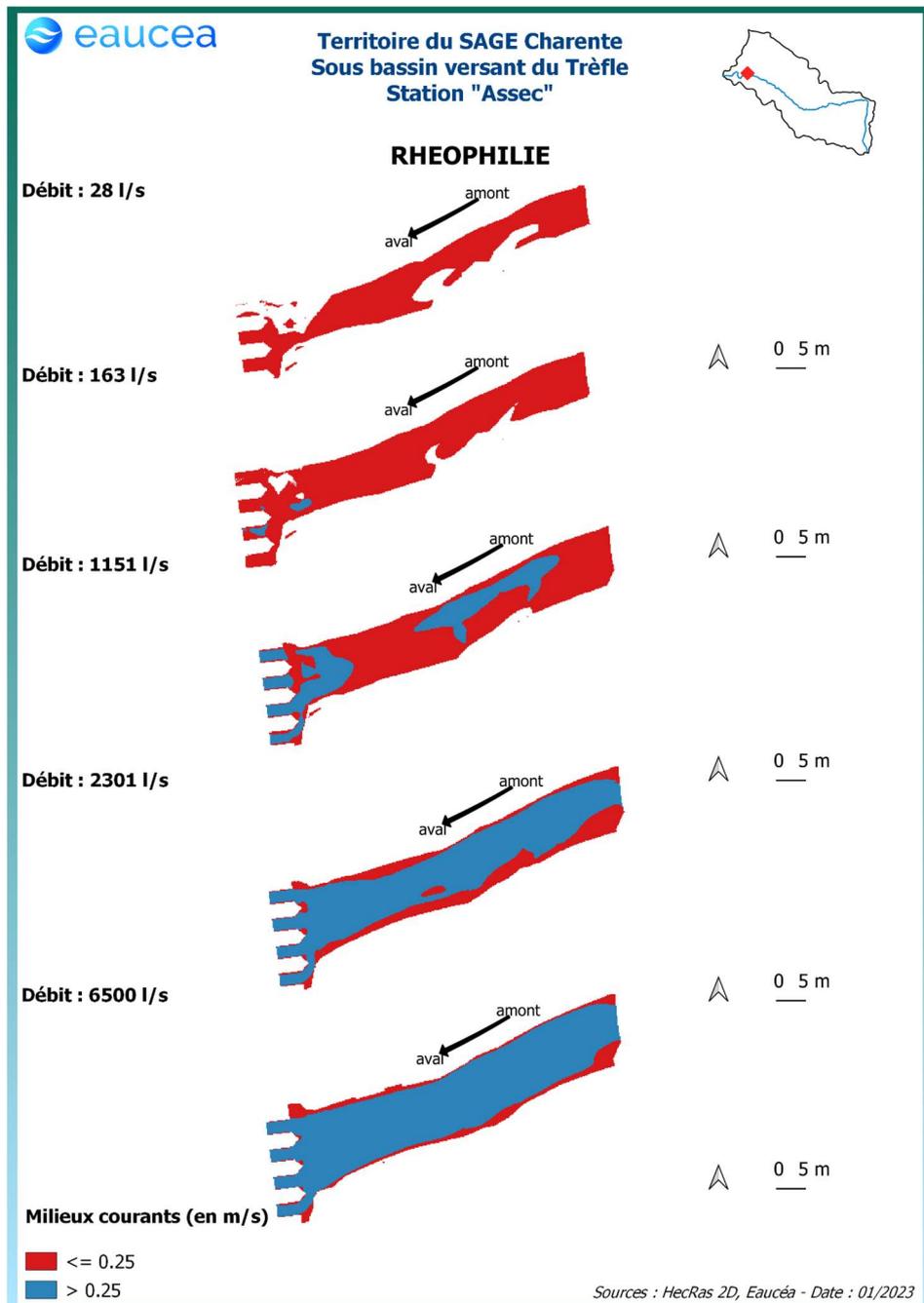
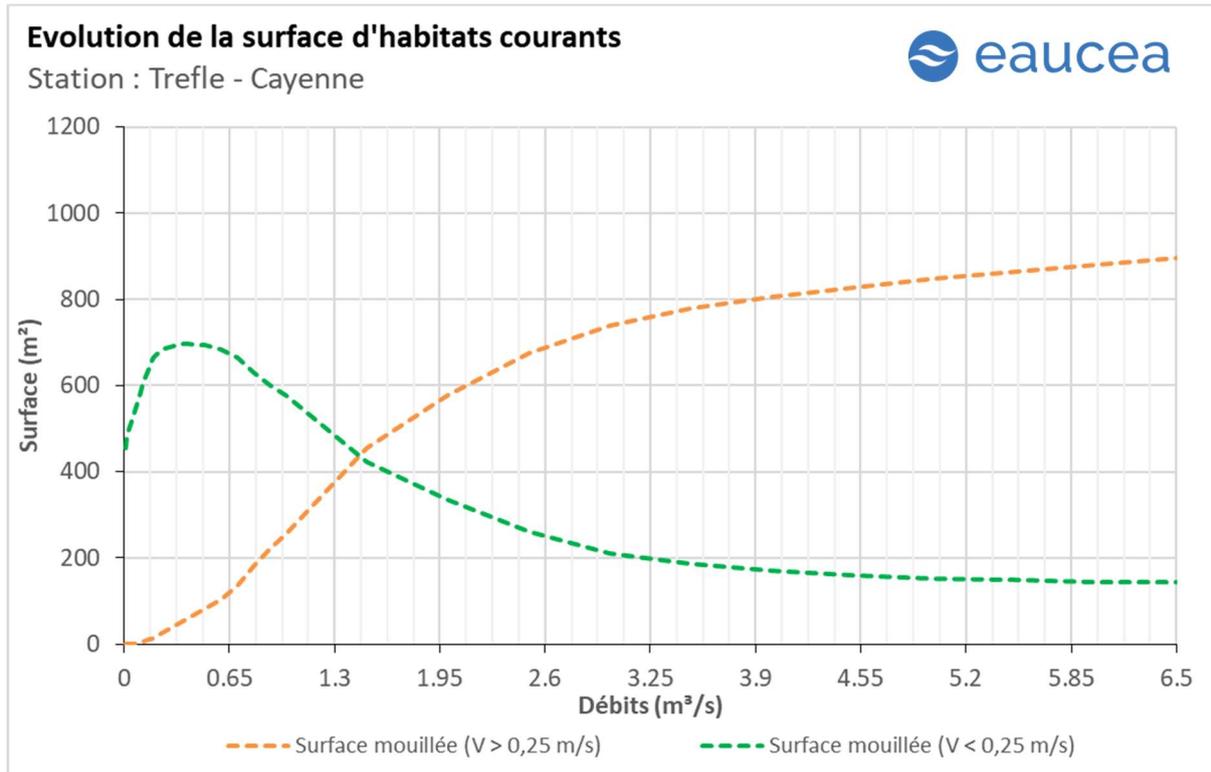


Figure 45: Carte des habitats courants sur la station Assec

On peut noter ici que la quantité d'habitats rhéophiles sur la station est assez limitée en débit d'étiage. 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'habitat lentique sur la station à bas débit, les habitats lotiques évoluant très rapidement. La station présente une belle diversité d'écoulement. Une inversion est visible aux environs de 1500 l/s.

Sur la base de ce critère, nous considérerons qu'un seuil garantissant environ 10% d'habitat rhéophile peut être retenu pour les périodes de transition soit environ 470 l/s et 20 % pour les périodes de hautes eaux, soit environ 750 l/s.

6.3 Capacité d'auto-entretien des faciès du cours d'eau (saison de 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

² Paramètre de Shields (cf annexe)

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 étiage.

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.

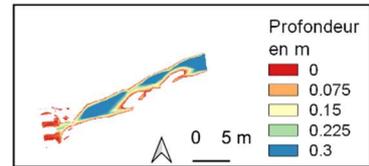
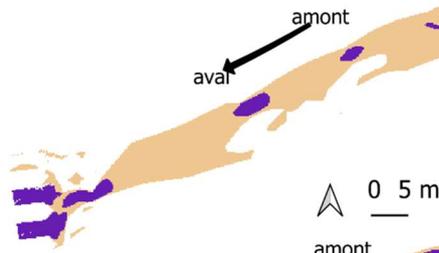
A la Cayenne, la mise en mouvement des particules fines se fait dès que le débit dépasse 163 l/s dans le chenal de vitesse. Ce débit est atteint la majorité de l'année et correspond à un débit d'étiage. Lors de la saison des hautes eaux, des particules plus volumineuses peuvent être mise en mouvement. 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.

