



IMPACT DU FONCTIONNEMENT PAR ECLUSEES DE L'USINE
HYDROELECTRIQUE DE HAUTEFAGE SUR LA MARONNE : SUIVI DES
ECHOUAGES-PIEGEAGES DE POISSONS DE 2003 A 2005



Bord de Maronne après une baisse de débit



Alevins de salmonidés échoués



Bras de Maronne en cours de déconnexion

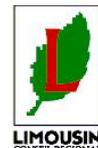
Etude financée par :

Agence de l'Eau Adour Garonne
Europe

J.M. LASCAUX
L. CAZENEUVE
T. LAGARRIGUE
M. CHANSEAU

mai 2006

MI.GA.DO. 7D-06-RT



**Impacts du fonctionnement par éclusées de l'usine hydroélectrique de Hautefage sur la Maronne :
Suivi des échouages-piégeages de poissons de 2003 à 2005.**



Bord de Maronne après une baisse de débit



Alevins de salmonidés échoués



Bras de Maronne en cours de déconnexion



COMPTE RENDU D'ETUDE SOMMAIRE

Rapport de sous-traitance MI.GA.DO./ E.CO.G.E.A.

Auteurs et Titre : (pour fin de citation)

Lascaux, J.M., Cazeneuve L., Lagarrigue, T. et Chanseau, M., 2006. Impacts du fonctionnement par éclusées de l'usine hydroélectrique de HautePAGE sur la Maronne : Suivi des échouages-piégeages de poissons de 2003 à 2005. 32 p. + annexes.

(Rapport MI.GA.DO. 7D-06-RT).

Résumé :

Les nombreuses et importantes variations de débit en aval de certaines usines hydroélectriques fonctionnant par éclusées sont susceptibles de perturber fortement le milieu aquatique. En ce qui concerne les poissons, les fortes fluctuations des niveaux d'eau en aval de certains aménagements peuvent provoquer des exondations de frayères en période de reproduction, des dérives de jeunes alevins, des échouages et des piégeages de poissons dans les zones du cours d'eau rapidement découvertes ou déconnectées par les baisses de débit.

La période d'émergence et de post-émergence est une période particulièrement sensible de la vie des salmonidés. Les variations brusques de débit, de vitesse et de profondeur, à la hausse ou à la baisse, sont susceptibles de provoquer d'importantes mortalités. Le présent rapport synthétise les résultats obtenus de 2003 à 2005 concernant les phénomènes d'échouages et de piégeages de jeunes salmonidés sur la Maronne en aval de l'aménagement hydroélectrique de HautePAGE.

Plusieurs enseignements peuvent être retenus :

- Ces phénomènes sont importants sur la Maronne puisque quasiment à chacune des prospections et malgré les difficultés d'une approche « in situ », des poissons ont été retrouvés échoués et/ou piégés.
- **11 espèces de poissons sont concernées** (plus de 3400 poissons retrouvés morts au total) dont 5 espèces à forte valeur patrimoniale (Saumon, Truite, Ombre, Chabot et Lamproie de Planer). **Les alevins de salmonidés représentent plus de 58% des poissons retrouvés morts.**
- **De fortes mortalités sont constatées pour des gradients de baisse des niveaux d'eau à l'aval de l'usine de HautePAGE allant de 38 à 82 cm/h.**
- Les mortalités par échouages liés aux éclusées durant toute la période d'émergence et de post-émergence peuvent être estimées à **5,6 alevins de salmonidés morts par mètre linéaire** de berge.
- Les échouages concernent essentiellement **les poissons les plus petits** (inférieurs à 35 mm de longueur totale), donc les alevins de **l'émergence jusqu'à environ 320 degrés-jours plus tard.**
- **La période de grande vulnérabilité des alevins de salmonidés aux éclusées dure pratiquement deux mois et demi, avec un début plutôt dernière semaine de mars pour les truites et une prolongation jusqu'à la fin-mai pour les jeunes saumons.**
- Des mortalités, essentiellement par piégeages, apparaissent au moment du retour au débit réservé réglementaire, en fin de période d'éclusées, au mois de juin. Quelle que soit la progressivité de la baisse du niveau de l'eau, des bras secondaires et des dépressions formant des flaques en bordure de chenal se déconnectent du cours principal et s'assèchent progressivement condamnant les poissons piégés. **On peut estimer la perte par déconnexion**

de bras lors du retour au débit réservé réglementaire à environ 6000 alevins de truites et saumons en 2003 et à environ 4000 alevins en 2005.

Des améliorations paraissent indispensables à mettre en place afin d'éviter ces pertes de salmonidés sauvages :

- Le problème du piégeage et de la déconnexion des bras lors du retour au débit réservé réglementaire semble le plus simple à régler. **L'alimentation en eau des bras secondaires doit être pérenne** si l'on veut conserver ces zones d'habitat favorable aux alevins et les alevins qui y vivent. Pour cela, l'aménagement des prises d'eau des bras est envisageable. Cependant ces aménagement devront être couplés à une augmentation du débit réservé réglementaire de manière à pouvoir alimenter tous les chenaux en même temps avec un minimum de débit.
- Concernant les échouages, les améliorations possibles portent sur la diminution des gradients de baisse **beaucoup trop importants à l'heure actuelle sur ce cours d'eau**. Le passage de 45 m³/s (2 groupes à pleine puissance) à 22 m³/s (1 groupe à pleine puissance) peut être assez rapide car le lit mineur de la Maronne est bien en eau et aucune zone sensible n'est encore découverte. **En deçà de 22 m³/s, la baisse doit être modérée car les différents secteurs sensibles sont progressivement mis hors d'eau. Ainsi, un pallier de 1 heure à 20-22 m³/s (1 groupe à pleine puissance), suivi d'une baisse en 1 heure à 10-12 m³/s (1 groupe à régime économique) puis d'un pallier de 1 heure à 10-12 m³/s avant une dernière descente en 1 heure au débit de base permettraient de réduire de façon conséquente les gradients et de les limiter à moins 10 cm/h (valeur recommandée dans la littérature scientifique) sur environ la moitié du linéaire de la Maronne compris entre l'usine de Hautefage et la confluence avec la Dordogne.**
- Même avec de telles valeurs de gradients, et en regard des résultats présentés dans la bibliographie, il est certain que des mortalités d'alevins non négligeables surviendront encore. Il est apparu que la période critique de vulnérabilité aux éclusées pour le saumon atlantique et la truite commune dure pratiquement deux mois et demi, de la fin mars à la fin-mai. Fin mai et jusqu'à mi-juin, on est encore en pleine période d'émergence et de post-émergence des ombres communs sur la Maronne. **Seule la mise en place d'un débit de base plus important durant toute cette période (fin mars à mi-juin), maintenant en eau tout ou partie des zones sensibles aux variations de niveau, permettrait de réduire de manière très significative les impacts des éclusées sur la Maronne.**

Mots clés : Eclusées, Echouages, Piégeages, Salmonidés, rivière Maronne.

Version : Définitive.

Date : Mai 2006.

Tables des matières

1.	Introduction	1
1.1.	Contexte général	1
1.2.	La Maronne et son régime hydrologique	1
1.2.1.	Les débits naturels de la Maronne de 1918 à 2005	2
1.2.2.	Les débits de la Maronne influencés par l'aménagement hydroélectrique de Hautefage	3
1.3.	Les enjeux « Salmonidés grands migrateurs » sur la Maronne.....	6
1.4.	Objectifs de l'étude	6
2.	Matériel et Méthode	6
2.1.	Fonctionnement hydraulique de la Maronne	6
2.2.	Régime thermique de la Maronne.....	7
2.3.	Prospection pendant le régime d'éclusées	7
2.3.1.	La convention « programmes » entre MIGADO et EDF.....	7
2.3.2.	Suivi de 3 sites témoins.....	7
	Site de Grafouillère	7
	Site des îlots de l'Hospital	7
	Site Z1 amont.....	8
2.3.3.	Déroulement des prospections	9
2.3.4.	Prospections au moment du retour au débit réservé réglementaire	10
3.	Résultats	11
3.1.	Caractérisation hydraulique des éclusées.....	11
3.1.1.	Le signal éclusée	11
3.1.2.	Caractéristiques des phases de montée et de descente des éclusées	12
3.2.	Régime thermique de la Maronne.....	14
3.2.1.	Éclosion et émergence	15
3.3.	Mortalités pendant le régime d'éclusées.....	16
3.3.1.	Résultats généraux	16
3.3.2.	Suivi des sites témoins	16
3.3.3.	Émergence et post-émergence : phases critiques.....	18
	Influence de l'effet taille	20
	Influence des paramètres de l'éclusée.....	22
3.3.4.	Cas particulier du site Zone 1 aval - confluence avec la Dordogne.....	25
3.4.	Résultats observés lors du retour au débit réservé réglementaire	26
3.4.1.	Résultats généraux	26
3.4.2.	Zoom sur le bras secondaire de l'Hospital (Z38-39-40).....	27
4.	Conclusions	30
4.1.	les enseignements du suivi.....	30
4.2.	D'indispensables améliorations à mettre en place	31
5.	Bibliographie	32

Impacts du fonctionnement par éclusées de l'usine hydroélectrique de Hautefage sur la Maronne :

Suivi des échouages-piégeages de poissons de 2003 à 2005.

1. Introduction

1.1. Contexte général

Les nombreuses et importantes variations de débit en aval de certaines usines hydroélectriques fonctionnant par éclusées sont susceptibles de perturber fortement le milieu aquatique. En ce qui concerne les poissons, les fortes fluctuations des niveaux d'eau en aval de certains aménagements peuvent provoquer des exondations de frayères en période de reproduction (voir par exemple concernant les salmonidés **ECOGEA pour MIGADO 2000 à 2005**), des dérives de jeunes alevins qui sont alors très vulnérables (toujours concernant les salmonidés voir par exemple **Liébig, 1998**, ou **Chanseau et Gaudard, 2005**), des échouages et des piégeages de poissons dans les zones du cours d'eau rapidement découvertes ou déconnectées par la baisse du débit (**Saltveit et al, 2001**).

Ce sont ces phénomènes d'échouages et de piégeages qui ont été étudiés sur la Maronne, à l'aval de l'usine hydroélectrique de Hautefage dans le cadre de la présente étude.

Cette étude s'inscrit plus largement dans le cadre du « défi territorial éclusées » lancé par l'Agence de l'Eau Adour – Garonne en novembre 2004 dans son VIII^{ème} programme, en particulier sur les rivières Dordogne et Maronne. L'objectif du défi est d'améliorer les connaissances concernant l'impact des éclusées sur les milieux aquatiques, les poissons en particulier, afin de proposer des actions concrètes (modification du fonctionnement des aménagements hydroélectriques, aménagements des cours d'eau...) permettant de parvenir à un compromis acceptable par tous les acteurs concernés (notamment EDF et les organismes qui ont en charge la protection et/ou la gestion des milieux aquatiques - associations, administrations, collectivités territoriales, établissements publics ...).

1.2. La Maronne et son régime hydrologique

La Maronne prend sa source au Roc du Merle (1347 m) en Auvergne, dans les Monts du Cantal. Son bassin versant, situé à cheval sur les départements du Cantal et de la Corrèze, couvre une superficie de l'ordre de 820 km². Le climat du bassin versant de la Maronne est principalement sous influence océanique. Les précipitations sont relativement importantes sur les points hauts (jusqu'à 2200 mm/an sur les Monts du Cantal) pour diminuer progressivement au niveau d'Argentat aux alentours de 1200 mm/an.

Plusieurs ouvrages hydroélectriques ont été implantés sur son cours De l'amont vers l'aval :

- Enchanet, mis en service en 1950 et dont la capacité de stockage totale est de 93 millions de m³,
- Le Gour Noir, mis en service en 1946 et dont la capacité de stockage totale est de 5,2 millions de m³,
- Hautefage, mis en service en 1958 et dont la capacité de stockage totale est de 27 millions de m³.

L'usine de Hautefage, dernier ouvrage de la chaîne Maronne et à l'aval duquel a été réalisée la présente étude, est implantée à environ 6 kilomètres en amont de la confluence Maronne-Dordogne. Elle turbine par écluses les eaux stockées 3 kilomètres en amont dans la retenue de Hautefage.

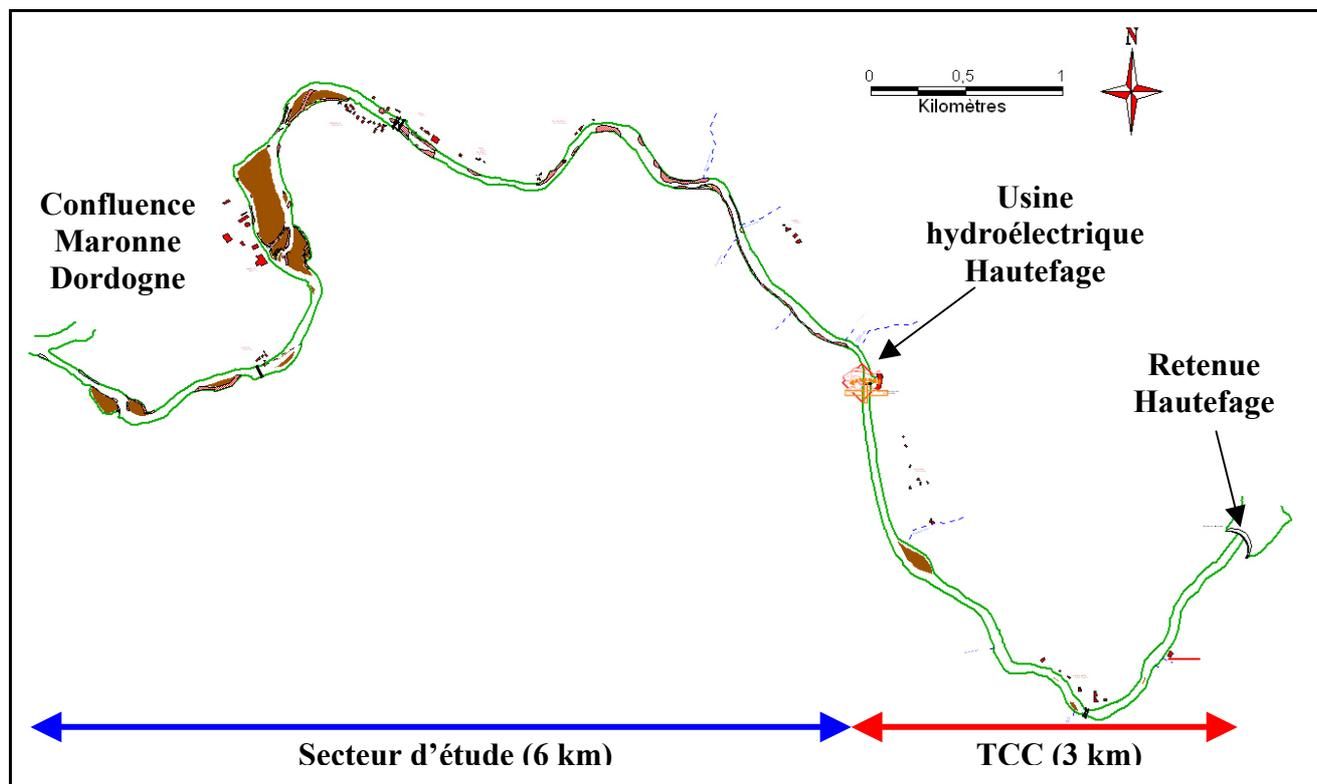


Fig. 1 : Secteur d'étude

1.2.1. Les débits naturels de la Maronne de 1918 à 2005

Les données ci-dessous sont extraites de la Banque HYDRO.

	janv.	fév.	mars	avr.	mai	juin	juil.	août	sept.	oct.	nov.	déc.	année
débits (m ³ /s)	32.8	34.3	28.1	26.0	19.8	12.8	6.9	4.9	8.9	15.0	23.8	31.4	20.3
Q. sp (l/s/km ²)	40.0	41.8	34.3	31.7	24.1	15.6	8.4	6.0	10.8	18.3	29.0	38.2	24.7
lame d'eau (mm)	107	104	91	82	64	40	22	16	27	48	75	102	783

Tabl. 1 : Ecoulements naturels mensuels de la Maronne à Basteyroux (calculés sur 88 ans).

