

Analyse d'impacts d'un barrage sur le régime hydrologique de la rivière Matawin (Québec, Canada)

Impacts of a dam on the hydrologic regime of the Matawin river (Québec, Canada)

A.A. ASSANI^{1*}, T. BUFFIN-BÉLANGER², A.G. ROY³

Reçu le 15 mai 2001, accepté le 25 février 2002**.

SUMMARY

Few studies have characterized the effect of dams on the hydrologic regime of rivers in Quebec. This is rather strange given the large number of hydroelectric dams that have been constructed in the province. To shed some light on the environmental impact of these dams, this paper aims at describing and quantifying the effect of the Matawin River dam on the hydrologic regime of the river on an annual, seasonal and daily basis. The Matawin River is located north of the St-Lawrence River and is a tributary of the St-Maurice River. The Matawin dam was built in 1929 by Shawinigan Water and Power Co mainly to supply the Gabelle hydroelectric dam on the Saint-Maurice River. The dam is 26 m high and the storage capacity of the reservoir is 348,000,000 m³ when full. The catchment area of the dam is 4070 km².

To assess the effect of the dam, we used various statistical methods to compare discharge time series over 60 years as measured at two gauging stations on the river. One of the stations is located upstream whereas the other one is located downstream from the Matawin dam. The upstream drainage basin covers an area of 1390 km². No major tributaries are found between the two gauging stations, thus allowing us to ascertain the effect of the Matawin dam on the natural hydrologic regime of the river at different time scales.

On the annual scale, no difference in the mean annual discharge is observed upstream and downstream from the dam. The specific discharges upstream and downstream from the river's dam are respectively 17.2 and 17.1 L/s/km².

1. Section de géographie, Université du Québec à Trois-Rivières, Pavillon Léon-Provencher, 3351, boul. des Forges, Trois-Rivières, Québec, G9A 5H7.
2. Department of Geography, Loughborough University, Loughborough, Leicestershire, LE11TU, Royaume-Uni.
3. Département de géographie, Université de Montréal, CP 6128, succursale Centre-Ville, Montréal, Québec, H3C 3J7, Canada.

* Correspondance. E-mail : assania@hotmail.com

** Les commentaires seront reçus jusqu'au 30 avril 2003.

This is to be expected because the reservoir is used neither for irrigation nor for derivation. However, analysis of the interannual variability of mean annual discharges, using the Hanning low pass filter, reveals that wet and dry periods are far more persistent downstream than upstream from the dam. This persistence can be seen to occur within the two dry periods of 1930-1960 and of 1980-1990 and during the wet period from 1965 to 1980. This persistence does not affect the stationarity of the discharge time series downstream from the dam as no significant changes are detected from Mann-Kendall and Pettitt statistical tests.

On the monthly and seasonal scale, the comparison of the time of occurrence of maximum and minimum discharges shows a strong inversion within the hydrologic regime. Upstream from the dam, the maximum and minimum discharges are measured respectively during the spring and the winter. Downstream from the dam, the regime is inverted, with the maximum and minimum discharges being measured in winter and spring respectively. This inversion is closely associated with the production of hydroelectricity during the cold winter season when large amounts of water are released from the reservoir. Furthermore, it is worth noticing that the monthly and seasonal coefficients of maximum discharge are lowered downstream from the dam whereas those for the minimum discharge remain similar.

On a daily basis, the comparison of dates of occurrence for the lowest annual discharge downstream and upstream from the dam shows these are found at different times of the year. Upstream from the dam, most of the minimum daily discharges are measured in August and September whereas downstream from the dam, they largely occur during April. On the other hand, the maximum daily discharges are recorded almost exclusively in April and May upstream from the dam but can occur throughout the year downstream from it, with a marginally larger number in January.

These results are relevant for the assessment of the environmental impacts of dams on rivers in the province of Quebec. For example, the inversion of maximum and minimum discharges is likely to have an important impact on the winter habitat characteristics by increasing the area of suitable habitat, but also by increasing the likelihood of sediment being transported during periods where usually only sporadic transport events occur. In the future, it would be crucial to understand the exact effect of the inversion on the morphological and biological components of the river dynamics.

Keys-words: *effects of dam, inversion of the hydrologic regime, Matawin river, Quebec, annual discharge, seasonal and monthly discharge, extreme daily discharge.*

RÉSUMÉ

Malgré la présence de nombreux barrages au Québec, peu d'études ont été consacrées à l'analyse des impacts de ces ouvrages sur les régimes hydrologiques des cours d'eau. La présente note a pour but d'analyser les impacts d'un barrage sur le régime hydrologique de la rivière Matawin en comparant le régime hydrologique de la rivière en amont (1 390 km²) et en aval (4 070 km²) du barrage pendant une période de 60 ans (1930-1990) et sur trois échelles temporelles distinctes. À l'échelle interannuelle, l'influence du barrage se manifeste par une persistance plus marquée des effets des épisodes humides ou secs ainsi qu'une hausse ou une baisse des débits moyens annuels respectivement durant ces périodes. Mais cette succession et cette persistance n'ont pas affecté significativement la stationnarité de la série hydrologique. Aux échelles mensuelles et saisonnières, l'influence du barrage se manifeste par une inversion du régime hydrologique caractérisée par une hausse des débits hivernaux et une baisse des débits printaniers. Cette

influence se traduit aussi par une baisse significative du débit maximum mensuel mais une hausse du débit minimum mensuel. Il en résulte une diminution du coefficient d'immodération. À l'échelle journalière, le barrage modifie la période d'occurrence des débits extrêmes minimums et maximums. Il provoque la diminution significative des débits extrêmes minimums et maximums. Mais l'écrêtement des crues est modéré pour les débits de récurrence ≥ 10 ans. L'impact le plus significatif du barrage de Matawin est sans nul doute l'inversion du régime hydrologique dont les conséquences morphologiques et biologiques ne sont pas encore documentées dans la littérature scientifique canadienne. Cette inversion résulte du faible écoulement hivernal et d'une forte production de l'énergie électrique pendant la saison froide.

Mots clés : *impacts des barrages, inversion du régime hydrologique, rivière Matawin, Québec, débits moyens annuels, débits mensuels et saisonniers, débits journaliers extrêmes.*

1 - INTRODUCTION

La mise en valeur d'immenses ressources hydriques du Québec a nécessité l'érection de nombreux barrages pour la production de l'énergie hydroélectrique. La province du Québec est aujourd'hui le troisième producteur mondial d'hydroélectricité (ASTRADE, 1998) à telle enseigne qu'elle en exporte une bonne partie aux États-Unis. Cependant, malgré la présence de ces nombreux barrages au Québec, il semble avoir une absence dans la littérature d'études sur les changements hydrologiques induits par ces ouvrages (PATOINE *et al.*, 1999). Comme l'avait déjà fait remarquer VIVIAN (1994) même dans la littérature internationale, très peu de travaux existent sur les impacts des barrages sur les régimes hydrologiques de cours d'eau (MAHESHWARI *et al.*, 1995 ; ASSANI *et al.*, 1999 ; ERSKINE *et al.*, 1999 ; LOIZEAU et DOMINIK, 2000). La plupart des travaux sont consacrés à l'analyse des impacts morphodynamiques (PETTS, 1979 ; AMOROS et PETTS, 1993 ; BRANDT, 2000) ou biologiques (PETTS, 1984 ; LIGON *et al.*, 1995 ; POWER *et al.*, 1996). Pourtant, ces impacts morphologiques et biologiques dépendent en grande partie des modifications qui affectent les régimes des débits (ASSANI, 1997), d'où l'intérêt de quantifier ces modifications.