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

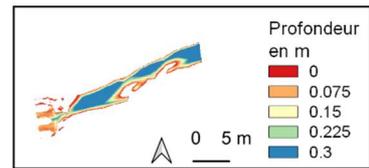
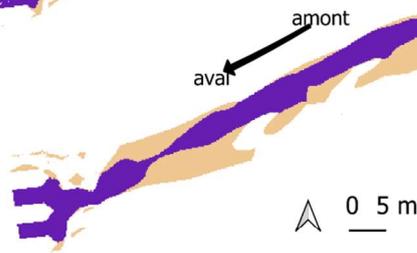


**Mise en mouvement des particules
Particules de 0.05 mm de diamètre**

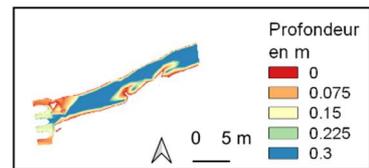
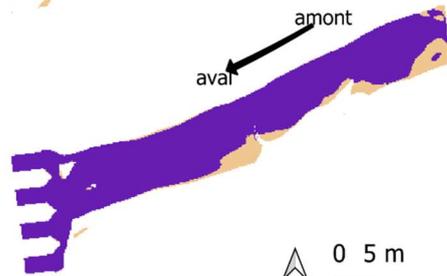
Débit : 28 l/s



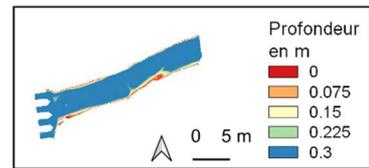
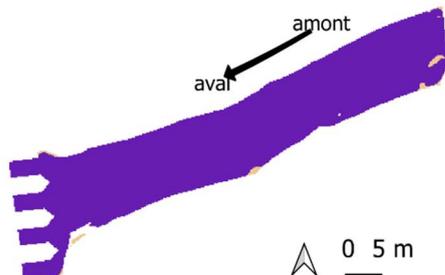
Débit : 163 l/s



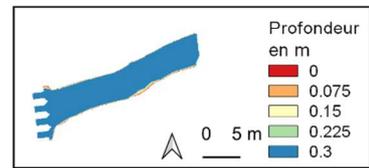
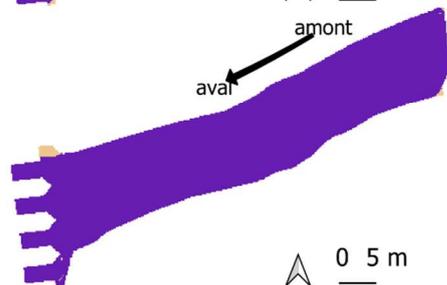
Débit : 1151 l/s



Débit : 2301 l/s



Débit : 6500 l/s



Etude des particules

- Immobiles
- Mises en mouvement

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

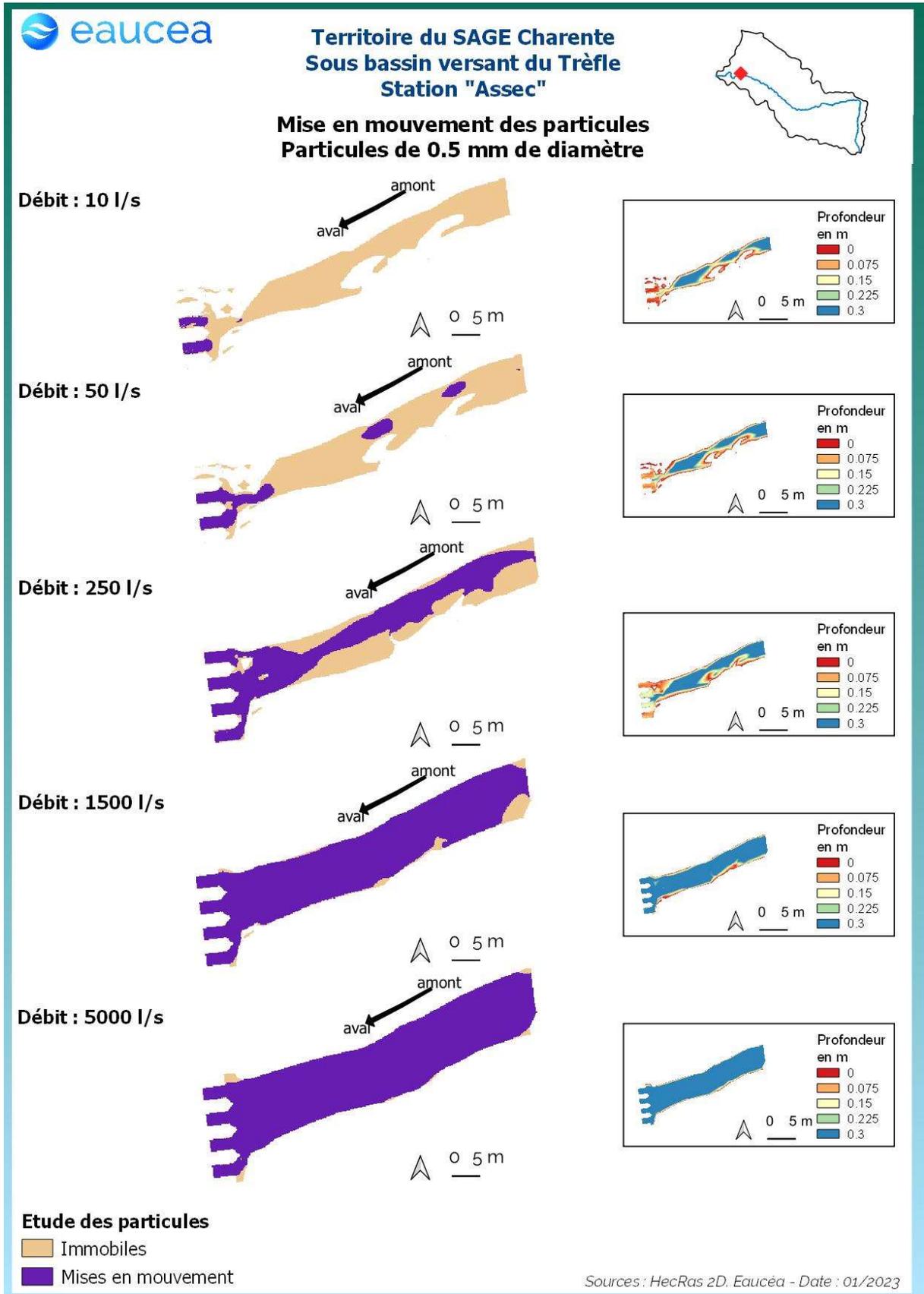


Figure 46 : Mise en mouvement des particules sur la station Assec

6.4 Connectivité longitudinale (toutes saisons)

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 la station est encore assurée pour les petites espèces à un débit de 50 l/s. Elle ne l'est plus à 20 l/s.

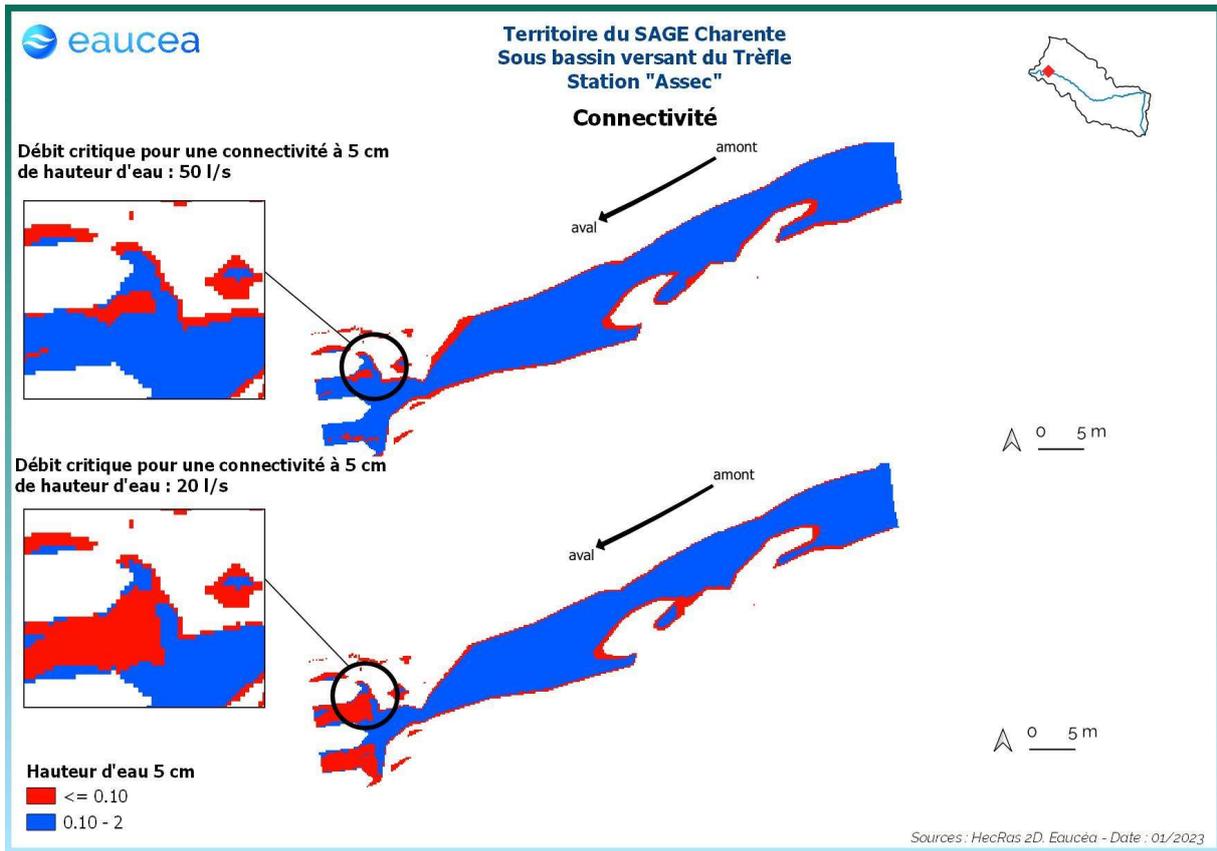


Figure 47: Connectivité de la station Assec avec un seuil à 5 cm de hauteur d'eau