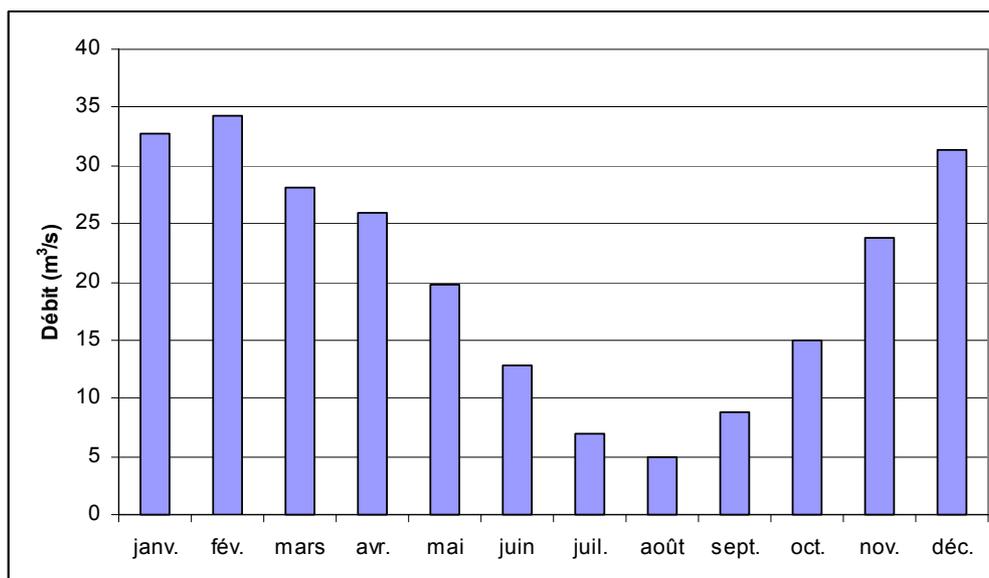


Fig. 2 : Débits moyens mensuels de la Maronne à Basteyroux

Module
20.30 m ³ /s [19.30;21.30]

Tabl. 2 : Module à Basteyroux calculé sur 88 ans [intervalle de confiance à 95%].

fréquence	Basses eaux - QMNA (m ³ /s)
biennale	1.800 [1.500;2.200]
quinquennale sèche	0.810 [0.650;0.980]

Tabl. 3 : Basses eaux calculées sur 88 ans [intervalle de confiance à 95%].

fréquence	Crues - QJ (m ³ /s)
biennale	130 [120;140]
quinquennale	190 [180;210]
décennale	230 [220;260]
vicennale	270 [250;300]
cinquantennale	320 [300;360]

Tabl. 4 : Crues calculées sur 88 ans [intervalle de confiance à 95%].

1.2.2. Les débits de la Maronne influencés par l'aménagement hydroélectrique de Hautefage

L'usine de Hautefage est équipée de deux turbines Francis d'un débit nominal de 22 m³/s. Elle turbine par éclusée en période de forte demande d'électricité les eaux stockées en période de moindre demande dans la retenue de Hautefage.

La rivière Maronne est soumise, entre le barrage de Hautefage et l'usine (tronçon court-circuité d'environ 3 km) à un débit réservé fixé réglementairement à 500 l/s (1/40 du module) auquel s'ajoute quelques apports (ruisseau de la Pagésie et ruisseau du Peyret pour les plus importants). A l'aval de l'usine et jusqu'à la confluence avec la Dordogne (environ 6 km), les débits turbinés se rajoutent au débit réservé. Le débit dans la Maronne est donc soit le débit réservé (usine à l'arrêt),

soit le débit turbiné par une ou deux turbines à régime économique ou à pleine ouverture (voir aussi rapport SIEE/GHAAPPE/MIGADO,1999).

Schématiquement, 4 paliers de débits peuvent être distingués entre l'usine de Hautefage et la confluence avec la Dordogne en dehors des périodes de crues (déversements par dessus le barrage de Hautefage) :

- Débit compris entre 40 et 50 m³/s, correspondant au fonctionnement des deux turbines à pleine ouverture (motif GG, éclusées de type haut),
- Débit compris entre 30 et 40 m³/s, correspondant au fonctionnement des deux turbines dont une au moins fonctionne à régime économique (motif Gg, éclusées de type moyen),
- Débit compris entre 15 et 25 m³/s, correspondant au fonctionnement d'une turbine à régime économique ou à pleine ouverture (motif G, éclusées de type bas),
- Débit réservé en dehors des périodes d'éclusées (Qr).

Cependant, depuis l'hiver 1997-1998 et plus officiellement depuis novembre 2002, par convention avec la Fédération de Pêche et de Protection du Milieu Aquatique de la Corrèze, EDF délivre en aval de l'usine de Hautefage, de mi-novembre à début juin (puis mi-juin depuis 2005), un débit supplémentaire de l'ordre de 3 m³/s et correspondant à la marche à vide d'un groupe. La période concernée correspond aux phases de reproduction, d'incubation, de vie sous graviers, d'émergence et de post-émergence des salmonidés. Le débit de base inter-éclusées (Qbase) correspond à minima à environ 20% du module du cours d'eau et est à minima 4 fois supérieur au débit réservé réglementaire (Qr).

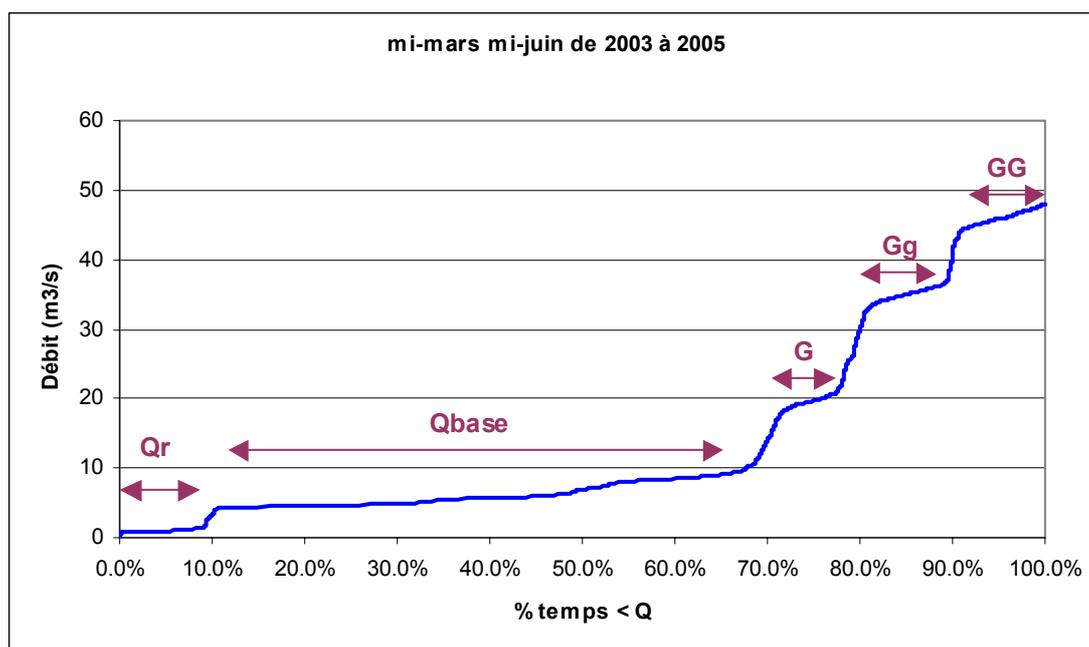


Fig. 3 : Débits classés de la Maronne à Basteyroux, les différents paliers de fonctionnement

A un niveau mensuel, le fonctionnement des aménagements hydroélectriques de la chaîne Maronne ne provoque pas de grosses distorsions par rapport aux écoulements naturels (voir rapport SIEE/GHAAPPE/MIGADO,1999). En revanche, à des échelles hebdomadaires, journalières et horaires, le régime hydrologique n'a plus rien de comparable avec un cours d'eau naturel (fig. 4). Les débits fluctuent en fonction de la demande d'énergie hydroélectrique sur le réseau : schématiquement, début de période de turbinage le matin vers 6-7 h, retour au débit de base en soirée pour les jours de semaine et généralement pas de turbinage les dimanches et les jours fériés.

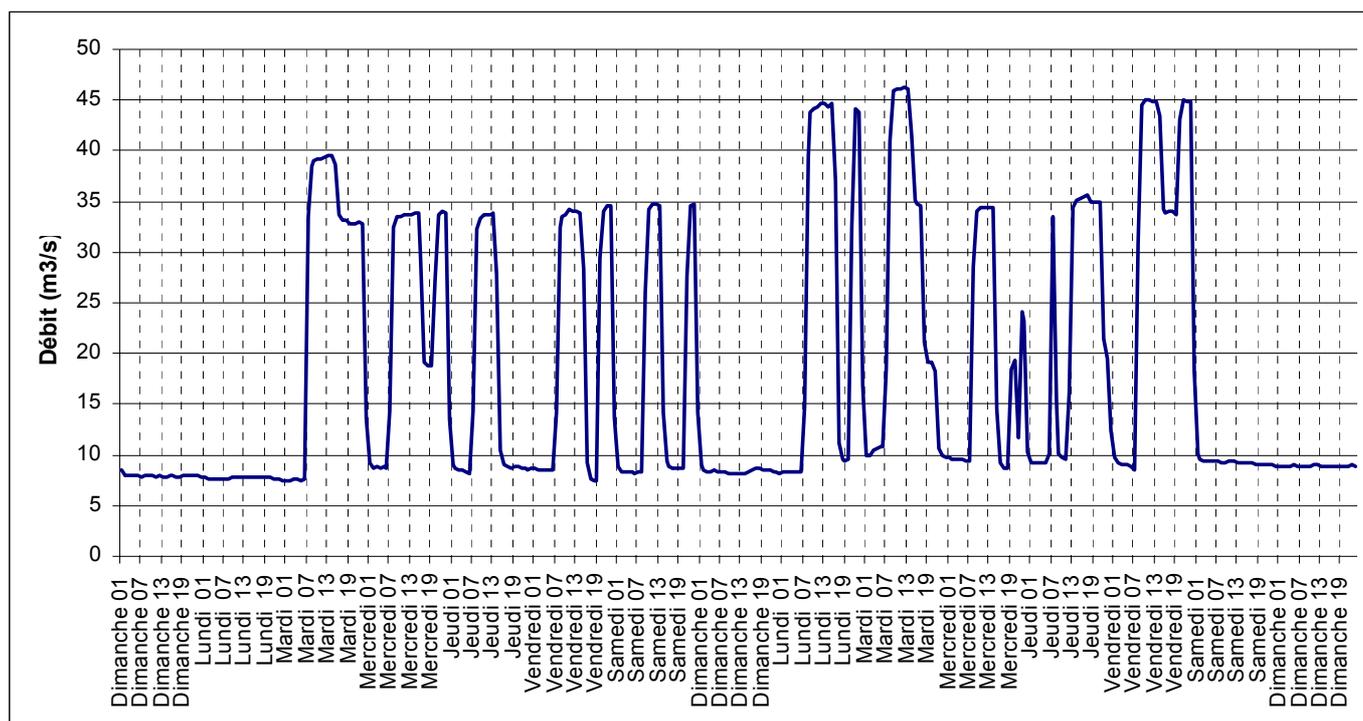


Fig. 4 : Débits horaires de la Maronne du 11 au 25 avril 2004

Le nombre moyen d'éclusées par an est d'environ 195 sur la Maronne : une vingtaine d'éclusées pour les mois de janvier à mai, une quinzaine en juin puis de septembre à décembre et 5 à 6 éclusées en juillet et août (fig. 5).

La majorité des éclusées sont de type haut et moyen (les deux turbines à plein régime ou une à plein régime et une à moitié puissance), hormis pour les mois de juin, juillet, août, septembre pour lesquels il y a une majorité d'éclusées de type bas (une seule turbine à plein régime ou à demi-puissance). Les mois d'avril et mai (période d'émergence des salmonidés) et de novembre (période de début de reproduction des salmonidés) sont les mois durant lesquels les éclusées de type haut sont les plus nombreuses.

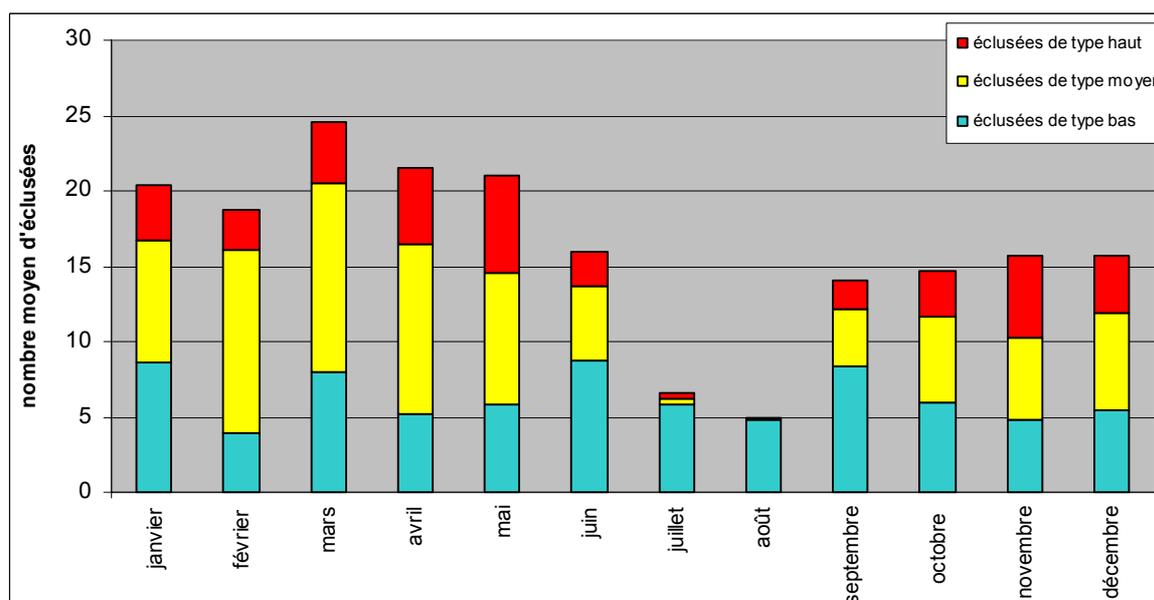


Fig. 5 : Répartition du nombre d'éclusées par type et par mois de 1989 à 1998

1.3. Les enjeux « Salmonidés grands migrateurs » sur la Maronne

Depuis plusieurs années maintenant, avec la mise en place d'un suivi « exhaustif » de la reproduction des grands salmonidés sur le bassin de la Dordogne (**ECOGEA pour MIGADO**, 2000 à 2005), une importante activité de reproduction est constatée tous les ans sur la Maronne en aval de l'usine de HautePAGE (de 42 à 262 frayères de grands salmonidés selon les années soit de 18% à 36% des frayères recensées chaque année sur le bassin).

La position de la Maronne sur le bassin (premier affluent important en rive gauche à l'aval proche du barrage infranchissable du Sablier sur la Dordogne) et les débits turbinés conséquents expliquent en partie l'attractivité de ce cours d'eau pour les grands salmonidés.

S'il est apparu que la consigne « marche à vide d'un groupe » mise en place par EDF du 15 novembre à début juin (15 juin à partir de 2005) permet de maintenir en eau 93.3% des frayères, soit un gain moyen sur 3 ans de 17.7 % de nids préservés de l'exondation par rapport à l'application stricte du débit réservé réglementaire (**ECOGEA pour MIGADO**, 2004), le fonctionnement par éclusées de HautePAGE impacte encore très fortement d'autres phases du cycle biologique des salmonidés.

1.4. Objectifs de l'étude

La période d'émergence et de post-émergence est une période particulièrement sensible de la vie des salmonidés. Les variations brusques de débit, de vitesse et de profondeur, à la hausse ou à la baisse, sont susceptibles de provoquer d'importantes mortalités par dérives, échouages et/ou piégeages d'alevins sur la Maronne.

La présente étude va s'attacher à présenter les principaux résultats obtenus de 2003 à 2005 concernant les phénomènes d'échouage et de piégeage de jeunes salmonidés sur la Maronne.

Ces phénomènes sont très peu abordés dans la littérature scientifique car très difficiles à appréhender (très petite taille des poissons à l'émergence, disponibilité de tous les instants nécessaire - jour, nuit, week-end - afin de suivre au plus près les programmes des usines hydroélectriques et être sur les sites avant les « nettoyeurs » de toute sorte - oiseaux, mammifères, invertébrés -).

Après une caractérisation du fonctionnement hydraulique du cours d'eau, seront présentées les problématiques « échouages » pendant le régime d'éclusée et « piégeages » lors du retour au débit réservé réglementaire. Des solutions seront enfin avancées afin de tenter de minimiser les mortalités lors de cette phase-clé du cycle de développement des salmonidés.

2. Matériel et Méthode

2.1. Fonctionnement hydraulique de la Maronne

Afin de caractériser précisément le fonctionnement hydraulique de la Maronne (propagation du « signal éclusée », amplitude, vitesses de hausse et de baisse des niveaux d'eau en différents points du cours d'eau et pour deux types morphologiques de lit de cours d'eau [chenal unique et secteur de tresses]), plusieurs sondes à capteurs de pression (sondes MICREL de type SP2T 10) ont été installées dans la Maronne. Deux sondes ont été utilisées en 2003, puis trois en 2004 et 2005.

La première sonde est placée environ 200 m à l'aval de l'usine de HautePAGE (la Maronne présente ici un lit à chenal unique). La seconde est placée dans le bras principal des îlots de l'Hospital à environ 4 km en aval de l'usine (secteur à tresses de la Maronne) et enfin la troisième est placée dans un bras secondaire de ce même secteur d'îlots (Bras Z38-39-40).

