

**IMPACT DE LA RUPTURE D'UNE VANNE DU BARRAGE DE
TUILIERES SUR LA FONCTIONNALITE DES SITES DE FRAIE A
MIGRATEURS SITUES EN AVAL**

CAS DE LA GRANDE ALOSE ET DE LA LAMPROIE MARINE



Etude financée par :

EDF

M. CHANSEAU, D. COURRET, T. LAGARRIGUE, I. CAUT, M. LARINIER

janvier 2007

MI.GA.DO 3D-07-RT / GHAAPPE RA.07.01



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

IMPACT DE LA RUPTURE D'UNE VANNE DU BARRAGE DE TUILIERES SUR LA FONCTIONNALITE DES SITES DE FRAIE A MIGRATEURS SITUES EN AVAL

CAS DE LA GRANDE ALOSE ET DE LA LAMPROIE MARINE

M. CHANSEAU, D. COURRET, T. LAGARRIGUE, I. CAUT, M. LARINIER

Rapport MIGADO 3D-07-RT / GHAPPE RA.07.01

RESUME

Même si l'absence d'état initial ne permet pas de statuer avec certitude sur l'impact de la rupture du barrage de Tuilières sur le substrat des zones de fraie à alose et à lamproie marine en aval, les différentes études réalisées (analyses granulométriques, modélisations hydrauliques, suivi de la reproduction naturelle) ne semblent pas révéler l'existence de modifications des sites susceptibles de remettre en cause le succès de la reproduction naturelle sauf sur les secteurs situés à l'aval immédiat de l'ouvrage hydroélectrique où l'on observe localement des teneurs en sédiments fins plus élevées.

La vidange accidentelle de la retenue de Tuilières, survenue en janvier 2006 suite à la rupture d'une vanne du barrage, n'a donc pas provoqué, en partie grâce à la crue de mars, un colmatage important du substrat susceptible de réduire notablement le succès de la reproduction de la grande alose et de la lamproie marine.

Indépendamment de la vidange accidentelle de la retenue de Tuilières, il est apparu un important déséquilibre dans le transport sédimentaire sur cette partie de Dordogne (nombreux affleurements de roche mère, pénurie de granulométrie favorable à la fraie), susceptible de réduire notablement le succès de la reproduction naturelle de la grande alose et de lamproie marine.

SOMMAIRE

1.	Introduction.....	5
2.	Quelques rappels sur la biologie de la grande alose et de la lamproie marine	7
3.	Caracteristiques des zones de fraie	8
4.	Impacts des sediments sur la grande alose et la lamproie marine	9
5.	Description de l'étude.....	11
6.	Etude granulométrique	13
6.1.	Prélèvements et traitements des échantillons	13
6.2.	Résultats.....	14
7.	Etude hydraulique	18
7.1.	Modélisation hydraulique.....	18
7.2.	Fonctionnement hydraulique des zones de fraie.....	20
7.3.	Influence de la crue de 1000 m ³ /s	21
	Méthodologie	21
	Résultats	21
8.	Suivi de la reproduction.....	24
8.1.	Méthodologie	24
8.2.	Résultats.....	25
	Activité sur les différents secteurs de fraie	25
	Comparaison avec les suivis précédents	26
9.	Conclusion.....	27
10.	Bibliographie.....	28
11.	Annexe	30
11.1.	Annexe 1 : Echelle de Wenworth modifiée.....	30

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Localisation de la zone d'étude	6
Figure 2 : Localisation des secteurs modélisés	12
Figure 3 : Positions approximatives et numérotation des points de prélèvements de granulométrie sur les zones de fraie de Tuilières, de la Gravière et des Nébouts (échelle 1/5 000).	13
Figure 4 : % moyen de particules inférieures à 1 mm sur les trois secteurs d'étude	15
Figure 5 : Courbes granulométriques partielles moyennes (tronqués à 64 mm) sur les zones de fraie de Tuilières, de la Gravière et des Nébouts.	16
Figure 6 : Courbes granulométriques partielles des différents échantillons (tronqués à 64 mm) sur les zones de fraie de Tuilières, de la Gravière et des Nébouts.....	17
Figure 7 : Positionnement des transects de relevés topographiques sur les quatre secteurs modélisés (échelle 1/5000).	19
Figure 8 : Evolutions de la hauteur d'eau moyenne sur les zones de fraie d'alse en fonction du débit.....	20

Figure 9 : Evolutions de la vitesse d'écoulement moyenne sur les zones de fraie d'alse en fonction du débit.	20
Figure 10 : Cartes de granulométrie stable sur le secteur de Tuilières pour la crue de 1000 m ³ /s selon quatre critères de mise en mouvement.	22
Figure 11 : Cartes de granulométrie stable sur le secteur de la gravière pour la crue de 1000 m ³ /s selon quatre critères de mise en mouvement.	22
Figure 12 : Cartes de granulométrie stable sur le secteur des Nébouts pour la crue de 1000 m ³ /s selon quatre critères de mise en mouvement.	23
Figure 13 : Cartes de granulométrie stable sur le secteur de Castang pour la crue de 1000 m ³ /s selon quatre critères de mise en mouvement.	23
Figure 14 : Nombre de géniteurs de grande alose sur les principales frayères à l'aval de Tuilières en 2006.....	25
Figure 15 : Nombre de nids de lamproie marine sur les principales frayères à l'aval de Tuilières en 2006.....	25
Figure 16 : Répartition des géniteurs d'alse sur les 3 frayères à l'aval immédiat du barrage de Bergerac en 2005 et 2006.....	26
Figure 17 : Répartition des géniteurs de lamproie marine sur les 5 principales frayères à l'aval immédiat du barrage de Bergerac de 2003 à 2006.....	26

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Colonne de tamis utilisée pour établir les courbes granulométriques.....	14
Tableau 2 : Pourcentages de particules inférieures à 0.5 mm et à 1 mm sur les secteurs d'étude.....	15
Tableau 3 : Lignes d'eau relevées pour le calage des modèles hydrauliques.....	18

1. INTRODUCTION

Le 29 janvier 2006, une vanne équipant le barrage de Tuilières a cédé, entraînant une vidange rapide et soudaine de la retenue.

Cet accident a eu notamment pour conséquence l'évacuation d'un volume important de sédiments accumulés dans la retenue depuis de nombreuses années.

Outre les aspects qualitatifs de ces sédiments (métaux lourds...) qui ont pu exercer des impacts sur le milieu aquatique, les quantités mobilisées et transportées se sont déposées au gré des débits et de la morphologie de la Dordogne et ont pu impactées les habitats situés en aval.

Un des risques principaux lié au transport et au dépôt de sédiments est le colmatage des frayères de poissons, en particulier ceux dont les œufs sont enfouis ou s'immiscent dans une granulométrie grossière qui leur assure à la fois une bonne oxygénation et une protection contre les prédateurs.

En ce qui concerne les poissons migrateurs amphihalins, et en regard de la position de l'ouvrage hydroélectrique de Tuilières, sur la partie moyenne de l'axe migratoire, les espèces concernées sont essentiellement la grande alose *Alosa alosa* et la lamproie marine *Petromyzon marinus*.

En ce qui concerne la grande alose, deux des principales frayères du bassin de la Dordogne (Port de Tuilières et Gravière de Mouleydier) sont situées dans les 2 kilomètres à l'aval de l'ouvrage de Tuilières. Elles sont ainsi susceptibles d'avoir été directement plus ou moins fortement colmatées par les sédiments fins provenant de la retenue de Tuilières. Même si l'alose dépose ses œufs en pleine eau, ces derniers, par gravité, vont se positionner dans les interstices de la granulométrie tapissant le fond de la frayère.

La lamproie marine construit, à l'image du saumon, des nids dans une granulométrie grossière dans laquelle elle enfouit ses œufs. Si des zones de fraie existent à l'aval immédiat de Tuilières (Gravière de Mouleydier), les principaux secteurs se situent toutefois à l'aval du barrage de Bergerac. Le colmatage de ces secteurs peut impacter la survie des œufs mais également des larves ammocètes, qui vivent enfouies dans le substrat durant de nombreuses années.



2. QUELQUES RAPPELS SUR LA BIOLOGIE DE LA GRANDE ALOSE ET DE LA LAMPROIE MARINE

La période de reproduction de la grande alose se situe entre avril et juillet et sa position dans le temps est en relation notamment avec la température de l'eau (Boisneau et *al*, 1990 ; Fatin et Dartiguelongue, 1995 ; Baglinière et Elie, 2000) et les débits. Ces facteurs semblent prépondérants dans l'initiation et le contrôle de l'activité de reproduction.

L'activité de ponte proprement dite est nocturne. Les géniteurs montent à la surface, le mâle et la femelle (parfois plusieurs mâles pour une femelle), flanc contre flanc, frappant violemment la surface de l'eau à l'aide de leur nageoire caudale en exécutant un déplacement circulaire de 1 à 1,2 m de diamètre. Les produits génitaux sont libérés et la fécondation a lieu dans le tourbillon créé pendant cette phase appelée localement « bull », qui dure de 2 à 10 secondes (Cassou-Leins et Cassou-Leins, 1981 ; Boisneau et *al.*, 1990 ; Belaud et Carette, 1999).

Les bulls peuvent atteindre une intensité sonore de 50 dB et sont visibles à distance en raison de la projection de gerbes d'eau. Le dénombrement de ces bulls sur un site donné permet de faire une estimation du stock de géniteurs présents sur ce site (Cassou-Leins et *al.*, 2000 ; Belaud et *al.*, 2001).

Les œufs, libérés en pleine eau, semblent dériver sur des distances limitées, de l'ordre d'une centaine de mètres (Cassou-Leins et *al.*, 1986 sur la frayère d'Agen - Garonne). L'incubation des œufs semble donc se dérouler majoritairement sur la frayère et à l'aval immédiat.

De la fin de l'été au début de l'automne, les juvéniles, après quelques mois seulement passés en rivière, entament leur migration de dévalaison pour rejoindre l'océan. Après 4 à 7 ans de vie en mer, ils viendront se reproduire sur le bassin versant qui les a vu naître (homing de bassin – cf Baglinière et Elie, 2000).

La période de reproduction de la lamproie marine se situe entre les mois de mai et juillet. Les lamproies recherchent pour se reproduire des zones de graviers/galets et creusent leurs nids préférentiellement dans des zones de courant afin d'y enfouir les œufs (transition plat courant-radier ou plat courant - Lascaux et Lagarrigue, 2001). Lors de la construction du nid, les géniteurs déplacent les graviers et galets à l'aide de leur corps et de leur ventouse, laissant apparaître un substrat clair et débarrassé de tout périlithon. Ces taches sont facilement repérables à l'œil nu en eaux de transparence normale. La ponte a lieu généralement pour des températures de l'eau supérieures à 15°C et peut s'étaler sur plusieurs jours. Peu de temps après, les larves ammocètes quittent le nid et vont s'enfouir dans des zones de sédiments fins constitués de sables et de limons, à proximité du site de fraie (Maitland et Hatton-Ellis, 2003 ; Taverny, 2005). Après plusieurs années de vie en rivière, les larves se métamorphosent et gagnent l'océan où elles vont séjourner 1 à 2 ans avant de venir se reproduire en rivière (pas de homing en l'état actuel des connaissances).