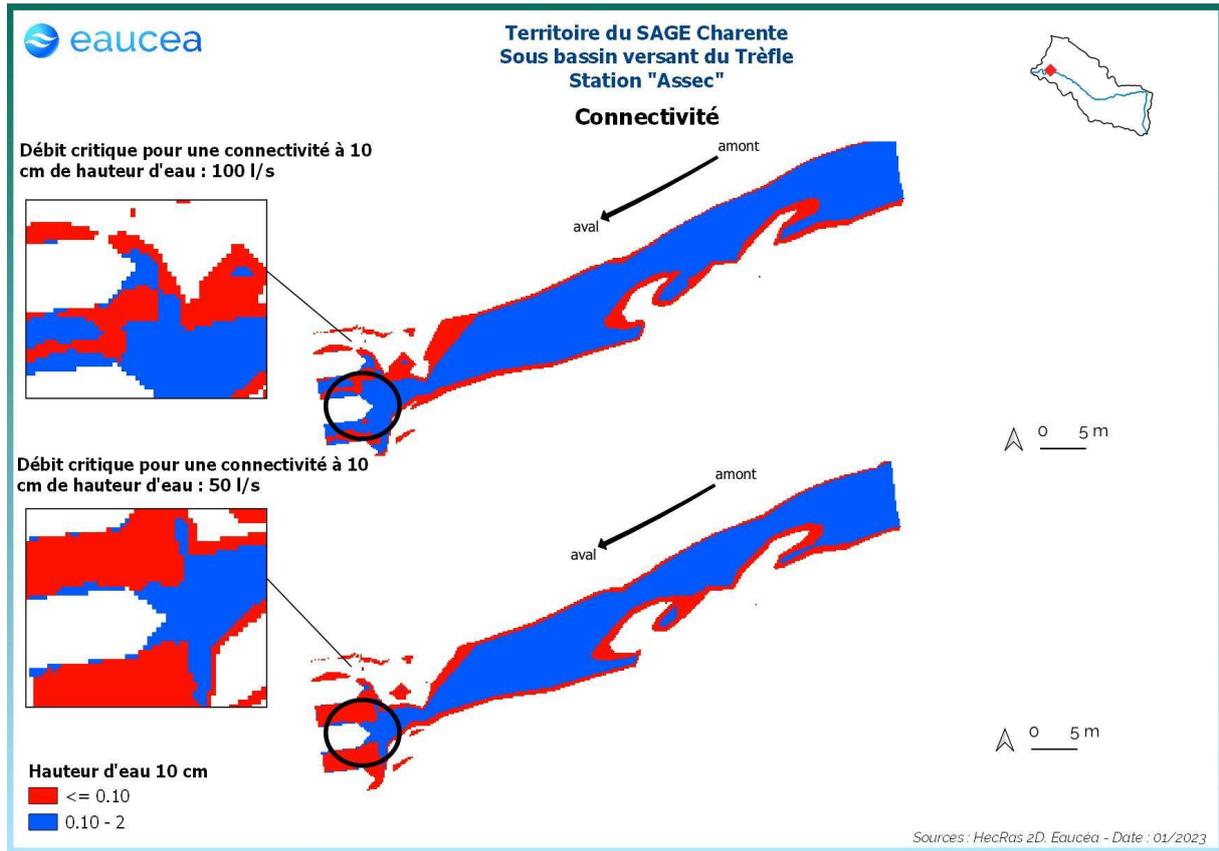


Figure 48: Connectivité de la station Assec pour un seuil de 10 cm de hauteur d'eau

La connectivité de la station sur le Trèfle est encore assurée pour les grandes espèces à un débit de 100 l/s. Elle ne l'est plus à 50 l/s.

6.5 Valeurs d'habitats et surfaces pondérées utiles

Courbes d'évolutions avec le débit jusqu'au débordement

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.

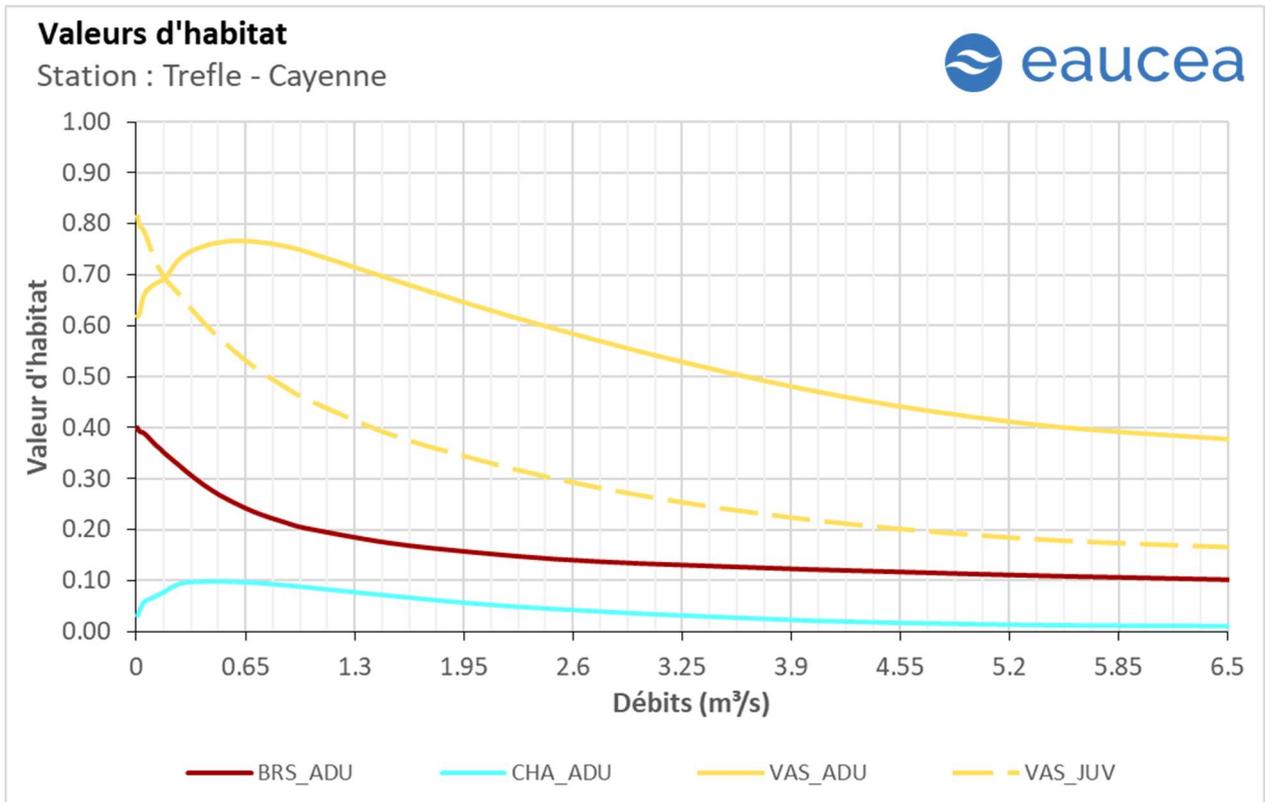


Figure 49: Valeurs d'habitat des différents stades du brochet, du vairon et du chabot de la station DMB

La station est assez 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 semble 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 environ 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.

