



Société d'énergie de la Baie James
Direction Ingénierie et Environnement

**Suivi de la qualité de l'eau des milieux affectés par
l'aménagement du complexe hydroélectrique
La Grande, Phase II (1986-1996)**

Secteurs La Grande-2-A et La Grande-1

Rapport synthèse



SEBJ
ENVI
96
424

Entraco
Conseillers en environnement et
en aménagement du territoire

16-Lévesque Ouest

bec
w7
1-800
(14) 954-8818

Montréal, décembre 1996
P33542

Office of Environmental
Quality

1000 North
17th Street
Denver, CO 80202

Phone: 303-861-3000

Fax: 303-861-3001

1000 North
17th Street
Denver, CO 80202
Phone: 303-861-3000
Fax: 303-861-3001

1000 North 17th Street
Denver, CO 80202



Société d'énergie de la Baie James
Direction Ingénierie et Environnement

SEBJ
ENVI
96
424

**Suivi de la qualité de l'eau des milieux affectés par
l'aménagement du complexe hydroélectrique
La Grande, Phase II (1986-1996)**

Secteurs La Grande-2-A et La Grande-1

Rapport synthèse

**Centre de documentation
Vice-présidence Environnement
HYDRO-QUÉBEC
75, boul. René-Lévesque ouest
Mezzanine est
Montréal, Québec H2Z 1A4**

Montréal, décembre 1996
P33542

ÉQUIPE DE RÉALISATION

Société d'énergie de la Baie James

Chef de service Écologie
Chargé de projet
Données hydrauliques

Michel Julien
Jean-Jacques Fournier
Thach Tran Van

Groupe-conseil Entraco inc.

Directeur de projet
Chargé de projet
Analyse et traitement de données, biologiste
Traitement de textes
Infographie

André Tessier
Dominique Roy
Dominique Roy
Jackie Cyr
Claude Desjardins

Hydro-Québec

Banque de données

Benoit Goulet

RÉSUMÉ

Dans le cadre de la phase II de l'aménagement du complexe hydroélectrique La Grande, la Société d'énergie de la Baie James (SEBJ) a reçu le mandat de construire deux centrales en aval du réservoir La Grande 2 : La Grande-2-A et La Grande-1.

Avec ses six turbines, la centrale La Grande-2-A augmente la puissance de la centrale La Grande-2 de près de 2 000 MW. Ces centrales sont situées à environ un kilomètre l'une de l'autre. L'addition de La Grande-2-A apporte une légère augmentation du marnage moyen annuel du réservoir ; les variations de niveau demeurent toutefois à l'intérieur des limites prévues antérieurement pour ce réservoir. Le suréquipement à ce site entraîne un plus grand débit turbiné en hiver dans la rivière et un peu moins pendant le reste de l'année.

Les travaux de la centrale La Grande-1, commencés en 1979, ont repris en phase II pour se terminer en 1994. Cette centrale est opérée au fil de l'eau, le réservoir servant surtout à maintenir le niveau en amont de la centrale. Le débit journalier turbiné est sensiblement le même qu'à la sortie de La Grande 2. Il peut se produire des faibles variations de débit dues à la production de pointes horaires d'énergie qui seront alors responsables de marnages d'au plus 1,5 mètre.

Les autorisations du ministère de l'Environnement du Québec (maintenant de l'Environnement et de la Faune) sont assorties de l'obligation d'effectuer un suivi environnemental de ces projets. Le présent rapport donne les grandes lignes de l'évolution de la qualité de l'eau qui a été observée dans les réservoirs et dans La Grande Rivière avant, pendant et après la construction de ces deux centrales.

Les eaux du réservoir La Grande 2 ont suivi l'évolution amorcée dans la phase I. Depuis 1984, la plupart des paramètres mesurés dans la couche superficielle des eaux près de l'exutoire du réservoir sont comparables à ceux mesurés dans La Grande Rivière avant l'aménagement hydroélectrique.

La qualité de l'eau le long de ce parcours est très largement tributaire des débits turbinés au site de La Grande-2 ; moins de 2 % du débit à l'embouchure de la rivière provient du bassin résiduel aval. Les températures moyennes et maximales demeurent inférieures de quelques degrés à celles qui avaient été mesurées avant 1979 car les eaux turbinées proviennent en partie d'une tranche d'eau se situant au niveau de la thermocline dans le réservoir La Grande 2. L'augmentation et les variations journalières ou saisonnières de débit ont provoqué localement de l'érosion le long des rives. Ce phénomène a causé des hausses de turbidité et augmenté légèrement, sauf en 1987, les teneurs des paramètres qui lui sont reliés.

Les eaux du réservoir La Grande 1 et de La Grande Rivière n'ont pas subi de changements mesurables de la qualité de l'eau depuis 1993 puisque ce réservoir n'a que 70 km² de superficie et que le débit de la rivière est très élevé. Le court temps de séjour qui s'ensuit ne permet pas aux substances relâchées suite à la mise en eaux d'atteindre, sauf localement et temporairement, des différences de concentration supérieures aux limites de détection des paramètres.

Compte tenu de cette observation, le suivi environnemental pourrait à l'avenir être effectué à tous les quatre ans et l'échantillonnage en 1998, prévu au plan directeur du suivi, ne serait plus requis.

Mots clés : La Grande-2-A, La Grande 2, La Grande-1, La Grande Rivière, réservoirs, qualité de l'eau.

SUMMARY

In the context of Phase II of the development of the La Grande hydroelectric complex, the Société d'énergie de la Baie James (SEBJ) was given the mandate to build two new generating stations downstream from the La Grande 2 reservoir: La Grande-2-A and La Grande-1.

With its six turbines, the La Grande-2-A generating station increases the installed capacity of the La Grande-2 generating station by nearly 2 000 MW. These stations are located approximately one kilometre apart. The addition of the La Grande-2-A station has led to a slight increase in the average annual drawdown range of the reservoir, but variations in the water level are still within the previously anticipated limits for this reservoir. The additional capacity at this site has led to a greater turbine flow in the river during the winter and a slightly smaller flow during the summer.

Work on the La Grande-1 generating station, which began in 1979, was resumed during Phase II and completed in 1994. This station is a run-of-the-river station, with the reservoir serving primarily to maintain water levels upstream from the station. The daily turbine flow is virtually the same as that at the outlet of La Grande 2. Small fluctuations in flow can occur owing to production during peak hours, which can cause maximum drawdowns of 1.5 metres.

The authorizations issued by the ministère de l'Environnement du Québec (now the ministère de l'Environnement et de la Faune) go hand in hand with the obligation to monitor the environmental impact of these projects. This report summarizes the main changes observed in the quality of the water in the reservoirs and La Grande Rivière before, during and after the construction of these two generating stations.

The pattern of changes first observed in the waters of the La Grande 2 reservoir during Phase I has continued. Since 1984, most of the parameters measured in the surface waters near the reservoir outlet have been comparable to those measured in the La Grande Rivière prior to the hydroelectric development.

The quality of the water in this river depends largely on the turbine flow at the La Grande-2 site. Less than 2% of the flow at the river mouth comes from the residual basin downstream. Average and maximum temperatures remain a few degrees lower than those recorded prior to 1979, since the water passed through the turbines comes partly from a section of the river located at the level of the thermocline in the La Grande-2 reservoir. The daily and seasonal increases and variations in flow have caused localized erosion along the riverbanks. This phenomenon has in turn led to increased turbidity and, with the exception of 1987, to slightly higher concentrations of the related parameters.

The quality of the water in the La Grande-1 reservoir and the La Grande Rivière has not undergone any measurable change since 1993, mainly because this reservoir is only 70 km² in area and the river flow is very high. The resulting short residence time does not allow the substances released following impoundment to reach, other than in localized areas and on a temporary basis, concentrations in excess of the limits for detecting the parameters.

In light of this observation, environmental monitoring could be carried out every four years in the future, and the sampling program slated to take place in 1998 according to the master monitoring plan may no longer be required.

Key words: La Grande-2-A, La Grande 2, La Grande-1, La Grande Rivière, reservoirs, quality of water

TABLE DES MATIÈRES

ÉQUIPE DE RÉALISATION	i
RÉSUMÉ	ii
SUMMARY	iii
1.0 INTRODUCTION	1
1.1 HISTORIQUE	1
1.2 OBJECTIFS DU RÉSEAU DE SUIVI ENVIRONNEMENTAL	3
2.0 PRINCIPALES MODIFICATIONS PHYSIQUES	5
2.1 SOMMAIRE DES TRAVAUX D'INGÉNIERIE DU COMPLEXE LA GRANDE	5
2.2 PROJETS DE LA PHASE II DANS LE SECTEUR OUEST DU COMPLEXE LA GRANDE	5
2.2.1 La Grande-2-A	7
2.2.2 La Grande-1	7
2.3 MODIFICATIONS HYDRAULIQUES	8
2.3.1 Réservoir La Grande 2	8
2.3.2 La Grande Rivière	9
2.3.3 Réservoir La Grande 1	9
3.0 MATÉRIEL ET MÉTHODES	13
3.1 STATIONS	13
3.2 FRÉQUENCE DE L'ÉCHANTILLONNAGE DE L'EAU	13
3.3 MÉTHODOLOGIE DU SUIVI DE LA QUALITÉ DE L'EAU	14
4.0 RÉSULTATS	17
4.1 RÉSERVOIR LA GRANDE 2 (1984-1996)	17
4.2 AVAL DE LA GRANDE RIVIÈRE (1984-1996)	23
4.3 RÉSERVOIR LA GRANDE 1 (1994-1996)	29
5.0 DISCUSSION	31
5.1 FACTEURS DÉTERMINANTS	31
5.2 COMPARAISON AVEC LES PRÉVISIONS DES RAPPORTS D'IMPACT	32
5.3 ÉVOLUTION À LONG TERME	32
6.0 CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS	34
6.1 CONCLUSIONS	34
6.2 RECOMMANDATIONS	34
BIBLIOGRAPHIE	35

LISTE DES FIGURES

Figure 1.	Emplacement des stations visitées entre 1984 et 1996 dans les secteurs La Grande-2-A et La Grande-1 pour le suivi de la qualité de l'eau	2
Figure 2.	Moyennes mensuelles du niveau du réservoir La Grande 2 depuis sa mise en eau en novembre 1978 jusqu'au mois de septembre 1996	10
Figure 3.	Moyennes mensuelles des débits mesurés au site de La Grande-2	10
Figure 4.	Variations mensuelles moyennes du niveau du réservoir La Grande 1	11
Figure 5.	Évolution de la température moyenne estivale, de la turbidité, de la couleur réelle mesurées dans les 10 premiers mètres de profondeur ainsi que de la transparence de l'eau aux stations LG 2 amont (G2 400), LG 1 amont (G1 300) et Fort-George (FG 400)	18
Figure 6.	Évolution du pH, de la conductivité, du pourcentage en oxygène dissous et du phosphore total mesurés dans les 10 premiers mètres aux stations LG 2 amont (G2 400), LG 1 amont (G1 300) et Fort-George (FG 400)	20
Figure 7.	Évolution des concentrations des bicarbonates, du carbone inorganique total et du carbone total et de la silice mesurées dans les 10 premiers mètres aux stations LG 2 amont (G2 400), LG 1 amont (G1 300) et Fort-George (FG 400)	21
Figure 8.	Évolution des concentrations du calcium, du magnésium, du sodium et du potassium mesurées dans les 10 premiers mètres aux stations LG 2 amont (G2 400), LG 1 amont (G1 300) et Fort-George (FG 400)	22
Figure 9.	Évolution des concentrations des sulfates, de l'azote Kjeldahl total, de la chlorophylle a et des phéopigments mesurées dans les 10 premiers mètres aux stations LG 2 amont (G2 400), LG 1 amont (G1 300) et Fort-George (FG 400)	24
Figure 10.	Évolution de la température moyenne estivale, de la turbidité, de la couleur réelle et de la transparence le long de La Grande Rivière avant la mise en eau du réservoir La Grande 2 (1978), avant (1984-1992) et après la mise en eau du réservoir La Grande 1 (1994-1996)	26
Figure 11.	Évolution du pH, de la conductivité, de la saturation en oxygène dissous et du phosphore total le long de La Grande Rivière avant la mise en eau du réservoir La Grande 2 (1978), avant (1984-1992) et après la mise en eau du réservoir La Grande 1 (1994-1996)	27
Figure 12.	Évolution de la concentration des eaux en bicarbonates, de l'azote Kjeldahl total, de la chlorophylle a et des phéopigments mesurés le long de La Grande Rivière avant la mise en eau du réservoir La Grande 2 (1978), avant (1984-1992) et après la mise en eau du réservoir La Grande 1 (1994-1996)	28

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1.	Principales caractéristiques des centrales du Complexe La Grande	6
Tableau 2.	Principales caractéristiques des réservoirs du Complexe La Grande	6
Tableau 3.	Fréquence d'échantillonnage de l'eau	14
Tableau 4.	Nature et limites de détection des paramètres physico-chimiques de l'eau analysés du réservoir La Grande 2 jusqu'à l'embouchure de La Grande Rivière.	15

LISTE DES ANNEXES

ANNEXE 1.	Moyennes des paramètres physico-chimiques mesurés en été dans les 10 premiers mètres de la colonne d'eau à la station LG 2 amont (G2 400)
ANNEXE 2.	Moyennes des paramètres physico-chimiques mesurés en été dans les 10 premiers mètres de la colonne d'eau à la station LG 1 amont (G1 300)
ANNEXE 3.	Moyennes des paramètres physico-chimiques mesurés en été dans les 10 premiers mètres de la colonne d'eau à la station Fort-George (FG 400)
ANNEXE 4.	Moyennes des paramètres physico-chimiques mesurés en été dans les 10 premiers mètres de la colonne d'eau aux stations LG 2 aval (G1 110), Laperle (G1 070) et LG1 aval (G1 034)
ANNEXE 5.	Moyennes des paramètres physico-chimiques mesurés en hiver dans les 10 premiers mètres de la colonne d'eau à la station LG 2 amont (G2 400)
ANNEXE 6.	Moyennes des paramètres physico-chimiques mesurés en hiver dans les 10 premiers mètres de la colonne d'eau à la station LG 1 amont (G1 300)
ANNEXE 7.	Moyennes des paramètres physico-chimiques mesurés en hiver dans les 10 premiers mètres de la colonne d'eau à la station Fort-George (FG 400)
ANNEXE 8.	Moyennes des paramètres physico-chimiques mesurés en hiver dans les 10 premiers mètres de la colonne d'eau aux stations LG 2 aval (G1 110), Laperle (G1 070) et LG1 aval (G1 034)

1.0 INTRODUCTION

1.1 HISTORIQUE

La phase I du Complexe La Grande comprenait la construction de trois centrales (La Grande-2, La Grande-3 et La Grande-4) et de deux dérivations (Eastmain-Opinaca et Caniapiscau) qui ont permis de doubler le débit initial de La Grande Rivière (figure 1).

La phase II ajoute les centrales La Grande-2-A, La Grande-1, Brisay, Laforge-1 et Laforge-2. Le projet Eastmain-1 a obtenu toutes les autorisations gouvernementales requises mais a été retardé à cause d'un surplus temporaire de production d'électricité.

Le juge Malouf avait accordé une injonction aux Autochtones de la Baie James en invoquant un niveau de connaissance incomplet et inadéquat du territoire de la Baie James par le promoteur (Malouf et Gagnon, 1973). Lors des négociations menées avec les Autochtones (Cris et Inuit) par Hydro-Québec, la Société de développement de la Baie James et les gouvernements provincial et fédéral, la Société d'énergie de la Baie James (SEBJ) s'était engagée à acquérir les informations manquantes et pertinentes. Elle a aussi promis d'assurer un suivi des modifications qui résulteraient de la construction et de l'exploitation des ouvrages du complexe hydroélectrique. Le lecteur trouvera une partie des engagements de la SEBJ dans la Convention de la Baie James et du Nord québécois (Anonyme, 1976) ainsi que dans la Convention du Nord-est québécois (Anonyme, 1978).

Dès 1975, une équipe de la division Écologie de la SEBJ fut mise sur pied pour définir les grandes lignes d'un réseau de collecte et d'analyse des principaux paramètres physico-chimiques et biologiques des milieux aquatiques de l'ensemble du Complexe La Grande. Par la suite, en 1976, des experts provenant de l'extérieur du Québec et du Canada, des chercheurs de cinq universités québécoises, des consultants et du personnel oeuvrant sur le territoire de la Baie James ont discuté et approuvé les grandes lignes de ce réseau. Bachand et Fournier (1977) ont défini les modalités du réseau auquel on ajouta une simulation par modèles mathématiques (Thérien, 1985). Un comité consultatif groupant quelques participants de cet atelier eut la responsabilité de suivre les progrès de ce réseau et a recommandé et approuvé les changements de méthodes qui s'étaient avérées nécessaires. Enfin, l'étude du réservoir Desaulniers d'une superficie de 8 km² a permis de 1976 à 1978 de faire des essais méthodologiques sur le terrain.