Bull d'alose et nid de lamproie marine sur la Dordogne (Eima-Ecogea-Migado)

3. CARACTERISTIQUES DES ZONES DE FRAIE

Les principales caractéristiques des frayères de grande alose et de lamproie marine présentées ci-dessous sont issues de la bibliographie et des données recueillies sur la Dordogne depuis 2003.

Les sites de reproduction se caractérisent d'une manière schématique par une plage de substrats grossiers délimitée en amont par un profond et en aval par une zone peu profonde à courant rapide (Cassou-Leins et *al.*, 2000). Trois paramètres essentiels semblent devoir être retenus pour caractériser une zone de fraie : la profondeur (1 à 3 m – Boisneau et *al.*, 1990 ; Belaud et *al.*, 2001 ; Lascaux et *al.*, 2005), la vitesse d'écoulement (0.5 à 1.5 m/s - Boisneau et *al.*, 1990 ; Belaud et *al.*, 2001) et la granulométrie du fond.

L'habitat de reproduction de l'alose peut présenter une grande variété de substrats, en fonction de leur disponibilité. Cependant, les sables, graviers et galets semblent être des fonds plus privilégiés par l'espèce (Carlson 1968 ; Cassou Leins et Cassou Leins, 1990), les zones à substrat colmaté semblant délaissées par les géniteurs (Boigontier, 1987 cité dans Cassou-Leins et *al.*, 2000). La taille moyenne des éléments de la couche superficielle des zones de fraie varie selon les études de 50 à 90 mm et s'étale de 2 à 180 mm (Cassou Leins et *al.*, 2000).

On peut toutefois se demander si la granulométrie plutôt grossière des zones de fraie fait partie des critères de choix des sites par les géniteurs ou si c'est une conséquence de l'hydraulique choisie.

En ce qui concerne la lamproie marine, et de façon assez comparable à l'alose, trois paramètres essentiels semblent caractériser une zone de fraie : la profondeur (0.15 à 1.7 m – Morman et *al.*, 1980 ; Mc Lain et *al.*, 1965 cité dans Manion et Hanson, 1980 ; Mayeras et *al.*, 2006), la vitesse d'écoulement (0.5 à 1.5 m/s - Mc Lain et *al.*, 1965 cité dans Manion et Hanson, 1980 ; Mayeras et *al.*, 2006) et la granulométrie du fond. Ce dernier paramètre doit exercer un rôle beaucoup plus important que pour l'alose dans le choix du site de fraie, la lamproie aménageant des nids dans le substrat pour y enfouir ses œufs. La taille moyenne des éléments de la couche superficielle des zones de fraie varie selon les études de 20 à 100 mm (Sabatié, 1998 ; Lascaux et Lagarrigue, 2001) et s'étale de 9 à 115 mm (Mc Lain et *al.*, 1965 cité dans Manion et Hanson, 1980 ; Kelly et King, 2001).

Les habitats de vie des ammocètes sont de type substrats sablonneux - sables fins à grossiers – (Taverny et *al.*, 2005). La taille des particules sédimentaires serait comprise entre 0,18 et 0,38 mm, incluant des fractions d'argile, de sable et limon (Kelly et King, 2001 ; Maitland, 2003), que l'on retrouve dans des zones de dépôt, où le courant est faible, de l'ordre de quelques centimètres par seconde (Taverny et *al.*, 2005).

4. IMPACTS DES SEDIMENTS SUR LA GRANDE ALOSE ET LA LAMPROIE MARINE

Les données concernant les **impacts potentiels des sédiments** sur l'alose et la lamproie marine sont peu importantes. Il apparaît notamment qu'un dépôt important de sédiments fins sur des secteurs de fraie ou de grossissement des juvéniles (les deux types d'habitats étant généralement proches – Cassou Leins et *al.*, 1986 ; Maitland et Hatton Ellis, 2003) peut exercer différents impacts :

- sur l'alose, en colmatant les interstices de la granulométrie grossière, empêchant ainsi les œufs de se fixer et les condamnant à une forte mortalité par prédation (Carlson, 1968 ; Bowman, 2001 ; Ross et *al.*, 1993)
- sur la lamproie, en réduisant la circulation d'eau dans les frayères, ce qui peut entraîner la mort par anoxie des œufs (Applegate, 1950 ; Manion et Hanson, 1980 ; Smith et Marsden, 2006). Les ammocètes, sorties du nid, vivent généralement enfouies dans des sédiments fins et peuvent tolérer de faibles quantités d'oxygène (Hill & Potter, 1970 ; Morman et *al.*, 1980). Elles paraissent ainsi moins sensibles aux dépôts de sédiments fins et peuvent même, si besoin, changer d'habitat.

Même si les exigences biologiques des espèces ne sont pas les mêmes, l'abondante littérature concernant l'impact des sédiments sur la survie des œufs de salmonidés peut aider dans l'appréhension du problème pour l'alose et la lamproie.

Il ressort notamment de la synthèse bibliographique de Waters (1995) sur les salmonidés que les sédiments peuvent impacter le taux de survie des œufs de deux manières : soit en provoquant l'asphyxie des œufs avant leur éclosion, soit en piégeant les larves dans le substrat, empêchant alors leur émergence.

L'asphyxie des œufs intervient lorsque l'écoulement intragravellaire ne permet pas un apport suffisant d'oxygène. Cet écoulement dépendant de la perméabilité du substrat et donc de sa composition, les recherches ont consisté à relier le taux d'éclosion des larves à un certain pourcentage de particules « fines », avec en premier lieu les travaux de McNeil et Ahnell (1964) qui montrent que le succès de l'incubation est inversement corrélé à la proportion de particules inférieures à 0.83 mm. De nombreux autres auteurs ont par la suite confirmé cette influence négative sur le taux d'éclosion de la fraction granulométrique inférieure à 0.8-1 mm (Waters, 1995).

La taille limite caractérisant les particules fines dépend des jeux de tamis utilisés par les différents auteurs et ne correspond pas à un seuil physique significatif. Ainsi, dans la suite, **on considère comme particules « fines » toutes particules inférieures à 1 mm, soit les sables grossiers et fractions inférieures** (Kondolf, 2000).

L'étude des particules fines amène souvent à exclure des échantillons les éléments les plus grossiers et ainsi à tronquer les courbes granulométriques, considérant que ces éléments influent peu sur l'écoulement intragravellaire et ont tendance à « écraser » la proportion des éléments de taille inférieure. La proportion de particules « fines » va donc dépendre de la troncature employée, ce qui rend parfois difficile les comparaisons entre les résultats de différents auteurs. **L'étude de la convenance des substrats de ponte et de leur proportion de particules « fines » fait généralement appel à une troncature à 64 mm**, limite entre graviers et galets (Church et *al.*, 1987). Il ressort de la synthèse bibliographique de Waters (1995) que **le taux d'éclosion des larves de salmonidés semble être sensiblement diminué dès lors que la proportion de particules « fines » atteint 10-15%**.

La démarche par analogie entre les œufs d'alose ou de lamproie et de salmonidés apparaît sécuritaire quant à l'impact des particules « fines ». Les œufs d'alose par exemple se déposent entre les interstices du substrat et ne sont pas enfouis comme les œufs de

salmonidés. De plus, ces deux espèces se reproduisent pour partie sur les parties moyennes des cours d'eau où la granulométrie est globalement plus fine.

Concernant le piégeage des larves, on peut également penser que les larves d'aloise et de lamproie sont moins sensibles que celles des salmonidés : en ce qui concerne l'aloise, elles ne doivent pas s'extraire du substrat puisque les œufs sont déposés à la surface des granulats ; les larves de lamproie possèdent des capacités d'enfouissement puisque, dès la sortie du nid, elles creusent dans des sédiments fins des tunnels de vie dans lesquels elles passeront plusieurs années. Elles semblent donc à même de pouvoir s'extraire de la frayère même si celle-ci est partiellement colmatée.

5. DESCRIPTION DE L'ETUDE

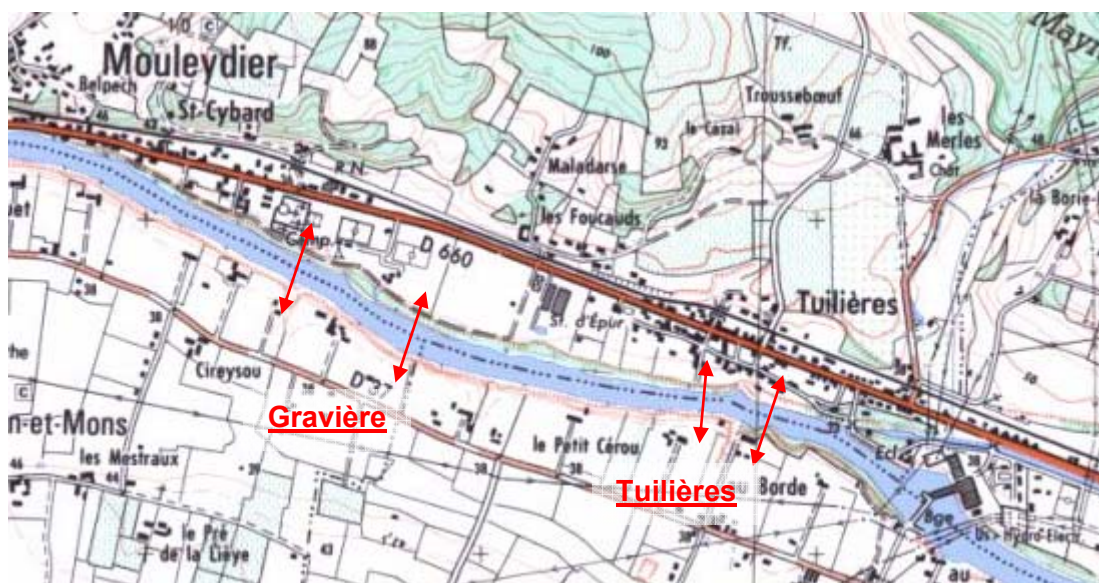
Afin d'appréhender les impacts potentiels sur les frayères à migrateurs liés à la rupture du barrage de Tuilières, trois grandes opérations ont été réalisées en 2006:

- un suivi de la reproduction de la grande alose et de la lamproie marine, à l'image de ceux réalisés depuis 2002 (Caut et *al.*, 2006) afin notamment d'estimer le nombre de géniteurs sur les deux sites a priori les plus sensibles (port de Tuilières et gravière de Mouleydier) car situés à l'aval immédiat de l'ouvrage de Tuilières.
- une modélisation hydraulique afin d'étudier la stabilité des sédiments fins provenant de la retenue de Tuilières sur les sites de fraie aval. Sera analysée en particulier l'influence de la crue de mars 2006 sur la mobilisation des sédiments.
- des prélèvements de sédiments sur la plupart des frayères modélisées afin de vérifier ponctuellement les résultats de la modélisation hydraulique.