Les données du limnigraphe de Basteyroux (situé à 3 km de l'usine de Hautefage, lit à chenal unique), disponibles dans la banque HYDRO (pas de temps variable), ont également été récupérées afin de compléter le dispositif d'enregistrement des variations de niveau.

2.2. Régime thermique de la Maronne

Depuis 2000, un thermographe enregistre en permanence la température de la Maronne au niveau des îlots de l'Hospital (Tinytag+ de Gemini Data Loggers, pas de temps de 2 heures).

2.3. Prospection pendant le régime d'éclusées

2.3.1. La convention « programmes » entre MIGADO et EDF

Par convention, EDF informe ECOGEA-MIGADO des programmes d'éclusées sur la Maronne à 17 h pour la journée suivante (de 0h à 24h). La décision de suivre ou non une éclusée est donc prise le soir pour la nuit suivante et le lendemain. Les abaissements de niveau d'eau ayant le plus souvent lieu la nuit et les week-ends, cette étude est donc particulièrement contraignante à mettre en œuvre.

2.3.2. Suivi de 3 sites témoins

Le suivi exhaustif de l'ensemble du linéaire étant impossible à chaque éclusée, 3 sites témoins ont été choisis afin d'être prospectés pour un maximum d'éclusées. Pour deux de ces trois sites, la Maronne présente un lit à chenal unique : un est situé à l'aval proche de l'usine (Grafouillère) et l'autre plutôt en fin de secteur d'étude (Z1 amont). Le troisième site (Z38-39-40 et Z28 des îlots de l'Hospital) correspond à des secteurs de tresses de la Maronne.

Site de Grafouillère

Le secteur de Grafouillère est situé à environ 1300 mètres à l'aval de l'usine de Hautefage. A ce titre, il subit des variations de hauteurs d'eau importantes et rapides. Il s'agit d'une zone de galets d'une taille moyenne de 10 cm, végétalisée, d'environ 50 mètres de long pour 7 mètres de large, avec une pente latérale moyenne de 14,7 %. La Maronne présente ici un chenal unique.



Photo 1 : Grafouillère à 37 m³/s



Photo 2 : Grafouillère à 7 m³/s

Site des îlots de l'Hospital

Les îlots de l'Hospital sont situés environ 4 kilomètres en aval de l'usine de Hautefage. C'est un des deux secteurs de tresses de la Maronne (plusieurs bras en eau). Ont été particulièrement suivis dans cette zone les bras Z38-39-40 et Z28 (172 m de long) qui présentent des habitats très favorables aux jeunes alevins.



Photo 3 : Bras Z38-39-40 à 40 m³/s



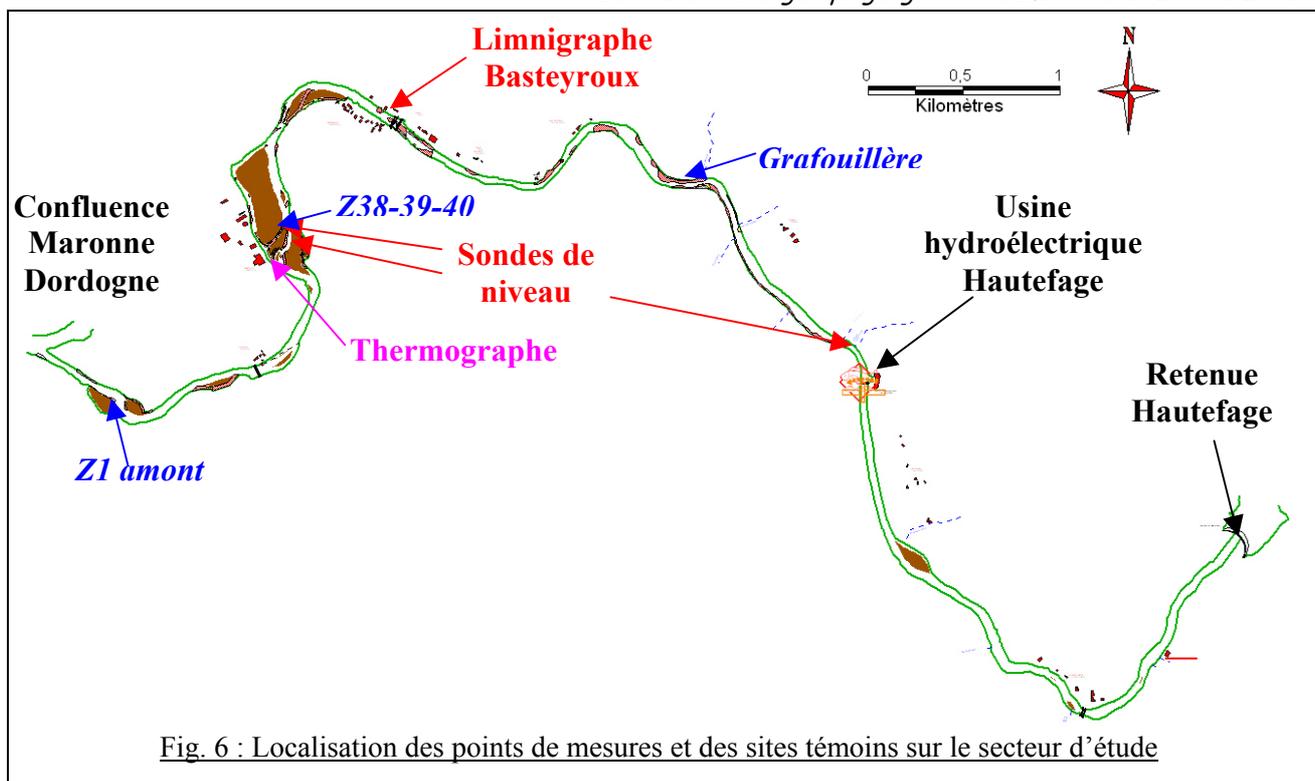
Photo 4 : Bras Z38-39-40 à 22 m³/s

Site Z1 amont

Situé à environ 6 kilomètres en aval de l'usine de Hautefage, la Maronne présente à ce niveau un chenal unique classique avec arbres et galets colonisés par des mousses aquatiques et des graminées (avec de nombreuses dépressions dans les systèmes racinaires des arbres). Cette zone mesure 70 mètres de long pour 3-4 mètres de large et présente une pente latérale moyenne de 11,2 %.



Photo 5 : Z1 amont à 7 m³/s



2.3.3. Déroulement des prospections

Les prospections sont effectuées à pied le long de la Maronne, à la lampe torche si la prospection se déroule la nuit. Il est souvent indispensable de progresser « à quatre pattes » en prospectant minutieusement sous les mousses, entre les herbes ainsi que dans les interstices entre galets à la recherche de poissonnets d'environ 25 mm de long. Même très minutieuse, ces prospections sont d'une efficacité relative. Il est évident que les alevins trouvés ne représentent qu'une partie des alevins réellement échoués ou piégés.

Chaque alevin retrouvé mort est comptabilisé et conservé (solution de formol à 5%) dans un tube sur lequel sont notés le lieu, la date et l'heure du prélèvement. Au laboratoire, l'espèce (si possible !) ainsi que la taille du poissonnet (longueur totale en mm) sont déterminées. La différenciation truite commune-saumon atlantique n'est guère réalisable, avec de simples critères morphologiques, sur des alevins de très petite taille, même sous loupe binoculaire. 40 mm semble être un minimum pour déterminer l'espèce.



Photo 6 : Différenciation morphologique saumon-truite ; en haut un jeune saumon de 55 mm en bas une jeune truite de 50 mm

Les rares individus trouvés encore vivants sont simplement comptabilisés par site et remis à l'eau.

Pendant la période d'éclusées, ne sont pas pris en compte les alevins piégés dans les grandes flaques qui se reconnectent à l'écluse suivante, sans avoir été asséchées.

Classiquement, les baisses de débit sur la Maronne ont lieu la nuit peu après minuit pour une nouvelle hausse le matin entre 6 et 8 heures. Compte tenu du temps de transfert de l'eau de l'amont vers l'aval, cela laisse à peine le temps pour deux équipes de deux personnes de prospecter minutieusement les trois sites témoins. Néanmoins, il arrive quelquefois que le débit de base inter-écluse soit maintenu plus longtemps, notamment les week-ends. Des prospections sont alors réalisées sur d'autres zones afin de mieux cerner la réalité de la problématique « échouages » sur l'ensemble du linéaire de la Maronne.

2.3.4. Prospections au moment du retour au débit réservé réglementaire

En fin de période d'éclusées, lors du retour au débit réservé réglementaire, en plus des prospections classiques, des pêches électriques sont réalisées afin de dénombrer les poissons définitivement piégés dans les flaques qui se vident petit à petit et dont l'eau se réchauffe au soleil, entraînant rapidement leur mort.

3. Résultats

3.1. Caractérisation hydraulique des éclusées

3.1.1. Le signal éclusée

Une éclusée se caractérise par :

- une phase de montée rapide du niveau des eaux dont la durée varie en fonction de la distance à l'usine,
- une phase de plateau, plus ou moins longue, durant laquelle le niveau des eaux reste stable,
- une phase de descente rapide du niveau des eaux dont la durée varie également en fonction de la distance à l'usine.

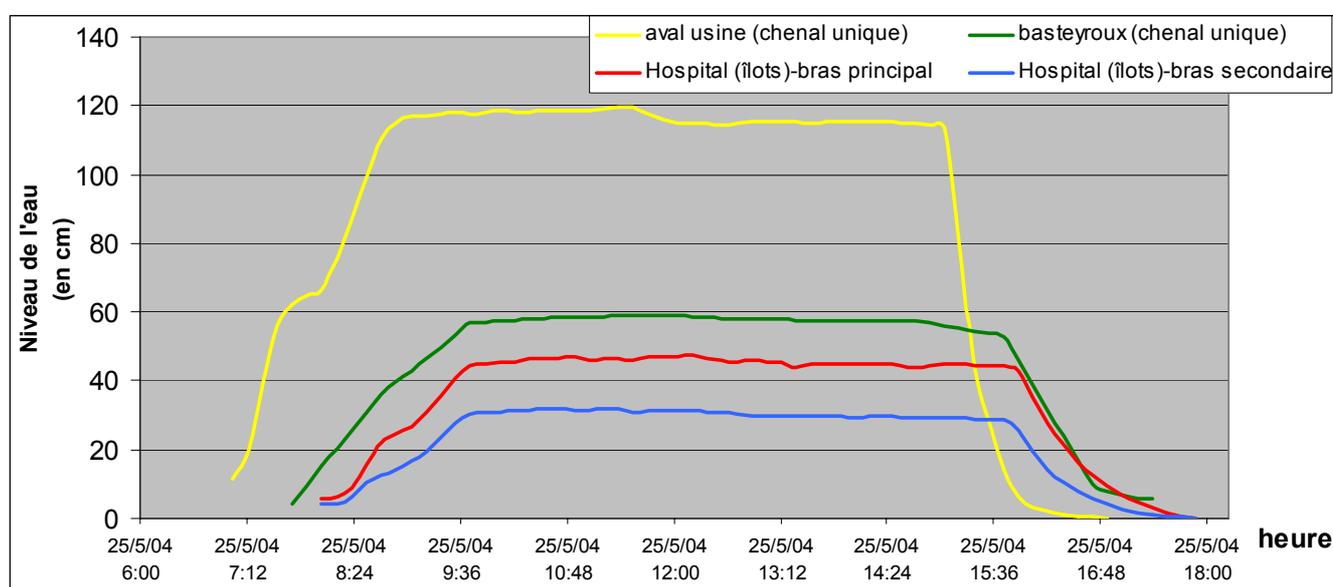


Fig. 7 : Propagation du « signal éclusée »

La figure ci-dessus présente les niveaux d'eau enregistrés lors d'une éclusée de type moyen, le 25 mai 2004, en 4 points de la Maronne. De l'amont vers l'aval :

- à environ 200 m à l'aval de l'usine de l'usine de Hautefage (chenal unique),
- au niveau du limnigraphe de Basteyroux situé 3 km en aval de l'usine (chenal unique),
- au niveau du secteur des îlots de l'Hospital, situés 4 km en aval de l'usine, dans le bras principal,
- au niveau du secteur des îlots de l'Hospital, dans un bras secondaire.

Le débit de départ de cette éclusée est d'environ $7 \text{ m}^3/\text{s}$, le débit maximal turbiné est de $35 \text{ m}^3/\text{s}$ et le débit de fin d'éclusée est d'environ $6 \text{ m}^3/\text{s}$. L'amplitude de l'éclusée est d'environ 120 cm à l'aval de l'usine, 60 cm au niveau de Basteyroux, 45 cm dans le bras principal des îlots de l'Hospital et 30 cm dans le bras secondaire. L'amplitude de l'éclusée est donc divisée par 2 entre l'aval de l'usine et Basteyroux et encore divisée par deux entre Basteyroux et le bras secondaire de l'Hospital.

La montée des eaux au niveau de Basteyroux débute environ 30 minutes après la montée détectée à l'aval de l'usine. Au niveau des îlots de l'Hospital, la montée des eaux est ressentie une quarantaine de minutes plus tard, au même moment dans les deux bras. La vitesse de propagation du signal est donc d'environ 6 km/h pour des éclusées de ce type. La phase de descente est très rapide à l'aval de l'usine. L'éclusée se termine environ une heure plus tard dans les bras de l'Hospital.

On observe ainsi classiquement une atténuation du signal éclusée de l'amont vers l'aval : l'amplitude devient plus faible et la durée du signal (montée-plateau-descente) s'allonge. L'éclusée dure environ 30 minutes de plus au niveau du bras principal de l'Hospital qu'à l'aval de l'usine, ces deux points étant distants de 4 kilomètres environ.

3.1.2. Caractéristiques des phases de montée et de descente des éclusées

L'usine de Hautefage est équipée de deux turbines Francis d'un débit nominal de 22 m³/s. Dans la suite du rapport, nous utiliserons les abréviations suivantes :

- Qbase, le débit de départ et de retour de l'éclusée,
- G, le débit turbiné par une seule turbine fonctionnant en mode économique ou à plein régime (15 à 25 m³/s),
- Gg, le débit turbiné par une turbine fonctionnant à plein régime et la seconde fonctionnant en mode économique (30 à 40 m³/s),
- GG, le débit turbiné par les deux turbines fonctionnant à plein régime (40 à 50 m³/s).

Les éclusées générées par l'usine de Hautefage peuvent être simples, c'est à dire avec un départ de Qbase, une montée avec ou sans paliers jusqu'à un plateau de débit qui sera maintenu un certain temps puis une redescente à Qbase, là encore avec ou sans paliers.

Les motifs rencontrés pour ces éclusées simples pendant les 3 années de suivi sont :

- Motif d'une éclusée simple de type bas : Qbase – G – Qbase
- Motif d'une éclusée simple de type moyen : Qbase – Gg – Qbase ou Qbase – G – Gg – Qbase ou Qbase – Gg – G – Qbase
- Motif d'une éclusée de type haut : Qbase – GG – Qbase ou Qbase – GG – G – Qbase ou Qbase – G – GG – Gg – Qbase ou Qbase – Gg – GG – Gg – Qbase ou encore Qbase – G – Gg – GG – Gg – Qbase.

Les éclusées générées par l'usine d'Hautefage peuvent aussi être plus complexes, avec plusieurs montées et descentes enchaînées sur plusieurs jours mais sans revenir à Qbase (exemple : Qbase-Gg-GG-G-GG-G-GG-G-GG-G-Qbase en mai 2004).

Concernant la vie aquatique, les changements les plus radicaux des conditions d'habitat dans la Maronne sont engendrés par les variations de débit qui partent de Qbase ou qui reviennent à Qbase. Dans les tableaux ci-dessous, ont été caractérisées les variations d'amplitude (cm), de vitesse moyenne sur 1 heure (cm/h) et de vitesse maximum sur 10 minutes (cm/10min.) sur la période 2003 - 2005.

