

Complexe de la Romaine

Étude d'impact sur l'environnement

Volume 2

Milieu physique

Hydro-Québec Production
Décembre 2007

Cette étude d'impact sur l'environnement est soumise à la ministre du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec en vertu de l'article 31.1 de la Loi sur la qualité de l'environnement en vue d'obtenir l'autorisation nécessaire à la construction et à l'exploitation subséquente des aménagements hydroélectriques du complexe de la Romaine. Elle est également transmise à l'Agence canadienne d'évaluation environnementale, qui coordonne l'évaluation environnementale du projet en vertu de la Loi canadienne sur l'évaluation environnementale.

L'étude d'impact sur l'environnement, en dix volumes, est subdivisée de la façon suivante :

- Volume 1 : Vue d'ensemble et description des aménagements
- Volume 2 : Milieu physique
- Volume 3 : Milieu biologique (1 de 2)
- Volume 4 : Milieu biologique (2 de 2)
- Volume 5 : Milieu humain – Minganie
- Volume 6 : Milieu humain – Communautés innues et archéologie
- Volume 7 : Bilan des impacts et des mesures d'atténuation
- Volume 8 : Annexes
- Volume 9 : Méthodes
- Volume 10 : Cartes en pochette

La présente étude a été réalisée par Hydro-Québec Équipement et Hydro-Québec Production en collaboration avec la direction principale – Communication d'Hydro-Québec.

La liste détaillée des collaborateurs est présentée à l'annexe L, dans le volume 8

Sommaire

Hydro-Québec Production projette de construire un complexe hydroélectrique de 1 550 MW sur la rivière Romaine, au nord de la municipalité de Havre-Saint-Pierre, sur la Côte-Nord. Ce complexe sera composé de quatre aménagements hydroélectriques dont la production énergétique moyenne annuelle s'élèvera à 8,0 TWh par année. Le projet est prévu dans le *Plan stratégique 2006-2010* d'Hydro-Québec approuvé par décret du gouvernement du Québec le 14 février 2007 (décret n° 145-2007).

Hydro-Québec Production mettra en marché l'énergie et la puissance produites par le complexe aux conditions des marchés, au Québec et hors Québec. Comme pour les grands projets de développement hydroélectrique réalisés par le passé, les exportations d'Hydro-Québec Production augmenteront durant les premières années suivant la mise en service des centrales, puis elles diminueront au fur et à mesure de la croissance de ses ventes d'électricité au Québec. Cette approche est caractéristique du développement des projets hydroélectriques majeurs au Québec.

Chacun des aménagements comprendra un barrage en enrochement, une centrale munie de deux groupes turbines-alternateurs, un évacuateur de crues et une dérivation provisoire permettant de réaliser les travaux à sec. La superficie totale des quatre réservoirs projetés est de 279 km².

L'aménagement de la Romaine-4, situé à la tête du complexe (PK 191,9 de la rivière Romaine), sera mis en service en 2020. Il sera doté d'une centrale en surface de 245 MW munie de deux groupes. L'aménagement de la Romaine-3 sera établi au PK 158,4 de la rivière. La centrale offrira une puissance installée de 395 MW et sera mise en service en 2017. Plus en aval, à la hauteur du PK 90,3, on prévoit construire l'aménagement de la Romaine-2. Celui-ci sera mis en service en 2014 et produira 640 MW. Enfin, au PK 52,5, on trouvera l'aménagement de Romaine-1, qui aura une puissance de 270 MW et sera exploité à compter de 2016.

Un débit réservé est prévu à chacun des aménagements. Il sera de 1,8 m³/s à la Romaine-4, de 2,2 m³/s à la Romaine-3 et de 2,7 m³/s à la Romaine-2. Les pertes d'habitat du poisson dans les tronçons court-circuités seront compensées par une série de mesures visant l'omble de fontaine à l'extérieur de ces tronçons. Un régime de débits réservés écologiques est prévu en aval de l'aménagement de la Romaine-1. Ses caractéristiques ainsi que d'autres mesures proposées seront dictées par les besoins du saumon atlantique (reproduction, incubation des œufs et alimentation), présent dans la Romaine entre l'embouchure et le PK 52,5. Le débit d'exploitation de la centrale de la Romaine-1 variera typiquement entre 200 et 400 m³/s. Il sera supérieur aux débits réservés écologiques pendant la quasi-totalité du temps.

Le projet consiste également à construire la route de la Romaine, qui reliera la route 138 aux quatre aménagements projetés, couvrant une distance totale de quelque 150 km. Deux campements de travailleurs sont prévus sur la rive droite de la Romaine, l'un au kilomètre 35,7 de la route de la Romaine et l'autre au kilomètre 118,0.

La construction du complexe débutera aussitôt que les autorisations gouvernementales auront été délivrées. Les travaux commenceront au milieu de 2009 et la mise en service du premier aménagement aura lieu en 2014. La dernière mise en service aura lieu en 2020. Le coût total du projet est évalué à 6,5 milliards de dollars.

Il est prévu que la production du complexe de la Romaine sera intégrée au réseau de transport d'Hydro-Québec TransÉnergie par environ 500 km de lignes de transport conçues à 315 kV et à 735 kV, mais toutes exploitées à 315 kV. Les postes de départ et les nouvelles lignes feront l'objet d'une étude d'impact distincte.

Le projet du complexe de la Romaine a fait l'objet de nombreuses consultations auprès du public ainsi que d'échanges divers avec le milieu et les autorités locales. Ces rencontres ont permis de dégager les grands enjeux du projet, soit les retombées économiques, l'ouverture du territoire, la traversée de la Romaine en motoneige, les activités de chasse, de pêche et de piégeage, la préservation des ressources fauniques et de leur habitat (particulièrement celui du saumon) ainsi que l'intégrité de la réserve de parc national du Canada de l'Archipel-de-Mingan.

Hydro-Québec a conclu avec la MRC de Minganie une entente de partenariat inspirée de celles qui ont été signées dans le cadre des aménagements hydroélectriques récents réalisés par l'entreprise. Ce partenariat permettra à la région hôte de mieux profiter de la réalisation du projet.

Hydro-Québec a présenté les caractéristiques du projet aux représentants des communautés innues de Mingan (Ekuanitshit), de Natashquan (Nutashkuan), de La Romaine (Unamanshipu) et de Pakuashipi. Le contexte des revendications territoriales globales en cours a compliqué et retardé la participation des Innus aux études relatives au complexe de la Romaine. La réponse des communautés paraît généralement favorable au projet. Hydro-Québec discute présentement avec les communautés innues pour déterminer le contenu des ententes sur les répercussions et avantages (ERA) qui visent, entre autres choses, à favoriser leur développement économique et social ainsi qu'à promouvoir le maintien d'*Innu Aitun*^[1].

Le projet aura des retombées positives sur l'environnement socioéconomique des communautés de la Minganie et de la Côte-Nord ainsi que sur l'économie de l'ensemble du Québec. On estime que les contrats et les achats de biens et de services liés à la construction du complexe engendreront des retombées d'environ 3,5 milliards de dollars au Québec et que le projet devrait créer ou maintenir des emplois équivalant à 33 410 années-

[1] *Innu Aitun*, « la vie innue », désigne toutes les activités rattachées à la culture, aux valeurs fondamentales et au mode de vie traditionnel des Innus ainsi que le lien particulier qu'ils entretiennent avec le territoire.

personnes. Compte tenu des mesures de bonification mises en place, environ 1,3 milliard de dollars en dépenses de construction pourraient profiter aux entreprises de la Côte-Nord. Le taux de participation des travailleurs de la construction de la région serait voisin de 60 %. De nombreuses mesures seront mises en œuvre pour que le projet s'insère le mieux possible dans le milieu, telles que des mesures favorisant les retombées économiques et l'emploi de la main-d'œuvre locale et régionale.

En plus des revenus fiscaux engendrés par le complexe de la Romaine, Hydro-Québec versera chaque année les redevances hydrauliques, la taxe sur les services publics ainsi que des dividendes au gouvernement du Québec.

Par ailleurs, certains travailleurs affectés à la construction du complexe pourraient choisir de s'établir en Minganie, principalement à Havre-Saint-Pierre. Cet apport de nouveaux résidents, notamment de jeunes familles, devrait permettre de dynamiser la vie de la communauté et de compenser la baisse démographique que connaît actuellement la Minganie.

Parmi les autres retombées positives du projet, la route de la Romaine, qui créera une percée d'environ 150 km dans l'arrière-pays, permettra d'améliorer l'accès aux zones de villégiature et pourrait favoriser le développement d'activités récréotouristiques. Aussi, elle ouvrira des territoires à l'exploitation de la forêt ou à la prospection minière. En raison de ses répercussions possibles sur les ressources naturelles et sur la villégiature, notamment, l'ouverture du territoire – un sujet sensible pour les populations minganoise et innue – a été prise en compte dans l'évaluation des impacts de toutes les composantes du milieu.

Plusieurs mesures viennent atténuer l'impact du projet sur la pratique de la motoneige. Les plus importantes sont la construction d'une passerelle aux environs du PK 15,5 de la Romaine et l'accès des motoneiges au pont de Romaine-1 projeté.

La navigation de plaisance sur la Romaine ne devrait pas être modifiée par les nouvelles conditions hydrauliques, car les débits d'été seront peu modifiés. Par ailleurs, les eaux calmes des nouveaux réservoirs seront facilement navigables. Une rampe de mise à l'eau sera aménagée sur les rives de chaque réservoir et des aménagements faciliteront le franchissement des ouvrages de la Romaine-1 par les canoteurs et les kayakistes. La création des réservoirs transformera la presque totalité du paysage fluvial de la Romaine en paysage lacustre. La disparition de la Grande Chute, située au PK 52,5 à l'emplacement du barrage de la Romaine-1, constitue le seul impact notable sur le paysage.

La création des réservoirs touchera une douzaine de détenteurs de baux de villégiature. Le projet n'empêchera pas cependant la poursuite des activités de chasse, de pêche sportive et de piégeage. Seuls quelques lieux de pêche fréquentés par moins d'une dizaine de pêcheurs seront modifiés ou disparaîtront. Les réservoirs modifieront aussi certaines aires de chasse au gros gibier, mais la disponibilité des espèces chassées devrait rester la même. Par ailleurs, la route de la Romaine améliorera l'accessibilité des territoires de chasse et des secteurs de pêche. Il est à noter que la pêche blanche pratiquée à l'embouchure de la rivière Aisley ne sera pas perturbée.

La pêche au saumon – que ce soit la pêche de subsistance des Innus ou la pêche sportive – sera modifiée par la régularisation du débit de la Romaine, qui favorisera une montaison plus rapide du saumon.

Le saumon atlantique, une ressource de première importance dans le milieu, fera l'objet de mesures particulières, tant en ce qui concerne le mode d'exploitation des centrales que l'aménagement de frayères et la mise en place d'un programme de restauration, étalé sur vingt ans. Malgré une légère diminution de la croissance due au refroidissement de l'eau en été, on ne prévoit pas d'effet négatif du projet sur la population de saumons, sinon une amélioration attribuable au programme de restauration. L'habitat du poisson, malgré des transformations importantes, sera propice au maintien de la capacité de production actuelle. Par ailleurs, les réservoirs projetés n'offriront pas d'habitat favorable à l'omble de fontaine. En compensation, des ruisseaux et des lacs environnants seront aménagés en faveur de cette espèce. De plus, dans deux réservoirs, des programmes favoriseront l'implantation de populations d'autres salmonidés à forte valeur récréative et de subsistance, soit la ouananiche (Romaine 4) et le touladi (Romaine 1).

Quant aux activités de piégeage, on ne prévoit pas d'incidences notables sur le potentiel de prélèvement d'animaux à fourrure. Par contre, les nouvelles conditions de la couverture de glace de la Romaine pourraient compliquer l'accès à certaines parties de sept terrains de piégeage le long de la rivière. Les mesures mises en place pour la motoneige permettront toutefois de limiter les impacts sur les activités des piégeurs.

Le milieu marin entourant l'archipel de Mingan sera peu influencé par les modifications de débit de la Romaine, comme le démontre un modèle de prévision de la productivité planctonique. On ne prévoit donc pas d'impact sur les activités de pêche commerciale à l'embouchure de la rivière. Les oiseaux marins et la sauvagine qui fréquentent l'archipel ne devraient pas non plus être affectés par le projet.

Enfin, parmi les mammifères terrestres, les quelques caribous forestiers qui fréquentent la zone d'étude seront dérangés par les travaux de construction. Cette espèce fera l'objet d'un suivi scientifique qui s'étendra au-delà de la période de construction et qui visera à mieux connaître ses déplacements.

On effectuera une surveillance environnementale pendant toute la durée des travaux pour s'assurer de l'application des mesures d'atténuation. De plus, un programme de suivi permettra de vérifier l'importance réelle des impacts ainsi que l'efficacité des mesures d'atténuation, de bonification et de compensation, pour bon nombre de composantes du milieu.

Table des matières globale

Volume 1 Vue d'ensemble et description des aménagements

- 1 Introduction
- 2 Justification du projet
- 3 Participation du public
- 4 Zone d'étude
- 5 Description générale du milieu
- 6 Enjeux
- 7 Méthode d'évaluation des impacts
- 8 Variantes étudiées et retenues
- 9 Aménagement de la Romaine-4
- 10 Aménagement de la Romaine-3
- 11 Aménagement de la Romaine-2
- 12 Aménagement de la Romaine-1
- 13 Accès et hébergement permanents
- 14 Installations temporaires et activités pendant la construction
- 15 Gestion des risques d'accident

Volume 2 Milieu physique

- 16 Hydraulique, hydrologie et hydrodynamique
- 17 Régime thermique
- 18 Régime des glaces
- 19 Géomorphologie
- 20 Dynamique sédimentaire
- 21 Qualité de l'eau
- 22 Océanographie physique

Volume 3 Milieu biologique (1 de 2)

- 23 Poissons
- 24 Mercure dans la chair des poissons

Volume 4 Milieu biologique (2 de 2)

- 25 Végétation
- 26 Faune terrestre et semi-aquatique
- 27 Amphibiens et reptiles
- 28 Oiseaux
- 29 Océanographie biologique

Volume 5 Milieu humain – Minganie

- 30 Planification et aménagement du territoire
- 31 Environnement socioéconomique
- 32 Mercure et santé publique
- 33 Chasse sportive, pêche sportive et piégeage
- 34 Pêche commerciale
- 35 Activités récréotouristiques
- 36 Paysage
- 37 Forêts, mines et infrastructures

Volume 6 Milieu humain – Communautés innues et archéologie

- 38 Contexte historique (1820-1980) du développement des communautés innues de la Moyenne-Côte-Nord et de la Basse-Côte-Nord
- 39 Ekuanitshit
- 40 Nutashkuan
- 41 Unaman-shipu
- 42 Pakua-shipi
- 43 Innus d'Uashat mak Mani-Utenam et du Labrador
- 44 Savoir des communautés innues
- 45 Archéologie

Volume 7 Bilan des impacts et des mesures d'atténuation

- 46 Bilan des impacts et des mesures d'atténuation, de bonification et de compensation
- 47 Surveillance des travaux et suivi environnemental
- 48 Effets cumulatifs
- 49 Gaz à effet de serre et changements climatiques
- 50 Développement durable
- 51 Bibliographie

Volume 8 Annexes

Volume 9 Méthodes

Volume 10 Cartes en pochette

Table des matières

Volume 2 : Milieu physique

16 Hydraulique, hydrologie et hydrodynamique

16.1	Conditions actuelles	16-1
16.1.1	Hydrologie	16-1
16.1.2	Hydraulique	16-2
16.2	Modifications liées à la présence et à l'exploitation des aménagements	16-6
16.2.1	Gestion des débits aux aménagements de la Romaine	16-6
16.2.2	Niveaux d'eau	16-16
16.3	Modifications liées à la période d'exploitation transitoire	16-23
16.3.1	Exploitation de l'aménagement de la Romaine-2 seul et exploitation des aménagements de la Romaine-2 et de la Romaine-1	16-23
16.3.2	Exploitation des aménagements de la Romaine-3, de la Romaine-2 et de la Romaine-1	16-27
16.3.3	Exploitation des aménagements de la Romaine-3, de la Romaine-2 et de la Romaine-1 pendant le remplissage du réservoir de la Romaine 4	16-29
16.4	Modifications liées aux activités de construction	16-30
16.4.1	Construction de l'aménagement de la Romaine-4	16-30
16.4.2	Construction de l'aménagement de la Romaine-3	16-31
16.4.3	Construction de l'aménagement de la Romaine-2	16-32
16.4.4	Construction de l'aménagement de la Romaine-1	16-38

17 Régime thermique

17.1	Conditions actuelles	17-1
17.1.1	Démarche méthodologique	17-1
17.1.2	Régime thermique	17-1
17.2	Modifications liées à la présence et à l'exploitation des aménagements	17-4
17.2.1	Secteur de la Romaine-4	17-4
17.2.2	Secteur de la Romaine-3	17-7
17.2.3	Secteur de la Romaine-2	17-10
17.2.4	Secteur de la Romaine-1	17-13
17.3	Modifications liées à la période d'exploitation transitoire	17-17
17.3.1	Exploitation de l'aménagement de la Romaine-2 seul et exploitation des aménagements de la Romaine-2 et de la Romaine-1	17-17
17.3.2	Exploitation des aménagements de la Romaine-2 et de la Romaine-1	17-19
17.3.3	Exploitation des aménagements de la Romaine-3, de la Romaine-2 et de la Romaine-1	17-19
17.4	Modifications liées à la période de construction	17-19

18 Régime des glaces

18.1	Conditions actuelles	18-1
18.1.1	Démarche méthodologique.	18-1
18.1.2	Régime des glaces de la rivière Romaine.	18-1
18.2	Modifications liées à la présence et à l'exploitation des aménagements	18-9
18.2.1	Réservoirs de la Romaine 2, de la Romaine 3 et de la Romaine 4.	18-9
18.2.2	Réservoir de la Romaine 1	18-9
18.2.3	Tronçons court-circuités.	18-12
18.2.4	Tronçon en aval de la centrale de la Romaine-1	18-12
18.3	Modifications liées à la période d'exploitation transitoire	18-19
18.3.1	Exploitation de l'aménagement de la Romaine-2	18-19
18.3.2	Exploitation des aménagements de la Romaine-2 et de la Romaine-1	18-20
18.3.3	Exploitation des aménagements de la Romaine-3, de la Romaine-2 et de la Romaine-1	18-20
18.4	Modifications liées aux activités de construction	18-21

19 Géomorphologie

19.1	Conditions actuelles	19-1
19.1.1	Démarche méthodologique.	19-1
19.1.2	Géomorphologie des rives de la Romaine	19-1
19.1.3	Principales zones en érosion le long de la Romaine.	19-6
19.1.4	Sols indurés	19-8
19.2	Modifications liées à la présence et à l'exploitation des aménagements	19-9
19.2.1	Réservoirs.	19-9
19.2.2	Tronçons court-circuités.	19-21
19.2.3	Tronçon en aval de la centrale de la Romaine-1	19-23
19.3	Modifications liées aux activités de construction	19-26

