



SOCIÉTÉ D'INGÉNIERIE
EAU & ENVIRONNEMENT



M I G A D O
Migrateurs Garonne Dordogne



**ETUDE POUR UNE LIMITATION DES EFFETS DES ECLUSEES SUR
LA DORDOGNE EN AVAL DE L'AMENAGEMENT DU SABLIER
POUR LE SAUMON ATLANTIQUE**

SECTEUR ARGENTAT - SAULIERES

Etude financée par :

L'Etat

L'Europe

L'Agence de l'Eau Adour-Garonne

Courret D., Larinier P., Lascaux J.M., Chanseau M. et Larinier M.

MAI 2006

Rapport MIGADO 8D-06-RT / GHAAPPE RA.06.02



**Groupe d'Hydraulique Appliquée aux Aménagements Piscicoles
et à la Protection de l'Environnement**

ETUDE POUR UNE LIMITATION DES EFFETS DES ECLUSEES SUR LA DORDOGNE EN AVAL DE L'AMENAGEMENT DU SABLIER POUR LE SAUMON ATLANTIQUE

SECTEUR ARGENTAT – SAULIERES

Courret D.¹, Larinier P.², Lascaux J.M.³, Chanseau M.⁴ et Larinier M.¹

¹GHAAPPE, ²SIEE, ³ECOGEA, et ⁴MIGADO

RESUME

Dans une première partie, on présente brièvement le régime hydrologique de la Dordogne à l'aval de la chaîne des grands barrages ainsi que la gestion par écluse du barrage du Sablier. La gestion de l'usine du Sablier est mixte entre une gestion hebdomadaire et journalière comme en témoigne l'allure « en tiroirs emboîtés » de la chronique des débits. En moyenne, 85 éclusées d'amplitude supérieure à 50 m³/s (50 % du module) et avec un gradient de débit supérieur à 30 m³/s/h sont pratiquées chaque année, avec un minimum de 35 et un maximum de 145 sur la période 1989-2003. Les périodes de reproduction des salmonidés (mi-novembre à fin décembre), d'incubation des oeufs et de vie sous graviers des larves (mi-novembre à fin mars) et d'émergence et de post-émergence des alevins (fin mars à fin mai) sont particulièrement concernées avec respectivement 37, 57 et 16 éclusées pratiquées en moyenne. Parmi les éclusées, 23 % environ atteignent des amplitudes supérieures à 100 m³/s, et 27 % des gradients de débits supérieurs à 70 m³/s/h.

L'exploitation des modélisations hydrauliques de la Dordogne entre Argentat et les îlots de Saulières a permis d'apporter des éléments de réponse aux problématiques et questions relatives aux zones de fraie des saumons, aux zones de croissance des 0+ et aux phénomènes d'échouage-piégeage des alevins. Le modèle hydraulique a permis de déterminer grossièrement les débits de mise en eau de deux zones de piégeage des post-émergents. Cet outil a également fourni des informations sur deux paramètres qui semblent influencer l'échouage: d'une part l'évolution de la surface mouillée en fonction du débit et d'autre part les correspondances entre les gradients de hauteur d'eau et les gradients de débit.

Les résultats de cette étude en accord avec les suivis biologiques sur la Dordogne (suivi de la reproduction et de l'échouage-piégeage, ECOGEA pour MIGADO) amènent à préconiser notamment (1) le **maintien d'un débit minimum hivernal de 30 m³/s durant les périodes de reproduction, d'incubation et de vie sous graviers (mi-novembre à fin mars)**. Ce débit permet la mise en eau de la quasi-totalité des zones de substrat favorable à la fraie et donc la limitation des exondations de frayères. Les premiers résultats sur la mise en eau des zones d'échouage-piégeage des alevins montre (2) que certaines zones ne peuvent pas raisonnablement faire l'objet de mesure portant sur la gestion des débits mais qu'il est alors envisageable d'intervenir sur la morphologie, et (3) qu'une **limitation du débit à une valeur maximale probablement inférieure à 200 m³/s durant la principale période de sensibilité à l'émergence (fin mars à fin mai)** éviterait la mise en eau de certaines zones piègeuses. Les suivis de l'échouage-piégeage amènent également à penser que (4) le **maintien d'un débit minimum relativement élevé durant cette même période** permettrait de diminuer les mortalités en limitant les surfaces exondées et les déconnexions de poches d'eau. La présente étude n'a pas permis de déterminer précisément cette valeur minimale, mais une étude similaire en cours sur un secteur de Dordogne plus en aval devrait fournir des informations complémentaires.

Ces premières préconisations devront être rediscutées et complétées (valeur de débit et période de sensibilité), en prenant en compte notamment les résultats de l'étude mentionnée ci-dessus, et des suivis de l'échouage-piégeage (ECOGEA pour MIGADO).

Le travail présenté dans ce rapport porte sur le saumon atlantique et la truite commune. La nécessaire prise en compte de l'ombre commun sur la Dordogne induirait principalement la prolongation jusqu'à la mi-juin des préconisations 3 et 4 destinées à limiter les mortalités par échouage-piégeage.

MOTS CLES : saumon atlantique, Dordogne, éclusées, modélisation hydraulique, frayères, échouage-piégeage des alevins, habitat.

SOMMAIRE

1.	Introduction	6
2.	Etude hydrologique.....	7
2.1.	La chaîne des grands barrages	7
2.2.	Le barrage du Sablier	7
2.3.	Caractérisation des éclusées.....	7
2.4.	Les données	9
2.5.	Résultats.....	10
2.6.	Conclusions de l'analyse hydrologique.....	16
3.	Etude hydraulique.....	17
3.1.	Secteurs d'étude	17
3.2.	Modélisation hydraulique	19
3.3.	Méthodologie	19
3.4.	Résultats.....	21
3.5.	Conclusions de l'étude hydraulique	37
4.	Bibliographie	38
5.	Annexe.....	39
5.1.	Annexe 1 : Période de reproduction, d'incubation et d'émergence pour le saumon atlantique et la truite commune.....	39
5.2.	Annexe 2 : Répartition des amplitudes lors des hausses et des baisses de débit liées aux éclusées.....	40
5.3.	Annexe 3 : Répartition des gradients lors des hausses et des baisses de débit liées aux éclusées.....	42
5.4.	Annexe 4 : Localisation des secteurs d'étude.....	44
5.5.	Annexe 5 : Possibilités d'apport de granulométrie.....	48

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Présentation de la gestion du barrage du Sablier.....	8
Figure 2 : Données hydrologiques de synthèse de la station hydrométrique de la banque HYDRO sur la Dordogne à Argentat (station p1350010).....	9
Figure 3 : Répartition des débits moyens mensuels sur la période 1989-2003 et selon la synthèse de la banque HYDRO au niveau d'Argentat 1900-2004.....	10
Figure 4 : Répartition des débits en pourcentage du temps écoulé.....	11
Figure 5 : Répartition des débits en pourcentage du volume écoulé.....	11
Figure 6 : Chronique des débits du samedi 1 ^{er} mars au samedi 14 mars 2003.....	12
Figure 7 : Nombre de hausses et de baisses de débit liées aux éclusées par année.....	12
Figure 8 : Nombre de hausses et de baisses de débit liées aux éclusées par mois.....	13
Figure 9 : Nombre de hausses et de baisses de débit liées aux éclusées durant les périodes de reproduction, d'incubation et de vie sous graviers et d'émergence.....	14
Figure 10 : Nombre de hausses et de baisses de débit liées aux éclusées selon les jours de la semaine.....	14
Figure 11 : Nombre de hausses et de baisses de débit liées aux éclusées selon les heures du jour..	15
Figure 12 : Répartition de l'amplitude des hausses et des baisses de débit liées aux éclusées.....	15
Figure 13 : Répartition des rapports entre les débits lors des hausses et des baisses de débit.....	16
Figure 14 : Répartition des gradients lors des hausses et des baisses de débits liées aux éclusées..	16
Figure 15 : Représentation 3D de la topographie du secteur DTG et de la ligne d'eau à 110 m ³ /s (profils espacés de 5 m environ).....	17
Figure 16 : Représentation 3D de la topographie du secteur du Lycée d'Argentat et de la ligne d'eau à 110 m ³ /s (profils espacés de 5 m environ).....	18
Figure 17 : Représentation 3D de la topographie du secteur du Malpas et de la ligne d'eau à 110 m ³ /s (profils espacés de 10 m environ).....	18
Figure 18 : Représentation 3D de la topographie du secteur de Saulou et de la ligne d'eau à 110 m ³ /s (profils espacés de 10 m environ).....	19
Figure 19 : Modèle biologique issu d'EVHA, pour la hauteur d'eau et la vitesse d'écoulement, utilisé pour évaluer la fonctionnalité des zones de fraie.....	20
Figure 20 : Modèle biologique issu d'EVHA, pour la hauteur d'eau et la vitesse d'écoulement, utilisé pour évaluer la fonctionnalité des zones de croissance des juvéniles.....	21
Figure 21 : Ligne d'eau et mise en eau des zones de fraie sur le secteur DTG.....	22
Figure 22 : Mise en eau des zones de fraie du secteur de la DTG.....	22
Figure 23 : Ligne d'eau et mise en eau de la zone de fraie sur le secteur du Lycée d'Argentat.....	23
Figure 24 : Mise en eau de la zone de fraie du secteur de lycée d'Argentat.....	24
Figure 25 : Ligne d'eau et mise en eau des zones de fraie sur le secteur du Malpas (partie aval).....	24
Figure 26 : Ligne d'eau et mise en eau des zones de fraie sur le secteur du Malpas (partie amont).....	25
Figure 27 : Mise en eau des zones de fraie du secteur du Malpas.....	25
Figure 28 : Ligne d'eau et mise en eau des zones de fraie sur le secteur de Saulou.....	26
Figure 29 : Mise en eau des zones de fraie du secteur de Saulou.....	27

Figure 30 : Surface en eau du total des zones de fraie et pourcentage d'immersion par rapport à la surface maximale.	27
Figure 31 : Surface favorable à la fraie des saumons pour chacune des sept frayères selon le modèle d'EVHA et le modèle « adapté » Dordogne.	28
Figure 32 : Surface favorable à la fraie pour le total des frayères selon le modèle d'EVHA et le modèle « adapté » Dordogne.....	29
Figure 33 : Evolution en fonction du débit de la hauteur d'eau moyenne des radiers du Malpas.	30
Figure 34 : Evolution en fonction du débit de la vitesse d'écoulement moyenne des radiers du Malpas	30
Figure 35 : SPU des radiers du Malpas selon les trois modèles biologiques.	31
Figure 36 : SPU du total des 4 radiers du Malpas selon les trois modèles biologiques.	32
Figure 37 : Côte de mise en eau de la « petite annexe hydraulique » au niveau du transect F1.....	33
Figure 38 : Cote de mise en eau du cordon d'arbres rivulaire au niveau des transects T7, T5 et T4. .	34
Figure 39 : Evolution de la surface mouillée des secteurs du Malpas et de Saulou.....	35
Figure 40 : Gradient de débit correspondant à un gradient de hauteur d'eau de 10 cm/h, sur les secteurs de Saulou et du Malpas.....	35
Figure 41 : Gradient de débit correspondant à un gradient de hauteur d'eau de 20 cm/h, sur les secteurs de Saulou et du Malpas.....	36
Figure 42 : Gradient de débit correspondant à un gradient de hauteur d'eau de 30 cm/h, sur les secteurs de Saulou et du Malpas.....	36
Figure 43 : Gradient de débit correspondant à un gradient de hauteur d'eau de 50 cm/h, sur les secteurs de Saulou et du Malpas.....	36

LISTE DES PLANCHES PHOTOGRAPHIQUES

Planche photographique 1 : Zones de fraie du secteur de la DTG.....	22
Planche photographique 2 : Zone de fraie du secteur du lycée d'Argentat.	23
Planche photographique 3 : Zone de fraie amont du secteur du Malpas.	25
Planche photographique 4 : Zone de fraie du secteur de Saulou.....	26

1. INTRODUCTION

Cette étude s'inscrit dans le cadre du Défi Eclusées lancé par l'Agence de l'Eau Adour-Garonne sur le bassin de la Dordogne en novembre 2004, en particulier sur les rivières Dordogne et Maronne.

Ce défi est destiné à limiter l'impact des éclusées sur le milieu aquatique et à trouver un compromis acceptable par tous les acteurs, en particulier EDF et les organismes (Fédérations de Pêche, AAPPMA, MIGADO...) qui ont en charge la protection et/ou la gestion des milieux aquatiques.

Dans un premier temps, en l'état des connaissances du moment, des mesures de mitigation ont ainsi été mises en place dès l'hiver 2004/2005 : augmentation des débits minimum, diminution des gradients de variation des niveaux d'eau. En parallèle, des opérations de terrain, destinées à améliorer les connaissances sur l'impact réel des éclusées sur le milieu aquatique, ont été lancées.

L'étude présentée dans la suite de ce rapport a été réalisée par MIGADO, le GHAAPPE, ECOGEA, SIEE et la brigade départementale du CSP de la Corrèze.

Elle a pour but notamment d'appréhender le fonctionnement hydraulique de la Dordogne à l'aval immédiat du barrage du Sablier et ainsi de mieux comprendre les contraintes auxquelles sont soumis les salmonidés, le saumon atlantique en particulier. Plus en détail, seront abordés et présentés :

- le régime hydrologique de la Dordogne à l'aval de la chaîne des grands barrages et plus particulièrement la gestion par éclusée du barrage du Sablier.
- la problématique d'exondation des frayères de grands salmonidés, leur fonctionnalité en fonction du débit, et les possibilités d'apport de granulométrie favorable à la fraie.
- le fonctionnement hydraulique et la fonctionnalité en fonction du débit des zones de croissance des juvéniles de saumon atlantique.
- la sensibilité de certains sites d'échouage-piégeage des alevins de salmonidés.

2. ETUDE HYDROLOGIQUE

L'objet de l'étude hydrologique est de présenter le régime hydrologique de la Dordogne à l'aval de la chaîne des grands barrages et d'analyser plus particulièrement la gestion par écluse du barrage du Sablier.

2.1. La chaîne des grands barrages

La chaîne des grands barrages est constituée d'une série de cinq aménagements, avec de l'amont vers l'aval : la retenue de Bort-les-Orgues (407 millions de m³), celle de Marèges (35 millions de m³), celle de l'Aigle (158 millions de m³), celle du Chastang (116 millions de m³) et celle du Sablier (5.6 millions de m³). Les volumes des retenues correspondent aux réserves utiles. Ces cinq retenues représentent une capacité de stockage cumulée de près de 72 160 hm³, soit 21.3% du volume écoulé annuel moyen. D'un point de vue énergétique, elle est d'importance nationale (Lauters 1995).

2.2. Le barrage du Sablier

Le barrage du Sablier a été mis en service en 1957 avec pour fonction principale de régulariser les fluctuations importantes du débit consécutives à l'exploitation des retenues amont. Son effet démodulateur reste toutefois limité par le volume réduit de sa retenue par rapport à celles situées plus en amont. L'usine était équipée à l'origine de trois groupes exploitant au maximum 220 m³/s (deux de 100 m³/s et un de 20 m³/s). En 1989, un quatrième groupe de 120 m³/s a été installé portant le débit maximum turbinable de 220 m³/s à 340 m³/s et la puissance maximale de l'aménagement de 30.9 MW à 48.4 MW. Sa productivité moyenne annuelle est de 92 GWh (Marchat et al. 1994 ; Lauters 1995). Les règles de gestion de l'usine du Sablier ont été schématisées par la figure 1, illustrant les périodes d'hiver (1er novembre à fin février), de ½ saison (du 1er mars au 15 juin et du 1er octobre au 31 octobre), et d'été (15 juin au 30 septembre, plus les week-end entre le 15 mai et le 15 juin). Ces figures ne sont cependant qu'une simplification des règles de gestion de l'usine du Sablier.

Les consignes d'hiver et de ½ saison sont très proches avec juste un intervalle de débit instantané par rapport au débit moyen de la veille plus restreint en ½ saison durant les huit premières heures du jour. Le gradient maximal durant ces périodes égal à 100 m³/s/h est relativement important : il est presque égal à la valeur du module.

Les consignes d'été sont beaucoup plus contraignantes, avec au maximum un gradient de 40 m³/s toutes les 6 heures, soit 6.7 m³/s/h, dans le cas où le débit instantané est supérieur à 155 m³/s et au minimum un gradient de 5 m³/s toutes les 6 heures, soit 0.83 m³/s/h, dans le cas où le débit instantané est inférieur à 55 m³/s.

2.3. Caractérisation des éclusées

Les éclusées hydroélectriques correspondent aux variations de débit à la hausse ou à la baisse, dues respectivement à la mise en route ou à l'arrêt des turbines, entre un débit plancher et un débit d'écluse. Une écluse peut être caractérisée par :

- les débits plancher et d'écluse eux-mêmes.
- l'amplitude (m³/s), correspondant à la différence entre les débits plancher et d'écluse.
- le rapport, correspondant au rapport débit d'écluse sur débit plancher.
- le gradient de débit (ou vitesse de variation, m³/s/h).

Aménagement d'Argentat en consigne d'hiver

Du 1er novembre au 28/29 février

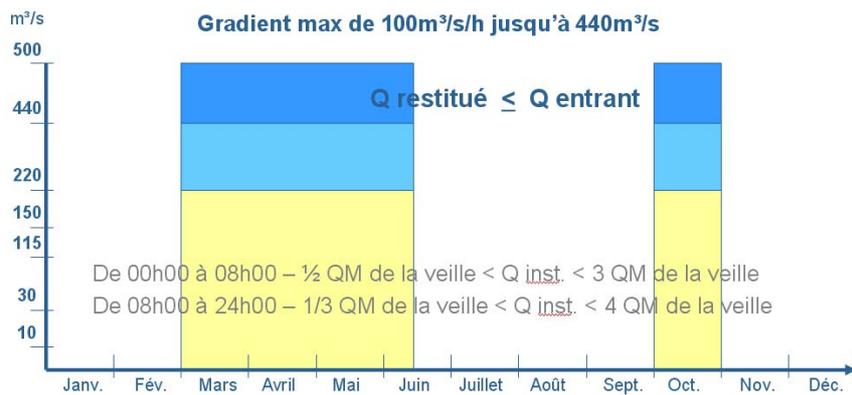
Gradient max de 100m³/s/h jusqu'à 440m³/s



Aménagement d'Argentat en consigne ½ saison

Du 1er mars au 15 juin & du 1er octobre au 31 octobre

Gradient max de 100m³/s/h jusqu'à 440m³/s



Aménagement d'Argentat en consigne d'été

Du 15 juin au 30 septembre et week-end entre le 15 mai et 15 juin

- P1 : $Q_{inst} < 55 \text{ m}^3/\text{s}$ - 5 m³/s toutes les 6 heures
- P2 : $55 \text{ m}^3/\text{s} < Q_{inst} < 115 \text{ m}^3/\text{s}$ - 10 m³/s toutes les 6 heures
- P3 : $115 \text{ m}^3/\text{s} < Q_{inst} < 150 \text{ m}^3/\text{s}$ - 20 m³/s toutes les 6 heures
- P4 : $Q_{inst} > 150 \text{ m}^3/\text{s}$ - 40 m³/s toutes les 6 heures

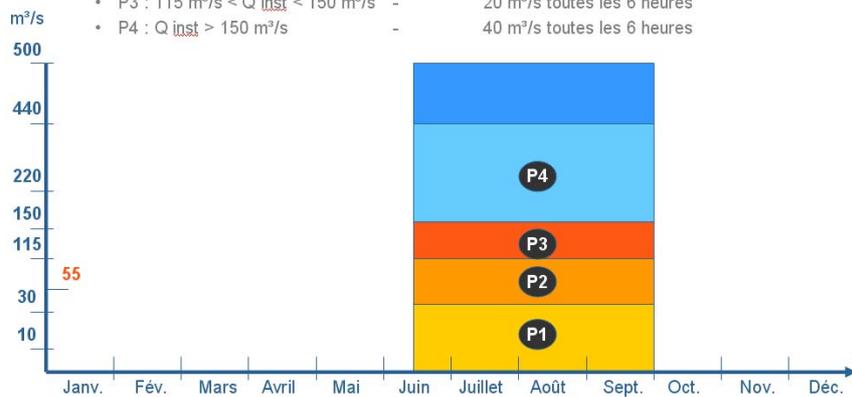


Figure 1 : Présentation de la gestion du barrage du Sablier.

Cette analyse hydrologique ne présente pas d'information sur la durée des éclusées. La raison en est que la mixité dans le schéma de gestion du barrage du Sablier et la souplesse d'utilisation des turbines rendent difficile la définition de la durée des éclusées. De manière simple, cette durée est définie par le temps écoulé entre la hausse de débit et la baisse suivante. Or dans notre cas, plusieurs hausses ou plusieurs baisses peuvent se succéder du fait du fonctionnement « en tiroir » illustré en figure 6.

En conséquence, une éclusée a été définie par une hausse ou une baisse de débit d'amplitude supérieure à 50 m³ (soit 1/2 module) avec un gradient de débit supérieur à 30 m³/s/h. Ces valeur-seuils arbitraires relativement élevées ne préjugent en rien de l'impact écologique de hausses ou de baisses de débit d'amplitudes et de gradients plus faibles. La valeur-seuil portant sur le gradient de débit exclut les variations de débit d'origine naturelle (y compris durant les crues) et ne retient que celles résultant des manœuvres des turbines.

2.4. Les données

L'analyse hydrologique s'appuie sur les données de la station hydrométrique de la banque HYDRO sur la Dordogne à Argentat (station p1350010). La station est située juste en aval du barrage du Sablier. Les données disponibles sont les hauteurs d'eau et débits à pas de temps variable sur 15 années civiles complètes de mesures, de 1989 à 2003, ainsi que les débits moyens journaliers. Ces données sont antérieures à la mise en œuvre du défi territorial sur la Dordogne. Les mesures à pas de temps variables permettent d'accéder au taux de variation de débits de manière beaucoup plus fine que les chroniques de débit moyen horaire couramment utilisées. La synthèse des données hydrologiques de cette station, sur la période 1900-2004, fournie par la Banque HYDRO, est reportée en figure 2.

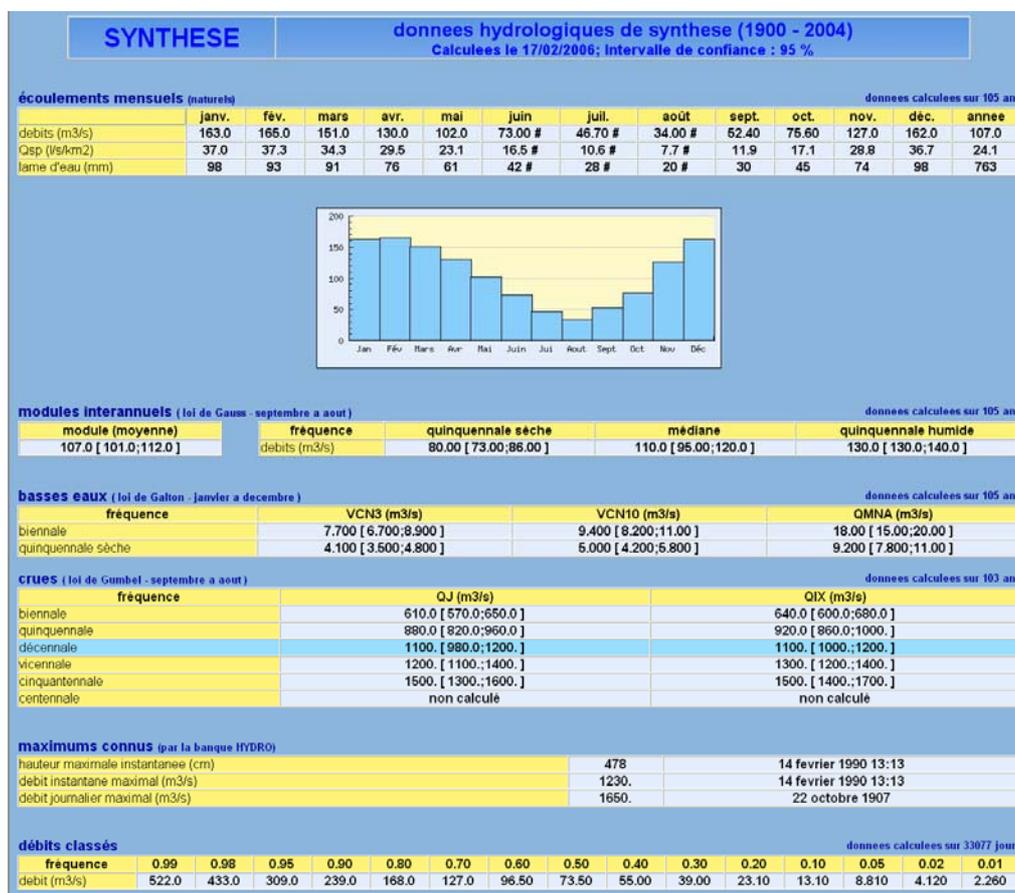


Figure 2 : Données hydrologiques de synthèse de la station hydrométrique de la banque HYDRO sur la Dordogne à Argentat (station p1350010)

2.5. Résultats

Répartition des débits

La répartition des débits moyens mensuels calculés sur la période 1989-2003 est très proche de celle fournie par la banque HYDRO (période 1900-2004) (figure 3).

Auparavant, les débits moyens mensuels « naturels » étaient reconstitués dans la banque HYDRO grâce aux informations fournies par EDF sur l'évolution des volumes stockés dans les retenues de la chaîne des grands barrages. Ce n'est plus le cas à présent bien que le terme « naturels » apparaisse toujours dans la synthèse (figure 2). Ces données n'illustrent donc pas le régime hydrologique « naturel » de la Dordogne et aucune conclusion ne peut donc en être tirée sur l'influence de la gestion annuelle de la chaîne.

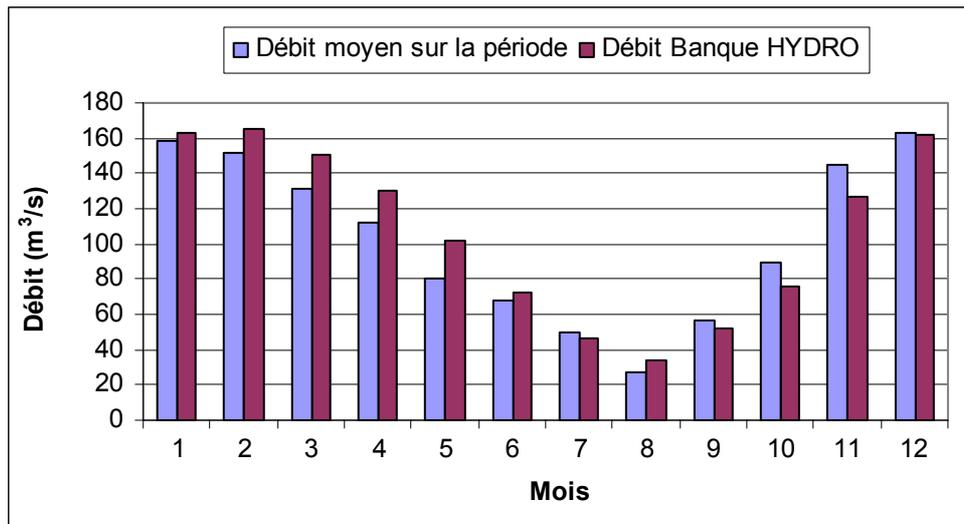


Figure 3 : Répartition des débits moyens mensuels sur la période 1989-2003 et selon la synthèse de la banque HYDRO au niveau d'Argentat 1900-2004.

Les histogrammes de répartition du débit en pourcentage du temps et en pourcentage du volume écoulé suggère 4 modes pour les classes 0–20, 40–60, 180–200, et 280–300. Le premier mode 0–20 représentant 21.3 % du temps est dû au temps passé au régime de débit réservé égal à 10 m³/s (figure 4). Les trois modes suivants 40–60 (1/2 module), 180–200 (2 fois le module) et 280–300 (3 fois le module) correspondent à des paliers de turbinage (figure 5). Ces paliers n'apparaissent pas nettement étant donné la souplesse d'utilisation des turbines équipant le barrage du Sablier. Les turbines Kaplan ont en effet des plages de fonctionnement assez larges. Aussi toutes les classes de débit jusqu'à 320 m³/s sont-elles représentées (minimum de 1.5 %). La dernière classe > 340 regroupe tous les débits pour lesquels il y a un déversement au niveau du barrage, la capacité de turbinage de l'usine étant dépassée. C'est le cas lors de crues, mais aussi lorsque la capacité de la retenue du Sablier ne permet pas d'amortir les éclusées de l'usine du Chastang située en amont.

La répartition des débits à l'aval du Sablier est nettement moins tranchée que celle à l'aval du barrage de Hautefage sur la Maronne, premier affluent majeur en rive gauche de la Dordogne (1999, rapport SIEE). En effet, le fonctionnement de l'usine de Hautefage, équipée de deux turbines Francis dont les plages de fonctionnement sont plus limitées que les turbines Kaplan, est caractérisé par des paliers plus marqués.

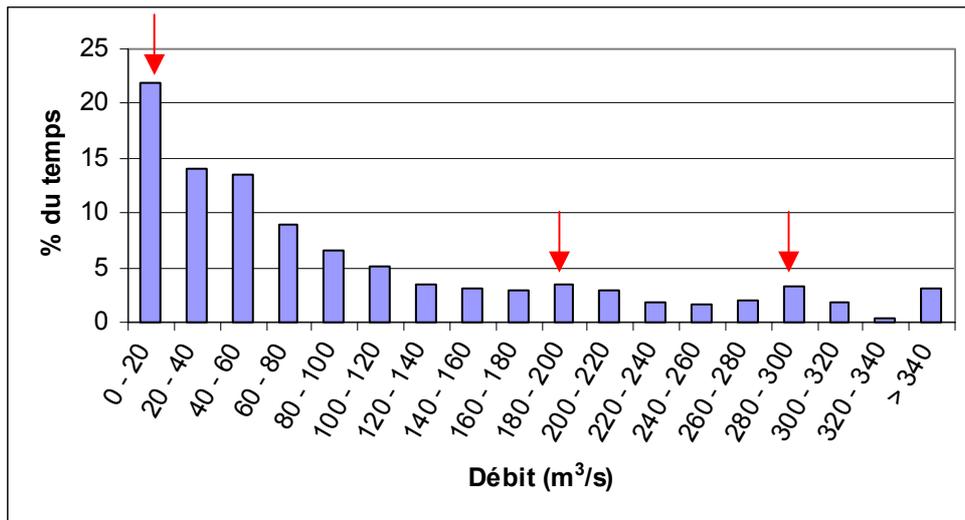


Figure 4 : Répartition des débits en pourcentage du temps écoulé.

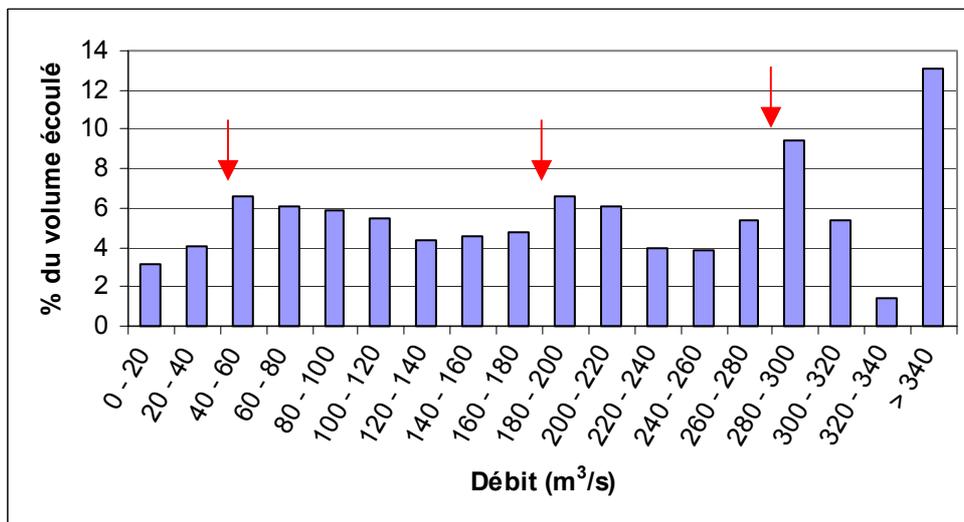


Figure 5 : Répartition des débits en pourcentage du volume écoulé.

Examen des chroniques de débits

L'examen des chroniques de débit (figure 6) montre **que la gestion du barrage du Sablier est mixte entre une gestion journalière et une gestion hebdomadaire**. D'une part, la gestion hebdomadaire consiste à turbiner préférentiellement les jours de la semaine par rapport au week-end. D'autre part, la gestion journalière consiste à turbiner préférentiellement la journée par rapport à la nuit. Ainsi les hausses et les baisses de débit sont susceptibles de se succéder, le débit ne revenant pas nécessairement au débit réservé, et le fonctionnement de l'usine se fait « en tiroir », comme le suggère la forme de la chronique de débit (figure 6).

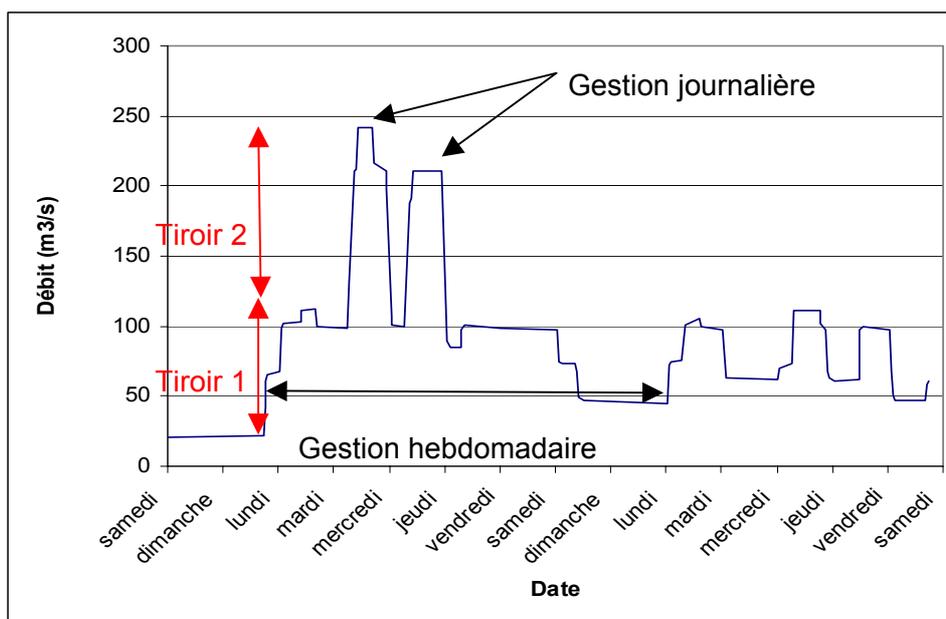


Figure 6 : Chronique des débits du samedi 1^{er} mars au samedi 14 mars 2003.

Nombre d'éclusées et répartition dans le temps

Chaque année, les nombres de hausses et de baisses de débit liées aux éclusées sont à peu près équivalents (figure 7). Les boîtes de dispersion¹ montrent que leur nombre, dépendant des apports du bassin versant et des besoins de la production électrique, varie selon les années de 35 à 145, avec une moyenne de 85, et qu'une année sur deux en moyenne il est compris entre 60 et 110.