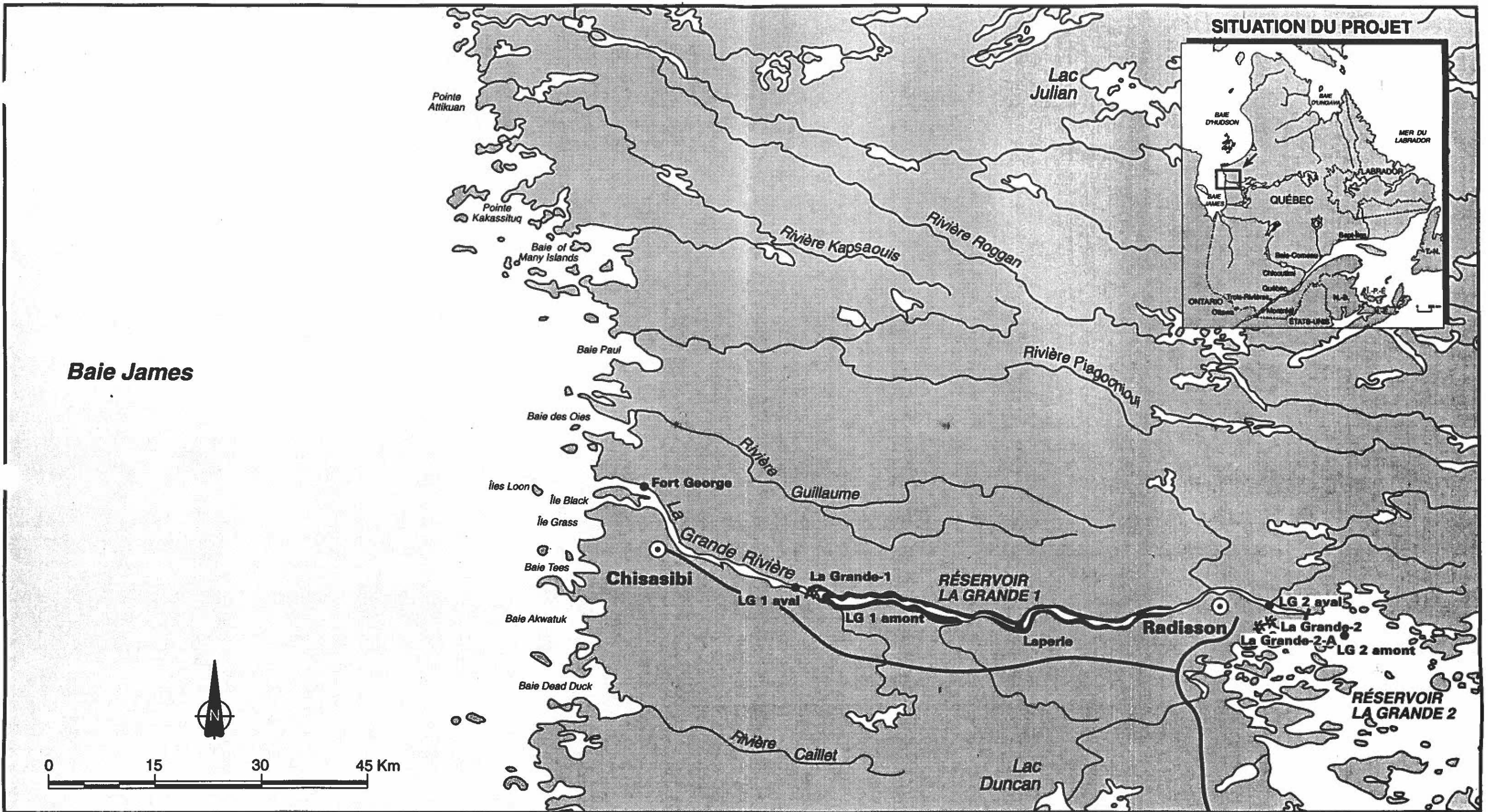


FIGURE 1 : Emplacement des stations visitées entre 1984 et 1996 dans les secteurs La Grande-2-A et La Grande-1 pour le suivi de la qualité de l'eau.

Légende : * Centrale ● Station d'échantillonnage
 / Barrage

Deux rapport synthèses (Roy et *al.*, 1986 ; SEBJ, 1987b) et 6 rapports sectoriels (Schetagne et Roy, 1985; Roy, 1985 ; Boudreault et Roy, 1985 ; Boucher et Roy, 1985 ; Thérien, 1985 ; Messier et *al.*, 1985) ont fait ressortir les principales informations tirées des huit premières années d'exploitation de ce réseau. La responsabilité de continuer le suivi de la phase I fut confiée en 1986 à la vice-présidence Environnement d'Hydro-Québec pour les projets de la phase I. La SEBJ continue d'être responsable du suivi des centrales et des réservoirs de la phase II jusqu'à la remise de ces ouvrages à la société-mère.

Après une analyse de la pertinence des prélèvements recueillis pendant la période de 1977 à 1985, il a été recommandé à Hydro-Québec de concentrer les efforts sur les paramètres physico-chimiques de la qualité de l'eau les plus sensibles aux modifications de l'environnement apportées par les projets, sur les communautés de poissons et sur le contenu en mercure des chairs des poissons. La même approche fut retenue par la SEBJ pour la phase II en tenant compte des modifications apportées par Hydro-Québec dans le but d'harmoniser les deux réseaux de suivi.

1.2 OBJECTIFS DU RÉSEAU DE SUIVI ENVIRONNEMENTAL

Les objectifs poursuivis par le réseau de suivi environnemental de la phase II sont demeurés sensiblement les mêmes que ceux de la phase I (alors appelé réseau de surveillance écologique) soit :

1. Évaluer par une approche scientifique reconnue, les changements physiques, chimiques et biologiques des réservoirs ;
2. Utiliser ces informations en vue de rationaliser les aménagements correctifs et la gestion des réservoirs ;
3. Profiter de cette expérience pour améliorer les méthodes de prédiction d'impacts pour les projets futurs.

La SEBJ s'était également imposé des objectifs qui dépassaient un simple suivi environnemental car elle désirait connaître les changements susceptibles d'affecter les ressources fauniques liées à la pratique des activités traditionnelles par les populations résidentes du territoire.

Le réseau de suivi environnemental touche prioritairement le domaine aquatique. Ce n'est qu'un des programmes du suivi environnemental que la SEBJ a mis sur pied pendant les phases I et

II. La présente synthèse des résultats du suivi de la qualité de l'eau de la phase II du Complexe La Grande ne traite que de la région ouest du Complexe La Grande, entre le réservoir La Grande-2-A et l'embouchure de La Grande Rivière. Ce rapport est accompagné d'un autre qui résume la dynamique des poissons et le contenu en mercure dans les chairs des poissons en aval de La Grande-2 et le long de la côte de la baie James.

2.0 PRINCIPALES MODIFICATIONS PHYSIQUES

Les travaux requis par les aménagements hydroélectriques apportent des changements majeurs à l'environnement. Ces changements peuvent être temporaires comme pendant la phase de construction (sites de travaux, campements d'exploration, etc.) ou permanents pendant la période d'exploitation (centrales, réservoirs, dérivations de cours d'eau, etc.).

2.1 SOMMAIRE DES TRAVAUX D'INGÉNIERIE DU COMPLEXE LA GRANDE

La phase I du Complexe La Grande a vu la construction de trois centrales hydroélectriques (SEBJ, 1987a). Ce furent dans l'ordre chronologique les centrales La Grande-2, La Grande-3 et La Grande-4. À chacune de ces centrales sont annexés les réservoirs du même nom. Le débit réduit de La Grande Rivière pendant le remplissage du réservoir La Grande 2 en 1978 et 1979 a permis la construction des batardeaux amont et aval de la future centrale La Grande-1 et la dérivation provisoire de la rivière. Afin d'augmenter la capacité des trois centrales de la phase I, la dérivation de 90 % du débit de la rivière Eastmain et de 40 % du débit de la rivière Caniapiscau a doublé le module de La Grande Rivière à l'embouchure, celui-ci passant alors de 1 710 à 3 400 m³/s (SEBJ, 1996). Les tableaux 1 et 2 présentent les caractéristiques techniques de ces aménagements.

Par la suite, la SEBJ a ajouté cinq centrales en phase II : les centrales Brisay, Laforge-2 et Laforge-1 dans l'est du territoire du Complexe La Grande et celles de La Grande-2-A et La Grande-1 dans l'ouest. La synthèse du suivi environnemental des trois premières centrales a fait l'objet d'un rapport distinct (Entraco Inc., 1995).

2.2 PROJETS DE LA PHASE II DANS LE SECTEUR OUEST DU COMPLEXE LA GRANDE

Le présent rapport traite spécifiquement du suivi des deux centrales, La Grande-2-A et La Grande-1, qui furent ajoutées entre le réservoir La Grande 2 et l'embouchure de La Grande Rivière (figure 1). Les conditions prévalant avant la phase II sont présentées à titre de conditions antérieures aux projets La Grande-2-A et La Grande-1, le but premier étant de couvrir la période de 1986 à 1996.

Tableau 1. Principales caractéristiques des centrales du Complexe La Grande

Centrales	Nombre de groupes	Puissance (MW)	Énergie ann. (TWh)	Débit moyen (m ³ /s)	Débit max. (m ³ /s)	Hauteur de chute (m)	Mise en service
La Grande-1	12	1 368	7,5	3 400	5 950	27,5	1994-1995
La Grande-2	16	5 328	35,2	3 370	4 300	137,2	1979-1981
La Grande-2-A	6	1 998	*	*	1 620	137,2	1991-1992
La Grande-3	12	2 304	12,6	2 050	3 260	79,2	1982-1984
La Grande-4	9	2 650	14,6	1 505	2 520	116,7	1984-1985
Laforge-1	6	840	4,5	965	1 610	57,3	1993-1994
Laforge-2	2	310	1,8	825	1 200	27,4	1996
Brisay	2	446	2,3	795	1 130	37,5	1993
Eastmain-1 ⁽¹⁾	3	480	2,7	565	840	63,0	-
Total	68	15 724	81,2	-	-	-	-

* L'énergie annuelle garantie et le débit moyen n'augmentent pas avec le suréquipement de La Grande-2.

(1) Non construite.

Tableau 2. Principales caractéristiques des réservoirs du Complexe La Grande

Réservoirs	Superficie (km ²)	Niveau max. (m)	Niveau min. (m)	Marnage max. (m)	Réserve utile (Mm ³)	Mise en eau (année)
La Grande-1	70	32,0	30,5	1,5	98	1993
La Grande-2	2 835	175,3	167,6	7,7	19 365	1978
La Grande-3	2 420	256,0	243,8	12,0	25 200	1981
La Grande-4	765	377,0	366,0	11,0	7 160	1983
Retenue Vincelotte	350	431,0	427,0	4,0	-	1983
Laforge-1 (incluant la retenue Vincelotte)	1 288	439,0	431,0	8,0	6 857	1993
Bassin Fontanges	260	481,1	479,6	1,5	390	1981
Caniapiscau	4 275	535,5	522,6	12,9	39 070	1981
Opinaca	1 040	215,8	211,8	4,0	3 395	1979
Eastmain-1	603	283,0	274,0	9,0	(*)	(*)

(*) Non mis en eau.

2.2.1 La Grande-2-A

La centrale La Grande-2-A permet d'ajouter à la centrale La Grande-2 une puissance supplémentaire, jouant ainsi le rôle d'un suréquipement à la sortie du réservoir La Grande 2. Elle est située à environ un kilomètre de la centrale La Grande-2 et son canal de fuite arrive légèrement en aval de cette centrale dans La Grande Rivière (SEBJ, 1996). La centrale La Grande-2-A s'alimente à même le réservoir La Grande 2 et son exploitation ne modifie pas substantiellement les variations de niveau prévues antérieurement. La hauteur de chute maximale est de 137,2 m. Son débit moyen à long terme est de 1 620 m³/s (tableau 1) pour un débit combiné maximum des deux centrales de 5 920 m³/s.

La centrale de La Grande-2-A est équipée de 6 groupes électrogènes de type Francis qui s'ajoutent aux 16 autres de La Grande-2 ; la puissance ajoutée est de 1 998 MW pour un total de 7 326 MW à la sortie du réservoir La Grande 2. L'énergie annuelle demeure à 35,2 TWh car le débit moyen annuel à la sortie du réservoir et la hauteur de chute nominale des centrales ne changent pas de façon substantielle. Les travaux de construction de la centrale La Grande-2-A ont débuté en 1987 et se sont poursuivis jusqu'à la mise en service de la dernière turbine en 1992.

2.2.2 La Grande-1

La Grande-1, la centrale la plus en aval du complexe hydroélectrique La Grande, est implantée au site du premier rapide de La Grande Rivière, à 37 km de son embouchure. En plus des eaux du bassin original de La Grande Rivière, elle reçoit les eaux d'un bassin de 37 660 km² provenant de la rivière Caniapiscaw, de 39 940 km² soustrait de l'Eastmain et de 1 710 km² emprunté à celui de la Grande rivière de la Baleine pour un grand total de 176 610 km². Le débit équipé est de 5 950 m³/s quoique le module de la rivière ne soit que de 3 400 m³/s. Cette centrale de type au fil de l'eau est équipée de 12 turbines de type Hélice développant une puissance totale de 1 368 MW sous une chute nominale de 27,5 m. L'énergie annuelle garantie est de 7,5 TWh.

En phase I, on avait profité de la réduction du débit de La Grande Rivière lors du remplissage du réservoir La Grande 2 pour construire les batardeaux amont et aval de la centrale La Grande-1 ainsi que pour effectuer la dérivation provisoire de la rivière à ce site. Les travaux ont repris en 1989 pour se terminer à la mise en service du dernier groupe électrogène en 1995.

Le réservoir La Grande 1 a la plus faible dimension (70 km²), la plus petite réserve utile (98 Mm³) et le plus petit marnage maximal (1,5 m) de tout le Complexe. Le débit moyen annuel de La Grande Rivière et le débit d'équipement de La Grande-1 confèrent à ce plan d'eau des caractéristiques fluviales avec un temps de séjour moyen des eaux souvent égal ou inférieur à quelques jours pour l'ensemble du réservoir ; ces conditions sont plus accentuées près de La Grande-2 et de La Grande-2-A où les profondeurs sont faibles.

2.3 MODIFICATIONS HYDRAULIQUES

La qualité de l'eau, la libération du mercure liée à la matière organique et la dynamique des populations de poissons dans les réservoirs sont grandement influencées par les caractéristiques physiques du milieu aquatique ; la synthèse du suivi environnemental de la phase I (Roy et al., 1986) et celui de l'est de la phase II du Complexe (Roy, 1995) l'ont démontré. Il faut donc connaître les dimensions des plans d'eau et les variations du niveau, du débit des affluents et des effluents observées pendant la période du suivi pour comprendre l'évolution du milieu.

2.3.1 Réservoir La Grande 2

Le remplissage du réservoir La Grande 2 a débuté officiellement le 27 novembre 1978. Le niveau maximal a presque été atteint au milieu de décembre 1979 (174,78 m). Depuis ce temps, les niveaux ont varié en fonction de la demande énergétique et des disponibilités découlant des apports des dérivations et du remplissage des réservoirs La Grande 3, La Grande 4 et Laforge 1 (figure 2). Le niveau minimum d'exploitation du réservoir (167,6 m) n'a été atteint qu'en 1982, au début du mois de mai, au moment où les apports provenant du détournement Eastmain-Opinaca-La Grande étaient insuffisants pour compenser la coupure de débit de La Grande Rivière pendant le remplissage du réservoir La Grande 3.

Depuis la mise en service de La Grande-2-A en 1991-92, on note une légère augmentation des marnages annuels du réservoir et du débit à la sortie des centrales dues à une utilisation plus intense des réserves en hiver.

Une superficie de 155 km², soit 5,5 % de la surface du réservoir, peut être exondée lorsque le niveau minimum d'exploitation est atteint (comme en 1982). Pendant la plupart des autres années, ce ne sont qu'environ 60 km² qui sont affectés entre le maximum d'hiver et le minimum du printemps soit environ 2 % de la surface du réservoir La Grande 2.

2.3.2 La Grande Rivière

Les mesures de débit enregistrées (1960 et 1978) et les estimations basées sur les précipitations (1950-1959) ont permis d'établir à 1 710 m³/s le module de La Grande Rivière en conditions naturelles. En général, la rivière avait un débit d'étiage d'environ 500 m³/s en hiver, une crue printanière de 4 200 m³/s, un étiage d'été de 1 700 m³/s de juillet à novembre et une crue automnale de 2 870 m³/s. Ces conditions étaient toutefois très variables. Ainsi, pendant la période d'observation, les crues printanières ont varié de 2 100 m³/s (1971) à 6 710 m³/s (1973). Les crues automnales pouvaient se produire entre les mois d'août et de novembre et leurs débits varier de 1 250 à 4 160 m³/s ; les débits d'automne ont même dépassé les crues printanières en 1971 et 1978 (figure 3).

La phase I du complexe a amené une coupure de débit complète au site de La Grande-2 entre la fin de novembre 1978 et la mi-juin 1979 ; le débit fut par la suite restitué graduellement jusqu'en décembre 1979. Les débits moyens annuels sont ensuite passés de 2 550 à 3 400 m³/s entre 1980 et 1984 grâce aux apports de la dérivation Eastmain-Opinaca-La Grande en 1980, au remplissage du réservoir La Grande 3 entre 1981 et 1984, au remplissage du réservoir La Grande 4 en 1983 et à la contribution de la dérivation Laforge en 1984. Les variations mensuelles saisonnières pendant cette période (982 à 3 743 m³/s) et entre 1985 et 1991 (1 689 à 4 219 m³/s) ont été causées par les demandes en énergie du réseau d'Hydro-Québec. Il faut remarquer que les débits maximums sont maintenant obtenus en hiver et les minimums en été.

La mise en service de La Grande-2-A entraîne une utilisation plus intense des réserves du réservoir La Grande 2 en hiver, jusqu'à 4 974 m³/s au mois de janvier 1994, et un débit journalier maximal de 5 820 m³/s, ce qui correspond à un débit de crue décennale avant 1978. Les débits minimums mensuels moyens demeurent toutefois comparables aux années précédentes (1 626 m³/s) car les pointes durent moins longtemps. La présence de La Grande-1 ne modifie pas le mode d'exploitation car cette centrale est au fil de l'eau.

