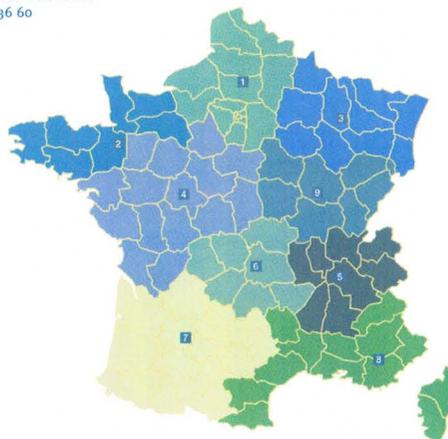


**Direction générale**

16 avenue Louison Bobet • 94132 Fontenay-sous-Bois cedex  
Téléphone : 01 45 14 36 00 • Fax : 01 45 14 36 60  
mél : dg@csp.ecologie.gouv.fr

**Centre de formation du Paraclet**

B.P. 30005 - Fouencamps  
80332 Boves cedex  
Tél : 03 22 35 34 70  
Fax : 03 22 35 34 99  
mél : df.paraclet@csp.ecologie.gouv.fr



**Délégations régionales**

**1- Nord, Picardie, Ile-de-France, Haute Normandie**  
3, rue Sainte-Marie  
60200 Compiègne  
Tél : 03 44 38 52 52  
Fax : 03 44 38 52 53  
dr1@csp.ecologie.gouv.fr

**4- Centre, Pays de Loire, Poitou-Charentes**  
112, fbg. de la Cueilie  
86000 Poitiers  
Tél : 05 49 41 29 88  
Fax : 05 49 55 17 18  
dr4@csp.ecologie.gouv.fr

**7- Aquitaine, Midi-Pyrénées**  
Quai de l'étoile  
7, bd de la Gare  
31000 Toulouse  
Tél : 05 62 73 76 80  
Fax : 05 62 73 76 89  
dr7@csp.ecologie.gouv.fr

**2- Bretagne, Basse Normandie**  
84, rue de Rennes  
35510 Cesson-Sévigné  
Tél : 02 23 45 06 06  
Fax : 02 99 83 45 80  
dr2@csp.ecologie.gouv.fr

**5- Rhône-Alpes**  
Parc de Parilly  
Chemin des Chasseurs  
69500 Bron  
Tél : 04 72 78 89 40  
Fax : 04 78 01 15 08  
dr5@csp.ecologie.gouv.fr

**8- Languedoc-Roussillon, Provence, Alpes, Côte d'Azur, Corse**  
Route du Mas de Matour  
34790 Grabels  
Tél : 04 67 10 76 76  
Fax : 04 67 03 14 12  
dr8@csp.ecologie.gouv.fr

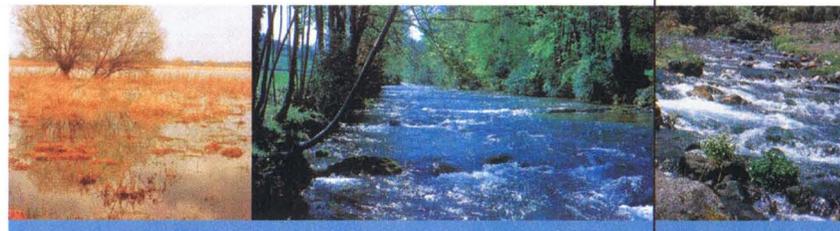
**3- Champagne-Ardennes, Lorraine, Alsace**  
23, rue des Garences  
57155 Marly  
Tél : 03 87 62 38 78  
Fax : 03 87 65 64 80  
dr3@csp.ecologie.gouv.fr

**6- Auvergne, Limousin**  
RN 89, Marmilhat  
63370 Lempdes  
Tél : 04 73 90 26 26  
Fax : 04 73 90 96 14  
dr6@csp.ecologie.gouv.fr

**9- Franche-Comté, Bourgogne**  
22, bd du Docteur Jean Veillet  
21000 Dijon  
Tél : 03 80 60 98 20  
Fax : 03 80 60 98 21  
dr9@csp.ecologie.gouv.fr

Toutes les coordonnées des brigades départementales (BD) et des brigades mobiles d'intervention (BMI) sont sur le site du CSP : [www.csp.ecologie.gouv.fr](http://www.csp.ecologie.gouv.fr)

# Le débit, élément-clé de la vie des cours d'eau



*Bilan des altérations  
et des possibilités de restauration.*

ient a été rédigé par Philippe Baran, ingénieur au CSP et Francine Leroyer-Gravet,  
i mission juridique du CSP.

Yves Souchon président du conseil scientifique

© CSP - Édition avril 2007





© Bruno Leroux

page 2	<b>Édito</b>
3	<b>Le débit : clé de voûte du fonctionnement des hydrosystèmes</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Des précipitations à l'eau qui s'écoule dans les rivières</li><li>• Le régime hydrologique : constructeur des cours d'eau</li><li>• La diversité des communautés biologiques sous l'emprise directe du régime de débit</li></ul>
11	<b>Quand les écosystèmes répondent fortement aux altérations des régimes hydrologiques</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Les altérations des régimes hydrologiques</li><li>• Les réponses écologiques</li><li>• L'imperméabilisation des sols dans les bassins versants, facteur d'aggravation des crues</li></ul>
17	<b>La voie de la restauration : donner la priorité aux variations</b>
19	<b>Le cadre juridique</b>



Depuis plusieurs années, la succession d'évènements climatiques particuliers (sécheresse, canicule, orages) a montré l'importance et surtout la fragilité de la ressource en eau. L'augmentation croissante des besoins humains liés à des usages de plus en plus intensifs (eau potable, irrigation, hydroélectricité, loisir) pose un problème majeur pour la préservation et la restauration des cours d'eau. Elle s'accompagne de fortes perturbations des cycles de l'eau à l'échelle mondiale. Si depuis plus de 30 ans, la gestion qualitative de la ressource est au centre des préoccupations, les aspects quantitatifs ont été relativement oubliés, notamment dans la relation entre les flux et le fonctionnement des milieux aquatiques. Pourtant, la communauté scientifique insiste depuis plusieurs années sur le principe de réserver une part de l'eau au fonctionnement écologique des systèmes aquatiques, ceci afin de préserver leur biodiversité et surtout leur résilience, élément essentiel au maintien des "services" rendus par les cours d'eau. Il est donc essentiel de mieux appréhender les besoins en débit des écosystèmes d'eau courante. Pour cela, des connaissances générales du fonctionnement des cours d'eau, l'étude des impacts des modifications des débits sur les communautés aquatiques, la mise au point de méthodes et d'outils d'aide à la fixation de valeurs de débit minimum et le suivi des réponses d'écosystèmes à des opérations de restauration des régimes hydrologiques sont des éléments essentiels dans la réflexion.

