

## MEMOIRE DE MAITRISE



IMPACTS DES BARRAGES FONCTIONNANT  
PAR ECLUSEES SUR LES MILIEUX  
AQUATIQUES ET SUR LEURS USAGES.

Chastang

MST IMACOF  
UFR Sciences et techniques  
Parc de Grandmont  
37 000 Tours

TUTEUR : M<sup>me</sup> MOATAR

# REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier toutes les personnes qui m'ont aidée dans la réalisation de ce mémoire et plus particulièrement :

- M<sup>me</sup> MOATAR pour sa disponibilité et ses nombreux conseils,
- M. DUMEE, M. KARDACZ et M. DECOU pour m'avoir donné de leur temps ainsi que de nombreux renseignements,
- M<sup>me</sup> SABATON qui m'a orientée vers les personnes compétentes,
- ainsi que toutes les personnes qui m'ont aidée dans mes recherches à tous les niveaux.

# SOMMAIRE

	<u>Pages</u>
Résumés français et anglais	5
Liste des figures et tableaux	6
<u>Introduction</u>	9
<u>I. Eclusées</u>	10
1) Généralités	10
a) Définition	10
b) Exploitation des barrages EDF	10
c) Réglementation	11
d) Eclusées en France	11
e) Intérêts des éclusées	13
2) Cas particulier du barrage de Chastang	13
a) La Dordogne	14
b) Caractéristiques du barrage de Chastang	15
c) Intérêt spécifique	16
<u>II. Impacts sur le milieu</u>	17
1) Hydraulique et hydrologie	17
a) Paramètres caractéristiques des éclusées	17
b) Crues	21
c) Nappe	22
2) Physico-chimie	23
a) La température	23
b) L'oxygène dissous	24
c) Autres éléments	25
3) Sédiments et érosion des berges	26
4) Végétation du lit et des berges	27
5) Faune piscicole	29
a) Migrations	29
b) Reproduction	29
c) Modification de l'habitat et du comportement	30
- Habitat	30
- Forces tractrices	33
- Peuplement	33
- Comportement	34
- Echouages	35

6) Macroinvertébrés benthiques	36
a) Comportement	36
- La dérive	36
- Les mises à sec	38
b) Le peuplement	38
- Les pontes	38
- Structure du peuplement	38
 <u>III. Impacts économiques et humains</u>	 41
- Activités économiques touchées	41
- Catégories d'usagers touchés	41
- Impacts ressentis par les usagers	41
- Limitation des activités	42
- Propositions d'actions des usagers	43
- Sécurité des personnes	43
 <u>IV. Limitation des impacts</u>	 44
1) La démodulation	44
2) Actions sur le régime des eaux	45
- sur le débit plancher	45
- sur les gradients	46
- sur la fréquence	46
- sur le débit maximum	46
3) Actions sur le milieu	47
- Création d'abris pour la faune	47
- Ecoulement et annexes hydrauliques	47
- Sites de fraies	47
4) Informer	48
5) Amélioration de la connaissance	48
 <u>Conclusion</u>	 49
 Bibliographie, ouvrages consultés	 50
Annexes	54

## RESUME

L'hydroélectricité joue un rôle important dans le système de production électrique français. Notamment, la gestion des barrages par éclusées permet de répondre aux périodes de forte consommation. Le principe de ces barrages est de retenir l'eau aux heures creuses et de la turbiner en période de forte demande.

Un tel mode de fonctionnement possède de nombreux impacts sur les milieux aquatiques. Toutefois, le nombre restreint d'études et la particularité de chaque site, comme celui du barrage de Chastang sur la Dordogne, limitent les connaissances sur ces impacts. Tous les compartiments du système sont affectés : physique, physico-chimique, biologique et anthropique.

La concertation entre les différents acteurs permet néanmoins d'apporter des solutions et de gérer ces impacts par la réalisation d'actions sur le milieu ou sur le fonctionnement des barrages en lui-même.

**Mots-clés** : barrage, éclusées, production hydroélectrique, Dordogne, Chastang.

## SUMMARY

Hydroelectricity stands for an important part in the french electricity production system. In particular, dams managed by hydropeaking provide electricity when the demand is high. Water is held behind the dam during hours when energy demand is low and released only when energy demand is high.

Such a working brings out numerous impacts on the aquatic environment. However, a lack of studies and the particularity of each site (like the dam of Chastang on the river Dordogne) limit knowledge on those impacts. All compartment of the aquatic system are affected : physical, physico-chemical, biological and human's activities.

Nevertheless, consultation between actors brings solutions to manage the impacts by acting on the hydropeaking or on the aquatic environment.

**Key words** : Dams, hydropeaking, Electricity production, Dordogne, Chastang.

## RESUME

En France, l'hydroélectricité permet de fournir 15 % de la demande en électricité. Le fonctionnement par éclusées de certaines usines hydroélectriques fournit notamment de l'énergie aux heures de forte demande. Pour cela, le barrage retient l'eau aux heures creuses et la turbine en période de pointe.

Les impacts d'un tel fonctionnement sur le milieu aquatique sont nombreux et liés aux caractéristiques des éclusées (amplitude, intensité, fréquence,...). Tous les compartiments du système sont affectés : le régime hydraulique est totalement artificialisé, certains paramètres physico-chimiques sont dégradés et les peuplements benthiques et halieutiques sont modifiés (diminution de la biomasse et de la densité).

La nappe, la charge solide et la végétation sont également soumis à des perturbations. Les activités économiques et la sécurité des personnes à l'aval des barrages sont également compromis. Une concertation entre les acteurs permet toutefois de limiter les effets des éclusées par l'engagement d'actions sur le milieu ou sur le régime des eaux.

**Mots clés** : barrage, éclusées,

## SUMMARY

With hydroelectricity, we can produced 15 % of electricity demand in France. Among others, hydroelectric plant managed by hydropeaking allows energy production when the demand is high. Therefor, water is held behind the dam during hours when energy demand is low and released only when energy demand is high.

Impacts on aquatic environment of such a working are numerous and linked to hydropeaking's characteristics (amplitude, frequency, intensity, ...). All compartment of the system are affected : water regime is artificialized, some physico-chemical paremeters are degraded and benthic and fish populations are modified (their density decreases).

**Watertable**, sediment and vegetation are also affected by perturbations.

Economic activities and people safety downstream of the dam are also jeopardized.

Consultation between actors can reduce impacts of hydropeaking by making works on river bed or by modifying water regime.

## INTRODUCTION

L'énergie électrique, en France, est produite par les centrales thermiques (classiques ou nucléaires), l'hydroélectricité (fil de l'eau ou éclusées) et, pour une faible part, par les énergies renouvelables. Cependant, seules la souplesse et la rapidité de mise en œuvre de l'hydroélectricité, et plus particulièrement des usines fonctionnant par éclusées, permettent de répondre aux pics de consommation électrique (Annexe 1 p. 55). Ce mode de gestion des barrages joue donc un rôle très important dans le système de production français. Il consiste à exploiter la capacité de la retenue de certains barrages pour produire de l'énergie, de manière intermittente, par turbinage.

S'il paraît inévitable de maintenir un tel mode de gestion des barrages en France de part son poids économique, il est toutefois important de noter que de nombreux impacts sur l'environnement, et notamment sur les milieux aquatiques, mais aussi sur les usagers de la rivière se font ressentir aux abords de ces ouvrages. L'artificialisation des débits à l'aval des usines hydroélectriques provoque en effet une perturbation importante de l'anthroposystème aquatique. Tous les compartiments sont affectés : physique, biologique, physico-chimique et anthropique.

Ce rapport présente donc tout d'abord de manière très générale le fonctionnement des barrages par éclusées. Les deuxième et troisième parties traitent respectivement des impacts d'une telle gestion sur les milieux aquatiques et sur l'économie locale. Enfin, une dernière partie tente de décrire les différents moyens qui pourraient être employés afin de réduire ces impacts.

L'étude du barrage de Chastang situé sur la partie supérieure de la Dordogne à Argentat en Corrèze (19) permet d'étayer, par de nombreux exemples, l'ensemble de cette synthèse bibliographique. Toutefois, le nombre très restreint d'études menées sur ce site se montre parfois très limitant.

## I. Eclusées

Cette première partie nous permet de donner une définition du fonctionnement par éclusées, d'en voir les principes et le cadre réglementaire ainsi que le contexte économique dans lequel ce type de gestion s'inscrit. Nous présenterons également le barrage de Chastang, qui étayera nos propos dans les parties suivantes.

### 1) Généralités

#### a) Définition

**Eclusée** : « Volume d'eau lâchée à partir d'un ouvrage hydraulique (ouverture d'une porte d'écluse, turbinage d'eau stockée dans un barrage réservoir,...) et se traduisant par des variations de débits brusques et artificielles » (SDAGE Adour-Garonne, 1996).

#### b) Exploitation des barrages EDF

Les barrages hydroélectriques fonctionnant par éclusées stockent l'eau dans leur réservoir aux périodes de faible consommation et la turbinent lors de consommation de pointe. En période d'inactivité de l'usine hydroélectrique, le débit aval est donc égal à un débit minimum : le débit réservé. Le plus souvent ce débit est inférieur au débit entrant dans le réservoir : c'est la période d'accumulation. A l'inverse, en période d'activité, le débit aval est supérieur au débit entrant dans la retenue et est fonction des caractéristiques des turbines qui équipent l'ouvrage : c'est l'éclusée. La fin de l'éclusée correspond à l'arrêt du turbinage (Annexe 2 p 56).

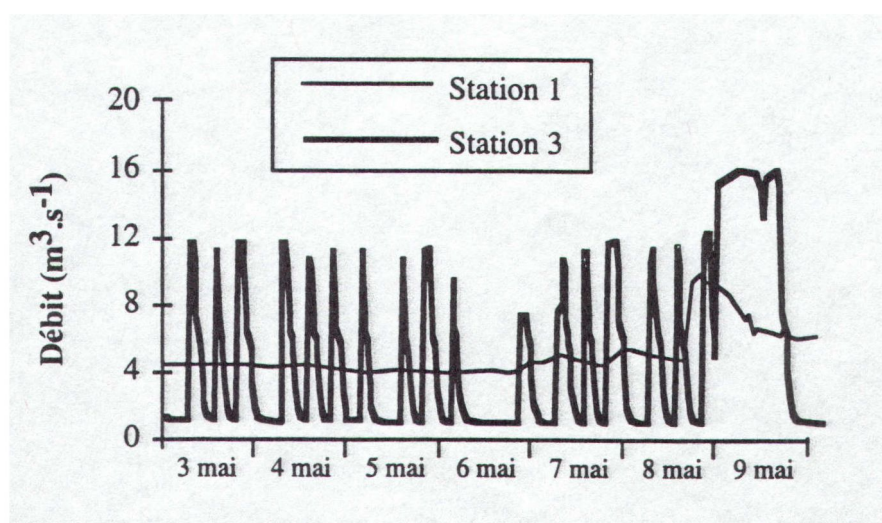


Figure n° 1 : Comparaison des débits à l'amont (station 1) et à l'aval (station 3) d'un barrage fonctionnant par éclusées (VALENTIN, 1995).

Comme le montre la Figure 1 p.10, une succession de débits en dents de scie peut donc être observée à l'aval de ces ouvrages. L'éclusee est un phénomène artificiel et répétitif (Compagnie des experts et sapiteurs, 1999).

#### c) Réglementation

Il n'existe aucun texte réglementaire spécifique aux ouvrages fonctionnant par éclusées et regroupant les différentes obligations auxquelles sont tenus les exploitants. Nous présentons donc ici les principaux documents législatifs devant être pris en compte par les gérants d'usine.

L'**article 10 de la loi sur l'eau** soumet les ouvrages fonctionnant par éclusées à autorisation. Le cahier des charges de ces ouvrages précise la valeur du débit réservé qui doit être restitué à l'aval de l'ouvrage.

Le débit réservé, défini par la **loi L-232-5 du code rural**, correspond au débit minimal garantissant en permanence la vie, la circulation et la reproduction des espèces qui peuplent les eaux au moment de l'installation de l'ouvrage. A ce titre, ce débit doit être maintenu **à chaque instant** à l'aval des barrages.

La **loi pêche de 1984** précise que le débit réservé doit être égal au 1/10 du module (débit moyen annuel) entrant dans la retenue, excepté pour les ouvrages antérieurs à cette loi, qui eux doivent respecter la valeur précisée dans le cahier des charges (1/40 ou 1/30 ... du module).

La **circulaire du 13 Juillet 1999**, circulaire DRAC faisant suite à un accident mortel parvenu sur ce même cours d'eau, se rapporte à la sécurité des usagers de la rivière à l'aval de barrages hydroélectriques dont le fonctionnement présente un risque. Ce texte définit les mesures à prendre afin d'améliorer la sécurité des zones situées à proximité des barrages.

#### d) Eclusées en France

Une enquête effectuée auprès des exploitants d'EDF a permis de recenser les différents types d'aménagements gérés par éclusées en France (LAUTERS, 1995). 144 ouvrages ont été dénombrés lors de cette enquête. LAUTERS les regroupe en trois types d'implantation (Annexe 3 p. 57):

- les usines gérées par éclusées et rejetant l'eau directement dans la rivière. 92 ouvrages sont concernés et présentent des modes d'implantation plus ou moins complexes avec mise en jeu de plusieurs usines, plusieurs rivières ou plusieurs barrages. Selon la position de l'usine hydroélectrique par rapport au barrage, deux sous-classes peuvent être distinguées :

- Usine au pied du barrage : l'aval immédiat de l'ouvrage est alors affecté par les éclusées.
- Usine éloignée du barrage : l'eau de la retenue est dérivée par une conduite forcée, afin d'augmenter la hauteur de chute, et est restituée à une distance plus ou moins grande du barrage. Le débit aval est alors égal au débit réservé de l'aval immédiat du barrage jusqu'à la restitution : c'est le tronçon court-circuité. Puis, à partir de la restitution, le cours d'eau est soumis au régime d'éclusées.

- les usines au fil de l'eau qui, en étiage, adoptent un fonctionnement par éclusées (alors rendu possible par les faibles débits, malgré le faible volume de la retenue) pour pallier le suréquipement de l'usine par rapport à ce débit d'étiage (28 ouvrages).

- les usines au fil de l'eau répercutant les éclusées d'une usine située en amont (24 ouvrages).

Cette étude ne recense pas les nombreux ouvrages gérés par éclusées et rejetant l'eau turbinée dans le réservoir (c'est le cas de Chastang) ou la conduite forcée d'un barrage situé en aval immédiat.

LAUTERS donne également des grandeurs générales caractérisant l'implantation et les effets des 144 ouvrages recensés (Annexes 4.1 et 4.2 p. 58-59):

- 44% génèrent des variations de débits d'intensité forte à forte/moyenne,
- 47 % affectent des tronçons de plus de 20 km de long à leur aval,
- et 74 % sont situés sur des cours d'eau dont le module est inférieur à 25 m<sup>3</sup>/s, 55 % sur des cours d'eau de module inférieur à 15 m<sup>3</sup>/s.

La diversité des ouvrages, de leur lieu et mode d'implantation est donc clairement mise en évidence par LAUTERS. Elle devra être prise en compte lors de la partie impact de ce rapport.

