



HAL
open science

Relations entre la répartition des macrophytes aquatiques en grands cours d'eau et la variabilité des conditions hydrauliques et hydrologiques

M.B. Albert, P. Breil, Emilie Breugnot, Alain Dutartre, F. Gob, E. Herouin,
A. Paquier

► To cite this version:

M.B. Albert, P. Breil, Emilie Breugnot, Alain Dutartre, F. Gob, et al.. Relations entre la répartition des macrophytes aquatiques en grands cours d'eau et la variabilité des conditions hydrauliques et hydrologiques. [Rapport de recherche] Cemagref. 2007, 85 p. hal-03814991

HAL Id: hal-03814991

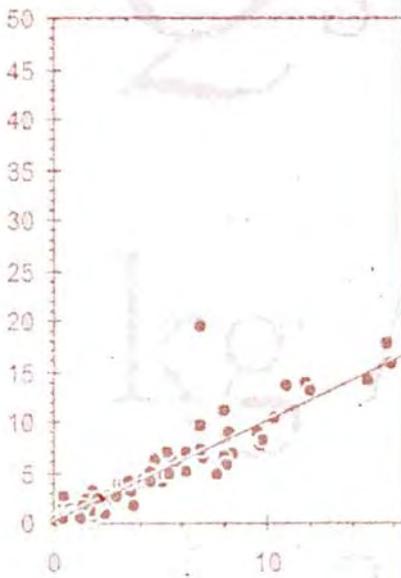
<https://hal.inrae.fr/hal-03814991>

Submitted on 14 Oct 2022

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Relations entre la répartition des macrophytes aquatiques en grands cours d'eau et la variabilité des conditions hydrauliques et hydrologiques



[1]

Albert M.B., Breil P., Breugnot E., Dutartre A.,
Gob F., Hérouin E., Paquier A.

Département Milieux aquatiques
TR DYNAQ - UR REBX
TR HYDRECO - UR HHLY et HBAN

Département Ressources en Eau
TR TRANSFEAU - UR HHLY

janvier 2007

Résumé

Le présent travail a été réalisé en 2005 et 2006 dans le cadre de l'appel d'offres interne du Cemagref, "Maîtrises". Il résulte d'une collaboration entre l'équipe "Macrophytes" de l'Unité de Recherche Réseaux, Epuration et Qualité des Eaux et les hydrologues et hydrauliciens de l'Unité de Recherche Hydrologie Hydraulique en 2005 et 2006, et de l'Unité Hydrosystèmes et Bioprocédés en 2006.

L'objectif général du projet de travail en commun était de valoriser les données abiotiques et biologiques récoltées sur les peuplements de macrophytes de plusieurs stations situées sur deux grands cours d'eau (Dordogne et Garonne) par l'équipe "Macrophytes" dans le cadre d'un travail de thèse, en y adjoignant des compétences relevant de l'hydraulique et de l'hydrologie et des compétences en mesures physiques de terrain, indispensables à l'amélioration des recueils des données. Ceci pour apporter de nombreux compléments d'information sur le fonctionnement physique du milieu et permettre une meilleure interprétation des phénomènes biologiques.

Les objectifs spécifiques de ce projet étaient d'appliquer en grand cours d'eau des méthodes de description statistique du fonctionnement physique à l'échelle d'un tronçon mises au point au Cemagref, d'étudier l'influence de la végétation sur les écoulements à travers la déformation des profils de vitesses via une modélisation hydraulique déterministe et de tester la faisabilité de l'intégration entre les trois méthodologies disponibles de description et ce qu'elle peut apporter à la compréhension globale du fonctionnement du système.

Dans la mesure où des informations étaient disponibles depuis plusieurs années dans ce site, la station de Gardonné située sur la Dordogne en aval de Bergerac a pu servir de station de référence pour évaluer l'intérêt et les gains d'une telle intégration de données issues d'approches originellement très différentes.

Les investigations menées sur l'évaluation des impacts des développements végétaux sur les écoulements d'une part et sur les impacts des écoulements sur les développements végétaux, d'autre part ont permis de préciser les variabilités de végétalisation, de richesse spécifique et de nature des taxons (algues, phanérogames) selon les gammes de profondeurs et de vitesse de courant et selon la saison.

L'intégration de données d'hydrologie et d'hydraulique et l'application de modes complémentaires de traitement des données disponibles, dont un test de modèle prédictif, à ces informations stationnelles sur les plantes a également permis de réaliser un double changement d'échelle. C'est à dire, dans un premier temps, de passer de ces données ponctuelles au fonctionnement spatial à l'échelle de la station dans son ensemble, dans un contexte temporel non limité, puis, sous réserve que les modèles employés conservaient une certaine précision, de déboucher dans un second temps à des prévisions de développements végétaux pouvant participer au développement d'outils de gestion des peuplements de macrophytes des cours d'eau concernés.

Les conditions les plus fréquentes des variables physiques semblent déterminer une grande part de la dynamique moyenne de développement des macrophytes. La construction d'un modèle couplé de dynamique biologique a montré que des conditions plus fugaces et moins fréquentes exercent toutefois un contrôle à court terme qui semble pouvoir expliquer certains aléas de la dynamique de croissance d'une année sur l'autre.

ALBERT M.B., BREIL P., BREUGNOT E., DUTARTRE A., GOB F., HÉROUIN E., PAQUIER A., 2007. *Relations entre la répartition des macrophytes aquatiques en grands cours d'eau et la variabilité des conditions hydrauliques et hydrologiques*. Rapport d'étude "Maîtrises", Cemagref, Bordeaux - Lyon. 85 p.

Sommaire

Introduction	1
1. Contexte.....	2
2. Les sites, les données.....	5
2.1 Présentation des cours d'eau et stations étudiés	5
2.2 Les données recueillies dans le cadre du suivi des stations « végétation ».....	9
2.3 Les données hydrauliques et morphologiques complémentaires recueillies pour l'étude	10
2.4 Les données hydrométriques	12
3. Résultats tirés du suivi des stations « végétation »	13
3.1. Evolution des taux de recouvrement.....	13
3.2 Effet de la crue du printemps 2001	14
3.3 Répartition des végétaux selon un gradient de vitesse et de profondeur.....	15
4. Etude de l'influence des macrophytes sur les écoulements	17
4.1. Etude de l'évolution des hauteurs et vitesses moyennes à la station.....	17
4.2. Modélisation bidimensionnelle de la station de Gardonne.....	27
5. Etude de l'influence des écoulements sur les macrophytes	35
5.1. Variables explicatives	35
5.2. Construction d'un modèle dynamique de croissance	44
6. Synthèse / discussion.....	50
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	53
ANNEXES	56

Liste des annexes

Annexe 1 : Fiches descriptives des quatre stations

Annexe 2 : Synthèse des données macrophytes

Annexe 3 : Campagnes de terrain 2005 communes Lyon / Bordeaux

Annexe 4 : Relevés topographiques et bathymétriques : vues de dessus, profils en long

Annexe 5 : Stations HYDRO et débits associés aux campagnes de mesures

Annexe 6 : Gardonne : relations de géométrie hydraulique $H(Q)$ et $V(Q)$ à la station

Annexe 7 : Gardonne : Etablissement d'une relation entre les hauteurs d'eau moyennes sur les transects de suivi "végétation" et les hauteurs enregistrées à la station hydrométrique

DIREN

Annexe 8 : exte de la communication acceptée : 6th International Symposium on Ecohydraulics, Christchurch, Nouvelle Zélande, 17 – 23 mars 2007.

Introduction

Le travail présenté ici a été réalisé dans le cadre de l'appel d'offres interne du Cemagref, "Maîtrises" pour l'année 2005, prolongé sur 2006.

Il est le fruit de la collaboration entre des équipes des Thèmes de Recherche DYNAQ, HYDRECO et TRANSFEAU implantées à Bordeaux et Lyon, et aussi à Antony en 2006.

Y ont participé :

Alain Dutartre, Emilie Breugnot, Christophe Laplace-Treytore, Vincent Bertrin, Céline Madigou (UR Unité de Recherche Réseaux, Epuration et Qualité des Eaux Bordeaux)

Marie-Bernadette Albert¹, Pascal Breil, Eric Hérouin, Guillaume Dramais, André Paquier, Fabien Thollet (UR Unité de Recherche Hydrologie Hydraulique Lyon)

Frédéric Gob (UR Hydrosystèmes et Bioprocédés Antony), en 2006

Nous tenons à mentionner également les gestionnaires de stations hydrométriques sans le travail desquels cette étude n'aurait pas été possible et remercier particulièrement M. Brassat-Lapeyrière du SPC Dordogne pour toutes les informations fournies.

Il s'agissait de rassembler des compétences relevant de l'hydroécologie pour comprendre l'implantation et le développement de macrophytes aquatiques, des compétences relevant de l'hydraulique et de l'hydrologie pour apporter un éclairage sur le fonctionnement physique du milieu et permettre une meilleure interprétation des phénomènes biologiques, et des compétences en mesures physiques et biologiques de terrain, indispensables au recueil des données.

Les objectifs affichés du projet étaient les suivants :

- Valoriser les données biologiques récoltées sur les peuplements de macrophytes de deux grands cours d'eau (Dordogne et Garonne) par l'équipe « Macrophytes » du Cemagref Bordeaux (TR DYNAQ, REBX).
- Appliquer en grand cours d'eau des méthodes de description statistique du fonctionnement physique à l'échelle d'un tronçon mises au point au Cemagref Lyon (TR HYDRECO, HHLY).
- Etudier l'influence de la végétation sur l'écoulement à travers la déformation des profils de vitesses via une modélisation hydraulique déterministe (TR TRANSFEAU, HHLY)
- Tester la faisabilité du couplage entre les trois méthodologies de description et ce qu'il apporte à la compréhension globale du fonctionnement du système.

Cette démarche devait s'appuyer sur plusieurs stations de suivi, mais n'a pu être véritablement menée à fond que sur la station de Gardonne sur la Dordogne. Le présent rapport présente les investigations réalisées et les enseignements que nous avons pu en tirer.

Ce travail a d'ores et déjà donné lieu à une communication qui sera présentée au symposium Ecohydraulics de février à Christchurch en Nouvelle-Zélande (voir texte en annexe).

¹ Mutée à HBAN au 1^{er} janvier 2006

1. Contexte

Problématique Macrophytes

L'intérêt porté aux macrophytes par le monde scientifique est lié à leur double rôle fonctionnel dans les hydrosystèmes. Regroupant différents groupes taxinomiques (phanérogames, algues, bryophytes et ptéridophytes), ils sont à la fois des producteurs primaires en participant directement aux cycles biogéochimiques des nutriments dans les milieux qu'ils occupent, et des biotopes pour d'autres organismes végétaux (périphyton) et animaux (invertébrés, poissons). Ils font également partie des groupes d'organismes aquatiques utilisables comme bioindicateurs pertinents des conditions physiques et trophiques des milieux qu'ils colonisent. A ce titre, ils ont été retenus comme un compartiment-clé, au niveau de la Directive Cadre Européenne sur l'Eau, pour l'évaluation de l'état écologique des hydrosystèmes.

Dans les hydrosystèmes lotiques, les macrophytes sont directement soumis à différents facteurs physiques dont certains sont plus ou moins fortement corrélés comme par exemple la nature et la stabilité des substrats et les écoulements. D'autres facteurs sont les conséquences d'aménagement des bassins versants, comme par exemple les variations de niveau et les variations rapides des vitesses de courant provoquées par des lâchers de barrages. Dans des proportions variables selon les cas, les macrophytes sont également sous influence des conditions trophiques régnant dans les hydrosystèmes.

L'occupation des biotopes disponibles dans les cours d'eau par différents types de plantes aquatiques est fonction des régimes hydrauliques, qui sont liés à la pente et à la morphométrie du cours d'eau, mais aussi aux variations de débit, influencées par les usages des eaux, et qui déterminent les caractéristiques des habitats et sélectionnent à la fois les espèces et leurs types éco-morphologiques.

Point bibliographique

Afin d'élaborer des outils de prédiction de l'abondance et de la diversité des macrophytes aquatiques, de nombreuses études se sont attachées à caractériser les relations entre les écoulements et les peuplements végétaux. On peut distinguer les travaux qui cherchent à expliquer (i) les conséquences de la présence de la végétation sur les écoulements et ceux (ii) qui, au contraire, tentent d'estimer l'impact des débits/vitesses sur les plantes.

(i) Différents auteurs (Madsen & Warncke 1983, Bennett *et al.* 2002, Cotton *et al.* 2006, Bunn *et al.* 1998, Dodds 1991) s'accordent à penser que les macrophytes perturbent de manière notable les hauteurs d'eau et les vitesses de courant. Wharton (2006) observe ainsi des baisses de vitesses à l'intérieur des herbiers, tandis qu'entre ces herbiers, les vitesses sont accrues. La baisse générale des vitesses dans un chenal fortement colonisé peut également s'accompagner d'une hausse des hauteurs d'eau et des températures (Wilcock *et al.* 1999). En réduisant les vitesses de courant, les macrophytes entraînent l'accumulation mais aussi la stabilisation des sédiments, participant ainsi à la modification des habitats (Madsen *et al.* 2001).

De nombreuses études décrivent les turbulences engendrées par la végétation autour et dans les herbiers (Jarvela 2005, Naden *et al.* 2004, Green 2005, Lopez & Garcia 2001). L'impact des macrophytes sur les écoulements est souvent expliqué par le biais de coefficient de rugosité (Champion & Tanner 2000; Baptist *et al.* 2005; Green 2005), de coefficient de traînée (Lee *et al.* 2004, Jarvela 2002), du nombre de Froude (Kemp *et al.* 2000)

(ii) Si des développements importants de macrophytes modifient les écoulements, les vitesses de courant sont également un facteur déterminant dans la dynamique de la végétation (Barendregt & Bio 2003, Gantes & Caro 2001, Riis *et al.* 2000) et peuvent limiter la croissance végétale. Soit que le métabolisme des macrophytes soit limité par le courant trop important (Dawson 1984, Madsen *et al.* 1993) ; soit, comme le supposent Riis *et al.* (Riis & Biggs 2003 Riis *et al.* 2004) que les écoulements n'agissent réellement qu'en mobilisant le substrat, support d'ancrage de la plupart des plantes. Des modélisations en canaux ont permis de montrer qu'avant d'atteindre des valeurs limites d'arrachage, les plantes se déforment de manière à être parallèle au courant, réduisant ainsi leur biovolume et les frottements (Asaeda *et al.* 2005, Sand-Jensen 2003). Il faut toutefois noter que certaines espèces comme de nombreux bryophytes ou l'algue rouge *Lemanea fluviatilis* ne se développent que dans des conditions de courant élevé (Thirb & Benson-Evans 1982, Thirb & Benson-Evans 1985). Cependant, de manière générale Biggs (1996) a posé l'hypothèse que la végétation des rivières à faible ripisylve est gouvernée par deux phénomènes antagonistes : la luminosité et la température ainsi que les nutriments sont les facteurs responsables de gain de biomasse végétale tandis que les perturbations hydrauliques entraînent une perte de biomasse.

Bien que certains de ces travaux décrivent ces phénomènes dans des cours d'eau de plaine (Hearne & Armitage 1993), la plupart des études portent sur de petits cours d'eau ou de canaux très fortement colonisés. Les effets y sont donc certainement plus conséquents que dans le cas de grands cours d'eau tels que ceux étudiés ici.

Point des travaux des équipes

- Bordeaux

Les stations étudiées dans le cadre de ce projet ont fait l'objet depuis plusieurs années (pour certains sites depuis 2000) de suivis de végétation au sein de l'unité REBX « Réseaux, Epuration et Qualité des Eaux Bordeaux » (Hache 2001, Bruneau 2002). Une partie de ces travaux a été réalisé pour le programme ECOBAG (Ecologie et Economie du Bassin Adour-Garonne). Depuis 2003, dans le cadre d'une thèse (Breugnot en cours), ce suivi est plus particulièrement effectué dans le but de caractériser les relations entre l'habitat physique et les peuplements de macrophytes en grands cours d'eau. Des expérimentations à l'échelle locale ont également permis d'évaluer l'impact des vitesses de courant sur la morphologie des plantes (Denuelle 2004) ainsi que l'influence locales de la présence d'herbiers sur les vitesses de courant (McRea 2005).

- Lyon

Dans le cadre du TR HYDRECO, l'unité HHLy « Hydrologie – Hydraulique Lyon » a travaillé depuis plusieurs années sur la manière de synthétiser le fonctionnement physique des cours d'eau dans un objectif de couplage avec la biologie. Ont été notamment développées une méthode d'analyse des chroniques hydrologiques pour faire apparaître des « Durées Continues d'Habitat Limitant » (DCHL), une méthode de description du tronçon (inspirée des approches d'hydraulique statistique initiées par Nicolas Lamouroux) permettant de représenter le fonctionnement hydraulique du tronçon sous la forme d'un « comportement moyen » auquel est associée une description de la variabilité spatiale à l'intérieur du tronçon. La représentation du comportement moyen permet : 1) d'établir des relations de type « géométrie hydraulique » reliant l'évolution des grandeurs hydrauliques dans la section en travers « moyenne » à l'évolution du débit 2) de pouvoir analyser, en les couplant avec les chroniques hydrologiques disponibles, la variabilité temporelle des grandeurs hydrauliques-clés et les durées-fréquences de valeurs-seuils identifiées comme jouant un rôle important (pour tel ou tel processus physique ou biologique). Cette description du comportement moyen peut être complétée par une description de la variabilité (morphologique et

hydraulique) à l'intérieur du tronçon pour chaque débit. Cette approche, ainsi que les protocoles de recueil de données adaptés, ont été mis au point et testés sur une quinzaine de sites – essentiellement sur de petits cours d'eau, qui hormis l'Indre, ne dépassaient pas 20 m de largeur à pleins bords – au cours de la thèse effectuée par Oldrich Navratil (novembre 2001 – avril 2005).

Dans le cadre du TR TRANSFEAU, sont développés également à l'UR HH Lyon des modèles déterministes, en 1D et 2D, dans lesquels on voudrait pouvoir mieux prendre en compte l'influence de la végétation sur le coefficient de frottement et donc sur la ligne d'eau. En particulier, sa contribution à la perte de charge totale peut varier avec le débit (déformation de la végétation), l'historique des débits (arrachement de la végétation) et la saison (croissance de la végétation).

2. Les sites, les données

2.1 Présentation des cours d'eau et stations étudiés

Quatre sites ont été choisis sur deux grands cours d'eau, la Dordogne et la Garonne (Figure 1). Ces sites présentent l'intérêt d'être suivis, certains depuis 2000, dans le cadre d'études de la végétation aquatique. Deux stations appartiennent en outre au réseau RNB (Réseau National de Bassin).

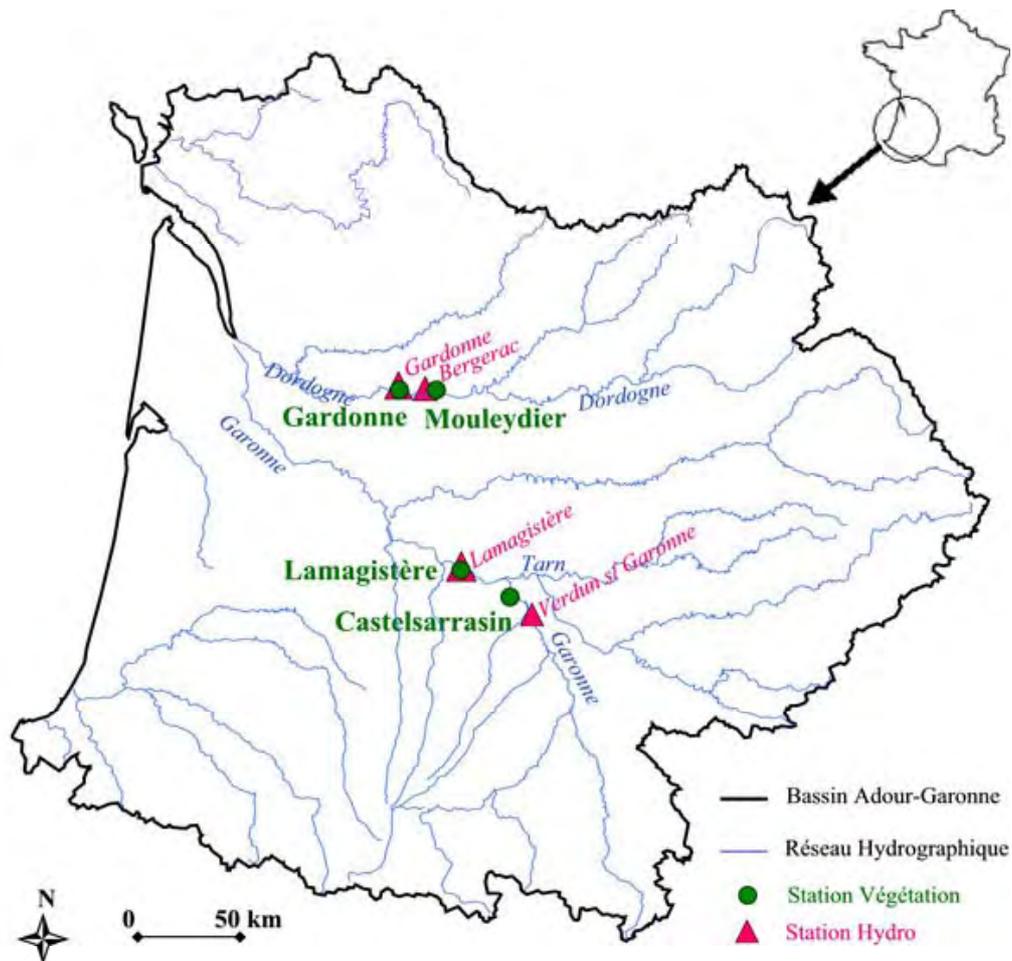


Figure 1 : Localisation des sites d'étude

2.1.1 Dordogne : caractéristiques du cours d'eau, des stations et des discontinuités présentes sur le tronçon étudié

Le climat du bassin de la Dordogne est essentiellement océanique (excepté dans le haut bassin où il prend un caractère continental et montagnard). Les précipitations y sont relativement abondantes (1190 mm en moyenne sur l'année au niveau de Tulle) avec un maximum très marqué en hiver et un second au printemps (mai), que l'on retrouve également dans le régime hydrologique. Les crues sont essentiellement des crues d'hiver, avec des crues décennales correspondant à des débits de $2\,208\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ (Masson 1998). En raison de son climat et de son relief, le bassin de la Dordogne a été équipé d'une série de barrages hydroélectriques durant le 20^{ème} siècle (Figure 2). Ces retenues réduisent le débit de pointe des crues moyennes mais n'ont pas d'incidence majeure sur les très fortes crues.

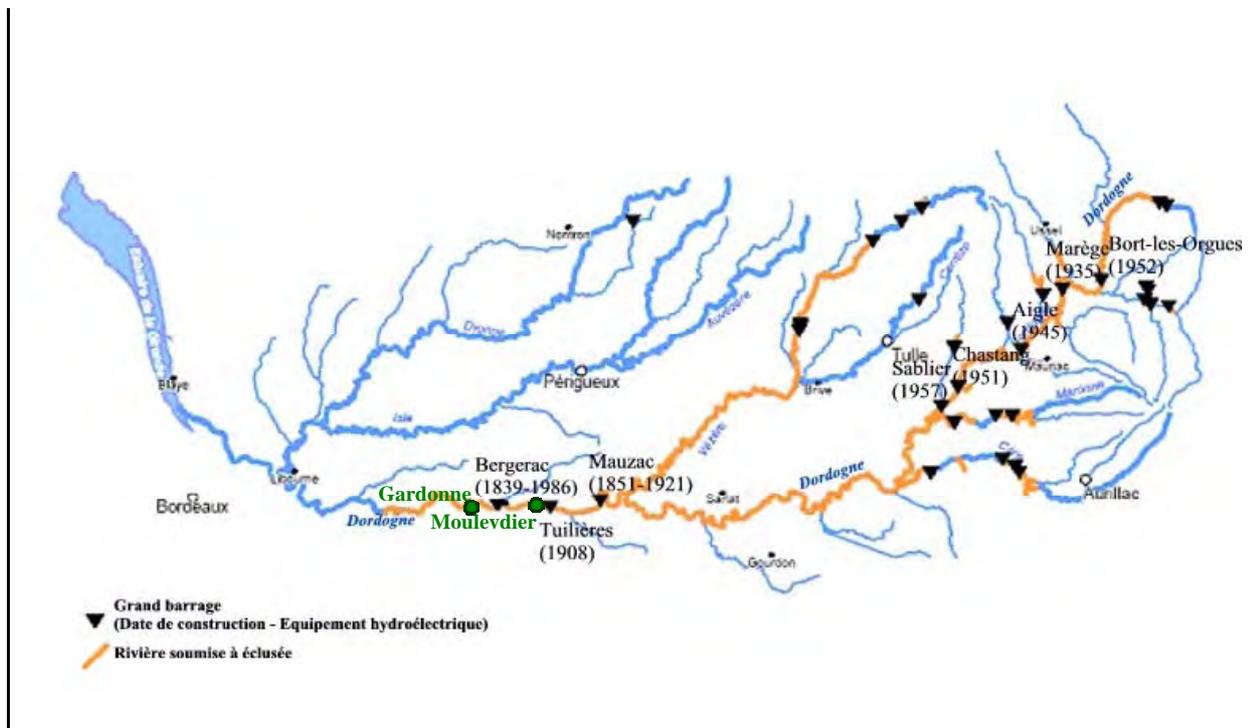


Figure 2 : barrages de la Dordogne

Barrage de Tuilières

Construit au niveau de la commune de Tuilières, c'est un barrage au fil de l'eau. Ce barrage mobile de 19,3 m de hauteur et de 105 m de longueur crée une retenue de 5 millions de m^3 s'étendant sur 75 ha (Masson 1998). Il est prolongé par une centrale produisant en moyenne 142 millions de kWh par an et possède également un ascenseur à poissons. Contrairement aux aménagements de grande taille, les petites centrales hydrauliques comme celle de Tuilières ne possèdent en général pas de retenues d'eau importantes permettant de faire de la production de pointe. Dans la plupart des cas, le barrage a pour unique fonction de garantir le niveau d'eau constant nécessaire au fonctionnement de la prise d'eau. Si des capacités de marnage existent, elles n'excèdent pas quelques heures de fonctionnement. (A noter qu'en janvier 2006, et peu après les derniers relevés sur la Dordogne de décembre 2005, la rupture accidentelle d'une vanne a entraîné la vidange immédiate des 5 millions de m^3 de la retenue.)

Barrage de Bergerac

Le barrage de Bergerac est également un barrage au fil de l'eau construit en 1839 et équipé d'aménagements hydroélectriques depuis 1986. Une passe à poisson a été aménagée sur le barrage. La retenue d'eau créée en amont représente 2,6 millions de m³. Du fait de ses faibles dimensions et de son fonctionnement au fil de l'eau, ce barrage n'aurait qu'une faible influence sur les régimes hydrologiques.

Mouleydier

La station « végétation » de Mouleydier se trouve à 1,6 km en aval de la chute de Tuilières. Large de seulement 82 m, cette station possède cinq profils de végétation régulièrement échantillonnés et 15 profils de topographie. Son substrat est constitué essentiellement d'affleurement de molasse, la « dalle » (presque 70 %). Cette station est suivie depuis 2001 pour ses peuplements de macrophytes. Cette station n'appartient pas à d'autres réseaux de suivi ; la station hydrométrique la plus proche est celle de Bergerac située une dizaine de km en aval, mais cette station n'est pas fiable pour les faibles débits (inférieurs à 100 m³/s) et il est conseillé d'utiliser plutôt la station de Gardonne.

Gardonne

La station de Gardonne est située à 11,7 km en aval du barrage de Bergerac. Cinq profils de végétation et 12 profils topographiques ont été placés sur cette station, qui mesure environ 92 m de large. Le substrat est composé essentiellement de dalle (~ 50 %) et de galets. La qualité de l'eau y est bonne, malgré un taux de nitrates relativement élevé (7,0 mg.L⁻¹ en moyenne sur les mois d'été). Les peuplements de macrophytes de cette station sont suivis depuis l'année 2000. Des données de qualité et de quantité des eaux de surface sont également disponibles, Gardonne appartenant aux réseaux RNB, Banque Hydro.

2.1.2 Garonne : caractéristiques du cours d'eau, des stations et de discontinuités présentes sur le tronçon étudié

On peut distinguer le bassin supérieur de la Garonne entre Ariège et Tarn, et la Garonne moyenne entre la confluence avec le Tarn et Castets où sont situées les deux stations. A partir de la confluence avec le Tarn, la Garonne double son module. Le régime est pluvio-thermal-océanique et la pente y est inférieure à 0,5 ‰. La plaine alluviale s'inscrit dans un encaissement molassique, parfois calcaire qui affleure dans son lit mineur. En aval de la confluence avec le Tarn, le cours d'eau est fortement anthropisé (méandres fixés, berges consolidées).

Hydrologie de la Garonne :

Dans la partie du bassin supérieure, la Garonne a un caractère torrentiel avec des terrains plutôt imperméables et des pentes fortes. Le domaine montagnard pyrénéen nourrit de gros débits qui provoquent des crues dans les secteurs aval en particulier en amont du Tarn. D'après Steiger & Corenblit (2000), ces crues peuvent être :

- méditerranéennes : crues d'automne provoquées par des vents du sud-est amenant des pluies orageuses en particulier sur le Tarn ;
- océaniques classiques : crues d'hiver liées aux perturbations atlantiques, elles ne sont pas les plus fortes mais durent plus longtemps ;
- océanique-pyrénéennes : s'exprimant de mi-avril à mi-juillet, ces crues sont générées par des pluies sur les reliefs pyrénéens et provoquent les crues les plus importantes sur la Garonne.

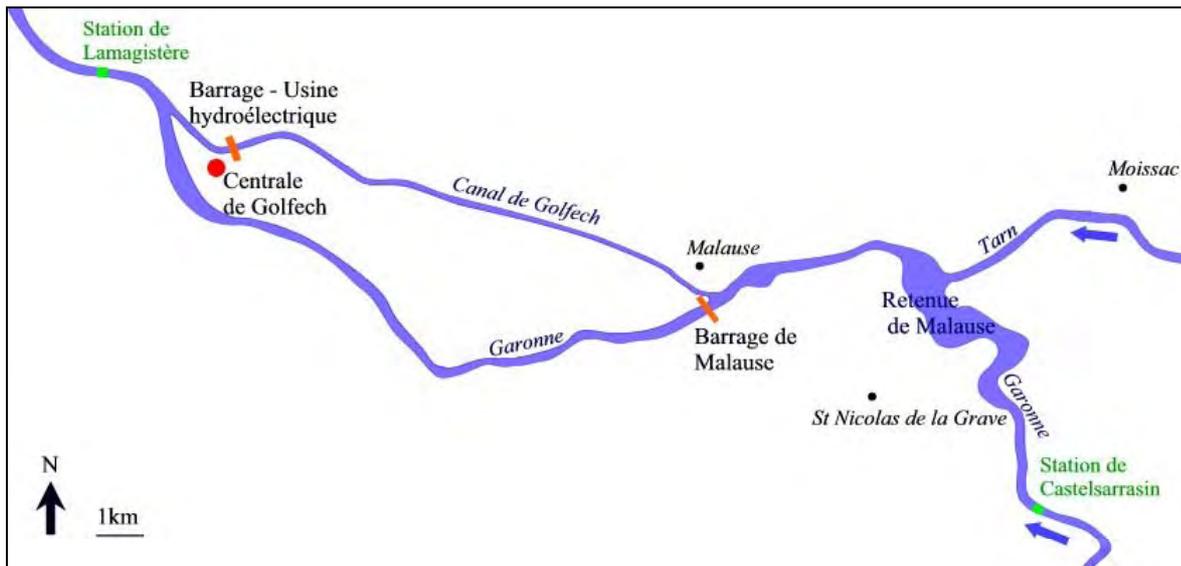


Figure 3 : schéma de la confluence Garonne Tarn et localisations des stations de Lamagistère et Castelsarrasin

Retenue de Malause

Au niveau de la confluence avec le Tarn, des aménagements construits sur la Garonne créent la retenue de Malause d'une surface de 420 ha (**Figure 3**). Le barrage de Malause au fil de l'eau mis en eau en 1972 dévie une partie des eaux de la Garonne vers le complexe hydroélectrique et nucléaire de Golfech (**Figure 3**). La retenue de Malause crée une rupture dans l'hydrodynamisme et la géomorphologie du cours d'eau en ralentissant les masses d'eau et en induisant une sédimentation importante de matières minérales et organiques, d'autant qu'elle constitue un exutoire du bassin industriel du Tarn, de l'agglomération toulousaine et du bassin agricole amont (ECOBAG 2005).

Castelsarrasin

La station de Castelsarrasin est située 6,5 km en amont de la confluence Garonne/Tarn et donc en amont de la retenue de Malause, dans un tronçon de la Garonne qui n'est plus sous influence de la retenue (Figure 3). Sa profondeur moyenne est comparable aux autres stations (1,3 m), mais les profondeurs du faciès de ce tronçon sont hétérogènes du fait de la présence de dalle aux niveaux irréguliers. 3 profils de végétation et 14 profils de topographie ont été réalisés sur ce site. La station hydrométrique la plus proche est celle de Verdun^{s/} Garonne un peu en amont de notre site (cf figure 3).

Lamagistère

Cette station, se situe à hauteur de la commune de Lamagistère, 1,6 km en aval de la confluence de la Garonne et du canal dérivé de la Garonne qui sert à alimenter le complexe hydroélectrique de Golfech. Une partie de la rive droite de cette station longeant le village de Lamagistère a été empierrée. Avec une profondeur moyenne de 1,6 m, et une largeur moyenne de 86 m, cette station, comme la plupart des autres, possède un substrat majoritairement formé d'affleurements de molasse (52 %) et de galets (40 %). Échantillonnée depuis 2002 pour ses macrophytes, cette station est également suivie pour la qualité et la quantité des eaux de surface (présence de station RNB et Hydro au niveau du pont de Lamagistère). 3 profils de végétation et 16 profils topographiques ont été placés sur cette station.

2.2 Les données recueillies dans le cadre du suivi des stations « végétation »

2.2.1 Méthode des points-contacts utilisée pour le prélèvement des macrophytes

Une méthode, inspirée de celle des points contacts utilisée depuis longtemps dans les études prairiales (Daget & Poissonet 1971), a été appliquée. Antérieurement utilisée dans des études réalisées sur le fleuve Charente (Cemagref 1991), elle consiste à réaliser des prélèvements réguliers le long de profils transversaux du lit géoréférencés à l'aide d'un GPS (Trimble). L'échantillonnage est réalisé régulièrement le long de ces profils (tous les 2,5 m) à l'aide d'un râteau à manche télescopique permettant d'atteindre les végétaux jusqu'à un peu plus de 4 m de profondeur. Cent à deux cents points contacts sont ainsi réalisés à chaque campagne d'observation (**Figure 4**). Une rotation du râteau est effectuée de manière à arracher les végétaux. Les macrophytes ainsi prélevés correspondent à la végétation présente sur la surface de substrat ratissée (ici un disque de 35 cm de diamètre) ainsi que dans la colonne d'eau. Un indice d'abondance de 1 (espèce très peu présente) à 5 (espèce très abondante sur l'ensemble du râteau) est alors attribué à chaque taxon présent dans l'échantillon prélevé.

A partir de ces prélèvements, deux « indices » biologiques sont utilisables :

- La fréquence des points contacts colonisés donne une première indication sur la fréquence d'apparition de la végétation
- Il est également possible d'estimer des taux de recouvrement en pondérant chaque note d'abondance par le recouvrement associé (5% pour l'indice 1, 25 % pour l'indice 2, 50 % pour l'indice 3, 75 % pour l'indice 4 et 100 % pour l'indice 5) :

$$\% \text{Rec} = \frac{100 * (a + 0,75b + 0,5c + 0,25d + 0,05e)}{N} \quad (\text{d'après Daudin \& Dutartre 2000})$$

a : le nombre de points contacts pour un taxon donné ayant un indice de 5.

b : le nombre de points contacts pour un taxon donné ayant un indice de 4.

c : le nombre de points contacts pour un taxon donné ayant un indice de 3.

d : le nombre de points contacts pour un taxon donné ayant un indice de 2.

e : le nombre de points contacts pour un taxon donné ayant un indice de 1.

N : le nombre total de points contacts réalisés sur la station.

Appliquée à un point contact, cette formule peut aboutir à des taux de recouvrement supérieurs à 100% du fait de la stratification de la végétation mais permet au niveau du transect ou de la station une bonne extrapolation du taux de recouvrement global. Cette méthodologie est également celle qui a été préconisée dans l'application de l'IBMR aux grands cours d'eau (AFNOR 2003).

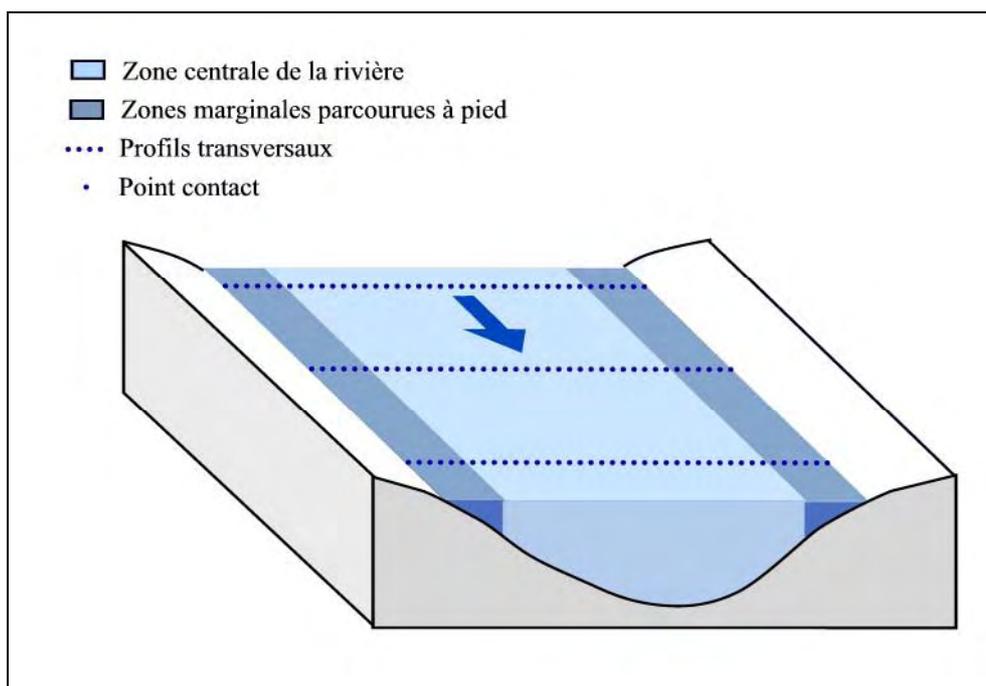


Figure 4 : Schéma de station étudiée grâce à la technique des points contacts

2.2.2 Campagnes effectuées et données disponibles

Sur l'ensemble des stations, des données de végétation (taux de recouvrement, inventaire floristiques, morphologie des plantes) mais aussi de substrat, de hauteurs d'eau et de vitesses de courant sont disponibles depuis 2000. Etant donné la colonisation particulièrement forte de la station de Gardonne, un effort d'échantillonnage a été porté sur cette station.