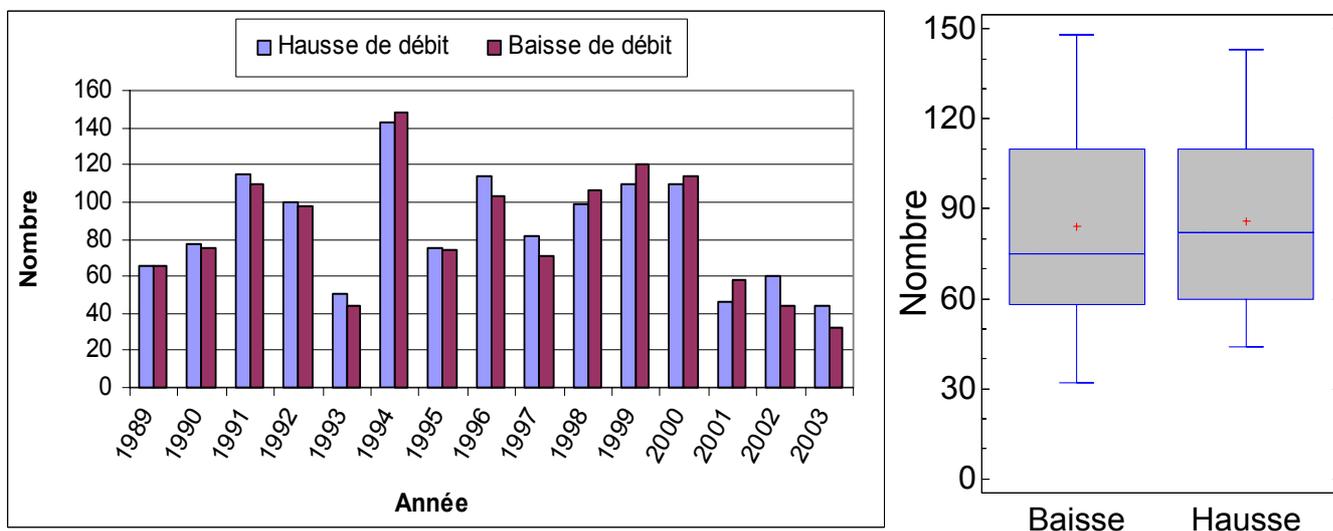
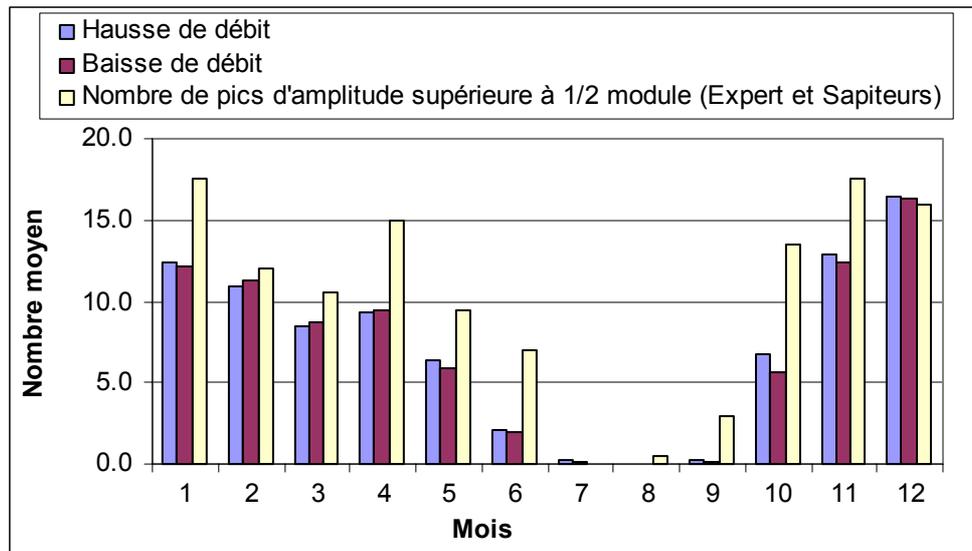


Figure 7 : Nombre de hausses et de baisses de débit liées aux éclusées par année.

Durant les années 1989 à 2003, les éclusées sont principalement pratiquées d'octobre à juin (figure 8), en rapport avec les obligations du cahier des charges. Les nombres de hausses et de baisses de débit liées aux éclusées sont globalement comparables aux nombres de pics mensuels dont l'amplitude est supérieure à ½ module de

¹ Les boîtes de dispersion présente la moyenne (croix rouge), la médiane (trait bleu au sien de la boîte) le premier et le troisième quartile (extrémités de la boîte) et l'étendue des données (extrémités de la droite).

l'étude de la Compagnie des Experts et Sapiteurs (2000). Les différences s'expliquent par les périodes d'étude : 2 années pour (1997-1998) pour l'étude de la Compagnie des Experts et Sapiteurs, 15 années (1989-2003) pour la présente étude.



Nombre de hausse

Nombre de baisse

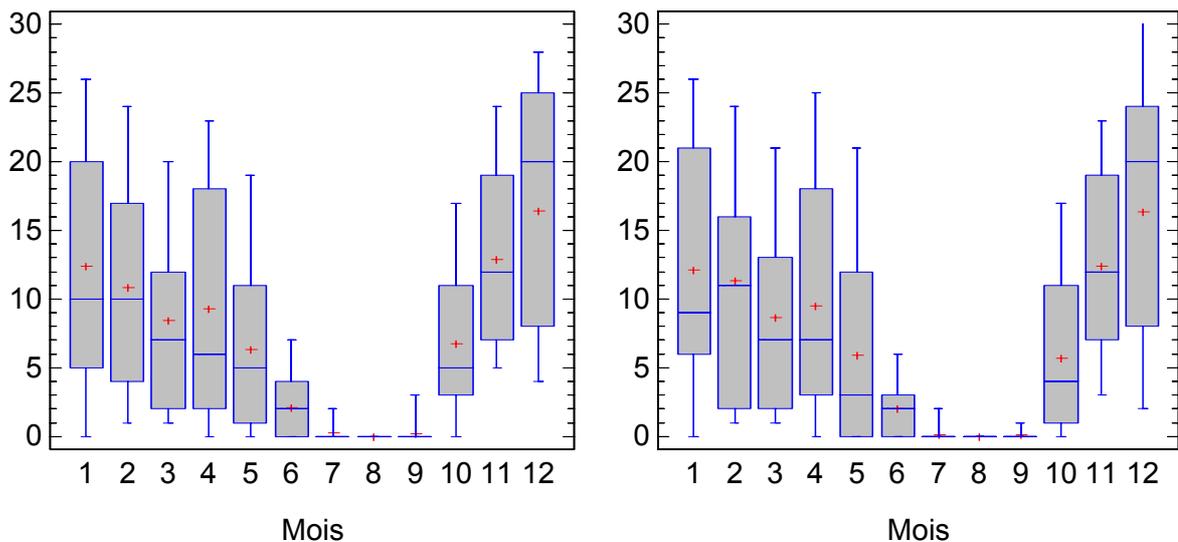


Figure 8 : Nombre de hausses et de baisses de débit liées aux éclusées par mois.

Durant les périodes de reproduction des salmonidés (mi-novembre à fin décembre), d'incubation et de vie sous graviers (mi-novembre à fin mars), et d'émergence et de post-émergence (fin mars à fin mai), 37, 57 et 16 éclusées sont respectivement pratiquées en moyenne par an (figure 9). **Un tableau présentant les dates de début et de fin de la reproduction et de l'émergence est reporté en annexe 1.**

La répartition selon les jours de la semaine des hausses et des baisses de débit (figure 10) reflète la gestion hebdomadaire de l'aménagement : plus grand nombre de hausses que de baisses les jours 1 et 2 (lundi et mardi) et plus grand nombre de baisses que de hausses le jour 6 (samedi). Les éclusées sont moins fréquentes les week-ends (jour 6 et 7) que la semaine (jour 1 à 5).

La répartition selon les heures du jour (figure 11) montre que les hausses de débit interviennent principalement de 6H à 9H et les baisses de 20H à 2H.

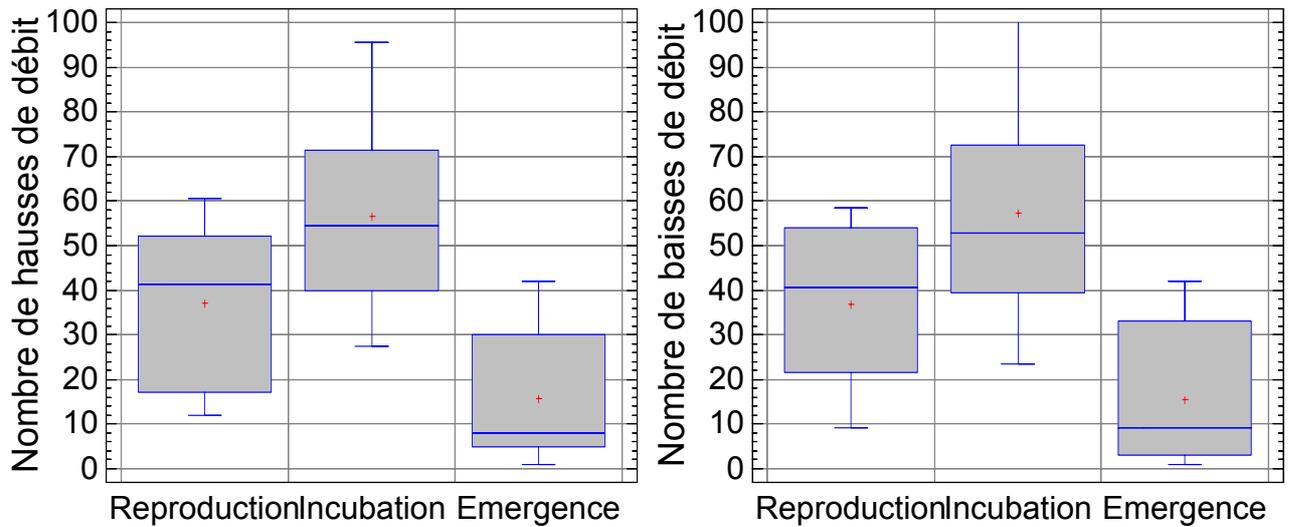


Figure 9 : Nombre de hausses et de baisses de débit liées aux éclusées durant les périodes de reproduction, d'incubation et de vie sous graviers et d'émergence.

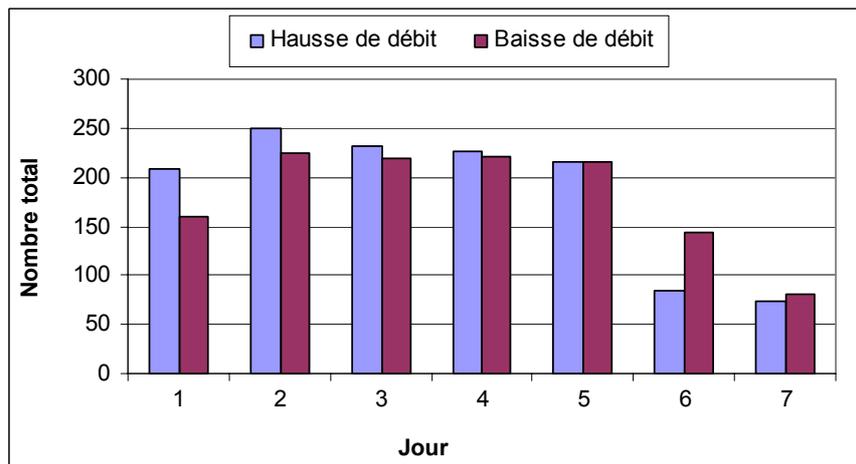


Figure 10 : Nombre de hausses et de baisses de débit liées aux éclusées selon les jours de la semaine.

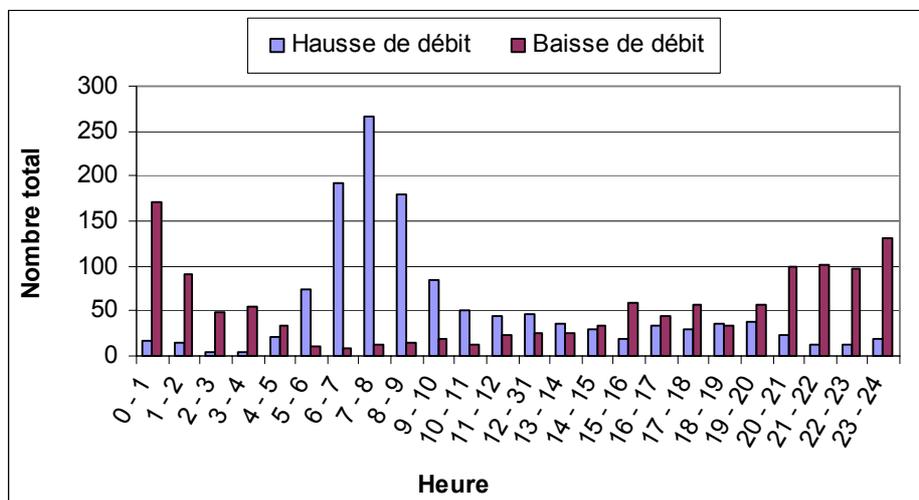


Figure 11 : Nombre de hausses et de baisses de débit liées aux éclusées selon les heures du jour.

Amplitude des hausses et des baisses de débit liées aux éclusées

On rappelle que selon la définition retenue une hausse ou une baisse de débit liées aux éclusées présente une amplitude supérieure à 50 m³/s.

Globalement durant les années 1989 à 2003, la majorité des éclusées présente une amplitude inférieure à la valeur du module (100 m³/s). Toutefois, plus de 20 éclusées en moyenne par année présentent une amplitude supérieure (figure 12).

Les graphiques représentant les nombres moyens mensuels de hausses et des baisses de débits liées aux éclusées selon leurs amplitudes sont reportés en annexe 2.

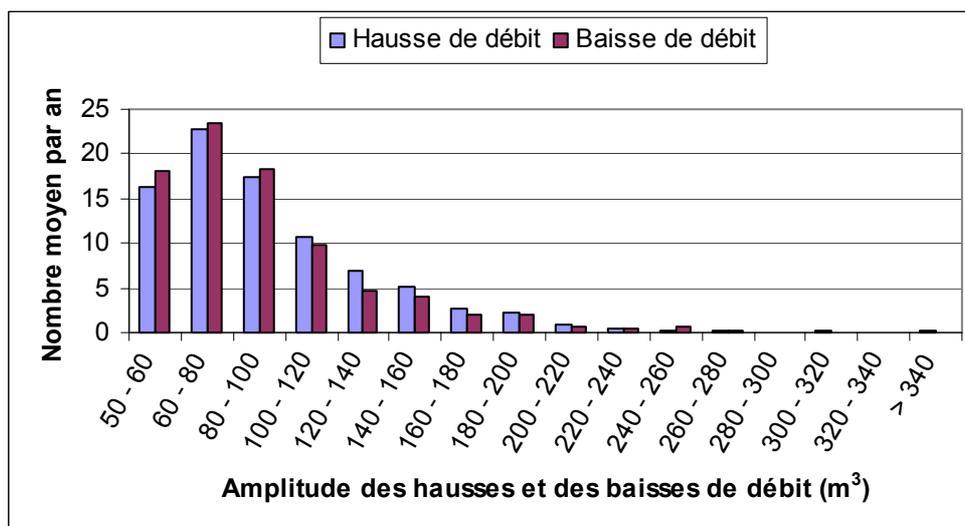


Figure 12 : Répartition de l'amplitude des hausses et des baisses de débit liées aux éclusées

On a porté en figure 13 le rapport de la valeur de débit maximum (valeur initiale lors d'une baisse et valeur finale lors d'une hausse) à celle du débit de base. Par définition ce rapport est toujours strictement supérieur à 1.

Durant les années 1989 à 2003, environ 70 % des hausses ou baisses d'éclusées induisent une variation de débit d'un rapport de 1 à 2, entre 20 et 25 % induisent une variation de débit d'un rapport de 2 à 3 et entre 5 et 10 % induisent une variation de débit d'un rapport supérieur à 3.

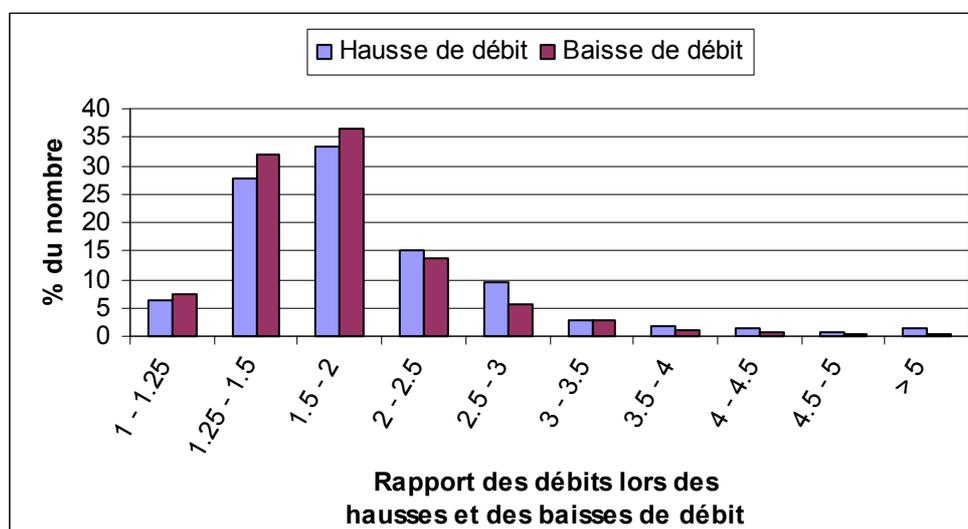


Figure 13 : Répartition des rapports entre les débits lors des hausses et des baisses de débit.

Gradients de débit

On rappelle que seules les valeurs de gradients supérieures à 30 m³/s/h sont retenues dans la définition des hausses et des baisses de débit liées aux éclusées.

Les gradients (figure 14) sont un peu plus élevés lors des hausses de débit que lors des baisses, avec notamment une proportion plus importante de valeurs supérieures à 70 m³/s/h. En moyenne durant les années 1989 à 2003, 73 % des gradients lors des hausses et des baisses sont inférieurs à 70 m³/s/h ; 21 % sont compris entre 70 et 100 m³/s/h et 6 % sont supérieurs à 100 m³/s/h.

Les graphiques représentant les nombres moyens mensuels de hausses et des baisses de débits liées aux éclusées selon leurs gradients sont reportés en annexe 3.

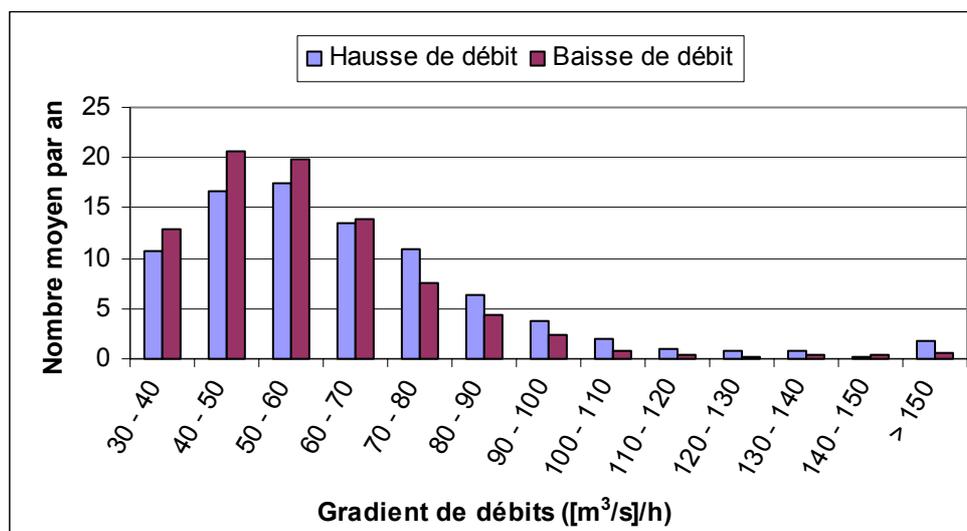


Figure 14 : Répartition des gradients lors des hausses et des baisses de débits liées aux éclusées.

2.6. Conclusions de l'analyse hydrologique

La valeur du débit à l'aval de la chaîne des grands barrages est le résultat de la gestion hydroélectrique de la retenue du Sablier principalement, mais également de celle plus en amont du Chastang, le faible volume de la retenue du Sablier ne permettant pas une démodulation complète des apports de l'amont. La gestion de l'usine du Sablier est mixte entre une gestion hebdomadaire et journalière comme en témoigne l'allure « en tiroirs emboîtés » de la chronique des débits. En moyenne, 85 éclusées d'amplitude supérieure à 50 m³/s (50 % du module) et avec un gradient de débit supérieur à 30 m³/s/h sont pratiquées chaque année, avec un minimum de 35 et un maximum de 145 sur la période 1989-2003. Les périodes de reproduction des salmonidés (mi-novembre à fin décembre), d'incubation des oeufs et de vie sous graviers des larves (mi-novembre à fin mars) et d'émergence et de post-émergence des alevins (fin mars à fin mai) sont particulièrement concernées avec respectivement 37, 57 et 16 éclusées pratiquées en moyenne. Parmi les éclusées, 23 % environ atteignent des amplitudes supérieures à 100 m³/s, et 27 % des gradients de débits supérieurs à 70 m³/s/h.

3. ETUDE HYDRAULIQUE

3.1. Secteurs d'étude

Quatre secteurs ont été étudiés, leur localisation géographique ainsi que celle des frayères est reportée en annexe 4 (Lagarrigue et Lascaux 2002,2003 ; Lascaux et al. 2004, 2005, Rapport ECOGEA pour MIGADO).

Le secteur **DTG** (figure 15), long de 300 m et large de 70 à 90 m, est délimité à l'amont par la confluence du Longour en rive droite et se termine à l'aval au niveau de la piscine. Ce secteur comprend deux zones de fraie (comptabilisant au total 17, 16, 18, 7, 1 et 10 frayères de grands salmonidés respectivement de 2000 à 2005) en rive gauche à l'intérieur de la courbe. **La problématique d'exondation des frayères et les possibilités d'apport de granulométrie y sont examinées.**

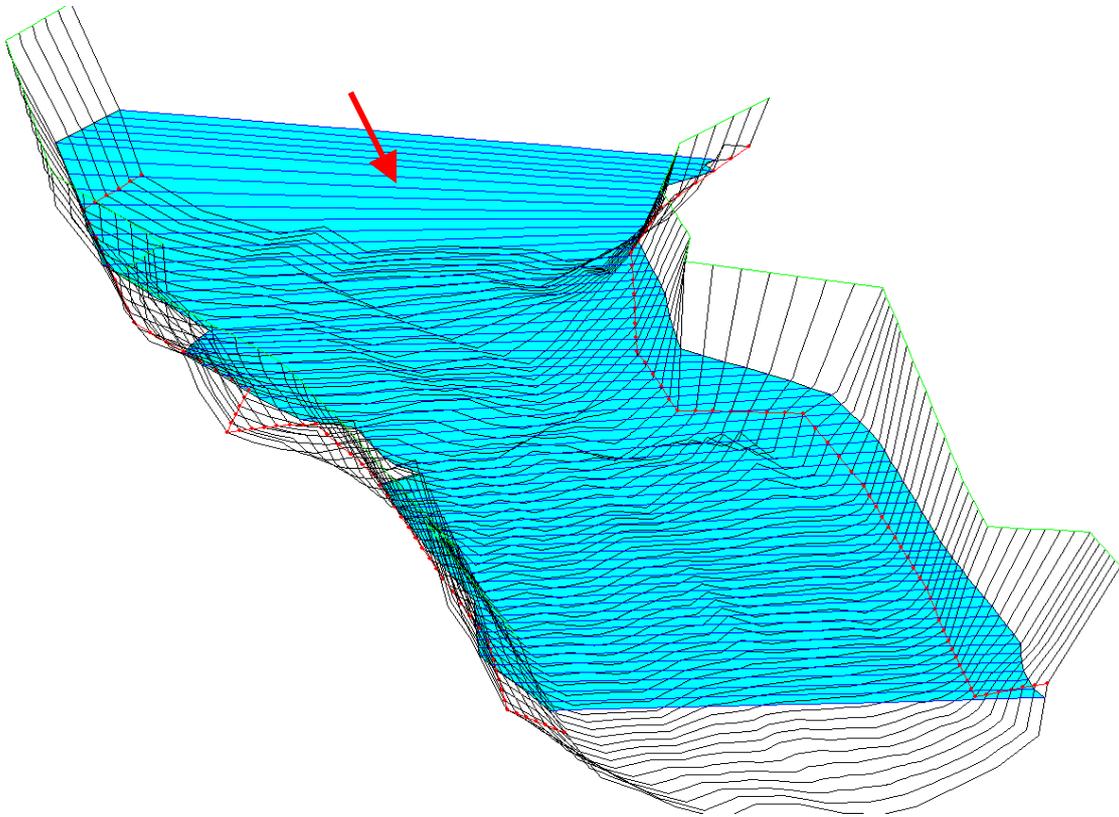


Figure 15 : Représentation 3D de la topographie du secteur DTG et de la ligne d'eau à $110 \text{ m}^3/\text{s}$ (profils espacés de 5 m environ).

Le secteur du **Lycée d'Argentat** (figure 16), long d'environ 60 m et large de 50 à 60 m, est centré sur une zone de fraie (7, 15, 13, 9, 4 et 8 frayères de grands salmonidés respectivement de 2000 à 2005) située en rive gauche. **La problématique d'exondation des frayères et les possibilités d'apport de granulométrie y sont examinées.**

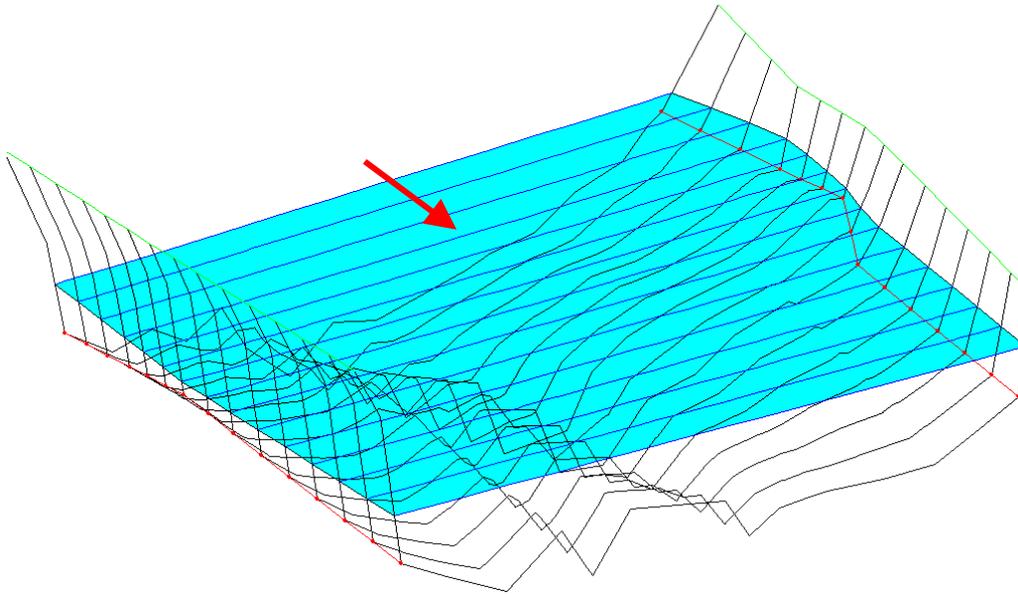


Figure 16 : Représentation 3D de la topographie du secteur du Lycée d'Argentat et de la ligne d'eau à 110 m³/s (profils espacés de 5 m environ).

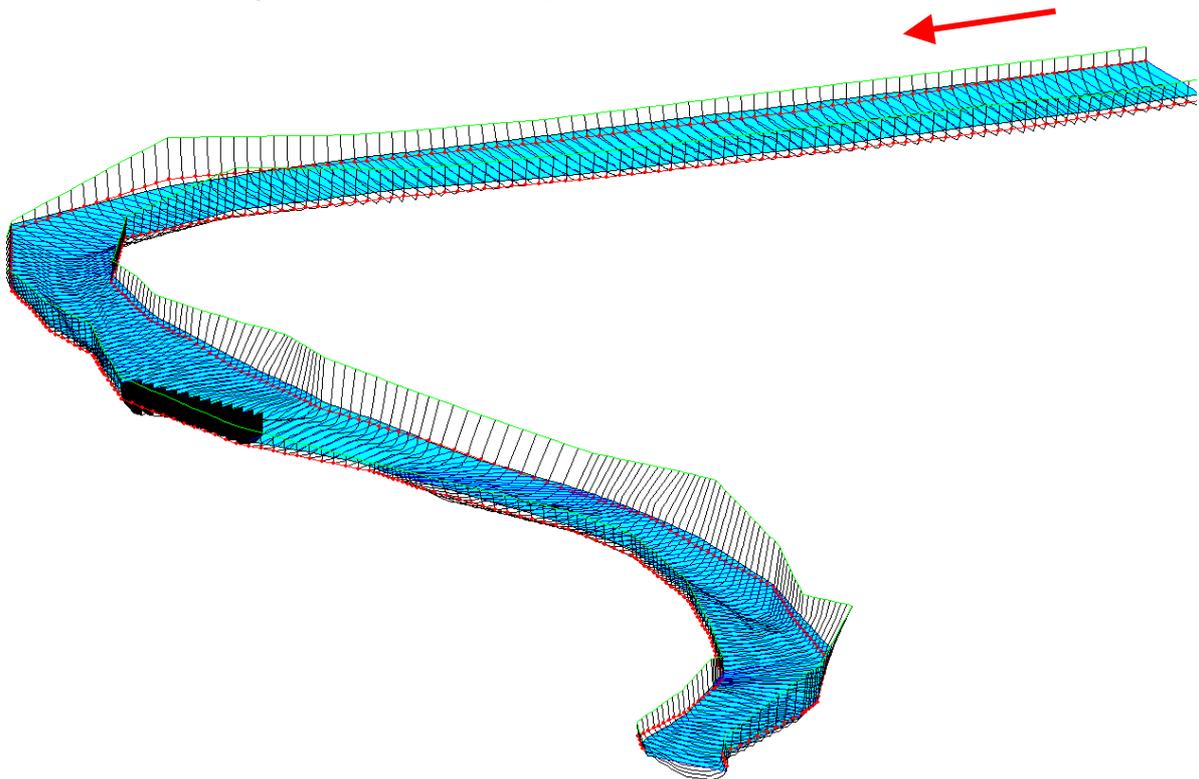


Figure 17 : Représentation 3D de la topographie du secteur du Malpas et de la ligne d'eau à 110 m³/s (profils espacés de 10 m environ).

Le secteur du **Malpas** (figure 17), long d'environ 2300 m et large de 50 à 10m, est délimité à l'amont par le nouveau pont d'Argentat et à l'aval par le passage à forte pente du Malpas. Ce secteur comprend quatre sites de fraie dont deux zones principales (comptabilisant au total 24, 44, 32, 36, 11 et 30 frayères respectivement de 2000 à 2005), celle la plus en amont en rive gauche et celle la plus à l'aval en rive droite, et quatre radiers correspondant à des zones de croissance des juvéniles de saumon. **La problématique**

d'exondation des frayères, les possibilités d'apport de granulométrie et le fonctionnement hydraulique des zones de croissance y sont examinés.

Le secteur de **Saulou** (figure 18), long d'environ 1000 m et large entre 60 et 100 m, est délimité à l'amont par la fin du méandre de Vergnolles et à l'aval par le début des îlots de Saulières. Ce secteur contient deux zones de fraie, une en rive droite et une en rive gauche (comptabilisant au total 0, 0, 31, 9, 3, 14 frayères respectivement de 2000 à 2005). **La problématique d'exondation des frayères y est examinée.**

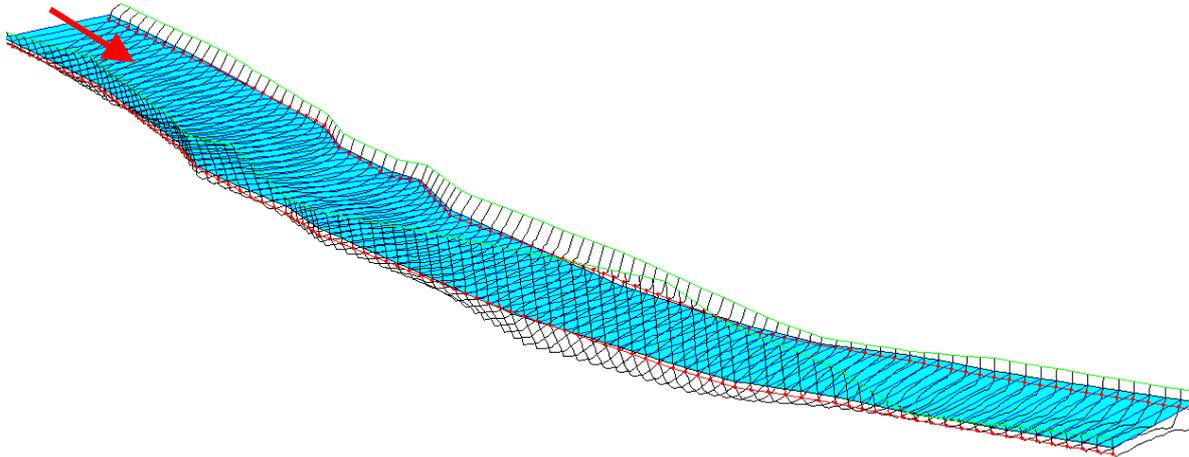


Figure 18 : Représentation 3D de la topographie du secteur de Saulou et de la ligne d'eau à 110 m³/s (profils espacés de 10 m environ).

3.2. Modélisation hydraulique

Les calculs des lignes d'eau ont été effectués à l'aide du code de calcul HEC-RAS permettant la modélisation des écoulements en régime permanent. Ce logiciel fournit, pour un débit donné, les principales caractéristiques hydrauliques (cotes du niveau d'eau, nombre de Froude, charge, vitesse d'écoulement, tirants d'eau moyen, ...) par section. Les données d'entrée nécessaires à la modélisation sont le profil en travers et la rugosité pour chaque section, les distances inter-transects, la cote de la ligne d'eau pour différents débits (servant de condition à la limite aval du secteur et de données de calage sur tout le linéaire).

Les quatre secteurs disjoints ont chacun fait l'objet d'une modélisation : quatre modèles hydrauliques ont donc été construits. Leur calage est effectué à partir des lignes d'eau relevées sur le terrain pour différents débits. Six lignes d'eau ont été relevées pour les débits de 12, 51, 81, 116, 185 et 270 m³/s (voir figure 21, 23, 25, 26 et 28).

3.3. Méthodologie

Exondation et fonctionnalité des frayères

Les conditions de submersion des zones de granulométrie favorable à la reproduction ont été analysées en fonction du débit au niveau des différents transects traversant chaque zone.

Une méthode voisine de celle des microhabitats a été mise en œuvre sur chacune des sept frayères pour estimer leurs fonctionnalités en fonction des paramètres hydrauliques. Pour cela, les résultats du modèle hydraulique ont été exploités sous Système d'information Géographique (SIG). Les surfaces de granulométrie favorable ont été délimitées grossièrement lors des relevés topographiques, en accord avec les suivis de reproduction effectués par ECOGEA pour MIGADO. La convenance des conditions

hydrauliques a ensuite été évaluée au travers de modèles biologiques issus de la méthode des microhabitats.

Le modèle biologique du logiciel EVHA, développé par le CEMAGREF de Lyon, pour la fraie des saumons a été utilisé. Sa mise en œuvre est intéressante à titre de comparaison bien que la Dordogne ne rentre pas dans le domaine d'utilisation de ce modèle (pente comprise entre 0.2 et 5 % ; largeur inférieure à 20 m ; module inférieur à 30 m³/s ; Ginot et al. 1998). A noter que ce modèle est couramment utilisé en dehors de son domaine d'utilisation étant donné que c'est le seul disponible pour le saumon en France. Les courbes de préférence pour la vitesse d'écoulement et la hauteur d'eau sont reportées en figure 19.

Un second modèle biologique plus grossier, synthétisé à partir de la bibliographie issue de cours d'eau de dimension comparable à la Dordogne (Crips et Carling 1989, Leclerc et al. 1996, Moir et al. 2002) et d'observations sur la Dordogne (ECOGEA pour MIGADO, 2000 à 2005), paraissant mieux adapté au cas de la Dordogne, a également été mis en œuvre. Les conditions hydrauliques favorables à la fraie ($V_v = 1$ et $V_h = 1$) correspondent à des hauteurs d'eau supérieures à 0.15 m (sans limite supérieure) et à des vitesses d'écoulement comprises entre 0.30 et 1.25 m/s.