Quatre zones de fraie parmi les plus actives sur la Dordogne ont ainsi été étudiées (Caut et *al.* 2006) :

- Le « port de Tuilières », situé à moins de 500 m du barrage de Tuilières, frayère historique à grande alose.
- La « Gravière de Mouleydier », à environ 1.5 km du barrage de Tuilières, importante frayère à grande alose sur laquelle une faible activité de reproduction de la lamproie marine est également constatée.
- Le secteur des « Nébouts », situé à 2.5 km en aval du barrage de Bergerac, importante frayère à grande alose et à lamproie marine.
- Le secteur de « Castang », situé à environ 3.7 km en aval du barrage de Bergerac, importante frayère à grande alose et à lamproie marine.

La figure 2 présente la localisation des secteurs étudiés à l'échelle 1/25 000.



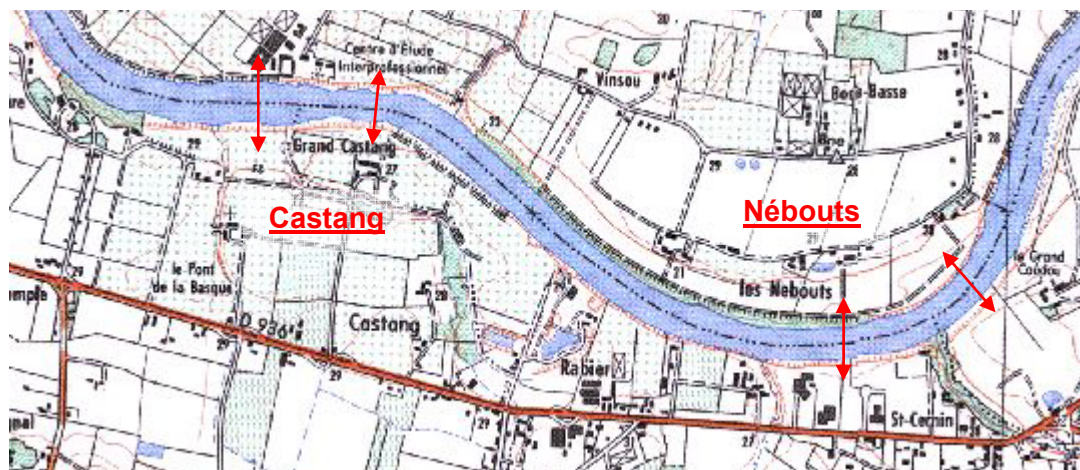


Figure 2 : Localisation des secteurs modélisés

6. ETUDE GRANULOMETRIQUE

6.1. Prélèvements et traitements des échantillons

Après des essais infructueux au moyen d'une benne Eckman actionnée depuis une embarcation (sédiments trop grossiers pour que la benne ne s'y enfonce correctement), les prélèvements de granulométrie ont été effectués le 21/09/2006 par un plongeur, équipé d'un scaphandre autonome, remplissant des sacs étanches de sédiment récolté à l'aide d'une mini-pelle à main.

Le long des transects de modélisation hydraulique (cf § 7), 3 zones ont été définies : rive droite, chenal et rive gauche. Une prospection rapide du fond sur chaque zone a été systématiquement effectuée pour évaluer la granulométrie en place et notamment l'importance de recouvrement en roche mère. Ainsi, on a cherché à prélever un échantillon de sédiment aussi représentatif que possible de la zone considérée et si le recouvrement en roche mère était jugé trop important, aucun prélèvement n'était effectué.

Ces prélèvements ont été réalisés sur trois zones de fraie : celle de Tuilières (6 échantillons), celle de la Gravière (9 échantillons) et celle des Nébouts (7 échantillons). La figure 3 suivante présente les positions approximatives et la numérotation des points de prélèvements. Les prélèvements ont été effectués au droit des zones de fraie elles-mêmes, mais également quelque peu en aval, étant donné que les œufs d'aloise libérés au niveau de la surface par les géniteurs sont amenés à dériver.

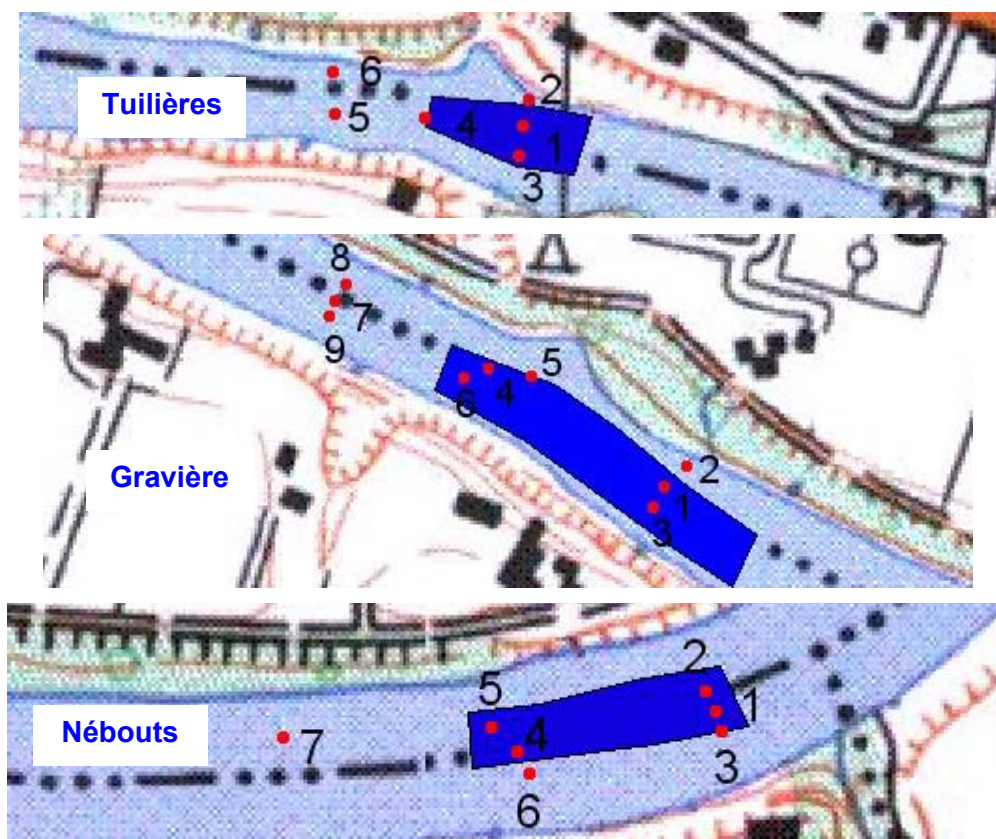


Figure 3 : Positions approximatives et numérotation des points de prélèvements de granulométrie sur les zones de fraie de Tuilières, de la Gravière et des Nébouts (échelle 1/5 000).

Pour établir les courbes granulométriques, après séchage complet à l'air libre, les échantillons ont été tamisés au travers d'une colonne composée de 9 tamis (voir tableau 1) puis pesés à la balance de précision (au milligramme près).

N° de tamis	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Maille (mm)	0.050	0.063	0.100	0.315	0.500	1.000	2.000	3.150	5.000

Tableau 1 : Colonne de tamis utilisée pour établir les courbes granulométriques.

Les tamis ont été choisis 1) pour étudier les fractions les plus fines de granulométrie vis-à-vis de la problématique de colmatage par les limons et les sables fins et 2) de façon à correspondre autant que possible aux limites de classe de l'échelle de Wenworth modifiée (voir annexe 1). Les échantillons ont fait l'objet de la troncature à 64 mm (limite graviers-galets) généralement utilisée dans les études d'impact des particules « fines ».

6.2. Résultats

Les observations préliminaires en plongée lors des prélèvements de granulométrie suggèrent tout d'abord que **la roche mère est le substrat dominant en de nombreux points** ; des poches de granulométrie ne subsistent alors qu'au sein de dépressions dans la roche où ont été réalisés les prélèvements. C'est le cas sur le secteur de Tuilières aux points n°2 et 4, sur le secteur de la Gravière au point n°3 et sur le secteur des Nébouts aux points n°1, 3 et 6 (plutôt en rive gauche).

Sur la partie finale de la frayère de Tuilières en rive droite et sur la partie aval de la frayère des Nébouts en rive gauche, la présence quasi-exclusive de roche mère explique qu'aucun prélèvement n'ait été réalisé.

Les résultats des prélèvements de granulométrie (tableau 2 et figures 3 et 4) montrent que la proportion de particules fines, inférieures à 0.5 mm et à 1 mm diminue globalement au fur et à mesure que l'on s'éloigne de l'aménagement de Tuilières. Les tronçons de Tuilières et de la Gravière, situés à l'aval immédiat de Tuilières, présentent en effet en moyenne des teneurs en particules fines largement supérieures (resp. 13.8% et 7.9%) à celle des Nébouts (3.2%).

Secteur	N° point	% < 0.5 mm	% < 1 mm	Remarques
Tuilières	1	2.4	6.1	-
	2	1.4	3.9	Atypique (roche mère)
	3	12.0	18.0	-
	4	14.3	20.9	Atypique (roche mère)
	5	11.2	20.4	-
	6	6.5	13.4	-
	Moyenne	8.0	13.8	-
Gravière	1	0.2	2.7	-
	2	0.2	0.6	-
	3	12.4	14.6	Atypique (roche mère)
	4	1.3	13.1	-
	5	2.2	5.4	-
	6	0.0	0.1	-
	7	1.2	14.1	-
	8	1.8	9.1	-
	9	5.2	11.2	-
	Moyenne	2.7	7.9	-
Nébouts	1	5.7	8.4	Atypique (roche mère)
	2	2.0	2.8	-
	3	4.5	5.1	Atypique (roche mère)
	4	0.5	0.7	-
	5	0.4	0.6	-
	6	2.3	3.9	Atypique (roche mère)
	7	1.0	1.2	-
	Moyenne	2.3	3.2	-

Tableau 2 : Pourcentages de particules inférieures à 0.5 mm et à 1 mm sur les secteurs d'étude

Plus en détail, il apparaît que le pourcentage de particules fines (< 1 mm) est supérieur à 10% sur 4 des 6 points de prélèvements (maximum de l'ordre de 20%) sur la zone de fraie de Tuilières, sur 4 des 9 points (maximum de l'ordre de 14%) sur la zone de fraie de la Gravière et sur aucun point sur la zone de fraie des Nébouts.