## Le débit: clé de voûte du fonctionnement des hydrosystèmes

### Des précipitations à l'eau qui s'écoule dans les rivières

Les fluctuations journalières, saisonnières et annuelles des débits sont directement responsables des variations temporelles des caractéristiques physiques et écologiques des hydrosystèmes. Il organise la "respiration" de ces écosystèmes.

Pendant très longtemps, nous avons eu une vision très statique du rôle des débits. Notre gestion s'est focalisée sur des valeurs clés (étiages et parfois crues). Hynes (1970) a été l'un des premiers à considérer que le fonctionnement des écosystèmes d'eau courante ne dépendait pas uniquement des valeurs de débit mais aussi de leurs cycles de variation. Depuis une quinzaine d'années, les débits ne sont plus seulement abordés comme une simple grandeur fixe mais comme un paramètre dynamique conditionnant les communautés vivantes.

Les débits trouvent leurs origines dans les précipitations. Entre celles-ci et les écoulements dans les rivières, un ensemble de processus hydrologiques va modifier la relation pluie/débit. La réponse hydrologique d'une rivière à un événement climatique diffère selon que la restitution au cours d'eau se fait par des écoulements de surface, par les sols ou par des écoulements

#### LES CLÉS FONCTIONNELLES DE L'HYDROLOGIE

- les valeurs de débit à un instant donné (volume d'eau écoulée par unité de temps avec une attention particulière pour les valeurs minimales et maximales),
- les fréquences auxquelles certaines valeurs de débits particulières sont observées. On parle souvent de période de retour pour une valeur donnée (annuelle, quinquennale, décennale, centennale),
- les durées de certaines valeurs de débits (périodes durant lesquelles le débit dépasse ou est inférieur à une valeur seuil donnée),
- la prévisibilité des évènements (régularité avec laquelle certains épisodes hydrologiques reviennent. Par exemple, pour certains régimes de débit, la crue annuelle sera observée pratiquement toujours à la même période alors que pour d'autres, cette crue pourra se dérouler tout autant au printemps qu'à l'automne),
- la stabilité (vitesses de changement de débits sur une courte période).



©Jean-Louis Clert - fdaapppma 89

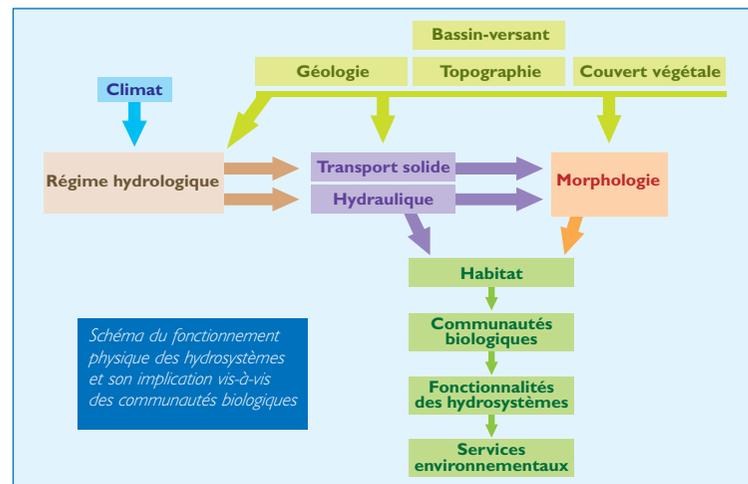
Les phénomènes d'érosion de berges, d'atterrissement et de formation d'embâcles sont des réponses naturelles aux événements hydrologiques. Ils assurent l'équilibre morphodynamique de la rivière ainsi que la diversité des habitats aquatiques.

souterrains, ou le plus souvent par une combinaison des trois. De la même façon, une crue peut trouver son origine dans des épisodes climatiques très variés (fonte de neige, orage, précipitations soutenues). Globalement, plus la taille d'un cours d'eau augmente et plus les processus hydrologiques qui conduisent aux débits et surtout à ses variations sont complexes. Cette complexité limite les prévisions hydrologiques notamment pour des événements très ponctuels comme les crues.

Classiquement, on définit des régimes hydrologiques de type pluvial, nival ou glaciaire. Mais cette classification, même avec tous les types intermédiaires possibles, ne rend pas forcément bien compte de l'ensemble de la variabilité de l'hydrologie. Elle ne permet pas d'identifier les composantes clés agissant sur les communautés biologiques. Cinq d'entre elles interviennent de manière prépondérante dans la régulation des processus physiques et écologiques (voir encadré « les clés fonctionnelles de l'hydrologie »). Avec la géologie et la topographie des vallées, elles définiront les structures physiques et surtout le fonctionnement morphologique des cours d'eau et par voie de conséquence les communautés biologiques des eaux courantes (voir schéma de fonctionnement physique des cours d'eau).

### Le régime hydrologique : constructeur des cours d'eau

Les régimes hydrologiques vont agir sur les habitats aquatiques au travers de deux composantes essentielles: la morphologie et l'hydraulique. La morphologie, définie par la forme du fond, des berges et de la plaine alluviale, constitue le support des habitats de la faune. Les conditions hydrauliques (vitesses de courant, types d'écoulement et profondeur de l'eau) agissent directement sur les



organismes aquatiques en fonction de leur capacité de nage. Ce sont les alternances des hautes et basses eaux qui construisent et remanient les fonds et les berges. Les processus d'érosion, d'incision et de dépôts de matériaux sont des réponses physiques naturelles en lien avec les forces hydrauliques des écoulements. Seule l'intensité de ces processus peut constituer le révélateur d'un dysfonctionnement de l'hydromorphologie dont l'origine est souvent liée à un déséquilibre entre les caractéristiques des débits, les

quantités de matériaux à transporter, la morphologie du cours d'eau, la cohésion du substrat et la ripisylve.

On dit souvent que ce sont les crues de retour 2 ou 3 ans qui façonnent la forme des berges. Les connaissances récentes en matière de fonctionnement hydrodynamique incitent à beaucoup plus raisonner en terme de régime de débit. Toutes les composantes du régime (valeur du débit, fréquence, durée, prévisibilité et stabilité) influencent la morphologie et donc la distribution des habitats.