#### e) Intérêts des éclusées

La gestion par éclusées présente un double intérêt : énergétique et économique

##### **→ Intérêt énergétique**

EDF doit, à tout instant, produire suffisamment d'énergie pour satisfaire la consommation, qui varie de façon quotidienne, hebdomadaire et saisonnière. L'inertie et le coût du démarrage des centrales thermiques classiques et nucléaires ne permettent pas de répondre aux consommations de pointe. La souplesse et la rapidité de mise en œuvre des ouvrages fonctionnant par éclusées en font des éléments essentiels dans la gestion de la production d'électricité (LAUTERS, 1995 ; VALENTIN, 1995). Leur instantanéité de mise en service et leur capacité d'accumulation puis de production sur des périodes précises participent à la sécurité du système national (EDF, 1999).

##### **→ Intérêt économique**

Les paramètres qui déterminent l'intérêt économique du fonctionnement par éclusées sont techniques (hauteur de chute, capacité utile des réservoirs,...) et tarifaires (Compagnie des experts et sapiteurs, 1999).

La simulation de deux modes de production (Annexe 5 p. 60), turbinage seulement aux heures pleines (éclusées) et turbinage constant, montre nettement l'intérêt pour le producteur du fonctionnement par éclusées. Cet intérêt dépend cependant largement de l'écart entre les tarifs « heures pleines » et le tarif moyen saisonnier (Compagnie des experts et sapiteurs, 1999).

#### 2) Cas particulier du barrage de Chastang

Le barrage de Chastang est situé sur la Dordogne en amont de la commune d'Argentat (19). C'est le dernier barrage de la chaîne des ouvrages supérieurs de la Dordogne, constituée également des barrages de Bort-les-Orgues, Marège et L'aigle. Il fût mis en service en 1951 (EDF, 1999).

a) La Dordogne (Comité de bassin Adour-Garonne, 1996)

La Dordogne provient de la confluence de la Dore et de la Dogne dans le Massif Central. Après 483 km, elle rejoint l'estuaire de la Gironde.

Le **climat**, sous influence océanique à l'ouest, devient plus rude et plus arrosé à l'approche du massif central, avec un hiver froid et pluvieux et un été chaud et sec perturbé par de violents orages.

La **géologie** du bassin est assez complexe et peut se résumer ainsi :

- roches volcaniques dans le Massif central,
- plateaux cristallins dans le Limousin,
- plateaux calcaires et siliceux dans le Périgord,
- et enfin sables landais.

Les **usages** sur le bassin ont été fortement modifiés au cours du dernier siècle et les principaux sont actuellement : l'élevage et l'industrie agro-alimentaire, l'industrie papetière (avec l'extension des forêts), la polyculture et les cultures spécialisées, le tourisme rural et enfin l'exploitation hydroélectrique.

Ce dernier usage a contribué à une forte modification du régime de la Dordogne et de ses affluents (Comité de bassin Adour-Garonne, 1996).

Au niveau du barrage de Chastang (à Argentat), les caractéristiques hydrologiques moyennes sont présentées dans la Figure 2 p. 14 :

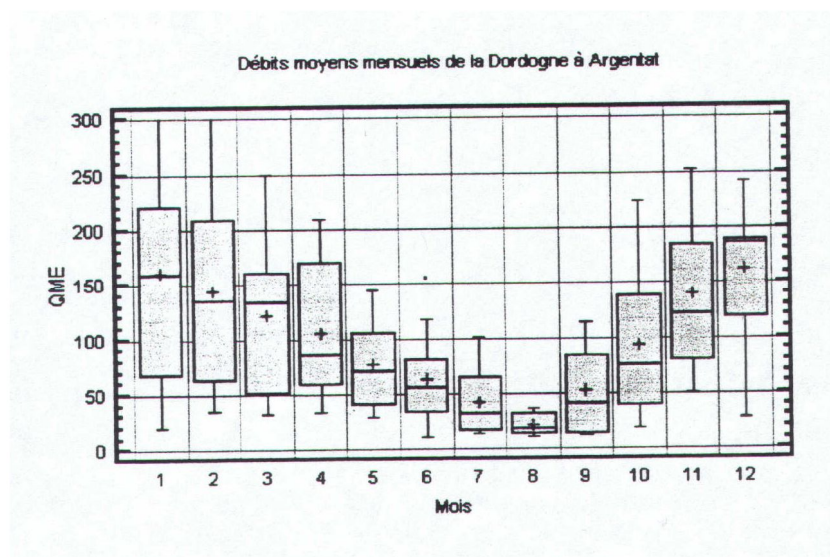


Figure n°2 : Débits moyens mensuels sur la Dordogne à Argentat (source : Agence de l'eau Adour-Garonne)

L'agence de l'eau donne également le module (débit moyen annuel) interannuel à Argentat calculé sur 11 années (1989-2000) :  $Q = 98 \text{ m}^3/\text{s}$ .

#### b) Caractéristiques du barrage de Chastang

Le barrage de Chastang (Figure 3 p. 15) est de type poids-voûte (il se maintient grâce à son propre poids et aux contraintes qu'il exerce sur les berges). Du haut de ses 79 m, il présente une hauteur de chute de 73.8 m. Sa retenue, de 187 millions de  $\text{m}^3$ , s'étend sur 31 km. L'ouvrage est équipé de trois turbines Francis pouvant restituer un débit total de  $533 \text{ m}^3/\text{s}$ . L'aménagement du Chastang possède donc une puissance totale installée de 282,5 MW. L'usine hydroélectrique est située au pied du barrage (EDF, 1999).

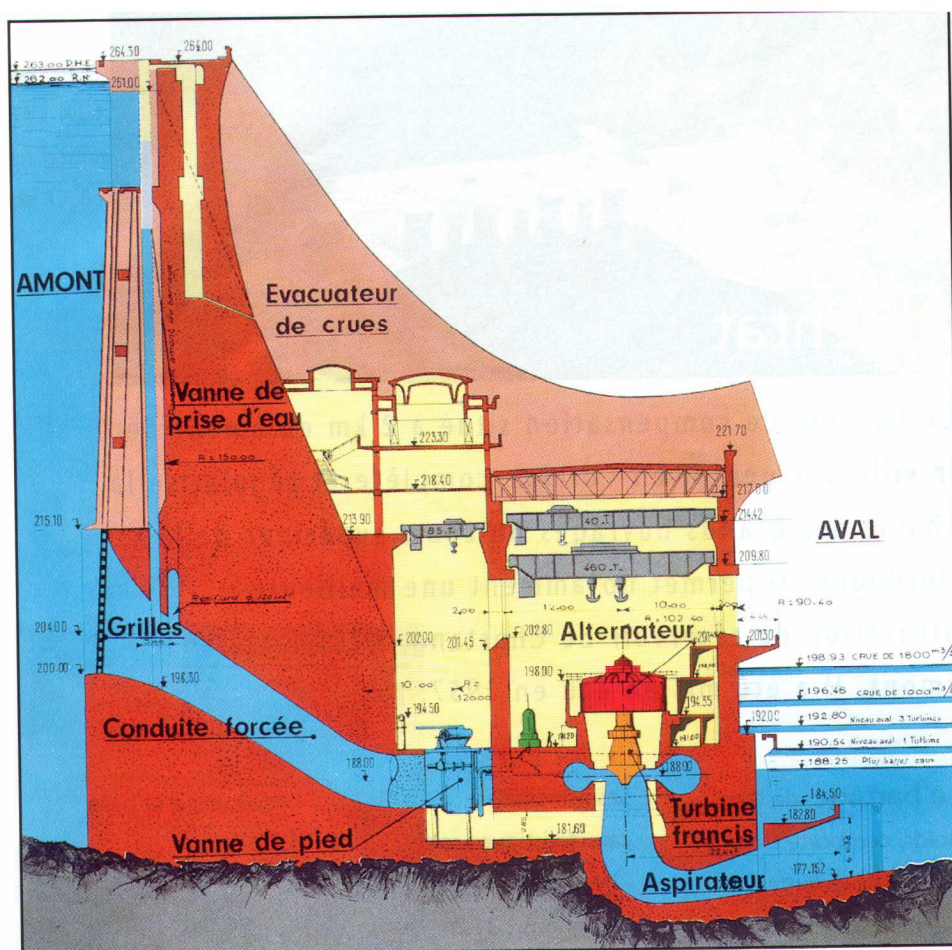


Figure n° 3 : Coupe transversale du barrage de Chastang à Argentat (19)  
(EDF, 1999)

A l'aval de Chastang se trouve le barrage d'Argentat (aussi nommé Barrage du Sablier), qui régule les débits provenant de la chaîne des grands barrages (Bort, Marège, l'Aigle, Chastang). C'est un ouvrage de démodulation ou de compensation (EDF, 1999). (Annexes 6.1 et 6.2 p. 61-62).

c) Intérêt spécifique

Le barrage de Chastang appartenant à une chaîne de 4 grands barrages, il paraît difficile de dissocier son intérêt particulier de celui de l'ensemble de la chaîne de la haute Dordogne.

Le rapport des débits de la Dordogne et du Rhône à un bassin versant égal et la comparaison des variations saisonnières de ceux-ci, montrent que le bassin de la Dordogne fournit le maximum d'eau à une époque où celui du Rhône montre un déficit important. Il y a donc un intérêt à exploiter la Dordogne pour la production électrique. Elle permet ainsi une complémentarité des grands réseaux d'électricité nationaux (Alpes et Pyrénées). La Dordogne et ses principaux affluents sont donc soumis à une forte pression hydroélectrique : l'ensemble des ouvrages peut fournir, en cinq minutes et plusieurs fois par jour, l'équivalent d'une tranche nucléaire (PUSTELNIK, 1984).

L'interconnexion entre le réseau électrique français et le réseau européen ainsi que le rôle des ouvrages de la Dordogne dans le système national influent sur la gestion des barrages du cours supérieur de la Dordogne qui sont de ce fait très sollicités.

Le fonctionnement de Chastang dépend de l'hydraulicité (précipitations, ..) et de la consommation électrique. Le déclenchement des éclusées est automatisé par un système de gestion informatique. Les manœuvres sont paramétrées et programmées selon différents pas de temps et confirmées à l'ordinateur la veille pour le lendemain (Comm. Pers. R. DECOU).

## II. Impacts sur le milieu

Les impacts, des barrages fonctionnant par éclusées, sur le milieu aquatique sont nombreux et varient d'un ouvrage à l'autre en fonction des conditions locales (type d'ouvrage, régime du cours d'eau, ...). Le nombre restreint d'études et la particularité de chaque site rendent difficile la généralisation de ces impacts à tous les barrages fonctionnant par éclusées. Des impacts sur le régime du cours d'eau, la physico-chimie, les sédiments, la végétation, la faune piscicole et benthique ont cependant pu être démontrés.

L'absence d'étude globale sur le barrage de Chastang limite les informations concernant ce barrage.

### 1) Hydraulique et hydrologie

#### a) Paramètres caractéristiques des éclusées

MALAVOI et CARREL, 1986 (dans TROUILLET, 1991) estiment les perturbations liées aux éclusées à partir de six paramètres :

- **Le débit maximum** : il dépend des caractéristiques des turbines et du nombre de turbines entrant en fonctionnement lors de l'écluse. A Chastang, le débit maximum turbiné est de 533 m<sup>3</sup>/s lorsque les trois turbines fonctionnent (Compagnie des experts et sapiteurs, 1999).

- **Le débit minimum** ou débit de base (Figure 4 p. 17) : c'est le débit auquel la rivière redescend entre deux pics de débit. Selon les sites, il peut être naturel ou correspondre au débit réservé fixé à l'aval de l'ouvrage (VALENTIN, 1995).

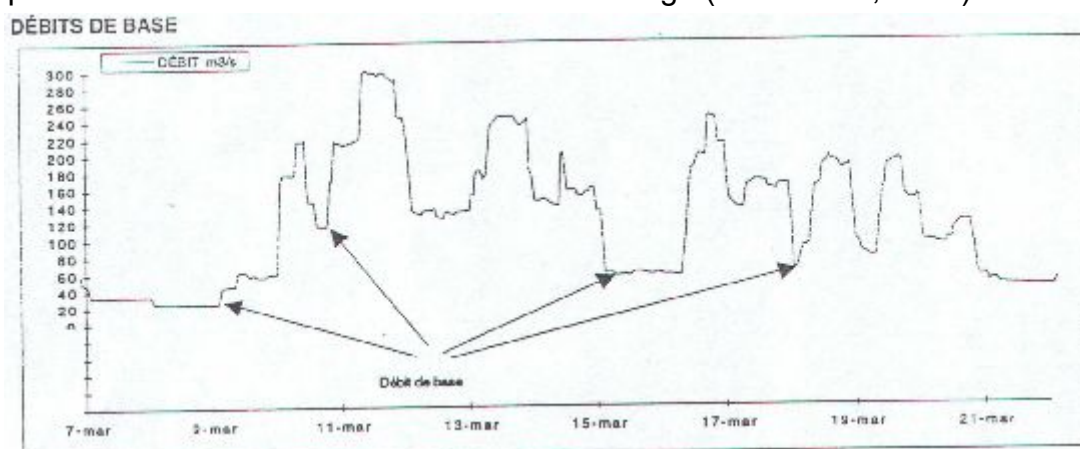


Figure n° 4 : Débit de base sur une période d'éclusées (Compagnie des experts et sapiteurs, 1999)

Le débit réservé du barrage de Chastang est de 1/40 du module (antérieur à la loi de 1984) et de 1/10 au barrage d'Argentat (concession renouvelée en 1988 lors de la mise en place d'un groupe supplémentaire → application de la loi pêche).

- **Les gradients de montée et de descente des eaux** (Figure 5 p. 18) : c'est la vitesse à laquelle les niveaux varient. Très préjudiciables pour la sécurité des personnes, ils interviennent sur la faune (dévalaison, échouages) et sur la stabilité des berges (Compagnie des experts et sapiteurs, 2000).

Au barrage d'Argentat, les gradients sont de 40 cm/h mais ils peuvent être bien supérieurs sur d'autres ouvrages (par exemple 90 cm/h sur la Maronne).

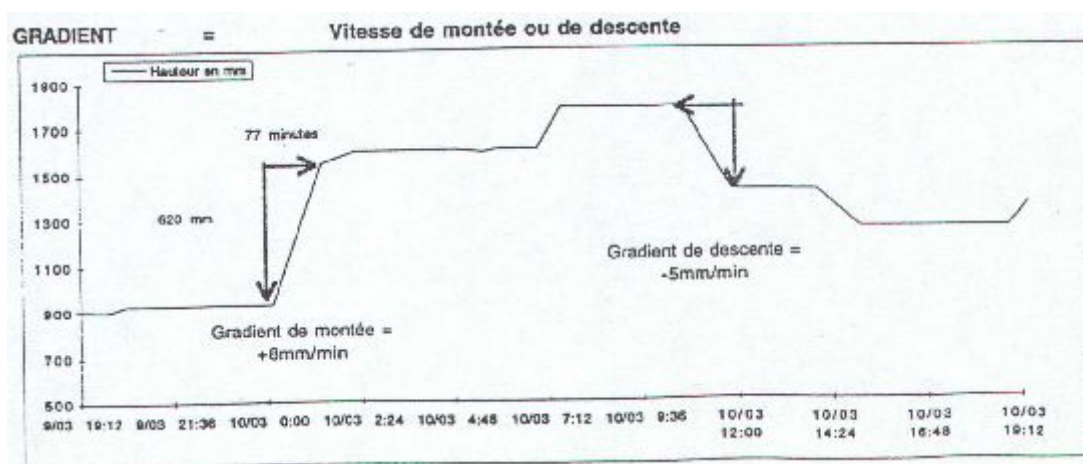


Figure n° 5 : Gradient de montée et de descente des eaux lors d'une éclusée (Compagnie des experts et sapiteurs, 1999).