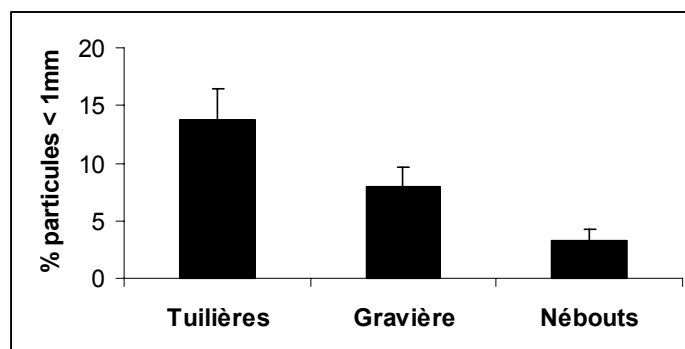


Figure 4 : % moyen de particules inférieures à 1 mm sur les trois secteurs d'étude

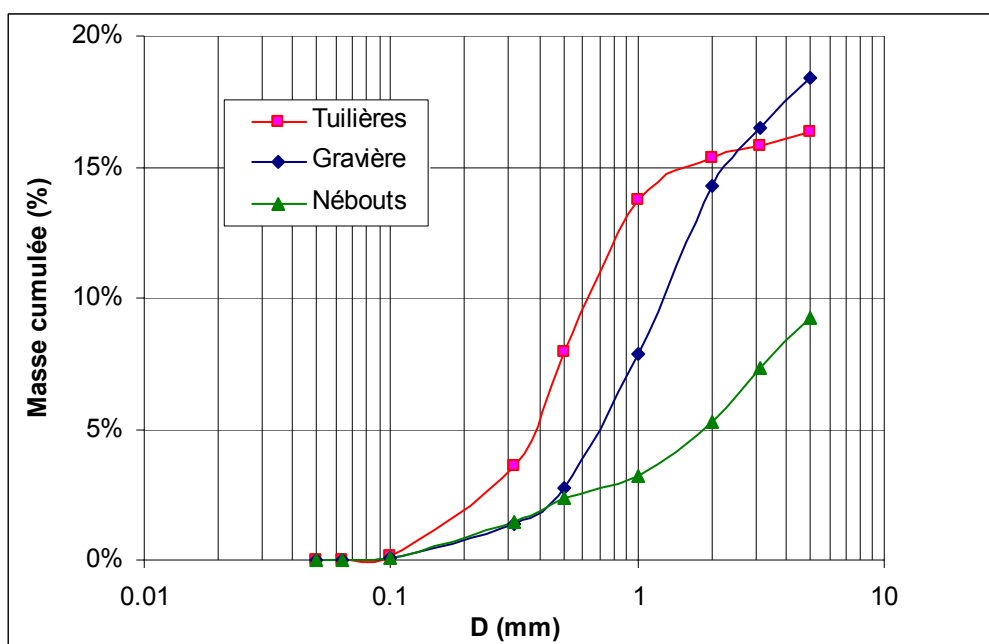


Figure 5 : Courbes granulométriques partielles moyennes (tronqués à 64 mm) sur les zones de fraie de Tuilières, de la Gravière et des Nébouts.

Les pourcentages de particules fines observés ne laissent pas présager un impact important sur les frayères d'aloise et de lamproie marine, même sur les secteurs situés à l'aval immédiat de Tuilières. Les teneurs en particules fines ne dépassent en effet que de peu les valeurs limites pour les salmonidés, dont les exigences biologiques sont assurément plus importantes.

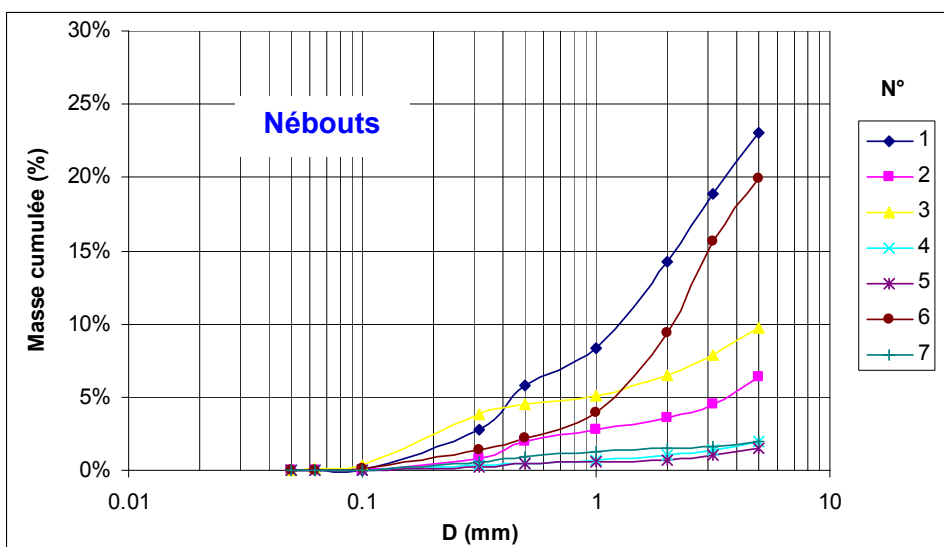
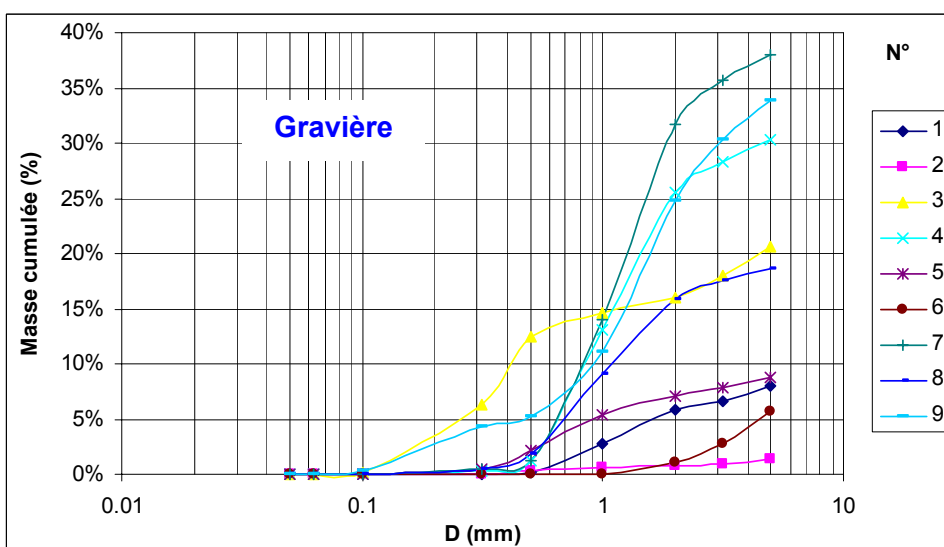
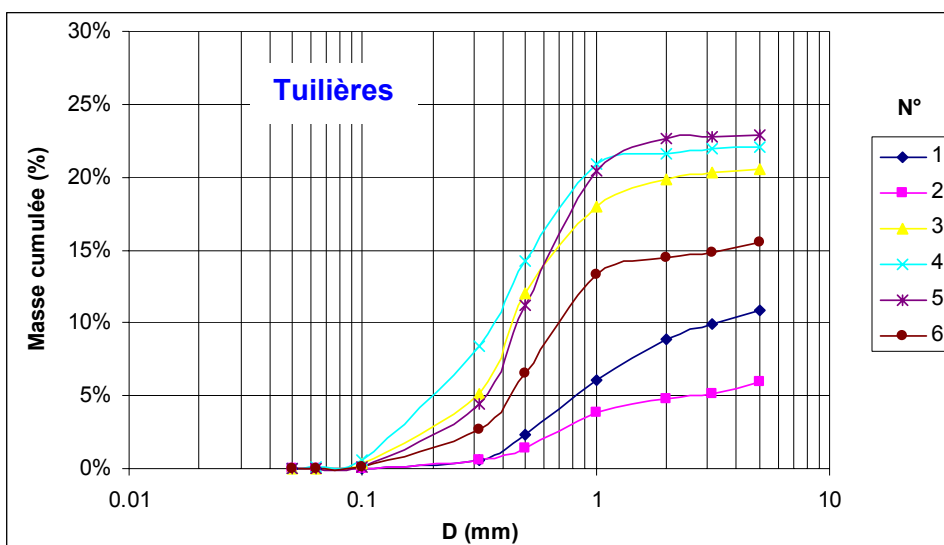


Figure 6 : Courbes granulométriques partielles des différents échantillons (tronqués à 64 mm) sur les zones de fraie de Tuilières, de la Gravière et des Nébouts.

7. ETUDE HYDRAULIQUE

L'étude hydraulique des quatre zones de fraie des aloses a deux objectifs principaux :

- Caractériser le fonctionnement hydraulique de ces zones en fonction du débit, et notamment les paramètres contrôlant le transport solide et utilisés dans les formules de mise en mouvement des matériaux.
- Evaluer si la crue de 1000 m³/s (enregistrée à la station hydrométrique de Gardonne) survenue le 11 Mars 2006 a été susceptible de nettoyer le substrat des frayères des particules fines potentiellement déposées lors de la vidange accidentelle de la retenue de Tuilières.

Cette crue de 1000 m³/s représente un débit égal à 3.6 fois le débit moyen annuel (275 m³/s) et se rapproche de la crue biennale (1300 m³/s).

7.1. Modélisation hydraulique

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

Les quatre secteurs disjoints ont chacun fait l'objet d'une modélisation. La topographie des secteurs incluant les zones de fraie a été décrite par 5 à 7 transects perpendiculaires à l'écoulement. Les zones principales de fraie des aloses ont été délimitées lors des relevés topographiques conformément aux observations effectuées lors des suivis de la reproduction. Les débits auxquels les différentes lignes d'eau ont été relevées sont donnés dans le tableau ci-dessous.

Secteurs	Lignes d'eau relevées (m ³ /s)			
Tuilières	70	270	450	540
Gravière	70	270	500	*
Nébouts	70	210	415	*
Castang	70	210	410	*

Tableau 3 : Lignes d'eau relevées pour le calage des modèles hydrauliques.

La figure 7 présente le positionnement des transects lors des relevés topographiques à l'échelle 1/5 000, ainsi que celui des zones de fraie des aloses.