© PH Baran CSP

Les régimes hydrologiques naturels conditionnent l'ensemble du fonctionnement physique et biologique des cours d'eau



© Francis Chancerel

Les crues jouent un rôle majeur dans le fonctionnement écologique des cours d'eau notamment vis-à-vis de la reproduction des poissons.

## La diversité des communautés biologiques sous l'emprise directe du régime de débit

En modifiant les habitats, toutes les composantes des régimes hydrologiques auront des incidences positives ou négatives sur les animaux et les végétaux.

Au travers de l'hydraulique (surtout des vitesses d'écoulement), le débit agit directement sur les organismes aquatiques. De nombreux travaux récents ont démontré que les variations elles-mêmes du débit pouvaient conditionner les communautés biologiques. Dans une étude sur 34 sites du Minnesota et du Wisconsin, Poff et Allan (1995) ont démontré que l'organisation fonctionnelle des peuplements piscicoles représentée par les traits biologiques des espèces (régime alimentaire, rhéophilie, forme du corps) était significativement reliée à la variabilité hydrologique des sites. Les espèces généralistes occupaient surtout les tronçons à hydrologie très variable tandis que les espèces spécialisées étaient plus fréquentes dans les sites à hydrologie stable. Pyron et Lauer (2004) sur une rivière de l'Indiana et Zorn *et al.*, (2002) sur des cours d'eau du Michigan ont montré que la structure longitudinale des peuplements pouvait en grande partie s'expliquer par les différences de régimes hydrologiques entre l'amont et l'aval des cours d'eau.

## Les variations de débit structurent-elles les peuplements de poissons en France ?

En France, à l'échelle des peuplements et de leur organisation fonctionnelle, aucune relation n'a été mise en évidence. Seule l'influence des caractéristiques hydrauliques a été démontrée. Selon les conditions hydrauliques des tronçons de cours d'eau, les espèces

"Ce qui compte, c'est le mode de propagation de l'eau", souligne Marie-Françoise Bazerque, chef du bureau de l'écologie des milieux aquatiques au MEDD

### E.L. L'imperméabilisation des sols gagne du terrain chaque jour. Quel en est l'effet sur les débits ?

M-F.B. L'imperméabilisation des sols a forcément un impact sur les débits, mais, au niveau d'un bassin-versant, l'influence ne joue que sur quelques pour cent. L'eau qui ruisselle sur un toit, une route ou un parking rejoint toujours un cours d'eau, de même que l'eau qui ruisselle sur une terre nue. Un bassin de décantation d'autoroute, par exemple, a une capacité calée sur une pluie décennale. Il se remplit donc très vite et déborde lorsqu'il pleut beaucoup. Le volume d'eau, à l'échelle d'un bassin, reste le même.

La surface des terres non imperméabilisées est telle que ce qui compte, c'est le mode de propagation de l'eau sur ces sols, c'est sa répartition entre le cours d'eau et la nappe. On peut considérer que le cours d'eau, c'est le débordement de la nappe.

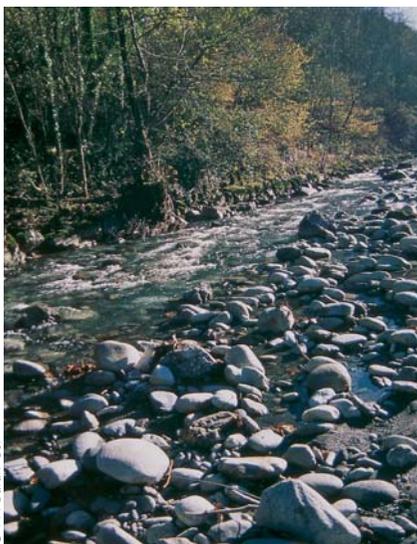
Les pratiques agricoles ont donc beaucoup plus d'incidences sur le débit que l'urbanisation. Car un sol compact, pauvre en matières organiques, que l'on ne nourrit plus que d'engrais minéraux, devient à sa manière imperméable. Non seulement il empêche l'eau de percoler dans la nappe, mais il entraîne une forte érosion des sols et donc un colmatage des lits mineurs.

### EL. Que faire pour favoriser l'alimentation des nappes ?

Il n'est pas question de tout remettre en prairies ou en forêts, d'autant que la végétation n'a pas le même rôle partout. Par exemple, une prairie de fond de vallée favorise l'évaporation de l'eau après des crues printanières, comme on le voit dans les vallées de la Saône ou de l'Oise. De même, une forêt alluviale ou une peupleraie favorise l'évaporation de l'eau en été. Les prairies, en général, jouent le rôle d'éponge mais, lorsqu'elles poussent sur un sol argileux étanche, elles ne contribuent pas à recharger la nappe.

présentent des associations particulières en fonction de leurs traits biologiques (fécondité, taille à l'âge adulte, longévité, capacité de nage,

position dans la colonne d'eau). Chaque grand type d'habitat (radier, chenal lotique, chenal lentique) discrimine des groupes fonctionnels de poissons. Si l'on s'intéresse directement à la composition et à la structure des peuplements, les seules conditions hydrauliques ne suffisent pas à les décrire. Les facteurs biogéographiques (histoire des peuplements) et surtout le métabolisme thermique interviennent de manière également prépondérante.



© PH Baran CSF

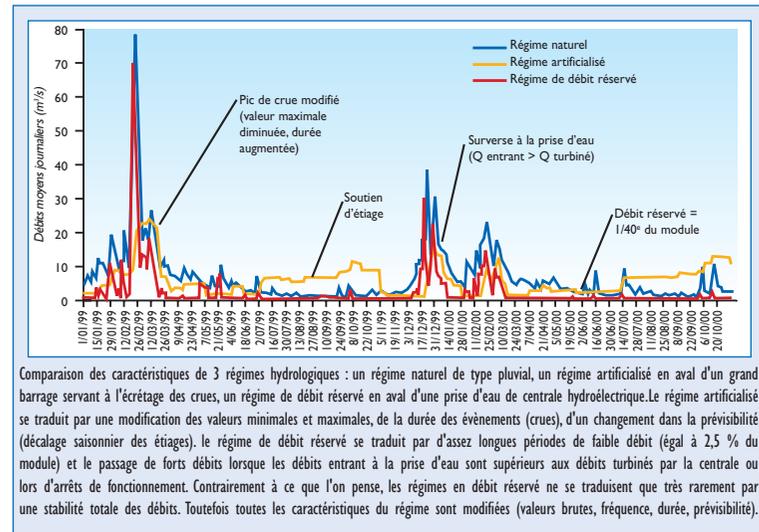
Les conditions hydrauliques et notamment les vitesses de courant influencent fortement la distribution des poissons