Q base => GG	Aval usine	Basteyroux	Hospital-br principal	Hospital-br secondaire
durée moyenne de montée (h)	02:19 (1:50 - 3:10)	01:55 (1:40 - 2:30)	01:56 (1:30 - 2:40)	01:50 (1:20 - 2:50)
amplitude moyenne de montée (cm)	131 (122 - 151)	70 (63 - 80)	51 (44 - 77)	41 (37 - 45)
vitesse moyenne de montée (cm/h)	58 (41 - 75)	38 (25 - 47)	27 (18 - 42)	23 (14 - 30)
vitesse maximum de montée (cm/10min)	18 (13 - 23)		10 (5 - 25)	7 (4 - 14)

Q base => Gg	Aval usine	Basteyroux	Hospital-br principal	Hospital-br secondaire
durée moyenne de montée (h)	01:53 (1:30 - 2:30)	01:39 (1:20 - 2:10)	01:31 (0:50 - 2:20)	01:30 (1:00 - 2:00)
amplitude moyenne de montée (cm)	106 (93 - 127)	56 (46 - 65)	39 (33 - 46)	28 (21 - 32)
vitesse moyenne de montée (cm/h)	57 (40 - 79)	35 (26 - 49)	27 (17 - 46)	20 (11 - 32)
vitesse maximum de montée (cm/10min)	18 (14 - 25)		9 (6 - 20)	6 (4 - 9)

Q base => G	Aval usine	Basteyroux	Hospital-br principal	Hospital-br secondaire
durée de montée (h)	01:05 (0:50 - 1:40)	00:59 (0:30 - 1:30)	01:00 (0:30 - 1:50)	00:50 (0:30 - 1:20)
amplitude de montée (cm)	51 (42 - 79)	26 (22 - 48)	20 (10 - 37)	11 (8 - 18)
vitesse moyenne de montée (cm/h)	48 (37 - 61)	28 (18 - 50)	21 (13 - 42)	14 (9 - 27)
vitesse maximum de montée (cm/10min)	15 (12 - 21)		7 (4 - 12)	4 (2 - 6)

Tabl. 5 : Caractérisation des phases de montée des éclusées en durée, amplitude, vitesse moyenne sur une heure et vitesse maximum sur 10 minutes – moyenne (min – max)

GG => Q base	Aval usine	Basteyroux	Hospital-br principal	Hospital-br secondaire
durée moyenne de descente (h)	01:34 (1:10 - 1:52)	01:47 (1:40 - 1:50)	01:58 (1:30 - 2:30)	01:58 (1:30 - 2:20)
amplitude moyenne de descente (cm)	129 (126 - 135)	65 (63 - 67)	45 (35 - 53)	39 (37 - 41)
vitesse moyenne de descente (cm/h)	83 (72 - 108)	37 (34 - 39)	23 (19 - 29)	20 (16 - 25)
vitesse maximum de descente (cm/10min)	35 (33 - 37)		9 (7 - 10)	8 (6 - 9)

Gg => Q base	Aval usine	Basteyroux	Hospital-br principal	Hospital-br secondaire
durée moyenne de descente (h)	1:39 (0:50 - 2:20)	01:46 (1:10 - 2:20)	01:48 (1:00 - 2:30)	01:44 (1:10 - 2:20)
amplitude moyenne de descente (cm)	100 (50 - 129)	50 (34 - 67)	34 (18 - 45)	26 (13 - 32)
vitesse moyenne de descente (cm/h)	63 (43 - 88)	29 (20 - 40)	19 (13 - 26)	15 (8 - 21)
vitesse maximum de descente (cm/10min)	29 (9 - 43)		7 (4 - 10)	5 (3 - 8)

G => Q base	Aval usine	Basteyroux	Hospital-br principal	Hospital-br secondaire
durée moyenne de descente (h)	00:58 (0:30 - 1:40)	01:07 (0:30 - 1:30)	01:10 (0:30 - 2:10)	01:04 (0:30 - 1:50)
amplitude moyenne de descente (cm)	52 (38 - 77)	24 (16 - 38)	17 (8 - 28)	12 (7 - 30)
vitesse moyenne de descente (cm/h)	55 (38 - 90)	22 (16 - 31)	15 (9 - 21)	11 (7 - 18)
vitesse maximum de descente (cm/10min)	23 (2 - 40)		4 (3 - 13)	3 (2 - 5)

Tabl. 6 : Caractérisation des phases de descente des éclusées en durée, amplitude, vitesse moyenne sur une heure et vitesse maximum sur 10 minutes – moyenne (min – max)

En ce qui concerne la phase de montée, les vitesses moyennes de variation des niveaux d'eau sont comprises entre :

- 48 à 58 cm/h à l'aval immédiat de l'usine,
- 28 à 38 cm/h à Basteyroux,
- 21 à 27 cm/h dans le bras principal des îlots de l'Hospital,
- 14 à 23 cm/h dans un des bras secondaires des îlots de l'Hospital.

En phase de descente, la vitesse moyenne de variation du niveau de l'eau sur la Maronne est de :

- 55 à 83 cm/h à l'aval immédiat de l'usine,
- 22 à 37 cm/h à Basteyroux,
- 15 à 23 cm/h dans le bras principal des îlots de l'Hospital,
- 11 à 20 cm/h dans un des bras secondaires des îlots de l'Hospital.

La différence de niveau entre le débit de base et le débit maximum de l'écluse peut atteindre 151 cm en aval immédiat de l'usine, 80 cm à Basteyroux, 77 cm dans le bras principal des îlots de l'Hospital et 45 cm dans les bras secondaires de l'Hospital.

3.2. Régime thermique de la Maronne

Le cycle thermique de la Maronne depuis janvier 2002 est présenté dans le tableau ci-dessous.

		2002	2003	2004	2005	Période 2000-2005
janvier	Moyenne	3.5	5.7	5.6	5.0	5.3
	Min.	2.3	4.3	4.3	3.1	2.3
	Max.	5.4	8.0	7.7	6.9	8.0
février	Moyenne	4.9	4.3	5.0	3.5	4.7
	Min.	3.5	3.1	3.9	1.9	1.9
	Max.	6.9	5.4	5.8	5.4	6.9
mars	Moyenne	6.8	6.0	5.4	4.4	6.1
	Min.	5.4	4.6	3.5	1.5	1.5
	Max.	10.2	8.1	6.9	8.0	10.2
avril	Moyenne	8.7	9.0	7.4	7.0	8.3
	Min.	6.5	6.2	5.8	5.4	5.4
	Max.	12.0	12.8	10.2	9.1	12.8
mai	Moyenne	11.4	11.7	9.9	10.0	10.9
	Min.	8.0	9.5	8.0	8.0	8.0
	Max.	16.3	14.9	13.1	12.8	16.7
juin	Moyenne	13.2	16.3	13.3	13.3	14.0
	Min.	10.6	12.4	10.6	10.2	10.2
	Max.	18.4	19.1	17.0	18.4	19.5
juillet	Moyenne	14.2	16.2	14.8	15.4	15.2
	Min.	11.7	12.0	12.8	11.7	11.7
	Max.	18.4	19.1	18.1	18.8	19.1
août	Moyenne	14.9	17.7	15.8	14.5	15.7
	Min.	12.8	14.2	13.5	12.8	12.8
	Max.	18.4	20.2	18.8	16.7	20.2
septembre	Moyenne	14.0	14.5	13.8	14.0	14.1
	Min.	11.7	11.0	11.7	11.0	11.0
	Max.	17.0	19.5	16.7	17.7	19.5
octobre	Moyenne	13.2	13.3	10.6	12.6	12.5
	Min.	10.2	9.9	7.7	9.9	7.7
	Max.	14.2	17.0	13.1	15.3	17.0
novembre	Moyenne	10.8	9.4	9.4	10.8	10.0
	Min.	8.4	7.7	8.7	7.7	7.7
	Max.	13.5	10.6	10.2	13.5	13.5
décembre	Moyenne	7.9	7.0	7.1		7.2
	Min.	6.9	5.4	5.4		2.3
	Max.	9.1	8.8	9.1		9.1
Moyenne		10.3	10.9	9.9	10.0	10.2
Min.		2.3	3.1	3.5	1.5	1.5
Max.		18.4	20.2	18.8	18.8	20.2

Tabl. 7 : Régime thermique de la Maronne de 2002 à 2005

Le régime thermique de la Maronne correspond bien aux exigences écologiques des salmonidés.

Cependant les températures hivernales et printanières sont plus froides et également plus stables que dans les cours d'eau non aménagés de la région (effet de stockage dans les retenues hydroélectriques profondes ; 1.7°C d'écart entre la Souvigne et la Maronne sur la température moyenne du 01/01/2004 au 31/05/2004 par exemple).

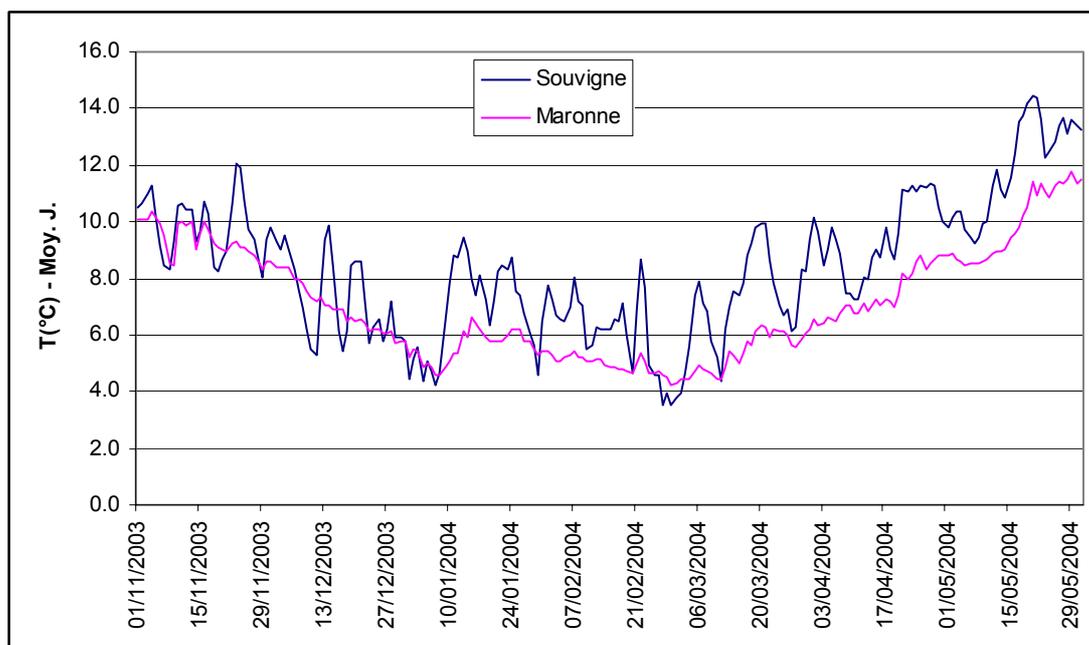


Fig. 8 : Comparaison du cycle thermique de la Maronne et de la Souvigne du 01/11/2003 au 31/05/2004

Ce régime thermique particulier se traduit notamment par un allongement de la durée d'incubation et de vie sous graviers des alevins de salmonidés.

3.2.1. Éclosion et émergence

	<i>Truite commune (Salmo trutta)</i>	<i>Saumon atlantique (Salmo salar)</i>
Éclosion	400 à 420 degrés jours après la fécondation	405 à 480 degrés jours après la fécondation
Émergence	620 à 765 degrés jours après la fécondation	800 à 850 degrés jours après la fécondation

Tableau 8 : Nombre de degrés-jours nécessaires pour l'éclosion et l'émergence chez la truite commune et le saumon atlantique (d'après **Baglinière et al.**, 1990 ; **Elliot**, 1994 ; **Billard**, 1997, **Richard**, 1998).

Les suivis de l'activité de reproduction et du régime thermique du cours d'eau permettent d'estimer assez précisément les dates d'éclosion et d'émergence des alevins de salmonidés, et ainsi déterminer les périodes critiques où les échouages-piégeages seront potentiellement nombreux (à mettre en rapport avec le régime d'éclusées).

		Éclosion		Émergence		
		début	fin	début	médiane	fin
2002-2003	truite	04-janv	28-févr	17-févr	20-mars	19-avr
	saumon	05-janv	12-mars	24-mars	10-avr	28-avr
2003-2004	truite	10-janv	01-mars	19-févr	24-mars	26-avr
	saumon	11-janv	14-mars	25-mars	15-avr	06-mai
2004-2005	truite	07-janv	20-mars	28-févr	4-avr	07-mai
	saumon	08-janv	29-mars	08-avr	27-avr	16-mai

Tableau 9 : Dates de début et de fin d'éclosion et d'émergence depuis 2002

Il apparaît en particulier que 2005 se démarque nettement des deux autres années. Les mois très froids de février et mars, durant lesquels les températures moyennes ont longtemps été inférieures à

4 °C, ont entraîné un allongement de la période d'éclosion (qui démarre pour les trois années sensiblement à la même date) et un décalage de la date médiane d'émergence de deux à presque trois semaines.

3.3. Mortalités pendant le régime d'éclusées

3.3.1. Résultats généraux

Pendant les 3 années de suivi, des poissons échoués ont été récoltés sur 21 sites dont **7 sur des tronçons de Maronne à chenal unique et 14 dans des réseaux de bras et d'îles** (Tableau 10 et Planches en annexes).

	2003	2004	2005	Total
espèces				
TRF/SAT	27	28	397	452
OMB		12	51	63
CHA		8	7	15
LOF	2	9		11
VAI		9		9
LPP		1	1	2
BRO		1		1
GOU		1		1
CHE		1		1
ABL		1		1
Total	29	71	456	556

Tabl. 10 : Nombre de poissons retrouvés échoués pendant la période d'éclusées, par espèce et par année

Au total sur ces 21 sites, pendant la période printanière d'éclusées, 556 poissons appartenant à 11 espèces différentes ont été retrouvés échoués. Plus de 80 % de ces poissons sont des alevins de truite et de saumon.

Ces 21 sites ne constituent pas un recensement exhaustif de la totalité des zones sensibles de la Maronne, un tel recensement demandant des moyens humains très importants. Ce sont simplement les sites que l'on a pu identifier, en plus du suivi des sites témoins, en fonction des opportunités que l'on avait (durée inter-éclusée, autorisation d'accès à la Maronne, intervention des oiseaux et autres « nettoyeurs » ...).

3.3.2. Suivi des sites témoins

Durant les 3 années de suivi, il a été décidé de suivre en priorité 3 zones sensibles de la Maronne (sites témoins). Ces 3 zones sont :

- L'aval du ruisseau de Grafouillère en rive droite, la Maronne ne présente à ce niveau qu'un seul chenal (Zone102 RD),
- Un des bras du secteur à tresses de l'Hospital (Zone 38, 39, 40 et 28),
- L'amont de la zone de confluence avec la Dordogne, hors influence de la ligne d'eau de la Dordogne, secteur de Maronne en chenal unique, en rive gauche (Zone 1 amont RG).

Ces 3 zones, parcourues très minutieusement pour chaque éclusée suivie, représentent 292 m linéaires de Maronne. La totalité de ces 292 m n'a toutefois pu être prospectée systématiquement

pour chaque éclusée suivie. Le tableau ci-dessous¹ présente synthétiquement l'ensemble des résultats obtenus sur ces 3 zones.

	2003	2004	2005
<i>Date médiane d'émergence de la truite</i>	20-mars	24-mars	04-avr
<i>Date médiane d'émergence du saumon</i>	10-avr	15-avr	27-avr
<i>Début des prospections</i>	03-avr	10-avr	16-avr
<i>Nombre de retour à Q base de la date médiane d'émergence des TRF au retour à Qr</i>	20	47	44
<i>Nombre de retour à Q base de la date de début des prospections au retour à Qr</i>	8	18	35
<i>Nombre d'éclusées suivies</i>	3	8	15
<i>Pourcentage d'éclusées suivies sur la totalité de la période d'émergence et de post émergence</i>	15%	17%	34%
<i>Pourcentage d'éclusées suivies à partir de la date de début de l'étude</i>	38%	44%	43%
Nombre de TRF et SAT trouvés sur les 3 sites	26	28	130
<i>Nombre de frayères de grands salmonidés sur l'axe Maronne la saison de reproduction précédente</i>	262	53	98
<i>Linéaire total par année de berges prospectées sur les 3 sites (m)</i>	412	1110	2556
<i>Linéaire moyen de berges prospectées sur les 3 sites par éclusée suivie (m)</i>	137	139	170
Nombre de TRF et SAT trouvés sur les 3 sites par éclusée suivie et pour 100 m linéaires	6.3	2.6	5.1

Tabl. 11 : Synthèse des résultats obtenus sur les sites témoins

Le nombre absolu de salmonidés retrouvés échoués sur les bords de la Maronne est variable d'une année à l'autre. Cette variabilité dépend d'une part du nombre d'éclusées pendant la période d'émergence et de post-émergence des alevins, et d'autre part de l'intensité de la reproduction l'automne-hiver précédent (qui conditionne le stock d'alevins présents dans la rivière si aucun événement exceptionnel, notamment hydrologique, n'est venu détruire les frayères avant l'émergence des poissons).

L'année 2003² se caractérise par une très importante reproduction, qui a conduit très probablement à une grande quantité d'alevins dans la rivière au printemps. Le nombre de salmonidés retrouvés morts par éclusée et pour 100 m linéaires est conséquent (6,3 contre seulement 2,6 en 2004 et 5,1 en 2005). Toutefois, le nombre d'éclusées pratiquées pendant la période d'émergence et de post-émergence est faible (deux fois moins que la moyenne observée sur la période 1989-1998) et le nombre total d'alevins morts (potentiellement 369 pour les 3 sites) sur la période est au final plus faible qu'en 2005 (potentiellement 655 pour les 3 sites).