Au Québec, la réponse des rivières aux perturbations induites par les aménagements hydroélectriques est très variable (ASSANI, 2000). Cette note analyse le cas d'une transformation profonde des régimes hydrologiques, en l'occurrence l'inversion du régime hydrologique d'un cours d'eau. Cette transformation est analysée aux pas de temps annuel, mensuel et journalier.

2 - DESCRIPTION DU CADRE D'ÉTUDE

Principal affluent de la rivière Saint-Maurice et sous affluent du fleuve Saint-Laurent en rive gauche (nord), la rivière Matawin draine un bassin versant de

5 775 km² (figure 1). Elle entaille le bouclier canadien. Le climat est du type subpolaire continental avec une lame d'eau annuelle d'environ 1 000 mm et une température moyenne annuelle de 4 °C. Tout le bassin versant est couvert par la forêt feuillue constituée essentiellement de l'érablière à bouleau jaune (DONEYS et DUBOIS, 1991 ; LAFLAMME, 1995). Quant à l'affectation du sol, les activités anthropiques se limitent à l'exploitation forestière. L'agriculture est quasi absente car les terres et le climat n'y sont pas propices.

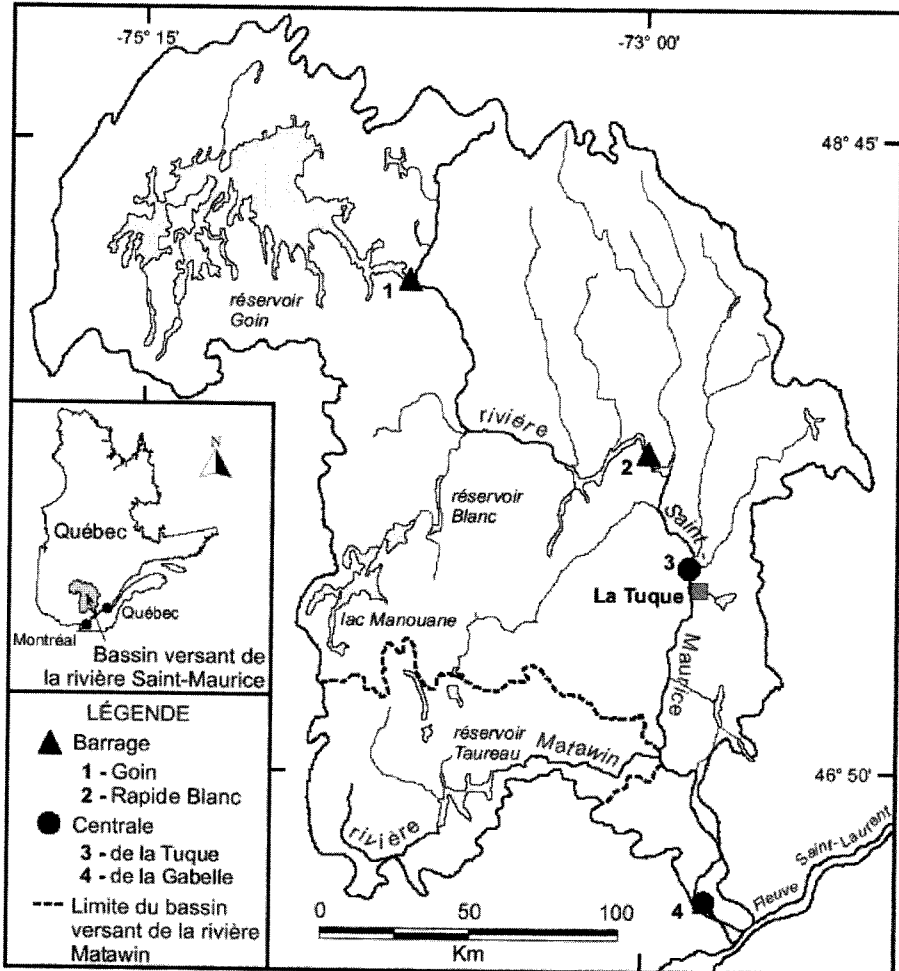


Figure 1 Bassin versant de la Matabwin et son barrage.
The Matabwin river drainage basin.

Le choix de la rivière Matabwin pour cette étude se justifie par l'existence des données de débits mesurées simultanément et sur une période relativement longue (1930-1990) en amont et en aval du barrage de Matabwin. Pour les autres rivières du Québec, les débits sont généralement mesurés au niveau même ou en aval des barrages, ce qui ne permet pas de bien cerner les

impacts de ces ouvrages sur les régimes hydrologiques. Le barrage de Matawin a été construit en 1929 par la Shawinigan Water & Power Co pour produire de l'énergie hydroélectrique et pour rehausser la capacité du réservoir du barrage de la Gabelle construit sur la rivière Saint-Maurice. Vers le début de la décennie 1960, il est passé sous le contrôle d'Hydro-Québec qui venait d'être créée. On dispose de très peu d'informations sur les caractéristiques et le fonctionnement de ce barrage par manque d'archives. Il s'agit d'un barrage poids de 720 m de long et de 26 m de hauteur. Il est doté d'un évacuateur des crues, long de 42 m et haut de 25 m, et d'un pertuis de fond, long de 25 m et haut de 24 m. Sa réserve totale est estimée à 348 000 000 m³ d'eau. L'amplitude maximale de la variation du niveau du lac formé en amont du barrage est environ 11 m.

3 – DONNÉES ET MÉTHODES D'ANALYSE

Les débits ont été mesurés à deux stations (*figure 1*) : en amont (1 390 km²) par Environnement Canada et juste en aval du barrage (4 070 km²) par Hydro-Québec. Les deux stations sont situées dans le même contexte climatique, lithologique et végétal. Cette homogénéité des conditions physiques rend aisée la comparaison des régimes hydrologiques en amont et en aval du barrage malgré l'apport d'affluents. Les données de débits sont publiées dans le *Sommaire chronologique de l'écoulement* édité par Environnement Canada (1992). Pour chaque station, le ministère publie trois types de données : les moyennes mensuelles et annuelles ainsi que les dates d'occurrence et les valeurs des débits journaliers extrêmes (maximums et minimums). Il est précisé si ces dernières valeurs ont été estimées ou corrigées en tenant compte de l'effet de la glace. La station située en amont du barrage n'est pas influencée par la courbe des remous. Elle fait en effet partie du réseau national canadien de bassins hydrométriques de référence (OUARDA *et al.*, 1999). Rappelons que le choix des stations de référence de ce réseau est basé sur des critères très sévères en ce qui concerne les impacts anthropiques. Parmi ces critères, notons l'absence d'urbanisation ou de toute transformation majeure (comme la déforestation) pour un horizon de 5 à 20 ans.