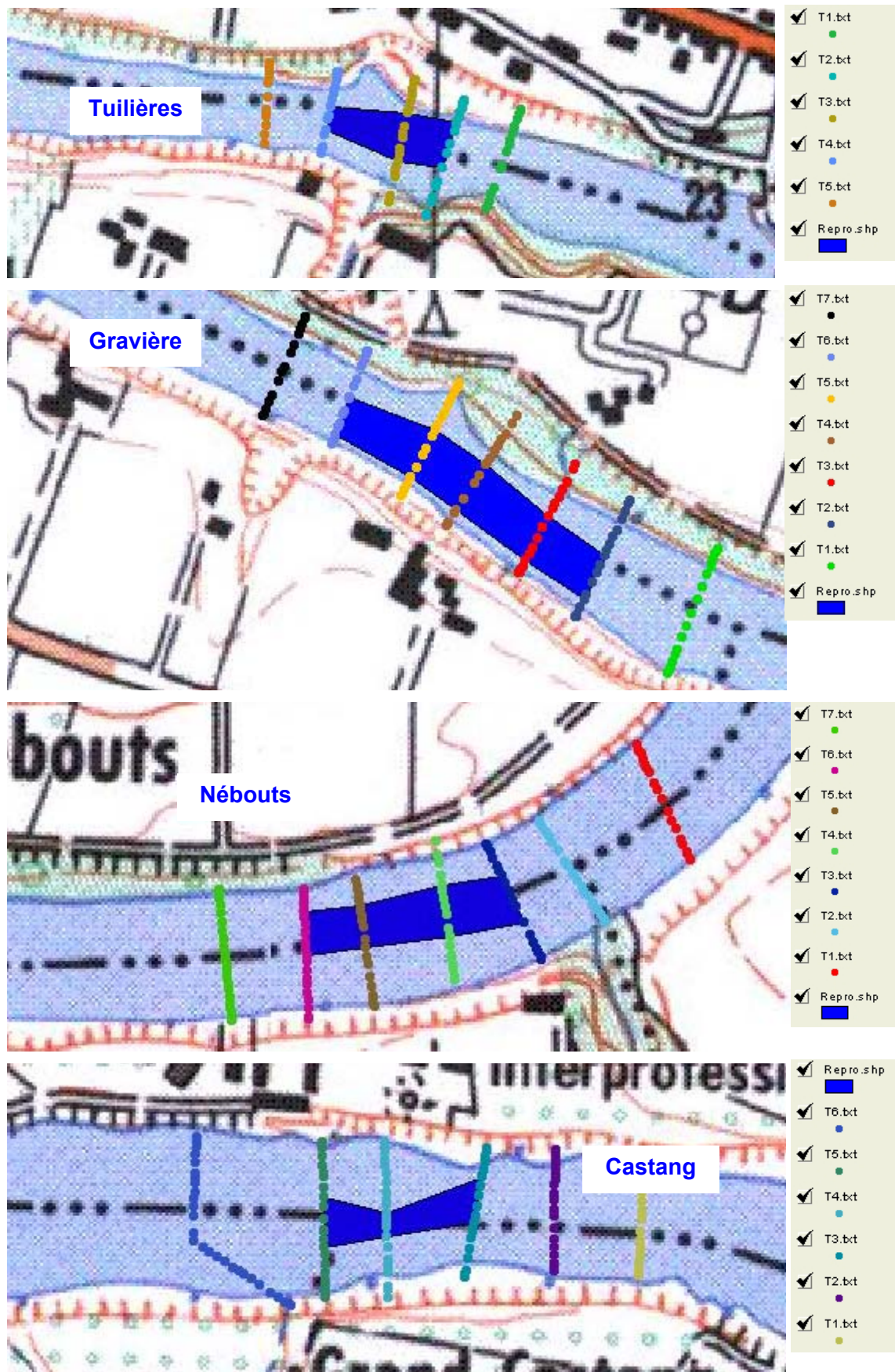


Figure 7 : Positionnement des transects de relevés topographiques sur les quatre secteurs modélisés (échelle 1/5000).

7.2. Fonctionnement hydraulique des zones de fraie

Le fonctionnement hydraulique des zones de fraie d'alse en fonction du débit a été décrit dans un premier temps par les évolutions de la hauteur d'eau moyenne et de la vitesse d'écoulement moyenne en fonction du débit (figures 8 et 9).

Les hauteurs d'eau moyennes des zones de fraie de la Gravière, des Nébouts et de Castang, à fort débit, sont assez proches. Les zones de fraie de Tuilières et de Castang à faible débit sont un peu plus profondes. Les hauteurs d'eau moyennes varient entre 1.6 et 2.7 m à 60 m³/s, entre 2.6 et 3.3 m à 150 m³/s, entre 3.2 et 4.2 m à 275 m³/s (débit moyen annuel) et entre 4.0 et 4.9 m à 500 m³/s.

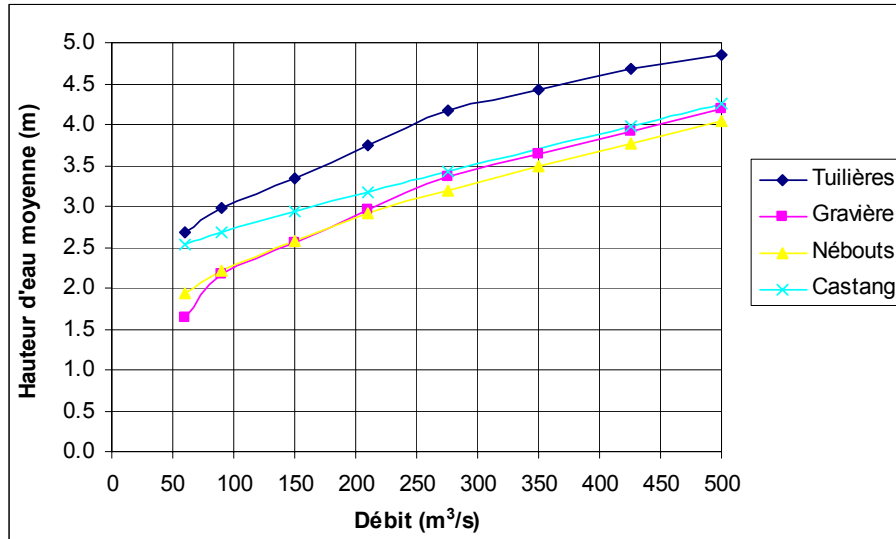


Figure 8 : Evolutions de la hauteur d'eau moyenne sur les zones de fraie d'alse en fonction du débit.

Les vitesses d'écoulement sont globalement similaires entre les différentes zones de fraie. Elles varient entre 0.50 et 0.70 m/s à 60 m³/s, entre 0.85 et 1.0 m/s à 150 m³/s, entre 1.15 et 1.40 m/s à 275 m³/s et entre 1.60 et 1.75 m/s à 500 m³/s.

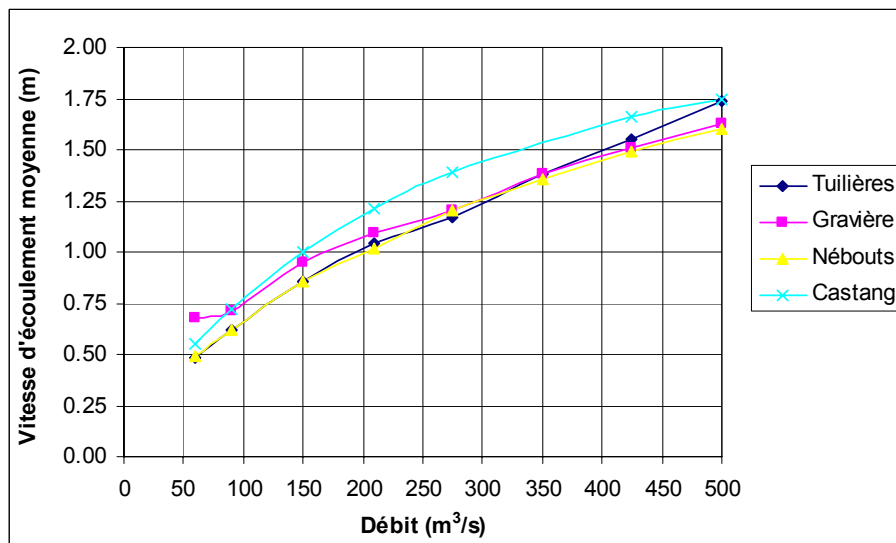


Figure 9 : Evolutions de la vitesse d'écoulement moyenne sur les zones de fraie d'alse en fonction du débit.

7.3. Influence de la crue de 1000 m³/s

Méthodologie

Afin d'évaluer si la crue de 1000 m³/s survenue courant Mars 2006 a été susceptible de nettoyer le substrat des frayères des particules fines potentiellement déposées lors de la vidange accidentelle de la retenue de Tuilières, il a été considéré que si la granulométrie moyenne du substrat est mise en mouvement, alors les particules fines contenues dans les interstices sont entraînées en aval (Kondolf et al. 1987, cité dans Waters 1995).

Des cartes de granulométrie stable pour un débit de crue de 1000 m³/s ont été établies à partir de quatre critères portant sur quatre variables hydrauliques différentes : celui de Shields portant sur la force tractrice (Shields 1936, cité dans Bathurst et al, 1987), celui de Bathurst portant sur le débit unitaire (Bathurst et al, 1987), celui de Yang portant sur la vitesse d'écoulement (Yang 1996) et celui d'Annandale portant sur la puissance dissipée surfacique (Annandale 2006).

Pour les critères prenant en compte la pente d'énergie, (Meyer-Peter, Bathurst et Annandale), la pente d'énergie moyenne sur chaque secteur a été considérée en raison de la longueur réduite des secteurs et de la pente d'énergie relativement constante à 1000 m³/s.

Dans la légende des cartes de granulométrie stable, la première classe nommée « Limons » (en noir) indique que les particules de limons, voire de taille inférieure, ne sont pas mises en mouvement. La dernière classe « Petits galets » (en rouge) indique que les petits galets, voire une granulométrie supérieure, sont mis en mouvement. Les classes intermédiaires « Sables », « Graviers fins et moyens » et « Graviers grossiers et très grossiers » indiquent que la taille limite des éléments mis en mouvement se situe dans la classe considérée.