2.3.3 Réservoir La Grande 1

Les niveaux naturels en amont de La Grande-1 ont été modifiés et maintenus plus élevés depuis la construction du batardeau amont de la future centrale en 1979. Les fluctuations saisonnières étaient dues aux variations de débit au site de La Grande-2 (figure 4).

Figure 2. Moyennes mensuelles du niveau du réservoir La Grande 2 depuis sa mise en eau en novembre 1978 jusqu'au mois de septembre 1996.

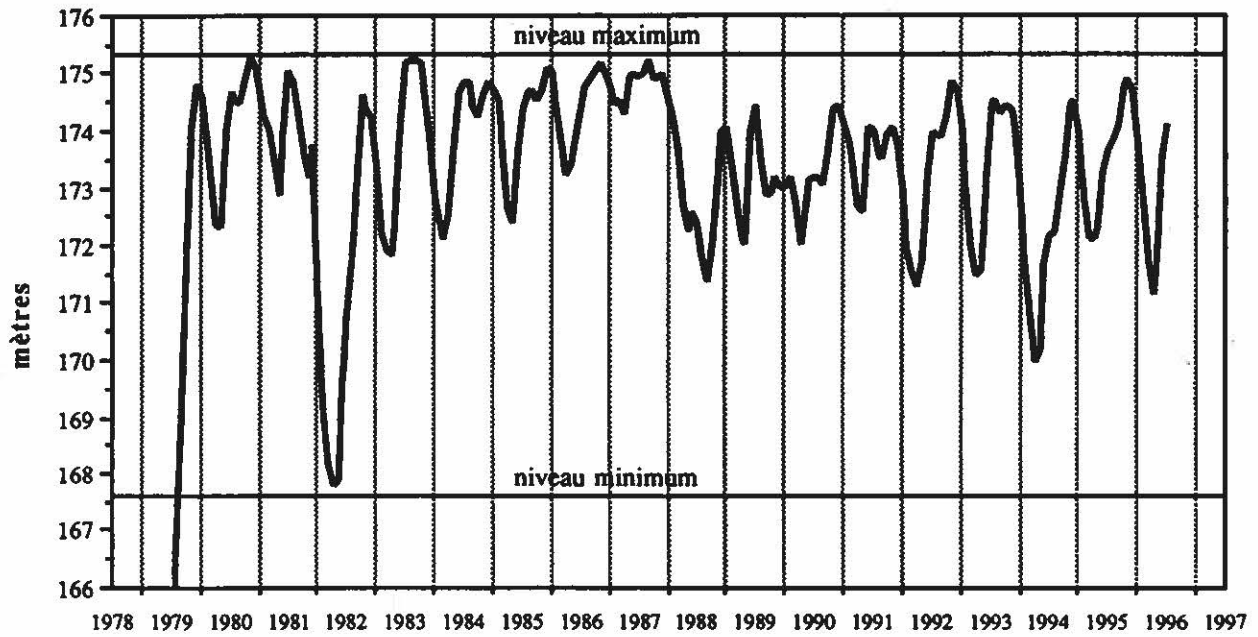


Figure 3. Moyennes mensuelles des débits mesurés au site de La Grande-2.

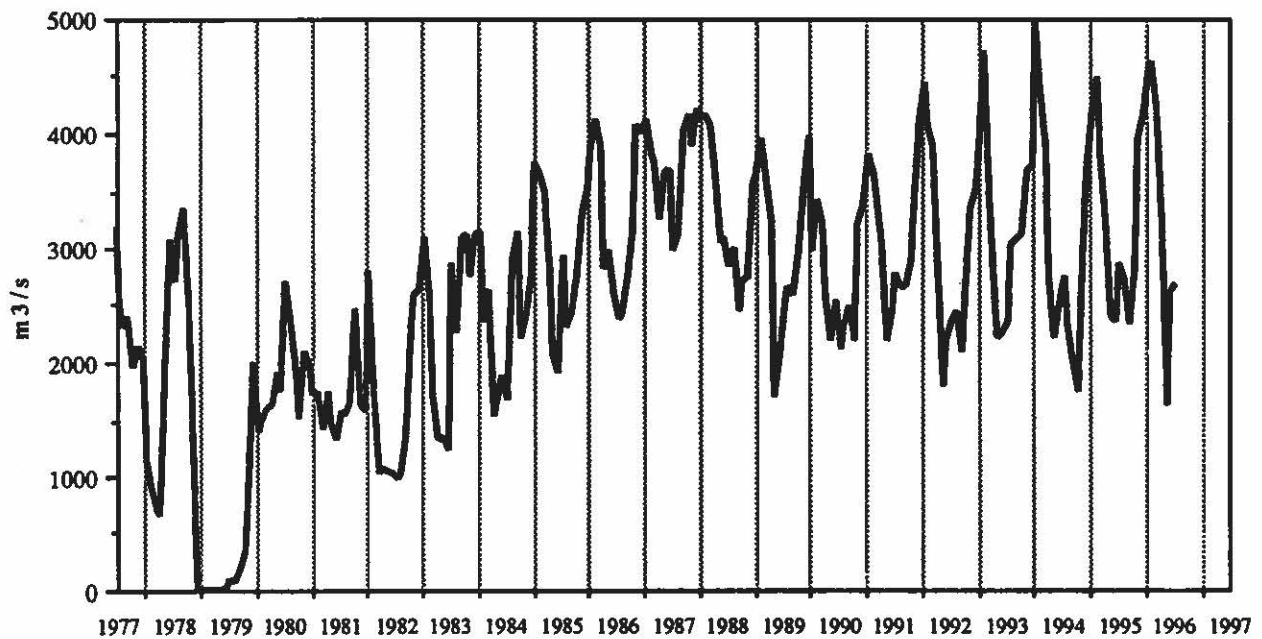
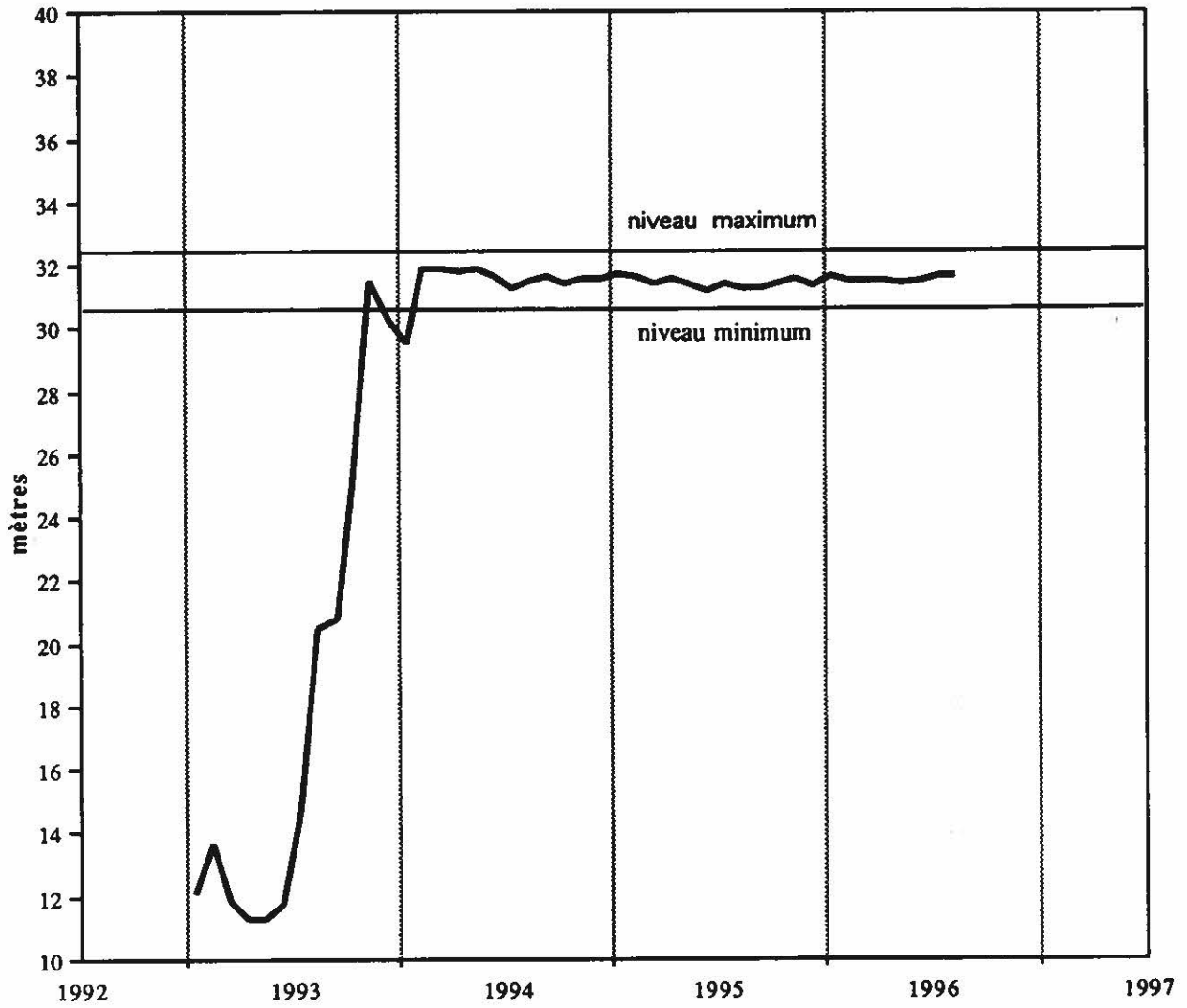


Figure 4. Variations mensuelles moyennes du niveau du réservoir La Grande 1.



La mise en eau du réservoir La Grande 1 aurait pu se faire en quelques jours mais on a procédé plus lentement pour ne pas trop solliciter l'érosion des berges sensibles. Le niveau maximum, atteint en novembre, fut abaissé de 2 m pendant quelques mois le premier hiver et maintenu par la suite au niveau d'opération prévu. Les pointes horaires ou journalières de production et les délais d'opération entre les centrales amont et aval sont responsables des faibles marnages de ce réservoir (figure 4).

3.0 MATÉRIEL ET MÉTHODES

3.1 STATIONS

Les stations d'échantillonnage de l'eau ont d'abord été distribuées le long du parcours des eaux entre la sortie du réservoir La Grande 2 et l'embouchure de La Grande Rivière soit LG 2 amont (G2 400), LG 1 amont (G1 300) et Fort-George (FG 400). Par la suite, trois stations furent ajoutées dans le réservoir La Grande 1 : LG 2 aval (G1 110) près de la sortie de la centrale La Grande-2, Laperle (G1 070) au centre du réservoir La Grande 1, et LG 1 aval (FG 034) à la sortie de la centrale (figure 1). L'emplacement de chacune de ces stations est identifié par des coordonnées dans la banque de données informatisées d'Hydro-Québec. Comme les paramètres de la qualité de l'eau du réservoir La Grande 2 avaient presque rejoint en 1984 et 1988 les valeurs mesurées en conditions naturelles, la station LG 2 amont servira de milieu témoin pour les stations influencées par la mise en eau du réservoir La Grande 1.

3.2 FRÉQUENCE DE L'ÉCHANTILLONNAGE DE L'EAU

La connaissance des milieux aquatiques acquise pendant les inventaires extensifs (1973-1978), pendant la phase I du réseau de surveillance (1977-1984) et pour les études requises pour l'aménagement de La Grande-2-A (SEBJ et HQ, 1985 ; SEBJ et HQ, 1986 ; SEBJ et HQ, 1987 ; Schetagne, R., 1989 ; SEBJ, 1990a ; SEBJ, 1990b ; Fréchette, 1991 ; SEBJ, 1993) ne nécessitait pas une étude préalable un an avant la mise en eau du réservoir La Grande 1. Les prélèvements pour la qualité de l'eau depuis 1978 ont été faits chaque année ou à tous les deux ans pendant la phase I du Complexe La Grande et suivant les besoins pendant la phase II (tableau 3).

Pendant la phase I, les paramètres de la qualité de l'eau étaient mesurés une ou plusieurs fois en hiver et deux fois par mois en période libre de glaces. À partir de 1988, la fréquence d'échantillonnage fut limitée à une fois à la fin de l'hiver et une fois par mois pendant la période dite estivale (Environnement Illimité inc., 1994 ; SEBJ, 1994a ; SEBJ, 1994b ; Environnement Illimité inc., 1996).

Tableau 3. Fréquence d'échantillonnage de l'eau

Stations	N°	Années											
		1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1988	1991	1992	1994	1996
LG 2 amont	G2 400	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
LG 2 aval	G1 110											+	+
Laperle	G1 070											+	+
LG 1 amont	G1 300	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
LG 1 aval	FG 034											+	+
Fort-Georges	FG 400	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

3.3 MÉTHODOLOGIE DU SUIVI DE LA QUALITÉ DE L'EAU

Une étude de la sensibilité des variables physico-chimiques mesurées pendant la phase I a permis de ramener le nombre de paramètres suivis aux plus informatifs (tableau 4). C'est ainsi que les anions majeurs (chlorures et sulfates), les cations (sodium, potassium, calcium, magnésium, manganèse, fer), certains éléments nutritifs (azote ammoniacal, nitrates-nitrites), les tanins et lignines ont été abandonnés pendant la phase II sauf en 1992. La turbidité n'a été retenue qu'aux stations susceptibles de subir des changements de transparence dus à l'érosion des rives ou du lit des cours d'eau, ce qui est le cas dans La Grande Rivière en aval de La Grande-2.

Les méthodes analytiques sont identiques à celles utilisées pendant la phase I sauf pour la mesure du carbone inorganique et de l'alcalinité. Avant de changer de méthodologie, les responsables se sont assurés que les deux méthodes donnaient des résultats similaires. Le lecteur qui désire des informations plus détaillées concernant les méthodologies en phase II consultera SOMER (1992).

À chacune des stations, on a effectué *in situ* la lecture de la température, de l'oxygène dissous, de la conductivité, du pH et parfois du potentiel d'oxydo-réduction. Ces mesures ont été faites de la surface jusqu'au fond au moyen d'un appareil à sondes multiples de type Hydrolab.

Tableau 4. Nature et limites de détection des paramètres physico-chimiques de l'eau analysés du réservoir La Grande 2 jusqu'à l'embouchure de La Grande Rivière.

Paramètres	Unités	Mesure <i>in situ</i>	Laboratoire de terrain	Laboratoire attitré	Limites de détection
Profondeur	m	+			0,1 m
Température	° C	+			0,1 ° C
Turbidité	UTN			+	0,1 UTN
Couleur réelle	UCV			+	1 UCV
Oxygène dissous	mg/l	+	+		0,1 mg/l
Saturation O ₂ dissous	%		+		
pH	unité	+	+		0,1 unité
Conductivité	µS/cm	+	+		0,1 µS/cm
Alcalinité	mg/l		+		0,1 mg/l
Bicarbonates	mg/l		+		0,1 mg/l
Azote Kjeldahl	mg/l			+	0,03 mg/l
Phosphore total	µg/l			+	2 µg/l
Carbone inorganique	mg/l		+	+	0,1 mg/l
Carbone organique	mg/l			+	0,5 mg/l
Calcium	mg/l			+	0,1 mg/l
Magnésium	mg/l			+	0,1 mg/l
Sodium	mg/l			+	0,1 mg/l
Potassium	mg/l			+	0,1 mg/l
Sulfates	mg/l			+	0,1 mg/l
Chlorures	mg/l			+	0,1 mg/l
Tanins	mg/l			+	0,01 mg/l
Silice	mg/l			+	0,05 mg/l
Chlorophylle a	µg/l			+	0,1 µg/l
Phéopigments	µg/l			+	0,1 µg/l

Un échantillon d'eau intégré provenant des dix premiers mètres (zone photique) à partir de la surface a permis d'analyser sur le terrain ou en laboratoire la température, le pH, l'oxygène dissous, la conductivité, l'alcalinité, les bicarbonates, l'azote ammoniacal, l'azote Kjeldahl total, le phosphore total, le carbone inorganique total, le carbone organique total, la silice réactive, la turbidité, la couleur réelle et les pigments chlorophylliens.

Enfin, un échantillon recueilli à un mètre du fond a permis de caractériser les zones profondes des réservoirs La Grande 2 et La Grande 1. Les paramètres analysés près du fond ont été la température, le pH, l'oxygène dissous, la conductivité, les bicarbonates, l'alcalinité, l'azote Kjeldahl total, le phosphore total, le carbone inorganique total et le carbone organique total et parfois le potentiel d'oxydo-réduction. Comme les mesures dans les couches profondes du réservoir La Grande 1 étaient les mêmes qu'à la surface en 1994, les prélèvements se sont par la suite limités à la couche superficielles de ce réservoir (0-10 m).

Les bouteilles d'eau étaient traitées suivant les spécifications du laboratoire d'analyse accrédité par la SEBJ et Hydro-Québec et expédiées à l'intérieur des délais recommandés par le MENVIQ (1986). Jusqu'en 1984, le laboratoire de la SEBJ a fait les analyses de la qualité de l'eau. Par la suite, la SEBJ et Hydro-Québec ont mandaté les laboratoires SM en 1988, Analex de 1991 à 1994 et Zénon en 1995 et 1996. Des tests ont été faits à chaque changement de laboratoire afin d'assurer la fiabilité des résultats. Un filtrage des résultats a aussi été fait afin de détecter les valeurs erronées qui se seraient glissées au laboratoire ou au moment de la transcription dans la banque de la qualité de l'eau d'Hydro-Québec. Les techniques analytiques en laboratoire sont conformes à celles présentées dans APHA, AWWA, WPCF (1989) et décrites dans les rapports de Fréchette (1980) et de SOMER (1992).