Les campagnes sont majoritairement estivales (période de développement maximal de la végétation aquatique), cependant, en vue d'un couplage des données biologiques et hydrologiques, des campagnes hivernales (2004-2005) ont été réalisées sur Gardonne (situation de faible développement végétal mais de forts débits intéressante pour caler les modèles). Des prélèvements ont également été réalisés à Gardonne sur 10 profils espacés de 10m afin de mieux évaluer les frottements entraînés par la présence de macrophytes (cf. modélisation 2D).

L'annexe 2 récapitule les résultats de ces campagnes en ce qui concerne la végétation, synthétisés sous forme de deux variables moyennées sur la station : taux de recouvrement et taux de points-contacts colonisés, calculées globalement pour l'ensemble des espèces végétales et aussi séparément pour les phanérogames d'une part, les algues d'autre part.

2.3 Les données hydrauliques et morphologiques complémentaires recueillies pour l'étude

2.3.1 Les objectifs

Il s'agit :

- a) d'établir les relations de géométrie hydraulique (lois d'évolution des grandeurs hydrauliques dans la section en travers en fonction du débit : hauteurs d'eau, vitesse...) qui permettront ensuite de transformer le signal hydrologique en signal hydraulique en

- utilisant les variables qui paraîtront les plus pertinentes vis-à-vis de la problématique « développement de la végétation » ;
- b) de caler un modèle hydraulique 2D qui permettra d'étudier de manière fine l'influence de la végétation sur l'écoulement. C'est la station de Gardonne qui a été choisie pour cette étude particulière :
 - c) de tester, ce faisant, une nouvelle méthodologie de recueil de données topographiques, couplant l'utilisation d'un ADCP pour la bathymétrie du lit mineur avec l'utilisation du tachéomètre pour la topographie des berges.

2.3.2 Les mesures effectuées

Cinq campagnes de mesures topographiques et bathymétriques ont été réalisées au cours de l'année 2005 (entre mars et décembre), en général couplées avec des prélèvements de végétation. Elles sont récapitulées en annexe 3.

Les mesures ont concerné selon les sites, de 14 à 16 transects, sur un linéaire de 10 à 12 fois la largeur du cours d'eau.

Au niveau de la topographie, la méthode consistait à marier deux techniques : topographie des berges relevée au tachéomètre laser (classiquement) et bathymétrie du lit mouillé extraite des mesures ADCP (au départ destinées à déterminer le champ de vitesses), le raccordement des deux mesures devant se faire au niveau des « fleurs d'eau » (point de jonction surface de l'eau / paroi du lit).

Sont joints en annexe 4 :

- sur la station de Gardonne, la vue de dessus et un exemple de profils en travers obtenus grâce au logiciel AMO (logiciel HHLV de pré-traitement et de post-traitement de données topographiques pour les modèles hydrauliques).
- sur les autres stations, les vues de dessus des transects et des profils de berges reconstitués sous ArcView
- sur les 4 stations, les profils en long des différents niveaux : fond, berges, lignes d'eau aux débits observés

2.3.3 Les difficultés rencontrées

Pour la mise en œuvre des mesures de terrain et leur traitement

Des difficultés ont dû être surmontées tant au niveau de la mise en œuvre sur le terrain (on ne peut pas s'approcher jusqu'au bord avec l'ADCP et on ne peut donc pas se raccorder directement sur les « fleurs d'eau ») que du dépouillement et de la mise en cohérence des données issues des deux techniques (nécessité de « filtrer » les milliers de points acquis par l'ADCP sur chaque transect qui comportent pas mal de bruit). Cet important et fastidieux travail de « nettoyage » et mise en cohérence des données, effectué par Guillaume Dramais, pourrait être facilité à l'avenir par l'écriture de modules de traitement automatique. Mais même aujourd'hui, avec des méthodes « artisanales », le bilan est globalement très positif tant l'acquisition de la bathymétrie du lit mouillé par l'ADCP est rapide et précise (au tachéomètre il aurait fallu plusieurs jours de mesures sur chaque site pour obtenir une topo équivalente, et on n'aurait pas eu en prime les champs de vitesses !).

Pour l'application du protocole « géométrie hydraulique »

Tel qu'il a été mis au point sur de petits cours d'eau, pour être pertinent à l'échelle d'un tronçon et jusque dans les débits proches du « plein bord » (les plus susceptibles de mettre en mouvement les sédiments ou d'arracher des plantes), ce protocole doit respecter les critères suivants :

- effectuer les mesures hydrauliques sur un linéaire de 15 à 20 fois la largeur à plein bord, sur une vingtaine de transects régulièrement espacés (d'une largeur de cours d'eau)
- mener au moins deux campagnes de mesures, à deux débits bien différents, pour pouvoir tracer les courbes d'évolution des grandeurs hydrauliques en fonction du débit sur une large gamme de débit s'écoulant dans le lit mineur (jusqu'au plein bord) ; lorsqu'on est à proximité d'une station hydrométrique à laquelle on peut se raccorder, on peut se dispenser d'une deuxième campagne de mesures à fort débit en estimant le débit de plein bord.

En pratique, nous n'avons pu mettre en œuvre complètement ce protocole :

- au niveau du linéaire étudié, compte-tenu de la largeur des sites (de l'ordre de la centaine de m), il aurait fallu prendre en compte 2 km de cours d'eau : on est à chaque fois tombé sur une singularité qui nous a empêchés d'étendre aussi loin qu'il eût fallu la station d'étude.... Cette insuffisance ne permettra pas d'affirmer la représentativité des résultats à l'échelle du tronçon de cours d'eau et de les utiliser sans réserve dans des comparaisons avec d'autres cours d'eau.
- au niveau des deux débits devant servir à caler les relations de géométrie hydraulique, nous avons eu également des déboires : sur les stations d'étude dépourvues de station hydrométrique (Mouleydier et Castelsarrasin), les deux débits auxquels ont été effectués les relevés se sont révélés beaucoup trop proches pour pouvoir établir des courbes de géométrie hydraulique ; il n'y a que sur les stations où nous avons pu estimer les conditions hydrauliques à plein bord et le débit correspondant grâce à la station hydrométrique qu'il a été possible de le faire.

2.4 Les données hydrométriques

Concernant les débits, on dispose de deux sources d'informations :

- les chroniques disponibles sur la banque HYDRO : hauteurs enregistrées aux stations hydrométriques, transformées en débits via les courbes de tarage. On utilisera ces chroniques (de hauteurs et de débit) pour les essais de modélisation des évolutions temporelles. A noter que pour Mouleydier, la station de Bergerac n'étant pas fiable, on a reconstitué la chronique à partir de la station de Gardonne toute proche, au prorata des surfaces de bassin versant.
- ponctuellement, lors des campagnes de terrain, les mesures directes de débit effectuées à l'ADCP sur plusieurs transects.

En annexe 5 on trouvera les données de synthèse de la banque HYDRO aux stations utilisées et un tableau rassemblant les données de débit issues de ces deux sources pour les campagnes de terrain. On notera que des écarts importants existent parfois entre le débit jaugé lors de nos campagnes terrain et le QJ donné par la banque HYDRO... Lorsque les mesures de débit sont apparues fiables, on a retenu ces valeurs ; dans le cas contraire on a pris la valeur du débit journalier de la banque HYDRO.

Monsieur Jean-Louis Brassat-Lapeyrière, du service de prévision des crues de la DDE de la Dordogne nous a en outre obligeamment communiqué toutes les informations complémentaires que nous lui avons demandé sur la station de Gardonne : l'ensemble des courbes de tarage utilisées sur la période 2003 – 2005 (neuf courbes différentes) ainsi que les bordereaux des jaugeages réalisés (au nombre de 23 dont 2 en crues débordantes). Ces informations nous ont été très précieuses.

3. Résultats tirés du suivi des stations « végétation »

A partir de toutes les observations récoltées depuis 2003, nous avons pu faire une première analyse de la dynamique de la végétation et de l'influence des paramètres physiques.

Les macrophytes aquatiques appartiennent à différents groupes taxonomiques (phanérogames, algues, bryophytes et ptéridophytes, les deux derniers groupes étant minoritaires). Ces différents groupes seront traités séparément car ils n'ont a priori pas la même sensibilité aux variations hydrologiques. Les phanérogames sont des plantes à fleurs souvent de grande taille (plus de 5 m de long pour certaines renoncules) qui ont un important système racinaire. Leur présence est donc peut-être plus conditionnée par des événements hydrologiques importants. Au contraire, les algues filamenteuses sont en majorité des végétaux fragiles peu ou pas fixés, avec des cycles de vie plus courts. Ceci explique qu'elles vont apparaître très rapidement dans de bonnes conditions (chaleur, vitesses de courant réduites) mais qu'elles semblent aussi disparaître rapidement dès que les vitesses de courant augmentent et sont suffisantes pour les emporter.

3.1. Evolution des taux de recouvrement

Les campagnes effectuées entre mai 2003 et juillet 2005 permettent de mettre en évidence des taux de recouvrements beaucoup plus importants sur Gardonne (jusqu'à 60%) que sur les autres stations (**Figure 5**).

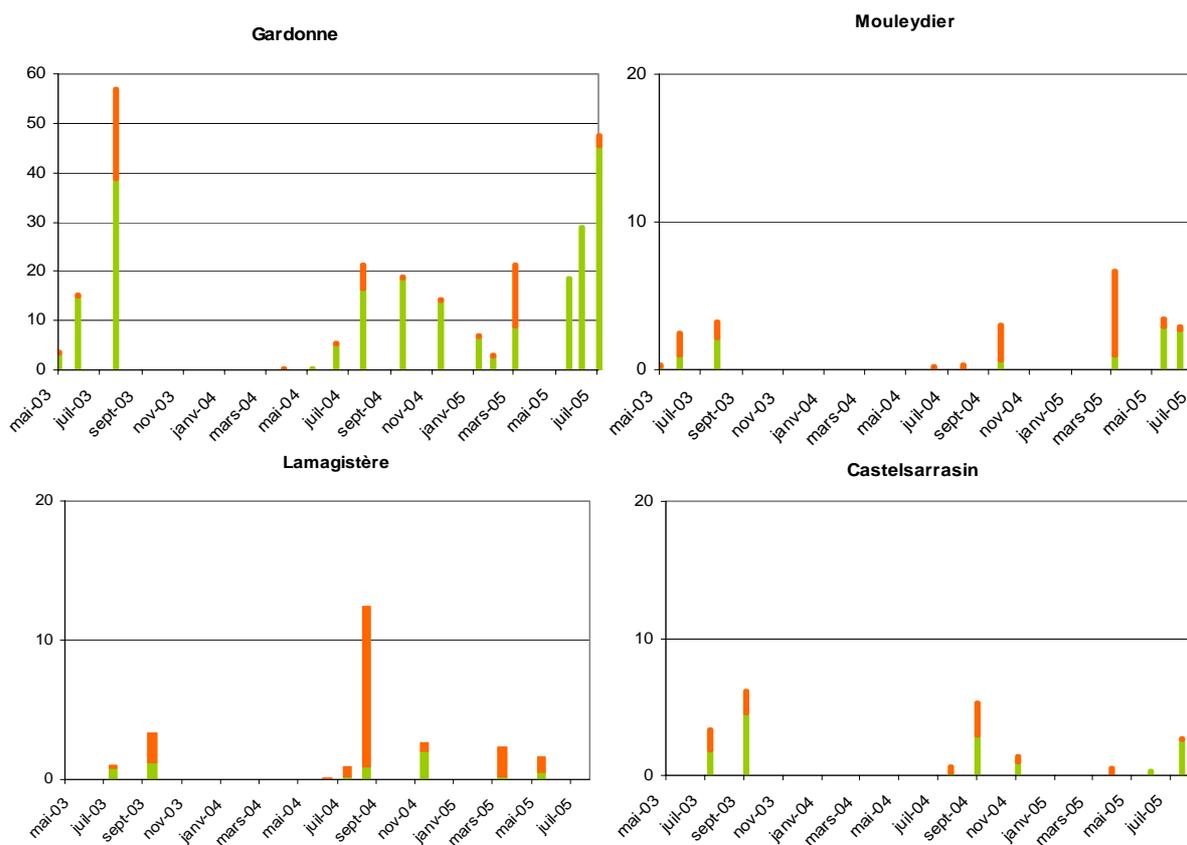


Figure 5: Taux de recouvrement calculés sur les 4 stations d'étude de 2003 à 2004 (en vert les taux de recouvrement par les phanérogames ; en orange les taux de recouvrement par les algues)

La végétation de Mouleydier et Castelsarrasin se répartit assez bien entre algues et phanérogames. Gardonne est majoritairement composée de phanérogames et la végétation de Lamagistère au contraire comporte principalement des algues.

Quelle que soit la station concernée, le maximum de végétation est atteint à la fin de l'été (août septembre).

Un effort d'échantillonnage a été porté sur Gardonne – station la plus colonisée par les macrophytes - de manière à suivre la végétation sur un peu plus d'un cycle annuel. Une régression logistique sur différents paramètres physiques pouvant expliquer la présence de végétaux a mis en évidence l'importance de paramètres tels que la profondeur, la vitesse de courant et le substrat. Cependant ces analyses n'expliquent que des instantanés, et il faut pouvoir utiliser toute la chronique de ces paramètres pour réellement expliquer la dynamique de ces végétaux.

Une première confrontation de ces recouvrements avec des paramètres physiques tels que la température et les débits permettent d'illustrer les potentielles relations entre végétation et chronique de grandeurs hydrauliques/température (Figure 6). On y remarque un cycle annuel relativement marqué pour les phanérogames et des recouvrements d'algues beaucoup plus irréguliers.

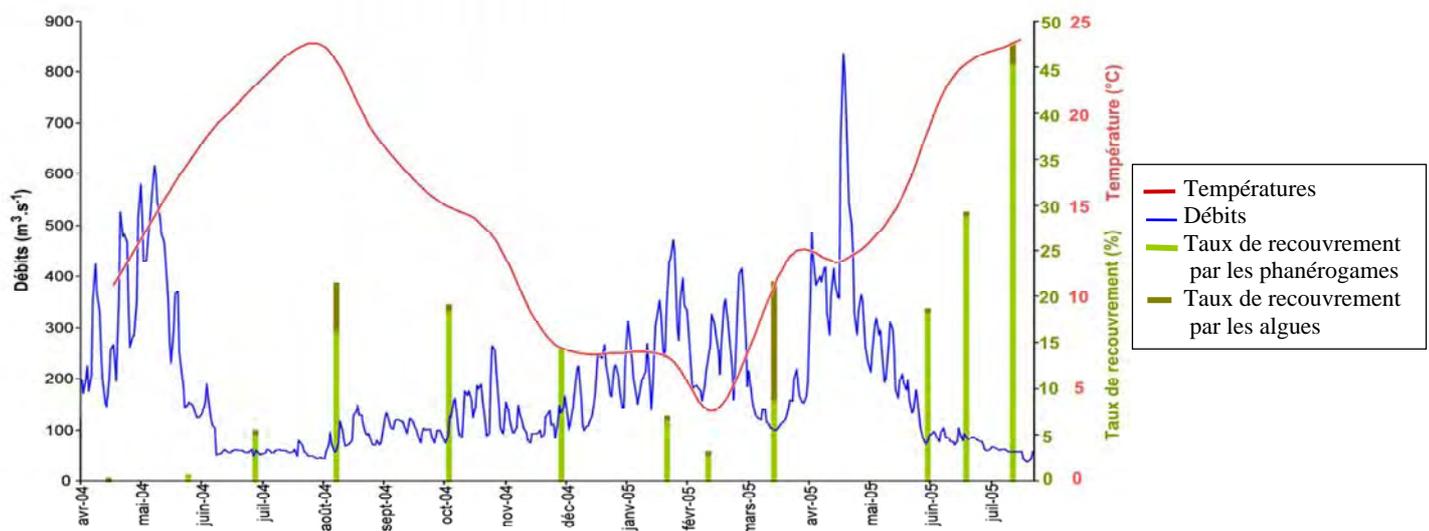


Figure 6 : Variations des débits (source : Banque Hydro) et des taux de recouvrements (algues et phanérogames cumulés) à Gardonne entre avril 2004 et juillet 2005.

3.2 Effet de la crue du printemps 2001

Des relevés antérieurs sur Gardonne permettent la mise en évidence des disparités pluriannuelles des recouvrements. Suite à une crue de durée et d'intensité importante durant le printemps 2001 le recouvrement a fortement chuté. Des recouvrements comparables à ceux de 2000 n'ont été observés à nouveau qu'en 2003, tandis qu'entre 2003 et 2005 ces valeurs se sont maintenues (Figure 7). On peut donc supposer qu'une crue sera d'autant plus dévastatrice qu'elle se produit durant la période de croissance de la végétation. En effet des crues hivernales de même intensité en 2003 et 2004 n'ont pas eu le même impact. De plus, d'autres études ont montré l'importance de la fréquence et de la période d'apparition de ces phénomènes de crues (Barrat-Segretain & Amoros 1995, Barrat-Segretain & Bornette 2000).

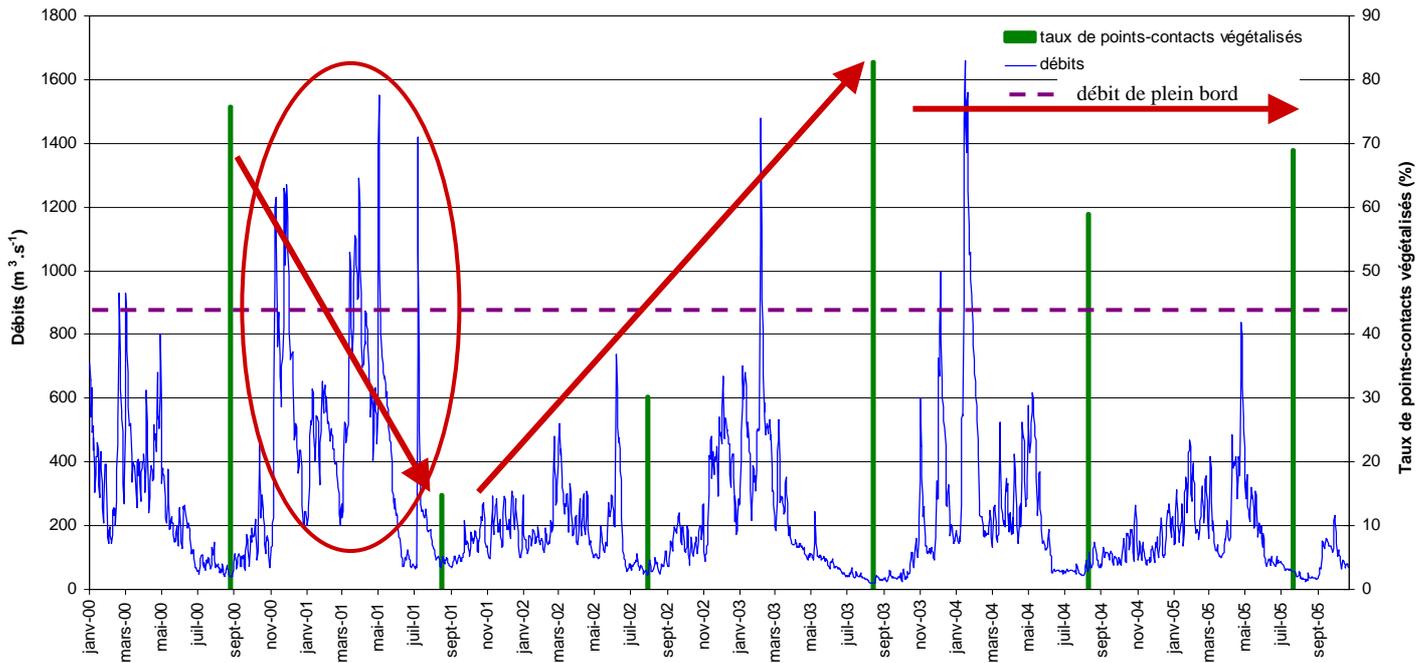


Figure 7 : chronique des débits et évolution des taux de points contacts végétalisés de 2000 à 2005

3.3 Répartition des végétaux selon un gradient de vitesse et de profondeur

- Vitesse

Les vitesses mesurées sur les 4 stations sont comprises entre 0 et 1,80 m.s⁻¹ (**Figure 8**). Au-delà de 1,42 m.s⁻¹ on n'a pas relevé de végétation. Entre 0,8 m.s⁻¹ et 1,42 m.s⁻¹ les points contacts colonisés ne le sont que de 5 à 25 %. On a également mis en évidence que des plantes d'une même espèce poussant dans des gammes de vitesses de 0,5 à 0,9 m.s⁻¹ étaient plus petites mais avec un système racinaire plus important que les plantes poussant dans des zones où la vitesse varie de 0,2 à 0,6 m.s⁻¹ (adaptation morphologique probable de la plante aux contraintes du milieu).

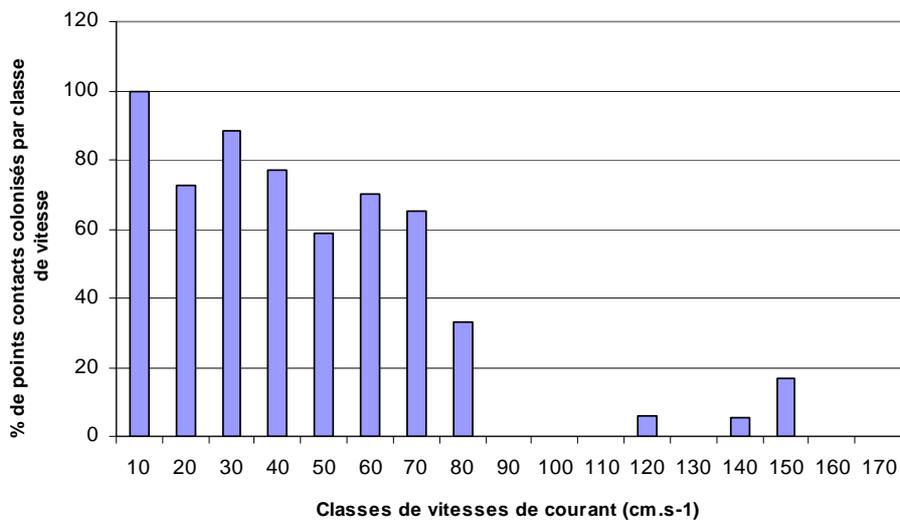


Figure 8 : Répartition de la végétation par classe de vitesses à Gardonne

- Profondeur/Hauteur d'eau

D'après les tests effectués sur l'ensemble des données, ce paramètre est parmi les plus importants pour prédire la présence de végétaux ; certainement car il est très corrélé d'une part à la vitesse du courant et d'autre part à la quantité de lumière qui parvient aux végétaux.

Sur l'ensemble des stations, les prélèvements ont été réalisés jusqu'à 3,8 m de profondeur et on n'a plus de végétation au-delà de 3,5 m, 2,7 m pour Gardonne (Figure 9). Sur Gardonne on remarque que les classes de profondeurs les plus colonisées ne sont pas les plus faibles, comme on pouvait s'y attendre, mais les classes intermédiaires (1,2 m de profondeur). Ceci s'explique par la présence de renoncule aquatique (*Ranunculus fluitans*) qui constitue l'essentiel du recouvrement et qui de par ses dimensions (parfois plus de 5 m de long pour 2 m de large) nécessite une profondeur suffisante pour se développer entièrement.

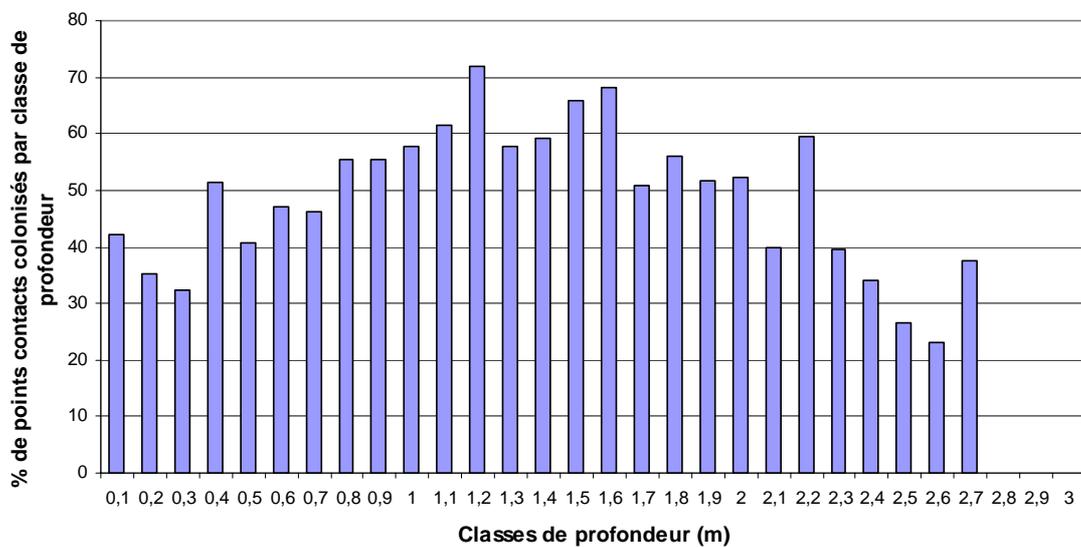


Figure 9 : Répartition de la végétation en fonction de la profondeur

On a montré pour les relevés printaniers/estivaux (développement maximum de la végétation) qu'au-delà d'1,50 m de profondeur, il y a une grosse perte de biodiversité. En particulier on ne retrouve plus d'espèces libres ou flottantes (la plupart des algues, les lentilles d'eau), ou d'espèces présentant des feuilles flottantes entières (plus grande résistance au courant). Dans les zones profondes on a plus que des plantes avec des traits biologiques tels qu'un système racinaire important et des feuilles très découpées.

Différents paramètres physiques semblent donc expliquer la répartition et la dynamique de la végétation. Parmi ceux-ci, les hauteurs d'eau et les vitesses de courant pourront être utilisées pour prédire la présence de la végétation. Du fait de la saisonnalité marquée (au moins des phanérogames) on pourra utiliser la température comme paramètre saisonnier.

4. Etude de l'influence des macrophytes sur les écoulements

Ce travail s'est essentiellement concentré sur la station de Gardonne, la plus riche en végétation et en données disponibles. Il se compose de deux volets : un volet d'analyse en monodimensionnel, portant sur les valeurs moyennes de hauteurs et vitesses à l'échelle de la station et un volet d'analyse en 2D permettant de détailler à échelle fine.

4.1. Etude de l'évolution des hauteurs et vitesses moyennes à la station

Nous avons cherché à établir les lois d'évolution des hauteurs d'eau et des vitesses en fonction des débits à l'échelle spatiale de la station « végétation », c'est-à-dire sur le tronçon correspondant à l'emprise des transects suivis par l'équipe de Bordeaux (5 sur les stations Dordogne, 3 sur les stations Garonne), en essayant de les relier aux descripteurs de l'importance de la végétation.

Cette démarche devait également servir à transformer ensuite le signal hydrologique en signaux hydrauliques (hauteur, vitesse...), ce qui nécessite de pouvoir couvrir toute la gamme des débits s'écoulant dans le lit mineur et même au-delà du débordement. Cette démarche n'a été menée que sur la station de Gardonne où nous avons pu déterminer le débit de plein bord et prolonger les relations $H(Q)$ et $V(Q)$ après débordement, en nous appuyant sur les courbes de tarage et les données de jaugeages à la station hydrométrique DIREN fournies par le SPC Dordogne.

4.1.1 La Dordogne à Gardonne : analyse des valeurs moyennes à la station

Regard préliminaire sur les courbes de tarage à la station limnigraphique :

La seule visualisation des courbes de tarage à la station hydrométrique fournies par les gestionnaires est éloquent : rien qu'entre 2003 et 2005 ils ont dû utiliser 9 courbes de tarage différentes, essentiellement pour tenir compte de l'influence de la végétation en période estivale.

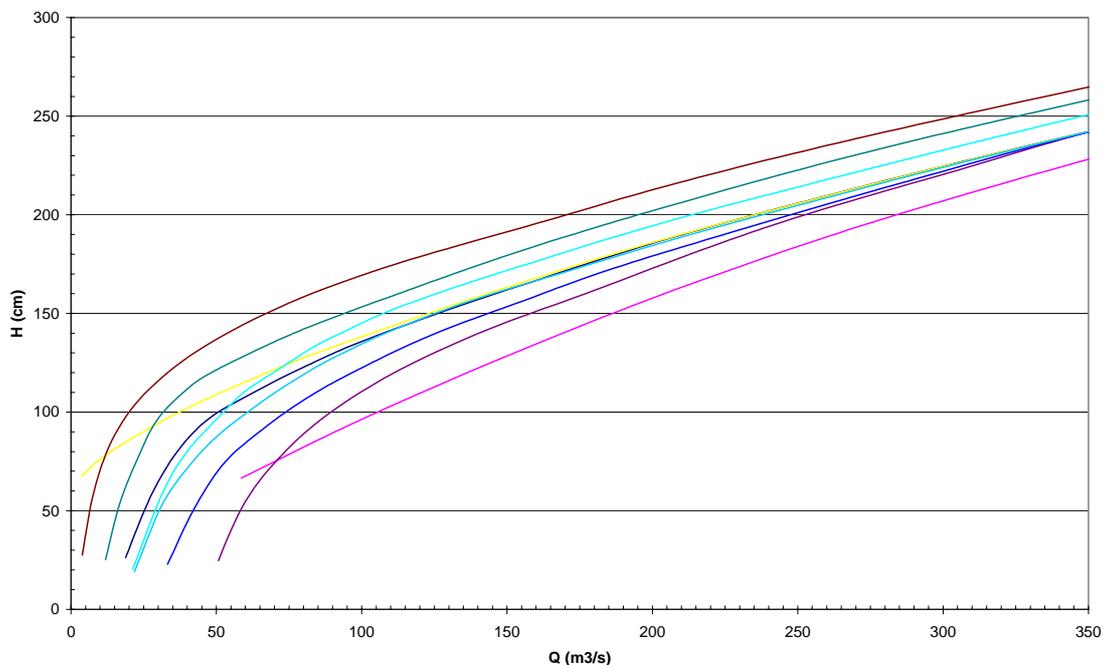


Figure 10 Les différentes courbes de tarage utilisées à la station de Gardonne (zoom sur les faibles débits)

Dans les faibles débits, on note des écarts pouvant atteindre les 80 cm de hauteur pour un même débit. Cet effet s'estompe quand le débit augmente.

Il apparaît d'ores et déjà qu'il n'y aura pas, à l'échelle de la station « végétation » (emprise des 5 transects suivis) UNE mais DES lois de géométrie hydraulique (au moins pour les faibles débits) reliant les grandeurs hydrauliques au débit. C'est pourquoi nous ne pourrions nous contenter de 2 débits et nous devons faire appel à l'ensemble des mesures disponibles même si elles sont moins précises.

A l'échelle spatiale de la station végétation

Les données utilisées sont issues des diverses campagnes de terrain réalisées entre mai 2003 et novembre 2005. Les jeux de données sont de deux types : d'une part le jeu de données issu des suivis végétation et d'autre part les levés bathymétriques et topographiques effectués en 2005. Le premier est constitué par les données récoltées le long de 5 profils transversaux et fournissent, pour chaque date, des variables reflétant l'état de la végétation, synthétisé sur la station par deux types de variables (le taux de point-contact colonisés et le taux de recouvrement – cf annexe 2) et des variables de hauteurs d'eau mesurées sur le manche du rateau gradué (précision de l'ordre de 10 cm), ainsi qu'une caractérisation du substrat. De façon moins complète, ils proposent également des valeurs de vitesse mesurées à l'ADCP ou plus rarement au courantomètre. Ces mesures ont été réalisées à différentes périodes de l'année dans des conditions de débit et de couverture végétale variées, mais restant la plupart du temps dans la gamme des débits « faibles » (sur 16 campagnes une seule a eu lieu à un débit supérieur au débit moyen de la rivière : 335 m³/s en janvier 2005).

Les données topographiques ont été levées le long de 12 profils transversaux espacés de 70 à 100 m. Cinq d'entre eux (numérotés T1 à T5) correspondent aux profils végétation. Pour chacun des 12 profils, la cote de l'eau (« fleur d'eau » gauche et droit) a été levée à deux débits (le 21-22/03/2005 ainsi que le 30/11/2005 en ajoutant des transects intermédiaires, pour les besoins de la modélisation 2D). Les levés ont été effectués grâce à un tachéomètre en ce qui concerne les berges et les cotes de l'eau, le fond du lit mineur provenant des relevés effectués à l'ADCP, le raccordement s'effectuant au niveau des « fleurs d'eau ».

Les levés topographiques ont été entrés dans le logiciel AM0 mis au point à HHLY, qui permet une visualisation et le calcul rapide de la géométrie du lit. Un gros travail de « nettoyage » manuel des profils a été nécessaire pour éliminer le « bruit » des profils ADCP. Par la suite, en faisant correspondre les hauteurs max mesurées lors des campagnes végétation aux points bas des profils topographiques (dénommés « axes »), la cote de l'eau a pu être déterminée pour chacune des campagnes végétation. La largeur, le périmètre mouillé et la section au droit des cinq profils végétation ont alors pu être déterminés grâce à AM0. La section ainsi calculée a été ensuite utilisée pour recalculer toutes les vitesses de manière cohérente et complète.

Comme indiqué au chapitre « Données », nous avons choisi de retenir comme valeur de débit associée aux autres paramètres relevés, de préférence le débit mesuré à l'ADCP lors de la campagne terrain lorsqu'il est apparu fiable, et à défaut, le débit journalier issu de la banque HYDRO. Voir en annexe 5 le tableau récapitulatif pour toutes les stations.

Les hauteurs et les vitesses moyennes des cinq profils végétation ont été rassemblées pour obtenir la hauteur et la vitesse moyenne à l'échelle de la station. Celles-ci ont ensuite pu être associées aux débits (Figure 11 et 14).

Résultats sur les hauteurs

Les hauteurs moyennes ont été regroupées par saison afin de mettre en évidence l'influence de la végétation sur les hauteurs d'eau. On s'aperçoit directement que pour un débit donné, les courbes de printemps et d'automne sont caractérisées par des hauteurs d'eau plus importantes. En effet, c'est à ces périodes de l'année que la végétation est la plus développée. Les pourcentages de taux de recouvrement des phanérogames (figure 11) dépassent 15 % alors qu'ils sont rarement supérieurs à 5% en hiver et au printemps. Plutôt que la saison, c'est donc bien le taux de recouvrement qui semble être discriminant. Des tests ont également été réalisés avec le taux de points de contact végétalisés, mais ce dernier paramètre a été abandonné. En effet il ne tient compte que du nombre d'individus sans aucune notion de taille alors que le taux de recouvrement intègre le développement des plantes et, donc, rend mieux compte de la résistance offerte à l'écoulement, notamment par les phanérogames. C'est le taux de recouvrement par les phanérogames que nous utiliserons.

La Dordogne à Gardonne

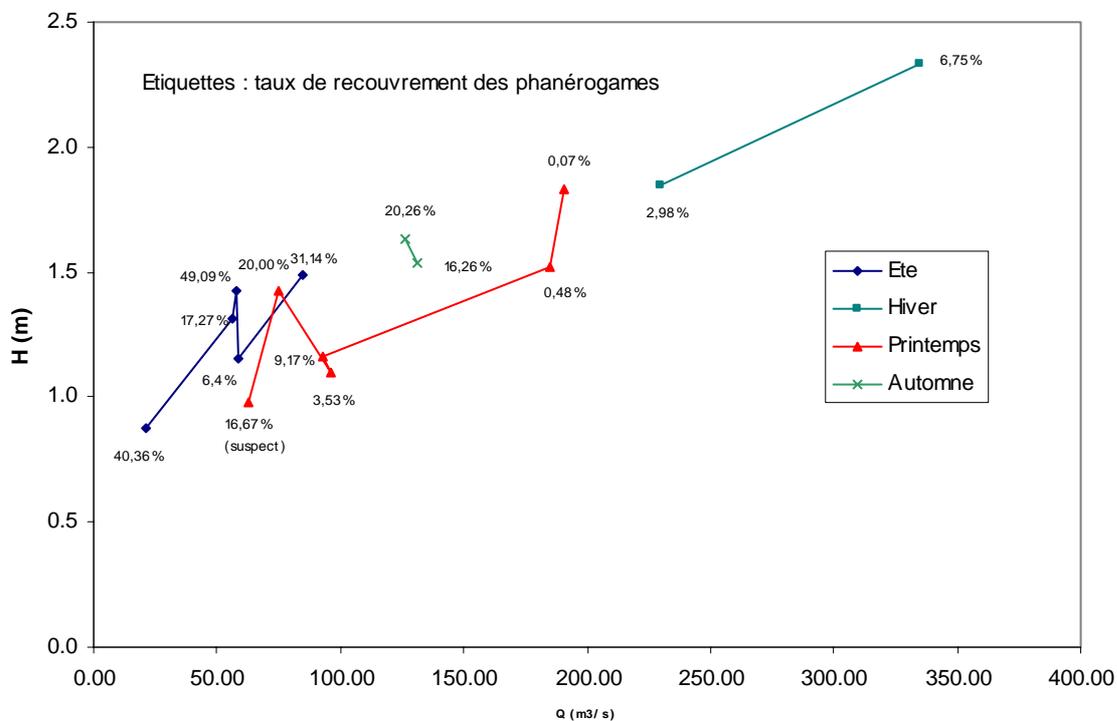


Figure 11 : Hmoy (Q) des campagnes de suivi « végétation » 2003-2005 à Gardonne. Les hauteurs correspondent à la moyenne des hauteurs à la station (moyenne des moyennes de chaque profil)

Notons que le premier point de la série printemps (17/06/2003) semble avoir des hauteurs d'eau relativement peu importantes pour un développement de végétation assez important (16%). Après vérification, ce point a été jugé peu fiable car les données de hauteur max, utilisées pour déterminer la cote de l'eau, semblent erronées (incohérences entre les transects). Ce point a été pour la suite retiré de l'analyse.

Comme au niveau de l'échelle limnimétrique à travers les différentes courbes de tarage, on voit clairement l'influence qu'a la végétation sur le régime d'écoulement. Schématiquement, on peut faire apparaître deux lois $H(Q)$: l'une que nous qualifierons de « sans végétation » qui peut être

appliquée lorsque le taux de recouvrement est inférieur à 10 % et l'autre, « avec végétation », qui doit être utilisée lorsque la végétation est bien développée (taux supérieur à 15%). Cf. figure 12.