Nous avons analysé la variabilité interannuelle des débits moyens annuels en amont et en aval du barrage au moyen du filtre non récursif passe-bas de Hanning d'ordre 2 (moyennes mobiles pondérées) recommandé par MITCHELL *et al.* (cités par TYSON *et al.*, 1975). Ce filtre permet de mettre en évidence la succession des périodes hydroclimatiques humides et sèches en éliminant les variations annuelles. Avec ce filtre, les débits annuels de la série filtrée de taille n sont calculés au moyen de l'expression suivante :

$$Q'_{(t)} = 0,06Q_{(t-2)} + 0,25Q_{(t-1)} + 0,38Q_{(t)} + 0,25Q_{(t+1)} + 0,06Q_{(t+2)} \text{ pour } 3 \leq t \leq (n-2) \quad (1)$$

où $Q'_{(t)}$ est le débit annuel moyen et t représente l'année courante. Les premiers et derniers termes de la série sont calculés au moyen des équations suivantes :

$$Q'_{(1)} = 0,54Q_{(1)} + 0,46Q_{(2)} \quad (2)$$

$$Q'_{(2)} = 0,25Q_{(1)} + 0,50Q_{(2)} + 0,25Q_{(3)} \quad (3)$$

$$Q'_{(n-2)} = 0,25Q_{(n-2)} + 0,50Q_{(n-1)} + 0,25Q_{(n)} \quad (4)$$

$$Q_{(n)} = 0,54Q_{(n)} + 0,46Q_{(n-1)} \quad (5)$$

Les valeurs de débits ont été standardisées avant de les filtrer. Le filtrage des données standardisées permet une comparaison aisée de la variabilité temporelle des débits annuels en amont et en aval du barrage. La stationnarité de ces séries hydrologiques a été vérifiée au moyen des tests statistiques de MANN-KENDALL (SNEYERS, 1975 ; HAMED et RAO, 1998) et de PETTITT (PETTITT, 1979 ; LUBÈS-NIEL *et al.*, 1998). Aux échelles saisonnière et mensuelle, nous avons comparé les débits spécifiques, les coefficients mensuels et saisonniers des débits (rapport entre les débits mensuels ou saisonniers sur le débit total annuel), les coefficients d'immodération (rapport entre les débits maximums et minimums mensuels) ainsi que la période d'occurrence des débits maximums et minimums en amont et en aval du barrage. À l'échelle journalière, nous avons comparé les périodes d'occurrence des débits extrêmes (maximums et minimums), leurs intensités et les récurrences des débits extrêmes les plus élevés. Ces dernières ont été estimées au moyen de la loi de JENKINSON (GEV) qui convient aux débits de crues au Québec (ANCTIL *et al.*, 1998). Les paramètres de cette distribution ont été estimés par la méthode des moments de probabilité pondérés (HOSKING *et al.*, 1985 ; LUBÈS et MASSON, 1991).

4 – RÉSULTATS

4.1 Variabilité interannuelle des débits en amont et en aval du barrage

Les débits moyens annuels, exprimés en débits spécifiques, sont respectivement de 17,2 L/s/km² (23,9 m³/s) en amont et 17,1 L/s/km² (69,5 m³/s) en aval du barrage de Matawin. Il s'ensuit que le module annuel n'est pas affecté par la présence de cet ouvrage. De même, la construction de nombreux barrages sur ses affluents n'a pas affecté significativement le module annuel du Rhône (LOIZEAU et DOMINIK, 2000). En revanche, ERSKINE *et al.* (1999) ont observé une réduction des modules annuels à quatre stations de la rivière Snowy (Australie) variant entre 44 et 99 %. Quant à la rivière Murray, située dans la même région du sud-est australienne, ils ont noté une réduction de 57 %. Dans les Alpes françaises et suisses, VIVIAN (1994) ainsi que WEINGARTNER et ASCHWANDEN (1994) ont observé des réductions des modules annuels variant entre 11 et 96 %. Il convient cependant de préciser que ces cas de réduction des modules annuels résultent de dérivation des eaux vers d'autres bassins versants ou de l'irrigation comme c'est le cas en Australie.

La *figure 2* présente la variabilité interannuelle des débits en amont et en aval du barrage après le filtrage des variations annuelles au moyen de la technique des moyennes mobiles pondérées. Il ressort de cette figure que cette variabilité est quasi synchrone en amont et en aval du barrage. Elle se caractérise par trois périodes hydroclimatiques : une longue période sèche entre 1930 et 1960, une

période humide entre 1965-1980, et enfin un nouvel épisode sec durant toute la décennie 1980. Toutefois, en aval du barrage, on note une persistance plus marquée de ces périodes hydroclimatiques. D'autre part, la *figure 2* révèle aussi que les valeurs standardisées (centrées et réduites) des modules annuels sont quasi systématiquement plus élevées (en valeurs absolues) en aval (*figure 2b*) qu'en amont du barrage (*figure 2a*). Ce qui signifie qu'en aval du barrage, on lâche beaucoup d'eau pendant les années humides et moins d'eau pendant les années sèches. Ainsi le coefficient de variation est plus élevé en aval (23 %) qu'en amont du barrage (19 %).

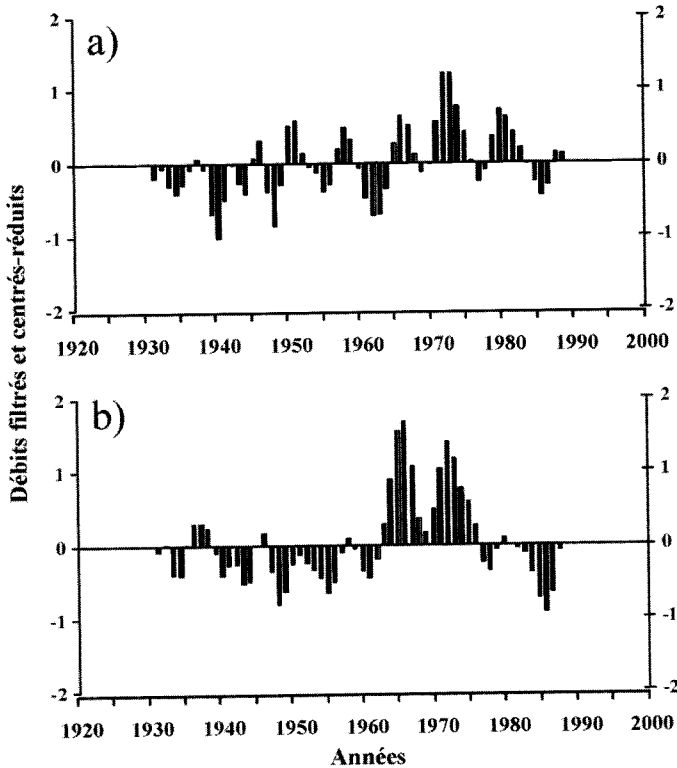


Figure 2 Variabilité des débits moyens annuels (valeurs standardisées et filtrées) en amont (a) et en aval (b) du barrage de Matawin (1930-1990).
Annual mean discharges (standardised and filtered) at gaging stations upstream (a) and downstream (b) from the Matawin river dam.

