

Ministère de la Région Wallonne

Direction Générale des Ressources Naturelles et de l'Environnement (DGRNE)

Division de l'Eau-Direction des Cours d'Eau Non Navigables (DCENN)



CONVENTION D'ETUDES AVEC L'UNIVERSITE DE LIEGE

Rapport final de synthèse pour la période 2002-2006 sur le thème :

*Impacts de la mise en service de la microcentrale « Hydroval »
sur les populations de poissons de la Lhomme à Poix Saint-Hubert*

*Implications pour la mise en place de dispositions réglementaires
pour la gestion des débits réservés en Wallonie.*

Par :

Michaël OVIDIO & Jean-Claude PHILIPPART

Avec la collaboration de :

Frédéric PAQUER, Yvan NEUS, Gilles RIMBAUD & Hervé CAPRA



Unité de Biologie du comportement,
Laboratoire de Démographie des Poissons et d'Hydroécologie (LDPH)
10 chemin de la Justice, 4500 Tihange
Tél. : 085/27 41 57 – Fax : 085/ 23 05 92
e-mail : M.Ovidio@ulg.ac.be

AVRIL 2007

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION GENERALE (p3).

I. IMPACTS DE LA PRODUCTION D'HYDROELECTRICITE SUR LES POPULATIONS DE POISSONS. SYNTHESE THEORIQUE ET LIENS AVEC LA PRESENTE ETUDE (p6).

II. PRESENTATION DU SECTEUR D'ETUDE (p12).

III. SUIVI DE L'EVOLUTION DE LA POPULATION PISCICOLE DANS LA PARTIE COURT-CIRCUITEE DE LA LHOMME ENTRE 2002 ET 2006 (p20).

IV. ANALYSE DE LA RELATION HABITAT-DEBIT PAR MODELISATION (p44).

V. ETUDE TELEMETRIQUE DE LA MOBILITE DE L'OMBRE EN PERIODE DE REPRODUCTION DANS LA LHOMME COURT-CIRCUITEE (p55).

VI. ETUDE TELEMETRIQUE DE LA MOBILITE DE LA TRUITE COMMUNE EN PERIODE DE REPRODUCTION DANS LA LHOMME COURT-CIRCUITEE (p80).

VII. SUIVI DES FRANCHISSEMENTS DES BARRAGES DE PRISE D'EAU PAR LES OMBRES ET LES TRUITES. ETUDE PAR MARQUAGE-RECAPTURE AVEC DES TRANSPONDERS (p86).

VIII. CONCLUSIONS GENERALES ET PERSPECTIVES (p90).

IX. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES (p101).

Citation recommandée du rapport :

Ovidio, M., Paquer, F., Neus, Y., Rimbaud, G., Capra H., Philippart J.C. (2007). Impacts de la mise en service de la microcentrale « Hydroval » sur les populations de poissons de la Lhomme à Poix Saint-Hubert. Implications pour la mise en place de dispositions réglementaires pour la gestion des débits réservés en Wallonie. Rapport de synthèse 2002-2006 pour le Ministère de la Région Wallonne, DGRNE, Direction des Cours d'Eau non Navigables de la division de l'eau Laboratoire de Démographie des Poissons et d'Hydroécologie de l'Université de Liège, 169 pages.

INTRODUCTION GENERALE

Ce rapport présente une partie des résultats des recherches menées dans le cadre d'une convention d'études 2005-2007 entre le Ministère de la Région Wallonne (Division de l'Eau, Direction des Cours d'Eau Non Navigables) et l'Université de Liège (Laboratoire de Démographie des Poissons et d'Hydroécologie, Unité de Biologie du Comportement). L'objet particulier de la recherche évoquée est le suivi biologique de la population piscicole de la Lhomme à Poix Saint-Hubert après la construction et la mise en service en fin 2002 d'une microcentrale hydroélectrique par la société S.A. Hydroval. La réalisation de cette étude correspond à une étude d'impact *a posteriori*, dont la réalisation conditionnait l'octroi du permis d'exploitation. Cette recherche très ciblée est une composante d'une convention d'études générale intitulée « Définition de bases biologiques et éco-hydrauliques pour la libre circulation des poissons dans les cours d'eau non navigables de Wallonie ». Le travail a été réalisé par Dr MICHAËL OVIDIO (ULg) et Dr JEAN-CLAUDE PHILIPPART (ULg), avec la collaboration de FREDERIC PAQUER (étudiant biologiste ULg 2003-2004), YVAN NEUS (ULg), GILLES RIMBAUD (ULg) et Dr HERVE CAPRA (spécialiste des relations « habitat-débit» au Cemagref de Lyon).

Les impacts attendus d'une microcentrale hydroélectrique sur les populations de poissons sont nombreux (voir chapitre II) et concernent aussi bien les problèmes de libre circulation vers l'amont et l'aval que la mortalité liée au turbinage et la perte de capacité d'accueil du milieu à la suite de l'installation d'un débit réservé. Cette étude d'impact est la plus complète jamais réalisée en Wallonie sur le thème « impact de l'hydroélectricité sur la dynamique des populations de poissons ». En effet, les impacts ont été étudiés à moyen terme (2002 à 2006) et les axes de recherche sont diversifiés et intégrés (dynamique de population et écologie comportementale), ce qui est particulièrement peu fréquent. Cependant, nous tenons d'emblée à signaler que ce travail ne doit pas être considéré comme une étude «pilote» dont les résultats pourraient être automatiquement généralisés à d'autres sites. À la lecture de ce rapport, il apparaît très vite que les impacts mesurés sont dans la plupart des cas intimement liés aux particularités du site étudié. De plus, la microcentrale "Hydroval" qui fait l'objet de la présente étude est actuellement la cinquième unité (située en aval des quatre autres) installée sur la Lhomme dans la région de Saint-

Hubert Cela signifie que certains aspects de l'écologie des poissons, et plus particulièrement les phénomènes de dévalaison, étaient déjà perturbés dans le cours d'eau avant la mise en service de la nouvelle microcentrale, et n'ont donc pas pu être étudiés de manière indépendante et objective. Par ailleurs, le tronçon de cours d'eau concerné correspond à une zone à ombre qui abrite une communauté de poissons ne comprenant pas toutes les espèces wallonnes de grande valeur écologique et avec des exigences de mobilité élevées comme, par exemple, le barbeau et le hotu. De plus, on se trouve dans une partie du bassin assez haute, non ciblée par la réintroduction du saumon et où le problème de l'accès de l'anguille ne se pose pas avec une acuité aussi forte que dans la partie basse des affluents de la Meuse. Ainsi, si le site étudié est scientifiquement très intéressant, il ne permet pas de faire une évaluation et un inventaire complets des impacts d'une microcentrale sur tous les types de peuplements de poissons rencontrés en Wallonie.

Nous tenons à remercier collectivement toutes les personnes et institutions qui ont accordé leur appui à la réalisation des études décrites dans ce rapport. Nous remercions spécialement MM. les Ministres B. LUTGEN et J. HAPPART (Ministère de l'Agriculture, de l'Environnement et des Ressources Naturelles de la Région Wallonne) qui ont accordé les conventions de recherches à L'ULg depuis 2003. Au niveau de l'Administration wallonne, ce programme d'études spécialisées faisant appel aux compétences spécifiques du LDPH -ULg, particulièrement en matière de biotélémétrie aquatique, a été sollicité et porté par la Direction des Cours d'Eau non navigables représentée par son Inspecteur Général f.f., M. MATERNE, par M. F. LAMBOT, Directeur f.f., ainsi que par ses collaborateurs, notamment M. P. ORBAN, et S. ADANT. Nous exprimons nos plus vifs remerciements à tous les membres de cette équipe de la DCENN ainsi qu'aux membres du Comité d'accompagnement de la convention pour leur participation active aux réunions. Nous tenons également à remercier les exploitants de la microcentrale « Hydroval » et plus particulièrement B. FONTAINE, avec qui nous avons pu entretenir des contacts constructifs et respectueux durant toute la durée de l'étude. Les pêches électriques d'inventaires ont été réalisées en collaboration avec de nombreux partenaires : le Service de la Pêche (Ir. V. FRANK, Ir. C. CONJAERTS et plusieurs de leurs agents), le Centre de Recherches de la Nature, des Forêts et du Bois (Dr. Ir. P. GERARD et son équipe dont le Dr. Ir. E. DUPONT), les associations locales de pêcheurs (sous la responsabilité de M. CHAMPAGNE), la Direction des Cours d'Eau Non Navigables et plusieurs

étudiants biologistes de l'ULg. Les études de modélisation de l'habitat ont été réalisées en collaboration avec le Laboratoire d'Hydrécologie Quantitative du CEMAGREF de Lyon (Dr. H. CAPRA ET P. ROGER) et ont donné lieu à plusieurs missions scientifiques co-financées par la présente convention MRW-ULg, ainsi que par le Commissariat Général aux Relations Internationales de la Communauté française (projets bilatéraux France-Belgique « Tournesol ») et par le CEMAGREF.

I. IMPACTS DE L'HYDROELECTRICITE SUR LES POPULATIONS DE POISSONS. SYNTHESE THEORIQUE ET LIENS AVEC LA PRESENTE ETUDE

I.1. Principe et description d'une centrale hydroélectrique

Le principe d'une centrale hydroélectrique est de transformer l'énergie de l'écoulement hydraulique en électricité par l'action d'une turbine actionnant un alternateur. Comme le montre la figure 1, un aménagement hydroélectrique classique est composé d'une série d'éléments d'amont en aval.

- Ouvrage de retenue et prise d'eau

Pour obtenir une hauteur de chute et un débit suffisants, un barrage (1) est construit sur le cours d'eau. La prise d'eau (2) est constituée par une dérivation qui dirige l'eau vers le canal d'amenée.

- Canal d'amenée

Le canal d'amenée (3) relie la prise d'eau à l'entrée de la centrale. Il est habituellement en écoulement libre à ciel ouvert. Un déversoir (4) et des vannes d'isolation (5) permettent d'isoler la microcentrale de la rivière en cas de nécessité (entretien de l'installation, protection contre les crues,...).

- Conduite forcée

La conduite forcée (6) est composée d'un tuyau qui relie l'extrémité du canal d'amenée (au sommet de la pente) à la turbine (au pied de la pente). Elle supporte à son extrémité inférieure une pression voisine de la hauteur de chute. Dans beaucoup de cas correspondant aux centrales hydro-électriques au fil de l'eau, la conduite forcée est absente et le canal d'amenée arrive directement au niveau de la chambre de mise en charge des turbines.

- Grille et dégrilleur

L'entrée de la conduite forcée ou, quand elle est absente, de la chambre de mise en charge des turbines, est précédée d'une grille et d'un dégrilleur (9). Le rôle de la grille est de protéger la turbine de la centrale contre les corps charriés par la rivière, tandis que celui du dégrilleur (sorte de râteau) est de débarrasser la grille des éléments flottants accumulés.

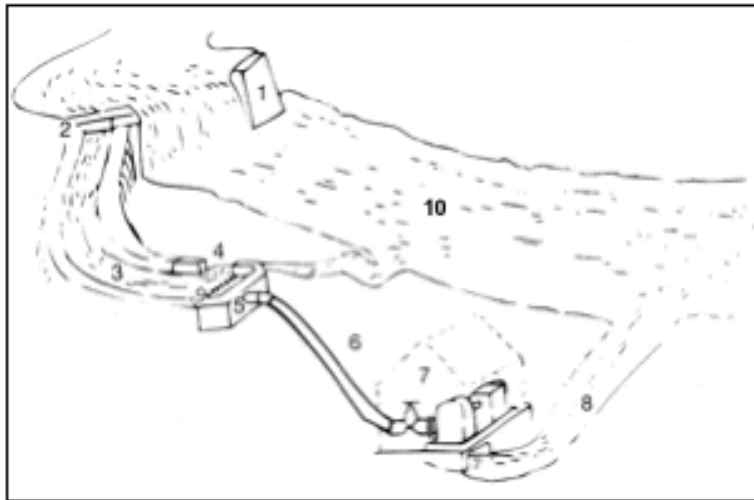


Figure 1.1 :
Schéma d'une installation hydroélectrique type à conduite forcée

1. Ouvrage de retenue (barrage)
2. Prise d'eau
3. Canal d'amenée
4. Déversoir
5. Vannes de réglage du débit
6. Conduite forcée
7. Centrale et turbine(s)
8. Canal de fuite
9. Grille et dégrilleur
- 10 ; rivière court-circuitée

(Source : Ministère de la Région wallonne, 1994, modifié)

- Turbine et alternateur

La turbine et l'alternateur sont situés dans le bâtiment de la centrale (7). La turbine transforme l'énergie de l'eau en énergie mécanique, tandis que l'alternateur permet de transformer cette dernière en électricité. L'énergie produite peut alors être autoconsommée par le producteur (éclairage, chauffage, ...) ou transférée vers un réseau. Notons qu'il existe des turbines de plusieurs types (Pelton, Francis, Banki-Mitchell, Kaplan,...) chacune adaptée au débit spécifique du cours d'eau et au site d'exploitation (voir annexes du rapport).

- Canal de fuite

Le retour de l'eau turbinée dans le cours d'eau se réalise par le canal de fuite (8).

- Tronçon de rivière court-circuité

Entre le barrage de prise d'eau et la zone de restitution de l'eau turbinée par le canal de fuite, se situe un tronçon de rivière court-circuité (10) caractérisé par un débit inférieur à la normale et parfois fixé à une valeur minimale imposée ou débit réservé. Ce tronçon court-circuité fonctionne aussi comme exutoire de crue et connaît donc d'importantes variations artificielles de débit.

Les centrales hydroélectriques peuvent être classées suivant l'importance de leur production électrique. Ainsi, à côté des "grosses" centrales qui équipent d'importants cours d'eau comme la Meuse et qui produisent de 1 à plusieurs centaines de MW, on trouve des installations de plus petite puissance (quelques centaines de kW) que l'on englobe sous le terme général de microcentrales.

I.2. Principales incidences potentielles de la production d'hydroélectricité sur les populations de poissons et liens avec la présente étude (voir Annexes 1-5 pour la situation wallonne)

Effets liés à la présence du barrage de prise d'eau

Les barrages de prise d'eau des centrales hydroélectriques peuvent constituer un obstacle partiel ou total à la migration de remontée des poissons. L'impact du barrage sur les poissons varie selon l'espèce considérée, son stade de développement et les conditions environnementales (température et débit) au moment de la migration (Ovidio & Philippart, 2002). Comme les mouvements des poissons ne s'exécutent que dans le milieu aquatique, la présence d'un barrage peut donc perturber très gravement leurs déplacements longitudinaux. Si un blocage est observé, on doit s'attendre à un appauvrissement de la productivité piscicole et de la diversité génétique en amont des barrages, et même, dans certains cas extrêmes, à la disparition de certaines espèces par rupture de leur cycle migratoire.

*Au cours de cette étude, les effets liés à la présence du barrage de prise d'eau de la centrale hydroval ont été étudiés par radio-téléométrie ainsi que par capture-marquage-recapture (**chapitre V, VI et VII**). Puisque le barrage de prise d'eau de la centrale*

« hydroval » est équipé d'une échelle à poissons rustique en enrochements, il s'agissait surtout d'évaluer l'efficacité de ce dispositif.

Effets liés à la dérivation de l'eau

Pour assurer l'arrivée d'une quantité d'eau suffisante pour la production d'hydroélectricité, un canal d'amenée court-circuite souvent le cours principal de la rivière afin de diriger l'eau vers les turbines de la microcentrale. Cette dérivation engendre une diminution importante du débit du cours d'eau avec comme conséquence une perte de la superficie sous eau et une modification de l'habitat aquatique disponible pour les poissons et les invertébrés benthiques. Ces effets peuvent conduire à la raréfaction de ces organismes, surtout dans les petits cours d'eau (Almadovar & Nicola, 1999). Il est donc important de bien connaître à la fois l'hydrologie de la rivière et la biologie des espèces concernées pour définir un **débit réservé** (Souchon et al., 1998) qui est le débit qui doit être laissé dans le cours de la rivière pour y maintenir une vie aquatique normale.

*Les impacts liés à la diminution de débit dans un tronçons de Lhomme court-circuité ont été étudiés par pêches à l'électricité (recensements annuels pendant 5 ans) et par modélisation de la qualité de l'habitat hydraulique en fonction du débit. Ces résultats sont présentés **aux chapitres III et IV**.*

Par ailleurs, en période de faible débit, une diminution de l'attractivité hydraulique du cours principal pour les poissons migrateurs peut également être observée. Les possibilités de franchissement du barrage-déversoir (équipé ou non d'une échelle à poissons) sont ainsi réduites et les poissons en remontée sont alors davantage attirés hydrauliquement au pied des turbines.

*Cet impact potentiel a également fait l'objet d'études comportementales réalisées par biotéléométrie et dont les résultats sont présentés **aux chapitres V et VI** du rapport.*

Entraînement des poissons dans le canal d'amenée des turbines

De nombreuses espèces de poissons effectuent des mouvements vers l'aval ou de dévalaison. De tels mouvements concernent les anguilles subadultes qui

descendent vers la mer pour se reproduire, les jeunes saumons et truites de mer qui descendent vers la mer pour y grandir, les individus adultes qui après leur reproduction redescendent vers la mer (saumon et truite de mer) ou vers l'aval du cours d'eau et enfin des jeunes de toutes espèces qui dérivent vers l'aval au moment des crues ou dans le cadre de l'exécution de leur cycle de vie. Tous ces poissons peuvent être entraînés par le courant dans le canal d'amenée et être incapables d'éviter l'aspiration et le passage forcé entre les barreaux de la grille de protection de la prise d'eau. Les poissons ont alors de forts risques d'être plus ou moins gravement blessés ou même tués lors de leur passage dans les turbines de la microcentrale (Haddington et al., 2002 ; Philippart et al., 2003, Sonny 2006). Les causes de ces blessures sont diverses : traumatismes dus aux variations de pression à la cavitation et aux turbulences, contacts physiques des poissons avec les structures de la turbine.

La microcentrale "Hydroval" qui fait l'objet de la présente étude est actuellement la cinquième unité (elle est située en aval des quatre autres) installée sur la Lhomme dans la région de Saint-Hubert. Ainsi, les poissons en dévalaison ont déjà été bloqués, filtrés et/ou tués par les microcentrales situées en amont. Cela signifie que l'entraînement des poissons dans les turbines n'a pas pu être étudié en détail au cours de cette étude car non représentatif d'une situation de référence.

Effets liés aux modalités de turbinage

Dans le cas d'une production intermittente d'hydroélectricité par éclusée, les baisses de niveau en aval de l'ouvrage hydroélectrique peuvent engendrer l'exondation des œufs de poissons pondus sur les graviers ou la végétation aquatique. Parallèlement, la reprise du turbinage engendre des pointes de débit (hydropeaking) qui ont un effet de "chasse d'eau" vis-à-vis des petits poissons dont la capacité de nage est faible, principalement ceux d'espèces peu rhéophiles et en période post-éclosion. Ce régime hydrologique artificiel appauvrit aussi les populations d'invertébrés benthiques et les ressources alimentaires disponibles pour les poissons, et provoque un appauvrissement piscicole dans les secteurs de rivière concernés (Valentin, 1996). De plus, la diminution du niveau d'eau peut exonder certains habitats indispensables pour la reproduction et le recrutement des jeunes de nombreuses espèces de poissons.

Le fonctionnement de la microcentrale « Hydroval » n'engendre pas d'importantes variations du niveau d'eau par éclusée. Cependant, des effets d'exondation de frayères ont parfois été observés au cours de la reproduction de l'ombre commun et sont présentés au chapitre V.

Effets cumulatifs des centrales hydroélectriques

La multiplication des ouvrages hydroélectriques sur un même cours d'eau peut agir de manière cumulée en épuisant les poissons en migration de reproduction à chaque barrage de prise d'eau et en multipliant les phénomènes de mortalité liés aux passages dans les turbines des unités successives. Chaque centrale est cependant un cas unique (hydrologie de la rivière différente d'un site à l'autre, volume d'eau turbiné, présence ou non d'échelles à poissons,...) et leurs effets potentiels sur les populations de poissons peuvent donc être très différents .

L'objectif de notre étude était d'évaluer l'impact de la nouvelle centrale « Hydroval » sur les populations de la Lhomme. Les impacts des autres microcentrales situées en amont n'ont donc pas été étudiés mais les résultats de nos recherches sur la centrale « Hydroval » sont constamment discutés dans le contexte de l'existence de plusieurs ouvrages hydroélectriques successifs sur le cours de la Lhomme.

II. PRESENTATION DU SECTEUR D'ETUDE

II.1. Situation géographique

Le secteur d'étude est situé sur la Lhomme (District Hydrographique International de la Meuse, sous-bassin de la Lesse) entre Poix Saint-Hubert et Mirwart (Ardenne belge) (Figure 1).

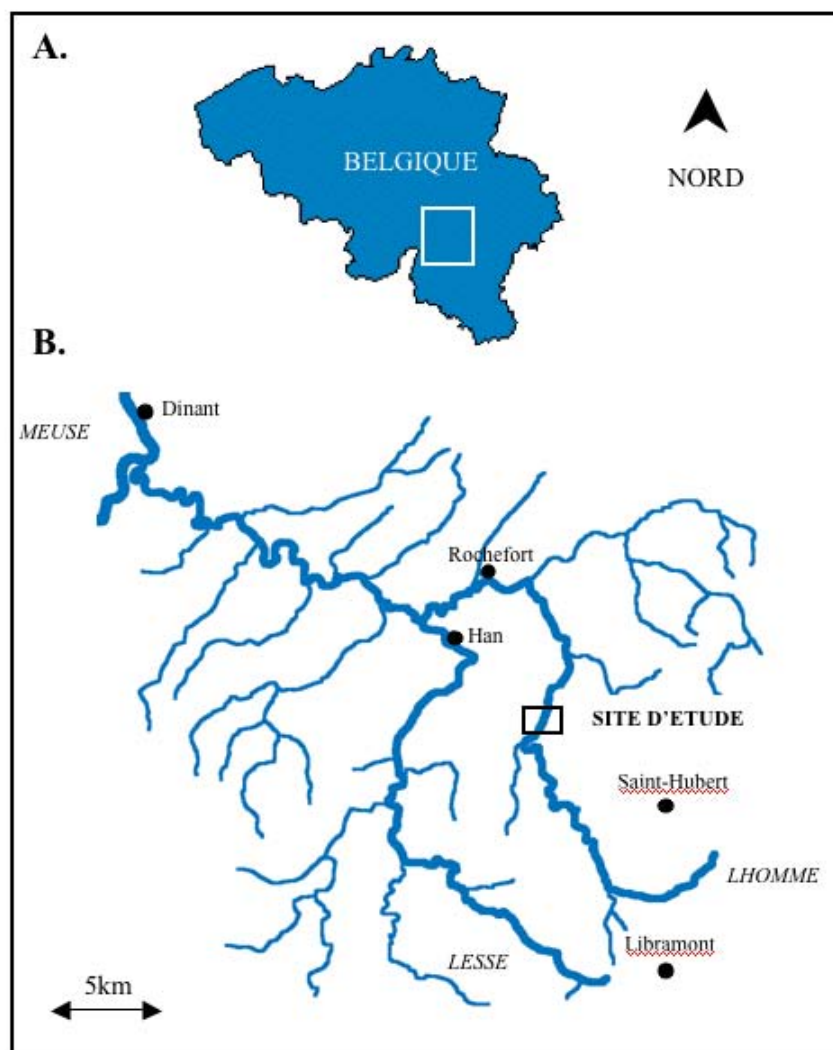


Figure 1 : Localisation géographique du sous-bassin de la Lesse (A) et schéma détaillé montrant le site d'étude sur la Lhomme (B).

II.2. Caractéristiques de la Lhomme

La Lhomme (bassin versant de 480 km²) prend sa source sur le Plateau de Recogne, et, après un parcours d'une cinquantaine de kilomètres, se jette dans la Lesse à Eprave dont elle constitue le principal affluent (36 % de la superficie du

bassin versant). Par les caractéristiques de sa pente et de sa largeur, la Lhomme se situe dans la zone à truites et à ombres selon la classification de Huet (1949).

La Lhomme coule sur une assise de roches du Dévonien (schistes, quartzites et quartzophyllades), ce qui confère à son eau des caractéristiques physico-chimiques naturelles ardennaises correspondant à l'appartenance aux classes 2 (eaux ardennaises pauvres : 6-20 ppm CaCO_3) et 3 (eaux ardennaises riches : 21-50 ppm CaCO_3) selon la classification de Descy et al. (1982). Le tronçon étudié à Poix Saint-Hubert se rattache au type 3 (ardennais riche).

D'après la carte la plus récente produite par le Centre de Recherche de la Nature, des Forêts et du Bois (Vanden Bossche, 2005), la qualité biologique de l'eau d'après l'Indice biotique (invertébrés benthiques) établie en 1997-2002 se situe à 16/20 (qualité bonne) à 17/20 (qualité très bonne) en aval du tronçon de Poix Saint-Hubert considéré dans cette étude.

II.3. Débit naturel à Grupont

La figure 2 représente l'évolution mensuelle des débits sur une période de neuf années (1994-2002) à Grupont situé à environ 8 km en aval du site d'étude. Le débit moyen annuel y est de $2,7 \pm 1,5 \text{ m}^3/\text{s}$

II.4. L'énergie hydraulique à Poix Saint-Hubert

Grâce à la pente exceptionnelle de la Lhomme à Poix Saint-Hubert (1 %), la force motrice de l'eau est utilisée depuis plusieurs siècles par les habitants de la région. Ainsi, plusieurs usines (scieries, papeteries) ont été construites le long de la Lhomme et de ses affluents durant la révolution industrielle. Suite à l'apparition de l'électricité au début du siècle dernier, la plupart des moulins ont été transformés en microcentrales hydroélectriques. La centrale « Hydroval » qui fait l'objet de la présente étude, est actuellement la cinquième unité installée sur la Lhomme en aval de Poix Saint-Hubert (Figure 3), sur le site de l'ancien barrage de prise d'eau L. Zoude (Annexe 6a). A ces centrales sont associés des barrages illustrés par les photos présentées en Annexe 6a de ce rapport. Mise en service depuis le début de l'année 2003, la nouvelle microcentrale Hydroval a été conçue pour produire 900.000 kWh/an.

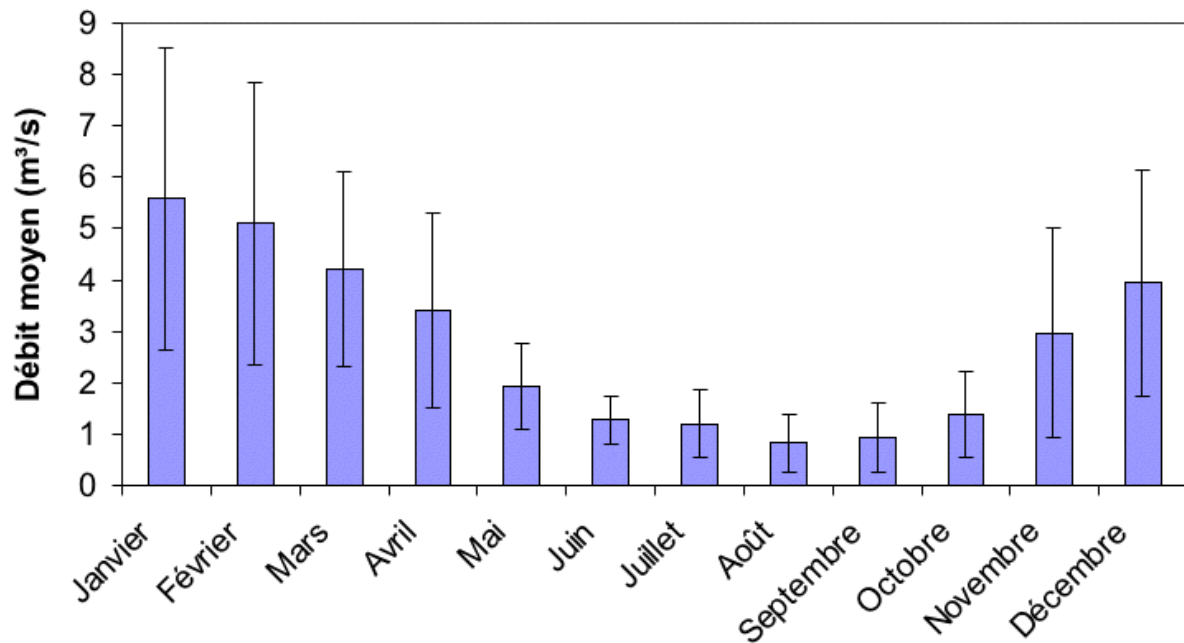


Figure 2 : Débit mensuel moyen (\pm écarts types) dans la Lhomme naturelle à Grupont entre 1994 et 2002 (Données de la Division de l'eau)

II.5. Description du site modifié par la micro centrale hydroélectrique

La microcentrale hydroélectrique « Hydroval » est située sur la Lhomme en aval de Poix Saint-Hubert le long de la ligne ferroviaire Bruxelles-Luxembourg. L'aménagement hydroélectrique dérive la rivière sur environ 1,2 km. La dénivellation de la Lhomme étant de 1% (soit 1 mètre par 100 m), la chute est par conséquent d'environ 12m. Cet aménagement est composé d'amont en aval d'une série d'éléments (Figure 4 et figure 5).

- Ouvrage de retenue et prise d'eau

Un barrage, d'une hauteur d'environ 0,9 m, retient une masse d'eau et la dirige vers le canal d'amenée qui conduit à la microcentrale. Il est équipé d'une échelle à poissons rustique en enrochements (figure 5). La prise d'eau dans sa partie amont est équipée de deux vannes de forme rectangulaire qui permettent le réglage du débit, mais aucune information précise sur le fonctionnement automatisé de ces vannes ne nous a été transmise.