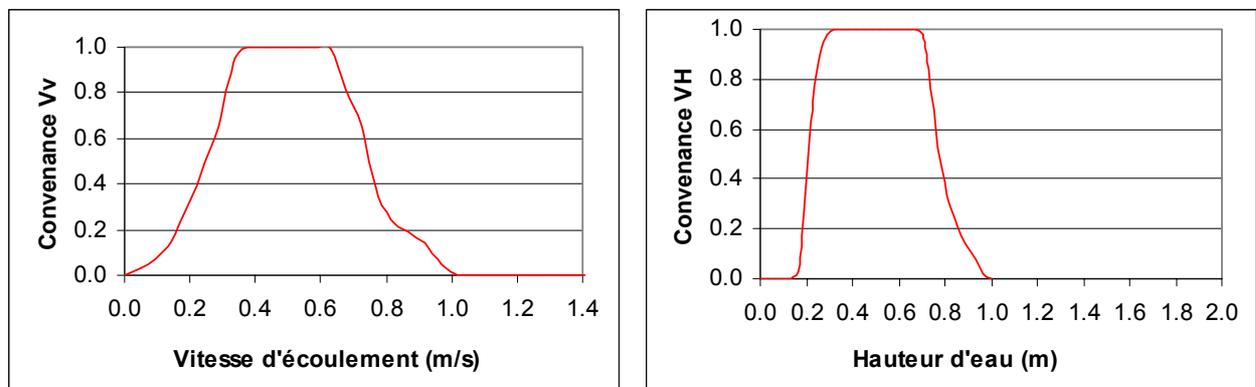


Figure 19 : Modèle biologique issu d'EVHA, pour la hauteur d'eau et la vitesse d'écoulement, utilisé pour évaluer la fonctionnalité des zones de fraie.

Possibilités d'apport de granulométrie

La construction de la chaîne des grands barrages a entraîné un blocage du transport solide. Il n'y a donc plus d'apports de sédiments de l'amont au niveau d'Argentat. La Dordogne, conservant sa capacité d'érosion, a continué à transporter des sédiments à l'aval de la chaîne. Les granulométries les plus fines et les plus mobiles ont été emportées préférentiellement, aboutissant ainsi au pavage du lit de la Dordogne et à un déficit de granulométrie favorable à la fraie des salmonidés. C'est pourquoi les possibilités d'apport ont été étudiées. La stabilité de galets (entre 2 et 10 cm) a été examinée pour un débit de 600 m³/s correspondant à la crue biennale. Les critères de mise en mouvement des matériaux de Meyer-Peter, Bathurst, Yang et Mavis, prenant en compte la force tractrice (Meyer-Peter), le débit unitaire (Bathurst) et la vitesse d'écoulement (Yang et Mavis), ont été utilisés.

Fonctionnement hydraulique et fonctionnalité des zones de croissance de 0+

Le fonctionnement hydraulique et la fonctionnalité des zones de croissance des 0+ de saumons ont été examinés sur le secteur du Malpas. Quatre radiers ont été délimités visuellement lors des relevés topographiques à bas débit. L'évolution des hauteurs d'eau et des vitesses d'écoulement moyennes en fonction du débit a été analysée.

L'exploitation des résultats du modèle hydraulique sous SIG a permis de mettre en œuvre une méthode voisine de celle des microhabitats (Ginot et al. 1998) pour évaluer la fonctionnalité des zones de croissance. Le stade 0+ de la phase d'installation sur les secteurs courants jusqu'au premier automne et correspondant dans le cas de la Dordogne à

des individus de 5 à 14 cm a été retenu. On a considéré que les radiers délimités constituent les surfaces de granulométrie favorable à la croissance des 0+. La convenance des conditions hydrauliques a ensuite été évaluée au travers de trois modèles biologiques issus de la méthode des microhabitats.

Deux modèles biologiques du logiciel EVHA, développés par le CEMAGREF de Lyon, pour les juvéniles de 2 à 8 cm et de 8 à 15 cm ont été utilisés. Leur mise en œuvre est intéressante à titre de comparaison bien que la Dordogne ne rentre pas dans le domaine d'utilisation de ces modèles. A noter que ces modèles sont couramment utilisés en dehors de leur domaine d'utilisation étant donné que ce sont les seuls disponibles pour le saumon en France. Les courbes de préférence sont reportées en figure 20.

Un troisième modèle biologique plus grossier, synthétisé à partir de la bibliographie issue de cours d'eau de dimension comparable à la Dordogne (Leclerc et al. 1995, Guay et al. 2000, Makī-Petay et al. 2002), paraissant plus adapté au cas de la Dordogne, a également été mis en œuvre. Concernant la hauteur d'eau, la convenance est optimale ($V_h = 1$) de 0.10 à 0.70 m, moyenne ($V_h = 0.5$) de 0.70 à 1.20 m et nulle ($V_h = 0$) ailleurs. Concernant la vitesse d'écoulement, la convenance est optimale ($V_v = 1$) de 0.15 à 0.80 m/s, moyenne ($V_v = 0.5$) de 0.80 à 1.20 m/s et nulle ($V_v = 0$) ailleurs.

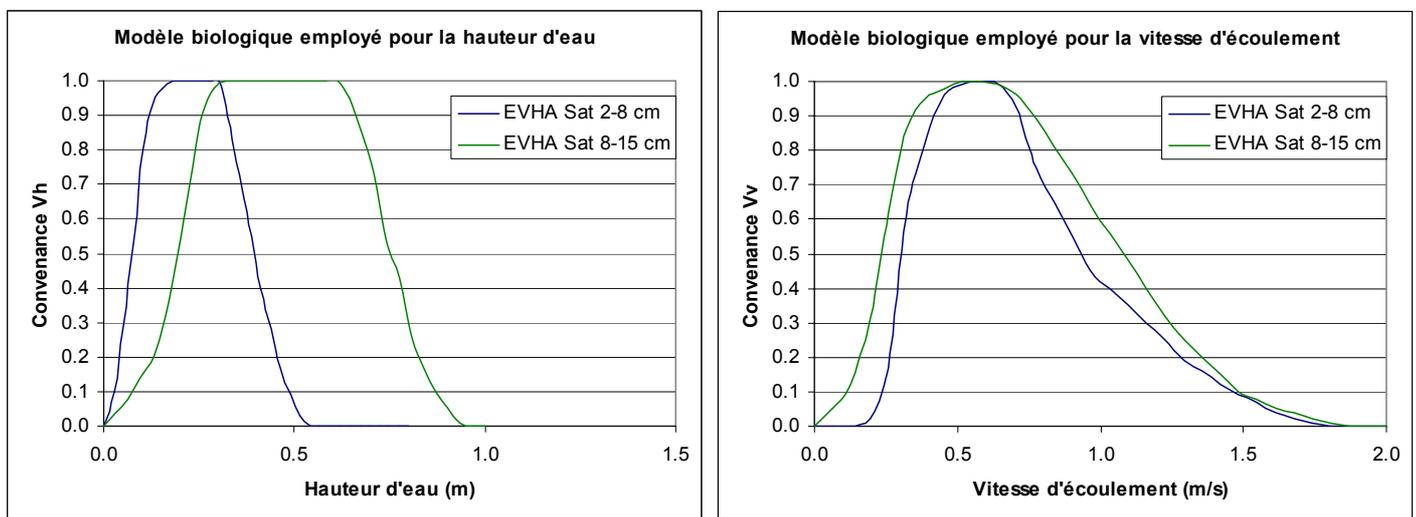


Figure 20 : Modèle biologique issu d'EVHA, pour la hauteur d'eau et la vitesse d'écoulement, utilisé pour évaluer la fonctionnalité des zones de croissance des juvéniles.

Le couplage des résultats du modèle hydraulique et des modèles biologiques fournit une valeur d'habitat pour les conditions de hauteur d'eau et celles de vitesse d'écoulement. La Surface Pondérée Utile (SPU) est obtenue par la somme des surfaces élémentaires pondérées par le produit des valeurs d'habitat pour la hauteur d'eau (V_h) et la vitesse d'écoulement (V_v) :

$$SPU = \sum S * V_v * V_h$$

3.4. Résultats

Mise en eau des zones de fraie

- Secteur de la DTG :

Sur le secteur de la DTG (figure 21 et 22 et planche photographique 1), la surface en eau de la zone de fraie amont augmente de 1800 m² à 10 m³/s, jusqu'à 2180 m² à 30 m³/s et 2450 m² à 80 m³/s, puis atteint un maximum autour de 2670 m² à partir de 170 m³/s. La surface en eau de la zone de fraie aval augmente de 1110 m² à 10 m³/s, jusqu'à 1390 m² à 30 m³/s et 1480 m² à 80 m³/s, puis atteint un maximum autour de 1600 m² à partir de 140 m³/s.

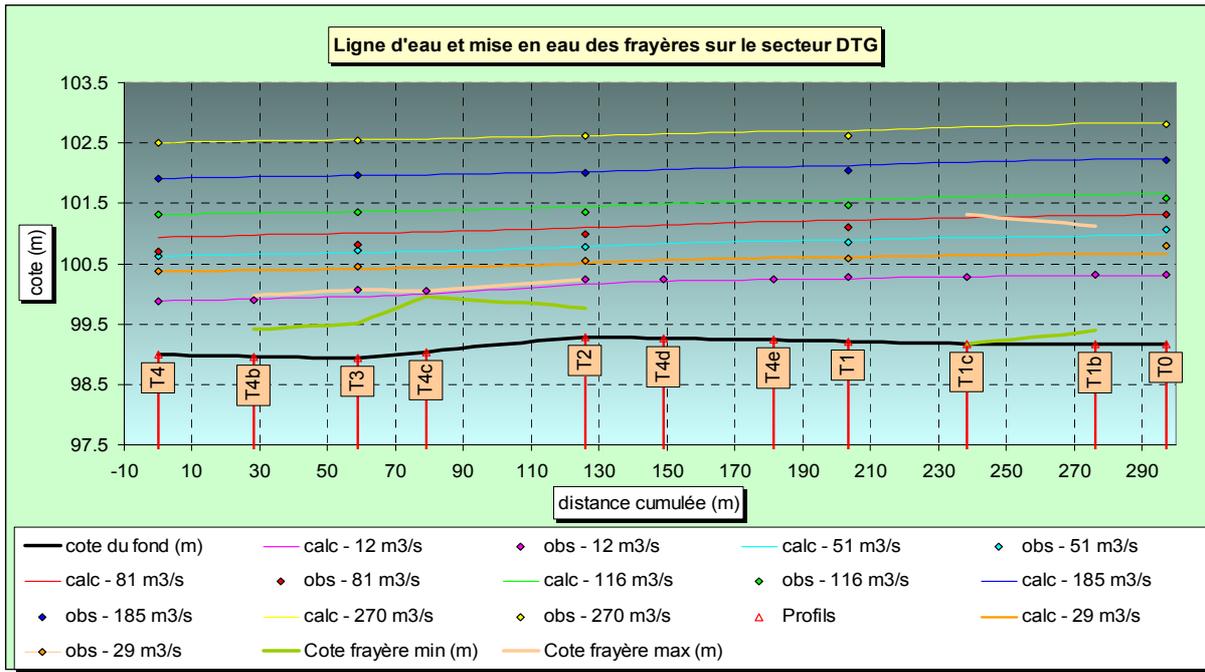


Figure 21 : Ligne d'eau et mise en eau des zones de fraie sur le secteur DTG.



a) zone de fraie amont



b) zone de fraie aval

Planche photographique 1 : Zones de fraie du secteur de la DTG

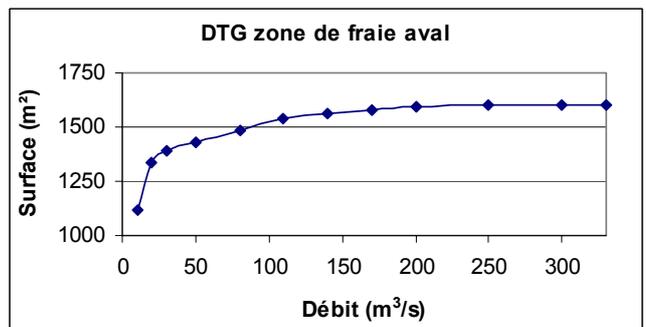
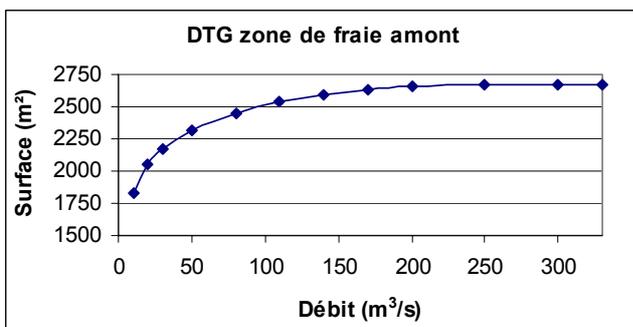


Figure 22 : Mise en eau des zones de fraie du secteur de la DTG

- Secteur du lycée d'Argentat

Sur le secteur du lycée d'Argentat (figure 23 et 24 et planche photographique 2), la surface en eau de la zone de fraie augmente de 450 m² à 10 m³/s, jusqu'à 700 m² à 30 m³/s et 800 m² à 80 m³/s, puis atteint un maximum de 820 m² à partir de 140 m³/s.

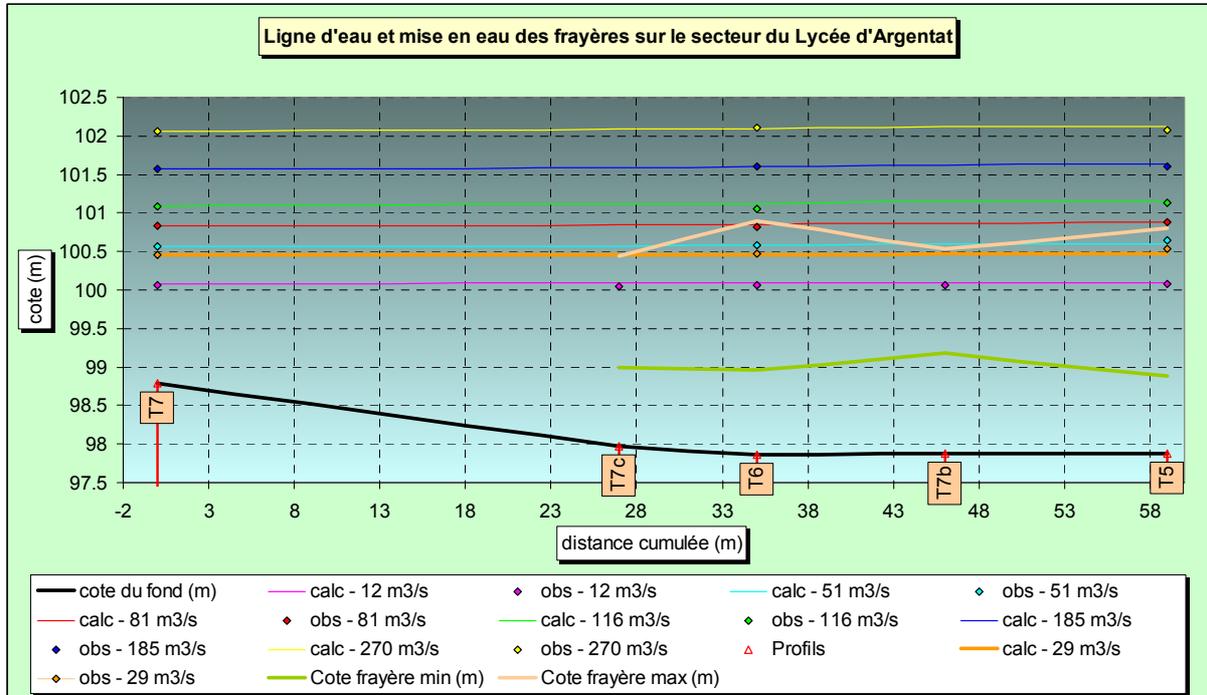


Figure 23 : Ligne d'eau et mise en eau de la zone de fraie sur le secteur du Lycée d'Argentat.



a) zone de fraie vue vers l'amont

b) zone de fraie vue vers l'aval

Planche photographique 2 : Zone de fraie du secteur du lycée d'Argentat.

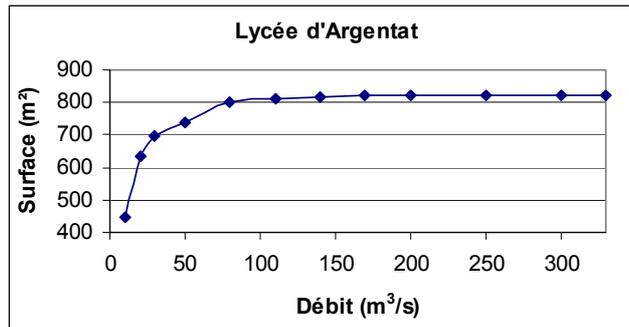


Figure 24 : Mise en eau de la zone de fraie du secteur de lycée d'Argentat

- Secteur du Malpas

Sur le secteur du Malpas (figure 25, 26 et 27 et planche photographique 3), la surface en eau de la zone de fraie amont augmente de 3600 m² à 10 m³/s jusqu'à 4530 m² à 30 m³/s, puis atteint un maximum autour de 4660 m² à partir de 80 m³/s. la surface en eau de la zone de fraie aval augmente 1600 m² à 10 m³/s, jusqu'à 2080 m² à 30 m³/s, puis atteint un maximum autour de 2120 m² à partir de 140 m³/s.

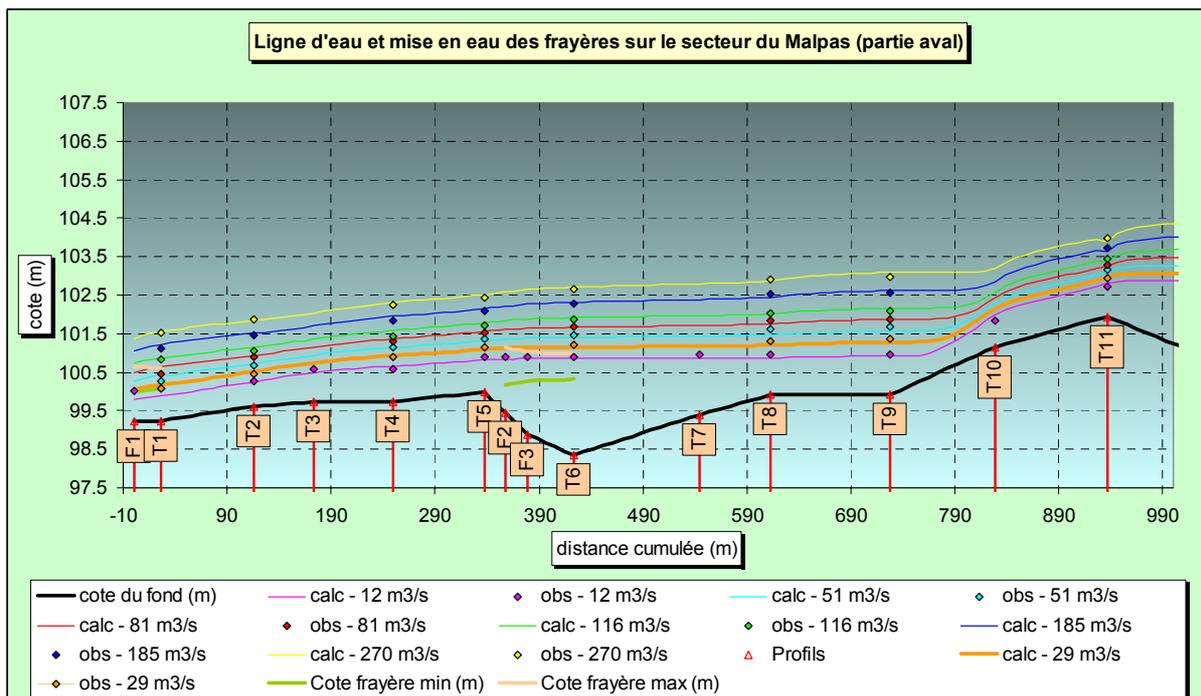


Figure 25 : Ligne d'eau et mise en eau des zones de fraie sur le secteur du Malpas (partie aval).

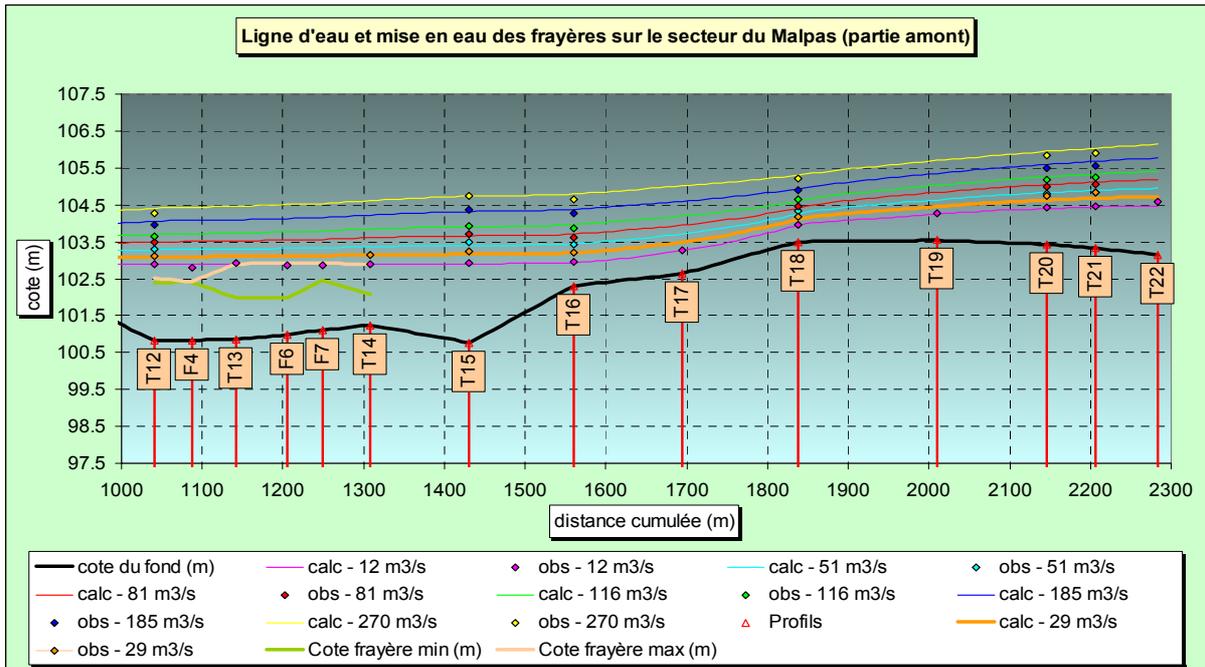


Figure 26 : Ligne d'eau et mise en eau des zones de fraie sur le secteur du Malpas (partie amont).



a) zone de fraie amont vue vers l'amont l'aval



b) zone de fraie amont vue vers l'aval

Planche photographique 3 : Zone de fraie amont du secteur du Malpas.

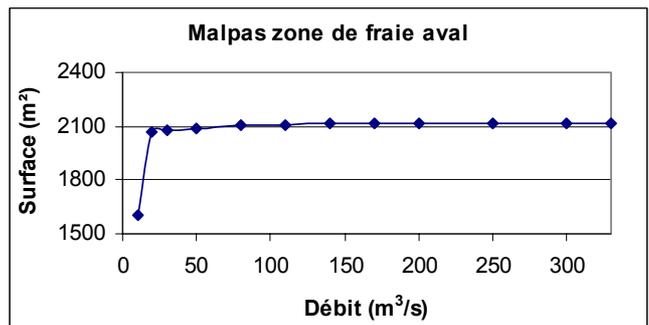
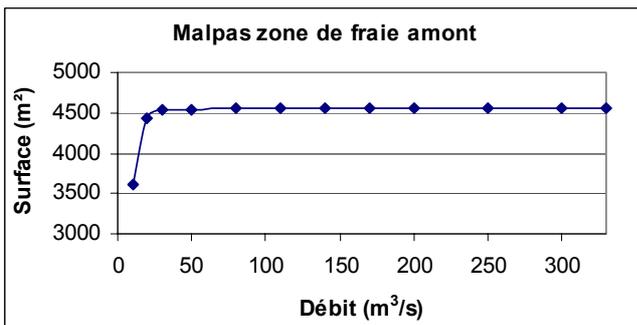


Figure 27 : Mise en eau des zones de fraie du secteur du Malpas

- Secteur de Saulou

Sur le secteur de Saulou (figure 28 et 29 et planche photographique 4), La surface en eau de la zone de fraie amont augmente de 4860 m² à 10 m³/s, jusqu'à 4930 m² à 30 m³/s et atteint un maximum autour de 5050 m² à partir de 170 m³/s. La surface en eau de la zone de fraie aval augmente 3160 m² à 10 m³/s, jusqu'à 4750 m² à 30 m³/s et 4990 m² à 80 m³/s, puis atteint un maximum autour de 5070 à partir de 140 m³/s.

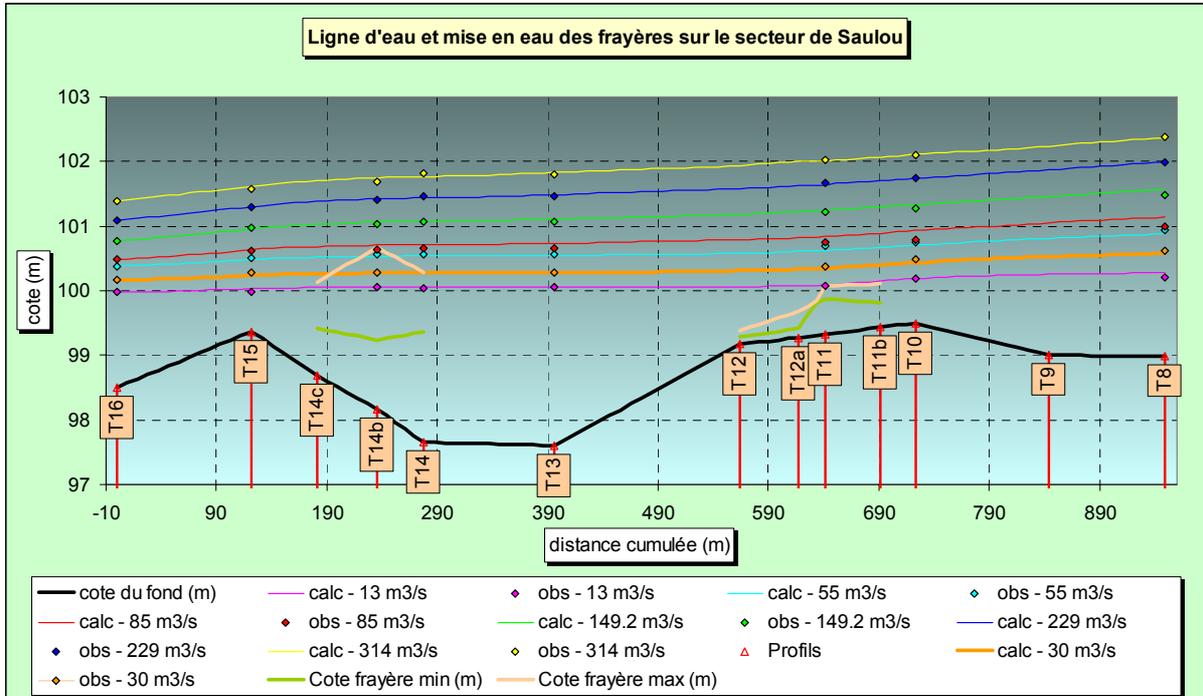


Figure 28 : Ligne d'eau et mise en eau des zones de fraie sur le secteur de Saulou.



Planche photographique 4 : Zone de fraie du secteur de Saulou.

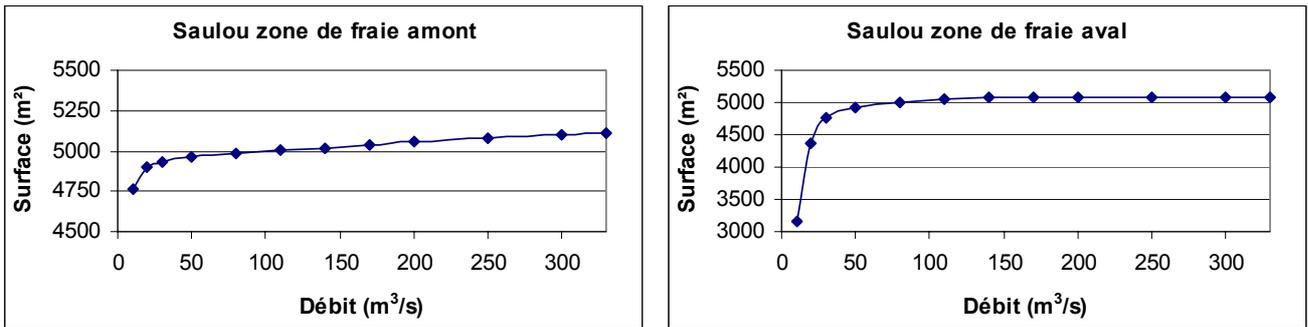


Figure 29 : Mise en eau des zones de fraie du secteur de Saulou

- Total des zones de fraie

La surface en eau de la totalité des zone de fraie augmente de 16520 m² à 10 m³/s, jusqu'à 20560 m² (+26 % par rapport à 10 m³/s) à 30 m³/s et 21370 m² (+29 % par rapport à 10 m³/s) à 80 m³/s, puis atteint un maximum autour de 21900 m² à partir de 170 m³/s.

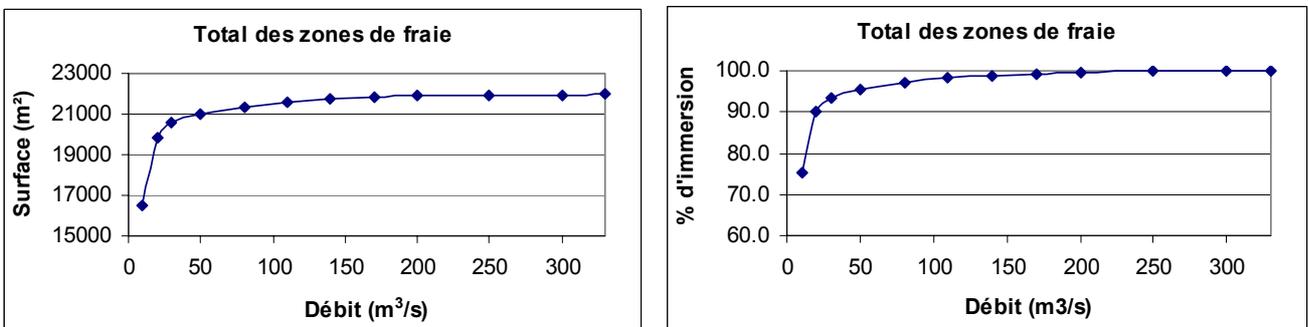


Figure 30 : Surface en eau du total des zones de fraie et pourcentage d'immersion par rapport à la surface maximale.

Fonctionnalité des zones de fraie

La fonctionnalité des zones de fraie en fonction du débit a été évaluée par une méthode voisine de celle des microhabitats au travers du modèle biologique issu d'EVHA et d'un modèle biologique « adapté » Dordogne.

Entre les deux modèles biologiques utilisés (figure 31), les différences de valeurs de surface favorable et d'allure des courbes sont importantes. Le modèle « adapté » Dordogne aboutit à des valeurs de surface beaucoup plus importante pour des débits supérieurs à 10 m³/s et quelle que soit la zone de fraie. Le modèle issu d'EVHA aboutit à des courbes atteignant leur maximum pour des débit de 10 à 30 m³/s, puis rapidement décroissante, alors que le modèle « adapté » Dordogne aboutit à des courbes atteignant leur maximum pour des débits de 100 à 200 m³/s, avec une décroissance plus lente.

Les différences entre les résultats des deux modèles s'expliquent principalement par une tolérance à la hauteur d'eau beaucoup plus grande de la part du modèle « adapté » Dordogne (pas de limite supérieure).

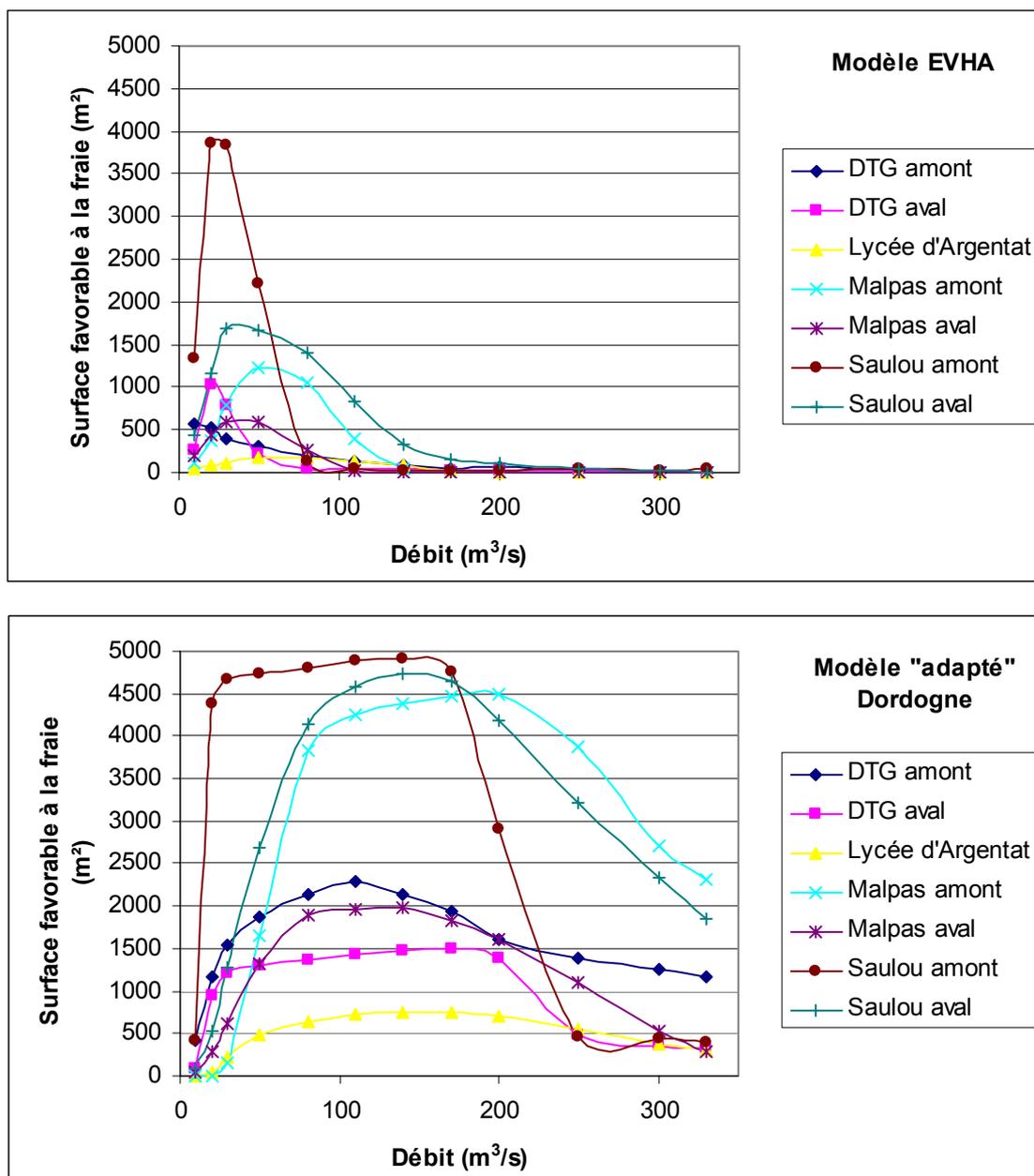


Figure 31 : Surface favorable à la fraie des saumons pour chacune des sept frayères selon le modèle d'EVHA et le modèle « adapté » Dordogne.

Au total sur les sept zones de fraie étudiées (figure 32), le modèle « adapté » Dordogne aboutit à une surface favorable à la fraie croissante jusqu'à environ 100 m³/s, maximale de 100 à 170 m³/s (environ 20400 m²), puis décroissante. De 100 à 170 m³/s, la quasi-totalité de la surface des zones de fraie est fonctionnelle.

Le modèle issu d'EVHA aboutit à une surface favorable à la fraie croissante jusqu'à un maximum d'environ 8200 m² à 30 m³/s, puis rapidement décroissante.

Ces résultats mettent en évidence l'importance du choix du modèle biologique lors de la mise en œuvre de la méthode des microhabitats. Les gammes de débit correspondant au maximum de SPU et les valeurs maximales sont susceptibles de varier significativement suivant le modèle choisi.