## Le débit facteur essentiel de la dynamique de certaines populations de poissons

En revanche, les débits et leurs variations saisonnières et annuelles influencent les évolutions inter-annuelles de nombreuses espèces de poissons. Chez les salmonidés, l'hydrologie lors de la reproduction ou de l'émergence des alevins conditionne une grande partie de la dynamique des populations, des alevins aux adultes. Ces observations ont amené de nombreux auteurs à conclure à un rôle prépondérant des crues dans le fonctionnement et la régulation des populations de salmonidés. Si le constat paraît indéniable pour les jeunes stades, il peut être largement discuté pour les adultes. Les fortes fluctuations de ces classes d'âge induites par l'impact des crues sur le recrutement sont-elles le reflet d'un fonctionnement naturel où l'image de cours d'eau à faible résilience, incapables de compenser les effets des aléas climatiques? Parmi les 30 tronçons analysés dans nos cours d'eau (Cattanéo *et al.*, 2002), quels sont ceux dont les fonctionnalités sont totalement indemnes de perturbations notamment dans la capacité de leurs tributaires à produire des juvéniles susceptibles de compenser les déficits du cours principal? L'étude complète du réseau hydrographique de plusieurs contextes salmonicoles du Morvan dans lesquels les débits hivernaux conditionnent l'ensemble de la dynamique des populations de truites a montré qu'en fait, les perturbations physiques sur les affluents (seu-

### Des éclusées pour détruire des truites arc-en-ciel au profit des espèces autochtones.

Les Américains viennent de nous apporter la preuve de l'impact des éclusées sur la faune aquatique. Très en pointe sur la sauvegarde de certaines de leurs espèces autochtones, ils n'hésitent pas à employer de grands moyens pour éradiquer les "gêneurs". En l'occurrence dans le cas qui nous intéresse, il s'agit de réguler les effectifs de truites arc-en-ciel responsables dans une rivière d'Arizona de la disparition des espèces de poissons autochtones. Pour cela, des éclusées ont été réalisées sur un tronçon en aval d'un barrage. Les chercheurs ont alors analysé les impacts sur les frayères, la survie des œufs et celles de larves



Comparaison des caractéristiques de 3 régimes hydrologiques : un régime naturel de type pluvial, un régime artificielisé en aval d'un grand barrage servant à l'écrêtement des crues, un régime de débit réservé en aval d'une prise d'eau de centrale hydroélectrique. Le régime artificielisé se traduit par une modification des valeurs minimales et maximales, de la durée des événements (crues), d'un changement dans la prévisibilité (décalage saisonnier des étiages). Le régime de débit réservé se traduit par d'assez longues périodes de faible débit (égal à 2,5 % du module) et le passage de forts débits lorsque les débits entrant à la prise d'eau sont supérieurs aux débits turbinés par la centrale ou lors d'arrêts de fonctionnement. Contrairement à ce que l'on pense, les régimes en débit réservé ne se traduisent que très rarement par une stabilité totale des débits. Toutefois toutes les caractéristiques du régime sont modifiées (valeurs brutes, fréquence, durée, prévisibilité).

lement 17 % à 35 % du linéaire encore fonctionnel pour la reproduction de la truite commune) limitaient très fortement les capacités de ces systèmes à produire des juvéniles de truites dévalant vers les cours principaux. Ces perturbations ne permettaient pas aux affluents de compenser les déficits du cours principal lors de certains événements hydrologiques. Ainsi, les déficits en adultes traduisaient plus les dysfonctionnements du réseau hydrographique qu'un réel contrôle de l'hydrologie sur la dynamique de la population. Lors d'un suivi de quatre années dans une rivière des Pyrénées indemne de tout usage de l'eau, Gouraud (1999) a montré que les effets des crues sur le recrutement en alevins étaient compensés par les dévalaisons de poissons à partir des affluents.

Si certaines crues ont un effet négatif sur le recrutement en truites, la relation est totalement opposée avec le brochet. Les régimes hydrologiques qui lui sont favorables doivent combiner à la fois de forts débits de crue à partir du mois de février avec une durée minimale de valeurs planchers souvent comprises entre 1 à 2 fois le module jusqu'au mois d'avril. Sept années de suivi sur la Saône ont confirmé que seules les fortes hydrologies des hivers 1999 et 2001 avaient permis d'assurer un recrutement en brochets dans cette rivière (Compagnat et Baran 2005). Ces observations ne sont pas isolées et reflètent le fonctionnement général des populations de cette espèce en France. Pour autant, comme pour la truite commune, cette relation n'est-elle pas l'image d'une faible résilience des habitats vis-à-vis de ce carnassier? L'analyse de l'évolution historique de la morphologie d'un cours d'eau comme la Saône montre que la chenalisation et l'endiguement de la rivière ont fortement diminué la diversité latérale des habitats. Les bordures d'hélophytes et les plages herbacées qui assuraient une diversité susceptible d'offrir des conditions de reproduction favorables au brochet



C'est l'alternance des hautes et basses eaux qui garantit la qualité des milieux aquatiques

pour différentes valeurs de débits ont pratiquement disparu. Aujourd'hui, dans la plupart des grands cours d'eau, la diversité morphologique du lit mineur est extrêmement faible. L'espèce ne peut compter que sur une partie résiduelle de sa niche initiale, les habitats de la plaine inondable, qui n'ont toujours représenté qu'une fraction de ses lieux de ponte en relation avec des forts débits.

Le recrutement en cyprinidés peut être, lui aussi, dépendant de la variabilité hydrologique. Seize années de suivi sur le Rhône (Cattaneo *et al.*, 2001), ont démontré que les hydrologies soutenues en période printanière étaient favorables à la reproduction du barbeau et de la brème bordelière tandis que les années de faible débit avantageaient le gardon, le rotengle et le hotu. Ces auteurs ont également noté qu'une crue automnale de retour 110 ans avait fortement participé à augmenter le succès de la reproduction de nombreuses espèces les années suivantes. Les crues majeures sont souvent considérées comme des aléas favorables à la productivité piscicole des écosystèmes, qu'ils soient tempérés ou tropicaux. Cet effet positif est lié à l'importance de l'inondation des plaines alluviales favorable à la reproduction et aux développements des jeunes stades. Dans le cas du Rhône, les crues ayant eu lieu en automne, l'incidence positive de ces forts débits est plus à rechercher dans le remaniement des substrats du fond, en particulier dans les tronçons court-circuités et leur influence sur le succès futur de la reproduction. Les valeurs extrêmes des débits, malgré leurs effets parfois dévastateurs à court terme, constituent le plus souvent un formidable facteur dynamisant le fonctionnement des communautés biologiques. Le dégagement des interstices dans le substrat et l'exportation de matières organiques favorisent la productivité de la faune d'invertébrés; le transport important de bois mort permet la création d'habitats de qualité, notamment pour les poissons; et le remaniement des fonds et des berges permet le contrôle des espèces végétales invasives au profit des espèces autochtones.