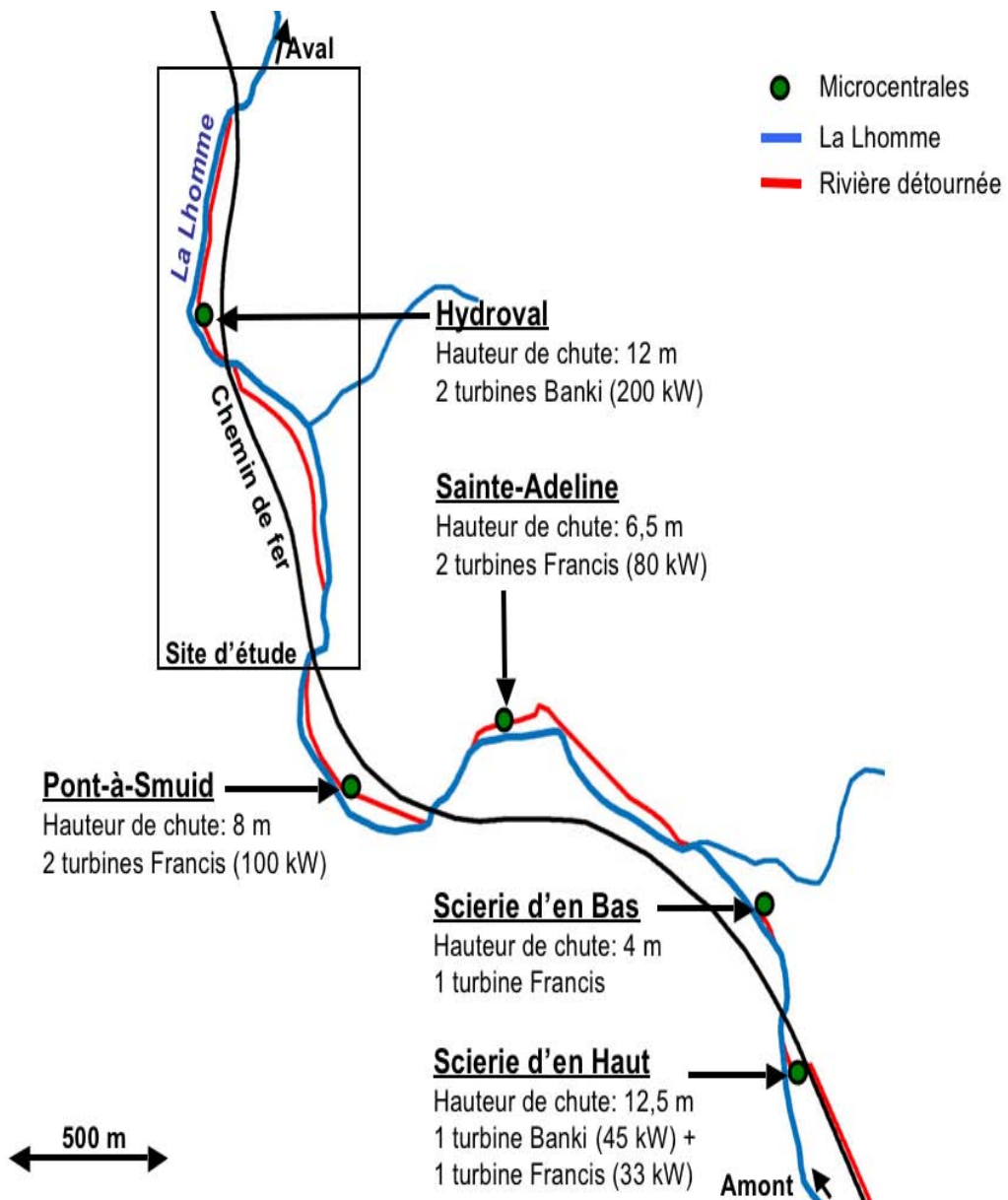


Figure 3 : Localisation de la centrale Hydroval , située en aval de quatre autres microcentrales dans la région de Poix Saint-Hubert.

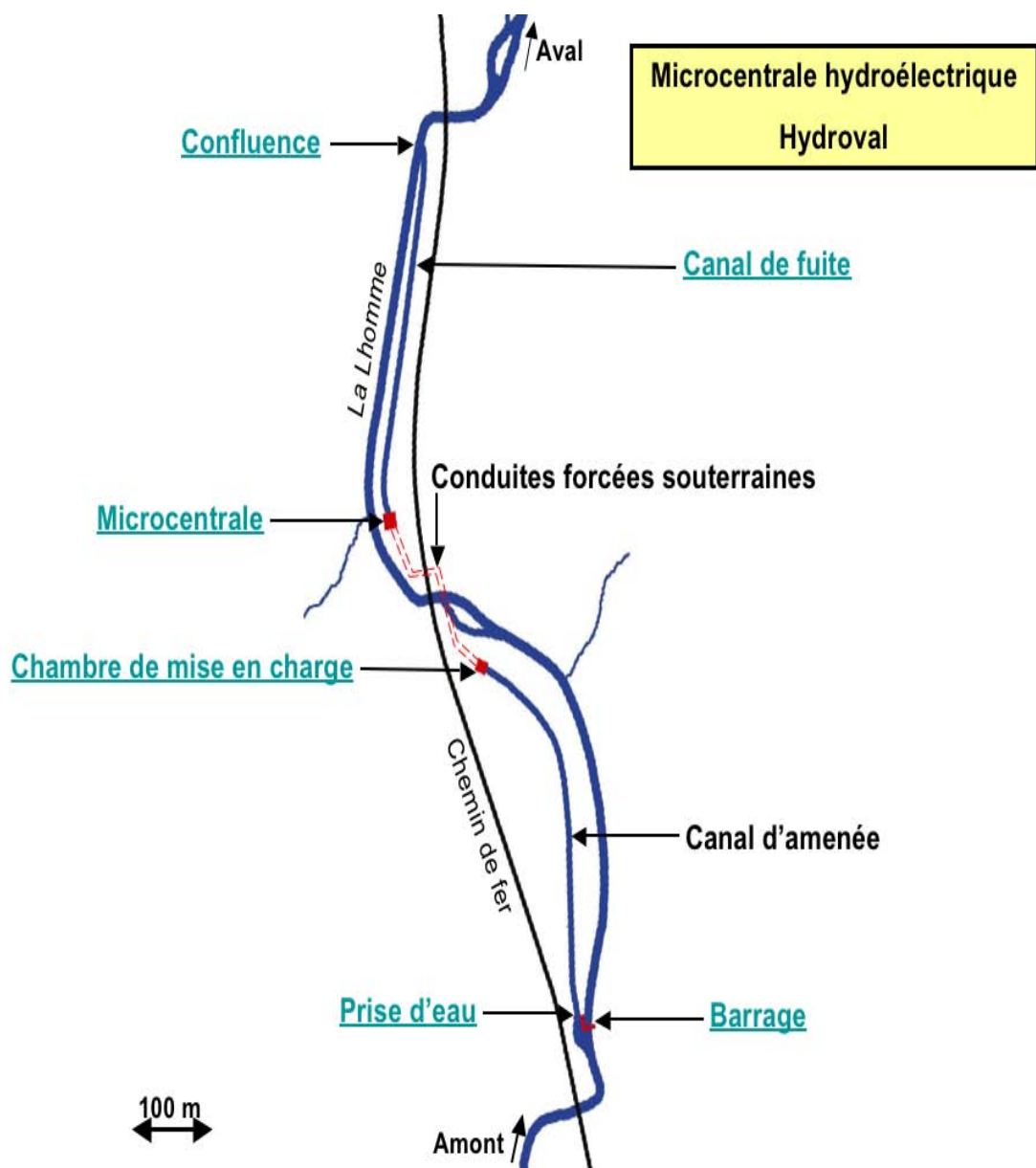


Figure 4 : Présentation du site d'exploitation de la microcentrale « Hydroval » à Poix Saint-Hubert

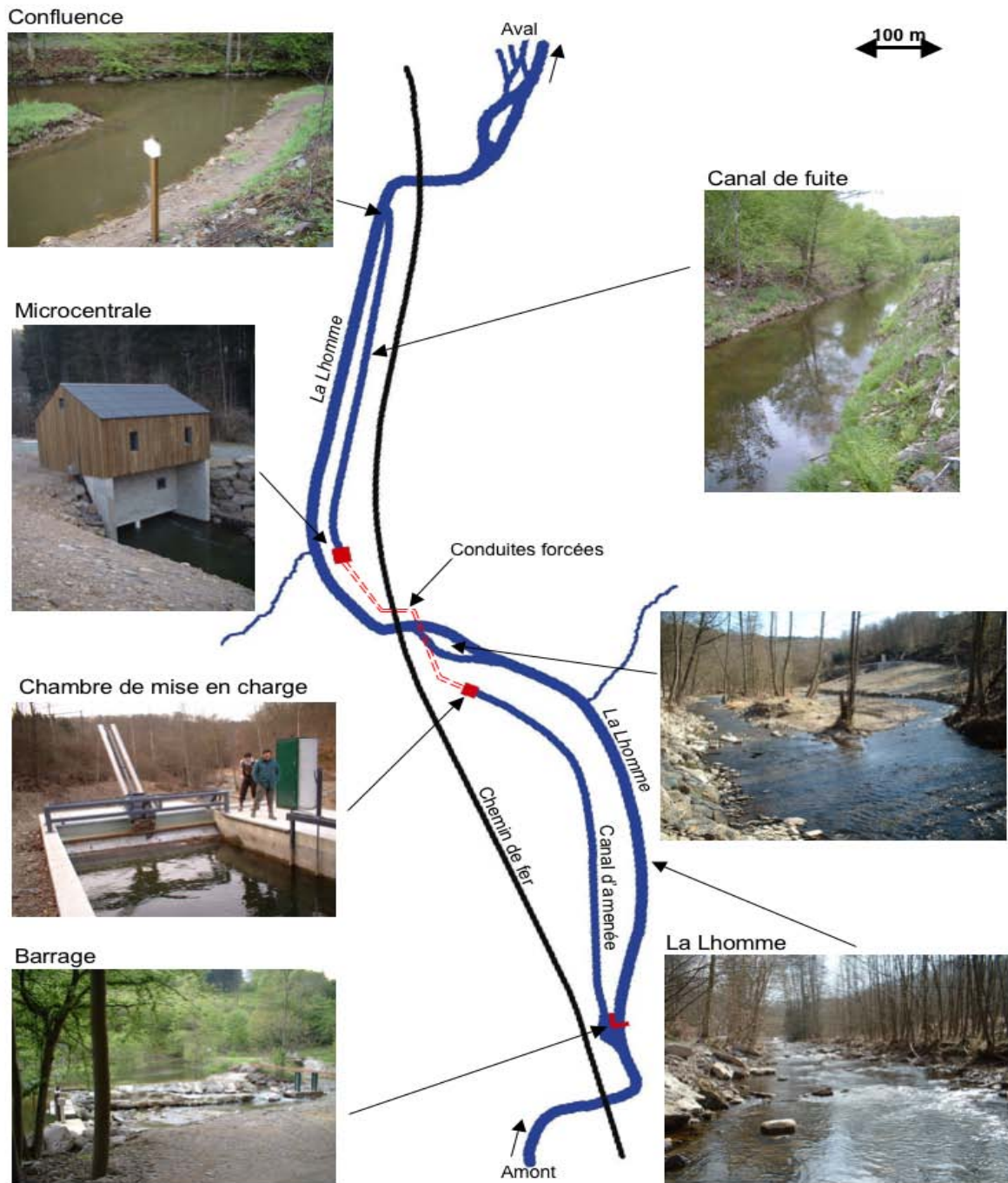


Figure 5 : Présentation du site d'exploitation de la microcentrale « Hydroval » à Poix Saint-Hubert avec les photos des différents aménagements

- Canal d'amenée

Le barrage est suivi d'un canal d'amenée à ciel ouvert d'une longueur de 485 m.

- Chambre de mise en charge et conduites forcées

A la fin du canal d'amenée se situe la chambre de mise en charge des deux conduites forcées souterraines qui consistent en deux tuyaux en résine polyester armée de fibres de verre (diamètre intérieur = 889 mm) qui relient l'extrémité du canal d'amenée (au sommet de la pente) aux deux turbines (au pied de la pente). Elles supportent ainsi à leur extrémité inférieure une pression voisine de la hauteur de chute de 12 m.

- Grille et dégrilleur

La chambre de mise en charge est précédée d'une grille dont l'écartement des barreaux est de 2 cm. Cette grille est elle-même équipée d'un dégrilleur hydraulique automatique qui évacue les déchets en provenance de l'amont dans une goulotte puis sur le sol.

- Turbines et alternateurs

Les conduites forcées sont raccordées à deux turbines Banki-Mitchell, situées à l'intérieur du bâtiment de la microcentrale. Les turbines sont couplées à deux génératrices asynchrones à hauts rendements (110 kW chacune) actionnées par des courroies plates qui transforment l'énergie mécanique en électricité. L'énergie produite est ensuite évacuée vers le réseau du distributeur local (Interlux) via une ligne souterraine reliée à une cabine haute tension (située environ 1000 m en amont de la micro centrale).

Canal de fuite

Le retour de l'eau turbinée dans la Lhomme se fait via un canal de fuite d'une longueur de 450 m, et dont le tracé est parallèle à celui de la Lhomme court-circuitée.

Débit réservé

Le débit maximum turbiné par la micro centrale « Hydroval » est de 2,2 m³/s. Afin de laisser dans la rivière un débit minimum nécessaire au maintien d'une vie aquatique normale, un débit réservé provisoire a été fixé. Etant donné qu'il n'existe actuellement aucune législation sur ce sujet en Wallonie (voir chapitre IX), ce débit a été fixé (sur la base de la législation française) à 1/10^{ème} du débit médian annuel à Poix Saint-Hubert soit 220l/s.

III. SUIVI DE L'EVOLUTION DE LA POPULATION PISCICOLE DANS LA PARTIE COURT-CIRCUITEE DE LA LHOMME ENTRE 2002 ET 2006

III. 1. Introduction

La forme la plus évidente d'impact de la mise en fonction de la nouvelle micro centrale de Poix St-Hubert sur la Lhomme concerne la qualité de l'habitat aquatique, et plus spécialement l'habitat piscicole, dans le tronçon de rivière court-circuité par la conduite forcée (chute de 12 m). Compte tenu de la valeur fixée (220 l/s) pour le débit réservé de la Lhomme, on doit s'attendre à un allongement de la période pendant laquelle le débit de la Lhomme est inférieur à la normale à une période donnée de l'année (chapitre IV pour plus de détails). L'altération de la qualité de cet habitat aquatique va probablement se répercuter sur la productivité piscicole du milieu en terme de reproduction, de production de jeunes poissons et de capacité d'accueil de populations de juvéniles et d'adultes.

Afin de quantifier cette perte probable de productivité, des inventaires piscicoles ont été réalisés chaque année depuis 2002 à la même époque dans deux secteurs de la Lhomme influencés par le fonctionnement de la microcentrale, et pour lesquels nous connaissons l'état du peuplement préalablement à sa mise en service. Depuis 2004, un secteur témoin situé en régime naturel, a été ajouté aux deux secteurs habituels de pêche scientifique. Cette pêche complémentaire permet de déterminer si les changements de populations observés sont exclusivement liés au fonctionnement de la centrale ou s'ils peuvent être interprétés comme des variations naturelles et inter-annuelles de l'effort de recrutement des jeunes.

En complément de ces pêches de recensement, nous avons réalisé un travail de caractérisation de l'habitat physique de ces secteurs afin de modéliser leurs capacités d'accueil en fonction du débit. Ce travail est présenté au chapitre IV.

III.2. Méthodologie

III.2.1. Présentation des sites et des dates d'échantillonnage

Préalablement à la construction de la micro centrale, deux secteurs du cours de la Lhomme ont été sélectionnés comme sites pilotes pour l'étude de l'évolution du peuplement piscicole dans la rivière. Ces deux sites d'une longueur de 150m sont légèrement différents du point de vue du type d'habitat aquatique disponible et sont représentatifs du tronçon court-circuité du point de vue de la disponibilité des méso-habitats (alternance de plats, radiers, profonds).

Le **premier secteur** S1 court-circuité est situé juste en aval du barrage de prise d'eau (photo 1 et fig. 1). Il est rectiligne, caractérisé par la présence de nombreux enrochements et par une couverture importante végétale des berges.

Le **deuxième secteur** S2 court-circuité est situé en aval du premier pont de chemin de fer (photo 2 et fig. 1). Il est caractérisé par la présence d'un méandre et d'une coulée rapide et profonde. Une grande partie du secteur de pêche n°2 est parallèle au canal de fuite de la microcentrale.

Depuis 2004, un inventaire supplémentaire est réalisé dans **un secteur témoin T1** situé en régime naturel, en aval de la zone d'influence de la microcentrale. Il mesure également 150 m et possède des caractéristiques propres aux deux secteurs témoins (une partie rectiligne et une coulée profonde, photo 3).

Les pêches ont été réalisées en avril 2002 pour la situation naturelle ainsi qu'en mai 2003, avril 2004, mai 2005 et avril 2006 pour la situation après l'entrée en fonction de la microcentrale.



Photo 1 : secteur de pêche impacté n°1 situé en aval du barrage de prise d'eau



Photo 2 : secteur de pêche impacté n°2 situé en aval du pont de chemin de fer

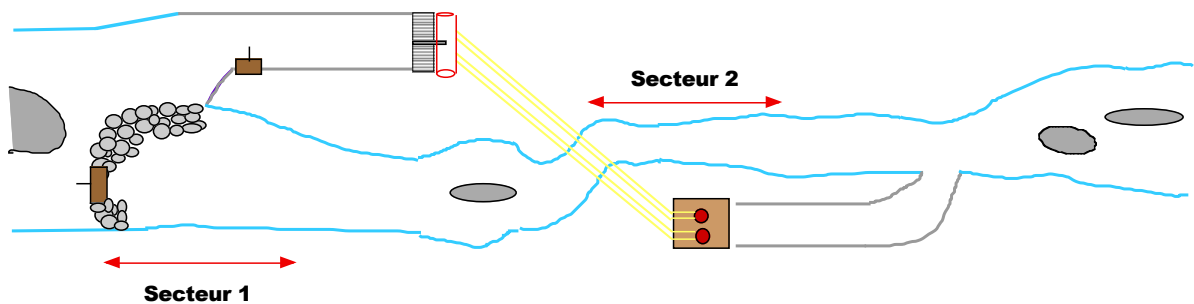


Figure 1 : Localisation schématique des deux secteurs de pêche pour le recensement annuel des poissons



Photo 3 : partie rectiligne du secteur témoin



Photo 4 : inventaire piscicole par pêche à l'électricité

III.2.2. Technique d'échantillonnage

Les pêches électriques de recensement correspondent à **des inventaires complets**, en deux passages avec trois électrodes (photo 4). Ce dispositif de pêche nous a permis d'obtenir des efficacités de capture importantes (voir résultats). Dans un souci de standardisation, cette méthodologie a été appliquée durant toute la durée de l'étude, à chaque pêche et sur chaque site d'étude.

III.2.3. Conditions de débits durant les pêches électriques

De 2002 à 2006, les pêches d'inventaires ont été réalisées entre la fin du mois d'avril et le début du mois de mai, selon les disponibilités en moyens humains et les conditions environnementales. Dans la mesure du possible, les inventaires ont été réalisés en conditions de débits faibles à moyens (débits à Grupont) :

- Le 23/04/2002: **2,05 m³s⁻¹**
- Le 06/05/2003 : **0,91 m³s⁻¹**
- le 21/04/2004 : **2,30 m³s⁻¹** et le 22/04/2004 : **2,44 m³s⁻¹**
- le 10/05/2005 : **2,71 m³s⁻¹** et le 11/05/2004 : **2,60 m³s⁻¹**
- le 19/04/2005 : **3,205 m³s⁻¹** et le 11/05/2004 : **2,98 m³s⁻¹**

Signalons que de 2004 à 2006, les pêches réalisées dans les secteurs perturbés d'inventaires S1 et S2 et dans le secteur témoin T1 se sont déroulées dans des conditions de débit quasi identiques.

III.3. Résultats

III.3.1. Population piscicole en situation naturelle, avant la mise en service de la micro centrale

La première pêche d'inventaire a été réalisée le 23 avril 2002. La communauté des poissons de la Lhomme à Poix Saint-Hubert est typique d'une zone à truites-ombres et est essentiellement constituée de truites communes, d'ombres communs et des espèces d'accompagnement habituelles (chabot, loche franche , petite lamproie, vairon et anguille) ainsi que de quelques autres espèces secondaires (goujon, chevaine, perche, brochet, gardon, tanche) dont certaines peuvent être issues d'étangs de pisciculture ou de pêche voisins. Parmi ces espèces, le chabot et la petite lamproie sont sur la **liste Natura 2000** en Wallonie.

Un aperçu de la situation du peuplement de poissons dans les deux secteurs d'étude avant la mise en route de la centrale est présenté à la figure 2a et 2b sous la forme de graphiques des proportions en nombres d'individus et en biomasse.

En nombre d'individus, le secteur n°1 abrite essentiellement des truites, des chabots et des loches franches. En biomasse, les truites et les ombres dominent largement les autres espèces. Dans ce secteur, 527 individus représentent un poids total de 15,7 kg. Dans le secteur n°2, les truites, les chabots et les loches sont les espèces les plus nombreuses. Par contre, les truites et les ombres constituent la majeure partie de la biomasse (plus de 65 %). Dans ce secteur, 394 individus ont été capturés, pour un poids total de 19,5 kg.

En pratique donc, l'étude d'incidence a porté sur les 4 espèces les plus représentatives de l'écosystème de la partie de la Lhomme concernée : la truite, l'ombre, le chabot et la loche franche (Planche 1).

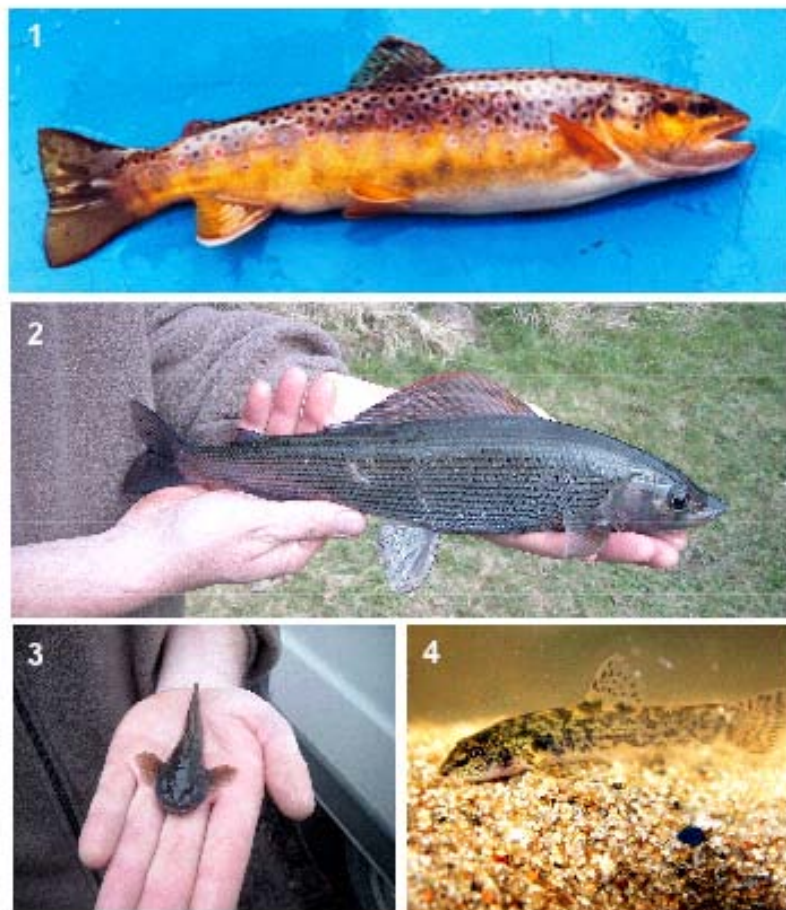
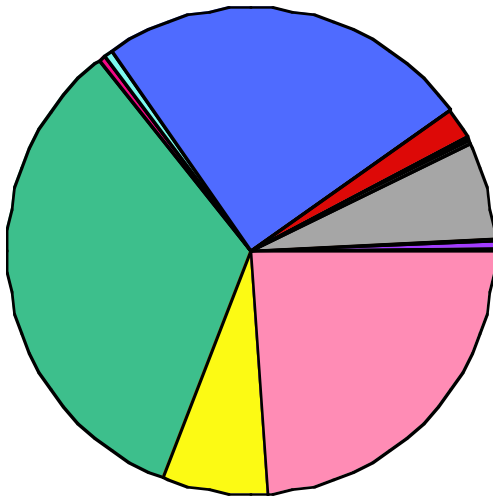


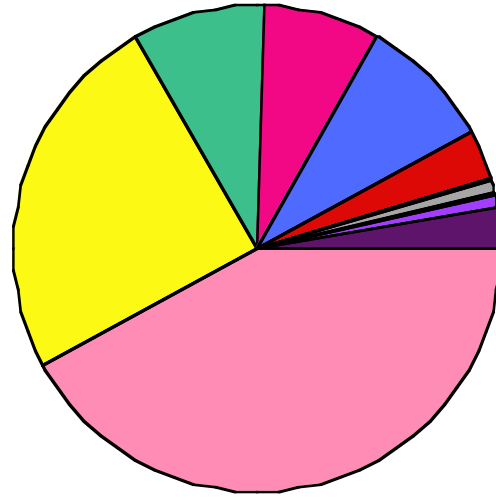
Planche 1. Représentation photographique des quatre espèces cibles étudiées : 1) la truite commune, 2) l'ombre commun, 3) le chabot et 4) la loche franche.

Secteur n°1 (aval barrage de prise d'eau)

A



Nombre d'individus (total =527)

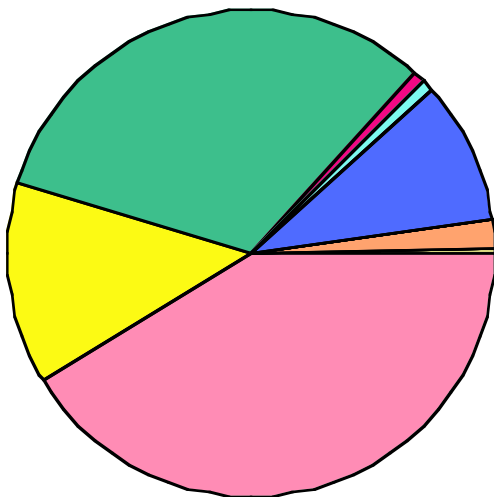


Biomasse (total =15731g)

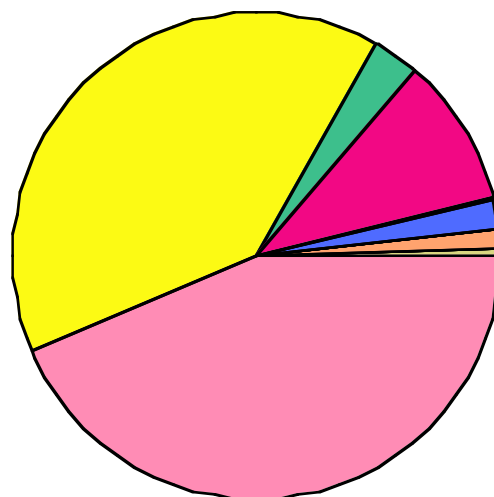


B

Secteur n°2 (aval premier pont de chemin de fer)



Nombre d'individus (total =391)



Biomasse (total =19714g)

Figure 2a et 2b : Structures des communautés piscicoles dans les 2 secteurs de pêche avant la mise en service de la microcentrale en avril 2002.

III.3.2. Analyse de l'évolution de la population piscicole après la mise en service de la microcentrale

III.3.2.1. *Abondance en espèces, individus et biomasses*

Secteur n°1, aval barrage de prise d'eau (tableaux 1 et 2)

L'effet de la mise en place débit réservé à la suite de l'exploitation de la centrale se fait ressentir très rapidement sur la population de poissons en place. En avril 2003, soit environ quatre mois après la mise en service de la microcentrale, la biomasse des truites a baissé de 28% et celle des ombres de 86%. L'année 2003 est marquée par la présence accidentelle dans le milieu d'étude de truites arc-en-ciel qui se seraient échappées de la pisciculture de Mirwart. Cet événement parasite est gênant pour le calcul de l'évolution de la biomasse totale dans le milieu. Toutefois, sans prendre en considération la biomasse des truites arc-en-ciel, il apparaît que la biomasse totale du secteur n°1 a baissé de 41%, alors que le nombre total d'individus a baissé de 44%.

En 2004, la biomasse des truites et des ombres continue de baisser (-93% de biomasse en ombres et -50% de biomasse en truites entre 2002 et 2004 !). Les truites arc-en-ciel ont été éliminées de manière naturelle (seuls 3 individus sont capturés alors qu'il y en avait 362 l'année précédente). Cet évènement est associé à une augmentation du nombre et de la biomasse de loches et chabots qui profitent probablement d'une diminution de la prédation par les truites, moins abondantes (voir discussion). En biomasse totale, la perte dans le secteur 1 est encore de 22% en comparaison avec 2003 et de 53% par rapport à 2002. Vu la forte augmentation de la présence de la loche et du chabot, le nombre d'individus capturés est lui en augmentation (+121% par rapport à 2003 et +1% par rapport à 2002).

En 2005, la biomasse des truites chute encore un peu, mais le nombre d'individus est en augmentation, ce qui traduit une présence d'un plus grand nombre de petits individus (voir point III.3.2.1. pour plus de détails à ce sujet). Le même phénomène est observé chez l'ombre dont la population est en légère augmentation par rapport à 2004 avec une représentation plus importante de jeunes individus. Les populations de loches et de chabots sont en légère diminution par

rapport à 2004. En comparaison avec la situation initiale de référence en 2002, les pertes restent très importantes pour l'ombre et la truite. En biomasse totale, la perte est de 52% par rapport à la situation naturelle !

Espèces	Nombre d'individus				
	23/04/02 débit normal	06/05/03 débit réservé	21/04/04 débit réservé	10/05/05 débit réservé	19/04/06 débit réservé
Truite commune	126	73	56	84	120
Ombre	37	6	5	15	16
Chabot	176	88	281	265	228
Anguille	2	2	-	-	-
Petite lamproie	3	-	8	11	3
Loche franche	131	50	171	150	165
Gardon	11	4	-	4	2
Chevaine	2	2	-	1	2
Vairon	34	10	12	70	89
Goujon	1	4	-	22	21
Perche	2	1	-	-	1
Brochet	1	1	1	-	-
Epinoche	-	-	-	-	8
Tanche	-	-	-	-	-
Truite arc-en-ciel	-	(362)	(3)	-	-
Total	527	241	534	619	655

Tableau 1 : Evolution des nombres d'individus capturés dans le secteur impacté n°1 entre 2002 (débit normal) et 2006.

Espèces	Biomasse (g)				
	23/04/02 débit normal	06/05/03 débit réservé	21/04/04 débit réservé	10/05/05 débit réservé	19/04/06 débit réservé
Truite commune	6612	4749	3280	2999	3130
Ombre	3877	533	360	638	737
Chabot	1381	702	1836	1716	1415
Anguille	1198	1268	-	-	-
Petite lamproie	12	-	40	38	14,8
Loche franche	1397	612	1681	1494	1627
Gardon	510	240	-	69	36
Chevaine	35	414	-	7	243
Vairon	131	60	49	325	354
Goujon	25	185	-	198	348
Perche	122	270	-	-	16
Brochet	431	203	74	-	-
Epinoche	-	-	-	-	12,4
Tanche	-	-	-	-	-
Truite arc-en-ciel	-	(16932)	(319)	-	-
Total	15731	9236	7320	7584	7933

Tableau 2 : Evolution des biomasses des espèces capturées dans le secteur impacté n°1 entre 2002 (débit normal) et 2006.