4.0 RÉSULTATS

Les conditions physico-chimiques de base seront tout d'abord définies par une étude de l'évolution des paramètres de la qualité de l'eau à la station LG 2 amont. Par la suite, on présentera la qualité de l'eau de La Grande Rivière en aval du réservoir La Grande 2. Enfin, on mettra en évidence les quelques paramètres de la qualité de l'eau qui ont changé de concentration après la mise en eau du réservoir La Grande 1.

4.1 RÉSERVOIR LA GRANDE 2 (1984-1996)

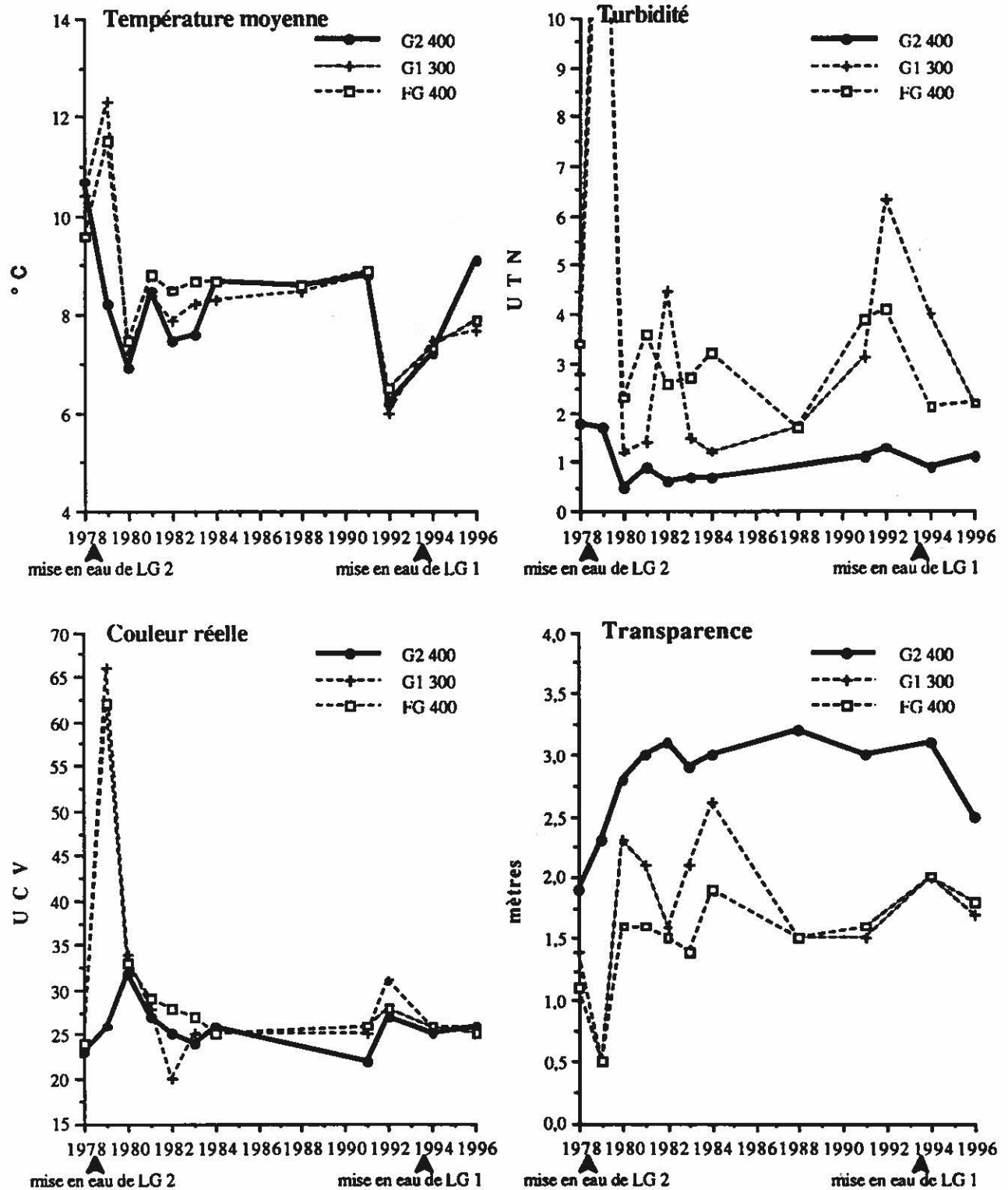
L'exploitation du réservoir La Grande 2 n'a pas changé substantiellement avec la présence de la centrale La Grande-2-A. Les niveaux ont fluctué depuis 1991 à l'intérieur des limites prévues antérieurement. Tout au plus a-t-on observé une augmentation de l'amplitude du marnage d'environ un mètre due à l'exploitation simultanée de La Grande-2 et La Grande-2-A ainsi qu'à une utilisation plus intense de la réserve en hiver (figure 2).

L'évolution de la qualité de l'eau du réservoir La Grande 2 a suivi son cours normal. Les annexes 1 et 5 présentent les moyennes des principaux paramètres physico-chimiques enregistrées en été et à la fin de l'hiver de 1978 à 1996 à la station LG2 amont située quelques kilomètres en amont des deux centrales.

En été, la température moyenne de l'eau dans les eaux de surface s'est maintenue entre 6,2 et 9,1 ° C (figure 5). La moyenne enregistrée en 1992 fut particulièrement basse et se compare à l'année 1980. Cependant, en 1992, les températures maximales furent supérieures à celles de 1980, 1982, 1988 et 1994. Les températures estivales à cette station sont grandement influencées par des facteurs météorologiques comme la température de l'air et les forts vents en provenance du nord-ouest ou du sud qui repoussent les eaux chaudes de la surface au loin et provoquent une remontée des eaux plus froides des couches inférieures. La thermocline se situe à moins de 25 m de profondeur à cette station et les vents forts peuvent la modifier même en été. En hiver, les températures de l'eau se situent autour de 0,5 ° C, soit la moyenne de la couche des premiers 25 m de profondeur qui sont aspirés par les deux centrales (annexe 5).

Les grandes dimensions de La Grande 2 et la nature des matériaux des rives ont permis de maintenir la turbidité à un niveau très bas pendant toute l'année (0,3 à 1,1 UTN) et la transparence à environ 3 mètres en été.

Figure 5. Évolution de la température moyenne estivale, de la turbidité et de la couleur réelle mesurées dans les 10 premiers mètres de profondeur ainsi que de la transparence de l'eau aux stations LG 2 amont (G2 400), LG 1 amont (G1 300) et Fort-George (FG 400).



La couleur, légèrement plus élevée pendant les années de forte décomposition de la matière organique (1979 à 1984) est maintenant revenue au même niveau que celle des lacs et de La Grande Rivière avant la mise en eau du réservoir. Ce paramètre est bon indicateur de la concentration des acides humiques, substances qui découlent de la décomposition de la matière organique.

L'acidité des eaux, reflétée par le pH, l'alcalinité et les bicarbonates est relativement stable (figures 6 et 7). Le pH varie entre 6,2 et 6,4 unités en été et entre 6,0 et 6,2 unités à la fin de l'hiver. Les faibles valeurs de 1979 et 1980 sont attribuables aux effets immédiats de l'inondation et de la décomposition de la matière organique tandis que la contribution des eaux plus acides des deux dérivations se font sentir depuis 1988. Les concentrations des bicarbonates de 2,6 à 3,3 mg/l indiquent que les eaux de La Grande 2 sont peu tamponnées et sensibles à des facteurs acidifiants comme les précipitations et les apports des tourbières ombrotrophes.

La concentration en oxygène dissous est tributaire de la température de l'eau, de la décomposition de la matière organique, de la respiration par les organismes et du contact avec l'air (vents, turbulence). Les moyennes estivales dans la zone photique ont atteint leurs concentrations les plus basses en 1982 (9,2 mg/l) ; elles se situent à plus de 10 mg/l depuis 1984. Les concentrations sont plus élevées sous la glace à cause des températures froides qui favorisent la solubilisation de l'oxygène dans l'eau. Toutefois, en enlevant l'influence de la température sur le pouvoir de dissolution, on voit mieux que les eaux sont presque saturées (85 à 95 %) tant en hiver qu'en été depuis 1984. Ces taux de saturation sont typiques des couches superficielles des plans d'eau de la région. Les répercussions de la décomposition de la matière organique inondée ne sont donc presque plus perceptibles depuis cette année-là.

La décomposition de la matière organique, la baisse des taux d'oxygène dissous et du potentiel d'oxydo-réduction dans les zones profondes créent un milieu favorable à la solubilisation de nombreux composés organiques et minéraux (figure 8). C'est seulement pendant la période hivernale qu'on a enregistré des hausses temporaires de concentration des principaux métaux (calcium, magnésium, sodium, potassium) ainsi que des principaux anions (sulfates, bicarbonates, chlorures).

Figure 6. Évolution du pH, de la conductivité, du pourcentage en oxygène dissous et du phosphore total mesurés dans les 10 premiers mètres aux stations LG 2 amont (G2 400), LG 1 amont (G1 300) et Fort-George (FG 400).

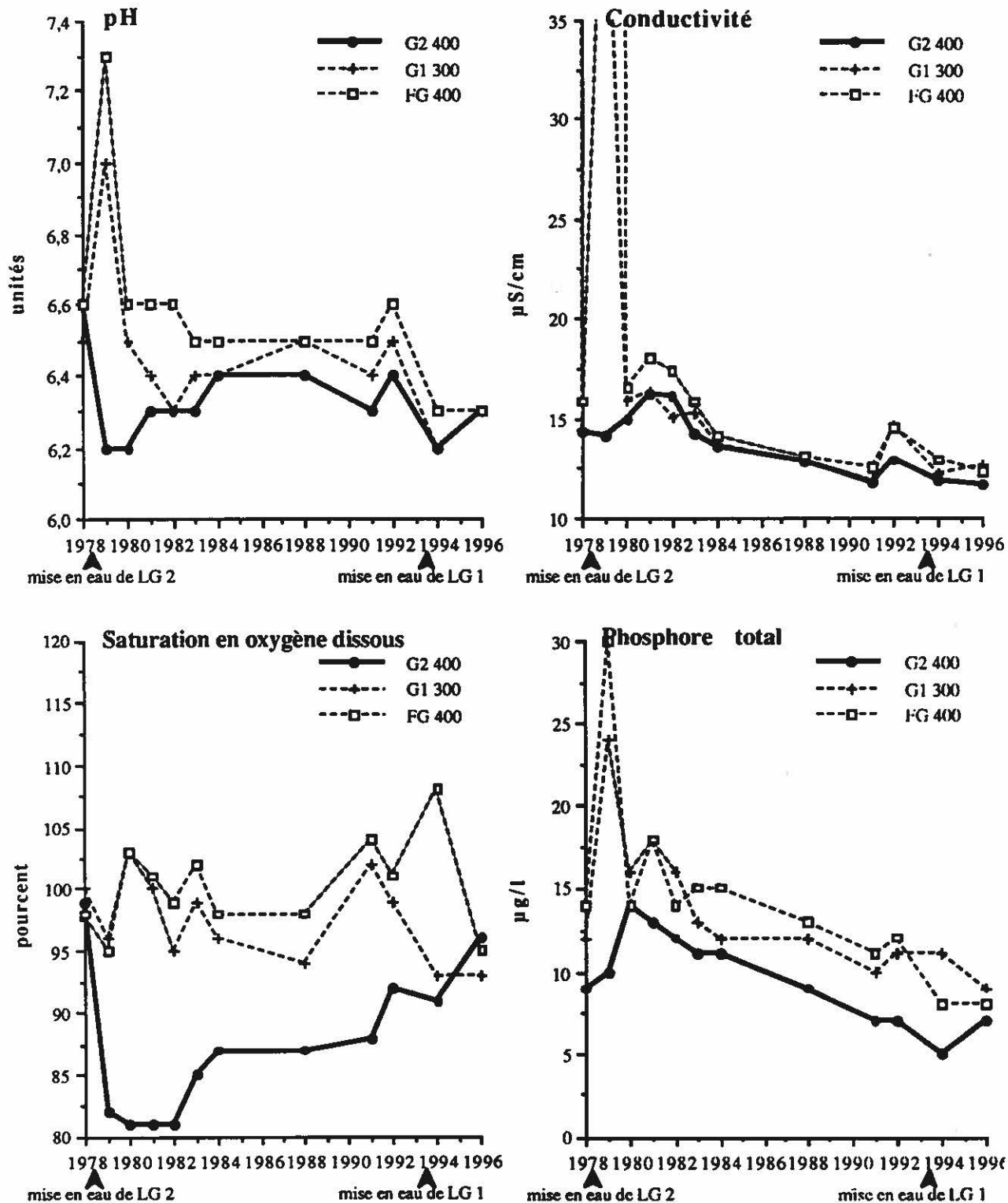


Figure 7. Évolution des concentrations des bicarbonates, du carbone inorganique total et du carbone organique total et de la silice mesurées dans les 10 premiers mètres aux stations LG 2 amont (G2 400), LG 1 amont (G1 300) et Fort-George (FG 400).

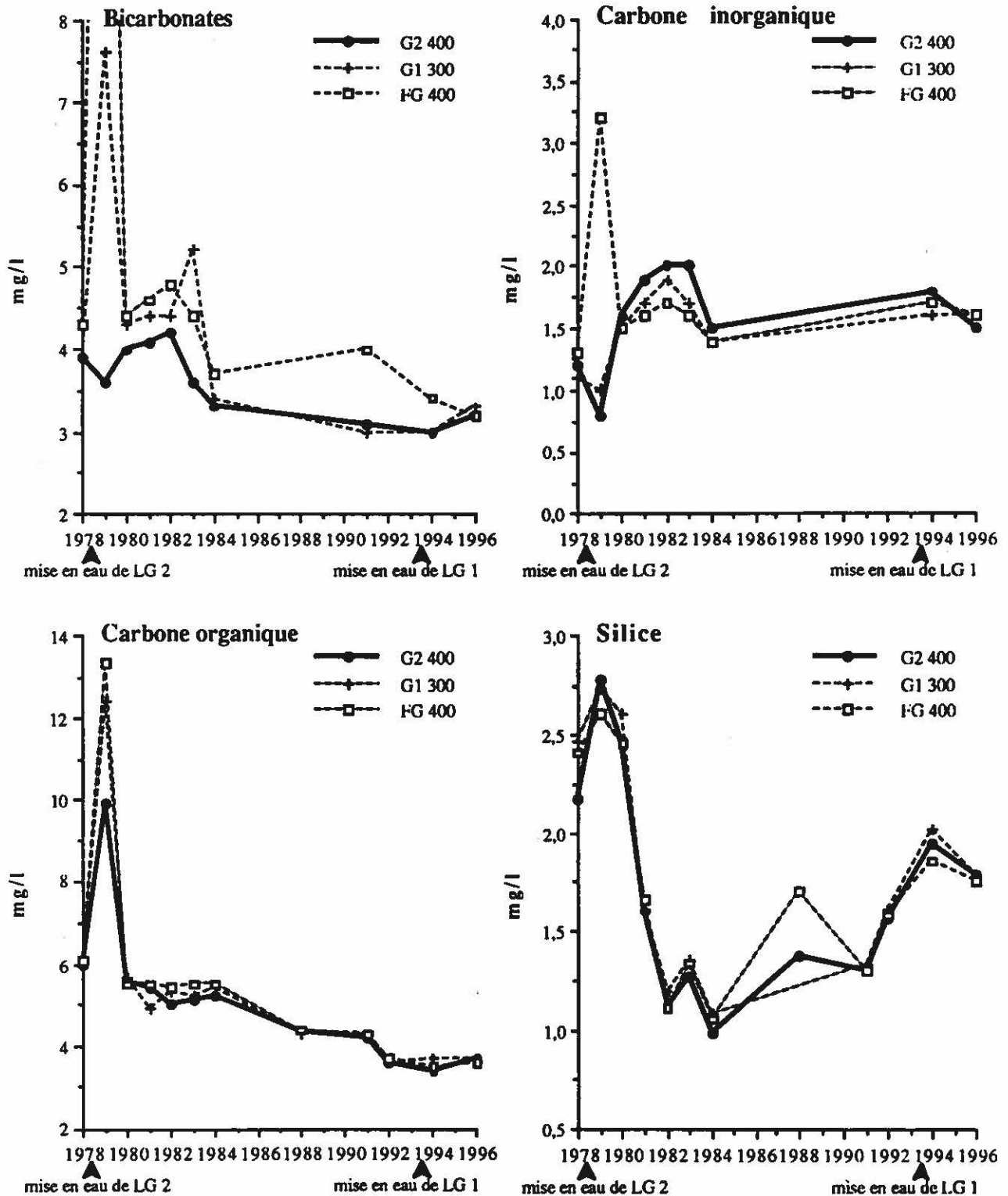
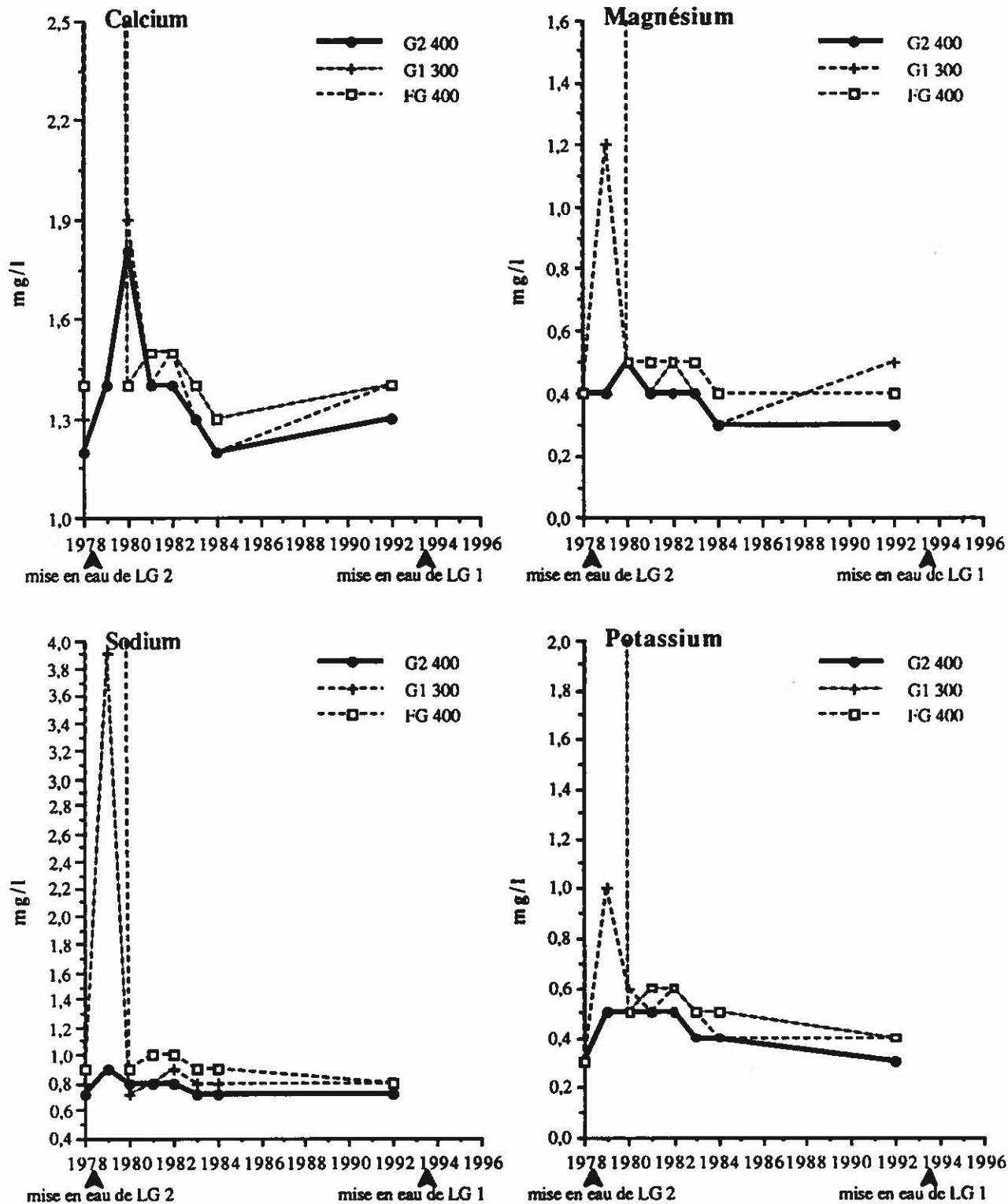