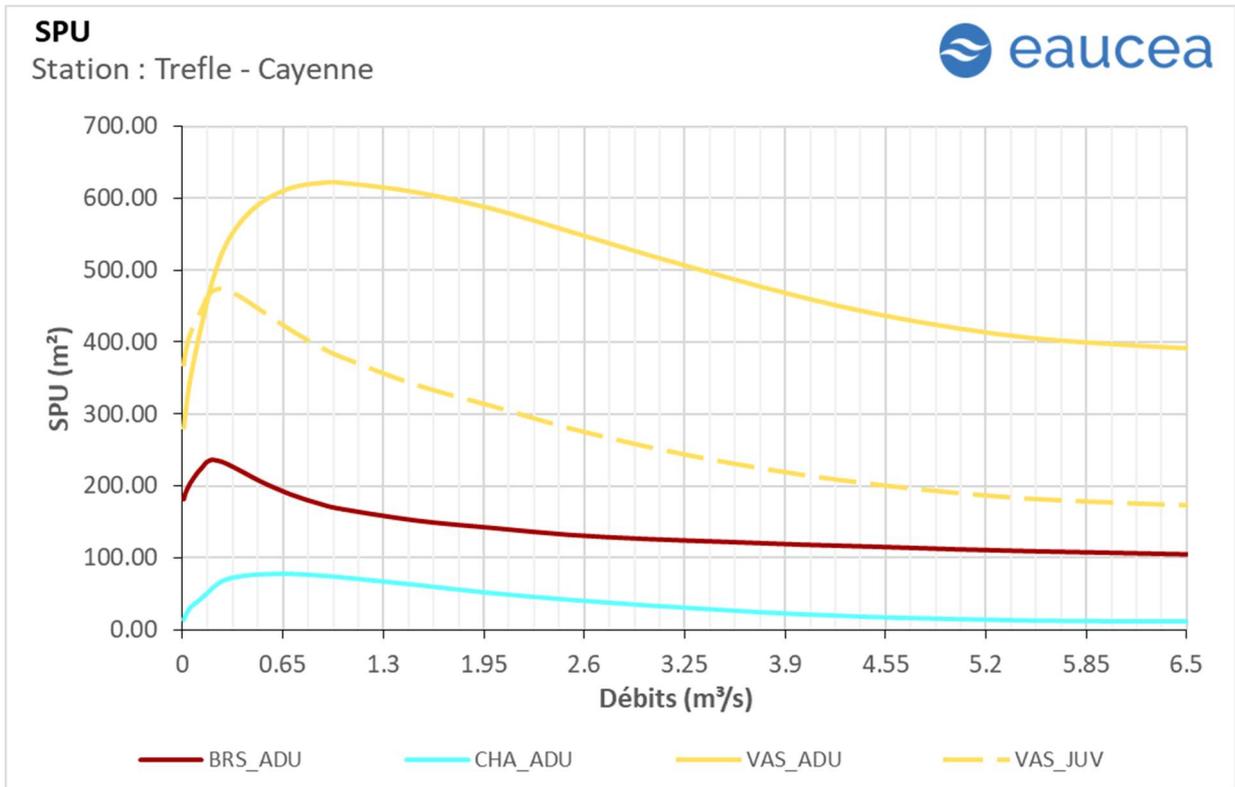


Figure 50: Surfaces pondérées utiles des différents stades du brochet, du vairon et du chabot de la station DMB

Les surfaces pondérées utiles suivent globalement les mêmes évolutions en fonction du débit mais avec le bénéfice de l'augmentation de la surface mouillée. La station est favorable à tous les stades du vairon et au brochet, mais aussi au vairon dans une bien moindre mesure. L'optimum est aux environs de 400 L/s.

Saisonnalités

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

En année quinquennale sèche, la station est en assec d'août à novembre compris.

La période des hautes-eaux favorise des échanges faunistiques entre les différents bassins. Les poissons de plus grande taille peuvent explorer ces milieux pour s'y alimenter ou s'y reproduire. La première des conditions est donc celle de la connectivité qui doit être garantie pour permettre cette colonisation plus ou moins temporaire.

Le débit de 100 l/s est donc la première valeur constitutive d'un débit biologique toutes eaux.

L'évolution de l'habitat peut être approchée par un graphe annuel pour des quantiles sec, médian et humide des débits mensuels.

Pour le brochet adulte en période de basses-eaux, l'habitabilité de la station est d'environ 234 m² et correspondant à un débit de 169 l/s.

La période de transition automnale voit une SPU du brochet adulte de 152 m² (pour 1498 l/s) en novembre d'une année humide.

La période de transition printanière voit une SPU du brochet adulte de 222 m² environ (soit un débit de 370 l/s) en juillet d'une année sèche contre 664 m² (pour 192 l/s) lors d'une année humide.

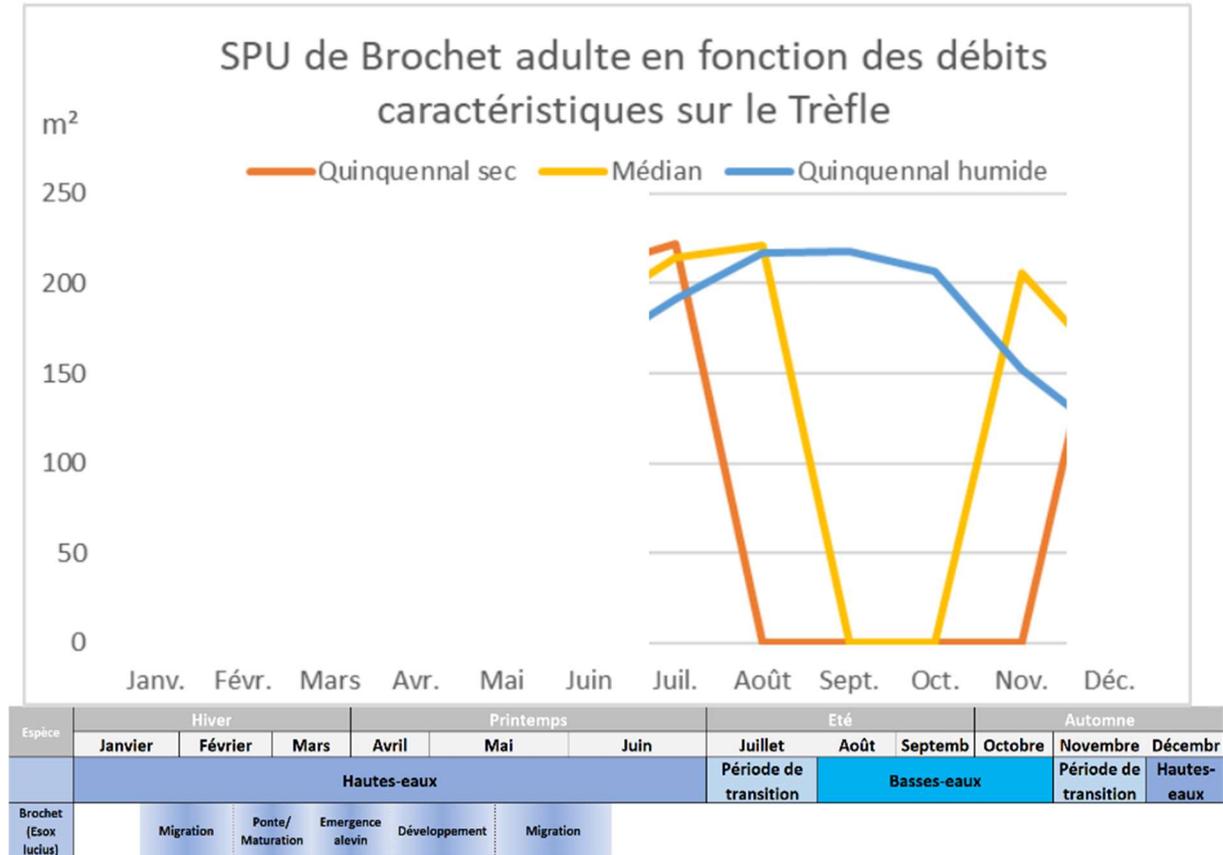
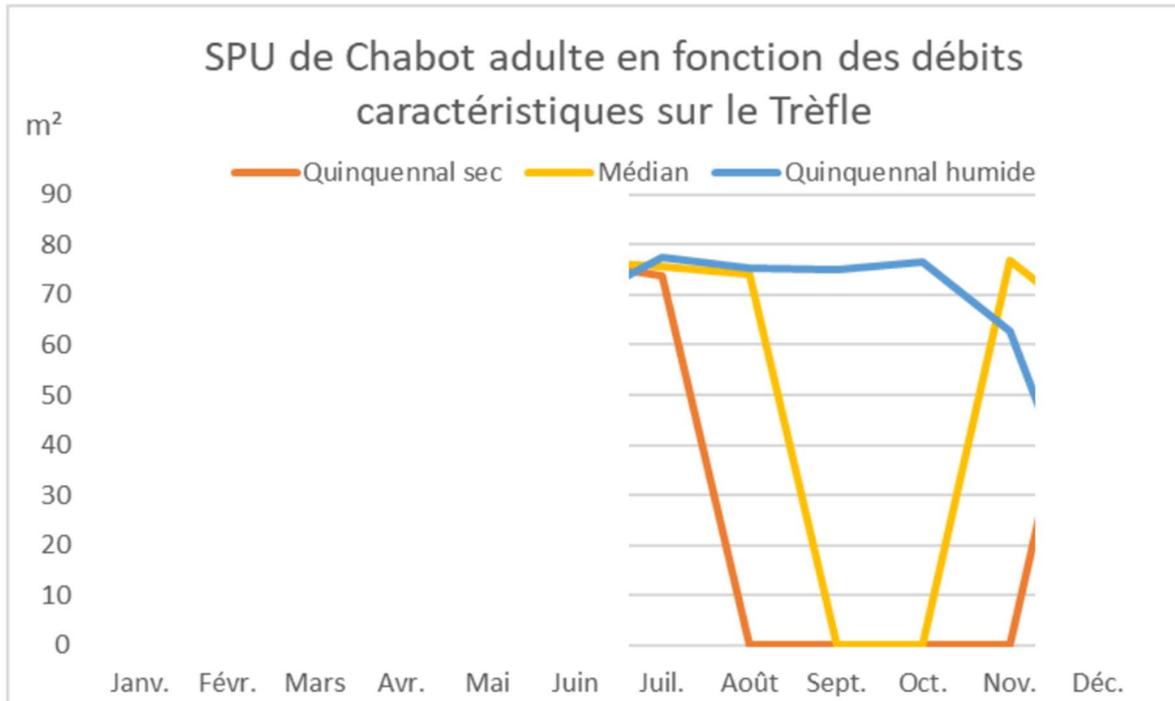


Figure 51 : Evolution temporelle des surfaces pondérées utile du brochet, calendrier biologique et hydrologique

Pour le chabot adulte en période de basses-eaux, l'habitabilité de la station est d'environ 52 m² et correspondant à un débit de 169 l/s.