Résultats

Une crue de 1000 m³/s semble globalement capable au sein du chenal de mettre en mouvement au moins des petits galets sur le secteur de Tuilières (figure 10). Sur les secteurs de la Gravière, des Nébouts et de Castang, la granulométrie limite en terme de stabilité se situe dans les classes des graviers grossiers ou très grossiers (figures 11 à 13). **La crue de 1000 m³/s survenue le 11 Mars 2006 a donc été en mesure de mettre en mouvement les sédiments en place dans les zones de fraie et donc de les nettoyer des particules fines potentiellement déposées lors de la vidange accidentelle de la retenue de Tuilières.**

- Tuilières :

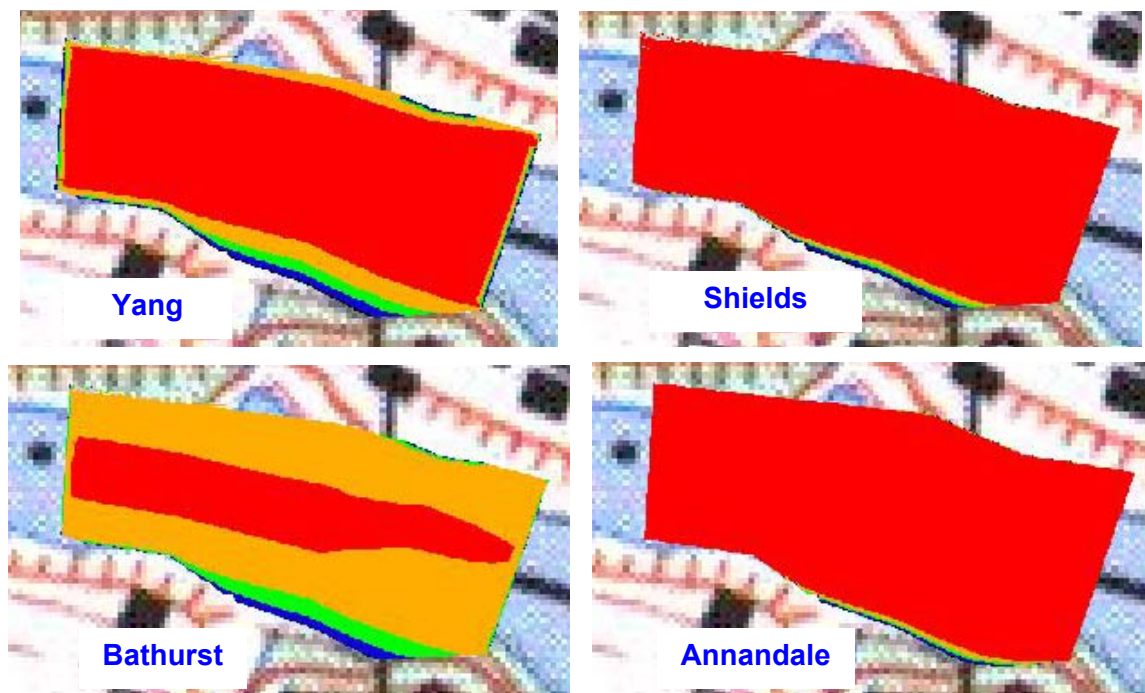


Figure 10 : Cartes de granulométrie stable sur le secteur de Tuilières pour la crue de $1000 \text{ m}^3/\text{s}$ selon quatre critères de mise en mouvement.

- Gravière :

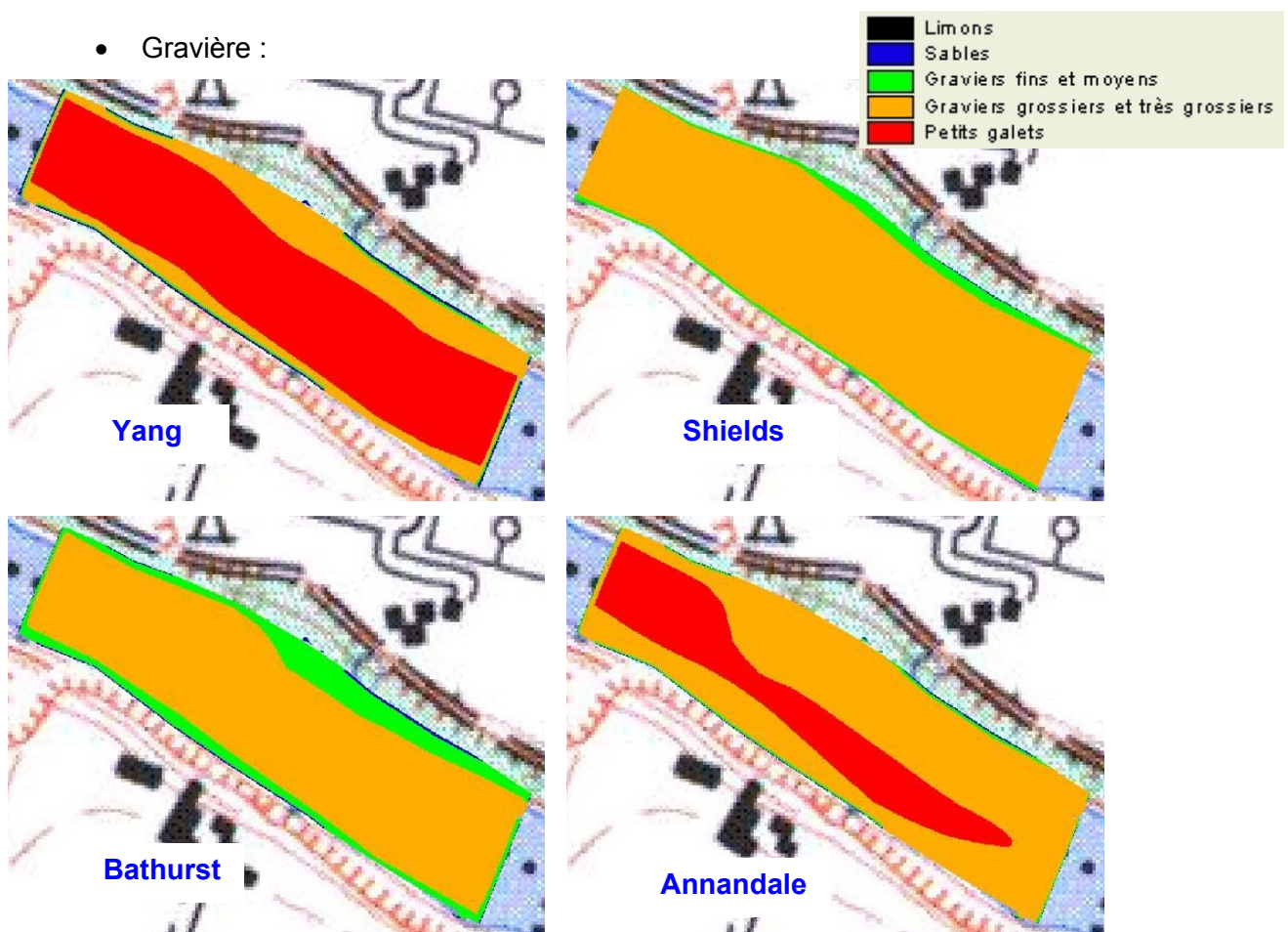


Figure 11 : Cartes de granulométrie stable sur le secteur de la gravière pour la crue de $1000 \text{ m}^3/\text{s}$ selon quatre critères de mise en mouvement.

- Nébouts

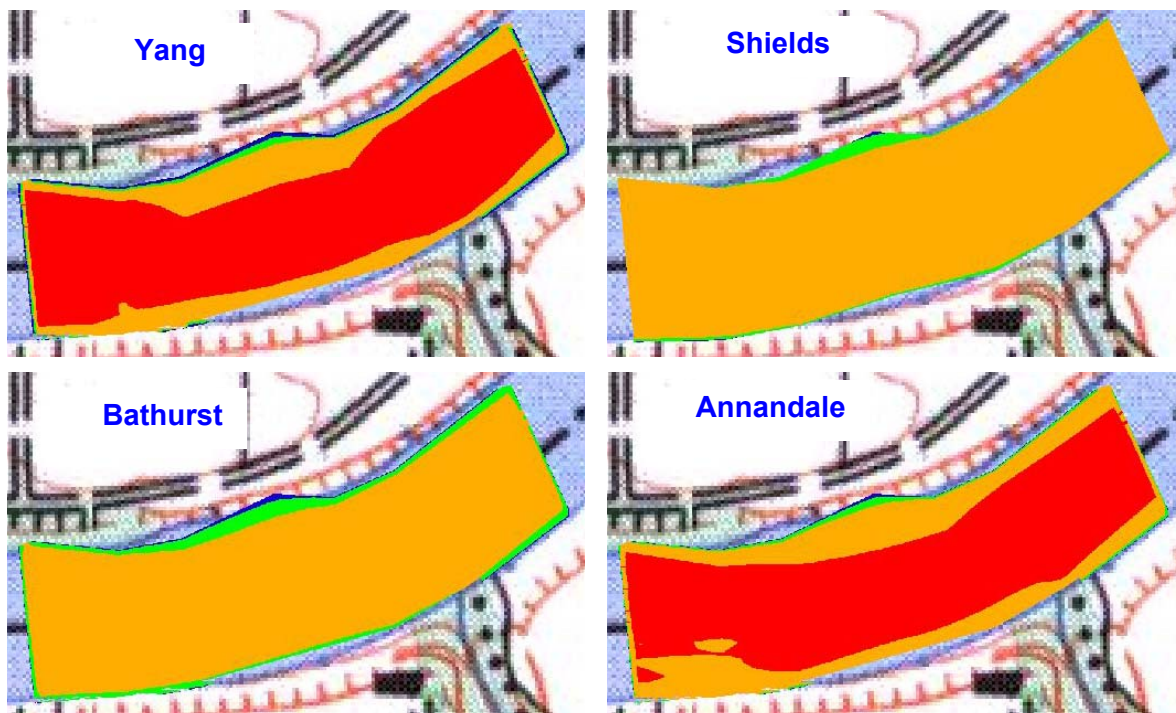


Figure 12 : Cartes de granulométrie stable sur le secteur des Nébouts pour la crue de $1000 \text{ m}^3/\text{s}$ selon quatre critères de mise en mouvement.

- Castang

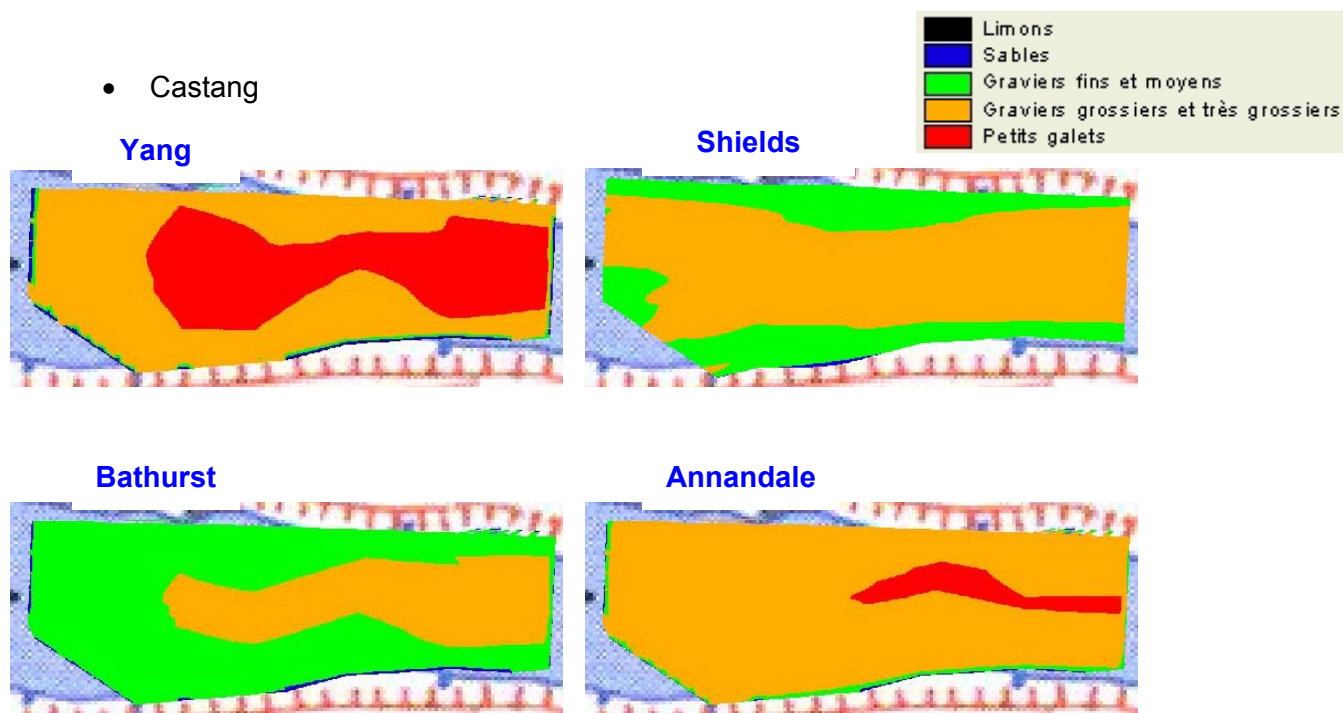


Figure 13 : Cartes de granulométrie stable sur le secteur de Castang pour la crue de $1000 \text{ m}^3/\text{s}$ selon quatre critères de mise en mouvement