En 2006, la situation est relativement stable par rapport à 2005, hormis l'augmentation du nombre d'individus de truite pour une biomasse pourtant assez semblable à celle de 2005 (+131g de différence). Ce résultat confirme la présence quasi exclusive de jeunes truites dans ce secteur de rivière après quatre années de fonctionnement de la microcentrale (voir point III.3.2.2 pour plus de détails sur les classes de tailles). Notons également l'apparition de l'épinoche, absente des captures les autres années qui pourrait être un signe de perturbation du milieu. En comparaison avec la situation initiale, la perte de biomasse pour la truite est de 53% et de 81% pour l'ombre. La perte globale de biomasse dans le secteur toutes espèces confondues est de 50%.

Les changements en biomasse et en nombre d'individus des espèces les plus représentatives du secteur d'étude (truites, ombres, chabots, loches) sont présentés sous la forme d'un graphique à la figure 3.

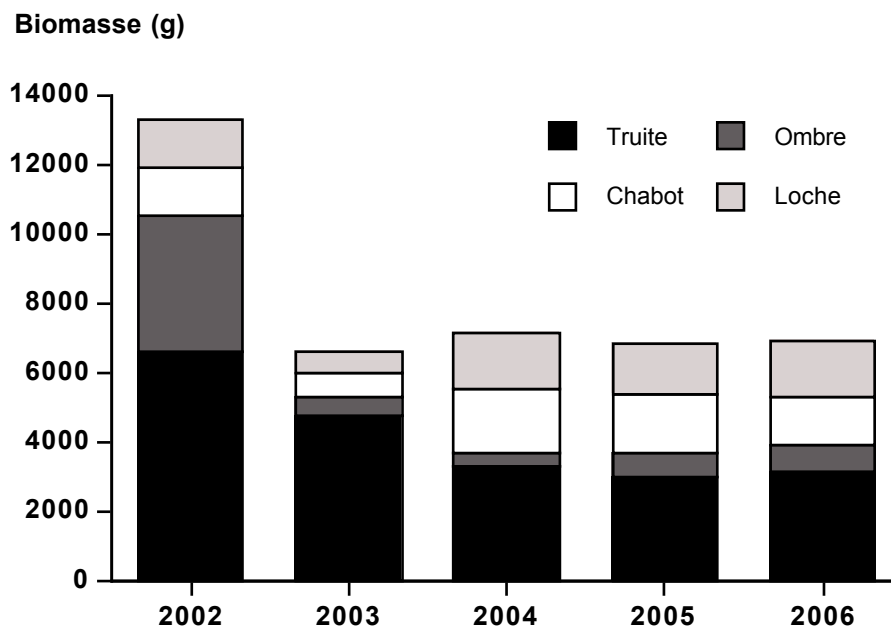


Figure 3: Evolution des biomasses des espèces cibles dans le secteur impacté n°1 entre 2002 (débit normal) et 2006.

Espèces	Nombre d'individus				
	23/04/02 débit normal	06/05/03 débit réservé	21/04/04 débit réservé	10/05/05 débit réservé	19/04/06 débit réservé
Truite commune	162	103	74	65	108
Ombre	52	39	22	18	18
Chabot	126	80	108	124	112
Anguille	3	2	-	1	-
Petite lamproie	3	3	17	8	3
Loche franche	37	13	22	25	26
Gardon	-	-	-	-	-
Chevaine	-	-	-	-	-
Vairon	-	-	1	-	2
Goujon	8	-	-	-	-
Perche	-	-	-	-	-
Brochet	-	-	-	-	-
Epinoche	-	-	-	-	-
Tanche	1	-	-	-	-
Truite arc-en-ciel	-	(95)	(8)	-	--
Total	391	240	244	241	269

Tableau 3 : Evolution des nombres d'individus capturés dans le secteur impacté n°2 entre 2002 (débit normal) et 2006.

Espèces	Biomasse (g)				
	23/04/02 débit normal	06/05/03 débit réservé	21/04/04 débit réservé	10/05/05 débit réservé	19/04/06 débit réservé
Truite commune	8490	7002	4442	3868	4920
Ombre	7726	4912	2317	2311	2160
Chabot	888	646	761	803	717
Anguille	1957	1720	-	260	-
Petite lamproie	12	12	79	24	11
Loche franche	374	68	198	215	296
Gardon	-	-	-	-	-
Chevaine	-	-	-	-	-
Vairon	-	-	4	-	9,2
Goujon	267	-	-	-	-
Perche	-	-	-	-	-
Brochet	-	-	-	-	-
Epinoche	-	-	-	-	-
Tanche	82	-	-	-	-
Truite arc-en-ciel	-	(4790)	(831)	-	-
Total	19714	14360	7801	7481	8113

Tableau 4 : Evolution des biomasses des espèces capturées dans le secteur impacté n°2 entre 2002 (débit normal) et 2006.

Secteur impacté n°2, aval pont de chemin de fer (tableaux 3 et 4)

Comme ce fut le cas dans le secteur n°1, les populations de truites et d'ombres sont en rapide régression immédiatement après la mise en service de la centrale hydroélectrique. Par rapport à la situation de référence en 2002, la biomasse de la population de truites baisse de 18% en 2003 et celle des ombres de 56%. Comme dans le secteur n°1, l'année 2003 est marquée par la présence accidentelle dans le milieu d'étude de truites arc-en-ciel qui se seraient échappées de la pisciculture de Mirwart. La biomasse totale de la population du secteur n°2 régresse de 27% si on ne prend pas en considération les truites arc-en-ciel.

En 2004, les populations sont toujours en forte régression. La biomasse en truites diminue de 27% par rapport à 2003 et de 48% par rapport à la situation de référence. La biomasse en ombres diminue de 53% par rapport à 2003 et de 70% par rapport à la situation de référence. Contrairement à ce que l'on avait observé dans le secteur n°1, on n'observe pas d'augmentation significative de la biomasse en loches et chabots dans le secteur n°2.

En 2005, la régression se poursuit, en biomasse et en nombre d'individus, mais beaucoup plus faiblement. Par rapport à la situation de référence, la biomasse des truites a diminué de 54% et celle des ombres de 70%, tandis que la biomasse totale du secteur n°2 a chuté de 52% (même valeur que pour le secteur n°1). Le nombre d'individus a chuté de 38% par rapport à 2002.

En 2006, le seul changement par rapport à 2005 est l'augmentation sensible du nombre et de la biomasse des truites. Les autres espèces sont quasi identiquement représentées par rapport à 2005. Par rapport à la situation initiale en 2002, la perte de biomasse en truites s'élève à 42%, la perte de biomasse en ombres à 72%, et la perte globale de biomasse est de 59%.

Les changements en biomasse et en nombre d'individus des espèces les plus représentatives du secteur d'étude (truites, ombres, chabots, loches) sont présentés sous la forme d'un graphique à la figure 4.

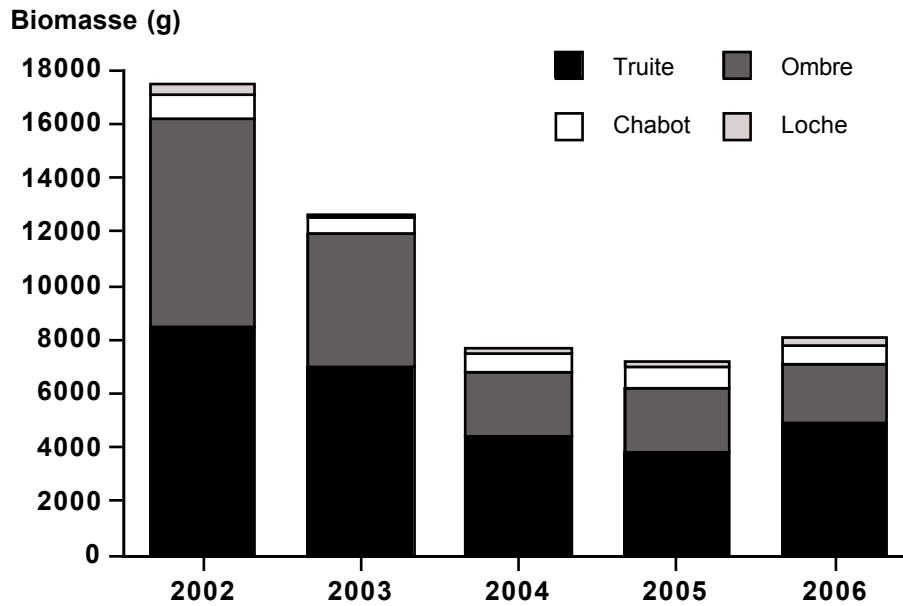


Figure 4 : Evolution des biomasses des espèces cibles dans le secteur impacté n°2 entre 2002 (débit normal) et 2006.

III.3.2.1. Biomasse par unité de surface mouillée (figures 5 et 6)

La caractérisation de l'habitat sur le terrain et l'utilisation du logiciel EVHA permet de calculer les surfaces mouillées des deux secteurs en fonction du débit dans la partie court-circuitée de la Lhomme (voir chapitre IV pour plus de détails). Cette option est intéressante pour rechercher si les différentes espèces se répartissent de la même manière dans le volume d'eau restant et pour tester l'effet du volume d'eau sur les variations d'abondance des différentes espèces. Le débit considéré pour le calcul de la surface mouillée en conditions naturelles est le débit médian ($1,15 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$). Le débit réservé ($0,220 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$) a été utilisé pour calculer la surface mouillée lors du fonctionnement de la microcentrale.

En 2003, la biomasse par unité de surface mouillée a surtout diminué pour l'ombre dans le secteur n°1 (-82% de diminution) et dans une moindre mesure dans le secteur n°2 (-23%). Par contre, la biomasse par unité de surface n'a pas changé pour la truite. En 2004, la biomasse par unité de surface continue à régresser pour l'ombre dans les deux secteurs tandis qu'une première diminution sérieuse est observée pour la truite dans les deux secteurs (-36%). Par contre, la biomasse par

unité de surface des chabots et des loches est en forte augmentation dans le secteur n°1 (par exemple, +66% pour le chabot en comparaison avec la situation naturelle).

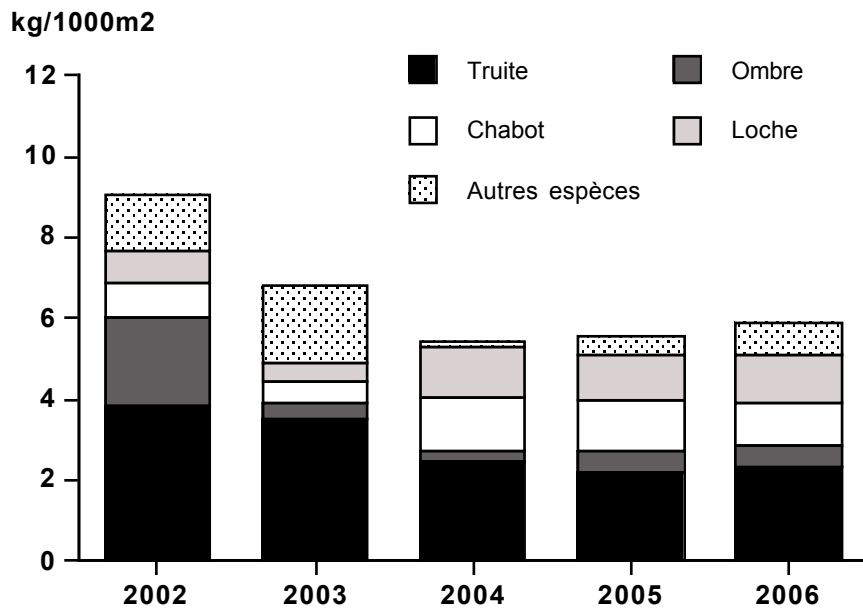


Figure 5 : Evolution de la biomasse/1000m² de surface de rivière mouillée de 2002 (débit normal) à 2006 dans le secteur impacté n°1

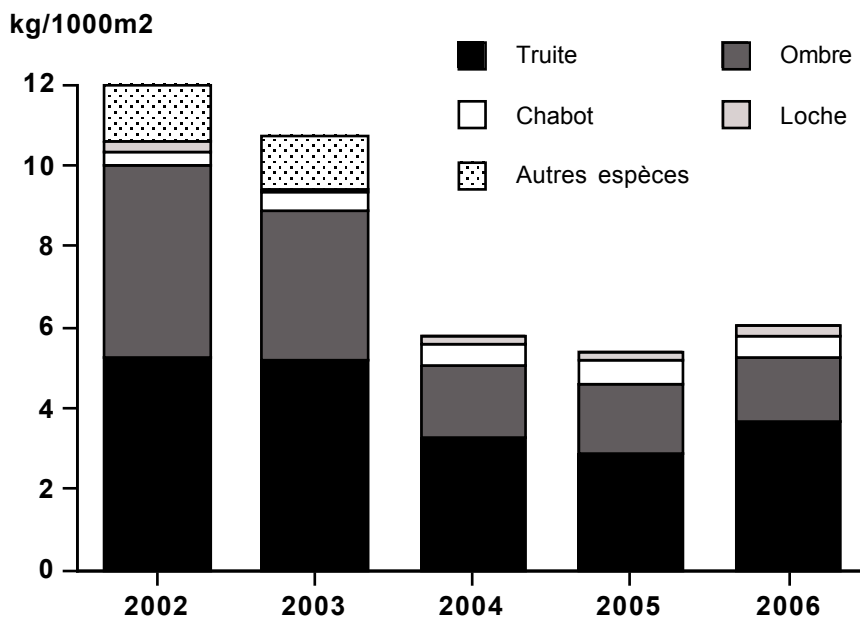


Figure 6 : Evolution de la biomasse/1000m² de surface de rivière mouillée de 2002 (débit normal) à 2006 dans le secteur impacté n°2

En 2005, les changements sont très limités dans les deux secteurs d'étude par rapport à 2004. En 2006, la situation est quasiment identique dans le secteur n°1 par rapport à 2005. Mais, dans le secteur n°2, on observe une sensible augmentation de la biomasse par surface mouillée chez la truite. En comparaison avec la situation initiale, les résultats obtenus en 2006 sont dans le secteur n°1: truites : -39%, ombres : -76%, , toutes espèces : -35% et dans le secteur n°2 : truites : -30%, ombres : -66%, toutes espèces : -50%.

III.3.2.1. Structure du peuplement

Le débit réservé a provoqué un important changement du rapport d'abondance en biomasse entre les différentes espèces les plus représentatives du milieu (figures 7 et 8). Ce phénomène est le plus flagrant dans le secteur n°1 où la chute démographique de l'ombre est associée à une augmentation de la présence de la loche et du chabot. Par contre, la proportion de la truite reste relativement stable d'une année à l'autre.

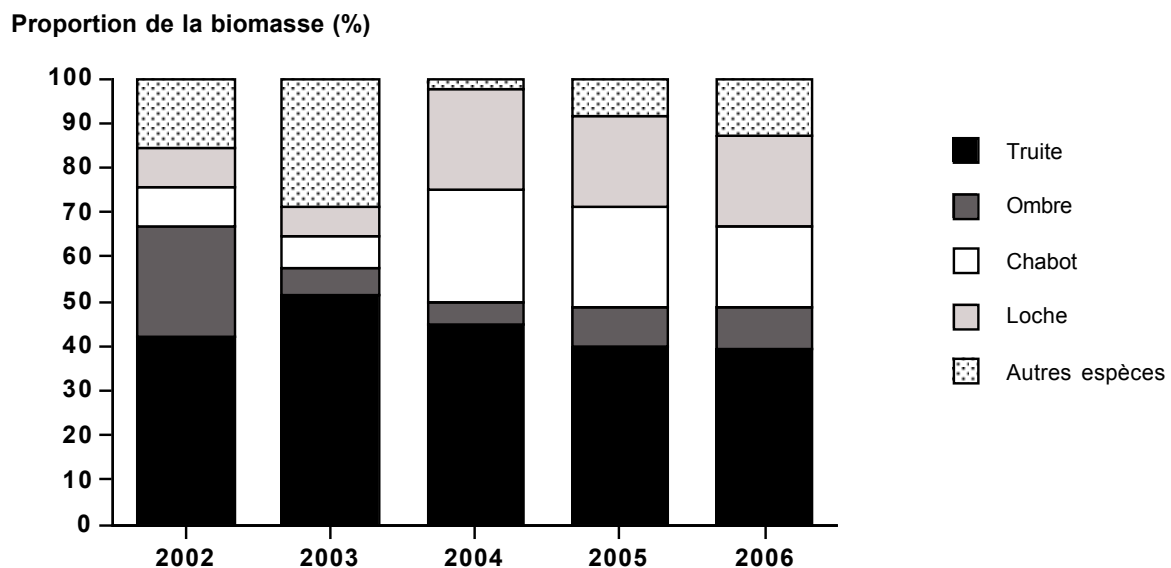


Figure 7 : Evolution des proportions d'abondance des espèces (en biomasse) entre 2002 (débit normal) et 2006 dans le secteur impacté n°1

Dans le secteur n°2, l'équilibre ombre/truite du départ s'est modifié en la défaveur de l'ombre qui est moins représenté. Dès 2003, la proportion de loches et de chabots a augmenté de manière assez sensible.

Proportion de la biomasse (%)

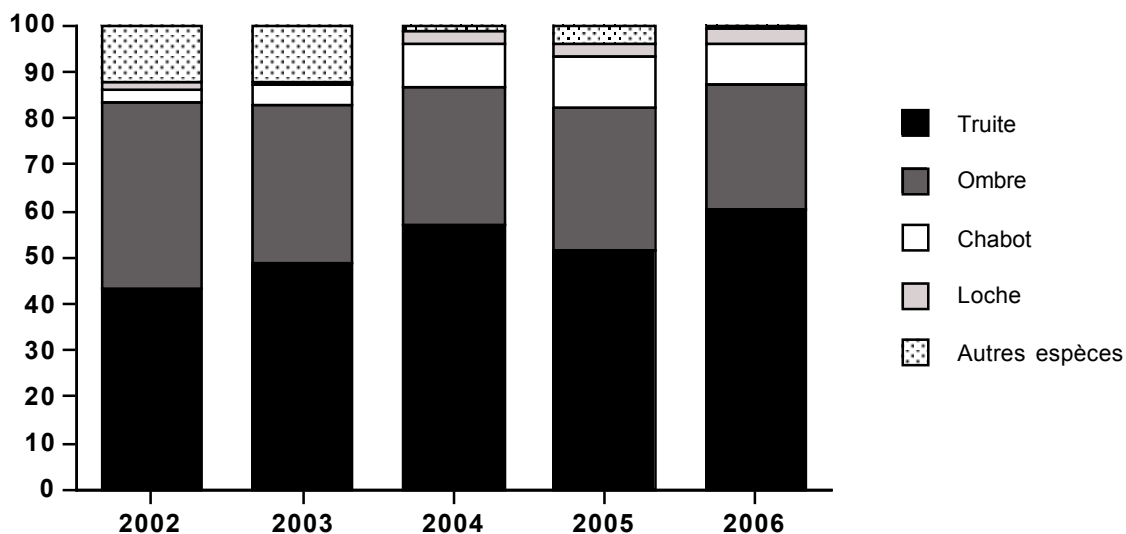


Figure 8 : Evolution des proportions d'abondance des espèces (en biomasse) entre 2002 (débit normal) et 2006 dans le secteur impacté n°2

III.3.2.2. Structure de la population, effet sur la taille des individus (figures 9 et 10)

Cas de l'ombre

Avant l'exploitation de la microcentrale, la distribution par classes de tailles de l'ombre commun (addition des secteurs n°1 et n°2) était bimodal : présence de jeunes de l'année précédente appelés 1+, plus quelques jeunes de l'année 0+ et une dominance des classes >1+ (figure 9).

De 2003 à 2004, le nombre de grands individus a largement diminué. En 2005, la distribution est très discontinue, avec une dominance de la classe de taille 1+. En 2006, la situation est proche de celle de 2005, avec une dominance d'individus 1+ et très peu d'adultes.

La taille moyenne des ombres a diminué d'une année à l'autre et a varié de 214mm en 2002 (situation naturelle) à 175mm en 2006. Le test de Kruskal-Wallis (Test statistique non-paramétrique utilisé lorsqu'il faut décider si k échantillons indépendants issus d'une petite population sont statistiquement différents) indique

que la taille des ombres est significativement différente d'une année à l'autre entre 2002 et 2006 ($P < 0.0001$; $H = 25.275$).

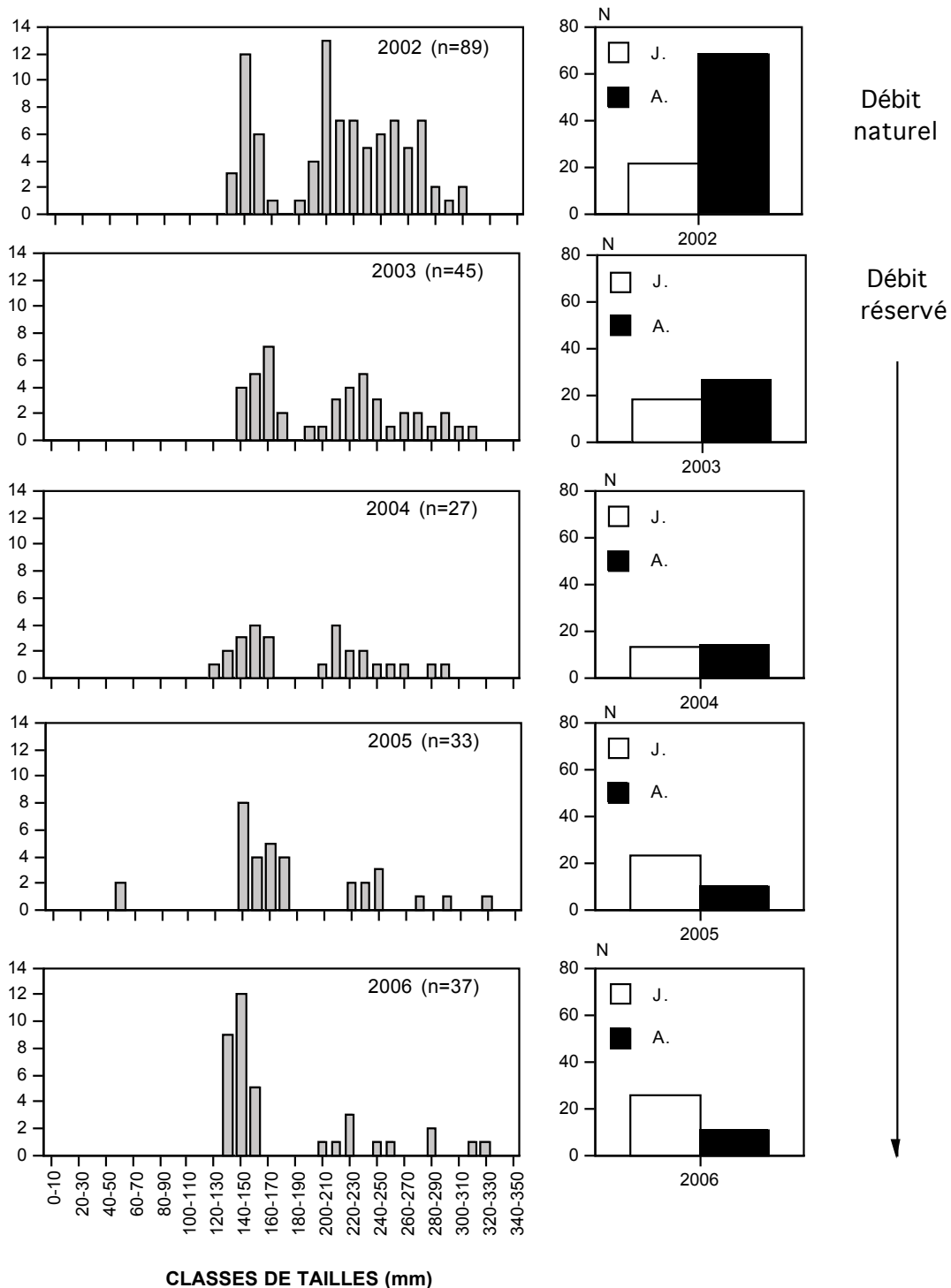


Figure 9 : Evolution de la distribution par classes de tailles de l'ombre commun (*Thymallus thymallus*) entre 2002 et 2006 (graphiques de gauche) associée aux rapports des proportions entre juvéniles (J : 0+ et 1+ individus dont la taille est < 160mm) et adultes (A : >1+, individus dont la taille est >160mm) (graphiques de droite). Les résultats proviennent de la combinaison des secteurs 1 et 2.

La proportion de juvéniles (0+ et 1+, individus dont la taille est < 160mm) par rapport aux adultes (>1+) a varié régulièrement entre 2002 et 2006 et s'est progressivement inversée. En effet, alors que les adultes étaient plus nombreux en 2002 et 2003, le ratio adulte/juvenile est équilibré en 2004, et tourne à l'avantage des juvéniles en 2005 et 2006 (figure 9).

Cas de la truite

En conditions naturelles de débit, la distribution par classes de tailles des truites (addition du secteur n°1 et n°2) était unimodale (figure 10).

En 2003, la distribution devient bimodale et le nombre d'individus dans chaque classe de tailles est généralement en diminution. En 2004, la distribution est plus lisse et on n'observe plus de dominance évidente d'un groupe de taille. En 2005 et en 2006 la distribution est unimodale avec une dominance évidente des truites 1+.

De 2002 à 2006 la taille moyenne de la population de truites est passée de 156mm à 130mm. Le test de Kruskal-Wallis (Test statistique non-paramétrique utilisé lorsqu'il faut décider si k échantillons indépendants issus d'une petite population sont statistiquement différents) indique une différence significative de la taille moyenne entre les années ($P < 0.0001$; $H = 93,246$).

Comme ce fut le cas pour l'ombre, la proportion des juvéniles (0+ et 1+, individus dont la taille est < 150mm) par rapport aux adultes (>1+, individus dont la taille est >150mm) a fortement varié entre 2002 et 2006. En 2002 et 2003, la proportion d'adultes est supérieure à celle des juvéniles. En 2004, le ratio est proche de 1. En 2005, le phénomène s'inverse et les juvéniles sont plus nombreux que les adultes. En 2006, ce même phénomène s'amplifie puisque le nombre de juvéniles est 2,5 fois plus élevé que le nombre d'adultes.

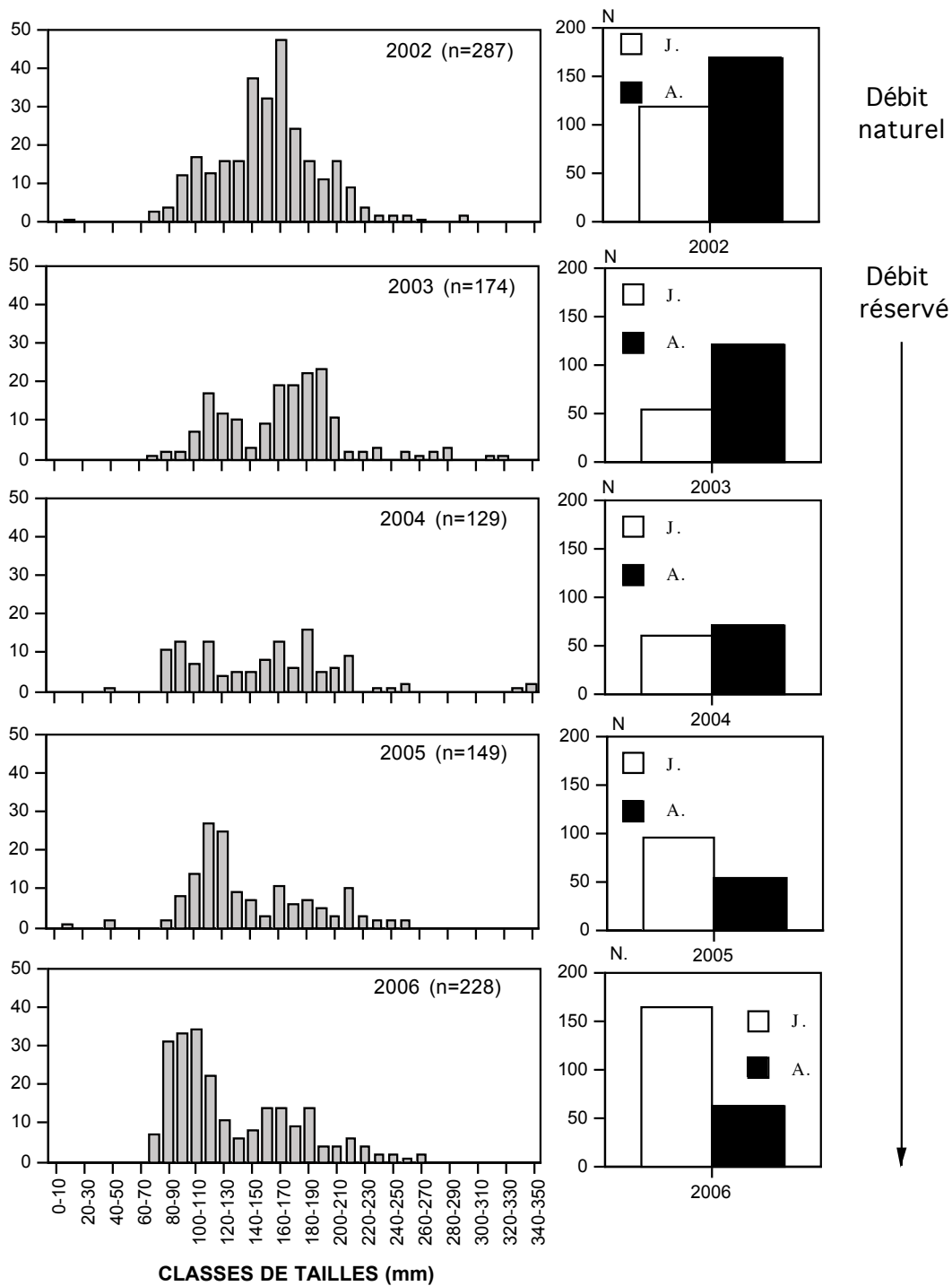


Figure 10 : Evolution de la distribution par classes de tailles de la truite commune (*Salmo trutta*) entre 2002 et 2006 (graphiques de gauche) associée aux rapports de proportions entre juvéniles (J : 0+ et 1+, individus dont la taille est < 150mm) et adultes (A : >1+, individus dont la taille est > 150mm) (graphiques de droite). Les résultats proviennent de la combinaison des secteurs impactés 1 et 2.