Figure 8. Évolution des concentrations du calcium, du magnésium, du sodium et du potassium mesurées dans les 10 premiers mètres aux stations LG 2 amont (G2 400), LG 1 amont (G1 300) et Fort-George (FG 400).



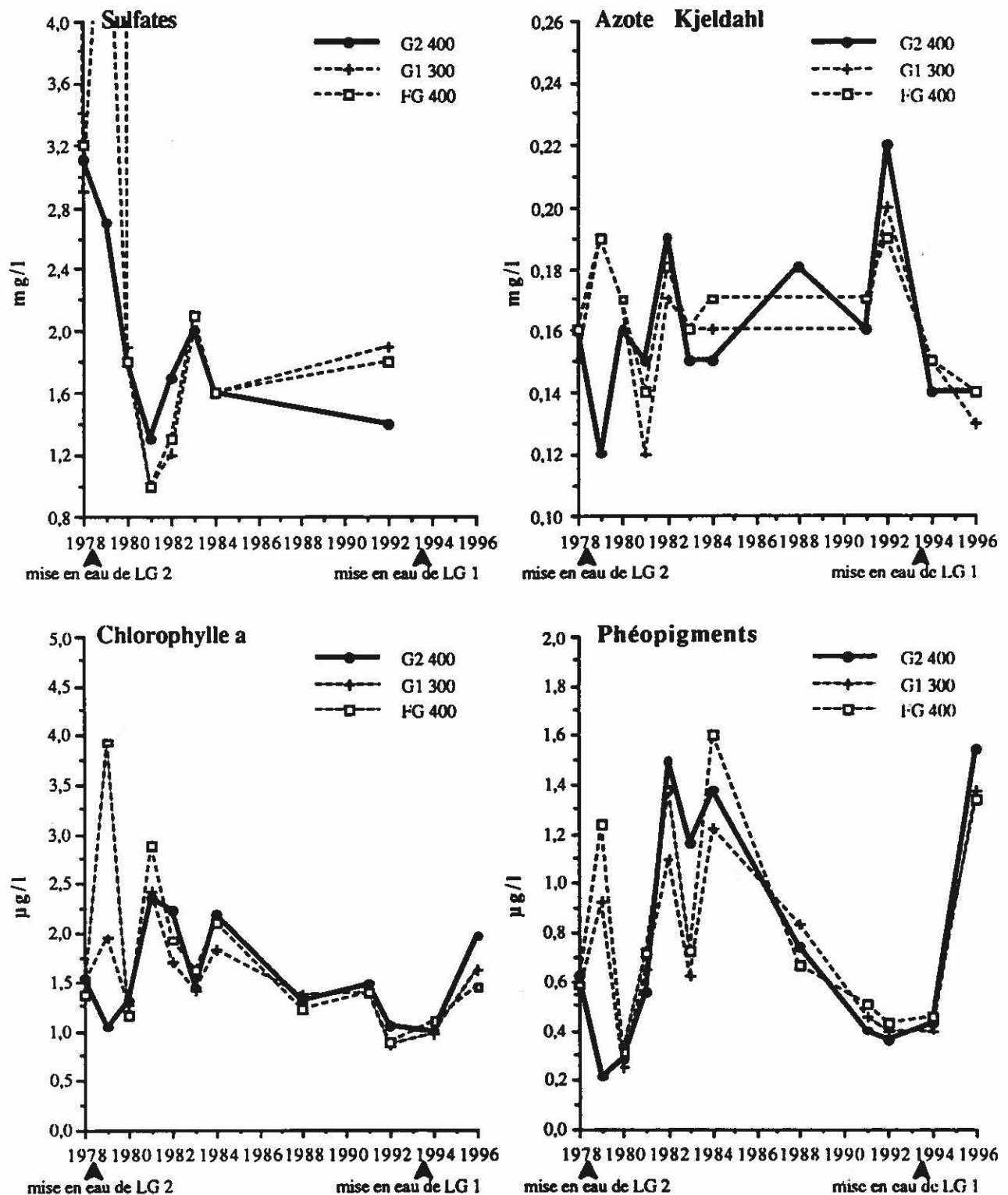
Cela avait alors engendré une augmentation de la conductivité des eaux (figure 6). Cette hausse avait surtout été apparente, quoique faible en valeurs absolues, entre 1980 et 1982. La conductivité est à la baisse depuis ce temps et se situe maintenant autour de 12 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Ces mesures sont différentes de celles des lacs de la zone inondée par le réservoir La Grande 2 (environ 25 $\mu\text{S}/\text{cm}$) et même de La Grande Rivière au site de La Grande-2 avant 1978. Elles se comparent aux conductivités mesurées antérieurement dans La Grande Rivière près de La Grande-3 et au site de dérivation de la rivière Eastmain, indiquant ainsi que les caractéristiques des eaux du réservoir La Grande 2 sont de plus en plus influencées depuis 1984 par les affluents du réservoir et non par la nature des sols inondés.

La production phytoplanctonique a profité de la mise en solution du phosphore pendant les premières années du réservoir (figures 6 et 9). Elle aurait pu être plus intense n'eût été la limitation imposée par les faibles valeurs en azote (nitrates-nitrites) et en silice observées au milieu de l'été. La baisse de la libération du phosphore et le rétablissement à un niveau suffisant des concentrations des éléments limitants permettent maintenant une production primaire comparable à celle des grands lacs de la région. Les faibles concentrations en phosphore à la sortie du réservoir laissent supposer que la production primaire s'est faite plus en amont dans le réservoir car elles seraient insuffisantes pour générer le niveau de chlorophylle a mesuré à cette station.

4.2 AVAL DE LA GRANDE RIVIÈRE (1984-1996)

La qualité des eaux dans le cours aval de La Grande Rivière a été modifiée deux fois pendant la phase I. Il a eu tout d'abord les effets de la coupure de débit pendant le remplissage du réservoir La Grande 2 qui a débuté en novembre 1978 et qui a duré moins d'un an. Pendant cette période, et en particulier pendant l'hiver 1978-79, la qualité de l'eau a été fortement influencée par les apports du bassin versant résiduel, l'exondation du lit et des rives en aval de La Grande-2 et l'intrusion d'eau saumâtre et même salée pendant l'hiver et le début de l'été. Ces effets, illustrés en partie aux figures 5 à 9 et dans les annexes 2, 3, 4, 6, 7 et 8 ont été amplement décrits dans Schetagne et Roy (1985).

Figure 9. Évolution des concentrations des sulfates, de l'azote Kjeldahl total, de la chlorophylle a et des phéopigments mesurées dans les 10 premiers mètres aux stations LG 2 amont (G2 400), LG 1 amont (G1 300) et Fort-George (FG 400).



Le transfert des eaux en provenance du réservoir La Grande 2 à partir de 1979 a causé la seconde modification de la qualité des eaux du cours inférieur de la Grande Rivière. Les changements ont été les plus intenses en 1981 et 1982 ; ils se sont par la suite estompés graduellement pour la plupart des paramètres au point de revenir graduellement dès 1984 aux valeurs mesurées en conditions naturelles.

Afin de mieux faire ressortir les modifications observées naturellement de l'amont vers l'aval ainsi que celles observées après la mise en eau du réservoir La Grande 1 depuis 1993, les figures 10 à 12 présentent les mesures pour chaque année à partir de la station LG 2 amont (km 115) jusqu'à la station Fort-George (km 9) en passant successivement par LG 2 aval (km 110), Laperle (km 070), LG 1 amont (km 40) et LG 1 aval (km 34). Dans ces figures, les traits continus légers définissent les conditions en phase I et les traits discontinus ou gras, les mesures prises avant et après la mise en eau du réservoir La Grande 1.

Les principales modifications de la qualité de l'eau observées en phase I ont été présentées dans Schetagne et Roy, 1985 ; Roy et *al.* 1986. Depuis 1980, les eaux de La Grande Rivière étaient identiques à celles de la station LG 2 amont sauf pour quelques paramètres influencés par l'épaisseur de la colonne d'eau turbinée ou sensibles à la turbulence de l'eau à la sortie des turbines et de l'évacuateur de crues. La turbulence de l'eau a permis l'évacuation du gaz carbonique et la recharge en oxygène dissous. La température moyenne de l'eau le long de la rivière s'était maintenue plus basse à partir de 1979 dû à son approvisionnement dans les 25 premiers mètres de profondeur de La Grande 2 (figure 10).

De 1984 à 1992, la turbidité augmente toujours de l'amont vers l'aval. Au départ de la section aval, les eaux en provenance du réservoir La Grande 2 sont plus claires qu'avant les aménagements hydroélectriques et les augmentations de débit et l'érosion des rives argileuses de la rivière ont peu augmenté la turbidité des eaux mesurée au centre de la rivière. L'action des vagues engendre souvent une traînée turbide le long de la rive sans toutefois avoir un effet important une fois l'eau mélangée dans les rapides. Les sols et la matière organique apportés par l'action de vagues, les éboulis et les glissements de terrain causent aussi une hausse temporaire de la couleur de l'eau, du pH, des bicarbonates, de la conductivité et du phosphore total ; cela fut très apparent en 1992 (figures 10, 11 et 12). Il faut mentionner que la turbidité engendrée pendant quelques semaines par une coulée survenue le 5 septembre 1987 (récurrence 1:10 à 1:30) qui a touché 12,5 hectares et livré 3 500 000 m³ à la rivière ne fut pas mesurée mais les observations visuelles indiquent qu'elle fut très élevée.

Figure 10. Évolution de la température moyenne estivale, de la turbidité, de la couleur réelle et de la transparence le long de La Grande Rivière avant la mise en eau du réservoir La Grande 2 (1978), avant (1984-1992) et après la mise en eau du réservoir La Grande 1 (1994-1996).

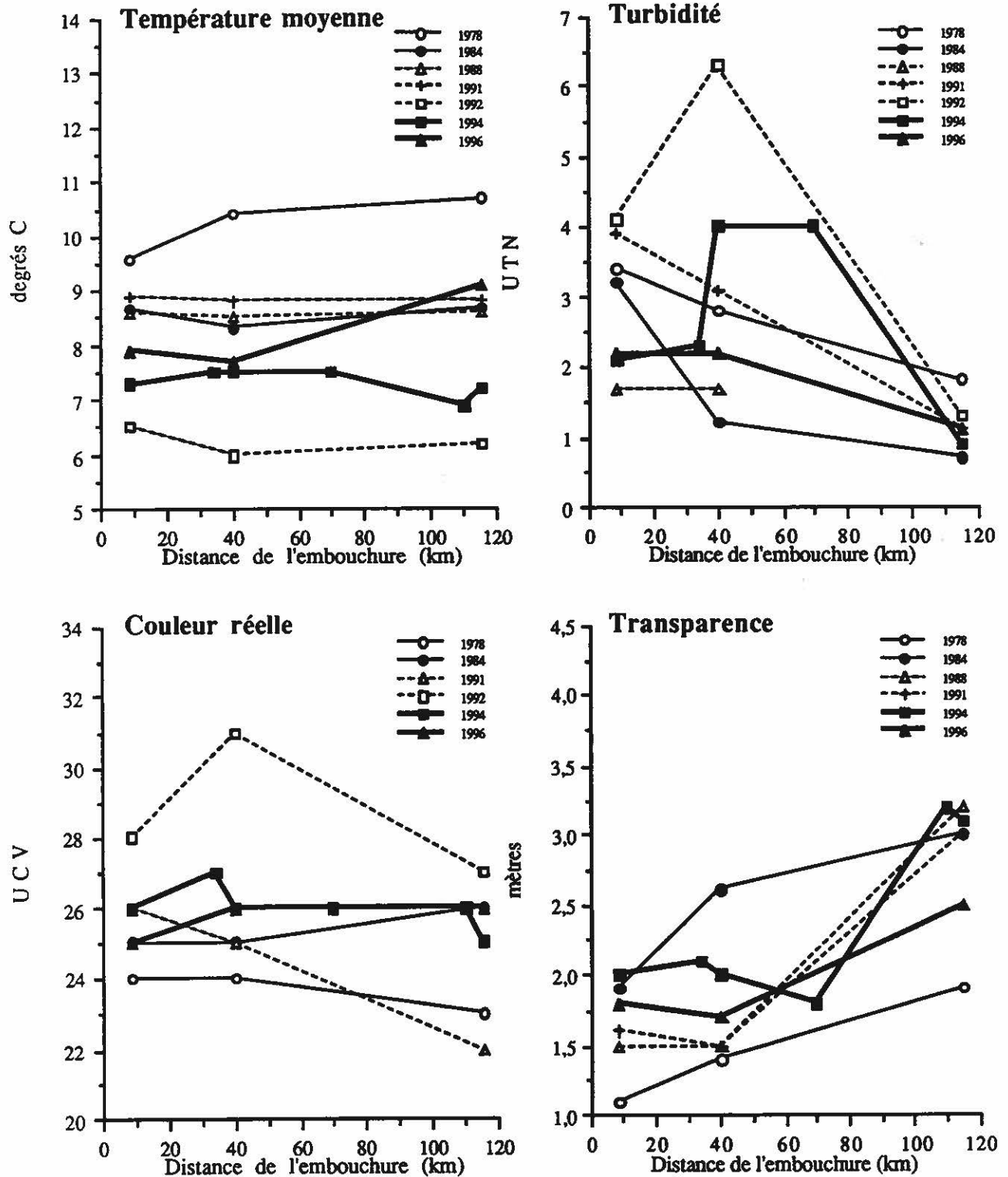


Figure 11. Évolution du pH, de la conductivité, de la saturation en oxygène dissous et du phosphore total le long de La Grande Rivière avant la mise en eau du réservoir La Grande 2 (1978), avant (1984-1992) et après la mise en eau du réservoir La Grande 1 (1994-1996).