- **La durée** : elle est très variable et dépend des besoins en électricité lors du déclenchement. Ce dernier paramètre ne semble pas trop préjudiciable pour la faune puisque seules les premières minutes de l'éclusée semblent néfastes.

- **La fréquence** (Compagnie des experts et sapiteurs, 2000) (Figure 6 p. 19): Les phénomènes d'éclusées ont des fréquences variables en fonction des échelles temporelles : les éclusées sont moins fréquentes le Week-end qu'en semaine ainsi qu'en été par rapport à l'hiver. Cette fréquence varie également d'un ouvrage à l'autre (1 éclusée par semaine à plusieurs par jours) et est fonction de l'hydraulicité et de la consommation électrique (Comm. Pers. R. DECOU).

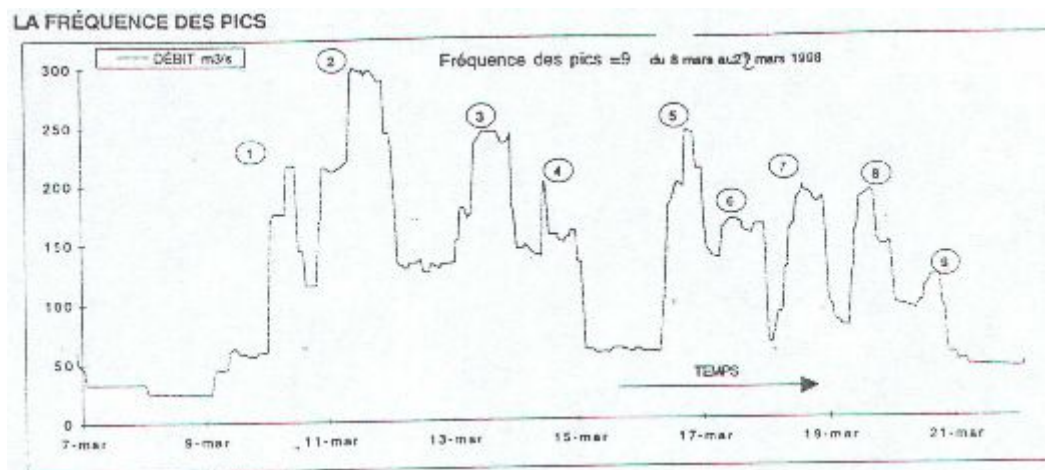


Figure n° 6 : Fréquence des pics d'éclusee (Compagnie des experts et sapiteurs, 1999).

Certains auteurs prennent également en compte d'autres éléments :

- **L'amplitude** (Figure 7 p. 19) : c'est la comparaison entre la valeur maximale de chaque pic et le débit entre deux pics. Les fortes amplitudes sont très néfastes pour le milieu et la faune (Compagnie des experts et sapiteurs, 2000).

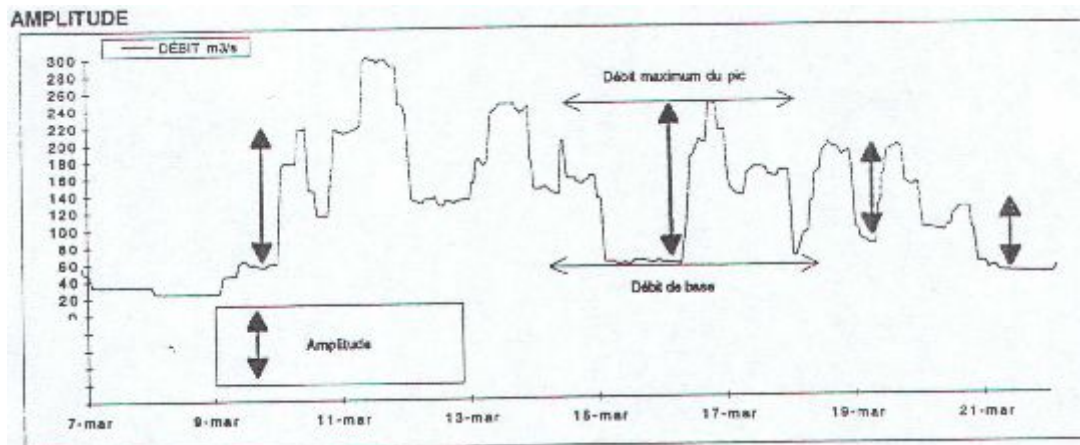


Figure n° 7 : Amplitude des éclusées (Compagnie des experts et sapiteurs, 1999).

- **Le temps de transfert** : Ce paramètre permet d'anticiper l'arrivée de l'onde d'éclusee en un point précis. Il dépend de plusieurs paramètres tels que la largeur du cours d'eau, la rugosité des berges et du fond, le débit,.... Il traduit l'amortissement des ondes d'éclusées (Compagnie des experts et sapiteurs, 1999).

Sur la Dordogne, les temps de transfert (Annexe 7 p. 63) des éclusées sont calculés du barrage d'Argentat à la confluence avec la Garonne. Dans ce cas

particulier, d'une rivière très équipée, les temps de transfert résultent du fonctionnement de l'ensemble des ouvrages du bassin et du cumul des ondes d'éclusées.

• **Le rapport entre le volume des réservoirs et les apports hydrologiques annuels:** c'est un élément d'appréciation de la modification du régime des eaux. S'il est élevé, les éclusées ont un impact potentiel fort sur le régime saisonnier de l'écoulement (Compagnie des experts et sapiteurs, 1999).

• **Le rapport entre le débit maximum turbinable et le débit moyen annuel** de la rivière. Si le débit d'équipement est supérieur au débit moyen, l'impact hydrologique des éclusées est alors fort (Compagnie des experts et sapiteurs, 1999).

Sur la Dordogne à Argentat, le débit maximum turbiné est de 3 à 4 fois supérieur au module de la rivière (Annexe 8 p. 64)(Compagnie des experts et sapiteurs, 2000).

Ces deux derniers paramètres reflètent les modifications du régime des eaux. Sur la Dordogne, en été, le régime des eaux est normalement bas et des éclusées moyennes peuvent créer des modifications plus sensibles qu'aux moyennes eaux. En hautes eaux, c'est, au contraire, l'interruption du lâcher d'eau qui pose problème puisqu'on descend à des valeurs de débit anormalement basses pour la saison (Compagnie des experts et sapiteurs, 2000).

La morphologie du cours d'eau ainsi que les conditions hydrologiques influent sur tous ces paramètres. Il a ainsi été remarqué que :

- les hautes eaux portent plus vite les éclusées que les basses eaux (le temps de transfert est alors diminué),
- la durée du palier de l'éclusée (débit maximum) diminue avec l'augmentation de la distance (Compagnie des experts et sapiteurs, 1999),
- le gradient de descente des eaux diminue également avec la distance (TROUILLET, 1991),
- une confluence à l'aval du barrage permet de réduire la longueur du tronçon affecté par les éclusées (sauf si l'affluent est lui même équipé).

### b) Crues

L'allure d'une éclusée diffère d'un phénomène naturel (crue) par sa fréquence, sa brutalité et ses gradients de montée et de descente des eaux (Compagnie des experts et sapiteurs, 1999). De plus, les volumes turbinés sont inférieurs à ceux caractérisant les crues.

**Impact des barrages hydroélectriques sur les crues** : si les retenues ne sont pas pleines, elles peuvent écrêter les crues en stockant de l'eau (Compagnie des experts et sapiteurs, 2000). Sur la Dordogne, cela se traduit par une disparition complète des crues printanières qui dépassaient les 700 m<sup>3</sup>/s (Figure 8 p. 21 et Annexe 9 p. 65).

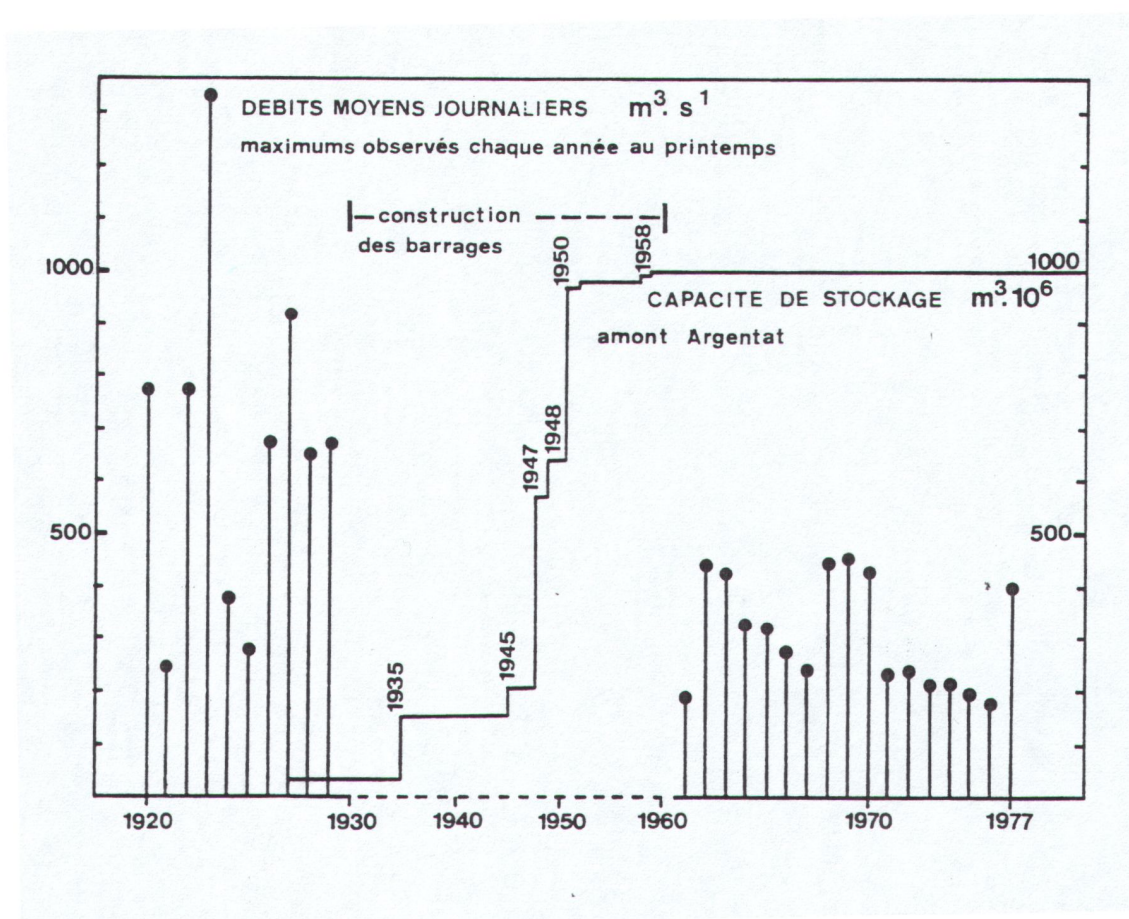


Figure n° 8 : Effet de la construction des barrages sur le débit journalier moyen maximum observé au printemps de 1920 à 1977, au niveau d'Argentat, en aval des barrages de la partie supérieure de la Dordogne (d'après DECAMPS *et al*, 1979).

En cas de crues violentes, la gestion des barrages doit viser à garantir la sécurité de l'ouvrage et des personnes, en n'augmentant pas le débit de la crue à l'aval de l'ouvrage (Compagnie des experts et sapiteurs, 2000). En février 1990, suite à une erreur de gestion du barrage de Chastang, la vallée a connu une grosse crue (FAURE, 2000).

### c) Nappe

Les modifications hydrologiques n'affectent pas seulement le cours d'eau lui-même mais également sa nappe d'accompagnement. Les variations du niveau d'eau, dues aux éclusées, se propagent sous forme d'ondes dans la nappe. Ainsi sur la Dordogne, à Montvalent ( 40 km en aval du barrage de Chastang), un captage situé à 40 m de la rivière voit son niveau varier régulièrement avec une amplitude de 5 cm (Compagnie des experts et sapiteurs, 1999) (Figure 9 p. 22).

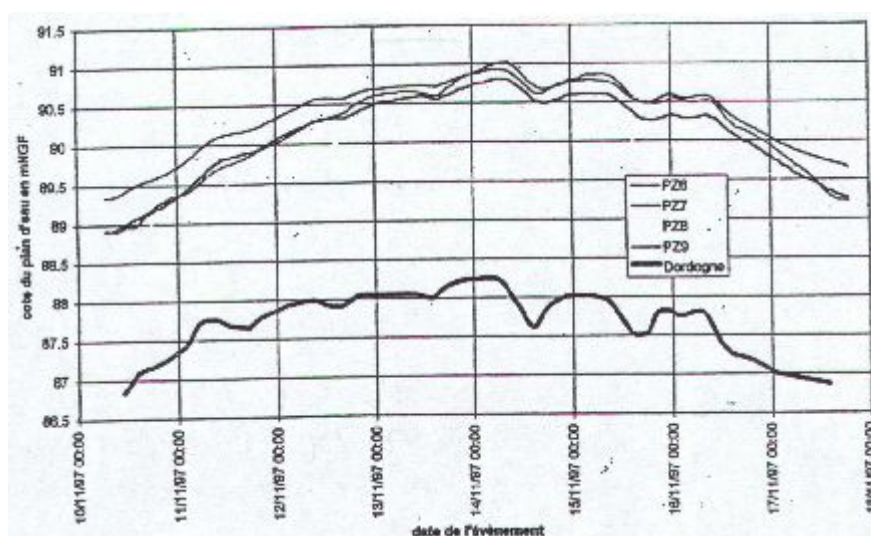


Figure n°9 : Relation entre la piézométrie de la nappe et le niveau d'eau de la Dordogne du 10/11/97 au 18/11/97 (Compagnie des experts et sapiteurs, 1999).