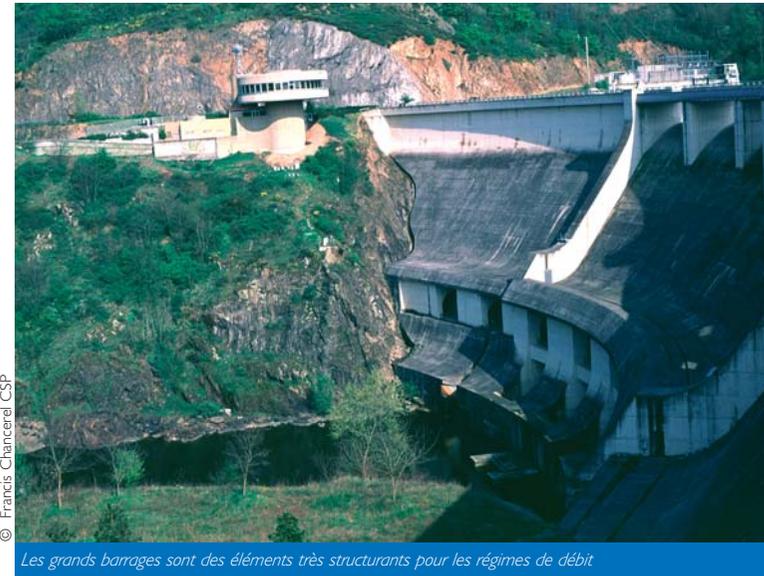
À l'autre extrémité des régimes hydrologiques, les étiages sont également des périodes clés pour les communautés biologiques. La réduction des vitesses d'écoulement couplée à celle des volumes et des surfaces en eau induisent des conditions d'habitat qui peuvent être limitantes pour les populations piscicoles notamment. La succession des sécheresses peut constituer le principal facteur de régulation des densités de poissons. Bien souvent, ce sont les conditions de température qui deviennent problématiques avant même les débits. Comme pour les grandes crues, ces périodes peuvent également se révéler des événements favorables à la productivité des écosystèmes et au maintien de la diversité biologique notamment au niveau des plantes. Globalement, à l'échelle d'un bassin hydrographique, la variabilité hydrologique constitue le support essentiel de la biodiversité. La réponse des hydrosystèmes aux aléas climatiques et donc hydrologiques est souvent une image du degré de perturbation des systèmes tant au niveau de leur morphologie que de leur connectivité.

## Quand les écosystèmes répondent fortement aux altérations des régimes hydrologiques

### Les altérations des régimes hydrologiques

L'altération des débits va générer d'importantes modifications au niveau des habitats, de leur dynamique et donc des communautés biologiques. Deux grandes catégories de perturbations vont modifier les régimes de débits: les altérations directes par prélèvement, transfert ou restitution; les altérations indirectes liées aux modifications du bassin-versant.

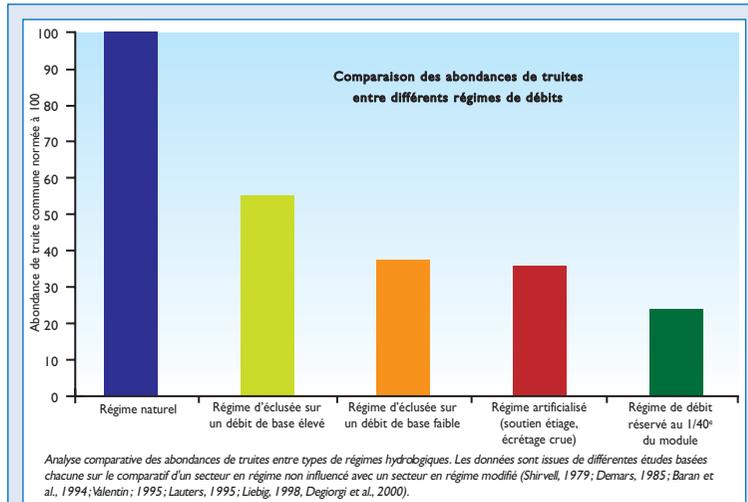
Peu d'hydrosystèmes présentent encore des régimes hydrologiques naturels. Dans un bilan effectué dans 48 états des USA, Benke (1990) considère qu'il ne reste que 100 km de cours d'eau à régime hydrologique non perturbé pour plus de 5 millions de km de réseau hydrographique. La densité de barrages est également un très bon indicateur du degré d'artificialisation des habitats et des débits. Dans le monde, on compte actuellement environ 45 000 grands barrages (supérieurs à 5 m de haut) stockant 3 milliards de m<sup>3</sup> d'eau et 800 000 petits ouvrages pour 5 000 km<sup>3</sup> d'eau stockée. Ces ouvrages ont profondément modifié les régimes hydrologiques entraînant la



© Francis Chancelier CSP

Les grands barrages sont des éléments très structurants pour les régimes de débit

disparition ou une réduction importante de certains habitats et de certaines espèces. Sur le Colorado, par exemple, la régulation des débits a conduit à la disparition d'environ 200 000 ha de zones humides dans le golfe de Californie.