20 Dynamique sédimentaire

20.1	Conditions actuelles	20-1
20.1.1	Démarche méthodologique.	20-1
20.1.2	Érosion et apports sédimentaires dans le bassin versant de la Romaine	20-2
20.1.3	Charge sédimentaire de la rivière Romaine	20-3
20.1.4	Discontinuités de la composition géochimique des sédiments du lit de la Romaine et de ses tributaires	20-6
20.1.5	Bilan et transit sédimentaires de la rivière Romaine	20-9
20.2	Modifications liées à la présence et à l'exploitation des aménagements	20-15
20.2.1	Réservoirs.	20-15
20.2.2	Tronçons court-circuités.	20-17
20.2.3	Tronçon en aval de la centrale de la Romaine-1	20-18
20.3	Modifications liées aux activités de construction	20-24
20.3.1	Construction des ouvrages de dérivation provisoire	20-24
20.3.2	Remplissage du réservoir de la Romaine 2	20-26

21 Qualité de l'eau

21.1	Conditions actuelles	21-1
21.1.1	Démarche méthodologique	21-1
21.1.2	Variables optiques	21-1
21.1.3	Variables physicochimiques.	21-6
21.1.4	Qualité de l'eau en fonction des critères d'usage	21-8
21.1.5	Mercuré et méthylmercure.	21-8
21.2	Modifications liées à la présence et à l'exploitation des aménagements.	21-9
21.3	Modifications liées aux activités de construction	21-24

22 Océanographie physique

22.1	Conditions actuelles	22-1
22.1.1	Démarche méthodologique	22-3
22.1.2	Milieu physique de la zone de l'embouchure	22-5
22.1.3	Milieu physique du chenal de Mingan.	22-12
22.2	Modifications liées à la présence et à l'exploitation des aménagements.	22-14
22.2.1	Zone de l'embouchure de la Romaine	22-14
22.2.2	Chenal de Mingan	22-20
22.3	Modifications liées aux activités de construction	22-22

Tableaux

16-1	Débits moyens à différents points de la Romaine – Conditions actuelles	16-2
16-2	Débits de crue aux emplacements des barrages projetés – Conditions actuelles	16-2
16-3	Variation du niveau de la Romaine en période d'eau libre selon les variations du débit turbiné à la centrale de la Romaine-1	16-21
16-4	Deuxième étape de remplissage du réservoir de la Romaine 2 – Débit au PK 52 de la Romaine selon l'hydraulicité	16-34
16-5	Deuxième étape de remplissage du réservoir de la Romaine 2 – Débit à l'embouchure de la Romaine selon l'hydraulicité	16-34
16-6	Deuxième étape de remplissage du réservoir de la Romaine 2 – Débit minimal en aval du barrage de la Romaine-2 selon l'hydraulicité	16-34
16-7	Deuxième étape de remplissage du réservoir de la Romaine 2 – Abaissement du niveau d'eau en aval du barrage de la Romaine-2 selon l'hydraulicité	16-36
16-8	Deuxième étape de remplissage du réservoir de la Romaine 2 – Perte de superficie aquatique en aval du barrage de la Romaine-2 selon l'hydraulicité	16-36
16-9	Deuxième étape de remplissage du réservoir de la Romaine 2 – Niveau moyen d'été et niveau minimal à l'embouchure des tributaires de la Romaine en aval du barrage de la Romaine-2	16-37
18-1	Périodes pendant lesquelles l'épaisseur de la couverture de glace dépasse 20 cm en aval de la centrale de la Romaine-1 – Conditions actuelles et futures	18-16
18-2	Marnages associés aux variations de débit aux PK 51,5, 34,5, 15,65 et 1 de la Romaine	18-19
19-1	Composition des berges de la Romaine et longueur de rives en érosion	19-3
19-2	Classes de sensibilité à l'érosion des berges	19-11
19-3	Matériaux présents le long des rives des réservoirs projetés (niveau d'exploitation maximal)	19-16
19-4	Segments de rive les plus sensibles à l'érosion au pourtour des réservoirs projetés (niveau d'exploitation maximal)	19-17
19-5	Longueurs de rives visées par l'érosion – Conditions actuelles et futures	19-17
19-6	Composition des rives des tronçons court-circuités	19-22
20-1	Volumes de sédiments issus de l'érosion de rives instables en aval du PK 295 de la Romaine	20-2
20-2	Charge sédimentaire annuelle estimée aux PK 3,8, 53,5 et 162,5 de la Romaine	20-5
20-3	Capacité de transport théorique et charge sédimentaire sableuse cumulative de la Romaine en aval de la centrale de la Romaine-1 – Conditions actuelles et futures	20-20
20-4	Charge mensuelle de sédiments de la Romaine en aval de la centrale de la Romaine-1 selon la capacité de transport calculée au PK 3	20-23
20-5	Description des tributaires de la rivière Romaine (PK 11-82,3) susceptibles de s'encaisser pendant la deuxième étape de remplissage du réservoir de la Romaine 2	20-28
21-1	Résultats des campagnes d'échantillonnage aux stations de la rivière Romaine	21-2
21-2	Résultats des campagnes d'échantillonnage à la station témoin du lac du Vingt-Deuxième Mille	21-4
21-3	Modification maximale des principales variables de la qualité de l'eau prévues à court et à long terme dans le réservoir de la Romaine 4	21-11

21-4	Modification maximale des principales variables de la qualité de l'eau prévues à court et à long terme dans le réservoir de la Romaine 3	21-11
21-5	Modification maximale des principales variables de la qualité de l'eau prévues à court et à long terme dans le réservoir de la Romaine 2	21-12
21-6	Modification maximale des principales variables de la qualité de l'eau prévues à court et à long terme dans le réservoir de la Romaine 1	21-13
21-7	Consommation d'oxygène des poissons selon leur niveau d'activité	21-18
21-8	Teneurs résultantes en oxygène dissous dans le bassin résiduel du tronçon court-circuité de la Romaine-1 en période de glace	21-19
21-9	Modification maximale des principales variables de la qualité de l'eau de la Romaine prévue à court et à long terme en aval du réservoir de la Romaine 1	21-21
21-10	Modification maximale des principales variables de la qualité de l'eau de la Romaine en aval de la centrale de la Romaine-2 – Deuxième étape du remplissage du réservoir de la Romaine 2	21-26

Figures

16-1	Débits journaliers classés à l'emplacement du barrage de la Romaine-1 – Conditions actuelles	16-3
16-2	Débits journaliers classés à l'emplacement du barrage de la Romaine-2 – Conditions actuelles	16-3
16-3	Débits journaliers classés à l'emplacement du barrage de la Romaine-3 – Conditions actuelles	16-4
16-4	Débits journaliers classés à l'emplacement du barrage de la Romaine-4 – Conditions actuelles	16-4
16-5	Niveau, thalweg et vitesse d'écoulement moyenne en aval du barrage de la Romaine-1 – Conditions actuelles	16-5
16-6	Niveau, thalweg et vitesse d'écoulement moyenne entre le barrage de la Romaine 1 et le barrage de la Romaine 2 – Conditions actuelles	16-7
16-7	Niveau, thalweg et vitesse d'écoulement moyenne entre le barrage de la Romaine 2 et le barrage de la Romaine 3 – Conditions actuelles	16-8
16-8	Niveau, thalweg et vitesse d'écoulement moyenne entre le barrage de la Romaine 3 et le barrage de la Romaine 4 – Conditions actuelles	16-9
16-9	Niveau, thalweg et vitesse d'écoulement moyenne en amont du barrage de la Romaine 4 – Conditions actuelles	16-10
16-10	Débits totaux hebdomadaires (turbinés et déversés) au site de la Romaine-4 – Conditions actuelles et futures	16-11
16-11	Débits totaux hebdomadaires (turbinés et déversés) au site de la Romaine-3 – Conditions actuelles et futures	16-13
16-12	Débits totaux hebdomadaires (turbinés et déversés) au site de la Romaine-2 – Conditions actuelles et futures	16-14
16-13	Débits totaux hebdomadaires (turbinés et déversés) au site de la Romaine-1 – Conditions actuelles et futures	16-15

16-14	Simulation des débits hebdomadaires déversés à l'aménagement de la Romaine-1 – Conditions futures	16-16
16-15	Niveaux moyens du réservoir de la Romaine 4 et courbes enveloppes des minimums et des maximums – Conditions futures	16-17
16-16	Niveaux moyens du réservoir de la Romaine 3 et courbes enveloppes des minimums et des maximums – Conditions futures	16-18
16-17	Niveaux moyens du réservoir de la Romaine 2 et courbes enveloppes des minimums et des maximums – Conditions futures	16-19
16-18	Variation des niveaux et des débits en aval de la centrale de la Romaine-1 – PK 51,5, 48,9 et 46,2 – Conditions futures	16-22
16-19	Variation des niveaux et des débits en aval de la centrale de la Romaine-1 – PK 34,5, 26, 16 et 1 – Conditions futures	16-24
16-20	Débit moyen total (turbiné et déversé) à la centrale de la Romaine-2 – Conditions transitoires et futures	16-25
16-21	Débit moyen total (turbiné et déversé) à la centrale de la Romaine-1 – Conditions transitoires et futures	16-25
16-22	Débit moyen total (turbiné et déversé) à la centrale de la Romaine-3 – Conditions transitoires et futures	16-26
16-23	Courbe de remplissage du réservoir de la Romaine 4 selon l'hydraulicité	16-31
16-24	Courbe de remplissage du réservoir de la Romaine 3 selon l'hydraulicité	16-33
16-25	Deuxième étape de remplissage du réservoir de la Romaine 2 – Hydrogrammes au PK 52 de la Romaine selon l'hydraulicité	16-35
16-26	Courbe de remplissage du réservoir de la Romaine 2 selon l'hydraulicité	16-38
17-1	Température journalière moyenne de l'eau de la rivière Romaine et de trois de ses affluents – Conditions actuelles	17-3
17-2	Profils verticaux de température de l'eau du réservoir de la Romaine 4	17-5
17-3	Température de l'eau au PK 190,3 de la Romaine (canal de fuite de la Romaine-4) – Conditions actuelles et futures	17-7
17-4	Profils verticaux de température de l'eau du réservoir de la Romaine 3	17-8
17-5	Température de l'eau au PK 155,0 de la Romaine (canal de fuite de la Romaine-3) – Conditions actuelles et futures	17-10
17-6	Profils verticaux de température de l'eau du réservoir de la Romaine 2	17-12
17-7	Température de l'eau au PK 83,7 de la Romaine (canal de fuite de la Romaine-2) – Conditions actuelles et futures	17-14
17-8	Profils verticaux de température de l'eau du réservoir de la Romaine 1	17-15
17-9	Température de l'eau en aval de la centrale de la Romaine-1 – Conditions actuelles et futures	17-17
18-1	Emprise de la couverture de glace entre les centrales de la Romaine-1 et de la Romaine-2 – Hiver de rigueur moyenne (15 décembre et 15 janvier) – Conditions actuelles	18-3
18-2	Emprise de la couverture de glace entre les centrales de la Romaine-1 et de la Romaine-2 – Hiver de rigueur moyenne (15 février et 15 mars) – Conditions actuelles	18-4
18-3	Emprise de la couverture de glace en aval de la centrale de la Romaine-1 – Hiver de rigueur moyenne (15 décembre et 15 janvier) – Conditions actuelles	18-6
18-4	Emprise de la couverture de glace en aval de la centrale de la Romaine-1 – Hiver de rigueur moyenne (15 février et 15 mars) – Conditions actuelles	18-7

18-5	Périodes pendant lesquelles l'épaisseur de la glace dépasse 20 cm en aval de la centrale de la Romaine-1 – Hiver de rigueur moyenne – Conditions actuelles	18-8
18-6	Emprise de la couverture de glace sur le réservoir de la Romaine 1 – Hiver de rigueur moyenne (15 décembre et 15 janvier) – Conditions futures	18-10
18-7	Emprise de la couverture de glace sur le réservoir de la Romaine 1 – Hiver de rigueur moyenne (15 février et 15 mars) – Conditions futures	18-11
18-8	Emprise de la couverture de glace en aval de la centrale de la Romaine-1 – Hiver de rigueur moyenne (15 décembre et 15 janvier) – Conditions futures	18-14
18-9	Emprise de la couverture de glace en aval de la centrale de la Romaine-1 – Hiver de rigueur moyenne (15 février et 15 mars) – Conditions futures	18-15
18-10	Périodes pendant lesquelles l'épaisseur de la glace dépasse 20 cm en aval de la centrale de la Romaine 1 - Conditions futures	18-17
20-1	Transit sédimentaire en aval du PK 290,0 de la Romaine	20-7
20-2	Bilan annuel de la charge sédimentaire de fond du PK 290,0 au PK 3,8 de la Romaine	20-10
20-3	Bilan annuel de la charge sédimentaire silto-argileuse de la Romaine	20-14
20-4	Évolution de la charge sédimentaire disponible et de la capacité de transport de la Romaine en aval de la centrale de la Romaine-1	20-21
20-5	Bilan sédimentaire global des sédiments fins à l'aval du PK 90,3 de la Romaine pendant la deuxième étape de remplissage du réservoir de la Romaine 2	20-32
22-1	Distribution cumulative du niveau d'eau dans la zone de l'embouchure de la Romaine	22-2
22-2	Profil de réflexion sismique à l'ouest de l'embouchure de la Romaine	22-2
22-3	Nombre de semaines consécutives pendant lesquelles le débit printanier de la Romaine est supérieur à 500 m ³ /s à son embouchure	22-16

Photos

18-1	Étendue d'eau libre dans la Grande Chute et les rapides présents à ses pieds – 10 avril 2006	18-5
19-1	PK 18 de la Romaine – Vue vers le sud	19-6
19-2	PK 133 de la Romaine – Rive gauche	19-7
19-3	PK 257,5 de la Romaine – Rive gauche	19-7
19-4	Dépôt de till fuselé peu sensible à l'érosion qui sera rejoint par le réservoir de la Romaine 4 (PK 199 de la Romaine)	19-12
19-5	Rive du réservoir Sainte-Anne (Côte-Nord) développée dans des dépôts de till peu de temps après la mise en eau du barrage de la Toulnostouc	19-13
19-6	Talus de terrasse sableuse fortement sensible à l'érosion qui sera rejoint par le réservoir de la Romaine 4 (PK 252 de la Romaine)	19-14
19-7	Rive sableuse en érosion du ruisseau Kanetnau, un affluent de la Romaine	19-14
19-8	Dune longitudinale de forte sensibilité à l'érosion qui sera rejointe par le réservoir de la Romaine 1 (PK 54 de la Romaine)	19-15
19-9	Nouvelle rive sableuse du lac Sainte-Anne (Côte-Nord) peu après la mise en eau du barrage de la Toulnostouc	19-15
19-10	Escarpe rocheux qui bordera le réservoir de la Romaine 3 (PK 164 de la Romaine)	19-19
19-11	Rives rocheuses escarpées du lac Sainte-Anne (Côte-Nord) représentatives des rives des réservoirs de la Romaine 2 et de la Romaine 3	19-20
20-1	Embouchure de la rivière de l'Abbé-Huard au PK 131,5 de la Romaine – Vue vers le nord	20-4
20-2	Delta de la rivière aux Sauterelles au PK 282 de la Romaine	20-4

Cartes

20-1	Zones d'accumulation de sable entre les PK 8 et 5 de la Romaine – Conditions futures
22-1	Bathymétrie de la zone de l'embouchure de la Romaine
22-2	Types de glace dans la zone de l'embouchure de la Romaine
22-3	Écoulement à différents débits dans la zone de l'embouchure de la Romaine
22-4	Caractéristiques générales de salinité dans la zone de l'embouchure de la Romaine
22-5	Physiographie de la zone de l'embouchure de la Romaine
22-6	Bathymétrie du chenal de Mingan
22-7	Couverture de glace sur le chenal de Mingan – 7 mars 2003
22-8	Représentations schématiques du panache de la rivière Romaine

16 Hydraulique, hydrologie et hydrodynamique

16.1 Conditions actuelles

16.1.1 Hydrologie

Pour décrire le régime hydrologique de la rivière Romaine et reconstituer les débits nécessaires aux études sur la production énergétique ainsi qu'au calcul des débits réservés et des durées de remplissage des réservoirs, on a utilisé les débits mesurés entre 1956 et 2004 à la station MEQ 073801 (PK 16) et entre 1982 et 1992 à la station MEQ 073802 (PK 266), toutes deux exploitées par le Centre d'expertise hydrique du Québec. D'autres stations installées sur le parcours de la Romaine ont permis de valider les apports entre les barrages projetés ainsi que les niveaux d'eau en fonction du débit.

Cette méthode de reconstitution des débits journaliers reflète bien la variabilité naturelle des débits de l'ensemble de la rivière. Par contre, elle ne permet pas de préciser le débit pour un endroit et pour un jour donnés. En effet, la crue printanière démarre plus tôt dans la portion aval de la rivière (plus au sud et moins élevée que le bassin supérieur). De plus, les précipitations de l'été ou de l'automne peuvent toucher davantage certaines parties de la rivière.

Le débit moyen annuel à l'emplacement du barrage de la Romaine-1 est de 291 m³/s. La crue printanière débute généralement vers le 1^{er} mai, pointe vers la troisième semaine de mai et décroît jusqu'à la fin de juin, la crue médiane atteignant 1 523 m³/s. En ce qui concerne les apports d'eau à l'emplacement des quatre barrages, le tableau 16-1 présente les débits moyens mensuels, le tableau 16-2 montre les débits de crue pour différentes récurrences et les figures 16-1 à 16-4 présentent les débits journaliers classés.

Les débits à l'emplacement des barrages ainsi que les débits à la confluence des principaux tributaires de la Romaine sont présentés dans le tableau F-1 dans le volume 8. Les débits journaliers classés en fonction des mois sont présentés dans les tableaux F-2 à F-5.

Tableau 16-1 : Débits moyens à différents points de la Romaine – Conditions actuelles

Endroit	Bassin versant (km ²)	Débit annuel (m ³ /s)	Débit mensuel (m ³ /s)											
			Janv.	Févr.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juill.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Barrage de la Romaine-4	8 550	185	60	50	49	78	461	494	229	171	163	200	160	96
Barrage de la Romaine-3	10 180	224	72	60	59	94	560	601	278	207	198	243	194	116
Barrage de la Romaine-2	12 200	273	87	72	71	113	683	733	339	252	240	296	236	140
Barrage de la Romaine-1	12 970	291	92	77	75	121	730	783	362	269	257	316	252	150
Station 073801	13 140	295	94	78	76	123	740	794	367	273	260	320	256	152
Embouchure	14 500	327	104	86	84	134	816	885	408	302	288	355	284	168

Tableau 16-2 : Débits de crue aux emplacements des barrages projetés – Conditions actuelles

Récurrence de la crue (années)	Débit de crue (m ³ /s)							
	Romaine-1		Romaine-2		Romaine-3		Romaine-4	
	Printemps	Automne	Printemps	Automne	Printemps	Automne	Printemps	Automne
10 000	3 208	2 939	3 031	2 784	2 554	2 363	2 168	2 019
1 000	2 906	2 360	2 746	2 235	2 314	1 897	1 963	1 621
100	2 549	1 706	2 408	1 615	2 030	1 371	1 722	1 172
40	2 381	1 421	2 249	1 346	1 896	1 143	1 609	976
20	2 239	1 219	2 115	1 154	1 783	980	1 513	837
10	2 077	1 024	1 962	970	1 654	823	1 403	704
5	1 883	835	1 779	790	1 500	671	1 273	573
2	1 523	578	1 438	547	1 212	465	1 029	397

16.1.2 Hydraulique

Entre le lac Lozeau et le fleuve Saint-Laurent, la rivière Romaine s'étend sur 308 km pour une dénivelée totale de 472 m. En amont du PK 297, la rivière longe la limite du Labrador (selon le tracé de 1927 du Conseil privé, non définitif).

