



IMPACTS DES AMENAGEMENTS HYDROELECTRIQUES SUR LES MILIEUX AQUATIQUES.

CAS DU VERDON



Novembre 2006

Document Maison Régionale de l'Eau

Maison Régionale de l'Eau

83670 BARJOLS

04.94..77.15.83

www.mrepaca.com

SOMMAIRE

1 GENERALITES SUR L'IMPACT DES AMENAGEMENTS HYDROELECTRIQUES	1
2 NATURE DES IMPACTS LIES AUX AMENAGEMENTS HYDROELECTRIQUES	3
2.1 Les impacts liés aux retenues.	4
A. Le temps de renouvellement.	4
B. La physico-chimie	4
C. Le marnage	7
2.2 Les impacts liés aux barrages	9
A. L'altération du transport solide	9
B. L'altération des voies migratoires	9
2.3 Impacts résultants du fonctionnement hydroélectrique.	10
A. Les chasses	10
B. La dynamique des crues	10
C. Impacts des turbinés et éclusées	10
D. Les essais de vanne	11
E. Les vidanges décennales	11
F. Les débit réservés	12
3 IMPACTS SUR LE MILIEU AQUATIQUE DES AMENAGEMENTS HYDROELECTRIQUES DU VERDON	15
3.1 Castillon-Chaudanne	16
A. Aménagements hydroélectrique de Castillon	16
B. Aménagement hydroélectrique de Chaudanne	17
C. Impact global de l'aménagement Castillon - Chaudanne sur le linéaire du Verdon	18
3.2 Sainte-Croix ; Quinson ; Gréoux	20
A. Aménagement hydroélectrique de Sainte-Croix	20
B. Aménagement hydroélectrique de Quinson	21
C. Aménagement hydroélectrique de Gréoux	21
3.3 Activité hydroélectrique du Verdon, droits et usages associés	24
A. Les droits d'eau	24
B. Les usages associés	24
3.4 Conclusion	25

1 GENERALITES SUR L'IMPACT DES AMENAGEMENTS HYDROELECTRIQUES

Il est aujourd'hui impossible de dissocier le fonctionnement du Verdon de ses aménagements hydroélectriques, ceux-ci conditionnent plus ou moins fortement la rivière à partir de Saint-André des Alpes, soit 110 km en amont de la confluence avec la Durance ou encore près de 70% du linéaire.

De manière générale les grands aménagements hydroélectriques, comme le sont les équipements du Verdon, modifient profondément et durablement **le fonctionnement physique des milieux aquatiques**.

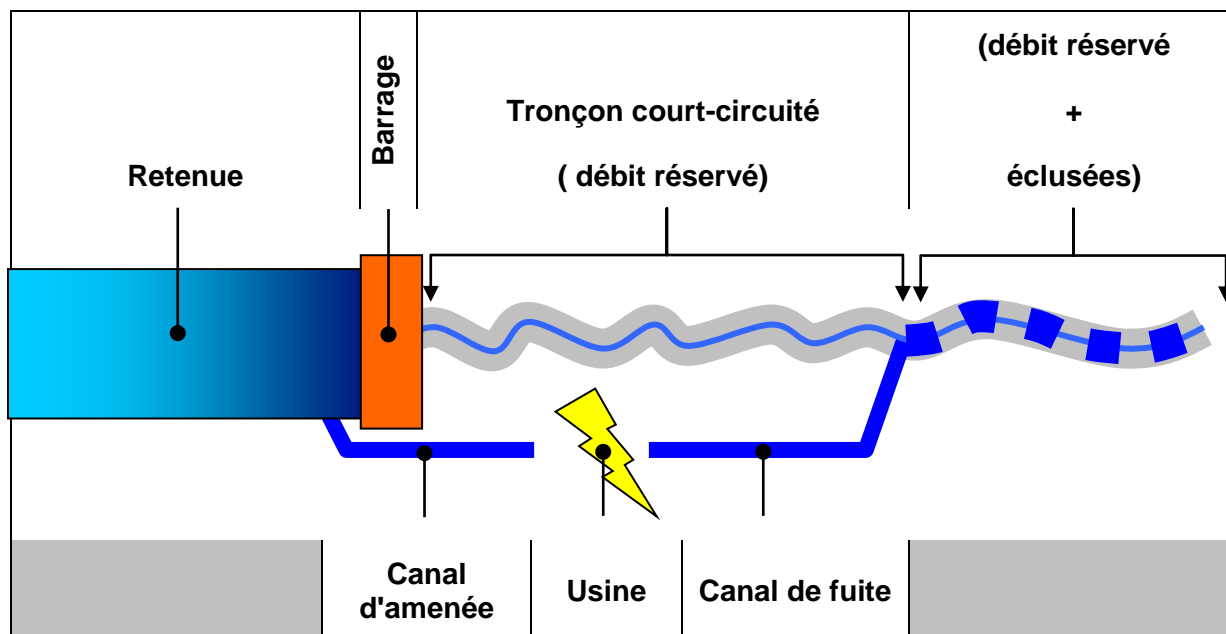
Pour les biocénoses le premier impact est donc un ensemble de transformations importantes des variables de leur habitat auquel elles vont réagir de manière plus ou moins adaptée selon les espèces, les classes d'âges, les exigences des cycles biologiques ou encore les interactions avec les autres variables de leur habitat.

Afin de dresser l'état des lieux des impacts existants sur le linéaire du Verdon il sera procédé :

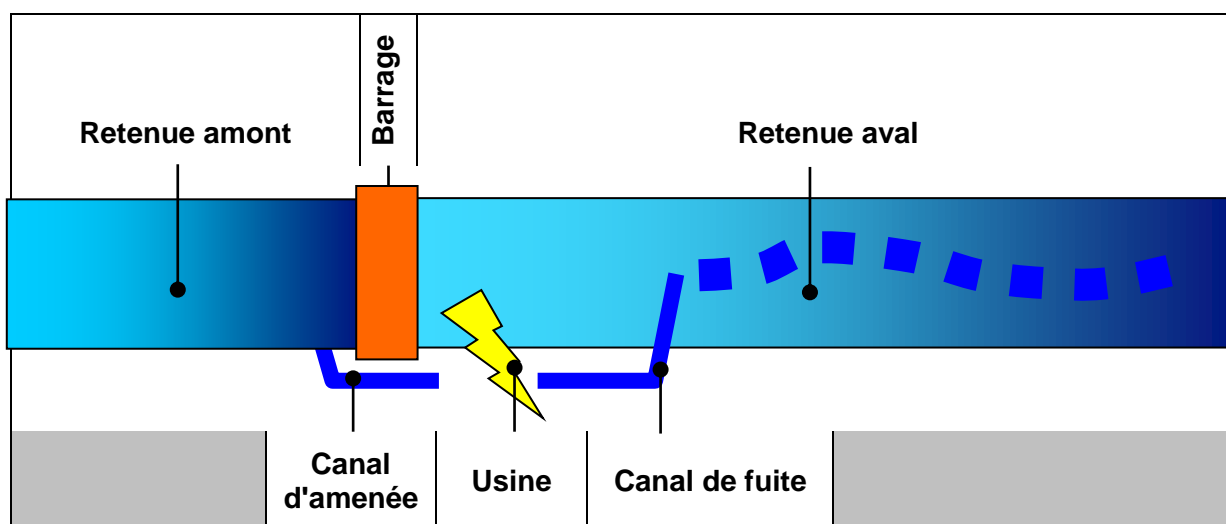
- dans un premier temps à une présentation générale des impacts potentiellement présents au regard de la nature des aménagements hydroélectriques sur le Verdon ;
- dans un deuxième temps, à une analyse plus précise de ces impacts au regard du Verdon, de ses écosystèmes aquatiques et des usages associés.

2 NATURE DES IMPACTS LIES AUX AMENAGEMENTS HYDROELECTRIQUES

En première approche, il y a peu de diversité dans le type d'aménagement hydroélectrique existant sur le Verdon et le schéma classique pourrait être le suivant



Avec une variante rencontrée sur le Verdon en raison de la succession en chaîne de retenues hydroélectriques.



Il est possible de reprendre ces schémas types applicables au Verdon pour sérier les impacts et l'on identifiera :

- ◆ les impacts liés à la retenue ;
- ◆ les impacts liés au barrage ;
- ◆ les impacts résultants de la production hydroélectrique.