III.3.2.3. Inventaires effectués dans un secteur témoin

Le 22 avril 2004, le 11 mai 2005 et le 20 avril 2006, nous avons réalisé un inventaire dans un secteur à débit naturel, et situé environ 1km en aval du site court-circuitée par le fonctionnement de la microcentrale. Les résultats de ces inventaires sont présentés au tableau 5.

Espèces	Nombre			Biomasse		
	22/04/04	11/05/05	20/04/06	22/04/04	11/05/05	20/04/06
Truite commune	110	116	115	6969	8844	5937
Ombre	36	38	28	5129	6142	2939
Chabot	128	123	84	599	718	422
Anguille	1	-	1	666	-	950
Petite lamproie	5	2	-	25	7	-
Loche franche	-	3	-	-	28	-
Gardon	-	-	-	-	-	-
Chevaine	-	-	-	-	-	-
Vairon	-	1	-	-	6	-
Goujon	-	-	-	-	-	-
Perche	-	-	-	-	-	-
Brochet	-	-	-	-	-	-
Tanche	-	-	-	-	-	-
Truite arc-en-ciel	(3)	(2)	-	(240)	(121)	-
Total	283	285	228	13628	15865	10248

Tableau 5 : Evolution, en nombres d'individus et en biomasse des espèces capturées dans le secteur témoin en 2004, 2005 et 2006

Il apparaît qu'entre 2004 et 2005, la situation est particulièrement stable en nombre d'individus dans le secteur étudié. Par contre, la biomasse des truites augmente de 27% et celle des ombres de 20%, ce qui est très différent de ce qui a été observé dans les deux secteurs court-circuités. En 2006, les conditions de pêches sont très difficiles (débit élevé) et on observe une diminution globale des captures (-25% de biomasse par rapport à la première pêche en 2004). Toutefois, la biomasse reste supérieure de 26 à 30% par rapport à celle des secteurs court-circuités.

III.3.2.4. Evolution des distributions par classes de tailles dans le secteur témoin

Cas de l'ombre

Contrairement à ce qui avait été observé dans la Lhomme court-circuitée, dans le secteur témoin, la distribution par classes de tailles des ombres reste similaire de 2004 à 2006 (figure 11). Les adultes sont toujours dominants en nombre par rapport aux juvéniles et on n'observe pas d'inversion de cette tendance entre 2004 et 2006 comme ce fut le cas dans la Lhomme court-circuitée (cf figure 9). La taille moyenne des ombres est de 165mm en 2004, 166mm en 2005 et 146mm en 2006.

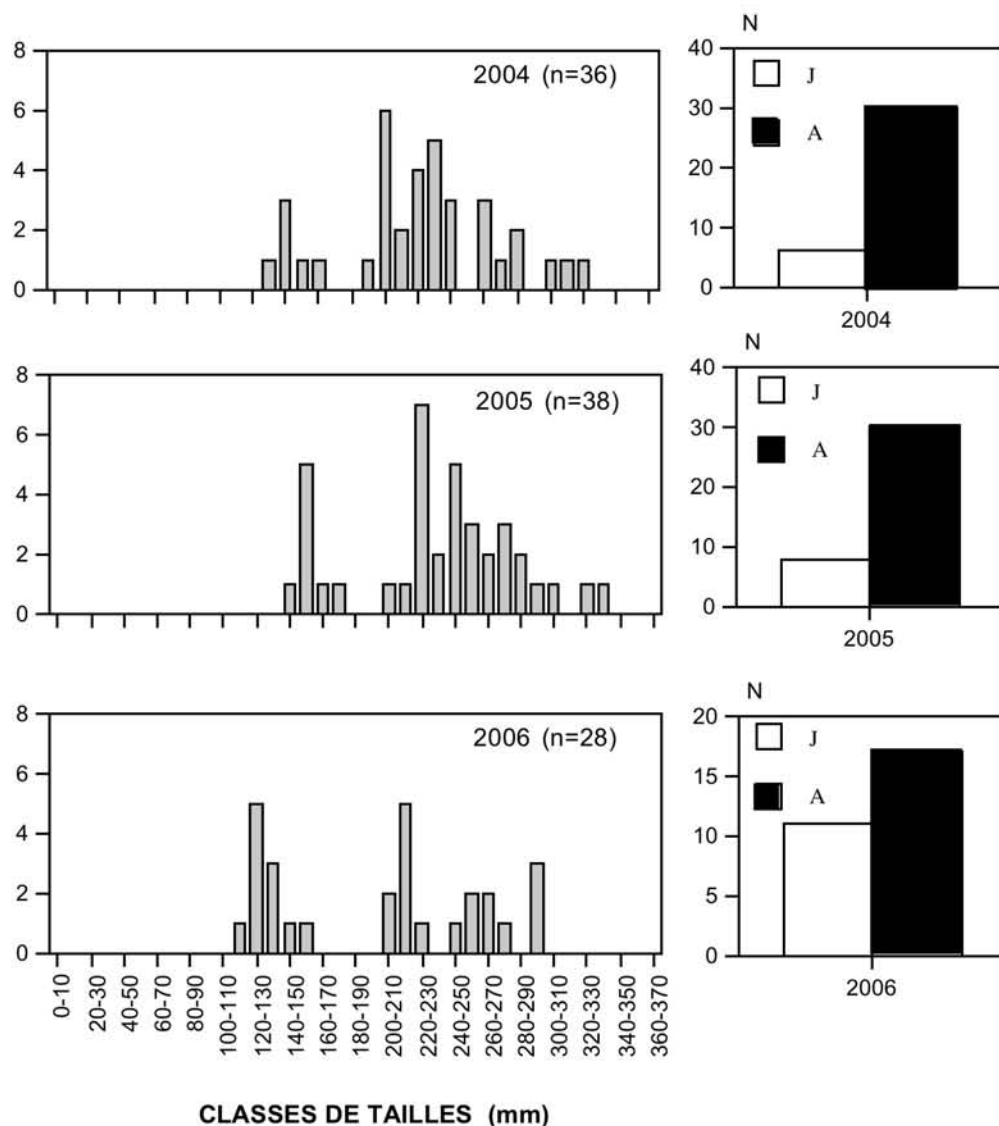


Figure 11 : Evolution de la distribution par classes de tailles de l'ombre commun (*Thymallus thymallus*) dans le secteur témoin entre 2004 et 2006 (graphiques de gauche) associée aux rapports de proportions entre juvéniles (J : 0+ et 1+, <160mm) et adultes (A : >1+, >160mm) (graphiques de droite).

Cas de la truite

La distribution par classes de tailles chez la truite est également homogène de 2004 à 2006 et le nombre d'adultes est toujours supérieur à celui des juvéniles (figure 11). Ce résultat contraste également avec ce qui avait été observé dans la Lhomme court-circuitée au cours de ces mêmes années (cf figure 10) durant lesquelles les juvéniles étaient devenus progressivement plus abondants que les adultes. La taille moyenne des truites est de 225mm en 2004, 230 mm en 2005 et 200 mm en 2006.

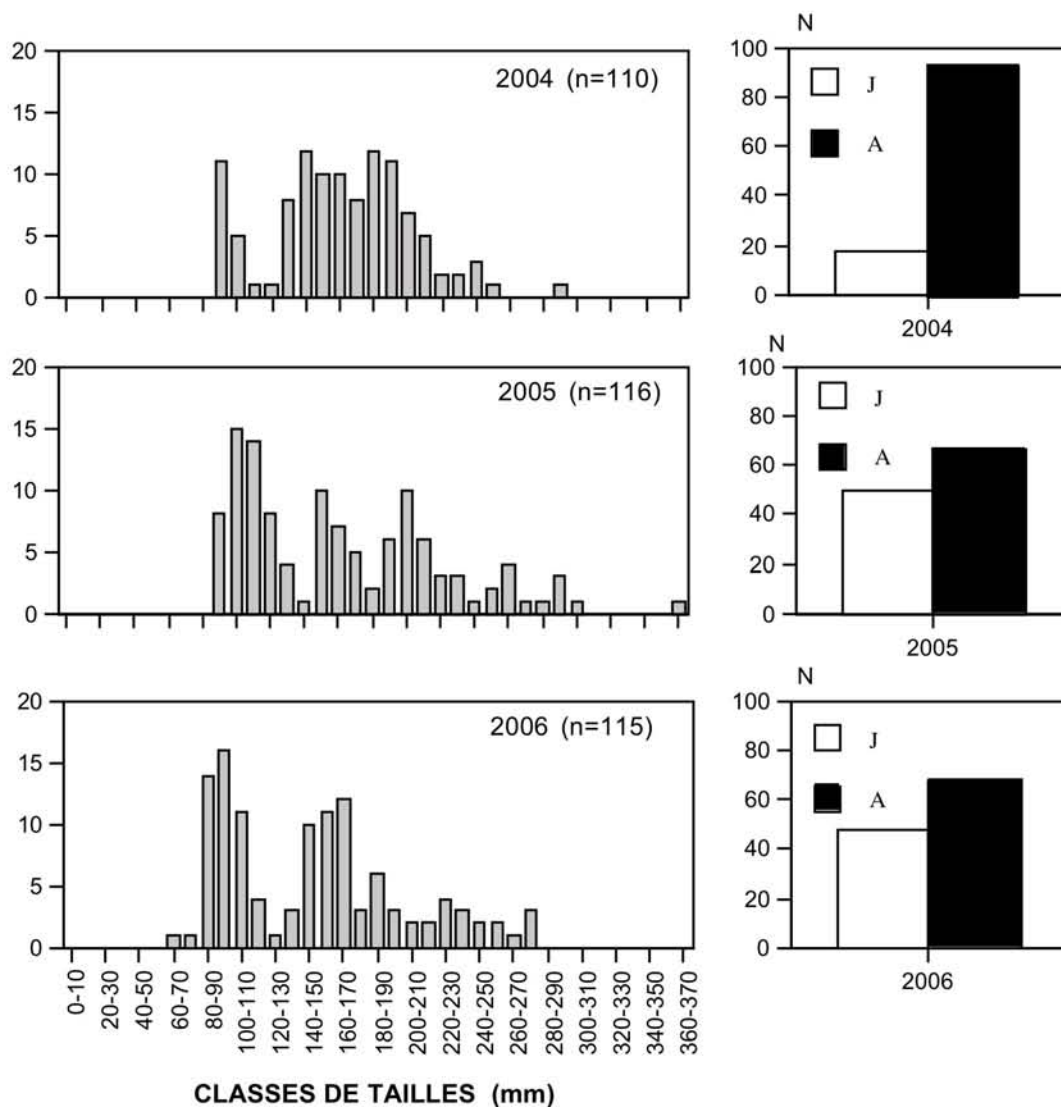


Figure 11 : Evolution de la distribution par classes de tailles de la truite commune (*Salmo trutta*) dans le secteur témoin entre 2004 et 2006 (graphiques de gauche) associé aux rapports de proportions entre juvéniles (J : 0+ et 1+, <150mm) et adultes (A : >1+, >150mm) (graphiques de droite).

III.3. Conclusions

Les recensements effectués de 2002 à 2006 montrent très clairement les effets du passage d'un débit naturel à un débit réduite jusqu'à un débit réservé sur les populations de poissons de la Lhomme. Les effets les plus significatifs peuvent être résumés comme suit :

- Une baisse rapide de la biomasse totale est observée dès les premiers mois de passage au débit réservé au printemps 2003. Ensuite, une deuxième diminution de biomasse a été observée en 2004, suivie d'une stabilisation globale de la biomasse en 2005 et 2006. Au terme de l'étude, la baisse de biomasse est d'environ 50% dans les deux secteurs d'études. Les pêches réalisées dans le secteur témoin montrent clairement que ces changements sont propres au secteur perturbé.
- Les pertes en biomasse sont variables selon les espèces et sont beaucoup plus importantes pour l'ombre que pour la truite. Sur la totalité du secteur court-circuité (1200m) nous estimons la perte totale de biomasse en ombres à **34,8 kg** et la perte globale de biomasse en truites à **28,2 kg**. La perte totale en poissons est estimée à **77,6 kg**.
- Dans le secteur impacté n°1, les loches et les chabots profitent d'une diminution de la prédation par les truites et leur présence dans la population est en augmentation. Dans ce secteur, les proportions de présence des espèces ont fortement varié dès la mise en place du débit réservé. Dans le secteur impacté n°2, les changements de structure de peuplement sont beaucoup plus tamponnés, probablement parce que la profondeur moyenne y est restée plus importante que dans le secteur n°1 (le secteur est plus étroit, voir chapitre IV). Au sein d'un même cours d'eau, à quelques dizaines de mètres de distance, les effets du débit réservé peuvent donc changer d'un mésohabitat à un autre. On peut donc facilement imaginer que d'une rivière à l'autre, la mise en place d'un débit réservé pourrait entraîner des effets très différents.
- La biomasse par unité de surface mouillée diminue après l'installation du débit réservé. Cette observation est primordiale et prouve que, ramenée à une

même unité de surface mouillée, la qualité de l'habitat diminue en condition de débit réservé. Il n'existe donc pas de relation linéaire entre la quantité d'eau et la qualité de l'habitat (cf. chapitre IV).

- Le passage au débit réservé a entraîné une diminution de la proportion d'adultes par rapport aux juvéniles chez les salmonidés. Chez l'ombre commun, le nombre de juvéniles n'est pas en augmentation et c'est uniquement le nombre d'adultes qui diminue. Chez la truite commune, les résultats pour l'année 2006 suggèrent qu'une augmentation du nombre de juvéniles est associée à la diminution du nombre d'adultes. Les pêches réalisées dans le secteur témoin montrent clairement que ces changements sont propres au secteur perturbé.
- La plupart des changements observés dans le peuplement de poissons après la mise en place du débit réservé étaient potentiellement prévisibles par des techniques de modélisation de la qualité d'habitat en fonction du débit comme nous allons l'étudier dans le chapitre suivant.

IV. ANALYSE DE LA RELATION HABITAT PISCICOLE-DEBIT PAR MODELISATION

IV.1. Introduction

Les résultats présentés au chapitre III ont clairement montré que la productivité piscicole de la partie court-circuitée de la Lhomme est diminution depuis la mise en service de la microcentrale hydroélectrique. Cette perte de productivité est à mettre en relation avec le turbinage qui provoque une perte de surface mouillée utilisable par les poissons et donc une perte de surface et de qualité d'habitat.

Nous avons étudié en détail ce phénomène à l'aide de « EVHA », un protocole de caractérisation de l'habitat associé à un logiciel informatique qui a été développé par le CEMAGEF de Lyon (voir annexes pour une vue détaillée du protocole). Le concept principal du logiciel EVHA est de coupler un modèle hydraulique à un modèle biologique. Le premier décrit physiquement la rivière, le deuxième traduit sa capacité d'accueil pour la plupart des espèces de poissons en fonction du débit. Ainsi, les simulations donnent, pour chaque débit envisagé, l'habitat potentiel du poisson pour des tronçons entiers de rivière. Ce logiciel est officiellement reconnu par l'état français pour les études d'incidence « habitat-poisson » en débit réservé.

Les deux secteurs d'inventaire situés en débit réservé et le secteur témoin ont été caractérisés selon la méthode EVHA en avril 2004, et les simulations ont été réalisées en juin 2004 au CEMAGREF de Lyon. Les analyses ont été effectuées sur la truite, l'ombre, le chabot et la loche.

IV. 2. Méthode de caractérisation et de modélisation de l'habitat

Les trois secteurs ont été caractérisés en utilisant le protocole de mesure EVHA basé sur la Méthode des microhabitat décrite dans l'Annexe 7 et développée par l'US Fish & Wildlife Service à Fort Collins (Colorado) au début des années 1980. Elle consiste à coupler une information physique et une information biologique sur une portion de rivière. L'information physique doit permettre de découper l'aire d'étude

en surfaces élémentaires homogènes pour lesquelles les variables d'habitat retenues seront connues. Le modèle biologique permet de pondérer ces surfaces entre 0 et 1 en fonction des variables d'habitat rencontrées et en fonction de l'espèce et du stade de développement du poisson considéré. Répétés pour toute une gamme de débits, ces calculs permettent de tracer une courbe des Surfaces Pondérées Utiles (SPU) en fonction du débit. Et l'analyse de cette courbe permet de se faire une idée de l'impact d'une modification du débit sur la capacité physique d'accueil de la rivière vis-à-vis de quelques espèces de poissons cibles. Dans les versions actuelles d'EVHA, les variables d'habitat prises en compte sont la hauteur d'eau, la vitesse du courant, la granulométrie des matériaux de fonds, et l'information biologique est donnée par les classiques " courbes de préférence " qui donnent l'affinité (notée entre 0 et 1) de chaque stade de développement de l'espèce de poisson considéré, vis-à-vis de chacune de ces 3 variables considérées comme indépendantes. La pondération résultante est donc le produit de ces trois notes d'affinités, souvent appelées " coefficients de préférence ".

Le site internet du Cemagref est accessible pour plus de détails sur le protocole de travail, sur les limites de la méthodologie, et pour télécharger gratuitement le logiciel : <http://www.lyon.cemagref.fr/bea/lhq/evha.html> (un document explicatif illustré est également disponible en annexes de ce rapport). Lors de ces mesures, la microcentrale était en turbinage et le débit dans la Lhomme court-circuitée est resté constant, ce qui est préférable pour l'analyse des résultats.

IV.3. Résultats

IV.3.1. Analyse des chroniques de débits de la Lhomme

Il n'existe pas d'enregistrement limnigraphique sur la Lhomme à Poix Saint-Hubert. Le limnigraphe de la Division de l'Eau le plus proche est situé à Grupont, 8 km en aval de notre site d'étude. D'après la Division de l'Eau (DGRNE), le débit de la Lhomme à Grupont doit être multiplié par 0,7 pour obtenir le débit de la Lhomme à Poix Saint-Hubert. Les analyses de chroniques de débit ont donc été réalisées sur cette base en utilisant les données historiques de 1994 à 2004 (Site internet Aqualim, Division de l'eau).

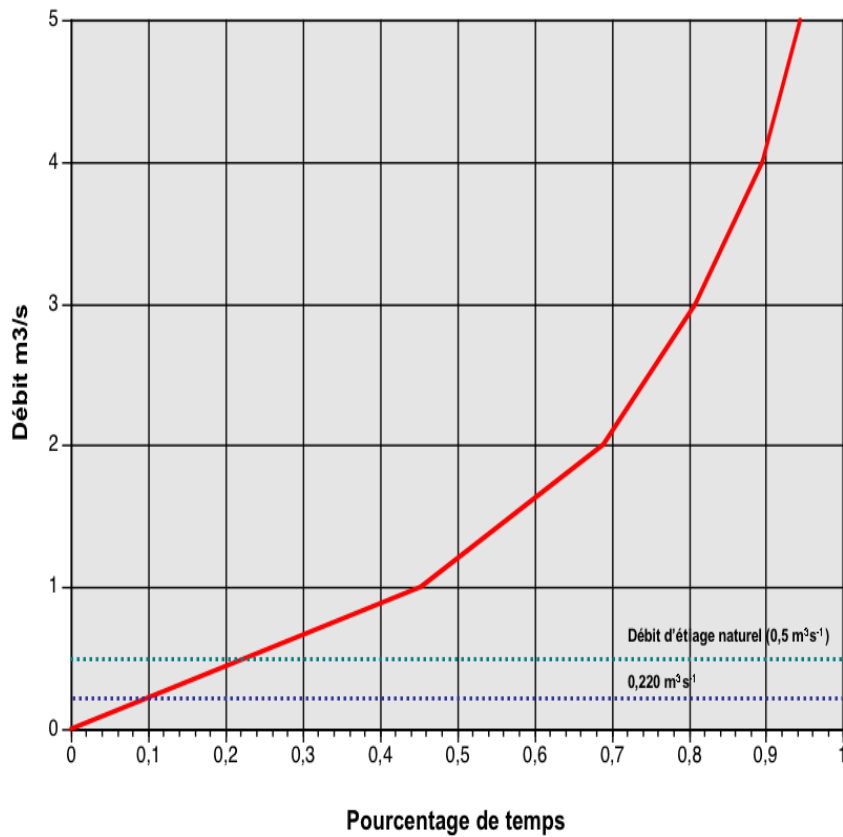
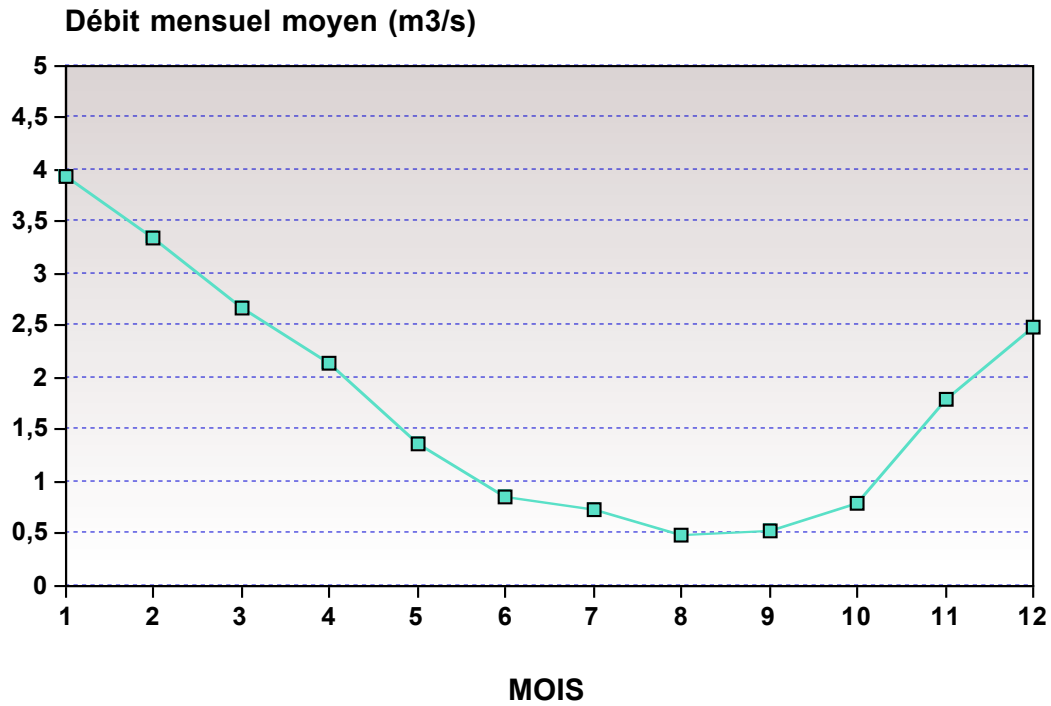


Figure 1A Débits mensuels moyens estimés de la Lhomme à Poix Saint-Hubert

Figure 1B : Débits (moyens journaliers) classés de la Lhomme à Poix saint Hubert entre 1994 et 2004. Les débit > 5 m³/s ne sont pas représentés.

La figure 1A montre l'évolution des débits mensuels moyens de la Lhomme à Poix Saint-Hubert de 1994 à 2004. Il apparaît que la moyenne des débits est la plus importante en janvier et la plus faible au mois d'août. Notons que durant les mois de juin à octobre, le débit mensuel moyen est inférieur à $1 \text{ m}^3/\text{s}$. Le débit moyen 1994-2004 est de $1.78 \text{ m}^3/\text{s}$.

La détermination du débit de crue peut être effectuée par le calcul suivant :

$$1 \times \text{module} \times \text{écart type} \times 2 = 5,7 \text{ m}^3/\text{s}$$

Sur cette base, on peut dire que de 1994 à 2004, 142 jours de crue ont été observés, soit 3,7% du temps si l'on considère que la microcentrale n'existait pas entre 2002 et 2004. Des crues ont été observées chaque année sauf en 1996. Un débit maximum 32 jours a été observé en 1999.

La détermination du débit d'étiage naturel peut être effectué en reprenant la moyenne des débits historiques entre juillet et septembre, ce qui donne une valeur de

$$0,5 \text{ m}^3/\text{s}$$

Cela signifie que le débit réservé fixé à $0,220 \text{ m}^3/\text{s}$ est plus de deux fois inférieur au débit d'étiage naturel de la Lhomme à Poix Saint-Hubert.

Une simple analyse de la chronique de débit montre qu'en **régime naturel**, entre 1994 et 2004 (figure 1B), un débit égal ou inférieur au débit réservé légal de $0,220 \text{ m}^3/\text{s}$ a été observé en moyenne durant **10,6 %** du temps ou **38,7 jours/an**. Un débit d'étiage naturel ($0,5 \text{ m}^3/\text{s}$) a été observé durant **23,8%** du temps ou **86,5 jours/an**.

Dans le cadre de l'étude d'incidence, il est essentiel de pouvoir estimer la durée de prolongement de l'étiage naturel et du débit réservé de 220 l/s , sachant que :

- le débit de la Lhomme doit être d'au moins 450 l/s pour que les turbines puissent être mises en fonction avec un débit réservé de 220 l/s ;

- le débit de la Lhomme doit être au moins de 730 l/s pour que les turbines puissent être mises en fonction avec un débit réservé de 500 l/s (débit d'étiage naturel).

Ainsi, sur la base des données historiques des débits (1994-2004), on peut s'attendre à ce qu'un débit < 220 l/s (débit réservé légal) sera observé durant **21,2%** du temps ou **77,4** jours/an, c'est-à-dire environ deux fois plus longtemps qu'en conditions naturelles sans microcentrale (38,7 jours/an). La durée du débit d'étiage naturel ($0.5 \text{ m}^3/\text{s}$) passe à **35,3%** du temps ou **127,8** jours par an, ce qui représente une augmentation de 41 jours par an.

IV.3.2. Surface mouillée en fonction du débit

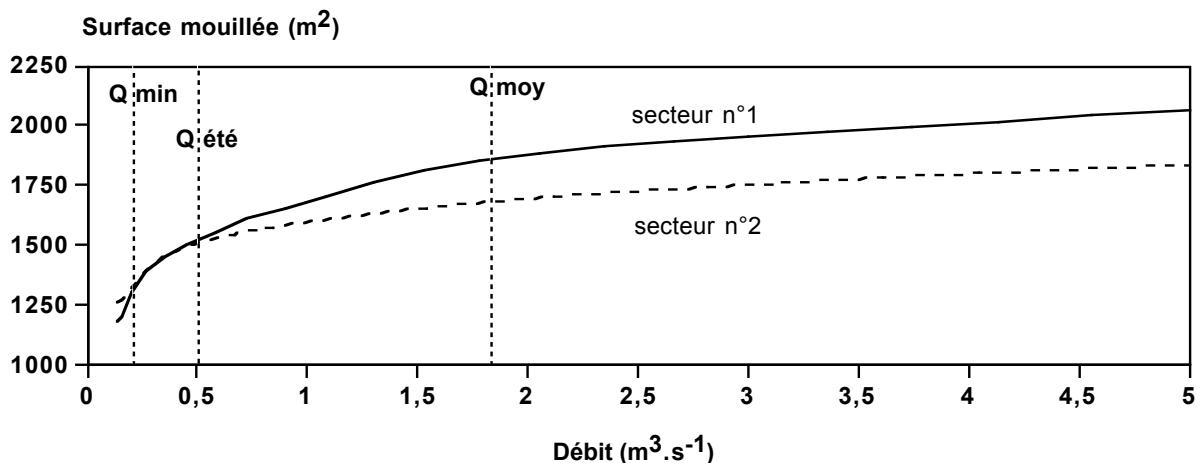


Figure 2 : Surface mouillée en fonction du débit dans les deux secteurs impactés étudiés par pêche électrique. Modélisation par EVHA.

La figure 2 montre l'évolution de la surface mouillée en fonction du débit dans les deux secteurs de pêches. Il apparaît clairement que c'est lors des débits les plus faibles que la pente des deux courbes est la plus forte. Cette analyse signifie qu'à faible débit, le turbinage influence fortement la quantité d'habitat disponible dans la partie court-circuitée de la Lhomme.

IV.3.3. Surface utilisable par les poissons en fonction du débit

Avec EVHA, nous avons modélisé la variation de surface d'habitat exploitable par quatre espèces de poissons au stade adulte (truite, ombre, chabot, loche) en

fonction du débit dans les secteurs impactés 1 et 2. La modélisation a été effectuée de $0,140 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ à $5 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$.

Secteur n°1

La figure 3 montre le résultat de la modélisation pour trois différents stades de vie de la truite commune (adulte, juvénile, alevins) dans le secteur d'étude n°1.

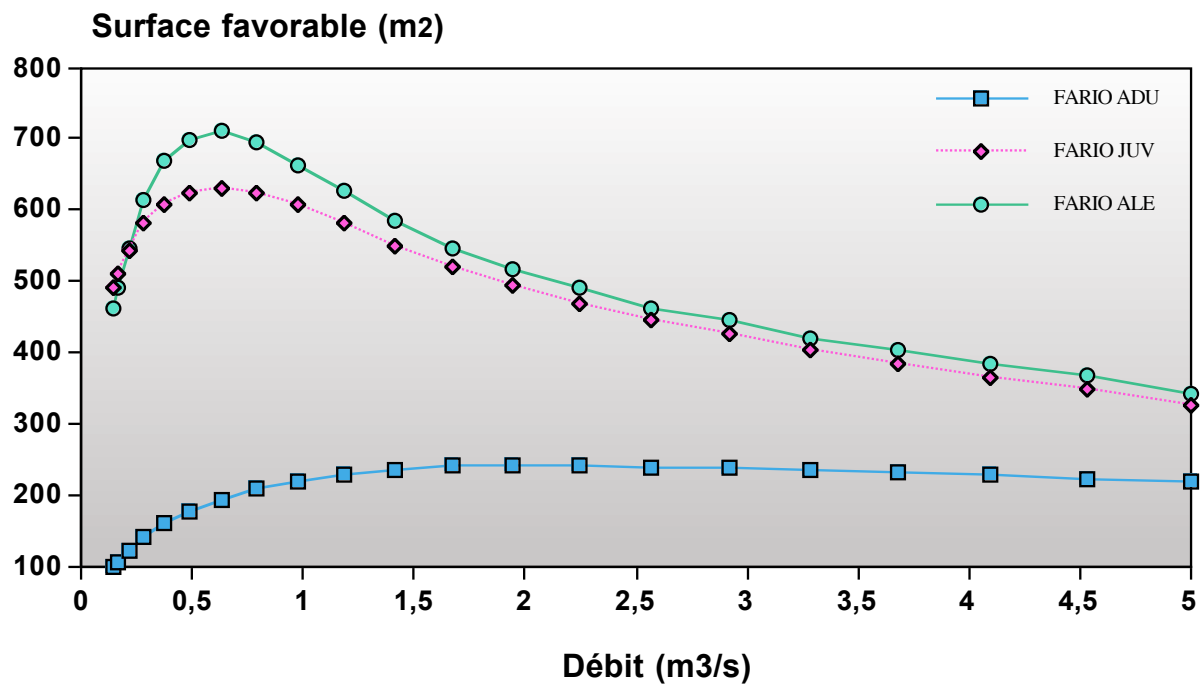


Figure 3 : Modélisation, en fonction du débit, de la surface d'habitat utilisable par la truite commune à trois stades de vie dans le secteur impacté n°1 de la Lhomme court-circuitée.