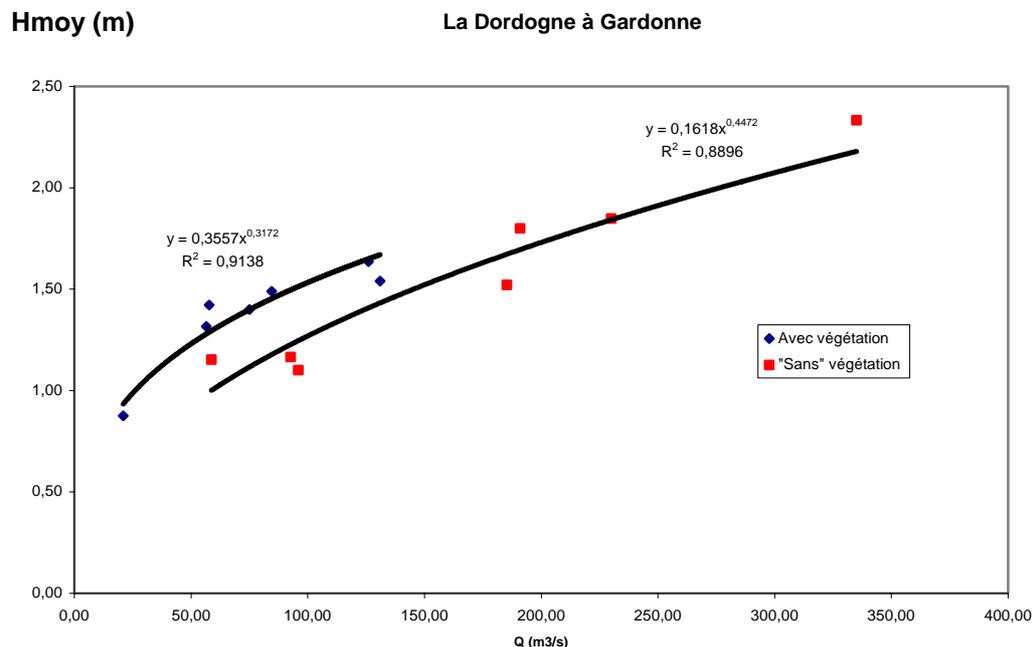


Figure 12 : Différenciation de deux lois H(Q) « avec » et « sans » végétation dans les faibles débits

Ceci étant, toutes les situations intermédiaires doivent exister et dans tous les cas la difficulté reste entière de savoir chaque année à quel moment il faut changer de courbe.

Dès lors, l'étude des chroniques de hauteurs qui sera menée par la suite pour mettre en évidence le rôle de l'hydrologie sur l'évolution de la population de macrophytes ne se basera pas sur ces lois H(Q) mais une loi permettant de passer directement des hauteurs d'eau enregistrées à l'échelle limnimétrique aux hauteurs d'eau moyennes sur les 5 transects.

En effet, cette échelle est située sur la pile d'un pont à une centaine de mètres à l'aval de la station étudiée et il existe une excellente corrélation ($r^2 = 0,94$) entre la hauteur moyenne de la station (5 transects végétation) et la hauteur lue à l'échelle. Les transects végétation ont pu, grâce à un plan du pont fourni également par le SPC Dordogne, être calés dans le même référentiel que celui de l'échelle limnimétrique ($H_{moy} = 0,9276 \times H_{\text{échelle}} + 0,111$). Cf. annexe 7.

Cette échelle nous a également permis d'estimer le débit plein bord. Nous avons pu appliquer la méthode dite des « profils en long »: on trace le profil en long des points « bord de berge » (retenus comme représentant le niveau à pleins bords) de la berge la plus basse (sur Gardonne, c'était la berge droite) et on recherche l'intersection avec l'échelle (figure 13). Il suffit de lire ensuite sur la courbe de tarage le débit correspondant. Ce niveau est de 418 cm. Ce qui correspond, sur le barème de la courbe de tarage DIREN à un débit de 894 m3/s, que nous arrondirons à 900 m3/s.

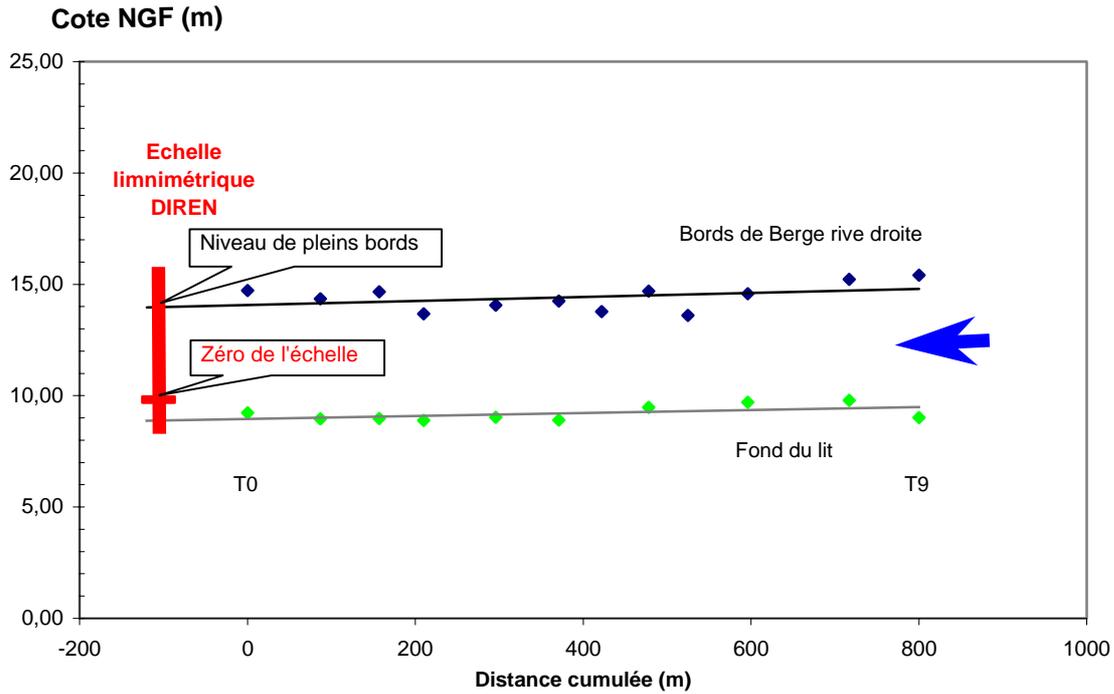


Figure 13 : Détermination du débit plein bord de la Dordogne à Gardonne

Résultats sur les vitesses

Une méthodologie similaire à celle présentée pour les hauteurs a été appliquée aux vitesses. Elles ont tout d'abord été regroupées selon la saison puis les taux de recouvrement des phanérogames ont été notés (figure 14). On constate cette fois que pour un débit donné, les vitesses sont logiquement plus faibles lorsque la végétation est bien développée. La distinction entre le groupe « avec végétation » et le groupe « sans végétation » est toutefois moins nette. L'écart entre les deux courbes est assez réduit.

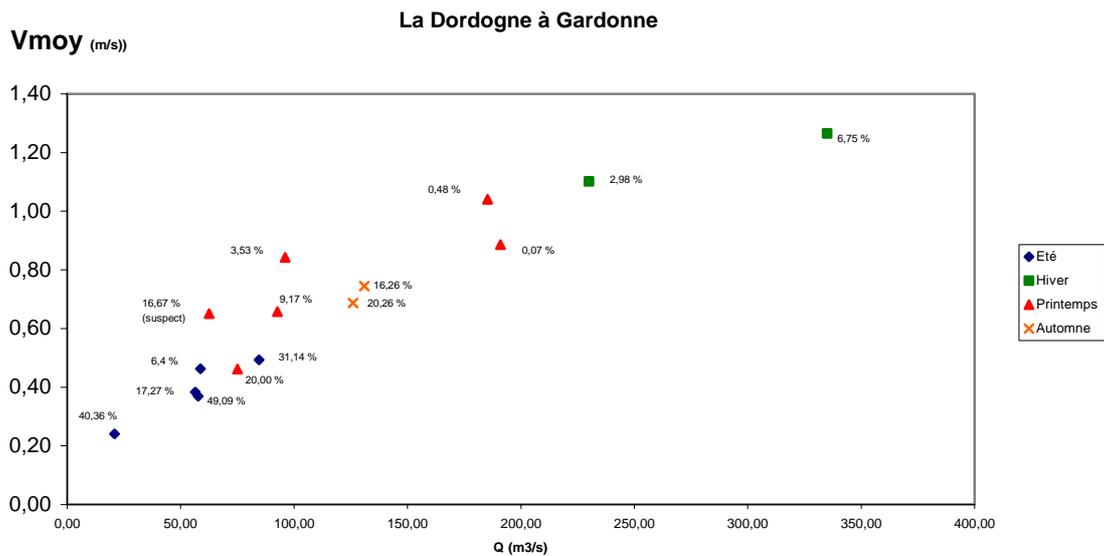


Figure 14 : Vmoy (Q) des campagnes de suivi végétation 2003-2005 à Gardonne (moyenne des vitesses moyennes dans chaque transect recalculées avec AM0 à partir des mesures de hauteur)

Dans la perspective de construire des chroniques $V(t)$ afin d'évaluer le rôle de la vitesse sur la végétation, il n'a cette fois pas été possible d'extraire directement les vitesses à partir des hauteurs lues à l'échelle. Nous avons donc proposé deux lois $V(Q)$, différenciées dans les faibles débits, l'une « avec végétation » et l'autre « sans végétation » (figure 15). Nous avons été confrontés à deux problèmes principaux : d'une part nos observations ne nous permettent pas de déterminer à quel endroit les courbes se rejoignent et d'autre part, toutes nos campagnes de mesure ont été réalisées lorsque les eaux étaient relativement basses.

Pour prolonger les courbes vers les valeurs de fort débit, nous avons utilisé le point « débit plein bord » ainsi que les informations de hauteurs et débits disponibles à la station HYDRO (courbe de tarage, jaugeages). A l'aide du logiciel de calcul d'hydraulique simplifié Canal9 de HHL Y, nous avons pu faire une estimation grossière de la vitesse moyenne dans le lit mineur.

L'intersection entre les courbes correspond en toute logique au seuil à partir duquel la végétation ne peut plus résister au courant. Bien que nous ne disposions pas d'observations aux valeurs seuils, en prolongeant la courbe « avec végétation », on peut penser que ce seuil se situerait entre 200 et 300 m^3/s c'est-à-dire à des vitesses de l'ordre de 1,25 m/s. La mesure des vitesses réalisée à l'ADCP propose une valeur légèrement supérieure. En effet, lorsqu'on observe les champs de vitesses et la distribution des macrophytes sur les transects, on ne trouve aucun phanérogame là où la vitesse est supérieure à 1,5 m/s. On peut donc en déduire qu'au delà de cette vitesse, les macrophytes ne peuvent se maintenir.

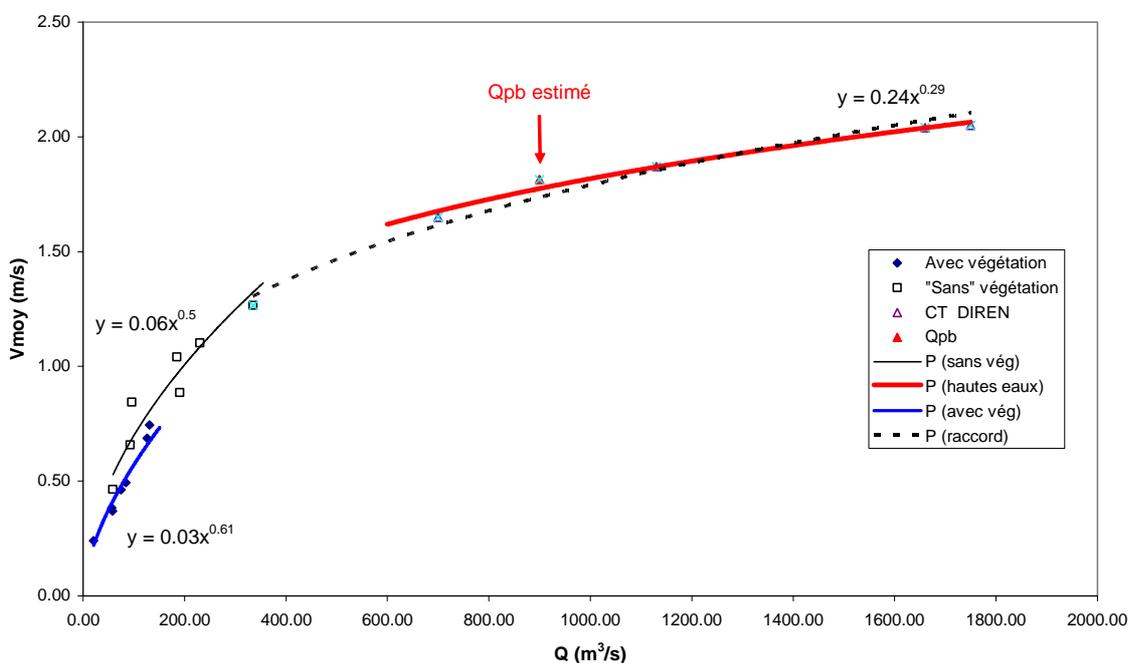


Figure 15 : Lois $V_{moy}(Q)$ sur toute la gamme des débits, différenciées en une courbe « avec » et une courbe « sans » végétation dans les faibles débits (jusqu'à 300 m^3/s)

Ces deux lois ont été ensuite passées en log pour avoir une expression unique de la vitesse en fonction du débit sur toute la gamme de débit et permettre de convertir aisément la chronique de débit en chronique de vitesse.

4.1.2. La Dordogne à Mouleydier : analyse des valeurs moyennes à la station

L'analyse des relations hauteur – débit et vitesse – débit sur les moyennes des valeurs mesurées lors des campagnes de suivi végétation menées entre 2003 et 2005 a été effectuée de la même façon que sur la station de Gardonne (5 transects suivis également) et rapportée au taux de recouvrement des phanérogames.

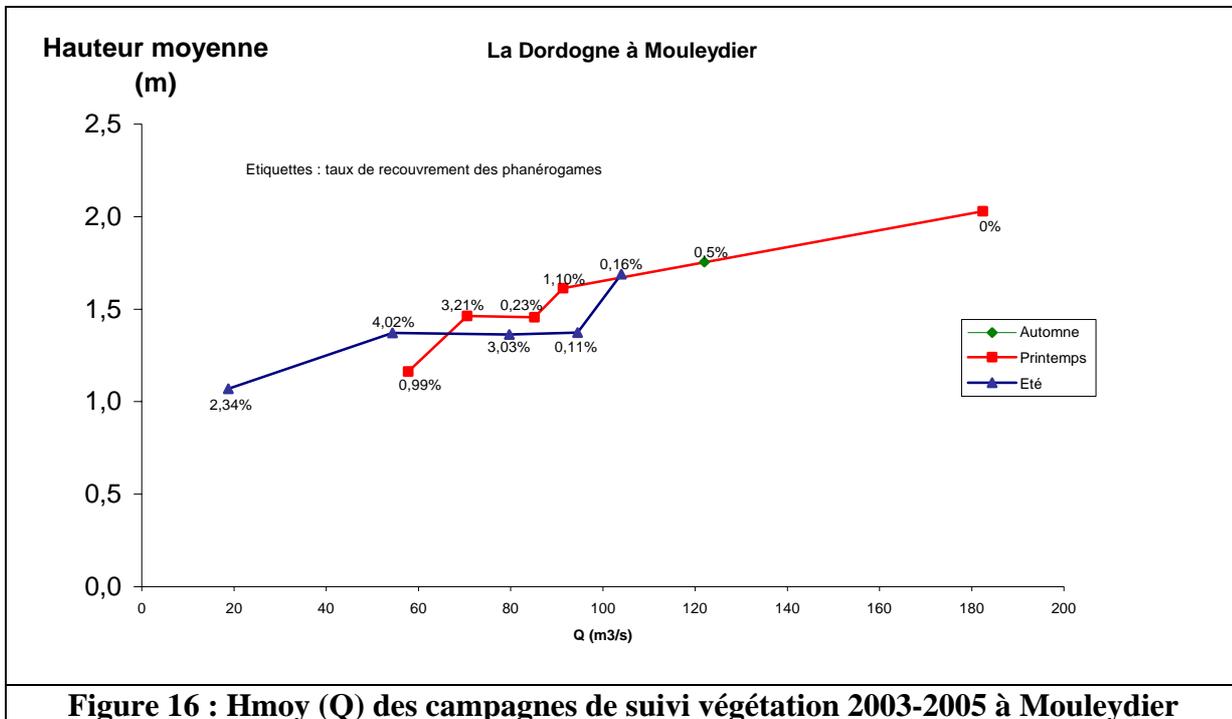


Figure 16 : Hmoy (Q) des campagnes de suivi végétation 2003-2005 à Mouleydier

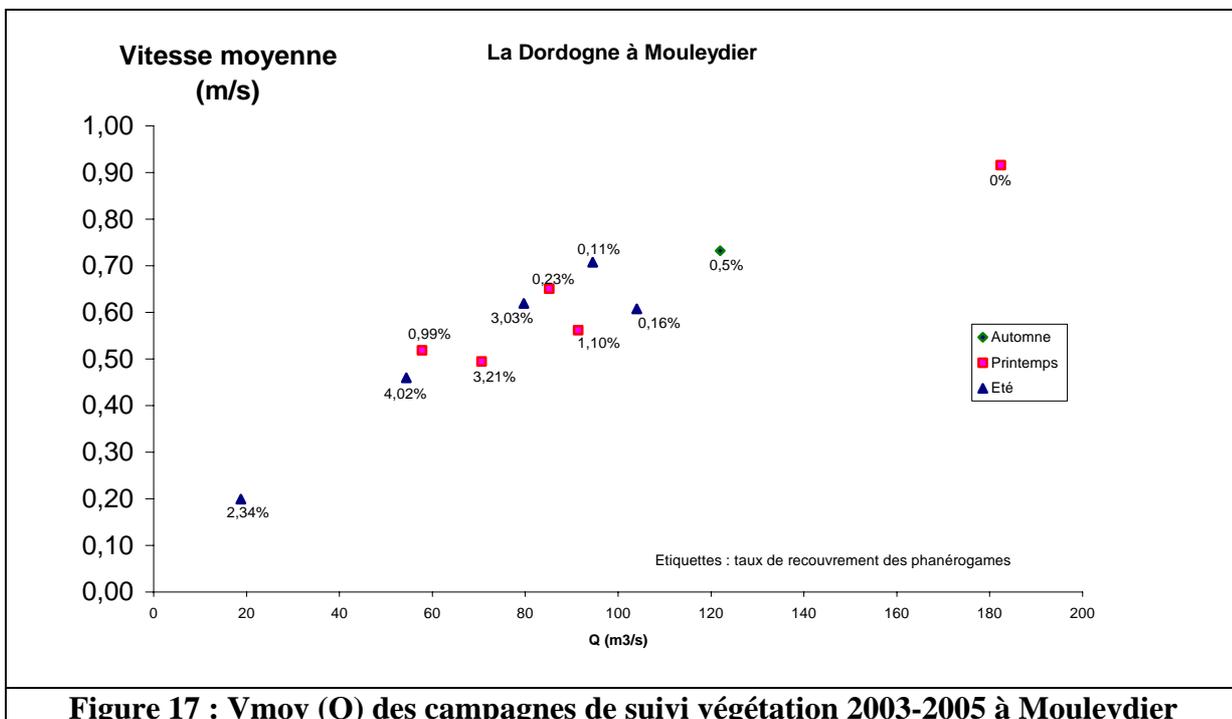


Figure 17 : Vmoy (Q) des campagnes de suivi végétation 2003-2005 à Mouleydier

On constate que les valeurs de taux de recouvrement de phanérogames observées (en 11 campagnes) sont toujours très faibles.

Par ailleurs, les deux débits auxquels ont été effectués les relevés de cote de la ligne d'eau (91,4 m³/s le 23 mars 2005 et 54,4 m³/s le 20 juillet 2005) sont trop proches pour pouvoir bâtir des lois H(Q) et V(Q) couvrant tout l'éventail des débits. Cf. annexe 4. Les tentatives de reconstituer des lignes d'eau à des débits forts via une modélisation hydraulique ont été vaines : la pente est très faible et les influences aval sont prépondérantes pour déterminer le niveau d'eau.

Nous n'avons dès lors pas pu poursuivre l'établissement des lois de géométrie hydraulique.

4.1.3 La Garonne à Castelsarrasin : analyse des valeurs moyennes à la station

Sur les stations Garonne les suivis 2003-2005 n'ont porté que sur 3 transects. A Castelsarrasin ont été effectuées 11 campagnes de mesures.

L'analyse des hauteurs et vitesses moyennes sur l'ensemble de la station rapportées au taux de recouvrement des phanérogames est présentée dans les graphiques ci-dessous.

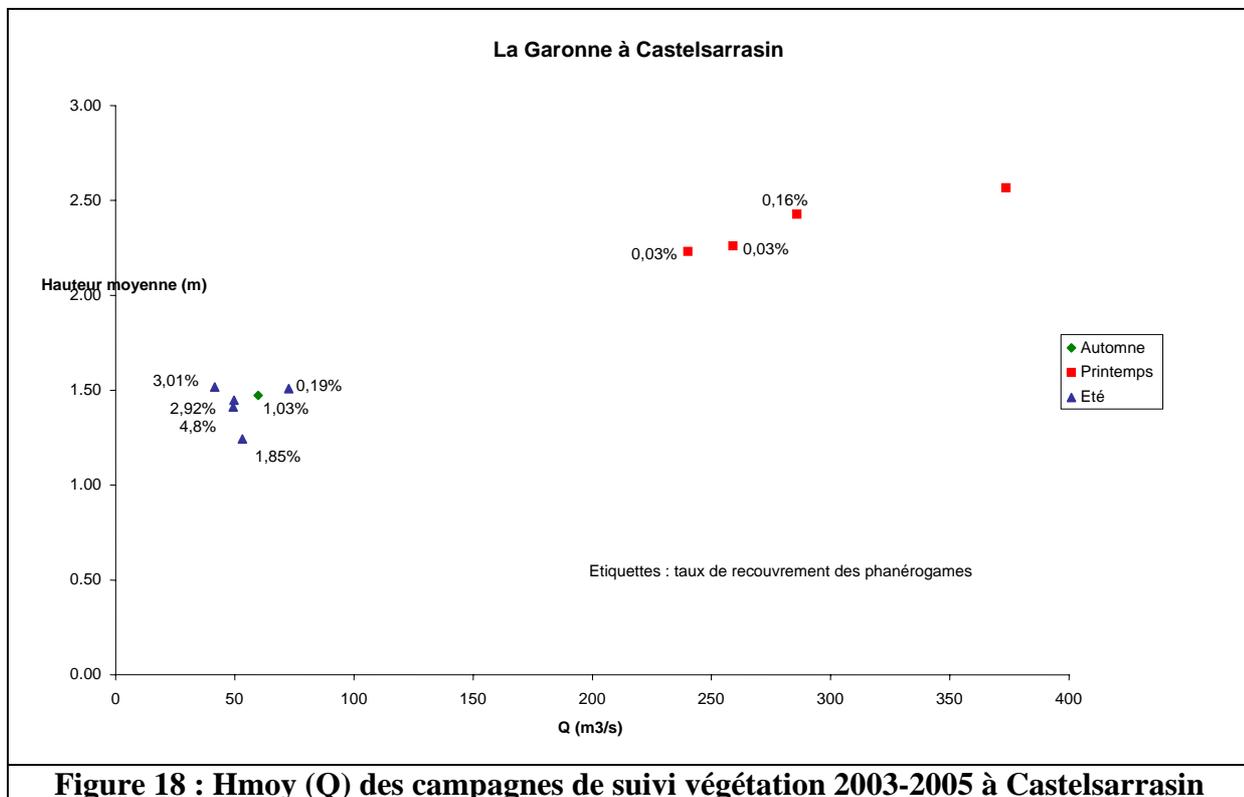


Figure 18 : Hmoy (Q) des campagnes de suivi végétation 2003-2005 à Castelsarrasin

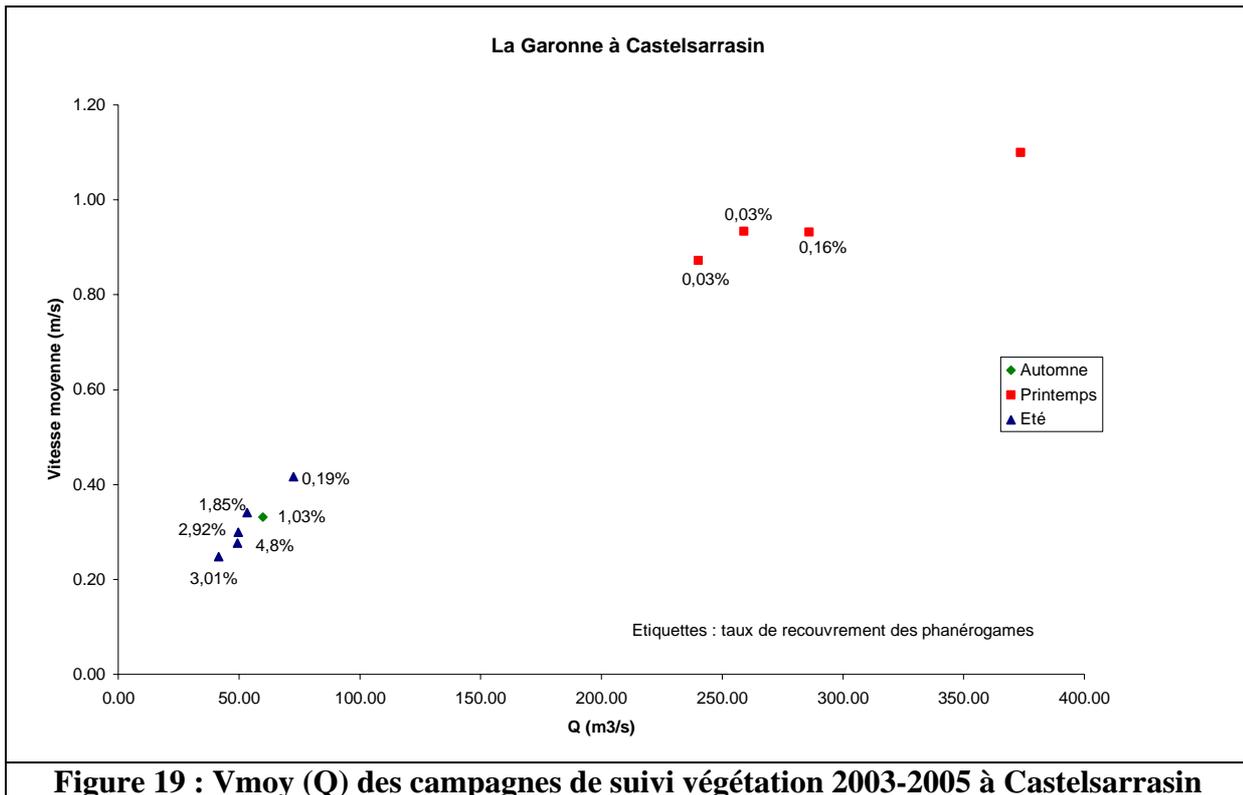


Figure 19 : V_{moy} (Q) des campagnes de suivi végétation 2003-2005 à Castelsarrasin

Comme à Mouleydier, on constate que les valeurs de taux de recouvrement de phanérogames observées (en 11 campagnes) sont toujours très faibles.

Par ailleurs, les deux débits auxquels ont été effectués les relevés de cote de la ligne d'eau (354 m³/s les 27 et 28 avril 2005 et 49,7 m³/s le 19 juillet 2005), bien que plus distincts sont encore trop proches, eu égard de la taille du lit, pour pouvoir bâtir des lois H(Q) et V(Q) couvrant tout l'éventail des débits. Cf. annexe 4.

Nous n'avons pas pu poursuivre l'établissement des lois de géométrie hydraulique aaaaau tronçon.

4.1.4 La Garonne à Lamagistère : analyse des valeurs moyennes à la station

L'analyse des hauteurs et vitesses moyennes sur l'ensemble de la station rapportées au taux de recouvrement des phanérogames est présentée dans les graphiques ci-dessous.

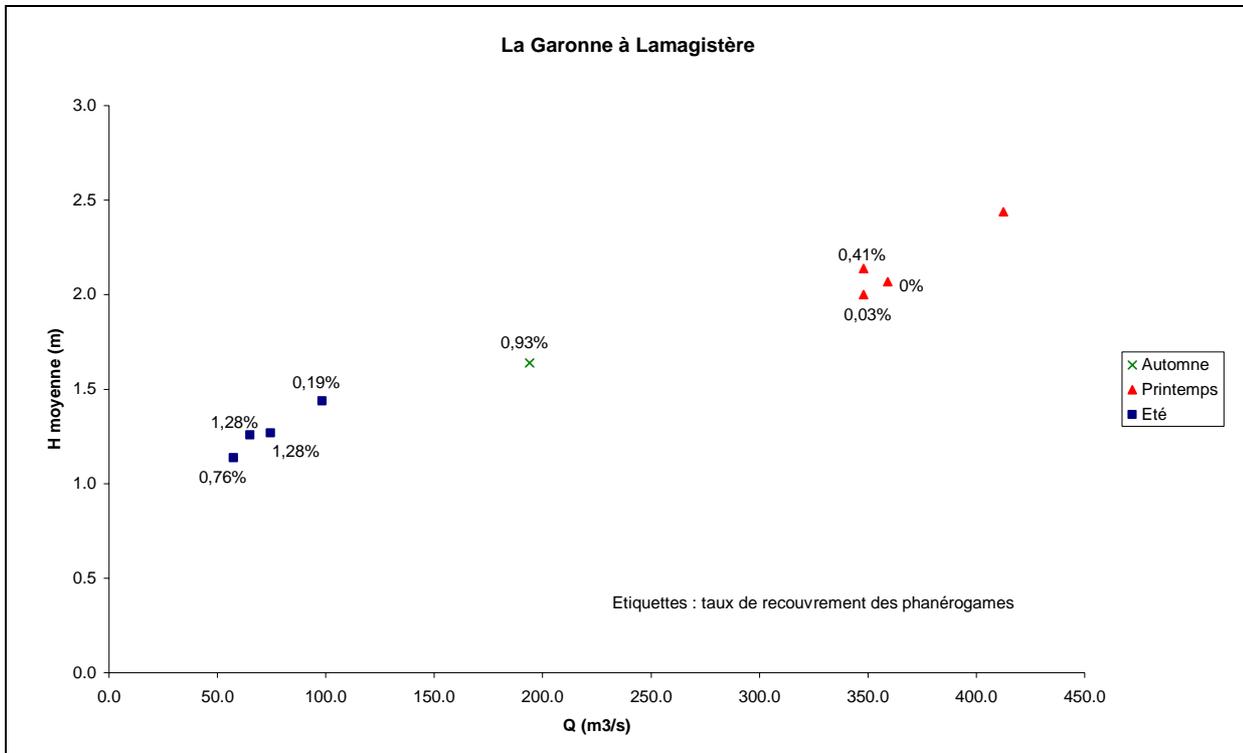


Figure 20 : Hmoy (Q) des campagnes de suivi végétation 2003-2005 à Lamagistère

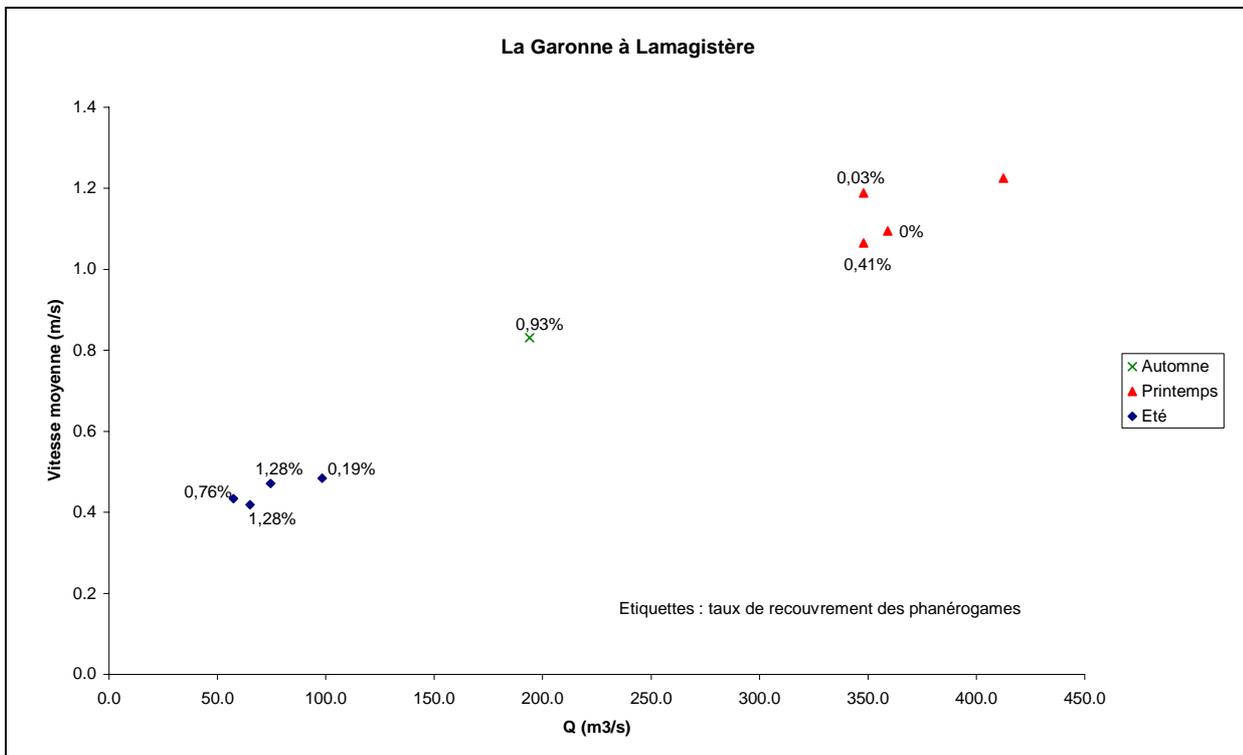


Figure 21... : Vmoy (Q) des campagnes de suivi végétation 2003-2005 à Lamagistère

Là aussi, on constate que les taux de recouvrement de phanérogames observés lors de toutes les campagnes sont très faibles, quelle que soit la saison.

Dans le cas de Lamagistère, comme à Gardonne, une station HYDRO se trouve à proximité immédiate et devrait permettre d'estimer une valeur du débit plein bord (bien que peu représentative, car située en zone urbaine avec des quais « en dur », à des niveaux différents, qu'on n'a pas sans doute pas bien différenciés lors de la topo). Dans ces conditions on se contentera d'une estimation grossière : on adoptera comme niveau de plein bord, la cote 5m à l'échelle, ce qui correspond sur la courbe de tarage un débit de 2520 m³/s.

Faute de phanérogames et faute de pouvoir effectuer des comparaisons avec l'autre station Garonne, on s'est arrêté là.

4.2. Modélisation bidimensionnelle de la station de Gardonne

Lors des campagnes de terrain de mars 2005 et novembre 2005, des profils de vitesse ont été levés grâce à un profileur ADCP : 12 profils répartis de l'amont à l'aval de la zone avec un espacement de 50 mètres environ ont été levés en mars et 10 profils espacés d'environ 10 mètres et centrés sur la zone de profils de végétation ont été levés en novembre 2005. Guillaume Dramais qui avait effectué les mesures sur le terrain a mis en forme ces données. Une validation puis une moyenne sur la verticale effectuée par Jérôme Le Coz a permis d'obtenir des vitesses comparables aux résultats d'un modèle hydraulique bidimensionnel.

Le modèle bidimensionnel qui a été bâti s'est basé sur les données topographiques de ces levés pour définir la topographie du lit de la Dordogne. 231 sections comportant chacune 41 points ont été interpolées en se fondant soit sur la bathymétrie acquise lors des 22 levés de profils de vitesse soit sur la topographie de points de berge acquise par ailleurs par des levés terrestres. Le maillage obtenu (figure 22) à partir de ces sections interpolées comprend finalement 8315 mailles (quadrilatères ou triangles) dont la longueur de côté est de l'ordre de 5 mètres.

Pour les deux événements observés, on a supposé que le débit dans la Dordogne était constant et égal à la moyenne des valeurs issues de l'intégration des profils ADCP soit 92,72 m³/s en mars et 80,16 m³/s en novembre.

Les frottements au fond ont été définis en fonction de l'abondance des macrophytes en faisant correspondre à chaque point de prélèvement une zone d'influence au maximum de l'ordre de 50 mètres en longueur (pour couvrir la totalité de la zone où les profils de végétation étaient effectués) et en affectant à chaque maille la classe d'abondance du point de prélèvement le plus proche (figure 23). La gamme de coefficients de frottement (Strickler) utilisée est :

Strickler (m ^{1/3} /s)	35	25	20	15	10	5
Classe d'abondance	0	1	2	3	4	5

La valeur de 5 pour la classe d'abondance 5 revient à négliger l'écoulement (la part de débit) traversant les zones de plus forte occupation par les macrophytes. En fonction de la valeur de Strickler la plus forte choisie (pour l'absence de macrophytes), les valeurs intermédiaires se déduisent d'une combinaison de Stricklers basée sur l'affectation d'un % d'occupation de l'espace à chaque classe d'abondance. D'autres combinaisons de valeurs ont été testées ainsi que d'autres exploitations des données sur les végétaux mais elles apparaissent plus arbitraires et pas forcément plus pertinentes. Par ailleurs (amont et aval de la zone des profils de végétation), le frottement a été fixé à un Strickler de 30 ; cette valeur est celle qui permet d'obtenir des niveaux d'eau équivalents à

ceux observés lorsqu'elle est appliquée uniformément sur tout le bief (donc sans modulation par l'abondance de végétation). Dans le cas où on tient compte de la végétation avec la gamme de frottements proposée ci-dessus, la perte de charge est plus forte dans la zone des profils de végétation et le niveau d'eau est donc plus élevé que celui qui résulte des observations². Pour observer l'effet de la végétation sur le profil de vitesses, on a sélectionné l'abondance observée en novembre (légèrement plus forte et assez similaire en localisation à celle de mars ; le choix de novembre 2005 résulte de la plus forte densité de profils de macrophytes à cette date). On a alors comparé les profils de vitesse entre cette modélisation et celle avec un frottement uniforme (Strickler de 30, dénommé "calcul de base").

Les figures 24 et 25 montrent une meilleure adéquation sur le profil aval de végétation (P1) lorsque la végétation est introduite. Cette adéquation semble moins évidente sur la figure 5 qui montre le profil P3 au centre de la zone, le développement de la végétation étant vraisemblablement surestimé au centre du profil. Plus globalement (figures 6 et 7), le champ de vitesses est très similaire entre les deux calculs même si on observe dans le calcul de base des hauteurs d'eau plus faibles et des vitesses plus fortes (en moyenne), ce qui est en accord avec un frottement en moyenne plus faible.

Pour compléter cette impression de restitution de champ de vitesses, on a calculé la moyenne et l'écart type des différences entre champ de vitesses mesuré (moyennes sur la verticale validées) et calculé pour les deux calculs et les deux événements de mars et novembre 2005 en retenant d'une part le seul profil P1 et d'autre part l'ensemble des profils de vitesse mesurés (tableaux 1a et 1b). La meilleure adéquation pour le frottement varié au profil 1 ne semble pas se généraliser à l'ensemble du bief sans qu'il soit possible de proposer des causes avérées : description insuffisante de la végétation, niveau d'eau trop haut en allant vers l'amont, etc

Nous avons ensuite utilisé le modèle pour des débits différents plus élevés pour déterminer les champs de vitesse dans l'ensemble du tronçon. Les figures 8 et 9 montrent que la forme des résultats au profil P1 n'est pas dans le calcul sensible au débit. Dans la réalité, l'abondance des macrophytes et leur résistance à l'écoulement étant liées, on devrait avoir une déformation des profils de vitesse, ceci étant évidemment vérifié aux fortes vitesses si les macrophytes sont arrachés conduisant à une homogénéisation des vitesses dans le profil en travers.