2.1 Les impacts liés aux retenues.

L'électricité est très difficile à stocker. Pour l'exploitant la première fonction des retenues hydroélectrique est de maintenir ce stock sous forme d'une énergie hydraulique rapidement et facilement mobilisable.

Pour le cours d'eau cela se traduit par le passage d'un fonctionnement lotique à un fonctionnement limnique. Certaines grandeurs sont utilisées pour la description des écosystèmes lacustres.

A. Le temps de renouvellement.

Le temps de renouvellement est une valeur théorique qui rapproche le module des entrants au volume de la retenue, plus celui-ci sera long et plus la qualité de l'eau sera conditionnée par le fonctionnement de la retenue.

B. La physico-chimie

La profondeur des retenues du Verdon leur confère un fonctionnement de lac, dont l'une des caractéristiques majeures est l'alternance des phases de stratification et de mélange.

⇒ **Stratification et mélange**

La masse volumique de l'eau est liée à sa température mais présente la particularité d'être maximale aux alentours de 4°C. Cette propriété associée à l'épaisseur de la colonne d'eau des retenues entraîne une différence de température croissante entre les eaux du fond de la retenue et les eaux de surface. Deux types d'écart sont observés :

- Les lacs froids dont les eaux de surfaces sont plus froides que les eaux du fond : dans nos régions c'est le cas typique des lacs d'altitude gelés en surface l'hiver mais qui demeurent liquides pour l'essentiel de leur volume.
- Les lacs chauds dont les eaux de surface sont plus chaudes que les eaux du fond en période estivale : c'est le fonctionnement majoritaire des plans d'eau de la région avec une stratification qui s'installe généralement en fin de printemps.

Remarque : certains lacs d'altitude, comme le lac d'Allos, possèdent sans doute les deux types de stratification.

Sous nos latitudes les périodes de stratification, qu'elles soient chaudes ou froides, sont suivies de périodes de mélange du plan d'eau qui interviennent généralement en fin d'automne pour les lacs chauds et au printemps pour les lacs froids. Le radical "mictique" qualifie le nombre de période de mélange du plan d'eau et l'on parlera de lac monomictique ou dimictique¹.

Le tableau suivant synthétise ces différents fonctionnements

¹ Pour information on citera aussi l'existence de lacs polymictiques.

	Lac monomictique chaud	Lac dimictique	Lac monomictique froid
Stratification estivale	Oui	Oui	
Mélange automnale	Oui	Oui	
Stratification hivernale		Oui	Oui
Mélange printanier		Oui	Oui

Les cinq retenues du Verdon sont des lacs monomictiques chauds

Physico-chimie des lacs monomictiques chauds

1. Période de stratification

La stratification des lacs chauds débute en fin de printemps et va tendre à une compartimentation du plan d'eau en deux grandes zones sur la hauteur².

- L'épilimnion qui est la zone de surface dont les eaux sont les plus chaudes
- L'hypolimnion qui se tient sous l'épilimnion, s'étend jusqu'au fond du plan d'eau et dont les eaux sont plus fraîches

L'épilimnion et l'hypolimnion vont évoluer différemment d'un point de vue physico-chimique et ces évolutions seront d'autant plus marquées que la période de stratification se prolongera. **L'épilimnion.** Fortement éclairé et bien oxygéné, entre autre par ses échanges surfaciques, l'épilimnion demeure une zone de forte production primaire dont le niveau trophique sera essentiellement dépendant de la qualité des entrants et des différents tributaires de la retenue.

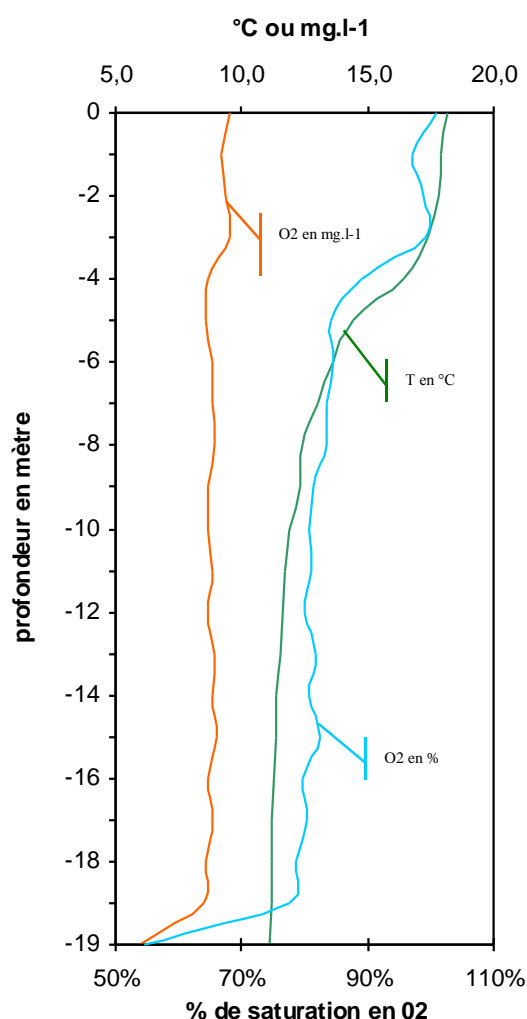
Remarque : Les eaux du Verdon entrant ont souvent une température plus fraîche que celle de l'épilimnion. Elles plongent directement dans l'hypolimnion.

L'hypolimnion. A l'inverse l'hypolimnion va évoluer sur un "stock de départ" conditionné par les différents apports à la retenue ainsi que l'historique de ces apports inscrit notamment dans les sédiments. Certaines évolutions peuvent être spectaculaires dans l'hypolimnion, comme la chute des teneurs en oxygène dissous jusqu'à l'apparition de milieu anoxique, des baisses du pH, la mise en solution des phosphates ou des éléments métalliques.

Remarque : en période de stratification selon la hauteur des pertuis de prise, les eaux prélevées pour les différents usages ou restituées au cours d'eau par exemple sous forme de débit réservé pourront être originaires soit de l'épilimnion soit de l'hypolimnion. Il est évident que l'origine du prélèvement déterminera la qualité des eaux.

² Entre les deux zones, on identifie une frange intermédiaire assez fine, la thermocline qui sous nos régions se situe généralement à sept mètres en dessous de la surface du plan d'eau et aux alentours de dix mètres pour les retenues du Verdon.

2. Période de mélange



La période de mélange intervient quand la température de l'épilimnion, conditionnée essentiellement par les températures atmosphériques (de fortes crues peuvent dans certains cas avoir un impact thermique important sur les retenues), retrouve une valeur proche de la température de l'hypolimnion.

Dans nos régions les lacs monomictiques chauds se mélangent en fin d'automne et restent mélangés jusqu'au début de la période de stratification suivante. Lors du début du mélange la qualité des eaux est le résultat de la qualité des eaux de l'hypolimnion et de l'épilimnion.

Ensuite, le plan d'eau évolue de manière à peu près homogène tout au long de la période de mélange.

- A gauche : Profil thermique de la retenue de Quinson le 25 juin 1999 (début de stratification)

Biocénoses des lacs monomictiques chauds

La transformation d'un milieu lotique en un milieu limnique va tendre à la mise en place d'un écosystème lacustre en remplacement d'un écosystème d'eau courante. Certaines des espèces préexistantes vont pouvoir s'adapter aux nouvelles conditions, d'autant mieux qu'il demeurera des connexions avec des tronçons de cours d'eau non aménagés. En revanche les espèces endémiques ou à forte valeur patrimoniale possèdent généralement de faibles amplitudes d'habitats et la mise en place de nouvelles conditions nécessite qu'elles disposent de zones refuges sous risque de leur disparition du bassin versant.

Au fil de la vie de la retenue il s'instaure une relation biologique plus ou moins forte entre l'écosystème lacustre et les écosystèmes lotiques en amont, lorsqu'ils sont accessibles, et l'on assiste à des déplacements de populations guidés par la recherche d'habitats variés au gré des cycles biologiques.

C. Le marnage

Le marnage désigne les évolutions de cote de la surface du plan d'eau, qui sont le résultat de l'écart entre "volumes entrants" et "volumes sortants".