Cette succession des périodes sèches et humides a été observée dans d'autres rivières naturelles du Québec caractérisées par le même type de régime hydrologique. À l'échelle de tout le territoire du Québec, nous avons observé une opposition dans la succession des périodes sèches et humides entre le nord (région située au nord du parallèle de 50 °N) et l'extrême sud (région située au sud du parallèle de 45 °N), y compris le nord-est des États-Unis. En effet, les périodes humides au sud correspondent aux périodes sèches au nord. Toutefois, nous avons observé deux périodes caractérisées

par une fluctuation synchrone des débits à l'échelle de la province : la fin de la décennie 1920 et le début de la décennie 1930 ainsi que la décennie 1970 (ASSANI *et al.*, 2001a). Mais en ce qui concerne les régimes hydrologiques influencés par les barrages, pour les rivières dotées de nombreux barrages comme c'est le cas de la rivière Saint-Maurice, l'épisode sec de la décennie 1980, observé en aval du barrage de Matawin, est souvent absent en aval du premier barrage. Mais il réapparaît en aval des autres barrages, à l'exception des rivières dotées de plusieurs réservoirs comme c'est le cas de l'Outaouais (ASSANI *et al.*, 2001b).

La comparaison des périodes hydroclimatiques observées dans le bassin de la Matawin à celles mises en évidence par PROBST et TARDY (1987), sur la base de l'analyse des débits de quelques grands fleuves de l'Amérique du Nord dont le Saint-Laurent, révèle une concordance en ce qui concerne la période humide durant la décennie 1970. En revanche, le premier épisode sec est relativement long dans le bassin versant de la Matawin. Il n'a sévi que pendant les décennies 1930 et 1950 aux États-Unis (LINS, 1985).

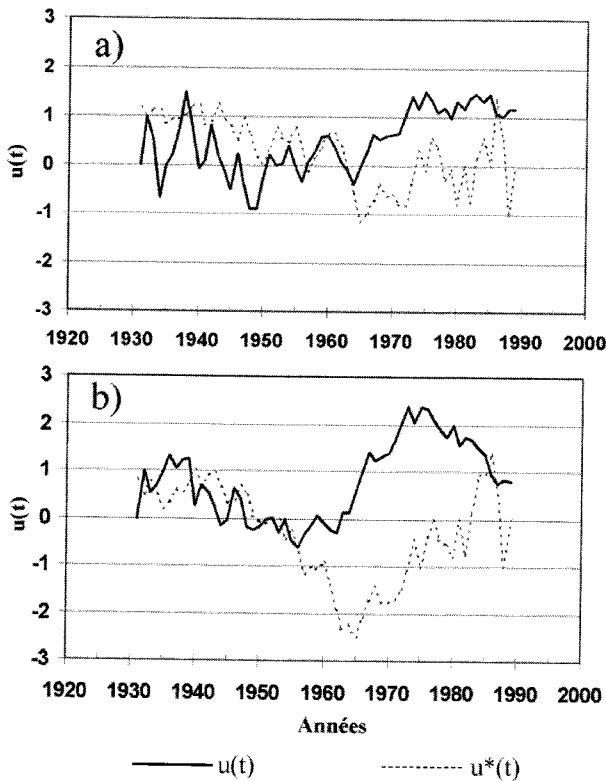


Figure 3 Test de Mann-Kendall appliqué aux débits moyens annuels en amont et en aval du barrage de Matawin (1930-1990).

$U(t)$: série directe ; $U^*(t)$: série rétrograde.

Mann-Kendall statistical test computed for the annual mean discharges upstream and downstream from the Matawin river dam.

$U(t)$: forward calculation; $U^(t)$: backward calculation.*

La succession des périodes sèches et humides, d'une part, et leur persistance observée en aval du barrage, d'autre part, n'affectent cependant pas de manière significative la stationnarité des deux séries hydrologiques, comme l'atteste le test de MANN-KENDALL (figure 3). Les valeurs maximales du test sont de 1,62 et 2,37 respectivement en amont et en aval du barrage. Bien que cette dernière valeur dépasse la valeur de 1,96, qui fixe le seuil de signification au niveau de probabilité de 5 %, le recoupement des courbes directe $[U(t)]$ et rétrograde $[U^*(t)]$ en plusieurs points nous autorise à rejeter l'hypothèse alternative, c'est-à-dire l'existence d'un changement significatif de la moyenne des débits moyens annuels en aval du barrage (SNEYERS, 1975). L'application du test de PETTITT corrobore cette conclusion. En effet, les valeurs maximales du test sont respectivement de 231 et 236 en amont et en aval du barrage. Ces valeurs sont inférieures à celle de 358 qui fixe le seuil de signification au niveau de probabilité de 5 %.

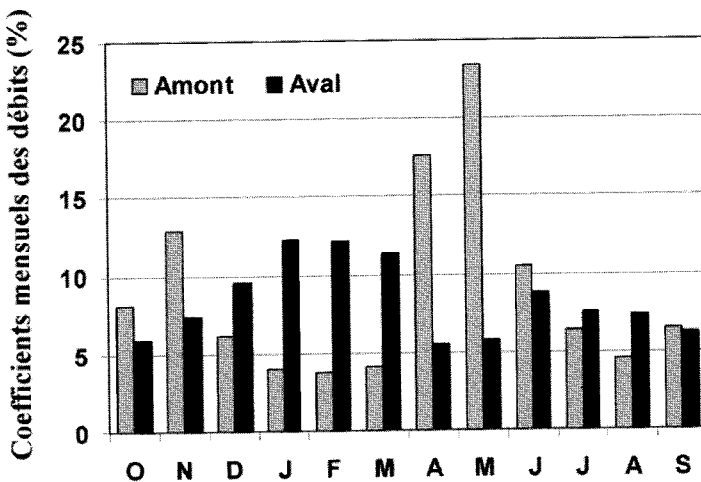


Figure 4 Coefficients mensuels des débits en amont et en aval du barrage de Matawin (1930-1990).

Monthly discharge coefficients upstream and downstream from the Matawin river dam.

4.2 Variabilité intermensuelle et saisonnière des débits en amont et en aval du barrage

À l'échelle mensuelle, la figure 4 présente les coefficients mensuels des débits en amont et en aval du barrage de Matawin. Il ressort de cette figure qu'en hiver (de décembre à mars), les coefficients mensuels sont plus élevés en aval qu'en amont du barrage. En revanche, au printemps (d'avril à juin), période de la fonte des neiges, la situation s'inverse : ils deviennent plus élevés en amont qu'en aval du barrage. Ainsi, le débit maximum mensuel est enregistré en mai et en janvier respectivement en amont et en aval du barrage. Quant au débit mensuel minimum, il est observé aux mois de février et d'avril respectivement en amont et en aval du barrage. D'autre part, comme le révèle le tableau 1, on observe une baisse significative du coefficient mensuel du débit

mensuel maximum et une légère hausse du coefficient mensuel du débit mensuel minimum en aval du barrage. Il s'ensuit que le coefficient d'immodération (rapport entre le débit maximum et le débit minimum) est plus faible en aval (2,2) qu'en amont du barrage (6,4). Ainsi, le barrage de Matawin atténue les fluctuations intermensuelles des débits (effet régulateur).

Tableau 1 Comparaison des coefficients mensuels et saisonniers des débits (en %) maximums/minimums en amont et en aval du barrage de Matawin (1930-1990).