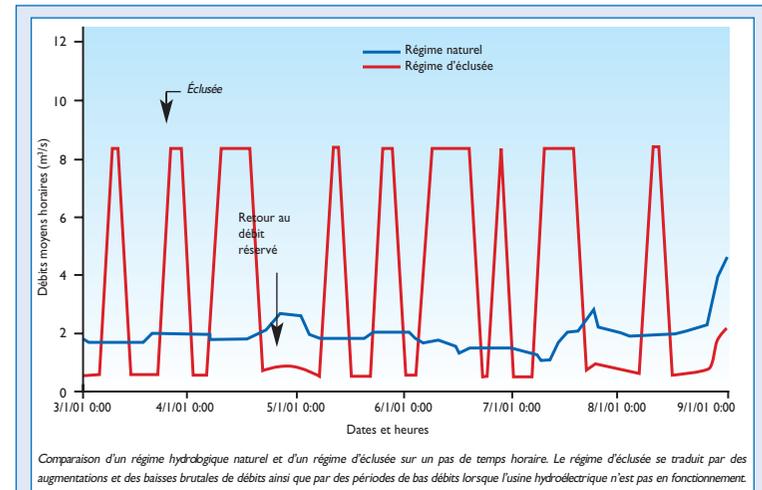


### Des réductions de débit préjudiciables aux peuplements piscicoles.

Sur 19 sites des Pyrénées (Baran et al., 1994) et 10 sites du Massif-Central (Demars, 1985) une comparaison entre tronçons à hydrologie naturelle et tronçons soumis à de fortes réductions de débits induites par des installations hydroélectriques a conclu à une diminution des abondances de truites dans 62 % des cas. Les déficits sont d'autant plus importants que les valeurs de débit réservé sont faibles (75 à 85 % pour le 1/40<sup>e</sup> du module) et que la taille des truites augmente. Dans une zone moins apicale sur la Garonne, Reijol (2002) a également montré que les secteurs à faible débit présentaient des déficits de truites et des modifications de structures de peuplements. En Nouvelle-Zélande, dans une étude sur de nombreux sites, Shirvell (1979) a identifié d'importants déficits liés aux faibles valeurs de débits en aval des ouvrages hydroélectriques (augmentation d'un facteur 2 de la mortalité des juvéniles de truites et perte de 63 % de la production) lorsque l'on retire 70 % des débits d'étiage. Ces impacts sont directement liés à la réduction des habitats disponibles à la fois en quantité (réduction de surface mouillée) et en qualité (modification des caractéristiques hydrauliques [Baran et al., ibidem]).

## Les réponses écologiques

Les prélèvements, les stockages et les restitutions de débits modifient toutes les composantes du régime (valeur de débit, durée et fréquence des événements, prévisibilité). Ce sont surtout la réduction des valeurs de bas débit et l'artificialisation des variations journalières (éclusées) qui ont été étudiées. Ces modifications de régime hydrologique ont des impacts quantitatifs et qualitatifs importants sur les communautés biologiques et notamment les poissons (voir les encarts consacrés). Une synthèse des différentes études conduites à la fois sur l'impact des bas débits et des éclusees sur les populations de truites montre clairement les déficits d'abondances dans les populations soumises aux altérations (voir figure ci-dessus et page 13).



### Les éclusees: une gestion hydrologique très destructurante

Les observations réalisées sur différents sites des Pyrénées (Lauters 1995, Liebig 1998) ou du Massif Central (Valentin, 1995) montrent des réductions plus ou moins importantes des quantités de truites (de 50 à 86 %) dans les secteurs soumis aux éclusees. Une étude complète du Doubs à sa frontière Suisse (Degiorgi et al., 2000) a très bien quantifié les déficits en truites (plus de 70 %) dans les secteurs de rivières soumis à de fortes variations de débits liées aux éclusees. Les auteurs ont mis en évidence une relation entre le degré d'artificialisation des débits et les déficits en salmonidés.

Contrairement aux réductions de débit, les éclusees affectent surtout la reproduction et les jeunes stades. Elles peuvent conduire à des mises en assec des frayères comme sur la Dordogne en aval d'Argentat ou sur son affluent la Maronne (Lagarrigue et Lascaux, 2003; Lascaux et al., 2002) avec plus de 30 % de la surface mouillée exondée au moment des bas débits. Bien que les œufs de salmonidés supportent assez bien des périodes hors d'eau (1 à 5 semaines de survie pour des œufs de salmonidés dans des graviers humides [Reiser et White, 1983]), la répétition des assècs induit malgré tout une mortalité d'œufs significative.

Les fluctuations de débits augmentent le colmatage des interstices du substrat par le sable. Des tests ont révélé une mortalité des œufs de 50 à 80 % en liaison avec des quantités fortes de sable (de 15 à 45 % du poids de granulats [Liebig, 1998]). Au moment de l'émergence, les fortes vitesses de courant peuvent conduire à un entraînement forcé des larves et à des mortalités importantes.

Dépourvus de capacité de nage, les alevins sont incapables de se déplacer pour suivre les mouvements d'eau et se retrouvent piégés ou échoués dans les bordures. Ils meurent en quelques minutes (Cushman, 1985). Sur la Nidelva en Norvège, Hvidsten (1985) a comptabilisé jusqu'à 26 alevins échoués pour 100 m<sup>2</sup> de bordure assec. Sur la Dordogne et son affluent la Maronne, les mêmes observations ont été réalisées (Chanseau et Lascaux com. pers).

Les salmonidés ne sont pas les seules espèces affectées. Les chabots ou les loches présentent également de forts déficits dans des secteurs soumis aux éclusees comme cela a été démontré sur le Doubs frontière (Degiorgi et al., 2000, Richard, 2005). Les communautés piscicoles même dans les eaux chaudes peuvent également être profondément modifiées avec la disparition de certaines espèces (Bowen et al., 1998).

## L'imperméabilisation des sols dans les bassins versants, facteur d'aggravation des crues

À l'échelle du bassin-versant, les modifications de couvert ont également des impacts sur les régimes hydrologiques. Les principales études portent sur l'imperméabilisation des surfaces et leur incidence sur les crues. Une augmentation de 10 à 20 % de l'imperméabilisation du bassin-versant peut conduire à une

### Des régimes hydrologiques artificiels modifiant profondément la morphologie des cours d'eau

La réduction des crues et donc du champ d'inondation génère de profondes modifications de la morphologie des cours d'eau. La perte du tressage est très fréquente ainsi que celle des annexes fluviales (Merrit et Copper, 2000). On assiste très souvent à envahissement du lit majeur par la végétation réduisant d'autant les surfaces du lit actif (70 % de pertes en 23 ans sur le Drac en amont de Grenoble [Peiry et Vivian, 1994]. Ces emprises de la végétation arbustive ou arborée outre les modifications de l'habitat qu'elles génèrent posent un problème dans le cas du passage d'une très forte crue. Sur 50 km d'Isère en amont de Grenoble, c'est plusieurs centaines d'hectare de forêts qui ce sont installées sur d'anciens bancs de graviers et qui peuvent être totalement arrachées comme sur le Drac en 1993 (40 ha sur 9 km) après le passage d'un événement hydrologique cinquantenaire ou centenaire. Les changements de régimes en modifiant l'inondabilité des plaines agissent également sur les communautés piscicoles en réduisant les habitats de refuge et de reproduction de nombreuses espèces. Sur l'Yonne en aval de la retenue de Pannecière, l'artificialisation du régime hydrologique outre la perte de 60 % du potentiel salmonicole du cours d'eau a réduit la richesse spécifique du cours d'eau en limitant les conditions de reproduction de certains cyprinidés et des loches par un régime thermique printanier trop froid (Lascaux *et al.*, 2000).

multiplication par un facteur deux du pic de crue. Sur un petit bassin de Côte-d'Or, un suivi hydrologique a montré qu'une différence de 10 % de surface imperméabilisée entre deux bassins aboutissait à un doublement du débit spécifique lors des épisodes pluvieux.