À l'exception de quelques chutes, le tronçon de la Romaine en aval de l'emplacement du barrage de la Romaine-1 présente des pentes très faibles et un écoulement lent – la vitesse moyenne entre les chutes oscille entre 0,2 et 0,5 m/s au débit moyen annuel (module). La profondeur varie généralement de 1,7 à 7 m. On a relevé quelques fosses de plus de 10 m de profondeur (PK 14, 16, 26, 35, 42 et 49-50) et un sillon de 27 m de profondeur (PK 30). Durant les crues printanières, le niveau de l'eau augmente en moyenne de 3,2 m dans ce tronçon (4 m dans les segments les plus étroits). Le profil en long de la rivière (niveau, thalweg et vitesse d'écoulement moyenne) pour le débit moyen est illustré à la figure 16-5.

Figure 16-1 : Débits journaliers classés à l'emplacement du barrage de la Romaine-1 – Conditions actuelles

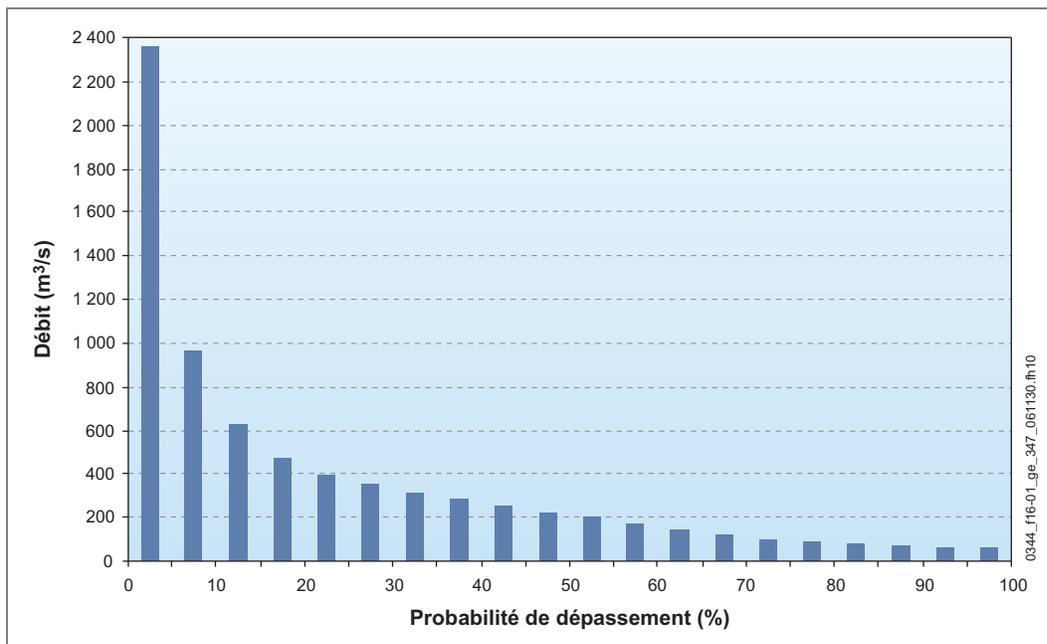


Figure 16-2 : Débits journaliers classés à l'emplacement du barrage de la Romaine-2 – Conditions actuelles

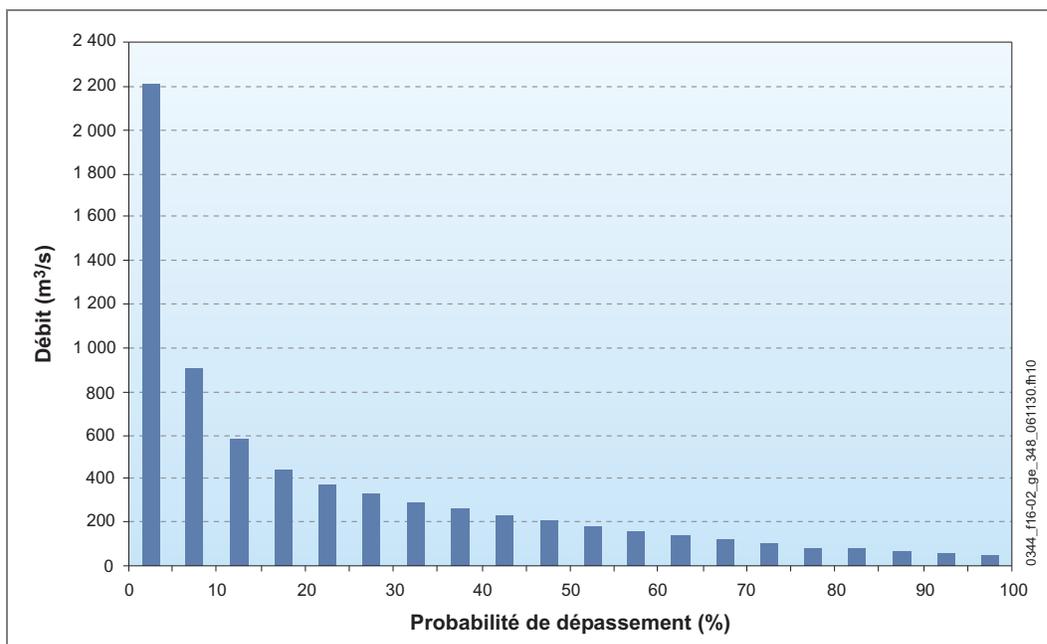


Figure 16-3 : Débits journaliers classés à l'emplacement du barrage de la Romaine-3 – Conditions actuelles

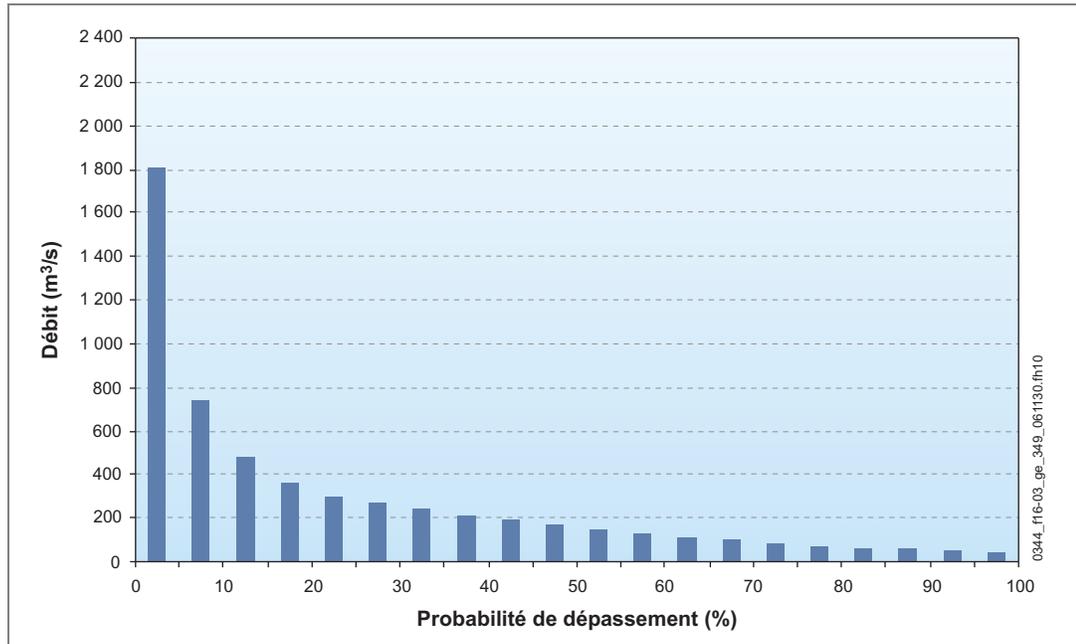


Figure 16-4 : Débits journaliers classés à l'emplacement du barrage de la Romaine-4 – Conditions actuelles

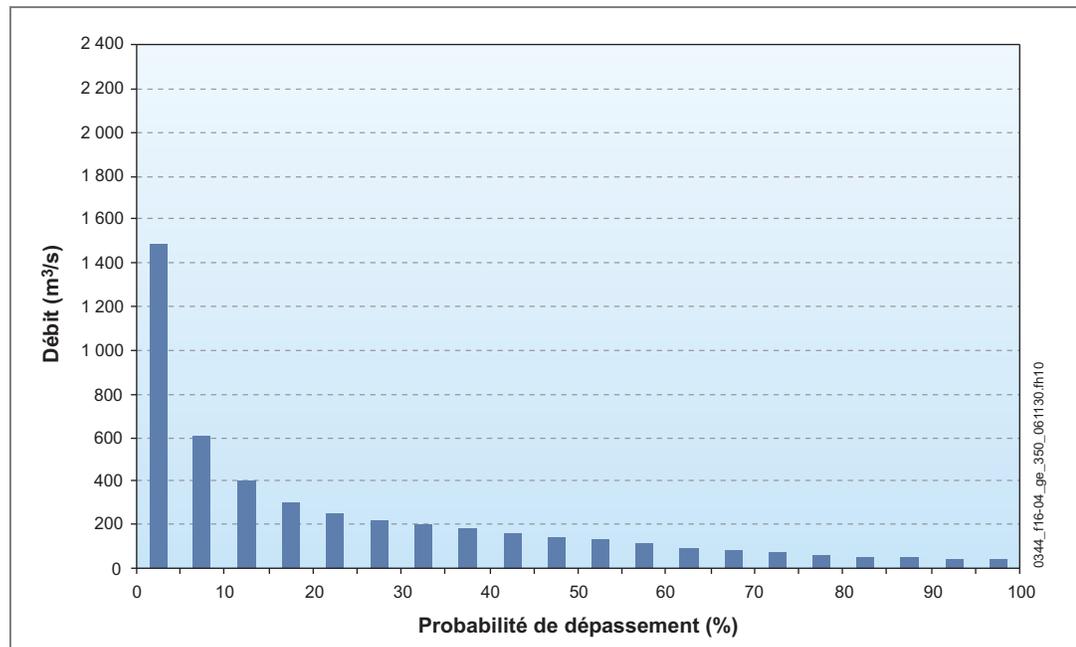
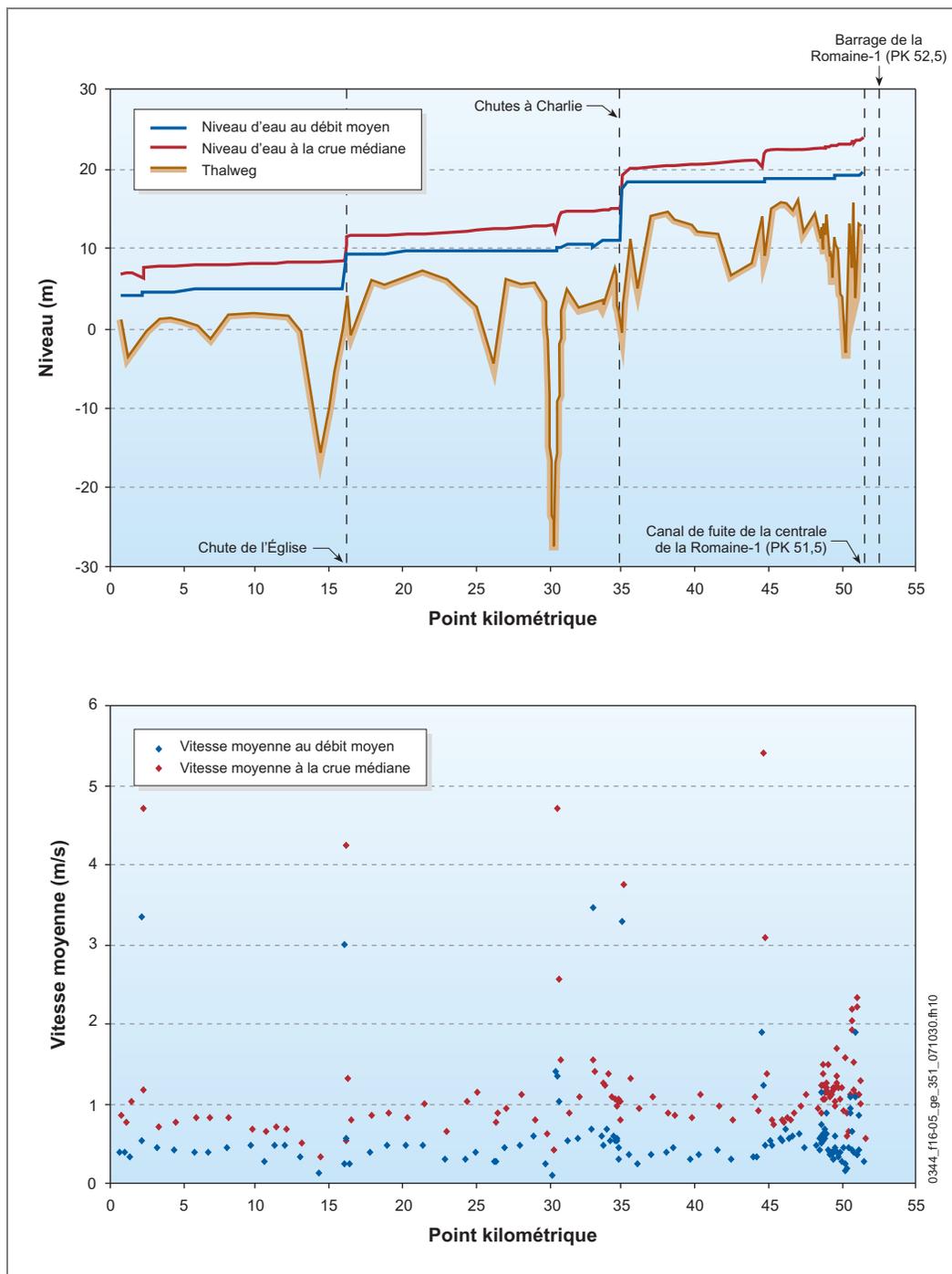


Figure 16-5 : Niveau, thalweg et vitesse d'écoulement moyenne en aval du barrage de la Romaine-1 – Conditions actuelles



En amont de la Grande Chute (PK 52,5), la pente de la Romaine s'accroît. Elle devient particulièrement forte entre les PK 58 et 63, 83 et 93, 145 et 160 de même qu'entre les PK 180 et 196, où chutes et rapides se succèdent. Entre ces segments très rapides, la vitesse d'écoulement dépasse 0,7 m/s sur la majeure partie du cours de la rivière. La plupart des fosses de plus de 10 m en amont du barrage de la Romaine-1 se trouvent au pied des chutes des segments à forte pente ainsi que dans le tronçon court-circuité de la Romaine-2. La hausse du niveau de l'eau en période de crue varie entre 1,8 et 5 m. Les écarts les plus faibles entre le niveau moyen et le niveau de crue sont principalement observés en amont du barrage de la Romaine-4 (PK 191,9).

La pente de la rivière s'adoucit de nouveau en amont du PK 215. Ainsi, sauf dans les quelques rapides situés entre les PK 257 et 263, la vitesse d'écoulement moyenne oscille de 0,3 à 0,6 m/s. On a relevé la présence d'une fosse au PK 297.

Les figures 16-6 à 16-9 montrent le profil du niveau d'eau, du thalweg et de la vitesse d'écoulement moyenne de la Romaine en amont de la Grande Chute.

16.2 Modifications liées à la présence et à l'exploitation des aménagements

16.2.1 Gestion des débits aux aménagements de la Romaine

La gestion des réservoirs projetés sur la rivière Romaine a été optimisée en fonction de la production d'énergie moyenne annuelle prévue. Le niveau des différents réservoirs baissera progressivement pour s'établir au niveau d'exploitation minimal avant l'arrivée de la crue. On a déterminé le niveau minimal des réservoirs et optimisé le marnage pour les réservoirs de la Romaine 4, de la Romaine 3 et de la Romaine 2. Les moyennes hebdomadaires des débits d'apports naturels sont utilisées pour les simulations de production énergétique. Sauf en ce qui concerne l'aménagement de la Romaine-1, le débit réservé restitué dans le tronçon court-circuité de chaque aménagement est fixé à 1 % du débit moyen annuel (voir les chapitres 9 à 12).

Les figures 16-10 à 16-13 illustrent les débits minimaux, moyens et maximaux aux quatre aménagements projetés selon les résultats des simulations de production énergétique. Les débits hebdomadaires classés par mois sont indiqués dans les tableaux F-6 à F-9, dans le volume 8). Les débits hebdomadaires classés incluent les déversements qui sont effectués en période de crue ou qui sont nécessaires au maintien du débit réservé dans les tronçons court-circuités.