On voit clairement que pour les trois stades de vie, les très petits débits ($\leq 0,5 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$) sont synonymes de faibles quantités d'habitats disponibles. Pour la truite fario adulte, le débit qui procure le plus d'habitat favorable est situé aux alentours de $2 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. Lors de débits plus élevés, la surface habitable favorable ne varie que très peu. Les juvéniles et les alevins ont un maximum d'habitat exploitable à un débit de $0,7 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. À des débits plus élevés, la quantité d'habitat disponible pour les jeunes diminue progressivement.

La figure 4 (colonne de gauche) montre l'évolution de la surface exploitable par les stades adultes des quatre espèces représentatives du cours d'eau (truite, ombre, chabot, loche). Comme pour la truite, les débits très faibles sont synonymes de peu de surface exploitable pour le chabot et la loche. Pour l'ombre adulte, la relation entre le débit et la surface exploitable est quasi linéaire entre 0 et $3 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, ce qui indique clairement que l'espèce a besoin d'un débit relativement élevé pour subsister dans le secteur. Pour le chabot, le débit qui procure le plus d'habitat favorable est situé aux alentours de $2,3 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. Les loches ont un maximum d'habitat exploitable à un débit de $1,7 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. À des débits plus élevés, la quantité d'habitat disponible pour ces espèces diminue progressivement.

Dans le cadre de la gestion des débits réservés, il est important de connaître la différence de surface exploitable par les différentes espèces de poissons entre la situation en débit réservé (220 l/s) et la situation en débit d'étiage naturel (500 l/s). Les résultats de ces calculs sont présentés dans le tableau 1 pour le secteur d'étude n°1.

Débit	Truite adulte	Truite juvénile	Truite alevin	Ombre	Chabot	Loche
500 l/s	180 m ²	622 m ²	699 m ²	3,25 m ²	595 m ²	943 m ²
220 l/s	124 m ²	542 m ²	547 m ²	0,6 m ²	432 m ²	735 m ²
Différence	-31%	-13%	-22%	-541%	-27%	-22%

Tableau 1 : Modélisation de la surface d'habitat disponible au débit d'étiage naturel (500 l/s) et au débit réservé de 220 l/s dans le secteur impacté n°1 de la Lhomme court-circuitée.

Chez la truite, on s'aperçoit que la variation de surface d'habitat disponible entre les deux débits est la plus importante chez le stade adulte puisque la perte est de 31% entre 500 l/s et 220 l/s. Pour l'ombre, il y a très peu de surface favorable dans les deux conditions de débits, mais une très faible augmentation de débit peut agir très vite sur la surface exploitable. Ainsi, le rapport est de plus de 5 entre le débit d'étiage normal et le débit réservé. Pour le chabot et la loche franche, la perte d'habitat est respectivement de 27 et 22 % pour un débit de 500 l/s à 220 l/s.

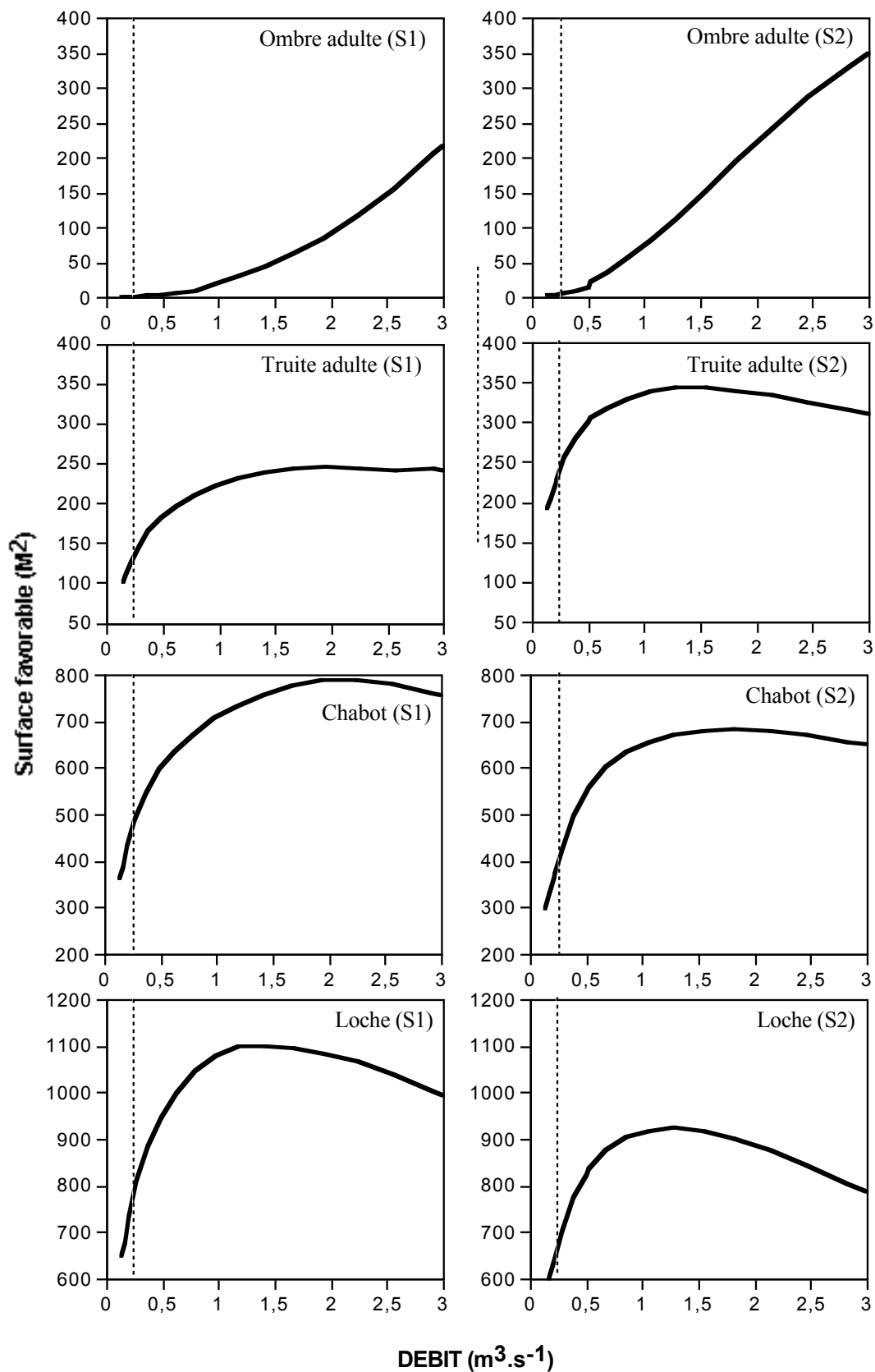


Figure 4: Modélisation (logiciel EVHA) de la surface d'habitat utilisable en fonction du débit pour la truite commune, l'ombre commun, le chabot et la loche franche dans les secteurs impactés 1 et 2.

La ligne en pointillés représente la valeur du débit réservé.

Secteur impacté n°2

Le même type d'analyse a été réalisée pour le secteur impacté n°2. La figure 5 montre le résultat de la modélisation pour trois différents stades de vie de la truite commune (adulte, juvénile, alevin).

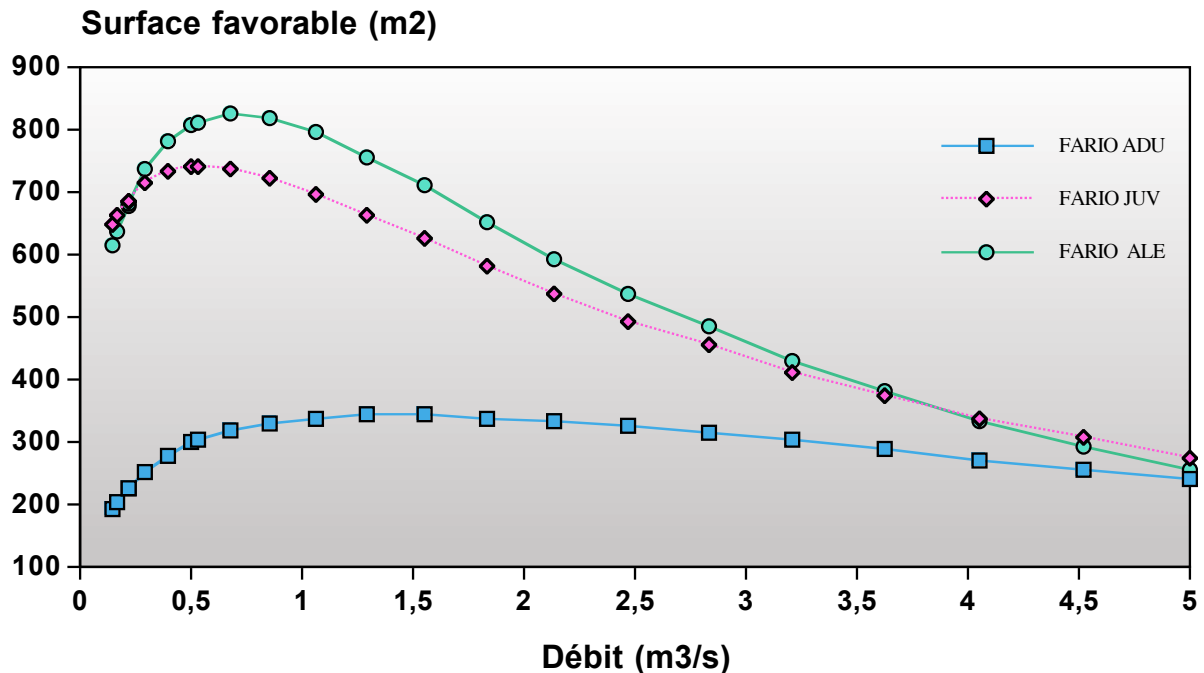


Figure 5 : Modélisation, en fonction du débit, de la surface d'habitat utilisable par la truite commune à trois stades de vie dans le secteur impacté n°2 de la Lhomme court-circuitée.

Comme dans le secteur 1, on voit clairement que pour les trois stades de vie, les très petits débits sont synonymes de faibles quantités d'habitats disponibles. Pour la truite fario adulte, le débit qui procure le plus d'habitat favorable est situé aux alentours de $1,6 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. Lors de débits plus élevés, la surface habitable diminue lentement. Les juvéniles ont un maximum d'habitat exploitable à un débit de $0,52 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ et les alevins à un débit de $0,68 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. A des débits plus élevés, la quantité d'habitat disponible diminue progressivement.

Comme c'était aussi le cas dans le secteur 1, les débits très faibles sont synonymes de peu de surface exploitable pour la truite, l'ombre, le chabot et la loche (figure 4 colonne de droite). Pour l'ombre, la relation entre le débit et la surface disponible reste quasi linéaire. Pour le chabot, le débit qui procure le plus d'habitat favorable est de $1,82 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. Les loches ont un maximum d'habitat exploitable à un

débit de $1,3 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. À des débits plus élevés, la quantité d'habitat disponible diminue progressivement.

Comme pour le secteur n°1, il est important de connaître la différence de surface d'habitat exploitable par les différentes espèces de poissons entre la situation en débit réservé (220 l/s) et la situation en débit d'étiage naturel (500 l/s). Les résultats de ces calculs sont présentés dans le tableau 2.

Débit	Truite adulte	Truite juvénile	Truite alevin	Ombre	Chabot	Loche
500 l/s	300 m ²	739 m ²	804 m ²	14,3 m ²	547 m ²	822 m ²
220 l/s	226 m ²	683 m ²	678 m ²	3,5 m ²	366 m ²	662 m ²
Différence	-24,7%	-7,6%	-15,7%	-408%	-33%	-19,5%

Tableau 2 : Modélisation de la surface d'habitat disponible au débit d'étiage naturel (500 l/s) et au réservé (220 l/s) dans le secteur impacté n°2 de la Lhomme court-circuitée.

Chez la truite, la perte est toujours la plus importante pour le stade adulte avec environ 25 % d'habitat en moins quand on passe de 500l/s à 220l/s. Les juvéniles sont beaucoup moins affectés. Pour l'ombre, il y a très peu de surface favorable dans les deux conditions de débits mais le rapport est de plus de 4 entre le débit d'étiage normal et au débit réservé. Le chabot et la loche perdent respectivement 33% et 19,5 % d'habitat quand on passe du débit d'étiage naturel au débit réservé.

IV.4. Discussion

La modélisation avec « EVHA » de l'habitat piscicole disponible dans la partie court-circuitée de la Lhomme a permis de réaliser une série d'analyses mettant en relation le débit du cours d'eau, la qualité et la quantité d'habitat disponible pour quatre espèces caractéristiques de la zone à truite/ombres (truite, ombre, chabot, loche franche) considérés à plusieurs stades de développement.

Idéalement, une telle étude devrait être réalisée préalablement à la mise en place d'une microcentrale hydroélectrique pour fixer le débit réservé qui corresponde au meilleur compromis entre un fonctionnement économiquement acceptable de la centrale et une protection satisfaisante des populations de poissons en place. Ainsi, dans le cas précis du site de Poix Saint-Hubert, les résultats de la modélisation montrent clairement que la valeur du débit réservé fixé à 220 l/s est particulièrement faible et qu'elle entraîne une chute très nette de la quantité et la qualité d'habitat disponible pour les stades adultes des espèces concernées. Le modèle montre également, qu'en conditions de débit réservé le milieu devient plus favorable pour la truite juvénile mais très défavorable pour le stade adulte. Ces prévisions théoriques ont été confirmées par les recensements effectués par pêches à l'électricité qui démontrent une chute globale de la quantité de poissons dans la partie court-circuitée de la Lhomme et un rajeunissement global de la population en truites et en ombres (voir chapitre III).

Il est essentiel de noter que les résultats obtenus par modélisation EVHA ne peuvent être considérés que strictement au niveau de chaque espèce et qu'ils ne prennent pas en considération les changements résultant des modifications des interactions biologiques, la prédation et la compétition interspécifique pour l'espace et/ou la nourriture, entre les différentes espèces présentes dans le milieu. Ainsi, l'habitat non utilisé par les petits ombres en diminution devient accessible pour le chabot qui le colonise et voit ses effectifs démographiques augmenter. Par ailleurs, la diminution de la population des truites adultes qui se nourrissent des chabots et des loches réduit la pression de prédation sur ces deux espèces dont les populations ont tendance à s'accroître. En raison de ces interactions écologiques entre les espèces de la communauté, il n'est absolument pas étonnant de constater, dans les faits, que les conditions de débit artificiellement réduit qui entraînent une diminution plus ou moins forte des truites et des ombres de grande taille favorisent le développement des espèces de petite taille et de valeur halieutique nulle comme le chabot et la loche.

Les résultats de la modélisation avec EVHA démontrent qu'en pratique, une augmentation du débit réservé de quelques dizaines de litres pourrait probablement provoquer une nette amélioration de la situation et un retour vers une situation plus proche de l'état naturel. Il pourrait s'agir d'une très intéressante perspective d'étude pour les prochaines années (voir conclusions générales).

V. ETUDE TELEMETRIQUE DE LA MOBILITE DE L'OMBRE EN PERIODE DE REPRODUCTION DANS LA LHOMME COURT CIRCUITEE

V.1. Introduction

Ce chapitre est une synthèse complète des suivis réalisés par radio-pistage sur l'ombre commun sur le site de la centrale de Poix Saint-Hubert en 2003. L'objectif du suivi était d'étudier les comportements liés à la reproduction, dans un environnement perturbé par le fonctionnement de la microcentrale.

V.2. Capture, marquage et suivi des poissons

Treize poissons (Tableau 1) ont été capturés lors de deux séances de pêche à l'électricité qui se sont déroulées le 11 février et le 18 mars 2003.

Après avoir été mesuré et pesé, chaque poisson a ensuite été anesthésié dans une solution de 2-phénoxy-éthanol (0,2 ml/l) et placé sur un support opératoire. Une incision (dont la longueur est proportionnelle au diamètre de l'émetteur) est réalisée sur la ligne médioventrale, entre les nageoires pelviennes et l'anus. L'émetteur, préalablement désinfecté à l'alcool, est délicatement inséré dans la cavité intra péritonéale. L'incision est ensuite refermée par deux à trois points de suture à l'aide d'un fil chirurgical résorbable (Catgut). La zone d'incision est désinfectée à l'isobétadine et, après quelques minutes de récupération dans un bassin d'eau bien oxygénée, chaque poisson est relâché dans le cours d'eau. Dans cette étude, nous avons utilisé des émetteurs (munis d'une antenne émettrice interne) dont le poids était compris entre 3,3 et 6 g (Tableau 1).

Les différentes zones de capture et de relâché (M1 à M5) des ombres marqués sont illustrées à la figure 1. Huit ombres ont été pêchés dans les environs de la confluence entre le canal de fuite et la Lhomme et cinq à hauteur de la micro centrale hydroélectrique. Les poissons ont été relâchés au niveau de leur site de capture, excepté les ombres 2 et 4. Capturés dans la partie terminale du canal de fuite (M3), ces derniers ont été remis à l'eau en aval de la confluence (M1) pour étudier le choix

Ombres	Sexe	Taille LF (mm)	Poids poisson (g)	Fréquence émetteur (kHz)	Poids émetteur (g)	Rapport poids (%)	Date de marquage	Période du suivi	Durée du suivi (jours)	Site de capture	Site de relâché	
1	F	261	170	40610	3,3	1,94	11/02/03	12/02/03-18/05/03	96	M3	M3	GROUPE CONFLUENCE
2	M	293	243	40701	4,8	1,98	11/02/03	12/02/03-02/03/03	19	M3	M3	
3	M	264	179	40620	3,3	1,84	11/02/03	12/02/03-29/03/03	46	M3	M3	
4	M	292	258	40630	3,3	1,28	11/02/03	12/02/03-31/05/03	109	M3	M3	
5	M	271	201	40651	3,5	1,74	11/02/03	12/02/03-11/03/03	28	M1	M1	
6	M	287	233	40711	3,5	1,50	11/02/03	12/02/03-03/04/03	51	M1	M1	
7	M	328	338	40691	6,0	1,78	11/02/03	12/02/03-15/03/03	32	M2	M2	
8	M	295	273	40642	5,0	1,83	11/02/03	12/02/03-17/02/03	6	M2	M2	
9	M	305	282	40661	5,0	1,77	11/02/03	12/02/03-11/04/03	59	M5	M5	GROUPE MICROCENTRALE
10	M	289	213	40671	5,0	2,35	11/02/03	12/02/03-11/03/03	28	M5	M5	
11	M	298	320	40681	5,5	1,72	18/03/03	20/03/03-27/04/03	39	M5	M5	
12	M	312	323	40691	6,0	1,86	18/03/03	20/03/03-31/05/03	73	M4	M4	
13	M	314	312	40611	4,0	1,28	18/03/03	20/03/03-24/03/03	5	M4	M4	

Tableau 1 : Caractéristiques des ombres radio-marqués dans la zone d'étude

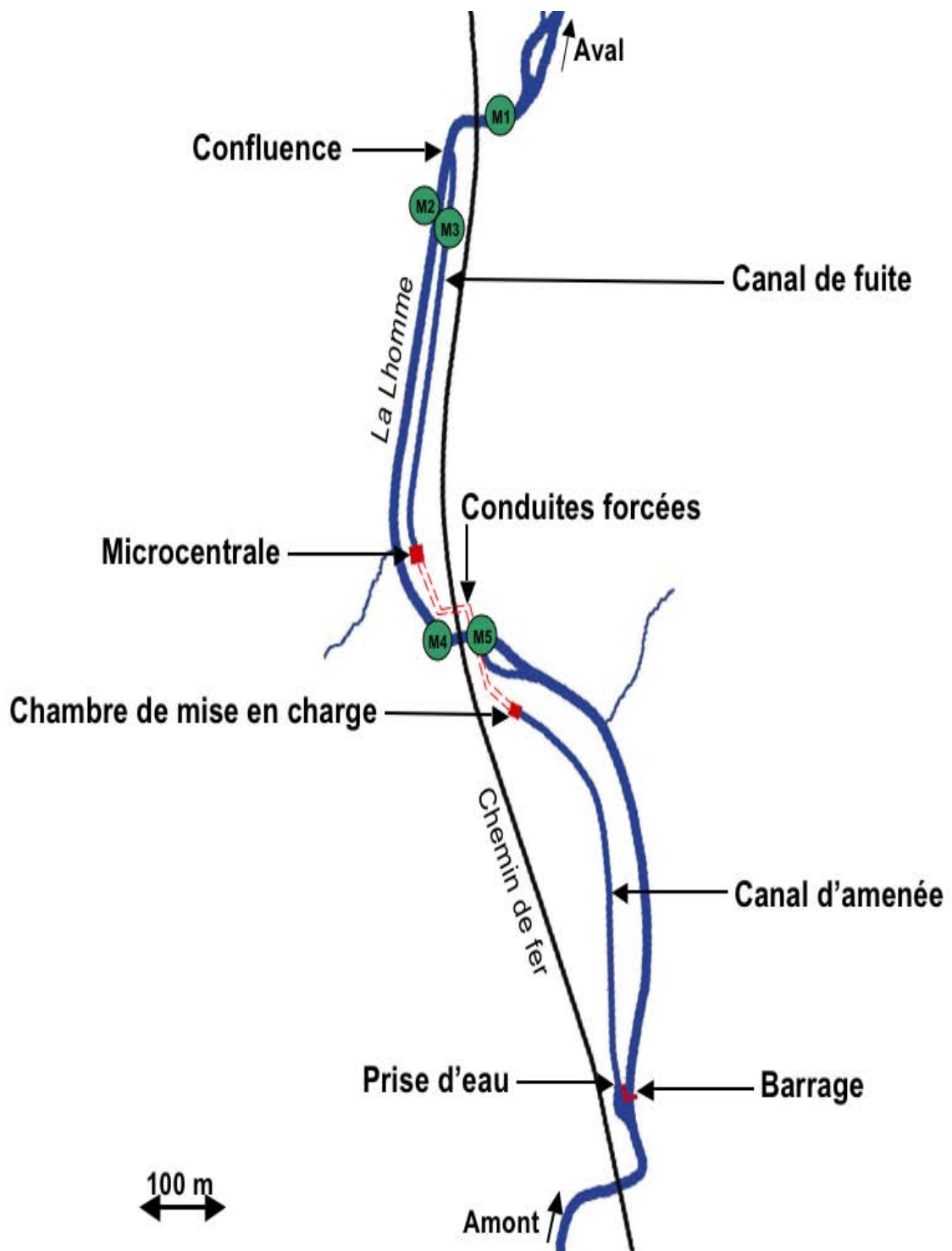


Figure 1: Sites de captures des ombres radio-marqués
(en correspondance avec le tableau 1)

de passage entre la Lhomme et le canal de fuite lors d'un éventuel mouvement vers l'amont.

Le radio-pistage s'est effectué du 12 février au 31 mai 2003. Les ombres ont été localisés à raison de 4 à 6 localisations par semaine entre le 12/02 et le 15/04 et à des moments variables de la journée. À partir du 15/04, les localisations ont été plus étalées (1 à 3 par semaine) étant donné la moins grande mobilité des poissons.

V.3. Mesures physico-chimiques

Plusieurs variables environnementales ont été enregistrées :

- La température de l'eau, quotidiennement enregistrée dans le cours naturel de la Lhomme une fois par heure au moyen d'un enregistreur automatique (TidBit Onset Corp.).
- Les hauteurs d'eau ont été mesurées le jour des localisations grâce à trois échelles limnimétriques placées dans le canal de fuite, dans la Lhomme court-circuitée et dans le cours naturel de la Lhomme.
- Les données concernant le débit nous ont été fournies par la Ministère de la Région wallonne (DGRNE, Division de l'Eau). Elles ont été mesurées une fois par heure à la station automatique de Grupont. Les moyennes journalières ont été calculées à partir des valeurs enregistrées. Pour notre étude, ces dernières ont été multipliées par un facteur de 0,7 (coefficient de transfert) en relation avec la superficie du bassin versant à Poix Saint-Hubert.
- Le fonctionnement et l'arrêt des turbines de la microcentrale ont été visuellement observés lors des localisations des poissons. Les données de puissance produite par les turbines ont été enregistrées automatiquement et quotidiennement par la centrale. Seule la puissance maximale journalière nous a été transmise par l'exploitant.

V.4. Conditions environnementales durant le suivi

V.4.1. Température de l'eau

La température moyenne journalière de la Lhomme a augmenté continuellement au cours de l'étude, passant de 2,5 °C en début février à 15,6 °C en mai (figure 2). De légères baisses ont néanmoins été mesurées au début du mois d'avril. On remarque également que les écarts thermiques les plus importants ont été enregistrés en mi-mars et mi-avril.

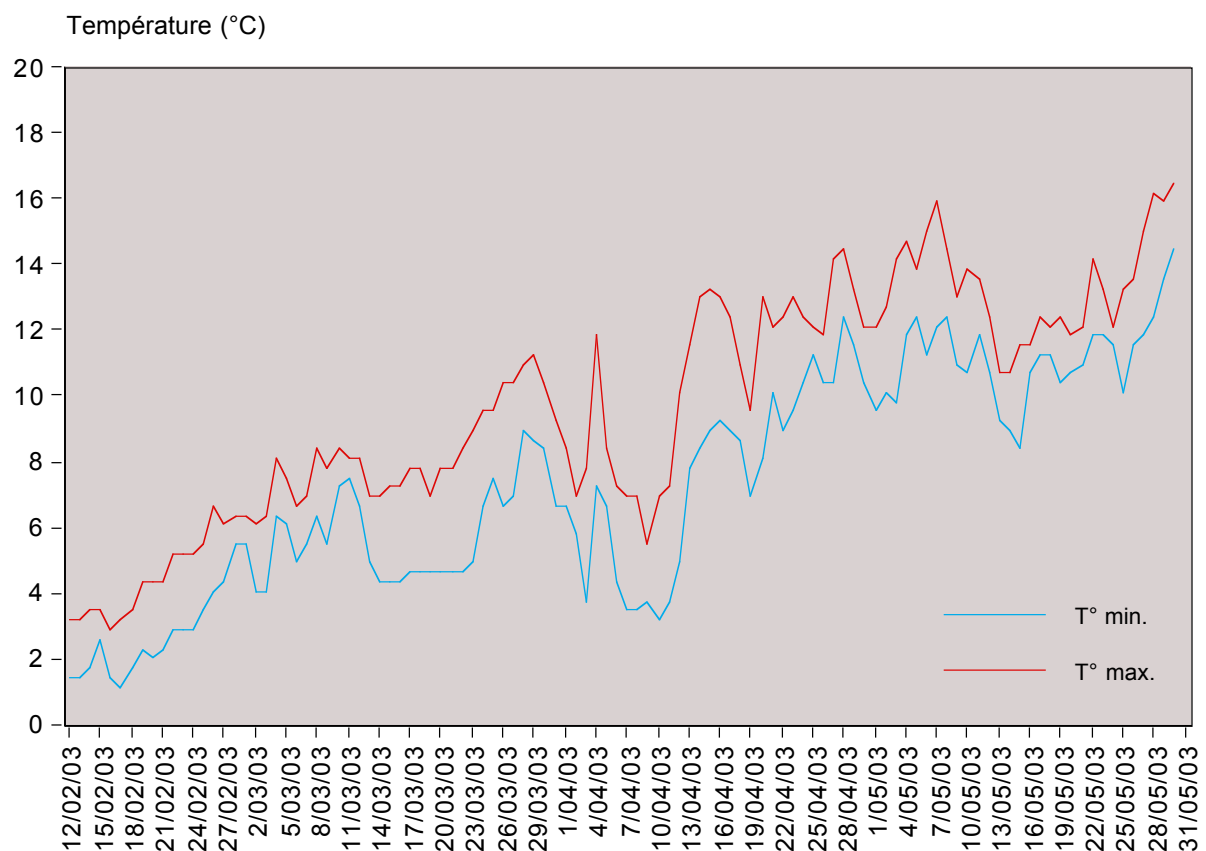


Figure 2 : Evolution des températures minimales et maximales journalières de la Lhomme à Poix Saint-Hubert du 12 février au 31 mai 2003

V.4.2. Débit naturel

Le débit moyen journalier de la Lhomme à Poix Saint-Hubert a été estimé à 0,7 fois les valeurs enregistrées quotidiennement à la station de Grupont située en aval du site d'étude selon des calculs de la Division de l'eau. Sur le site étudié, ce débit

qualifié de "naturel" est la somme du débit turbiné par la microcentrale et du débit réservé laissé dans la rivière. Trois pics ont cependant été observés au début des mois de mars et d'avril et à la fin du mois de mai. Ils correspondent à des coups d'eau suite à des précipitations. Les débits les plus faibles (environ 1 m³/s) ont été enregistrés aux mois d'avril et de mai.