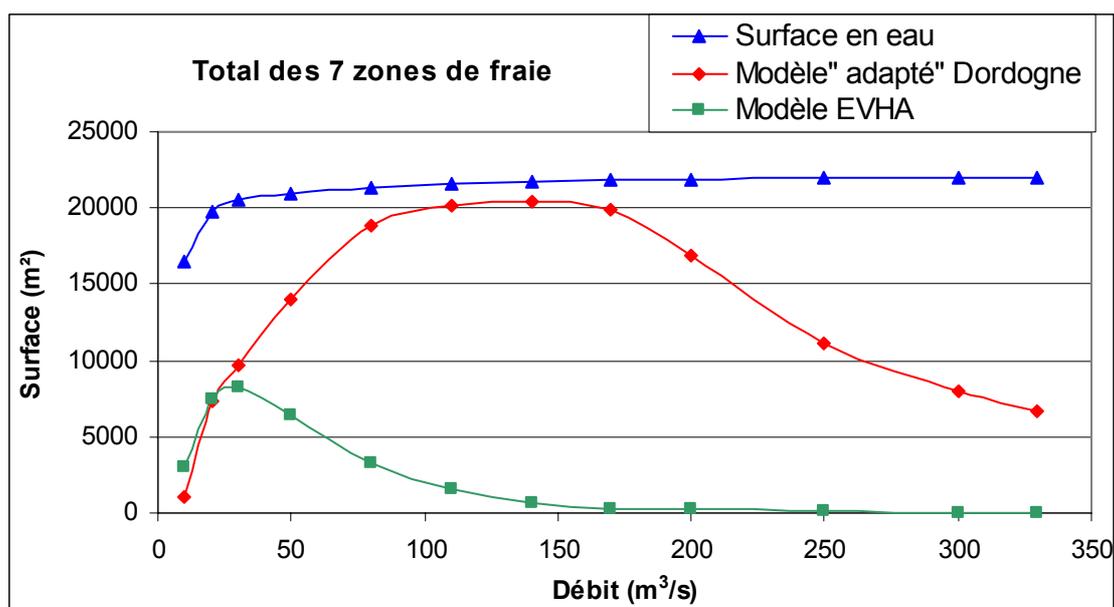


Figure 32 : Surface favorable à la fraie pour le total des frayères selon le modèle d'EVHA et le modèle « adapté » Dordogne.

Apports de granulométrie favorables à la fraie

Les possibilités d'apport de granulométrie favorables à la fraie (2 à 10 cm) de grands salmonidés ont été examinées sur 18 transects dans 3 secteurs : DTG (2), Lycée (3) et Malpas (13) (annexe 5). Des apports de granulométrie de 6 à 10 cm semblent possibles sur la majorité des transects avec éventuellement des préférences de rives :

- Secteur DTG : transect T1b et T1c, en rive droite ou gauche (bonne stabilité).
- Secteur du Lycée d'Argentat : transects T5, T6 et T7c, en rive droite ou gauche (bonne stabilité).
- Secteur du Malpas :
 - transects F3 et T6, plutôt en rive droite (stabilité limite).
 - transects T12, F4, T13, F6, F7 et T14, plutôt en rive droite (très bonne stabilité).
 - transects T17 et T18 en rive droite ou gauche (stabilité moyenne).

La stabilité d'apports de granulométrie entre 2 et 6 cm semble plus difficile, mais peut éventuellement se faire en mélange avec des éléments plus grossiers (6 à 10 cm) pour profiter de leur protection.

Le choix des sites d'apports est également très dépendant des questions d'approvisionnement en granulométrie et d'accessibilité au cours d'eau pour les engins de travaux. Les sites a priori les plus favorables aux apports de granulométrie se trouvent généralement à la périphérie des frayères actuelles qui demeurent des zones relativement protégées lors des épisodes de fort débit. Tout aménagement de frayère aura une durée de vie limitée puisque toujours sujet à une érosion même limitée à fort débit, et non compensée par des apports naturels de l'amont.

Les zones de croissance des 0+

- Estimation des surfaces

Les zones de croissances (radiers) ont été délimitées à l'amont et à l'aval par le positionnement de transects lors des relevés topographiques, pour un débit de l'ordre de 12 m³/s. Les surfaces des radiers du « Pont d'Argentat », du « Malpas », du « Chambon

amont » et du « Chambon aval » sont respectivement de 21000, 16300, 6580, et 3300 m², pour un total de 47300 m². Ces superficies sont sensiblement différentes de celles estimées par Chollet (2001) qui annonce pour les mêmes secteurs une surface total de 72300 m² (+53 %). Ces différences s'expliquent en partie par le fait que Chollet a pris en compte la totalité des secteurs courants (rapides, radiers et plats courant).

- Fonctionnement hydraulique

Les quatre radiers examinés présentent des valeurs de hauteur d'eau moyenne globalement similaires ; seul le radier 2 est quelque peu plus profond (figure 33). La hauteur d'eau moyenne augmente avec le débit : de 0.36 à 0.54 m à 12 m³/s, de 0.70 à 0.98 m à 51 m³/s, 1.10 à 1.42 m à 166 m³/s, et de 1.76 à 2.11 m à 250 m³/s.

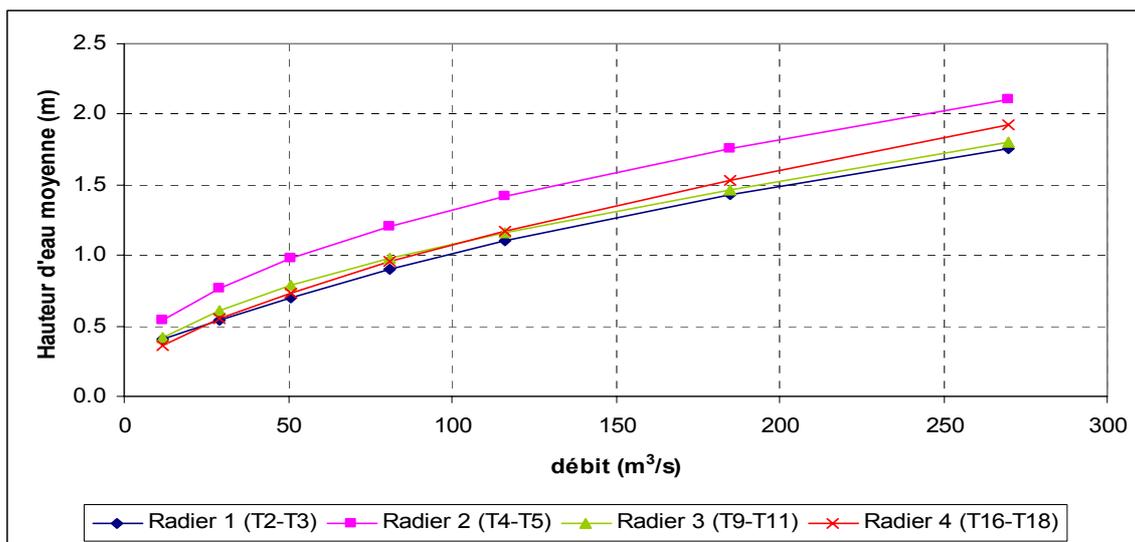


Figure 33 : Evolution en fonction du débit de la hauteur d'eau moyenne des radiers du Malpas.

Les quatre radiers examinés présentent des valeurs de vitesse d'écoulement moyenne globalement similaires ; seul le radier 2 est quelque peu moins courant (figure 34). La vitesse d'écoulement moyenne augmente avec le débit : de 0.22 à 0.41 m/s à 10 m³/s, de 0.56 à 0.82 m/s à 50 m³/s, 1.09 à 1.43 m/s à 170 m³/s, et de 1.31 à 1.70 m/s à 250 m³/s.

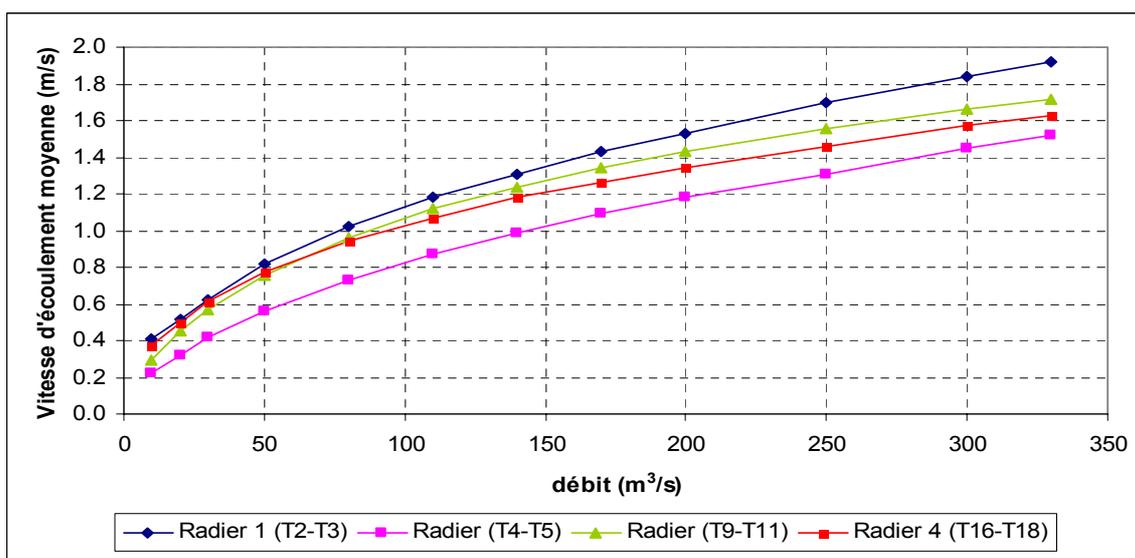


Figure 34 : Evolution en fonction du débit de la vitesse d'écoulement moyenne des radiers du Malpas

- Fonctionnalité

La fonctionnalité des zones de croissance a été évaluée par une méthode voisine de celle des microhabitats et au travers de deux modèles biologiques issu d'EVHA (SAT 2-8 cm et SAT 8-15 cm) et d'un modèle biologique « adapté » Dordogne.

Le modèle biologique EVHA SAT 2-8 cm aboutit à des courbes de SPU décroissantes dès 10 ou 20 m³/s (radier 1, 3 et 4) ou quasi-nulle (radier 2). Les valeurs de SPU obtenues sont bien inférieures à celles des deux autres modèles.

Le modèle biologique EVHA SAT 8-15 cm et celui « adapté » Dordogne aboutissent à des courbes de SPU similaires pour les quatre radiers, les valeurs de SPU obtenues avec le premier étant toujours quelques peu inférieures à celles obtenues avec le second. Pour les radiers 1, 3 et 4, les courbes ont une allure en cloche, atteignant un maximum entre 20 et 30 m³/s. Pour le radier 2, les courbes sont décroissantes dès 10 m³/s.

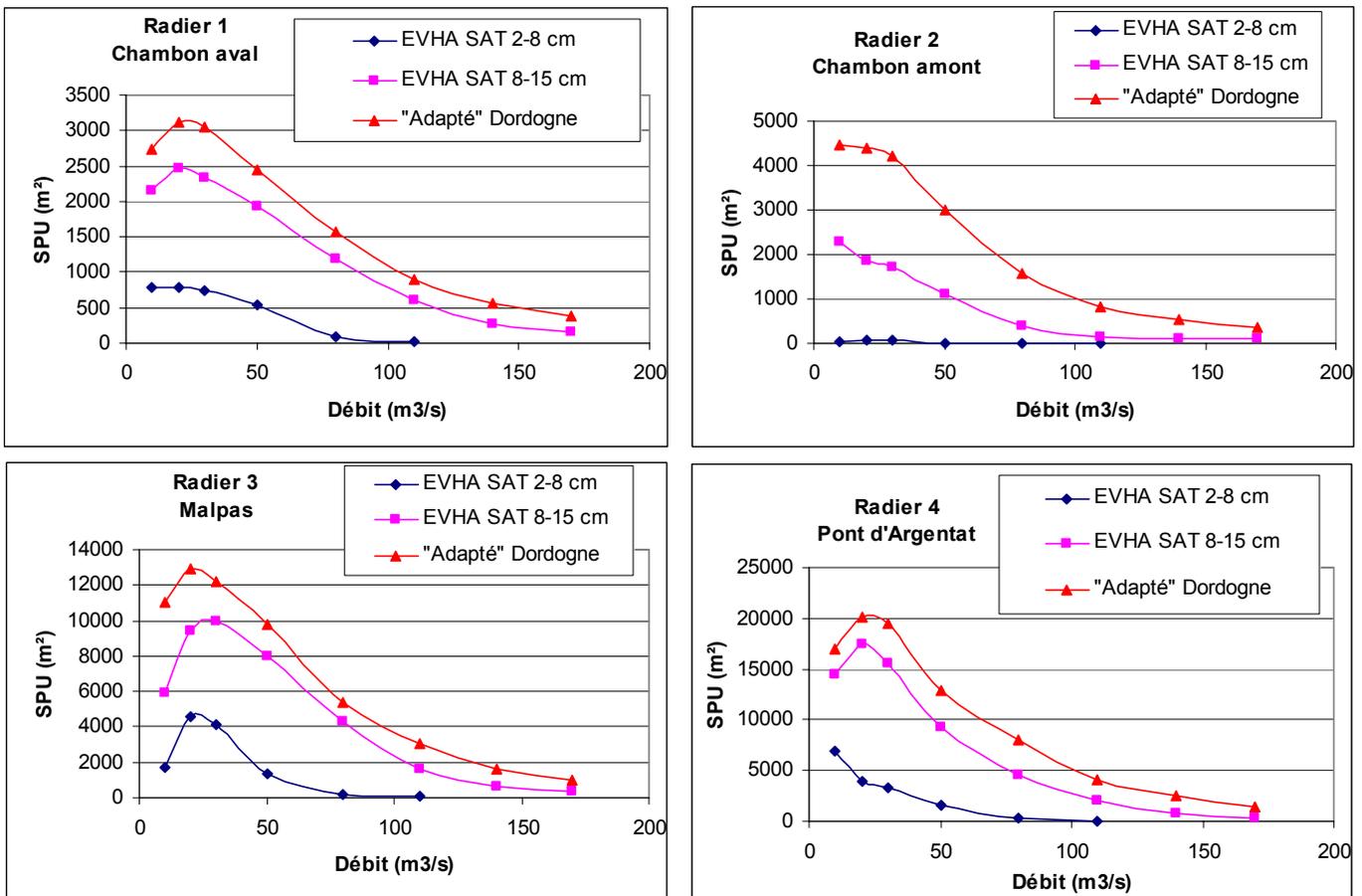


Figure 35 : SPU des radiers du Malpas selon les trois modèles biologiques.

Au total, le modèle biologique EVHA SAT 2-8 cm aboutit à un courbe maximale entre 10 et 20 m³/s (9500 m² environ), puis décroissante, et enfin nulle à partir de 110 m³/s.

Le modèle biologique EVHA SAT 8-15 cm et celui « adapté » Dordogne aboutissent à des courbes de SPU similaires, en cloches avec un maximum entre 20 et 30 m³/s, égal à environ 31000 m² pour le premier et 40500 m² pour le second.

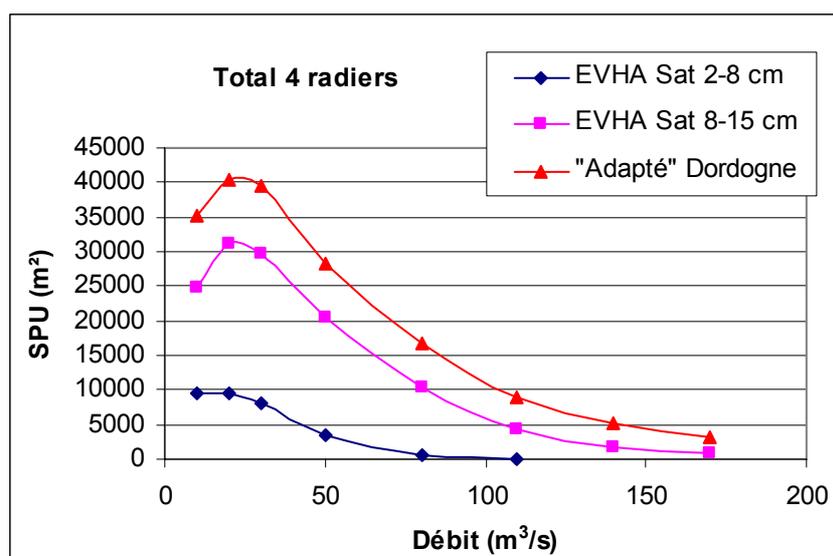


Figure 36 : SPU du total des 4 radiers du Malpas selon les trois modèles biologiques.

Ces résultats mettent en évidence l'importance du choix du modèle biologique lors de la mise en œuvre d'une méthode de type microhabitats. Les gammes de débit correspondant au maximum de SPU et les valeurs maximales sont susceptibles de varier significativement entre les modèles, suggérant une incertitude importante.

La croissance des espèces cibles dans le cours d'eau étudié doit être connue et les modèles biologiques choisis doivent avoir été développés pour des poissons de gamme de taille adaptée et dans des cours d'eau de dimensions comparables. Les résultats obtenus doivent être regardés avec un œil critique et comparés avec d'autres méthodes (hydrauliques, hydrologiques) et les observations de terrain.

La décroissance rapide des courbes de SPU vers les forts débits est probablement un biais de la méthode des microhabitats. En effet, pour la construction des modèles biologiques, les poissons sont généralement échantillonnés à bas débit lorsque les observations sont les plus faciles. Or, il s'avère que ces modèles varient en fonction du débit transitant dans le cours d'eau lors de l'échantillonnage biologique (Heggenes 1990 et 1996 ; Heggenes et Salveit 1990 ; Holm et al. 2001). Les modèles biologiques existants ne sont peut-être pas extrapolables vers les forts débits de manière valable (Heggenes et Salveit 1990). L'interprétation doit porter sur la partie croissante de la courbe. Le débit correspondant au maximum de SPU ne doit pas être considéré comme un optimum mais comme un débit en deçà duquel l'habitat morphodynamique est susceptible de se dégrader rapidement.

Piégeage des alevins dans les zones rivulaires

Dès que le niveau d'eau dépasse celui des berges, les zones rivulaires sont alors mises en eau. Cela intervient pour des débits relativement importants et ces zones à faibles vitesses car très rugueuses servent d'abris pour les alevins ... puis de piège à la prochaine baisse du niveau d'eau.

Dans le cas de la Dordogne, l'étude en cours sur l'échouage-piégeage, réalisée par ECOGEA pour MIGADO, a permis de constater effectivement que des alevins se retrouvent piégés dans les multiples dépressions des zones rivulaires. Deux zones de piégeage ont notamment été révélées sur le secteur du Malpas : une « petite annexe hydraulique » et un cordon d'arbres rivulaire (298 alevins de salmonidés piégés en deux baisses de débit sur ces deux zones en 2005, ECOGEA). L'objet de ce paragraphe est de déterminer à partir de quel débit ces zones sont mises en eau.

- La « petite annexe hydraulique »

La « petite annexe hydraulique » se situe en rive droite ; longue d'environ 100 m et large d'environ 8 m, elle est séparée du bras principal par un cordon de terre végétalisé. Sa section transversale est illustrée par le transect F1 (figure 37).

Etant donné la complexité de l'alimentation de ce genre de zone, une plus grande précision n'est pas nécessaire. La « petite annexe hydraulique » est mise en eau aux alentours de 130 m³/s.

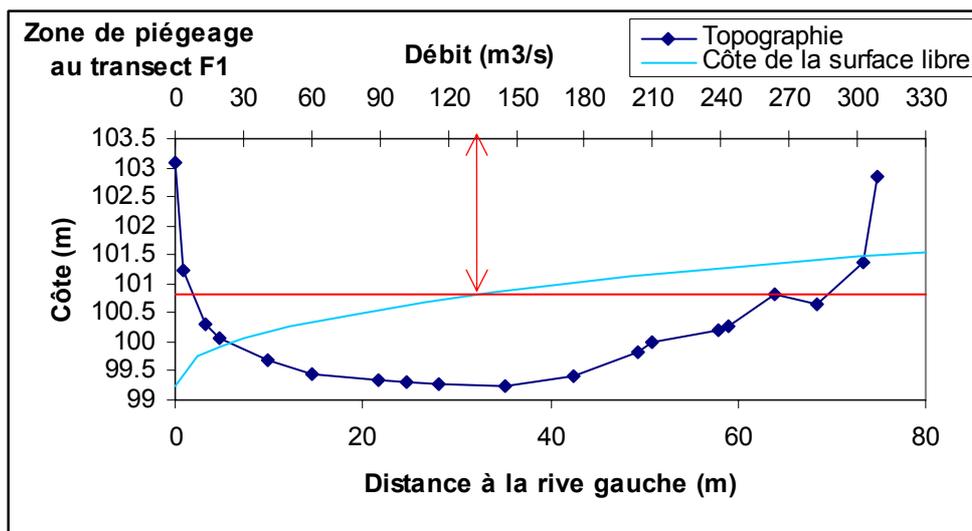


Figure 37 : Côte de mise en eau de la « petite annexe hydraulique » au niveau du transect F1.

- Le cordon d'arbres rivulaire

Le cordon d'arbres rivulaire suivi pour le piégeage d'alevins se situe en rive droite et mesure environ 450 m de long. Sa section transversale est notamment représentée par trois transects : T4, T5 et T7 (figure 38).

Le débit à partir duquel les dépressions du cordon d'arbre sont mises en eau est très variable : environ 80 m³/s au T7, 240 m³/s au T5 et 200 m³/s au T4 (figure 38). Cela illustre la complexité de la submersion de ces zones. La valeur en T7, inférieure au module est anormalement faible et ne correspond pas aux ordres de grandeur du débit de cordon d'arbres rivulaire. Par contre, les valeurs en T5 et T4 semblent réalistes.

Echouage des alevins en lit mineur

Le phénomène d'échouage des alevins sur les bancs de galets est également une source de mortalité. Le peu de connaissances sur cette problématique amène dans un premier temps à analyser l'évolution des surfaces mouillées en fonction du débit. L'exercice a été mené sur les secteurs du Malpas et de Saulou (figure 39).

Les surfaces mouillées des deux secteurs présentent des évolutions similaires, augmentant rapidement entre 10 et 50 m³/s, puis plus lentement au-delà.

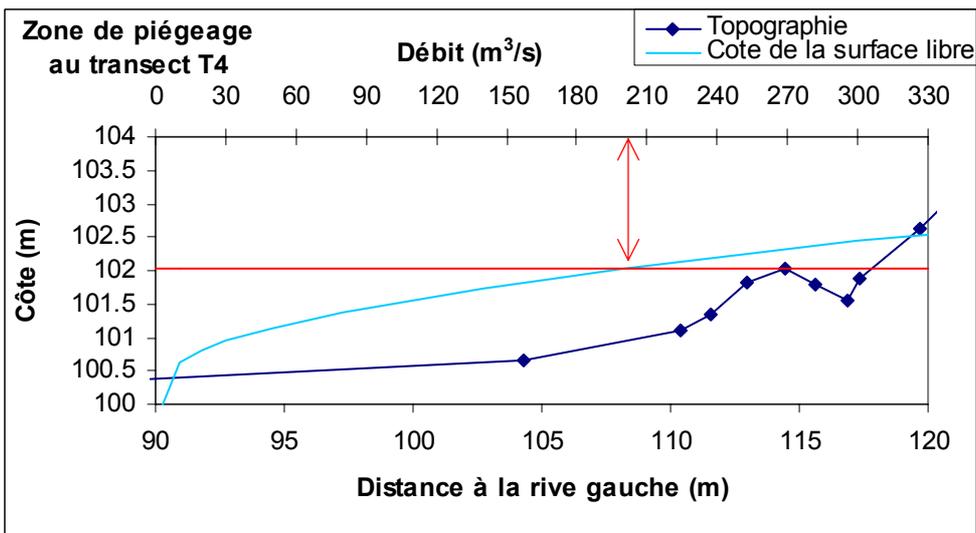
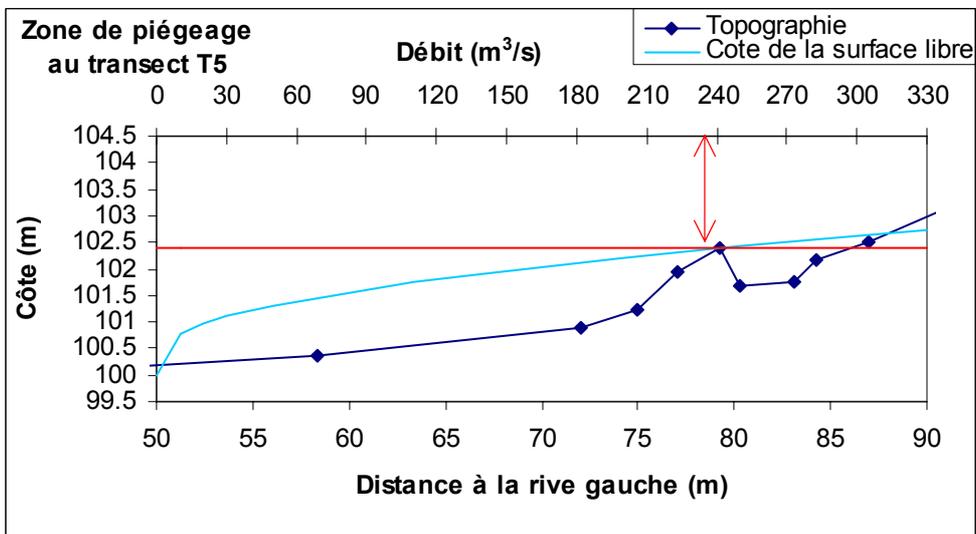
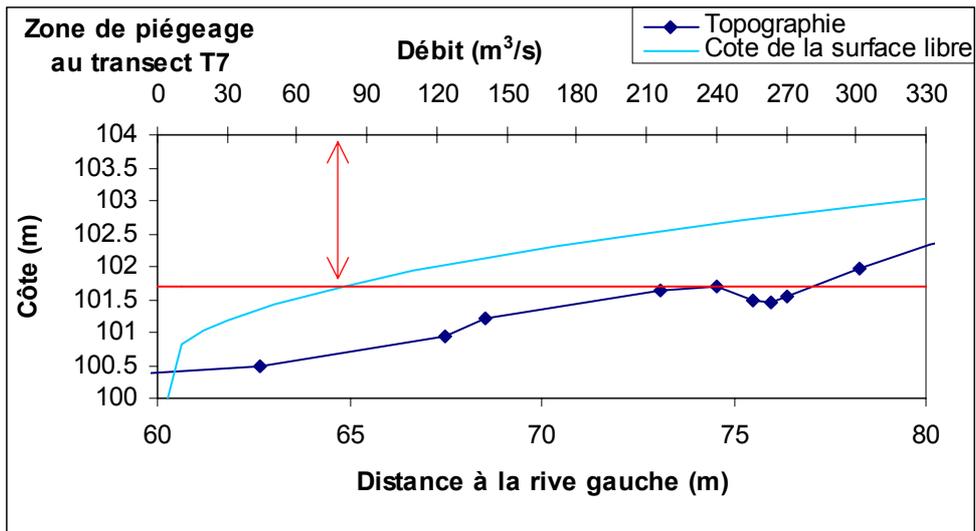


Figure 38 : Cote de mise en eau du cordon d'arbres rivulaire au niveau des transects T7, T5 et T4.

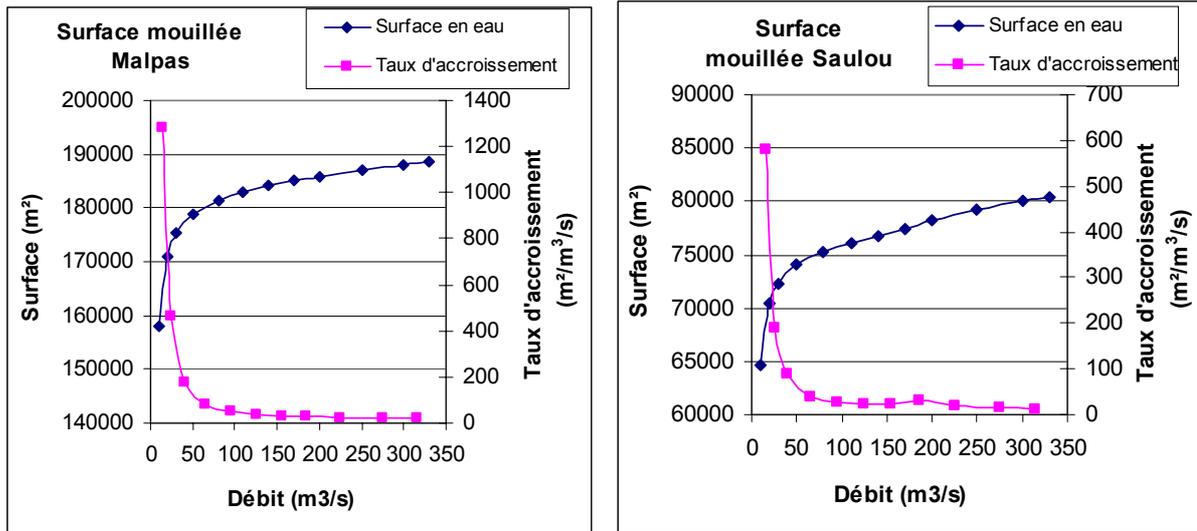


Figure 39 : Evolution de la surface mouillée des secteurs du Malpas et de Saulou.

La sensibilité des alevins au phénomène d'échouage semble fonction des gradients de hauteurs d'eau. Le modèle hydraulique a permis de relier différents gradients de hauteurs d'eau (10, 20, 30 et 50 cm/h) aux gradients de débit, en fonction du débit (figure 40 à 43).

Pour un gradient de hauteur d'eau donné, les gradients de débit correspondant augmentent avec le débit auxquels ils sont appliqués. Par exemple, un gradient de hauteur d'eau de 10 cm/h (figure 40) correspond à un gradient de débit d'environ 5 m³/s/h à 15 m³/s, 10 m³/s/h à 40 m³/s, 20 m³/s/h à 155 m³/s et 25 m³/s/h à 275 m³/s.

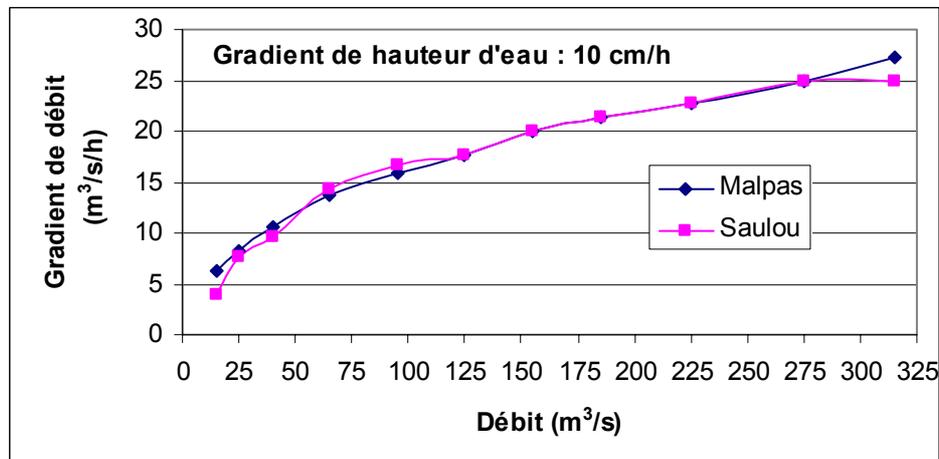


Figure 40 : Gradient de débit correspondant à un gradient de hauteur d'eau de 10 cm/h, sur les secteurs de Saulou et du Malpas.

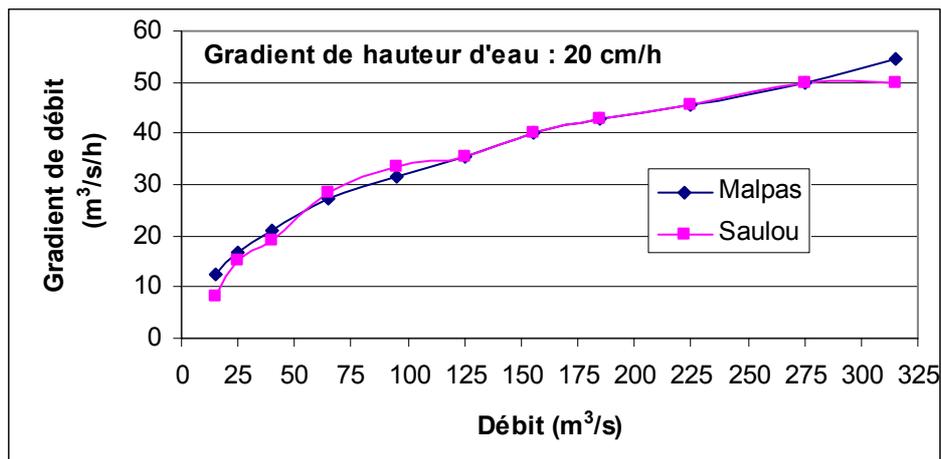


Figure 41 : Gradient de débit correspondant à un gradient de hauteur d'eau de 20 cm/h, sur les secteurs de Saulou et du Malpas.

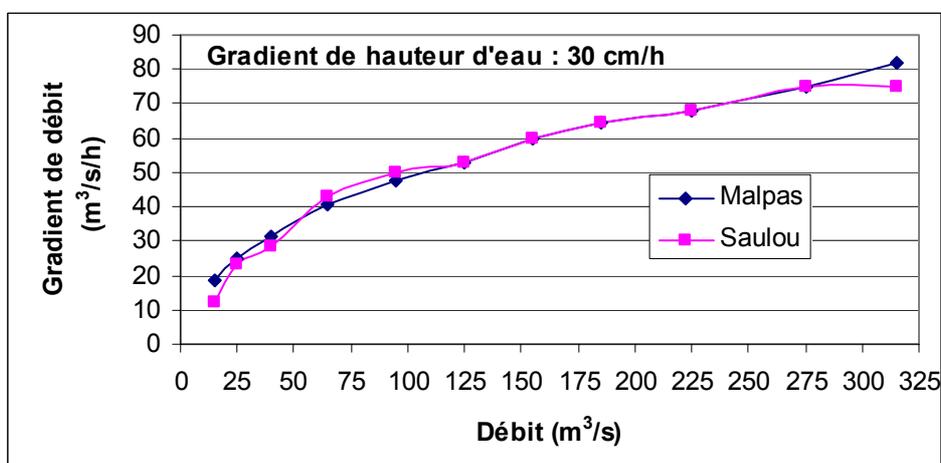


Figure 42 : Gradient de débit correspondant à un gradient de hauteur d'eau de 30 cm/h, sur les secteurs de Saulou et du Malpas.

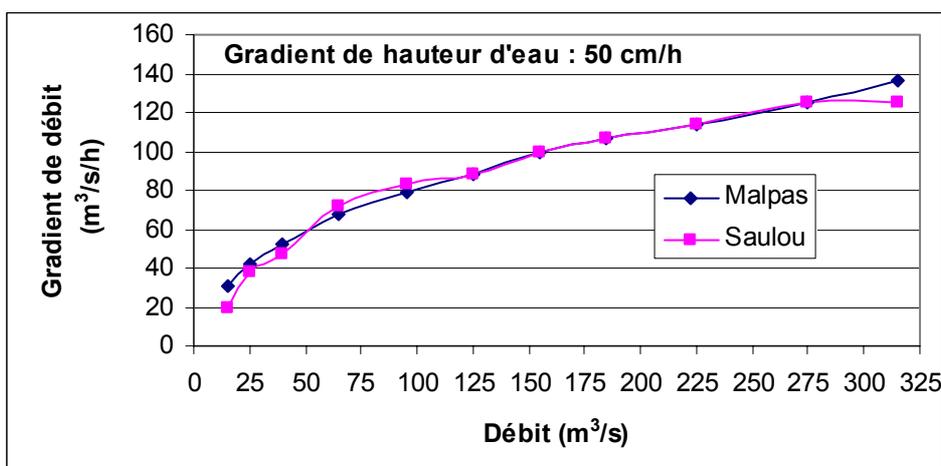


Figure 43 : Gradient de débit correspondant à un gradient de hauteur d'eau de 50 cm/h, sur les secteurs de Saulou et du Malpas.