Les principaux entrants sont :

- Les cours d'eau tributaires
- Les sources noyées
- Les précipitations atmosphériques
- Les autres apports. Parmi ceux-ci on peut citer les transferts inter-bassins au bénéfice de la retenue ou encore les groupes réversibles qui permettent à certaines heures de remonter l'eau turbinée dans la retenue

Les principaux sortants sont :

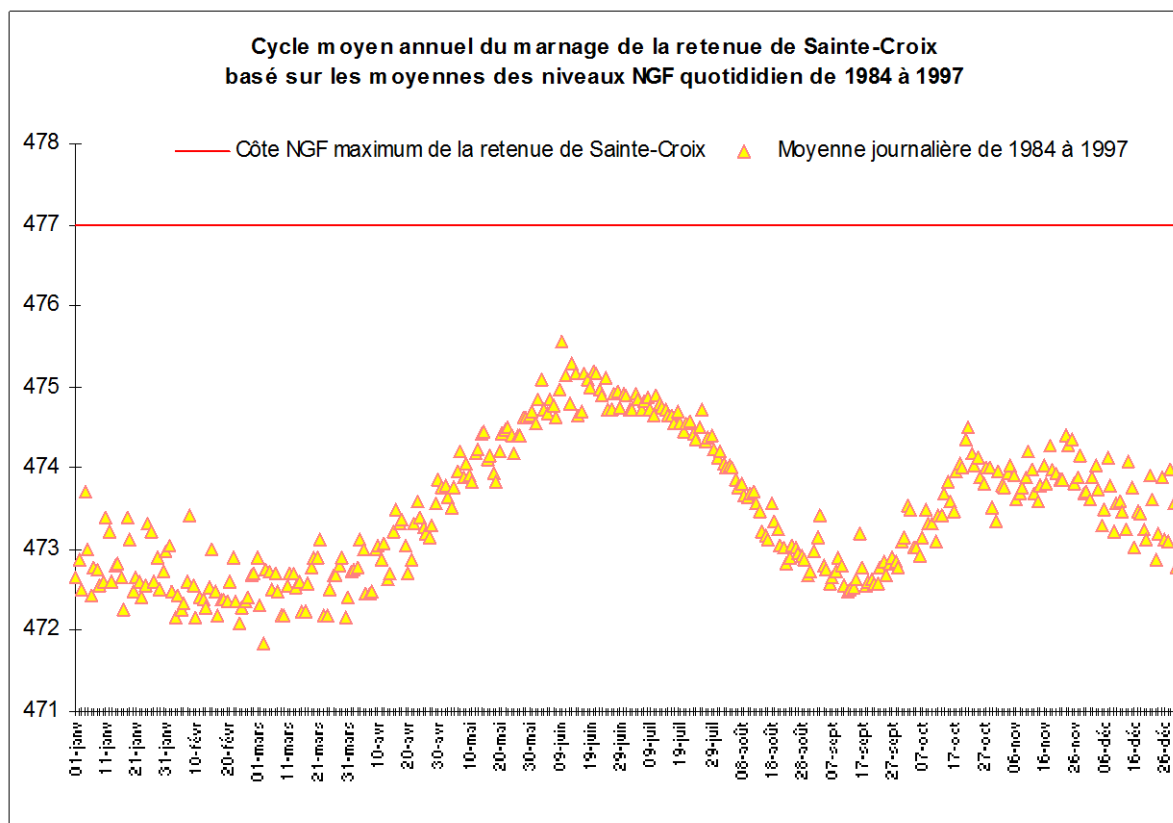
- Les produits de l'activité hydroélectrique : turbinés, débit réservés, chasses, essais de vannes, vidanges, drainage des ouvrages
- Les crues
- Les prélèvements en eau
- Les pertes dans le substratum
- L'évaporation

Sauf cas particulier, le marnage est très important dans les retenues hydroélectriques, car il traduit essentiellement la gestion du stock énergétique par l'exploitant.

Au regard des types d'aménagement du Verdon le marnage est donc indissociable de la production hydroélectrique et du maintien des droits qui lui sont associés. Les cotes maximales et minimales d'exploitation des retenues hydroélectriques sont d'ailleurs arrêtées de manière réglementaire.

Il existe quelques marnages récurrents

- Marnage à la baisse quand les débits turbinés sont supérieurs aux débits entrants
- Marnage à la hausse pour reconstituer le stock énergétique
- Marnage à la hausse en prévision des saisons touristiques
- Marnage à la baisse en prévision des périodes de crues (les creux)
- Marnage à la hausse ou à la baisse pour garantir les droits d'eau.



Impact du marnage sur la retenue

La première conséquence du marnage est l'alternance des phases de submersion et d'assèchement des zones littorales qui sont les secteurs les plus productifs des lacs. Bien souvent les herbiers, un des compartiments majeurs de l'habitat lacustre, ont du mal à s'implanter durablement ou les successions phytosociologiques sont perturbées.

Le marnage entraîne aussi des variations des conditions d'éclairement, de pression, d'écoulement dont le caractère aléatoire rend difficile toute acclimatation et à ce jeu les espèces ubiquistes sont favorisées.

Sur un plan géomorphologique le marnage des retenues associé à d'autres phénomènes, comme le batillage, peut participer à l'érosion des berges.

Enfin le marnage a un impact paysager très fort.

Impact du marnage sur les linéaires aval et amont

S'il n'y pas d'impact direct du marnage sur l'aval de la retenue, les variations de niveau en queue de retenue créent un milieu intermédiaire entre cours vif de la rivière et le milieu lacustre. Cette zone est souvent le lieu d'une forte sédimentation et d'une variation des conditions d'écoulement très préjudiciable aux espèces aquatiques. LE cône de déjection peut être un obstacle à la migration des poissons.

L'impact paysager est particulièrement sensible sur ce secteur.

2.2 Les impacts liés aux barrages

Les barrages sont des aménagements lourds en travers des cours d'eau. Conçus pour retenir l'eau, ils interrompent aussi d'autres circulations, notamment les transports solides et les déplacements de faune.

A. L'altération du transport solide

Cet aspect est plus particulièrement traité dans la partie hydraulique de l'état des lieux.

B. L'altération des voies migratoires

Une caractéristique essentielle de l'écosystème lotique est sa continuité sur le profil en long (*river continuum*). Au regard de ce fonctionnement, les barrages sont créateurs de discontinuité et s'ils ne sont pas équipés de passe à poissons ils deviennent des obstacles infranchissables dans les déplacements aquatiques, autant à la montée qu'à la descente (mortalité piscicole dans les turbines et les différentes vannes).

LE SDAGE RMC dans sa partie glossaire et index, définit ainsi les poisson migrateurs :

Poissons qui se déplacent périodiquement entre leur zone de reproduction et leurs zones de développement (lieu de vies des juvéniles et des adultes). Certaines espèces vivent alternativement en eau douce et en eau de mer (poissons amphihalins) ; on les appelle "grands migrants".

Deux grandes familles de déplacements sont donc recensés.

Les grands migrants

Saumon, alose, lamproie ou anguille, les aménagements infranchissables des cours d'eau ont fortement fait régresser la présence de ces espèces migratrices dans leur zone classique d'implantation essentiellement en déconnectant les zones d'habitat des zones de reproduction.

Sur un bassin versant un seul aménagement infranchissable suffit à empêcher toute migration et donc à l'inverse le rétablissement des continuités ne peut se faire qu'à l'échelle du réseau hydrographique.

Les migrants locaux

Si l'impact des barrages est très perceptible pour les grandes espèces migratrices, beaucoup d'autres espèces piscicoles accomplissent leur cycle ou maintiennent la dynamique de leur population par des déplacements plus restreints en distance mais tout aussi essentiels.

La succession fréquente des ouvrages hydroélectriques sur une même rivière conduit à une compartimentation du cours d'eau très éloignée de l'organisation naturelle des milieux lotiques.

2.3 Impacts résultants du fonctionnement hydroélectrique.

A. Les chasses

Les chasses sont des opérations hydrauliques destinées à chasser les matériaux accumulés dans la retenue ou à proximité des vannes de fond ou ouvrage de prise.

Les débits nécessaires à la mobilisation des matériaux sont forcément élevés aussi les chasses sont des événements brusques pour le milieu aquatique avec des variations importantes des débits liquides et solides.

B. La dynamique des crues

Si les retenues et les barrages sont quasiment transparents pour les crues à caractère exceptionnel ils interceptent l'essentiel des crues de faibles et de moyennes importances alors que ces crues de retour annuel à décennal sont reconnues comme essentielles dans la qualité hydrobiologique qui nécessite un minimum de perturbation.