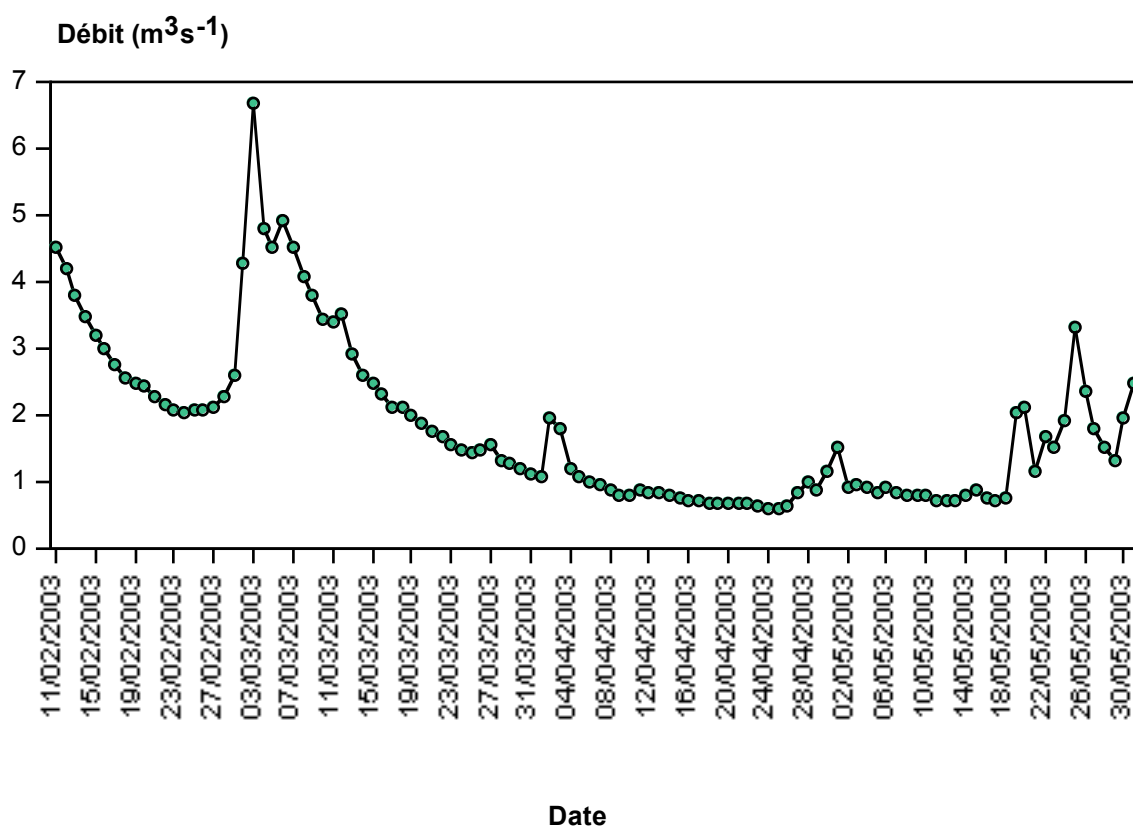


Figure 3 : Evolution du débit naturel journalier de la Lhomme (m³/s) à Poix Saint-Hubert du 12 février au 31 mai 2003.

V.4.3. Puissance turbinée par la microcentrale hydroélectrique

C'est actuellement la seule donnée exploitable parmi les informations collectées par l'exploitant.

Durant toute la période de l'étude, la microcentrale hydroélectrique était continuellement en fonctionnement (sauf lors des entretiens). Les deux turbines ont fonctionné en continu du mois de février jusqu'au début du mois d'avril. Ensuite, jusqu'à la mi-mai, une seule turbine était en fonctionnement. La deuxième partie du mois de mai, les deux turbines fonctionnaient la plupart du temps.

La figure 4 représente le pourcentage de puissance par rapport à la puissance maximale journalière produite par les deux turbines. Selon les exploitants de la micro centrale, beaucoup de données n'ont pas été récupérées et/ou sauvegardées. De ce fait, même si les turbines étaient en fonctionnement tous les jours, un certain nombre de situations, concernant par exemple des arrêts de courte durée, n'ont pas pu être représentées sur le graphique. Néanmoins, la figure montre clairement que la production d'électricité a sérieusement diminué (moins de 100 kW) lorsque le débit de la Lhomme était plus faible (avril à mi-mai).

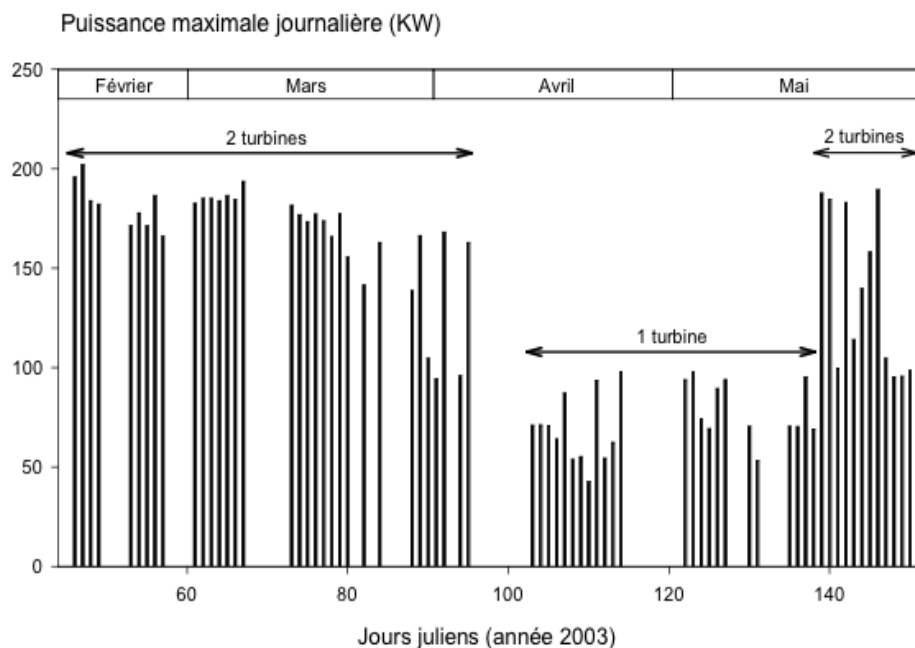


Figure 4 : Puissance maximale journalière produite par les deux turbines Banki-Mitchell de la micro centrale "Hydroval" sur la Lhomme à Poix Saint-Hubert durant la période d'étude (12 février – 31 mai 2003). Le graphique a été élaboré à partir des données transmises par les exploitants de la centrale

V.4.4. Hauteurs d'eau dans les trois environnements

La figure 5 montre l'évolution pendant l'étude des hauteurs d'eau mesurées au niveau de trois secteurs du site hydroélectrique : le canal de fuite des turbines, la Lhomme dans sa partie court-circuitée par la prise d'eau et influencée par la réduction artificielle du débit et la Lhomme dans sa partie à débit naturel.

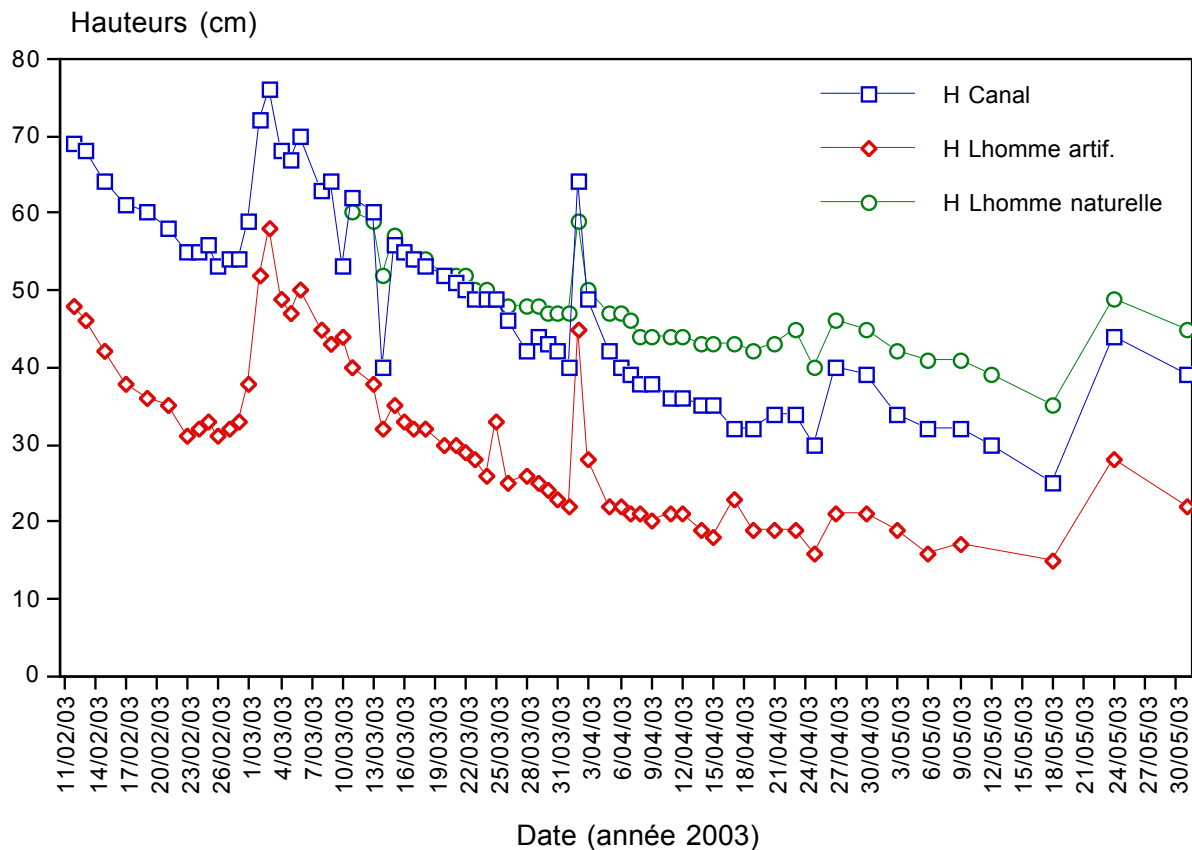


Figure 5 : Hauteurs du niveau d'eau dans la Lhomme court-circuitée, dans la Lhomme naturelle et dans le canal de fuite durant la période d'étude (12 février – 31 mai 2003).

V.5. Description des mouvements individu par individu

Le positionnement des treize ombres radio-pistés dans la Lhomme, du 12 février au 31 mai 2003, est représenté sur la figure 6.

Les ombres radio-pistés ont été séparés en deux groupes, selon leur site de capture, un groupe « confluence » et un groupe « Lhomme ».

V.5.1. Groupe de la confluence entre le canal de fuite et la Lhomme

Huit ombres ont été capturés le 11 février 2003 près de la confluence entre la Lhomme et le canal de fuite (sites de capture M1, M2, M3 sur la figure 9). Après leur marquage, ils ont été relâchés dans la rivière ou le canal.

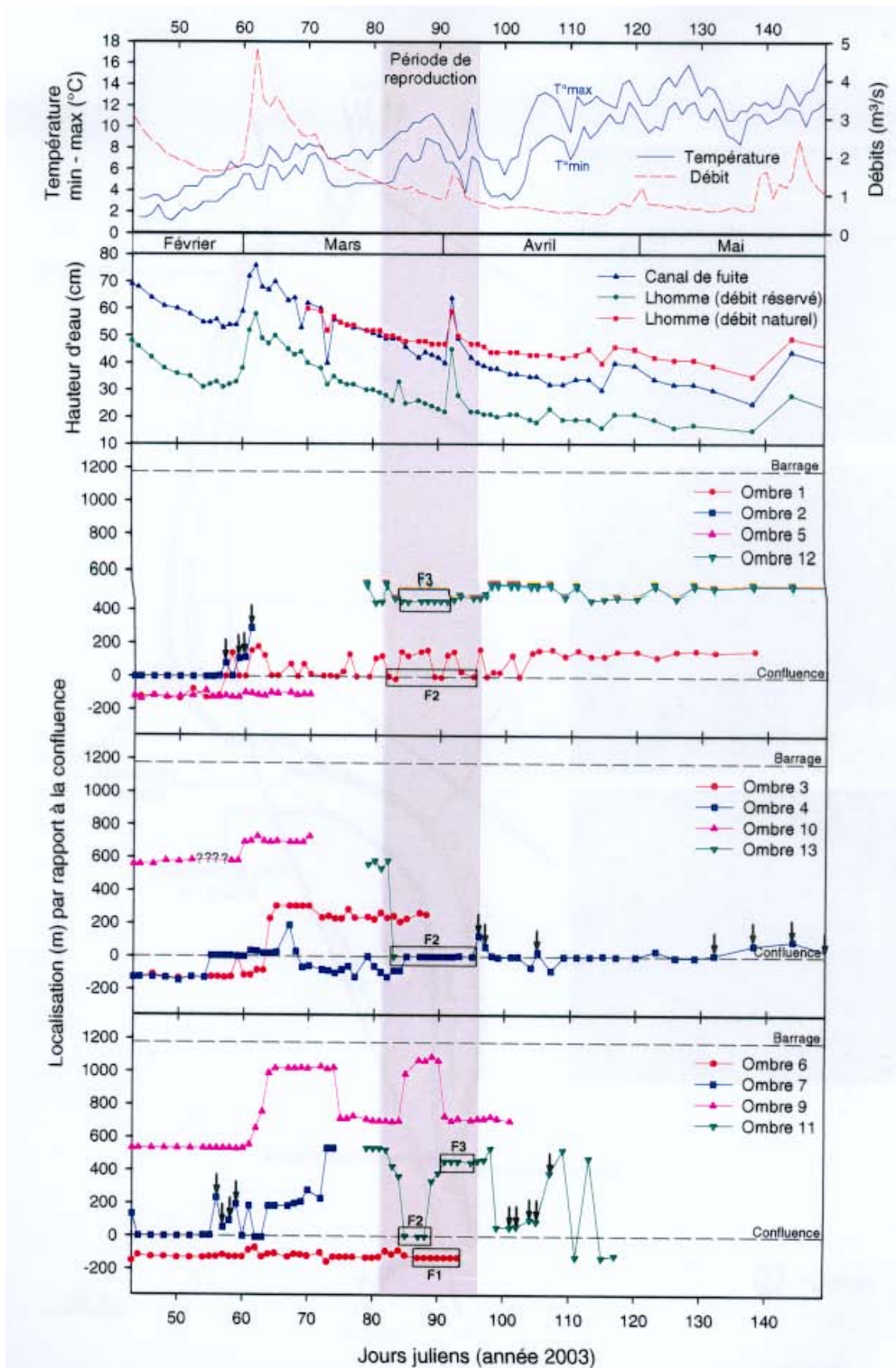


Figure 6: Localisation des treize ombres radio-pistés en début 2003 dans la Lhomme dans la zone de rivière court-circuitée par la micro centrale « Hydroval ». La bande grise représente la période de frai.

Ombre 1 (261 mm - 170g)

Capturé et relâché dans la partie terminale canal de fuite (site M3), ce poisson a dévalé sur une distance d'environ 200 mètres le jour suivant son marquage pour se retrouver dans la Lhomme en aval de la confluence (rive droite ; "zone hors reproduction" sur la figure 7). Il s'est maintenu dans cette zone durant deux semaines avant d'effectuer une remontée d'environ 100 mètres le 26 février pour se localiser dans la zone de confluence (rive gauche ; "zone hors reproduction" sur la figure 14). Pendant deux mois et demi, il a ensuite effectué une série de déplacements aller-retour entre cette zone et un endroit situé environ 150 mètres en amont dans la Lhomme. A partir du 14 avril, il s'est maintenu définitivement pendant un mois au niveau de la zone située à 150 mètres en amont de la confluence et ce, jusqu'à la fin de son pistage (18 mai). Durant les périodes d'observation, il n'est pas retourné dans le canal où il avait été capturé.

Ombre 2 (293mm – 243g)

Comme l'ombre 1, ce poisson a été capturé dans le canal de fuite (site M3). Il a cependant été relâché 150 mètres en aval de sa zone de capture (site M1). Après une courte remontée d'environ 50 mètres, il s'est maintenu au niveau de la confluence (rive gauche ; "zone hors reproduction" sur la figure 7) pendant deux semaines. A partir du 26 février, il est retourné dans le canal où il avait été capturé. Il y est resté pendant cinq jours avant qu'on ne perde définitivement son signal à environ 200 mètres en amont de son site de capture.

Ombre 3 (264 mm - 179g)

Comme l'ombre 1, ce poisson a été relâché au niveau de sa zone de capture située dans le canal de fuite (site M3) et a dévalé sur une distance de 200 mètres pour se retrouver dans la Lhomme en aval de la confluence (rive droite ; "zone hors reproduction" sur la figure 15). Excepté le 28 février où il a été localisé au niveau de la confluence (rive gauche), il s'est maintenu dans cette zone pendant près de trois semaines. A partir du 5 mars, il a effectué une remontée d'environ 300 mètres dans la Lhomme. Il a été localisé durant un peu moins d'un mois dans cette zone avant que

son signal ne soit perdu en fin mars. Comme l'ombre 1, il n'est pas retourné durant les périodes d'observation dans le canal où il avait été capturé.

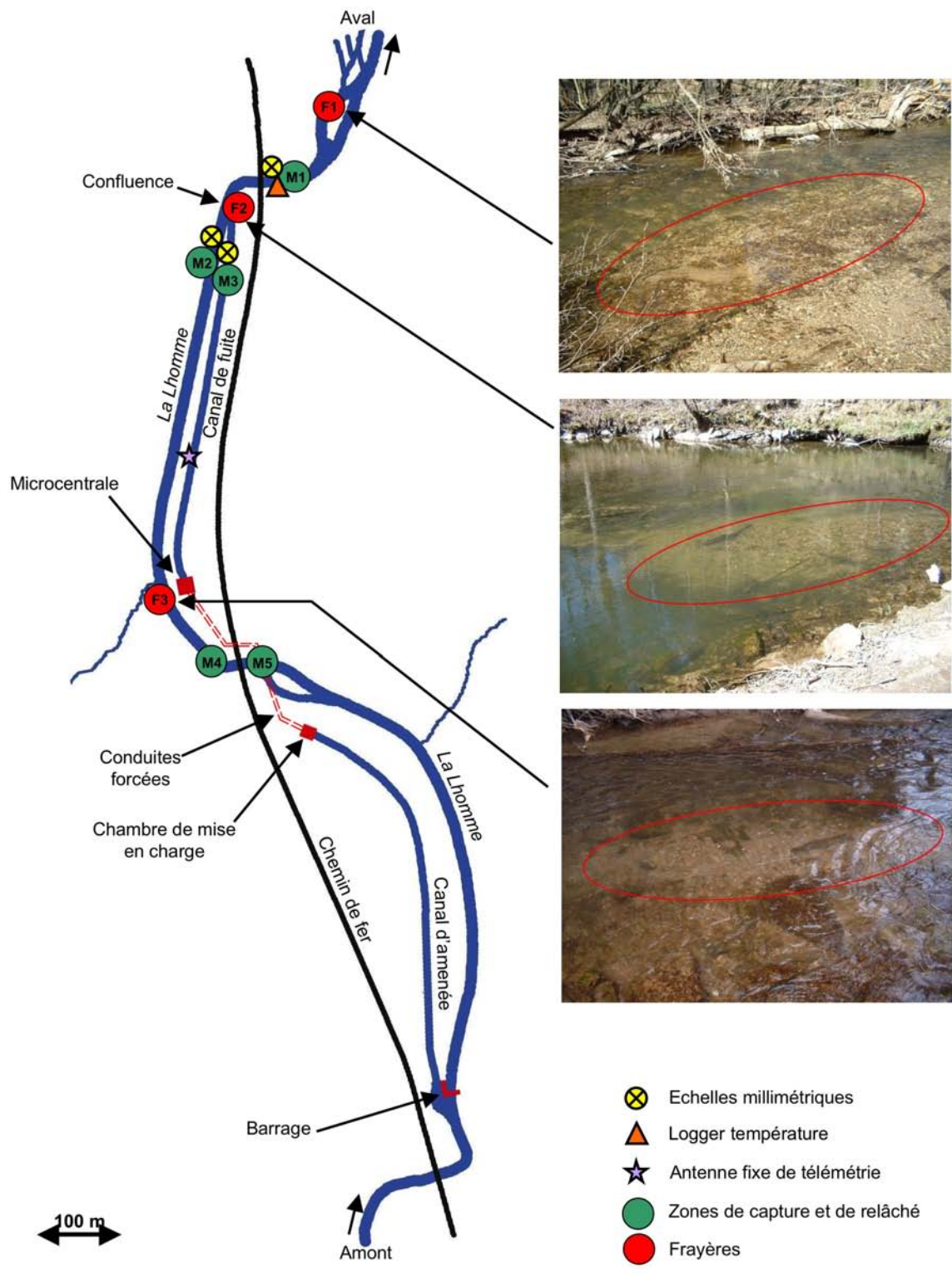


Figure 7: Localisation des zones fréquentées par les ombres marqués au niveau des frayères F1 à F3 au cours et en dehors de la période de reproduction.

Ombre 4 (292 mm – 258g)

Comme l'ombre 2, il a été capturé dans le canal de fuite (site M3) pour être relâché 150 mètres en aval de sa zone de capture (site M1). Dans un premier temps, il a effectué une dévalaison d'environ 70 mètres pour s'y maintenir pendant 12 jours (rive droite ; "zone hors reproduction" sur la figure 7). Il a ensuite effectué le 24 février une remontée d'environ 100 mètres vers la zone de confluence (rive gauche). Après être remonté brièvement dans la Lhomme sur une distance de presque 200 mètres, il est redescendu en aval de la confluence pour s'y maintenir pendant deux semaines. Notons qu'il a toutefois été localisé au niveau de la confluence le 20 mars. À partir du 26 mars, il est de remonte dans la zone de la confluence pour une dizaine de jour, au niveau de la rive droite cette fois-ci ("zone de reproduction" sur la figure 7). Ensuite, il effectue une courte remontée dans le canal de fuite près du lieu où il avait été capturé, pour redescendre le 8 avril au niveau de la confluence (rive gauche). Après être descendu à deux reprises quelques dizaines de mètres en aval de la confluence (rive droite), il a été de nouveau détecté dans les environs de cette dernière pendant une vingtaine de jours. À partir du 18 mai, il a été localisé dans le canal près de son lieu de capture jusque la fin de l'étude (fin mai).

Ombre 5 (271 mm – 201g)

Capturé et relâché dans la Lhomme en aval de la confluence (site M1), ce poisson a dévalé une soixantaine de mètres le jour suivant son marquage (rive droite ; "zone hors reproduction" sur la figure 7). Il s'est maintenu un mois dans cette zone jusqu'à ce qu'à ce que le signal soit perdu.

Ombre 6 (287 mm – 233g)

Comme l'ombre 5, ce poisson a été capturé et relâché en aval de la confluence (site M1). Il a également dévalé une soixantaine de mètres pour se maintenir dans la même zone que l'ombre 5, au niveau de la rive droite. Il y est resté pendant un mois, avant d'effectuer fin mars un déplacement latéral pour se retrouver au niveau de la rive gauche. Il a été localisé à cet endroit pendant environ une semaine. Le signal est devenu trop faible ensuite pour pouvoir localiser le poisson avec précision.

Ombre 7 (328 mm – 338g)

Ce poisson a été capturé et relâché dans la Lhomme à environ 100 mètres en amont de la confluence (site M2). Il a été repéré au même endroit le lendemain du marquage. Il a ensuite dévalé jusqu'à la zone de confluence (rive gauche) pour s'y maintenir une dizaine de jours. Il a ensuite été localisé le 25 mars dans le canal de fuite à un peu plus de 200 mètres en amont de la confluence. Il y est resté pendant quatre jours avant de redescendre au niveau de la confluence. Il effectue ensuite un mouvement de courte durée vers une zone située dans la Lhomme à 50 m en amont de son point de relâché. Ce type de déplacement est à nouveau effectué le 5 mars pour une durée plus importante (9 jours). Il a ensuite été localisé durant deux jours dans une zone située 350m en amont de la dernière. Le poisson a finalement été retrouvé mort le 15 mars dans des branchages situés une centaine de mètres en aval de la confluence entre la Lhomme et le canal de fuite. Des blessures au niveau de la gueule indique une capture probable par un pêcheur.

Ombre 8 (295 mm – 273g)

Très peu de données ont été récoltées sur ce poisson. Comme l'ombre 7, il a été capturé et relâché dans la Lhomme (site M2). Il a ensuite été repéré à trois reprises 200 mètres en aval de son point de capture, mais le signal était faible. Son suivi s'est donc arrêté six jours après le marquage (17 février). Pour cette raison, il n'a pas été utile de le représenter sur la figure 6.

V.5.2. Groupe de la Lhomme court-circuitée

Cinq ombres ont été capturés le 11 février (ombres 9 et 10) et le 18 mars 2003 (ombres 11, 12 et 13) dans la Lhomme à hauteur de la micro centrale hydroélectrique (sites de capture M4 et M5 sur la figure 9). Après leur marquage, ils ont été relâchés au niveau de leurs sites de capture respectifs.

Ombre 9 (305 mm – 282g)

Capturé et relâché au niveau du site M5, il a dévalé 50 mètres et s'est maintenu à cet endroit (site M4) pendant près de 20 jours. Début mars, il a effectué

une série de déplacements vers un endroit situé à environ 450 mètres en amont de son site de marquage. Il y est resté durant une dizaine de jours, avant de redescendre mi-mars dans une autre zone située 300 mètres en aval. Dix jours plus tard, il effectue une autre remontée d'environ 350 mètres. Il a alors été localisé à cet endroit (situé à moins de 100 mètres du barrage) pendant six jours. Lors de la pêche d'inventaire réalisée le 6 mai, cet ombre a été capturé à 150m du barrage. Sa perte était donc être associée à l'extinction de l'émetteur.

Ombre 10 (289mm – 213g)

Comme l'ombre 9, ce poisson a été capturé et relâché au niveau du site M5. Il est resté dans cette zone pendant deux semaines. Pendant cette période, il n'a pas été possible de le détecter durant quatre jours (23 – 26 février), probablement à cause d'un problème à l'émetteur. Il a ensuite effectué un mouvement vers l'amont d'une centaine de mètres et s'y est maintenu pendant une dizaine de jours. Son signal a alors été définitivement perdu le 11 mars.

Ombre 11 (298mm – 320g)

Ce poisson a également été capturé et relâché au niveau du site M5. Comme l'ombre 9, il a dévalé 50 mètres pour se maintenir au niveau du site M4. Il y est resté quatre jours, avant d'effectuer une série de déplacements jusqu'à la confluence (rive droite ; "zone de reproduction" sur la figure 15) située 500 mètres en aval. Il s'y est également maintenu quatre jours (26 -29 mars). Ensuite, il est remonté dans une zone située à quelques dizaines de mètres en aval du site M4. Il y est resté une semaine (1 – 7 avril) avant de redescendre vers la confluence pour ensuite entrer dans le canal de fuite où il s'est maintenu durant une dizaine de jours. Il est alors retourné le 19 avril dans la Lhomme où il a effectué des mouvements entre plusieurs sites espacés de 600m et situés en amont et en aval de la confluence. Son signal est définitivement perdu le 27 avril.

Ombre 12 (312mm – 323g)

Capturé et relâché au niveau du site M4, ce poisson est redescendu quelques jours plus tard dans une zone située à moins de 100 mètres du site de marquage (au niveau de la frayère F3). Il y reste neuf jours (25 mars – 2 avril) avant d'être à

nouveau localisé au niveau du site M4. Il a ensuite dévalé de quelques dizaines de mètres avant de revenir définitivement au niveau de son site de capture jusqu'à la fin de l'étude (fin mai).

Ombre 13 (314mm – 312g)

Comme l'ombre 12, ce poisson a été capturé et relâché au niveau du site M4. Il est resté quatre jours dans cette zone, avant d'effectuer une dévalaison de plus de 500 mètres pour se retrouver le 24 mars au niveau de la frayère F2 ("zone de reproduction" sur la figure 7). Son signal a alors été perdu.

V.6. Analyse synthétique des patrons de mobilité

V.6.1. Distance moyenne parcourue entre deux localisations

Pour chaque ombre radio-pisté, nous avons calculé la distance moyenne parcourue entre deux localisations lors de trois périodes clés du cycle de vie de l'espèce : la pré-reproduction (12 février – 21 mars 2003), la reproduction (22 mars – 6 avril 2003) et la post-reproduction (7 avril – 27 avril 2003). La période de reproduction a été définie comme la période durant laquelle des activités de frai (ombres marqués ou non) ont été visuellement observées sur les frayères. Les données de mobilité récoltées après le 27 avril jusqu'au 31 mai n'ont pas été prises en compte dans les calculs, car les suivis y ont été beaucoup moins intensifs qu'auparavant. Ce type d'analyse nous permet de calculer si la mobilité générale des ombres est significativement différente d'une période à l'autre. Les résultats des analyses sont présentés dans le tableau 2. L'analyse statistique de Kruskal-Wallis (Test statistique non-paramétrique utilisé lorsqu'il faut décider si k échantillons indépendants issus d'une petite population sont statistiquement différents) montre qu'il n'existe pas de différence significative entre les trois périodes *circum* reproduction. En comparant la mobilité des différentes périodes entre elles (test de Mann-Whitney, test statistique non-paramétrique utilisé lorsqu'il faut décider si deux échantillons indépendants issus d'une petite population sont statistiquement différents), on constate qu'il n'existe pas de différence significative : Pré-reproduction et Reproduction ($Z = 0,106$; $P = 0,9156$), Pré-reproduction et Post-reproduction ($Z = 1,391$; $P = 0,1643$), Reproduction et Post-reproduction ($Z = 0,567$; $P = 0,5708$).

Ombres	Pré-reproduction (12/02 – 21/03)	Reproduction (22/03 - 06/04)	Post-reproduction (07/04 – 27/04)
1	55	73	57
2	34	/	/
3	33	26	/
4	35	23	38
5	12	/	/
6	12	11	/
7	79	/	/
8	(5)	/	/
9	31	60	(10)
10	16	/	/
11	(0)	72	224
12	(90)	16	20
13	(20)	(223)	/
Moyenne	34±22	40±27	85±94

Tableau 2 : Distance nette (en mètres) parcourue entre localisations successives des 13 ombres communs radio-pistés dans la Lhomme du 12 février au 31 mai 2003. Le symbole "/" signifie qu'aucune donnée n'a été récoltée sur le poisson. Les nombres entre parenthèses n'ont pas été pris en compte dans le calcul de la moyenne, car les observations n'étaient pas suffisantes (moins de 5).

V.6.2. Domaines vitaux longitudinaux

Le même type d'analyse a été effectué pour le calcul des domaines vitaux de chaque individu lors des périodes pré-reproduction, reproduction et post-reproduction. Pour chaque période, le domaine vital longitudinal est la distance qui sépare la localisation la plus en amont et la localisation la plus en aval, exprimée en mètres. L'analyse statistique de Kruskal-Wallis montre qu'il n'existe pas de différence significative entre les trois périodes *circum* reproduction. En comparant le domaine vital des différentes périodes entre elles (test de Mann-Whitney), on constate qu'il n'existe pas non plus de différence significative : Pré-reproduction et Reproduction ($Z = 0,953$; $P = 0,3404$), Pré-reproduction et Post-reproduction ($Z = 0,617$; $P = 0,5371$), Reproduction et Post-reproduction ($Z = 0,189$; $P = 0,8501$). Lorsque l'on s'intéresse à toute la période *circum* reproduction, le domaine vital moyen est de 343 ± 214 m.