Table 1 Maximum/mimimum discharge ratio (in %) on a monthly and seasonal basis for the gaging stations located upstream and downstream from the Matawin river dam

	Débit	En amont du barrage	En aval du barrage
Mois	Maximum	23,4	12,2
	Minimum	3,7	5,9
Saison	Maximum	51,5	35,9
	Minimum	11,8	11,8
Coefficient d'immodération		6,4	2,1

À l'échelle saisonnière, comme il fallait s'y attendre, l'influence du barrage se traduit aussi par une hausse significative des débits hivernaux et une baisse des débits printaniers (figure 5). Les débits d'hiver représentent plus du tiers du total annuel et les débits printaniers, plus que le cinquième de ce total alors qu'ils représentent respectivement le un-dixième et la moitié en amont du barrage.

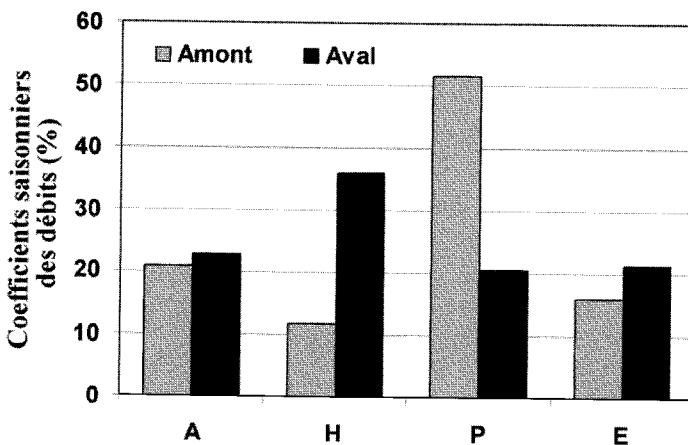


Figure 5 Coefficients saisonniers des débits en amont et en aval du barrage de Matawin (1930-1990).

Seasonal discharge coefficients upstream and downstream from the Matawin river dam.

À la lumière de ces considérations, l'influence du barrage de Matawin se traduit par une *inversion* du régime hydrologique de la rivière : hausse significative des débits hivernaux associée à une baisse significative des débits printaniers. L'inversion du régime hydrologique en aval des barrages est un phénomène rare. Même au Québec, l'inversion n'est observée exclusivement que sur les affluents de la rive nord du fleuve Saint-Laurent, caractérisés par un écoulement hivernal très faible (ASSANI, 2000 ; ASSANI *et al.*, 2001b) qui ne suffit pas à la production de l'énergie électrique par temps froid. Le phénomène d'inversion du régime hydrologique en aval d'un barrage semble dépendre de deux facteurs. D'abord, il faut que le régime naturel possède un faible écoulement hivernal dû au stockage des précipitations sous forme de neige, phénomène qui caractérise le climat tempéré continental et d'altitude. Ensuite, il faut que la demande en hydroélectricité soit forte durant la période hivernale, ce qui se traduit par des relâchements d'eau plus fréquents et plus soutenus.

Bien que les effets de la régulation des crues par un barrage sur la morphologie (PETTS, 1979 ; BRANDT, 2000) et la biologie (POWER *et al.*, 1996) soient relativement connus, il semble que les conséquences morphologiques et biologiques de l'inversion du régime hydrologique d'un cours d'eau ne soient pas encore bien documentées dans la littérature. Ceci est encore plus vrai pour le Québec où la qualité des habitats d'hiver peut jouer un rôle crucial pour la vie aquatique. Dans cette perspective, les observations effectuées dans le ruisseau Catamaran au Nouveau-Brunswick (Canada) par CUNJAK *et al.* (1998) peuvent nous éclairer sur la sensibilité des habitats d'hiver. Elles ont en effet mis en évidence une forte relation entre le débit hivernal et la survie interstade de juvéniles du saumon atlantique (*Salmo salar* L). En règle générale, le taux de survie augmente avec le débit maximum hivernal. Ainsi, l'abondance des juvéniles en été était grande après les hivers caractérisés par les débits élevés, probablement parce que la surface d'habitat disponible était plus grande, particulièrement sous le couvert de glace. On est en droit d'espérer que la hausse de l'écoulement hivernal observé en aval du barrage de Matawin pourrait produire les mêmes effets en cas de la présence de cette espèce dans cette rivière. Sur le plan morphologique, on peut envisager que l'occurrence des débits élevés en pleine période d'englacement soit susceptible de favoriser l'érosion des berges et du lit mineur par le charriage de la glace à une période de l'année où habituellement le transport est plutôt marginal. Cette érosion du lit peut avoir des conséquences désastreuses sur la vie aquatique. Elle peut, par exemple, entraîner la destruction des nids de fraye et ainsi provoquer une diminution de l'abondance de la population juvénile en été, ce qui a été observé notamment lors d'une débâcle dynamique causée par une pluie en hiver 1995-1996 (CUNJAK *et al.*, 1998). En Californie, l'érosion du lit avait provoqué aussi la baisse d'effectifs de certaines espèces d'insectes benthiques qui résistaient, pourtant, mieux à la prédation des poissons (WOOTON *et al.*, 1996). Il s'ensuit que l'inversion du régime hydrologique engendrerait des effets antagonistes sur la population des poissons : l'affouillement du lit, en détruisant les nids de fraye et en baissant les effectifs des proies, diminuerait le taux de survie des juvéniles malgré la présence d'un habitat disponible plus important qu'en conditions naturelles.

4.3 Débits journaliers extrêmes maximums et minimums en amont et en aval du barrage

4.3.1 Périodes et dates d'occurrence

La figure 6 permet de comparer les périodes d'occurrence des débits journaliers extrêmes minimums (série annuelle) en amont et en aval du barrage. La comparaison révèle que ces périodes ne sont pas synchrones. En amont du barrage, ces débits sont observés surtout en août et en septembre alors qu'en aval du barrage, ils surviennent plus fréquemment en avril, pour les raisons déjà évoquées, et en janvier lorsqu'on ne procède pas aux lâchés d'eau. Entre 1930 et 1990, le débit extrême minimum n'a été mesuré qu'une seule fois au cours du même mois (en janvier 1959) en amont et en aval du barrage, mais cette mesure n'a pas été faite le même jour. En amont, le débit a été mesuré le 4 janvier et en aval du barrage, le premier jour du mois.

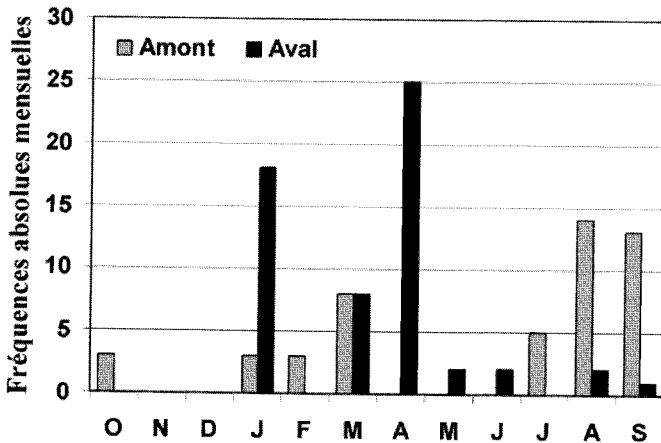


Figure 6 Fréquences absolues mensuelles des débits journaliers minimums extrêmes en amont et en aval du barrage de Matawin (1930-1990).