- Sur le bassin versant de la Durance, la thèse de Stéphanie Fayolle³ est riche d'enseignements et conclue qu'au regard des populations algales entre trois niveaux de perturbation hydrologique d'un tronçon court-circuité, faible, moyen et élevé, le niveau de perturbation moyenne est à l'origine d'une organisation du peuplement proche du régime naturel.

Le nettoyage des substrats par décolmatage des fonds est le principal apport des crues faibles à moyennes sur les tronçons court-circuités. Leur effacement tend à accroître le colmatage qui entraîne une homogénéisation des habitats et une diminution des relations sous-écoulement / écoulement de surface.

En outre, l'effacement des crues faibles à moyennes crée sur le tronçon court-circuité une relative stabilité hydraulique qui permet la mise en place d'un écosystème d'autant moins adapté à toute variation hydraulique d'importance. Il est fréquent d'observer une diminution des espèces rhéophiles.

C. Impacts des turbinés et éclusées

Les turbinés sont la transformation de l'énergie hydraulique en énergie électrique, ils se traduisent par des éclusées en aval du canal de fuite et du tronçon court-circuité. Les éclusées sont pour le milieu récepteur des augmentations de débit correspondant au débit utilisé pour entraîner la turbine. Les impacts des éclusées sont multiples.

Brusques augmentations ou réductions du débit en rivière

Le démarrage des groupes de production ou leur arrêt se traduisent par des variations importantes du débit en rivière qui peuvent facilement être d'un facteur 100.

Les variations de débit entraînent des variations concomitantes des vitesses de courant, des hauteurs d'eau et des surfaces mouillées. De telles variations peuvent être très pénalisantes pour certaines espèces ou certains de leurs stades.

³ Université de droit, d'économie et des sciences d'Aix - Marseille III. Faculté des sciences et techniques de Saint-Jérôme. Thèse de doctorat : Réponses des communautés végétales strictement aquatiques (algues et macrophytes) aux perturbations hydrodynamiques (débits réservés, restitutions), en Durance aménagée (Sud-Est de la France). Stéphanie Fayolle. 20 mars 1998.

Brusques variations de la qualité physico-chimique

Les eaux turbinées sont souvent les eaux de l'hypolimnion et en période estivale les éclusées se traduisent par des variations importantes de certains paramètres physico-chimique et notamment la température de l'eau. D'autres paramètres sont aussi susceptibles de variations tel que l'oxygène, le pH, les teneurs en orthophosphates...

Ecart important des débits à la moyenne

Des éclusées de longues durées (plusieurs jours voire plusieurs semaines) créent des conditions de débit en rivière largement supérieures au débit réservé qui est souvent le débit structurant les écosystèmes en aval des barrages. Certaines espèces végétales et animales (invertébrés benthiques, alevins, juvéniles, adultes frayant) mettent à profit les nouvelles surfaces mouillées et se retrouvent piégées par l'arrêt des éclusées.

Remarque : il peut paraître contradictoire que les éclusées soient pénalisantes pour le milieu aquatique alors que dans le même temps le déficit des perturbations hydrauliques apportées par les crues faibles est également considéré comme pénalisant. Plusieurs explications à cette apparente contradiction :

- Si une crue faible (réurrence de quelques années) dynamise à moyen terme les écosystèmes, elle a un impact immédiat parfois important sur les populations, notamment en période de reproduction ou de croissance des alevins.
- Les impacts des éclusées ne sont pas tous négatifs pour un cours d'eau en débit réservé (apport d'eau plus fraîche, ou d'oxygène).
- Contrairement à l'éclusée, la crue est précédée d'un certain nombre de signaux naturels (baisse de la pression atmosphérique, augmentation de la turbidité).
- C'est par leur fréquence de retour que le bilan des éclusées peut être pénalisant. C'est le cas lorsque la fréquence de retour systématise les impacts négatifs et que sur la durée ce sont eux qui conditionnent la dynamique des populations.

D. Les essais de vanne

Les essais de vannes de fonds permettent de s'assurer de leur bon fonctionnement, ils sont généralement limités en durée et en débit d'essai. Leurs impacts sont donc réduits et localisés en pied de barrage.

E. Les vidanges décennales

Les vidanges décennales ont été imposées aux grands barrages suite à la rupture du barrage de Malpasset (1959). Pour l'organisme de contrôle, la vidange en elle-même n'a d'autre intérêt que le contrôle de l'ouvrage et de son parement, le gestionnaire la met souvent à profit pour la réalisation de gros travaux de maintenance.

Les vidanges sont des moments particuliers dans la vie des aménagements hydroélectriques et des opérations très risquées pour le milieu aquatique essentiellement en raison de la restitution à la rivière en aval de l'ouvrage des dix années de stock sédimentaire bloqué par le barrage et dont la nature physico-chimique s'est souvent fortement dégradée.

Il existe de nombreux exemples de vidange ayant entraîné une forte mortalité sur des kilomètres de linéaire de cours d'eau et dans la retenue asséchée le temps de l'inspection. Aujourd'hui de plus en plus de vidanges décennales font l'objet d'une dérogation et les inspections sont réalisées par automate subaquatique.

F. Les débit réservés

En dehors de la mise en place des retenues au démarrage de l'aménagement, les débits réservés sont sans doute la contrainte majeure et surtout la plus permanente pour les écosystèmes lotiques.

Valeur réglementaire

L'article L232-5 du code rural impose le respect d'un débit minimal en deçà duquel tout prélèvement doit cesser. Ce débit est donc "réservé" au cours d'eau dès le pied du barrage.

Les valeurs minimales du débit réservé sont calculées en quantième du module.

	Ouvrages nouveaux	Ouvrages existants	Renouvellement de titre
Module < 80 m ³ .s ⁻¹	1/10 ^{ème} du module	1/40 ^{ème} du module	1/10 ^{ème} du module
Module > 80 m ³ .s ⁻¹	1/20 ^{ème} du module*	1/80 ^{ème} du module*	1/20 ^{ème} du module*
* Sous réserve de la parution d'un décret en Conseil d'Etat			

Remarque : Le SDAGE RMC signale que cette réglementation soulève des difficultés d'application.

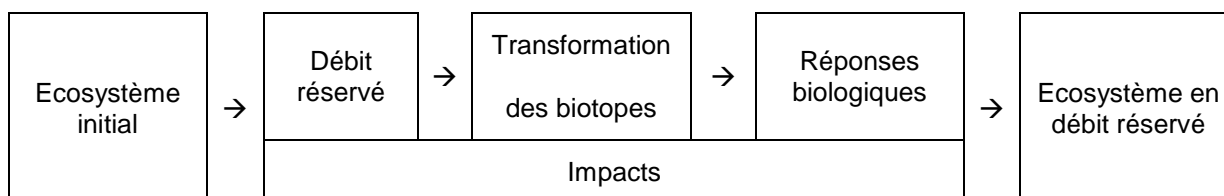
Depuis 1984, la Loi Pêche définit ce débit minimal comme devant aussi "garantir en permanence la vie, la circulation et la reproduction des espèces qui peuplent les eaux".

Au vu des seules valeurs réglementaires le premier impact du débit réservé est bien sûr la réduction drastique de la part laissée au milieu naturel.

Un autre impact contenu dans l'article L232-5 et que tente de minimiser la Loi Pêche est la non prise en compte des réalités biologiques.

Les débits réservés sont calculés comme des quantèmes de module qui lui-même est une valeur statistique peu représentative des cours d'eau et notamment des rivières méditerranéennes. Il y a un antagonisme entre un débit réservé de valeur constante, les variations naturelles de débit autour du module et les cycles biologiques.

Aussi afin d'approcher les impacts du débit réservé sur les milieux aquatiques il convient de détailler le mécanisme qui aboutit à la mise en place d'un nouvel écosystème.



Dans ce mécanisme, l'étude de la transformation des biotopes semble un point fondamental pour apprécier l'impact des débits réservés, car :

- les variables abiotiques sont pour l'essentiel des variables accessibles (hauteur d'eau, vitesse, température, granulométrie, pente, ...)