En 2004, la reproduction des grands salmonidés a été de faible importance, ce qui s'est probablement traduit par un nombre réduit d'alevins dans la rivière au printemps. En revanche, le nombre d'éclusées pratiquées en phase d'émergence et de post-émergence est élevé et légèrement supérieur à la moyenne. Au bilan, peu d'alevins ont été retrouvés échoués par éclusée mais le

¹ Qbase : débit de base inter-éclusée ; Qr : débit réservé réglementaire ; TRF : truite commune ; SAT : saumon atlantique.

² Bien que semblant très logiques, les résultats 2003 doivent être considérés avec prudence car il s'agit d'une première année de suivi sur une problématique peu ou pas abordée jusqu'ici en France comme à l'étranger et dans des conditions hydrologiques très exceptionnelles.

nombre total d'alevins morts sur la période est équivalent à 2003 (potentiellement 360 sur les 3 sites).

En 2005, la reproduction des grands salmonidés a été relativement moyenne, tout comme le régime d'éclusées pendant la période d'émergence et de post-émergence. Au bilan, le nombre d'alevins retrouvés échoués par éclusée et pour 100 m linéaires est conséquent (5,1) et le nombre total d'alevins morts sur la période est important (potentiellement 655 pour les 3 sites témoins) et près de 2 fois plus élevé qu'en 2003 et 2004.

Compte tenu des difficultés à repérer les alevins dans les anfractuosités du substrat, le nombre réel de poissonnets morts à chaque éclusée est certainement plus élevé encore. Les expériences de **Saltveit et al.** (2001) sur la Nidelva en Norvège permettent de se faire une idée du pourcentage d'alevins que l'on retrouve échoués à la surface du substrat par rapport au nombre réel de poissons échoués. Pour cela, ils ont placé dans une enceinte close sur une plage de galets sensible à l'exondation (galets de taille moyenne 85 mm avec un substrat subdominant de graviers), un nombre connu d'alevins de salmonidés. Après éclusée, ils ont cherché minutieusement les alevins à la surface du substrat et n'ont retrouvé que 35 % des poissons théoriquement échoués. Les alevins retrouvés sur le substrat lors des éclusées ne représentent donc qu'une partie minoritaire du nombre de poissons échoués. Ne considérer que les poissonnets retrouvés reviendrait à sous-estimer nettement la mortalité et donc les effets des éclusées (**Saltveit et al.**, 2001). C'est encore plus vrai sur la Maronne ou au contraire de l'expérience de la Nidelva, les galets sont largement enherbés ou colonisés par des mousses aquatiques supportant les alternances en eau-hors d'eau. En multipliant par 2,5 les chiffres d'alevins retrouvés échoués, on reste probablement en dessous de la réalité.

Ainsi en 2005, année pour laquelle 34% des éclusées en avril-mai ont été suivies, il peut être avancé que plus de 1600 alevins de salmonidés sont morts sur les 292 m de sites témoins au cours de la période émergence post-émergence, soit 5,6 alevins par mètre linéaire.

Une extrapolation par simple multiplication à l'ensemble du linéaire de berge de la Maronne entre l'usine de Hauteffage et la Dordogne n'est pas faisable en l'état actuel des connaissances. En effet, la totalité du linéaire de berge de la Maronne n'a pas forcément une morphologie susceptible d'induire des échouages. Les secteurs sensibles sont en effet les bancs de galets latéraux, les zones d'îlots et de bras secondaires et les cordons d'arbres rivulaires mis en eau par les forts débits.

Il est à noter que lors de ces trois années de suivi, les conditions les plus « favorables » pour les échouages, à savoir une année de forte reproduction suivie d'un printemps avec de nombreuses éclusées, n'ont jamais été rencontrées.

Afin de limiter l'effet « intensité de la reproduction » et de tenter de comparer entre elles les 3 années de suivi sans ce facteur de variabilité, les observations ont été pondérées chaque année par l'activité de reproduction observée l'hiver précédent. En 2003, 2004 et 2005, respectivement 2,4, 4,8 et 5,2 alevins ont été retrouvés échoués sur les 3 sites témoins par éclusée, pour 100 m linéaires et pour 100 frayères. 2003 étant une année particulière (éclusées peu nombreuses, courtes et de faibles amplitudes), 2004 et 2005 sont probablement plus caractéristiques des effets d'un régime d'éclusées assez « classique » et représentatif du mode de gestion de l'aménagement de Hauteffage. Sur la Maronne, une année « moyenne », on peut donc estimer (après correction issue de l'expérimentation **Saltveit et al.**, 2001) de 10 à 13 le nombre d'alevins échoués par éclusée pour 100 m linéaires de berge et pour 100 frayères. Ces derniers chiffres sont toutefois à considérer avec prudence et demanderont à être confirmés notamment en tenant compte du fait que la répartition des frayères sur l'axe Maronne par rapport aux sites témoins est variable d'une année à l'autre.

3.3.3. Emergence et post-émergence : phases critiques

Les figures 9 et 10 présentent pour l'année 2005 (année la plus proche de la moyenne en terme de reproduction des grands salmonidés, de régime d'éclusée et pour laquelle nous disposons du plus de

données) les relations entre le pourcentage cumulé d'alevins de salmonidés échoués sur les 3 sites témoins, la date et le nombre de degrés-jours depuis la date médiane de reproduction.

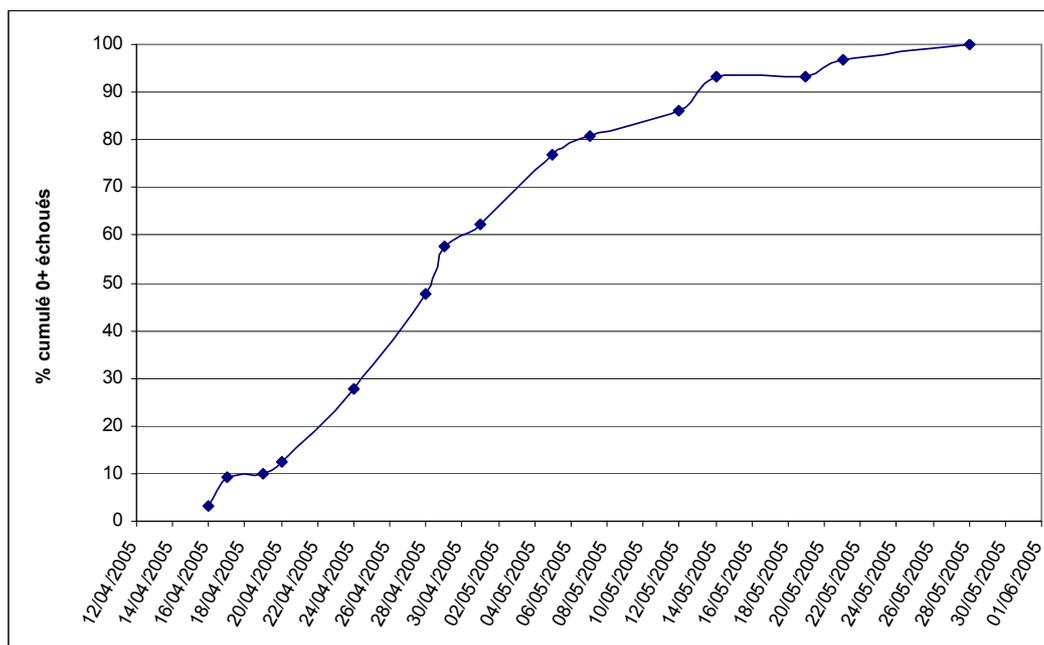


Fig. 9 : Evolution du pourcentage cumulé d'alevins trouvés échoués en fonction de la date en 2005

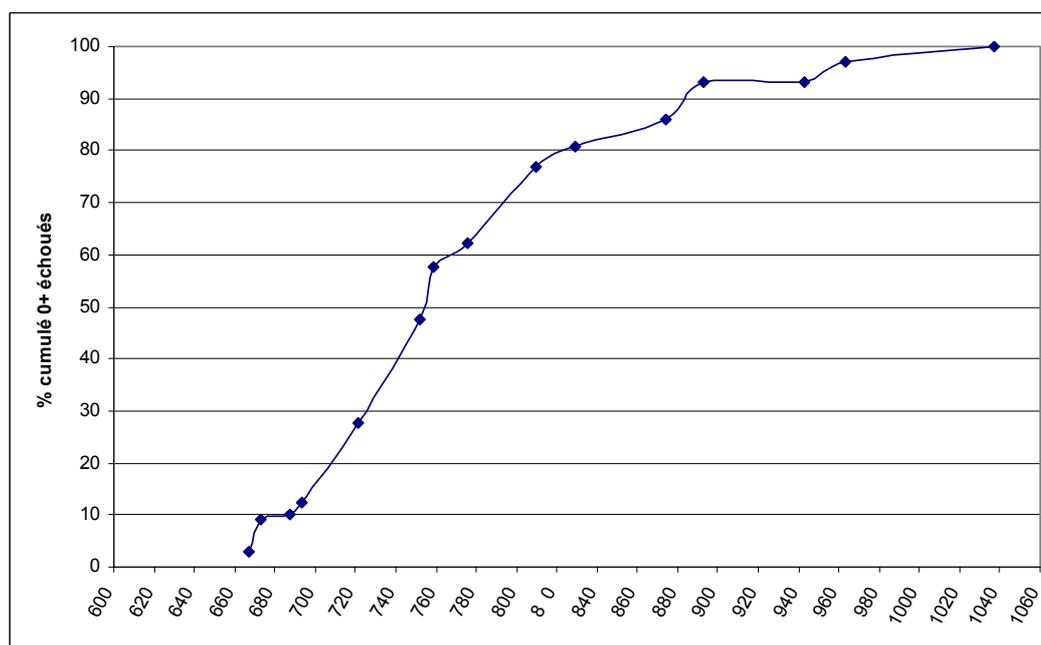


Fig. 10 : Evolution du pourcentage cumulé d'alevins trouvés échoués en fonction du nombre de degrés-jour depuis la date médiane de reproduction en 2005

Le pourcentage cumulé d'alevins échoués sur les trois sites témoins augmente rapidement **entre le 20/04/2005 et le 14/05/2005 soit pour une plage de 690 à 890 degré-jours depuis la date médiane de reproduction** (8 décembre).

On se situe bien, d'après les données bibliographiques, en pleine période d'émergence des jeunes salmonidés.

Dés que cette période est passée, le nombre d'alevins échoués diminue, soit parce que le stock d'alevins est moins important en raison des mortalités antérieures, soit parce que les alevins, un peu plus âgés et un peu plus nageants, occupent des habitats moins sensibles ou sont plus susceptibles de lutter contre les fluctuations rapides de niveaux d'eau.

Influence de l'effet taille

Au cours des prospections, tous les poissons échoués ont été mesurés au mm près (longueur totale) quand leur état le permettait. Les résultats sont présentés dans le tableau ci-dessous.

date de prospection	taille minimale	taille moyenne	taille maximale	nombre d'alevins mesurés
17-avr	22	25,5	29	24
21-avr	21	25,7	29	32
24-avr	23	26,2	29	17
28-avr	24	27	32	12
01-mai	25	27	29	12
14-mai	21	27,8	34	68
21-mai	25	29,6	32	8

Tabl. 12 : Evolution des tailles de TRF /SAT durant le suivi de l'année 2005

Il apparaît notamment que les alevins retrouvés échoués suite aux baisses de niveau ne dépassent pas 35 mm de longueur totale.

Le 16 juin 2005, suite au passage au débit réservé réglementaire à l'aval de l'aménagement de Haute-fage (fin de la consigne « marche à vide d'un groupe » et retour à 500 l/s de débit réservé), un des bras de Maronne de l'Hospital s'est déconnecté du cours principal (voir § 3.4 du présent rapport). Les poissons piégés ont été récupérés et mesurés (tableau ci-dessous).

date de prospection	taille minimale	taille moyenne	taille maximale	nombre d'alevins mesurés
16-juin	22	46,8	58	141

Tabl. 13 : taille des TRF et SAT récupérés le 16 juin 2005

Ces alevins, qui n'ont pas été victimes des éclusées, mesurent entre 22 et 58 mm de longueur totale pour une moyenne de 46,8 mm.

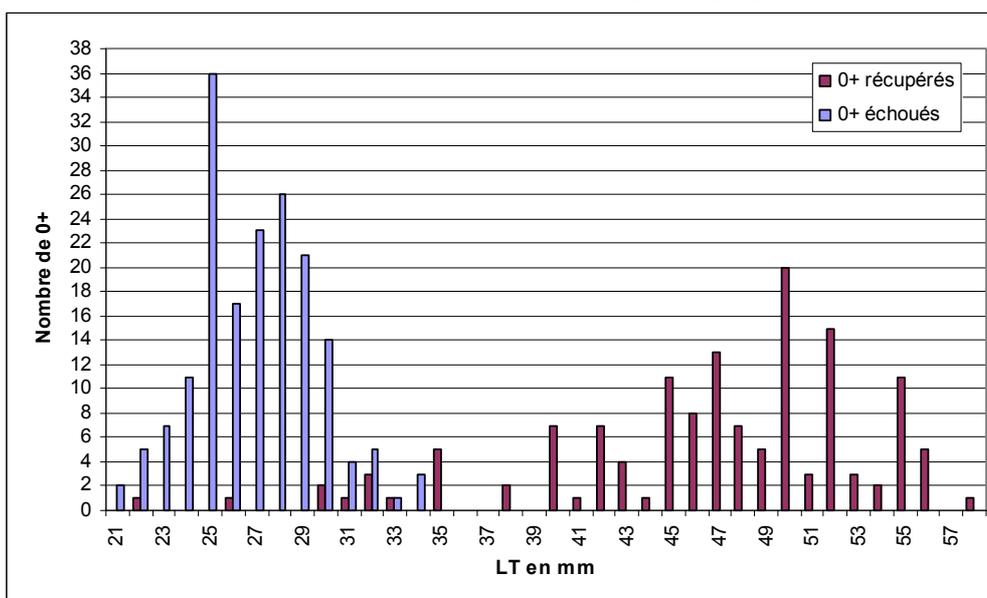


Fig. 11 : Histogramme des tailles des alevins trouvés échoués pendant la période d'éclusées et récupérés lors du retour au débit réservé réglementaire dans le bras Z38-39-40

La température constitue l'un des facteurs principaux gouvernant la croissance des salmonidés (Elliott, 1994) et pratiquement le seul lorsque les alevins sortent juste des frayères. Ainsi, Baglinière et Maisse (1990) sur une rivière bretonne puis Lagarrigue (2000) sur une rivière des Pyrénées ont déterminé des modèles de croissance des alevins de truites communes en fonction du nombre de degrés-jours écoulés depuis la date médiane de leur émergence. Connaissant le régime thermique de la Maronne et la date médiane d'émergence des alevins, nous avons, à partir de ces modèles, calculé la croissance des premiers mois de vie des alevins de truites de la Maronne.

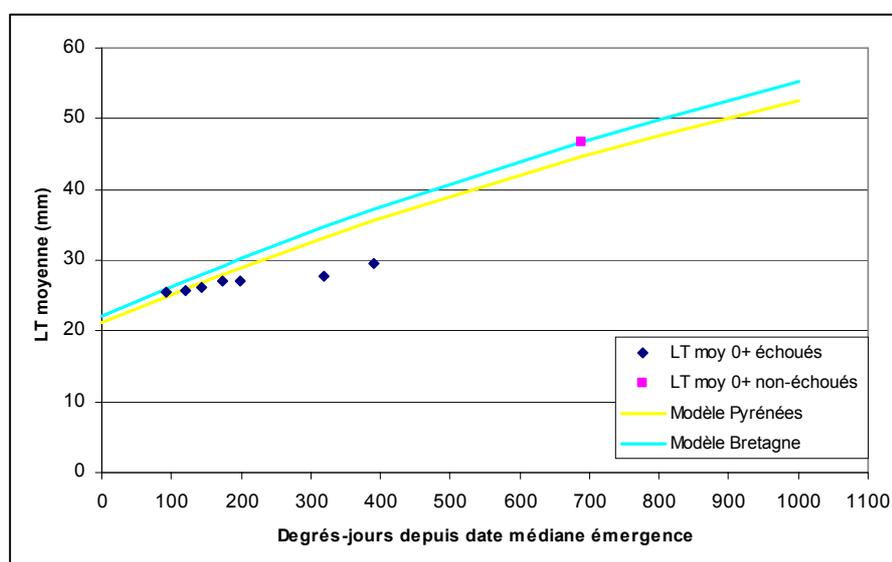


Fig. 12 : Modélisation de la croissance des alevins de truite en fonction des degrés-jours écoulés depuis la date médiane d'émergence

La croissance des 0+ de salmonidés de la Maronne semble s'ajuster parfaitement au modèle Bretagne. La taille moyenne des 0+ que nous avons récupérés dans les bras de l'Hospital au moment du retour au débit réservé réglementaire est précisément celle que prévoit le « modèle thermique Bretagne ».