Absolute monthly occurrences of annual minimum daily discharge upstream and downstream from the Matawin river dam.

La figure 7 présente les périodes d'occurrence des débits journaliers extrêmes maximums. À l'instar des débits minimums, les périodes d'occurrence des débits extrêmes maximums sont différentes en amont et en aval du barrage. En amont, ces débits surviennent quasi exclusivement au printemps au moment de la fonte des neiges. Toutefois, ils peuvent survenir en été et en automne. En été, ils sont générés par les averses orageuses d'origine convective et en automne par les pluies associées aux perturbations cycloniques. En aval du barrage, les débits maximums sont mesurés à n'importe quel mois de l'année avec une certaine prédominance en hiver (en janvier) pour des raisons que nous avons déjà évoquées. Les dates de l'occurrence des maximums n'ont été observées que 6 fois durant le même mois de mai (1934, 1936, 1946, 1947, 1947, 1974 et 1986) en amont et en aval du barrage. Néanmoins, on ne les a mesurés qu'une seule fois le même jour (le 24 mai 1986) aux deux stations.

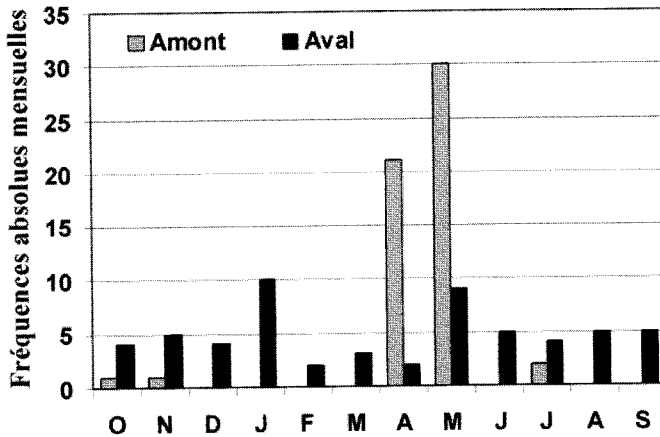


Figure 7 Fréquences absolues mensuelles des débits journaliers maximums extrêmes en amont et en aval du barrage de Matawin.

Absolute monthly occurrences of annual maximum daily discharge upstream and downstream from the Matawin river dam.

La présence d'un barrage ne modifie pas automatiquement les périodes d'occurrence des débits minimums et maximums. Si on examine la situation du barrage de Bütgenbach en Belgique (ASSANI, 1997), cet ouvrage n'affecte que très peu les périodes d'occurrence des débits minimums et maximums. Ceux-ci sont souvent enregistrés respectivement en été et en hiver, à l'instar de ceux des rivières en régime hydrologique naturel.

4.3.2 Magnitude des débits journaliers extrêmes maximums et minimums

La comparaison des débits journaliers extrêmes minimums en amont et en aval du barrage est présentée à la *figure 8*. Il ressort de cette figure que les débits extrêmes minimums sont systématiquement inférieurs en aval du barrage malgré l'augmentation significative de la taille du bassin versant. On observe même des valeurs nulles. Donc, le lit de la Matawin peut ainsi être totalement asséché juste en aval du barrage. Cet assèchement est observé pendant des années déficitaires comme par exemple durant les décennies 1930 et 1980. Il confirme le fait que pendant les épisodes secs, on lâche peu d'eau en aval du barrage pour la stocker davantage dans le réservoir. La diminution des débits d'étiage estival a été observée aussi en aval du barrage de Bütgenbach sur la Warche (ASSANI, 1997) et dans le bassin versant de l'Isère en amont de Grenoble (VIVIAN, 1994). De même, MAHESHWARI *et al.* (1995) ont observé une diminution des débits d'étiage de la rivière Murray (Australie) en aval des barrages.

Les valeurs des débits extrêmes minimums en aval du barrage de Matawin sont de loin inférieures à la norme proposée par BELZILE *et al.* (1997), adoptée en 1999 par l'organisme faune et parc Québec (PATOINE *et al.*, 1999), pour les rivières du Québec afin de protéger les tronçons de rivières utilisés par des espèces de poissons d'intérêt économique ou autre (comme le saumon). Selon cette norme, au printemps et en été, le débit réservé minimal doit équivaloir à

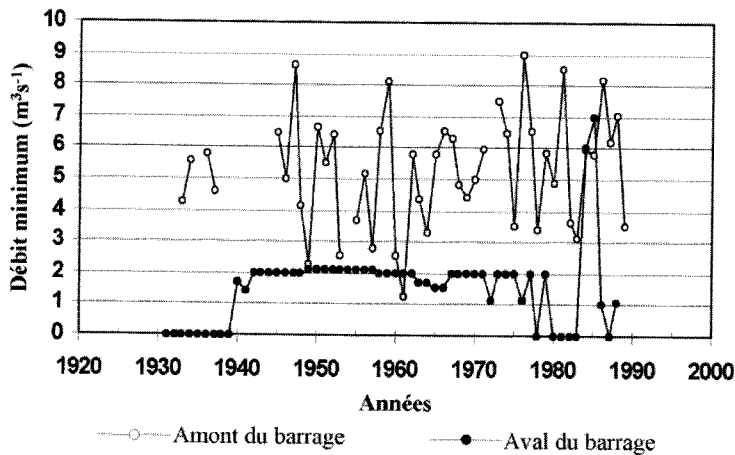


Figure 8 Débits spécifiques (m^3/s) journaliers minimums extrêmes en amont et en aval du barrage de Matawin (1930-1990).

Annual minimum daily discharges (m^3/s) upstream and downstream from the Matawin river dam.

la moitié du débit moyen observé pendant cette période en condition naturelle. En hiver, la norme prévoit un débit réservé égal au quart du débit moyen annuel observé pendant 20 ans. Si ces normes étaient respectées dans le cas de la rivière Matawin, le débit minimum réservé ne devrait jamais être inférieur à 17 (en hiver) et 35 m^3/s (au printemps) en aval du barrage. Or, entre 1930 et 1990, le débit minimum extrême n'a pas excédé 7 m^3/s . D'autre part, en l'absence d'espèces de poissons jugées économiquement importantes, la norme prévoit des débits réservés équivalant à la moitié du débit moyen annuel, soit 35 m^3/s en aval du barrage de Matawin. Ce seuil est 5 fois supérieur au débit minimum lâché en aval du barrage.

La *figure 9* permet de comparer les valeurs des débits maximums, transformées en débits spécifiques, en amont et en aval du barrage. À l'instar des débits minimums, les débits maximums sont, en général, inférieurs en aval qu'en amont du barrage. Il s'ensuit que les crues sont écrêtées au niveau du barrage. Toutefois, au cours de certaines années, les débits extrêmes maximums en aval du barrage peuvent être supérieurs à ceux mesurés en amont du barrage. Ces cas se produisent lorsqu'il y a une menace d'inondations lors de la fonte des neiges. C'est la raison pour laquelle tous ces cas sont observés aux mois d'avril et de mai au moment de la fonte des neiges.