- Les mesures qui en sont faites sont fiables (dans la limite des appareillages et protocoles utilisés) ;
- lorsqu'il ne demeure pas de secteur de référence pour le cours d'eau aménagé, l'écosystème initial est souvent très mal connu et les modèles disponibles ne suffisent pas à le décrire à posteriori ;
- contrairement aux évolutions physiques du milieu l'appréciation du fonctionnement biologique est plus difficile essentiellement parce qu'il demeure beaucoup d'inconnues sur le fonctionnement du vivant dans les écosystèmes aquatiques.

Impacts abiotiques du débit réservé

Les principales relations biotopes /biocénoses sont les suivantes :

Paramètre	Caractéristique d'un milieu débit réservé	Nature de l'impact	Paramètres directement associés	
			Paramètre déterminant	Paramètre déterminé
Volume	Volumes plus faibles	De faibles volumes limitent la présence de poissons de grande taille.	Hauteur d'eau	La température
Hauteur d'eau	Plus faibles hauteurs d'eau	De faibles hauteurs cloisonnent le milieu et compromettent les déplacements des poissons. Elles favorisent une hausse des températures.	Morphologie du lit et valeur de débit	Le volume La température
Vitesse	Plus faibles et plus homogènes	Si parfois des vitesses plus faibles entraînent une hausse de la diversité leur homogénéisation induit une faible hétérogénéité de l'habitat. Elles accentuent le colmatage. Elles favorisent une hausse des températures.	Pente et valeur de débit	Le colmatage L'hétérogénéité de l'habitat La température
Colmatage	Colmatage plus important	Un colmatage important limite les capacités d'accueil de l'habitat. Il homogénéise le substrat. Il limite les échanges avec le sous-écoulement et participe aux évolutions thermiques.	La vitesse	La température
Hétérogénéité de l'habitat	Plus faible hétérogénéité	L'hétérogénéité de l'habitat est une condition préalable à la diversité des biocénoses.	Vitesse Hauteur Colmatage	/
Température	Températures plus élevées	De fortes évolutions de température perturbent les peuplements originels. Les peuplements en place doivent être adaptés aux nouvelles températures et à leurs variations.	Colmatage Hauteur d'eau Vitesse	Saturation en oxygène
Surface mouillée	Surfaces réduites	La surface mouillée détermine la biomasse des biocénoses benthiques.	Morphologie du lit et valeur de débit	La température

⇒ Particularités des linéaires en aval des barrages

En aval des barrages hydroélectriques il faut identifier deux secteurs d'amont en aval.

- Le tronçon court-circuité : compris entre le pied du barrage et la confluence du canal de fuite avec le cours d'eau, ce tronçon est strictement inféodé au débit réservé délivré à partir du pied de l'ouvrage. Seules les déversés de crues et quelques opérations de maintenance et la présence d'affluents peuvent amener une variabilité hydraulique. Certains tronçons court-circuités font plusieurs dizaines de kilomètres de long, comme c'est le cas en Moyenne Durance.
- Le linéaire en aval du canal de fuite : ce linéaire possède un fonctionnement plus complexe alternant éclusées et débit réservé, ainsi que les déversés de crues, les opérations de maintenance et les variations de son propre bassin versant de surface croissante au fil du linéaire. Sur ce tronçon, la longueur soumise aux impacts de l'aménagement hydroélectrique est souvent plus difficile à déterminer.

Impacts biologiques du débit réservé

Il existe trois grands compartiments biologiques pour apprécier l'état des milieux aquatiques.

⇒ La végétation aquatique

La végétation aquatique est le compartiment biologique interagissant le plus avec le milieu physique. Elle accentue le processus de sédimentation, elle influe sur certains cycles chimiques et enfin une couverture algale importante modifie les caractéristiques de l'habitat benthique. Elle est donc à la fois un paramètre déterminant certaines variables physiques du milieu et un compartiment biologique réagissant aux modifications du milieu.

Ceci étant, l'état physique du milieu demeure l'élément précurseur dans les dynamiques végétales et la végétation aura avant tout une réponse biologique aux valeurs de débit restitué.

Des proliférations algales ou macrophytiques sont fréquemment observés sur les linéaires en débit réservé ; à qualité nutritionnelle égale, celles-ci profitent du réchauffement des eaux, du colmatage accru et de la stabilité hydraulique.

⇒ Les invertébrés benthiques

Le peuplement d'invertébrés est souvent assez faible en effectif et en densité dans les tronçons en débit réservé. La distribution spatiale est très hétérogène, le colmatage joue un rôle prépondérant et l'essentiel du peuplement se concentre généralement au niveau des radiers. Les diminutions des surfaces de radier et de l'hétérogénéité de l'habitat, générées par les débits réservés, se traduisent par un appauvrissement du peuplement d'invertébrés benthiques. On observe fréquemment des discontinuités benthiques sur le profil en long des cours d'eau aménagés.

⇒ Les poissons

La réduction des volumes, la modification du régime thermique, la compartimentation du profil en long, l'homogénéité de l'habitat et la disparition des annexes hydrauliques peuvent être autant de contraintes pour les populations piscicoles des cours d'eau en débit réservé.

On observe fréquemment des perturbations des densités et des biomasses et très souvent si la densité est plus faible le poids moyen des individus est plus élevé.

3 IMPACTS SUR LE MILIEU AQUATIQUE DES AMENAGEMENTS HYDROELECTRIQUES DU VERDON

L'équipement hydroélectrique du Verdon est composé de cinq aménagements, d'amont en aval :

- la retenue, le barrage et l'usine de Castillon ;
- la retenue, le barrage et l'usine de Chaudanne ;
- la retenue, le barrage et l'usine de Sainte-Croix du Verdon ;
- la retenue, le barrage et l'usine de Quinson ;
- la retenue d'Esparron, le barrage de Gréoux et l'usine de Vinon.

Aménagement	Mise en eau	Distance source	Longueur retenue	Surface retenue
Castillon	1947	55 km	10 km	500 ha
Chaudanne	1952	59 km	3,8 km	70 ha
Ste Croix	1973-75	109 km	12 km	2200 ha
Quinson	1974	121 km	12,5 km	190 ha
Gréoux	1967	135 km	13,5 km	329 ha
Aménagement	Volume retenue	Temps de renouvellement	Marnage en m	Débit maximal turbiné
Castillon	149 millions de m ³	126 jours	35 mètres	76,3 m ³ .s ⁻¹
Chaudanne	15 millions de m ³	13 jours	14 mètres	48 m ³ .s ⁻¹
Ste Croix	767 millions de m ³	280 jours	16 mètres	211 m ³ .s ⁻¹
Quinson	20 millions de m ³	7 jours	5 mètres	105 m ³ .s ⁻¹
Gréoux	79 millions de m ³	25 jours	1,5 mètres	48 m ³ .s ⁻¹

Le total de certaines de ces grandeurs est intéressant au regard du Verdon :

Longueur des retenues	Surfaces retenues	Volumes retenues	Temps de renouvellement
0 km	3289 ha	0 millions de m³	0 jours

Dans cet ensemble il est possible de distinguer deux sous-ensembles :

- Castillon - Chaudanne : la retenue de Chaudanne commence au pied du barrage de Castillon.
- Sainte-Croix – Quinson – Esparron : les trois retenues du Bas-Verdon se succèdent d'amont en aval sans discontinuité.

3.1 Castillon-Chaudanne

Les premiers aménagements hydroélectriques du Verdon à hauteur de Castillon datent du début du XX^{ème} siècle mais c'est conjointement à la création d'Electricité de France qu'est construite la retenue actuelle de Castillon, qui atteint pour la première fois sa cote maximum le 28 février 1949, suivie de la retenue de Chaudanne dans le début des années 50.

La retenue de Castillon la plus en amont sur le linéaire est en volume la deuxième des retenues du Verdon.

A. Aménagements hydroélectrique de Castillon

Impacts liés à la retenue de Castillon

Cette retenue du Verdon est la plus en amont sur le linéaire du Verdon, dont elle ferme le haut-bassin. L'importance de son marnage (en moyenne un vingtaine de mètre sur l'année) est la première caractéristique de son fonctionnement. Ce marnage a plusieurs conséquences :

- Un impact paysager très fort sur le pourtour du plan d'eau et notamment au niveau de la queue de retenue et de Saint-André les Alpes
- Un effet limitant sur le développement végétal des zones littorales et par voie de conséquence sur certaines espèces piscicoles.