En revanche la taille moyenne des 0+ échoués lors des éclusées s'écarte nettement de ce que prévoit les modèles thermiques de croissance. Les alevins échoués semblent systématiquement plus petits que ce que prévoit le modèle par rapport à la date médiane d'émergence. Ces alevins ont donc probablement émergé plus tardivement.

Les éclusées touchent ainsi manifestement les alevins les plus petits sur le stock présent en rivière, donc les derniers nés par rapport au moment où survient l'éclusée. L'impact des éclusées doit donc être maximal dans les heures et les jours qui suivent l'émergence.

Si l'on considère la taille de 35 mm comme limite au dessus de laquelle les alevins de salmonidés seraient plus aptes à se soustraire aux effets des variations des niveaux d'eau, cette longueur totale est atteinte, d'après le modèle de croissance, pour 320 degrés-jours après la date médiane d'émergence.

La période de plus grande vulnérabilité pour la majorité des alevins de salmonidés aux éclusées de l'usine de Hautefage pourrait donc être comprise entre la date médiane d'émergence et l'atteinte de la taille de 35 mm. Ces périodes sont récapitulées depuis 2003 dans le tableau ci-dessous.

		Date médiane d'émergence	Atteinte de LT=35 mm
2003	truite	20-mars	28-avr
	saumon	10-avr	12-mai
2004	truite	24-mars	7-mai
	saumon	15-avr	22-mai
2005	truite	4-avr	15-mai
	saumon	27-avr	30-mai

Tabl. 14 : Période de plus grande vulnérabilité des alevins de salmonidés aux éclusées

La période de plus grande vulnérabilité des alevins de salmonidés aux éclusées dure un peu plus de deux mois, avec un début plutôt fin mars pour les truites et une prolongation jusqu'à fin mai pour les jeunes saumons.

Influence des paramètres de l'éclusée

Sur les figures ci-dessous, ont été examinées en 2005 (année pour laquelle nous disposons du plus de données), les relations entre le nombre d'alevins échoués sur les 3 sites témoins (nombre « normé » par site *i.e* divisé par le nombre maximal d'alevins trouvés échoués sur chaque site, afin d'éliminer l'effet site de la relation) et i) l'amplitude de l'éclusée (fig.12), ii) la vitesse moyenne de baisse du niveau de l'eau sur une heure (fig.13), iii) la vitesse maximale de baisse en 10 minutes (fig.14).

Les premiers résultats obtenus en 2005 semblent ne mettre en évidence aucune influence nette de l'amplitude de l'éclusee et de la vitesse maximale de baisse de l'éclusee sur les nombres d'alevins échoués. Il semble ainsi qu'une éclusee de petite amplitude peut avoir autant d'impact qu'une éclusee de plus grande amplitude. L'absence d'effet de la vitesse maximale de baisse peut s'expliquer par le fait qu'elle intervient principalement en début ou en milieu de la baisse de niveau ce qui est probablement moins pénalisant que si cela se produisait en fin d'éclusee alors que la superficie découverte pour chaque centimètre de baisse est maximale.

Il semblerait par contre que le nombre d'alevins échoués soit en partie lié à la vitesse moyenne de descente de l'éclusee sur 1 heure (plus celle-ci est importante et plus les alevins échoués sont nombreux). Cette variable intègre en fait l'amplitude de l'éclusee et la vitesse de descente sur toute la durée de cette dernière (et notamment toute la partie finale de la baisse).

On observe des échouages importants pour des vitesses de baisse allant de 38 à 82 cm/h en aval de l'usine de HautePAGE. Cependant, ces échouages sont significativement³ moins importants pour des vitesses moyennes de baisse inférieures à 60 cm/h (réduction pratiquement d'un facteur 2, fig. 15).

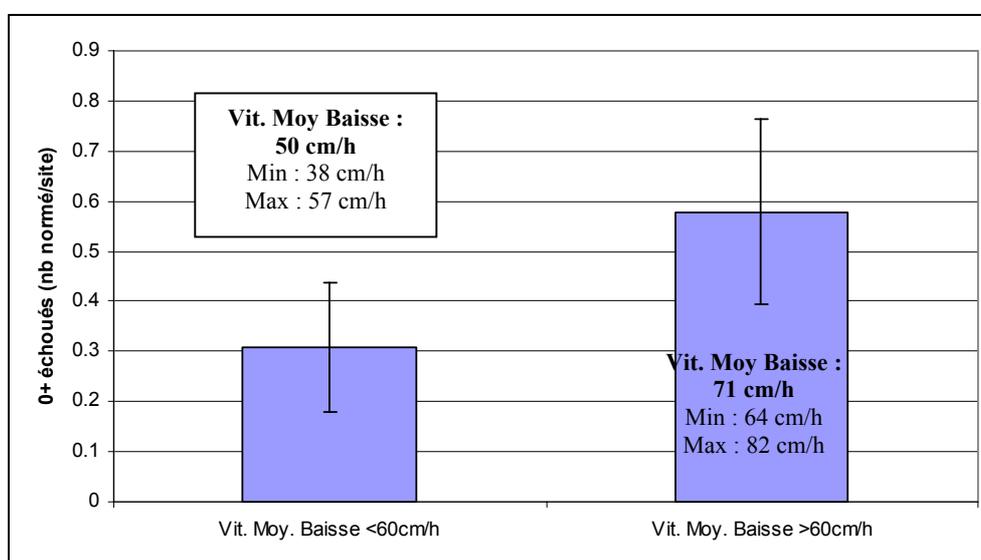


Fig. 15 : Nombre d'alevins échoués (normé par site) pour des vitesses moyennes de baisse inférieures et supérieures à 60 cm/h (histogramme : moyenne ; barre : écart type)

Une amélioration **indispensable** de la gestion de l'usine de HautePAGE pour amoindrir son impact sur les échouages d'alevins serait de proscrire les baisses de niveau supérieure à 60 cm/h, c'est à dire les motifs de baisse sans palier GG-Qbase et Gg-Qbase (revoir § 3.1.2).

Nous avons vu (§ 3.1.2), qu'en moyenne le passage d'une turbine au débit de base (G à Qbase) s'effectue en 1 heure et se traduit par une baisse de niveau de l'eau de 55 cm/h en aval de l'usine, 22 cm/h au niveau de Basteyroux soit environ encore 9 cm/h à l'amont de la confluence avec la Dordogne (estimation en calculant l'atténuation du signal par unité de distance lorsque la Maronne présente un chenal unique).

Dans la littérature scientifique, on peut trouver des recommandations sur les vitesses de descente à ne pas dépasser pour minimiser les échouages.

³ ANOVA 1, F = 5.114, P = 0.03
E.CO.G.E.A. pour M.I.G.A.DO., Mai 2006.

Olson et Metzgar (1987)	15.2 à 2.54 cm/h
Salveit <i>et al.</i> (2001)	12 cm/h
Halleraker (2003)	10 cm/h

Tabl. 15 : Recommandations sur les vitesses de baisse à ne pas dépasser pour minimiser les échouages

Autrement dit, même pour les baisses les moins importantes, c'est quasiment tout l'axe Maronne (depuis l'usine de HautePAGE) qui subit des conditions susceptibles d'induire des échouages.

Il semblerait particulièrement intéressant de mettre en place des gradients de baisse faibles lorsque les débits diminuent et commencent à découvrir des secteurs sensibles aux fluctuations de niveau, soit en l'état actuel des connaissances sur la rivière, en deçà de 20 m³/s.

Ainsi, un pallier de 1 heure à 20-22 m³/s (1 groupe fonctionnant à pleine puissance), suivi d'une baisse en 1 heure à 10-12 m³/s (1 groupe fonctionnant à régime économique) puis d'un pallier de 1 heure à 10-12 m³/s avant une dernière descente en 1 heure au débit de base, permettraient de réduire de façon conséquente les gradients. On obtiendrait ainsi des gradients moyens de baisse divisés par un facteur 2 à 3 par rapport à la situation actuelle (de l'ordre de 20 à 30 cm/h en aval de l'usine soit environ 7 à 12 cm/h à hauteur de Basteyroux et 3 à 5 cm/h en amont de la confluence avec la Dordogne). Quasiment la moitié du linéaire de la Maronne de l'usine jusqu'à la confluence avec la Dordogne subirait alors des gradients de baisse inférieurs à 10 cm/h, proche de ceux recommandés dans la littérature.

3.3.4. Cas particulier du site Zone 1 aval - confluence avec la Dordogne

Le site aval de la zone de confluence Maronne Dordogne est influencée à la fois par les débits de la Dordogne et ceux de la Maronne. La baisse simultanée des eaux sur les deux rivières entraîne la mise à sec d'une plage de galets (mélange de galets de 2 à 20 cm) de 3% de pente latérale et de 0,3 % de pente longitudinale. Cette plage a une superficie de 720 m² (72 m x 10 m).



Photo 7 : La confluence Maronne-Dordogne, une zone soumise à la fois aux écluesées des aménagements de HautePAGE et d'Argentat

Dans la nuit du 13 au 14 Mai 2005, la Maronne est descendue de 120 cm en 2 heures à l'aval de l'usine de HautePAGE soit environ 30 cm en 2 heures et demi au niveau de la confluence pendant que la Dordogne descendait d'environ 40 cm en 3 heures au niveau du Chambon, soit 700 mètres en

amont de la confluence avec la Maronne. Cette baisse conjuguée des deux cours d'eau a découvert complètement la plage de galets qui constitue un habitat de croissance favorable pour les alevins de salmonidés. Ont été retrouvés morts **190 alevins de truite et saumon, 3 ombres, 3 loches, 8 vairons et 1 vandoise.**

Il s'agissait de la première fois que cette plage de galets se retrouvait totalement à sec. En conséquence le stock d'alevins qui occupait cette zone peu profonde et à faibles vitesses de courant n'avait été que peu altéré par les précédentes éclusées.

La densité d'alevins de salmonidés trouvés échoués sur cette plage s'élève à 26,4 individus pour 100 m², la mortalité réelle étant probablement à minima 2 fois plus élevée (soit environ 53 alevins pour 100 m²). Ces chiffres peuvent être comparés à ceux obtenus par **Hvidsten** sur la rivière Nidelva en Norvège : 25,7 saumons atlantiques échoués pour 100 m² (**Hvidsten in Saltveit et al, 2001**).

3.4. Résultats observés lors du retour au débit réservé réglementaire

La consigne « marche à vide d'un groupe » a pris fin le 1^{er} juin en 2003 et 2004 et le 16 juin en 2005. Le débit dans la Maronne à l'aval de l'usine de Hautefage redevient alors le débit réservé réglementaire (0,5 m³/s) augmenté des apports intermédiaires, soit environ 1 m³/s.

La fin de la consigne « marche à vide d'un groupe » correspond approximativement à la fin de la période d'éclusée en 2003 (année de sécheresse) et en 2005. En 2004, le régime d'éclusée s'est poursuivi durant le mois de juin (sur un débit de base qui était alors le débit réservé réglementaire !).

En 2003 et 2005, le débit est donc passé de la consigne « marche à vide d'un groupe » à 1 m³/s, soit une baisse de 41 cm en 8 h en aval de l'usine de Hautefage (soit un gradient de baisse de 5 cm/h), de 18 cm en 8 h au niveau du bras principal de l'Hospital (2,25 cm/h) et de 10 cm en 8 h dans le bras secondaire de l'Hospital (1,25 cm/h). Dans les jours qui ont suivis, le niveau de l'eau a continué à baisser doucement jusqu'à stabilisation (baisse de 9 cm en 48 h en aval de l'usine).

Pendant les 3 années de suivi, d'importantes mortalités ont été observées.

Il s'agit là clairement de phénomènes de piégeage, soit dans des dépressions en bordure du lit du cours d'eau, soit dans des bras secondaires qui se déconnectent du cours principal.

3.4.1. Résultats généraux

Au total, 16 sites sensibles ont pu être identifiés : 10 sites en bordure de chenal et 6 dans des bras secondaires (îlots de l'Hospital et de Basteyroux) (voir Planches en annexes).

Le tableau 16 synthétise le nombre de poissons piégés par espèce dans des dépressions en bordure de lit mouillé ; le tableau 17 synthétise le nombre de poissons piégés par espèce dans des bras secondaires.

Espèce	2003	2004	2005	Total
Indéterminée TRF/SAT	51	0	0	51
TRF	14	0	0	14
OMB	167	6	0	173
CHA	28	4	3	35
LOF	7	6	102	115
VAI	64	1	51	116
LPP	1	2	0	3
CHE	2	0	0	2
Total	334	19	156	509

Tabl. 16 : Nombre de poissons piégés par espèce dans des dépressions en bordure de chenal lors du retour au débit réservé.

Espèce	2003	2004	2005	Total
Indéterminée TRF/SAT	760	19	175	954
TRF	109	0	333	442
SAT	72	1	6	79
OMB	96	0	12	108
CHA	19	30	89	138
LOF	60	3	66	129
VAI	167	200	135	502
LPP	2	0	2	4
Total	1285	253	818	2356

Tabl. 17 : Nombre de poissons piégés par espèce dans des bras secondaires qui se déconnectent lors du retour au débit réservé.

9 espèces sont concernées par ces phénomènes de piégeage. Les alevins de saumon et truite dominent largement dans les bras secondaires avec 63% des effectifs de poissons piégés (tab.17).

Dans les flaques et dépressions en bordure de chenal (tab.16), les mortalités se décomposent comme suit : 33% d'alevins d'ombre commun, 23% de vairons (juvéniles et adultes), 22% de loches franches (essentiellement des adultes), 13% d'alevins de saumon et truite et 7% de chabots (essentiellement adultes).

3.4.2. Zoom sur le bras secondaire de l'Hospital (Z38-39-40)

Ce bras, de 130 m de long pour une superficie de 1961 m², présente un habitat très favorable en terme de faciès d'écoulement (radier et plat courant), de vitesse, de profondeur, de granulométrie et d'ombrage pour les alevins de salmonidés.

Lors du retour au débit réservé, ce bras qui a toujours été alimenté jusqu'alors, se déconnecte. Les poissons s'y font piéger et meurent au fur et à mesure que le bras s'assèche.



Photo 8 à 11 : Assèchement progressif du bras secondaire de l'Hospital lors du retour au débit réservé réglementaire le 16 juin en 2005.

En 2003 et 2005, la collecte des poissons après déconnexion du bras s'est poursuivie sur plusieurs jours au fur et à mesure que les flaques de grandes dimensions s'asséchaient. Les poissons ont été ramassés à la main entre les galets et pêchés à l'électricité dans les flaques. En 2004, ce suivi n'a pas été possible car le régime d'écluse s'est poursuivi après le retour au débit réservé réglementaire. Les résultats obtenus en 2003 et 2005 sont présentés dans le tableau suivant.

Espèce	2003	Piégeages (individus/ha)	2005	Piégeages (individus/ha)
Indéterminée TRF/SAT	643	3279	165	842
TRF	88	449	324	1652
SAT	70	357	5	26
OMB	53	270	7	36
CHA	3	15	37	189
LOF	42	214	42	214
VAI	97	495	112	571
LPP	2	10	1	5
Total	998	5089	693	3534
Total TRF/SAT	801	4084	494	2519

Tabl. 18 : Piégeages observés au niveau du bras secondaire de l'Hospital

Les quantités d'alevins de truites et de saumons piégés dans ce bras représentent 80% de l'effectif total de poissons en 2003 et 71% en 2005. Ramenées à l'hectare, les densités de poissons trouvées sont conséquentes. Ces résultats sont de plus à pondérer par l'efficacité de la prospection entre les galets. On peut donc supposer que les densités de truites et saumons piégés réelles sont de l'ordre de 7000 à 8000 individus/ha en 2003 et 5000 individus/ha en 2005.

Les quantités d'alevins de truites et de saumons trouvées dans le bras sont moindres en 2005 qu'en 2003. Ceci peut être mis en relation avec une quantité probablement beaucoup plus importante d'alevins à cette période de l'année en 2003 en regard de la très forte activité de reproduction l'hiver précédent et du faible nombre d'éclusées le printemps suivant. Les résultats des pêches électriques réalisées sur l'axe Maronne le confirment (Chanseau, Com. Pers.).

A l'échelle de la Maronne (hors TCC), il s'assèche environ 8500 m² de bras répartis entre les îlots de l'Hospital et de Basteyroux. Ces bras ne sont cependant pas tous, en terme d'habitat, aussi favorables aux alevins de salmonidés que le bras Z38-39-40. **Sur l'ensemble du linéaire de la Maronne à l'aval de Hautefage, on peut ainsi estimer la perte à environ 6000 alevins en 2003 et 4000 alevins en 2005 par déconnexion de bras lors du retour au débit réservé réglementaire.**

4. Conclusions

4.1. les enseignements du suivi

Plusieurs enseignements peuvent être retenus au terme de ce premier bilan des observations faites sur la Maronne concernant la problématique échouages-piégeages, liée au fonctionnement par éclusées de l'usine de HautePAGE.