La période de transition automnale voit une SPU du chabot adulte de 63 m² en novembre d'une année humide (pour 1498 l/s).

La période de transition printanière voit une SPU du chabot adulte de 74 m² environ (soit un débit de 370 l/s) en juillet d'une année sèche contre 664 m² (pour 78 l/s) lors d'une année humide.



Espèce	Hiver			Printemps			Été			Automne		
	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septemb	Octobre	Novembre	Décembr
	Hautes-eaux						Période de transition	Basses-eaux			Période de transition	Hautes-eaux
Chabot (Cottus gobio)		Reproduction			Emergence	Maturation						

Figure 52 : Evolution temporelle des surfaces pondérées utile du chabot, calendrier biologique et hydrologique

Pour le vairon adulte en période de basses eaux, l’habitabilité de la station est d’environ 464 m² et correspondant à un débit de 169 l/s. Les juvéniles de l’espèce bénéficie de 465 m² de surface pondérée utile.

La période de transition automnale voit une SPU du vairon adulte de 609 m² en novembre d’une année humide (pour 1498 l/s). Pour le juvénile, la SPU est de 342 m² en année humide.

La période de transition printanière voit une SPU du vairon adulte de 565 m² environ (soit un débit de 370 l/s) en juillet d’une année sèche contre 611 m² (pour 664 l/s) lors d’une année humide. Pour le juvénile, la SPU est de 464 m² en année sèche contre 422 m² en année humide.

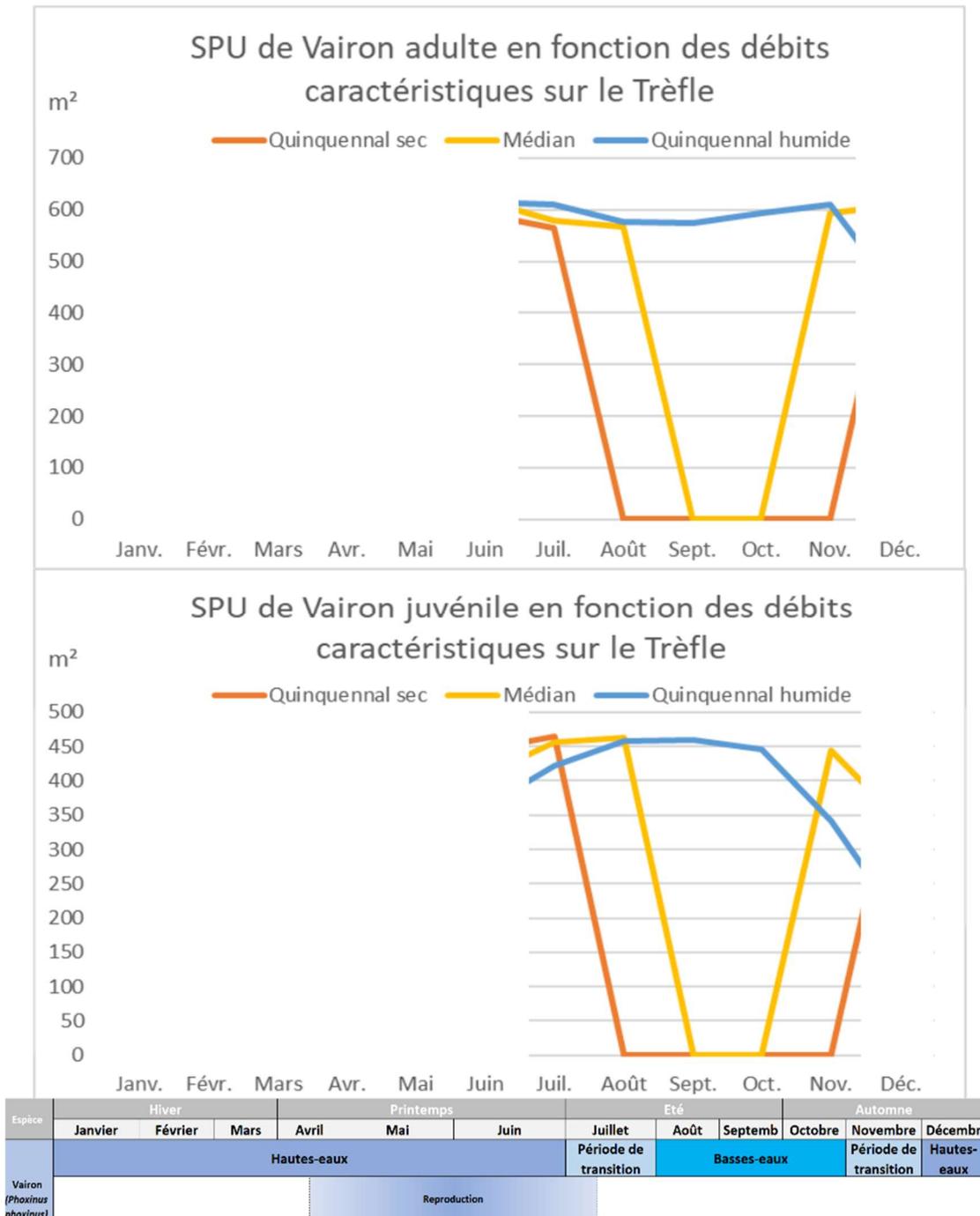


Figure 53: Evolution des surfaces pondérées utiles du vairon suivant le cycle annuel et calendrier biologique

6.5.1 Synthèse

Les valeurs proposées pour l’analyse de la sensibilité des conditions d’habitats aux débits sont donc les suivantes :

- pour la période estivale, la valeur de déconnexion longitudinale pour les grandes espèces sera retenue comme valeur de référence soit 100 l/s, bornée par le débit le plus bas (10 l/s) et le débit classé 75 % (394 l/s) ;
- pour la période de transition, une valeur intermédiaire entre les débits classés 50 % et 75 % comme valeur de référence, bornée par ces mêmes débits (394 l/s et 744 l/s) ;
- pour la période de hautes-eaux, la valeur de référence est l’optimum de débit biologique (400 l/s) comparée à une gamme de débit allant jusqu’au débit de débordement.

6.6 Conclusion concernant les débits biologiques de la station Assec

Analyse piscicole				Cayenne										Qref						
Niveau	Critère	Code	Espec	Stade	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4
Principal	Habitat	BRS_A DU	Broche ts	Adulte	-17%	-13%	-11%	-9%	-7%	-6%	-4%	-3%	-1%	219	6%	8%	7%	5%	2%	0%
Principal	Habitat	CHA_A DU	Chabot	Adulte	-63%	-50%	-41%	-31%	-22%	-18%	-13%	-9%	-4%	40	23%	49%	68%	79%	85%	88%
Principal	Habitat	VAS_A DU	Vairon	Adulte	-30%	-25%	-21%	-17%	-13%	-11%	-8%	-5%	-3%	400	12%	22%	30%	36%	40%	43%
Principal	Habitat	VAS_J UV	Vairon	Juvenile	-15%	-11%	-9%	-7%	-5%	-4%	-3%	-2%	-1%	435	5%	9%	9%	8%	7%	6%
Principal	Vitesses	Milieu rapide > 25 cm/s			-100%	-100%	-100%	-100%	-100%	-80%	-60%	-40%	-20%	3	245%	506%	859%	1235%	1570%	1920%
Principal	Surface mouillée				-23%	-18%	-16%	-13%	-11%	-9%	-7%	-4%	-2%	589	10%	18%	21%	24%	27%	29%
Complémentaire	Circulation au niveau des radiers	Gros poissons			non	non	non	non	non	non	non	non	non	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui
		Petits poissons			non	non	non	non	oui	oui	oui	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 54 : Matrice période de basses-eaux

La variation des SPU autour du débit de déconnexion est faible. Elle est plus sensible à la baisse qu’à la hausse. Si nous considérons les chabots, une variation à +/- 20% de la SPU de référence est observée entre la valeur de 100 l/s comme borne basse et 400 L/s en borne haute en période de basses-eaux. Au regard de l’hydrologie de la station, cette situation se produit environ tous les cinq ans, la station étant en assec la plupart du temps en période de basses-eaux. Nous proposons donc de ne retenir qu’une borne haute à 100 l/s.