Figure 16-6 : Niveau, thalweg et vitesse d'écoulement moyenne entre le barrage de la Romaine 1 et le barrage de la Romaine 2 – Conditions actuelles

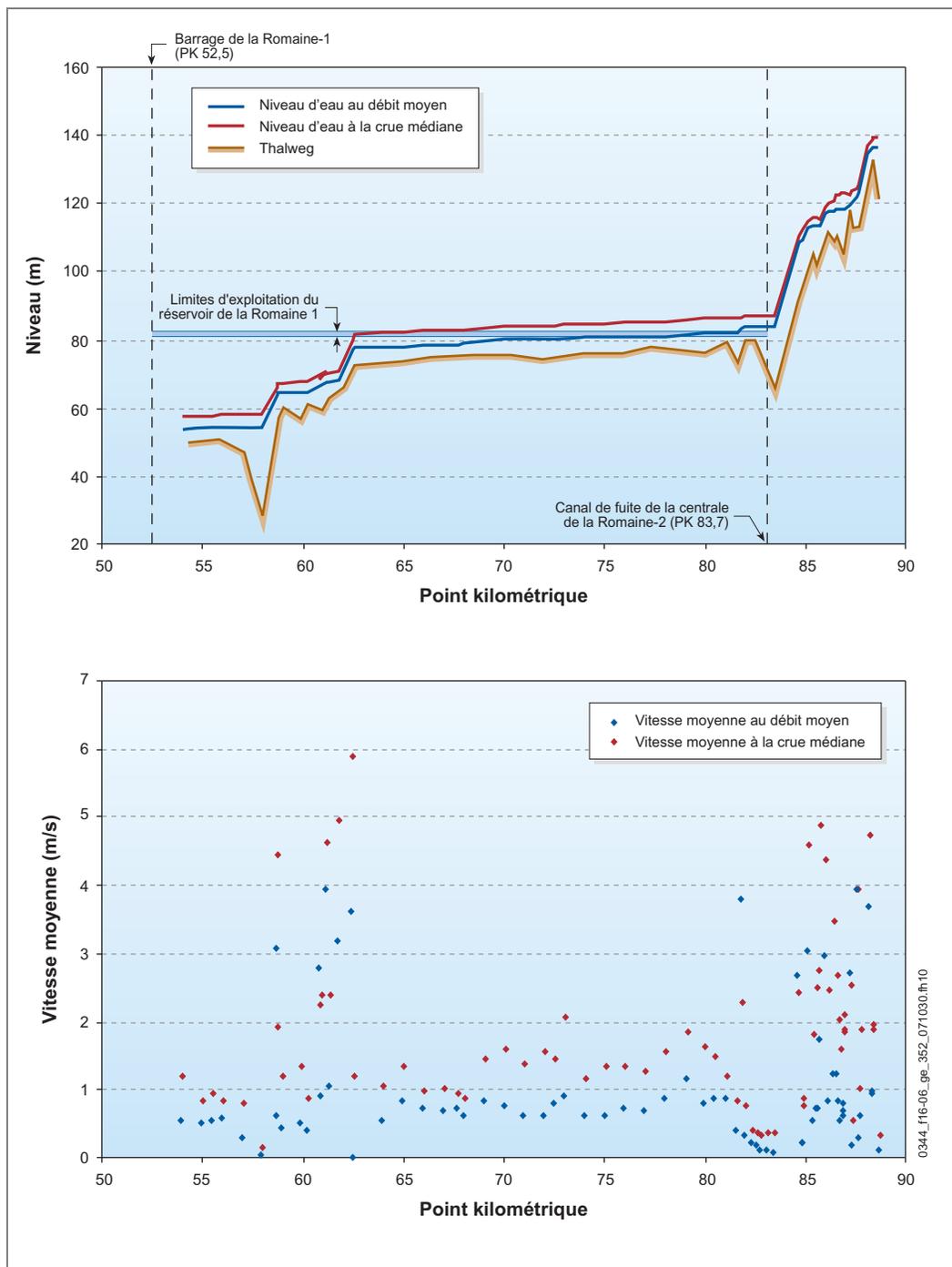


Figure 16-7 : Niveau, thalweg et vitesse d'écoulement moyenne entre le barrage de la Romaine 2 et le barrage de la Romaine 3 – Conditions actuelles

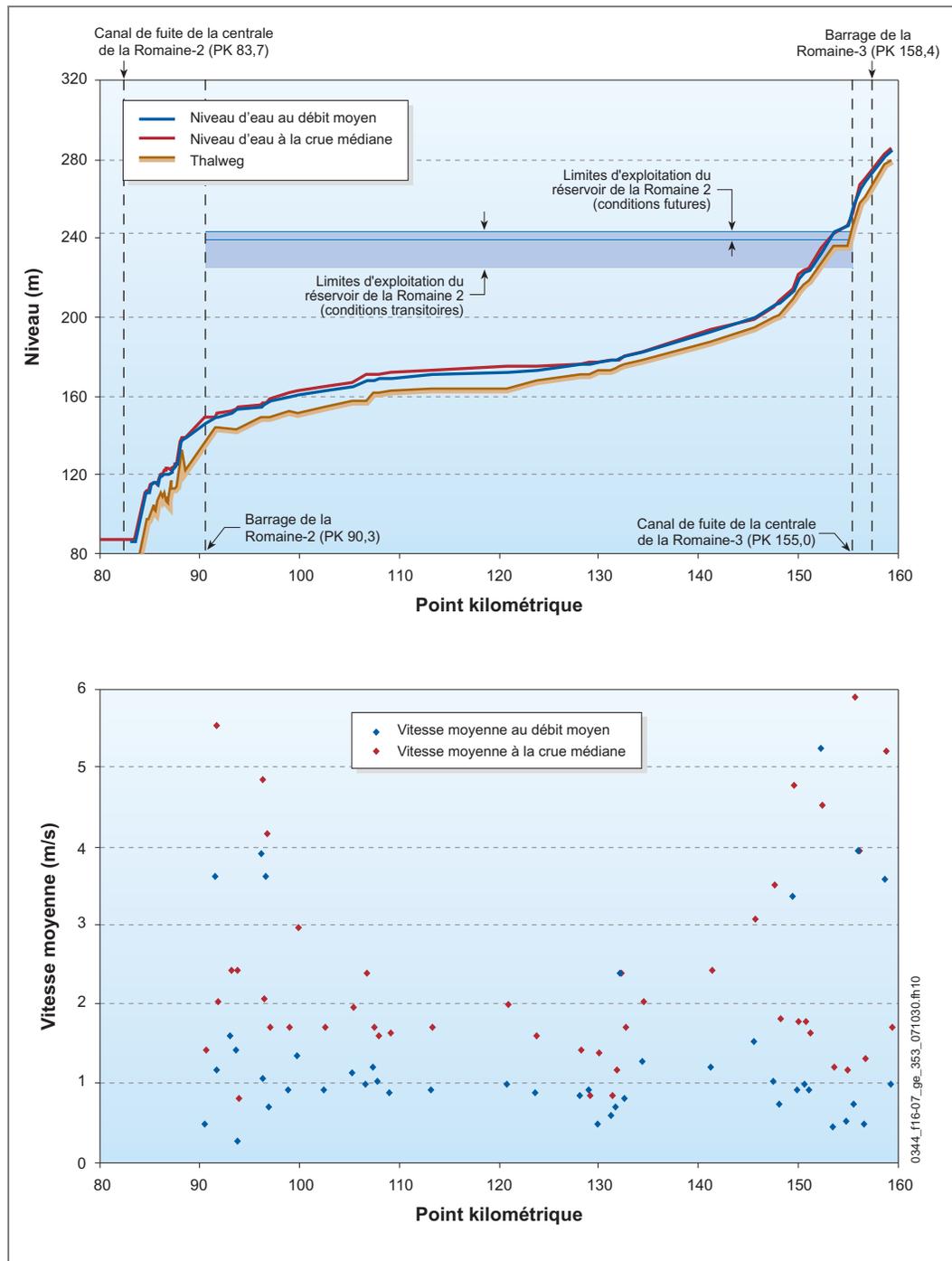


Figure 16-8 : Niveau, thalweg et vitesse d'écoulement moyenne entre le barrage de la Romaine 3 et le barrage de la Romaine 4 – Conditions actuelles

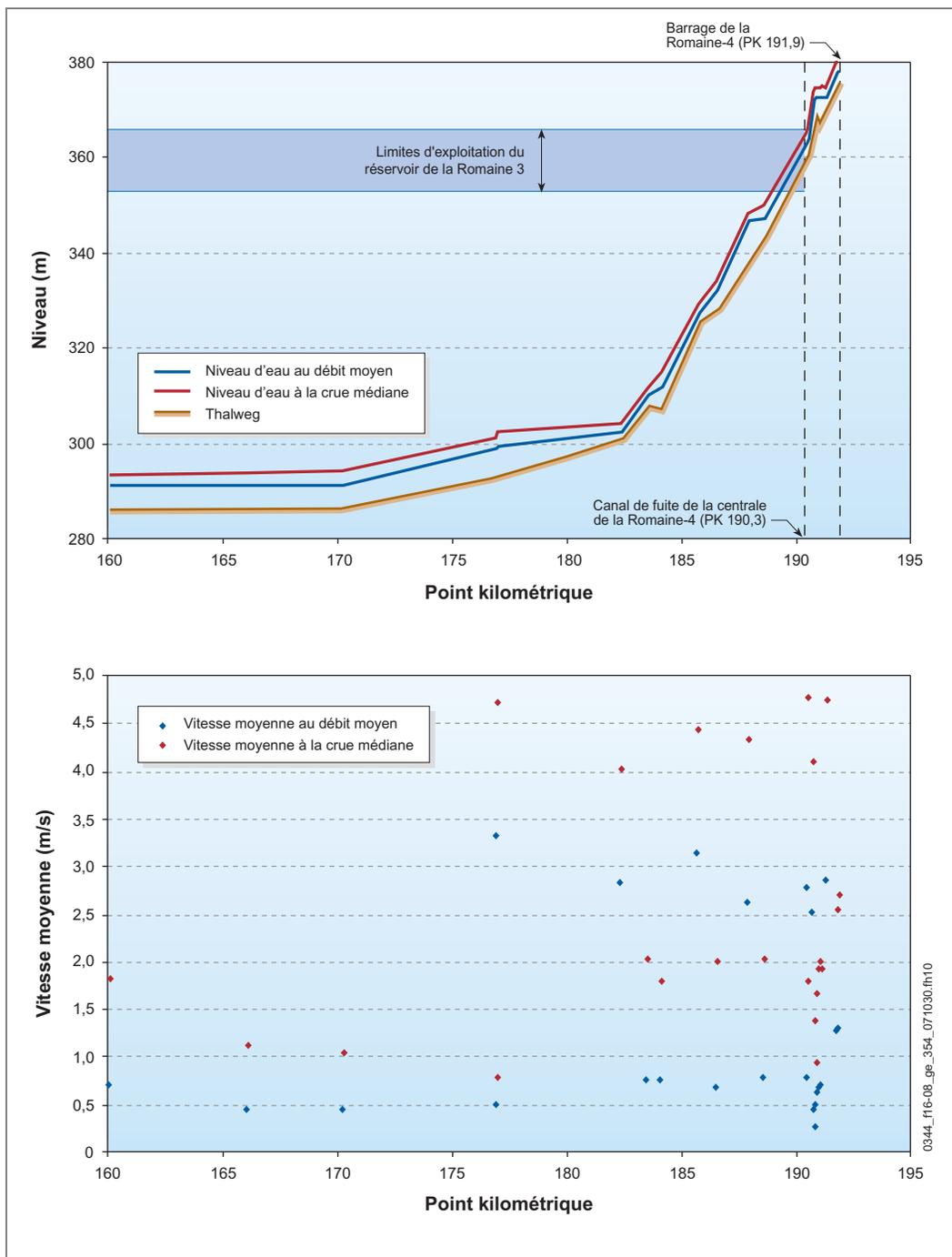
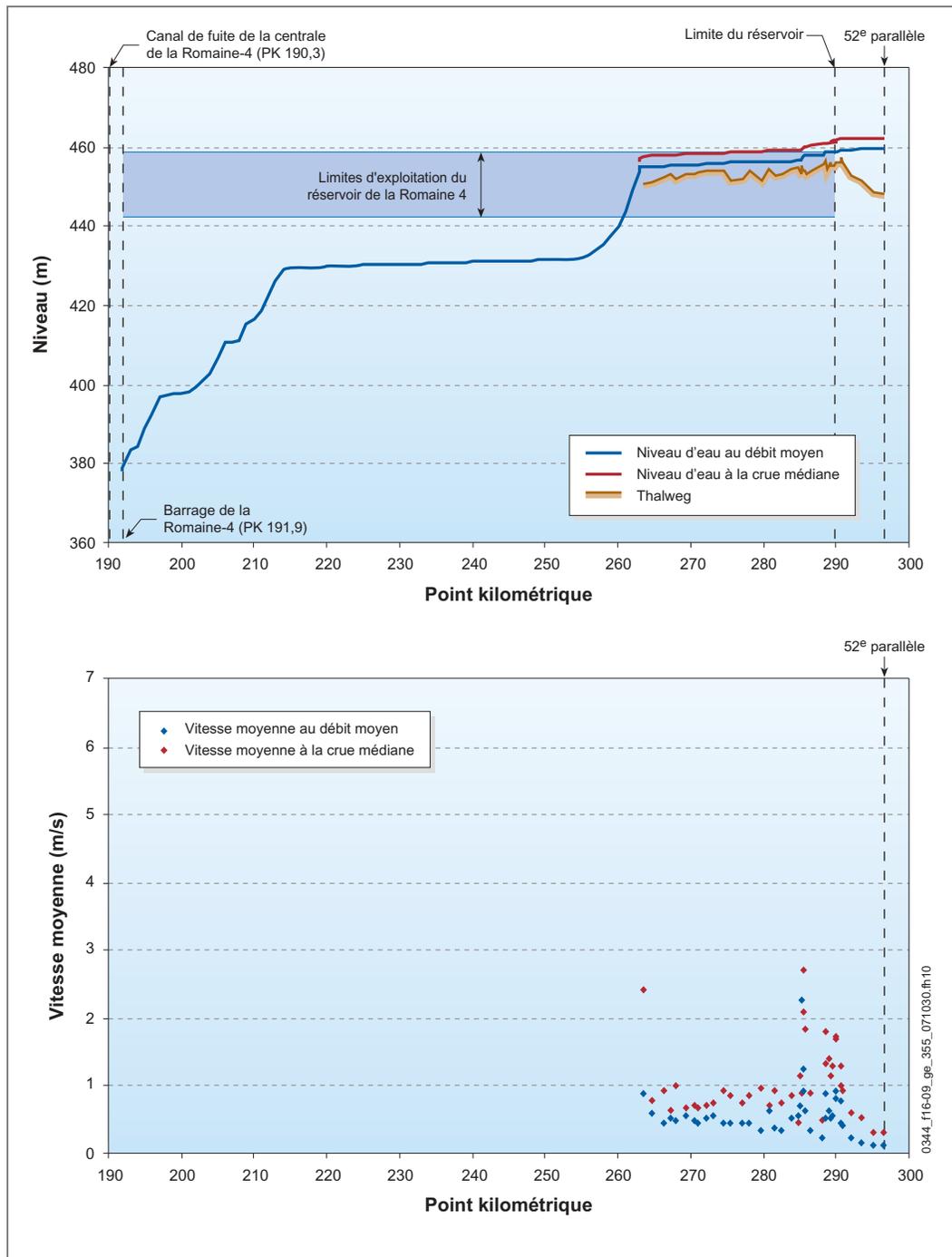


Figure 16-9 : Niveau, thalweg et vitesse d'écoulement moyenne en amont du barrage de la Romaine 4 – Conditions actuelles

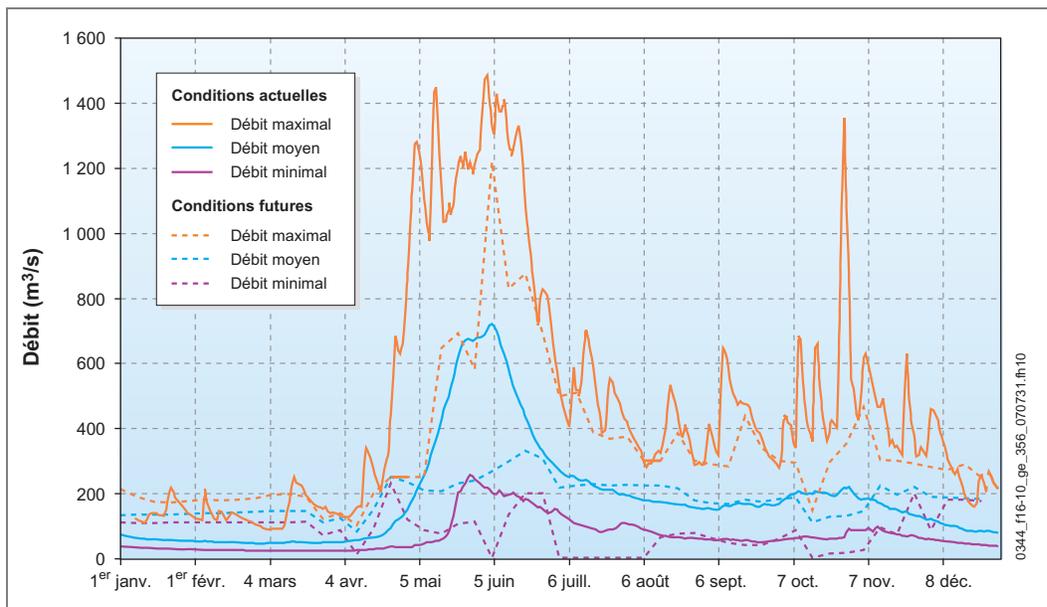


Généralement, Hydro-Québec exploite ses turbines de façon à en tirer le meilleur rendement, ce qui lui permet de produire le maximum d'énergie avec l'eau dont elle dispose. La puissance produite tend vers la puissance maximale en période de forte demande ou lorsque les probabilités de déversement sont grandes (en raison d'un surplus d'eau). Les centrales de la Romaine seront gérées selon ces principes la plupart du temps.

16.2.1.1 Romaine-4

Le débit en aval de la centrale de la Romaine-4 sera constitué du débit turbiné et du débit déversé par l'évacuateur de crues (au minimum $1,8 \text{ m}^3/\text{s}$ afin de maintenir le débit réservé dans le tronçon court-circuité). Le réservoir de la Romaine 4, qui contient près des deux tiers de la réserve utile du complexe, sera géré de façon à réduire les déversements improductifs aux quatre aménagements de la Romaine. En effet, le débit turbiné augmentera en même temps que les apports naturels, au début de mai. Il sera parfois réduit entre la fin de mai et le début de juin, au moment de la pointe de crue du bassin versant entre les centrales de la Romaine-4 et de la Romaine-1, pour éviter les déversements à l'un ou l'autre des aménagements. Les années de fortes crues, soit en moyenne un peu plus d'une année sur trois (17 années sur 47), des déversements d'une durée d'environ quatre semaines pourraient se produire à la fin du remplissage des réservoirs ; dans ce cas, la valeur moyenne de la pointe du débit hebdomadaire déversé sera de $320 \text{ m}^3/\text{s}$.

Figure 16-10 : Débits totaux hebdomadaires (turbinés et déversés) au site de la Romaine-4 – Conditions actuelles et futures



Sauf pendant la crue printanière et les fortes crues d'automne, le débit turbiné sera ajusté au plus près de l'optimum des groupes turbines-alternateurs. On produira la plupart du temps au débit qui offre le meilleur rendement, soit 127 m³/s (un groupe) ou 254 m³/s (deux groupes). Le débit pourra atteindre le débit d'équipement de 307 m³/s en cas de forte demande ou de forte hydraullicité. À l'inverse, la production pourra être interrompue à l'occasion, si la demande est faible ou si les réserves ne permettent pas de produire au débit optimal.

Le débit futur sera donc plus élevé que le débit actuel durant les mois de décembre à avril. Il sera plus faible au printemps, en mai et en juin ; mais comme actuellement, c'est pendant cette période que surviendront les débits les plus élevés. La pointe du débit arrivera avec un retard de deux à trois semaines par rapport aux conditions actuelles. Le débit pendant les mois de juillet à novembre restera semblable.