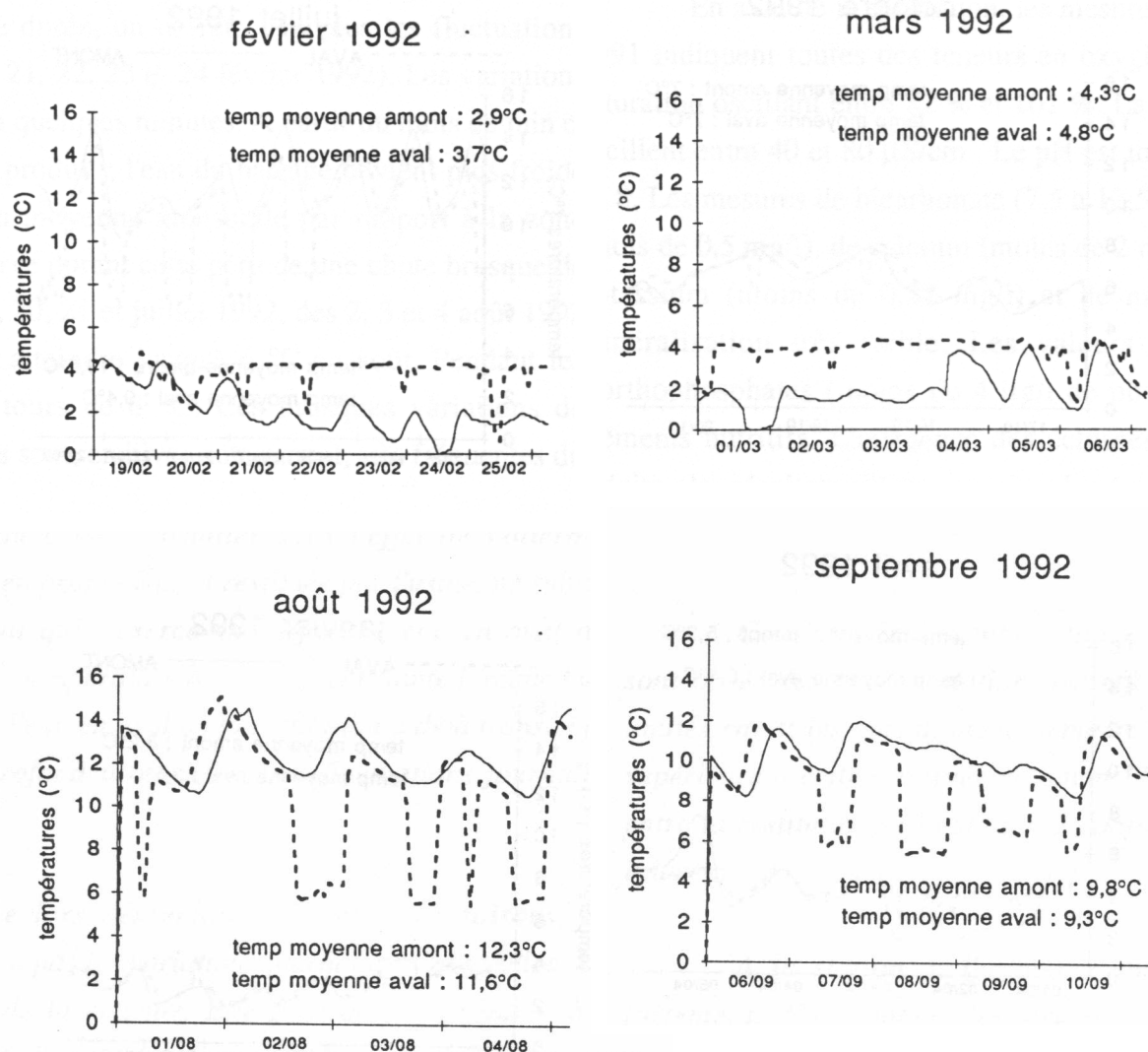
➔ ➔ ➔ L'artificialisation du régime des cours d'eau, liée au fonctionnement des barrages par éclusées, perturbe tous les autres compartiments : déstabilisation des berges, perturbations de la faune, ...

## 2) Physico-chimie

### a) la température

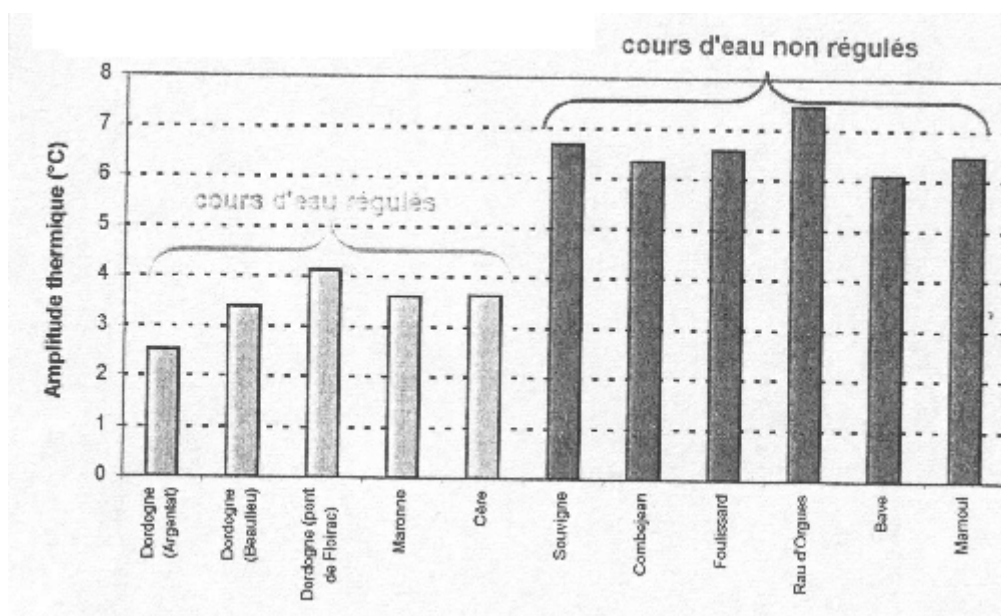
Le phénomène de changements rapides de la température des cours d'eau lors des éclusées a été vérifié sur plusieurs sites d'étude.

Les variations de températures sont liées à la présence d'une retenue qui agit sur l'évolution saisonnière du régime thermique de la rivière. La température de l'eau stockée diffère de plusieurs degrés par rapport à celle du cours d'eau selon les conditions climatiques, la situation géographique de l'ouvrage, la profondeur de la retenue et la position de la prise d'eau dans celle-ci. Selon les saisons, le turbinage de l'eau de la retenue peut provoquer une hausse ou une baisse de la température (SABATON *et al*, 1995; Compagnie des experts et sapiteurs, 2000) (Figure 10 p. 23)



**Figure n°10** : Mesures de températures effectuées sur l'Oriège en amont et en aval de l'usine d'Orlu en 1992 (LAUTERS, 1995).

Les grands cours d'eau aménagés pour la production hydroélectrique, comme la Dordogne, présentent une grande stabilité thermique de part l'effet tampon des retenues sur les variations thermiques atmosphériques (Figure 11 p. 24). Par rapport à des cours d'eau de régime naturel, la Dordogne, à l'aval du barrage de Chastang et de son barrage de démodulation, reste moins froide d'octobre à décembre. Dès le mois de janvier et jusqu'au mois de mai, elle est par contre en moyenne plus froide. L'écart thermique, entre la Dordogne et des cours d'eau de régime naturel, est de +/- 2°C sur cette période. Ces écarts thermiques ont des conséquences importantes sur les organismes vivants et surtout sur certains stades plus sensibles. (Lascaux, 2000).  
 → Les variations de températures semblent donc être observées aux périodes très chaudes ou très froides, c'est à dire lors d'un fort contraste thermique entre l'atmosphère et le fond de la retenue. Cependant, les températures à l'aval restent dans la gamme tolérée par les organismes vivants. Elles peuvent toutefois provoquer une modification de la répartition spatiale, du métabolisme et du taux de croissance des individus (VALENTIN, 1990).



**Figure n°11** : Amplitude thermique moyenne de Novembre à Mai 2001 sur la Dordogne et ses affluents (LAGARRIGUE *et al*, 2001).

#### b) Oxygène dissous

Les retenues peuvent présenter des déficits en oxygène dissous dans leur partie profonde. Si les vannes des turbines se situent au fond de la retenue, l'eau restituée à l'aval du barrage présente de faibles teneurs en oxygène dissous (Figure 12 p. 25).

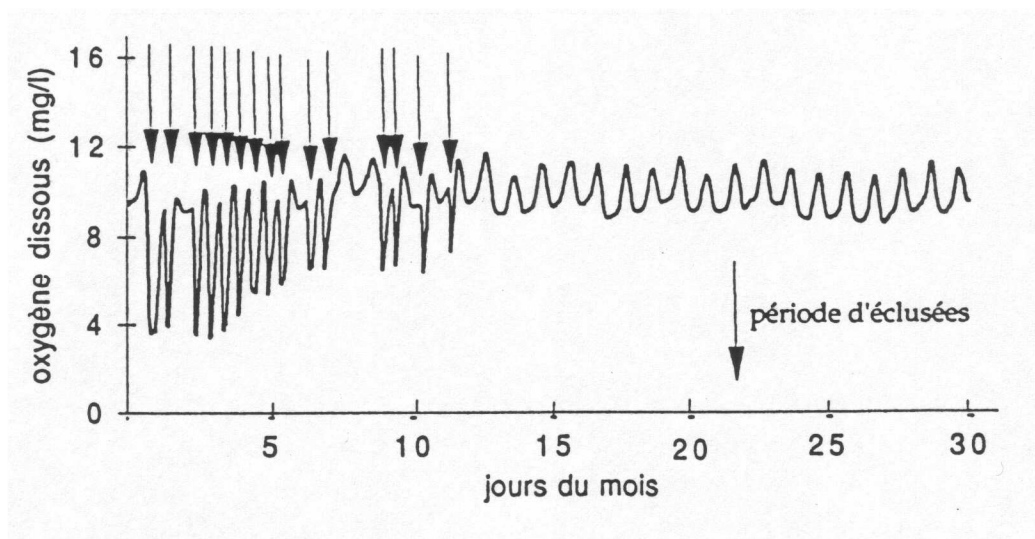


Figure n°12 : Mesures d'oxygène dissous effectuées sur le secteur à éclusées de l'Orne en septembre 1992 (SABATON *et al*, 1995).

A l'aval du barrage de Chastang, l'eau est sous-saturée en oxygène sauf en été (pendant la période de photosynthèse des plantes aquatiques et surtout des herbiers) (PETITJEAN, 1981).

### c) Autres éléments

Certaines retenues peuvent présenter des concentrations importantes en certains éléments. Cela dépend de plusieurs paramètres, notamment des caractéristiques de l'aménagement et de son bassin versant. Une forte anthropisation peut, par exemple, engendrer une dégradation de la qualité de l'eau. L'eau turbinée présente alors parfois des taux élevés en  $\text{NH}_4^+$  (Figure 13 p. 26) ou en certains éléments comme le fer ou le manganèse (Compagnie des experts et sapiteurs, 2000).

➔ ➔ ➔ Les problèmes de qualité d'eau sont donc liés à la présence d'une retenue qui entraîne essentiellement des problèmes de températures et d'oxygène dissous. Selon les caractéristiques de l'ouvrage et de son bassin versant, certains éléments peuvent également être anormalement concentrés.

Cependant, les éclusées concentrent les apports d'eau de qualité dégradée sur des durées restreintes ce qui conduit à de brusques variations chimiques néfastes pour les organismes vivants et le milieu (SABATON *et al*, 1995).

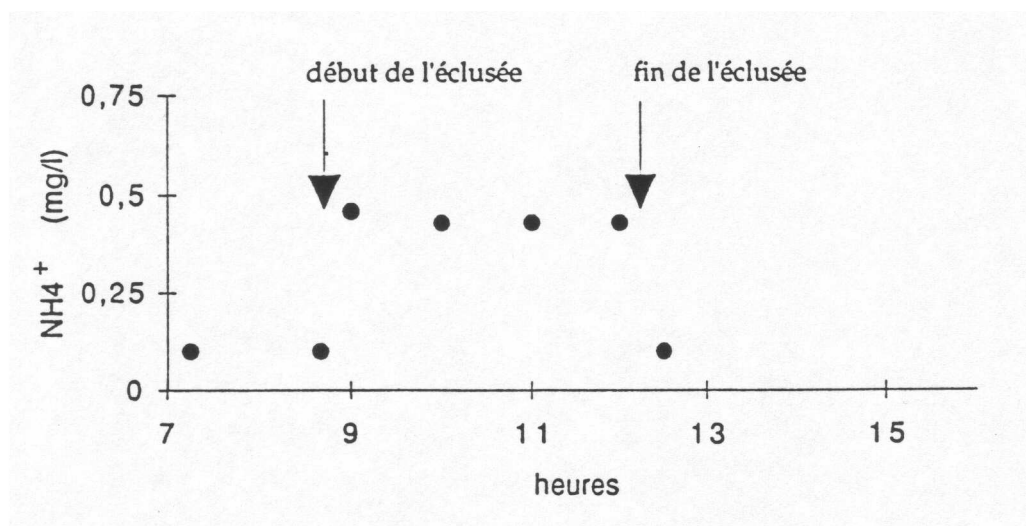


Figure n°13 : Suivi du taux de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> sur l'Orne en septembre 1994 (SABATON *et al*, 1995).

### 3) Sédiments et érosion des berges

→ **lit** : Le barrage retient la charge de fond et bloque les sédiments. L'eau turbinée est donc moins chargée en sédiments que celle entrant dans la retenue. Les fortes vitesses en période d'éclusées et les variations rapides du niveau de l'eau provoquent une érosion du fond et des berges et un entraînement des limons, sables et graviers vers l'aval. Cette érosion, n'étant pas compensée par des apports amont (les sédiments étant retenus par le barrage), crée un déficit de charge. Sur la Dordogne, à l'aval du barrage de Chastang, cela se traduit par un pavage du fond de la rivière (Compagnie des experts et sapiteurs, 2000).

→ **berges** : Les variations importantes du niveau de l'eau dans la retenue du barrage mais surtout dans la rivière ne sont pas simultanées avec celle de la nappe. En effet, les écoulements dans cette dernière sont beaucoup plus lents. Cela crée un décalage des mouvements d'eau de part et d'autre des berges. A la baisse des eaux, une tranche plus ou moins superficielle de la berge se ressuie gravitairement. Cet écoulement et surtout sa répétition (liée aux fréquences des éclusées), entraînent les particules fines et fragilisent la berge provoquant le départ d'une loupe de glissement (Compagnie des experts et sapiteurs, 1999 et 2000).

Sur la Dordogne, ces effondrements sont nombreux et ont fait l'objet d'un recensement en 1981 et 1993 (Figure 14 p 27).

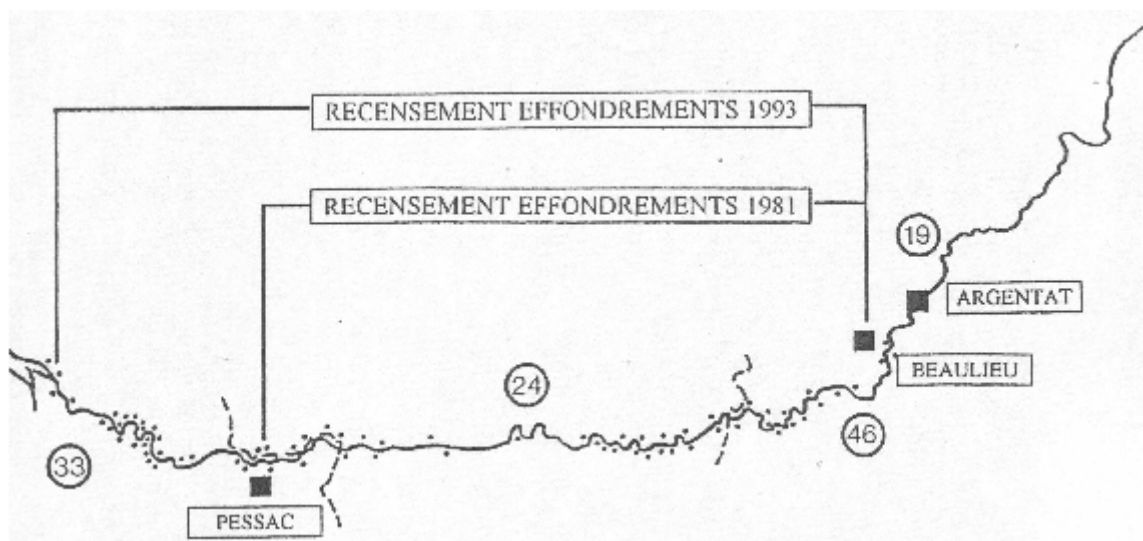


Figure n° 14 : Recensement des effondrements sur la Dordogne, de 1981 et 1993, à l'aval du barrage d'Argentat (Compagnie des experts et sapiteurs, 2000).