8. SUIVI DE LA REPRODUCTION

Un suivi de la reproduction de la grande alose et de la lamproie marine a été réalisé en 2006 sur la moyenne Dordogne, de l'aval de Mauzac jusqu'à la limite de marée dynamique. Elle se situe dans le prolongement des suivis réalisés depuis 2003 sur la basse Dordogne (CAUT et *al.*, 2006).

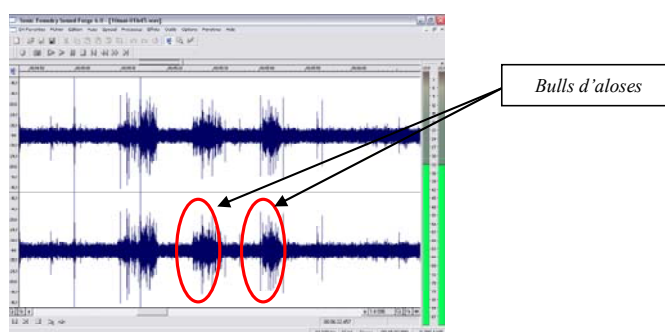
Une attention toute particulière a été portée aux secteurs étudiés précédemment dans ce rapport, à savoir le port de Tuilières, la Gravière de Mouleydier, les Nébouts et Castang.

Ce suivi a permis dans un premier temps d'étudier l'utilisation par les migrateurs des différents sites de reproduction.

Il a également été décidé de tenter d'appréhender des modifications éventuelles dans la fréquentation des secteurs de fraie en 2006 en comparant les résultats à ceux des années précédentes. Les différences éventuelles, indépendamment des conditions hydroclimatiques, pourraient en effet révéler l'évitement de certains secteurs.

8.1. Méthodologie

Le nombre de géniteurs d'alse est estimé à partir du comptage des bulls. Ces comptages se font soit depuis la berge, par un observateur muni d'un compteur manuel, soit par enregistrements audio-numériques. Le dispositif d'enregistrement est constitué d'un microphone parabolique et d'un lecteur enregistreur de type mini-disc. L'analyse des enregistrements est réalisée grâce à un logiciel de traitement du son (Sound Forge 6.0).



Dispositif d'enregistrement audio-numérique et bulls d'alse visualisés sur le logiciel Sound Forge

Ces dispositifs d'enregistrement audio-numérique ont notamment été installés sur les cinq zones de fraie concernées par l'étude.

Le recensement des frayères à lamproie marine se pratique à l'aide d'une embarcation et de 3 à 4 observateurs munis de lunettes polarisantes, l'observation des nids étant aisée à l'œil nu.

A chaque localisation d'une zone de fraie, celle-ci est parcourue en bateau sur toute sa longueur par passages répétés en bandes parallèles à la rive régulièrement espacées sur toute la largeur du cours d'eau afin de recenser tous les nids. Les zones peu profondes sont prospectées à pieds.

Plusieurs recensements sont effectués au cours de la saison, en particulier sur les secteurs de fraie concernés par l'étude.

8.2. Résultats

Activité sur les différents secteurs de fraie

L'activité de reproduction de l'aloise a été suivie sur les principaux secteurs de fraie du bassin, situés à l'aval de Tuilières et jusqu'à 5 km à l'aval du barrage de Bergerac.

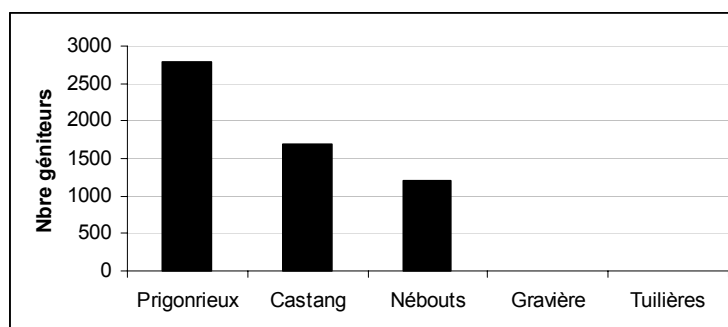


Figure 14 : Nombre de géniteurs de grande alose sur les principales frayères à l'aval de Tuilières en 2006

Une activité de reproduction a été observée sur les 3 secteurs à l'aval de Bergerac (de 1 200 à 2 800 individus selon les sites), en particulier sur les frayères modélisées des Nébouts et de Castang.

Par contre, aucune activité n'a été observée sur les deux frayères « historiques » de la Gravière et du port de Tuilières alors que pourtant près de 7 500 aloses (passages à la station vidéo de Mauzac + estimation des géniteurs en aval immédiat) ont transité par ces deux sites.

Ces résultats sont assurément à mettre en relation avec la « nouvelle » transparence à la migration de l'ouvrage de Tuilières qui ne constitue plus, dans sa configuration actuelle, un obstacle pour les poissons.

En ce qui concerne la lamproie marine, les secteurs de fraie situés à l'aval de Tuilières et jusqu'à 5 km à l'aval du barrage de Bergerac ont également été suivis.

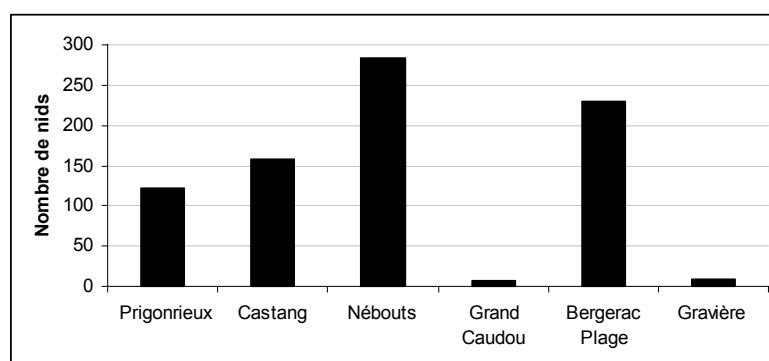


Figure 15 : Nombre de nids de lamproie marine sur les principales frayères à l'aval de Tuilières en 2006

L'activité plus ou moins importante sur toutes les zones à l'aval de Bergerac (les secteurs de Castang et de Nébouts en particulier accueillant au total plus de 440 nids de lamproie) ne laisse présager aucun impact marqué de la rupture de la vanne de Tuilières.

Il est intéressant de remarquer une activité, certes faible (9 nids), sur le site de la Gravière de Mouleydier, à l'aval immédiat de Tuilières, alors que l'ouvrage semble pourtant transparent à la migration et que l'espèce présente a priori des exigences élevées en terme de granulométrie pour la reproduction.

Comparaison avec les suivis précédents

Les répartitions des géniteurs sur les différents sites actifs en aval de Tuilières, en particulier à l'aval immédiat du barrage de Bergerac, ont été comparées depuis le début des suivis, des différences entre 2006 et les années précédentes pouvant éventuellement indiquer, notamment pour la lamproie, une dégradation de certains habitats de fraie.

Pour les deux espèces, les faibles écarts observés dans la répartition des géniteurs et l'activité conséquente sur tous les sites semblent s'expliquer davantage par les variations hydrologiques annuelles. Les éventuelles modifications des caractéristiques, notamment granulométriques, des différents secteurs ne semblent pas avoir modifié fortement le comportement des individus, laissant à penser à une absence d'impact de la rupture de la vanne de Tuilières sur ces secteurs aval.

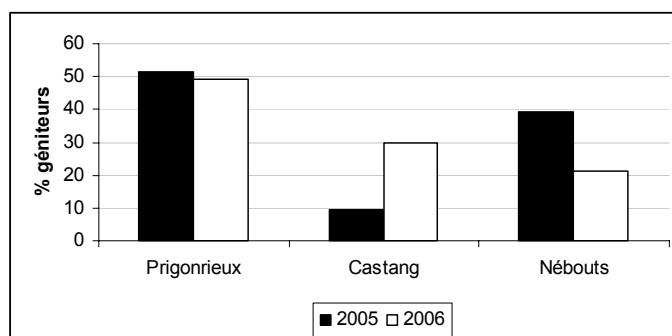


Figure 16 : Répartition des géniteurs d'aloise sur les 3 frayères à l'aval immédiat du barrage de Bergerac en 2005 et 2006

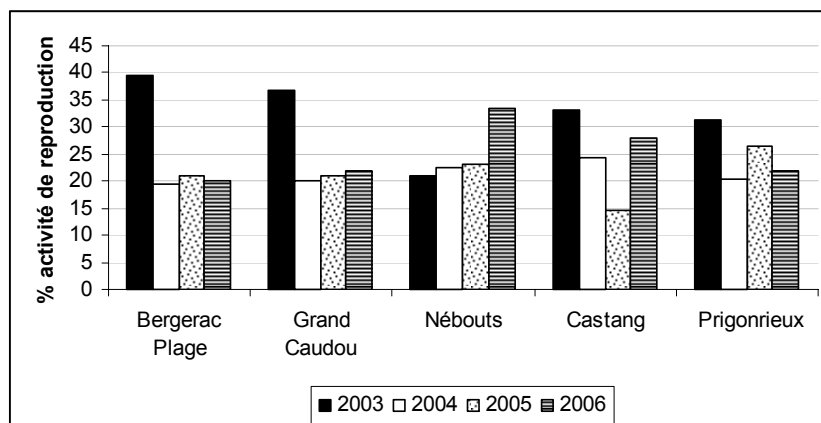


Figure 17 : Répartition des géniteurs de lamproie marine sur les 5 principales frayères à l'aval immédiat du barrage de Bergerac de 2003 à 2006