3.5. Conclusions de l'étude hydraulique

Cette étude hydraulique de la Dordogne entre Argentat et les îlots de Saulières a permis d'apporter des éléments de réponses aux problématiques et questions relatives aux zones de fraie des saumons, aux zones de croissance des 0+ et aux phénomènes d'échouage-piégeage des alevins.

La surface en eau des zones de fraie augmente de 16520 m² à 10 m³/s, jusqu'à 20560 m² à 30 m³/s et 21370 m² à 80 m³/s, puis atteint un maximum autour de 21900 m² à partir de 170 m³/s. Une méthode voisine de celle des microhabitats a été mise en œuvre pour évaluer la fonctionnalité des zones de fraie en fonction du débit. Selon le modèle biologique adapté au cas de la Dordogne, la surface favorable à la fraie est croissante jusqu'à environ 100 m³/s, maximale de 100 à 170 m³/s (environ 20400 m²), puis décroissante. De 100 à 170 m³/s, la quasi-totalité de la surface en eau des zones de fraie est fonctionnelle. Le modèle hydraulique a permis d'évaluer la stabilité de différentes tailles de galets par transects en vue d'apports de granulométrie favorable à la fraie.

Le modèle hydraulique a permis d'estimer les surfaces des zones de croissance des 0+ de saumon et d'y étudier l'évolution des hauteurs d'eau et des vitesses d'écoulement moyennes en fonction du débit. Une méthode voisine de celle des microhabitats a été mise en œuvre pour évaluer leur fonctionnalité en fonction du débit. Le modèle biologique adapté au cas de la Dordogne aboutit à une courbe de SPU en cloches avec un maximum à environ 40500 m² entre 20 et 30 m³/s. Ces valeurs de débit supérieures au débit réservé actuel égal à 10 m³/s permettraient d'augmenter le potentiel de production de 0+ de saumon de la Dordogne.

Le modèle hydraulique a permis de déterminer grossièrement les débits de mise en eau de deux zones de piègeage des alevins. Cet outil a également fourni des informations sur deux paramètres qui semblent influencer l'échouage: d'une part l'évolution de la surface mouillée en fonction du débit et d'autre part les correspondances entre les gradients de hauteur d'eau et les gradients de débit.

Les résultats de cette étude en accord avec les suivis biologiques sur la Dordogne (suivi de la reproduction et de l'échouage-piégeage, ECOGEA pour MIGADO) amènent à préconiser notamment (1) le **maintien d'un débit minimum hivernal de 30 m³/s durant les périodes de reproduction, d'incubation et de vie sous graviers (mi-novembre à fin mars)**. Ce débit permet la mise en eau de la quasi-totalité des zones de substrat favorable à la fraie et donc la limitation des exondations de frayères. Les premiers résultats sur la mise en eau des zones d'échouage-piégeage des alevins montre (2) que certaines zones ne peuvent pas raisonnablement faire l'objet de mesure portant sur la gestion des débits mais qu'il est alors envisageable d'intervenir sur la morphologie, et (3) qu'une **limitation du débit à une valeur maximale probablement inférieure à 200 m³/s durant la principale période de sensibilité à l'émergence (fin mars à fin mai)** éviterait la mise en eau de certaines zones piègeuses. Les suivis de l'échouage-piégeage amènent également à penser que (4) le **maintien d'un débit minimum relativement élevé durant cette même période** permettrait de diminuer les mortalités en limitant les surfaces exondées et les déconnexions de poches d'eau. La présente étude n'a pas permis de déterminer précisément cette valeur minimale, mais une étude similaire en cours sur un secteur de Dordogne plus en aval devrait fournir des informations complémentaires.

Ces premières préconisations devront être rediscutées et complétées (valeur de débit et période de sensibilité), en prenant en compte notamment les résultats de l'étude mentionnée ci-dessus, et des suivis de l'échouage-piégeage (ECOGEA pour MIGADO).

Le travail présenté dans ce rapport porte sur le saumon atlantique et la truite commune. La nécessaire prise en compte de l'ombre commun sur la Dordogne induirait principalement la prolongation jusqu'à la mi-juin des préconisations 3 et 4 destinées à limiter les mortalités par échouage-piégeage.

4. BIBLIOGRAPHIE

Chollet A., 2001. Conception et élaboration d'outils d'organisation des plans d'alevinage en saumon atlantique sur le bassin de la Dordogne. Rapport de Stage de 2ème année du Diplôme Universitaire Supérieur Ingénierie des Milieux Aquatiques et des Corridors Fluviaux. Université F. Rabelais Tours. 55 p. + annexes.

Compagnie des Experts et Sapiteurs, 2000. Réduction de l'impact des éclusées sur les axes Dordogne, Cère, Maronne, Vézère – Diagnostic, les indicateurs de sensibilité.

Crisp D.T. and Carling P.A., 1989. Observations on siting, dimensions and structure of salmonid redds. *J. Fish Biol.*, 34, 119-134.

Guay J.C., Boisclair D., Rioux D., Leclerc M., Lapointe M. and Legendre P., 2000. Development and validation of numerical habitat model for juveniles of atlantic salmon (*salmo salar*). *Can. J. Aquat. Sci.* 57, 2065-2075.

Heggenes J., 1990. Habitat utilisation and preference in juvenile atlantic salmon (*salmo salar*) in streams. *Regul. Riv.* 5, 341 – 354.

Heggenes J. and Saltveit S.J., 1990. Seasonal and spatial microhabitat selection and segregation in young atlantic salmon (*Salmo Salar*) and brown Trout (*Salmo Trutta*) in a Norwegian river. *Journal of Fish Biology* 36, 707-720.

Holm C.F., Armstrong J.D. and Gilvear D.J., 2001. Investigating a major assumption of predictive instream habitat models : is water velocity preference of juvenile Atlantic Salmon independent of discharge ? *Journal of Fish Biology* 59, 1653 – 1666.

Lagarrigue T. et Lascaux J.M., 2002. Suivi de la reproduction naturelle des grands salmonidés migrateurs sur le bassin de la Dordogne en aval du barrage du Sablier (département de la Corrèze et du Lot) – Automne Hiver 2001-2002. Rapport E.CO.G.E.A. pour MI.GA.DO. n° D11-02-RT ; 35p. + annexes.

Lagarrigue T. et Lascaux J.M., 2003. Suivi de la reproduction naturelle des grands salmonidés migrateurs sur le bassin de la Dordogne en aval du barrage du Sablier (département de la Corrèze et du Lot) – Automne Hiver 2002-2003. Rapport E.CO.G.E.A. pour MI.GA.DO. n° D15-03-RT ; 38p. + annexes.

Lascaux J.M., Vandewalle F. et Lagarrigue T., 2004. Suivi de la reproduction naturelle des grands salmonidés migrateurs sur le bassin de la Dordogne en aval du barrage du Sablier (département de la Corrèze et du Lot) – Automne Hiver 2003-2004. Rapport E.CO.G.E.A. pour MI.GA.DO. n° D10-04-RT ; 30p. + annexes.

Lascaux J.M., Lagarrigue T. et Vandewalle F., 2005. Suivi de la reproduction naturelle des grands salmonidés migrateurs sur le bassin de la Dordogne en aval du barrage du Sablier (département de la Corrèze et du Lot) – Automne Hiver 2004-2005. Rapport E.CO.G.E.A. pour MI.GA.DO. n° D9D-05-RT; 29p. + annexes.

Leclerc M., Boudreault A., Bechard J.A. and Corfa G., 1995. Two-dimensional hydrodynamic modelling: a neglected tool in the instream flow incremental methodology. *Transactions of the American Fisheries Society* 124 (5): 645-662.

Leclerc M., Boudreau P., Bechara J.A. and Belzile L., 1996. Numerical method for modelling spawning habitat dynamics of landlocked salmon. *Regulated Rivers : Research and Management* 12, 273 – 285.

Mäki-Petäys A., Huusko A., Erkinaro J. and Muotka T., 2002. Transferability of habitat suitability criteria of juvenile atlantic salmon (*salmo salar*). *Can. J. Aquat. Sci.* 59, 218-228.

Marchat F., Dulude P., Pustelnik G. et Roqueplo C., 1994. Etude de l'impact du suréquipement du barrage du Sablier sur la reproduction du saumon atlantique dans la Dordogne ; 81p + annexes.

Moir H.J., Soulsby C. and Youngson A.F., 2002. Hydraulic and sedimentary controls on the availability and use of atlantic salmon (*salmo salar*) spawning habitat in the river Dee system, north east Scotland. *Geomorphology* 45, 291 – 308.

SIEE 1999. Restauration du Saumon sur la Maronne – Etude hydraulique de la Maronne à l'aval de l'aménagement de HautePAGE. Rapport SIEE n° 98.10.21. PL . maronne2 ; 26p + annexes.

5. ANNEXE

5.1. Annexe 1 : Période de reproduction, d'incubation et d'émergence pour le saumon atlantique et la truite commune.

Les suivis ECOGEA pour MIGADO (2001 à 2005) ont permis d'appréhender la période de reproduction des grands salmonidés sur la Dordogne : **la reproduction s'étale de mi-novembre à fin décembre.**

Connaissant le régime thermique de la Dordogne, il est ensuite possible de calculer les dates de début et de fin d'éclosion des larves et d'émergence des alevins (tableau 1).

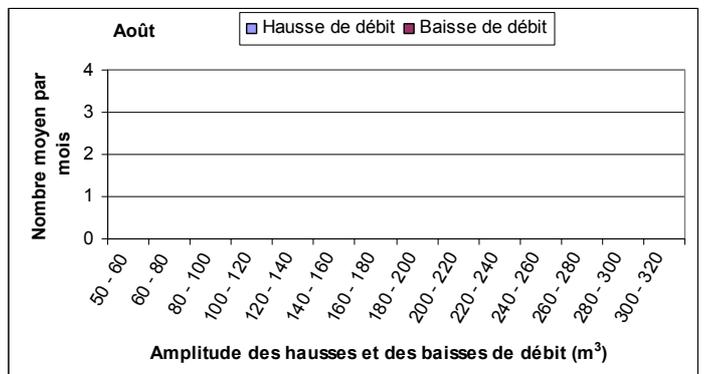
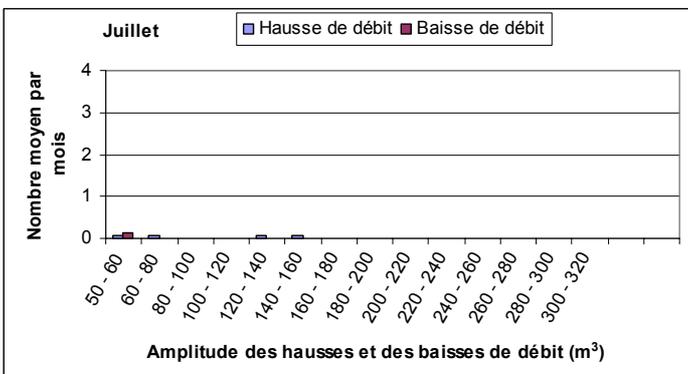
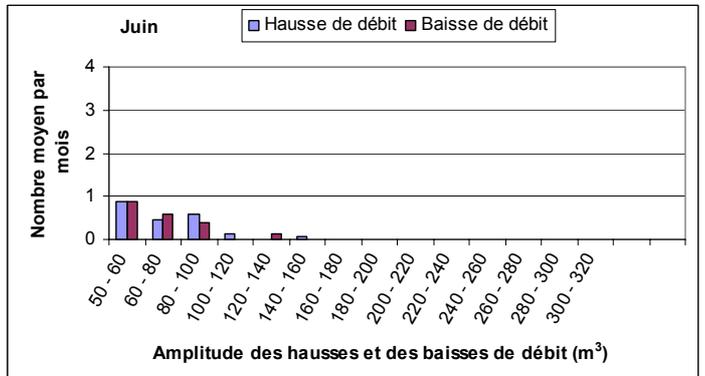
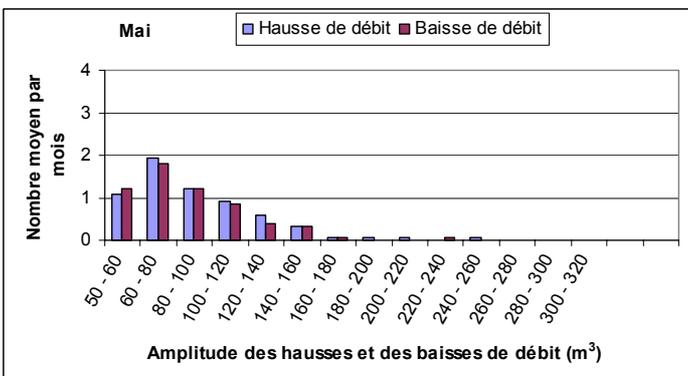
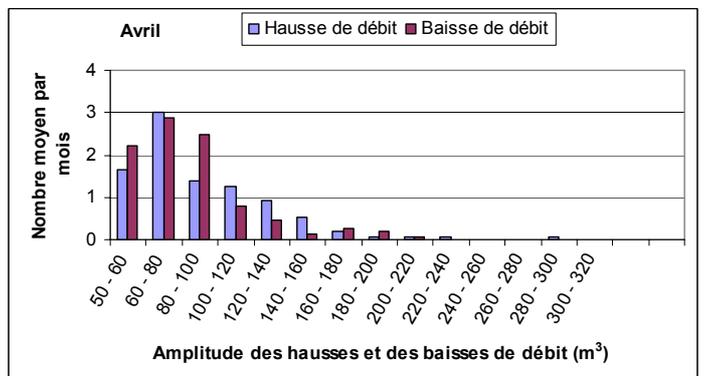
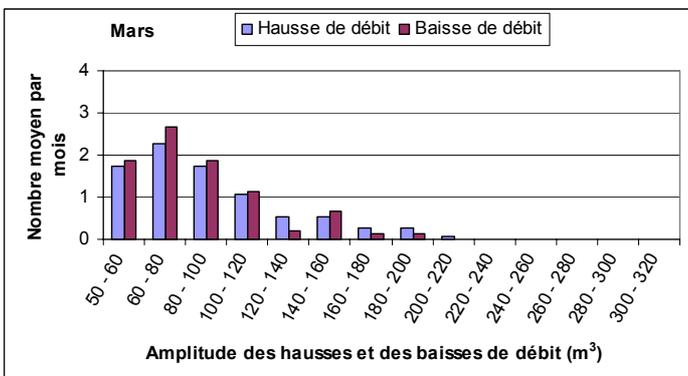
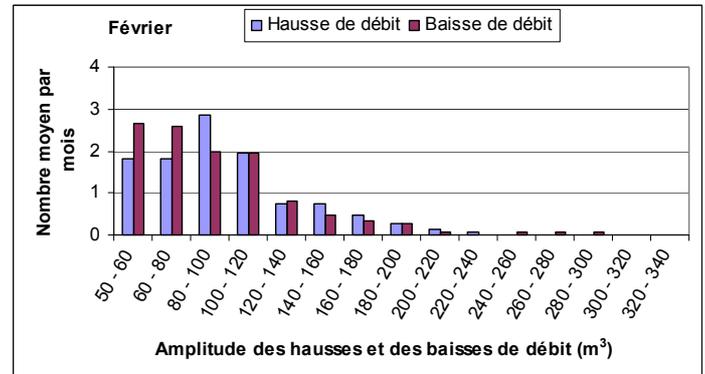
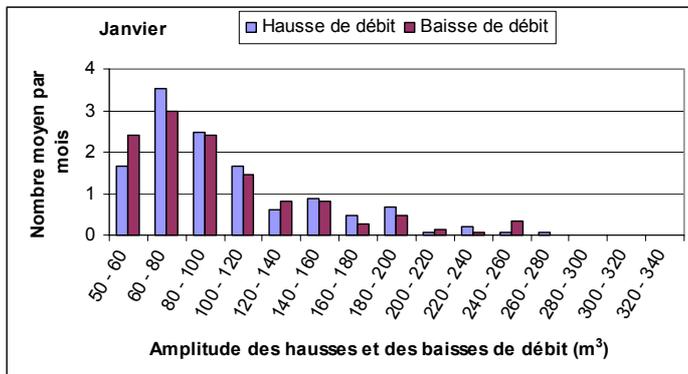
Espèce	Année	Date éclosion		Date émergence	
		Début	Fin	Début	Fin
SAT	2001	01-janv	22-févr	03-mars	15-avr
	2002	06-janv	06-mars	23-mars	28-avr
	2003	02-janv	13-mars	23-mars	05-mai
	2004	31-déc	04-mars	09-mars	01-mai
	2005	29-déc	16-mars	21-mars	13-mai
TRF	2001	31-déc	12-févr	31-janv	05-avr
	2002	05-janv	23-févr	13-févr	18-avr
	2003	02-janv	28-févr	10-févr	25-avr
	2004	30-déc	05-févr	22-févr	20-avr
	2005	28-déc	25-févr	02-févr	04-mai

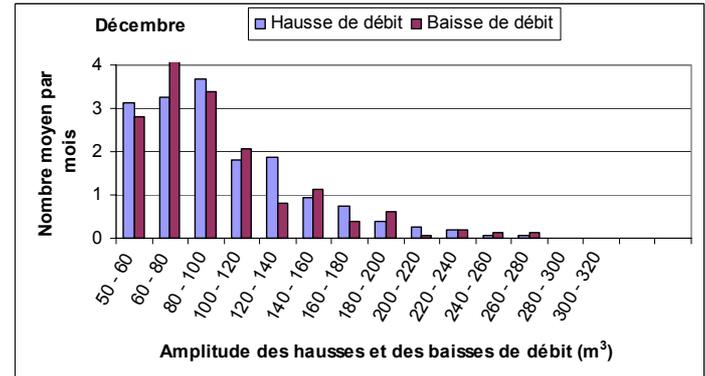
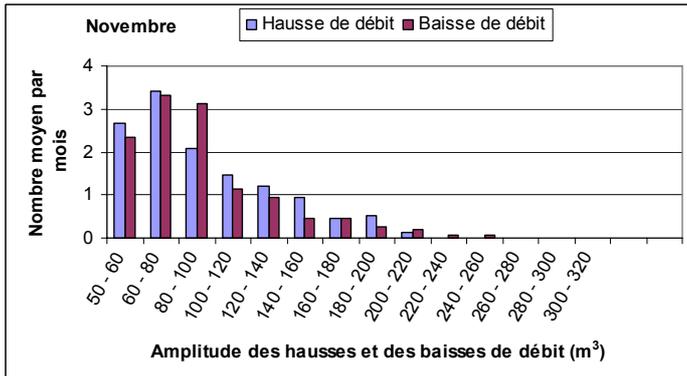
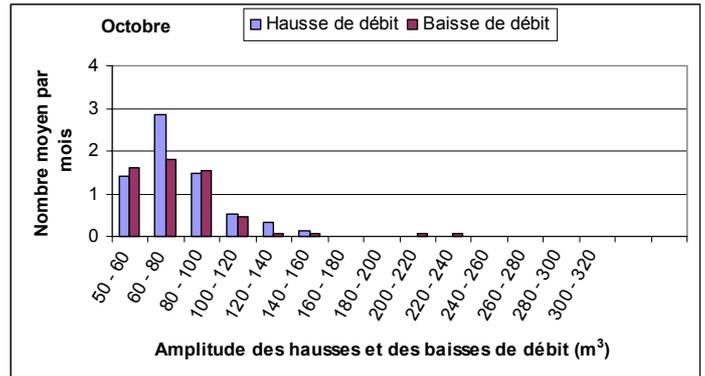
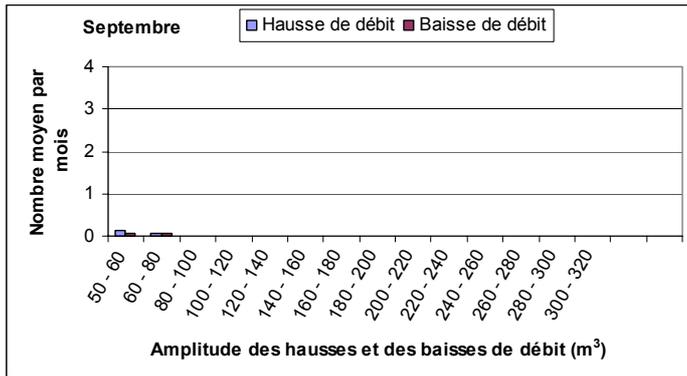
Tableau 1 : Période d'éclosion et d'émergence pour le saumon atlantique et la truite fario concernant le secteur d'Argentat sur la Dordogne.

La période d'émergence des alevins de saumon atlantique varie selon les années, débutant au plus tôt début mars et au plus tard fin mars, et finissant au plus tôt mi-avril et au plus tard début mai. La période principale d'émergence semble s'étaler de fin mars à mi-avril.

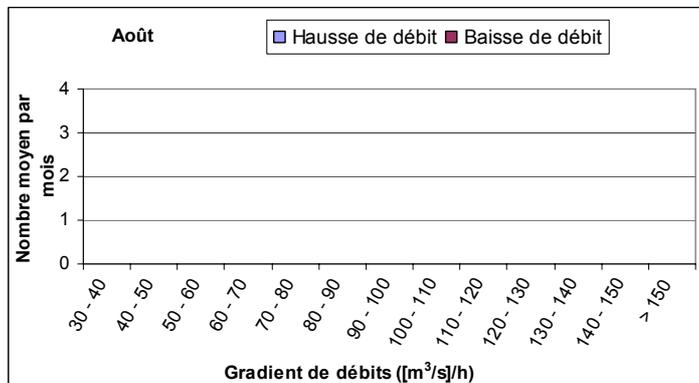
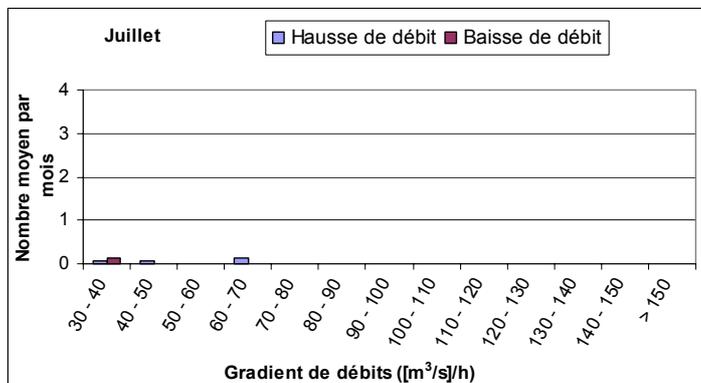
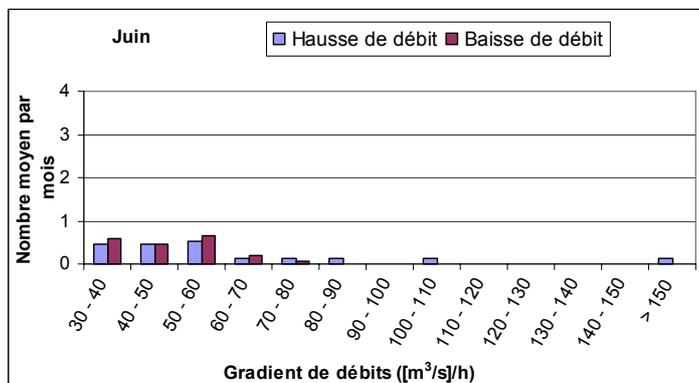
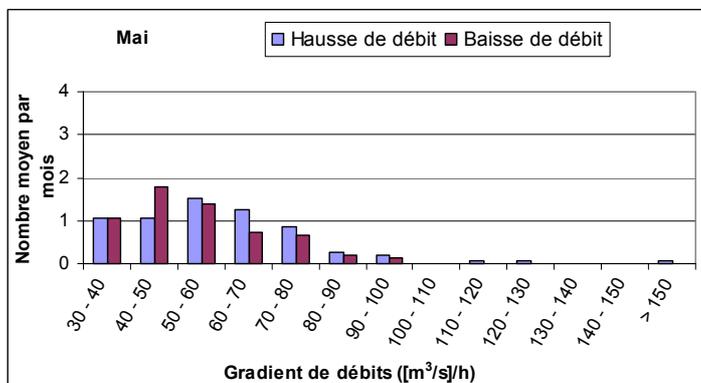
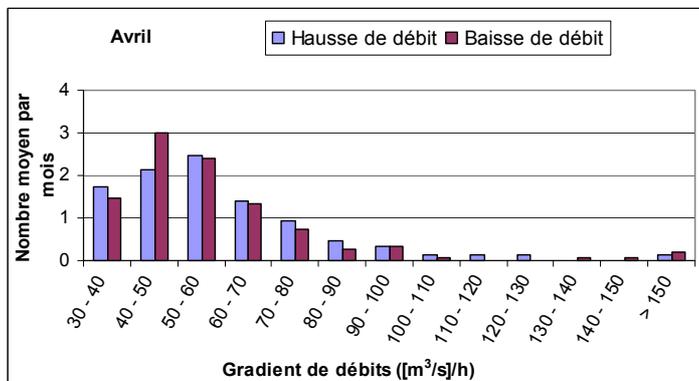
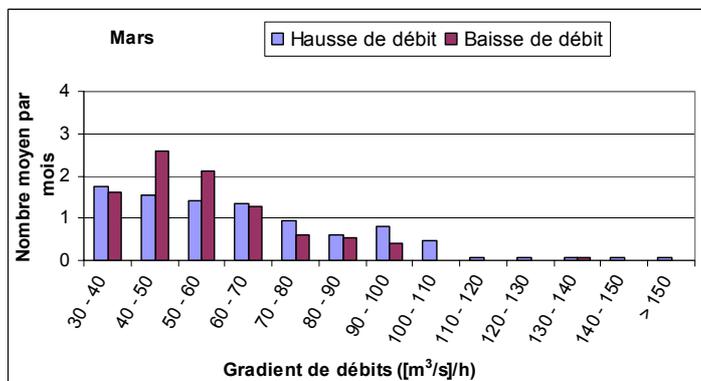
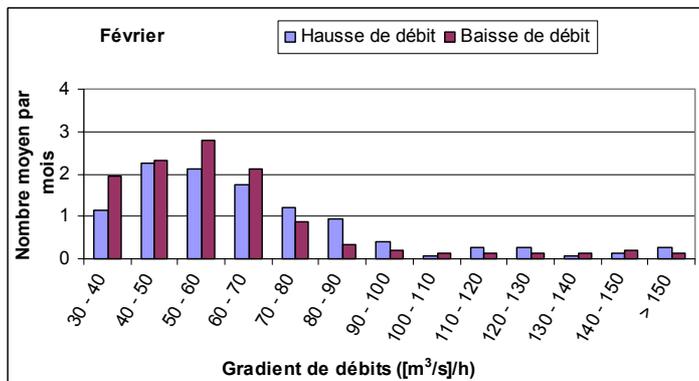
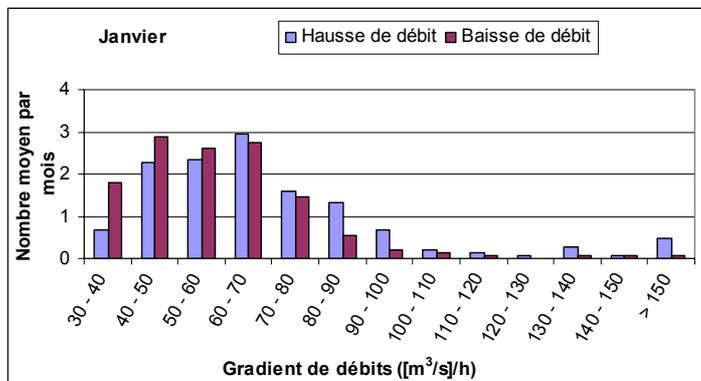
Par ailleurs, les alevins de salmonidés semblent être sensibles aux phénomènes d'échouage-piégeage jusqu'à une taille de 50 mm, atteinte pour la plupart fin mai. **Ainsi, la principale période de sensibilité des alevins émergents s'étale de fin mars à fin mai.**

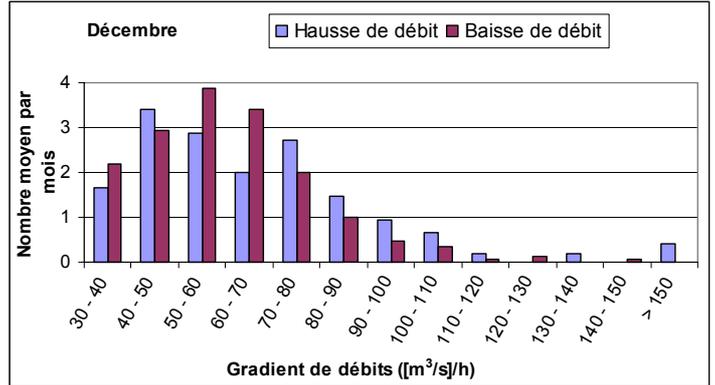
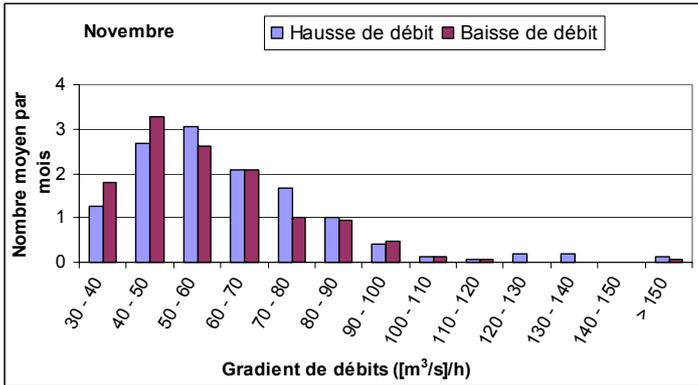
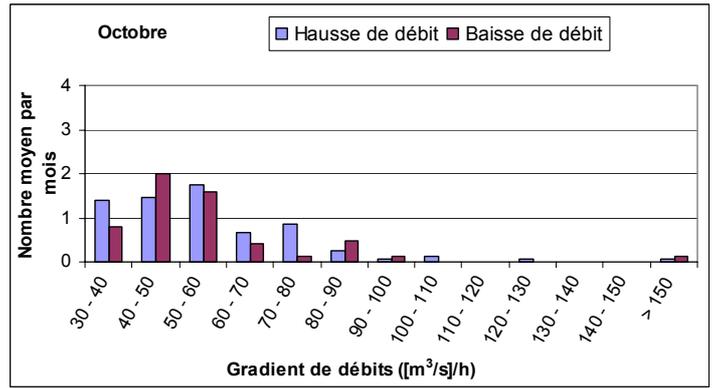
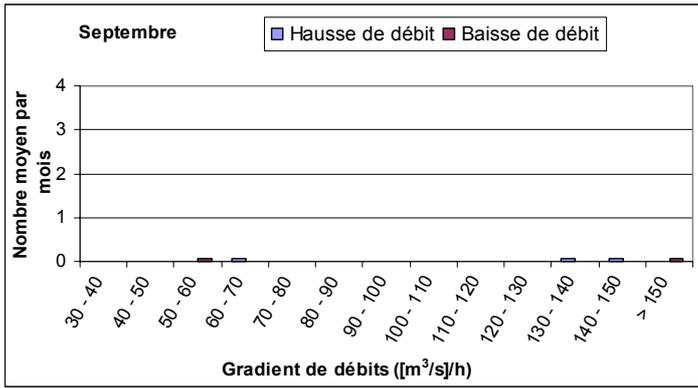
5.2. Annexe 2 : Répartition des amplitudes lors des hausses et des baisses de débit liées aux éclusées.





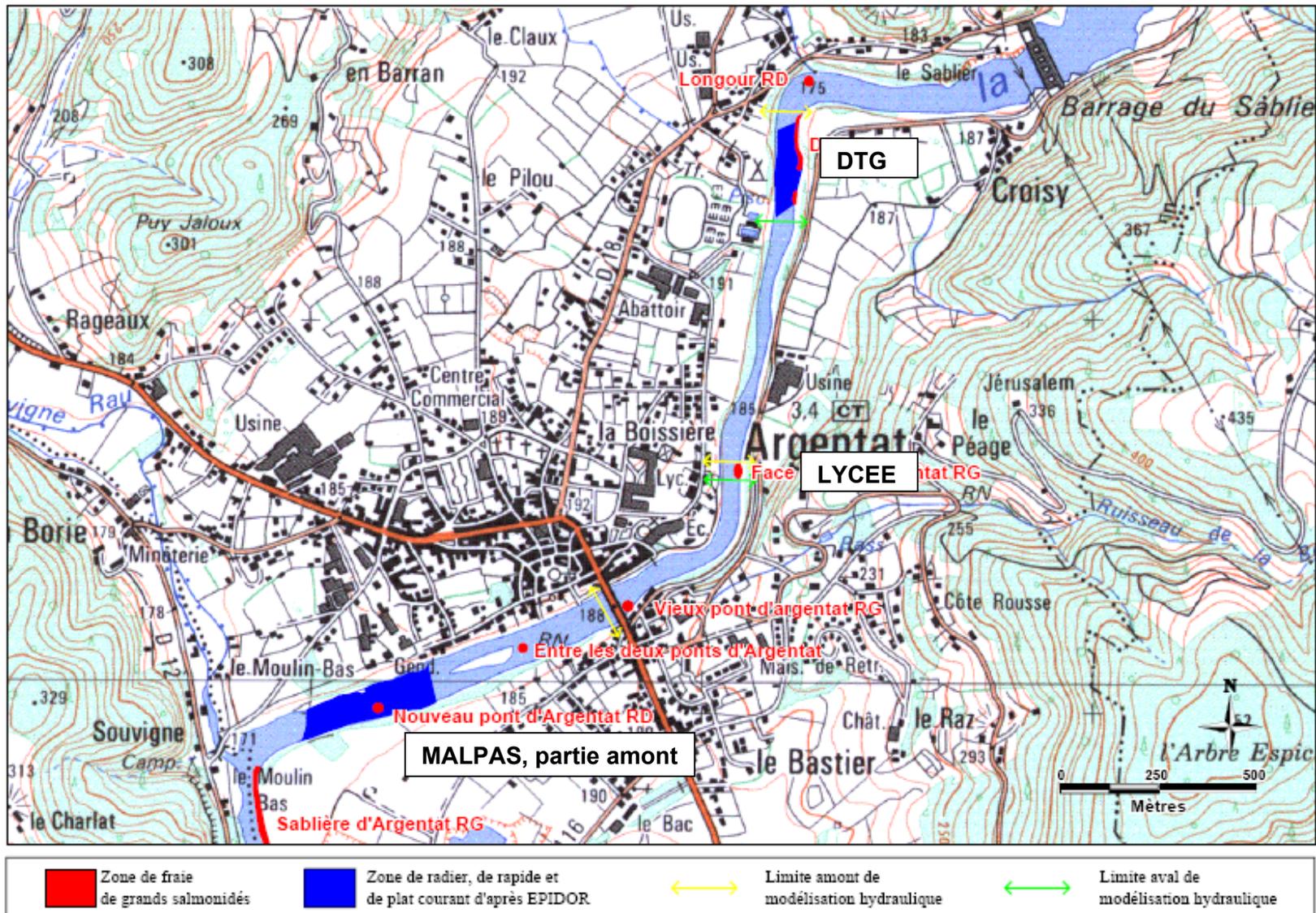
5.3. Annexe 3 : Répartition des gradients lors des hausses et des baisses de débit liées aux éclusées.