Néanmoins, la période d’étiage 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 de 100L/s, il faut sans doute un débit en amont augmenté de 200 à 400 L/s selon nos estimations (à vérifier sur le moyen terme) soit un débit cumulé compris entre 300 et 500L/s. Ces valeurs sont très élevées sauf pour des années humides.

Analyse piscicole		Cayenne			Qref							
Niveau	Critère	Code	Espec	Stade	0.4	0.45	0.5	0.55	0.6	0.65	0.7	0.75
Principal	Habitat	BRS_A DU	Broche ts	Adulte	218	-3%	-5%	-8%	-10%	-12%	-14%	-15%
Principal	Habitat	CHA_A DU	Chabot	Adulte	75	1%	2%	3%	3%	3%	3%	3%
Principal	Habitat	VAS_A DU	Vairon	Adulte	573	2%	3%	5%	6%	6%	7%	8%
Principal	Habitat	VAS_J UV	Vairon	Juvenile	460	-2%	-3%	-5%	-6%	-8%	-9%	-11%
Principal	Vitesses	Milieu rapide > 25 cm/s			61	18%	36%	53%	72%	99%	126%	161%
Principal	Surface mouillée				758	1%	2%	3%	4%	5%	6%	7%
Complémentaire	Circulation au niveau des radiers	Gros poissons			oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui
		Petits poissons			oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui
Synthèse indicateurs principaux												
Habitat	SPU											
Habitat	Habitats rapides											
Habitat	Surface mouillée											
Habitat	Connectivité	Longitudinale										
Résultat												

Figure 55 : Matrice des périodes de transition

En période de transition, tous les indicateurs sont stables et remplissent les conditions de vie des espèces avec cependant une forte sensibilité de l'habitat pour le brochet et le vairon juvénile. Le seuil de 10 % d'habitat lotique est dépassé à 470 l/s et celui des 20 % à 750 l/s. La bonne qualité des habitats en période de transition est cruciale car cela correspond à la reprise des écoulements en automne ce qui favorise la recolonisation du Trèfle. L'optimum d'habitat de 400 l/s se trouve d'ailleurs être la borne basse de cette période.

Nous proposons donc de retenir un débit plancher entre 400 l/s et 750 l/s.

Analyse piscicole		Cayenne			Qref															
Niveau	Critère	Code	Espec	Stade	0.4	0.75	0.8	0.85	0.9	0.95	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Principal	Vitesses	Milieu rapide > 25 cm/s			3	161%	197%	230%	263%	292%	322%	849%	1116%	1226%	1294%	1347%	1401%	1452%	1489%	1525%
Principal	Surface mouillée				589	7%	7%	8%	9%	9%	10%	21%	25%	29%	32%	35%	39%	42%	47%	50%
Complémentaire	Circulation au niveau des radiers	Gros poissons			oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui								
		Petits poissons			oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui								
Synthèse indicateurs principaux																				
Habitat	Habitats rapides																			
Habitat	Surface mouillée																			
Habitat	Connectivité	Longitudinale																		
Résultat																				

Figure 56 : Matrice de la période de hautes-eaux.

En période de hautes-eaux, la plupart indicateurs sont stables et remplissent les conditions de vie et de mobilité des espèces.

Nous proposons donc de retenir un débit biologique de 400 l/s a minima. La borne haute de 10 000 l/s correspondant au débordement n'est pas réaliste et n'apparaît qu'une fois tous les dix ans et seulement sur un mois. Cette situation ne permet pas la reproduction du brochet.

7 Synthèse sur les débits biologiques étiage et hors étiage et piézométrie associée

7.1 Débits biologiques des stations

Les valeurs de l'ensemble des stations étudiés sont présentées et comparées. Pour faciliter l'analyse elles sont transformées en débit spécifique au prorata de leur bassin versant.

		Hiver			Printemps			Eté			Automne		
		Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
en L/s	Couture	Hautes-eaux						Période de transition	Basses-eaux			Période de transition	Hautes-eaux
Guimps	DMB+												
	DMB-								5				
DMB	DMB+	1000						250	60			250	1000
	DMB-	200						140	30			140	200
Assec	DMB+	10000						750	100			750	10000
	DMB-	400						400	0			400	400
en L/s/km2		Hautes-eaux						Période de transition	Basses-eaux			Période de transition	Hautes-eaux
Guimps	DMB+	-						-	-			-	-
	DMB-	-						-	0.1			-	-
DMB	DMB+	10.8						2.7	0.6			2.7	10.8
	DMB-	2.2						1.5	0.3			1.5	2.2
Assec	DMB+	37.0						2.8	0.4			2.8	37.0
	DMB-	1.5						1.5	-			1.5	1.5

Ce tableau montre que les critères de choix sont sensiblement les mêmes :

- La connectivité longitudinale constitue un critère majeur notamment pour la connexion avec la Seugne et au-delà avec la Charente. Néanmoins, le phénomène d'assec naturel en aval du Trèfle s'explique par des pertes dont le débit reste à expertiser car dépendant de la piézométrie mais sans doute de l'ordre de 200 à 300L/s.
- La reprise des écoulements à l'automne et jusqu'au printemps, constitue une opportunité pour les espèces piscicoles cibles notamment, d'explorer et d'exploiter ces milieux favorables. C'est la période d'accroissement de la biomasse, de la reproduction piscicole et de la diversité des habitats benthiques, notamment dans la station Assec.
- La capacité d'auto-entretien de la granulométrie n'est pas remise en cause. Le trèfle n'est donc pas vulnérable au colmatage durable par les limons et les sables sur les tronçons expertisés.
- La reproduction du brochet sur les stations est parfois très favorable (Allas-Champagne), parfois clairement défavorable (Assec).

7.2 Piézométrie associée (à venir)

8 BIBLIOGRAPHIE

Baudoin JM., Burgun V., Chanceau M., Larinier M., Ovidio M., Sremiski W., Steinbach P., Voegtle B. (2014) – Evaluer le franchissement des obstacles par les poissons, Principes et méthodes.

Bruslé, J., & Quignard, J. P. (2001). *Biologie des poissons d'eau douce européens*. Lavoisier.

Lamouroux N. (2002) - Estimhab : estimating instream habitat quality changes associated with river management. Shareware & User's guide. Cemagref, Lyon.

Lamouroux N., Capra H., Pouilly M., Souchon Y., (1999) – Fish habitat preferences in large streams of southern France. *Freshwater Biology* 42, 673-687. Cemagref, Lyon.

Plichard L. (2018) - Modélisation multi-échelles de la sélection de l'habitat hydraulique des poissons de rivière. Ecosystèmes. Université de Lyon. Français. NNT : 2018LYSE1284.

Valette L., Piffady J., Chandesris A. Souchon Y. (2012) – SYRAH-CE : Description des données et modélisation du risque d'altération de l'hydromorphologie des cours d'eau pour l'Etat des lieux DCE.

9 ANNEXES

9.1 Annexe 1 : Tableau des différentes espèces-cibles validées en COPIL par bassin.

Les affluents de la Seudre sont encadrés en rouge.

SAGE	Rivière	Espèces dominantes	Espèces accompagnatrices	Rhéophiles/lithophiles	Continuité latérale	Migrateurs	Espèces cibles proposées
Boutonne	Boutonne amont	VAI GOU LOF ABL	CHA GAR LPP EPT ANG TRF VAR CHE BRS	VAI CHA LPP TRF VAR	BRS	ANG	VAI CHA TRF VAR BRS
	Boutonne médiane	VAI BAF CHE GAR ABL	LOF ANG EPT LPP VAR BRS PER PES ROT BBB CHA TAN TRF	VAI BAF LPP VAR CHA TRF	BRS	ANG	VAI CHA TRF VAR BRS
	Trézence	VAI LOF GOU	EPT GAR CHE ANG VAR PES ROT	VAI VAR		ANG	VAI VAR GOU
	Brédoire	VAI LOF	TRF EPT GOU ANG CHE LPP GAR BRS ABL VAR GOU	VAI TRF LPP VAR	BRS	ANG	VAI VAR TRF BRS
	Nie	VAI EPT LOF	LPP ANG CHE BRS TRF GAR	VAI LPP TRF	BRS	ANG	VAI TRF BRS
Seudre	Seudre moyenne	GAM GAR PES GOU ANG CHE	TAN VAR PER LOF BBB BRS VAI ROT CAS BBG	VAR VAI	BRS	ANG	BRS VAR
	Seudre aval	ANG GAR GOU CHE	BRS CAS PES LOF CCO EPI VAR	VAR	BRS	ANG	BRS VAR
	Chatelard	BRS VAI VAR ?	?	VAI VAR ?	BRS	ANG ?	BRS VAI VAR
	Benigousse	VAI VAR ? BRS ?	?	VAI VAR ?	?	ANG ?	BRS VAI VAR
	Chantegrenouille	BRS VAI VAR ?	?	VAI VAR ?	BRS	ANG ?	BRS VAI VAR
	Pelisson	VAI VAR ?	?	VAI VAR ?	?	ANG ?	VAI VAR
Charente	Aume	VAI LOF TRF CHE	ANG CHA PER GRE PES BBB BRS ABL GOU HOT LPP TAN ROT BAF SIL	VAI TRF CHA HOT LPP BAF	BRS	ANG	VAI TRF CHA
	Seugne amont	GAR CHE BBB ABL VAI	PER PES GOU LOF ANG TAN ROT EPT ABH BRS GAM	VAI	BRS	ANG	VAI GOU BRS
	Seugne aval	ANG GAR GOU CHE VAI	TAN ROT EPT GAM BOU LPP ABL PES BRS PER VAR EPI CHA CAS TRF PCH	VAI LPP VAR CHA TRF PCH	BRS	ANG	VAI CHA VAR BRS
	Trèfle	VAI	GOU LOF ANG PES CHE ABL CHA EPT GAR LPP PER BRS TAN	VAI CHA LPP	BRS	ANG	VAI CHA BRS
	Antenne	VAI LOF ANG GOU	CHE EPT TRF GAR LPP BRS CHA TAN VAR ABL PES	VAI TRF LPP CHA	BRS	ANG	VAI TRF VAR CHA BRS