Enfin, à partir des champs de vitesse calculés, nous avons estimé sur l'ensemble des 5 profils de végétation la moyenne et l'écart type de la vitesse afin de comparer aux valeurs issues des mesures pour différents débits. Le tableau 2 montre que :

- le calcul à frottement varié donne des vitesses en moyenne plus faibles que le calcul à frottement constant et que les mesures, ce qui est cohérent avec des niveaux d'eau trop hauts et un frottement en moyenne trop fort
- en général, le calcul à frottement constant donne une moyenne légèrement plus faible mais un écart type plus fort que les mesures ; le sens et l'ordre de grandeur des différences sont cohérentes avec la différence d'échantillonnage entre les deux méthodes (équirépartition par le calcul, plus faible représentation des faibles profondeurs et faibles vitesses dans la mesure)
- cette comparaison menée sans positionner les vitesses donne des résultats totalement différents du tableau 1 où les vitesses calculée et mesurée étaient comparées pour une même position en plan (donc sur un nombre réduit de points). En particulier, pour novembre 2005 (80 m³/s), les tableaux 1 et 2 donnent des résultats si différents qu'ils incitent à la prudence.

² La gamme de Stricklers (40/38/35/32/20/10) qui a une différenciation des Stricklers du même ordre que la gamme retenue donne également une différenciation des vitesses nette (acceptable) mais pour une vitesse moyenne plus forte qui ne semble pas plus pertinente (au profil P1) bien que les niveaux d'eau amont soient mieux restitués.

Conclusions

La prise en compte de l'abondance des macrophytes à travers un coefficient de frottement au fond a permis de restituer la dissymétrie des profils de vitesse. Les divergences constatées entre mesures et calculs peuvent être expliquées par l'erreur sur la localisation des différentes classes d'abondance. Pour confirmer ou infirmer ce résultat remarquable d'adéquation entre classe d'abondance et coefficient de frottement, des mesures devraient être effectuées pour d'autres débits sur le même site (Gardonne) et sur d'autres sites. Si la densité de points de mesure des macrophytes semble suffisante (plus de points qu'indispensable sur un profil en travers et espacement de 10 mètres optimal sur le profil en long), une localisation plus précise dans l'espace serait nécessaire (GPS par exemple). Il est également souhaitable d'effectuer plusieurs (au moins deux?) fois chaque profil de vitesse ADCP pour pouvoir disposer de profils validés plus complets.

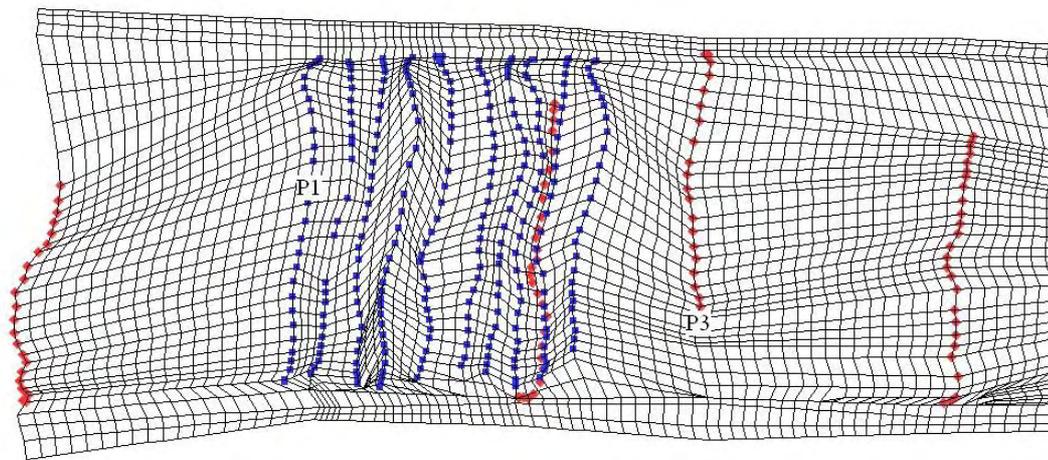


Figure 22 : Aval du maillage et profils en travers de vitesses de mars (en rouge) et de novembre 2005 (en bleu)

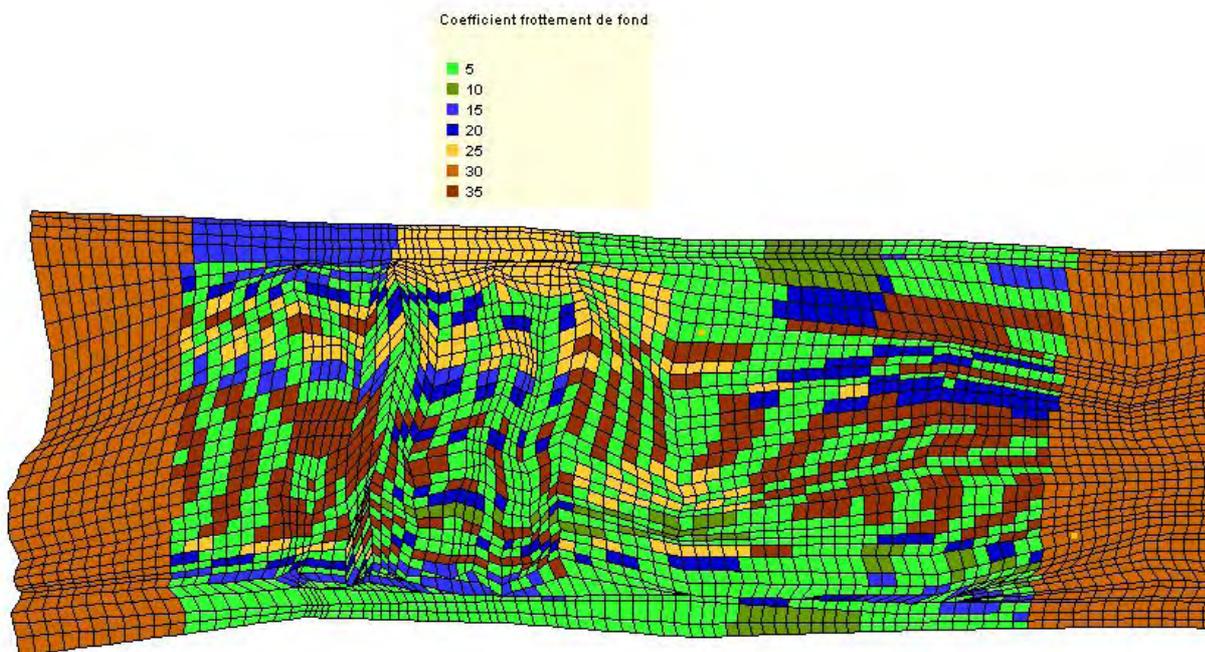


Figure 23 : Frottements au fond

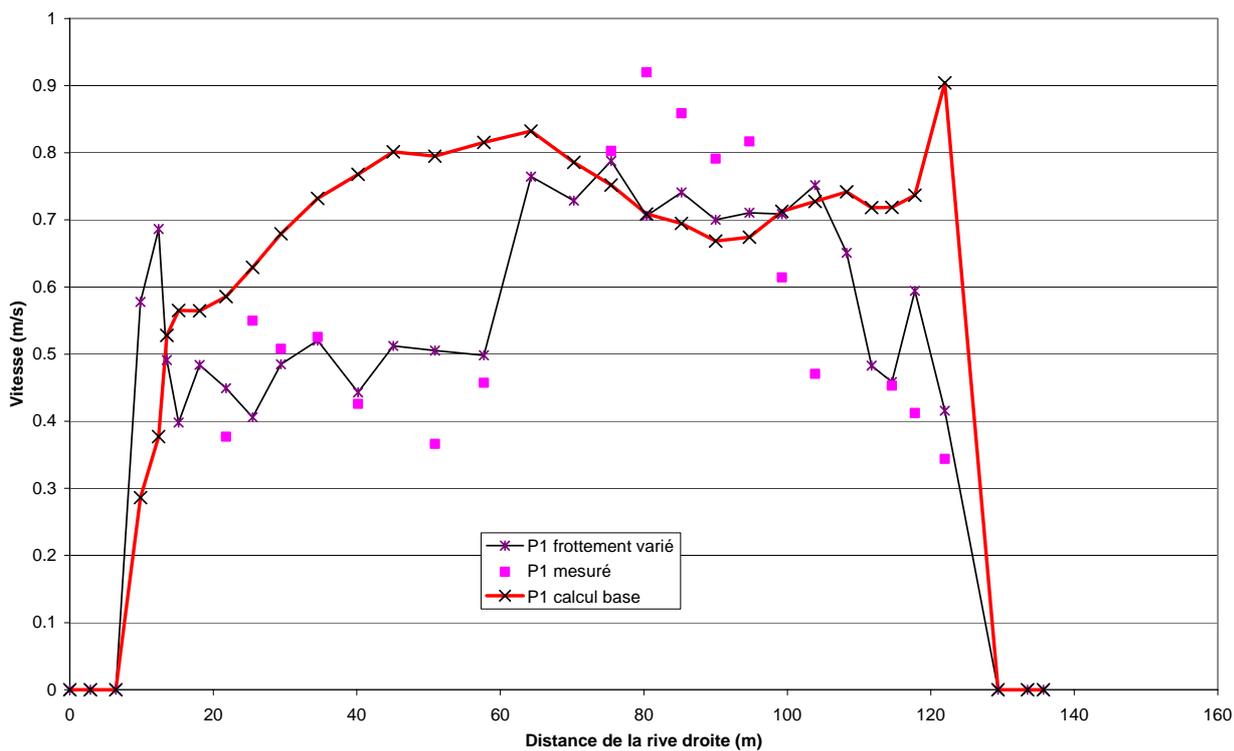


Figure 24 Profil en travers des vitesses sur la section P1 (mars 2005)

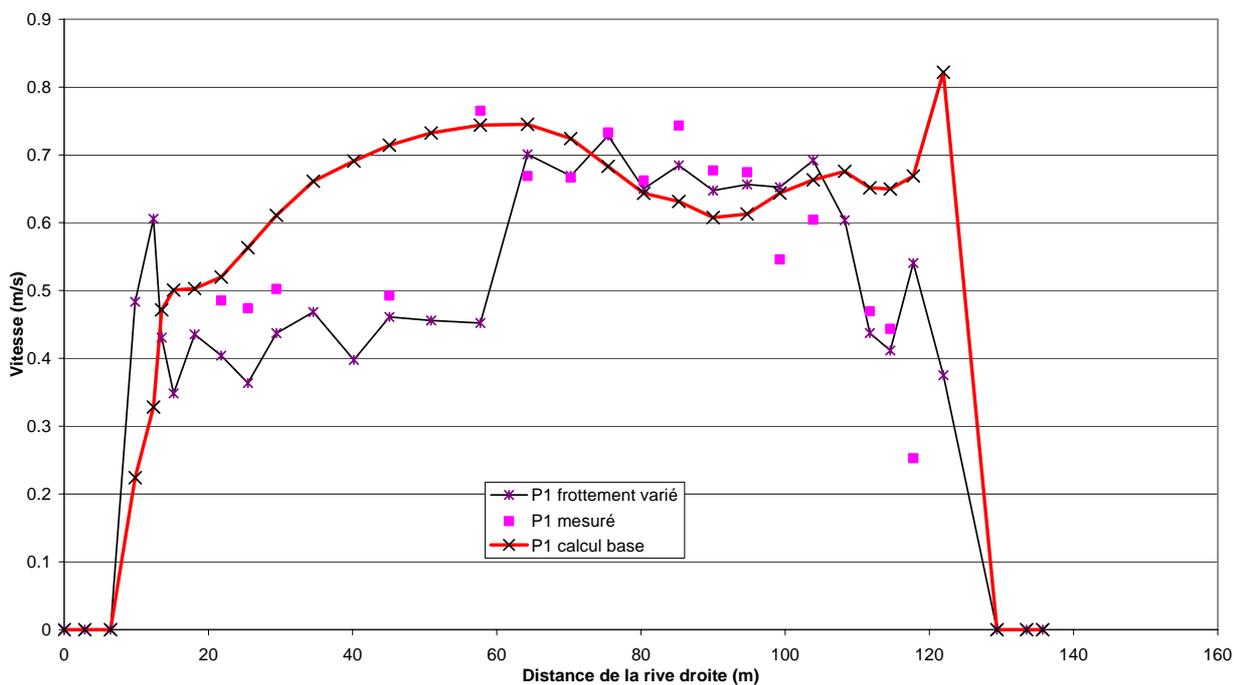


Figure 25 Profil en travers des vitesses sur la section P1 (novembre 2005)

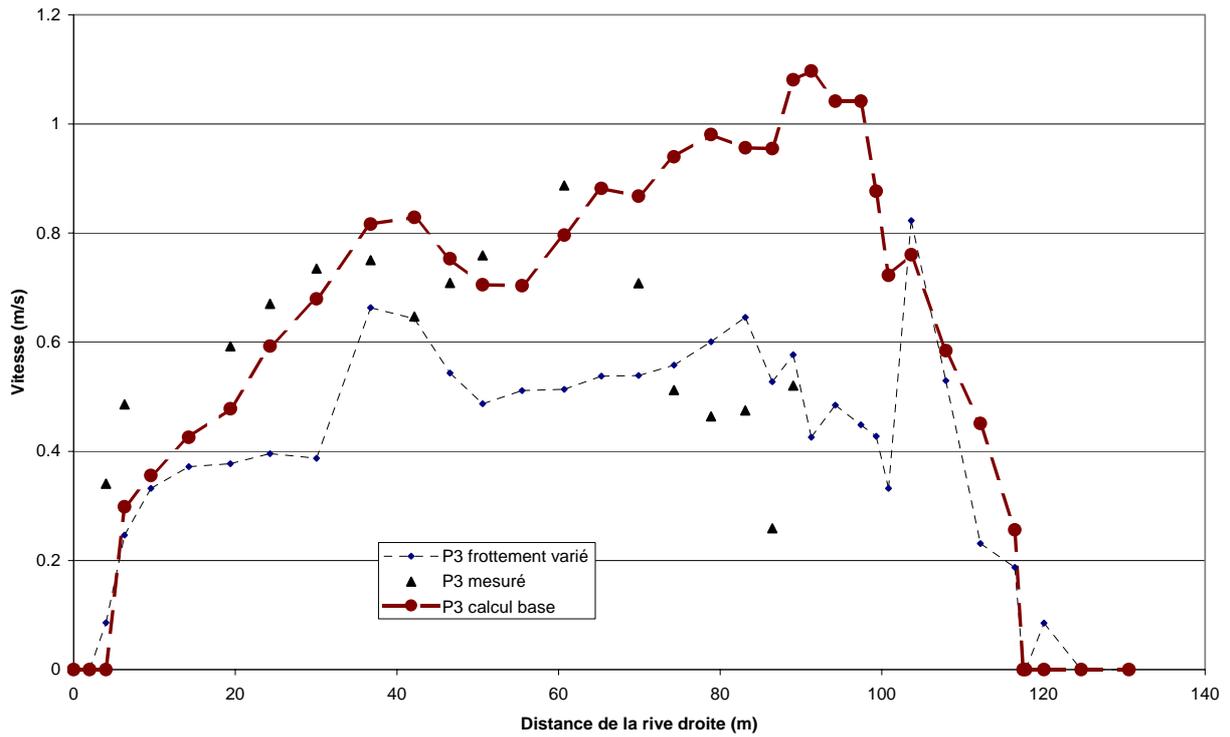


Figure 26 Profil en travers des vitesses sur la section P3 (mars 2005)

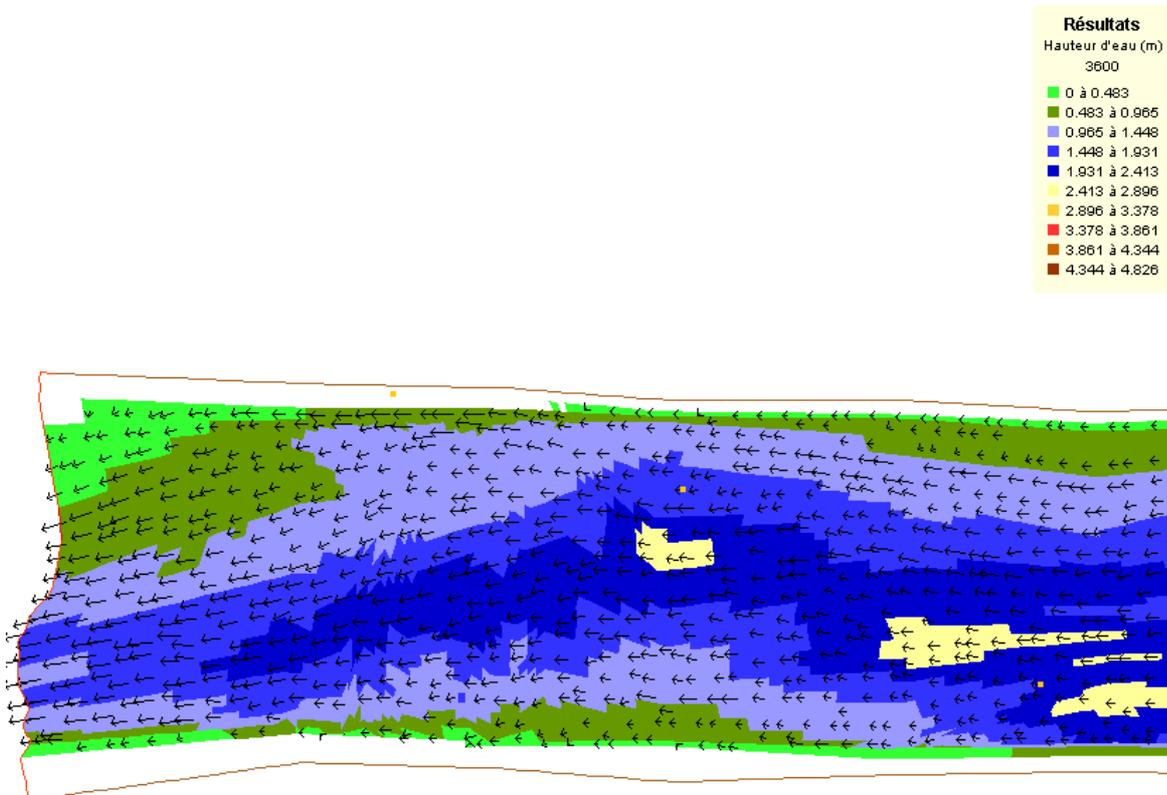


Figure 27 Champ de vitesse modélisé (mars 2005)

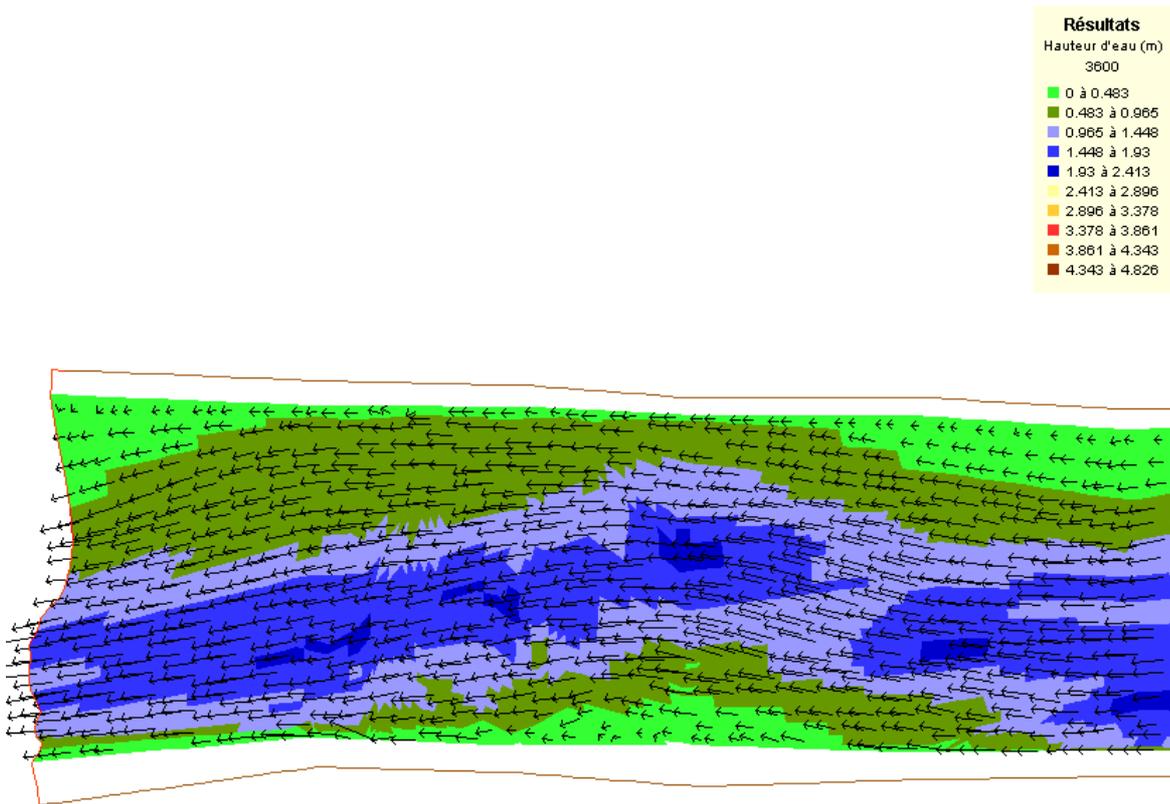


Figure 28 Champ de vitesses pour le calcul de base (mars 2005)

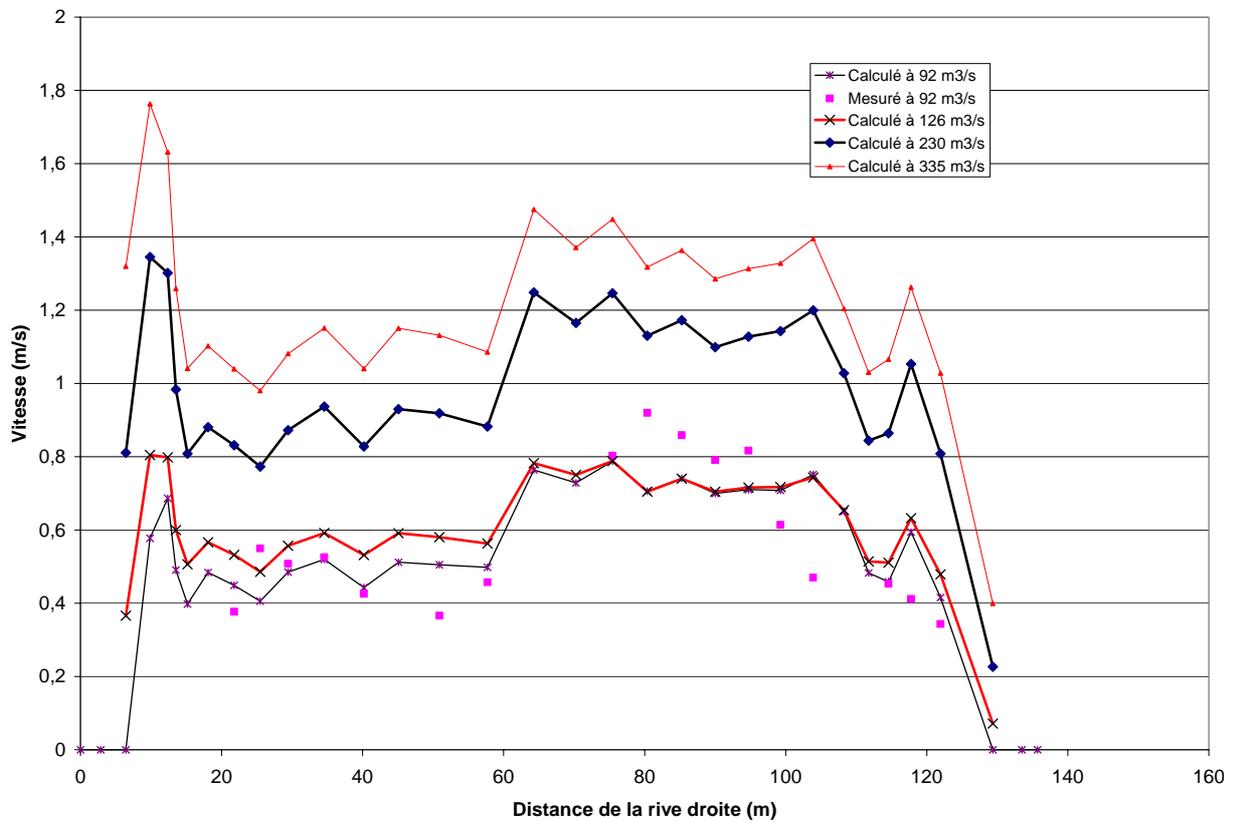


Figure 29 Profil en travers des vitesses sur la section P1 (différents débits)

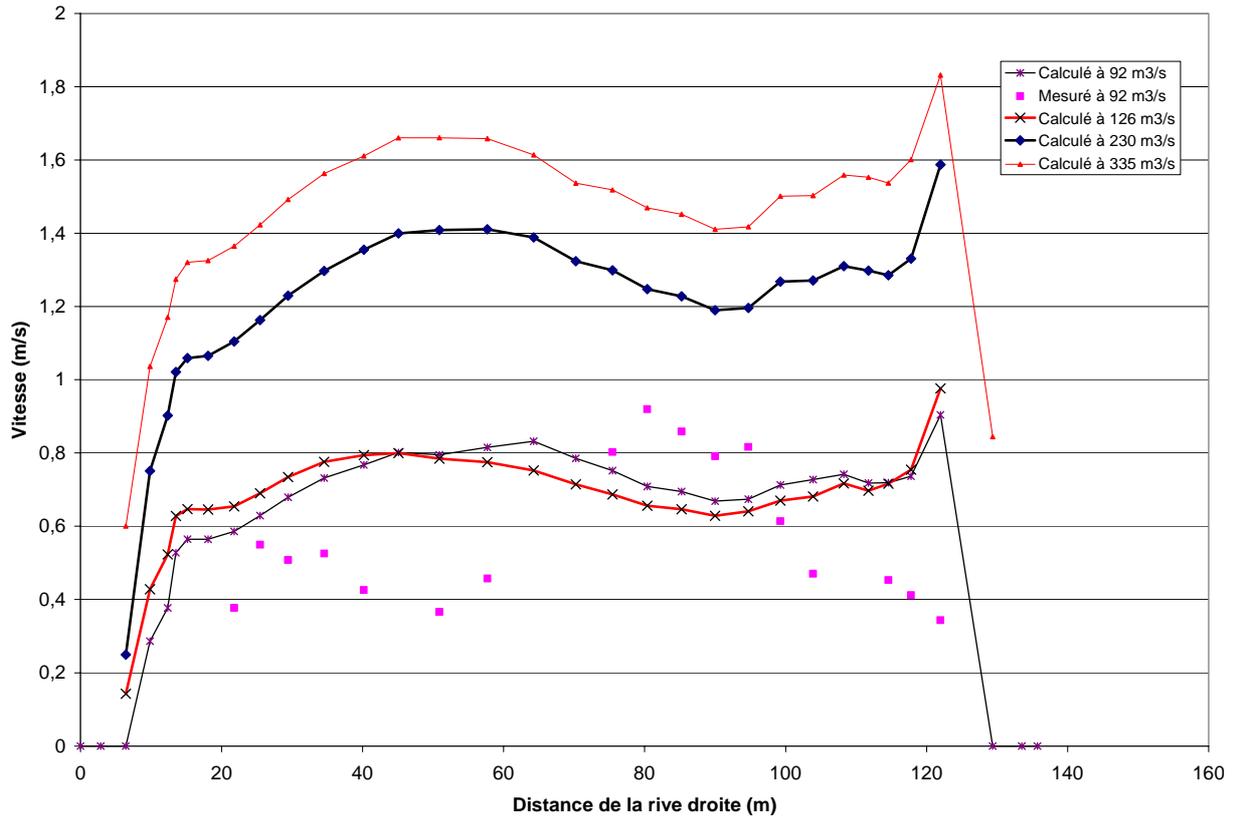


Figure 30 Profil en travers des vitesses sur la section P1 (différents débits pour le calcul de base)

Tableau 1a Comparaison calculs et mesures sur les vitesses des profils en mars 2005

	P1 frottement varié	P1 frottement constant	Tous profils frottement varié	Tous profils frottement constant
Vitesse moyenne mesurée (m/s)	0.51		0.6	
Vitesse calculée moyenne (m/s)	0.53	0.78	0.52	0.76
Ecart quadratique moyen (m/s)	0.11	0.37	0.23	0.27

Tableau 1b Comparaison calculs et mesures sur les vitesses des profils en novembre 2005

	P1 frottement varié	P1 frottement constant	Tous profils frottement varié	Tous profils frottement constant
Vitesse moyenne mesurée (m/s)	0.47		0.53	
Vitesse calculée moyenne (m/s)	0.51	0.64	0.53	0.64
Ecart quadratique moyen (m/s)	0.12	0.26	0.19	0.19

Tableau 2 Comparaison de la variabilité des vitesses mesurées et calculées à partir de leurs moyenne et écart type

Débit (m ³ /s)	191	185	80	57	21
V _{moy} (m/s) mesurée	1,14	1,13	0,67	0,49	0,19
DV (m/s) mesuré	0,17	0,23	0,11	0,15	0,11
V _{moy} (m/s) calculée frottement fixe	0,97	1,03	0,61	0,41	0,22
DV (m/s) calculé frottement fixe	0,21	0,24	0,22	0,13	0,11
V _{moy} (m/s) calculée frottement varié	0,79	0,76	0,48	0,35	0,20
DV (m/s) calculé frottement varié	0,20	0,19	0,15	0,11	0,09

5. Etude de l'influence des écoulements sur les macrophytes

Cette étude a été menée uniquement sur la station de Gardonne.

5.1. Variables explicatives

L'objectif est de rendre compte des deux principaux mécanismes régulant l'importance de la végétation aquatique :

- la croissance des végétaux, qui résulte de la chronique des conditions de luminosité et de température, plus ou moins dépendantes des conditions de débit et hauteur d'eau..;
- l'arrachement des végétaux par les crues, qui résulte d'un événement générateur de fortes vitesses qui pourra être caractérisé par son intensité maximale ou l'intensité dépassée pendant une durée liée au processus physique d'arrachement.

A priori les variables biologiques à expliquer seront principalement les % de recouvrement (prenant en compte l'indice d'abondance par point contact) par type de végétation (algues et phanérogames). Ces indicateurs devront pouvoir être analysés au travers :

- de leur état (% de recouvrement) pour une campagne donnée,
- de leur variation entre 2 campagnes.

5.1.1 Croissance

Parmi les facteurs qui influencent la croissance des plantes aquatiques en rivière, on trouve la disponibilité en nutriments, l'ensoleillement (photosynthèse) et la température. Il est fait l'hypothèse que les nutriments ne sont pas limitants dans le contexte agricole du bassin versant de cette rivière. Le vecteur des nutriments est le flux hydrique lié au débit. S'il devient important un effet négatif sur la croissance est attendu (cf. point 5.3 « arrachement »). En deçà des débits moyens à faibles peuvent favoriser la croissance. Nous avons choisi de les représenter par les composantes V_{moy} (vitesse moyenne sur la station) et H_{moy} (hauteur d'eau moyenne sur la station). Ces variables peuvent influencer distinctement la croissance comme un tirant d'eau fort à faible vitesse ou le contraire, avec effet sur la température ou encore la turbidité.

Les chroniques H_{moy} (t) sont générées à partir de la chronique de hauteurs enregistrées à la station, converties à l'aide de la relation

$$H_{moy} = 0.9276 \times H_{échelle} + 0.111$$

On évite ainsi une double transformation de hauteurs en débits puis de débits en hauteurs avec toutes les incertitudes attachées aux courbes de tarage et à leur maniement.

Les chroniques de vitesse sont quant à elles générées à partir des chroniques de débit (Q) en considérant les deux lois « enveloppes » $V_{moy}(Q)$ – « avec » et « sans » végétation - établies entre ces variables sur la base des observations effectuées lors des campagnes de mesures. Dans ce cas on n'évite pas le passage par une double « courbe de tarage ». Les deux lois $V_{moy}(Q)$ ont été comparées :

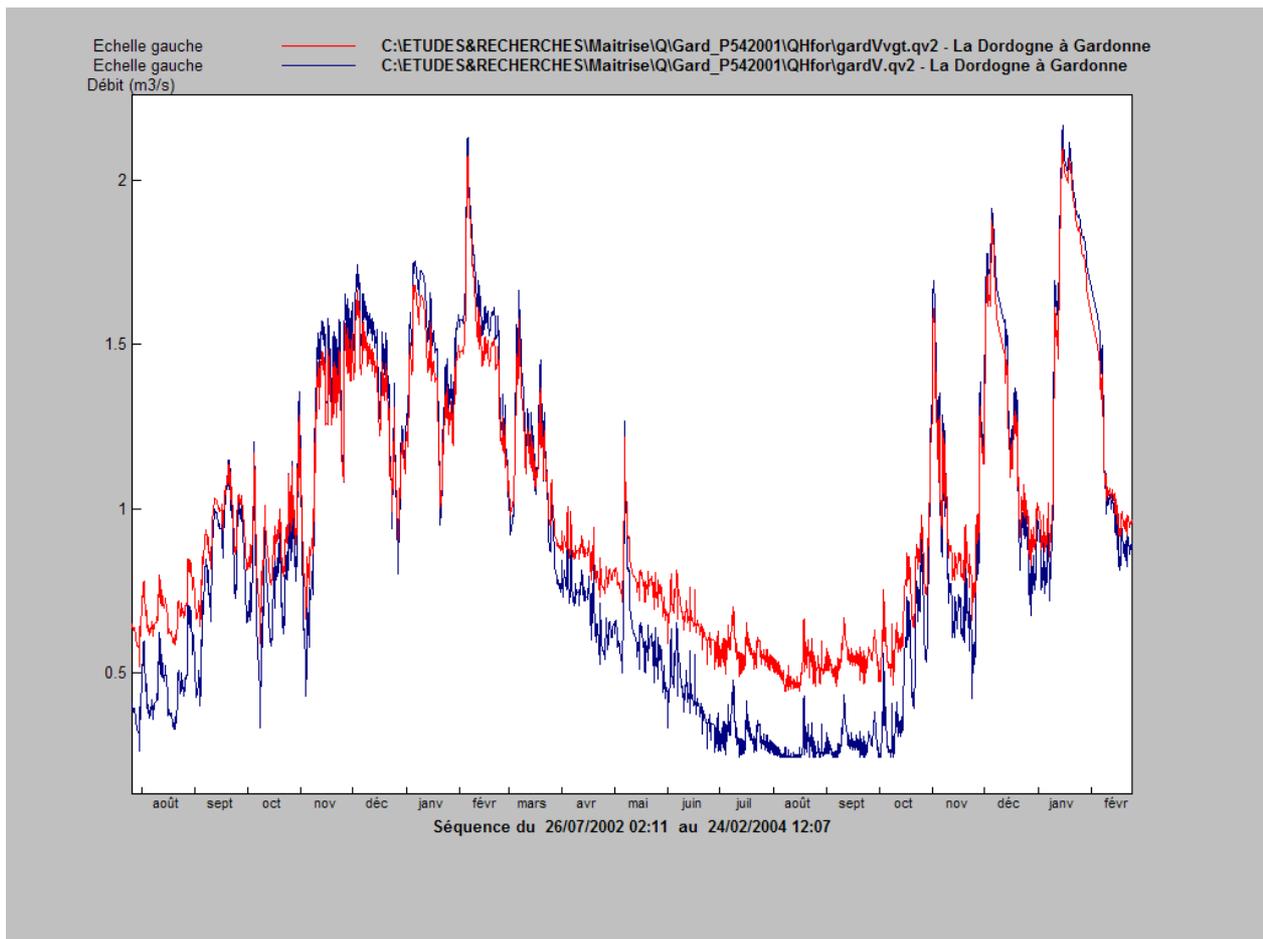


Figure 31 : Comparaison des chroniques de vitesses « avec » (courbe bleue) et « sans » (courbe rouge) présence d'un développement important de végétation (phanérogames).

On retrouve le fait que la courbe qui prend en compte un développement important de phanérogames correspond à des vitesses plus faibles en période de faible débit. Au delà de 1 m/s l'effet de la végétation n'est plus sensible. La loi qui intègre la présence de végétation dans les faibles débits a été retenue pour la suite des calculs, dans le souci de mieux représenter les situations où la végétation est présente.

La température de l'eau est interpolée à partir de données relevées par la DIREN une fois par mois en moyenne sur le même cours d'eau.

Pour apprécier l'influence des facteurs Vitesse, Température et Hauteur d'eau moyenne et de leurs combinaisons, les indicateurs suivants ont été testés :

- moyenne de H_{moy} sur (d) jours avant l'échantillonnage
- moyenne de T sur (d) jours avant l'échantillonnage
- moyenne de V_{moy} sur (d) jours avant l'échantillonnage
- moyenne de $1/(H_{moy})$ sur (d) jours avant l'échantillonnage
- moyenne de $1/\exp(H_{moy})$ sur (d) jours avant l'échantillonnage

Deux combinaisons des facteurs ont été considérées pour représenter en une seule variable les effets contraires de la température et de la turbidité, de la température et de la vitesse.

- moyenne de $T_{moy} / \exp(H_{moy})$ sur (d) jours avant l'échantillonnage
- moyenne de $T_{moy} / (V_{moy})$ sur (d) jours avant l'échantillonnage

5.1.2 Arrachement

Pour prendre en compte l'influence de la chronique des vitesses qui provoque des arrachements de la végétation en fonction de l'intensité et la durée au-dessus d'un seuil lié à la physiologie de la plante, il faut calculer localement la vitesse moyennée sur la verticale ou bien déterminer sa variabilité au sein de la station.