- Le phénomène est prégnant sur la Maronne puisque quasiment à chacune des prospections et malgré les difficultés d'une approche « in situ », des poissons ont été retrouvés échoués et/ou piégés.
- 11 espèces sont concernées (plus de 3400 poissons retrouvés morts au total) dont 5 espèces à forte valeur patrimoniale (tableau ci-dessous). Les alevins de salmonidés représentent plus de 58% des poissons retrouvés.

FAMILLE	Nom d'espèce	Directive Habitats-faune-flore ⁴	Convention de Berne ⁵	Arrêté du 8/12/1988 ⁶
COTTIDAE	Chabot	Annexe 2		
SALMONIDAE	Truite commune			oui
	(Truite de mer)			oui
	Saumon atlantique	Annexes 2 et 5	Annexe 3	oui
	Ombre commun	Annexe 5	Annexe 3	oui
PETROMYZONTIDAE	Lamproie de planer	Annexe 2	Annexe 3	oui

Tabl. 19 : Statut patrimonial des espèces concernées par les échouages-piégeages observés

- Les mortalités par échouages liés aux éclusées durant toute la période d'émergence et de post-émergence peuvent être estimées à 5,6 alevins morts par mètre linéaire de berge.
- Les échouages concernent essentiellement les poissons les plus petits (inférieurs à 35 mm de longueur totale), donc les alevins de l'émergence jusqu'à environ 320 degrés-jours plus tard.
- La période de grande vulnérabilité des alevins de salmonidés aux éclusées dure pratiquement deux mois et demi, avec un début plutôt dernière semaine de mars pour les truites et une prolongation jusqu'à la fin-mai pour les jeunes saumons.
- Les éclusées dont le gradient de baisse est supérieur à 60 cm/h en aval de l'usine de HautePAGE (motifs GG-Qbase et Gg-Qbase) entraînent environ 2 fois plus de mortalité que celles dont le gradient de baisse est inférieur à 60 cm/h. Même pour des gradients inférieurs à 60 cm/h, de fortes mortalités sont constatées.
- Des mortalités, essentiellement par piégeages, apparaissent au moment du retour au débit réservé réglementaire, en fin de période d'éclusées, au mois de juin. Quelle que soit la

⁴ Annexe 2 : Liste des espèces animales et végétales d'Intérêt Communautaire dont la conservation nécessite la désignation de Zones Spéciales de Conservation.

Annexe 5 : Liste des espèces animales et végétales d'Intérêt Communautaire dont le prélèvement dans la nature et l'exploitation sont susceptibles de faire l'objet de mesures de gestion

⁵ Annexe 3 : Liste des espèces de faune protégées.

⁶ Liste des espèces de poissons protégées sur l'ensemble du territoire national.

progressivité de la baisse du niveau de l'eau, des bras secondaires et des dépressions formant des flaques en bordure de chenal se déconnectent du cours principal et s'assèchent progressivement condamnant les poissons piégés.

- On peut estimer la perte par déconnexion de bras lors du retour au débit réservé réglementaire à environ 6000 alevins de truites et saumons en 2003 et à environ 4000 alevins en 2005.

4.2. D'indispensables améliorations à mettre en place

Le problème du piégeage et de la déconnexion des bras lors du retour au débit réservé réglementaire semble le plus simple à régler. L'alimentation en eau des bras secondaires doit être pérenne si l'on veut conserver ces zones d'habitat favorable aux alevins et les alevins qui y vivent. Pour cela, l'aménagement des prises d'eau des bras est envisageable. Cependant ces aménagement devront être couplés à une augmentation du débit réservé réglementaire de manière à pouvoir alimenter tous les chenaux en même temps avec un minimum de débit.

Cette solution a commencé à être mise en place avec l'aménagement en octobre 2005 de la prise d'eau du bras Z38-39-40 (étude MIGADO/SIEE) et l'augmentation du débit réservé de 1 m³/s au barrage de HautePAGE à compter de novembre 2005.

Concernant les échouages, les améliorations possibles portent sur la diminution des gradients de baisse, beaucoup trop importants à l'heure actuelle sur ce cours d'eau.

De façon à diminuer nettement ces gradients de descente, et de se rapprocher de ceux cités dans la littérature, les recommandations suivantes peuvent être énoncées. Le passage de 45 m³/s (2 groupes à pleine puissance) à 22 m³/s (1 groupe à pleine puissance) peut être assez rapide car le lit mineur de la Maronne est bien en eau et aucune zone sensible n'est encore découverte. **En deçà de 22 m³/s, la baisse doit être modérée car les différents secteurs sensibles sont progressivement mis hors d'eau. Ainsi, un pallier de 1 heure à 20-22 m³/s (1 groupe à pleine puissance), suivi d'une baisse en 1 heure à 10-12 m³/s (1 groupe à régime économique) puis d'un pallier de 1 heure à 10-12 m³/s avant une dernière descente en 1 heure au débit de base permettrait de réduire de façon conséquente les gradients et de les limiter à moins 10 cm/h sur environ la moitié du linéaire de la Maronne compris entre l'usine de HautePAGE et la confluence avec la Dordogne (baisse un peu inférieure à 10 m³/s/h et 30 cm/h entre le moment où l'usine est à pleine puissance et le retour au débit de base).**

Cependant, même avec de telles valeurs de gradients, et en regard des résultats présentés dans la bibliographie, il est certain que des mortalités d'alevins non négligeables surviendront encore. Il est apparu que la période critique de vulnérabilité aux éclusées pour le saumon atlantique et la truite commune dure pratiquement deux mois et demi, de la fin mars à la fin-mai. Fin mai et jusqu'à mi-juin, on est encore en pleine période d'émergence et de post-émergence des ombres communs sur la Maronne. **Seule la mise en place d'un débit de base plus important durant toute cette période (fin mars à mi-juin), maintenant en eau tout ou partie des zones sensibles aux variations de niveau, permettrait de réduire de manière très significative les impacts des éclusées sur la Maronne.**

5. BIBLIOGRAPHIE

- Baglinière J.L., Maisse G. et Nihouarn A., 1990.** Migratory and reproductive behaviour of female adult atlantic salmon in a spawning stream. *Journal of Fish Biology*. 36:511-520.
- Baglinière J.L., Maisse G., 1990.** La croissance de la truite commune (*Salmo trutta* L.) sur le bassin du Scorff. *Bull. Fr. Pêche Piscic.*, 318, 89-101.
- Billard, R., 1997.** Les poissons d'eau douce des rivières de France. Ed. Delachaux et Niestlé, 192 p.
- Bosc, S. et Carry, L., 1999.** Estimation des potentialités en juvéniles et géniteurs de saumon sur la Souvigne et la Maronne à l'aval de l'aménagement de Hautefage. Représentation cartographique. Rapport MI.GA.DO. n° D2-99-RT.
- Bradford M.J., 1997.** An experimental study of stranding of juvenile salmonids on gravel bars and in sidechannels during rapid flow decreases. *Regulated rivers : research and management* 13, 395 – 401.
- Chanseau, M. et Gaudard, G., 2005.** Repeuplement en saumon atlantique (*Salmo salar* L.) du bassin de la Dordogne. Suivi des zones de grossissement des juvéniles. Synthèse des actions 2004. Rapport MI.GA.DO. 11D-05-RT.
- E.CO.G.E.A. pour MI.GA.DO. 2000 à 2005.** Suivi de la reproduction naturelle des grands salmonidés migrateurs sur le bassin de la Dordogne en aval du barrage du Sablier (département de la Corrèze et du Lot). Rapports n° D12-00-RT ; n° D15-01-RT ; n° D11-02-RT ; n° D15-03-RT ; n° D10-04-RT ; n° D9D-05-RT .
- Elliot, J.M., 1994.** Quantitative ecology and the brown trout. Oxford University Press, Oxford, 286 p.
- Hallereker J.H., Saltveit S.J., Harby A., Arnekliev J.V., Fjeldstad H.P. and Kohler B., 2003.** Factors influencing stranding of wild juvenile brown trout (*Salmo trutta*) during rapid and frequent flow decreases in an artificial stream. *River research and application*, 19 : 589-603.
- Hvidsten N.A., 1985.** Mortality of pre-smolt Atlantic salmon, *Salmo salar* L., and brown trout, *Salmo trutta* L., caused by fluctuating water levels in the regulated river Nidelva, central Norway. *Journal of Fish Biology* 27, 711-718.
- Lagarrigue, T., 2000.** Croissance de la truite commune dans les Pyrénées françaises. Thèse de l'INP-ENSAT 143 p.
- Lascaux, J.M., Lagarrigue, T., Vandewalle, F. et Chanseau, M., 2004.** Effets d'un débit minimum de 3 m³/s délivré à l'aval de l'usine de Hautefage sur l'exondation des frayères de grands salmonidés de la Maronne - Automne-Hiver 2003/2004. Synthèse des suivis 2001/2002, 2002/2003 et 2003/2004. Rapport E.CO.G.E.A. pour MI.GA.DO. 18D-04-RT.
- Liebig H., 1998.** Etude du recrutement de la truite commune (*Salmo trutta*) d'une rivière de moyenne montagne (Pyrénées Ariégeoise, 09) – Effets de la gestion par éclusées d'une centrale hydroélectrique. Thèse de l'INP-ENSAT, 201 p.
- Olson F.W. and Metzgar R.G., 1987.** Downramping to minimize stranding of salmonids fry. *Waterpower* 87, 691 – 701.
- Richard, A., 1998.** Gestion piscicole, interventions sur les populations de poissons, repeuplement des cours d'eau salmonicoles. Collection Mise au point CSP, 256 p.
- Saltveit S.J., Hallereker J.H., Arnekliev J.V. and Harby A., 2001.** Field experiment on stranding in juvenile atlantic salmon (*Salmo Salar*) and brown trout (*Salmo trutta*) during rapid flow decreases caused by hydropeaking. *Regulated rivers : research and management*, 17 : 609-622.
- SIEE/GHAAPPE/MIGADO, 1999.** Restauration du saumon sur les affluents de la Dordogne : Maronne et Souvigne. Etude du potentiel de production de ces cours d'eau et de l'amélioration de l'habitat sur la Maronne.

Annexe 1 : Planches cartographiques

Planche 3 - Ilots de Basteyroux.

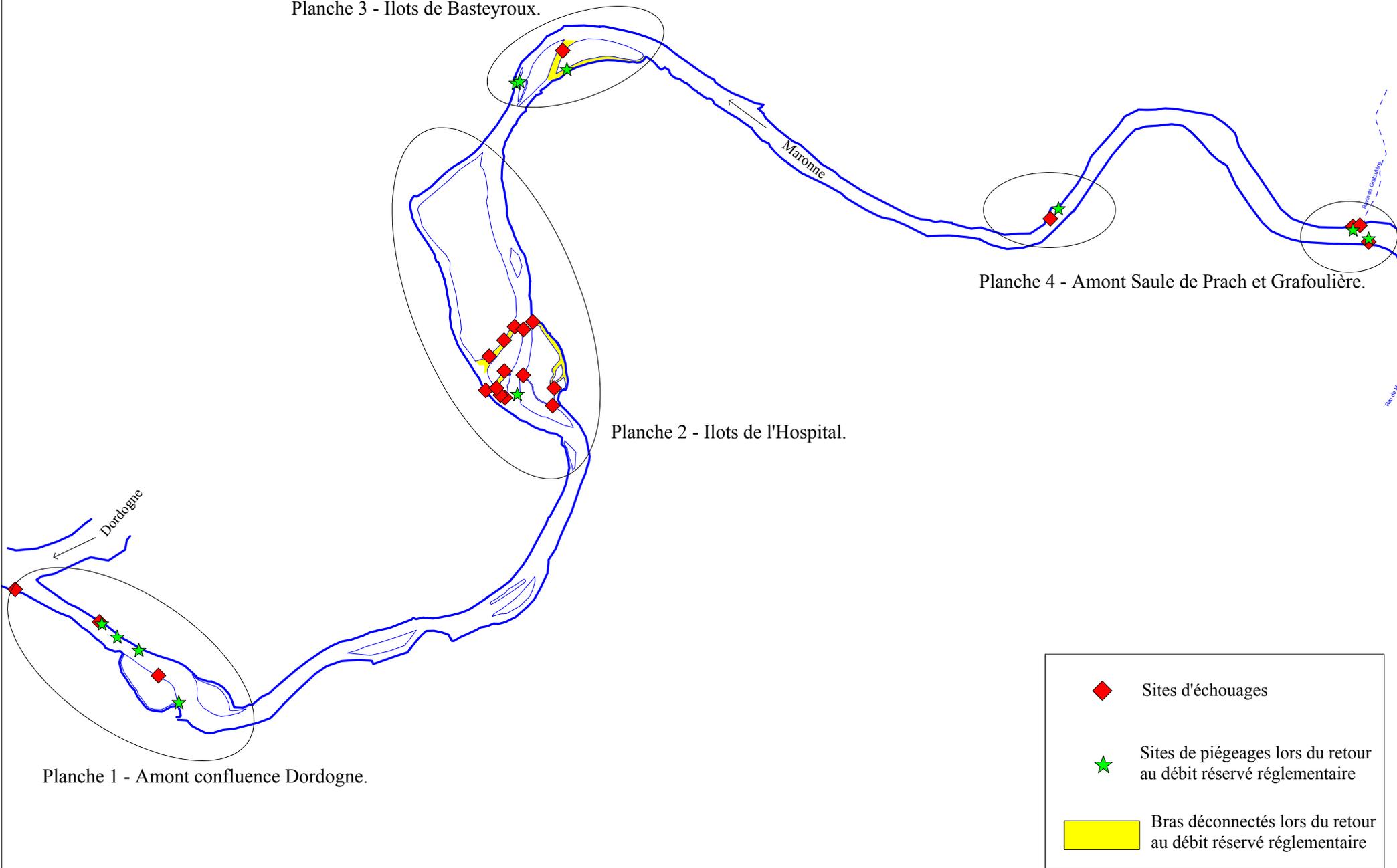


Planche 4 - Amont Saule de Prach et Grafoulière.

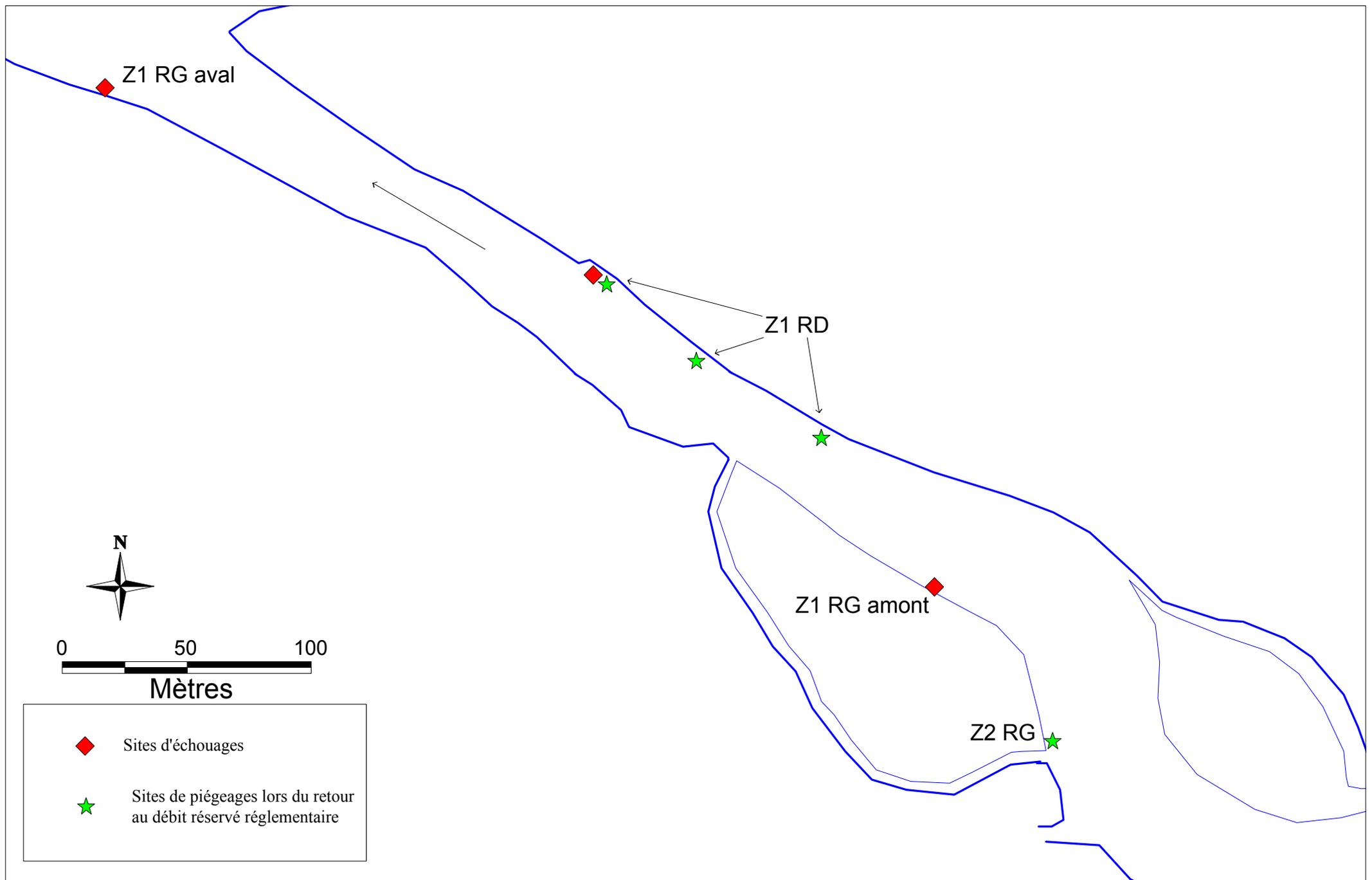
Planche 2 - Ilots de l'Hospital.