Pour évaluer l'ampleur de cet écrêtement sur les débits extrêmes les plus élevés, nous avons comparé les débits spécifiques correspondant à certaines récurrences en amont et en aval du barrage. Ces débits ont été estimés au moyen de la loi de Jenkinson. Ils sont consignés dans le *tableau 2*. Il ressort de ce tableau que l'écrêtement de ces débits extrêmes est relativement modéré ; les débits mesurés en aval du barrage représentent au moins 60 % des débits équivalents enregistrés en amont du barrage. De même, MAHESHWARI *et al.* (1995) ont observé que la présence d'un barrage affectait peu les débits de la rivière Murray (1 073 000 km^2) de récurrence ≥ 20 ans. En France, VIVIAN (1994)

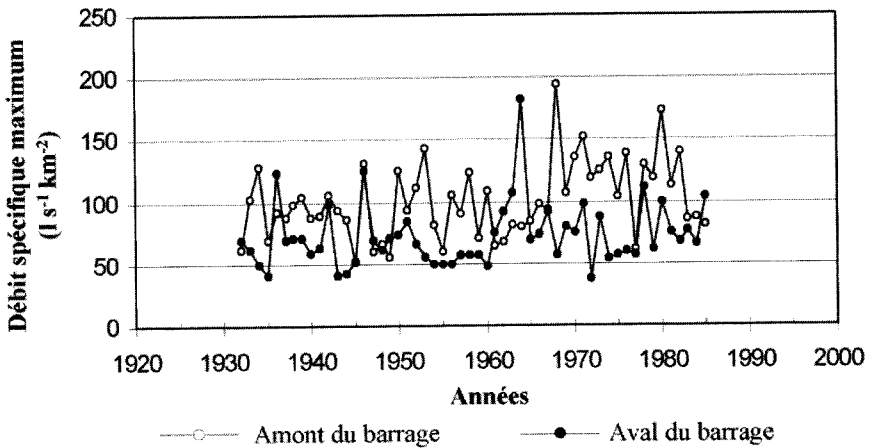


Figure 9 Débits spécifiques ($L/s/km^2$) journaliers maximums extrêmes en amont et en aval du barrage de Matawin (1930-1990).
Annual maximum daily specific discharges ($L/s/km$ upstream and downstream from the Matawin river dam.

pense que les aménagements hydroélectriques situés dans le bassin supérieur de l'Isère n'auraient aucun impact significatif sur les crues enregistrées à Grenoble. En revanche, en aval du barrage de Bütgenbach construit sur la Warche ($200 km^2$), les débits de récurrence ≥ 5 ans sont fortement écrêtés. Le même constat a été fait sur le Rhône à la station la porte du Scex ($5\,220 km^2$) où tous les débits supérieurs à $600 m^3/s$ ont presque disparu après la construction des grands barrages sur ses principaux affluents (LOIZEAU et DOMINIK, 2000). Toutes ces études ont cependant révélé une hausse significative des petites et moyennes crues en aval des barrages. Dans le cas du barrage de Bütgenbach, on a observé une hausse très importante des débits inférieurs au débit à plein bord. Leur fréquence annuelle a été multipliée par 45 en aval du barrage en raison du lâcher quotidien de $10 m^3/s$ durant toute la saison hivernale (ASSANI, 1997).

Tableau 2 Comparaison des débits spécifiques ($L/s/km^2$) estimés par la loi de Jenkinson en amont et en aval du barrage de Matawin (1930-1990).

Table 2 *Specific discharges ($L/s/km^2$) computed from Jenkinson's distribution for time series of discharges upstream and downstream from the Matawin river dam.*

Récurrence	En amont du barrage	En aval du barrage
100 ans	202	159
50 ans	186	139
20 ans	163	116
10 ans	145	99

5 – CONCLUSION

Le barrage de Matawin a été construit au début de la décennie 1930 pour alimenter la centrale hydroélectrique de la Gabelle sur le Saint-Maurice et pour produire de l'électricité ainsi que, dans un passé récent, pour élever le niveau de la rivière afin de faciliter le flottage du bois. Ce barrage a modifié l'hydrologie de la rivière Matawin de plusieurs façons et aux différentes échelles de temps.

En ce qui concerne la variabilité interannuelle des débits, l'impact du barrage de Matawin se manifeste par une persistance plus marquée des périodes humides et sèches qui se sont succédé de la manière suivante : un épisode sec entre 1930-1960, une période humide durant la décennie 1970, un nouvel épisode sec depuis la décennie 1980. La comparaison des valeurs standardisées des débits moyens annuels a révélé qu'en aval du barrage, on lâche beaucoup d'eau pendant les périodes humides et moins d'eau pendant les épisodes secs. Ceci a été confirmé par l'analyse des débits journaliers extrêmes minimums qui sont parfois nuls pendant les périodes sèches.

Aux échelles mensuelles et saisonnières, l'impact du barrage se traduit par une inversion du régime hydrologique caractérisée par une hausse significative des débits mensuels hivernaux et une baisse des débits printaniers en raison notamment d'une forte production de l'énergie hydroélectrique par temps froid hivernal. En amont du barrage, l'écoulement printanier représente plus de 50 % de l'écoulement total annuel. Mais en aval du barrage, cette proportion est réduite autour de 20 %. À l'échelle mensuelle, le barrage entraîne un laminage du débit maximum mensuel et le changement de sa période d'occurrence : en amont du barrage, le débit mensuel maximum, observé en mai lors de la fonte de neige, représente 23 % de l'écoulement annuel total alors qu'en aval du barrage, survenant en janvier, il ne représente plus que la moitié de cet écoulement.

À l'échelle journalière, le barrage affecte la période d'occurrence et la magnitude des débits extrêmes minimums et maximums. En ce qui concerne l'occurrence des débits minimums, ceux-ci surviennent fréquemment en été (août et septembre) en amont du barrage. Mais en aval du barrage, ils sont fréquemment enregistrés au printemps et en hiver. Quant aux débits maximums, en amont du barrage, ils surviennent quasi exclusivement en avril et en mai lors de la fonte de neige. En revanche, en aval du barrage, ils sont mesurés durant toute l'année mais surtout aux mois de janvier et février.

En ce qui concerne l'intensité des débits journaliers extrêmes, le laminage provoqué par le barrage affecte aussi bien les débits minimums que les débits maximums. Mais l'écrêtement qui affecte ces derniers semble modéré.