Débit (m3/s)	1660	1130	707	583	366	304	252	161	151	136	130	122	50.8	38.8
Vmoy (m/s)	1,92	1,77	1,53	1,55	1,10	1,06	1,02	0,85	0,79	0,92	0,72	0,68	0,34	0,30
*DV (m/s)	0,44	0,39	0,48	0,47	0,41	0,43	0,37	0,36	0,24	0,58	0,24	0,25	0,28	0,18
Vmed (m/s)	2,10	1,93	1,70	1,72	1,20	1,07	1,11	0,73	0,78	0,84	0,72	0,68	0,20	0,25
Vmoy-DV (m/s)	1,48	1,38	1,05	1,07	0,70	0,63	0,65	0,49	0,55	0,34	0,48	0,44	0,07	0,12
V16 (m/s)	1,45	1,33	0,80	1,02	0,50	0,53	0,60	0,52	0,54	0,35	0,50	0,41	0,09	0,15
Vmoy+DV (m/s)	2,37	2,16	2,01	2,02	1,51	1,49	1,39	1,21	1,03	1,51	0,97	0,93	0,62	0,47
V84 (m/s)	2,21	2,04	1,87	1,93	1,51	1,52	1,35	1,29	1,05	1,68	0,99	0,97	0,77	0,44
Vmax (m/s)	2,34	2,19	1,96	2,09	1,68	1,92	1,54	1,49	1,29	1,80	1,16	1,19	0,87	0,77
DV/Vmoy	23%	22%	31%	31%	37%	41%	36%	43%	31%	63%	33%	36%	80%	60%
Vmax/Vmoy-1	22%	24%	28%	35%	52%	82%	51%	76%	63%	95%	60%	174%	254%	260%

Caractéristiques de la distribution des vitesses à Gardonne issue des jaugeages DIREN

* DV est l'écart type

Débit (m3/s)	191	185	80	57	21
Vmoy (m/s)	1,14	1,13	0,67	0,49	0,19
DV (m/s)	0,17	0,23	0,11	0,15	0,11
Vmed (m/s)	1,17	1,15	0,67	0,50	0,16
Vmoy-DV (m/s)	0,97	0,90	0,57	0,34	0,08
V16 (m/s)	0,93	0,87	0,51	0,36	0,06
Vmoy+DV (m/s)	1,31	1,36	0,78	0,64	0,30
V84 (m/s)	1,36	1,36	0,83	0,64	0,30
Vmax (m/s)	1,36	1,62	1,02	0,86	0,45
DV/Vmoy	15%	21%	23%	30%	62%
Vmax/Vmoy-1	20%	44%	151%	74%	144%

Caractéristiques de la distribution des vitesses à Gardonne issue des mesures ADCP sur le tronçon

On peut remarquer que dans le cas des jaugeages DIREN comme dans le cas des mesures ADCP, les valeurs de Vmoy + DV sont en général proches de Vmax, en particulier pour les débits élevés, et les valeurs de Vmoy - DV en général proches de V16. Par contre l'écart type relatif de la distribution des vitesses (DV/Vmoy) est de l'ordre de deux fois plus important pour les jaugeages DIREN au niveau du pont par rapport aux mesures ADCP dans le tronçon. La présence des piles de pont pourrait expliquer cet écart. L'écart type des vitesses observé sur la station DIREN de Gardonne à fort débit (au-dessus de 500m3/s) est de l'ordre de 0,45m/s et on peut imaginer qu'il est plus faible sur l'ensemble du tronçon entre 0,25 et 0,35m/s.

Deux familles d'indicateurs ont été envisagées, mais seule la seconde a été mise en oeuvre :

- la durée de dépassement de la vitesse d'arrachement (quand Vmoy+DV>Vseuil) pondérée par l'intensité d'arrachement (Vmoy+DV-Vseuil), basée sur l'hypothèse que l'arrachement

est due à un processus lent lié à la fatigue mécanique de la plante (fragilisation progressive, éventuellement sur plusieurs crues, des tiges et/ou racines) ;

- le % du tronçon sur lequel la vitesse est supérieure à la vitesse d'arrachement, basée sur l'hypothèse d'un processus d'arrachement rapide (par sectionnement ou mise en mouvement du substrat). Il a donc été calculé la moyenne de $(V_{moy} + DV - V_{seuil})/2DV$ sur (d) jours avant l'échantillonnage

L'analyse des distributions de fréquences des vitesses centrées réduites dans le tronçon ou la section de jaugeage permet de faire des hypothèses pour établir une loi donnant le pourcentage du tronçon sur lequel la vitesse est supérieure à la vitesse d'arrachement. Les données des deux tableaux ont été traitées ensemble et ont permis de distinguer 5 distributions correspondant à des gammes de vitesses moyennes dans le tronçon. Trois de ces gammes sont supérieures à une vitesse moyenne de 1 m/s.

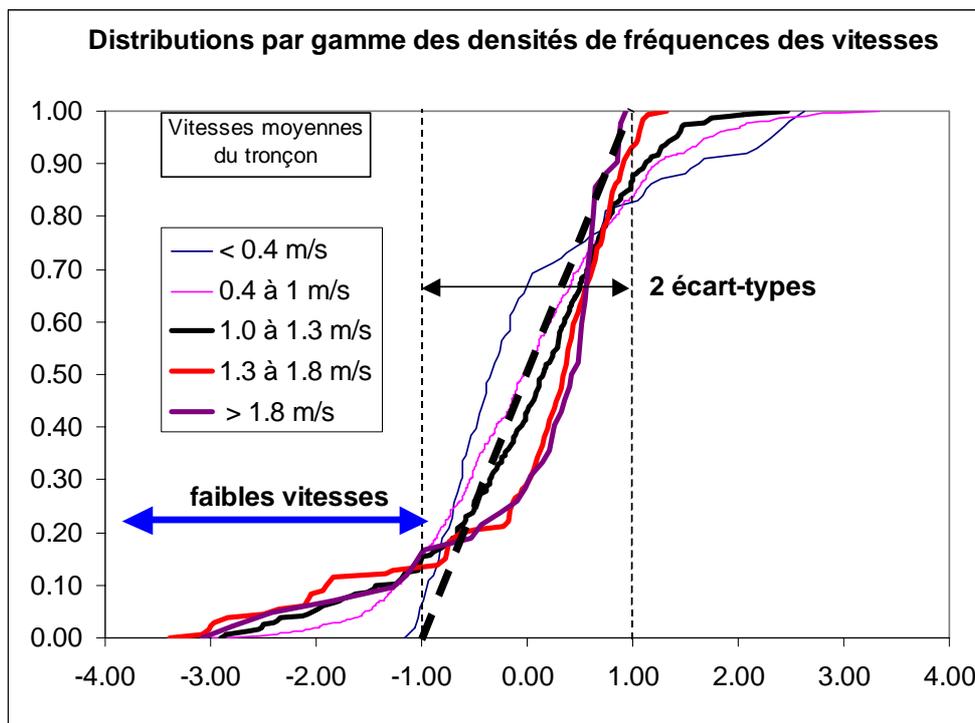


Figure 32 : Tracé des densités de fréquences des vitesses pour le choix d'un modèle simple.

Sur la figure 32 sont représentées les fréquences cumulées normées centrées réduites (fonction densité de fréquences) des vitesses sur Gardonne par gammes de vitesses. On voit que les vitesses maximales des trois gammes situées au dessus de 1 m/s tendent vers la vitesse moyenne plus un écart type ($V_{moy} + 1 DV$) lorsque le débit et les vitesses augmentent (le débit de plein bord étant situé dans la gamme [1,3 à 1,8m/s]). Nous avons donc en premier lieu fait l'hypothèse d'une équi-répartition entre $V_{moy} - DV$ et $V_{moy} + 1 DV$. Le pourcentage du tronçon sur lequel la vitesse est supérieure à la vitesse d'arrachement est alors donné par :

$$(V_{moy} + DV - V_{seuil})/2 DV \text{ borné par l'intervalle } [0,1].$$

Cette distribution uniforme, symbolisée par un tiret entre $V_{moy} + DV$ et $V_{moy} - DV$ représente 80% de la distribution des vitesses. Elle traduit bien ce qui se passe pour les fortes vitesses car on

observe que V_{max} est voisin et dépasse rarement $V_{moy}+DV$. Par contre elle représente nettement moins bien ce qui se passe dans les zones de faibles vitesses puisque la distribution proposée les fait disparaître. A noter que ceci n'est pas le cas dans la réalité si l'on considère l'intégralité de la zone en eau ; par contre, si l'on s'intéresse uniquement à l'évolution de la distribution des vitesses en crues dans la zone couramment en eau - car c'est là que la végétation aquatique se développe - alors la disparition progressive des zones de vitesses faibles avec l'augmentation du débit représente bien la réalité.

Il est cependant possible d'affiner la représentation de la distribution des vitesses. En effet toujours sur le graphique 32, on peut constater qu'à débit élevé 2/3 des vitesses sont plutôt comprises entre V_{moy} et $V_{moy} + DV$ et 1/3 entre V_{moy} et $V_{moy} - 2DV$. Le calcul du pourcentage sur lequel la vitesse est supérieure à la vitesse d'arrachement pourrait être affiné ; en faisant une hypothèse d'une distribution affine par morceaux. Ce pourcentage serait donné par la formule suivante qui n'a pas encore été testée :

- $1/3 + (V_{seuil} - V_{moy})/(6*DV)$ borné par 0 si $V_{seuil} < V_{moy}$
- $1/3 + (V_{seuil} - V_{moy})/(1,5*DV)$ borné par 1 si $V_{seuil} > V_{moy}$

5.1.3. Estimation du débit de mobilisation de la charge de fond de la Dordogne à Gardonne

Dans l'optique de déterminer un seuil à partir duquel les macrophytes ne peuvent se maintenir sur le fond de la rivière, le seuil de mise en mouvement de la charge de fond peut être considéré. En effet, puisque les phanérogames s'accrochent aux éléments constituant la charge de fond, la mobilisation de cette dernière doit engendrer la disparition des végétaux. De façon théorique, nous avons donc estimé le débit et les vitesses à partir desquels la charge de fond se mettait en mouvement.

Lors du relevé granulométrique du lit de la Dordogne à Gardonne, le substrat a été classé en quatre catégories :

- (V) vase/limons < 0,2 mm
- (S) sables/graviers 0,2-20 mm
- (G1) galets 20-200 mm
- (D) blocs/dalle >200 mm.

La taille des éléments a été estimée à l'œil. Les opérateurs de terrain indiquent qu'après traitement des données, le substrat apparaît jouer un rôle significatif dans la présence de végétation : les macrophytes sont plus présents sur les substrats fins (V, S) ou sur des substrats fins associés à des éléments mobiles (DS, DV). La granulométrie est néanmoins très dépendante des vitesses de courant.

Le lit de la Dordogne est composé d'une charge grossière dominée par des galets de la partie supérieure de la classe 20 à 200 mm. En moyenne, le substrat des transects est constitué de 47 % de roche en place ou de secteur à bloc (D), 30 % de secteur à galets (G1) et 12 % de matériaux sablo-graveleux (G1S). Les secteurs restants sont caractérisés par une dalle rocheuse avec des sables/graviers ou des galets.

Pour déterminer un seuil limite au-delà duquel l'ensemble des macrophytes seront détachés, il est important de considérer une mobilisation généralisée des particules composant le lit de la Dordogne. Aussi le diamètre des particules introduit dans les relations critique de mise en mouvement de la charge de fond devront correspondre à la classe dominante, c'est-à-dire dans ce cas la classe des galets et parmi ceux-ci, plutôt le sommet de la classe. En effet, ce sont les plus gros

éléments qui tiennent le lit et ainsi retardent la mobilisation généralisée de la charge de fond. De plus, dans le cas de la Dordogne à Gardonne, c'est le sommet de la classe qui est le plus représenté.

Il existe assez peu de relations permettant de déterminer la mise en mouvement du substrat à partir des paramètres dynamiques de la rivière. Leur utilisation a montré qu'elles étaient généralement assez peu précises puisque hautement fonction du milieu considéré (granulométrie du substrat, structure du lit, etc.). Toutefois plusieurs d'entre elles sont suffisamment fiables pour estimer la vitesses ou la puissance nécessaire au transport de la charge de fond. Costa (1983) a proposé la relation suivante :

$$V = 0,20 D_i^{0,455} \quad (1)$$

pour laquelle V est la vitesse critique et D_i le diamètre médian du substrat exprimée en mm. Cette relation s'applique à des particules supérieures à 50 mm. Ce même auteur a également proposé une relation liant la taille des particules mobilisées à la puissance spécifique (Costa 1983):

$$\omega_c = 0,009 D_i^{1,686} \quad (2)$$

avec ω_c la puissance spécifique critique. De même Williams (1983) a proposé la relation :

$$\omega_c = 0,079 D_i^{1,3} \quad (3)$$

Ces deux relations ont été élaborées pour des rivières à charge grossières (supérieure à 500 mm). Petit *at al.* (2005) ont quant à eux travaillé sur plusieurs rivières à charge caillouteuses et montré le rôle joué par la taille de la rivière sur le seuil de mise en mouvement. Cette relation a été proposée pour l'Ourthe en Belgique:

$$\omega_c = 0,009 D_i^{1,639} \quad (4)$$

L'équation 1 suggère :

D_i (mm)	V_0 (m/s)	Q (m ³ /s)	
		Avec végétation	Sans Végétation
50	1,19	272	-
100	1,63	-	716
150	1,96	-	1355

L'équation 2 suggère :

D_i (mm)	ω_0 (m/s)	Q (m ³ /s)
50	7	144
100	21	462
150	42	915

L'équation 3 suggère :

D_i (mm)	ω_0 (m/s)	Q (m ³ /s)
50	13	278
100	31	686
150	53	1161

L'équation 4 suggère :

D_i (mm)	ω_0 (m/s)	Q (m ³ /s)
50	5	119
100	17	372
150	33	723

Le débit nécessaire à la mobilisation peut alors être estimé à partir de la définition de la puissance ($\omega = \rho g Q s / w$) et grâce à la relation liant la vitesse au débit $V(Q)$. On remarque donc qu'il faudrait des vitesses comprises entre 1,6 et 1,9 m/s pour mobiliser la fraction supérieure de la granulométrie. Ces vitesses correspondent aux vitesses à partir desquelles plus aucune végétation n'a été observée (1,5 m/s).

On voit également que les éléments de 15 cm de diamètre demandent une puissance spécifique comprise entre 30 et 50 W/m² pour être mobilisés. Ces puissances correspondent sur la Dordogne à des débits de 720 à 1160 m³/s. Les galets de 10 cm sont transportés lorsque la puissance dépasse 17 à 30 W/m², soit un débit de 370 à 680 m³/s.

La fourchette de débit proposée par l'utilisation de ces équations est relativement large. Elle traduit le problème de ces relations déterminées de façon empirique et qui sont difficilement transposables à un milieu autre que celui pour lequel l'équation a été élaborée. Parmi ces quatre relations, bien que l'Ourthe soit plus petite que la Dordogne, on peut penser que c'est l'équation 4 qui convienne le mieux pour cette étude. En effet, la granulométrie de lit est comparable dans les deux rivières. On peut donc penser que la mobilisation doit survenir vers 400 m³/s pour les blocs de 10 cm de diamètre et vers 700 m³/s pour les diamètres de 15 cm. Ces valeurs, bien qu'un peu supérieures, semblent en adéquation avec les courbes $H(Q)$ « avec » et « sans végétation » qui, si elles étaient prolongées, se rejoindraient vers 300 m³/s.

5.1.4 Méthode d'analyse des variables retenues :

Les facteurs Température, Hauteur moyenne et Vitesse moyenne dans le tronçon ont été moyennés sur différentes durées (d) avant la date d'échantillonnage. Ceci afin de considérer des effets cumulatifs dans le temps des conditions physiques auxquelles ont été exposées les plantes aquatiques. Le principe d'analyse consiste à quantifier la variance expliquée d'un indice biotique, qui représente la présence des plantes aquatiques, par les facteurs physiques. On regarde comment évolue le coefficient de détermination de la corrélation en fonction de la durée (d) de l'historique considéré. (d) est exprimé en jours.

5.1.5 Résultats

Les résultats sont reportés dans les graphes de la figure 33 ci-après. Par ailleurs, toutes les corrélations avec H et V sont négatives alors qu'elles sont positives avec T.

On note que les indices biotiques de fréquence pour les algues sont peu dépendants des facteurs physiques.

Par contre, les valeurs de R² pour les phanérogames peuvent varier très sensiblement selon le facteur considéré et la durée de la mémoire utilisée pour le calcul des valeurs moyennes. Ainsi, la hauteur moyenne n'est pas un facteur sensible alors que la vitesse et la température donnent des pics de R² à respectivement 16 et 128 jours. Cette différence de mémoire peut se comprendre du fait d'un effet « degré-jour » nécessaire à la croissance des plantes alors que la décroissance de biomasse peut s'exprimer rapidement après une crue. Les rapports de la température à

l'exponentielle de la hauteur et à la vitesse donnent des courbes d'évolution de R2 très semblables avec des pics toujours à 16 jours. Dans ce cas toutes les corrélations sont positives et indiquent un effet favorable à la croissance de la biomasse des phanérogames. Le rapport de T à l'exponentielle de H pourrait exprimer l'effet de la luminosité nécessaire à la photosynthèse. Ainsi, les faibles valeurs de H donnent de fortes valeurs de T sur $\exp(H)$, ce qui a un sens. Le même raisonnement peut être tenu pour le rapport de la hauteur à la vitesse.

Les corrélations obtenues avec la vitesse seuil d'arrachement sont toutes négatives. Cela indique une baisse de présence des espèces de plantes aquatiques. Plusieurs seuils ont été testés entre 0.7 et 1.3 m3/s et donnent des courbes très proches. Le coefficient de détermination R2 est juste significatif pour les phanérogames avec une valeur de 40% de quelques jours à 150 jours. Il n'est pas significatif pour les algues.

Il apparaît donc que les facteurs physiques et leurs combinaisons puissent expliquer jusqu'à la moitié de la variance de l'indicateur de présence des espèces de plantes aquatiques, en considérant des effets favorables ou défavorables et à plus ou moins brève échéance. Il reste à expliquer, si possible, l'autre moitié de la variance de l'indicateur de biomasse.

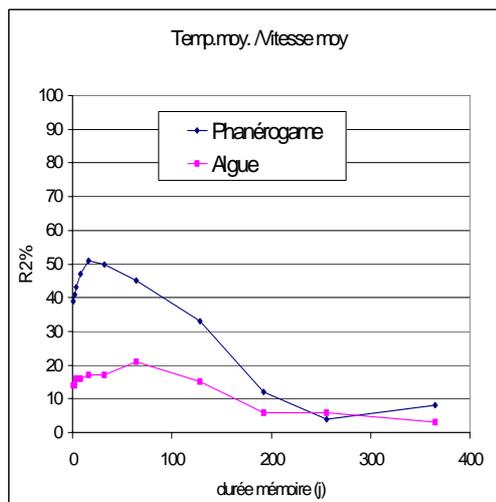
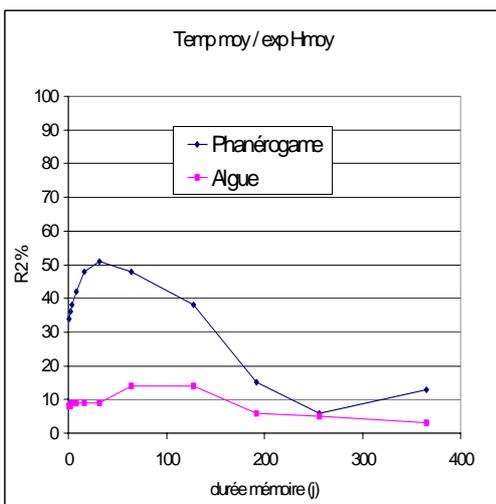
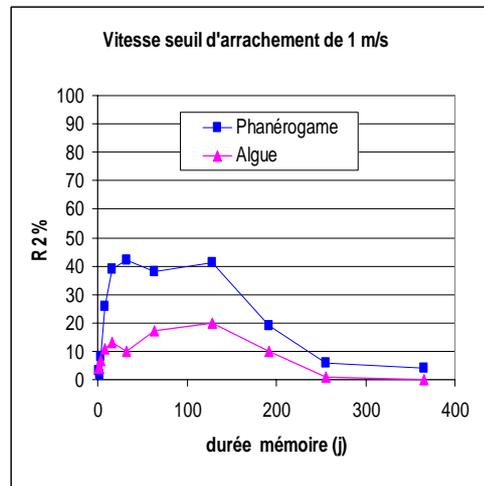
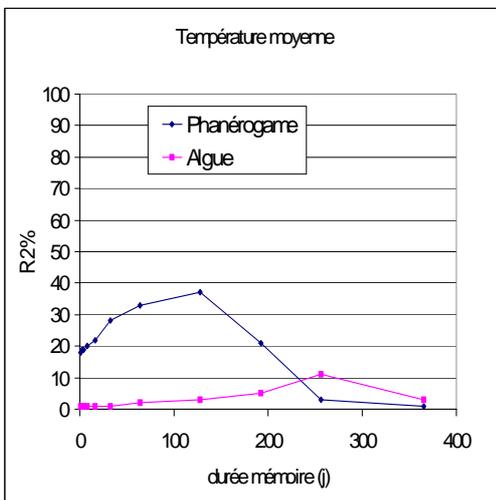
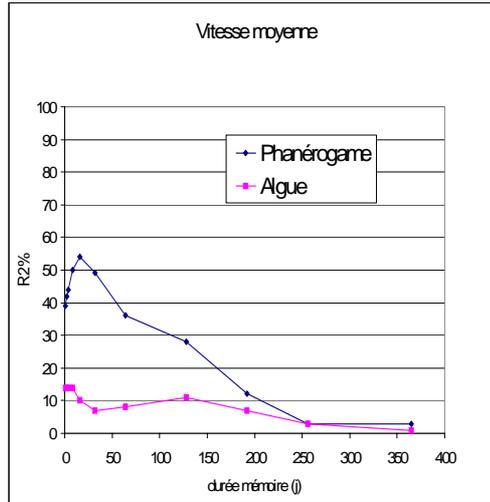
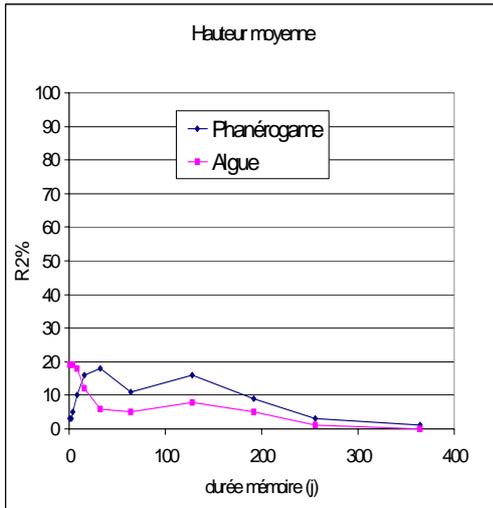


Figure 33 : Evolution du coefficient de détermination R2 avec la durée de la mémoire considérée pour le calcul des valeurs moyennes.

5.2. Construction d'un modèle dynamique de croissance

5.2.1 Description

La modélisation dynamique de la croissance des phanérogames a été abordée en combinant deux types de modèle. Un modèle conceptuel de croissance continue en fonction du temps et applicable aux processus biologiques. Un modèle empirique des contraintes physiques à même d'expliquer les écarts ou déviations au modèle de croissance biologique. On reprend ainsi en partie le principe évoqué du rôle des facteurs physiques sur la biomasse mais à cette différence près que ces facteurs ne sont pas considérés comme uniquement limitant mais aussi comme favorables (Breil, 1997). Il faut aussi noter que pour la rivière étudiée, la ressource trophique nécessaire à la croissance des plantes aquatiques n'est pas considérée comme limitante.

Le modèle de Gompertz est défini par l'équation différentielle [1] qui exprime que la variation de croissance en fonction du temps est proportionnelle à la masse biologique (ω) à l'instant (t). Cette fonction est croissante du temps et atteint une valeur asymptotique (α) qui représente le maximum de biomasse possible. Dans ce travail, comme dans bien des cas en milieu naturel, la biomasse n'est pas directement accessible mais décrite par un indice biotique (cf. méthode des points contact). Le travail a été mené sur l'indice de la fréquence des points de contact colonisés.

$$\frac{d\omega}{dt} = k\omega \log(\alpha / \omega) \quad [\text{eq.1}] \text{ (G pour Gompertz)}$$

par intégration

$$\frac{d\omega}{\omega \ln(\alpha / \omega)} = k dt$$

$$-\int \frac{dU}{U} = k \int dt \quad \text{avec} \quad dU = \frac{d\omega}{\omega} \quad \text{et} \quad U = \ln(\alpha / \omega)$$

$$\ln \left[\frac{\ln(\omega / \alpha)}{-\beta} \right] = -kt + cte$$

$$\omega = \alpha \exp(-\beta \exp(-kt)) \quad [\text{eq.2}] \text{ cf fig 34}$$

L'équation 2 qui exprime la biomasse produite en fonction du temps figure une courbe en forme de « S » qui présente une croissance lente au départ, une croissance rapide ensuite puis de nouveau une croissance lente qui tend vers la valeur α . Cela reflète a priori bien les phases de colonisation, envahissement puis limite de l'habitat disponible pour les végétaux aquatiques.

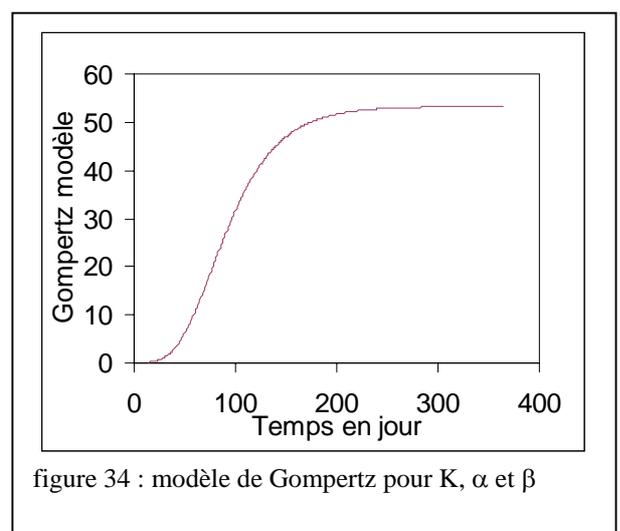


figure 34 : modèle de Gompertz pour K, α et β

Calcul des paramètres

D'après [eq.1] on obtient deux expressions dont un ajustement par régression linéaire permet d'obtenir des paramètres moyens. Cette notion est importante puisque le jeu de données que l'on utilise reflète, par hypothèse, les effets combinés de la croissance en condition d'habitat moyen et les écarts positifs ou négatifs à cette croissance sous l'effet des facteurs physiques.

$$\left[\frac{d\omega/dt}{\omega} \right] = k \ln \alpha - k \ln \omega \quad [\text{eq.3}] \text{ cf fig 35}$$

$$\ln \left[\frac{d\omega/dt}{\omega} \right] = \ln(k\beta) - kt \quad [\text{eq.4}] \text{ cf fig 36}$$

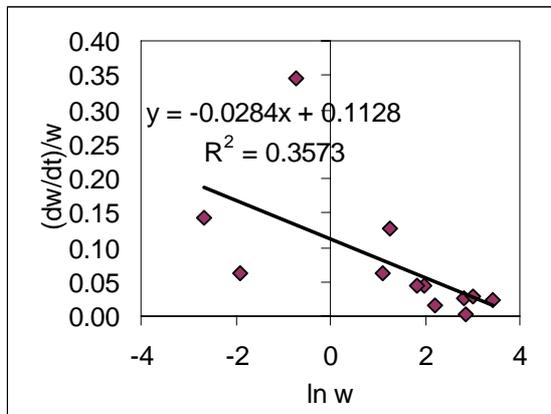


Figure 35 : calcul des paramètres K et α

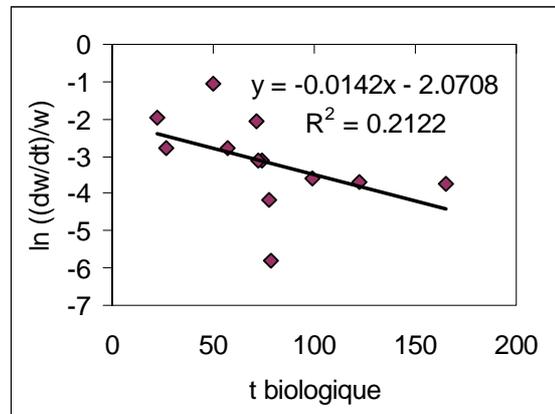


Figure 36 : calcul du paramètre β

Calcul du temps biologique

Les contraintes physiques externes au modèle de croissance conduisent à modifier la biomasse et donc le gradient de l'accroissement relatif $(d\omega/dt)/\omega$ qui dépend de (t) . Il est donc nécessaire de recalculer ce temps en permanence à partir de la valeur $\omega(t)$. Les paramètres α et k sont obtenus à partir de l'équation 4. De même l'accès au paramètre β à partir de l'équation 4 implique de travailler en temps biologique. L'expression suivante est utilisée :

$$t = -\frac{1}{k} \ln \left[\frac{\ln(\omega/\alpha)}{-\beta} \right] \quad [\text{eq.6}]$$

Se pose le problème de la détermination de β qui est alors obtenu par itération à partir d'une méthode de gradient. Au cours de cette itération, les valeurs des temps biologiques sont modifiées jusqu'à ce qu'il y ait convergence entre la valeur de β calculée à partir de [eq. 4] et la valeur testée.

Calcul des conditions initiales

Ce type de modèle est très sensible aux conditions initiales et limites. Il faut calculer la valeur de t qui correspond à la première observation à partir de l'équation 6. Il faut aussi déterminer ω à t_0 à partir de l'équation 2 et t_{max} à partir de l'équation 6.

Bornage du modèle de croissance

Au-delà du domaine allant de t_0 à t_{max} , l'équation 6 conduit à des valeurs de t tendant vers l'infini négatif. Ces conditions peuvent apparaître du fait de l'influence des facteurs physiques qui peuvent conduire à des valeurs de ω négatives ou supérieures à α . Le module de calcul fortran qui permet la simulation comprend donc un bornage des valeurs logiquement possibles.

Calcul des déviations au modèle de Gompertz

Les déviations sont calculées par différence entre les gradients de l'accroissement relatif $(d\omega/dt)/\omega$ calculés par le modèle de Gompertz et les observations.

5.2.2 Le modèle d'influence des facteurs physiques

Les déviations sont utilisées comme variable dépendante dans une régression multiple pas à pas. Les variables indépendantes reflètent les conditions moyennes des facteurs physiques qui ont précédé les dates des observations. Différentes durées de mémoires sont utilisées pour chaque facteurs et certaines combinaisons de facteurs. Tous les facteurs physiques présentés dans la partie descripteurs sont moyennés sur les durées de 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128, 192, 256 et 365 jours et sont entrés dans l'analyse. Cela représente 66 variables explicatives. L'identification des facteurs et de leurs combinaisons a en partie été réalisée dans l'étude des indicateurs. L'objectif est de cerner l'effet mémoire plus ou moins persistant de certains facteurs sur la croissance de la biomasse. Le modèle d'influence est donc un modèle empirique sans fondement physique mais dont le sens d'action des facteurs physiques sur la croissance est a priori connu.

$$\left[\frac{d\omega H}{dt} \right]_{\omega(t)} = aVH1d + bVH2d + cVH3dK \quad [\text{eq.7}]$$

avec $VHid$ les variables physiques retenues par régression multiple ascendante et (d) la durée de la mémoire en jours. Le coefficient de détermination corrigé global étant égal à 1. Neuf variables sont retenues pour 15 déviations (observations) :

$$1/H4, 1/\exp(H4), 1/H2, H2, H16, H192, H256, V192, V128$$

avec H pour Hauteur, V pour Vitesse moyenne d'écoulement.³ Seul $1/H4$ et $H16$ ont des coefficients négatifs ce qui traduit par une augmentation plus rapide de la croissance d'après l'équation 8 et réciproquement pour les autres variables. Les facteurs physiques peuvent donc limiter ou accroître la croissance naturelle de la biomasse. Ce modèle est globalement une fonction croissante du débit

³ La chronique de vitesse moyenne d'écoulement a été calculée à partir d'une relation établie entre les mesures effectuées au cours de différentes campagnes et le débit calculé à la station de débit la plus proche. La chronique intègre le ralentissement saisonnier des vitesses qui résulte du développement des plantes aquatiques.

avec des valeurs négatives dans l'intervalle de 60 à 120 m³/s. Les variations relatives de l'indice biotique qu'il représente varie entre -0.3 à +12. Elles sont dénormées en multipliant la valeur calculée à chaque pas de temps (t) par $\omega(t)$. C'est la raison pour laquelle nous obtenons les plus fortes déviations négatives (voir Dev VH dans la figure 5.6) en période de faible débit et de forte valeur de ω .

Les variables sont listées par ordre décroissant de contribution au modèle. Il est à noter que la température n'intervient pas dans l'explication des déviations au modèle de croissance et que la hauteur à ici un rôle prépondérant par rapport à la vitesse moyenne d'écoulement. Le coefficient de détermination R² ajusté est de 0.35 avec seulement 1/H₄ puis 0.61 avec 1/exp(H₄) et de 0.996 jusqu'à H₁₆ inclus. Il n'est cependant pas possible de négliger le reste des variables car le modèle dynamique est très sensible. Il est à noter que les deux premières variables ont des poids significatifs malgré leur analogie. La suppression de l'une ou l'autre ne permet pas d'obtenir un R² égal à 1. La variable 1/(H₄) favorise l'accroissement de la biomasse alors que la variable 1/exp(H₄) le diminue. La première décroît moins vite avec la hauteur d'eau : le rapport de 1/(H₄) à 1/exp(H₄) varie entre 2.7 et 45 depuis les faibles aux fortes hauteurs. Les faibles hauteurs d'eau sont reconnues comme globalement favorables à la croissance des phanérogames mais les trop faibles hauteurs peuvent entraîner une décroissance du fait de températures trop élevées en particulier sur les bordures. C'est peut être ces réponses contraires que représentent ces deux variables assez proches. Il s'agit d'effets liés à des mémoires courtes de quelques jours.

Les variables directes de H sont liées aux mémoires courtes, intermédiaires et longues et décrivent des conditions défavorables ainsi que les variables de V. Les variables H₂ et H₁₆ sont à mettre en relation avec l'effet brutal des crues. Les mémoires longues sont à mettre en relation avec celles des processus de la croissance physiologique elle même. Il ne s'agit plus d'un effet brutal comme pour une crue mais bien d'un effet cumulé de valeurs moyennes de l'habitat physique.

5.2.3 Le modèle dynamique de croissance

Il est le résultat de la combinaison du modèle de Gompertz et du modèle d'influence des facteurs physiques. Les valeurs de l'indice biotique qui représente une expression de la biomasse sont obtenues au pas de temps journalier par :

$$\omega(t) = \omega_{(t-1)} + \left[\frac{d\omega G_{(t-1)}}{dt} \right] - \left[\frac{d\omega H_{(t-1)}}{dt} \right] \quad [\text{eq.8}]$$

Les variables physiques H et V du modèle d'influence sont calculées de jour en jour par moyenne glissante sur les durées de 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128, 192, 256 et 365 jours. Les variables retenues par le modèle de régression sont rassemblées dans un fichier unique qui contient les valeurs moyennes glissantes de T, H et V pour les durées d'intérêt. Ce fichier est exploité par un module écrit en Fortran et qui réalise les transformations de variables (rapports, inverses, exp,...) et le calcul des déviations $\omega(t)$ à chaque pas de temps journalier. Le calcul de l'accroissement relatif du modèle biologique est réalisé selon l'équation 1 en temps courant. Le calcul de l'indice biotique de la biomasse est alors calculé selon l'équation 8. Le temps biologique est recalculé en fonction de la valeur de l'indice biotique du pas de temps précédent selon l'équation 6.

5.2.4 Résultat de la modélisation

On observe que le modèle dynamique représente bien les amplitudes et vitesses de croissance mais peut être décalé dans le temps pour certaines observations. Les déviations liées aux facteurs physiques (en rouge) peuvent être positives ou négatives. Leur amplitude dépend largement de la valeur de ω . La comparaison des déviations avec les débits (en grisé) montre clairement que ce sont les faibles débits qui contrôlent le modèle de croissance biologique. Les périodes de croissance sont effectivement estivales et les observations concentrées de mai à septembre. L'effet des débits supérieurs à 250 m³/s est en conséquence mal apprécié et les hauteurs associées conduisent à des déviations négatives importantes dans l'équation 8 qui entraînent les retards de croissance observés entre 2004 et 2005. Il est à noter que les déviations négatives ne peuvent s'accumuler dans le temps qu'à concurrence d'une biomasse nulle ($\omega = 0$), ce qui explique que les déviations oscillent autour de zéro durant la période des hauts débits.

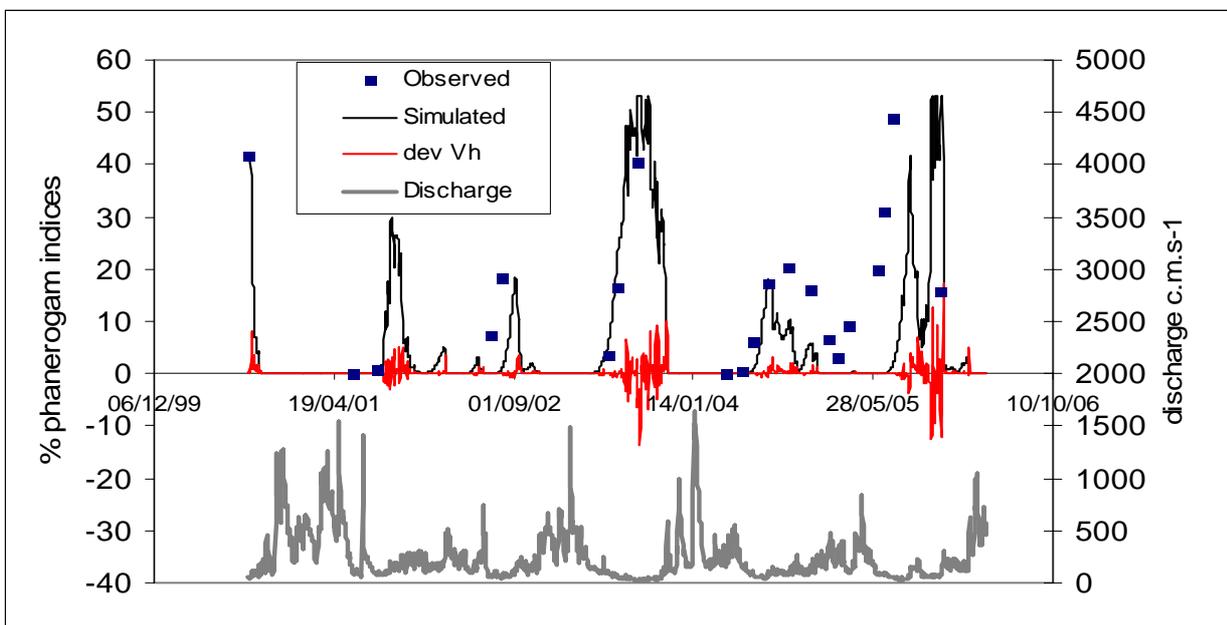


Figure 37 : Indices de biomasse observée et simulée en continu. Déviations et débits joints.

Il faut aussi noter que des débits très forts tels que ceux constatés en 2001 avaient sans doute bouleversé le substrat. Ainsi, la croissance de biomasse simulée pendant l'été 2001 est considérée fictive car la re-colonisation par les plantes n'est pas intégrée par le modèle.

5.2.5 Conclusion de la modélisation

Globalement, nous avons vu que les déterminants physiques pouvait expliquer environ 50 % de la variance de l'indice de biomasse pour les phanérogame. Des effets à court, moyen et long terme ont pu être notés. On observera que le modèle d'influence n'intègre pas la température dont l'effet est à moyen – long terme sur l'indice de biomasse ainsi que marginalement les hauteurs et vitesses à long terme. Le modèle d'influence traduit en fait les effets à court terme de la hauteur pour l'essentiel.