Planche 1 - Amont confluence Dordogne.

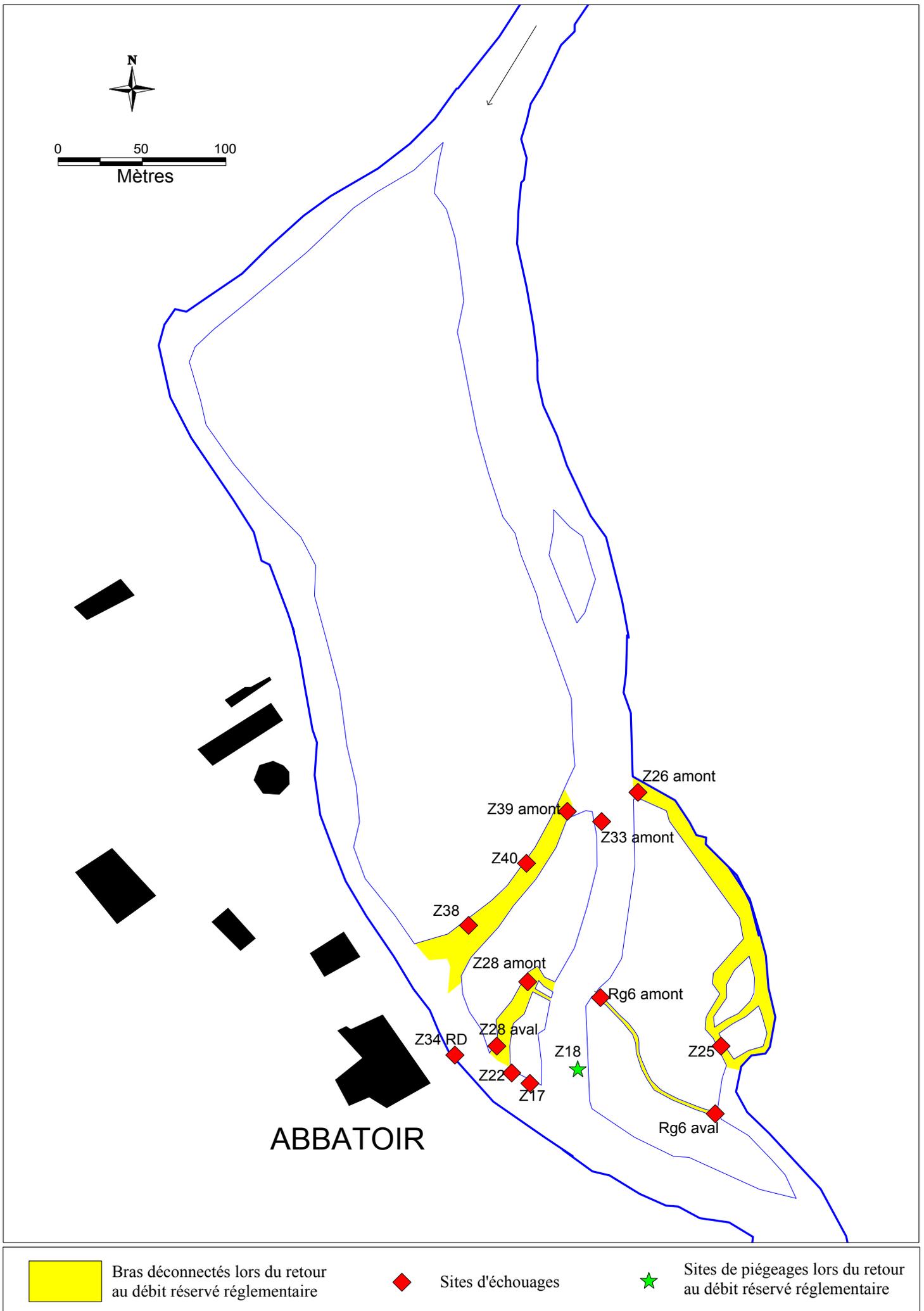
◆ Sites d'échouages

★ Sites de piégeages lors du retour au débit réservé réglementaire

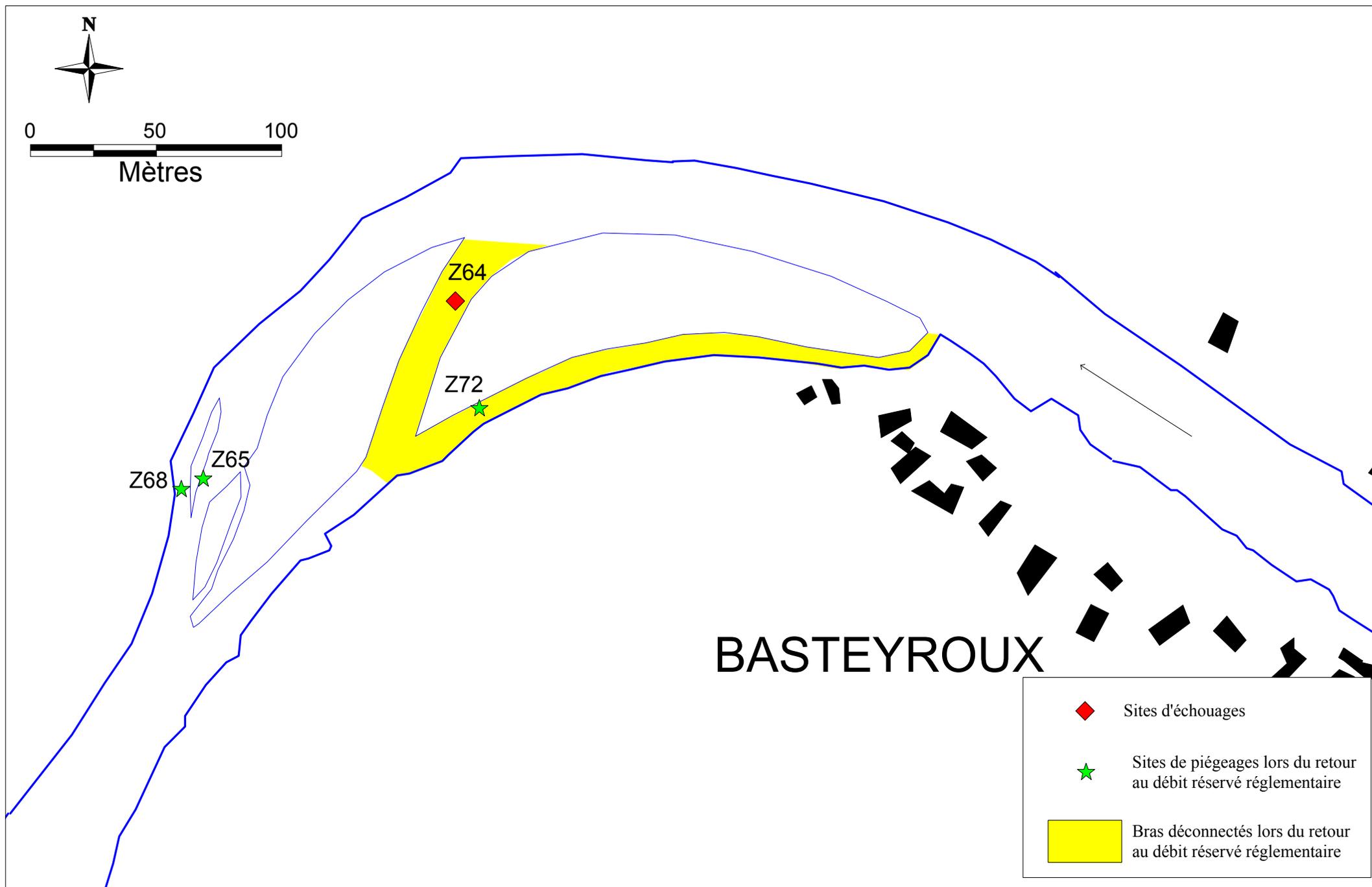
■ Bras déconnectés lors du retour au débit réservé réglementaire

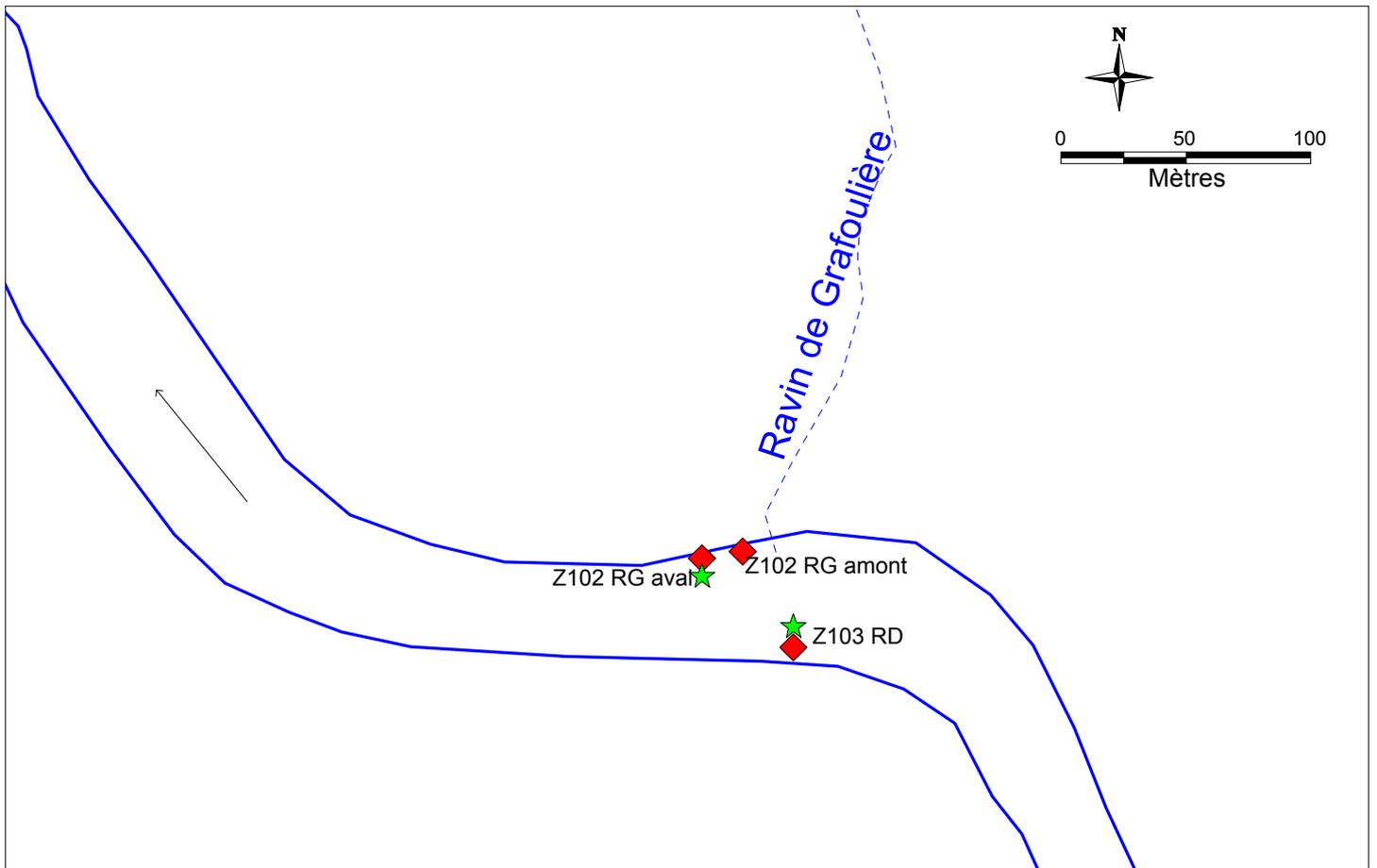
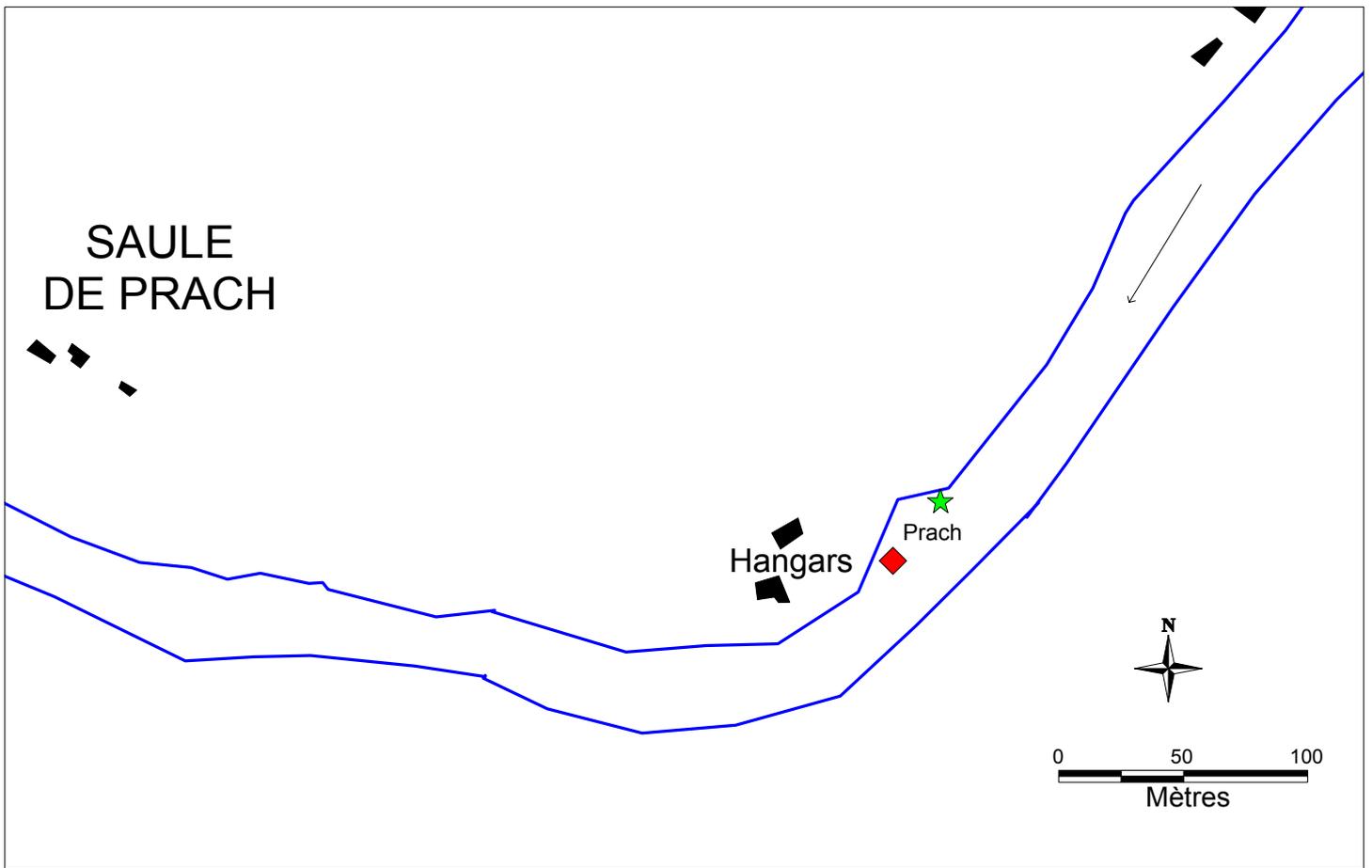


Maronne - Suivi des échouages et piégeages, 2003-2005 - Planche 1, Amont confluence Dordogne.



E.CO.G.E.A. pour M.I.GA.DO., Mai 2006.





Annexe 2 : Planche photographique



Alevin de salmonidés échoué en bord de Maronne



Alevin de salmonidés échoué en bord de Maronne



Alevins de salmonidés piégés en fond de flaqué



Loches, vairons et salmonidés piégés et morts dans une flaqué surchauffée



190 alevins de salmonidés récupérés lors de l'exondation de la plage RG à la confluence Maronne-Dordogne



Chabots, truites 1+ et alevins de salmonidés 0+ récupérés par pêche électrique dans des flaques en train de se vider dans les flots de l'Hospital lors du retour au débit réservé réglementaire