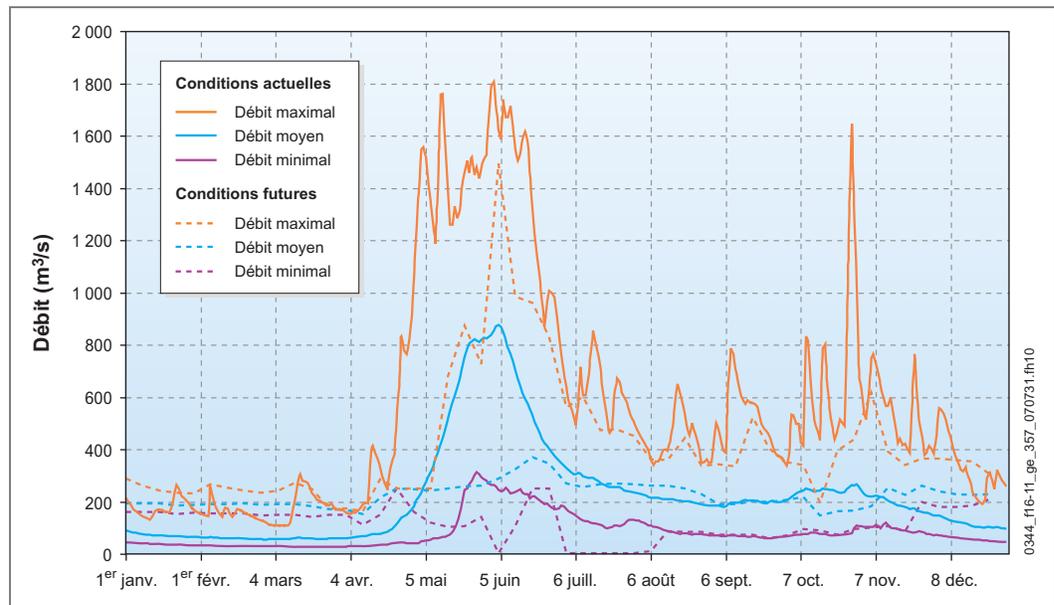
16.2.1.2 Romaine-3

Le débit en aval de la centrale de la Romaine-3 est constitué du débit turbiné et du débit déversé par l'évacuateur de crues (au minimum 2,2 m³/s afin de maintenir le débit réservé dans le tronçon court-circuité). Comme à la centrale de la Romaine-4, la production de la centrale de la Romaine-3 pourra être interrompue à l'occasion, si la demande est faible ou si les réserves ne permettent pas de produire au débit optimal. Pour limiter les déversements, on augmentera le débit turbiné de cette centrale au tout début de la crue printanière. Tout au long de la crue, le débit sera ajusté de façon à éviter les déversements aux aménagements de la Romaine-3, de la Romaine-2 ou de la Romaine-1. Des déversements pourraient se produire à la fin du remplissage des réservoirs pendant les années de fortes crues, soit en moyenne un peu plus d'une année sur trois (18 années sur 47), pendant une durée d'environ quatre semaines ; dans ce cas, le débit de pointe hebdomadaire déversé atteindra en moyenne 364 m³/s.

Sauf pendant la crue printanière et les fortes crues d'automne, le débit turbiné sera ajusté au plus près de l'optimum des groupes, soit 160 m³/s par groupe. Il pourra atteindre 372 m³/s (deux groupes) durant les heures de très forte demande. À l'inverse, la production pourra être interrompue occasionnellement si la demande est faible ou si les réserves ne permettent pas de produire au débit optimal.

Le débit futur sera donc plus élevé que le débit actuel durant les mois de décembre à avril. Il sera plus faible au printemps, en mai et en juin ; mais comme actuellement, c'est pendant cette période que surviendront les débits les plus élevés. La pointe du débit arrivera avec un retard de deux à trois semaines par rapport aux conditions actuelles. Le débit pendant les mois de juillet à novembre restera semblable.

Figure 16-11 : Débits totaux hebdomadaires (turbinés et déversés) au site de la Romaine-3 – Conditions actuelles et futures



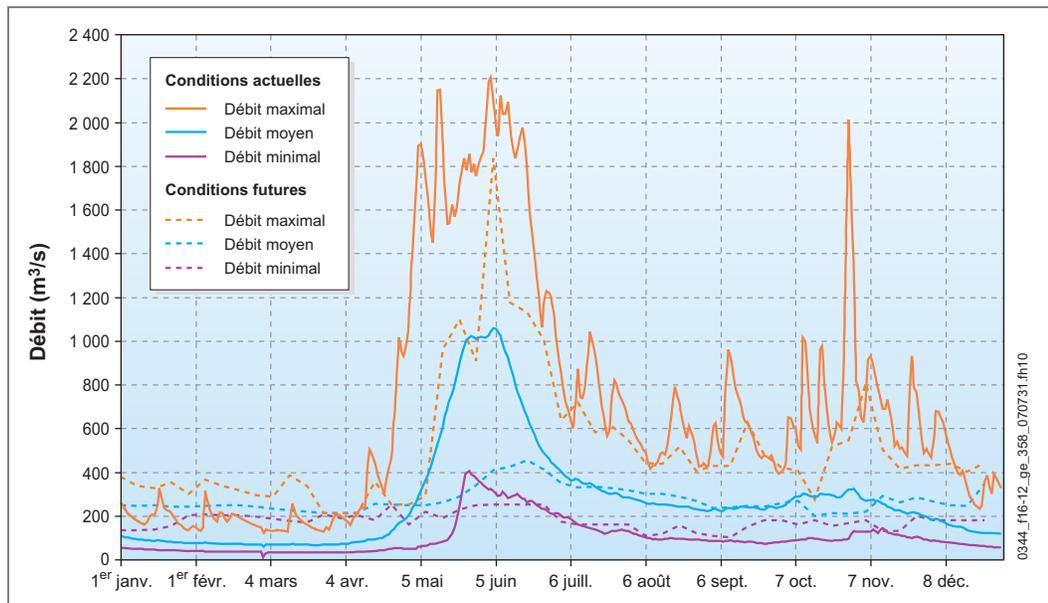
16.2.1.3 Romaine-2

Le débit en aval de la centrale de la Romaine-2 est constitué du débit turbiné et du débit déversé par l'évacuateur de crues (au minimum $2,7 \text{ m}^3/\text{s}$ afin de maintenir le débit réservé dans le tronçon court-circuité). Comme le tronçon entre les centrales de la Romaine-1 et de la Romaine-2 reçoit peu d'apports intermédiaires et que l'aménagement de la Romaine-1 possède une petite réserve utile, le régime de débits à la centrale de la Romaine-2 sera très semblable à celui de la Romaine-1. Sur une base journalière, le débit à la centrale de la Romaine-2 correspondra au débit de la centrale de la Romaine-1, après soustraction des apports intermédiaires. L'écart sera donc maximal durant le printemps et négligeable durant l'hiver.

On pourra faire varier le régime de débits d'heure en heure pour répondre à la demande ou pour optimiser la production. Ainsi, la production pourrait être interrompue durant certaines heures, lorsque la faiblesse des réserves ne permettra pas de produire au débit optimal à la centrale de la Romaine-1. La rivière recevra néanmoins le débit réservé prévu dans le tronçon court-circuité de la Romaine-2, soit $2,7 \text{ m}^3/\text{s}$.

Afin de limiter les déversements, on augmentera le débit turbiné de la centrale au tout début de la crue printanière. Tout au long de la crue, le débit sera ajusté de façon à éviter les déversements aux aménagements de la Romaine-2 ou de la Romaine-1. Il pourra atteindre $453 \text{ m}^3/\text{s}$ (deux groupes) durant les heures de très forte demande ou de forte hydraulité. Les années de fortes crues, soit en moyenne un peu plus d'une année sur trois (18 années sur 47), des déversements d'une durée

Figure 16-12 : Débits totaux hebdomadaires (turbinés et déversés) au site de la Romaine-2 – Conditions actuelles et futures



d'environ quatre semaines pourraient se produire à la fin du remplissage des réservoirs ; dans ce cas, la pointe du débit hebdomadaire déversé atteindra en moyenne 452 m³/s.

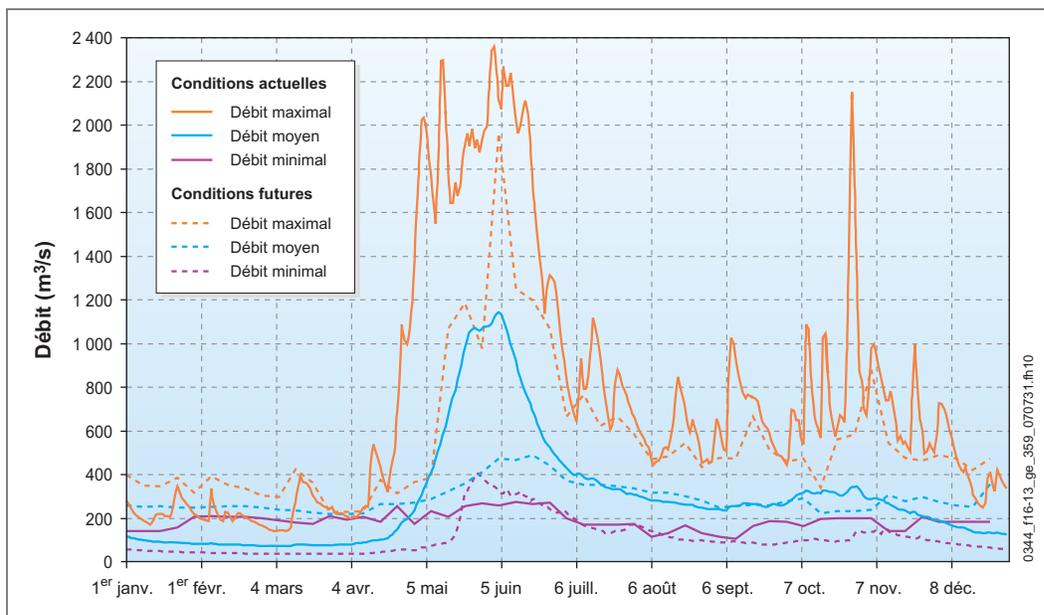
Le débit futur sera donc plus élevé que le débit actuel durant les mois de décembre à avril. Il sera plus faible au printemps, en mai et en juin ; mais comme actuellement, c'est pendant cette période que surviendront les débits les plus élevés. La pointe du débit arrivera avec un retard de deux à trois semaines par rapport aux conditions actuelles. Le débit pendant les mois de juillet à novembre restera semblable, mais la variabilité sera moins grande. Les valeurs très fortes ou très faibles de débit qui surviennent parfois en conditions actuelles seront moins susceptibles de se produire.

16.2.1.4 Romaine-1

La plupart du temps, les groupes de la centrale de la Romaine-1 fonctionneront au débit optimal de 200 m³/s par groupe. Ils seront exploités à un débit proche de leur maximum (242 m³/s) lorsque le risque de déversement sera important ou en période de forte demande. De plus, la centrale sera exploitée de façon à maintenir les débits ci-dessous en aval de l'aménagement :

- minimum de 140 m³/s entre le 16 novembre et le 6 juin ;
- minimum de 200 m³/s entre le 7 juin et le 7 juillet ;
- minimum de 170 m³/s entre le 8 juillet et le 15 octobre ;
- débit de 200 m³/s entre le 16 octobre et le 15 novembre ; cette valeur pourra toutefois être dépassée si les risques de déversement sont importants.

Figure 16-13 : Débits totaux hebdomadaires (turbinés et déversés) au site de la Romaine-1 – Conditions actuelles et futures

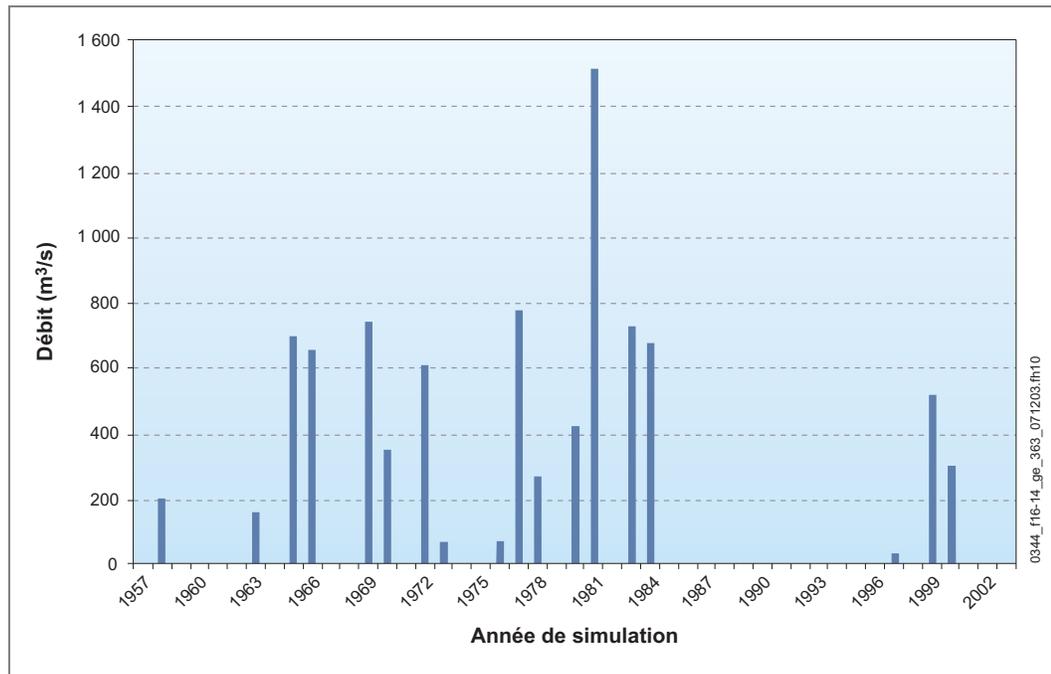


En hiver, en période de grande demande de puissance, on pourra adopter une gestion avec deux points distinctes par jour si l'état des réserves le permet. Les deux groupes fonctionneront à un débit proche du maximum (total de 485 m³/s) durant les heures de forte demande, et au débit optimal le reste du temps (400 m³/s). Lorsque la demande sera moins forte, le débit s'établira à 400 m³/s en heures de pointe et à 200 m³/s en périodes hors pointe ou les fins de semaine. Les années de faible hydraulicité, le débit sera maintenu près de sa valeur minimale de 140 m³/s.

Dès l'augmentation des apports au printemps, le débit turbiné sera ajusté à la hausse et maintenu le plus près possible de la capacité maximale de la centrale, l'objectif étant de réduire les déversements. Des déversements se produiront fréquemment à la fin du remplissage printanier des réservoirs de la Romaine. Entre la mi-mai et le début de juillet, des déversements surviendront en moyenne un peu plus d'une année sur trois (18 années sur 47), pendant environ quatre semaines, et la pointe du débit hebdomadaire déversé atteindra en moyenne 485 m³/s. La figure 16-14 illustre la séquence des débits déversés à l'aménagement de la Romaine-1 selon l'historique des débits.

Entre le 8 juillet et le 15 octobre, on produira la plupart du temps au débit qui offre le meilleur rendement, soit 200 m³/s (un groupe) ou 400 m³/s (deux groupes). Le débit passera au-delà de 400 m³/s en cas de forte demande ou de forte hydraulicité. La fréquence de dépassement du débit réservé écologique de 170 m³/s pour la période d'été atteindra 85 % en août et en septembre.

Figure 16-14 : Simulation des débits hebdomadaires déversés à l'aménagement de la Romaine-1 – Conditions futures



De la mi-octobre à la mi-novembre, on exploitera la plupart du temps un seul groupe, au débit requis pour la fraie du saumon, soit $200 \text{ m}^3/\text{s}$. Le deuxième groupe sera engagé seulement si la crue d'automne s'avère particulièrement forte. Dans ce cas, le stockage de la crue dans les réservoirs fera en sorte que le débit turbiné durant l'hiver dépassera également les normales. Le débit ne devrait donc pas descendre sous la valeur optimale de $200 \text{ m}^3/\text{s}$, ce qui est bien au-dessus du débit réservé écologique de $140 \text{ m}^3/\text{s}$ pour cette période.

Le débit futur sera donc plus élevé que le débit actuel durant les mois de décembre à avril. Il sera plus faible au printemps, en mai et en juin ; mais comme actuellement, c'est pendant cette période que surviendront les débits les plus élevés. La pointe du débit arrivera avec un retard de deux à trois semaines par rapport aux conditions actuelles. Le débit pendant les mois de juillet à novembre restera semblable, mais la variabilité sera moins grande. Les valeurs très fortes ou très faibles de débit qui surviennent parfois en conditions actuelles seront moins susceptibles de se produire, notamment grâce au débit réservé.

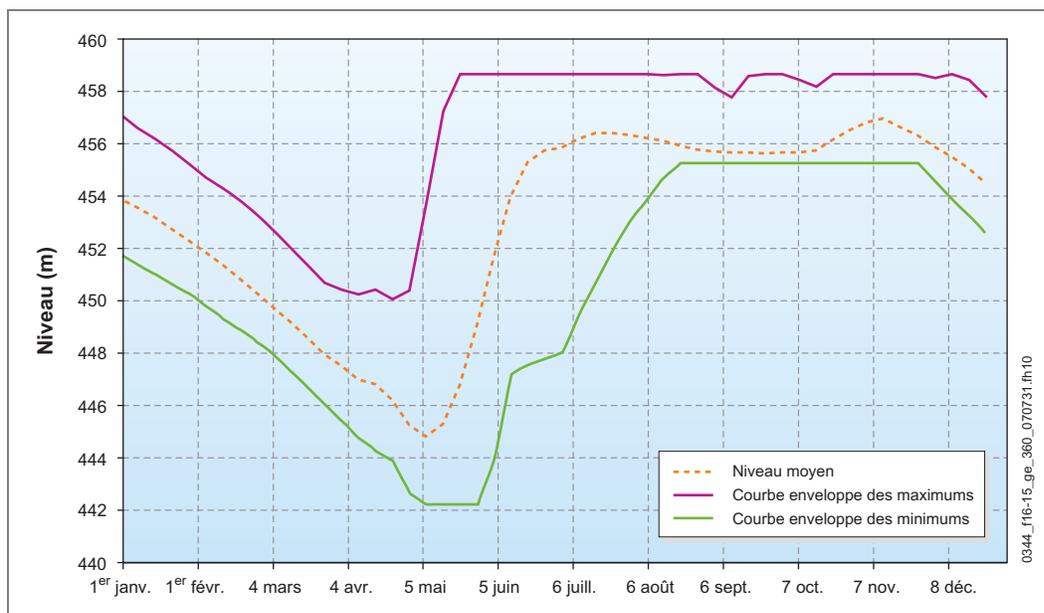
16.2.2 Niveaux d'eau

16.2.2.1 Réservoir de la Romaine 4 (PK 289,2-191,9)

La création du réservoir de la Romaine 4 rehaussera le niveau d'eau entre le barrage de la Romaine-4 (PK 191,9) et le PK 289,2. Le rehaussement atteindra environ 80 m par rapport au niveau actuel à l'emplacement du barrage. Le réservoir

occupera une superficie de 142,2 km², et son niveau variera entre 442,1 et 458,6 m. La figure 16-15 montre la variation moyenne du niveau du réservoir de la Romaine 4 et les courbes enveloppes des minimums et des maximums, d'après les simulations. Le marnage annuel moyen sera de 13,6 m.

Figure 16-15 : Niveaux moyens du réservoir de la Romaine 4 et courbes enveloppes des minimums et des maximums – Conditions futures



L'eau turbinée par la centrale de la Romaine-4 sera restituée directement dans le réservoir de la Romaine 3.