La similitude entre les amplitudes et vitesse de croissance des observations et du modèle couplé de croissance-influence indique que le modèle de Gompertz prend bien en charge l'effet des facteurs physiques à moyen et long terme. Il en résulte que les gammes de variation moyenne ou encore

fréquentes (du fait des durées longues des mémoires associées), contrôlent la croissance biologiques alors que les variations moins fréquentes (du fait des durées courtes des mémoires associées) favorisent ou défavorisent cette croissance. Ce modèle traduit bien un concept généraliste de dynamique en écologie qui est représenté par des domaines emboîtés de variations du système écologique : Le domaine interne, dit de résistance, où la croissance n'est pas contrainte et le domaine externe, dit de de résilience, dans lequel l'écosystème évolue temporairement avant de retourner dans le domaine de résistance. Le cas de 2004 illustre bien ce fait car c'est une année à faible perturbation par le modèle de contrainte (dev VH dans la figure 37) si l'on compare aux autres années. Les observations indiquent clairement que les conditions moyennes ont permis une croissance puis une décroissance de la biomasse, montrant ainsi que le seul modèle de Gompertz peut expliquer en grande partie ce cycle sans toutefois suffire car il est par définition toujours croissant avec le temps. Il est donc nécessaire que les faibles influences physiques du modèle de contrainte affectent cette croissance.

Le modèle va reproduire les phénomènes les plus fréquents qui ont été observés car il s'agit d'un ajustement statistique. L'arrachement total et la re-colonisation sont suspectés en 2001. Il serait possible de prendre en compte cet effet en laissant l'indice passer en valeurs négatives au delà d'un seuil de débit mais il faut tester cette solution par tâtonnement car nous n'avons qu'un seul cas potentiel dans la chronique d'observation.

Il faut noter que l'indice biotique considéré intègre des aspects de richesse spécifique, du fait du comptage d'espèces présentes, et d'abondance spécifique du fait d'une pondération. Il n'est alors pas le reflet strict d'une croissance de biomasse.

Des améliorations du modèle couplé sont donc possibles mais nécessiteront des tests plus approfondis pour intégrer l'effet de l'arrachement.

6. Synthèse / discussion

Les paramètres de répartition des macrophytes dans les cours d'eau sont maintenant relativement bien connus ; ils peuvent être de nature chimique (nutriments, toxiques, en particulier), physiques (vitesses d'écoulement, profondeur et lumière, nature du substrat), biologiques (compétition interspécifique, facilitation). Dans les parties moyennes ou aval des grands cours d'eau, où les teneurs en nutriments ne sont généralement pas limitantes pour le développement des plantes, ce sont la plupart du temps les paramètres physiques qui dominent.

Les stations étudiées dans le cadre de ce projet sur la Dordogne et la Garonne ont fait l'objet de suivis de végétation depuis plusieurs années. Une des contraintes notables de ces investigations est la dimension des sites (longueur, largeur) et les conditions d'accès aux plantes (profondeurs, vitesses de courant), qui rendent les investigations de terrain complexes et d'une durée importante, ce qui limite d'autant la fréquence des relevés de terrain. Dans le cadre de la thèse d'Emilie Breugnot sur les peuplements de macrophytes de plusieurs stations de ces deux cours d'eau, la caractérisation des relations entre habitat physique et les peuplements de macrophytes sur ces stations a nécessité des campagnes de terrain complémentaires faisant intervenir en particulier des relevés topographiques et des mesures complémentaires de vitesse.

D'un point de vue physique, la démarche mise en œuvre au cours de cette étude comporte une méthode de description du tronçon permettant de représenter le fonctionnement hydraulique du tronçon en fonction du débit sous la forme d'un « comportement moyen » (géométrie hydraulique) auquel est associée une description de la variabilité spatiale à l'intérieur du tronçon, ainsi qu'une modélisation en 2D pouvant permettre de mieux prendre en compte l'influence de la végétation sur le coefficient de frottement et donc sur la ligne d'eau. Cela a permis de mettre en œuvre une méthode d'analyse des chroniques hydrologiques faisant apparaître la dépendance temporelle ou mémoire du biotique par rapport aux conditions physiques. A également été réalisée une modélisation hydraulique en 2D pouvant permettre de mieux prendre en compte à maille fine l'influence de la végétation sur le coefficient de frottement et donc sur la ligne d'eau et le champ de vitesses.

Le protocole de géométrie hydraulique à l'échelle du tronçon n'a pu être mis en œuvre de manière rigoureuse. En effet, au niveau du linéaire étudié, compte-tenu de la largeur des sites (de l'ordre de la centaine de m), il aurait fallu prendre en compte 2 km de cours d'eau pour obtenir une représentation correcte du fonctionnement des sites : dans tous les cas, des singularités des fonds nous ont empêché d'étendre la station d'étude jusqu'à la longueur nécessaire.... Cette insuffisance ne permet donc pas de confirmer la représentativité des résultats à l'échelle du tronçon de cours d'eau et de les utiliser sans réserve dans des comparaisons avec d'autres cours d'eau. Par contre ils représentent bien ce qui se passe à l'échelle de la station « végétation » (linéaire de 250 m sur la Dordogne, de 150 m sur la Garonne).

De même, les mesures de débits devant servir à caler les relations de géométrie hydraulique n'ont pu être réalisées dans les meilleures conditions : sur les stations d'étude dépourvues de station hydrométrique (Mouleydier et Castelsarrasin), les valeurs des débits auxquels ont été effectuées les relevés se sont révélées beaucoup trop proches pour pouvoir établir des courbes de géométrie hydraulique ; il n'y a que sur les stations où nous avons pu estimer les conditions hydrauliques à plein bord et le débit correspondant grâce à la station hydrométrique qu'il a été possible de le faire : c'est en particulier le cas de la station de Gardonne qui a également bénéficié du plus grand nombre de relevés de végétation.

Sur cette station, les relevés biologiques les plus anciens ont permis d'évaluer les disparités pluriannuelles des recouvrements par les macrophytes en fonction des crues. En effet, suite à une crue de longue durée et d'intensité importante durant le printemps 2001 le recouvrement végétal sur la station a fortement chuté. Des recouvrements comparables à ceux de 2000 n'ont été observés à nouveau qu'en 2003 et ces valeurs se sont maintenues ensuite entre 2003 et 2005. On peut donc supposer qu'une crue sera d'autant plus dévastatrice qu'elle se produit durant la période de croissance de la végétation. En effet des crues hivernales de même intensité en 2003 et 2004 n'ont pas eu le même impact que celle de 2001.

Sur les autres stations étudiées, le nombre de relevés et l'importance de la végétalisation des sites est resté trop faible pour que des évaluations de relations entre les paramètres physiques et la répartition des plantes puissent être correctement réalisées.

Sur Gardonne, la répartition des plantes en fonction des gammes de vitesses de courant et de profondeur a montré que les plantes étaient susceptibles de se développer jusqu'à près de $1,4 \text{ m.s}^{-1}$ et que des adaptations morphologiques à des vitesses élevées étaient décelables, en particulier pour la renoncule aquatique (*Ranunculus fluitans*). En ce qui concerne la profondeur, la valeur maximale sur Gardonne est de 2,7 m et, pour cette station où *R. fluitans* est dominante, les gammes de profondeur les plus colonisées sont les intermédiaires, vers 1,2 m, là où ces plantes de grande taille peuvent s'installer de manière à pouvoir se développer entièrement.

La variabilité de végétalisation, de richesse spécifique et de nature des taxons (algues, phanérogames) selon les gammes de profondeurs et de vitesse de courant est importante, de même que l'influence de la saison ; cette variabilité n'est pas un problème en soi, dans la mesure où elle est une expression de la réalité du fonctionnement des peuplements de macrophytes, mais elle est une limite notable de ce type d'investigations de terrain fondé sur des observations et quantifications diverses concernant les plantes elles-mêmes et les paramètres de leur répartition.

L'intégration de données d'hydrologie et d'hydraulique et l'application de modes complémentaires de traitement de ces données, voire de modèles prédictifs, à ces informations stationnelles sur les plantes est un moyen de réaliser un double changement d'échelle. C'est à dire, dans un premier temps, de passer de ces données ponctuelles au fonctionnement spatial à l'échelle de la station dans son ensemble dans un contexte temporel non limité, puis, sous réserve que les modèles employés conservent une certaine précision, de déboucher dans un second temps à des prévisions de développements végétaux pouvant participer au développement d'outils de gestion des peuplements de macrophytes des cours d'eau concernés.

La reconstruction de grandeurs hydrauliques et la modélisation ont été réalisées à l'échelle stationnelle : elles ont permis de confirmer à cette échelle des hypothèses émises sur l'importance des phénomènes physiques sur la dynamique des peuplements. Mais cette construction n'a pas concerné d'échelles plus larges ou, au contraire, d'échelles locales qui pourrait permettre d'affiner les résultats, par exemple en modélisant les vitesses par secteurs, à partir de cartographies plus précisément des herbiers, pour préciser la détermination des coefficients de frottements et déterminer des courbes de préférendum par espèce.

L'analyse de la dépendance temporelle des macrophytes à différentes variables physiques a révélé un contrôle sur le long terme des conditions fréquentes de ces variables. Ces conditions dominantes semblent porter le taux de croissance moyen des macrophytes. La construction d'un modèle couplé de dynamique biologique a montré que des conditions plus fugaces et moins fréquentes exercent un contrôle à court terme qui semble pouvoir expliquer les aléas de la dynamique de croissance d'une année sur l'autre.

Nous avons vu que les difficultés rencontrées sur le terrain avaient rendu difficile l'acquisition de l'ensemble des données apparemment nécessaires pour franchir correctement la première phase : la présente recherche n'a donc pas donné les résultats escomptés mais les résultats obtenus permettent déjà une approche théorique de ce changement d'échelle.

Toutefois, comme une très grande part de ce relatif échec est inhérente à la taille des cours d'eau étudiés, des investigations sur de tels cours d'eau devraient continuer à être mises en œuvre pour mieux analyser les éventuelles adaptations méthodologiques qui resteraient à faire pour en améliorer les résultats. Le fait que les phénomènes d'interactions plantes-écoulements observables en grands cours d'eau et en petits cours d'eau sont de même nature mais d'ampleur réduite dans les grands cours d'eau pourrait être une piste quant à ces adaptations.

Quoi qu'il en soit, pour ce qui concerne l'analyse que les "hydroécologues" engagés dans ce projet peuvent faire des avancées obtenues dans le couplage "répartition des plantes" et "paramètres physiques", il nous semble que cette première tentative d'intégration a donné des résultats suffisamment intéressants pour que les futurs programmes de recherche qui pourraient être mis en œuvre, en particulier dans le contexte de la DCE, comportent cette approche "physique" en complément des méthodes plus classiques d'investigations sur les plantes aquatiques.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ASAEDA T., FUJINO T., MANATUNGE J., 2005. Morphological adaptations of emergent plants to water flow: a case study with *Typha angustifolia*, *Zizania latifolia* and *Phragmites australis*. *Freshwater Biology*, 50(12): 1991-2001.
- BAPTIST M.J., BOSCH (VAN DEN) L.V., DIJKSTRA J.T., KAPINGA S., 2005. Modelling the effects of vegetation on flow and morphology in rivers. *Archiv für Hydrobiologie Supplement, Large Rivers*, 15(1-4): 339-357.
- BARENDREGT A., BIO A.M.F., 2003. Relevant variables to predict macrophyte communities in running waters. *Ecological Modelling*, 160(3): 205-217.
- BARRAT-SEGRETAIN M.-H., BORNETTE G., 2000. Regeneration and colonization abilities of aquatic plant fragments: effect of disturbance seasonality. *Hydrobiologia*, 421(1): 31-39.
- BARRAT-SEGRETAIN M.H., AMOROS C., 1995. Influence of flood timing on the recovery of macrophytes in a former river channel. *Hydrobiologia*, 316(2): 91-101.
- BENNETT S.J., PIRIM T., BARKDOLL B.D., 2002. Using simulated emergent vegetation to alter stream flow direction within a straight experimental channel. *Geomorphology*, 44(1-2): 115-126.
- BIGGS B.J.F., 1996. Hydraulic habitat of plants in streams. *Regulated Rivers: Research & Management*, 12(2-3): 131-144.
- BREIL P. 1997. *Regional hydrological determinants for instream ecology*. In : UNESCO Friend project H-5-5 & 1-1. Third quadriennial report. : 1994-1997. Cemagref Editions. Antony. 386-390.
- BRUNEAU P., 2002. *Dynamique des peuplements de végétaux aquatiques de grands cours d'eau et perception par les acteurs institutionnels - Application à la Garonne et à la Dordogne -*. Museum National d'Histoire Naturelle, Mémoire de DEA, 91 p.
- BUNN S.E., DAVIES P.M., KELLAWAY D.M., PROSSER I.P., 1998. Influence of invasive macrophytes on channel morphology and hydrology in an open tropical lowland stream, and potential control by riparian shading. *Freshwater Biology*, 39(1): 171-178.
- CEMAGREF, 1991. *L'eutrophisation du fleuve Charente*. Agence de l'eau Adour Garonne, 139.
- CHAMPION P.D., TANNER C.C., 2000. Seasonality of macrophytes and interaction with flow in a New Zealand lowland stream. *Hydrobiologia*, 441(1): 1-12.
- COSTA J. E., 1983. Paleohydraulic reconstruction of flash-flood peaks from boulder deposits in the Colorado Front range. *Geological society of America Bulletin*, 94: 986-1004.
- COTTON J.A., WHARTON G., BASS J.A.B., HEPPELL C.M., WOTTON R.S., 2006. The effects of seasonal changes to in-stream vegetation cover on patterns of flow and accumulation of sediment. *Geomorphology Linking Geomorphology and Ecology*, 77(3-4): 320-334.
- DAGET P., POISSONET J., 1971. Une méthode d'analyse phytologique des prairies. Critères d'application. *Annales Agronomiques*, 22(1): 5-41.
- DAUDIN D., DUTARTRE A., 2000. *Pourquoi utiliser la méthode des points contacts?* Cemagref, Unité de Recherche Qualité des Eaux, Note interne, 5.
- DAWSON F.H., 1984. Submerged macrophytes and the hydraulic roughness of a lowland chalkstream. *Verhandlungen Internationale Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie*, 22: 1944-1948.
- DENUELLE N., 2004. *Influence des paramètres d'habitat et mesure de traits biologiques sur les macrophytes de la Dordogne et de la Garonne*. Cemagref, Rapport de stage, 44.
- DODDS W.K., 1991. Factors associated with dominance of the filamentous green alga *Cladophora glomerata*. *Water Research*, 25(11): 1325-1332.
- ECOBAG P.D.R., 2005. *La Garonne dans son bassin*. Agence de l'eau Adour Garonne, Cahier Technique, 24.

- GANTES H.P., CARO A.S., 2001. Environmental heterogeneity and spatial distribution of macrophytes in plain streams. *Aquatic Botany*, 70(3): 225-236.
- GREEN J.C., 2005. Velocity and turbulence distribution around lotic macrophytes. *Aquatic Ecology*, V39(1): 01-10.
- HACHE H., 2001. *Proposition d'un protocole d'observations des macrophytes aquatiques en grands cours d'eau*. Université François Rabelais, Rapport de DESS, 65 p.
- HEARNE J.W., ARMITAGE P.D., 1993. Implications of the annual macrophytes growth cycle on habitats in rivers. *Regulated Rivers: Research & Management*, 8: 313-322.
- JARVELA J., 2002. Flow resistance of flexible and stiff vegetation: a flume study with natural plants. *Journal of Hydrology*, 269(1-2): 44-54.
- JARVELA J., 2005. Effect of submerged flexible vegetation on flow structure and resistance. *Journal of Hydrology*, 307(1-4): 233-241.
- KEMP J.L., HARPER D.M., CROSA G.A., 2000. The habitat-scale ecohydraulics of rivers. *Ecological Engineering*, 16(1): 17-29.
- LEE J.K., ROIG L.C., JENTER H.L., VISSER H.M., 2004. Drag coefficients for modeling flow through emergent vegetation in the Florida Everglades. *Ecological Engineering*, 22(4-5): 237-248.
- LOPEZ F., GARCIA M.H., 2001. Mean flow and turbulence structure of open-channel flow through non-emergent vegetation. *Journal of hydraulic engineering*, 127(5): 392-402.
- MADSEN J.D., CHAMBERS P.A., JAMES W.F., KOCH E.W., WESTLAKE D.F., 2001. The interaction between water movement, sediment dynamics and submersed macrophytes. *Hydrobiologia*, 444: 71-84.
- MADSEN T.V., ENEVOLDSEN H.O., JORGENSEN T.B., 1993. Effects of water velocity on photosynthesis and dark respiration in submerged stream macrophytes. *Plant, Cell and Environment*, 16(3): 317-322.
- MADSEN T.V., WARNCKE E., 1983. Velocities of currents around and within submerged aquatic vegetation. *Archiv für Hydrobiologie*, 97(3): 389-394.
- MASSON J., 1998. *Bassin de la Garonne. Chute de Tuilière sur la Dordogne: Demande de concession*. Electricité De France, Etude d'impact sur l'environnement., Paris, 88.
- MCREA D.E., 2005. *The effects on macrophytes on flow velocity in the Dordogne at Gardonne, South-West France*. CEMAGREF, Stage de Master, 42.
- NADEN P.S., RAMESHWARAN P., VIENOT P., 2004. *Modelling the influence of instream macrophytes on velocity and turbulence*. Fifth International Symposium on Ecohydraulics. Aquatic Habitats: Analysis & Restoration, Madrid, IAHR.
- NAVRATIL, O. (2005). *Débit de pleins bords et géométrie hydraulique : une description synthétique de la morphologie des cours d'eau pour relier le bassin versant et les habitats aquatiques*. Thèse de doctorat en mécanique des milieux géophysiques et Environnement, Institut National Polytechnique de Grenoble. 328 p.
- NAVRATIL, O., ALBERT, M.B., HEROUIN, E., GRESILLON, J.M. (2006). Determination of bankfull discharge magnitude and frequency: comparison of methods on 16 gravel-bed river reaches. *Earth Surf. Process. Landforms* 31 (11), 1345–1363
- PETIT F., GOB F., HOUCHEBRECHTS G. et ASSANI A. A., 2005. Critical specific stream power in gravel-bed rivers. *Geomorphology*, 69 (1-4): 92-101.
- RIIS T., BIGGS B.J.F., 2003. Hydrologic and hydraulic control of macrophyte establishment and performance in streams. *Limnology and Oceanography*, 48(4): 1488-1497.
- RIIS T., BIGGS B.J.F., FLANAGAN M., 2004. Colonisation and temporal dynamics of macrophytes in artificial stream channels with contrasting flow regimes. *Archiv fur Hydrobiologie*, 159(1): 77-95.
- RIIS T., SAND-JENSEN K., VESTERGAARD O., 2000. Plant communities in lowland Danish streams: Species composition and environmental factors. *Aquatic Botany*, 66(4): 255-272.

- SAND-JENSEN K., 2003. Drag and reconfiguration of freshwater macrophytes. *Freshwater Biology*, 48(2): 271-283.
- STEIGER J., CORENBLIT D., 2000. *Dynamique fluviale de la Garonne toulousaine*. Agence de l'eau Adour Garonne, Les études de l'Agence de l'Eau Adour-Garonne, Toulouse, 201.
- THIRB H.H., BENSON-EVANS K., 1982. The effect of different current velocities on the red alga *Lemanea* in a laboratory stream. *Archiv für Hydrobiologie*, 96(1): 65-72.
- THIRB H.H., BENSON-EVANS K., 1985. The effect of water temperature, current velocities and suspended solids on the distribution, growth and seasonality of *Lemanea fluviatilis* (C. Ag.), Rhodophyta, in the River Usk and other South Wales rivers. *Hydrobiologia*, 127: 63-78.
- WHARTON G., COTTON J.A., WOTTON R.S., BASS J.A.B., HEPPELL C.M., TRIMMER M., SANDERS I.A., WARREN L.L., 2006. Macrophytes and suspension-feeding invertebrates modify flows and fine sediments in the Frome and Piddle catchments, Dorset (UK). *Journal of Hydrology*, 330(1-2): 171-184.
- WILCOCK R.J., CHAMPION P.D., NAGELS J.W., CROKER G.F., 1999. The influence of aquatic macrophytes on the hydraulic and physico-chemical properties of a New Zealand lowland stream. *Hydrobiologia*, 416(0): 203-214.
- WILLIAMS G. P., 1983. Paleohydrological methods and some examples from Swedish fluvial environments. *Geografiska Annaler*, 65A (3-4): 227-243.

ANNEXES

Annexe 1

Fiches descriptives des stations

➤ Présentation de la station



Nom de la station : GARDONNE

Cours d'eau : Dordogne

Longueur de la station : 240 m

Largeur moyenne : 113 m

Nombre de profils de végétation : 5

Profils de topographie : 12

Occupation des rives :

Rive droite : agglomération de Gardonne
/ cultures

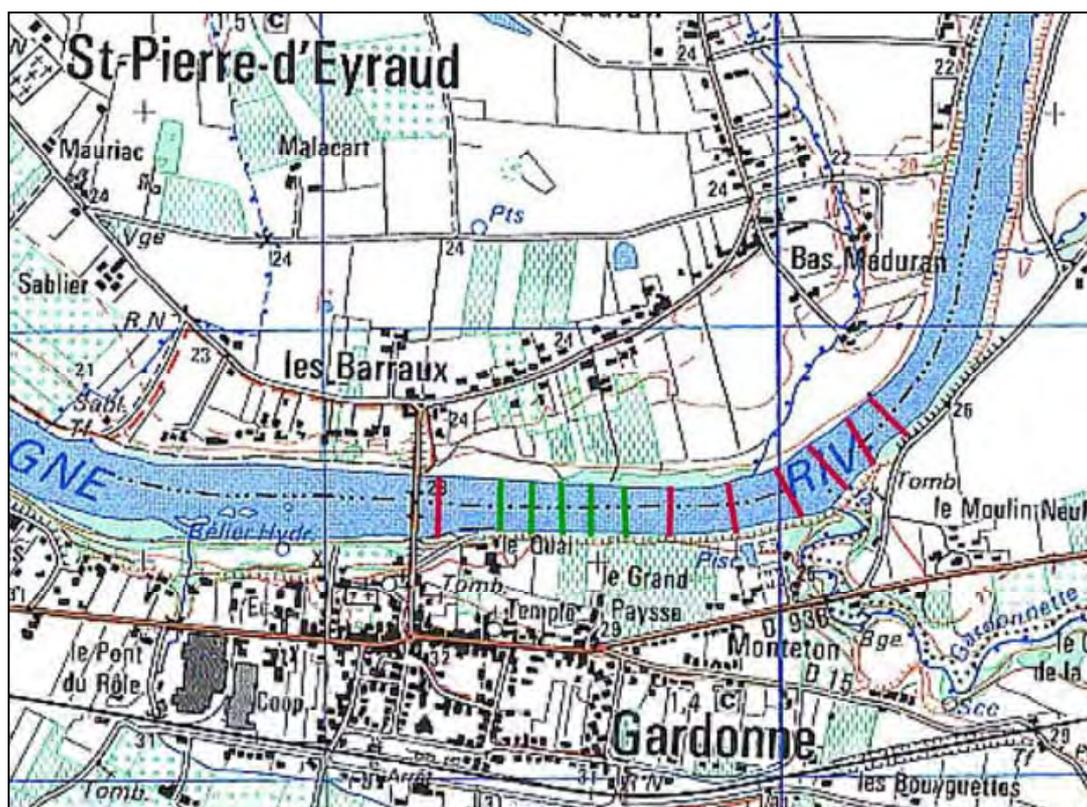
Rive gauche : cultures

N° station RNB : O5047000

N° station Hydro : P5420010

(au niveau du pont de Gardonne)

➤ Implantation des profils sur la station



➤ Présentation de la station



Nom de la station : MOULEYDIER

Cours d'eau : Dordogne

Longueur de la station : 230 m

Largeur moyenne : 100 m

Nombre de profils de végétation : 5

Profils de topographie : 15

Occupation des rives :

Rive droite : camping / cultures

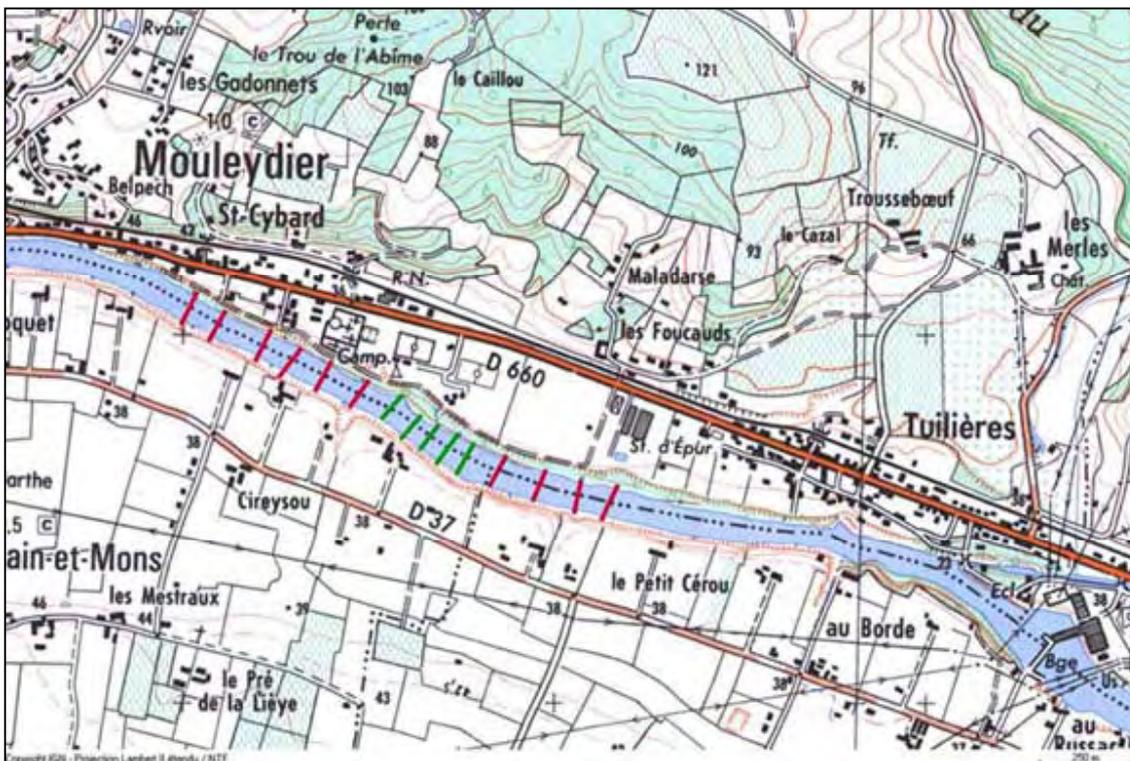
Rive gauche : cultures et peupleraie

N° station RNB : 05047600

N° station Hydro : P5140010

(Bergerac)

➤ Implantation des profils sur la station



— Transect topographie

— Transect topographie + végétation

➤ Présentation de la station



Nom de la station : LAMAGISTERE

Cours d'eau : Garonne

Longueur de la station : 140 m

Largeur moyenne : 150 m

Nombre de profils de végétation : 3

Profils de topographie : 16

Occupation des rives :

Rive droite : agglomération de Lamagistère

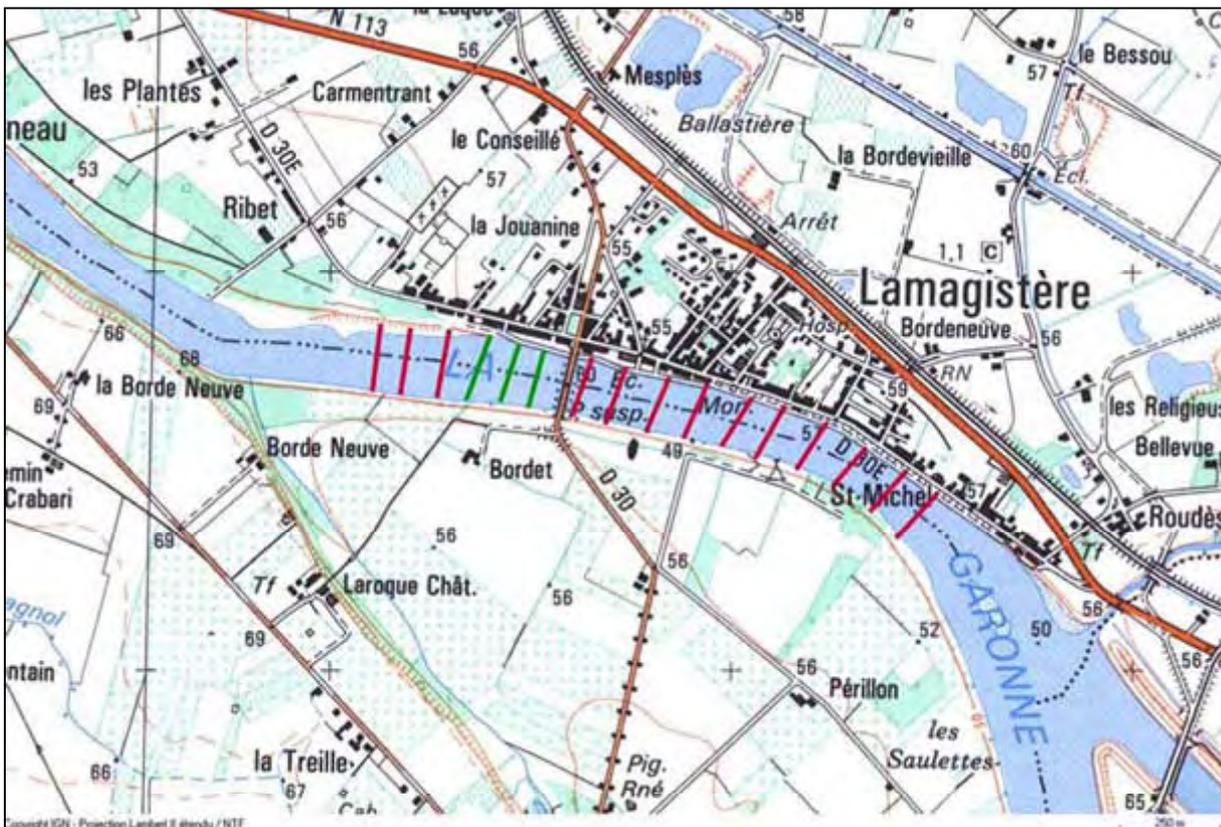
Rive gauche : peupleraie

N° station RNB : 05117000

N° station Hydro : O6140010

(au niveau du pont de Lamagistère)

➤ Implantation des profils sur la station



— Transect topographie

— Transect topographie + végétation

➤ Présentation de la station



Nom de la station : CASTELSARRASIN

Cours d'eau : Garonne

Longueur de la station : 120 m

Largeur moyenne : 120 m

Nombre de profils de végétation : 3

Profils de topographie : 14

Occupation des rives :

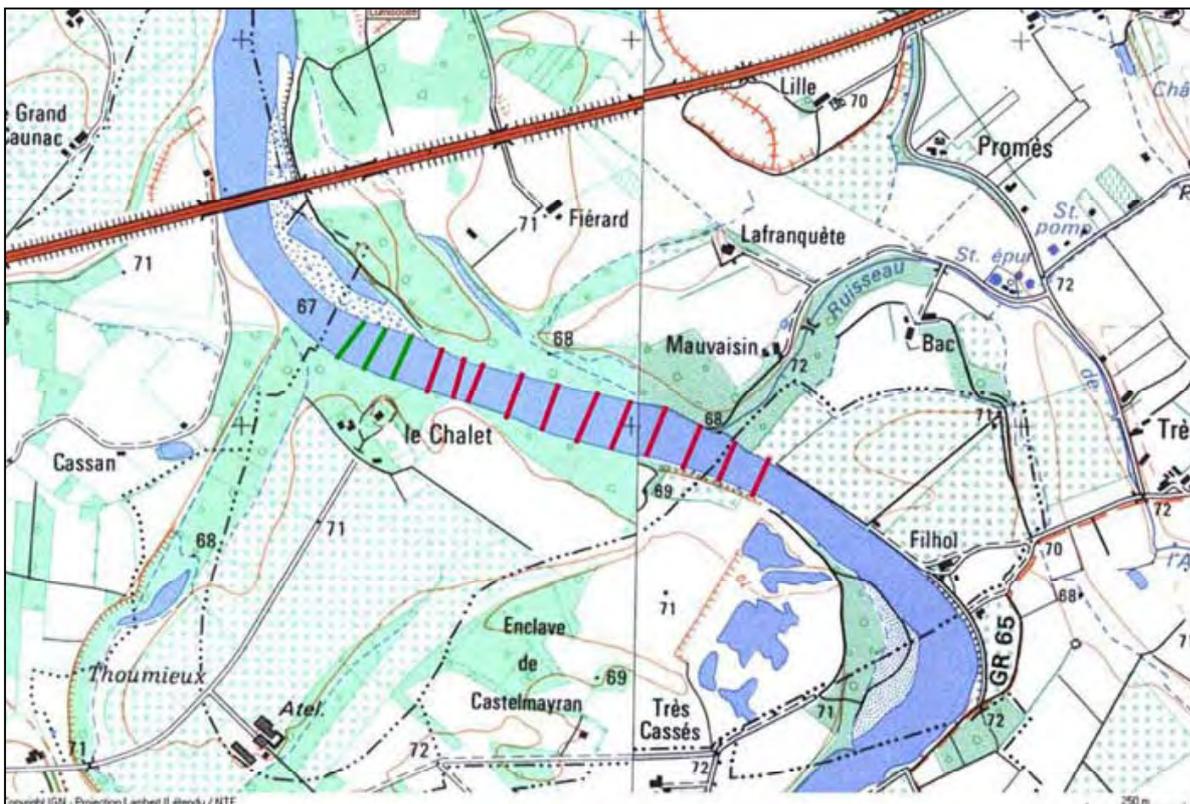
Rive droite : peupleraie / cultures

Rive gauche : peupleraie / cultures

N° station RNB : 05152000

N° station Hydro : O2620010 (Verdun^s / Garonne)

➤ Implantation des profils sur la station



— Transect topographie

— Transect topographie + végétation

Annexe 2

Synthèse données végétation à l'échelle station

Stations « Dordogne » - campagnes 2000 - 2005

Station	Date	Saison	TauxRec %	TauxPCV %	Taux Phanérogames	Rec Phanérogames	% TauxPCV Phanérogames	%TauxRec Algues	%TauxPCV Algues	%
Gardonne	24/08/2000	Eté	45,00	75,00	41,59		68,10	3,97	24,14	
Gardonne	07/06/2001	Printemps	0,99	3,96	0,15		0,99	0,84	2,97	
Gardonne	16/082001	Eté	3,21	6,47	0,80		2,99	2,41	11,44	
Gardonne	25/06/2002	Eté	7,98	23,56	7,36		18,27	0,6	5,77	
Gardonne	29/07/2002	Eté	18,88	17,07	18,24		13,66	0,85	3,41	
Gardonne	19/05/2003	Printemps	3,95	14,71	3,53		9,31	0,39	3,92	
Gardonne	17/06/2003	Printemps	17,45	41,83	16,67		32,68	0,75	9,15	
Gardonne	12/08/2003	Eté	53,45	83,93	40,36		64,88	22,56	67,86	
Gardonne	15/04/2004	Printemps	0,75	3,65	0,07		0,91	0,68	2,74	
Gardonne	26/05/2004	Printemps	0,51	5,65	0,48		4,52	0,00	0,00	
Gardonne	29/06/2004	Eté	6,46	27,83	6,11		24,06	0,35	3,30	
Gardonne	09/08/2004	Eté	22,08	48,08	17,27		42,31	5,22	30,29	
Gardonne	06/10/2004	Automne	20,52	44,76	20,26		43,81	0,45	3,33	
Gardonne	02/12/2004	Automne	16,45	46,74	16,26		44,02	0,07	1,63	
Gardonne	25/01/2005	Hiver	6,99	27,88	6,75		25,22	0,24	1,77	
Gardonne	15/02/2005	Hiver	2,98	15,56	2,98		14,67	0,13	0,89	
Gardonne	21/03/2005	Printemps	31,08	57,80	9,17		24,31	22,45	40,83	
Gardonne	07/06/2005	Printemps	20,25	42,60	20,00		39,91	0,09	1,79	
Gardonne	27/06/2005	Eté	31,21	56,07	31,14		54,21	0,07	1,40	
Gardonne	21/07/2005	Eté	50,62	68,90	49,09		66,03	2,06	9,09	
Mouleydier	20/05/2003	Printemps	0,31	3,95	0,23		2,26	0,06	1,13	
Mouleydier	18/06/2003	Printemps	4,30	14,79	0,99		3,52	3,45	13,38	
Mouleydier	13/08/2003	Eté	4,11	11,92	2,34		7,28	2,24	7,95	
Mouleydier	28/05/2004	Printemps	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	
Mouleydier	28/06/2004	Eté	0,29	3,43	0,11		2,29	0,17	1,71	
Mouleydier	11/08/2004	Eté	0,73	5,76	0,16		1,05	0,58	4,19	
Mouleydier	07/10/2004	Automne	2,04	10,55	0,50		2,01	1,53	10,05	
Mouleydier	24/03/2005	Printemps	7,80	25,65	1,10		4,71	6,68	21,99	
Mouleydier	06/06/2005	Printemps	4,23	12,76	3,21		7,14	1,02	7,14	
Mouleydier	29/06/2005	Eté	3,16	8,95	3,03		7,89	0,16	3,16	
Mouleydier	20/07/2005	Eté	4,02	7,10	4,02		7,10	0,00	0,00	

Stations « Garonne » – campagnes 2003-2005

Station	Date	Saison	TauxRec %	TauxPCV %	Taux Rec Phanérogames	% TauxPCV Phanérogames	% TauxRec Algues	% TauxPCV Algues	%
Lamagistère	07/07/2003	Eté	1,41	4,35	0,76	2,90	0,65	4,35	
Lamagistère	01/09/2003	Automne	6,81	15,60	1,28	4,96	5,53	12,06	
Lamagistère	14/06/2004	Printemps	0,08	1,09	0,00	0,54	0,08	1,09	
Lamagistère	19/07/2004	Eté	5,61	12,74	0,19	1,27	5,41	11,46	
Lamagistère	30/08/2004	Eté	13,93	23,45	1,28	2,76	13,14	22,76	
Lamagistère	03/11/2004	Automne	1,09	17,88	0,93	11,92	0,17	10,60	
Lamagistère	29/03/2005	Printemps	3,53	11,05	0,03	1,58	3,50	10,53	
Lamagistère	30/05/2005	Printemps	1,71	12,50	0,41	7,07	1,30	8,15	
Castelsarrasin	08/07/2003	Eté	4,92	22,83	1,85	8,66	3,07	15,75	
Castelsarrasin	03/09/2003	Eté	6,68	16,39	4,80	17,21	1,93	5,74	
Castelsarrasin	15/06/2004	Printemps	0,03	0,68	0,03	0,68	0,00	0,00	
Castelsarrasin	21/07/2004	Eté	0,64	5,26	0,19	3,76	0,45	3,01	
Castelsarrasin	31/08/2004	Eté	5,76	17,39	3,01	10,87	2,75	13,77	
Castelsarrasin	04/11/2004	Automne	2,12	11,64	1,03	6,16	1,06	6,85	
Castelsarrasin	30/03/2005	Printemps	0,69	3,95	0,03	0,66	0,66	3,95	
Castelsarrasin	31/05/2005	Printemps	0,16	3,95	0,16	3,29	0,00	0,00	
Castelsarrasin	18/07/2005	Eté	2,92	9,03	2,92	9,03	0,03	0,69	

Légende :

Taux Rec = Taux de recouvrement :

Ces valeurs sont obtenues en moyennant l'abondance de végétation relevée sur l'ensemble des points-contacts (entre 150 et 200 points de prélèvement régulièrement espacés sur chaque station).