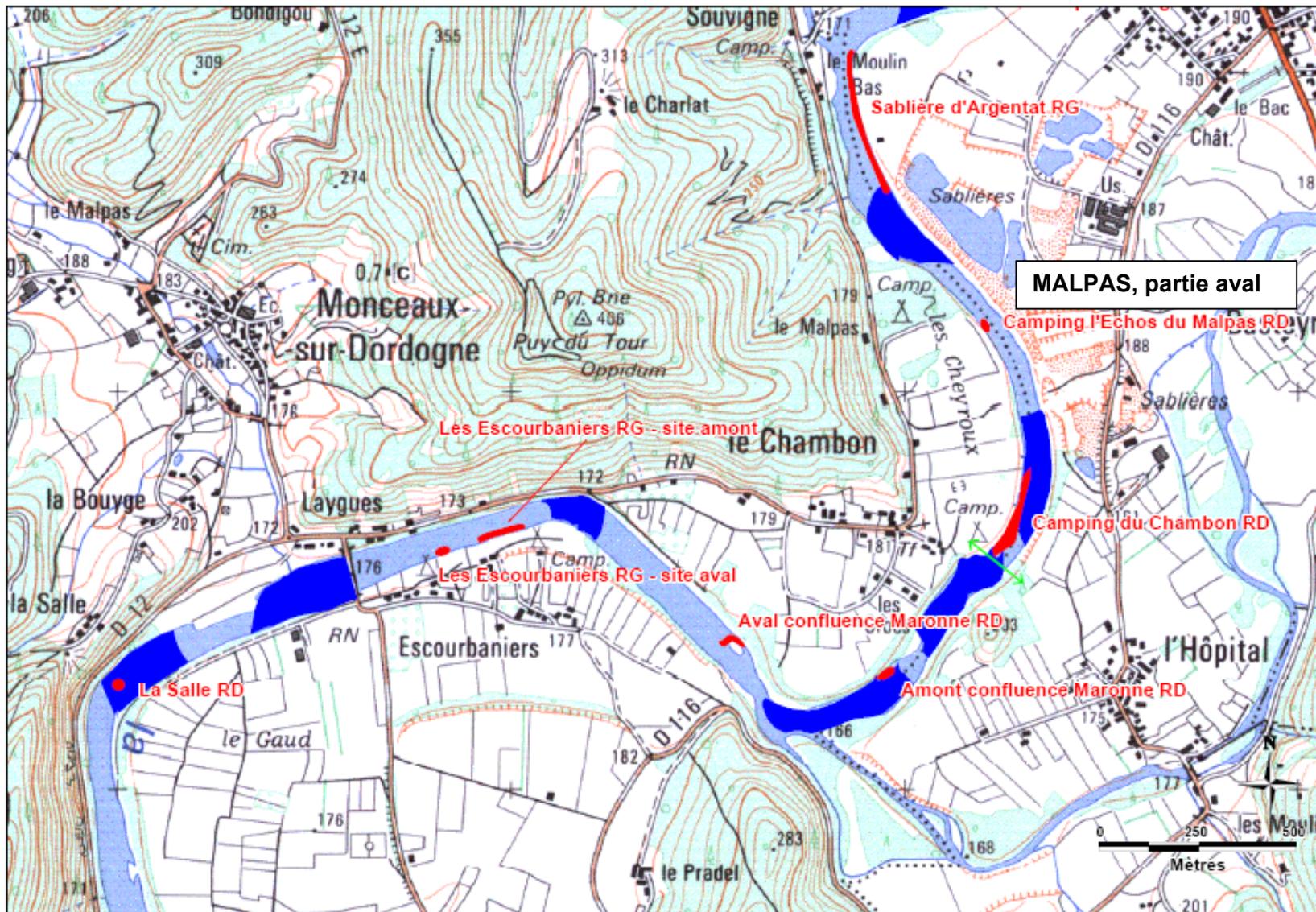
5.4. Annexe 4 : Localisation des secteurs d'étude

Les secteurs sont localisés sur une carte au 1/25 000, où sont par ailleurs répertoriées les zones de frayères (source : ECOGEA).



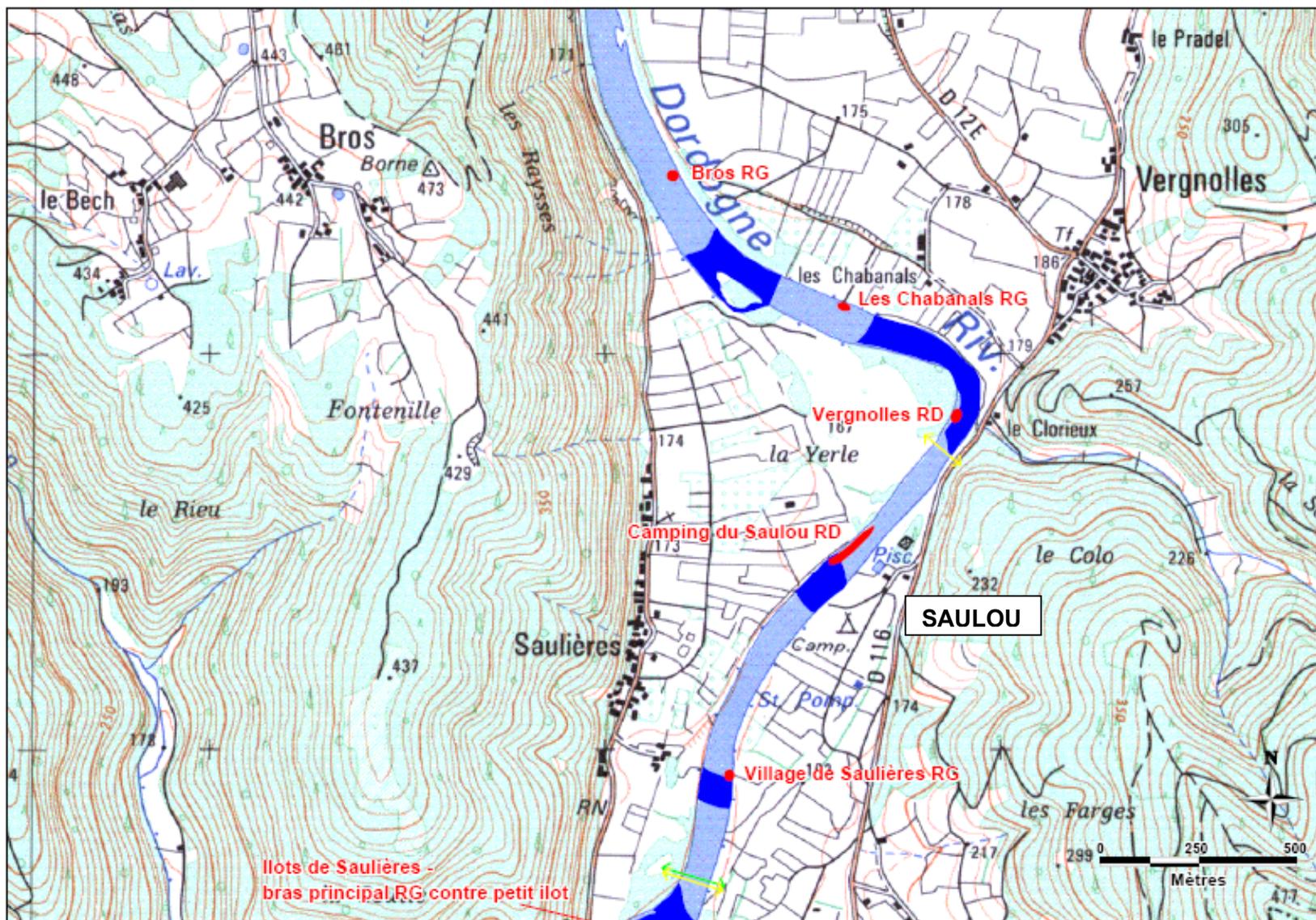
Localisation des frayères de grands salmonidés sur la Dordogne en aval du barrage du Sablier - Planche 1.

E.CO.G.E.A. pour M.I.GA.DO., Mars 2005.



Localisation des frayères de grands salmonidés sur la Dordogne en aval du barrage du Sablier - Planche 2.

E.CO.G.E.A. pour M.I.G.A.DO., Mars 2005.



Ilots de Saulières -
bras principal RG contre petit ilot

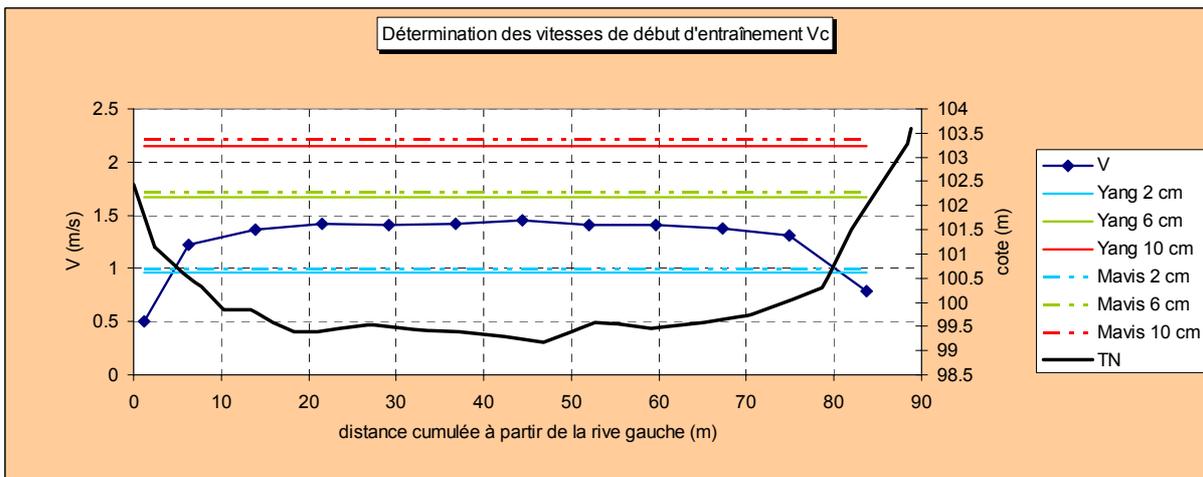
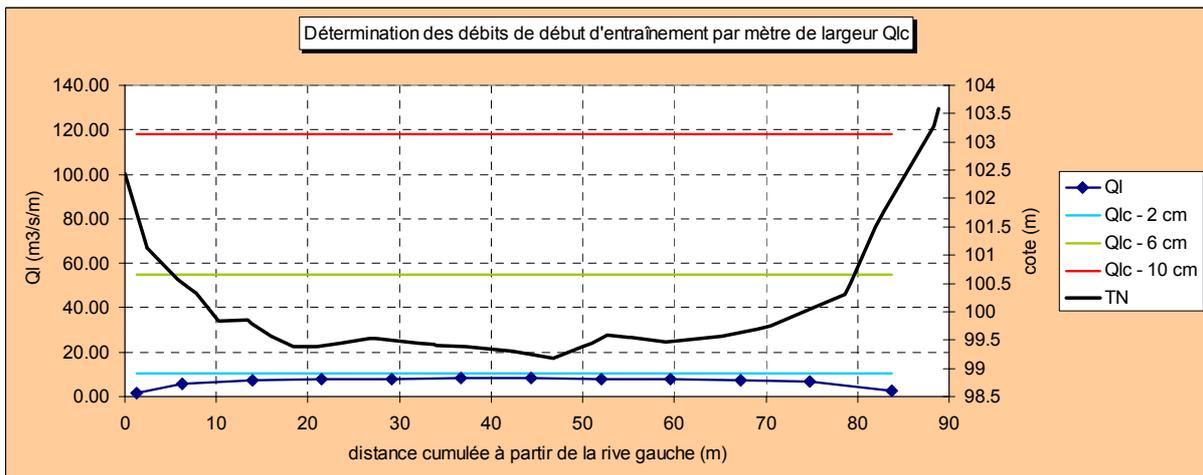
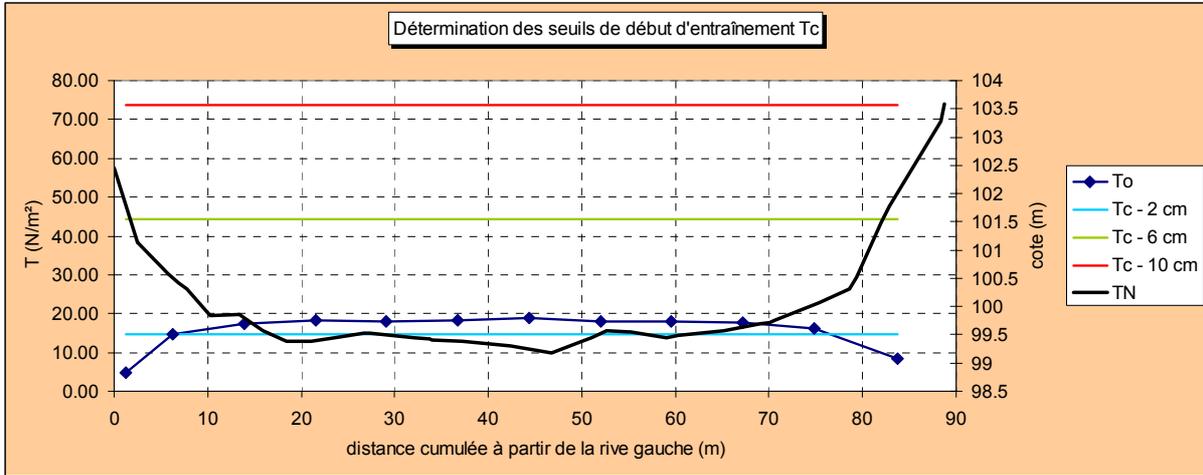
Localisation des frayères de grands salmonidés sur la Dordogne en aval du barrage du Sablier - Planche 3.

E.CO.G.E.A. pour M.I.G.A.DO., Mars 2005.

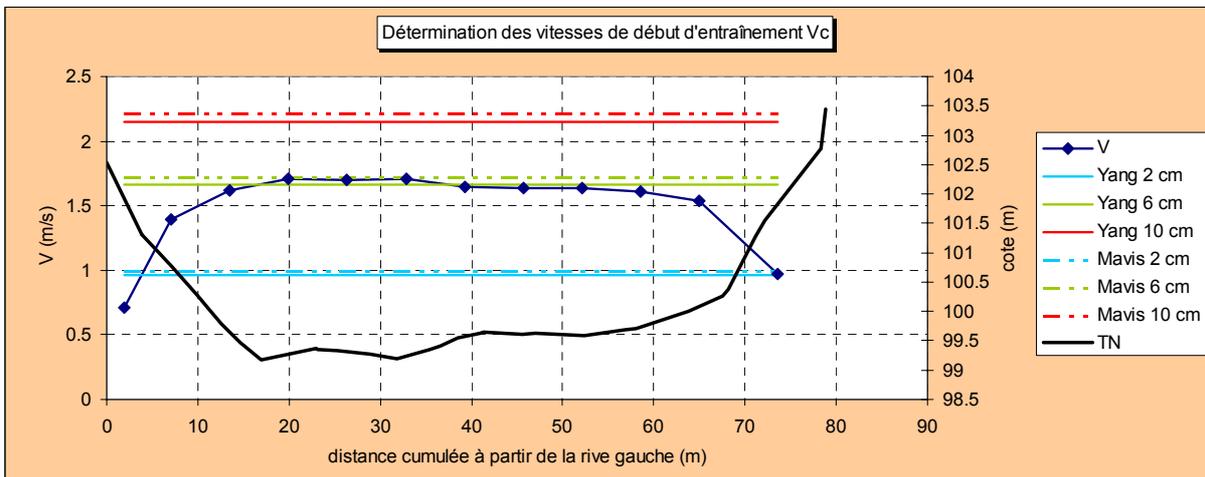
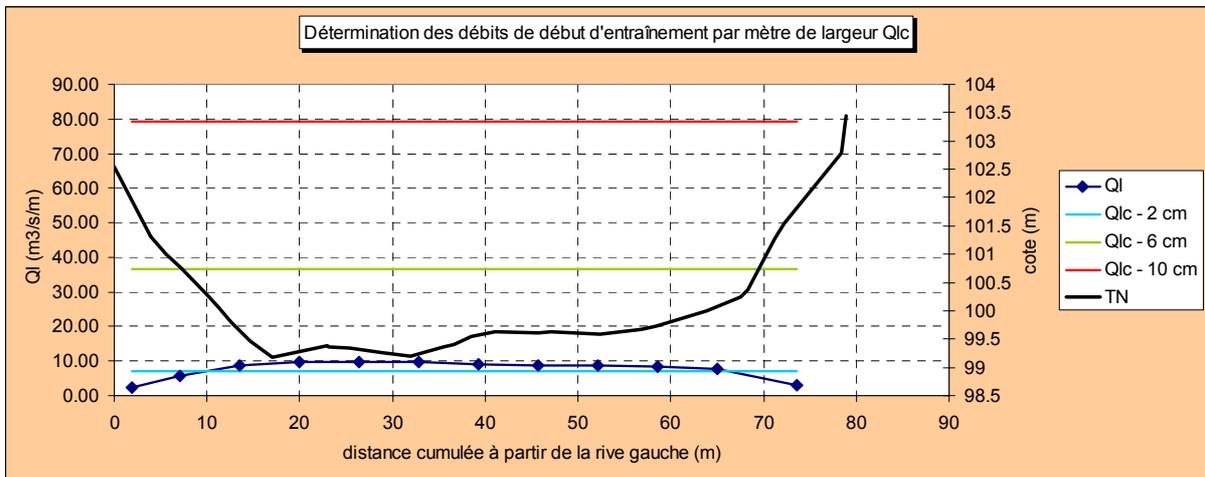
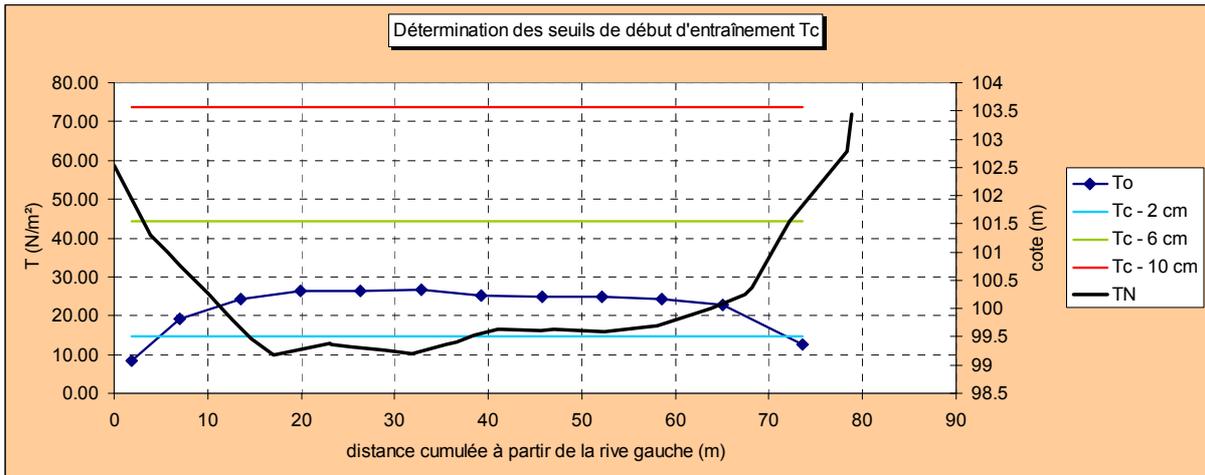
5.5. Annexe 5 : Possibilités d'apport de granulométrie

Secteur DTG

- Transect T1b :

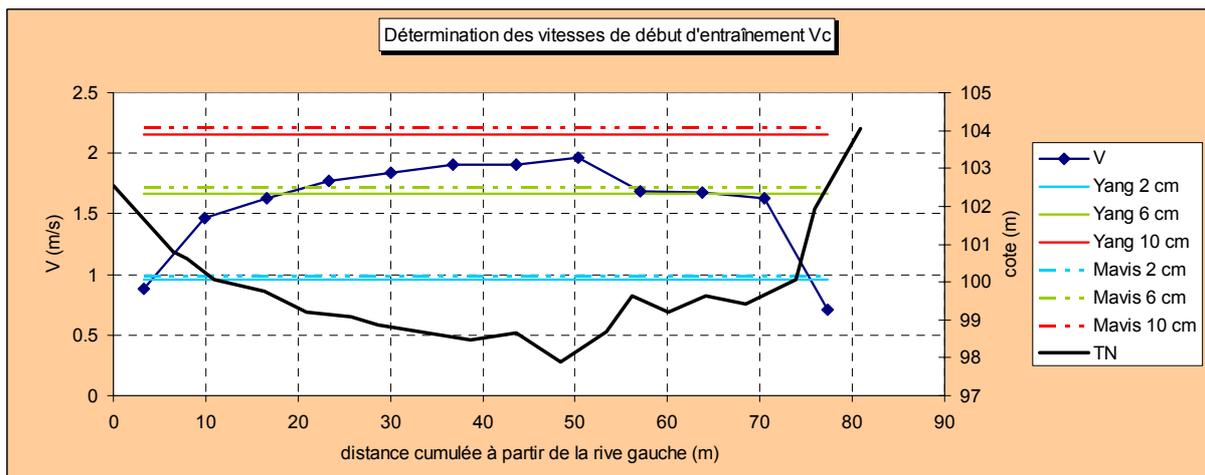
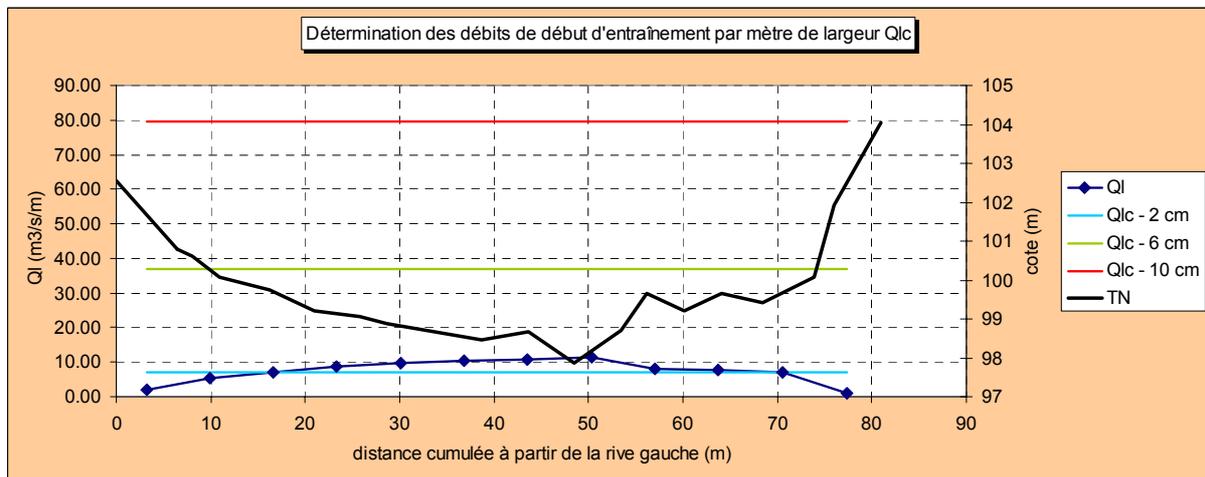
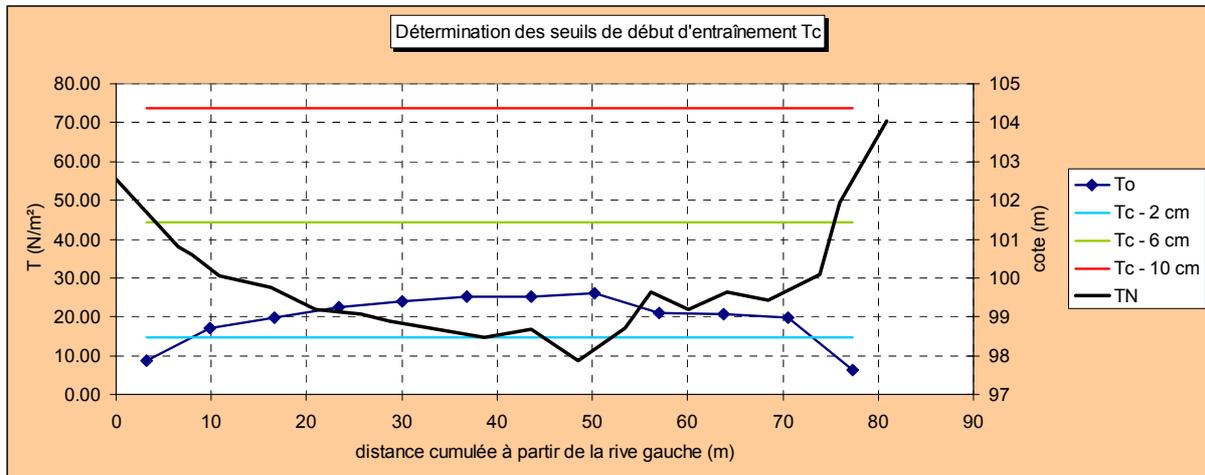


• Transect T1c :

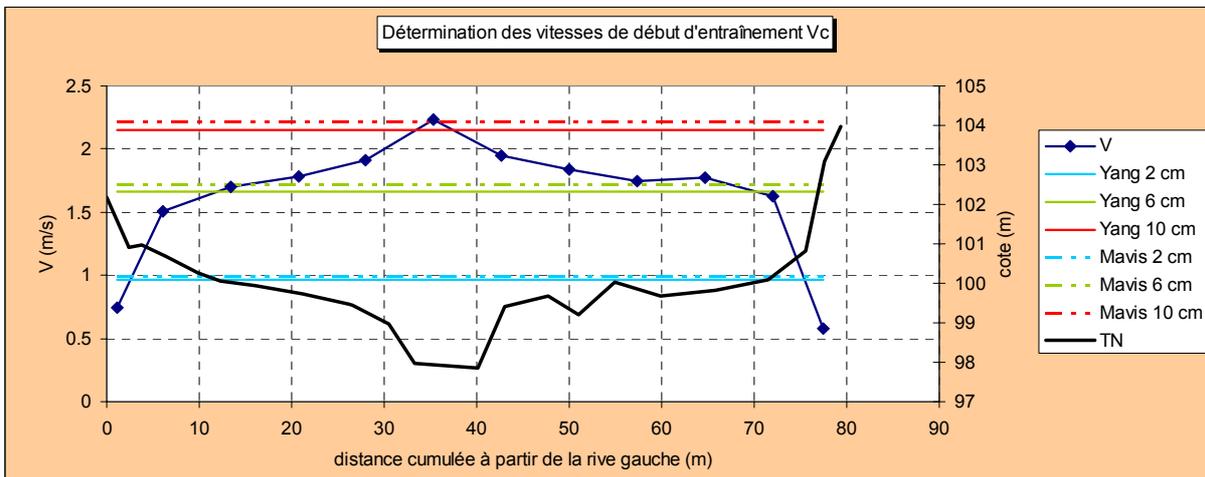
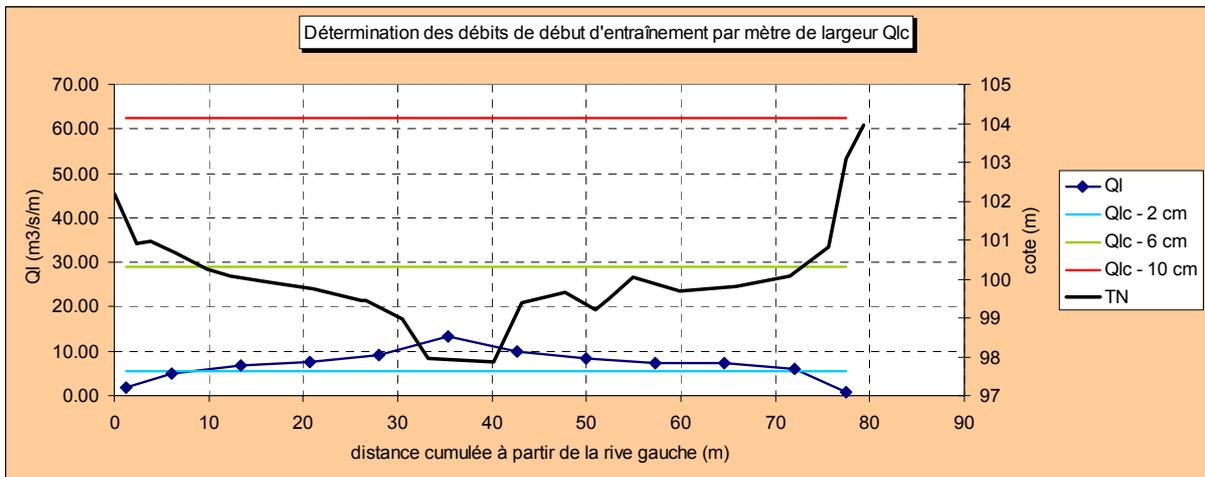
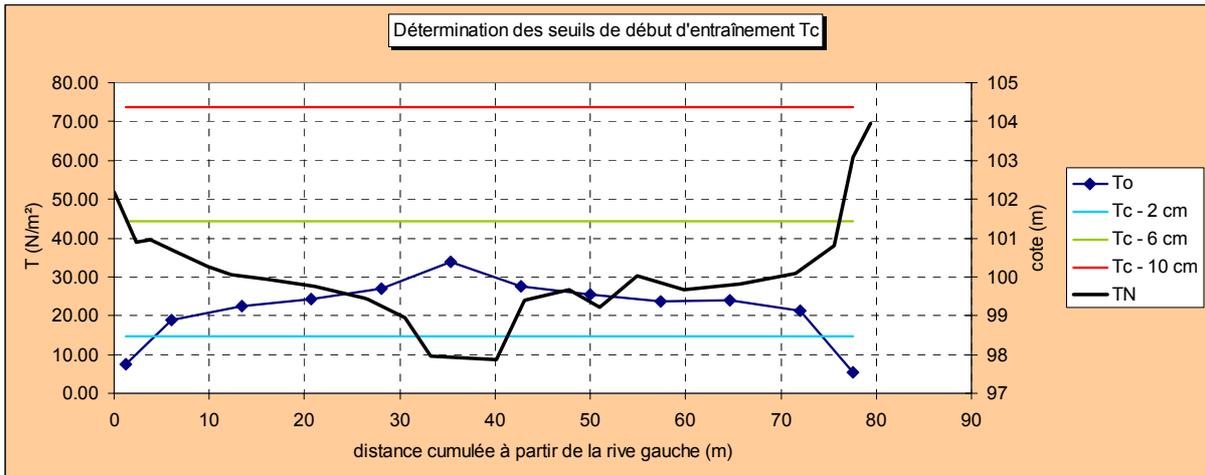


Secteur Lycée d'Argentat

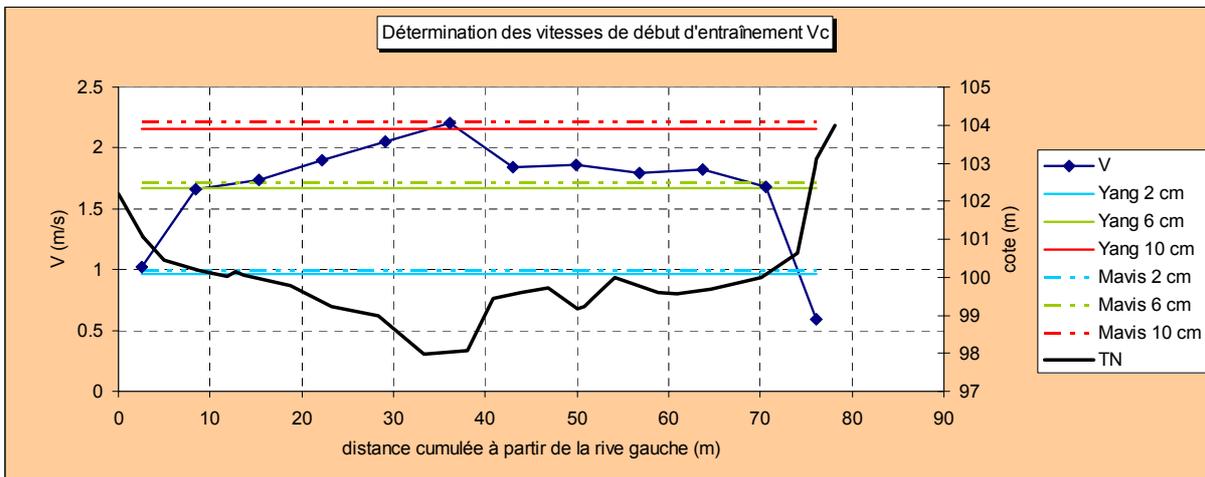
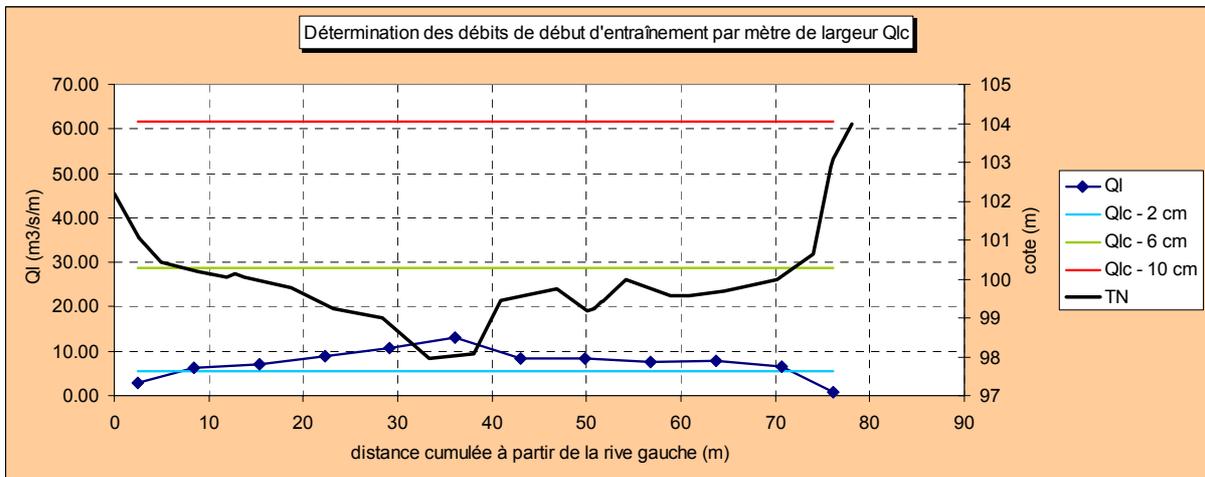
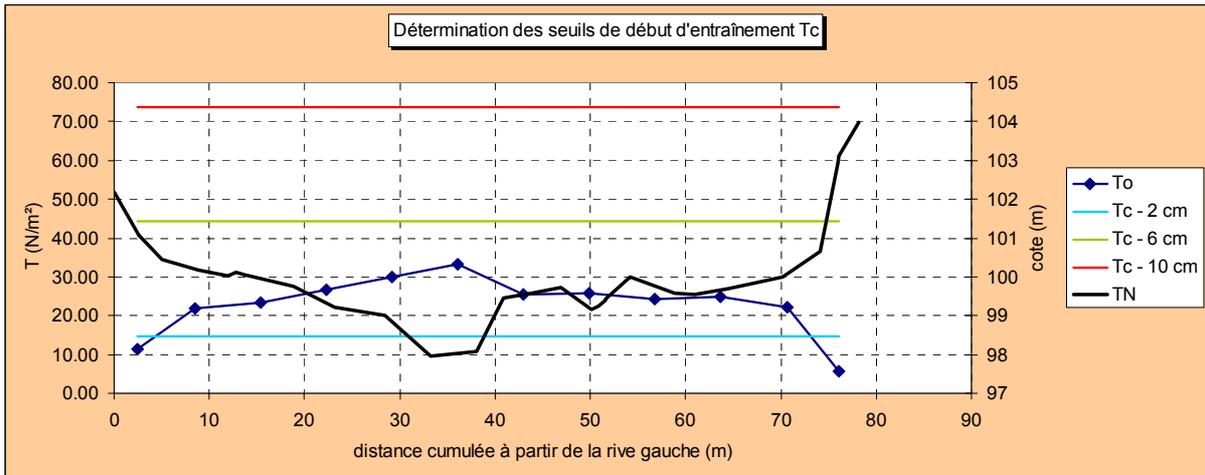
- Transect T5 :



• Transect T6 :