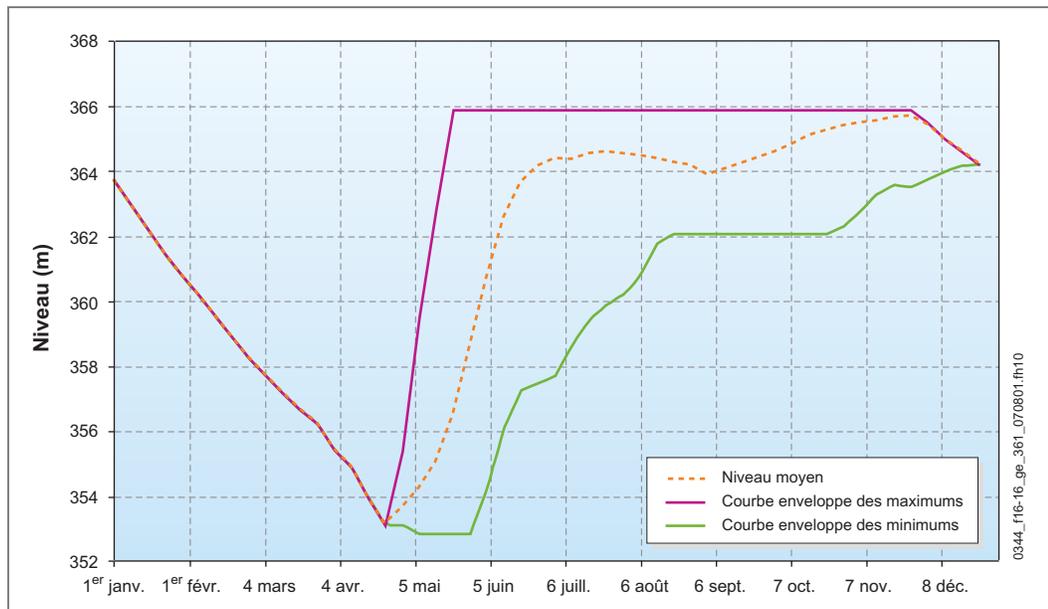
16.2.2.2 Tronçon court-circuité de la Romaine-4 (PK 191,9-190,3)

Sauf en période d'évacuation, le tronçon court-circuité de la Romaine-4 ne recevra que le débit réservé de 1,8 m³/s, ce qui entraînera une baisse du niveau d'eau moyen de 2,5 m sur ce tronçon. Il subsistera deux petits bassins très calmes entre lesquels s'écoulera une mince lame d'eau sur seuils rocheux. Le premier bassin aura une profondeur de 3,5 m (PK 191) et le second, de 1,3 m (PK 190,5).

16.2.2.3 Réservoir de la Romaine 3 (PK 190,7-158,4)

La création du réservoir de la Romaine 3 rehaussera le niveau d'eau entre le barrage de la Romaine-3 (PK 158,4) et le PK 190,7^[1]. Ce rehaussement atteindra 74 m par rapport au niveau actuel à l'emplacement du barrage. Le réservoir occupera une superficie de 38,6 km², et son niveau variera entre 352,8 et 365,8 m. La figure 16-16 montre la variation moyenne du niveau du réservoir de la Romaine 3 et les courbes enveloppes des minimums et des maximums, d'après les simulations. Le marnage annuel moyen sera de 12,7 m.

Figure 16-16 : Niveaux moyens du réservoir de la Romaine 3 et courbes enveloppes des minimums et des maximums – Conditions futures



L'eau turbinée par la centrale de la Romaine-3 sera restituée directement dans le réservoir de la Romaine 2.

16.2.2.4 Tronçon court-circuité de la Romaine-3 (PK 155,0-158,4)

Sauf en période d'évacuation, le tronçon court-circuité de la Romaine-3 ne recevra que le débit réservé de 2,2 m³/s, ce qui entraînera une baisse du niveau d'eau moyen de 2,8 m dans ce tronçon. Peu de données bathymétriques ont été recueillies à cet endroit en raison de la nature turbulente de l'écoulement. Il subsistera quelques très petits bassins très calmes entre lesquels s'écoulera une mince lame d'eau sur seuils rocheux. Un bassin aura une profondeur de 7 m (PK 155,5) et un autre, de 2,5 m (PK 156,6).

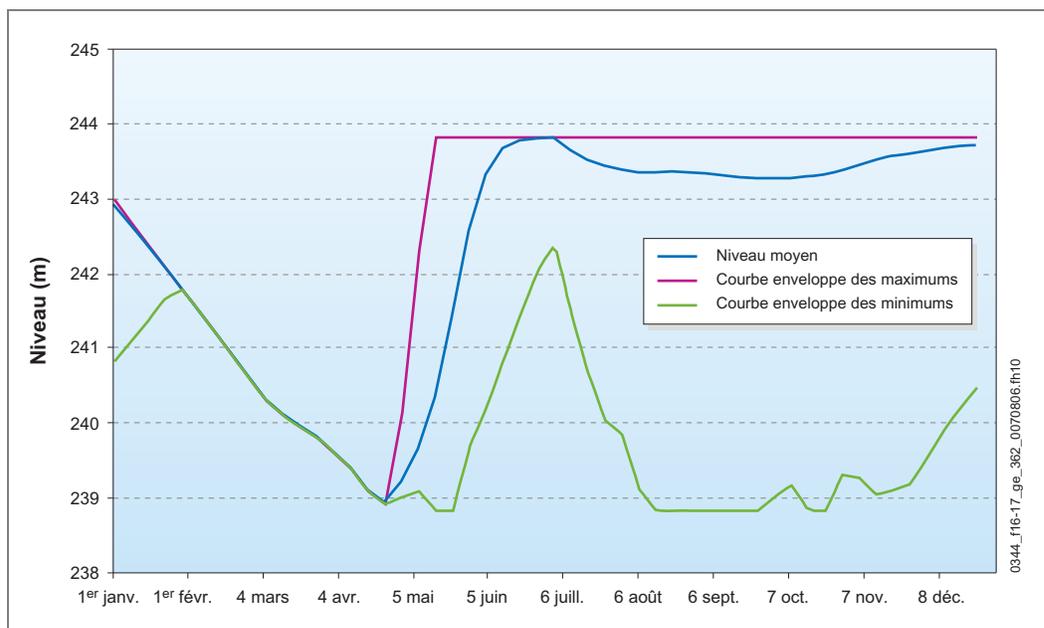
16.2.2.5 Réservoir de la Romaine 2 (PK 155,0-90,3)

La création du réservoir de la Romaine 2 rehaussera le niveau d'eau entre le barrage de la Romaine-2 (PK 90,3) et le PK 155,0. Ce rehaussement atteindra 116 m par rapport au niveau actuel à l'emplacement du barrage. Le réservoir occupera une

[1] Bien que le réservoir de la Romaine 3, à son niveau d'exploitation maximal, se prolonge jusqu'au PK 190,7, on considère que la limite amont du secteur de la Romaine-3 correspond à la sortie du canal de fuite de la Romaine-4, située au PK 190,3. De même, on considère que le tronçon court-circuité de la Romaine-4 s'étend du PK 190,3 au PK 191,9. Le réservoir de la Romaine 3 ennoiera la portion du tronçon court-circuité de la Romaine-4 comprise entre les PK 190,3 et 190,7 lorsque son niveau dépassera 359,7 m, ce qui se produirait 70 % du temps. Selon les simulations de l'exploitation du complexe, la limite amont du réservoir se situerait entre les PK 190,6 et 190,7 près de 20 % du temps, ce qui surviendrait surtout en juillet, en août et en novembre.

superficie de 85,8 km², et son niveau variera entre 238,8 et 243,8 m. La figure 16-17 montre la variation moyenne du niveau du réservoir de la Romaine 2 et les courbes enveloppes des minimums et des maximums, d'après les simulations. Le marnage annuel moyen sera de 4,9 m.

Figure 16-17 : Niveaux moyens du réservoir de la Romaine 2 et courbes enveloppes des minimums et des maximums – Conditions futures



L'eau turbinée par la centrale de la Romaine-2 sera restituée dans le bassin des Murailles, dont le niveau dépendra du niveau du réservoir de la Romaine 1 et du débit provenant de l'aménagement de la Romaine-2.

16.2.2.6 Tronçon court-circuité de la Romaine-2 (PK 90,3-83,7)

Sauf en période d'évacuation, le tronçon court-circuité de la Romaine-2 ne recevra que le débit réservé de 2,7 m³/s. Le niveau d'eau marquera une baisse de 1,4 à 4,4 m, pour une moyenne de 2,7 m sur l'ensemble du tronçon. Le tronçon sera formé de plusieurs petits bassins très calmes séparés les uns des autres par des seuils rocheux sur lesquels glissera une mince lame d'eau. La profondeur d'eau dans les bassins sera appréciable, soit entre 5 et 10 m.

16.2.2.7 Réservoir de la Romaine 1 et bassin des Murailles (PK 83,7-52,5)

La création du réservoir de la Romaine 1 rehaussera le niveau d'eau entre le barrage de la Romaine-1 (PK 52,5) et le PK 81,8, qui correspond à l'exutoire du bassin des Murailles. Le réservoir occupera une superficie de 12,6 km². Le rehaussement par rapport aux conditions actuelles atteindra 28 m en amont du barrage pour tomber à 0,5 m à la tête du réservoir. Le réservoir de la Romaine 1 comportera une partie

lacustre et une partie fluviale (vitesse moyenne minimale de 0,3 m/s au débit moyen annuel). La partie lacustre, comprise entre le barrage et le PK 69,0, sera caractérisée par de grandes profondeurs (de 7 à 30 m) et par des vitesses d'écoulement inférieures à 0,3 m/s. La partie fluviale, comprise entre les PK 69,0 et 81,8, sera caractérisée par des vitesses égales ou supérieures à 0,3 m/s et par des profondeurs de 3 à 9 m (9 m étant la profondeur maximale à l'exutoire du bassin des Murailles). L'écoulement créera un effet de remous dans ce tronçon, et le niveau d'eau atteindra 83 m à sa limite amont lorsque le réservoir atteindra son niveau d'exploitation maximal (82,3 m). Le niveau du réservoir variera entre 80,8 et 82,3 m. Cette variation entre limites minimale et maximale pourrait se produire en l'espace d'une journée ou de quelques jours.

On prévoit réaliser des excavations en rive droite des rapides situés à l'exutoire du bassin des Murailles (PK 81,8). Ces travaux auront pour effet d'abaisser le niveau d'eau dans le bassin des Murailles, jusqu'à la sortie du canal de fuite de la centrale de la Romaine-2. La baisse de niveau par rapport aux conditions actuelles variera en fonction du débit. Elle atteindra 0,6 m au débit moyen annuel.

16.2.2.8 Tronçon court-circuité de la Romaine-1 (PK 52,5-51,5)

Un tronçon de 1 km sépare le pied du barrage de la Romaine-1 du point de restitution des eaux turbinées dans la Romaine. En conditions actuelles, ce tronçon comprend deux séries de rapides, séparés par un bassin dont la profondeur atteint 16 m et par un court tronçon fluvial entre les derniers rapides et le canal de fuite de la centrale (voir la carte 23-4). Hormis les périodes pendant lesquelles des déversements se produiront, ce tronçon ne recevra aucun débit, ce qui provoquera l'assèchement des rapides. Le bassin très profond restera en eau. Un volume d'eau de 0,25 hm³ sera maintenu grâce à la présence d'un seuil rocheux naturel, mais l'eau dans le bassin ne se renouvellera pas. Le niveau baissera d'environ 2,5 m. Le tronçon fluvial en aval des derniers rapides deviendra une zone de faibles courants, avec un niveau abaissé de moins de 10 cm.

16.2.2.9 Tronçon de la Romaine en aval de la centrale de la Romaine-1 (PK 51,5-0)

Le régime de débits sera modifié par l'exploitation du complexe, de sorte que les niveaux d'eau et les vitesses d'écoulement subiront des changements à certaines périodes de l'année.

Comme la crue pourra être contenue par les réservoirs la plupart des années, le rehaussement du niveau d'eau au moment de la crue printanière sera moins important qu'en conditions actuelles. En effet, le rehaussement moyen au moment de la crue printanière sera de 0,8 m, et pourra atteindre 1,1 m dans les sections les plus étroites. Il se rapprochera des conditions actuelles les années où des déversements se produiront, avec un rehaussement moyen de 2 m à la pointe de la crue.

En été, comme les débits hebdomadaires seront semblables aux débits actuels, les vitesses d'écoulement et les profondeurs d'eau seront typiques des conditions moyennes actuelles. Toutefois, le niveau d'eau subira des changements plus rapides à la mise à l'arrêt et au démarrage des groupes. Ainsi, le démarrage ou l'arrêt d'un groupe provoquera une fluctuation moyenne de 0,9 m dans le tronçon en aval de la centrale de la Romaine-1. Cette fluctuation décroîtra légèrement d'amont en aval. Elle se produira en moins de trois heures en aval de la centrale et s'étalera sur une période de plus en plus longue vers l'aval de la rivière. Ces fluctuations seront beaucoup moins marquées lorsque le mode d'exploitation restera le même pendant plusieurs jours consécutifs. Un débit modulé de 200 m³/s en dehors de la période de pointe et de 400 m³/s pendant les heures de pointe du matin et du soir entraînera des fluctuations de niveau qui s'atténueront vers l'aval.

Le tableau 16-3 présente la fluctuation du niveau d'eau qui sera provoquée par l'arrêt ou le démarrage d'un groupe ainsi que l'étalement dans le temps de la baisse du niveau. Il montre également les fluctuations de niveau qui se produiront si le débit est modulé de 200 m³/s en dehors de la période de pointe à 400 m³/s pendant les heures de pointe du matin et du soir. Les figures 16-18 et 16-19 montrent les variations de niveaux et de débits qui se produiront en aval de la centrale de la Romaine-1 lorsque la rivière sera libre de glace. En présence de glace, les débits varieront de façon semblable, mais les niveaux d'eau dépasseront les valeurs illustrées.

Tableau 16-3 : Variation du niveau de la Romaine en période d'eau libre selon les variations du débit turbiné à la centrale de la Romaine-1

Point kilométrique	Réduction du débit de 400 à 200 m ³ /s		Débit modulé de 200 à 400 m ³ /s durant les heures de pointe du matin et du soir	
	Variation de niveau (m)	Étalement dans le temps (h)	Marnage (m)	Étalement dans le temps (h)
51,5	1,0	3	1,0	7
48,9	1,0	9	0,7	8
46,2	0,9	10	0,6	8
34,5	1,3	17	0,5	8
26,0	1,0	22	0,15	8
16,0	0,8	30	0,05	8
1,0	0,7	31	0,03	8

Figure 16-18 : Variation des niveaux et des débits en aval de la centrale de la Romaine-1 – PK 51,5, 48,9 et 46,2 – Conditions futures

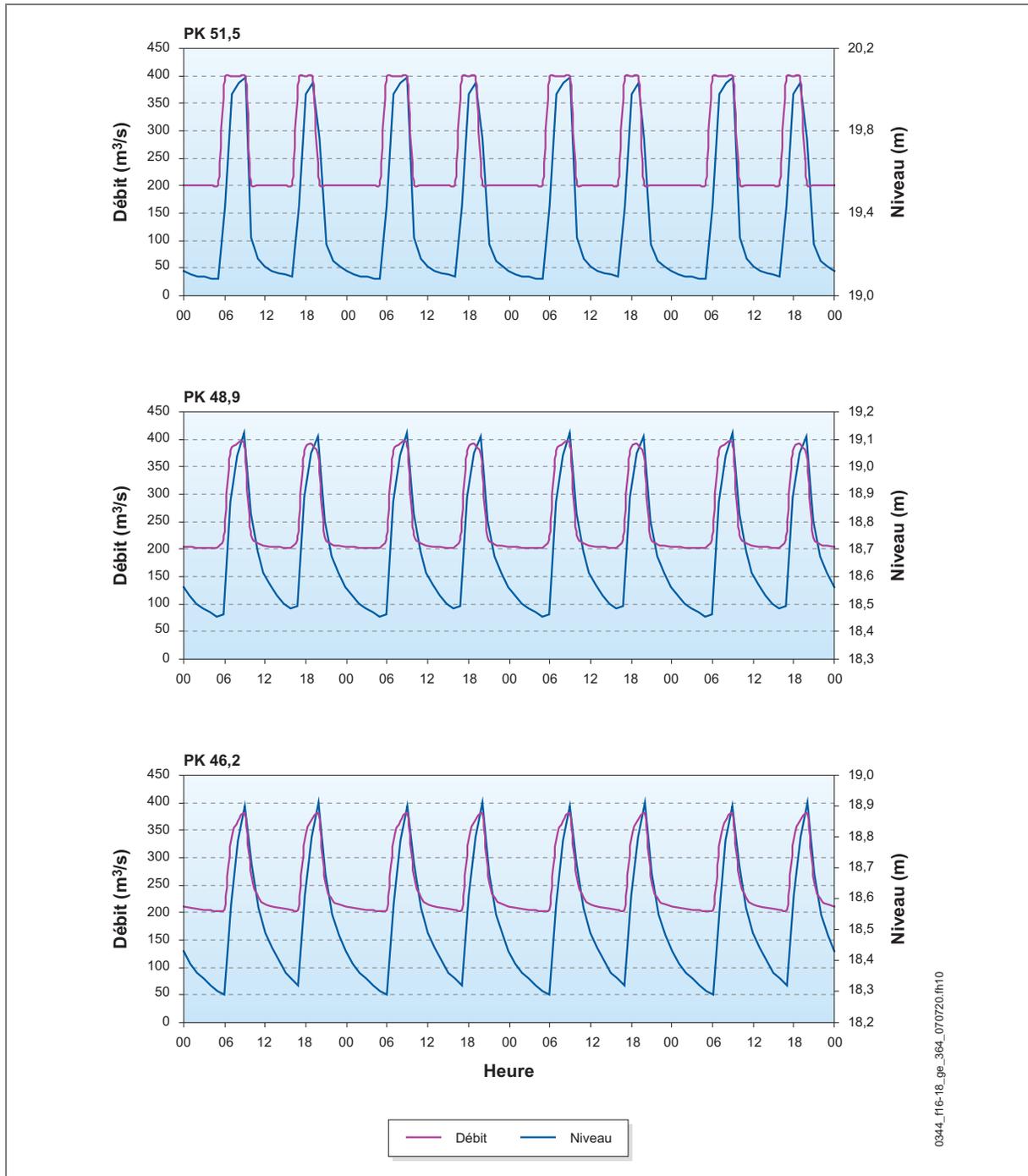
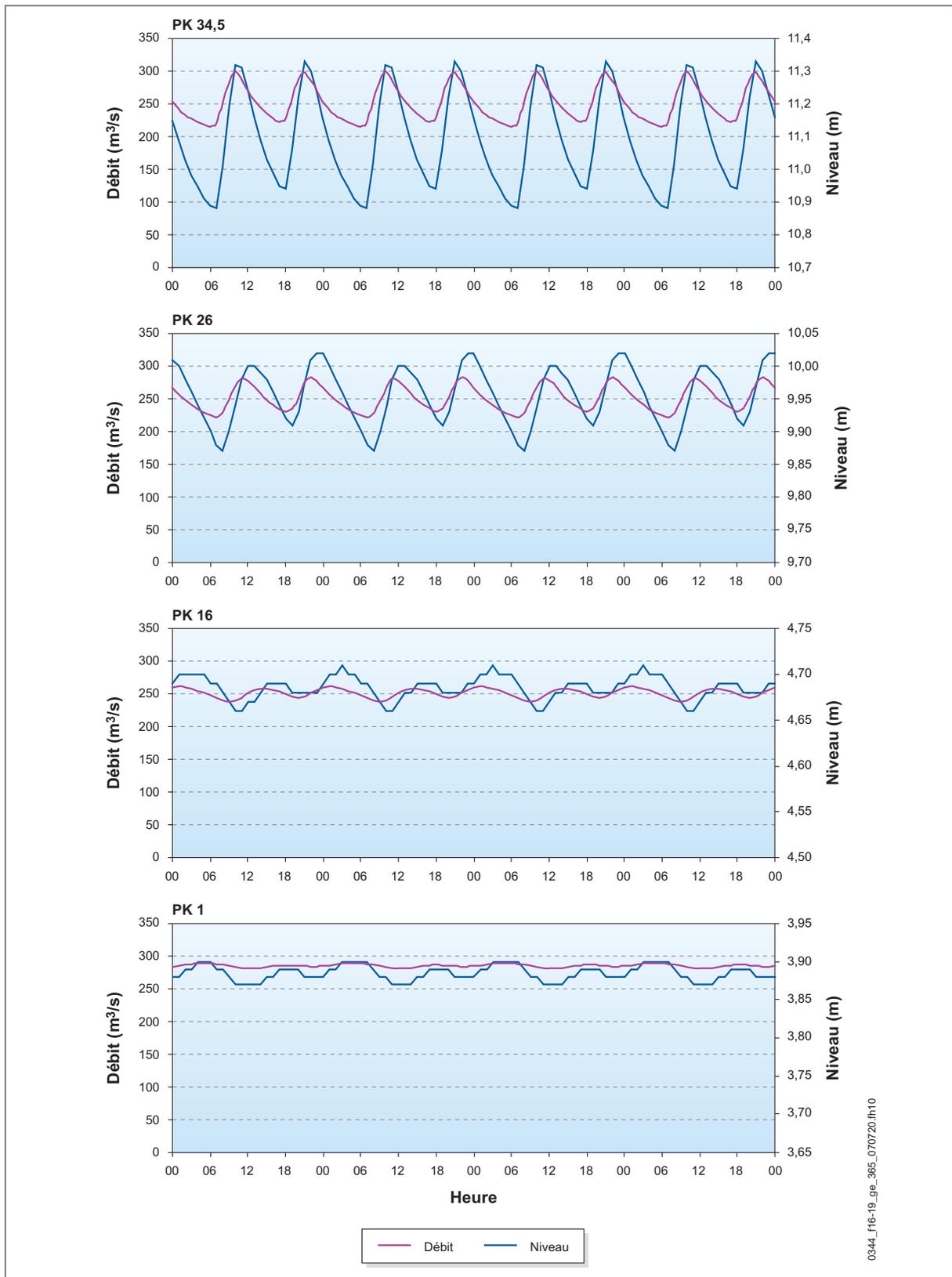