Taux PCV = Taux de points contactst végétalisés

Ces valeurs ne prennent en compte que la présence/absence de plantes sans pondérer par un indice d'abondance.

Annexe 3

Campagnes de terrain 2005 communes Lyon / Bordeaux

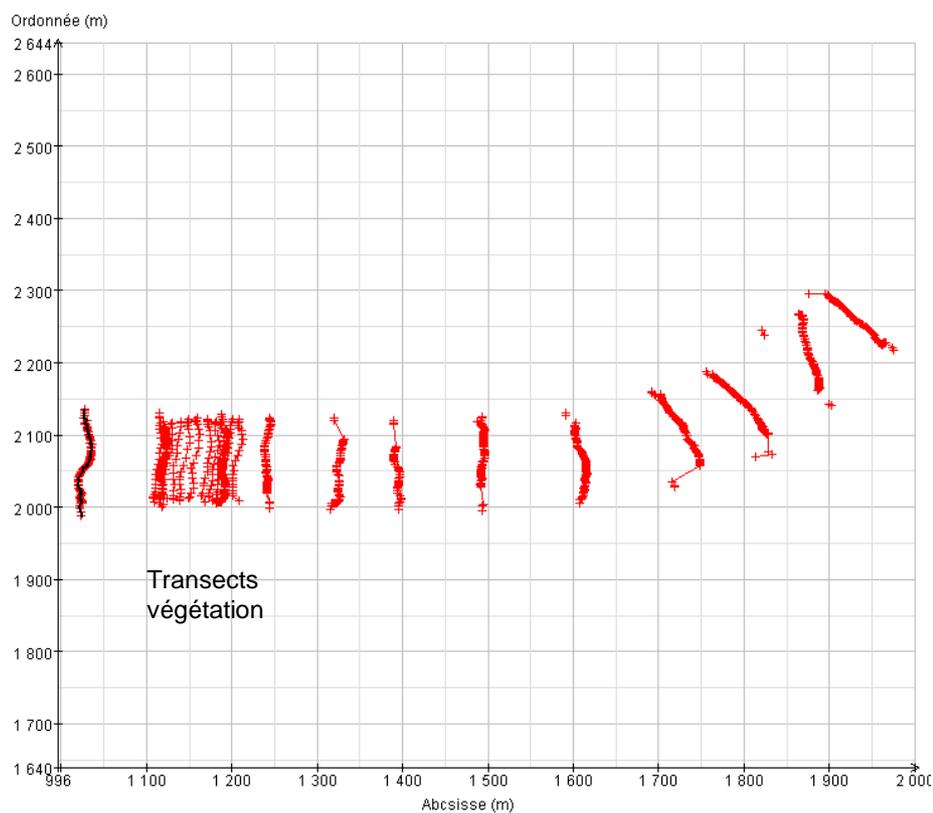
Dates	Stations (D = Dordogne, G = Garonne)	Participants	Mesures effectuées	Remarques
21 et 22 mars 2005	D - Gardonne	Emilie Breugnot, Christophe Laplace-Treyture, Vincent Bertrin (REBX) Guillaume Dramais, Marie-B. Albert (HHL Y)	Végétation (5 T) ADCP (15 transects) Topographie (berges et ligne d'eau sur 1 km)	Raccordement topo échelle limnimétrique DIREN
23 mars 2005	D - Mouleydier	Emilie Breugnot, Christophe Laplace-Treyture, Vincent Bertrin (REBX) Guillaume Dramais, Marie-B. Albert (HHL Y)	Végétation (5 T) ADCP (15 T) Topographie (berges et ligne d'eau sur 1,2 km)	
26 et 27 avril 2005	G - Lamagistère	Emilie Breugnot, Christophe Laplace-Treyture, Vincent Bertrin (REBX) Guillaume Dramais, Marie-B. Albert (HHL Y)	ADCP (16 T) Topographie (berges et ligne d'eau sur 1,4 km)	Raccordement topo échelle limnimétrique DIREN. Prélèvements végétation impossibles (trop d'eau)
27 et 28 avril 2005	G - Castelsarrasin ("Malause")	Emilie Breugnot, Christophe Laplace-Treyture, Vincent Bertrin (REBX) Guillaume Dramais, Marie-B. Albert (HHL Y)	ADCP (14 T) Topographie (berges et ligne d'eau sur 1,2 km)	Prélèvements végétation impossibles (trop d'eau)
18 et 19 juillet 2005	G - Castelsarrasin ("Malause")	Emilie Breugnot, Vincent Bertrin (REBX) Guillaume Dramais (HHL Y)	Végétation (3 T) ADCP (3 T) Topographie (largeurs mouillées et ligne d'eau 2 ^{ème} débit)	
20 juillet 2005	D - Mouleydier	Emilie Breugnot, Vincent Bertrin (REBX) Guillaume Dramais (HHL Y)	Végétation (5 T) ADCP (5 T) Topographie (largeurs mouillées et ligne d'eau 2 ^{ème} débit)	
30 novembre et 1 ^{er} décembre 2005	D - Gardonne	Emilie Breugnot, Christophe Laplace-Treyture, Céline Madigou (REBX) Guillaume Dramais, Fabien Thollet (HHL Y)	Végétation (10T) ADCP (10 T) Topographie (ligne d'eau)	Transects supplémentaires intermédiaires (espacement 10 m) en vue modélisation 2D

Annexe 4

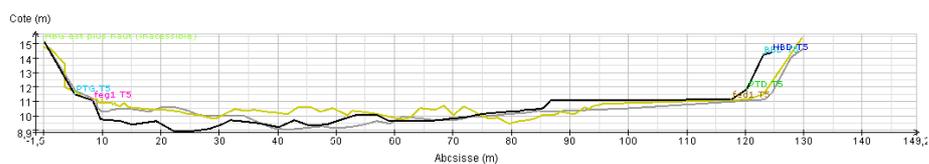
Relevés topographiques et bathymétriques : vues de dessus, profils en long

La Dordogne à Gardonne Reconstitution topographie du lit (visualisation par logiciel AM0)

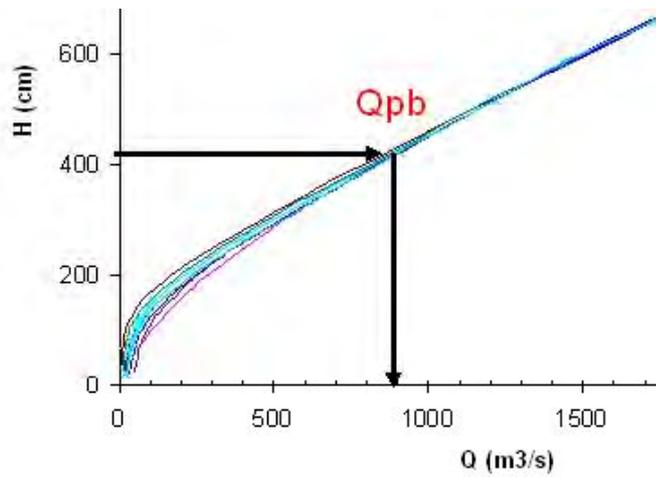
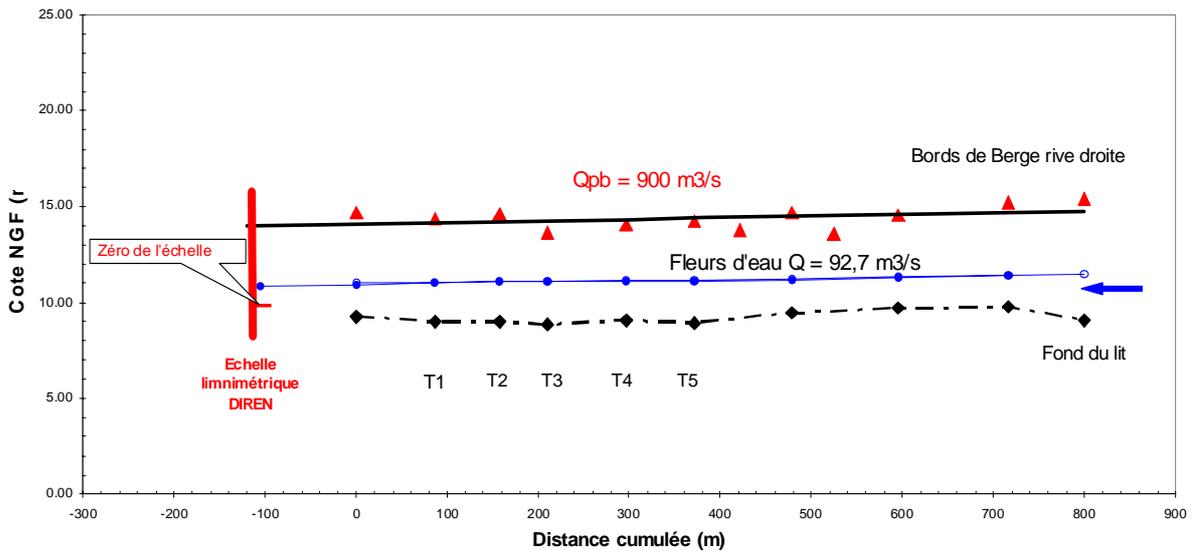
Vue de dessus



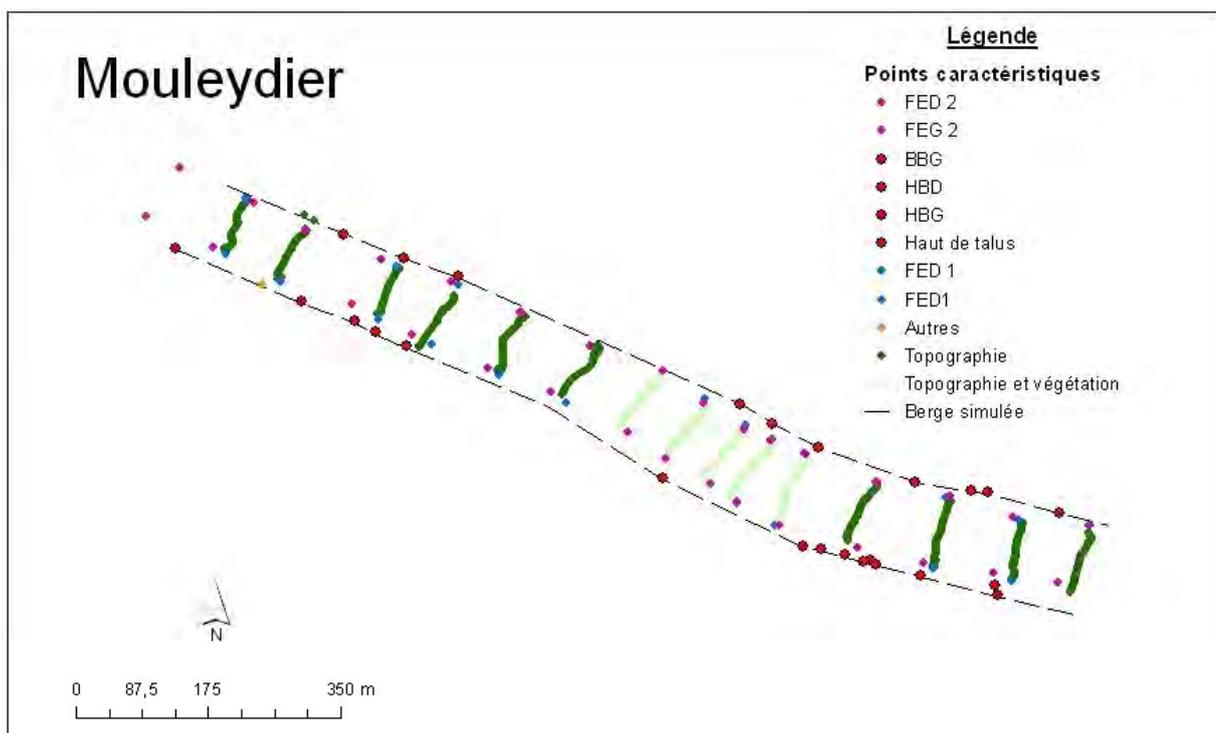
Vue profils en travers :



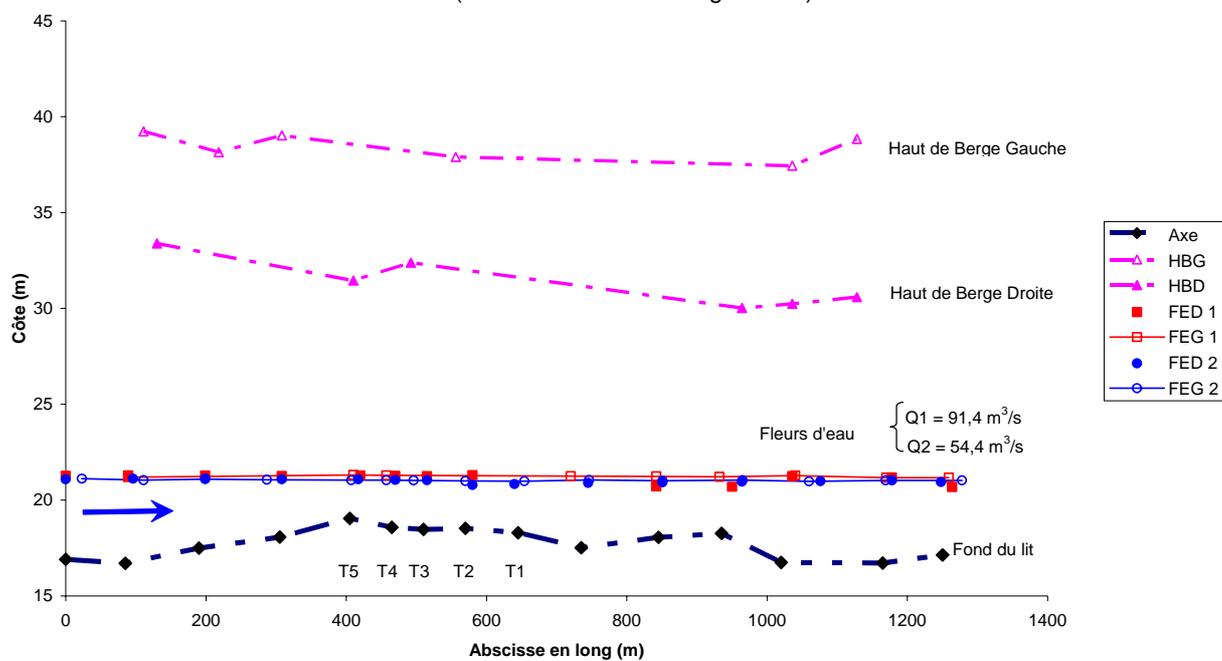
La Dordogne à Gardonne :
 Profil en long au débit Q observé (92,7 m³/s)
 et détermination du débit plein bord

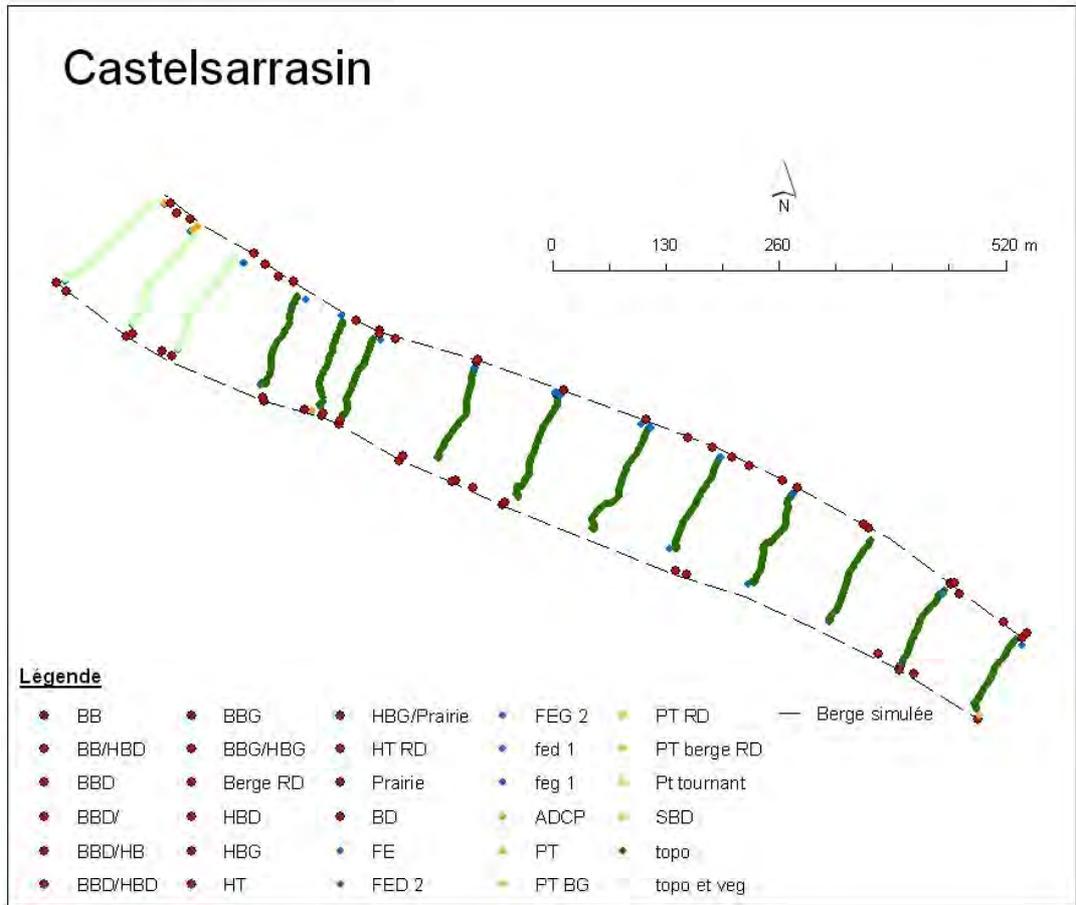


courbe de tarage à la station HYDRO

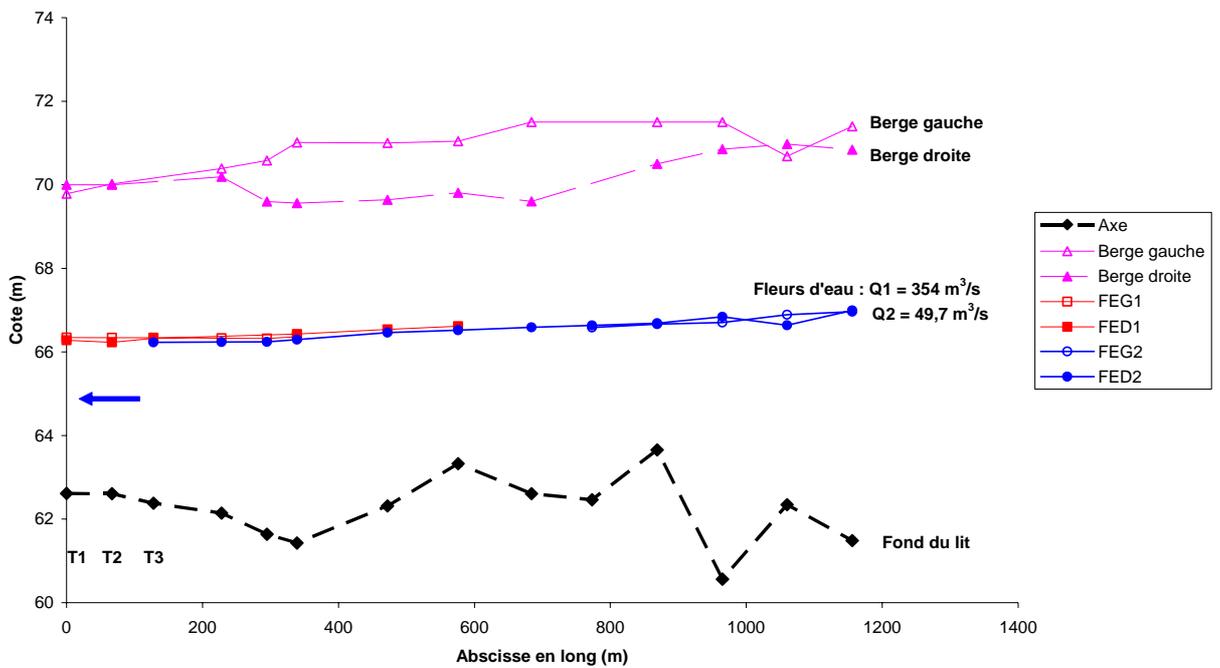


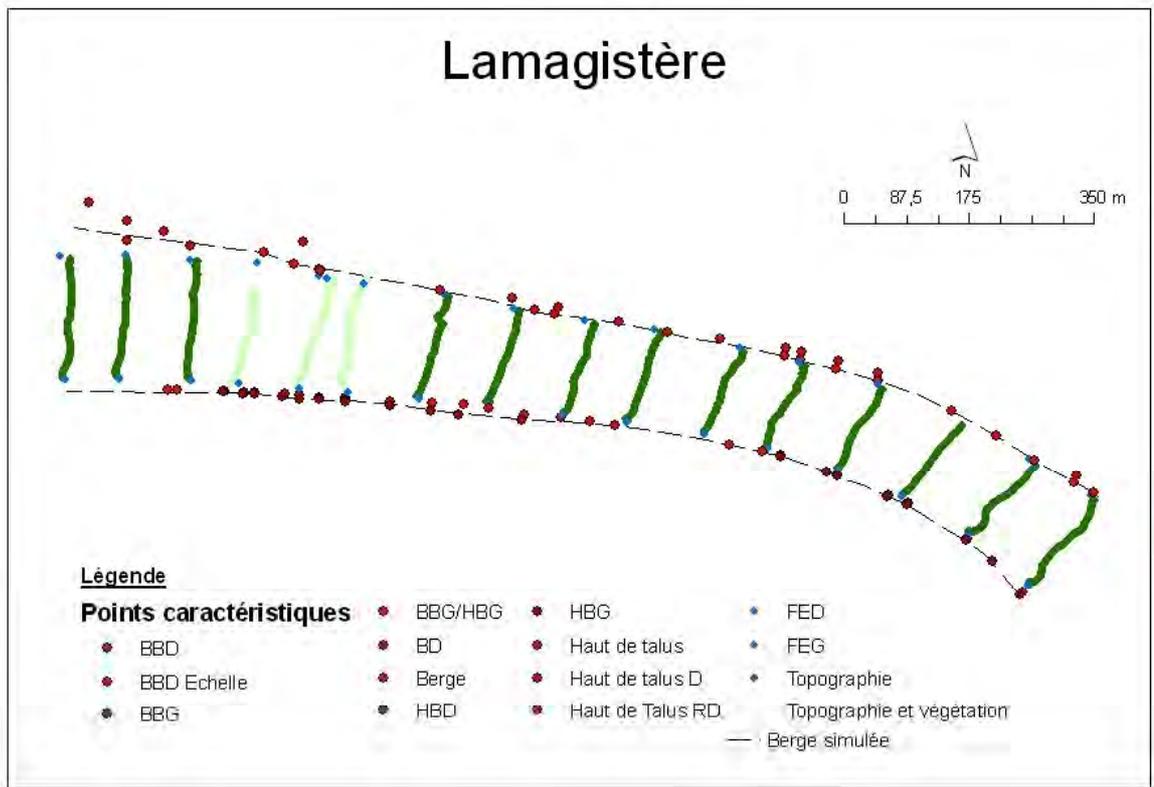
La Dordogne à Mouleydier : profils en long topographie
(T1 à T5 : transects "végétation")



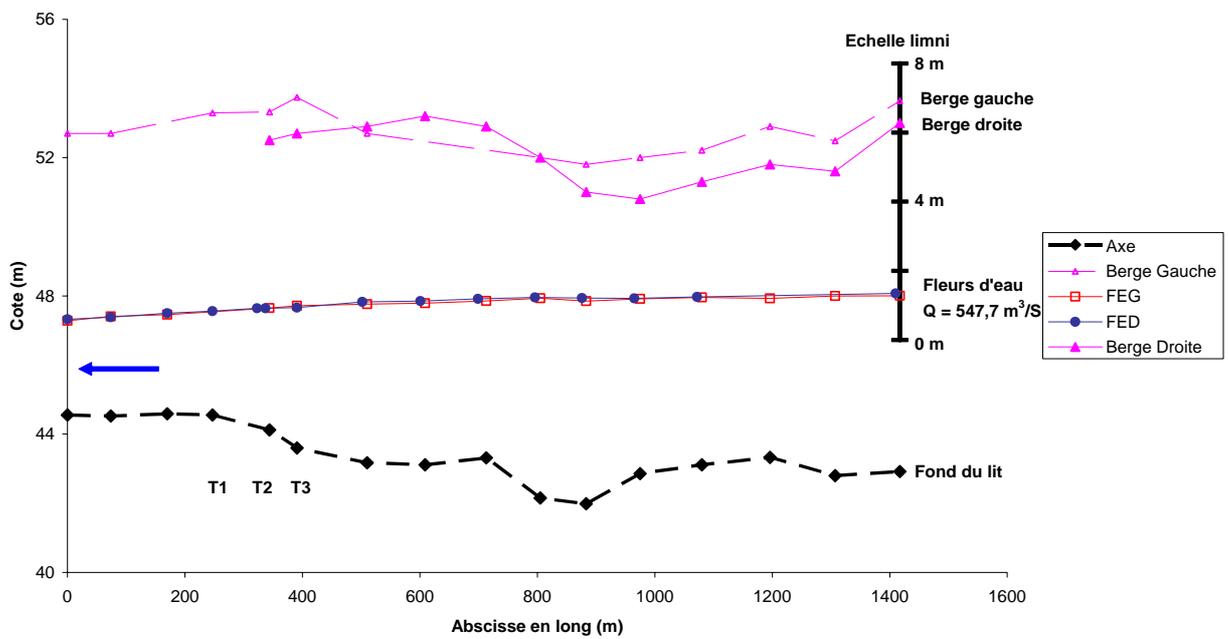


La Garonne à Castelsarrasin : profils en long
(T1 à T3 : transects "végétation")





La Garonne à Lamagistère : profils en long
(T1 à T3 : transects "végétation")



Annexe 5

Stations HYDRO et débits associés aux campagnes de mesures

<i>Station Végétation</i>	Station HYDRO la plus proche	Surface BV	Informations disponibles	Commentaires
Lamagistère	O6140010 La Garonne à Lamagistère	32350 km ²	QJ depuis 1967 H(t) depuis 1988 Courbes de tarage	Echelle raccordée à la topo
Castelsarrasin	O2620010 La Garonne à Verdun Sur Garonne	13730 km ²	H(t) et Q(t) depuis le 1/08/1972	
Mouleydier	P5140010 La Dordogne à Bergerac	14040 km ²	H(t) et Q(t) depuis le 01/01/1988	Débits à la station de Bergerac déclarés « douteux » car station non fiable en basses eaux (située dans le remous du barrage). On utilisera la station de Gardonne avec un coefficient correcteur de 0.953 correspondant au rapport des BV entre Mouleydier et Gardonne
Gardonne	P5420010 La Dordogne à Gardonne	14600 km ²	H(t) et Q(t) depuis le 15/06/2001 Courbes de tarage	Station de remplacement de Bergerac Relation hauteurs-débits très influencée par la végétation en été → Courbes de tarage changent très souvent... Echelle raccordée à la topo



LA DORDOGNE A GARDONNE

Zone hydrographique : P5420010 Bassin versant : 14600 km²

Producteur : DIREN Midi-Pyrenees

E-mail : jean-luc.le-rohellec@midi-pyrenees.ecologie.gouv.fr

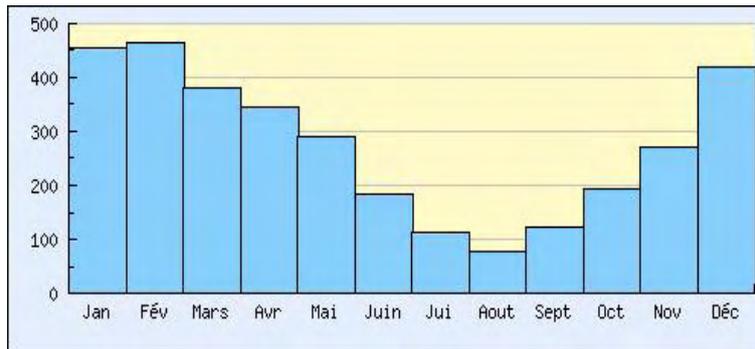
SYNTHESE

donnees hydrologiques de synthese (1958 - 2006)
Calculees le 15/04/2006; Intervalle de confiance : 95 %; utilisation des stations anterieures

écoulements mensuels (naturels)

donnees calculees sur 49 ans

	janv.	fév.	mars	avr.	mai	juin	juil.	août	sept.	oct.	nov.	déc.	Année
Débits (m3/s)	454.0 #	464.0 #	381.0 #	345.0	290.0	183.0 #	114.0 #	78.90 #	123.0 #	193.0 #	270.0 #	418.0	275.0
Qsp (l/s/km2)	31.1 #	31.8 #	26.1 #	23.6	19.9	12.6 #	7.8 #	5.4 #	8.4 #	13.2 #	18.5 #	28.6	18.8
Lame d'eau (mm)	83 #	79 #	69 #	61	53	32 #	20 #	14 #	21 #	35 #	47 #	76	597



modules interannuels (loi de Gauss - septembre a aout)

donnees calculees sur 49 ans

module (moyenne)	fréquence	quinquennale sèche	médiane	quinquennale humide
275.0 [257.0;293.0]	debits (m3/s)	220.0 [200.0;240.0]	280.0 [240.0;320.0]	330.0 [310.0;350.0]

basses eaux (loi de Galton - janvier a decembre)

donnees calculees sur 49 ans

fréquence	VCN3 (m3/s)	VCN10 (m3/s)	QMNA (m3/s)
biennale	39.00 [34.00;43.00]	44.00 [40.00;49.00]	59.00 [53.00;66.00]
quinquennale sèche	26.00 [22.00;29.00]	31.00 [27.00;35.00]	40.00 [35.00;45.00]

crues (loi de Gumbel - septembre a aout)

donnees calculees sur 48 ans

fréquence	QJ (m3/s)	QIX (m3/s)
biennale	1300. [1200.;1400.]	1400. [1300.;1500.]
quinquennale	1800. [1700.;2000.]	1900. [1800.;2100.]
décennale	2100. [1900.;2400.]	2200. [2100.;2500.]
vicennale	2400. [2200.;2800.]	2600. [2300.;2900.]
cinquantennale	2800. [2500.;3300.]	3000. [2700.;3400.]
centennale	non calculé	non calculé

maximums connus (par la banque HYDRO)

hauteur maximale instantanee (cm)	657	15 janvier 2004 03:30
debit instantane maximal (m3/s)	2430. #	8 janvier 1994 01:55
debit journalier maximal (m3/s)	2600.	15 janvier 1962

débits classés

donnees calculees sur 18853 jours

fréquence	0.99	0.98	0.95	0.90	0.80	0.70	0.60	0.50	0.40	0.30	0.20	0.10	0.05	0.02	0.01
debit (m3/s)	1210.	1000.	750.0	575.0	420.0	321.0	249.0	193.0	148.0	110.0	77.70	52.50	41.30	32.20	28.10



LA GARONNE A LAMAGISTERE

Zone hydrographique : O6140010 Bassin versant : 32350 km²

Producteur : DIREN Midi-Pyrenees

E-mail : jean-luc.le-rohellec@midi-pyrenees.ecologie.gouv.fr

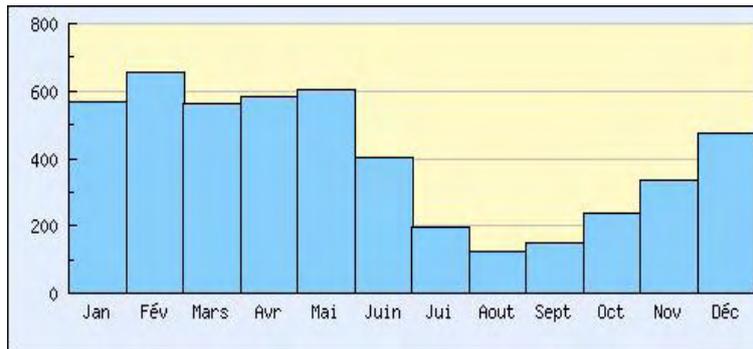
SYNTHESE

donnees hydrologiques de synthese (1967 - 2006)
Calculees le 15/04/2006; Intervalle de confiance : 95 %

écoulements mensuels (naturels)

donnees calculees sur 40 ans

	janv.	fév.	mars	avr.	mai	juin	juil.	août	sept.	oct.	nov.	déc.	Année
Débits (m3/s)	566.0 #	655.0 #	562.0 #	584.0 #	604.0	403.0 #	197.0 #	123.0 #	150.0 #	236.0 #	337.0 #	477.0 #	406.0
Qsp (l/s/km2)	17.5 #	20.2 #	17.4 #	18.0 #	18.7	12.5 #	6.1 #	3.8 #	4.6 #	7.3 #	10.4 #	14.7 #	12.6
Lame d'eau (mm)	46 #	50 #	46 #	46 #	49	32 #	16 #	10 #	12 #	19 #	26 #	39 #	397



modules interannuels (loi de Gauss - septembre a aout)

donnees calculees sur 40 ans

module (moyenne)	fréquence	quinquennale sèche	médiane	quinquennale humide
406.0 [378.0;434.0]	debits (m3/s)	320.0 [280.0;350.0]	410.0 [360.0;470.0]	490.0 [460.0;530.0]

basses eaux (loi de Galton - janvier a decembre)

donnees calculees sur 40 ans

fréquence	VCN3 (m3/s)	VCN10 (m3/s)	QMNA (m3/s)
biennale	69.00 [62.00;76.00]	78.00 [71.00;85.00]	100.0 [92.00;110.0]
quinquennale sèche	51.00 [45.00;57.00]	58.00 [52.00;64.00]	75.00 [67.00;83.00]

crues (loi de Gumbel - septembre a aout)

donnees calculees sur 38 ans

fréquence	QJ (m3/s)	QIX (m3/s)
biennale	2500. [2300.;2800.]	2800. [2600.;3100.]
quinquennale	3500. [3200.;4000.]	3800. [3500.;4400.]
décennale	4200. [3800.;4800.]	4500. [4100.;5300.]
vicennale	4800. [4300.;5600.]	5200. [4700.;6100.]
cinquantennale	5600. [5000.;6700.]	6100. [5400.;7300.]
centennale	non calculé	non calculé

maximums connus (par la banque HYDRO)

hauteur maximale instantanee (cm)	884	15 decembre 1981 00:00
debit instantane maximal (m3/s)	4620. #	5 fevrier 2003 16:25
debit journalier maximal (m3/s)	4370.	15 decembre 1981

débits classés

donnees calculees sur 14348 jours

fréquence	0.99	0.98	0.95	0.90	0.80	0.70	0.60	0.50	0.40	0.30	0.20	0.10	0.05	0.02	0.01
debit (m3/s)	1920.	1540.	1090.	822.0	600.0	479.0	381.0	302.0	232.0	171.0	128.0	96.00	78.30	62.80	53.00



LA GARONNE A VERDUN-SUR-GARONNE

Zone hydrographique : O2620010

Bassin versant : 13730 km²

Producteur : DIREN Midi-Pyrenees

E-mail : jean-luc.le-rohellec@midi-pyrenees.ecologie.gouv.fr

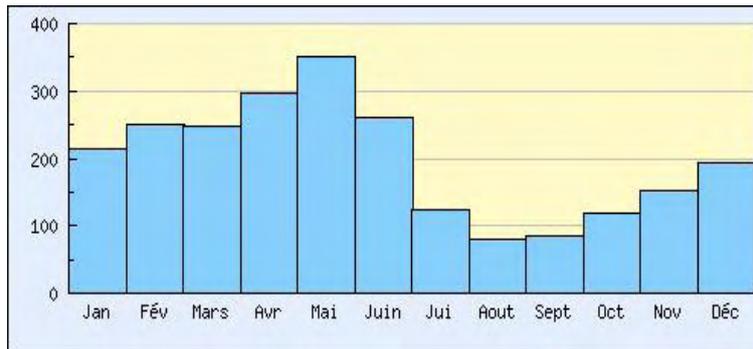
SYNTHESE

donnees hydrologiques de synthese (1972 - 2006)
Calculees le 15/04/2006; Intervalle de confiance : 95 %

écoulements mensuels (naturels)

donnees calculees sur 35 ans

	janv.	fév.	mars	avr.	mai	juin	juil.	août	sept.	oct.	nov.	déc.	Année
Débits (m3/s)	214.0 #	250.0 #	249.0 #	297.0 #	350.0 #	261.0 #	125.0 #	79.60 #	84.20 #	120.0 #	152.0 #	194.0 #	198.0
Qsp (l/s/km2)	15.6 #	18.2 #	18.1 #	21.7 #	25.5 #	19.0 #	9.1 #	5.8 #	6.1 #	8.7 #	11.0 #	14.1 #	14.4
Lame d'eau (mm)	41 #	45 #	48 #	56 #	68 #	49 #	24 #	15 #	15 #	23 #	28 #	37 #	455



modules interannuels (loi de Gauss - septembre a aout)

donnees calculees sur 35 ans

module (moyenne)	fréquence	quinquennale sèche	médiane	quinquennale humide
198.0 [182.0;213.0]		160.0 [140.0;170.0]	200.0 [170.0;230.0]	240.0 [230.0;260.0]

basses eaux (loi de Galton - janvier a decembre)

donnees calculees sur 35 ans

fréquence	VCN3 (m3/s)	VCN10 (m3/s)	QMNA (m3/s)
biennale	36.00 [33.00;41.00]	42.00 [38.00;46.00]	57.00 [52.00;63.00]
quinquennale sèche	27.00 [23.00;30.00]	32.00 [28.00;35.00]	44.00 [39.00;48.00]

crues (loi de Gumbel - septembre a aout)

donnees calculees sur 33 ans

fréquence	QJ (m3/s)	QIX (m3/s)
biennale	1500. [1300.;1700.]	1900. [1700.;2100.]
quinquennale	2100. [1900.;2500.]	2700. [2400.;3200.]
décennale	2500. [2300.;3000.]	3200. [2900.;3900.]
vicennale	3000. [2600.;3600.]	3800. [3300.;4500.]
cinquantennale	3500. [3000.;4300.]	4400. [3900.;5400.]
centennale	non calculé	non calculé

maximums connus (par la banque HYDRO)

hauteur maximale instantanee (cm)	666	11 juin 2000 21:08
debit instantane maximal (m3/s)	3780. #	11 juin 2000 21:08
debit journalier maximal (m3/s)	2930. #	11 juin 2000

débits classés

donnees calculees sur 12270 jours

fréquence	0.99	0.98	0.95	0.90	0.80	0.70	0.60	0.50	0.40	0.30	0.20	0.10	0.05	0.02	0.01
debit (m3/s)	929.0	693.0	488.0	378.0	286.0	229.0	186.0	150.0	113.0	88.00	69.00	52.70	43.70	34.70	28.20