Un creux automnal en prévision des crues est assuré par le gestionnaire.

D'un point de vue physico-chimique, Castillon est un lac monomictique chaud oligo-mésotrophe peu productif aux eaux bien oxygénées (toutes les retenues du Verdon présentent de très bonnes valeurs d'oxygène sur la totalité de la colonne d'eau). Les faibles températures hivernales des eaux de la retenue limiteraient la croissance de certaines espèces piscicoles.

Il apparaît une relation importante entre la retenue de Castillon et le cours amont du Verdon pour le peuplement piscicole.

La retenue de Castillon a été vidangée en 1971, depuis par dérogation, toutes les vidanges se sont déroulées par visite subaquatique.

Impacts liés au barrage de Castillon

Le barrage de Castillon est un ouvrage infranchissable. Le premier en amont sur le linéaire, il doit stocker l'essentiel des apports solides en provenance du haut-Bassin.

Il interdit aussi tout déplacement volontaire de faune à la montée comme à la descente.

Impacts résultant du fonctionnement hydroélectrique

En aval du Barrage de Castillon commence immédiatement la retenue de Chaudanne bien que dans les faits il y ait un tronçon court-circuité d'environ 500 mètres. Dans ses conclusions de l'étude ichtyologique de la retenue de Chaudanne, le Cemagref propose de rendre ce secteur accessible aux poissons de la retenue par le maintien d'un débit minimum en aval du barrage de Castillon.

De manière générale, les impacts de l'exploitation hydraulique de Castillon se font sentir essentiellement sur l'écosystème lacustre de Chaudanne, un milieu qui n'a pas été intégré au secteur d'études ou encore ils se cumulent aux impacts liés à l'aménagement de Chaudanne.

B. Aménagement hydroélectrique de Chaudanne

Impacts liés à la retenue de Chaudanne

D'une profondeur maximale de 50m, la retenue de Chaudanne est un milieu aquatique très isolé. Elle n'a aucune connexion biologique avec le Verdon et ne possède que deux petits tributaires. La retenue de Chaudanne est une retenue oligo-mésotrophe aux eaux bien oxygénées. La faiblesse des zones littorales limite le développement de la faune.

La retenue a été vidangée en octobre 1974 et suivie par Alain Grégoire dans le cadre de sa thèse de Doctorat (1981) qui témoigne ainsi :

Presque tous les poissons ont été emportés hors de la retenue en fin de vidange, au moment où l'eau était la plus chargée en matières en suspensions. Dans la nuit du 10 au 11 octobre, des milliers de gardons ont été retrouvés sur les rives du Verdon, accrochés aux branches des arbustes, sur une distance de plus de 3 km. La plupart d'entre eux sont restés au pied du barrage, dans une vasque où, pendant 3 jours, l'eau était totalement désoxygénée du fait de la haute teneur en matières en suspension (50 g/l). plus d'une tonne de perches, de gardons, de chevesnes et de barbeaux a ainsi péri par asphyxie. Les seuls rescapés ont été les truites et les brochets qui ont pu s'échapper de la zone polluée en profitant d'un fort débit pour descendre le cours du Verdon et trouver des conditions de survie plus favorables. Apparemment, un seul brochet et seulement quelques truites sont morts dans la vasque.

Depuis, les autres décennales ont été réalisées par visite subaquatique, la prochaine dont les modalités ne sont pas fixées, est prévue en 2004.

Impacts liés au barrage de Chaudanne

Le barrage de Chaudanne est un ouvrage infranchissable pour la faune aquatique.

Les apports solides en provenance du haut-bassin doivent être arrêtés en grande partie par la retenue de Castillon immédiatement en amont.

Impacts résultant du fonctionnement hydroélectrique

Au débouché du Barrage de Chaudanne le Verdon retrouve son lit mais aussi de nombreuses contraintes de fonctionnement.

⇒ **Le tronçon court-circuité de Chaudanne**

Le tronçon court-circuité s'étend sur 2,5 km en aval du barrage de Chaudanne. C'est une zone d'une grande stabilité hydraulique essentiellement conditionnée par le débit réservé de Chaudanne qui est de 500 l.s^{-1} .

Au niveau de Chaudanne le module naturel est estimé à $13,5 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ et le débit réservé ne doit pas être inférieur à 1/40ème du module soit environ 350 l.s^{-1} .

Avant la construction de Sainte-Croix les droits d'eau dans le Bas-Verdon étaient assurés par un débit réservé de $6 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ délivré à partir de Chaudanne.

Les seules variations significatives d'écoulement sur le tronçon court-circuité proviennent des déversés en crues et des ouvertures de la vanne de fond pour essais ($10 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ durant 5mn) ou des opérations de maintenance. Autant d'évènements peu fréquents dans le fonctionnement du tronçon court-circuité qui est de plus compartimenté par la présence de seuils infranchissables.

⇒ **Le Verdon en aval de la restitution de l'usine de Chaudanne**

Deux contraintes hydrauliques conditionnent le fonctionnement du Verdon en aval immédiat de Chaudanne.

- Le débit réservé
- Les éclusées du groupe de production.

En aval de Chaudanne on observe plusieurs consignes d'éclusées :

1. Courbe été du 16 juin au 14 septembre

- Démarrage des groupes entre 20 et 22 heures uniquement.
- A la montée palier de $0,45 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ toutes les cinq minutes (minimum technique de $5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) et jamais de turbinés supérieurs à $13 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
- Arrêt à 15h, 15h30

Cette consigne estivale est liée à la forte fréquentation du Verdon en aval de Chaudanne et en relation avec les conventions bilatérales, EDF – Professionnels des sports d'Eau vive

2. Courbe hiver du 15 septembre au 15 juin

- A la montée palier de $1 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ toutes les cinq minutes (minimum technique de $5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) .

Les turbinés maximums sont de $48 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Enfin on notera aussi que des consignes d'arrêt des éclusées sont observées par le gestionnaire dans une volonté annoncée de minimiser l'impact des arrêts d'éclusées pour le milieu aquatique.

Remarque : Les consignes d'éclusées sont d'abord dictées par un souci de sécurité des personnes et des biens en aval de l'ouvrage.

Si cet aspect sécuritaire de la production hydroélectrique ne sera pas évoqué systématiquement, il est fondamental pour comprendre certaines des modalités de gestion mises en place par EDF ainsi que les rapports qu'entretient EDF avec les autres usagers du cours d'eau.

C. Impact global de l'aménagement Castillon - Chaudanne sur le linéaire du Verdon

En dehors des transformations radicales de milieu qu'ont engendrées les retenues, l'essentiel de l'impact de Castillon - Chaudanne s'exprime sur le linéaire du Verdon en aval du barrage de Chaudanne.

Pour le milieu aquatique les impacts sont de plusieurs ordres :

- ◆ La rupture du transport solide

- ◆ Les effets cumulés de l'effacement des crues de faibles intensités, du débit réservé et des éclusées.

Largement étudié dans la partie hydraulique de l'étude, la rupture du transport solide si elle est difficilement identifiable dans le fonctionnement actuel des milieux et dans la composition des peuplements, sous-tend une dynamique d'homogénéisation de l'habitat préjudiciable à terme aux espèces aquatiques.

Les effets cumulés des variables hydrauliques sont eux plus facilement perceptibles à travers les données biologiques disponibles.

En premier lieu, il apparaît un impact important des éclusées sur la reproduction naturelle des salmonidés en aval de Castellane. Cet impact est visible dans les données disponibles sur les populations de truite fario. De manière générale les densités et les biomasses sont plus faibles en aval de Castellane que dans le Haut-Verdon, et c'est dans le tronçon court-circuité de Chaudanne que l'on observe la plus belle population de truite grâce entre autre à une reproduction naturelle efficace doublée d'un alevinage important.

L'impact des éclusées sur la reproduction a sans doute une double origine :

- Un impact sur les frayères dues aux variations hivernales de surface mouillée, de vitesse et de hauteur d'eau.
- Un impact sur les stades jeunes de l'espèce qui ne peuvent résister à des variations brutales d'écoulement.

Le peuplement d'invertébrés benthiques du Moyen Verdon en aval de Chaudanne s'organise autour d'espèces plus tolérantes aux variations de températures et de nature plus potamiques. Ce remplacement d'espèce est la conséquence du régime thermique du Verdon en débit réservé (réchauffement des eaux) et des éclusées (variabilité thermique importante).