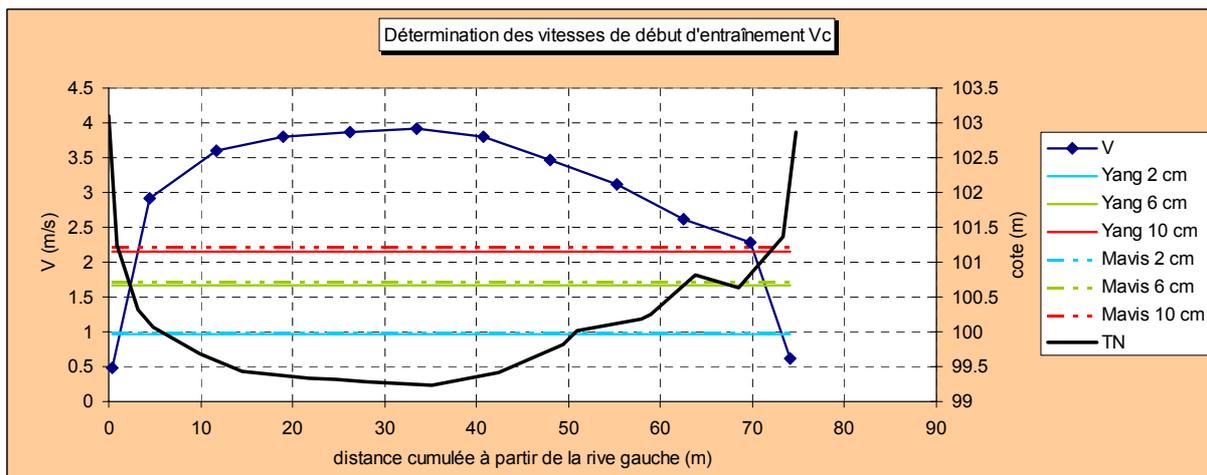
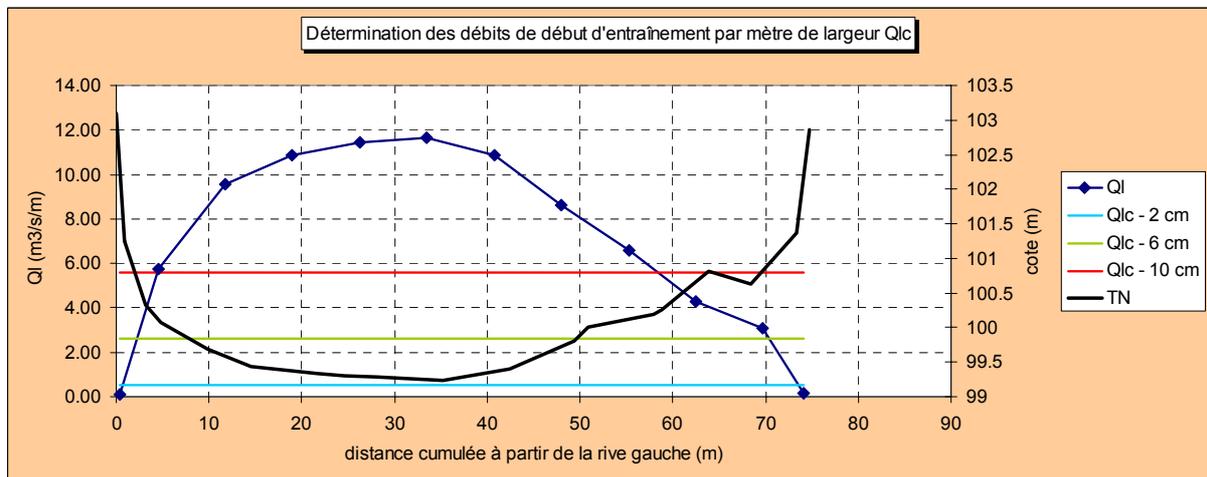
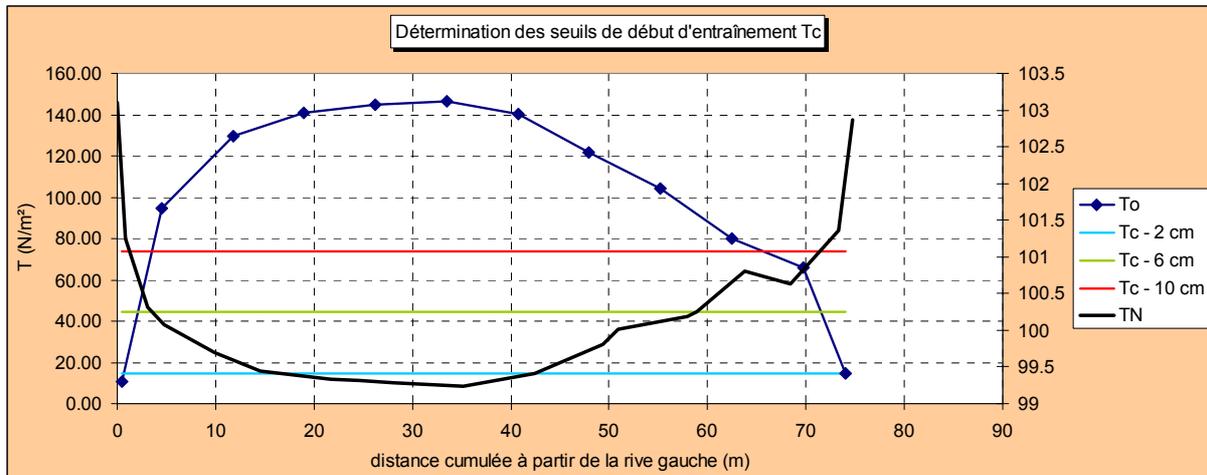


• Transect T7c :

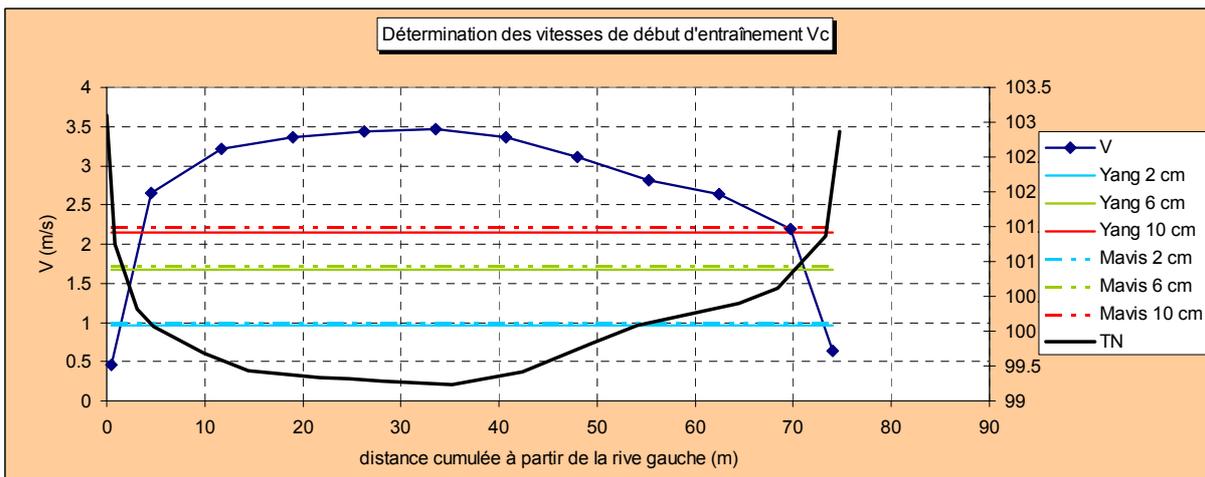
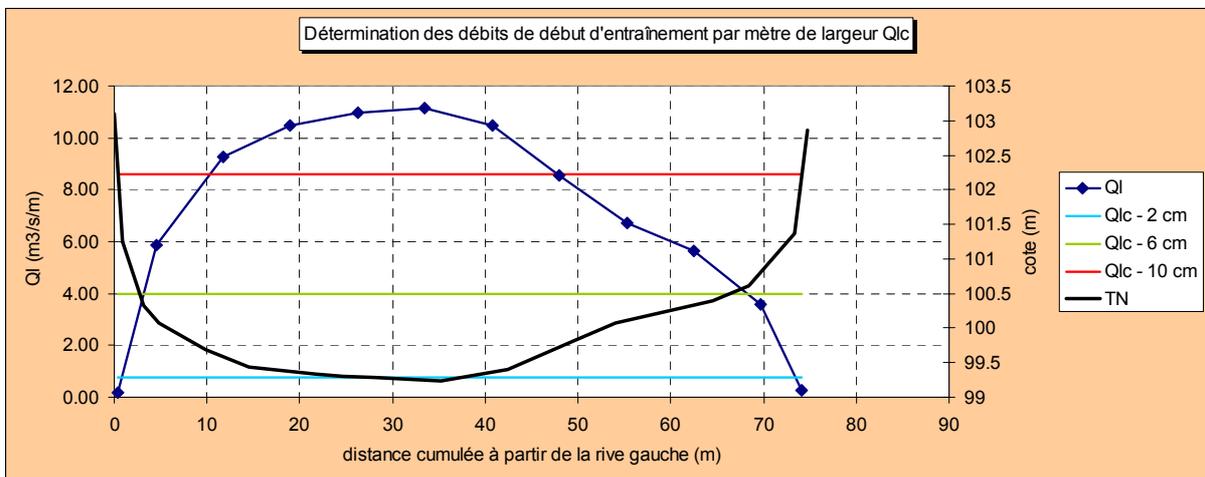
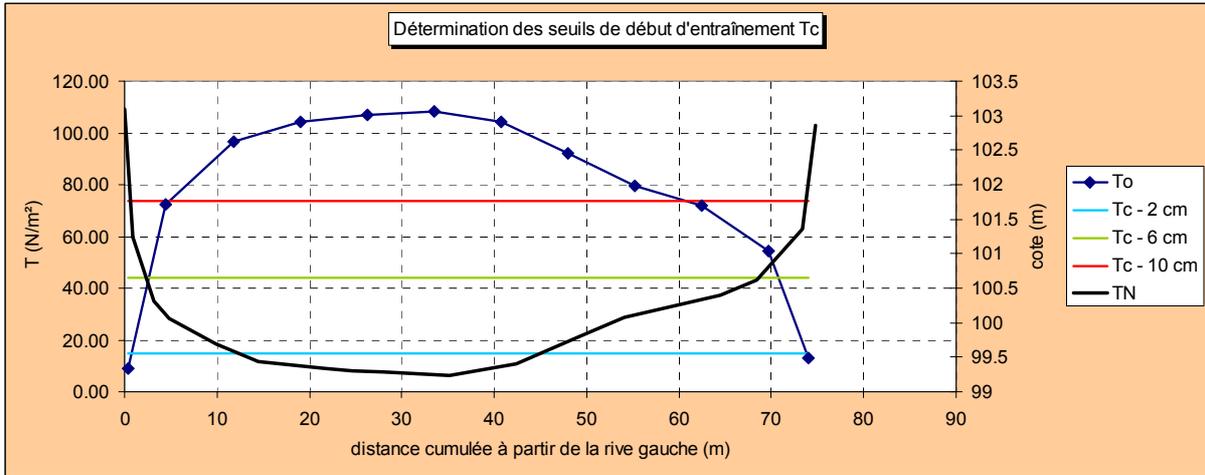


Secteur du Malpas

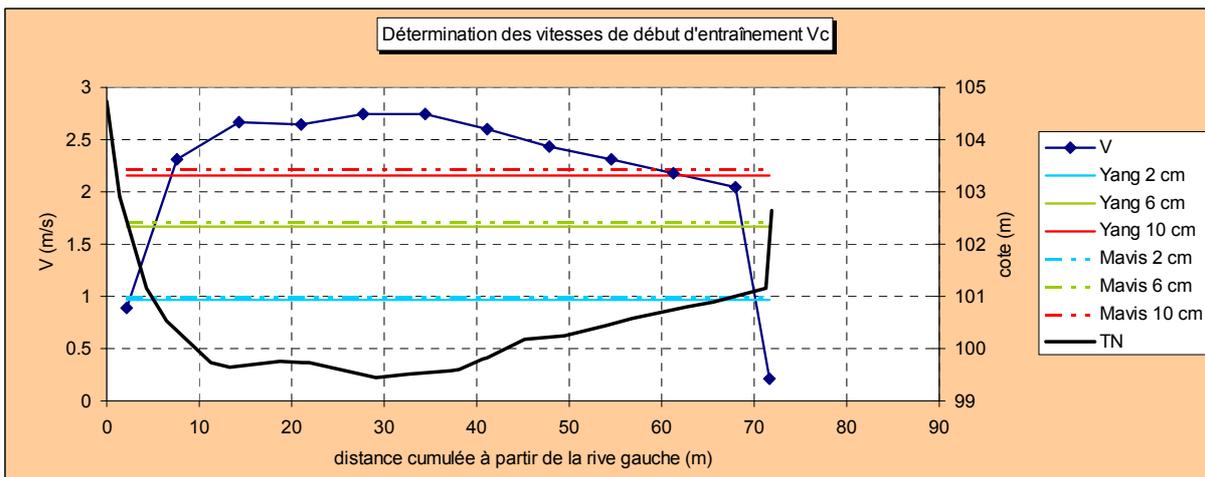
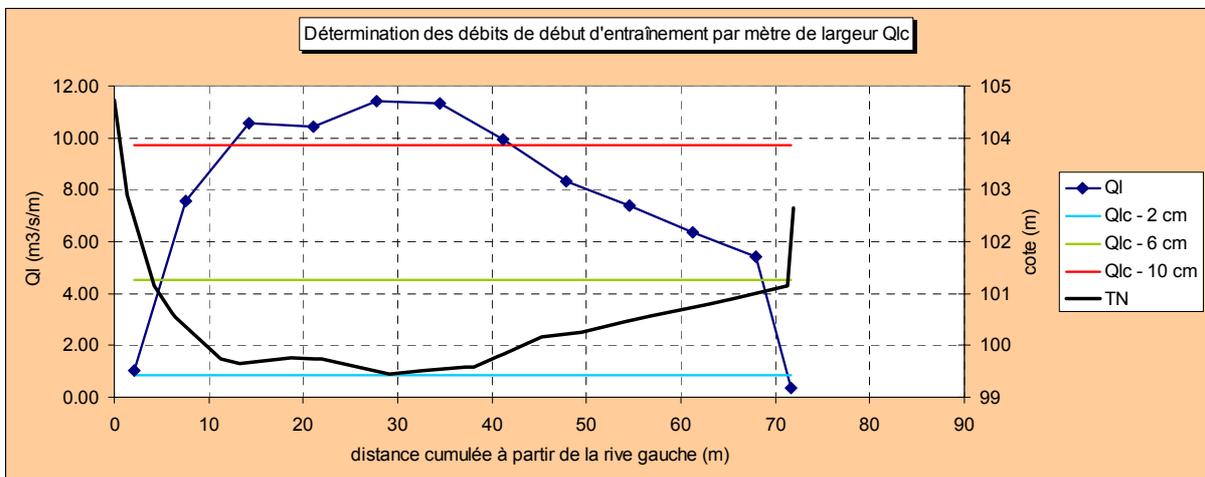
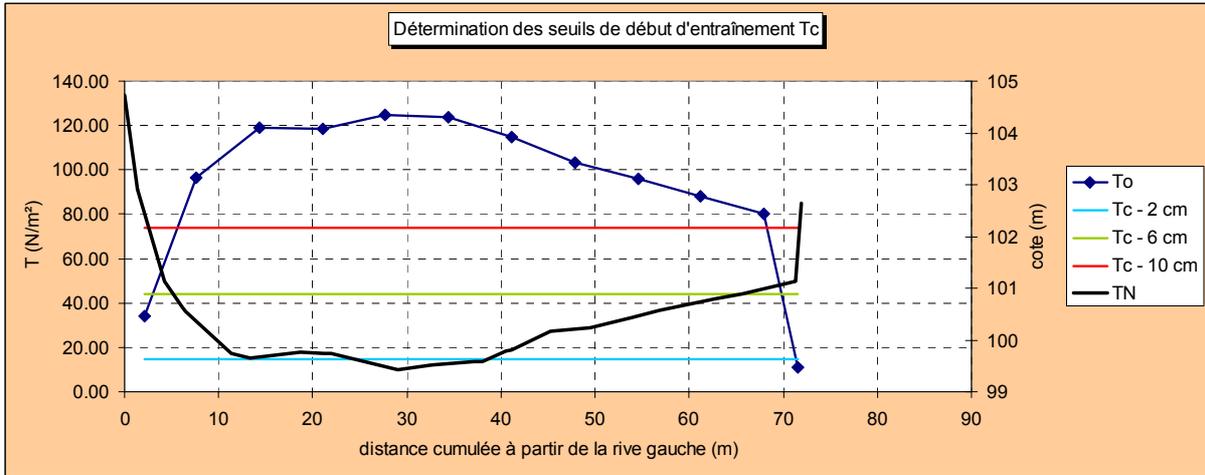
- Transect F1 :



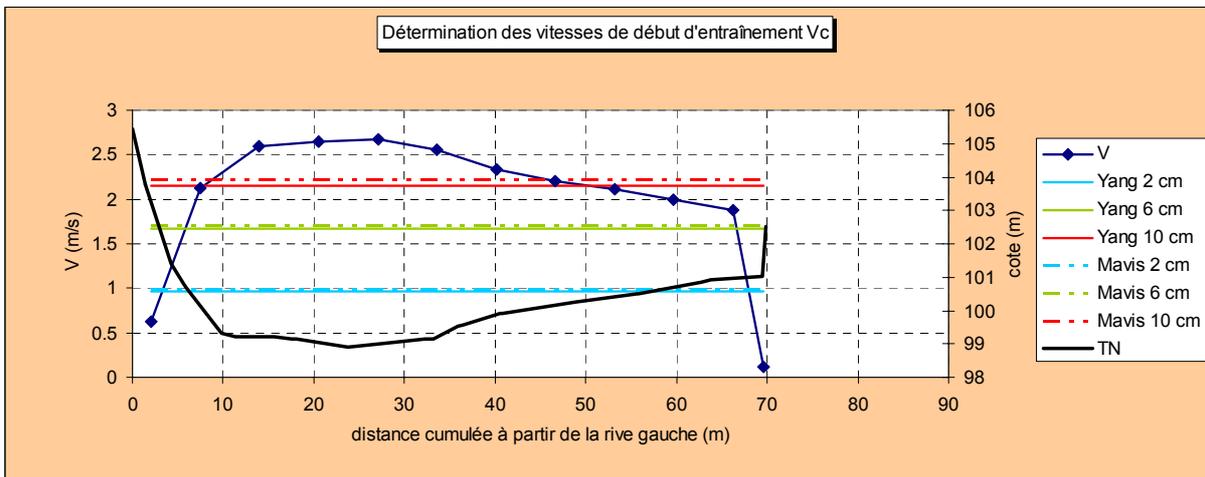
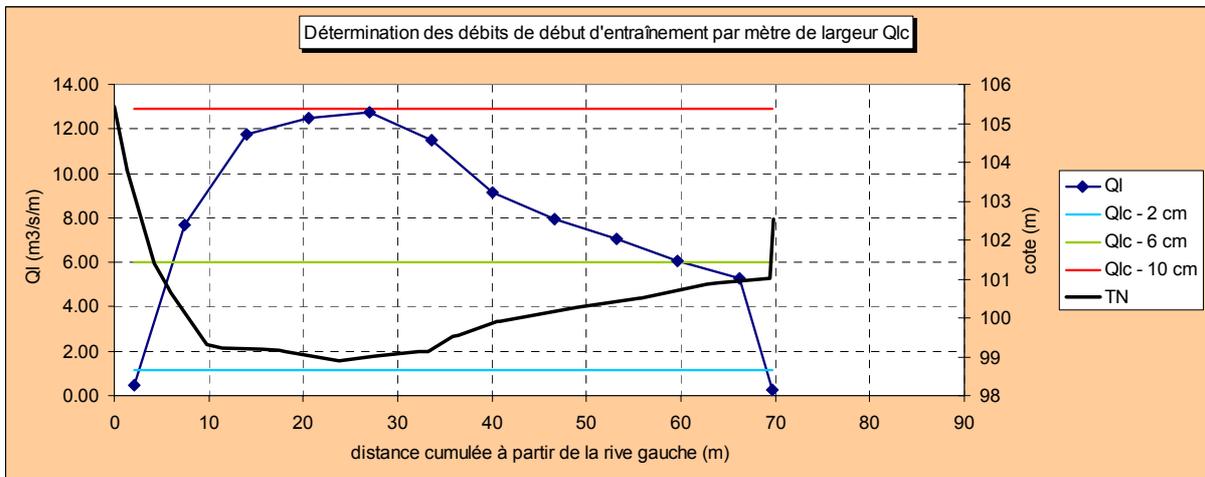
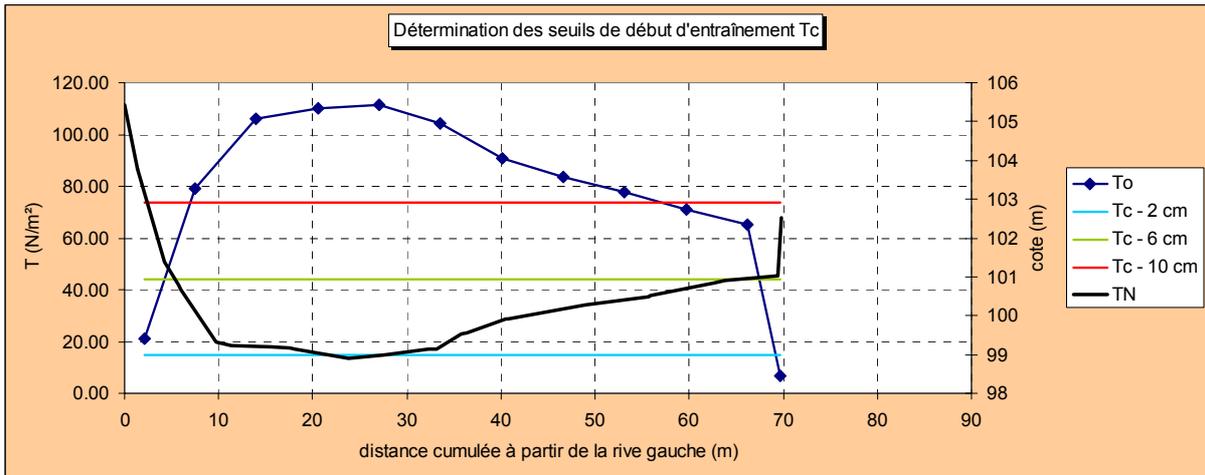
- Transect T1 :



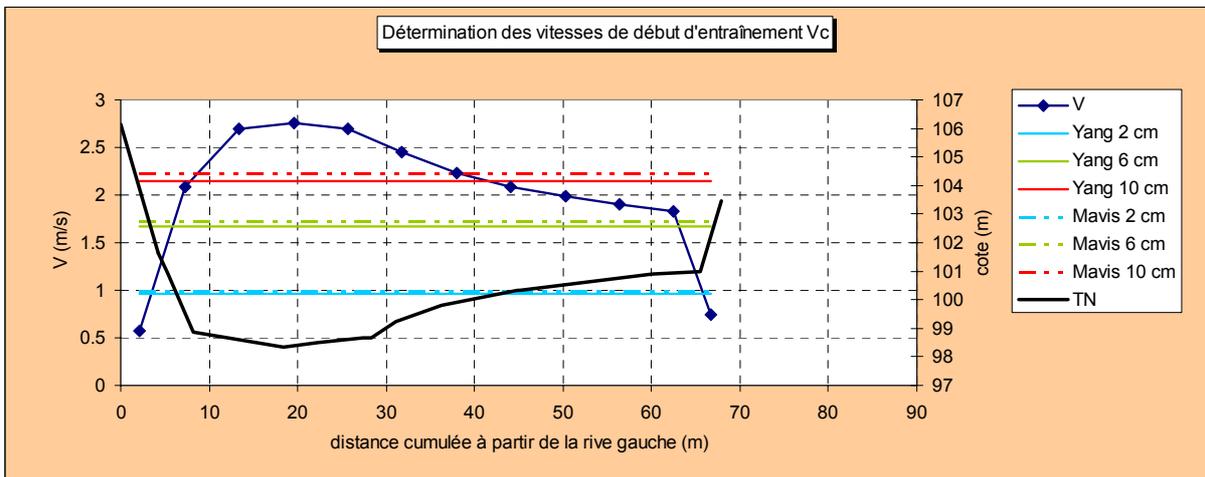
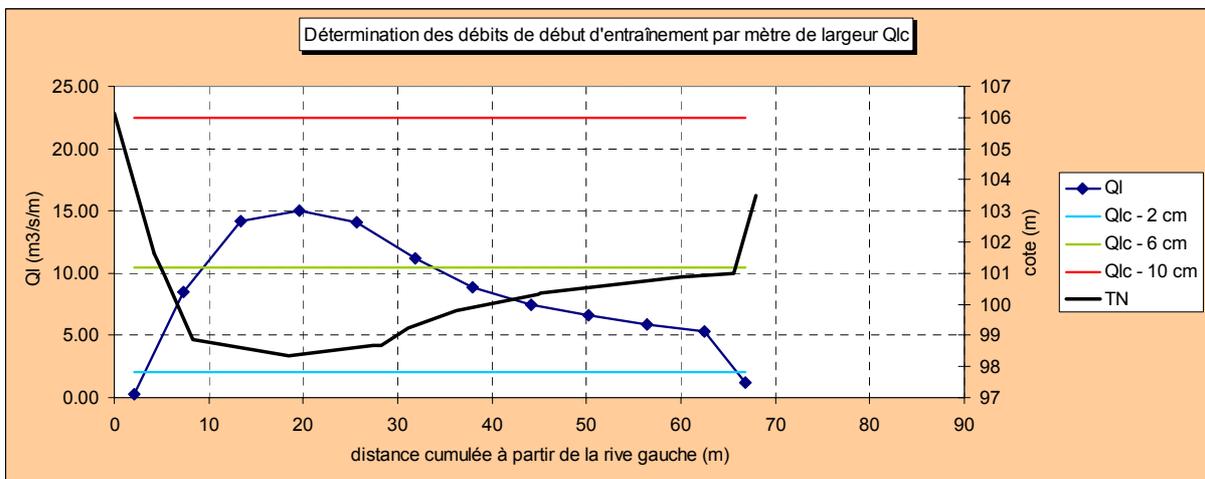
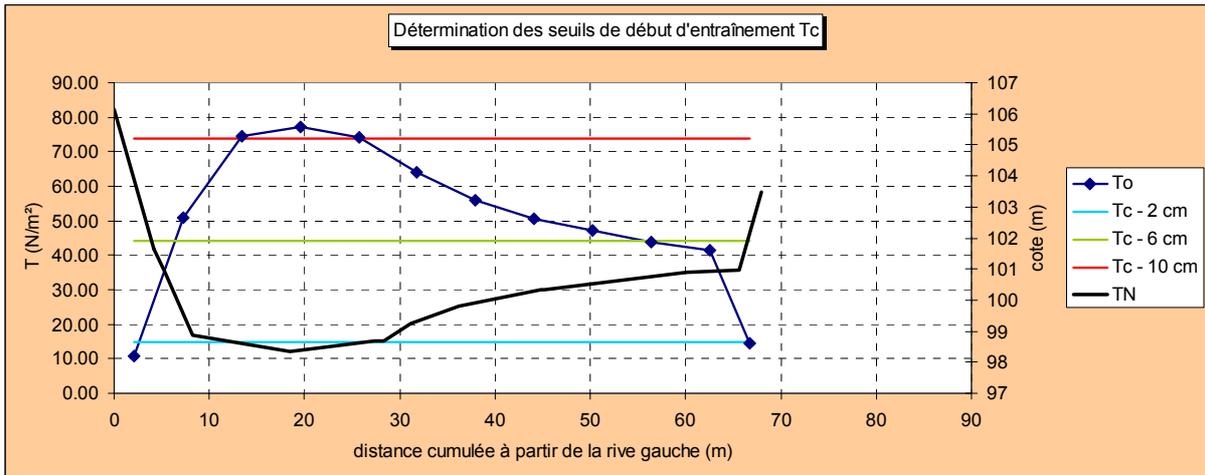
- Transect F2 :



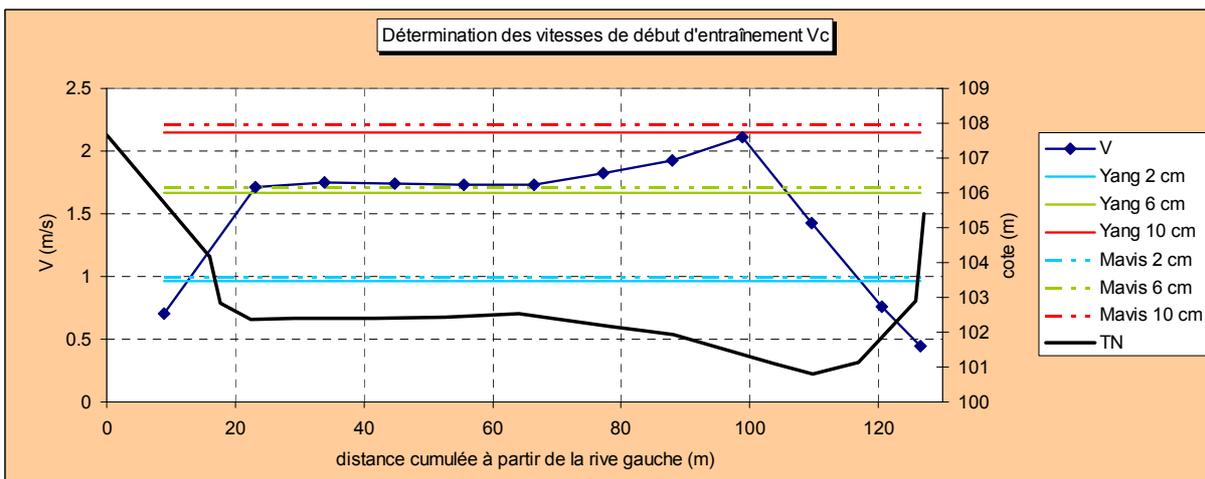
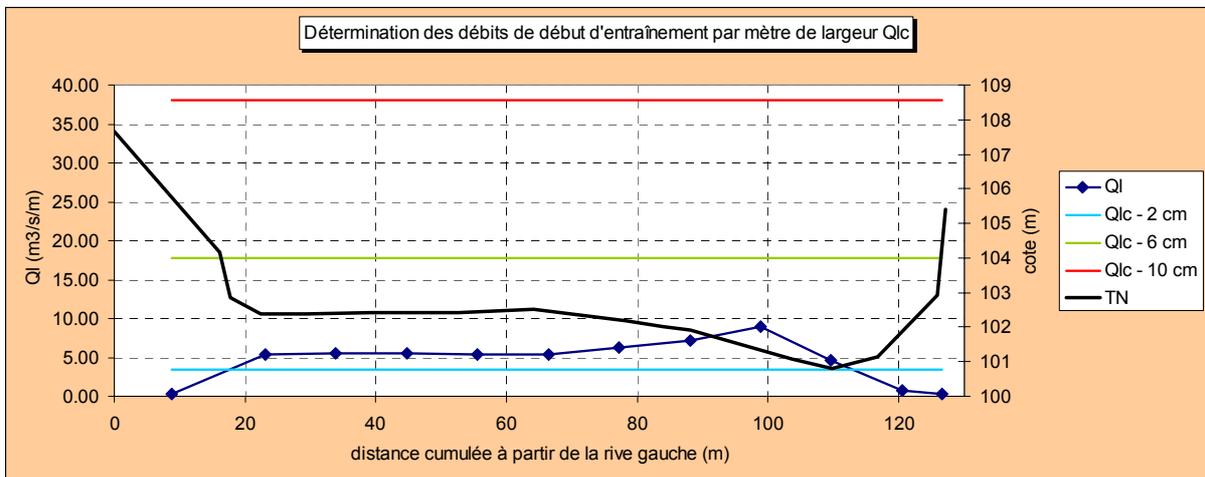
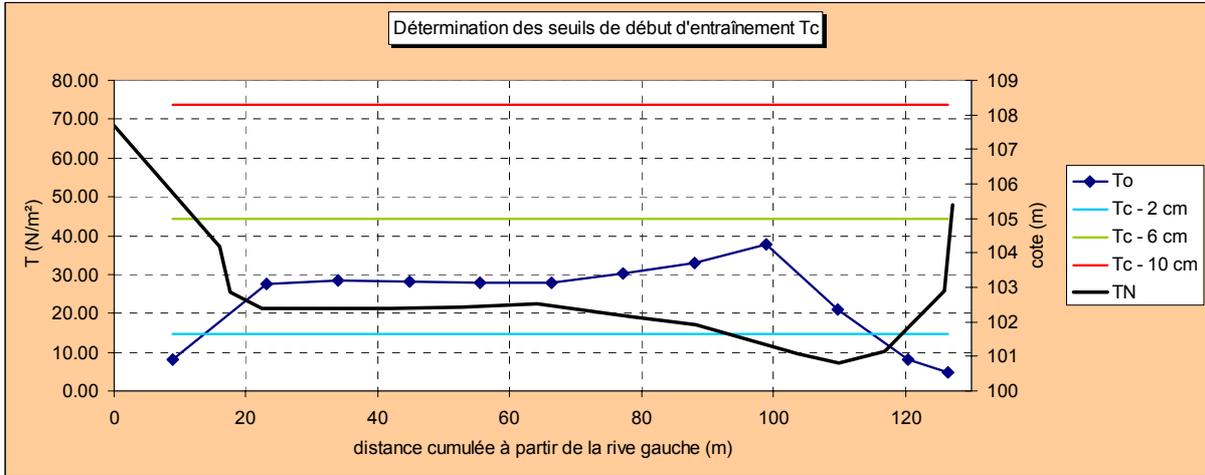
• Transect F3 :



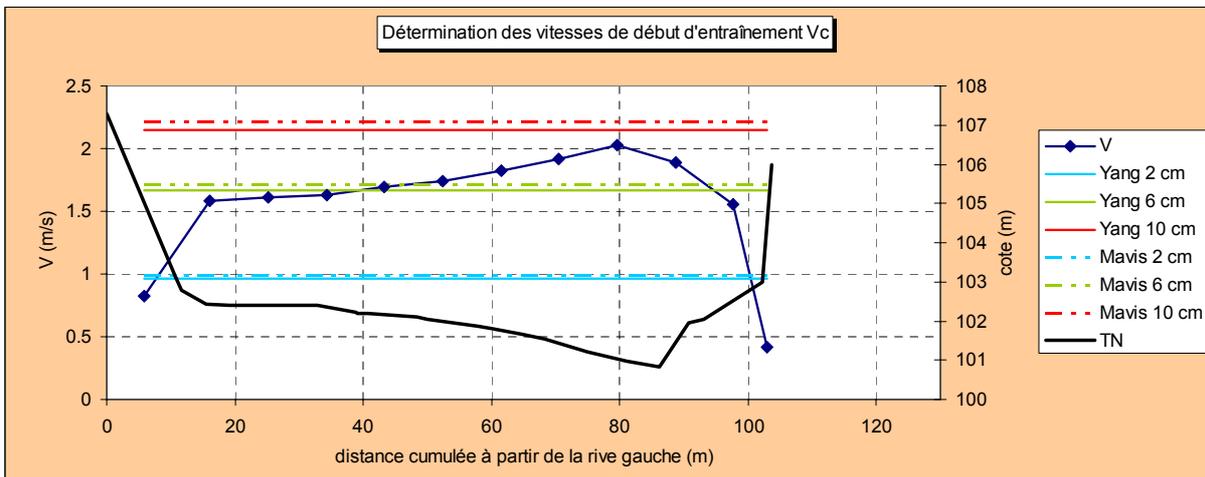
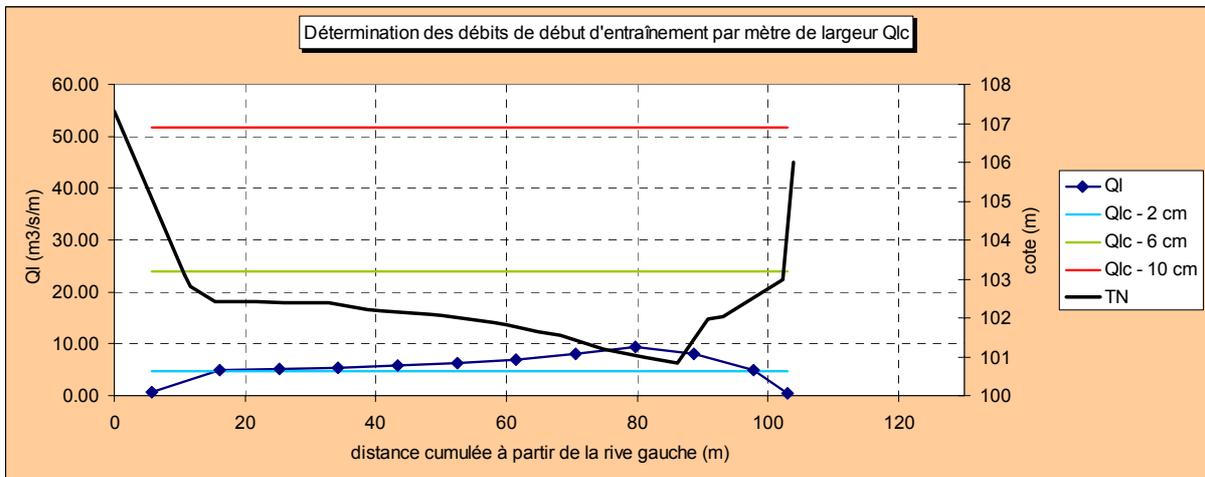
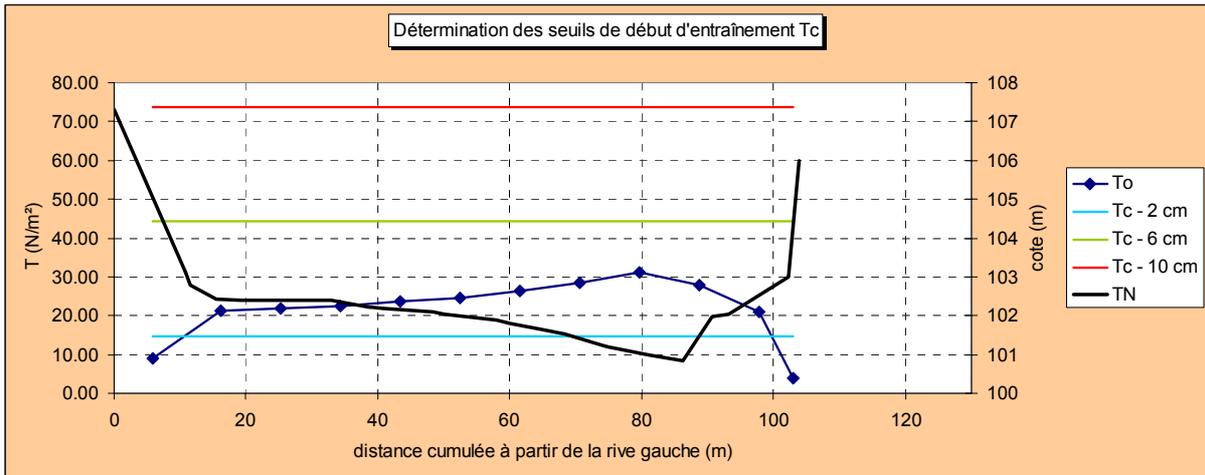
• Transect T6 :