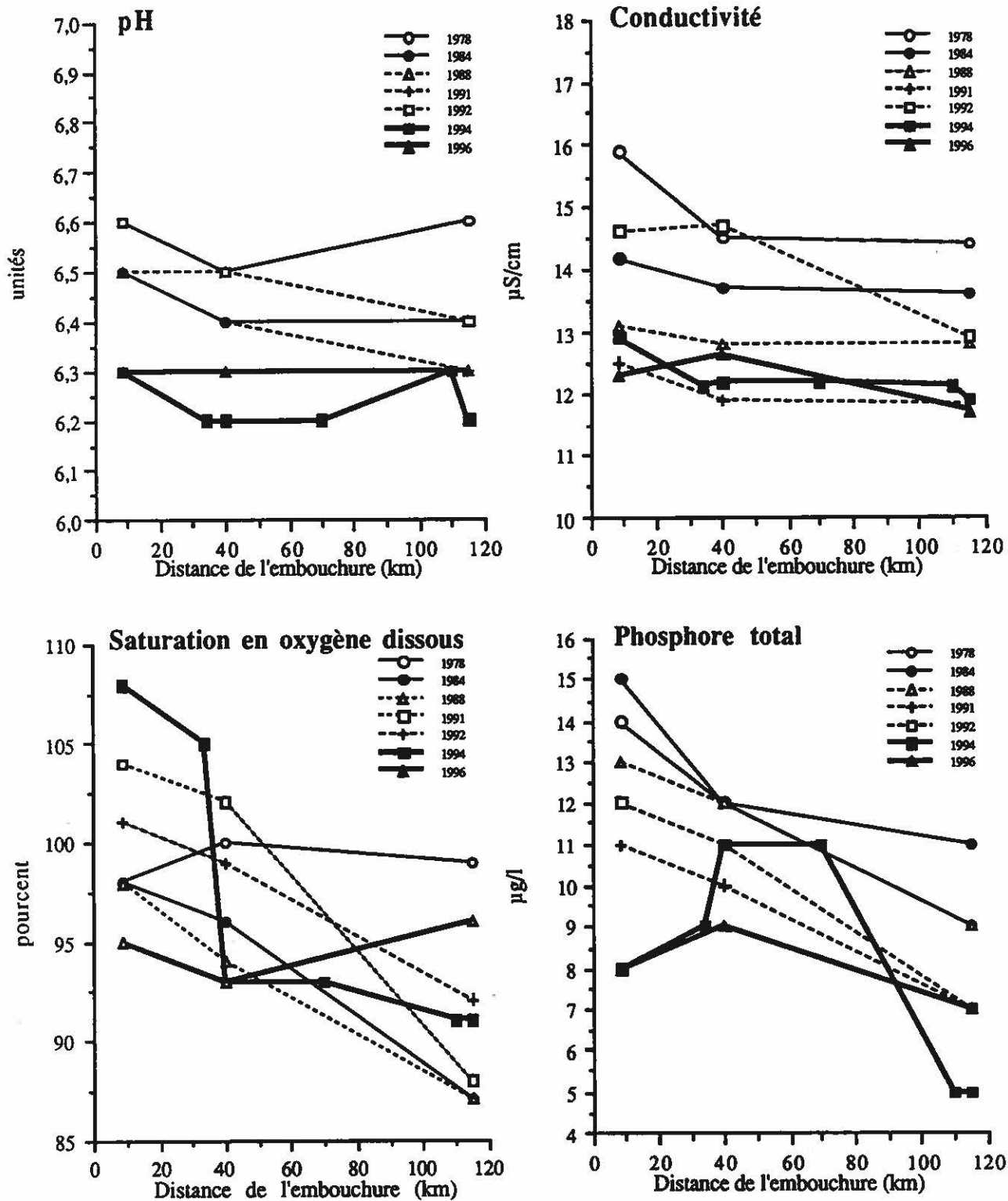
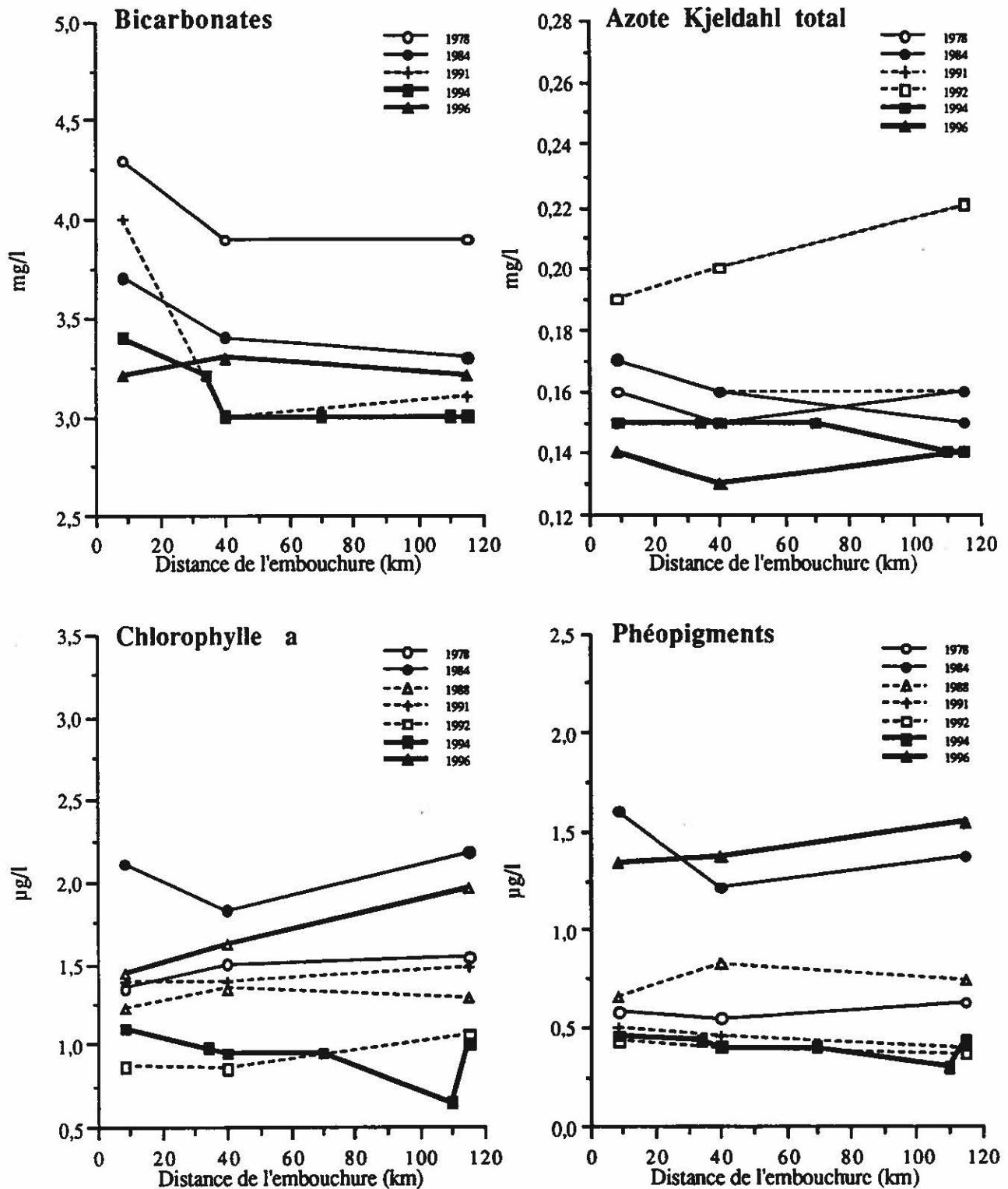


Figure 12. Évolution de la concentration des eaux en bicarbonates, en azote Kjeldahl total, de la chlorophylle a et des phéopigments le long de La Grande Rivière avant la mise en eau du réservoir La Grande 2 (1978), avant (1984-1992) et après la mise en eau du réservoir La Grande 1 (1994-1996).



Le taux de saturation en oxygène dissous, relativement bas entre 1984 et 1992, augmente rapidement en aval de La Grande-2 et de nouveau en aval du canal de dérivation provisoire de La Grande-1. Il est toutefois difficile de démontrer que le rétablissement de la saturation en oxygène dissous s'était effectué immédiatement à l'aval des ouvrages de La Grande-2 ou graduellement dans la rivière.

La turbulence et la vitesse de l'eau ne favorisent pas la production phytoplanctonique dans les rivières. La chlorophylle a reste donc stable ou diminue dans la rivière de l'amont vers l'aval (figure 12) sauf dans la partie aval de l'estuaire où le balancement des marées permet une plus grande résidence de l'eau.

4.3 RÉSERVOIR LA GRANDE 1 (1994-1996)

Après la mise en eau du réservoir La Grande 1 en 1993, les températures moyennes estivales demeurent les mêmes que depuis 1980. Elles sont toujours dépendantes de la température de l'eau de la couche superficielle des premiers 25 mètres dans laquelle les centrales La Grande-2 et La Grande-2-A puisent (figure 10). Le court temps de séjour de l'eau dans le réservoir La Grande 1 et la prise d'eau en profondeur de la centrale La Grande-1 empêchent la formation d'une stratification dans le réservoir La Grande 1 ; ces observations découlent des mesures de température faites par le service hydraulique de la SEBJ et par le suivi environnemental en 1994. En hiver, la température de l'eau varie entre 0,1 et 0,5 °C comme auparavant (annexe 6).

La turbidité évolue en fonction de l'érosion des rives adjacentes aux stations de mesure. À titre d'exemple, en 1994, une traînée turbide identifiée près de la station Laperle (km 70) s'est manifestée aussi à la station LG1 amont (km 40) mais après mélange à la centrale La Grande-1, ne fut plus détectable à la station LG1 aval (km 34). La formation d'une couverture de glace plus ou moins complète protège la rive et maintient une turbidité inférieure à 1 UTN en hiver. Comme la couleur de l'eau demeure toujours autour de 25 UCV, la transparence n'est influencée que par les variations de la turbidité (figure 10).

On ne peut noter une acidification de l'eau ni une variation de la conductivité et du pouvoir tampon de l'eau (bicarbonates) dues à la présence du réservoir La Grande 1.

L'augmentation de la concentration en phosphore total notée en 1994 suit la même courbe que celle de la turbidité (figures 10 et 11). Cela correspondrait au lessivage des particules

comprenant des argiles marines mises en suspension par l'érosion des rives. Tout comme pour la turbidité, les mesures indiquent des effets locaux qui sont disparus lors du mélange des masses d'eau au site de La Grande-1.

Le réservoir La Grande 1 a remplacé une section de rivière turbulente par un grand plan d'eau profond. Le taux de saturation en oxygène dissous se maintient maintenant au niveau de celui d'un lac. Ce n'est que lorsque l'évacuateur de crues de cette centrale fonctionne, comme en 1994, que les eaux s'oxygènent à plus de 100 % de saturation en aval (figure 11). En 1996, les évacuations furent rares et les taux sont demeurés entre 90 et 95 % de saturation en oxygène dissous, comme à la sortie du réservoir La Grande 2.

La production phytoplanctonique a continué à décroître de l'amont vers l'aval sauf pour l'année 1994 où la concentration en phosphore total a inversé temporairement cette tendance. La hausse qui avait été notée pendant les premières années aux autres réservoirs ne s'est donc pas manifestée dans le bief amont de La Grande-1. Le faible enrichissement qui aurait pu découler de l'inondation d'environ 40 km² de sols et de végétation terrestre a été grandement atténué par le débit de 3 400 m³/s de La Grande Rivière.

5.0 DISCUSSION

Tel que prévu dans les études d'avant-projet, la mise en eau du réservoir La Grande 1 n'a pas provoqué des répercussions de même amplitude que dans les autres réservoirs du Complexe La Grande.

5.1 FACTEURS DÉTERMINANTS

La centrale La Grande-2-A n'a pas changé les limites du niveau d'exploitation du réservoir La Grande 2. Le marnage moyen a été augmenté mais il est presque toujours demeuré à l'intérieur des niveaux observés depuis 1980. Les paramètres de la qualité de l'eau ont donc évolué naturellement en fonction de l'épuisement de la matière organique facilement décomposable et du renouvellement des eaux par les principaux affluents : La Grande Rivière en aval de La Grande-3, la rivière Sakami (détournement Eastmain-Opinaca-La Grande) et la rivière Kanaaupskow.

La qualité des eaux de La Grande Rivière depuis 1979 a toujours été tributaire de celle du réservoir La Grande 2. Le débit de cette rivière, la deuxième en importance au Québec, et son court temps de séjour de l'eau ne permettent pas de grandes fluctuations dans les valeurs des paramètres de la qualité de l'eau. La seule exception concerne l'érosion et le décrochage des matériaux argileux des rives qui peuvent générer localement des traînées turbides et enrichir temporairement certains paramètres comme le phosphore total.

La surface des sols inondés par le réservoir La Grande 1 est au moins 65 fois plus petite que celle du réservoir La Grande 2 et le temps de séjour moyen de l'eau 30 fois moindre. En divisant les variations extrêmes des paramètres de la qualité de l'eau de La Grande 2 par le produit de ces deux chiffres, on arrive à des valeurs inférieures aux limites de détection des appareils de mesure utilisés. Il n'y a encore que des apports occasionnels fournis par l'érosion des rives qui peuvent modifier la qualité de l'eau du réservoir La Grande 1 et ces effets dureront jusqu'à ce que la plupart des rives se soient stabilisées. Cette stabilisation sera favorisée par le fait que La Grande-1 est au fil de l'eau et ne doit générer que de faibles variations de niveau tout au cours de l'année.

5.2 COMPARAISON AVEC LES PRÉVISIONS DES RAPPORTS D'IMPACT

Dans le rapport d'avant-projet de La Grande-2-A (SEBJ et HQ, 1986) on prévoyait que les températures maximales à la sortie des centrales devraient se situer entre 8 et 13 °C en été et qu'elles se réchaufferaient ou se refroidiraient par la suite en fonction de la température de l'air. En hiver, elles seraient légèrement supérieures au point de congélation. Les mêmes prévisions s'appliquaient pour l'aménagement de La Grande-1 (SEBJ et HQ, 1987). Les observations du suivi environnemental et les mesures du service hydraulique corroborent cette prévision (SEBJ et HQ, 1985 ; SEBJ et HQ, 1986 ; SEBJ, 1990a ; SEBJ, 1990b ; SEBJ, 1993 ; SEBJ, 1994a ; SEBJ, 1994b ; SEBJ, 1995).

Ces mêmes rapports de prévision d'impact mentionnent que les mesures de turbidité seront faibles dans la masse d'eau mais qu'elles pourraient devenir plus élevées près des rives sensibles à l'érosion. Les données de 1988 à 1996 leur donnent raison. Il faut toutefois noter que les niveaux de turbidité ont dû être exceptionnels dans toute la rivière en septembre 1987, lors de la coulée d'argile qui avait affecté toute la largeur de son lit. D'après les observateurs, tout était revenu à la normale après un ou deux mois.

Aucune autre prévision de modification de la qualité de l'eau dans La Grande Rivière en aval de La Grande 2 et dans le réservoir La Grande 1 et qui serait liée uniquement à l'addition de la centrale La Grande-2-A n'avait été avancée. Les résultats du suivi confirment cette prédiction.

5.3 ÉVOLUTION À LONG TERME

Les eaux du réservoir La Grande 2 présentent les mêmes caractéristiques que celles de ses principaux affluents et cela, même dans les baies presque fermées situées en périphérie du réservoir. Les eaux sont maintenant semblables à celles des grands lacs profonds de la région et il n'y a pas lieu de prévoir des modifications qui ne seraient pas reliées aux conditions climatiques ou météorologiques.

Par ailleurs, il est difficile de prédire la période nécessaire pour la stabilisation des rives du réservoir la Grande 1. Compte tenu de la nature des sols inondés ou en bordure du réservoir, il devrait toujours persister des points d'érosion sur les rives mais cela ne devrait pas causer une turbidité plus grande que celle observée jusqu'en 1996. Pour les autres paramètres de la qualité de l'eau, leur évolution suivra de près celle observée au réservoir La Grande 2.

Le temps de séjour des eaux en aval de La Grande-1 est inférieur à un jour. Sauf pour la turbidité à une échelle locale, la qualité de l'eau ne devrait pas être modifiée dans ce tronçon de rivière par rapport à ce qu'elle est à la sortie de La Grande 2.

6.0 CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

6.1 CONCLUSIONS

Les principales modifications données de la qualité de l'eau du réservoir La Grande 2 sont à toutes fins pratiques terminées à la plupart des stations depuis 1984. L'addition de la centrale La Grande-2-A ne modifie pas le mode d'exploitation de ce réservoir prévu pour la centrale La Grande-2. Il ne s'est produit aucun changement notable de la qualité de l'eau depuis l'exploitation de ces deux centrales et l'expérience acquise sur le Complexe La Grande ne permet pas d'en prédire pour le futur.

La qualité des eaux du réservoir La Grande 1 et de La Grande Rivière suit de près celle du réservoir La Grande 2. Les seules modifications observées concernent une oxygénation à l'aval des centrales et des variations de la turbidité et de quelques substances dissoutes qui découlent de l'érosion des rives. Les principaux rapides sont maintenant disparus et les évacuations devraient se raréfier dans l'avenir ; les effets de la turbulence de l'eau, comme l'oxygénation et la libération du gaz carbonique dissous, ne devraient plus avoir une grande importance dans l'avenir. Il ne restera donc que les conséquences de l'érosion des rives qui persisteront ; il faut noter que cette rivière a toujours transporté des sédiments comme le montrent les mesures de turbidité et de transport solide.

Enfin, les prévisions de la qualité de l'eau énoncées dans les rapports d'impact des projets la Grande-2-A et La Grande-1 se sont avérées exactes jusqu'à date et rien ne permet de croire qu'il en sera autrement pour le futur rapproché.