Figure 16-19 : Variation des niveaux et des débits en aval de la centrale de la Romaine-1 – PK 34,5, 26, 16 et 1 – Conditions futures

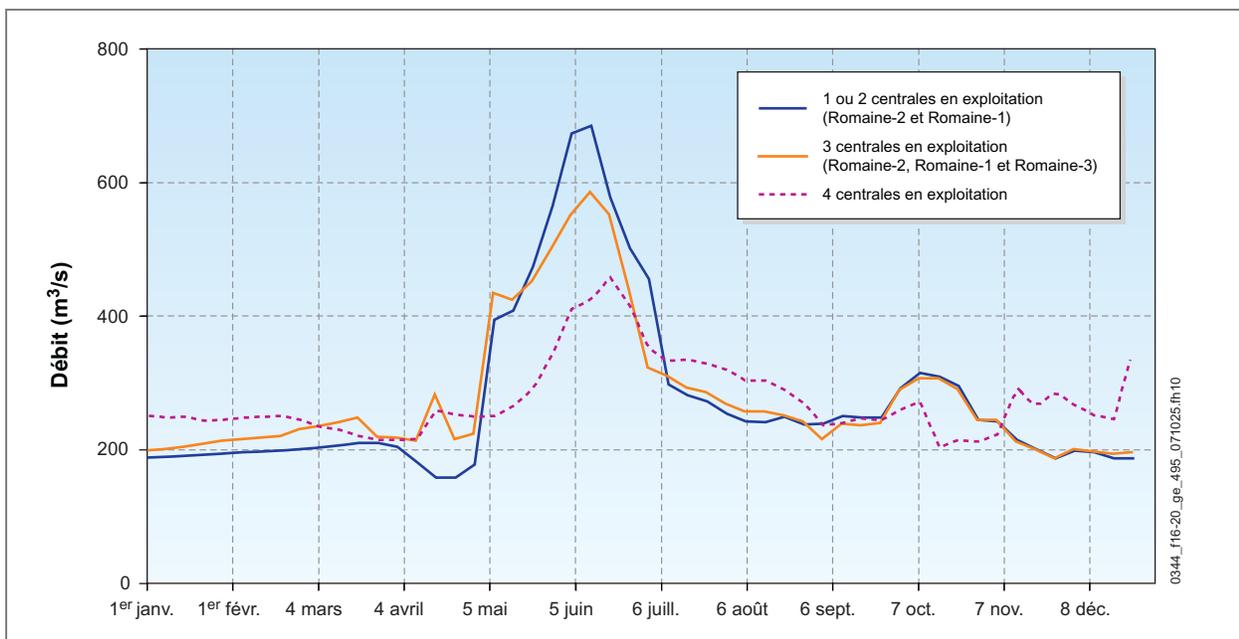


0344_116-19_ge_365_070720.fr10

16.3 Modifications liées à la période d'exploitation transitoire

La période d'exploitation transitoire s'étend de la mise en service de l'aménagement de la Romaine-2 – le premier du complexe à être exploité – à la mise en service de l'aménagement de la Romaine-4. Les caractéristiques particulières de cette période sont présentées ci-dessous. Les figures 16-20 à 16-22 comparent les débits hebdomadaires aux centrales de la Romaine-1, de la Romaine-2 et de la Romaine-3 durant la phase transitoire à ceux qui existeront lorsque les quatre aménagements seront en service. Le mode d'exploitation des aménagements durant le remplissage de l'un ou l'autre des réservoirs est décrit dans la section 16.4, qui traite des modifications durant la construction.

Figure 16-20 : Débit moyen total (turbiné et déversé) à la centrale de la Romaine-2 – Conditions transitoires et futures



16.3.1 Exploitation de l'aménagement de la Romaine-2 seul et exploitation des aménagements de la Romaine-2 et de la Romaine-1

Le régime hydrologique de la Romaine sera modifié par la mise en service de l'aménagement de la Romaine-2 en décembre 2014. Ces nouvelles conditions resteront sensiblement les mêmes après la mise en service de l'aménagement de la Romaine-1, en décembre 2016, et se maintiendront jusqu'au début du remplissage du réservoir de la Romaine 3 en octobre 2016.

La présente section décrit les modifications apportées par l'exploitation des deux premiers aménagements du complexe de décembre 2014 à octobre 2016.

Figure 16-21 : Débit moyen total (turbiné et déversé) à la centrale de la Romaine-1 –
Conditions transitoires et futures

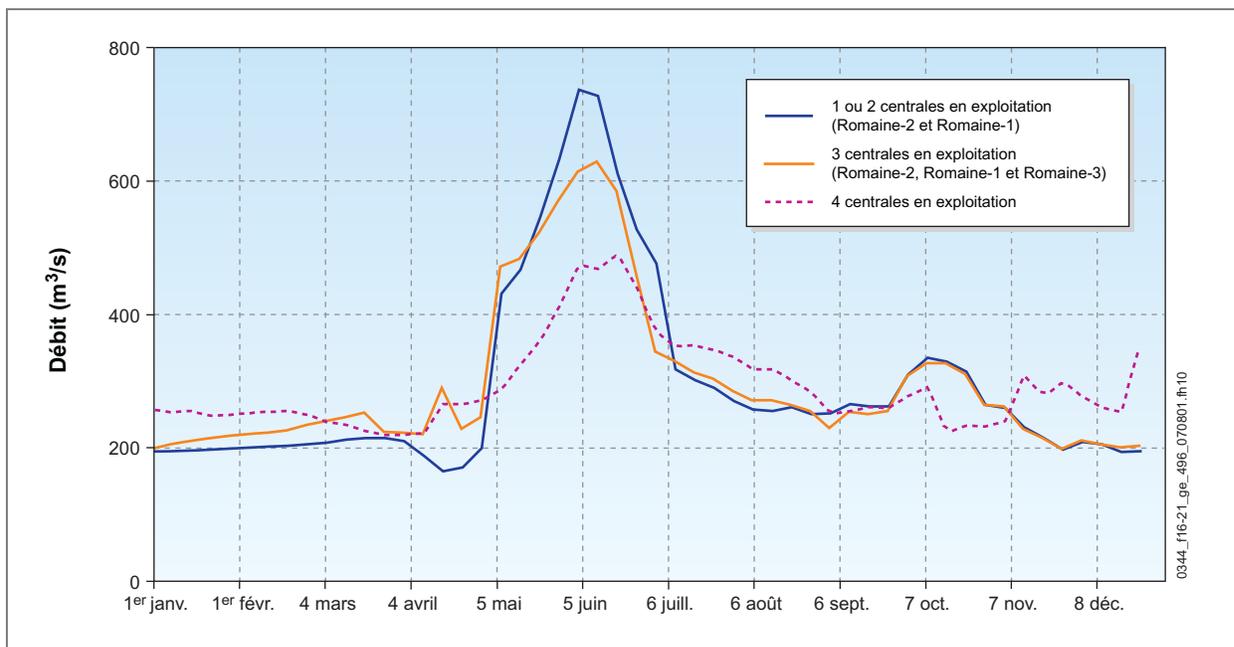
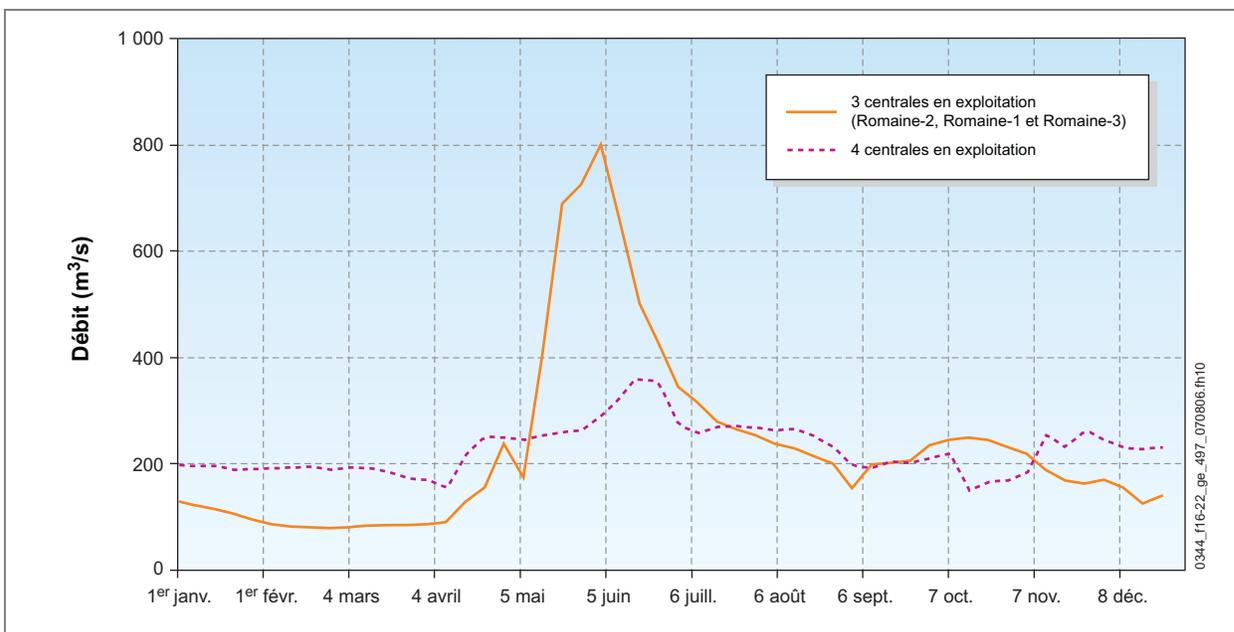


Figure 16-22 : Débit moyen total (turbiné et déversé) à la centrale de la Romaine-3 –
Conditions transitoires et futures



16.3.1.1 Réservoir de la Romaine 2 (PK 155,0-90,3)

Afin qu'il dispose d'une réserve utile suffisante pour assurer le débit réservé écologique prévu en aval du PK 52,5 de la Romaine, le réservoir de la Romaine 2 sera exploité entre les niveaux minimal de 224,8 m et maximal de 243,8 m jusqu'à la mise en service complète de l'aménagement de la Romaine-4. Le niveau d'exploitation minimal sera de 14 m plus bas que le niveau minimal prévu après la mise en service des quatre centrales du complexe. Le marnage durant la période transitoire sera donc de 19 m.

Durant la période hivernale, le débit turbiné à la centrale de la Romaine-2 sera semblable au débit d'exploitation de l'ensemble du complexe. Il sera compris plus de 95 % du temps entre 150 et 200 m³/s. Le débit sera plus faible en avril, au moment où la réserve sera épuisée, et plus fort au printemps, car la réserve durant la période considérée sera d'à peine la moitié de celle du complexe. Les simulations de l'exploitation du réservoir de la Romaine 2 indiquent que des déversements se produiront en moyenne trois années sur quatre. La valeur moyenne de la pointe hebdomadaire de ces déversements atteindra 539 m³/s, ce qui portera à 992 m³/s le débit total de l'aménagement. Des déversements pourront également se produire durant l'été ou l'automne.

La centrale de la Romaine-2 sera gérée de façon à garantir en tout temps le respect du débit réservé prévu en aval du barrage de la Romaine-1 (PK 52,5) (voir la section 16.2.1.4).

16.3.1.2 Tronçon court-circuité de la Romaine-2 (PK 90,3-83,7)

Le tronçon de la Romaine qui sera court-circuité par l'aménagement de la Romaine-2 recevra le débit réservé prévu de 2,7 m³/s de même que les déversements à l'évacuateur de crues. Ces derniers seront plus fréquents et plus abondants durant la période considérée qu'après la mise en service des quatre centrales.

16.3.1.3 Tronçon en aval du canal de fuite de la Romaine-2 (PK 83,7-0)

Le tronçon de la Romaine situé en aval du PK 83,7 recevra le débit provenant de l'aménagement de la Romaine-2 ainsi que les apports des quelques tributaires. Le débit à l'embouchure sera semblable à celui de l'aménagement de la Romaine-2 en période d'étiage, alors que les différences seront plus marquées en situation de crue.

L'exploitation de l'aménagement de la Romaine-2 modifiera le régime des débits en aval de la centrale. Toutefois, pour un même débit, les conditions hydrauliques (niveau d'eau, profondeur et vitesse d'écoulement) ne seront pas modifiées. Le niveau du bassin des Murailles, compris entre les PK 83,7 et 81,8, subira un abaissement dès la réalisation des travaux d'excavation. En aval, la rivière conservera les

nombreux rapides et chutes présents en amont et en aval de la centrale de la Romaine-1. Le débit relâché à l'aménagement de la Romaine-2 permettra de respecter le régime de débits réservés écologiques prévu.

Après la mise en service de l'aménagement de la Romaine-1, la gestion du réservoir de la Romaine 1 sera identique à celle qui est prévue pour l'ensemble du complexe. Le réservoir sera exploité la plupart du temps près de son niveau d'exploitation maximal, mais pourra fluctuer à l'occasion entre ses limites minimale et maximale de 80,8 et de 82,3 m.

16.3.2 Exploitation des aménagements de la Romaine-3, de la Romaine-2 et de la Romaine-1

Les aménagements de la Romaine-3, de la Romaine-2 et de la Romaine-1 seront exploités sans l'aménagement de la Romaine-4 pendant la période qui s'étend de la mise en service de l'aménagement de la Romaine-3, en décembre 2017, au début du remplissage du réservoir de la Romaine 4, le 1^{er} septembre 2019.

16.3.2.1 Réservoir de la Romaine 3 (PK 190,7-158,4)

Durant la période considérée, le niveau du réservoir de la Romaine 3 variera entre les mêmes cotes qu'après la mise en service de l'ensemble du complexe, soit entre 352,8 et 365,8 m. Au début de l'hiver, le niveau du réservoir se situera très près de son niveau d'exploitation maximal. La vidange hivernale se fera sensiblement au même rythme que durant l'exploitation normale ; le réservoir atteindra son niveau minimal au début de mai. La crue printanière le remplira en moins d'un mois, ce qui devance de deux semaines le remplissage en présence du réservoir de la Romaine 4. Comme ce sera le cas avec les quatre centrales, le réservoir sera maintenu près de son niveau maximal durant l'été et l'automne.

Parce que l'aménagement ne bénéficiera pas de la régularisation que lui apporte le réservoir de la Romaine 4, le débit turbiné durant la période de vidange hivernale sera plus faible que le débit d'exploitation normale. Le débit moyen hebdomadaire sera compris plus de 95 % du temps entre 73 et 180 m³/s. Des déversements se produiront chaque année et le débit déversé maximal atteindra une moyenne de 642 m³/s, ce qui portera à 1 014 m³/s le débit total de l'aménagement. Des déversements pourront également se produire durant l'été ou l'automne.

16.3.2.2 Tronçon court-circuité de la Romaine-3 (PK 158,4-155,0)

Le tronçon de la Romaine qui sera court-circuité par l'aménagement de la Romaine-3 recevra le débit réservé prévu de 2,2 m³/s de même que les déversements qui se produiront chaque printemps et parfois durant l'été et l'automne.

16.3.2.3 Réservoir de la Romaine 2 (PK 155,0-90,3)

Après la mise en service de l'aménagement de la Romaine-3, l'aménagement de la Romaine-2 continuera à être exploité entre les niveaux minimal de 224,8 m et maximal de 243,8 m, afin que le complexe soit en mesure de respecter le régime de débits réservés écologiques. Le marnage durant la période considérée sera donc de 19 m.

La présence du réservoir de la Romaine 3 permettra une légère augmentation du débit turbiné de décembre à avril. Durant la période hivernale, le débit sortant de la centrale sera semblable au débit prévu durant l'exploitation des quatre aménagements. Il se situera plus de 95 % du temps entre 160 et 260 m³/s. Les déversements seront légèrement réduits en mai et juin. Les simulations de l'exploitation du réservoir de la Romaine 2 indiquent que des déversements se produiront en moyenne deux années sur trois. La valeur moyenne de la pointe hebdomadaire de ces déversements atteindra 458 m³/s, ce qui portera à 911 m³/s le débit total de l'aménagement. Des déversements pourront également se produire durant l'été ou l'automne.

16.3.2.4 Tronçon court-circuité de la Romaine-2 (PK 90,3-83,7)

Le tronçon court-circuité de la Romaine-2 recevra le débit réservé prévu de 2,7 m³/s de même que les déversements à l'évacuateur de crues. Ces derniers seront plus fréquents et plus abondants durant la période considérée qu'après la mise en service des quatre centrales.

16.3.2.5 Réservoir de la Romaine 1 et bassin des Murailles (PK 83,7-52,5)

Le mode d'exploitation du réservoir de la Romaine 1 durant la période considérée sera identique à celui qui prévaudra avec les quatre aménagements. Son niveau pourra varier entre 80,8 et 82,3 m, mais il restera la plupart du temps près de la cote maximale. Quant au bassin des Murailles, son niveau subira une baisse moyenne de 0,6 m.

Le réservoir de la Romaine 1 recevra le débit provenant de l'aménagement de la Romaine-2 ainsi que les apports des quelques tributaires. Puisque la réserve utile de ce réservoir sera très faible, le débit au PK 52,5 sera semblable à celui de l'aménagement de la Romaine-2 pendant les périodes d'étiage, alors que les différences seront plus marquées en situation de crue. Selon les simulations, des déversements se produiront plus de deux années sur trois et le débit hebdomadaire maximal atteindra en moyenne 494 m³/s, ce qui portera à 979 m³/s le débit total de l'aménagement.