#### 4) Végétation du lit et des berges

##### → berges

Le maintien d'un débit réservé, l'écrêtement des crues et donc la diminution des débits provoquent :

- un développement de la végétation sur les bords, qui diminue la capacité d'évacuation des crues,
- un abaissement du niveau piézométrique de la nappe, qui engendre une mort de la forêt alluviale.

##### → lit

L'écrêtement des crues et la diminution des débits limitent également les effets d'arrachement des végétaux fixés et le nettoyage du substrat, augmentent la pénétration des rayons lumineux et les dépôts de sédiments, ce qui favorise la végétation aquatique et le piégeage des sédiments (SHF, 1999).

A l'aval du barrage du sablier, qui démodule les éclusées de la chaîne des grands barrages, il a été constaté, depuis la création des barrages (environ de 1930 à 1950), une prolifération des herbiers aquatiques. Ces herbiers sont composés

majoritairement de Renoncles associées à des Callitriches, des Myriophylles et des mousses (PETITJEAN, 1981).

Dans la ville d'Argentat, les herbiers recouvrent 41 % de la surface du lit de la rivière et, sur les 7 km à l'aval du barrage, la surface totale qu'ils occupent passe, entre 1978 et 1988, de 2,59 ha à 7,47 ha (soit une augmentation de 188 %). Cette extension se vérifie même jusqu'à 50 km en aval du barrage (LASCAUX, 1991). La construction des retenues à l'amont d'Argentat, en modifiant le régime d'écoulement, a engendré l'implantation et le développement des herbiers à Renoncles.

La diminution du débit (pendant les périodes d'accumulation) et la disparition des crues printanières ont provoqué le dépôt et la stabilisation des sédiments créant ainsi un substrat favorable à l'enracinement. Les faibles débits d'étiage au moment de la floraison, et les vitesses réduites qui en découlent, permettent un développement et une dispersion des végétaux vers l'aval (PETITJEAN, 1981). Les conséquences de cette prolifération sont multiples :

- Conséquences négatives (PETITJEAN, 1981 ; LASCAUX, 1991)
  - La diminution des vitesses au sein des herbiers, entraîne une accumulation de vase et un développement bactérien,
  - la surface considérable qu'ils occupent diminue la section réelle de la rivière et augmente les vitesses d'écoulement entre les herbiers,
  - la dégradation de ces herbiers occasionne une forte pollution olfactive, de fortes demandes en oxygène dissous et libère une grande quantité de substances organiques dissoutes néfastes pour la qualité de l'eau. Pour exemple, la dégradation de l'herbier d'Argentat (environ 21 000 à 55 000 kg de matière organique à dégrader) provoque une pollution comparable à celle d'environ 5 650 à 20 800 équivalents-habitants de septembre à octobre.

- Conséquences positives

Ces herbiers permettent une oxygénation de l'eau de la Dordogne (rivière sous-saturée en oxygène). Ils diversifient l'habitat et accueillent des algues, des invertébrés et des poissons (refuge, nourriture et reproduction) (PETITJEAN, 1981 ; LASCAUX, 1991).

Cet envahissement est imputable à la fois à la présence du barrage et à son fonctionnement par éclusées.

#### 5) Faune piscicole

Les barrages fonctionnant par éclusées ont de forts impacts sur les populations piscicoles. Certains sont liés à la présence d'un barrage, d'autres au fonctionnement par éclusées en lui-même.

##### a) Migrations :

Le barrage bloque les migrations des poissons (avalaison, montaison) et les éclusées interviennent sur la dévalaison, peut-être sur son déclenchement et très certainement sur les conditions de passage des poissons au niveau de chaque aménagement (PALLO, 2002).

La construction des barrages supérieurs de la Dordogne a entraîné la disparition des grands migrateurs sur cette partie de la rivière. La Dordogne est classée "axe à migrateurs" jusqu'au barrage d'Argentat. C'est là que les saumons atlantiques, truites de mer et fario, anguilles, aloses et lamproies marines se trouvent arrêtés et contraints à une reproduction "forcée" à l'aval du barrage, dans la zone à éclusées (comm. Pers. Laurent DUMEE).

##### b) Reproduction

Les éclusées interfèrent avec la sélection naturelle des frayères. La construction de frayères atypiques, leur abandon avant achèvement, l'expulsion non contrôlée des œufs et l'incapacité à féconder les œufs lors des brusques variations de niveau ont pu être constatés à de nombreuses reprises (NELSON, 1986 dans TROUILLET, 1991). De plus, les forts débits turbinés pendant la semaine conduisent tous les poissons à se reproduire près des berges, comportement habituellement plutôt caractéristique des truites (LASCAUX *et al*, 2000).

Les variations des conditions hydrauliques (vitesse, profondeur) provoquées par les éclusées perturbent les frayères. On observe effectivement un entraînement des pontes déposées dans les herbiers, lorsque le niveau augmente après la ponte, ou au contraire une mise à sec des œufs, déposés dans de faibles hauteurs d'eau, lorsque le niveau diminue (arrêt des éclusées) (BILLE, 2001). A titre d'exemple, les

œufs de saumon résistent 24 heures à l'exondation, ce qui est faible quand on sait que les usines sont généralement à l'arrêt tout le week-end (CHOLET, 2001).

Les modifications de températures à l'aval des ouvrages interviennent également sur l'incubation des oeufs et l'émergence des salmonidés (VALENTIN, 1995) et, associées à de forts débits, elles sont susceptibles de déclencher la reproduction des salmonidés migrateurs (LASCAUX *et al*, 2000).

On assiste donc à une perturbation de la reproduction liée aux variations subites et fréquentes des conditions d'habitat. Cela peut poser de nombreux problèmes pour le recrutement de certaines populations.

Sur la Dordogne, en Corrèze, le CSP dresse chaque année 10 à 12 procès verbaux à EDF pour destruction de frayères.

#### c) Modification de l'habitat et du comportement

Afin d'évaluer les modifications d'habitat que subissent les espèces piscicoles, plusieurs méthodes sont utilisées (Annexe 10 p. 66). Celles-ci permettent d'obtenir des résultats sur les habitats, le peuplement et le comportement des poissons en période d'écluesées.

#### Habitats

La **méthode des microhabitats**, qui consiste à évaluer la capacité d'accueil du milieu à l'aide de deux grandeurs (SPU : Surface Pondérée Utile et VH : Valeur d'Habitat), est communément utilisée pour caractériser les modifications de l'habitat piscicole (VALENTIN, 1995 ; LAUTERS, 1995).

Plusieurs résultats sont obtenus concernant les SPU (Figure n°15 p. 31):

- elles sont élevées pour des débits proches du débit de base et elles diminuent avec l'augmentation du débit, surtout pour les jeunes stades (la capacité d'accueil du milieu diminue) (VALENTIN, 1995).

- elles sont faibles dans le tronçon court-circuité (débit réservé) mais moins que pour le débit d'écluesées (VALENTIN, 1995).

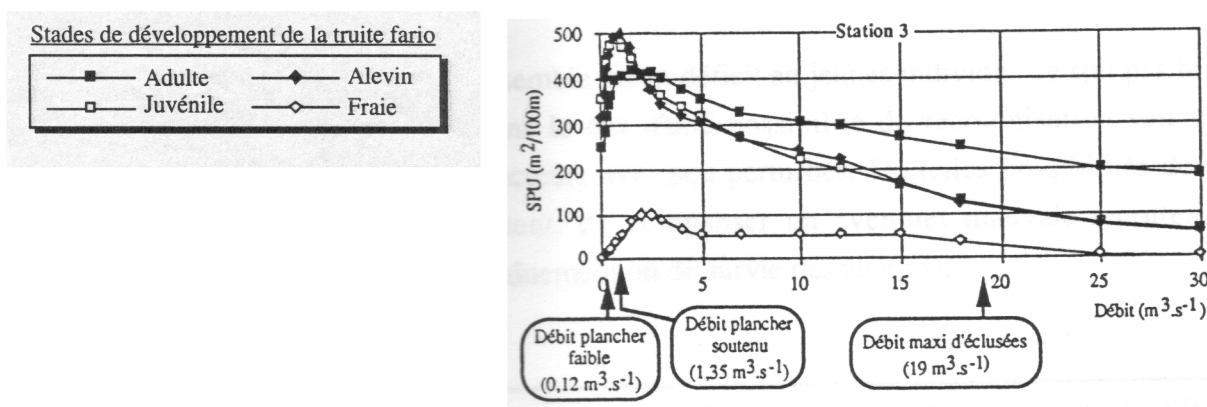


Figure n°15 : Courbes de SPU en fonction du débit pour les quatre stades de développement de la Truite fario sur la Fontaulière (SABATON *et al*, 1995).

Les différentes études ont pu mettre en évidence **l'influence de la morphologie** dans l'évolution de la SPU avec le débit (VALENTIN, 1995). En effet, deux cas ont pu être distingués :

- Profil en travers du lit mineur encaissé (Figure 16 p. 31). Dans ce premier cas, les mises en vitesse dans le chenal font chuter les SPU des jeunes stades surtout à débit d'éclusee.

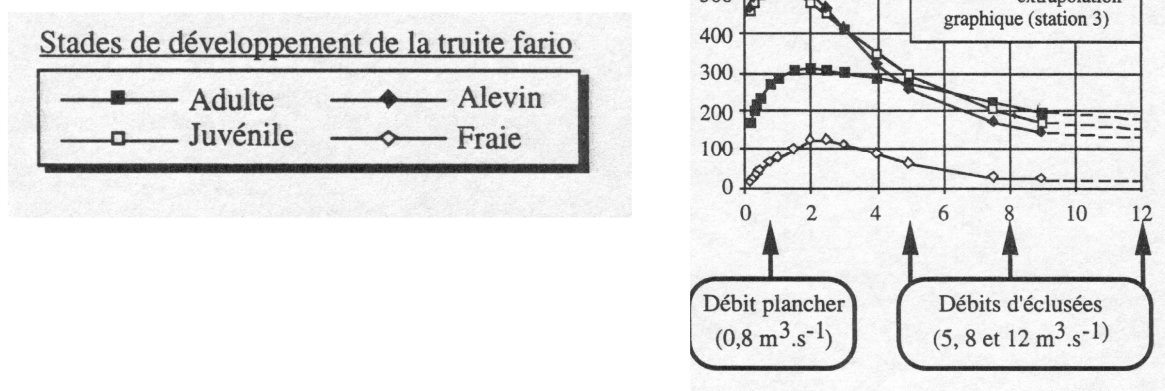


Figure n° 16 : Courbes de SPU en fonction du débit pour les quatre stades de développement de la Truite fario sur une station au profil encaissé de l'Ance Nord (VALENTIN, 1995).

- Profil large (Figure 17 p. 32). Dans ce deuxième cas, les valeurs de SPU diminuent moins car les bordures possèdent des valeurs de vitesse et de profondeur modérées.

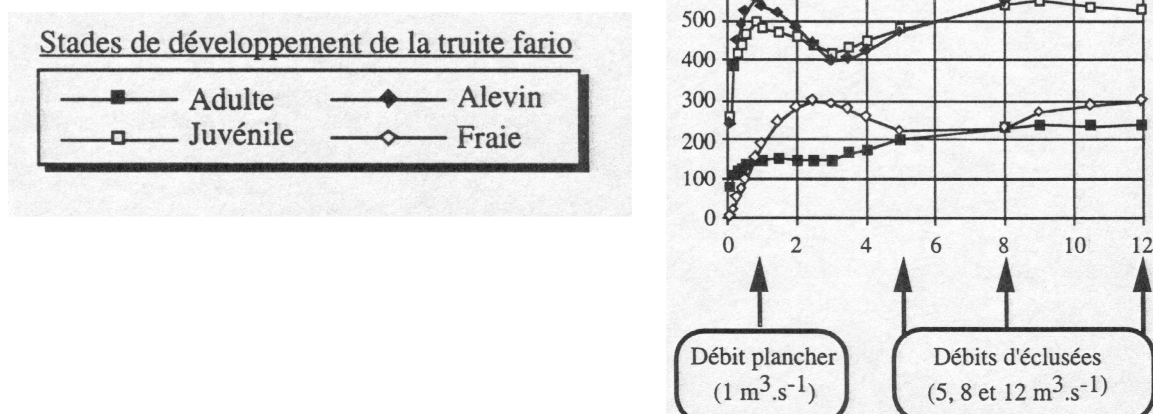


Figure n° 17 : Courbes de SPU en fonction du débit pour les quatre stades de développement de la Truite fario sur une station à la morphologie large sur l'Ance Nord (VALENTIN, 1995).

→ Les valeurs les plus fortes de SPU correspondent, selon la morphologie, soit au débit de base soutenu, soit au débit d'éclusee (parfois même à un intermédiaire) (VALENTIN, 1995).

Les valeurs d'habitat (VH) suivent les mêmes évolutions que les SPU et mettent également en évidence l'influence de la morphologie sur l'évolution de la capacité d'accueil du milieu avec l'augmentation du débit (Figure 18 p 32).

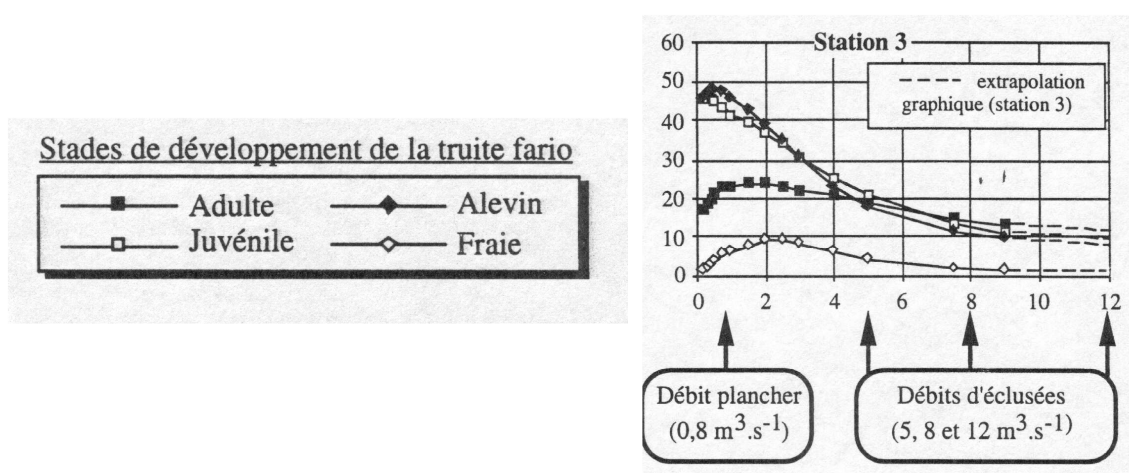


Figure n° 18 : Courbes de VH (pourcentages de SPU par rapport à la surface mouillée) en fonction du débit pour les quatre stades de développement de la Truite fario sur l'Ance Nord (VALENTIN, 1995).

### Forces tractrices

La méthode des hémisphères est utilisée pour apprécier les forces tractrices subies par la faune piscicole sur le substrat et entre les cailloux. En effet, la faune soumise à des variations de débit vit dans des conditions très défavorables (entraînement des poissons, dévalaison massive,...) si de faibles valeurs de forces tractrices ne sont pas maintenues à fort débit. Un substrat grossier peut servir de refuge car les forces tractrices y sont faibles. Certains poissons s'y enfouissent même.