6.2 RECOMMANDATIONS

Un suivi environnemental de la qualité de l'eau à tous les ans ou les deux ans n'est plus nécessaire dans les réservoirs La Grande 2 et La Grande 1 ainsi que dans la rivière en aval de ce dernier. Cette constatation découle de la stabilité de la qualité de l'eau de La Grande 2 depuis que la phase de décomposition rapide de la matière organique est terminée et du fait que le passage de l'eau dans le réservoir La Grande 1 et dans La Grande Rivière est court. Une vérification de quelques paramètres les plus sensibles comme le pH, l'oxygène dissous et le phosphore à tous les quatre ans, tant que le réseau existera, serait amplement suffisante, il ne serait donc pas requis d'échantillonner en 1998 comme prévu au plan directeur du suivi environnemental du projet La Grande-2-A (SEBJ, 1994).

BIBLIOGRAPHIE

APHA, AWWA, WPCF. 1989. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. Am. Public Health Assoc. 17ième édition.

Anonyme. 1976. *La Convention de la Baie James et du Nord québécois*. Éditeur officiel du Québec. Québec. 486 p.

Anonyme. 1978. *La Convention du Nord-est québécois*. Éditeur officiel du Québec. Québec. 243 p.

Bachand, C.-A. et J.-J. Fournier. 1977. *Réseau de surveillance du Complexe La Grande*. Division Écologie, service Environnement, Société d'énergie de la Baie James. Montréal. 145 p.

Boucher, R. et D. Roy. 1985. *Réseau de surveillance écologique du Complexe La Grande 1978-1984*. Poissons. Direction Ingénierie et Environnement, Société d'énergie de la Baie James. 95 p.

Boudreault, J. et D. Roy. 1985. *Réseau de surveillance écologique du Complexe La Grande 1978-1984*. Macroinvertébrés benthiques. Direction Ingénierie et Environnement, Société d'énergie de la Baie James. 94 p.

Environnement Illimité inc. 1994. *Suivi écologique de la faune ichthyenne du réservoir de La Grande-1 (1994)*. Rapport préparé pour la direction Ingénierie et Environnement, Société d'énergie de la Baie James par Environnement Illimité inc. 68 p. et annexes.

Entraco Inc., 1995. *Suivi écologique des milieux affectés par l'aménagement du Complexe hydroélectrique La Grande, Phase II (1987-1995)*. Secteurs Brisay, Laforge-1 et Laforge-2; qualité de l'eau, poissons et mercure. Rapport synthèse. Rapport présenté par Entraco à la direction Ingénierie et Environnement de la Société d'énergie de la Baie James. 91 p. et annexes.

Environnement Illimité inc. 1996. *Suivi écologique de la faune ichthyenne du réservoir de La Grande-1 (1994) et de la côte est de la baie James*. Rapport préparé pour la direction Ingénierie et Environnement, Société d'énergie de la Baie James par Environnement Illimité inc. (à venir).

Fréchette, J. -L., 1980. *Cahier de méthodologie du Réseau de surveillance écologique*. Direction Environnement, Société d'énergie de la Baie James, Montréal. 172 p.

Fréchette, J. L. 1991. *Étude de la qualité de l'eau dans la Grande Rivière (1991)*. Rapport présenté par Somer à la direction Ingénierie et Environnement, Société d'énergie de la Baie James, Montréal. 19 p.

Malouf, A. et A. Gagnon. 1973. *La Baie James indienne*. Texte intégral du jugement du juge Albert Malouf. Édition du Jour. Montréal. 211 p.

MENVIQ. 1986. *Accréditation des laboratoires d'analyses. Programme de l'assurance de la qualité*. Direction des laboratoires, Ministère de l'Environnement, Québec.

Messier, D., D. Roy et R. Lemire. 1985. *Réseau de surveillance écologique du Complexe La Grande 1978-1984. Évolution du mercure dans la chair des poissons*. Direction Ingénierie et Environnement, Société d'énergie de la Baie James. 170 p.

Roy, D. 1985. *Réseau de surveillance écologique du Complexe La Grande 1978-1984. Zooplancton*. Direction Ingénierie et Environnement, Société d'énergie de la Baie James. 92 p.

Roy, D., J. Boudreault, R. Boucher, R. Schetagne et N. Therrien. 1986. *Réseau de surveillance écologique du Complexe La Grande 1978-1984*. Direction Ingénierie et Environnement, Société d'énergie de la Baie James. 74 p.

Schetagne, R., 1989. *Réseau de suivi environnemental du Complexe La Grande, Phase I. Qualité de l'eau, région de La Grande-2 et Opinaca. Interprétation des données de 1988*. Vice-présidence Environnement, Hydro-Québec, Service Recherches en environnement et santé publique. 152 p. et annexes.

Schetagne, R. et D. Roy. 1985. *Réseau de surveillance écologique du Complexe La Grande (1978-1984). Physico-chimie et pigments chlorophylliens*. Direction Ingénierie et Environnement, Société d'énergie de la Baie James. 137 p.

SEBJ. 1987a. *Le Complexe hydroélectrique de La Grande Rivière. Phase I*. Société d'énergie de la Baie James, Montréal.

SEBJ. 1987b. *Le Complexe hydroélectrique de La Grande Rivière. Le défi environnemental*. Société d'énergie de la Baie James, Montréal.

SEBJ. 1990a. *Suivi environnemental du projet La Grande-2-A : Volume 1 - Synthèse des études préalables à la mise en service de La Grande-2-A*. Direction Ingénierie et Environnement. 243 p.

SEBJ. 1990b. *Suivi environnemental du projet La Grande-2-A : Volume 2 - Plan directeur du suivi*. Direction Ingénierie et Environnement. 111 p. et annexes.

SEBJ. 1993. *Suivi environnemental du projet La Grande-2-A : Études sectorielles 1992 et révision du plan directeur du suivi*. Direction Ingénierie et Environnement. 12 p.

SEBJ. 1994a. *Suivi environnemental du projet La Grande-2-A : Études sectorielles 1993 et révision du plan directeur du suivi*. Direction Ingénierie et Environnement. XXX p.

SEBJ. 1994b. *Suivi environnemental du projet La Grande-2-A : Révision du plan directeur de suivi*. Direction Ingénierie et Environnement. 99 p. et annexes.

SEBJ. 1995. *Suivi environnemental du projet La Grande-2-A : Études sectorielles 1994*. Direction Ingénierie et Environnement. 38 p.

SEBJ. 1996. *Le Complexe hydroélectrique de La Grande Rivière. Réalisation de la deuxième phase*. Société d'énergie de la Baie James, Montréal. 427 p.

SEBJ et HQ. 1985. *Suréquipement de l'aménagement de La Grande-2 : Rapport sur les études d'avant-projet. Volume 3, Répercussions sur l'environnement*. Société d'énergie de la Baie James et Hydro-Québec, Montréal. 506 p.

SEBJ et HQ. 1986. *Suréquipement de l'aménagement de La Grande-2 : Rapport sur les études d'avant-projet. Informations supplémentaires*. Société d'énergie de la Baie James et Hydro-Québec, Montréal. p.m.

SEBJ et HQ. 1987. *Projet de La Grande-1 (1986) : Rapport sur les études d'avant-projet. Volume 3, Répercussions sur l'environnement*. Société d'énergie de la Baie James et Hydro-Québec, Montréal. 294 p.

SOMER. 1992. *Guide méthodologique des relevés de la qualité de l'eau*. Rapport présenté à Hydro-Québec, vice-présidence Environnement. 79 p. et annexes.

Thérien, N. 1985. *Synthèse des activités de modélisation et de simulation appliquées aux réservoirs hydroélectriques du territoire de la Baie James*. Faculté des Sciences appliquées, Université de Sherbrooke. Sherbrooke. 151 p.

ANNEXE 1

**Moyennes des paramètres physico-chimiques mesurés
en été dans les 10 premiers mètres de la colonne
d'eau à la station LG 2 amont (G2 400)**

Annexe-1. Moyennes des paramètres physico-chimiques mesurés en été dans les 10 premiers mètres de la colonne d'eau à la station LG 2 amont (G2 400).

Paramètres	Unités	1977-78	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1988	1991	1992	1994	1996
Nombre		18	9	7	10	10	12	10	5	4	5	5	5
Profondeur	m	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
Température	°C	10,7	8,2	6,9	8,5	7,5	7,6	8,7	8,6	8,8	6,2	7,2	9,1
Turbidité	UTN	1,8	1,7	0,5	0,9	0,6	0,7	0,7	-	1,1	1,3	0,9	1,1
Couleur réelle	UCV	23	26	32	27	25	24	26	-	22	27	25	26
Oxygène dissous	mg/l de O ₂	11,1	9,6	9,7	9,2	9,5	9,9	10,0	10,1	-	10,7	10,8	10,9
Saturation en O ₂	%	99	82	81	81	81	85	87	87	88	92	91	96
pH	unité de pH	6,6	6,2	6,2	6,3	6,3	6,3	6,4	6,4	6,3	6,4	6,2	6,3
Conductivité	µS/cm	14,4	14,2	15,0	16,3	16,2	14,3	13,6	12,8	11,8	12,9	11,9	11,7
Alcalinité	mg/l de CaCO ₃	3,3	3,0	3,3	3,4	3,5	3,0	2,8	-	2,6	-	2,5	2,6
Bicarbonates	mg/l de HCO ₃	3,9	3,6	4,0	4,1	4,2	3,6	3,3	-	3,1	-	3,0	3,2
Azote Kjeldahl	mg/l de N	0,16	0,12	0,16	0,15	0,19	0,15	0,15	0,18	0,16	0,22	0,14	0,14
Azote ammon.	mg/l de N	<0,01	-	0,01	0,02	<0,02	<0,02	<0,02	-	-	-	-	-
Nitrates-nitrites	mg/l de N	-	<0,02	<0,02	<0,02	0,03	<0,02	0,03	-	-	-	-	-
Phosphore total	µg/l de P	9	10	14	13	12	11	11	9	7	7	5	7
Carbone inorg.	mg/l de C	1,2	0,8	1,6	1,9	2,0	2,0	1,5	-	-	-	1,8	1,5
Carbone organ.	mg/l de C	6,0	9,9	5,6	5,4	5,0	5,1	5,2	4,4	4,2	3,6	3,4	3,7
Calcium	mg/l de Ca	1,2	1,4	1,8	1,4	1,4	1,3	1,2	-	-	1,3	-	-
Magnésium	mg/l de Mg	0,4	0,4	0,5	0,4	0,4	0,4	0,3	-	-	0,3	-	-
Sodium	mg/l de Na	0,7	0,9	0,8	0,8	0,8	0,7	0,7	-	-	0,7	-	-
Potassium	mg/l de K	0,3	0,5	0,5	0,5	0,5	0,4	0,4	-	-	0,3	-	-
Sulfates	mg/l de SO ₄	3,1	2,7	1,8	1,3	1,7	2,0	1,6	-	-	1,6	-	-
Chlorures	mg/l de Cl	0,4	1,2	0,5	0,6	0,4	0,5	0,3	-	-	0,4	-	-
Fer	mg/l de Fe	0,16	0,34	0,18	0,33	0,16	0,18	0,17	-	-	-	-	-
Manganèse	mg/l de Mn	<0,20	0,25	<0,20	<0,20	0,20	<0,20	<0,20	-	-	-	-	-
Tanins	mg/l	0,94	1,03	0,87	0,81	0,78	0,75	0,72	-	-	-	-	-
Silice	mg/l de SiO ₂	2,18	2,78	2,47	1,60	1,13	1,27	0,99	1,38	1,30	1,56	1,95	1,79
Chlorophylle α	µg/l	1,53	1,03	1,30	2,35	2,22	1,44	2,18	1,29	1,48	1,06	1,00	1,96
Phéopigments	µg/l	0,62	0,21	0,28	0,55	1,49	1,16	1,38	0,74	0,40	0,36	0,43	1,54

ANNEXE 2

**Moyennes des paramètres physico-chimiques mesurés
en été dans les 10 premiers mètres de la colonne
d'eau à la station LG 1 amont (G1 300)**

Annexe-2. Moyennes des paramètres physico-chimiques mesurés en été dans les 10 premiers mètres de la colonne d'eau à la station LG 1 amont (G1 300).

Paramètres	Unités	1977-78	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1988	1991	1992	1994	1996
Nombre		20	9	7	10	10	10	10	5	4	5	5	5
Profondeur	m	5,5	1,5	6,7	5,6	4,8	6,5	6,2	8,6	-	7,3	10,0	10,0
Température	°C	10,4	12,3	7,2	8,4	7,9	8,2	8,3	8,5	8,8	6,0	7,5	7,7
Turbidité	UTN	2,8	16,8	1,2	1,4	4,5	1,5	1,2	1,7	3,1	6,3	4,0	2,2
Couleur réelle	UCV	24	66	34	28	20	25	25	-	25	31	26	26
Oxygène dissous	mg/l de O ₂	11,3	10,4	12,4	11,8	11,2	11,7	11,4	11,4	-	12,4	11,1	11,1
Saturation en O ₂	%	100	96	103	100	95	99	96	94	102	99	93	93
pH	unité de pH	6,5	7,0	6,5	6,4	6,3	6,4	6,4	6,5	6,4	6,5	6,2	6,3
Conductivité	µS/cm	14,5	47,0	16,0	16,4	15,1	15,3	13,7	12,8	11,9	14,7	12,2	12,6
Alcalinité	mg/l de CaCO ₃	3,3	6,3	3,6	3,6	3,7	4,3	2,8	-	2,5	-	2,5	2,6
Bicarbonates	mg/l de HCO ₃	3,9	7,6	4,3	4,4	4,4	5,2	3,4	-	3,0	-	3,0	3,3
Azote Kjeldahl	mg/l de N	0,15	0,19	0,17	0,12	0,17	0,16	0,16	-	0,16	0,20	0,15	0,13
Azote ammon.	mg/l de N	0,01	0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	-	-	-	-	-
Nitrates-nitrites	mg/l de N	<0,10	0,05	<0,02	0,02	0,04	0,04	0,03	-	-	-	-	-
Phosphore total	µg/l de P	12	24	16	18	16	13	12	12	10	11	11	9
Carbone inorg.	mg/l de C	1,1	1,0	1,5	1,7	1,9	1,7	1,4	-	-	-	1,6	1,6
Carbone organ.	mg/l de C	6,1	12,4	5,7	4,9	5,3	5,2	5,4	4,3	4,3	3,6	3,7	3,7
Calcium	mg/l de Ca	1,3	29,5	1,9	1,4	1,5	1,3	1,2	-	-	1,4	-	-
Magnésium	mg/l de Mg	0,4	1,2	0,5	0,4	0,5	0,4	0,3	-	-	0,5	-	-
Sodium	mg/l de Na	0,8	3,9	0,7	0,8	0,9	0,8	0,8	-	-	0,8	-	-
Potassium	mg/l de K	0,3	1,0	0,6	0,5	0,6	0,5	0,4	-	-	0,4	-	-
Sulfates	mg/l de SO ₄	2,9	5,2	1,9	1,0	1,2	2,0	1,6	-	-	1,9	-	-
Chlorures	mg/l de Cl	0,3	3,4	0,4	0,6	0,6	1,3	1,0	-	-	0,4	-	-
Fer	mg/l de Fe	0,25	1,85	0,24	0,18	4,17	0,19	0,17	-	-	-	-	-
Manganèse	mg/l de Mn	0,20	0,40	0,22	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	-	-	-	-	-
Tanins	mg/l	1,06	1,95	0,94	0,81	0,80	0,77	0,69	-	-	-	-	-
Silice	mg/l de SiO ₂	2,47	2,74	2,61	1,61	1,20	1,36	1,09	-	1,33	1,61	2,02	1,79
Chlorophylle α	µg/l	1,49	1,94	1,25	2,40	1,71	1,40	1,82	1,35	1,38	0,86	0,95	1,62
Phéopigments	µg/l	0,54	0,92	0,25	0,65	1,09	0,62	1,22	0,83	0,45	0,40	0,40	1,38

ANNEXE 3

**Moyennes des paramètres physico-chimiques mesurés
en été dans les 10 premiers mètres de la colonne
d'eau à la station Fort-George (FG 400)**

Annexe-3. Moyennes des paramètres physico-chimiques mesurés en été dans les 10 premiers mètres de la colonne d'eau à la station Fort-George (FG 400).