Dans la littérature scientifique, de très nombreux travaux sont surtout consacrés aux impacts de barrages sans changement du rythme hydrologique des cours d'eau. L'intérêt de cette étude réside donc dans le fait qu'elle décrit en détail pour la première fois au Québec un cas d'un changement du rythme hydrologique, en l'occurrence l'inversion du régime hydrologique de la rivière Matawin. Les conséquences morphologiques et biologiques associées à ce type de changement ne sont pas encore documentées dans la littérature scientifique.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AMOROS C., PETTS G.E., 1993. Hydrosystèmes fluviaux, Paris, Masson, 300 p.
- ANCTIL F., MARTEL F., HOANG V.D., 1998. Analyse régionale des crues journalières de la province du Québec. *Can. J. Civ. Eng.*, 25, 125-146.
- ASSANI A.A., 1997. Recherche d'impacts d'une retenue sur le comportement d'une rivière ardennaise : hydrologie, sédimentologie, morphologie et végétation. Cas du barrage de Bütgenbach sur la Warche (Belgique). *Thèse de doctorat en Sciences. Géogr.*, Université de Liège, 482 p.
- ASSANI A.A., 2000. Modélisation des impacts des barrages sur l'hydrologie et la morphologie des cours d'eau au Québec (Canada). I. Impacts des barrages sur les régimes hydrologiques et la variabilité temporelle des débits annuels. *Rapport de recherche n° 1*, Université de Montréal, 65 p.
- ASSANI A.A., BUFFIN-BÉLANGER T., ROY A.G., 2001a. Analyse de la variabilité et de la stationnarité des débits de rivières en fonction de leurs régimes hydrologiques au Québec (Canada). I. Rivières naturelles. Soumis au *Hydrol. Sc. J.*
- ASSANI A.A., BUFFIN-BÉLANGER T., ROY A.G., 2001b. Analyse de la variabilité et de la stationnarité des débits de rivières en fonction de leurs régimes hydrologiques au Québec (Canada). II. Rivières à barrages. Soumis au *Hydrol. Sc. J.*
- ASSANI A.A., PETIT F., 1999. Impacts of hydroelectric power releases on the morphology and sedimentology of the bed of the Warche River. Soumis à *Earth Surf. Proc. Landf.* (en révision).
- ASSANI A.A., PETIT F., MABILLE G., 1999. Analyse des débits de la Warche aux barrages de Butgenbach et de Robertville (Ardenne belge). *Bull. Soc. Géogr. Liège*, 36, 17-30.
- ASTRADE L., 1998. La gestion des barrages-réservoirs au Québec : exemples d'enjeux environnementaux. *Ann. Géogr.*, 604, 590-609.
- BELZILE L., BERUBE P., HOANG D., LECLERC M., 1997. Méthode écohydrologique de détermination des débits réservés pour la protection des habitats du poisson dans les rivières du Québec. Rapport présenté par l'INRS-Eau et le Groupe-conseil Génivar inc. Au ministère de l'Environnement et de la Faune et à Pêches et Océans Canada. 83 p + annexes.
- BRANDT S.A., 2000. Classification of geomorphological effects downstream of dams. *Catena*, 40, 375-401.
- CUNJAK R.A., PROWSE T.D., PARRISH D.L., 1998. Atlantic salmon (*Salmo salar*) in winter: "The season of parr discontent". *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 55, 161-180.
- DONEYS E., DUBOIS L., 1991. Application du modèle d'analyse d'utilisation de l'eau au bassin de la rivière Saint-Maurice. Mémoire déposé au ministère de l'Environnement Canada, 36 p. + annexes.
- Environnement Canada, 1992. Sommaire chronologique de l'écoulement. Province du Québec. Direction générale des eaux intérieures, Ottawa, 526 p.
- ERSKINE W.D., TERRAZZOLO N., WARNER R.F., 1999. River rehabilitation from the hydrogeomorphic impacts of a large hydro-electric power project: Snowy River, Australia. *Regul. Rivers: Res. Mgmt.*, 15, 3-24
- HAMED K.H., RAO A.R., 1998. A modified Mann-Kendall trend test for autocorrelated data. *J. Hydrol.*, 95, 165-183.
- HOSKING J.R.M., WALLIS J.R., WOOD E.F., 1985. Estimation of the generalized extreme-value distribution by the method of probability-weighted moments. *Technometrics*, 27, 251-261.
- LAFLAMME D., 1995. Qualité des eaux du bassin de la rivière Saint-Maurice, 1979 à 1992. Mémoire déposé au ministère de l'Environnement et de la Faune, province du Québec, Montréal, 87 p + annexes.
- LIGON F.K., DIETRICH W.E., TRUCH W.J., 1995. Downstream ecological effects of dams. *Bioscience*, 45, 183-192
- LINS H.F., 1985. Interannual streamflow variability in the United States based on principal components. *Water Resour. Res.*, 21, 691-701.
- LOIZEAU J.L., DOMINIK J., 2000. Evolution of the Upper Rhone River discharge and

- suspended sediment load during the last 80 years and some implications for lake Geneva. *Aquat. Sci.*, 62, 54-67.
- LUBES H., MASSON J.M., 1991. Méthode des moments de probabilité pondérés. Application à la loi de Jenkinson. *Hydrol. Continent.*, 6, 67-84.
- LUBÈS-NIEL H., MASSON J.M., PATUREL J.E., SERVAT E., 1998. Variabilité climatique et statistiques. Étude par simulation de la puissance et de la robustesse de quelques tests utilisés pour vérifier l'homogénéité de chroniques. *Rev. Sci. Eau*, 3, 383-408.
- MAHESHWARI B.L., WALKER K.F., McMAHON T.A., 1995. Effects of regulation on the flow regime of the River Murray, Australia. *Regul. Rivers: Res. Mgmt.*, 10, 15-38.
- OUARDA T.B.M.J., RASMUSSEN P.F., CANTIN J.-F., BOBÉE B., LAURENCE R., HOANG V.D., BARABÉ G., 1999. Identification d'un réseau hydrométrique pour le suivi des modifications climatiques dans la province de Québec. *Rev. Sci. Eau*, 12, 425-448.
- PATOIN A., BLAIS A.-M., FORGET M.-H., LAMONTAGNE S., MARTY J., 1999. Respecter la variabilité naturelle pour une gestion durable des ressources aquatiques. Mémoire remis au Bureau des audiences publiques sur l'environnement dans le cadre des audiences publiques sur la Gestion de l'eau au Québec, Montréal, 16 p + annexes.
- PETTITT A.N., 1979. A non-parametric approach to change-point problem. *Appl. statist.*, 28, 126-135.
- PETTS G., 1979. Complex response of river channel morphology subsequent to reservoir construction. *Progr. Phys. Geogr.*, 3, 329-362.
- PETTS G., 1984. Impounded rivers. Perspective for ecological management. John Wiley and Sons, Chichester, UK, 326 p.
- POWER M.E., DIETRICH W.E., FINLAY J.C., 1996. Dams and downstream aquatic biodiversity: potential food web consequences of hydrologic and geomorphic change. *Environmental Management*, 20, 887-895.
- PROBST J.L., TARDY Y., 1987. Long range streamflow and world continental runoff fluctuations since the beginning of this century. *J. hydrol.*, 94, 289-311.
- SNEYERS R., 1975. Sur l'analyse statistique des séries d'observations. WMO, Genève, *Techn. Note*, 143, 192 p.
- TYSON P.D., DYER T.G.J., MAMETSE M.N., 1975. Secular changes in South african rainfall: 1880 to 1972. *Quart. J. R. Met. Soc.*, 101, 817-833.
- VIVIAN H., 1994. L'hydrologie artificialisée de l'Isère en amont de Grenoble. Essai de quantification des impacts des aménagements. *Rev. Géogr. Alpine*, 2, 97-112.
- WEINGARTNER R., ASCHWANDEN H., 1994. Quantification des débits des cours d'eau des Alpes suisses et des influences anthropiques qui les affectent. *Rev. Géogr. Alpine*, 2, 45-58.
- WOOTON J.T., PARKER M.S., POWER M.E., 1996. Effects of disturbance on River food webs. *Science*, 273, 1558-1561.