### Peuplement

Les résultats de pêches électriques caractérisent les peuplements soumis aux éclusées par rapport à ceux de stations de référence.

Il apparaît alors que certaines espèces sont plus sensibles que d'autres aux éclusées : LPP, OBR, CHA (VALENTIN, 1995). Certains stades semblent également perturbés. C'est généralement le cas des jeunes stades (truite O<sup>+</sup>) plus sensibles aux éclusées.

Dans le **tronçon court-circuité**, le débit réservé modifie complètement le peuplement qui s'oriente vers un peuplement lénitophile composé de moins de salmonidés. En effet, l'homogénéisation des faciès provoque une diminution de la diversité des microhabitats et de la richesse spécifique (ANGLIER Eugène, 2000).

Dans le **tronçon soumis aux éclusées**, plusieurs impacts ont pu être relevés :

- un débit de base faible entraîne une abondance d'espèces lénithophiles et une dégradation des populations de salmonidés. Il provoque des effets déstructurant sur les populations piscicoles, par homogénéisation des conditions d'habitat vers des conditions lentiques. C'est le point clé conditionnant la gravité des effets de l'artificialisation du régime hydraulique (VALENTIN, 1990, 1995).
- une réduction de la densité et de la biomasse de truites par hectares a été constatée par rapport aux stations de référence.
- une diminution de la biomasse, du taux de croissance, de la densité, un changement dans l'abondance relative des espèces et la disparition de certaines espèces au profit d'autres plus généralistes ont également été observés (VALENTIN, 1995).

Seules des études réalisées avant la construction des barrages permettraient de connaître l'impact réel sur le peuplement par comparaison avec la situation actuelle. Or, ce type d'études est très rare. Toutefois, une étude réalisée sur le Doubs franco-helvétique de 1994 à 2000 donne une approche un peu comparable.

En effet, cette étude porte sur les populations piscicoles sur un secteur soumis à éclusées. En 1996, l'usine du Refrain a été mise en chômage et le régime d'un tronçon de l'étude a donc retrouvé un caractère plus naturel. La densité et la biomasse d'ombres capturées sur ce tronçon en 1996 (après l'arrêt de l'usine) ont été nettement plus importantes que pendant les années de fonctionnement de l'usine. La quantité d'ombres de l'année et d'individus adultes a également augmenté de façon notable sur ce secteur où ils étaient déficitaires. DEGIORGI et CHAMPIGNEUL (2000) concluent donc que l'arrêt des éclusées durant l'année 1996 s'est traduit par une augmentation du potentiel offert par l'habitat aquatique qui a profité aux ombres, aux truites de l'année (3 fois plus d'individus capturés que les années précédentes) ainsi qu'à l'ensemble du peuplement.

La reprise du fonctionnement de l'usine du Refrain en 1999 a entraîné une chute importante des effectifs. La densité de truitelles retombe même à un niveau inférieur à celui observé en 1994 avant l'arrêt de l'usine (DEGIORGI et CHAMPIGNEUL, 2000).

### Comportement

Les observations en chenal expérimental ont pu montrer un changement rapide de l'utilisation de l'espace du chenal vers les zones de transition. Les poissons répondent aux variations de vitesses par une modification de leur répartition spatiale. La première éclusée semble avoir un effet plus marqué que les autres sur le phénomène de dévalaison et est sans doute la plus pénalisante. De même, les éclusées nocturnes semblent préjudiciables, surtout pour les poissons de petite taille qui se réfugient vers les zones de bordure dès le crépuscule (VALENTIN, 1995).

Pour pallier à ces variations de vitesses dans le chenal, certains poissons n'utilisent pas les zones d'abri latérales mais plutôt les éléments grossiers du substrat pour se protéger des fortes vitesses (VALENTIN, 1995).

Des comportements d'agressivité et de prise de nourriture ont pu être observés pendant les éclusées (VALENTIN, 1995).

Ces expériences mettent en évidence la variabilité des éclusées comme étant un paramètre dégradant. La réponse des poissons à cette variabilité physique est dépendante de la disponibilité naturelle en refuge, liée à la morphologie de chaque site (VALENTIN, 1995).

Il apparaît également que les jeunes alevins résistent moins bien aux éclusées que les adultes car leur résistance au courant est plus faible et qu'ils sont moins aptes à trouver des refuges (VALENTIN, 1990). Il faut noter qu'en période d'éclusées, les appels d'eau des affluents ne pouvant être ressentis par les poissons du fait des fortes vitesses dans le cours principal, les individus restent dans le chenal. Les déficits en jeunes poissons peuvent être pénalisants pour les populations, surtout si aucune recolonisation n'est possible (par l'aval ou par les affluents).

### Echouages

Les fortes vitesses des éclusées contraignent les poissons à se réfugier vers les zones de bordure où les vitesses sont plus faibles. Les gradients de descente des eaux s'ils sont trop élevés sont alors très pénalisants. Les poissons de petite taille et les alevins se retrouvent alors piégés dans les mares. La température extérieure et la prédation importantes auxquelles ils sont alors soumis provoquent de très fortes pertes (VALENTIN, 1990 ; LAUTERS, 1995).

Une étude norvégienne sur la rivière Nidelva dénonce l'impact de tels piégeages sur les stades de saumons atlantiques et de truite O<sup>+</sup>. Sur cette rivière, le nombre de poissons échoués a pu être estimé à 25.7 individus/100 m<sup>2</sup>. Plusieurs paramètres semblent intervenir sur ce taux d'échouage tels que la température, les saisons et les conditions de lumière. La durée de l'éclusée semble, quant à elle, n'avoir aucun impact sur le taux d'échouage. Seule une diminution du gradient provoque une diminution de ce taux (SALTVEIT et al, 1999).

→ → → Aux vues des études menées sur la faune piscicole à l'aval des barrages fonctionnant par éclusées, il apparaît que les peuplements, soumis à ces variations de débit, sont très perturbés. L'échec des reproductions, la dévalaison, les échouages, les diminutions de la capacité d'accueil mettent en péril le recrutement des populations piscicoles. Ces modifications des peuplements sont principalement dues au débit de base, lorsque celui-ci est faible, et à la variabilité des éclusées.

Toutefois, les effets de ces dernières peuvent être relativement modérés sur les sites où le débit de base est soutenu, ce qui permet de conserver une diversité des écoulements dans le temps, et où une diversité morphologique et granulométrique est préservée (VALENTIN, 1990, 1995).

VALENTIN, 1990, évoque la réponse des populations piscicoles face aux éclusées à travers les termes d'élasticité et de résistance.

- L'éclusee impose une réponse de la part des organismes. Les poissons vont réagir rapidement par la recherche de refuges : c'est **l'élasticité** (rapidité à laquelle le système peut revenir à la situation initiale).

- Lorsque le régime hydraulique n'est pas trop destructurant (débit de base soutenu), l'équilibre des communautés n'est pas profondément remis en cause : le système fait preuve d'une grande stabilité malgré une vulnérabilité physique importante : c'est **la résistance**.

## 6) Macroinvertébrés benthiques

Tout comme la faune piscicole, les invertébrés subissent des perturbations liées au fonctionnement des barrages par éclusées. Des modifications du comportement et des peuplements de macroinvertébrés ont ainsi pu être observées.

### a) Comportement

- **La dérive** : C'est un phénomène naturel qui se répète plusieurs fois par jour au cours du rythme nyctéméral et qui est fonction du comportement et de l'abondance sur le fond de chaque taxon. Mais à l'aval d'ouvrages fonctionnant par éclusées, l'augmentation des forces tractrices et des vitesses provoquent une dérive catastrophique (et non plus comportementale) à chaque augmentation du débit (Figure 19 p. 37).

Cette dérive peut être appréciée par l'utilisation de la méthode des filets (Annexe 10 p. 66).

Plusieurs auteurs (SABATON, 1995 ; LAUTERS, 1995 et VALENTIN, 1995) ont mis en évidence l'importance de la dérive catastrophique durant les basses eaux par rapport aux hautes eaux : les densités dérivantes peuvent être 8 fois supérieures

aux périodes sans turbinage en basses eaux et 3 fois en hautes eaux (Tableau 1 p. 37).

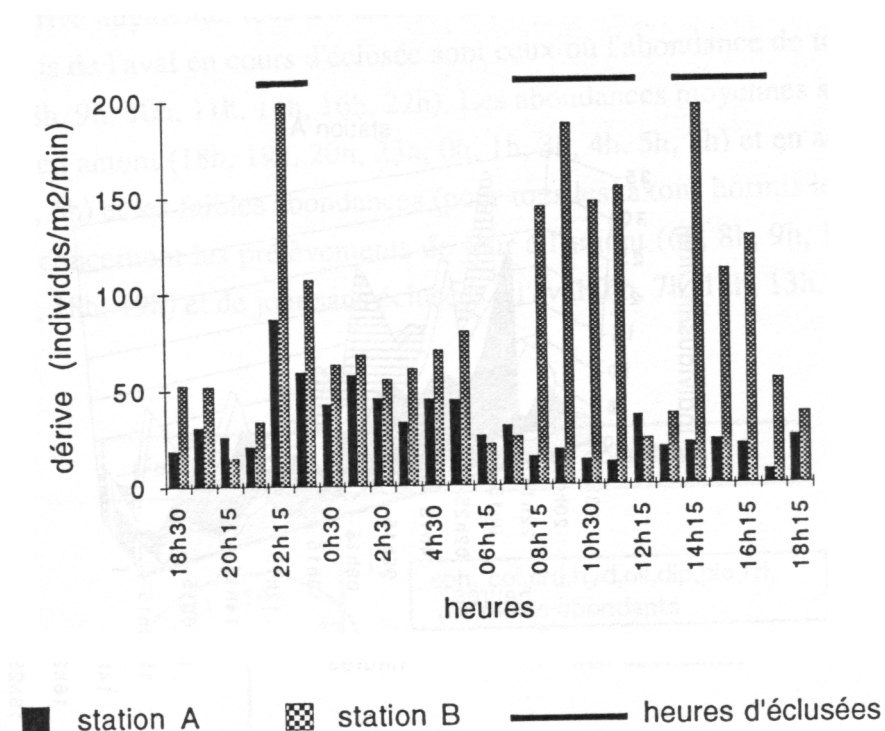


Figure n° 19 : Densités et biomasses d'invertébrés en dérive (cycle de 24 h sur l'Oriège) (LAUTERS, 1995).

Tableau n° 1 : Densités et biomasses d'invertébrés en dérive en amont et en aval d'un barrage fonctionnant par éclusées sur l'Oriège en Juin et Octobre 1991 (SABATON *et al*, 1995).

juin 1991	dérive	
	densité	biomasse
	(ind/m2/min)	(mg/m2/min)
amont (moyenne des 24 h)	31	72
aval (moyenne des 24 h)	85	174
aval (heures sans éclusée)	50	122
aval (heures avec éclusées)	146	267
octobre 1991	densité	biomasse
	(ind/m2/min)	(mg/m2/min)
	51	66
	174	154
	42	56
	334	256

Le rôle du débit de base, et donc de l'amplitude des éclusées, dans ce phénomène peut alors être mis en évidence.

A certaines saisons (hiver), cette dérive provoque un appauvrissement des stocks. En effet, ces pertes ne peuvent alors pas être compensées par de nouvelles éclosions ou par une recolonisation par l'amont. Elles sont alors beaucoup plus préjudiciables qu'en été.

Malgré les phénomènes de dérives catastrophiques, la richesse nutritive, que constituent les invertébrés pour la faune piscicole, ne semble pas affectée (SABATON, 1995). Elle est cependant avancée par plusieurs auteurs : ROSE, 1972 et GERSICH et al, 1981 dans LAUTERS, 1995.

- **Les mises à sec** : elles concernent principalement:

- les individus mobiles contraints de se réfugier sur les zones de bordure lors de longues périodes d'éclusées. Les gradients de descente des eaux sont alors très préjudiciables et provoquent un échouage massif des individus.
- les individus fixes ou à mobilité réduite qui ne peuvent évoluer en fonction du niveau de l'eau et qui se retrouvent également hors d'eau quand le niveau diminue.

PUSTELNIK, en 1984, observe que les radiers fréquemment mis à sec possèdent des biomasses d'invertébrés pratiquement nulles.

Ce phénomène n'est pourtant pratiquement jamais évoqué dans la littérature mais plusieurs témoignages laissent présumer que les dommages causés aux populations, par la répétition du phénomène, sont importants (Annexe 11 p. 71).

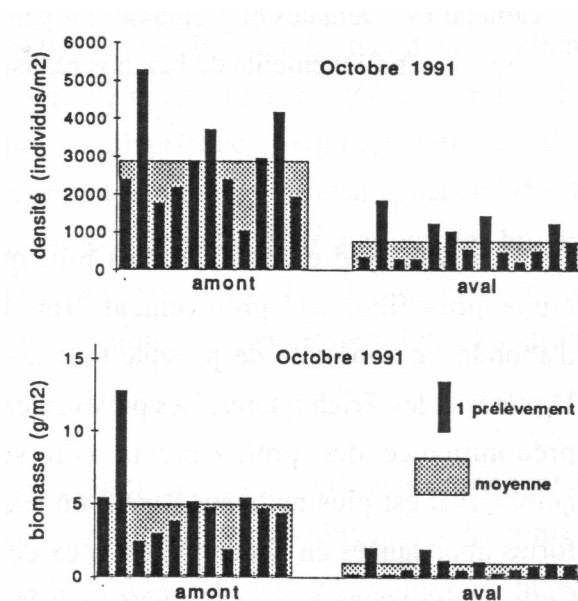
#### b) le peuplement

- **les pontes** : Certains individus (ex : *Brachycentrus*) pondent sur les zones de bordure. Lors des diminutions de niveau, les pontes peuvent alors se retrouver hors d'eau et la survie des œufs est alors menacée. A l'inverse, les pontes fixées sur la végétation peuvent être entraînées lors des éclusées, c'est à dire des mises en vitesses.

→ on assiste donc à une diminution du taux de réussite de la reproduction.

- **Structure du peuplement** : LAUTERS (1995), SABATON (1995) et VALENTIN (1995) ont mis en évidence, sur différents sites d'étude, une

diminution de la densité (Figure 20 p 39) et de la diversité ainsi qu'un déséquilibre des peuplements soumis au régime d'éclusées par rapport à des sites de référence.



**Figure n° 20** : Biomasses et densités de benthos dans les prélèvements réalisés sur l'Oriège en Octobre 1991 (LAUTERS, 1995).

Une modification de la composition des peuplements à l'aval des barrages a également été démontrée. Dans le tronçon court-circuité, les taxons sont spécifiques des faciès lents. Dans la zone soumise à éclusées, les taxons sensibles (Ephéméroptères, Plécoptères et Trichoptères) régressent ou disparaissent (VALENTIN, 1995).

Sur la Dordogne, le Cémagref précise que les retenues successives (et surtout les variations de niveau) constituent l'obstacle essentiel au développement normal des plécoptères. Sur 18 taxons inventoriés sur la Dordogne, 12 sont identifiés en amont de la chaîne des grands barrages et dès Argentat, il n'est plus inventorié que 3 à 4 taxons (Comm. Pers. J.KARDACZ). Cette régression importante n'est sans doute pas liée qu'au seul phénomène des éclusées mais sa contribution est certaine.

Pour les trichoptères, l'abondance des mortalités par échouage est liée à la prédominance de cet ordre sur la Dordogne, au grand nombre d'espèces différentes et à leur quantité (Comm. Pers. J. KARDACZ).