		1977-78	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1988	1991	1992	1994	1996
Paramètres	Unités												
Nombre		20	9	7	10	10	10	10	5	4	3	5	5
Profondeur	m	2,8	2,2	2,1	1,8	2,2	2,3	2,4	2,3	-	2,8	2,5	2,0
Température	°C	9,6	11,5	7,5	8,8	8,5	8,7	8,7	8,6	8,9	6,5	7,3	7,9
Turbidité	UTN	3,4	16,8	2,3	3,6	2,6	2,7	3,2	1,7	3,9	4,1	2,1	2,2
Couleur réelle	UCV	24	62	33	29	28	27	25	-	26	28	26	25
Oxygène dissous	mg/l de O ₂	11,5	10,5	12,4	11,9	11,7	11,9	11,5	11,5	-	11,6	13,0	11,4
Saturation en O ₂	%	98	95	103	101	99	102	98	98	104	101	108	95
pH	unité de pH	6,6	7,3	6,6	6,6	6,6	6,5	6,5	6,5	6,5	6,6	6,3	6,3
Conductivité	µS/cm	15,9	2872,0	16,6	18,0	17,4	15,9	14,2	13,1	12,5	14,6	12,9	12,3
Alcalinité	mg/l de CaCO ₃	3,6	16,9	3,6	3,9	4,0	3,6	3,0	-	3,3	-	2,8	2,6
Bicarbonates	mg/l de HCO ₃	4,3	20,2	4,4	4,6	4,8	4,4	3,7	-	4,0	-	3,4	3,2
Azote Kjeldahl	mg/l de N	0,16	0,19	0,17	0,14	0,18	0,16	0,17	-	0,17	0,19	0,15	0,14
Azote ammon.	mg/l de N	<0,01	0,02	0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	-	-	0,29	-	-
Nitrates-nitrites	mg/l de N	<0,10	0,05	<0,02	<0,02	0,03	0,03	0,03	-	-	-	-	-
Phosphore total	µg/l de P	14	30	14	18	14	15	15	13	11	12	8	8
Carbone inorg.	mg/l de C	1,3	3,2	1,5	1,6	1,7	1,6	1,4	-	-	-	1,7	1,6
Carbone organ.	mg/l de C	6,1	13,3	5,5	5,5	5,4	5,5	5,5	4,4	4,3	3,7	3,5	3,6
Calcium	mg/l de Ca	1,4	22,8	1,4	1,5	1,5	1,4	1,3	-	-	1,4	-	-
Magnésium	mg/l de Mg	0,4	52,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,4	-	-	0,4	-	-
Sodium	mg/l de Na	0,9	25,0	0,9	1,0	1,0	0,9	0,9	-	-	0,8	-	-
Potassium	mg/l de K	0,3	24,1	0,5	0,6	0,6	0,5	0,5	-	-	0,4	-	-
Sulfates	mg/l de SO ₄	3,2	134,0	1,8	1,0	1,3	2,1	1,6	-	-	1,8	-	-
Chlorures	mg/l de Cl	0,5	463,2	0,5	0,7	0,7	0,5	0,4	-	-	0,6	-	-
Fer	mg/l de Fe	0,24	0,82	0,29	0,32	0,24	0,23	0,21	-	-	-	-	-
Manganèse	mg/l de Mn	<0,20	0,55	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	-	-	-	-	-
Tanins	mg/l	1,15	1,79	0,95	0,85	0,82	0,77	0,69	-	-	-	-	-
Silice	mg/l de SiO ₂	2,41	2,61	2,46	1,66	1,12	1,34	1,06	1,70	1,30	1,58	1,86	1,75
Chlorophylle α	µg/l	1,35	3,93	1,16	2,88	1,92	1,61	2,11	1,22	1,38	0,87	1,10	1,44
Phéopigments	µg/l	0,58	1,24	0,31	0,71	1,38	0,72	1,60	0,66	0,50	0,43	0,45	1,34

ANNEXE 4

**Moyennes des paramètres physico-chimiques mesurés en été
dans les 10 premiers mètres de la colonne d'eau aux stations
LG 2 aval (G1 110), Laperle (G1 070) et LG1 aval (G1 034)**

Annexe-4. Moyennes des paramètres physico-chimiques mesurés en été dans les 10 premiers mètres de la colonne d'eau aux stations LG 2 aval (G1 110), Laperle (G1 070) et LG 1 aval (G1 034).

Paramètres	Unités	LG 2 aval	Laperle	LG 1 aval
		moyenne	moyenne	moyenne
Nombre		4	4	4
Profondeur	m	6,8	10,0	3,0
Température	°C	6,9	7,5	7,5
Turbidité	UTN	-	4,0	2,3
Couleur réelle	UCV	26	26	27
Oxygène dissous	mg/l de O ₂	11,0	11,1	12,7
Saturation en O ₂	%	91	93	105
pH	unité de pH	6,3	6,2	6,2
Conductivité	µS/cm	12,1	12,2	12,1
Alcalinité	mg/l de CaCO ₃	2,5	2,5	2,7
Bicarbonates	mg/l de HCO ₃	3,0	3,0	3,2
Azote Kjeldahl	mg/l de N	0,14	0,15	0,15
Phosphore total	µg/l de P	5	11	9
Carbone inorg.	mg/l de C	1,6	1,6	1,8
Carbone organ.	mg/l de C	3,5	3,7	3,5
Silice	mg/l de SiO ₂	1,89	2,02	1,89
Chlorophylle α	µg/l	0,65	0,95	0,98
Phéopigments	µg/l	0,30	0,40	0,43

ANNEXE 5

**Moyennes des paramètres physico-chimiques mesurés
en hiver dans les 10 premiers mètres de la colonne
d'eau à la station LG 2 amont (G2 400)**

Annexe-5. Moyennes des paramètres physico-chimiques mesurés en hiver dans les 10 premiers mètres de la colonne d'eau à la station LG 2 amont (G2 400).

		1977-78	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1988	1992	1994	1996
Paramètres	Unités											
Nombre		6	5	4	3	3	2	1	1	1	1	1
Profondeur	m	6,8	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
Température	°C	1,0	0,4	0,7	0,6	0,6	0,3	0,5	0,5	0,5	0,1	0,3
Turbidité	UTN	2,2	1,6	0,3	0,7	0,8	0,8	0,6	-	0,5	0,4	0,9
Couleur réelle	UCV	25	29	30	26	32	25	25	-	23	21	24
Oxygène dissous	mg/l de O ₂	14,2	13,3	11,6	12,2	11,6	12,4	10,8	11,8	10,5	13,0	12,5
Saturation en O ₂	%	100	94	82	87	83	87	77	84	74	91	88
pH	unité de pH	6,5	6,3	6,0	6,3	6,1	6,0	6,0	6,2	6,2	6,2	6,1
Conductivité	µS/cm	17,0	17,0	16,3	15,8	16,0	13,0	14,0	13,0	13,0	11,5	12,2
Alcalinité	mg/l de CaCO ₃	3,9	3,2	2,8	3,1	2,9	2,4	2,7	-	-	2,2	1,7
Bicarbonates	mg/l de HCO ₃	4,7	3,8	3,4	3,7	3,5	2,9	3,2	-	-	2,6	2,1
Azote Kjeldahl	mg/l de N	0,18	0,12	0,09	0,09	0,14	0,13	0,14	0,30	0,21	0,13	0,13
Azote ammon.	mg/l de N	0,02	-	-	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	-	-	-	-
Nitrates-nitrites	mg/l de N	<0,10	<0,10	<0,10	0,03	0,06	0,06	0,05	-	-	-	-
Phosphore total	µg/l de P	9	8	8	9	10	10	10	-	4	5	2
Carbone inorg.	mg/l de C	1,0	1,3	1,3	1,8	1,9	2,0	1,5	-	-	1,5	1,6
Carbone organ.	mg/l de C	5,5	6,4	6,0	5,8	5,2	4,2	4,0	3,9	3,4	2,9	3,2
Calcium	mg/l de Ca	1,5	-	-	1,3	-	-	-	-	-	-	-
Magnésium	mg/l de Mg	0,4	-	-	0,4	-	-	-	-	-	-	-
Sodium	mg/l de Na	0,8	-	-	1,2	-	-	-	-	-	-	-
Potassium	mg/l de K	0,3	-	-	0,4	-	-	-	-	-	-	-
Sulfates	mg/l de SO ₄	2,9	3,0	1,7	2,7	2,5	2,0	1,5	-	-	-	-
Chlorures	mg/l de Cl	0,6	0,3	0,7	0,6	0,5	0,3	0,4	-	-	-	-
Fer	mg/l de Fe	0,19	2,50	0,09	0,08	0,12	0,12	0,08	-	-	-	-
Manganèse	mg/l de Mn	0,20	-	-	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	-	-	-	-
Tanins	mg/l	-	0,88	0,80	0,86	0,91	0,73	0,70	-	-	-	-
Silice	mg/l de SiO ₂	3,30	2,90	2,48	2,30	1,83	2,10	1,60	1,10	1,30	1,63	1,38
Chlorophylle α	µg/l	0,46	0,09	0,37	0,45	0,21	0,46	0,21	0,19	0,40	0,30	0,90
Phéopigments	µg/l	0,49	0,12	0,12	0,24	0,25	0,23	0,23	0,20	0,20	0,20	1,10

ANNEXE 6

**Moyennes des paramètres physico-chimiques mesurés
en hiver dans les 10 premiers mètres de la colonne
d'eau à la station LG 1 amont (G1 300)**

Annexe-6. Moyennes des paramètres physico-chimiques mesurés en hiver dans les 10 premiers mètres de la colonne d'eau à la station LG 1 amont (G1 300).

		1977-78	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1988	1992	1994	1996
Paramètres	Unités											
Nombre		7	5	4	4	3	2	3	1	1	1	1
Profondeur	m	4,1	2,5	6,5	5,0	5,7	5,0	5,0	6,0	7,0	10,0	10,0
Température	°C	0,6	0,7	1,1	1,2	0,8	1,0	1,2	1,0	0,3	0,3	0,4
Turbidité	UTN	2,5	5,3	0,9	1,1	1,9	2,7	2,9	-	1,2	0,8	1,4
Couleur réelle	UCV	25	48	29	28	30	25	22	-	25	25	27
Oxygène dissous	mg/l de O ₂	14,2	13,1	14,3	13,3	13,4	13,2	13,1	13,4	-	12,9	12,6
Saturation en O ₂	%	101	92	101	94	94	93	92	94	-	89	87
pH	unité de pH	6,4	6,7	6,2	6,4	6,3	6,1	6,1	6,3	6,3	6,3	6,1
Conductivité	µS/cm	20,0	64,2	14,5	17,3	16,7	16,0	14,3	13,0	13,0	10,5	12,3
Alcalinité	mg/l de CaCO ₃	3,8	10,8	3,2	3,4	3,3	3,1	2,8	-	-	2,7	2,2
Bicarbonates	mg/l de HCO ₃	4,6	12,9	3,9	4,1	4,0	3,7	3,3	-	-	3,2	2,6
Azote Kjeldahl	mg/l de N	0,19	0,21	0,12	0,14	0,14	0,17	0,15	-	0,16	0,10	0,13
Azote ammon.	mg/l de N	0,02	<0,10	0,10	<0,02	1,88	-	<0,02	-	-	-	-
Nitrates-nitrites	mg/l de N	<0,10	0,12	<0,02	0,04	0,06	0,07	0,06	-	-	-	-
Phosphore total	µg/l de P	9	25	11	10	13	14	14	-	-	7	4
Carbone inorg.	mg/l de C	2,5	3,5	1,2	1,8	1,7	2,0	1,5	-	-	1,7	1,8
Carbone organ.	mg/l de C	6,5	9,3	5,9	5,7	5,1	4,4	4,9	-	3,5	3,3	3,3
Calcium	mg/l de Ca	1,6	-	1,2	1,3	-	-	1,2	-	-	-	-
Magnésium	mg/l de Mg	0,4	-	0,4	0,4	-	-	0,4	-	-	-	-
Sodium	mg/l de Na	1,1	-	0,7	0,9	-	-	0,8	-	-	-	-
Potassium	mg/l de K	0,4	-	0,5	0,4	-	-	0,5	-	-	-	-
Sulfates	mg/l de SO ₄	2,9	7,5	2,5	2,0	2,5	2,0	1,7	1,2	-	-	-
Chlorures	mg/l de Cl	0,7	11,2	0,8	0,6	0,6	0,6	0,4	-	-	-	-
Fer	mg/l de Fe	0,21	-	0,10	0,13	0,12	0,20	0,23	4,10	-	-	-
Manganèse	mg/l de Mn	0,20	-	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	-	-	-	-
Tanins	mg/l	1,42	0,97	0,80	0,84	0,83	0,76	0,70	0,24	-	-	-
Silice	mg/l de SiO ₂	2,95	3,83	2,40	2,18	1,67	1,80	1,53	-	1,55	1,85	1,70
Chlorophylle α	µg/l	0,76	0,15	0,28	0,44	0,21	0,36	0,31	0,24	0,30	0,20	0,40
Phéopigments	µg/l	0,21	0,10	0,12	0,22	0,25	0,27	0,20	0,20	0,20	0,20	1,00

ANNEXE 7

**Moyennes des paramètres physico-chimiques mesurés
en hiver dans les 10 premiers mètres de la colonne
d'eau à la station Fort-George (FG 400)**

Annexe-7. Moyennes des paramètres physico-chimiques mesurés en hiver dans les 10 premiers mètres de la colonne d'eau à la station Fort-George (FG 400).

Paramètres	Unités	1977-78	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1988	1992	1994	1996
Nombre		8	4	4	4	3	1	3	1	1	1	1
Profondeur	m	2,9	2,5	2,3	1,8	2,2	2,5	2,5	-	3,0	4,0	0,5
Température	°C	0,7	0,4	1,0	3,0	1,1	1,7	1,1	0,9	0,5	0,1	0,5
Turbidité	UTN	4,8	2,0	3,3	1,6	2,6	2,6	5,1	1,2	1,9	1,0	1,8
Couleur réelle	UCV	26	37	30	28	32	25	23	-	25	25	26
Oxygène dissous	mg/l de O ₂	14,3	13,7	14,4	12,8	13,7	13,4	13,7	14,2	-	16,0	12,9
Saturation en O ₂	%	99	95	101	95	97	96	94	100	-	110	89
pH	unité de pH	6,5	6,9	6,3	6,5	6,4	6,4	6,3	6,3	6,4	6,2	6,1
Conductivité	µS/cm	19,3	9007,4	15,8	17,0	18,7	17,0	15,0	13,0	-	12,0	12,5
Alcalinité	mg/l de CaCO ₃	3,3	25,0	4,1	3,5	3,8	4,1	2,4	-	-	2,8	2,2
Bicarbonates	mg/l de HCO ₃	3,9	30,0	4,9	4,2	4,5	4,9	2,9	-	-	3,3	2,7
Azote Kjeldahl	mg/l de N	0,21	0,17	0,17	0,13	0,16	0,14	0,16	-	0,15	0,11	0,14
Azote ammon.	mg/l de N	0,02	0,08	0,01	<0,02	-	-	<0,02	-	-	-	-
Nitrates-nitrites	mg/l de N	0,12	0,25	0,07	0,03	0,06	0,07	0,05	-	-	-	-
Phosphore total	µg/l de P	20	18	14	13	14	13	18	10	-	7	4
Carbone inorg.	mg/l de C	1,3	7,3	1,5	1,6	1,7	1,9	1,4	-	-	1,9	1,9
Carbone organ.	mg/l de C	6,0	5,6	5,6	5,0	5,3	4,7	5,1	4,0	3,9	2,8	3,6
Calcium	mg/l de Ca	1,8	26,0	1,1	1,3	-	-	1,3	-	-	-	-
Magnésium	mg/l de Mg	0,5	567,0	0,5	0,4	-	-	0,4	-	-	-	-
Sodium	mg/l de Na	1,1	4,2	0,8	0,8	-	-	0,8	-	-	-	-
Potassium	mg/l de K	0,5	6,5	0,5	0,4	-	-	0,5	-	-	-	-
Sulfates	mg/l de SO ₄	3,0	238,2	2,7	1,7	3,0	2,5	1,8	-	-	-	-
Chlorures	mg/l de Cl	0,7	1785,4	0,6	0,8	1,2	0,7	0,5	-	-	-	-
Fer	mg/l de Fe	0,44	1,76	0,26	0,19	0,15	0,20	0,37	-	-	-	-
Manganèse	mg/l de Mn	0,30	1,06	<0,20	<0,20	-	<0,20	0,20	-	-	-	-
Tanins	mg/l	1,32	1,07	0,91	0,86	0,89	0,76	0,74	-	-	-	-
Silice	mg/l de SiO ₂	3,10	2,42	2,48	2,18	1,70	1,80	1,53	-	1,55	1,85	1,70
Chlorophylle α	µg/l	0,50	0,41	0,31	0,88	0,23	0,34	0,47	0,21	0,30	0,20	0,30
Phéopigments	µg/l	0,37	0,13	0,15	0,42	0,28	0,25	0,32	0,30	0,20	0,20	0,90

ANNEXE 8

**Moyennes des paramètres physico-chimiques mesurés en hiver
dans les 10 premiers mètres de la colonne d'eau aux stations
LG 2 aval (G1 110), Laperle (G1 070) et LG1 aval (G1 034)**

Annexe-8. Moyennes des paramètres physico-chimiques mesurés en hiver dans les 10 premiers mètres de la colonne d'eau aux stations LG 2 aval (G1 110), Laperle (G1 070) et LG 1 aval (G1 034) en 1994.

Paramètres	Unités	LG 2 aval	Laperle	LG 1 aval
		moyenne	moyenne	moyenne.
Nombre		1	1	1
Profondeur	m	5,0	10,0	3,0
Température	° C	0,3	0,3	0,1
Turbidité	UTN	-	0,8	0,9
Couleur réelle	UCV	27	25	26
Oxygène dissous	mg/l de O ₂	12,9	12,9	16,0
Saturation en O ₂	%	89	89	110
pH	unité de pH	6,2	6,3	6,1
Conductivité	µS/cm	11,5	10,5	12,3
Alcalinité	mg/l de CaCO ₃	2,1	2,7	3,1
Bicarbonates	mg/l de HCO ₃	2,5	3,2	3,7
Azote Kjeldahl	mg/l de N	0,12	0,10	0,13
Azote ammon.	mg/l de N	-	-	-
Nitrates-nitrites	mg/l de N	-	-	-
Phosphore total	µg/l de P	7	7	7
Carbone inorg.	mg/l de C	1,5	1,7	2,7
Carbone organ.	mg/l de C	3,0	3,3	2,9
Calcium	mg/l de Ca	-	-	-
Magnésium	mg/l de Mg	-	-	-
Sodium	mg/l de Na	-	-	-
Potassium	mg/l de K	-	-	-
Sulfates	mg/l de SO ₄	-	-	-
Chlorures	mg/l de Cl	-	-	-
Fer	mg/l de Fe	-	-	-
Manganèse	mg/l de Mn	-	-	-
Tanins	mg/l	-	-	-
Silice	mg/l de SiO ₂	1,95	1,85	1,85
Chlorophylle α	µg/l	0,20	0,20	0,20
Phéopigments	µg/l	0,20	0,20	0,20