Ombres	Pré-reproduction (12/02 – 21/03)	Reproduction (22/03 - 06/04)	Post-reproduction (07/04 – 27/04)	Période totale (12/02 – 27/04)
1	315	0	165	315
2	290	/	/	290
3	440	55	/	440
4	335	250	145	335
5	50	/	/	50
6	85	45	/	85
7	540	/	/	540
8	(10)	/	/	(10)
9	500	395	(27)	560
10	170	/	/	170
11	(0)	535	665	665
12	(90)	85	73	90
13	(20)	(580)	/	580
Moyenne	303±175 m	221±186 m	262±272 m	343±214 m

Tableau 3: Domaine vital (en mètres) des 13 ombres communs radio-pistés dans la Lhomme du 12 février au 31 mai 2003. Le symbole "/" signifie qu'aucune donnée n'a été récoltée sur le poisson. Les nombres entre parenthèses n'ont pas été pris en compte dans le calcul de la moyenne, car les observations n'étaient pas suffisantes (moins de 5).

V.7. Localisations des frayères et observation des ombres lors de la reproduction

Les conditions météorologiques favorables nous ont permis d'observer la reproduction naturelle des ombres du bord de la rivière (voir photo 1a et 1b). La reproduction des ombres (radio-pistés ou non) a été observée du 22 février au 6 avril 2003. Durant cette période, la température moyenne de l'eau était comprise entre 6,3 et 10,0 °C et le débit naturel moyen entre 0,8 et 1,5 m³/s. Dans le secteur d'étude, trois frayères ont été localisées (voir F1, F2 et F3 sur la figure 7 pour les localisations géographiques).

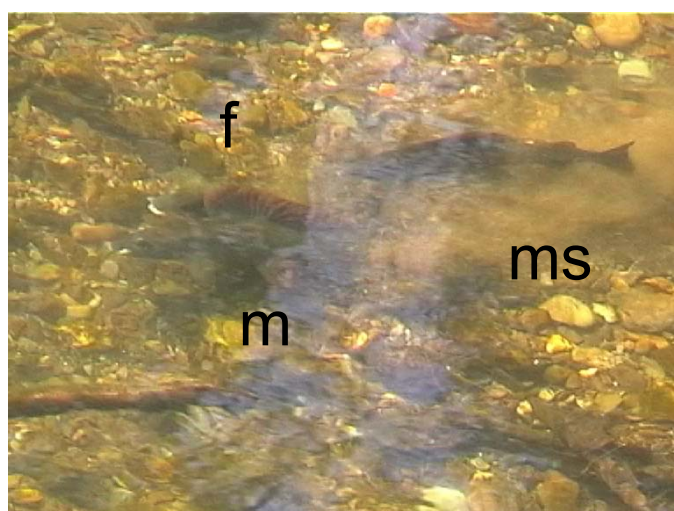


Photo 1 et 2 : Accouplements d'ombres dans le secteur d'étude
(m=mâle, f=femelle, ms=mâle satellite)

La plupart des reproductions se sont déroulées au niveau de la frayère F2 située sur la rive droite de la confluence dans la zone de confluence entre la Lhomme et le canal de fuite (figure 7). Cette frayère s'étale sur 6 m de longueur et 1,5 m de largeur, elle s'étend du canal de fuite vers le début du cours naturel de la Lhomme.

Durant la période de reproduction, une dizaine d'ombres occupaient en permanence ce site privilégié où de nombreux accouplements ont été observés. La femelle 1 et les mâles 4, 11 et 13 radio-pistés ont d'ailleurs été localisés à ce niveau. Comme le montre la figure 7, l'espace principal de frai se situait dans la partie la plus en amont de la zone. Dans ce secteur, c'est le courant principal en provenance du canal de fuite qui régit les conditions hydrologiques au niveau de la frayère. Des problèmes liés à des changements brusques du fonctionnement de la micro centrale (à la suite d'entretiens, d'aménagements, ...) ont été à l'origine de situations très préoccupantes pour le bon déroulement de l'ensemble de la phase de reproduction.

Ainsi, le 25 mars 2003 des réparations effectuées au niveau des turbines ont provoqué une baisse importante du niveau d'eau dans la partie court-circuitée de la Lhomme et dans le canal de fuite alors que les ombres étaient en reproduction sur la frayère F2. L'eau qui était retenue au barrage de prise d'eau a ensuite été relâchée brusquement et on a assisté à une augmentation brutale du niveau d'eau dans la partie court-circuitée de la Lhomme (voir série de photos 2a, b, c). Lors de cette phase de perturbation, la reproduction s'est temporairement interrompue.

Les deux autres frayères (F1 et F3) étaient relativement moins fréquentées (par 4-5 ombres maximum en même temps sur la frayère). Seuls deux ombres mâles (11 et 12) radio-pistés ont été localisés au niveau de F3 et un seul (ombre 6) sur F1. Ces deux frayères étaient de superficies plus réduites que la précédente (± 1 m de longueur et 0,5 m de largeur).



Photos 2a, b et c : Diminution et augmentation brusques du niveau eau lors de la reproduction des ombres sur le site de la microcentrale

V.8. Répartition des ombres dans le secteur d'étude

Pour étudier la répartition des ombres dans le secteur d'étude, ce dernier a été arbitrairement divisé en neuf tronçons de longueurs et de caractéristiques variables (A à I sur la figure 8). Cette division est essentiellement basée sur la morphologie et l'hydrologie de la rivière à cet endroit. Les tronçons A et E dans la Lhomme court-circuitée correspondent à des zones relativement peu profondes où se succèdent radiers (profondeur < 30-40 cm, vitesse de courant < 40 cm/s) et rapides (profondeur > 40 cm, vitesse de courant > 40 cm/s). Par contre, les tronçons B et D (cours altéré) et G et I (cours naturel) correspondent plutôt à des coulées (profondeur = 50-90 cm, vitesse de courant = 50-150 cm/s) et à des bancs de gravier. Le canal de fuite (profondeur = 100-120 cm, 50-70 cm/s) est représenté par le secteur F. Enfin, les tronçons C et H délimitent des portions peu profondes de la rivière situées sous les tunnels de la ligne de chemin de fer. Le nombre de localisations de chaque individu dans chaque tronçon du secteur d'étude pour l'ensemble de la période de suivi est représenté au tableau 4.

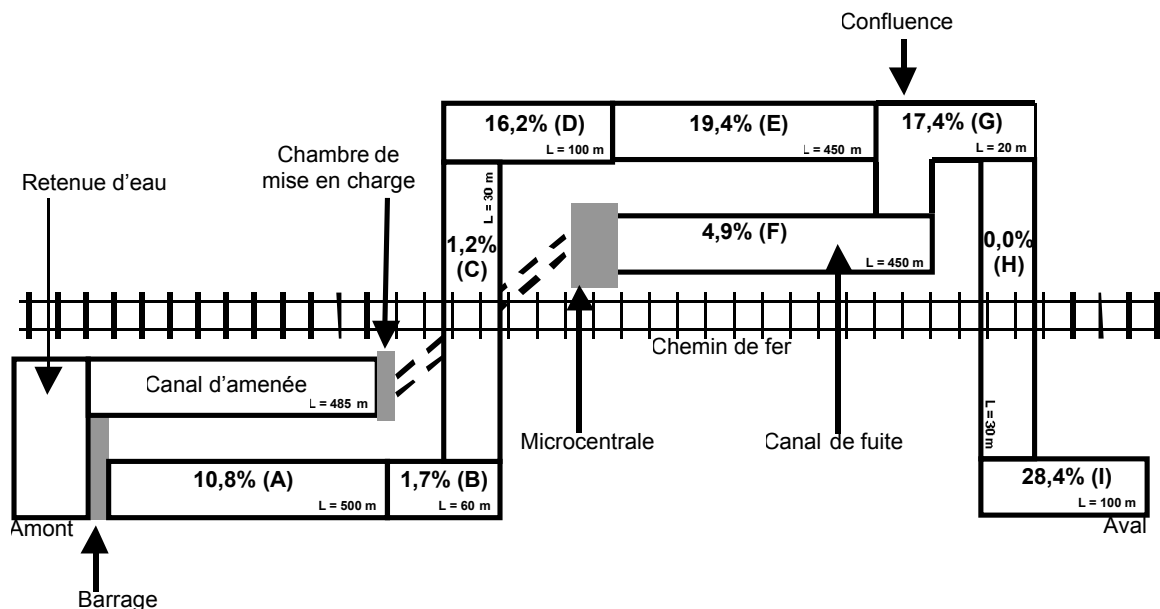


Figure 8 : pourcentage de localisation de l'ensemble des ombres radio-pistées dans chaque secteur du site d'étude

Durant toute la période du suivi, les treize ombres marqués ont été essentiellement localisés dans la Lhomme même. Seuls quatre (ombres 2, 4, 7 et 11) ont fréquenté le canal de fuite de la micro centrale. Ainsi, les ombres 2 et 4, capturés dans le canal de fuite et relâchés en aval de la confluence, ont été localisés à plusieurs reprises dans le canal de fuite (tableau 4). Par contre, les ombres 1 et 3, capturés et relâchés dans le canal (site M3), ne semblent être retournés à aucun moment au niveau de leur site de capture. Les deux autres poissons (ombres 7 et 11) qui ont également fréquenté le canal de fuite ont été capturés et relâchés dans la Lhomme (respectivement sites M2 et M5, cf. figure 1).

Sur un total de 408 localisations effectuées entre le 12 février et le 31 mai 2003, 20 pointages ont été enregistrés dans le canal de fuite, soit à peine 4,9% des localisations.

Les analyses statistiques par tables de contingence montrent que la présence des ombres dans le canal de fuite pourrait être expliquée en partie par une diminution de débit dans la Lhomme. C'est en effet lorsque le débit de la Lhomme est inférieur à $1\text{m}^3\text{s}^{-1}$ que la plupart des localisations ont été effectuées dans le canal de fuite ($\chi^2=7,369$; $P<0,01$).

Tronçons	Ombres													Total
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
A	0	0	0	0	0	0	0	0	34	10	0	0	0	44 (10,8%)
B	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	2	7 (1,7%)
C	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3	0	0	1	5 (1,2%)
D	0	0	0	0	0	0	2	0	13	0	13	37	1	66 (16,2%)
E	36	0	21	8	0	0	9	0	0	0	5	0	0	79 (19,4%)
F	0	4	0	7	0	0	4	0	0	0	5	0	0	20 (4,9%)
G	18	10	1	28	0	0	10	0	0	0	3	0	1	71 (17,4%)
H	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0 (0%)
I	9	0	15	22	22	42	0	3	0	0	3	0	0	116 (28,4%)
Total	63	14	37	65	22	42	25	3	48	18	29	37	5	408 (100%)

Tableau 4 : Répartition de chaque ombre radio-pisté dans les différentes parties du site modifié par la microcentrale hydroélectrique durant toute la durée du suivie (12 février – 31 mai 2003)

V.8. Discussion

V.8.1. Amplitude des mouvements

Nos suivis ont montré que les déplacements effectués par les ombres dans la Lhomme étaient particulièrement restreints. Les domaines vitaux des individus pistés pour l'ensemble de la période d'étude n'ont pas dépassé les 650m (moyenne 324 ± 214 m). Des plus, aucune augmentation de la mobilité des ombres n'a été observée juste avant et pendant la reproduction. Les individus ont donc réalisé l'ensemble de leur cycle de reproduction sur un même secteur de rivière, sans réaliser la moindre migration. De plus, nous n'avons jamais observé d'individus au pied du barrage de prise d'eau, probablement à cause de la faible attraction causée par un niveau d'eau particulièrement bas très répulsif pour les ombres.

	Cette étude	Ovidio et al., 2004	Meyer et al., 2001	Nykänen, 2004	Jonlet 2006
Année d'étude	en 2003	de 1998-2000	en 1991	en 2001	en 2006
Nbre d'ombres	13 ombres	20 ombres	7 ombres	12 ombres	12 ombres
Dans la rivière Affluent de	Lhomme Lesse au sud la Belgique	Aisne Ourthe au sud-est de la Belgique	Ilmenau Elbe au nord de l'Allemagne	Kuusinkijoki Oulankajoki au nord-est de la Finlande	Aisne Ourthe au sud-est de la Belgique
Barrages	oui, mais infranchissables	oui, mais franchissables	barrage de Medingen infranchissable	/	oui, mais franchissables
Mobilité pré-reproductive	très faible	faible dévalaison si crues	/	souvent faible parfois individus plus mobiles	faible dévalaison si crues
Migration de reproduction	du 23/03 - 06/04 20 m - 600 m T° eau croissante T° de 5°C - 9°C débit décroissant	du 07/03 - 27/03 70 m - 4980 m T° eau croissante T° de 5°C - 8°C débit décroissant	du 12/03 - 25/03 4,2 km - 11,3 km pas de corrélation T° > 8°C pas de corrélation	du 30/04 - 08/05 130 m - 5970 m pas de corrélation T° de 0,3 °C - 3,7 °C débit croissant car la glace fond	du 15/03 - 27/03 120 m - 1500 m 3000 m ? T° eau croissante T° de 4°C - 8°C débit stationnaire ou décroissant
Sur les sites de reproduction	frayères présentes vu frayer	frayères présentes vu frayer	frayères rares vu frayer	frayères présentes pas vu frayer	frayères présentes pas vu frayer
Homing post-reproduction	en 1 - 2 jours débit décroissant	en 1 - 3 jours débit décroissant	en 0,5 - 2,5 jours /	pas de homing !	en 1 - 2 jours débit croissant

Tableau 5 : Comparaison des données de mobilité de l'ombre commun entre les suivis réalisés à Poix-Saint-Hubert et les différentes études réalisées en Belgique ou à l'étranger.

Nos observations sont en opposition avec celles des études réalisées dans des sites non perturbés par différents auteurs. Dans l'Aisne (Ovidio et al., 2004, Jonlet 2006) ont montré que la plupart des ombres réalisent une migration de reproduction qui peut atteindre plus de 5km. Après la reproduction, les géniteurs réalisent un homing post-reproduction vers les gîtes de résidence. En Allemagne, dans la rivière Illmenau (affluent du Rhin), Meyer (2001) a montré que les ombres parcourent au moment de la reproduction des distances comprises entre 4,2 et 11,3 km ($8,2 \pm 2,8$ km en moyenne). En Finlande, Nykänen et al. (2004) ont également observé des migrations de reproduction de ≈ 6 km. Tous ces auteurs (tableau 5) ont observé un contraste important entre la mobilité des individus pendant ou en dehors de la reproduction, ce qui n'est pas le cas dans la présente étude.

Comment expliquer cette faible mobilité des ombres dans le secteur de la Lhomme à Poix Saint-Hubert ? Plusieurs hypothèses peuvent être avancées.

- L'existence historique de barrages et de micro centrales hydroélectriques dans le secteur de Poix Saint-Hubert a peut-être influencé les tactiques comportementales des populations de poissons situées en aval de ces aménagements. En effet, depuis de nombreuses années les migrations vers l'amont ont été perturbées et/ou empêchées par les nombreux obstacles, et, des comportements « non migrants » se sont peut être génétiquement inscrits dans une partie de la population.
- Les ombres ne sont pas remontés jusqu'au barrage de prise d'eau parce que l'attractivité de la partie de la Lhomme située juste en aval est particulièrement faible. La largeur de la rivière y est plus importante et, en conséquence, la vitesse de courant et la profondeur y sont plus faibles
- Dans le même ordre d'idée, le débit d'étiage prolongé provoqué par le turbinage n'est pas favorable au déclenchement de migrations de reproduction des salmonidés qui est en partie associé à des fluctuations importantes de niveau d'eau ressenties par le poisson (Parkinson *et al.*, 1999 ; Ovidio et al., 2004).
- La proximité de frayères favorables aurait favorisé un comportement sédentaire des ombres lors de la période de reproduction. Cette hypothèse est plus faible car

en milieu naturel, il est très fréquent que des ombres quittent des zones de frai favorables pour se reproduire plus en amont (Parkinson et al., 1999, Ovidio et al., 2004). Ce comportement favorise le maintien de la diversité génétique des populations.

V.8.2. Présence des ombres dans le canal de fuite

Durant l'ensemble du suivi par radio-pistage, nous avons localisé les ombres à vingt reprises dans le canal de fuite, ce qui représente à peine 4,9% des localisations. On peut donc exclure toute concentration des ombres au pied de la centrale, dans la zone de restitution de l'eau turbinée.

V.8.3. Déroulement de la reproduction

Les comportements de reproduction observés sont semblables à ceux qui ont été décrits dans l'Aisne et dans d'autres rivières européennes. La reproduction a cependant été très précoce. Alors que les observations réalisées dans l'Aisne de 1998 à 2000 ont montré un étalement de la reproduction du 23 mars au 11 avril, les reproductions ont débuté dans la Lhomme le 22 février 2003 pour se terminer le 6 avril. Cette précocité est probablement à mettre en relation avec les conditions météorologiques au cours du printemps de l'année 2003 (faible pluviosité et ensoleillement important).

Par contre, nous avons observé que la reproduction des ombres a été perturbée par les réglages et travaux effectués sur le site de la micro centrale. Ces interventions provoquent de brusques hausses ou baisses du niveau d'eau qui ont été à l'origine de perturbations comportementales des ombres lors de la reproduction. Ces variations du niveau d'eau sont également défavorables au développement des œufs sous gravier. Lors d'une baisse du niveau, les frayères peuvent être partiellement exondées avec pour conséquence un arrêt ou une forte diminution de l'oxygénation des œufs. Par contre, une brusque hausse du débit peut déstabiliser la structure granulométrique des frayères et être à l'origine d'une mobilisation fatale des œufs (Parkinson et al., 2001).

Malheureusement, de tels épisodes très préjudiciables aux populations des poissons ne sont pas répertoriés dans les enregistrements de l'ordinateur de la micro centrale et il nous est donc impossible de les comptabiliser (voir conclusions).

VI. ETUDE TELEMETRIQUE DE LA MOBILITE DE LA TRUITE COMMUNE EN PERIODE DE REPRODUCTION DANS LA LHOMME COURT-CIRCUITEE

VI.1. Introduction

Ce chapitre est une synthèse des résultats obtenus par le radio-pistage de truites fario sur le site de la micro centrale de Poix Saint-Hubert. Les analyses couvrent la période octobre 2003-février 2004, mais les observations se sont poursuivies ultérieurement.

VI.2. Capture, marquage et suivi des poissons

Cinq truites (Tableau 1) ont été capturées lors d'une pêche à l'électricité réalisée le 7 octobre 2003 dans trois secteurs de la zone d'étude. Il a malheureusement été impossible de trouver un plus grand nombre de truites marquables dans le secteur (il était prévu d'en marquer dix). Les truites ont toutes été relâchées au niveau de leur site de capture.

La technique de marquage est similaire à celle précédemment décrite au V pour les ombres.

Le radio-pistage a débuté le 7 octobre 2003. Les truites ont été radio pistées à raison de 2 à 3 localisations par semaine.

Truite n°	LF (mm)	P (g)	Sexe	Fréquence	Lieu de capture
1	271	225	M	40.601	Zone aval barrage de prise d'eau
2	263	209	F	40.631	Zone confluence Lhomme/canal de fuite
3	294	258	F	40.641	Premier pont de chemin de fer
4	288	315	M	40.691	Zone aval barrage de prise d'eau
5	311	297	F	40.701	Zone confluence Lhomme/canal de fuite

Tableau 1: Caractéristiques et sites de capture des truites radio-pistées dans la Lhomme au cours de l'automne 2003.

VI.3. Résultats (fig.1)

Les cinq truites radio pistées regagnent rapidement leurs territoires après le marquage, et n'effectuent aucun mouvement de plus de 70m du 8 octobre au 31 octobre 2003. Toutefois, durant cette période, des travaux sont effectués pour aménager le barrage de prise d'eau et un engin mécanique circule régulièrement dans le cours de la Lhomme en aval du barrage. La truite n°4, qui a probablement été perturbée par les travaux, parvient à franchir à deux reprises le barrage de prise d'eau et se maintient juste en amont. Ce n'est qu'à la suite de deux petits pics de débits en début novembre que les truites n°1 et 3 effectuent des déplacements d'une certaine importance dans le milieu. Lors de la diminution du débit, les truites n°1 et 3 regagnent les zones occupées en début de pistage, alors que la truite 4 entame une phase de mouvements amont-aval qui durera jusqu'à la fin de son suivi.

Entre les localisations du 17 et 20 novembre 2003, lors d'une petite augmentation de température et de débit, les truites 2, 3 et 5 entament des mouvements un peu plus importants qui correspondent vraisemblablement à leurs migrations de reproduction.

C'est la truite n°3 qui effectue les mouvements de plus grande amplitude. Entre les localisations du 17 novembre et du 20 novembre, elle a effectué une migration de 1,4km pendant laquelle elle est parvenue à franchir le barrage de prise d'eau de la micro centrale. Le 20 novembre, elle est localisée juste en aval du barrage de prise d'eau de la centrale Pont-à-Smuid (photo 1). En 2 jours, elle parvient à franchir l'obstacle haut de 1,99 m et poursuit sa migration vers l'amont. Elle se stabilise finalement le 22 novembre à quelques dizaines de mètres en aval du barrage de prise d'eau de la quatrième micro centrale (Dony, Scierie d'en bas) au niveau d'une zone de confluence avec un affluent de la Lhomme, le Ruisseau de Poix. Cela correspond à un déplacement de 2.5 km vers l'amont. Elle reste dans cette zone jusqu'au 24 décembre 2003 et effectue ensuite une dévalaison post-reproduction rapide vers sa zone de capture, à la faveur d'un pic de débit.

Entre le 17 et le 20 novembre 2003, la truite n°5 effectue un mouvement vers l'amont de 400m et se stabilise dans ce secteur jusqu'au 24 novembre. Elle effectue

alors un mouvement de retour vers son gîte habituel et s'y stabilise jusqu'à la fin de la période d'étude (fin janvier).

La truite n°2 démarre sa migration au même moment, mais elle se déplace vers l'aval. Elle se stabilise tout d'abord dans un secteur situé $\pm 300\text{m}$ en aval de son point de capture, puis dévale à nouveau de 400m et se stabilise jusqu'à la fin de la période d'observation.

La truite n°1 n'effectue qu'un petit mouvement vers l'amont d'un jour le 24 novembre, puis se stabilise dans son site de marquage jusqu'à la fin de la période d'observation.



Photo 1 : Barrage de prise d'eau de la microcentrale Pont-à-Smuid franchi par la truite n°3 au cours de sa migration de reproduction (mi-novembre 2003)
(hauteur: 1,99 m ; largeur : 6,3 m).

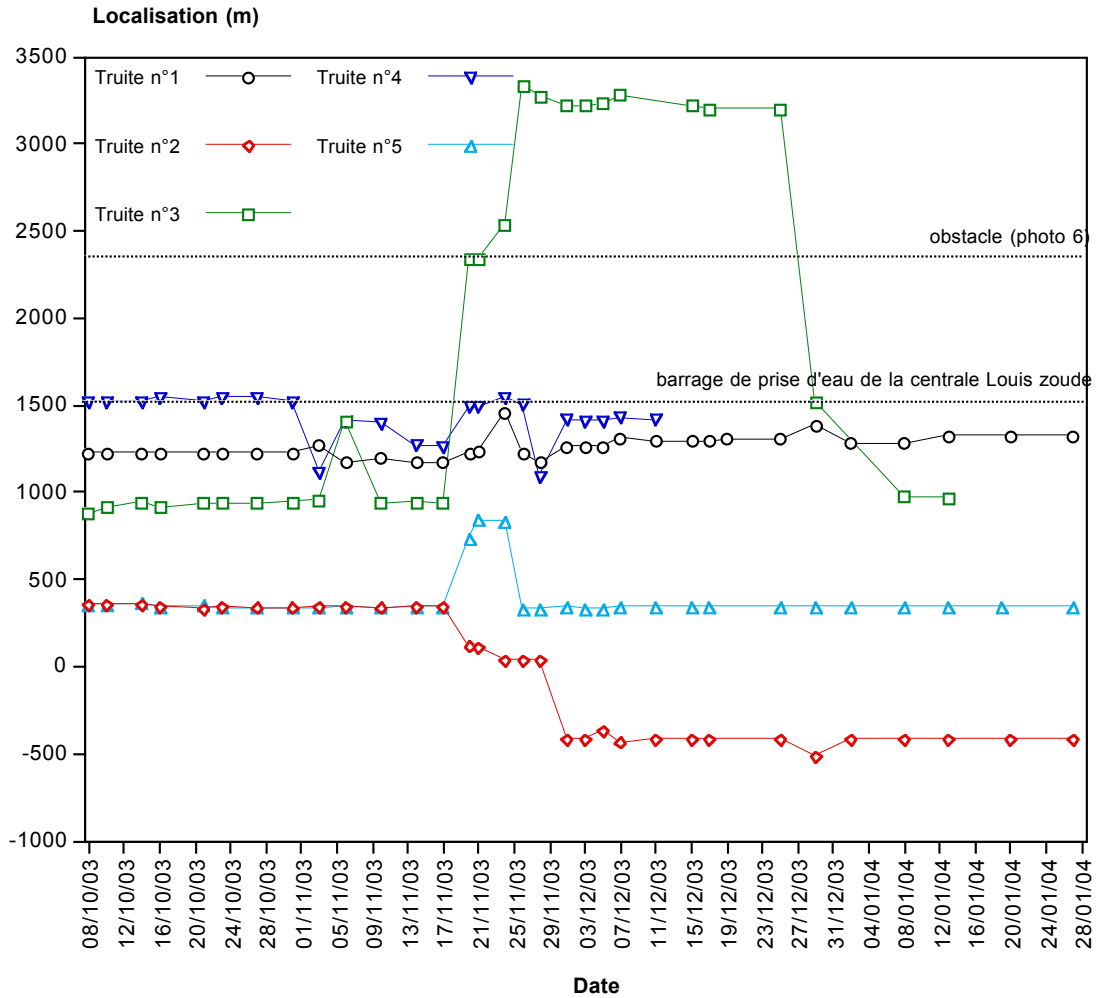


Figure 1: localisation des cinq truites radio-pistées dans la Lhomme en automne-hiver 2003-2004.

VI.4. Discussion

Comme nous l'avons observé chez l'ombre (chapitre V), les déplacements effectués par les truites radio-pistées sont largement inférieurs à ceux effectués dans l'Aisne (observations de 1995 à 1999, Ovidio et al, 1998, Ovidio 1999a et b) et dans d'autres cours d'eau du bassin de la Meuse (Ovidio et Philippart, 2002). Dans la Lesse, dans la région de Redu, Dupont (communication personnelle) a toutefois observé qu'entre 2003 et 2005 les trois quarts des migrations des truites sont inférieures au kilomètre mais que certains effectuent des migrations sur de plus longues distances (parfois plus de 20km comme dans l'Aisne). Des hypothèses

semblables celles évoquées pour l'ombre peuvent être émises pour tenter d'expliquer cette faible mobilité des truites dans le secteur :

- 1) L'existence historique de barrages et de micro centrales hydroélectriques dans le secteur de Poix Saint-Hubert a peut-être influencé les tactiques comportementales des populations de poissons situées en aval de ces aménagements. En effet, depuis de nombreuses années les migrations vers l'amont ont été perturbées et/ou empêchées par les nombreux obstacles, et, des comportements « non migrateurs » se sont peut-être génétiquement inscrits dans une partie de la population
- 2) La persistance des débits faibles des cours d'eau depuis 2003 pourrait diminuer les impulsions migratrices des truites.
- 3) La proximité de frayères favorables aurait favorisé un comportement sédentaire des truites lors de la période de reproduction. Cette hypothèse est plus faible car en milieu naturel, il est très fréquent que des truites quittent des zones de frai favorables pour se reproduire plus en amont (Ovidio, 1999). Ce comportement favorise le maintien de la diversité génétique des populations.

Toutefois, contrairement à ce qui a été observé chez l'ombre, deux truites sont parvenues à franchir le barrage de prise d'eau de la centrale « Hydroval » et une a franchi le barrage de prise d'eau de la centrale Pont-à-Smuid située juste en amont, qui n'est pas équipé d'une échelle à poissons. Cette observation est encourageante et montre qu'une partie de la population de truites continue à effectuer des mouvements entre certains biefs fragmentés par des obstacles. Toutefois, il ne faut pas perdre de vue que trois autres micro centrales fractionnent la Lhomme en amont de ces biefs et que nous ne connaissons rien des flux de poissons entre ces obstacles.

L'échelle à poissons qui n'avait pas été utilisée par les ombres semble utilisable pour la truite puisqu'elle n'a pas provoqué de retard de migration aux deux truites qui l'ont emprunté. Cette observation démontre une fois de plus que les capacités de franchissement des deux espèces sont très différentes (Ovidio &

Philippart, 2002, Ovidio et al., 2007) et qu'il faudra approfondir nos connaissances sur les capacités des ombres à franchir cet obstacle au cours des prochaines années.

L'observation d'épisodes de reproduction des truites est difficile en automne lorsque le débit et la turbidité de l'eau sont élevés. Plusieurs frayères potentielles ont tout de même été repérées dans la partie court-circuitée de la Lhomme, ce qui indique que la reproduction des truites y est possible, ce que démontrent les résultats des pêches d'inventaires. Notons encore que les truites radio-pistées n'ont jamais été localisées dans le canal de fuite de la micro centrale, ce qui confirme les observations réalisées sur les ombres au printemps 2003 (peu d'attractivité du canal de fuite pour les truites et les ombres).

VII. SUIVI DES FRANCHISSEMENTS DU BARRAGE DE PRISE D'EAU PAR LES OMBRES ET LES TRUITES. ETUDE PAR MARQUAGE-RECAPTURE AVEC DES TRANSPONDERS

VII.1. Introduction

Les observations réalisées par radio-pistage dans la Lhomme suggèrent que les ombres ne parviennent probablement pas à franchir le barrage de prises d'eau de la centrale « Hydroval » malgré la présence d'une échelle à poissons en enrochements (Voir chapitre V). Par contre, certaines truites sont capables de franchir « Hydroval » ainsi que le barrage de prise d'eau de la micro-centrale Pont-à-Smuid située juste en amont (chapitre VI).

Pour approfondir nos observations et tenter de mieux cerner la proportion d'individus de chaque espèce qui franchissent les différents barrages successifs, nous avons réalisé une étude par marquage-recapture sur un plus grand nombre d'individus de chaque espèce.

VII.2. Méthodes

Le 19 février 2004 (en période pré-reproduction), $n=47$ ombres < 21 cm ont été capturés dans la partie court-circuitée de la centrale « Hydroval » et dans la partie de la Lhomme, en régime naturel, en aval du canal de fuite de la centrale. $N=45$ ombres > 23 cm ont aussi été capturés et marqués les 10 et 13 octobre 2004 lors d'une session de marquage de truites (voir plus bas). Les 10 et 13 octobre 2004 (en période pré-reproduction), $n=132$ truites adultes > 18 cm ont été capturées par pêche à l'électricité dans la partie de la Lhomme court-circuitée de la micro centrale « Hydroval » Ces données de base sont détaillées en Annexe 8 et les tailles des poissons sont présentées dans le tableau 1.