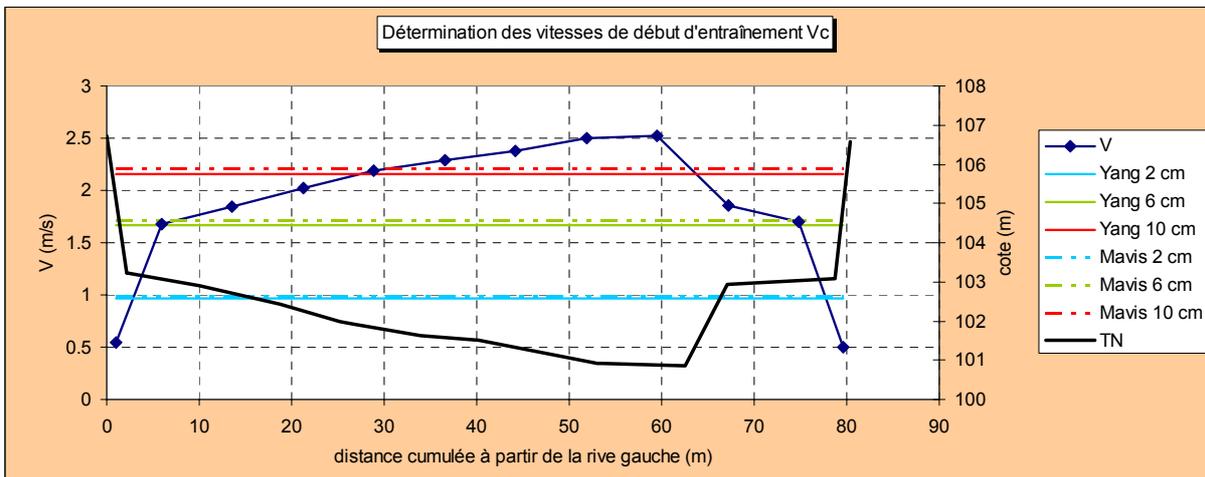
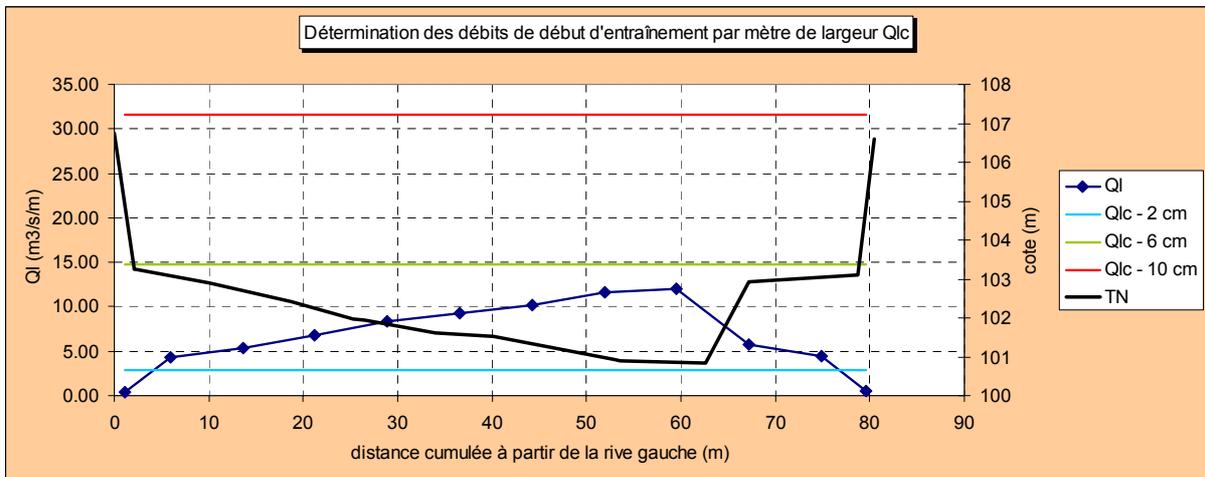
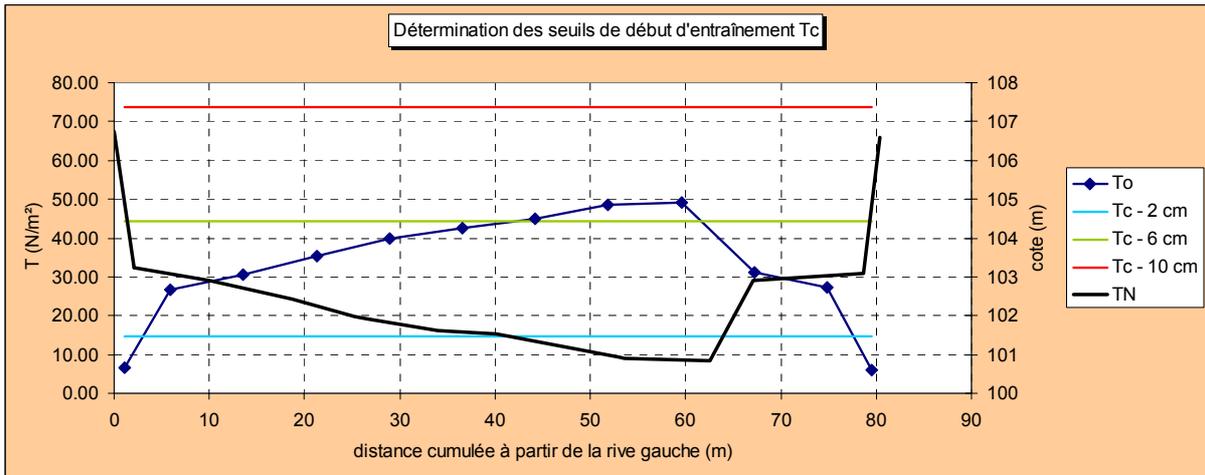
- Transect T12 :



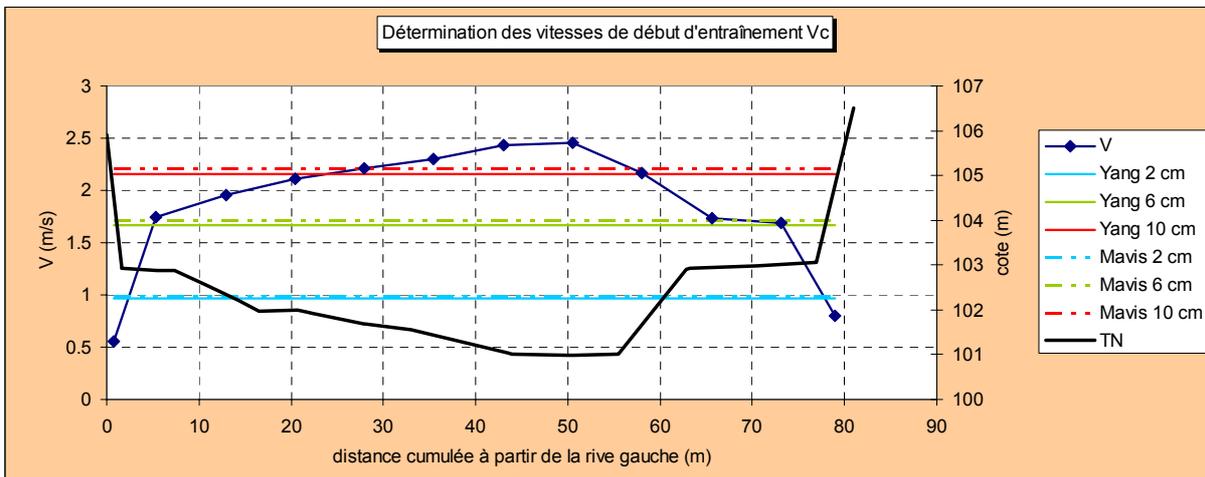
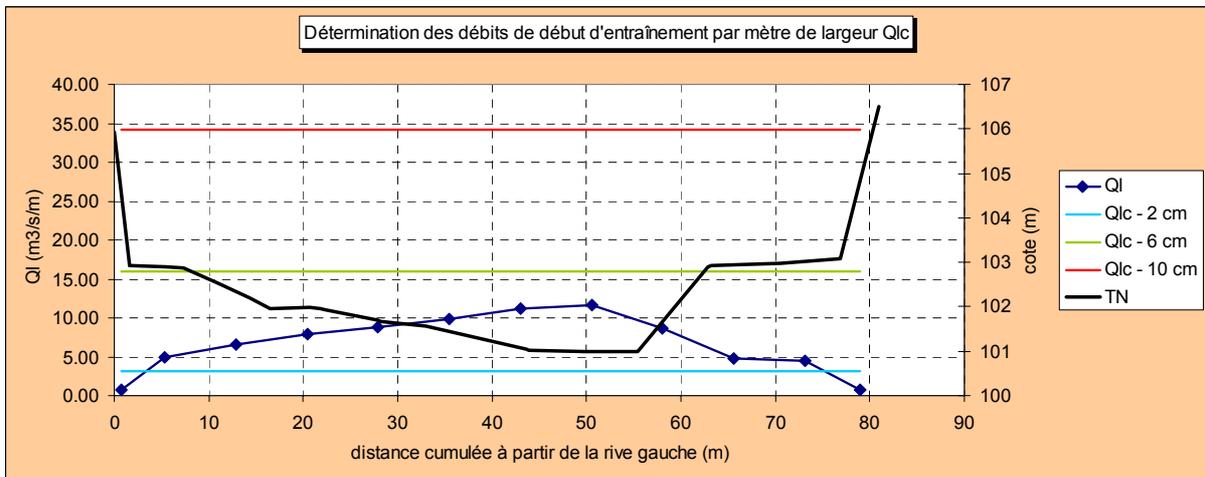
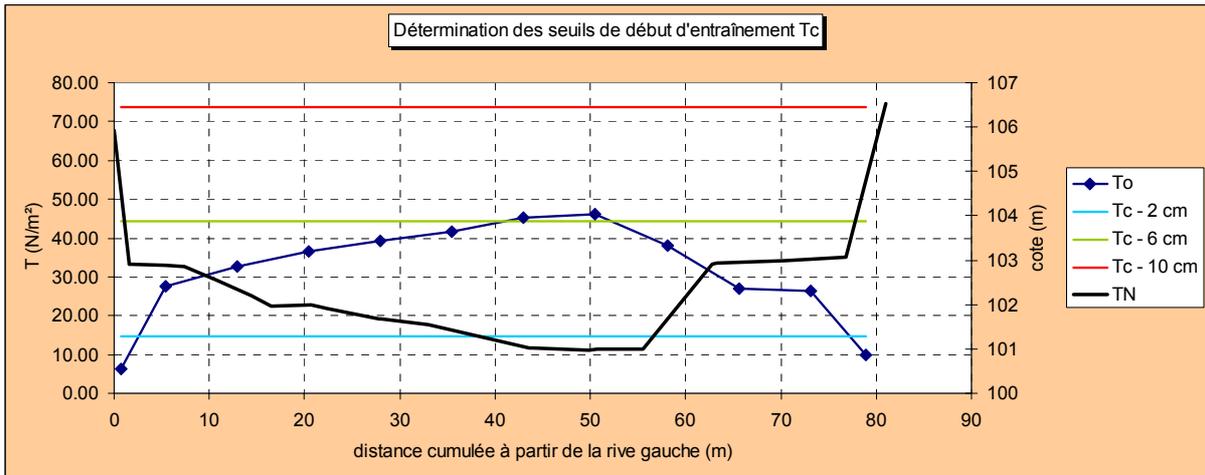
• Transect F4 :



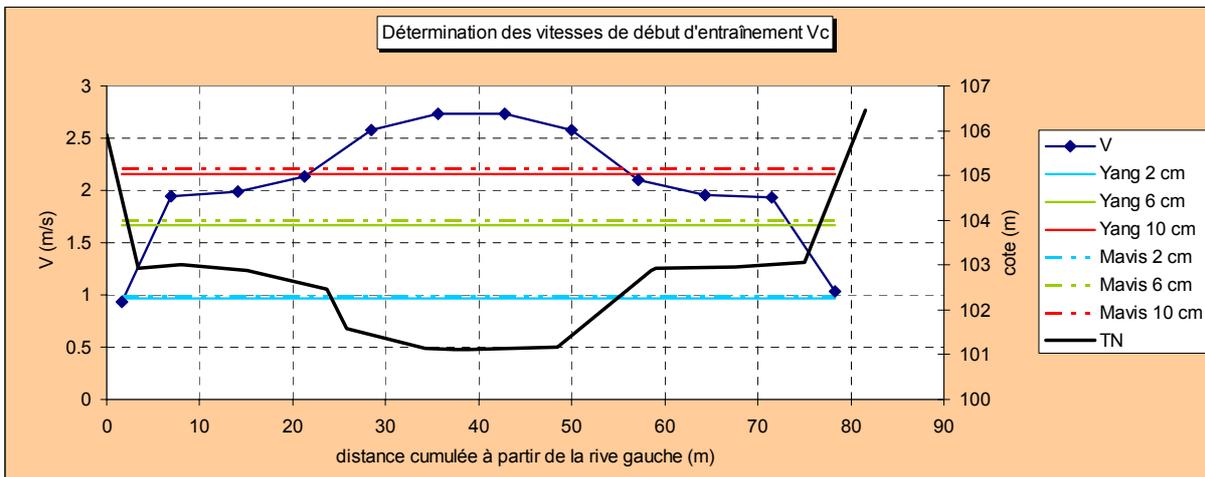
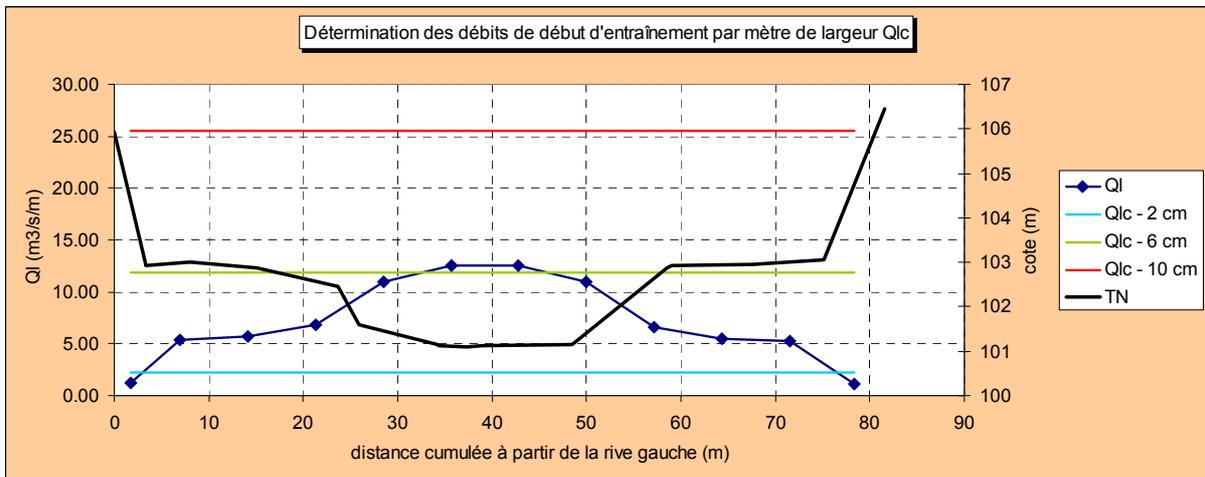
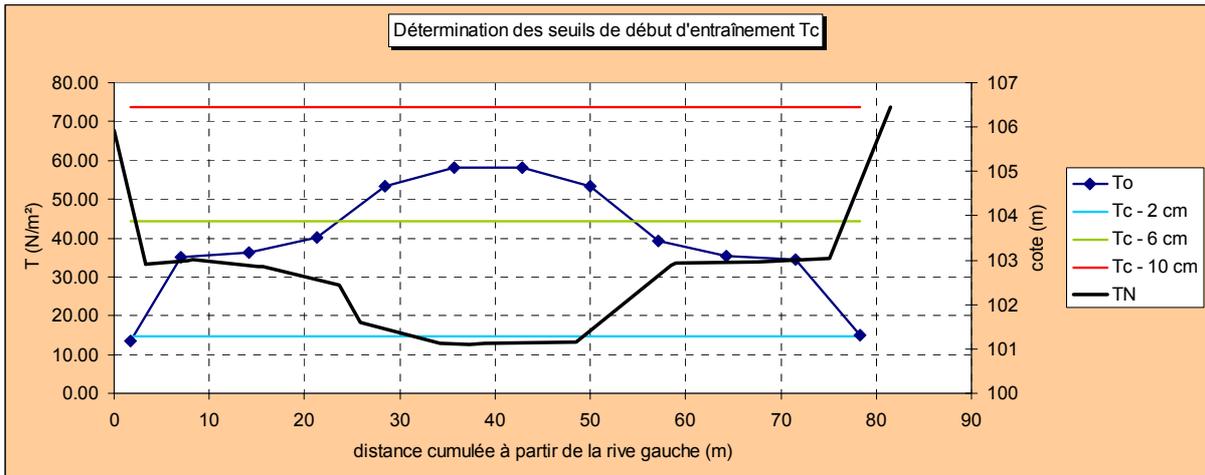
• Transect T13 :



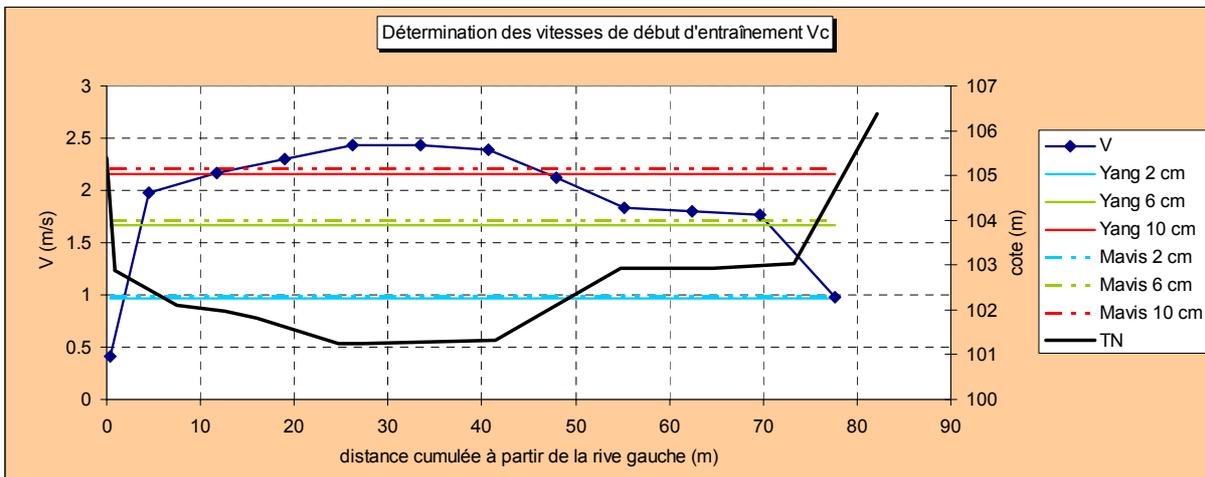
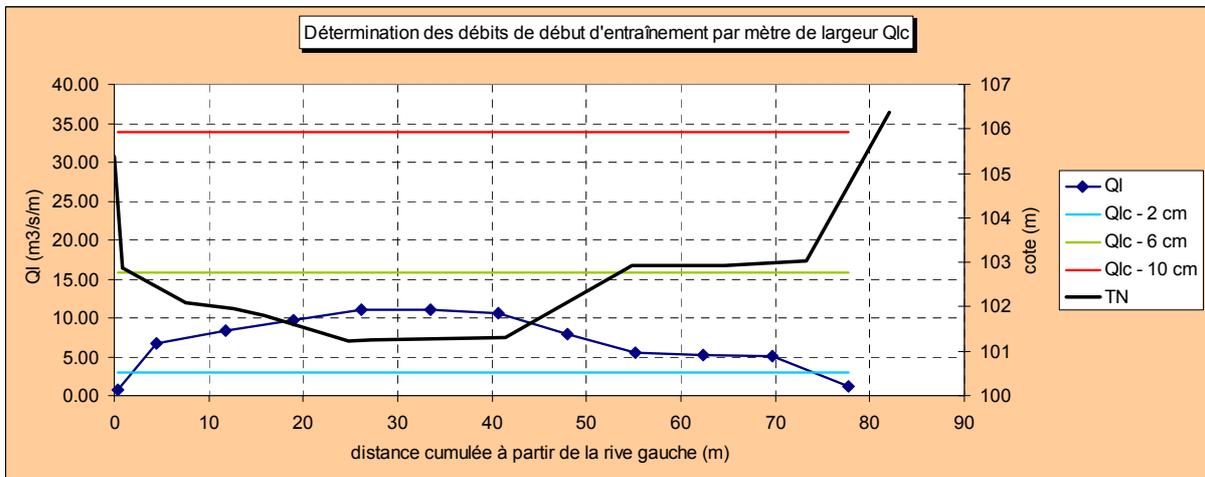
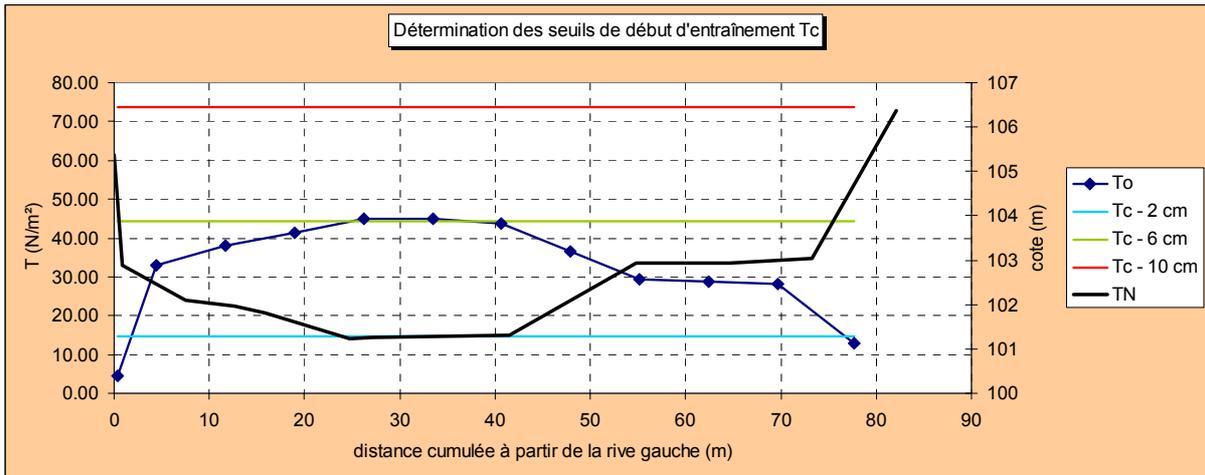
• Transect F6 :



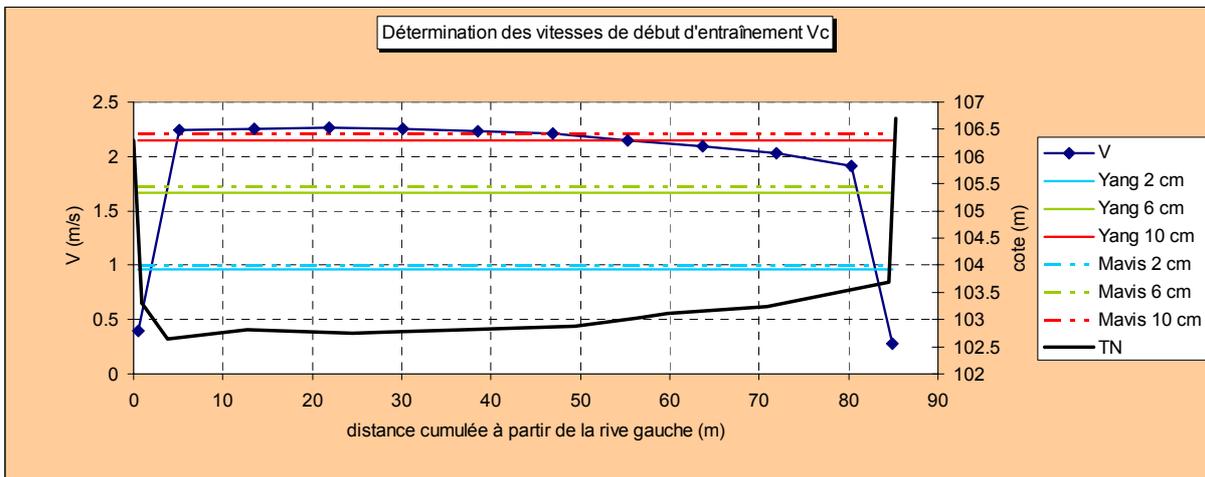
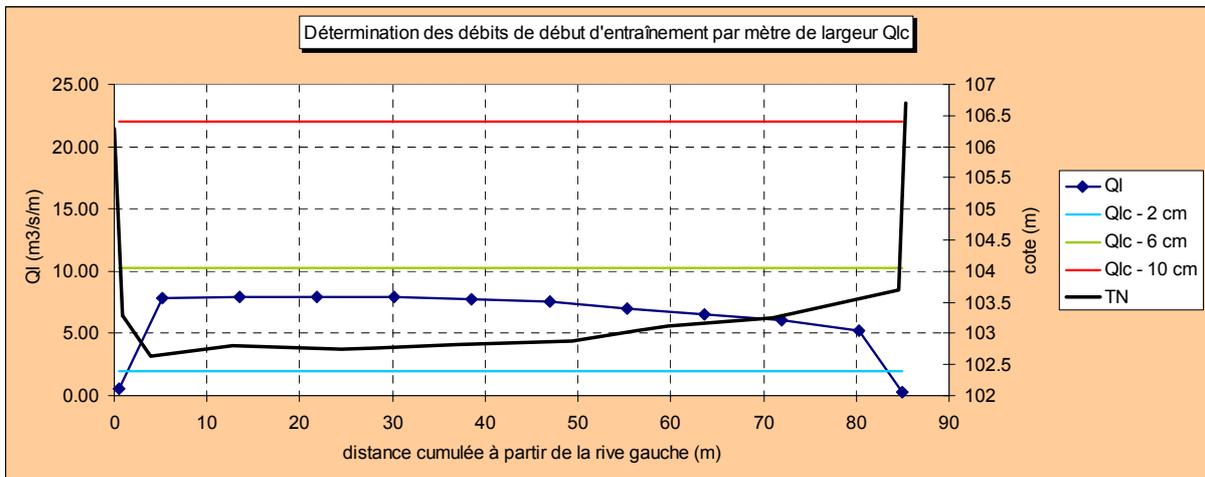
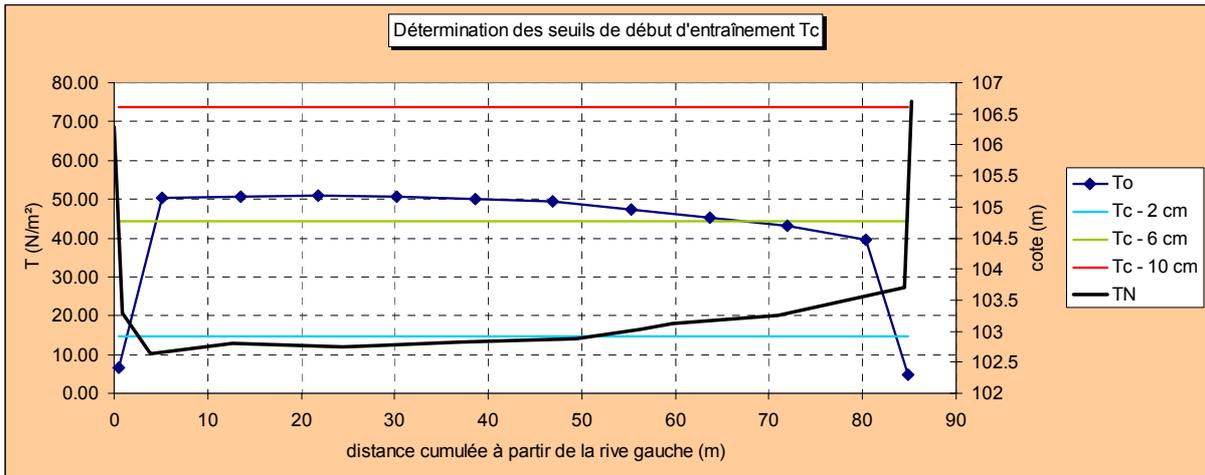
• Transect F7 :



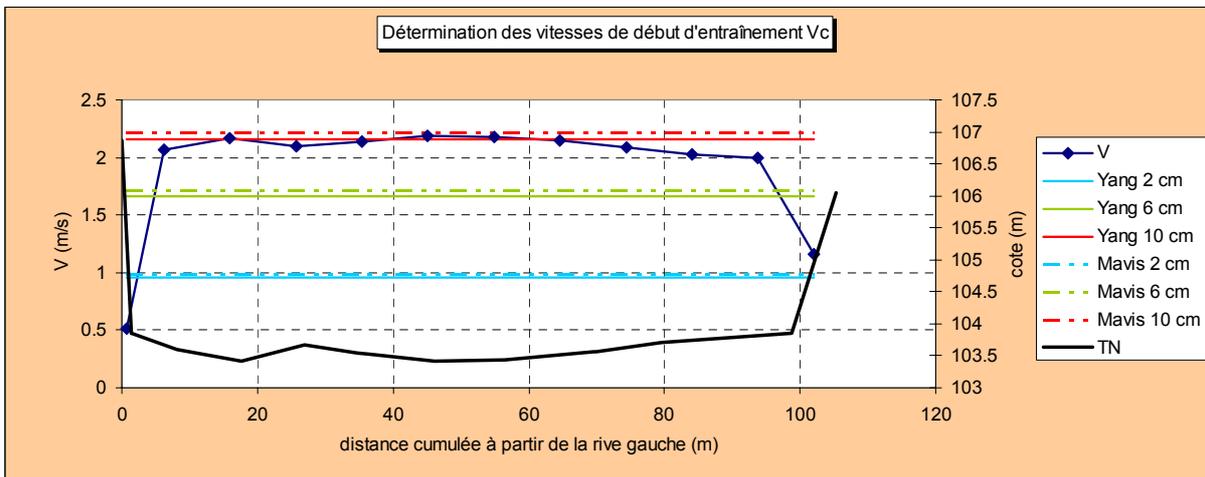
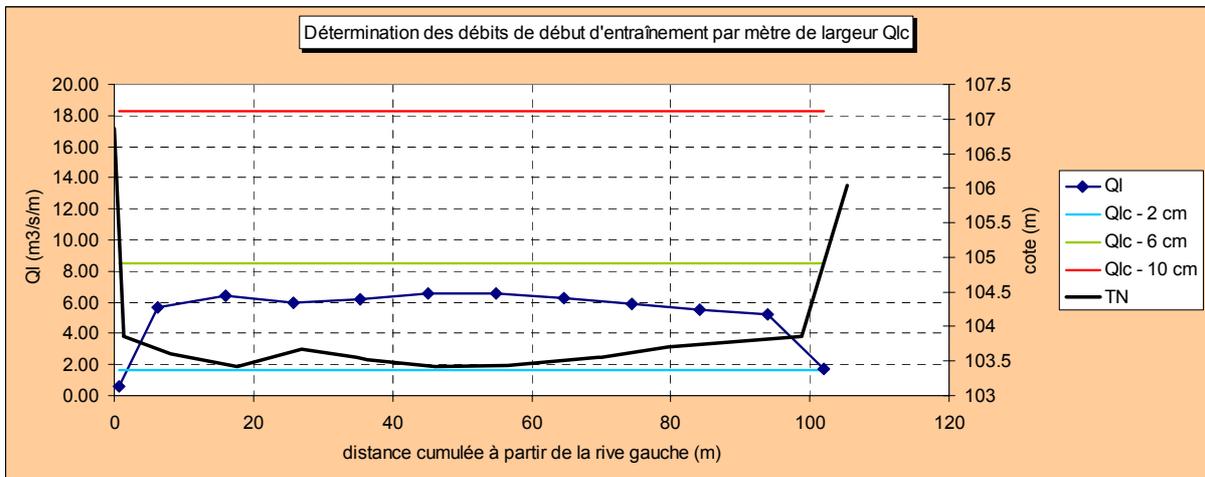
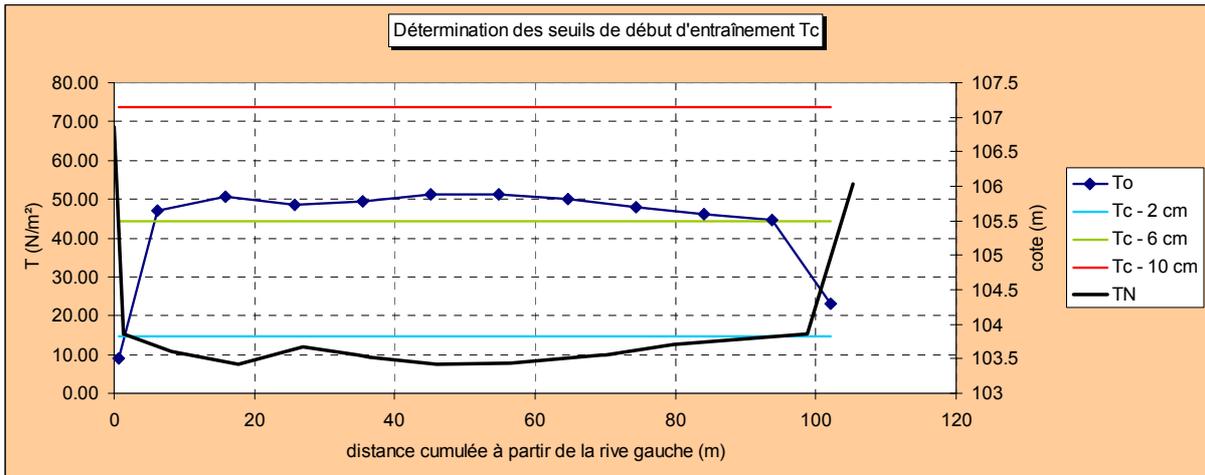
• Transect T14 :



• Transect T17 :



• Transect T18 :



Les données figurant dans ce document ne pourront être exploitées de quelque manière que ce soit, sans l'autorisation écrite préalable de MI.GA.DO. et de ses partenaires financiers.