→ → → La faune benthique subit donc des perturbations très importantes aussi bien au niveau des pontes qu'au niveau des individus. Les dérives catastrophiques, les échouages et les modifications de la structure des peuplements résultent tous des modifications du régime naturel par les éclusées. Les gradients de descente des eaux ainsi que le débit de base faible, ou le débit réservé (dans le tronçon court-circuité), semblent avoir les effets les plus dégradants.

Si les éclusées sont très pénalisantes pour le milieu et la faune aquatique, les activités humaines sont également affectées.

### III. Impacts économiques et humains

#### → **Activités économiques touchées**

L'impact économique des éclusées a été peu étudié. Celles-ci affectent pourtant plusieurs activités :

- celles effectuant des pompages en rivière ou en nappe, à cause des fluctuations de niveau. C'est le cas de certaines industries (papeteries, ...), de l'agriculture et des collectivités pour l'alimentation en eau potable.
- celles exerçant des activités sur la rivière elle-même : pêche, canoë-kayak
- et les activités liées aux deux catégories précédentes.

Afin d'illustrer ces propos, nous prendrons le cas concret de la Dordogne à l'aval du barrage de Chastang. L'étude sociologique réalisée par Armelle FAURE en 2000 porte sur la vallée de la Dordogne et de ses principaux affluents (la Cère, la Maronne et la Vézère) (FAURE, 2000). Il est donc difficile de connaître le seul impact du barrage de Chastang puisque celui-ci est cumulé à ceux des autres barrages à chaque confluence.

#### → **Catégories d'utilisateurs touchés**

L'étude sociologique (FAURE, 2000) a porté sur 125 utilisateurs potentiellement touchés, que l'on peut regrouper en 7 catégories :

- riverains, restaurateurs, hôtellerie, baigneurs et promeneurs,
- pêcheurs de loisir et amateurs aux engins, AAPPMA, guides de pêche, moniteurs et magasins de pêche,
- pêcheurs professionnels
- batellerie : collective, location de canoë-kayak, navigation individuelle
- campings
- syndicats intercommunaux d'entretien des berges
- agriculteurs irriguants.

#### → **Impacts ressentis par les utilisateurs**

Les nombreux impacts décrits par ces utilisateurs peuvent être synthétisés en plusieurs catégories (FAURE, 2000) :

- le danger pour la vie des personnes à l'aval de l'ouvrage

- l'imprévisibilité des variations de hauteur d'eau et de débit qui cause des pertes financières dues à la limitation des activités et des possibilités d'extension du tourisme,

- la dégradation du milieu naturel : pour la reproduction des poissons, le développement des herbiers, la noyade des couvées de colvert en février, les boues et vases déversées lors des chasses, la remise en mouvement des déchets flottant, l'érosion des berges, le colmatage des fonds, la destruction de la faune benthique,

- les pertes matérielles et la dégradation de certaines infrastructures : perte de barques, de matériel de pêche, usure des piles de pont.

Ces gênes sont perçues à des périodes différentes selon les usagers (riverains toute l'année, navigation de Pâques à Toussaint, ...). Dans une hiérarchie des problèmes de la rivière, les éclusées arrivent en tête avec la qualité de l'eau.

La **limitation des activités** (FAURE, 2000) est souvent évoquée par les usagers et représente d'importantes pertes financières, tant sur l'existant que sur les potentialités de la région. Sont notamment concernés :

- les pêcheurs professionnels par l'impossibilité d'anticiper les conditions hydrologiques permettant la pose ou la relève de leurs engins. Ces derniers sont d'ailleurs souvent dégradés par les déchets charriés par la rivière (branches, ...)

- la navigation et les sports nautiques : les hautes eaux provoquées par les éclusées ne permettent pas la pratique de la navigation pour des raisons de sécurité. Il en résulte une réduction de la période navigable de Pâques à Toussaint et donc une perte financière.

- l'entretien du cours d'eau : les variations de régime hydraulique et leur imprévisibilité présentent un risque important pour la sécurité des personnes chargées de l'entretien (surtout dans les vallées encaissées).

- la pêche de loisir : les éclusées modifient le comportement des poissons ainsi que les conditions de pêche. Le secteur Argentat-Beaulieu (30 premiers km en aval du barrage de Chastang) possède une grande clientèle venue de toute l'Europe pour la pêche à l'ombre. Celle-ci doit pouvoir pêcher lors de son séjour. Le secteur économique lié à la pêche est important et peut être menacé par la dégradation des conditions de pêche sur la vallée.

- plusieurs activités ne peuvent se développer, comme le camping, les parcours de pêche, parcours sportifs,... malgré les volontés locales. Toutefois, EDF

accepte, moyennant des indemnisations pour le préjudice subit et le passage d'une convention avec les acteurs, de laisser passer une certaine quantité d'eau (par exemple lors de compétitions de canoë) ou au contraire de ne pas en lâcher (pour certaines rencontres de pêche).

### **→ Propositions d'actions des usagers**

Afin de diminuer ces impacts économiques, les usagers ont proposé (FAURE, 2000):

- l'amélioration de l'information sur les lâchés (actuellement le service Minitel CRUDOR ne donne des informations que sur les éclusées déjà lâchées),
- des indemnités et mesures compensatoires pour réparer les préjudices subis par les usagers et pour le financement des travaux rendus obligatoires (ramassage des déchets flottant, stabilisation des berges, ouvrages de protection, ...)
- de revoir les consignes d'exploitation des barrages en concertation avec l'ensemble des acteurs de la rivière.

### **→ Sécurité des personnes**

De nombreux accidents ont lieu à l'aval des barrages fonctionnant par éclusées car la vitesse de montée des eaux est souvent surprenante.

Suite à l'accident de la vallée du DRAC en 1995, qui causa la mort de 6 enfants et une adulte, est parue la circulaire du 13 Juillet 1999. Cette circulaire a pour objectif la définition des prescriptions applicables aux ouvrages et à leur exploitation, la réduction de la vulnérabilité à l'aval des barrages et la mise en œuvre d'actions d'information et de prévention. Elle préconise la réalisation d'essais de lâchés pour en connaître l'impact sur le terrain et souligne l'importance de l'information au public.

Sur la Dordogne, tous les points d'accès à la rivière possèdent des panneaux d'avertissement (Annexe 12 p. 72), en plusieurs langues, sur les risques encourus par toute personne s'aventurant sur les bords et dans le lit de la rivière. De nombreux tracts sont également distribués en période touristique afin d'éviter tout accident.

#### IV. Limitation des impacts

L'impact des barrages fonctionnant par éclusées est, nous l'avons vu, très préjudiciable pour la rivière, sa faune et ses usagers. Plusieurs techniques, plus ou moins lourdes, permettent cependant de limiter l'effet des éclusées.

##### 1) la démodulation

C'est la technique la plus lourde puisqu'elle consiste à limiter l'impact des ouvrages hydroélectriques par la construction de barrages à leur aval.

Ces barrages doivent stocker l'eau lâchée pendant les éclusées et la restituer avec un gradient et une amplitude beaucoup plus faibles. Il faut donc que les réservoirs puissent stocker l'eau momentanément et la restituer de façon lissée. Cette démodulation permet de limiter le piégeage de la faune et l'érosion des berges et améliore la sécurité des personnes (Compagnie des experts et sapiteurs, 2000). Elle permet également de maintenir un débit plancher soutenu (VALENTIN, 1995).

Le barrage du sablier sur la Dordogne démodule les éclusées de la chaîne des grands barrages. De type poids, ce barrage s'élève à 31 mètres et possède une capacité d'évacuation de 400 m<sup>3</sup>/s. Sa capacité de stockage est cependant beaucoup trop faible pour lisser les éclusées de l'amont. En effet, le volume de sa retenue (7.2 millions de m<sup>3</sup>) est 26 fois plus petit que celui du réservoir de Chastang. A l'origine, plusieurs barrages similaires (3 ou 4) devaient être construits pour limiter les impacts des éclusées. Un seul a pourtant été réalisé.

Sur ce barrage, le rapport entre le débit maximum turbiné et le débit réservé est de 40 (10 m<sup>3</sup>/s → 400 m<sup>3</sup>/s). L'impact hydrologique reste donc important (PALLO, 2002). Le gradient est de 100 m<sup>3</sup>/s toutes les heures sauf en été (com. Pers. R. DECOU).

L'insuffisance du barrage du sablier peut être illustrée par l'exemple du 13 janv. 2000 (Compagnie des experts et sapiteurs, 2000). Ce jour là, Chastang lâche 400 m<sup>3</sup>/s de 8 h à 15 h (soit 11 millions de m<sup>3</sup>) puis 277 m<sup>3</sup>/s de 18 h à 20 h (soit 2 millions de m<sup>3</sup>). Sur 24 h le volume déstocké est donc de 13 millions de m<sup>3</sup>, ce qui fait un débit moyen de 150 m<sup>3</sup>/s. Cette valeur serait donc idéale pour une démodulation parfaite. Or :

- si le sablier est plein, il ne peut démoduler et à 8 h son débit passe à 400 m<sup>3</sup>/s,
- s'il est vide et qu'il lâche 150 m<sup>3</sup>/s dès le début de l'écluse, le calcul montre qu'il sera plein à 13 h et qu'il lâchera alors 400 m<sup>3</sup>/s,
- s'il turbine plus de 150 m<sup>3</sup>/s, la retenue sera vide avant la fin de la journée et ne pourra garantir le débit réservé jusqu'au lendemain.

Ceci démontre que l'efficacité d'un ouvrage de compensation dépend à la fois de sa capacité, des volumes d'éclusées et de sa gestion (Compagnie des experts et sapiteurs, 2000).

## 2) Actions sur le régime des eaux

Ces actions réalisées sur les paramètres des éclusées possèdent un coût économique dû aux restrictions techniques qu'elles imposent pour les exploitants. Ces actions peuvent porter :

- **sur le débit plancher**

Le maintien d'un débit plancher soutenu permet la mise en eau de certains habitats vitaux, augmente le potentiel piscicole et réduit l'amplitude des éclusées, si préjudiciable à la faune (Compagnie des experts et sapiteurs, 2000).

Sur la Dordogne, le débit minimum préconisé serait de 35 m<sup>3</sup>/s (il est actuellement de 10 m<sup>3</sup>/s). Il permettrait la mise en eau d'une plus grande surface de frayères et donc l'accueil d'un plus grand nombre de géniteurs. Plusieurs scénarios ont donc été envisagés en tenant compte des périodes de reproduction du saumon (Compagnie des experts et sapiteurs, 2000)(Tableau 2 p. 45).

Tableau n°2 : Différents scénarios d'augmentation du débit réservé à l'aval du sablier (Compagnie des experts et sapiteurs, 2000).

Débit minimum instantané au Sablier (m <sup>3</sup> /s)						
Référence du scénario	A1	A2	A3	A4	A5	Objectif
DU 1/12 AU 31/05	20	30	40	42	50	frayères
DU 1/6 AU 30/11	10	10	10	10	10	débit garanti
COÛT D'INVESTISSEMENT (MF)	0	0	0	0	0	MF
SURCOÛT D'EXPLOITATION (MF)	1,7	4,6	9	10	13,8	MF

- **sur les gradients**

Les gradients excessifs provoquent des problèmes pour la sécurité des personnes, l'entraînement de la faune et son échouage.

Une analyse hydraulique montre que tant que le lit mineur n'est pas rempli, le gradient de montée des eaux doit être inférieur à 20 cm/h pour limiter les risques écologiques. Lorsque le lit mineur est plein, les gradients n'ont plus qu'un faible impact sur la faune, l'enjeu restant la sécurité des personnes. La diminution des gradients se traduit par une moins grande souplesse de la production (ce qui constitue un des intérêts majeurs de ce mode de gestion) (Compagnie des experts et sapiteurs, 2000).

Sur la Dordogne, la diminution des gradients (Variations de 10 m<sup>3</sup>/s/h à 100 m<sup>3</sup>/s/h : cette dernière valeur n'étant préconisée que quand le débit est supérieur à 100 m<sup>3</sup>/s) entraînerait un préjudice de 0.5 à 2 millions de francs par an (Compagnie des experts et sapiteurs, 2000).

- **Sur la fréquence :**

A certaines périodes de l'année, la fréquence des éclusées pose de gros problèmes. C'est par exemple le cas lors de l'émergence des alevins de saumons. Une diminution du nombre d'éclusées de novembre à mai permettrait une réduction des préjudices subis par les populations de saumon (œufs et émergence) (VALENTIN, 1990).

Une telle mesure impliquerait le démarrage d'autres sources d'énergie plus coûteuses et moins souples.

- **Sur le débit maximum :**

La diminution du débit d'écluse permettrait de réduire l'amplitude du phénomène, de limiter la diminution de la surface pondérée utile pour les espèces piscicoles et le déplacement latéral des zones de bordures.

Ces mesures, visant à diminuer les effets des éclusées sur le régime des eaux, reposent toutes sur une modification de l'exploitation des barrages. Il s'agit donc de rechercher un compromis entre l'optimisation économique et hydrobiologique. L'optimisation économique est la recherche d'une production maximale en turbinant au maximum des capacités de l'usine. A l'inverse,

l'optimisation hydrobiologique consiste à limiter les perturbations sur la faune et le milieu en maintenant un débit réservé suffisant et en modérant les paramètres déclassant (FOURMENTAL, 1994).

### 3) Actions sur le milieu :

La compensation des effets des éclusées par des aménagements physiques du lit et des berges est encore à l'étude en France (Compagnie des experts et sapiteurs, 2000). Ces techniques posent le problème de la réduction de l'impact de l'artificialisation du débit par l'artificialisation du lit.

- **Création d'abris pour la faune :**

Sur les rivières à profil encaissé, la création d'abris peut atténuer les variations de certains paramètres (vitesse, profondeur). La pose de blocs rocheux sur les berges, créant des zones de calme, est une solution apportée par la Compagnie des experts et sapiteurs (2000). Son coût s'élève à 100 kF pour 200 mètres de cours d'eau. Ce type d'aménagement provoque une érosion des berges et du fond, modifie la ligne d'eau en période de crues et doit s'intégrer au paysage.

- **Ecoulements et annexes hydrauliques**

Les annexes hydrauliques et les chenaux d'écoulement sont souvent des zones de piégeage important de la faune. La Compagnie des experts et sapiteurs propose un projet en 3 étapes : réhabilitation (traitement de la ripisylve, curage localisé), régulation hydraulique (définition des flux et d'une alimentation par buse ou chenal), entretien du site. Cet aménagement possède un coût s'élevant à 300 kF par bras.

Cependant, ce projet artificialise complètement le fonctionnement des annexes, notamment par la pose de la buse qui « régulera » les connexions hydrauliques avec le cours principal. Les conditions de ces milieux particuliers risquent alors d'être modifiées et de les faire disparaître.

- **Sites de fraies :**

Il s'agit d'améliorer la reproduction des salmonidés par la création de sites de frai exploitables, à l'aval des barrages, en créant des plages de granulométrie

favorable. Pour être utiles, ces zones devront être judicieusement placées à l'abri des éclusées (pour limiter l'entraînement des œufs et la mortalité à l'émergence) et réunir l'ensemble des conditions de vitesse et de profondeur favorables. Ces aménagements sont chiffrés à 260 kF (Compagnie des experts et sapiteurs, 2000).