Les changements dans le couvert forestier, la présence de plans d'eau sont également des facteurs de modifications des crues de la même façon que les drainages des terres agricoles agiront sur les "petits" événements hydrologiques (crue annuelle). Ils seront par contre sans réels effets sur les grandes crues.



© Ecogea pour Migado

Bras annexe utilisé pour la reproduction des salmonidés et exondé lors de l'arrêt des écluses

### Substituons le "régime réservé" au "débit réservé", estime Yves Souchon, directeur de recherche au Cemagref de Lyon

Depuis plus de vingt ans, le Cemagref de Lyon étudie une méthode opérationnelle pour optimiser les débits réservés à l'aval des barrages. À l'origine, les chercheurs se sont inspirés de travaux américains où la méthode consistait à coupler un modèle hydraulique (hauteur d'eau, vitesse du courant et substrat présent dans le lit) à un modèle biologique qui permettait de connaître les préférences du poisson selon ses préférences d'habitat. L'objectif du Cemagref, aujourd'hui, est de prévoir comment les communautés biologiques répondent à une modification du débit, et de fixer le curseur au bon endroit, en fonction de ces modifications. Bien entendu, comme le souligne Yves Souchon, "il faut aboutir à des modèles qui puissent être généralisés, afin que les études d'impact soient réalisables sans tout recommencer à chaque fois".

Dans les années 1985-1990, l'outil a été maîtrisé pour la truite. Puis le Cemagref s'est efforcé, à partir des nombreuses études de cas accumulées au fil des ans, de mettre au point un outil utilisable sur l'ensemble des cours d'eau.

Des modèles ont été définis pour une vingtaine de poissons, par "guildes". Par exemple, la guildes "chenal", favorisée par les augmentations de débit, où l'on trouve des poissons comme le barbeau ou la vandoise, des cyprinidés rhéophiles qui aiment un courant à vitesse soutenue. Ou encore la guildes "mouilles", où l'on trouve le gardon et la perche. Ces dernières années, en collaboration avec le Cnrs et l'Université de Lyon, le Cemagref s'est efforcé de mobiliser différents types de couplages à la fois mécanistes et statistiques. On dispose désormais de toute une gamme de modèles "micro-habitats", allant jusqu'à une méthode simplifiée dans la prise de mesures, appelée ESTIMHAB. Et pour éviter le reproche courant selon lequel les sorties de modèles ne correspondent pas à la réalité, les chercheurs ont procédé à des validations in situ, avant et après augmentation des débits réservés, ce qui a pris huit ans de travail.

Pour Yves Souchon, il faut passer de l'hydraulique, qui ne compte qu'en litres, à "l'échhydraulique", qui observe la dynamique du milieu global. À la notion de "débit réservé", purement hydraulique, il préfère donc le "régime réservé", qui inclut la biologie et la dynamique du milieu.



© PH Baran CSP

La réduction des débits induit de fortes modifications des habitats aquatiques

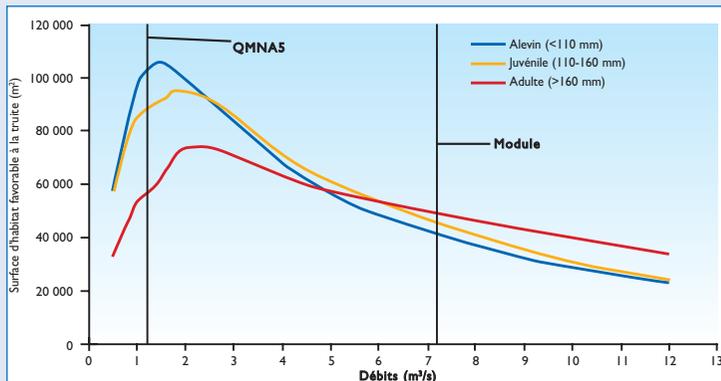


© PH Baran CSP

Les barrages des centrales hydroélectriques conduisent à des réductions de débit dans des tronçons court-circuités de cours d'eau

#### Des outils d'aide à la décision en matière de choix de débit

Depuis trente ans, la recherche a développé des outils d'aide au choix de valeur de débit dans les cours d'eau. En France, c'est la méthode des microhabitats issue de recherches américaines qui a été adaptée par le Cemagref et EDF. Cette méthode permet de croiser les caractéristiques hydrauliques et morphologiques d'un tronçon de rivière avec les préférences d'une espèce de poissons ou d'un groupe d'espèces. Elle réclame un relevé précis sur le terrain des conditions hydrauliques et topographiques ainsi qu'une bonne connaissance des préférences des poissons. Elle ne fournit qu'une aide à la décision permettant de visualiser l'évolution d'un potentiel d'habitat en fonction de valeurs de débit. La précision des modèles utilisés, tant hydraulique que biologique, ne permet en aucun cas de trancher entre des choix de débits très fins du type 1/10<sup>e</sup> du module ou 1/8<sup>e</sup>. Des questions quant à la pertinence et la reproductibilité des modèles biologiques, la signification exacte du potentiel d'habitat défini par la méthode en terme de dynamique de population restent posées. Des évolutions vers des variables hydrauliques plus intégratrices et vers la prise en compte de la variabilité des cycles hydrologiques pour un fonctionnement plus global des hydro-systèmes sont en cours (cf interview d'Yves Souchon page 15).



Évolution des surfaces d'habitats favorables à différents stades de développement de la truite en fonction du débit dans une rivière de moyenne montagne. Les surfaces ont été estimées à partir des modèles de la méthode des micro-habitats. D'après Lascux et al., (2000)

## La voie de la restauration : donner la priorité aux variations

Comme nous venons de le voir, les régimes hydrologiques ont une importance capitale dans le fonctionnement des cours d'eau. Leur restauration doit donc constituer un volet indispensable des politiques de gestion de l'eau tant pour fournir une ressource qualitativement et quantitativement acceptable que pour conduire une restauration de la morphologie.