Le Verdon à hauteur de Chaudanne			
Qmna5	2,17 m ³ .s ⁻¹ (Sogreah)	Débit réservé	0,5 m ³ .s ⁻¹
Module	13,5 m ³ .s ⁻¹	Maximum turbiné	48 m ³ .s ⁻¹

Enfin les perturbations hydrauliques semblent avoir pour conséquence la faiblesse de certaines espèces d'accompagnement (vairon, loche, chabot).

Au vu des données disponibles il est plus difficile de définir comment s'amortit l'impact du fonctionnement de la chaîne Castillon - Chaudanne sur le linéaire aval du Verdon. Certains travaux réalisés dans ce sens font partie de la deuxième phase de l'étude mais d'ores et déjà il est possible de proposer quelques pistes de réflexions.

- Le Moyen Verdon est pauvre en affluent, notamment sur sa première moitié. En outre les à-secs des parties terminales de l'Artuby et du Jabron renforcent cette pauvreté en connexions hydrauliques en période d'étiage.
- Sur les deux campagnes de prélèvement, la station dans les Grandes Gorges (près de 30km en aval de Chaudanne) est d'une grande stabilité hydrobiologique.
- Sur la partie terminale du Bas-Verdon, les influences apparemment plutôt positive de la retenue de Sainte-Croix sur les peuplements piscicoles doivent être supérieures aux impacts négatifs de Castillon – Chaudanne.

3.2 Sainte-Croix ; Quinson ; Gréoux

Les aménagements du Bas-Verdon datent des années 1960-70, avec par ordre de mise en eau, Gréoux, Sainte-Croix et Quinson.

La retenue de Sainte-Croix est la plus imposante des retenues du Verdon.

A. Aménagement hydroélectrique de Sainte-Croix

Impacts liés à la retenue de Sainte-Croix

Immédiatement placée au débouché des Grandes Gorges, la retenue de Sainte-Croix est une très grande retenue (767 millions de m³, 90m de profondeur maximum, 280 jours de temps de renouvellement).

La retenue de Sainte-Croix est un lac monomictique chaud oligotrophe à mésotrophe qui possède des eaux toujours bien oxygénées et un marnage important (10 m en moyenne annuelle). Ce marnage conditionne la présence ou l'absence d'herbiers en zones littorales. Des érosions de berges sont observées en rive droite de la retenue.

En amont la retenue de Sainte-Croix communique avec le linéaire du Verdon et la queue de retenue s'enfonce sur quelques kilomètres dans les Gorges. D'autres autres tributaires sont à signaler, la Maire petit affluent rive droite et Fontaine l'Evêque, source aujourd'hui noyée qui draine les eaux du plateau de Canjuers et les pertes de l'Artuby et du Jabron.

De part sa position géographique, les eaux de Sainte-Croix sont plus chaudes que les eaux de Castillon et le poids moyen des truites y est plus important. Des individus de taille importante sont d'ailleurs fréquemment observés ou pêchés dans les Grande Gorges, ceux-ci mettraient à profit les deux milieux qui leur sont accessibles. En revanche un ouvrage infranchissable sur la Maire interdit aux truites de Sainte-Croix l'accès à d'excellentes zones de reproduction.

Impacts liés au barrage de Sainte-Croix

Le barrage de Sainte-Croix est un ouvrage infranchissable.

Il doit stocker l'essentiel des apports solides en provenance du Moyen-Verdon et affluents.

Toutes les vidanges ont été sujettes à dérogation et à visite subaquatique.

Impacts résultants du fonctionnement hydroélectrique

En aval du Barrage de Sainte-Croix débute immédiatement la retenue de Quinson. Les impacts du fonctionnement hydroélectrique se font donc d'abord sentir sur l'écosystème lacustre de Quinson, non intégré au champ de l'étude.

Il faut néanmoins citer la particularité de l'usine de Sainte-Croix qui possède un groupe réversible capable de pomper l'eau dans Quinson à destination de Sainte-Croix.

B. Aménagement hydroélectrique de Quinson

Impacts liés à la retenue de Quinson

Coincée entre deux autres retenues, la retenue de Quinson est à priori un lac monomictique chaud mais les turbinés de Sainte-Croix peuvent perturber la stratification estivale. A priori toujours la retenue est oligotrophe et des transparences exceptionnelles de l'eau (disque de Secchi > 11m) ont été observées dans les gorges noyées de Baudinard qui sont par ailleurs remarquables.

Le temps de renouvellement court (7 jours) et un marnage relativement important semblent déterminants dans le fonctionnement de la retenue.

La retenue de Quinson est le lieu d'une prolifération d'un herbier à *Potamogeton pectinatus* qui aurait pu être facilitée par la vidange décennale de 1988, mais cela reste à vérifier.

L'essentiel de la retenue est une succession de gorges à circulation rapide. Le maintien d'une population de chabot (*Cottus gobbio*) en atteste.

La retenue de Quinson a connu 3 vidanges décennales (1978,1998 et 1998). La configuration de l'aménagement, présence d'un batardeau en amont du barrage et rejet des eaux de vidange dans la retenue d'Esparron minimisent fortement les impacts des vidanges de Quinson sur l'aval. D'importantes pêches de sauvegarde réalisées sous l'égide du Conseil Supérieur de la Pêche en 1998, ont fortement limité la mortalité piscicole dans la retenue.

Impacts liés au barrage de Quinson

Le barrage de Quinson est un ouvrage infranchissable pour la faune aquatique.

L'essentiel des apports solides en provenance de l'amont doit être arrêtés par la retenue de Sainte-Croix. La totalité du stock sédimentaire est conservée dans la retenue par un ancien ouvrage en amont du barrage actuel et qui sert de batardeau lors des vidanges décennales.

Impacts résultants du fonctionnement hydroélectrique

En aval du Barrage de Quinson débute immédiatement la retenue de Gréoux- Esparron, même si dans les faits et comme à Chaudanne, on note la présence d'un tronçon court-circuité de quelques centaines de mètres.

Les impacts du fonctionnement hydroélectrique de Quinson, se font donc d'abord sentir sur l'écosystème lacustre, non intégré au champ de l'étude.

C. Aménagement hydroélectrique de Gréoux

Impacts liés à la retenue de Gréoux

La retenue de Gréoux a une morphologie hétérogène.

La queue de retenue est constituée par la petite baie de Quinson – Montmeyan. En aval la retenue prend un faciès de gorges noyées sur 7 km de long avant la grande ouverture d'Esparron qui représente l'essentiel du volume de la retenue et en rive gauche de laquelle se situe la prise mixte EDF / SCP.

La baie de Quinson – Montmeyan est le lieu d'une forte implantation de *Potamogeton pectinatus* qui progresse par ailleurs dans les Basses Gorges alors que l'élargissement terminal est occupé essentiellement par les Characées. Le faible marnage, environ 1 mètre en moyenne annuelle, pourrait être à l'origine de cette répartition végétale.

Des phénomènes d'eutrophisation ont été identifiées par le passé à hauteur du village d'Esparron.

Impacts liés au barrage de Gréoux

Le barrage de Gréoux est l'unique barrage poids sur le Verdon. Il est infranchissable pour la faune aquatique. Bien que le plus en aval sur le linéaire du Verdon, il n'est pas le plus en aval des obstacles infranchissables aux anguilles qui s'arrêtent au pied du Barrage de Cadarache, placé sur la Durance en aval immédiat de la confluence avec le Verdon).

Il n'a jamais été vidangé

Impacts résultants du fonctionnement hydroélectrique

Comme à Chaudanne, le Verdon retrouve son lit au débouché du Barrage de Gréoux, cependant l'aménagement de Gréoux diffère par son tronçon court-circuité de plus de 10 kilomètres. Contrairement aux autres ouvrages du Verdon, l'usine associée à la retenue n'est pas à proximité du Barrage, elle se situe à Vinon en aval du répartiteur du canal mixte.

Il y a deux grands secteurs entre le Barrage de Gréoux et la confluence avec la Durance.