ABH : Able de Heckel	CHE : Chevaine	PCH : Poisson-chat
ABL : Ablette	EPI : Epinoche	PER : Perche fluviatile
ANG : Anguille européenne	EPT : Epinochette	PES : Perche soleil
BAF : Barbeau fluviatile	GAM : Gambusie	ROT : Rotengle
BBB : Brème	GAR : Gardon	SIL : Silure
BBG : Black bass	GOU : Goujon	TAN : Tanche
BOU : Bouvière	GRE : Grémille	TRF : Truite fario
BRS : Brochets (commun et aquitain)	HOT : Hotu	VAR : Vandoise rostrée
CAS : Carassin	LOF : Loche franche	
CCO : Carpe commune	LPP : Lamproie de Planer	
CHA : Chabot		

9.2 Annexe 2 : Habitat des invertébrés

L'étude de la population d'invertébrés du bassin de la Charente permet de lister les espèces présentes. Un certain nombre d'entre elles disposent de courbes de préférences d'habitat. Il convient cependant de soulever différentes limites au rapprochement de débits biologiques « classiques » avec une approche concernant les invertébrés. Ces limites sont :

- les populations d'invertébrés sont très sensibles à d'autres variables environnementales que le débit, donc trop intégratives pour la question des débits biologiques ;
- les populations inventoriés le sont à la fin de l'été et ne comprennent donc que les espèces présente en fin de période de basses-eaux, aucune expertise ne peut être faite concernant les autres périodes hydrologiques ;
- ce sont des espèces peu mobiles en comparaisons avec les poissons, un diagnostic précis par station n'est donc pas envisageable ;
- les modèles ne représentent pas tous le même niveau phylogénétique ;
- les clades (famille, groupe, taxon, ...) disposant de courbes de préférence sont trop peu nombreux.

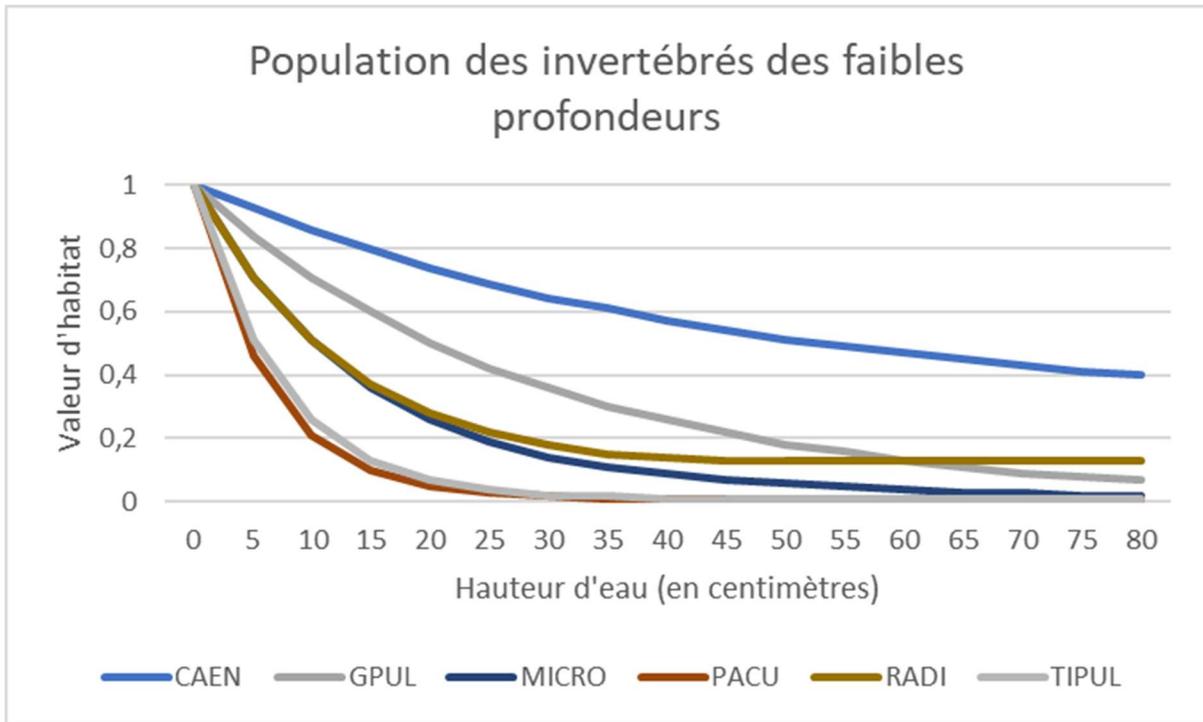
Nous pouvons cependant définir des grandes familles comportementales en lien avec les paramètres « hauteur » et « vitesse ».

Préférence de hauteur d'eau

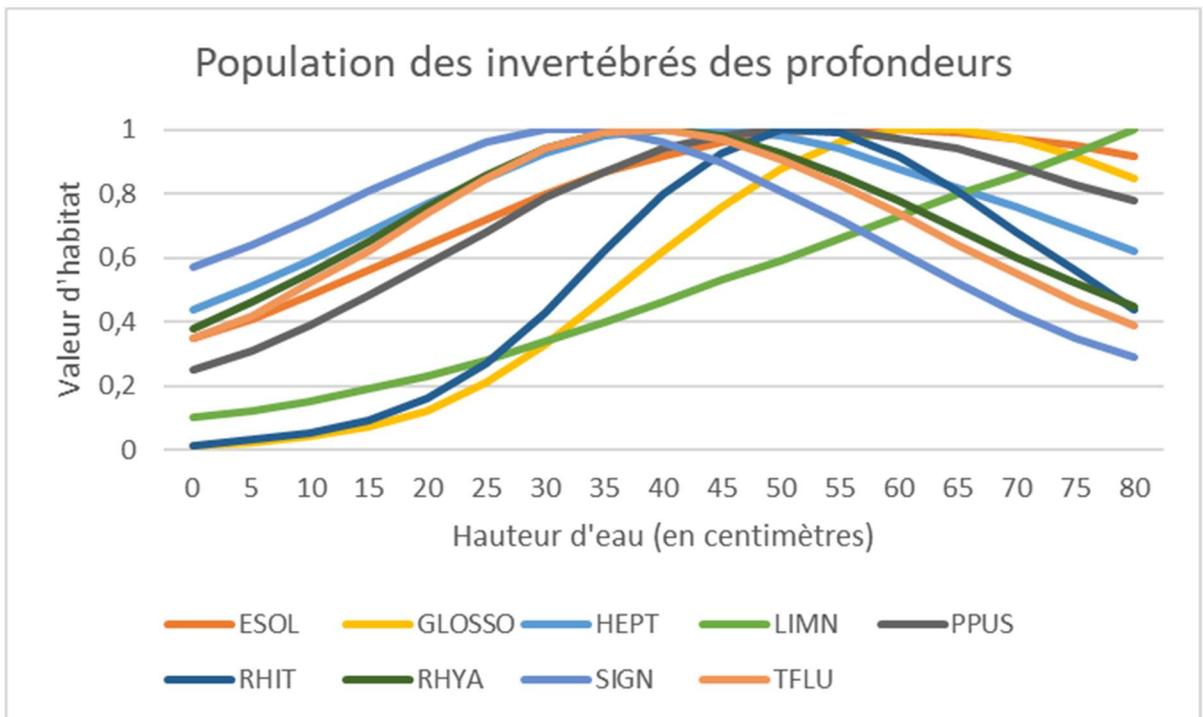
Seuls 15 clades disposent de courbes de préférence concernant les hauteurs d'eau, les voici listés ci-dessous.