Longueur (cm, LF)	Nombre de poissons marqués en aval du barrage Hydroval				Nombre de poissons > 13 cm capturés en amont du barrage Hydroval	
	OMBRES			TRUITES	Ombre 8/04/04 & 8-9/12/04, 18/1/05	Truite 8-9/12/04 ; 18/1/05
	19/2/04	8- 13/10/04	Total	8- 13/10/04		
13	-	-	-	-	3	2
14	-	-	-	-	4	3
15	-	-	-	-	2	23
16	-	-	-	-	1	40
17	-	-	-	-	-	39
18	-	-	-	1	2	36
19	-	-	-	5	2	50
20	-	-	-	23	3	66
21	3	-	3	18	8	44
22	10	-	10	28	11	48
23	2	4	6	16	8	36
24	6	6	12	15	9	16
25	8	5	13	6	12	18
26	2	10	13	8	5	7
27	4	1	5	3	5	5
28	5	7	12	-	4	8
29	4	4	8	2	2	6
30	2	4	6	-	5	-
31	1	2	3	1	1	4
32	-	2	2	1	2	1
33	-	-	-	-	2	-
34	-	-	-	-	-	1
35	-	-	-	1	-	-
36	-	-	-	-	1	-
37	-	-	-	-	-	-
38	-	-	-	1	-	-
N Total	47	46	93	132	92	453

Tableau 1. Répartition des fréquences des longueurs des ombres et des truites (a) marqués individuellement par transpondeur (puce électronique) dans la Lhomme en aval du barrage de la centrale Hydroval en 2004 et (b) capturés en amont du barrage pour rechercher des poissons marqués.

VII.3. Résultats

Plusieurs pêches à l'électricité ont été réalisées en amont du barrage de prise d'eau de la centrale « Hydroval » pour tenter de recapturer des géniteurs de truites et d'ombres équipés de pit-tag :

- le 8 avril 2004 au cours de la période de reproduction de l'ombre dans tout le tronçon en amont du barrage Hydroval jusqu'au barrage de la centrale Pont à Smuid ;
- le 8 décembre 2004, en amont du barrage « Hydroval » jusqu'au barrage de la centrale Pont à Smuid ;
- le 9 décembre 2004, en amont du barrage de prise d'eau de la micro centrale Pont-à-Smuid jusqu'en aval du barrage de la centrale Scierie d'en Bas, juste en amont de la confluence du Ruisseau de Poix ;
- le 18 janvier 2005, en amont du barrage « Hydroval » sur quelques centaines de mètres mais dans des conditions de pêche difficile à cause du fort débit.

Sur l'ensemble des pêches, nous avons couvert un secteur s'étendant de l'amont du barrage de prise d'eau de la centrale « Hydroval » à l'aval du barrage de prise d'eau de la centrale SDony/ Scierie d'en Bas (figure 3 du chapitre 2), soit environ 2 km de rivière correspondant entièrement à une zone à débit perturbé par le turbinage hydro-électrique.

Que ce soit pour l'ombre ou la truite, les pêches effectuées le 8/04/2004 et les 8 et 9/12/2004 et 18/01/2005, ont révélé que l'on se situait en pleine période de reproduction (femelle avec œufs, femelles passées, mâles spermiant, présence de frayères dans le cours d'eau). Un total de **346 truites > 18 cm** et **82 ombres > 18 cm ombres** ont été capturés (tabl. 1) , mais **aucun individu marqué en aval du barrage de prise d'eau de la centrale «Hydroval n'a été retrouvé en amont de celui-ci.**

En revanche, une pêche effectuée le 13 janvier 2005 dans le secteur de marquage en aval du barrage Hydroval a permis de vérifier la présence d'individus marqués. En un seul passage sur une distance couvrant les 2/3 du site de marquage, on a recapturé 37 sujets marqués individuellement (6 ombres > 18 cm sur un effectif

total de 61 poissons capturés et 31 truites >18 cm sur un effectif total de 104 poissons capturés), ce qui démontre que la rétention des pit-tags est bonne et que la perte de marques ne peut pas expliquer l'absence de recaptures de poissons en amont du barrage de prise d'eau.

VII. 4. Discussion

Au cours de ces expériences, aucun poisson marqué (ombre ou truite de 18-38 cm) en aval du barrage de prise d'eau de la centrale « Hydroval » n'a été recapturé dans les biefs en amont au cours de leurs périodes de reproduction généralement caractérisées par une grande mobilité vers l'amont.

Pour l'ombre, ces observations confirment les résultats obtenus par radiopistage (chapitre V) et indiquent que le barrage « Hydroval » n'a pas été franchi.

Pour la truite, les résultats sont plus surprenants. Alors que les suivis biotéléométriques ont prouvé que certains individus sont capables de franchir le barrage « Hydroval » ainsi que le barrage situé juste en amont (Pont-à-Smuid), les études par marquage-recapture n'ont pas permis de mettre en évidence le moindre franchissement, malgré le nombre important de poissons marqués (n=224) et recapturés (n= 594) pour le contrôle des marques.

Sur la base de ces résultats, il apparaît que le barrage de prise d'eau Hydroval est franchi exceptionnellement par la truite et jamais par l'ombre. L'exploitation de la microcentrale entraîne donc très probablement une certaine forme de fragmentation écologique de la Lhomme qui trouve son origine dans l'effet de blocage exercé par le barrage pourtant pourvu d'un aménagement de franchissement rustique en enrochements. Cela signifie que cet ouvrage de franchissement peut certainement être amélioré pour augmenter son attractivité et son efficacité

VIII. CONCLUSIONS GENERALES ET PERSPECTIVES

Les recherches réalisées de 2002 à 2006 nous ont permis d'évaluer l'impact de la centrale hydro électrique « Hydroval » sur différents aspects de l'écologie et de la démographie des poissons de la Lhomme dans la région de Poix Saint-Hubert. Ces différents points ont déjà été discutés en détail dans les chapitres respectifs. Nous nous contenterons donc de synthétiser ici les conclusions les plus marquantes des différents chapitres de l'étude.

Dans son mode de fonctionnement actuel, la centrale hydro-électrique «Hydroval » de Poix Saint-Hubert a incontestablement entraîné des modifications du fonctionnement écologique de la biocénose « poissons ». La durée de l'étude nous a permis de mettre en évidence des altérations rapides (sur quelques mois) et d'autres plus progressives (sur quelques années). On peut toutefois s'attendre à ce que certains processus d'altération soient toujours en cours et que leurs effets ne seront observables que d'ici quelques années. Il est important de garder cette réflexion à l'esprit à la lecture des conclusions de notre étude.

VIII.1. Synthèse des différents impacts sur les populations de poissons

A. Impact de la réduction du débit de la Lhomme sur la capacité d'accueil de la rivière, l'abondance et la démographie des poissons

Dans les conditions de débit réservé actuel (220 l/seconde), le court-circuitage de la Lhomme vers la micro-centrale a un effet significatif de réduction de la capacité d'accueil piscicole de la rivière. Les recensements annuels par pêche électrique démontrent que la biomasse en poissons a diminué très rapidement (en moins d'un an) et s'est stabilisée à un niveau anormalement bas après 3 ans de fonctionnement de la microcentrale. L'espèce la plus touchée est l'ombre commun (*Thymallus thymallus*) avec une perte de plus de 80% de la biomasse dans certains secteurs de la Lhomme. La biomasse en truites (*Salmo trutta*) a également chuté de 50%. Pour l'ensemble de la communauté, la perte de biomasse est de 55%.

Le passage au débit réservé a aussi entraîné une diminution de la proportion d'adultes par rapport aux juvéniles. Chez l'ombre commun, le nombre de juvéniles n'est pas en augmentation et c'est uniquement le nombre d'adultes qui diminue. Chez la truite commune, les résultats de l'année 2006 suggèrent qu'une augmentation du nombre de juvéniles est associée à la régression du nombre d'adultes. Les pêches réalisées dans le secteur témoin montrent clairement que ces changements sont propres au secteur perturbé hydromorphologiquement.

La perte de biomasse piscicole est accompagnée d'une déstructuration des rapports d'abondance des espèces. Les espèces accompagnatrices de petite taille (chabot et loche franche) sont devenues anormalement abondantes par rapport aux truites et aux ombres en diminution et exerçant donc une moindre pression de compétition et de prédation.

Enfin, nous avons mis en évidence que ces impacts étaient partiellement prévisibles grâce à l'application du protocole de modélisation EVHA et qu'ils auraient pu être évités ou réduits grâce à la réalisation d'une étude d'incidence préalable à l'aménagement portant sur la valeur du débit réservé.

B. Impact du barrage de prise d'eau sur la mobilité des poissons vers l'amont

Le barrage de prise d'eau de la microcentrale, bien qu'équipé d'une passe à poissons rustique en enrochements, a uniquement été franchi par 2 (sur n=137) truites marquées (de plus radio-marquées) en aval et n'a jamais été franchi par des ombres (n=93 marqués). Il est difficile de conclure si ce faible taux de franchissement résulte d'un problème d'attractivité de l'échelle (trop faible profondeur dans la rivière à son approche par l'aval), à un manque de motivation biologique des poissons à migrer (causé par la fragmentation historique de l'habitat, par les débits réservés ou par les faibles débits des cours d'eau depuis 2003) ou encore à un manque d'efficacité de l'échelle en enrochements liée à sa structure non conventionnelle par rapport à l'état actuel de la technologie (Larinier,1992). La réponse correspond probablement à un subtil mélange de ces trois explications.

Il est pourtant évident que l'efficacité de l'échelle pourrait être améliorée assez facilement car la disposition actuelle des enrochements (qui n'auraient pas été placés

comme prévu par l'entrepreneur qui a réalisé les travaux) n'autorise pas l'écoulement adéquat de l'eau et oblige les poissons à sauter d'un bassin à l'autre, surtout au niveau du dernier bassin amont. Notons également que les zones de repos et de contre-courants sont quasiment inexistantes et que la dispersion de l'écoulement de l'eau dans la partie aval de l'échelle est particulièrement néfaste pour son attractivité (photo 1).



Photo 1 : Vue de l'échelle à poissons en enrochements et des ses principaux défauts

De plus, l'entrée aval de l'échelle à poissons débouche dans une partie de cours d'eau élargie, à profondeur faible et assez uniforme et donc très peu attractive, d'autant plus qu'elle est propice à la prédation par le héron. Il faudrait pouvoir concentrer davantage le courant dans un chenal plus profond allant du pied de l'échelle à la rivière en aval de la passerelle. Mais cette option de réaménagement ne rencontre pas l'approbation du gestionnaire du cours d'eau en raison des risques de déstabilisation du lit à ce niveau. D'autres solutions devraient être recherchées.

C. Impact du canal de fuite sur la mobilité des poissons vers l'amont

Le canal de fuite de la centrale est long et les pêches à l'électricité ont révélé qu'il abrite un bon nombre d'espèces de poissons. Ces poissons sont pour la plupart des espèces non typiques du peuplement principal de la Lhomme (gardons, brochets, chevaines) et qui trouvent dans le canal de fuite un habitat plus favorable (moins de courant et plus de profondeur) à leurs exigences que dans le cours principal de la rivière. Toutefois, les études par radio-pistage ont montré que son attractivité est faible pour les géniteurs de truite et d'ombres qui sont en migration de reproduction vers l'amont et qui doivent faire le choix entre le canal ou le cours naturel de la rivière. Il ne constitue donc pas un obstacle ou un leurre à la remontée des ombres et des truites.

D. Impact du dégrilleur et des turbines sur le succès de dévalaison des poissons

Puisque la centrale « Hydroval » est située en aval de quatre autres microcentrales qui influencent l'ensemble des mouvements des poissons vers l'aval, ce volet de l'étude n'a pas pu être réalisé de manière intensive comme nous l'avions prévu dans le programme initial de recherche. Quelques truites ont toutefois été ramassées mortes ou moribondes à la sortie de l'exutoire de nettoyage des dégrilleurs (photos 2 et 3). Ces observations suggèrent que, dans une situation de référence (si la microcentrale « Hydroval » était la seule du cours d'eau), le taux de mortalité des poissons en dévalaison par placage sur les grilles ne serait probablement pas négligeable comme l'ont établi d'autres études (voir Philippart et al., 2003). Il faut aussi souligner que, dans sa configuration actuelle, l'exutoire de nettoyage des grilles ne permet pas à un poisson de retourner vers le cours naturel de

la rivière après son extraction des grilles et son déversement dans une goulotte d'évacuation vers un tas de déchets



Photo 2 : Vue du dégrilleur et de son exutoire de nettoyage dont la configuration ne permet pas aux poissons dégrillés de retourner vivants vers le cours naturel de la Lhomme



Photo 3 : Truites retrouvées mortes à la sortie de l'exutoire de nettoyage du dégrilleur

De plus, un poisson qui s'est engagé dans le canal d'aménée sans se faire prendre dans les grilles n'a pas d'autres solutions de retour à la rivière que de

réaliser le trajet en sens inverse vers l'amont du barrage de prise d'eau. Si un tel comportement est envisageable chez des poissons adultes qui ont de bonnes capacités de nage, il n'en est pas de même pour les alevins venant d'éclore et pour les juvéniles.

Dans sa structure actuelle, la prise d'eau de la centrale Hydroval illustre ce qu'il ne faut vraiment plus faire au plan du blocage de la dévalaison des poissons. Il est donc indispensable de prévoir un dispositif ad hoc permettant aux poissons (spécialement les salmonidés dont surtout la truite) qui sont bloqués devant la grille de rejoindre vivants la rivière grâce à une petite passe de dévalaison latérale prolongée par une goulotte ou un tuyau lisse (PVC) retournant à la rivière. Un aménagement de ce type avait été proposé en son temps par la Région wallonne - CRNFB mais l'exploitant ne l'a pas mis en œuvre en évoquant, d'une part, des problèmes hydrauliques (marnage de 60 cm) se produisant au niveau des grilles à certains moments et, d'autre part, une perte de débit supplémentaire par un exutoire de dévalaison.

Dans le contexte de la succession de cinq centrales hydroélectriques dans la partie de la Lhomme concernée, il faut être conscient que le problème du blocage de la dévalaison se pose aussi au niveau des autres centrales. Les plus directement impliquées sont celles (Pont-à Smuid et Sainte-Adeline) situées en aval du Ruisseau de Poix qui est susceptible d'alimenter la Lhomme en jeunes truites dévalantes pouvant provenir d'adultes remontés de l'aval. Les deux autres centrales sont à première vue moins impliquées car le site du barrage de Poix forme un obstacle totalement infranchissable par les poissons en remontée, ce qui constitue un élément majeur de fragmentation écologique de la rivière. Par ailleurs, la retenue de 4 ha que forme ce barrage est un piège pour d'éventuels dévalants venant de l'amont.

En raison de la fonction didactique régulièrement affichée de la centrale Hydroval, le souci de cohérence doit conduire à installer un dispositif efficace de dévalaison des poissons même si l'on sait d'avance qu'il contribuera à sauver un nombre de poissons moindre que sur des sites équipés d'une seule usine.

E. Mortalité des poissons après un passage dans les turbines

Pour les mêmes raisons de non représentativité que celles évoquées au point précédent, ce type d'impact n'a pas été étudié dans le cadre de ce travail.

À ce sujet, on insistera sur le fait que l'écartement des barreaux de la grille est tel (2 cm) que bon nombre de poissons dévalants ne sont probablement pas entraînés vers les turbines. Seuls sont concernés de très jeunes poissons qui, vu leur faible taille, risquent moins que les plus grands sujets, de subir des blessures au moment de leur passage dans les turbines. En revanche, le fait que les dévalants tendent à s'accumuler devant la grille accroît les risques de placage contre celles-ci et de mortalité au moment du dégrillage dans les conditions où il se pratique à Hydroval. Ce constat renforce la nécessité d'installer une passe de dévalaison efficace selon le schéma de principe illustré par la figure 2.

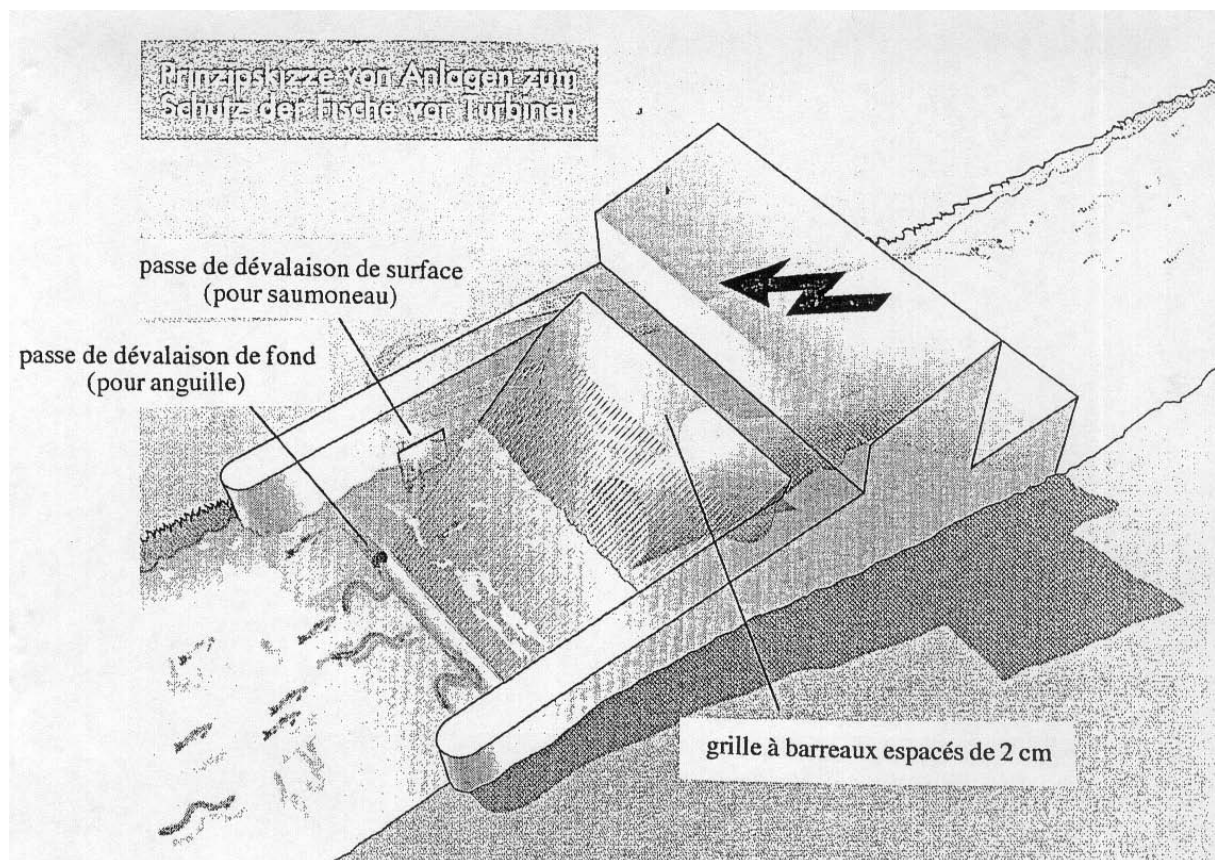


Figure 1. Schéma de principe d'une installation de protection des poissons en dévalaison à hauteur d'une turbine hydroélectrique.

F. Impact du débit réservé sur les comportements des truites et des ombres

La persistance des faibles débits au cours des périodes de reproduction des ombres (printemps) et des truites (automne) est associée à une mobilité anormalement faible des géniteurs en comparaison avec des situations de référence dans des cours d'eau similaires en Wallonie ou dans d'autres cours d'eau européens. Ces observations suggèrent que l'écologie comportementale des ombres et des truites a été historiquement perturbée dans le sous-bassin de la Lhomme à cause de l'importante fragmentation de l'habitat par une cascade de cinq barrages hydro-électriques dont celui situé le plus l'amont (Dony, Scierie d'en Haut) est tout à fait infranchissable en raison de la hauteur de la chute (12,5 m)

G. Impact du débit réservé sur la pêche récréative

Le passage au débit réservé a provoqué une forte perte d'attractivité de la rivière pour la pêche sportive, résultant du fait ce sont principalement les grands ombres et truites pêchables qui ont été touchés par la perte d'habitat. L'annexe 9 présente l'analyse de la situation pour l'association de pêche locale.

Une forme d'impact indirect de la réduction artificielle du débit de la Lhomme sur la pêche est le risque d'accentuation de la mortalité due à la prédation par le héron dans la mesure où celle-ci est facilitée par la diminution de la profondeur de l'eau et la multiplication des rochers émergés servant de point d'observation et de pêche à l'oiseau. Mais de tels effets probables n'ont pas pu être étudiés et encore moins quantifiés.

VIII.2. Perspectives d'actions et d'études futures sur le site d' « Hydroval »

Dans l'état actuel des choses, il serait particulièrement intéressant de proposer, mettre en œuvre et évaluer des solutions alternatives pour tenter de diminuer les impacts du fonctionnement de la centrale sur la communauté piscicole.

Outre les modifications structurelles qui s'imposent au niveau de l'échelle à poissons du barrage de prise d'eau et du canal d'amenée à hauteur des grilles de

prise d'eau (voir point VIII.1), il serait judicieux de tenter de minimiser l'impact du débit réservé sur la dynamique de population des poissons.

En matière de limitation de la perte d'habitat hydraulique, deux propositions sont possibles : i) une révision du débit réservé (qui devrait être fixé à un minimum de 350 l/s) et/ou ii) une modification de la morphologie du lit de la rivière court-circuitée pour tenter de recréer une meilleure disponibilité d'habitats d'eau profonde pour les ombres et les truites adultes. Si les recensements piscicoles sont poursuivis, nous disposons de toutes les informations (situation d'origine, situation après perturbation) pour vérifier les réponses biologiques des populations de poissons, et donc l'efficacité des aménagements réalisés. L'occasion est vraiment unique d'autant plus que les problèmes traités dans ce dossier sont au cœur des réflexions sur les composantes hydromorphologiques du bon état ou potentiel écologique des eaux de surface au sens de la Directive Cadre sur l'Eau (DCE) de l'Union européenne (voir rapport à la Région wallonne par Sonny et al., 2006) (Annexe 9).

Dans cette perspective, il serait aussi utile d'envisager une gestion hydro-écologique de la cascade de micro-centrales sur la Lhomme à Poix. Certaines de ces centrales fonctionnent dans des conditions qui entraînent périodiquement une mise à sec pratiquement totale du lit de la Lhomme court-circuité par la prise d'eau, comme cela a été constaté pour des centrales situées en amont (photos 4 et 5).

D'après les éléments rassemblés lors de la présente étude, il apparaît raisonnable de considérer comme susceptible d'être préservé-restauré hydromorphologiquement le tronçon de la Lhomme compris entre l'aval du canal de fuite d'Hydroval et le Ruisseau de Poix. En effet, celui-ci est susceptible d'alimenter la Lhomme en jeunes truites dévalantes pouvant provenir d'adultes remontés de l'aval, ce qui a été démontré dans le cas d'une truite radio-pistée. Sont ainsi directement et prioritairement impliquées trois unités : Hydroval, Pont-à-Smuid et Sainte-Adeline.



Photo 4 : Mise à sec du cours principal de la Lhomme en amont de la centrale Hydroval



Photo 5 : Mise à sec du cours principal de la Lhomme en amont de la centrale Hydroval

Les deux autres centrales situées en amont posent aussi un problème sérieux, mais il ne nous semble pas raisonnable de s'y attaquer prioritairement car le site du barrage de Poix, haut d'une douzaine de mètres, forme un obstacle totalement infranchissable par les poissons en remontée, ce qui constitue un élément majeur de

fragmentation écologique de la rivière. Par ailleurs, la retenue de 4 ha que forme ce barrage est un piège pour d'éventuels dévalants venant de l'amont. On peut donc craindre que le coût de la restauration écologique d'un tel site en terme de rétablissement de la libre circulation vers l'amont soit excessif par rapport aux bénéfices écologiques et piscicoles attendus.

IX. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Almadovar A. & Nicola G.G., 1999.** Effects of a small hydropower station upon brown trout *Salmo trutta* L. in the River Hoz Seca (Tagus basin, Spain) one year after regulation. *Regulated Rivers : Research & Management*, **15** : 477-484.
- Capra H., Sabaton C., Gouraud V., Souchon, Y., Lim, P., 2003.** A population dynamic model and habitat simulation as a tool to predict brown trout demography in natural and bypassed stream reaches. *Regul. River* **19**, 551-568.
- Descy J.P., Empain A. et Lambinon J., 1982.** Un inventaire de la qualité des eaux du bassin wallon de la Meuse (1976-1980). *Tribune du Cebedeau*, **463-464**, 267-278.
- Dunbar M.J., Gustard A., Acreman M., Elliott C.R.N., 1998.** Overseas approaches to setting River Flow Objectives. R&D technical report W6B(96)4. Institute of hydrology, 80 pp
- Garcia Bautista A., 2002.** La problématique des débits réservés dans le contexte de l'Union Européenne. Le cas de l'Espagne, la France et le Royaume Uni. Cemagref de Lyon, 66p.
- Ginot V., Souchon Y., Capra H., Breil P., Valentin S., 1998.** Logiciel EVHA 2.0. Evaluation de l'habitat physique des poissons en rivière: Guide méthodologique. Cemagref BEA/LHQ et Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement.
- Haddingh R.H. & Bruijs M.C.M., 2002.** Hydroelectric power stations and fish migration. *Tribune de l'Eau*, **619-620**/5-6 – Sept/Oct-Nov/Déc 2002 : 79-87.
- Huet M., 1949.** Aperçu de la relation entre la pente et les populations piscicoles des eaux courantes. *Schweiz. Z. Hydrol.*, **11** : 332-351.
- Larinier M., 1992.** Facteurs biologiques à prendre en compte dans la conception des ouvrages de franchissement, notions d'obstacles à la migration. *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture* **326-327**, 20-29.
- Meyer L. 2001.** Spawning migration of grayling *Thymallus thymallus* (L., 1758) in a Northern German lowland river. *Arch. Hydrobiol.*, **152** : 99-117.
- Nykänen M., Huusko A. & Mäki-Petäy A. 2001.** Seasonal changes in the habitat use and movements of adult European grayling in a large subarctic river. *Journal of Fish Biology*, **58** : 506-519.
- Ovidio M. 1999 a.** Cycle annuel d'activité de la truite commune (*Salmo trutta* L.) adulte: étude par radio-pistage dans un cours d'eau de l'ardenne belge. *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture* **352**: 1-18.
- Ovidio, M. 1999 b.** Tactiques et stratégies individuelles d'utilisation spatio-temporelle de l'habitat et des ressources alimentaires chez la truite commune (*Salmo trutta* L.): étude par radio-pistage dans l'Aisne et l'Ourthe. Thèse de doctorat en Sciences, Université de Liège, 196pp.
- Ovidio M., Baras E., Goffaux D., Birtles C. & Philippart J.C. 1998.** Environmental unpredictability rules the autumn migrations of trout (*Salmo trutta*) in the Belgian Ardennes. *Hydrobiologia*, **371/372**: 262-273.
- Ovidio, M., Capra, H., Philippart, J.C, 2007.** Field protocol for assessing small obstacles to migration of brown trout *Salmo trutta*, and European grayling *Thymallus thymallus*: a contribution to the management of free movement in rivers. *Accepted in Fisheries Management and Ecology*, **14**, 41-50.
- Ovidio M., Paquer F., Capra H., Lambot F., Gerard P., Dupont E. & Philippart J.C. 2004.** Effects of a micro hydroelectric power plant upon population abundance, mobility and reproduction behaviour of European grayling *T. thymallus* and brown trout *S. trutta* in a salmonid river. In

"Proceedings of the Fifth International Symposium on Ecohydraulics, Aquatic Habitats: Analysis and Restoration" (D. Garcia de Jalon Lastra & P. Vizcaino Martinez, eds), Madrid, Spain: 56-62.

- Ovidio M. & Philippart J.C. 2002.** The impact of small physical obstacles on upstream movements of six species of fish. . Synthesis of a five years telemetry study in the River Meuse Basin. *Hydrobiologia*, 483: 55-69.
- Ovidio M., Parkinson D., Sonny D. & Philippart J.C. 2004.** Spawning movements of the European grayling *Thymallus thymallus* in the River Aisne. *Folia Zoologica* 53: 87-98.
- Parkinson D., Philippart J.C. & Baras E., 1999.** A preliminary investigation of spawning migrations of grayling in a small stream as determined by radio-tracking. *Journal of Fish Biology*, 55 :172-182.
- Parkinson D., Petit F., Houbrecht G., & Philippart J.-C. 2001:** Dynamique de modification de l'habitat physique de reproduction des pondeurs lithophiles sous gravier. Cas de deux frayères à ombres dans l'Aisne. *Bull. Soc. Géog. Liège* 40: 41-55.
- Philippart J.C., Sonny D. et Raemakers V., 2003.** Impact mécanique des prises d'eau et turbines sur les poissons en Meuse liégeoise. *Tribune de l'Eau*, 619-620/5-6- Sept/Oct-Nov/Déc 2002 : 155-165.
- Petts, G. E. 1996.** Water allocation to protect river ecosystems. *Regulated Rivers: research and management* 12 353-365.
- Sonny D., 2000.** Rythmes saisonniers et journaliers d'activité de l'ombre commun (*Thymallus thymallus* L.) lors de la période *circum* reproduction : étude par biotélémetrie dans l'Aisne et le Néblon. Travail de fin d'études :DES en Aquaculture, Université de Liège. 36p.
- Sonny, D. 2006.** Etude des profils de dévalaison des poissons dans le Meuse moyenne belge. Thèse de doctorat en Sciences, Université de Liège, 294 pp.
- Souchon Y., Valentin S. et Capra H., 1998.** Peut-on rendre plus objective la détermination des débits réservés par une approche scientifique? *La Houille blanche*, 8 : 41-45.
- Tharme RE. 2003.** A global perspective on environmental flow assessment: emerging trends in the development and application of environmental flow methodologies for rivers. *Rivers Research and Application* 19:397-441.
- Valentin S.,1996.** Effets des éclusées hydroélectriques en rivière : diagnostic hydroécologique et aide à la gestion. Exemple de la Fautaulière (Ardèche). *La Houille Blanche*, 5 : 25-31.
- Valentin S., Sempeski P., Souchon Y. & Gaudin P., 1994.** Short-term habitat use by young grayling, *Thymallus thymallus* L., under variable flow conditions in an experimental stream. *Fisheries Management and Ecology*, 1 : 57-65.
- Vanden Bossche, J.P., 2005.** Evolution de la qualité biologique des cours d'eau de Wallonie de 1990 à 2002. Carte, poster. Centre de Recherches de la Nature, des Forêts et du bois, DGRNE-MRW, B-5030 Gembloux.