- Le tronçon court-circuité
- Le tronçon soumis aux éclusées de l'usine de Vinon

⇒ **Le tronçon court-circuité de Gréoux**

Le Verdon à hauteur du barrage de Gréoux			
Qmna5	8,9m ³ .s ⁻¹ (Sogreah)	Débit réservé	0,862 à 1 m ³ .s ⁻¹
Module	36 m ³ .s ⁻¹	ou 39 m ³ .s ⁻¹ (Sogreah)	

L'aménagement de Gréoux restituait à l'origine un débit réservé modulé entre 0,2 et 1 m³.s⁻¹ en été afin de garantir les droits d'eau. Avec le rehaussement des débits réservés au 1/40^{ème} du module ce débit a été porté à 0,862 m³.s⁻¹ et a conservé sa modulation estivale de 1 m³.s⁻¹. Ce débit est du par le gestionnaire au niveau du seuil de Gréoux, même si dans les faits un débit de 1 m³.s⁻¹ est délivré en permanence à partir du barrage de Gréoux.

Les écoulements du seul Verdon en débit réservé sont très stables sur le tronçon court-circuité. En dehors du débit réservé les variations observées sont :

- Les essais de vannes semestriels mais dont la durée (quelques minutes) et les débits d'essai (une dizaine de m³.s⁻¹) semblent sans conséquence pour la rivière.
- Les déversés en temps de crues. A cet égard l'année 2001 est tout à fait exceptionnelle avec une pointe de crue de 370 m³.s⁻¹ au niveau des évacuateurs de crues de Gréoux le 23 novembre 2000, et un volume total déversé en 2000 (235 millions de m³) supérieur au volume de 1994 mais plus étalé sur l'année.

En dehors des particularités des années 1994 et 2000, les variations d'écoulement du tronçon court-circuité sont donc dues essentiellement au bassin versant en aval du barrage de Gréoux et notamment au Colostre, affluent rive droite du Verdon qui conflue 1 km en aval du Barrage.

Les écoulements sont donc faibles sur la totalité du tronçon court-circuité notamment en période d'étiage estival. Des signes d'eutrophisation sont évidents sur la totalité du linéaire en raison de conditions favorables au développement végétal créées par :

- un réchauffement important du cours d'eau en période d'étiage estivale ;
- un qualité médiocre des eaux du Colostre mais en amélioration depuis quelques années ;
- un quasi absence d'un effet dilution ;
- différents rejets riches en sels nutritifs (Rejet des Thermes, station d'épuration de Gréoux) ;
- une agriculture intensive active sur le bassin versant ;
- trois seuils répartis sur le linéaire formant de petites retenues qui peuvent modifier la qualité de l'eau (réchauffement, baisse des teneurs en oxygène) ;
- un colmatage parfois important.

Si le débit réservé de Gréoux ne peut être tenu pour responsable de l'importance des rejets sur le secteur, il amplifie les phénomènes d'eutrophisation et d'enrichissement trophique des eaux du Verdon. Cependant la situation n'est pas catastrophique et les peuplements benthique et piscicoles présentent des densités plus fortes que pour le Haut et le Moyen Verdon notamment en raison de la présence d'affluents qui participe à la dynamique des populations.

⇒ **Le Verdon en aval de la restitution de Vinon**

Les restitutions de l'usine de Vinon peuvent s'étaler entre $10 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (minimum technique) et $48 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Pour des contraintes de sécurité les démarrages se font par paliers demi-horaire (0 – 15 – 25 – 25 – 48) et du 15 juin au 15 septembre il n'y pas de démarrage de 8 heures à 20 heures.

L'arrêt des restitutions se fait aussi par palier demi-horaire (48 – 25 – 15 – 0) dans un souci de protection des peuplements piscicoles, sans que cette procédure soit officialisée.

Sur un cycle annuel ou journalier, il est très difficile de définir une rythmicité des turbinés. On notera simplement un déstockage automnal au terme de la saison touristique et en prévision des précipitations de l'automne et de l'hiver.

Les restitutions de Vinon entraîne un rafraîchissement des eaux du Verdon qui coule en débit réservé depuis le Barrage de Gréoux. Ce rafraîchissement s'observe par la présence d'espèces sténothermes d'eau froide.

3.3 Activité hydroélectrique du Verdon, droits et usages associés

A. Les droits d'eau

Deux types de droits d'eau sont associés aux aménagements hydroélectriques.

- Les droits antérieurs dont l'exercice doit être garanti. Ils sont définis à l'article 12 du décret de concession.
- Les nouveaux besoins : l'Etat peut délivrer des autorisations d'intérêt général dans une limite prédéfinie à l'article 50 du décret de concession. Les prélèvements au titre de l'article 50 seraient dépassés sur le Verdon.

B. Les usages associés

En dehors des aspects sécuritaires et des droits d'eau, aucun usage n'interfère directement sur l'activité hydroélectrique. En revanche certains usages sont aujourd'hui soit dépendants, soit favorisés soit pénalisés par les aménagements du Verdon.

La pêche

Selon les types de pratique, la pêche est à la fois favorisée et pénalisée par les aménagements du Verdon. La pêche en plan d'eau est apparue sur le Verdon avec la création des retenues et la relative maîtrise des crues faibles à moyennes facilite l'accès au cours d'eau. En revanche les impacts subis par le peuplement piscicole pénalisent certains types ou secteurs de pêche.

Les sports d'eau vive

Hydrospeed, canoë kayak, rafting, les loisirs aquatiques se sont fortement développés ces dernières années sur le Verdon. En dehors du canotage sur les plans d'eau, il existe deux grands secteurs de pratique des sports d'eau au regard des aménagements hydroélectriques.

- Le Verdon de Castellane au Point Sublime
- Le Verdon en aval de Vinon

⇒ **Le Verdon de Castellane au Point Sublime**

En mettant à profit des conditions de pratique assez familiales ainsi que des paysages sans équivalent, une activité économique grand public s'est développée à partir des sports d'eau vive. Dans ce contexte et d'abord pour des soucis sécuritaires de la part d'EDF, des relations bilatérales se sont mises en place entre EDF et les professionnels des sports d'eau vive.

Des conventions sont signées entre les deux parties et des plages de débit sont aménagées en période estivale pour la pratique des sports d'eau vive. Du 1^{er} juillet au 31 août, le mardi et le vendredi un débit de $13 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ est assuré en journée ($10 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ si pas assez d'entrants dans Castillon).

Une partie de cette activité professionnelle est dépendante de l'aménagement de Castillon – Chaudanne. C'est le cas du rafting qui peut bénéficier d'un débit de $13 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ dans les gorges en été alors que le QMNA 5 à Chaudanne est légèrement supérieur à $2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

En dehors de ces plages de débit, les professionnels du sport d'eau vive développent d'autres activités adaptées aux plus faibles écoulements, comme la randonnée aquatique.

⇒ **Le Verdon en aval de Vinon**

En aval de Vinon la pratique des sports d'eau vive est de nature associative et sportive. Une base de Canoë Kayak existe en aval de la restitution et des conventions entre EDF et la Mairie de Vinon permettent d'inscrire certaines compétitions au calendrier national et de garantir un certain débit aux compétiteurs. Cette activité sportive est aujourd'hui dépendante de l'aménagement de Gréoux.

3.4 Conclusion

Le Verdon et ses écosystèmes aquatiques ont été et sont encore très fortement conditionnés par les aménagements hydroélectriques. En dehors des retenues, deux grandes zones subissent fortement les impacts de l'activité hydroélectrique :

- Le Verdon en aval du barrage de Chaudanne à la retenue de Sainte-Croix
- Le Verdon en aval du Barrage de Gréoux jusqu'à la confluence avec la Durance

L'essentiel de ces impacts est le résultat d'un fonctionnement basé sur un débit réservé équivalent au 1/40^{ème} du module et des éclusées aléatoires mais récurrentes alors que l'effacement des crues faibles et la rupture du transport solide tendrait à homogénéiser les habitats.

Les impacts recensés s'expriment sans doute plus ou moins selon les saisons.

- Les impacts sur la reproduction et la croissance des alevins sont maximaux en hiver et en début de printemps à l'aval de Chaudanne
- Les phénomènes d'eutrophisations sont maximaux l'été et en début d'automne dans le tronçon court-circuité de Gréoux.

Enfin il faut noter que l'aménagement du Verdon est un aménagement jeune d'un point de vue écologique. Si les impacts de l'activité hydroélectrique ont eu le temps de pleinement s'exprimer sur le cours vif du cours d'eau, les retenues et notamment la retenue de Sainte-Croix sont appelées à évoluer.



Maison Régionale de l'Eau