Clade	Code
Caenis	CAEN
Esolus	ESOL
Gammarus	GPUL
Glossiphoniidae	GLOSSO
Heptagenia	HEPT
Limnius	LIMN
Micronecta	MICRO
Physella	PACU
Psychomyia	PPUS
Radix	RADI
Rhithrogena	RHIT
Rhyacophila lato-se	RHYA
Serratella	SIGN
Theodoxus	TFLU
Tipulidae	TIPUL

On peut néanmoins distinguer deux sous-groupes suivant leur préférence. Un premier groupe comprend les espèces vivant dans les eaux peu profondes jusqu'à une quinzaine de centimètres de fond correspondant à des faciès de type radier ou courant peu profond.



Un second groupe correspond aux espèces dont l'optimum se situe entre 30 et 60 cm de hauteurs d'eau. Ce sont donc plutôt des espèces de fosses ou de chenaux qui restent toujours en eau. Ce sont d'ailleurs ces espèces qui dominent en diversité et en nombre d'individus sur le secteur.



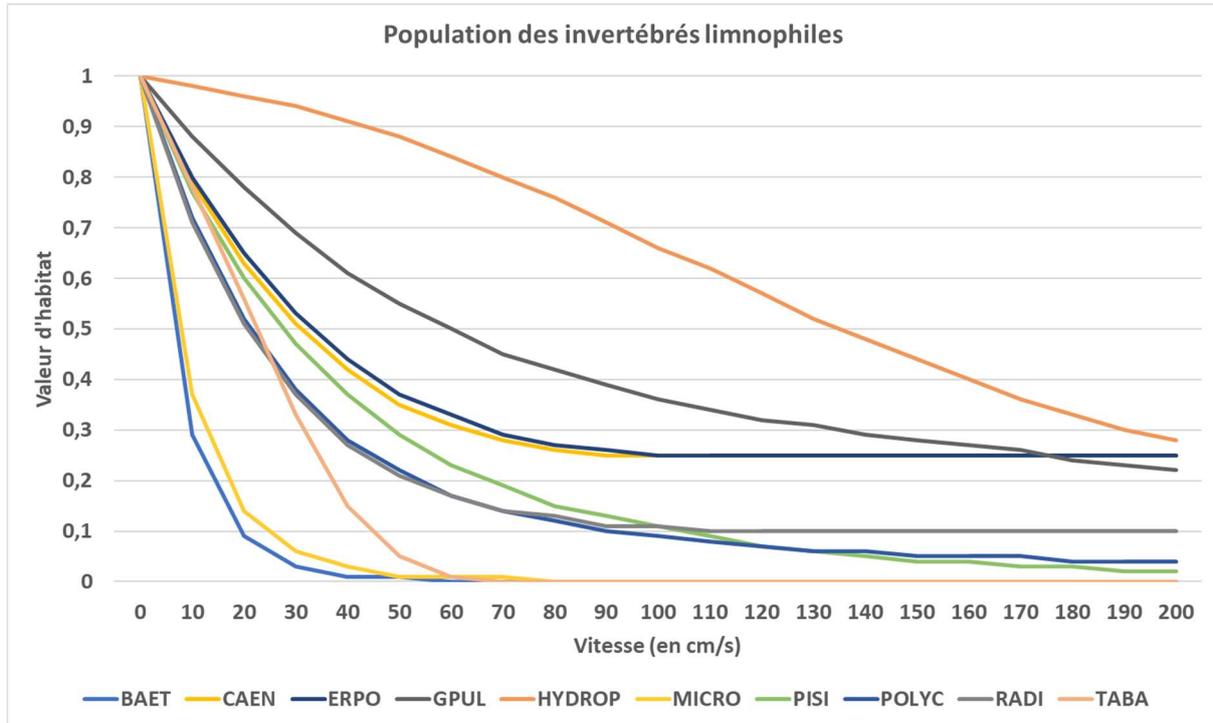
En résumé, la différenciation des habitats benthiques en lien avec la profondeur peut s'analyser en distinguant deux zones de part et d'autre de la valeur-seuil de 15 centimètres de profondeur.

Vitesses d'écoulement

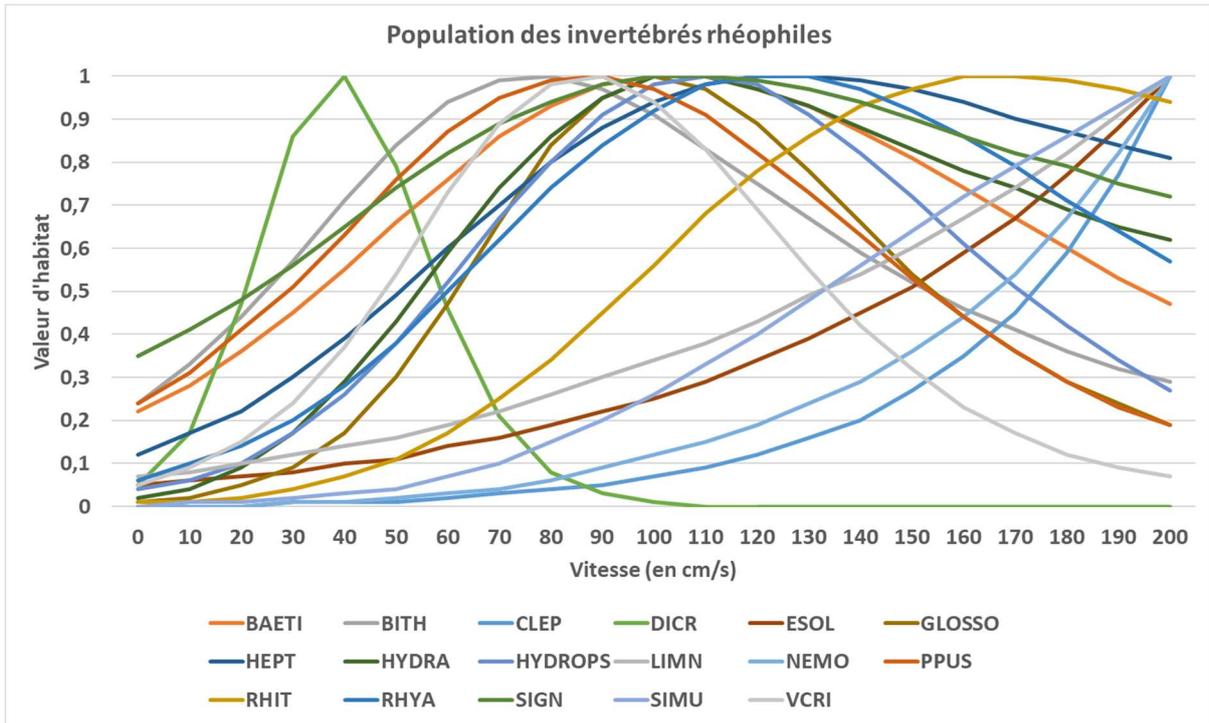
Seuls 27 clades disposent de courbes de préférence concernant les vitesses d'écoulement, les voici listés ci-dessous.

Clade	Code
Baetidae	BAET
Baetis	BAETI
Bithynia	BITH
Caenis	CAEN
Cheumatopsyche	CLEP
Dicranota	DICR
Erpobdellidae	ERPO
Esolus	ESOL
Gammarus	GPUL
Glossiphoniidae	GLOSSO
Heptagenia	HEPT
Hydraena	HYDRA
Hydropsyche	HYDROPS
Hydroptila	HYDROP
Limnius	LIMN
Micronecta	MICRO
Nemoura	NEMO
Pisidium	PISI
Polycentropus	POLYC
Psychomyia	PPUS
Radix	RADI
Rhithrogena	RHIT
Rhyacophila lato-sensu	RHYA
Serratella	SIGN
Simuliidae	SIMU
Tabanidae	TABA
Valvata	VCRI

Comme avec les hauteurs d'eau, on peut aussi distinguer deux sous-populations. La première correspond aux espèces ne tolérant pas les fortes vitesses. Leur optimum se situe en dessous d'une valeur comprise entre 0 cm/s et une trentaine de cm/s. C'est donc une population des milieux lenticques. Cette valeur conforte le seuil de 25 cm/s retenu pour l'analyse de la rhéophilie (cf. note méthodologique) elle-même issue du protocole d'inventaire de l'Indice Invertébrés Multi-Métriques (I2M2).



Une seconde sous-population, bien plus nombreuse, préférera les vitesses situées entre 70 et 130 cm/s à l'exception de *Dicranota* sp. (optimum à 40 cm/s) et *Rhitrogenas* sp. (optimum à 170 cm/s). Il s'agit d'espèces inféodés aux milieux lotiques et elles sont majoritaires sur le bassin.



En résumé, la différenciation des habitats benthiques en lien avec la vitesse peut s'analyser en distinguant deux zones de part et d'autre de la valeur-seuil de 25 cm/s. C'est le critère le plus discriminant en étiage.