9. CONCLUSION

Même si l'absence d'état initial ne permet pas de statuer avec certitude sur l'impact de la rupture du barrage de Tuilières sur le substrat des zones de fraie à alose et à lamproie marine en aval, les différentes études réalisées ne semblent pas révéler l'existence de modifications importantes des sites susceptibles de remettre en cause le succès de la reproduction naturelle :

- les analyses granulométriques révèlent des proportions de sédiments fins (< 1 mm) sur les frayères globalement compatibles avec un bon développement des œufs de salmonidés. En regard notamment des exigences biologiques élevées des salmonidés, il est possible de conclure que les frayères de grande alose et de lamproie marine n'ont pas été réellement impactées. Les secteurs situés à l'aval immédiat de l'ouvrage hydroélectrique présentent toutefois des teneurs en sédiments fins plus élevés susceptibles de remettre ponctuellement en cause l'efficacité de la fraie.
- les analyses hydrauliques confirment ces résultats en mettant en évidence notamment que la crue de 1000 m³/s survenue le 11 Mars 2006 a été en mesure de mettre en mouvement les sédiments en place dans les zones de fraie et donc de les nettoyer des particules fines potentiellement déposées.
- le suivi de la reproduction des deux espèces n'a pas permis de mettre en évidence de réelles modifications dans le comportement des géniteurs d'alose et de lamproie sur les principales frayères, susceptibles de révéler la dégradation de certains habitats de fraie. L'absence de reproduction de l'alose à l'aval immédiat de Tuilières, sur deux des frayères « historiques » du bassin (port de Tuilières et Gravière de Mouleydier), est à mettre en relation avec la nouvelle transparence à la migration de l'ouvrage hydroélectrique.

La vidange accidentelle de la retenue de Tuilières, survenue en janvier 2006 suite à la rupture d'une vanne du barrage, n'a donc pas provoqué, en partie grâce à la crue de mars, un colmatage important du substrat susceptible de réduire notablement le succès de la reproduction de la grande alose et de la lamproie marine.

Indépendamment de la vidange accidentelle de la retenue de Tuilières, il est apparu un important déséquilibre dans le transport sédimentaire sur cette partie de Dordogne (nombreux affleurements de roche mère, pénurie de granulométrie favorable à la fraie), susceptible de réduire notablement le succès de la reproduction naturelle de la grande alose et de lamproie marine.

10. BIBLIOGRAPHIE

- Annandale G.W., 2006.** Scour Technology – Mechanics and engineering practice. MacGraw-Hill series in civil engineering. ISBN 0-07-144057-7.
- Applegate, V.C., 1950.** Natural history of the sea lamprey in Michigan. U.S. Fish. Wildl. Serv. Spec. Sci. Rep. Fish. 55: 237p.
- Baglinière J.L., Elie P., 2000** – Les aloses (*Alosa alosa* et *Alosa fallax* spp.) – Ecobiologie et variabilité des populations. Cemagref, Inra Editions, Paris, 277p.
- Bathurst J.C., Graf W.H. et Cao H.H., 1987.** Bed load discharge equations for steep mountain rivers. In Sediment transport in gravel-bed rivers, edited by CR Thorne, JC Bathurst and RD Hey. ISBN 0-471-90914-9.
- Belaud A. et Carette A., 1999** – Suivi 1999 de la qualité des milieux et de la reproduction des aloses à Agen et en moyenne Garonne. Suivi de la réserve naturelle de la frayère d'aloise. Rapport 1999, 61p.
- Belaud A., Carette A., Cassou-Leins F. et Cassou-Leins J.J., 2001** – Choix des sites de fraie par la grande alose (*Alosa alosa* L.) en moyenne Garonne. *Bull. Fr. Pêche Piscic.* 362/363 : 869-880.
- Boisneau P., Mennesson-Boisneau C. et Baglinière J.L., 1990.** Description d'une frayère et comportement de reproduction de la grande alose (*Alosa alosa* L.) dans le cours supérieur de la Loire (France). *Bull. Fr. Pêche Piscic.* 316, 15–23.
- Bowman S. et Hightower J.E., 2001.** American shad and striped bass spawning migration and habitat selection in the Neuse River, North Carolina. Final Report to the North Carolina Marine Fisheries Commission, North Carolina Cooperative Fish and Wildlife Research Unit, North Carolina State University, Raleigh.
- Carlson, F.T., 1968.** Suitability of the Susquehanna River for restoration of shad. U.S. Department of the Interior, Maryland Board of Natural Resources, New York Conservation Department, and Pennsylvania Fish Commission, Washington, D.C.
- Cassou-Leins F. et Cassou-Leins J.J., 1981** – Recherches sur la biologie et l'halieutique des migrateurs de la Garonne et principalement de l'Alose, *Alosa alosa* L. Thèse doctorat 3è cycle, Institut National Polytechnique de Toulouse, 382p.
- Cassou-Leins F. et Cassou-Leins J.J., 1990** – Réserve naturelle de la frayère d'aloses. Synthèse quinquennale. Rapport ENSA Toulouse, 57p.
- Cassou-Leins J.J., Cassou-Leins F., Boisneau P. et Baglinière J.L., 2000.** La reproduction in Les aloses (*Alosa alosa* et *Alosa Fallax* spp.), Baglinière J.L. et Elie P. eds. ISBN 2-7380-0906-9.
- Cassou-Leins F., Cassou-Leins J.J., Dauba F. et Lejollivet C., 1986.** Réserve naturelle de la frayère d'aloise. Etudes des oeufs de grande alose (*Alosa Alosa* L.) : répartition et dérive, taux de mortalité, influence des pollutions. ENSA Toulouse. 12p.
- Caut I., Molas D., Bareille M., Brasier W., Noel Y., Lascaux JM et Chanseau M., 2006.** Suivi de la reproduction de la grande alose (*Alosa alosa* L.) et de lamproie marine (*Petromyzon marinus* L.) sur la Dordogne en 2006. Rapport MIGADO 21D-06-RT, 34p+ annexes.
- Fatin D. et Dartiguelongue J., 1995.** Etude préliminaire de la reproduction des aloses en 1995 entre Tuilières et Mauzac sur la Dordogne. Rapport S.C.E.A., 39p. + annexes.
- Hill B.J. et Potter I.C., 1970.** Oxygen consumption in the ammocoetes of the lamprey *Ichthyomyzon hubbsi*. *Journal of Experimental Biology* 53, 47–57.

- Kelly F.L. et King J.J., 2001.** A review of the ecology and distribution of three lamprey species, *Lampetra fluviatilis* (L.), *Lampetra planeri* (BLOCH) and *Petromyzon marinus* (L.) : a context for conservation and biodiversity considerations in Ireland. Biology and Environment: Proceeding of the Royal Irish Academy, Vol. 101B, No.3, 165-185 (2001).
- Kondolf GM, 2000.** Assessing salmonid spawning gravel quality. Transactions of the American Fisheries Society 129, 262-281.
- Lascaux J.M. et Lagarrigue T., 2001** – Localisation des zones de frai de la lamproie marine (*Petromyzon marinus* L.) sur la rivière Dordogne dans le département du Lot. Rapport MI.GA.DO. D21-01-RT, 10p. + annexes.
- Lascaux J.M., Lagarrigue T., Vandewalle F., Leon C. et Chanseau M., 2005.** Suivi de la reproduction de la grande alose (*Alosa alosa* L.) et de la lamproie marine (*Petromyzon marinus* L.) sur la Dordogne en aval du barrage de Tuilières. Mai-juin-juillet 2004. Rapport MIGADO 4D-05-RT.
- Maitland P.S. et Hatton-Ellis T.W. , 2003.** Ecology of the Allis and Twaite Shad. Conserving Natura 2000 Rivers Ecology Series No 3. English Nature, Peterborough.
- Manion P.J. et Hanson L.H., 1980.** Spawning behaviour and fecundity of Lampreys from the Upper Three Great Lakes. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 37 : 1635-1640.
- Mayeras F., Brasier W., Noel Y. Lascaux JM. et Chanseau M., 2006** – Suivi de la reproduction de la grande alose (*Alosa alosa* L.) et de lamproie marine (*Petromyzon marinus* L.) sur la Dordogne en 2005. Rapport MIGADO 4D-06-RT, 37p.
- Morman R.H., Cuddy D.W. et Rugen P.C., 1980.** Factors influencing the distribution of sea lamprey (*Petromyzon marinus*) in the Great Lakes. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 37, 1811-1826.
- Ross R.M., Backman T.W.H et Bennett R.M., 1993.** Evaluation of habitat suitability index models for riverine life stages of American shad, with proposed models for premigratory juveniles. U.S. Fish and Wildlife Service Biological Report 14.
- Sabatié J.M., 1998** – Eléments d'écologie de la lamproie marine (*Petromyzon marinus*) dans une rivière bretonne : le Scorff. Rapport final de la convention région Bretagne N° 12172/95, 53p.
- Smith S. et Marsden J.E., 2006.** Distribution and factors affecting survival of sea lamprey eggs in and out of nests. Rubenstein School of Environment and Natural Resources, University of Vermont, Burlington, VT 05405. Project Completion Report. Lake Champlain Basin Program.
- Taverny C., Urdaci M., Elie A.M., Beaulaton L., Ortusi I., Daverat F. et Elie P.** Biologie, écologie et pêche des lamproies migratrices (*Agnathes amphihalins*) - Troisième tranche fonctionnelle, Rapport final. Cestas : Cemagref, 2005. Etude n° 99 -71 p.
- Waters T.F., 1955.** Sediments in streams – Sources, Biological Effects and Control. American Fisheries Society Monograph 7. ISBN 0-913235-97-0.
- Yang C.T., 1996.** Sediment transport – Theory and practice. MacGraw-Hill series in water resources and environmental engineering. ISBN 0-07-114882-5.

11. ANNEXE

11.1. Annexe 1 : Echelle de Wenworth modifiée

Classe		Gamme de taille (mm)		
Blocs	très gros	4096	----	2048
	gros	2048	----	1024
	moyen	1024	----	512
	petit	512	----	256
Galets	gros	256	----	128
	petit	128	----	64
Graviers	très grossier	64	----	32
	grossier	32	----	16
	moyen	16	----	8
	fin	8	----	4
	très fin	4	----	2
Sable	très grossier	2	----	1
	grossier	1	----	0.5
	moyen	0.5	----	0.25
	fin	0.25	----	0.125
	très fin	0.125	----	0.062
Limon	grossier	0.062	----	0.031
	moyen	0.031	----	0.016
	fin	0.016	----	0.008
	très fin	0.008	----	0.004
Argile	grossier	0.004	----	0.002
	moyen	0.002	----	0.001
	fin	0.001	----	0.0005
	très fin	< 0.0005		

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