Aujourd'hui, peu d'expériences et de suivis ont été engagés après une restauration des régimes hydrologiques. Aux USA, Poff *et al.*, (1997) recensaient seulement 15 projets de modifications de régimes de débits perturbés. En France, l'une des premières initiatives a été prise dans le cadre des renouvellements des titres des centrales hydroélectriques EDF à partir de 1994. Ce travail multi-partenarial (cellule nationale débit réservé) avait pour objectif de suivre les effets piscicoles des augmentations de valeurs de débits minimum en aval de prises d'eau de centrales hydroélectriques. Le suivi a été conduit pendant quatre années sur huit sites en France. Les valeurs de débit minimum en aval des ouvrages ont été choisies en se basant sur les résultats de la méthode des microhabitats. Sur ces huit sites, les quantités de truites n'ont réellement évolué après l'augmentation du débit que sur deux rivières avec toutefois de fortes disparités selon les classes d'âge. Pour les autres cours d'eau, le passage d'événements hydroclimatiques, crues parfois trentennales, la gestion des ouvrages et le court temps d'observation post-relèvement n'ont pas permis d'observer de réponses des



© A. Richard CSP

La restauration des débits est au cœur de la renaturation des rivières

populations. Il est important de souligner que dans le cadre de ce suivi, les augmentations de débit minimum se situaient dans une fourchette assez restreinte allant du 1/40<sup>e</sup> au 1/8<sup>e</sup> du module. Un travail a également été conduit sur le Rhône aval au niveau de la chute de Pierre-Bénite. Après l'augmentation du débit à 100 m<sup>3</sup>/s, les auteurs observent une augmentation significative des poissons d'eau courante, en accord avec ce que prévoient les modèles, avec toutefois de très fortes variations entre les différentes années.

Actuellement, deux autres suivis sont en cours, l'un sur la Basse Durance afin d'observer les évolutions écologiques après une augmentation du débit réservé du 1/40<sup>e</sup> au 1/20<sup>e</sup> du module (relèvement des débits en 2007) et l'autre sur le Doubs frontière après l'augmentation des débits planchers dans des secteurs soumis aux éclusées. Seuls les états initiaux ont été conduits sur ces sites.

Dans tous les cas, les projets de restauration n'ont jusqu'à maintenant visé qu'à une modification assez limitée des valeurs minimales. Aucune opération de restauration de régime hydrologique n'a été envisagée. C'est pourtant, au regard du fonctionnement des hydrosystèmes, la voie probablement la plus pertinente à suivre si l'on veut restaurer l'ensemble des fonctionnalités des cours d'eau. Actuellement, les connaissances opérationnelles font encore défaut et les outils d'aide à la décision restent très centrés sur des cibles écologiques précises (les poissons et principalement les salmonidés) avec de fortes incertitudes quant à la pertinence de leur application et de leur prévision comme ont pu le démontrer des travaux récents sur la Dordogne et la Garonne. Un important travail de transfert technologique doit encore être conduit pour garantir aux écosystèmes d'eau courante un régime de débit favorable au maintien de leur diversité écologique. La gestion hydrologique des écosystèmes aquatiques constitue et constituera donc à l'avenir un enjeu majeur non pas à la seule échelle française ou européenne mais mondiale d'autant plus dans la perspective des changements climatiques susceptibles de modifier la répartition géographique de la ressource.

## Le cadre juridique

Depuis la parution de la loi sur l'eau et les milieux aquatiques du 30 décembre 2006, les débits réservés, auparavant régis par l'article L.432-5 du code de l'environnement relèvent de l'article L.214-18 du même code. Celui-ci prévoit que tout ouvrage à construire dans le lit d'un cours d'eau doit comporter des dispositifs maintenant dans ce lit un débit minimal garantissant en permanence la vie, la circulation et la reproduction des espèces vivantes dans les eaux au moment de l'installation de l'ouvrage ainsi que, le cas échéant, des dispositifs empêchant la pénétration du poisson dans les canaux d'amenée et de fuite.

Ce débit minimal ne doit pas être inférieur au dixième du module du cours d'eau en aval immédiat ou au droit de l'ouvrage correspondant au débit moyen interannuel, évalué à partir des informations disponibles portant sur une période minimale de cinq années, ou au débit à l'amont immédiat de l'ouvrage, si celui-ci est inférieur.

Pour les cours d'eau ou parties de cours d'eau dont le module est supérieur à 80 mètres cubes par seconde ou pour les ouvrages qui contribuent, par leur capacité de modulation, à la production d'électricité en période de pointe de consommation et dont la liste est fixée par décret en Conseil d'État pris après avis du Conseil supérieur de l'énergie, ce débit minimal ne doit pas être inférieur au vingtième du module du cours d'eau en aval immédiat ou au droit de l'ouvrage évalué dans les mêmes conditions ou au débit minimal à l'amont immédiat de l'ouvrage, si celui-ci est inférieur.

Ainsi donc, avec les modifications apportées au régime des débits réservés par la loi de 2006, les cours d'eau équipés d'ouvrages qui contribuent à la production d'électricité en période de pointe de consommation bénéficient désormais du régime dérogatoire accordé aux cours d'eau dont le module est supérieur à 80 mètres cubes par seconde.

Des dérogations à la règle du dixième du module sont désormais également prévues pour les cours d'eau ou sections de cours d'eau présentant un fonctionnement atypique ou encore pour ceux soumis à un étiage naturel exceptionnel.

Il est en outre maintenant possible de fixer dans les actes d'autorisation ou de concession des valeurs de débit minimal différentes selon les périodes de l'année sous réserve cependant que la moyenne annuelle de ces valeurs ne soit pas inférieure au dixième du module (ou au vingtième pour les cours d'eau dont le module est supérieur à 80 mètres cubes par seconde ou pour les ouvrages qui contribuent à la production d'électricité en période de pointe de consommation d'électricité), le débit le plus bas devant, en tout état de cause rester

supérieur à la moitié des débits minimaux précités.  
L'exploitant de l'ouvrage est tenu d'assurer le fonctionnement et l'entretien des dispositifs garantissant dans le lit du cours d'eau le débit minimal défini aux alinéas précédents.

Enfin la loi nouvelle prévoit que, dès le renouvellement de leur concession ou de leur autorisation et au plus tard le 1er janvier 2014, les obligations instituées soient substituées aux obligations précédemment faites. Cette substitution ne donnera lieu à indemnité que si elles font peser sur le propriétaire ou l'exploitant de l'ouvrage une charge spéciale et exorbitante.

Un décret en Conseil d'État est actuellement en cours de préparation pour préciser les conditions d'application de cet article qui ne s'applique ni au Rhin ni aux parties internationales des cours d'eau partagés.