#### 4) Informer

L'étude sociologique a montré que l'imprévisibilité des éclusées pose de nombreux problèmes aux usagers de la rivière. Des efforts doivent donc être fait sur ce point et en particulier sur :

- l'organisation des producteurs de données : EDF, stations DIREN,
- le service de diffusion de la donnée : collecte des données et leur diffusion,
- encadrement du service et services annexes (Compagnie des experts et sapiteurs, 2000).

#### 5) Amélioration de la connaissance :

Les connaissances sur l'impact des éclusées sont basées sur très peu d'études de cas. Il conviendrait donc de faire de nouvelles expérimentations afin de mieux cerner certains points comme les fluctuations piézométriques, l'impact sur la qualité des nappes, les variations de températures, les impacts sur les invertébrés, les herbier et certaines espèces piscicoles (Compagnie des experts et sapiteurs, 2000).

→ → → Actuellement, la recherche sur les moyens de limiter les éclusées n'est pas très avancée et les solutions proposées ne conviennent pas toujours. Celles-ci doivent être étudiées au cas par cas et adaptées à chaque site en tenant compte des usages existant à l'aval de l'ouvrage.

## CONCLUSION

Cette synthèse bibliographique a permis de mettre en évidence les impacts des barrages fonctionnant par éclusées sur les milieux aquatiques et leurs usages.

Il apparaît que le manque de connaissances, lié au faible nombre d'études menées sur ce sujet, et la spécificité de chaque site, au niveau de la morphologie, de la faune et de la gestion par éclusées, posent de sérieuses limites à la généralisation des observations. De plus, la diversité des résultats observés montre la complexité des phénomènes impliqués.

La modification du régime des eaux à l'aval des ouvrages perturbe totalement l'écosystème. Les impacts du débit de base, de l'amplitude et des gradients des éclusées ont été mis en évidence aussi bien pour les poissons que pour les invertébrés. Le rôle de la morphologie de chaque site (profil du lit, abris,...) a également été avancé comme facteur intervenant sur ces impacts.

Mais, les perturbations affectent également les usages et usagers de la rivière. Les éclusées se font ressentir sur les activités économiques à l'aval des ouvrages, notamment par des pertes financières et des limitations d'activités. Plus grave, la sécurité des personnes est également compromise.

Plusieurs solutions sont alors avancées pour remédier à ces impacts mais leur coût élevé, le manque de connaissances sur leurs impacts à long terme et leur faible intérêt sur des rivières complètement artificialisées comme la Dordogne, ne les rendent pas attractives.

La parution en 2000 de la directive cadre pose plusieurs pistes à suivre pour la restauration de la qualité des milieux aquatiques d'ici 15 ans. Elle préconise notamment "d'intégrer davantage la protection et la gestion écologiquement viable des eaux dans les autres politiques communautaires comme l'énergie" mais aussi "d'entreprendre des analyses des caractéristiques d'un bassin hydrographique et des incidences de l'activité humaine". La restauration des masses d'eaux superficielles et souterraines, à l'aval des ouvrages fonctionnant par éclusées, d'ici 2015 passera donc par une meilleure connaissance des phénomènes impliqués et des moyens de limiter les impacts d'une telle gestion.

## BIBLIOGRAPHIE

- ANGLIER E., 2000 – Ecologie des eaux courantes – Paris, p.131 – 140.
- BILLE R, MERMET L., 2001 – Programme de recherche : Concertation, Décision, Environnement – Congrès, 180 pages.
- CHOLET A., 2001 – Conception et élaboration d'outils d'organisation des plans d'alevinage en saumon dans la Dordogne - ? pages.
- Circulaire du 13 juillet 1999 - Bulletin officiel du ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement n°5 du 24 déc 1999, p.58.
- Comité de bassin Adour-Garonne, 1996 – Cahier géographique Dordogne – 41 pages.
- Compagnie des experts et sapiteurs, 2000 – Eléments d'un accord cadre pour une limitation des effets des éclusées sur le bassin de la Dordogne – EPIDOR, 21 pages.
- Compagnie des experts et sapiteurs, janv. 2000 – Réduction de l'impact des éclusées sur les axes Dordogne, Cère, Maronne, Vézère. Diagnostic des indicateurs de sensibilité – EPIDOR, 31 pages.
- Compagnie des experts et sapiteurs, juin 1999 – Etude des éclusées des axes Dordogne, cère, Maronne, Vézère. Premier diagnostic – EPIDOR, 65 pages
- DEGIORGI F. et CHAMPIGNEUL A., mars 2000 – Diagnose piscicole et mesure de l'efficacité des alevinages en truites sur le Doubs Franco-Helvétique. Rapport final. – CSP et INRA de Thonon-les-bains, 119 pages.
- Directive 2000/60/CE du parlement européen et du conseil, du 23 octobre 2000, établissant un cadre pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau.
- EDF et le Groupe d'exploitation hydraulique Dordogne, 1999 – Aménagements hydro-électriques du bassin de la Dordogne – EDF, 38 pages.
- EPIDOR, août 1998 – Application de la méthode des microhabitats piscicoles à la Dordogne – 52 pages.
- FAURE A., avril 200 – Etude de l'impact social des éclusées sur les vallées de la Dordogne, la Cère, la Maronne et la Vézère – EPIDOR, 30 pages.

- FOURMENTAL F., ROUSSEAU-BERTON L., 1994 – Petites centrales hydroélectriques : pré-étude optimisation économique, optimisation hydrobiologique, étude de cas. – éd. Gentilly : Organisation et environnement, 164 pages.
- LASCAUX J.M, FIRMIGNAC F., LAGARRIGUE T., juillet 2000 – Suivi de la reproduction naturelle des grands salmonidés migrateurs sur le bassin de la Dordogne en aval du barrage du sablier (Départements de la Corrèze et du Lot). Automne hiver 99-00 – 44 pages.
- LASCAUX J.M., 1991 – Les herbiers de la Dordogne entre Argentat et Vayrac : évolution, typologie, propositions d'aménagements. – 34 pages.
- LAUTERS F., 1995 – Impacts sur l'écosystème aquatique de la gestion par éclusées des ouvrages hydroélectriques. Etude de quelques cours d'eau et analyse des phénomènes mis en jeu – EDF-DER Chatou, 189 pages.
- PALLO S., LARINIER M., fév. 2002 – Définition d'une stratégie de réouverture de la Dordogne et de ses affluents à la dévalaison des salmonidés grands migrateurs – 64 pages.
- PETITJEAN F., 1981 – Etude de l'herbier à Ranunculus fluitans d'Argentat-sur-Dordogne – 188 pages.
- POIREL A., 1994 – Environnement aquatique limnologie – ENSHMG, 101 pages.
- PUSTELNIK G., 1984 – Hydrobiologie de la rivière Dordogne – Cartographie écologique – 182 pages.
- SABATON C., LAUTERS F., VALENTIN S. *et al*, 1995 – Impact sur le milieu aquatique de la gestion par éclusées des usines hydroélectriques . Synthèse des résultats issus des travaux du groupe de recherche « éclusées » de 1990 à 1995. Recommandations pour l'expertise d'un site – EDF-DER, 1995, 42 pages.
- SALTVEIT S.J. *et al*, 1999 – Environmental impacts of hydro peaking – with emphasis on river Nidelva in Trondheim, Norway – 6 pages.
- SDAGE Adour Garonne adopté le 24/06/1996 par le comité de bassin, approuvé le 06/08/1996 par le Préfet coordonnateur de bassin 112 pages
- Société hydrotechnique de France, 1999 – Les petits aménagements hydroélectriques - ed. SHF, Paris, tome 2 : Guide pour l'intégration dans l'environnement, 160 pages.

- TROUILLET L., Oct 1991 – Gestion hydroélectrique par éclusées : effets écologiques sur les peuplements piscicoles. Etude d'un cas concret : la Fontolière (07) – Ensa Toulouse et Cemagref Lyon, 60 pages.
- VALENTIN S., 1990- Effets écologiques des éclusées en rivière. Expérimentation et synthèse bibliographique – Cemagref éditions, 71 pages.
- VALENTIN S., 1995 – Variabilité artificielle des conditions d'habitat et conséquences sur les peuplements aquatiques. Effets écologiques des éclusées hydroélectriques en rivière. Etude de cas (Anse Nord et Fontaulière) et approches expérimentales. – 284 p.

## LISTE DES OUVRAGES CONSULTÉS

- LAGARRIGUE T., LASCAUX J.M., sept. 2001 - Suivi de la reproduction naturelle des grands salmonidés migrateurs sur le bassin de la Dordogne en aval du barrage du sablier (Départements de la Corrèze et du Lot). Automne hiver 00-01 - 54 pages.
- LAGUARRIGUE T., LASCAUX J.M. , Août 2002 - Suivi de la reproduction naturelle des grands salmonidés migrateurs sur le bassin de la Dordogne en aval du barrage du sablier (Départements de la Corrèze et du Lot). Automne hiver 2001-2002 – 35 pages.
- LANSIART M., BLANCHARD F., 1989 - Impact des fonctionnements en éclusées et des vidanges des retenues des petites centrales hydroélectriques – rapport ADEME, 95 pages.
- LASCAUX J.M., LAGARRIGUE T., CHANSEAU M., oct 2002 – Effets d'un débit minimum de 3 m<sup>3</sup>/s délivré à l'aval de l'usine de HautePAGE sur l'exondation des frayères des grands salmonidés de la Maronne – 8 pages.
- SALTVEIT S.J., 1999 – Experimental studies on the effect of rapid flow decreases on juvenile atlantic salmonids and brown trout – 2 pages.
- VALENTIN S., 1996 – Effets des éclusées hydroélectriques en rivière : diagnostic hydroécologique et aide à la gestion. Exemple de la Fontaulière (Ardèche)- La houille blanche, n°5, p 25-31.
- VIBERT R., 1939 – Répercussions piscicoles du fonctionnement par éclusées des usines hydroélectriques (suite et fin) – Bull. Fr. Piscic., n° 117, p. 137-155.

## COMMUNICATIONS PERSONNELLES

- R. DECOU : EDF, Groupement d'exploitation Hydraulique de Tulle.
- L. DUMÉE : CSP Corrèze.
- J. KARDACZ : AAPPM Corrèze.

## LISTE DES FIGURES ET TABLEAUX

### FIGURES

- Figure 1 : Comparaison des débits à l'amont (station 1) et à l'aval (station 3) d'un barrage fonctionnant par éclusées. *p.10*
- Figure 2 : Débits moyens mensuels sur la Dordogne à Argentat. *p.14*
- Figure 3 : Coupe transversale du barrage de Chastang à Argentat (19). *p.15*
- Figure 4 : Débit de base sur une période d'éclusées. *p.17*
- Figure 5 : Gradient de montée et de descente des eaux lors d'une éclusée. *p.18*
- Figure 6 : Fréquence des pics d'éclusée. *p.19*
- Figure 7 : Amplitude des éclusées. *p.19*
- Figure 8 : Effet de la construction des barrages sur le débit journalier moyen maximum observé au printemps de 1920 à 1977, au niveau d'Argentat, en aval des barrages de la partie supérieure de la Dordogne. *p.21*
- Figure 9 : Relation entre la piézométrie de la nappe et le niveau d'eau de la Dordogne du 10/11/97 au 18/11/97. *p.22*
- Figure 10 : Mesures de températures effectuées sur l'Oriège en amont et en aval de l'usine d'Orlu en 1992. *p.23*
- Figure 11 : Amplitude thermique moyenne de Novembre à Mai 2001 sur la Dordogne et ses affluents. *p.24*
- Figure 12 : Mesures d'oxygène dissous effectuées sur le secteur à éclusées de l'Orne en septembre 1992. *p.25*
- Figure 13 : Suivi du taux de  $\text{NH}_4^+$  sur l'Orne en septembre 1994. *p.26*
- Figure 14 : Recensement des effondrements sur la Dordogne, de 1981 et 1993, à l'aval du barrage d'Argentat. *p.27*
- Figure 15 : Courbes de SPU en fonction du débit pour les quatre stades de développement de la Truite fario sur la Fontaulière. *p. 31*
- Figure 16 : Courbes de SPU en fonction du débit pour les quatre stades de développement de la Truite fario sur une station au profil encaissé de l'Ance Nord. *p.31*

- Figure 17 : Courbes de SPU en fonction du débit pour les quatre stades de développement de la Truite fario sur une station à la morphologie large sur l'Ance Nord. *p. 32*
- Figure 18 : Courbes de VH (pourcentages de SPU par rapport à la surface mouillée) en fonction du débit pour les quatre stades de développement de la Truite fario sur l'Ance Nord. *p.32*
- Figure 19 : Densités et biomasses d'invertébrés en dérive (cycle de 24 h sur l'Oriège). *p.37*
- Figure 20 : Biomasses et densités de benthos dans les prélèvements réalisés sur l'Oriège en Octobre 1991. *p. 39*
- Figure 21 : Courbe de charge du réseau électrique français avec les puissances cumulées. *p. 55*
- Figure 22 : Gestion de l'eau et impact sur le régime aval des barrages gérés par éclusées. *p.56*
- Figure 22 bis : Classement des ouvrages en fonction du module des tronçons de rivière. *p.59*
- Figure 23 : Analyse comparative du chiffre d'affaire théorique entre deux modes de gestion : Eclusées ou débit constant. *p.60*
- Figure 24 : Barrage de Chastang, fonctionnant par éclusées, sur la Dordogne à Argentat en Corrèze. *p.61*
- Figure 25 : l'usine hydroélectrique au pied du barrage ainsi que les deux évacuateurs de crues vus de profil. *p.61*
- Figure 26 : Barrage du sablier à Argentat (19) (vue amont). Barrage de démodulation. *p.62*
- Figure 27 : Barrage du sablier à Argentat (vue aval). *p.62*
- Figure 28 : Temps de transfert des éclusées sur le bassin versant de la Dordogne. *p.63*
- Figure 29 : Rapport du module annuel sur le débit maximum turbiné pour tous les ouvrages du bassin de la Dordogne. *p.64*
- Figure 30 : Mise en relation de l'évolution du maximum annuel depuis 1900 à Argentat avec les dates de construction des barrages. *p.65*
- Figure 31 : Préférends d'habitat ( $P_h$ ,  $P_v$ ,  $P_s$ ) correspondant à la valeur des paramètres pour ce débit. *p.66*

- Figure 32 : Représentation des préférendas sur l'ensemble du tronçon pour un débit donné. *p.67*
- Figure 33 : Courbes de SPU en fonction du débit pour les quatre stades de développement de la Truite fario sur l'Ance Nord. *p.67*
- Figure 34 : Panneau de signalisation de danger à l'aval immédiat du barrage de Chastang. *p.72*
- Figure 35 : Panneaux de signalisation de danger en plusieurs langues situés sur toute la zone d'influence des éclusées. *p.72*

## **Tableaux**

- Tableau 1 : Densités et biomasses d'invertébrés en dérive en amont et en aval d'un barrage fonctionnant par éclusées sur l'Oriège en Juin et Octobre 1991. *p.37*
- Tableau 2 : Différents scénarios d'augmentation du débit réservé à l'aval du sablier. *p.45*
- Tableau 3 : Types d'ouvrages hydroélectriques entraînant des variations de débit. *p.57*
- Tableau 4 : Nombre d'aménagements en fonction du type d'ouvrage et de l'intensité estimée des variations de débit. *p.58*
- Tableau 5 : Classement des ouvrages selon la longueur du tronçon de rivière concerné et l'intensité estimée des variations de débit. *p.58*
- Tableau 6 : Mesures des caractéristiques des aires homogènes. *p.66*