Station	Date manip		Saison	Profil	Q mesuré moyen (m ³ .s ⁻¹)	QJ Banque Hydro**		Q retenu***	Remarques
	végétation	vitesse				J végétation	J vitesses		
Gardonne	19/05/2003	idem	Printemps	1		96,00	96,00	96,0	
Gardonne	19/05/2003	idem	Printemps	2					
Gardonne	19/05/2003	idem	Printemps	3					
Gardonne	19/05/2003	idem	Printemps	4					
Gardonne	19/05/2003	idem	Printemps	5					
Gardonne	17/06/2003	idem	Printemps	1		62,60	62,60	62,6	
Gardonne	17/06/2003	idem	Printemps	2					
Gardonne	17/06/2003	idem	Printemps	3					
Gardonne	17/06/2003	idem	Printemps	4					
Gardonne	17/06/2003	idem	Printemps	5					
Gardonne	12/08/2003	idem	Eté	1		20,90	20,90	20,9	QJ signalé "douteux" sur HYDRO
Gardonne	12/08/2003	idem	Eté	2					
Gardonne	12/08/2003	idem	Eté	3					
Gardonne	12/08/2003	idem	Eté	4					
Gardonne	12/08/2003	idem	Eté	5					
Gardonne	15/04/2004	idem	Printemps	1		191,00	191,00	191,0	
Gardonne	15/04/2004	idem	Printemps	2					
Gardonne	15/04/2004	idem	Printemps	3					
Gardonne	15/04/2004	idem	Printemps	4					
Gardonne	15/04/2004	idem	Printemps	5					
Gardonne	26/05/2004	idem	Printemps	1	185,28	152,00	152,00	185,3	gros écart entre QJ et Q mesuré...
Gardonne	26/05/2004	idem	Printemps	2					
Gardonne	26/05/2004	idem	Printemps	3					
Gardonne	26/05/2004	idem	Printemps	4					
Gardonne	26/05/2004	idem	Printemps	5					
Gardonne	29/06/2004	idem	Eté	1		58,80	58,80	58,8	
Gardonne	29/06/2004	idem	Eté	2					
Gardonne	29/06/2004	idem	Eté	3					
Gardonne	29/06/2004	idem	Eté	4					
Gardonne	29/06/2004	idem	Eté	5					
Gardonne	09/08/2004	idem	Eté	1	56,51	56,80	56,80	56,5	
Gardonne	09/08/2004	idem	Eté	2					
Gardonne	09/08/2004	idem	Eté	3					
Gardonne	09/08/2004	idem	Eté	4					
Gardonne	09/08/2004	idem	Eté	5					
Gardonne	06/10/2004	idem	Automne	1		126,00	126,00	126,0	
Gardonne	06/10/2004	idem	Automne	2					
Gardonne	06/10/2004	idem	Automne	3					
Gardonne	06/10/2004	idem	Automne	4					
Gardonne	06/10/2004	idem	Automne	5					
Gardonne	02/12/2004	idem	Automne	1		131,00	131,00	131,0	
Gardonne	02/12/2004	idem	Automne	2					
Gardonne	02/12/2004	idem	Automne	3					
Gardonne	02/12/2004	idem	Automne	4					
Gardonne	02/12/2004	idem	Automne	5					
Gardonne	25/01/2005	idem	Hiver	1		335,00	335,00	335,0	
Gardonne	25/01/2005	idem	Hiver	2					
Gardonne	25/01/2005	idem	Hiver	3					

Gardonne	25/01/2005	idem	Hiver	4						
Gardonne	25/01/2005	idem	Hiver	5						
Gardonne	15/02/2005	idem	Hiver	1		230,00	230,00	230,0		
Gardonne	15/02/2005	idem	Hiver	2						
Gardonne	15/02/2005	idem	Hiver	3						
Gardonne	15/02/2005	idem	Hiver	4						
Gardonne	15/02/2005	idem	Hiver	5						
Gardonne	21/03/2005		Printemps	1	92,72	99,30	99,40	92,7	Mesures ADCP du 21 à 17h30 au 22 à 19h (20 profils de mesure). Les 2 QJ signalés "douteux" sur HYDRO !	
Gardonne	21/03/2005	22/03/05	Printemps	2						
Gardonne	21/03/2005	(15 T + topo)	Printemps	3						
Gardonne	21/03/2005		Printemps	4						
Gardonne	21/03/2005		Printemps	5						
Gardonne	07/06/2005	idem	Printemps	1		75,00	75,00	75,0		
Gardonne	07/06/2005	idem	Printemps	2						
Gardonne	07/06/2005	idem	Printemps	3						
Gardonne	07/06/2005	idem	Printemps	4						
Gardonne	07/06/2005	idem	Printemps	5						
Gardonne	27/06/2005	idem	Été	1		84,50	84,50	84,5		
Gardonne	27/06/2005	idem	Été	2						
Gardonne	27/06/2005	idem	Été	3						
Gardonne	27/06/2005	idem	Été	4						
Gardonne	27/06/2005	idem	Été	5						
Gardonne	21/07/2005	idem	Été	1		57,80	57,80	57,8		
Gardonne	21/07/2005	idem	Été	2						
Gardonne	21/07/2005	idem	Été	3						
Gardonne	21/07/2005	idem	Été	4						
Gardonne	21/07/2005	idem	Été	5						
Gardonne	01/12/2005 (pas les T habituels)	30/11/05	Automne	10 T	80,16	78,80	75,30	80,2	T rapprochés pour modèle 2 D André	
Mouleydier	20/05/2003	idem	Printemps	1	85,23	94,20	94,20	85,2		
Mouleydier	20/05/2003	idem	Printemps	2						
Mouleydier	20/05/2003	idem	Printemps	3						
Mouleydier	20/05/2003	idem	Printemps	4						
Mouleydier	20/05/2003	idem	Printemps	5						
Mouleydier	18/06/2003	idem	Printemps	1	57,75	59,40	59,40	57,8		
Mouleydier	18/06/2003	idem	Printemps	2						
Mouleydier	18/06/2003	idem	Printemps	3						
Mouleydier	18/06/2003	idem	Printemps	4						
Mouleydier	18/06/2003	idem	Printemps	5						
Mouleydier	13/08/2003	idem	Été	1		18,80	18,80	18,8		
Mouleydier	13/08/2003	idem	Été	2						
Mouleydier	13/08/2003	idem	Été	3						
Mouleydier	13/08/2003	idem	Été	4						
Mouleydier	13/08/2003	idem	Été	5						
Mouleydier	28/05/2004	idem	Printemps	1	182,42	140,00	140,00	182,4		
Mouleydier	28/05/2004	idem	Printemps	2						
Mouleydier	28/05/2004	idem	Printemps	3						
Mouleydier	28/05/2004	idem	Printemps	4						
Mouleydier	28/05/2004	idem	Printemps	5						
Mouleydier	28/06/2004	idem	Été	1		94,50	94,50	94,5		
Mouleydier	28/06/2004	idem	Été	2						
Mouleydier	28/06/2004	idem	Été	3						
Mouleydier	28/06/2004	idem	Été	4						

Mouleydier	28/06/2004	idem	Eté	5					
Mouleydier	11/08/2004	idem	Eté	1		104,00	104,00	104,0	
Mouleydier	11/08/2004	idem	Eté	2					
Mouleydier	11/08/2004	idem	Eté	3					
Mouleydier	11/08/2004	idem	Eté	4					
Mouleydier	11/08/2004	idem	Eté	5					
Mouleydier	07/10/2004	idem	Automne	1		122,00	122,00	122,0	
Mouleydier	07/10/2004	idem	Automne	2					
Mouleydier	07/10/2004	idem	Automne	3					
Mouleydier	07/10/2004	idem	Automne	4					
Mouleydier	07/10/2004	idem	Automne	5					
Mouleydier	24/03/2005		Printemps	1	91,40	106,00	101,00	91,4	
Mouleydier	24/03/2005	23/03/05	Printemps	2					
Mouleydier	24/03/2005	(15 T + topo)	Printemps	3					1ère ligne d'eau
Mouleydier	24/03/2005		Printemps	4					
Mouleydier	24/03/2005		Printemps	5					
Mouleydier	06/06/2005	idem	Printemps	1		70,60	70,60	70,6	
Mouleydier	06/06/2005	idem	Printemps	2					
Mouleydier	06/06/2005	idem	Printemps	3					
Mouleydier	06/06/2005	idem	Printemps	4					
Mouleydier	06/06/2005	idem	Printemps	5					
Mouleydier	29/06/2005	idem	Eté	1		79,70	79,70	79,7	
Mouleydier	29/06/2005	idem	Eté	2					
Mouleydier	29/06/2005	idem	Eté	3					
Mouleydier	29/06/2005	idem	Eté	4					
Mouleydier	29/06/2005	idem	Eté	5					
Mouleydier	20/07/2005	idem	Eté	1	54,42	55,20	55,20	54,4	
Mouleydier	20/07/2005	idem	Eté	2					
Mouleydier	20/07/2005	idem	Eté	3					2nde ligne d'eau (15 T)
Mouleydier	20/07/2005	idem	Eté	4					
Mouleydier	20/07/2005	idem	Eté	5					
Lamagistère	26/05/2003	idem	Printemps	1	412,54	392,00	392,00	412,5	en montée de crue...
Lamagistère	26/05/2003	idem	Printemps	2					
Lamagistère	26/05/2003	idem	Printemps	3					
Lamagistère	07/07/2003	idem	Eté	1	57,38	70,60	70,60	57,4	
Lamagistère	07/07/2003	idem	Eté	2					
Lamagistère	07/07/2003	idem	Eté	3					
Lamagistère	01/09/2003	idem	Eté	1	65,10	58,90	58,90	65,1	
Lamagistère	01/09/2003	idem	Eté	2					
Lamagistère	01/09/2003	idem	Eté	3					
Lamagistère	14/06/2004	idem	Printemps	1	359,11	344,00	344,00	359,1	
Lamagistère	14/06/2004	idem	Printemps	2					
Lamagistère	14/06/2004	idem	Printemps	3					
Lamagistère	19/07/2004	idem	Eté	1	98,30	106,00	106,00	98,3	
Lamagistère	19/07/2004	idem	Eté	2					
Lamagistère	19/07/2004	idem	Eté	3					
Lamagistère	30/08/2004	idem	Eté	1	74,50	71,90	71,90	74,5	
Lamagistère	30/08/2004	idem	Eté	2					
Lamagistère	30/08/2004	idem	Eté	3					
Lamagistère	03/11/2004	idem	Automne	1		194,00	194,00	194,0	
Lamagistère	03/11/2004	idem	Automne	2					
Lamagistère	03/11/2004	idem	Automne	3					
Lamagistère	29/03/2005	idem	Printemps	1		348,00	348,00	348,0	

Lamagistère	29/03/2005	idem	Printemps	2					
Lamagistère	29/03/2005	idem	Printemps	3					
Lamagistère	impossible (trop d'eau)	27/04/05	Printemps	1	547,65		547,00	547,7	mesures ADCP entre le 26 à 14h30 et le 27 à 10h30
Lamagistère		(16 T + topo)	Printemps	2					
Lamagistère			Printemps	3					
Lamagistère	30/05/2005	idem	Printemps	1		348,00	348,00	348,0	
Lamagistère	30/05/2005	idem	Printemps	2					
Lamagistère	30/05/2005	idem	Printemps	3					
Castelsarrasin	27/05/2003	idem	Printemps	1	373,60	438,00	438,00	373,6	QJ à 327 le 26/05 (?)
Castelsarrasin	27/05/2003	idem	Printemps	2					
Castelsarrasin	27/05/2003	idem	Printemps	3					
Castelsarrasin	08/07/2003	idem	Eté	1	53,34	63,00	63,00	53,3	
Castelsarrasin	08/07/2003	idem	Eté	2					
Castelsarrasin	08/07/2003	idem	Eté	3					
Castelsarrasin	03/09/2003	idem	Eté	1	49,32	44,60	44,60	49,3	
Castelsarrasin	03/09/2003	idem	Eté	2					
Castelsarrasin	03/09/2003	idem	Eté	3					
Castelsarrasin	15/06/2004	idem	Printemps	1	240,23	205,00	205,00	240,2	
Castelsarrasin	15/06/2004	idem	Printemps	2					
Castelsarrasin	15/06/2004	idem	Printemps	3					
Castelsarrasin	21/07/2004	idem	Eté	1	72,58	86,50	86,50	72,6	
Castelsarrasin	21/07/2004	idem	Eté	2					
Castelsarrasin	21/07/2004	idem	Eté	3					
Castelsarrasin	31/08/2004	idem	Eté	1	41,63	42,00	42,00	41,6	
Castelsarrasin	31/08/2004	idem	Eté	2					
Castelsarrasin	31/08/2004	idem	Eté	3					
Castelsarrasin	04/11/2004	idem	Automne	1		59,90	59,90	59,9	
Castelsarrasin	04/11/2004	idem	Automne	2					
Castelsarrasin	04/11/2004	idem	Automne	3					
Castelsarrasin	30/03/2005	idem	Printemps	1		259,00	259,00	259,0	
Castelsarrasin	30/03/2005	idem	Printemps	2					
Castelsarrasin	30/03/2005	idem	Printemps	3					
Castelsarrasin	impossible (trop d'eau)		Printemps		354,00	-	339,00	354,0	1ère ligne d'eau le débit a varié au cours de la manip
Castelsarrasin		28/4/05	Printemps	14 T					
Castelsarrasin			Printemps						
Castelsarrasin	31/05/2005	idem	Printemps	1		286,00	286,00	286,0	
Castelsarrasin	31/05/2005	idem	Printemps	2					
Castelsarrasin	31/05/2005	idem	Printemps	3					
Castelsarrasin	18/07/2005	19-juil-05	Eté	1	49,65	43,80	54,20	49,7	2nde ligne d'eau le débit a varié au cours de la manip
Castelsarrasin	18/07/2005	19-juil-05	Eté	2					
Castelsarrasin	18/07/2005	19-juil-05	Eté	3					

** stations HYDRO utilisées pour chaque station d'étude

Gardonne : P5420010 La Dordogne à Gardonne

Mouleydier : idem avec un coeff de 0.953 représentant le rapport des surfaces de BV (Bergerac pas fiable)

Lamagistère : O6140010 La Garonne à Lamagistère

Castelsarrasin : O2620010 La Garonne à Verdun Sur Garonne

*** Qretenu : en principe le Q mesuré moyen, à défaut le QJ du jour de la manip comportant les mesures de vitesses

NB : ne figurent dans ce tableau que les Q mesurés moyens jugés fiables

surlignées en bleu : manips communes Lyon / Bordeaux

Annexe 6

Gardonne : relations de géométrie hydraulique H(Q) et V(Q) à la station

Gardonne : géométrie hydraulique (valeurs moyennes sur les 5 transects "végétation")

Exploitation des relevés topographiques et bathymétriques de mars 2005

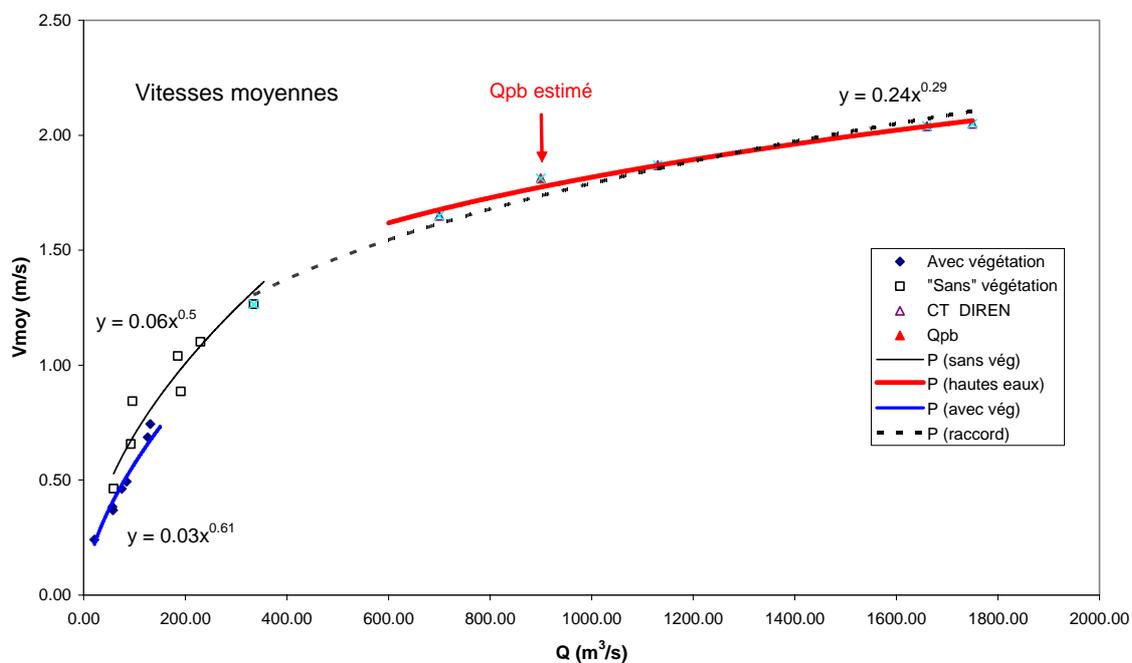
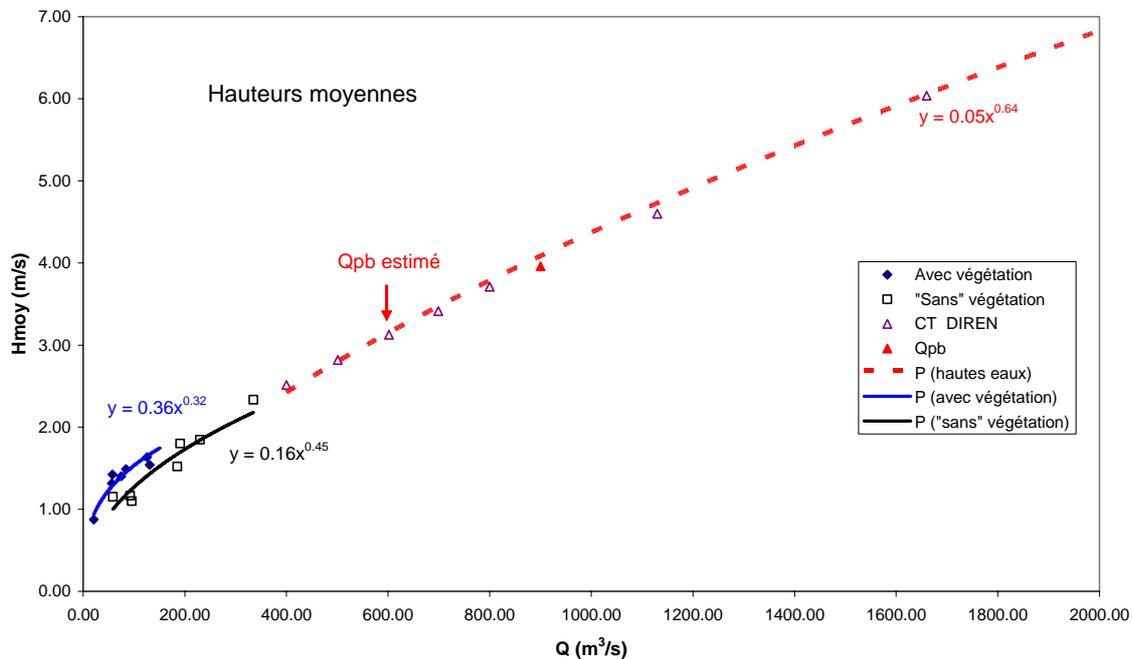
Débit retenu (m ³ /s)	Valeurs observées (ADCP / tachéo)		Valeurs calculées avec la topo sous AM0		
	Hauteur d'eau (m)		Largeur mouillée L m (m)	Surface mouillée A (m)	Vitesse Q/A (cm/s)
	moyenne	max			
92.70	1.1	2.14	111.63	120.62	82
900.00	3.96	5.25	126.2	500.82	181

NB : le débit de 900 m³/s est la valeur du débit plein bord estimé sur la courbe de tarage à la station HYDRO

Exploitation des campagnes de mesure "végétation" 2003-2005

Débit retenu (m ³ /s)	Valeurs observées (rateau points- contacts)		Valeurs calculées avec la topo sous AM0		
	Hauteur d'eau (m)		Largeur mouillée L m (m)	Surface mouillée A (m)	Vitesse Q/A (cm/s)
	moyenne	max			
20.90	0.9	1.82	98.08	88.358	24
56.5	1.3	2.38	114.72	148.5	38
57.80	1.4	2.46	115.57	157.58	37
58.8	1.2	2.20	112.9	127.48	46
75.00	1.4	2.52	115.82	164.98	46
84.50	1.5	2.58	116.48	171.58	49
92.70	1.2	2.32	114.27	141.4	66
96.00	1.1	2.08	104.78	114.88	84
126.00	1.6	2.70	117.34	186.1	69
131.00	1.5	2.66	117.12	181.22	74
185.3	1.5	2.64	116.86	178.58	104
191.0	1.8	2.96	118.78	216.64	89
230.00	1.8	2.90	118.52	209.72	110
335.00	2.3	3.36	120.3	265.08	127

Gardonne - courbes Hmoy (Q) et Vmoy (Q) différenciées en fonction de la végétation dans les faibles débits et extrapolées à l'aide des données DIREN



Annexe 7

Gardonne : établissement d'une relation entre les hauteurs d'eau moyennes sur les transects de suivi "végétation" et les hauteurs enregistrées à la station hydrométrique DIREN

Points de raccordement :

Cote du zéro de l'échelle dans repère topo (m) : 9,82

Cote fond transect échelle dans repère topo (reconstituée avec profil pont) : 9,71

Données de calage utilisées :

Origine données	Précisions	Q	Enregistrement Héchelle (m)	cote échelle dans repère topo (m)	H échelle / fond (m)	Hmoy transects 1 à 5 (m)
suivi végétation	12/08/2003	20,90	0,86	10,68	0,97	0,88
suivi végétation	09/08/2004	56,50	1,26	11,08	1,37	1,32
suivi végétation	21/07/2005	57,80	1,42	11,24	1,53	1,42
suivi végétation	29/06/2004	58,80	1,09	10,91	1,20	1,15
suivi végétation	07/06/2005	75,00	1,43	11,25	1,54	1,40
suivi végétation	27/06/2005	84,50	1,45	11,27	1,56	1,49
suivi végétation	21/03/2005	92,70	1,10	10,92	1,21	1,16
suivi végétation	19/05/2003	96,00	1,36	11,18	1,47	1,10
suivi végétation	06/10/2004	126,00	1,60	11,42	1,71	1,64
suivi végétation	02/12/2004	131,00	1,53	11,35	1,64	1,54
suivi végétation	26/05/2004	185,30	1,46	11,28	1,57	1,52
suivi végétation	15/04/2004	191,00	1,68	11,50	1,79	1,80
suivi végétation	15/02/2005	230,00	1,89	11,71	2,00	1,85
suivi végétation	25/01/2005	335,00	2,36	12,18	2,47	2,33
Bords de Berge + CT DIREN	Qpb estimé	894,00	4,18	14,00	4,29	3,96

Relation linéaire calée sur observations et Qpb : $H_{moy} = 0.9276 \times H_{éch} + 0.1113$

Application à d'autres débits (et notamment extrapolation au-delà du plein bord) :

		Q	Enregistrement Héchelle (m)	Hmoy transects 1 à 5 (m)
CT DIREN	lit mineur	400,00	2,59	2,51
CT DIREN	lit mineur	501,00	2,92	2,82
CT DIREN	lit mineur	602,00	3,25	3,13
CT DIREN	lit mineur	699,00	3,56	3,41
CT DIREN	lit mineur	800,00	3,88	3,71
CT DIREN	jaugeage 06/02/2003	1130,00	4,84	4,60
CT DIREN	jaugeage 15/01/2004	1660,00	6,39	6,04
CT DIREN	QIXA10 estimé HYDRO	2200,00	7,81	7,36
CT DIREN	extrapolation maxi	2570,00	8,7	8,18

Annexe 8

Texte de la communication acceptée :

**6th International Symposium on Ecohydraulics, Christchurch,
Nouvelle Zélande, 17 – 23 mars 2007.**

Interactions between aquatic vegetation and flow conditions in a large alluvial stream

Pascal Breil¹, Emilie Breugnot², Frédéric Gob³, André Paquier¹, Eric Hérouin¹, Marie-Bernadette Albert³ and Alain Dutartre²

¹ Hydrology-Hydraulics Research Unit Cemagref – Lyon (contact: P. Breil, UR HHLY 3 bis quai Chauveau CP220 69336 Lyon Cedex 09 France, breil@lyon.cemagref.fr), ² Networks, Water Treatment and Water Quality Research Unit t Cemagref – Bordeaux (contact: A. Dutartre, UR REBX 50 avenue de Verdun Gazinet 33612 Cestas Cedex France, alain.dutartre@cemagref.fr), ³ Hydrosystems and bioprocesses Research Unit Cemagref – Antony (contact: F. Gob, UR HBAN Parc de Tourvoie BP44 92163 Antony Cedex France, frederic.gob@cemagref.fr)

Purpose

The Dordogne river basin is drained by eutrophic waters as a result of an intensive agricultural exploitation of its lands. It flows slowly during the low water season. A small bottom gradient exists in its alluvial flat land. Macrophytes developments are then observed from year to year in this river. Such a process can help to reduce the amount of nutrient which can impair the natural aquatic ecosystem balance on one hand but also limit other water services like boating or fishing. The dynamical process of growth and expanse seems to depend here mainly on physical determinants when nutrients are not a limiting factor. Are these physical determinants manageable on purpose? A multidisciplinary research program implemented in France attempt to quantify the impact of the history of flow conditions on the life cycle of macrophytes and the reverse impact of macrophytes on flow resistance.

Material and method

A reach of 250 m long, one hundred metres wide, and situated immediately upstream a gauging station was selected on the river Dordogne (France) at about 14 000 km² of its drained area. Vegetation species and abundance with water levels and velocities along five regularly spaced cross sections were surveyed from 2001 to 2006 several times a year. For vegetation survey, we applied the pin-point method: on each of the 10 cross sections, points were regularly sampled (every 2.5 m) using a rake from a boat. For each sample, we noted the species (if any) and its relative abundance from 1 (very scarce) to 5 (very abundant). From this pin point method, two biotic indices were calculated : (i) the percentage of colonized points only refers to the macrophyte presence/absence and (ii) the cover represents the frequency of colonized points weighted by the abundance. Aquatic macrophytes include different taxonomic groups with different morphology and physiology like bryophytes, pteridophytes and the most abundant in our samplings, phanerogams and algae.

A nearly monthly interval data time series for water temperature was available from the regional environment centre for the entire experimentation period. As these data exhibit a smooth variation along the year, they were turned into an hourly continuous time series using a linear interpolation principle.

For hydraulics components, water level and velocity were measured using an acoustic doppler current meter allowing to perform an integrative vertical flow velocity measure. It was combined to an electrical flow meter for point assessment, in particular where shallow waters exist on the river margin. Hydraulics measurements were made mainly at low flow. In order to extend in time the local reach hydraulic components and extrapolate to high flow, these data were connected to the same data types of the just downstream gauging station at the same date and time. The correlation between the water level at the gauging station and the average water level at the station was very good ($r^2 = 0.94$).

The water level and discharge series were then transformed into reach averaged water level and velocity time series using hydraulic geometry approach. Derived variables assumed to explain increases or decreases of vegetation abundance were generated. Extrema, duration, over threshold and mean integrative values of these variables were calculated from daily to yearly durations back time from sampling dates to test any effect on vegetal species. R squared values from linear regressions of biotic indices versus derived variables were calculated to get an estimation. The analysis was completed with a stepwise regression to identify the most explicative combination of physical variables able to explain the observed growth variations. The impact of vegetation on flow resistance was analysed more in detail by running a two-dimensional shallow water model.

A conceptual Gompertz growth model was fitted to the observed macrophytes data set. It represents a free natural growing process. Then a dynamic growth model was tested combining the Gompertz model and the physical controlling factors through time. The natural free process was fitted using the set of only positive observed variations of two consecutive sampling with no more than 80 days between.

Results

During year 2004 and 2005 vegetation was sampled nearly monthly (Fig.1). Overall vegetation cover seemed to increase with increasing temperature and decreasing flow. Minimum cover percentage is obtained in late winter/early spring (3% in February 2005) and the maximum is achieved in summer (over 45% in July 2005) However, changes in phanerogams and algae cover differ. Consequently, each group of macrophyte should be considered separately in a model.

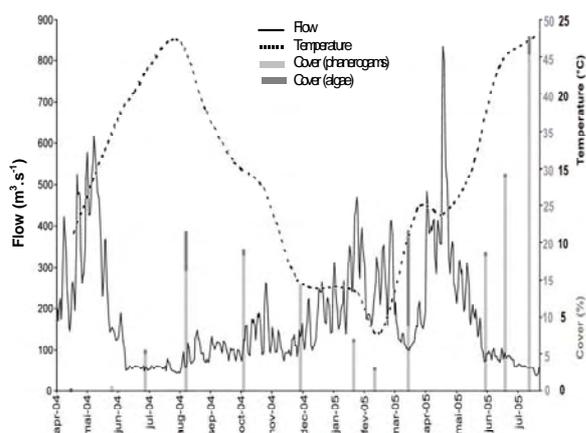


Figure 1: Influence of flow and water temperature on phanerogam and algae cover percentages.

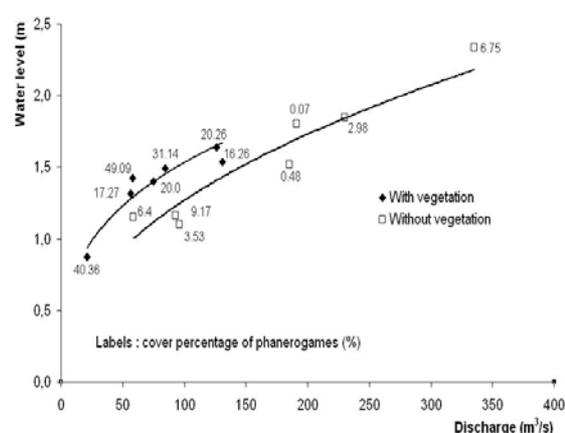


Figure 2: Influence of aquatic vegetation cover on flow rating curve during summer.

Considering the water level and velocity parameters linked to discharge, the water level may differ depending on macrophyte cover (Fig. 2). A difference in water level close to 0.4 m was observed leading to the definition of two different $D(Q)$ laws : one “with vegetation” and the other “without vegetation”. Field observations showed the first law has to be used when the percentage of vegetation cover is over 10% and the second when the percentage is lower than 10%.The influence on velocities is slightly less clear, however a decrease of velocity of about 0.1 m/s was observed when percentage of vegetation cover was high (over 10%). Two $V(Q)$ laws were also defined.

Also a two-dimensional shallow water model was run. The vegetation influence was considered using a range of Strickler coefficients from 5 to 25 and 30 for cells with no vegetation. The mean cell dimension was 5 meters with parallelogram forms. A sensitive improvement was observed considering small Strickler coefficient values in cell where vegetation was present. This was made comparing simulated water depth and flow velocity distributions with observed data along cross sections. Overall, only the summer time period exhibited a clear difference. The conclusion was to

use the same water depth and velocity time series out of this period and consider its effect during summer time only for the calculation of past conditions we expected to influence the macrophyte expense.

At this stage the question was to define what kind of integrative physical parameter should be retained to describe the cross section distributions of these parameters. The flow velocity distribution was observed to be the most variable overall. The tree dimensional flow velocity data collected during surveys showed the ratio of the standard deviation to the mean value in cross sections was around 20% for discharges over 80 m³/s and 30% for the mean summer time discharge. It was then concluded to use mean values for each physical parameter at the station scale to assess their controlling effect on the aquatic population growth.

Mean values for water temperature, flow velocity, water depth, and combinations of those were calculated before each biotic sampling date. Back time durations were 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128, 192, 256 and 365 days long. There were used as independent variables in stepwise regressions to check for their link with biotic indices. Adjusted R squared values for algae and phanerogam reached 100% but with sensitive differences considering the durations associated to the selected independent variables. Phanerogams biotic indices values were mainly linked to water temperature and water depth with 8 to 16 days memories and to long memories over 192 days. Algae indices exhibited more link with 1 to 4 days memories and predominantly flow velocity based variables revealing they were more sensitive to floods.

A conceptual dynamic growth model was built to judge of the continuous balanced effect of physical controlling factors on a free natural growing process. The "S" shape Gompertz model was retained to simulate the natural process (ref..). Variations of the percentage indices for phanerogams allowed to get a good fitting of the tree model parameters.

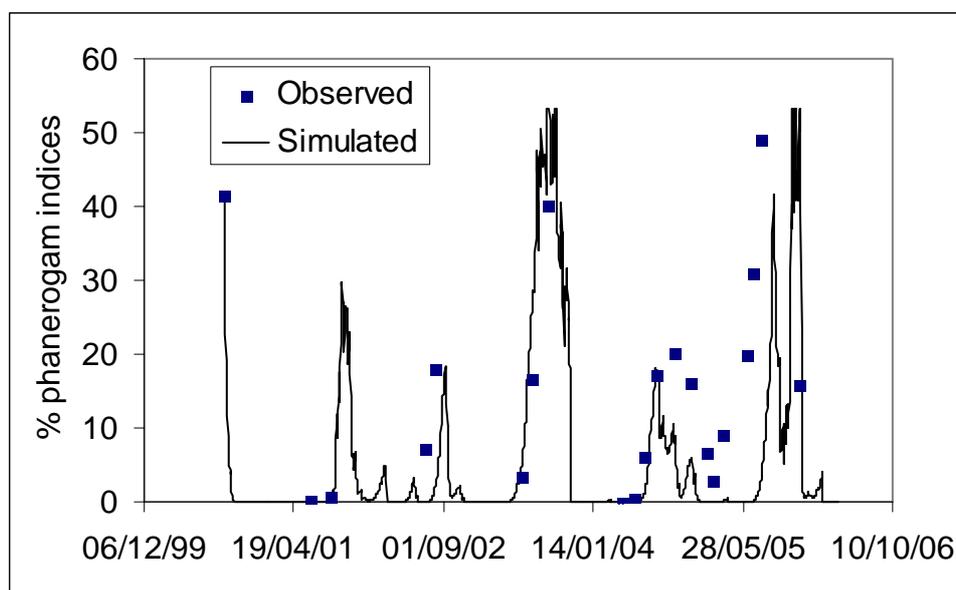


Figure 3 : Dynamic growth model continuous simulation with observed data.

Then, using again physical factors as independent variables, a stepwise regression was performed to explain deviations from variations of the fitted Gompertz model. Mainly memories of some days accounted in the regression process revealing that controlling effect of physical factors were of short term memory. Also only water depth and flow velocity based factors were selected. The resulting dynamic growth model (Fig. 3) is quite well balanced from year to year demonstrating the physical factors controlling effect on phanerogams. Also magnitudes are well simulated but not always in time. This is a starting point and mathematical fitting procedures should be refined in a near future.

Discussion

The cover biotic index integrates the whole vertical aquatic habitat when the cover percentage only refers to the water surface. It was then observed that flow velocity and water depth were more correlated to the primer when combined variables of physical factors better correlate with the later. The correlation between mean water temperature and mean water depth is weak ($R^2=12\%$). However they have local converse effects on the growth rate with temperature increasing when water depth is decreasing. The water depth variability along a cross section can then lead to favour or limit the growth rate for a same discharge that is better encompassed with the cover percentage indices.

High velocities were observed to be responsible for the decreasing of abundance by snapping or uprooting the macrophytes during high water events. (what is supported by Riis & Biggs 2003, Riis *et al.* 2004). Several velocity thresholds and durations since the last flood event were tested to explain the decreasing by taking into account the variability of velocity at the reach scale. However only mean values on short to long memories were highly correlated to the observe aquatic vegetation data. Several other studies described macrophytes-flow interactions but only in small rivers or channels. As obstructions to flow, macrophytes are known to increase flow resistance and water depth, while increasing average flow velocities (Cotton *et al.* 2006, Bennett *et al.* 2002, Bunn *et al.* 1998, Green 2006 Wharton *et al.* 2006). In large rivers, The effect of macrophytes on the water level and velocities is sensitive enough to induce local disturbances for water services at low flow but considering the river size and the height of the banks (over 5 m), macrophytes do not increase flooding in the Gardonne river.

Among the abiotic factors able to explain and control the aquatic vegetation dynamics, we found that no single variable would be retained. It seems that combinations of mean physical habitat conditions on long and medium memory control the macrophyte natural growth rate when short memory events can increase or decrease it. The variability in time and space of the aquatic habitat conditions are expected to regulated the natural growth process of the aquatic vegetation. A general population dynamic concept proposed by Blandin & Lamotte (1985) states the biotic process fluctuates in a resistance domain and upper in a resilience domain and can jump in another balanced system after a great perturbation. Resistance can be considered as the biotic compensation to small changes in aquatic habitat conditions. The natural growth process seems to be not affected. In the resilience domain, sensitive deviations from the natural growth process should be observed. We made the hypothesis these deviations were resulting from limiting abiotic conditions. The building of a dynamic growth model including the external control of dynamic abiotic factors and disturbance is in our sight. The first results are encouraging.

References

- BENNETT S.J., PIRIM T., BARKDOLL B.D., 2002. Using simulated emergent vegetation to alter stream flow direction within a straight experimental channel. *Geomorphology*, 44(1-2): 115-126.
- BUNN S.E., DAVIES P.M., KELLAWAY D.M., PROSSER I.P., 1998. Influence of invasive macrophytes on channel morphology and hydrology in an open tropical lowland stream, and potential control by riparian shading. *Freshwater Biology*, 39(1): 171-178.
- COTTON J.A., WHARTON G., BASS J.A.B., HEPPELL C.M., WOTTON R.S., 2006. The effects of seasonal changes to in-stream vegetation cover on patterns of flow and accumulation of sediment. *Geomorphology Linking Geomorphology and Ecology*, 77(3-4): 320-334.
- GREEN J.C., 2006. Effect of macrophyte spatial variability on channel resistance. *Advances in Water Resources*, 29(3): 426-438.
- RIIS T., BIGGS B.J.F., 2003. Hydrologic and hydraulic control of macrophyte establishment and performance in streams. *Limnology and Oceanography*, 48(4): 1488-1497.
- RIIS T., BIGGS B.J.F., FLANAGAN M., 2004. Colonisation and temporal dynamics of macrophytes in artificial stream channels with contrasting flow regimes. *Archiv fur Hydrobiologie*, 159(1): 77-95.
- WHARTON G., COTTON J.A., WOTTON R.S., BASS J.A.B., HEPPELL C.M., TRIMMER M., SANDERS I.A., WARREN L.L., 2006. Macrophytes and suspension-feeding invertebrates modify flows and fine sediments in the Frome and Piddle catchments, Dorset (UK). *Journal of Hydrology*, 330(1-2): 171-184.