16.3.2.6 Tronçon de la Romaine en aval de la centrale de la Romaine-1

Comme ce sera le cas durant l'exploitation de l'ensemble du complexe, le débit qui alimentera le cours inférieur de la Romaine respectera le régime de débits réservés écologiques prévu.

Les réservoirs de la Romaine 3 et de la Romaine 2 stockeront une partie de la crue printanière, de sorte que le rehaussement de niveau au passage de la crue sera en partie atténué, surtout s'il n'y a pas de déversement à l'aménagement de la Romaine-2. En période de déversement, le régime hydrodynamique se rapprochera des conditions actuelles.

Comme lorsque les quatre aménagements seront en service, ce tronçon de rivière sera soumis aux variations de niveaux qui surviennent au moment de l'arrêt ou du démarrage d'un groupe turbine-alternateur.

16.3.3 Exploitation des aménagements de la Romaine-3, de la Romaine-2 et de la Romaine-1 pendant le remplissage du réservoir de la Romaine 4

Durant le remplissage du réservoir de la Romaine 4, le complexe formé des aménagements de la Romaine-3, de la Romaine-2 et de la Romaine-1 sera géré de façon à assurer le régime de débits réservés écologiques prévu en aval de l'aménagement de la Romaine-1. Les débits réservés dans les tronçons court-circuités de la Romaine-2 et de la Romaine-3 seront également respectés.

Lorsque débutera le remplissage du réservoir de la Romaine 4, les niveaux des réservoirs de la Romaine 3 et de la Romaine 2 seront proches de leur niveau d'exploitation maximal. Pendant le remplissage, le réservoir de la Romaine 4 retiendra la majeure partie des apports d'eau. Les débits provenant des aménagements seront maintenus une plus grande portion du temps à la valeur des débits réservés, sans les dépasser, alors que durant l'exploitation des quatre centrales les débits dépasseront la plupart du temps les débits réservés prévus. Les probabilités de déversement après le passage de la crue printanière qui suivra le remplissage du réservoir de la Romaine 4 seront également réduites.

16.4 Modifications liées aux activités de construction

16.4.1 Construction de l'aménagement de la Romaine-4

Deux types de modifications des régimes hydrologique, hydraulique et hydrodynamique se produiront pendant la construction de l'aménagement de la Romaine-4 :

- une modification locale de l'écoulement liée au passage de l'eau dans la galerie de dérivation ;
- une modification du régime hydrologique de la rivière pendant le remplissage du réservoir.

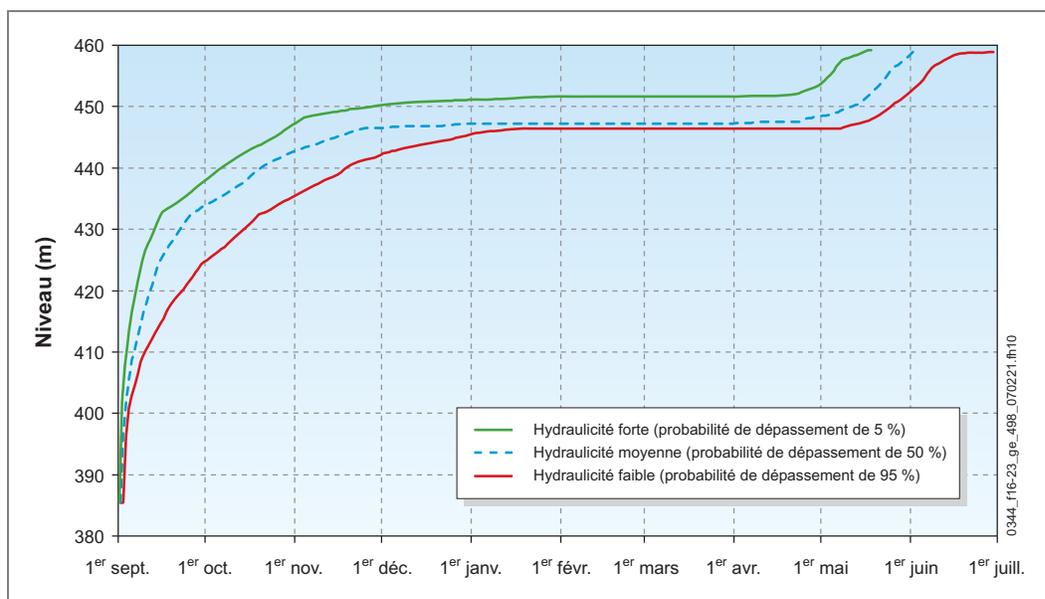
Avant le remplissage du réservoir, la construction de l'aménagement de la Romaine-4 ne modifiera pas le régime hydrologique ou hydrodynamique en aval du batardeau aval (PK 191,6). Durant les travaux, la Romaine sera dérivée par une galerie provisoire. Le lit de la rivière sera donc asséché entre les batardeaux amont et aval. De plus, le passage de l'eau dans la galerie de dérivation provoquera un rehaussement du niveau amont. La valeur de ce rehaussement augmentera avec les apports naturels. S'il survient une crue d'une récurrence de 40 ans, le rehaussement par rapport aux conditions actuelles atteindra 15 m à l'amont immédiat de la galerie. Le tronçon touché par le rehaussement s'étendra jusqu'au PK 202. En amont de ce point, il n'y aura aucune modification du régime hydrologique ou hydrodynamique par rapport aux conditions actuelles.

Le remplissage du réservoir de la Romaine 4 commencera en septembre 2019. À ce moment, les trois aménagements en aval seront en service et seront gérés de façon à assurer les débits réservés écologiques dans les tronçons court-circuités de la Romaine-3 et de la Romaine-2 ainsi qu'en aval de la centrale de la Romaine-1. Le remplissage se déroulera en deux étapes. La première étape débutera avec la fermeture de la galerie de dérivation et se terminera lorsque le niveau d'eau atteindra le coursier de l'évacuateur, soit 441,6 m. Il n'y aura pas de débit réservé dans le tronçon court-circuité ; les petits tributaires y ajouteront un débit de l'ordre de 0,04 m³/s. La majeure partie du tronçon court-circuité sera asséchée. Selon les simulations, cette étape devrait durer environ 75 jours, avec une plage possible de 55 à 115 jours en cas de forte hydraulité (probabilité de dépassement de 5 %) ou de faible hydraulité (probabilité de dépassement de 95 %).

Durant la seconde étape, l'ouvrage de restitution de débit réservé intégré à l'évacuateur pourra fournir le débit réservé de 1,8 m³/s dans le tronçon court-circuité. Selon la plupart des années simulées, un débit de l'ordre de 45 m³/s sera évacué, car les apports naturels en aval du barrage de la Romaine-4 ne suffiront pas à assurer le débit requis en aval de la Romaine-1. Selon les simulations, cette étape devrait durer environ 200 jours.

La durée totale de remplissage du réservoir de la Romaine 4, qui serait d'environ 275 jours, sera prolongée de 25 jours en situation de faible hydraullicité (probabilité de dépassement de 95 %) ou raccourcie de 15 jours en situation de forte hydraullicité (probabilité de dépassement de 5 %). La figure 16-23 montre la courbe de remplissage du réservoir de la Romaine 4.

Figure 16-23 : Courbe de remplissage du réservoir de la Romaine 4 selon l'hydraullicité



16.4.2 Construction de l'aménagement de la Romaine-3

Deux types de modifications des régimes hydrologique, hydraulique et hydrodynamique se produiront pendant la construction de l'aménagement de la Romaine-3 :

- une modification locale de l'écoulement liée au passage de l'eau dans la galerie de dérivation ;
- une modification du régime hydrologique de la rivière pendant le remplissage du réservoir.

Avant le remplissage du réservoir, la construction de l'aménagement de la Romaine-3 ne modifiera pas le régime hydrologique ou hydrodynamique en aval de la dérivation provisoire (PK 158,2). Durant les travaux, la Romaine sera dérivée par une galerie provisoire. Le lit de la rivière sera donc asséché entre les batardeaux amont et aval. De plus, le passage de l'eau dans la galerie de dérivation créera une certaine restriction à l'écoulement et provoquera un rehaussement du niveau amont. La valeur de ce rehaussement augmentera avec les apports naturels. S'il survient une crue d'une récurrence de 40 ans, le rehaussement par rapport aux conditions actuelles atteindra 11 m à l'amont immédiat de la galerie. Le tronçon

touché par le rehaussement s'étendra jusqu'au PK 177. En amont de ce point, il n'y aura aucune modification du régime hydrologique ou hydrodynamique par rapport aux conditions actuelles.

Le remplissage du réservoir de la Romaine 3 commencera à la mi-octobre 2016. À ce moment, les aménagements de la Romaine-2 et de la Romaine-1 seront en service et seront gérés de façon à assurer les débits réservés écologiques dans le tronçon court-circuité de la Romaine-2 et en aval de la centrale de la Romaine-1. Le remplissage se déroulera en deux étapes. La première étape débutera avec la fermeture de la galerie de dérivation et se terminera lorsque le niveau d'eau atteindra le coursier de l'évacuateur, soit 352,5 m. Il n'y aura pas de débit réservé dans le tronçon court-circuité ; les petits tributaires y ajouteront un débit de l'ordre de 0,1 m³/s. À l'exception de quelques très petits bassins où le renouvellement de l'eau sera presque nul, la majeure partie du tronçon court-circuité sera asséchée. Selon les simulations, cette étape devrait durer environ 125 jours, avec une plage possible de 61 à 207 jours en cas de forte hydraulité (probabilité de dépassement de 5 %) ou de faible hydraulité (probabilité de dépassement de 95 %).

Durant la seconde étape, l'ouvrage de restitution de débit réservé intégré à l'évacuateur pourra fournir le débit réservé de 2,2 m³/s dans le tronçon court-circuité. L'évacuateur de crues pourra également fournir le débit qui permette de respecter le débit réservé écologique en aval de la centrale de la Romaine-1. Selon la plupart des années simulées, cette seconde étape de remplissage surviendra durant la crue printanière. Les apports en aval de l'aménagement de la Romaine-3 de même que le volume d'eau disponible dans le réservoir de la Romaine 2 suffiront à assurer le débit requis en aval de la Romaine-1. Dans le cas où les apports seraient élevés, le remplissage se terminera avant la crue printanière et un débit sera évacué pour fournir le débit réservé de cette période. Selon les simulations, cette étape devrait durer environ 90 jours.

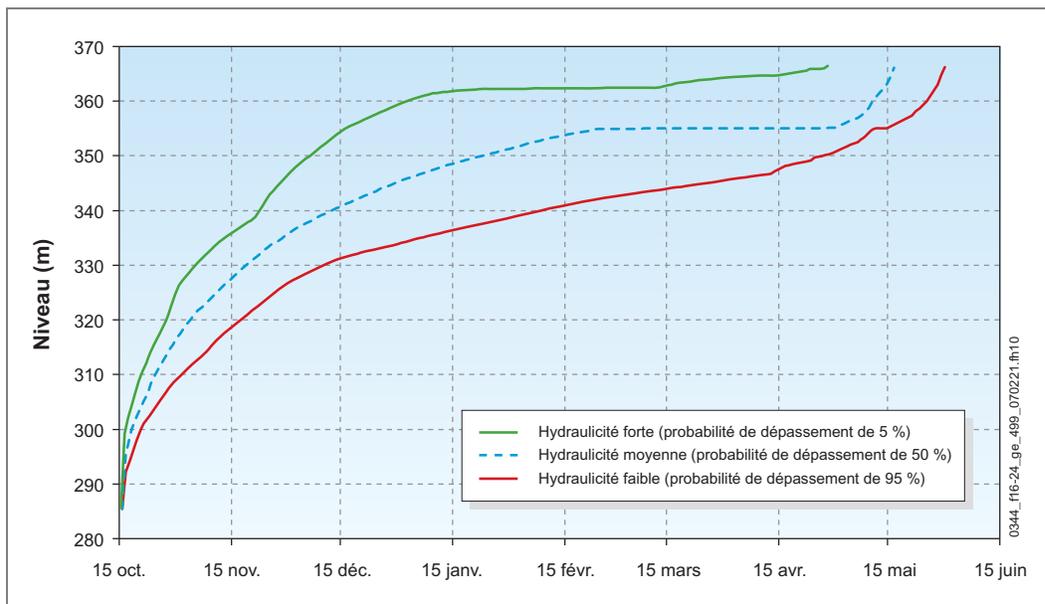
La durée totale de remplissage du réservoir de la Romaine 3, qui serait d'environ 215 jours, sera prolongée de 14 jours en situation de faible hydraulité (probabilité de dépassement de 95 %) ou raccourcie de 18 jours en situation de forte hydraulité (probabilité de dépassement de 5 %). La figure 16-24 montre la courbe de remplissage du réservoir de la Romaine 3.

16.4.3 Construction de l'aménagement de la Romaine-2

Deux types de modifications des régimes hydrologique, hydraulique et hydrodynamique se produiront pendant la construction de l'aménagement de la Romaine-2 :

- une modification locale de l'écoulement liée au passage de l'eau dans la galerie de dérivation ;
- une modification du régime hydrologique de la rivière pendant le remplissage du réservoir.

Figure 16-24 : Courbe de remplissage du réservoir de la Romaine 3 selon l'hydraulicité



Avant le remplissage du réservoir, la construction de l'aménagement de la Romaine-2 ne modifiera pas le régime hydrologique ou hydrodynamique en aval du batardeau aval (PK 90,1). Durant les travaux, la Romaine sera dérivée par une galerie provisoire. Le lit de la rivière sera donc asséché entre les batardeaux amont et aval. De plus, le passage de l'eau dans la galerie de dérivation provoquera un rehaussement du niveau amont. La valeur de ce rehaussement augmentera avec les apports naturels. S'il survient une crue d'une récurrence de 40 ans, le rehaussement par rapport aux conditions actuelles atteindra 22 m à l'amont immédiat de la galerie. Le secteur touché par le rehaussement s'étendra jusqu'au PK 108. En amont de ce point, il n'y aura aucune modification du régime hydrologique ou hydrodynamique par rapport aux conditions actuelles.

Le remplissage du réservoir de la Romaine 2 commencera au début d'avril 2014 et se déroulera en trois étapes. La première étape débutera le 1^{er} avril. Les vannes de la galerie de dérivation provisoire seront utilisées pour évacuer la contribution de l'aménagement de la Romaine-2 au respect du débit réservé écologique en aval de la Romaine-1. Selon les simulations, la durée moyenne de cette étape est de 42 jours. Dans tous les scénarios d'apports considérés, cette étape se terminera avant le 31 mai et le débit minimal qui sera assuré en aval du PK 52,5 sera de 70 m³/s.

La deuxième étape débutera avec la fermeture de la galerie de dérivation et se terminera lorsque le niveau d'eau atteindra le coursier de l'évacuateur, soit 228,3 m. La fermeture totale de la galerie devrait normalement avoir lieu le 15 mai, mais pourrait être devancée au 30 avril ou retardée jusqu'au 28 mai, selon l'hydraulicité de la première étape.

Selon les simulations, la deuxième étape devrait durer environ 24 jours, avec une plage possible de 17 à 59 jours en cas de forte hydraulité (probabilité de dépassement de 5 %) ou de faible hydraulité (probabilité de dépassement de 95 %). Elle se terminerait donc entre le 24 mai et le 12 juillet.

Durant cette étape du remplissage, le débit de la Romaine ne proviendra que des tributaires qui alimentent la rivière en aval du barrage de la Romaine-2 (PK 90,3), dont les principaux sont la rivière Romaine Sud-Est (PK 82,5) et la rivière Puyjalon (PK 12,8). L'aménagement de la Romaine-2 ne comportera pas d'ouvrage permettant d'augmenter le débit de la rivière Romaine. En aval du barrage de la Romaine-2, les tributaires de la Romaine drainent un bassin versant de 15 km² en amont du PK 82,5, un bassin de 565 km² au PK 82,5, un bassin de 770 km² au PK 52,5 et un bassin de 2 160 km² en aval du PK 13. Le tableau 16-4 présente les débits prévus au PK 52 selon différentes conditions d'hydraulité ; ce sont ces débits qui passeront sur les frayères à saumon. Le tableau 16-5 indique le débit à l'embouchure de la Romaine, tandis que le tableau 16-6 compare le débit minimal à différents endroits en aval du barrage de la Romaine-2. Enfin, la figure 16-25 montre les hydrogrammes au PK 52 de la Romaine selon trois scénarios d'hydraulité pendant cette période.

Tableau 16-4 : Deuxième étape de remplissage du réservoir de la Romaine 2 – Débit au PK 52 de la Romaine selon l'hydraulité

Hydraulité	Durée de l'étape (jours)	Débit minimal (m ³ /s)	Débit moyen (m ³ /s)	Débit maximal (m ³ /s)
Faible	59	16	30	52
Moyenne	24	40	70	95
Forte	17	68	105	145

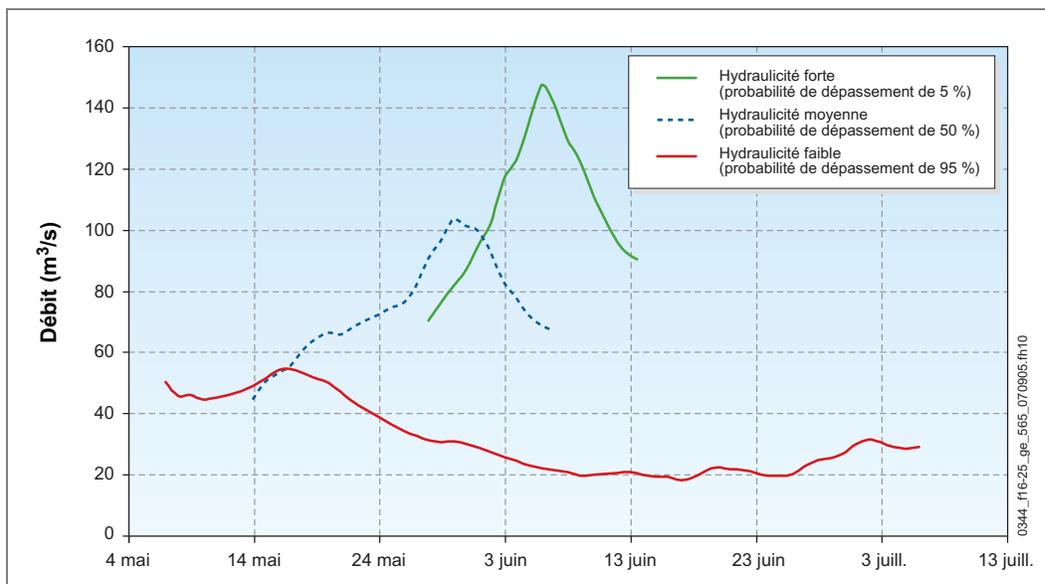
Tableau 16-5 : Deuxième étape de remplissage du réservoir de la Romaine 2 – Débit à l'embouchure de la Romaine selon l'hydraulité

Hydraulité	Durée de l'étape (jours)	Débit minimal (m ³ /s)	Débit moyen (m ³ /s)	Débit maximal (m ³ /s)
Faible	59	47	88	153
Moyenne	24	118	206	280
Forte	17	200	310	427

Tableau 16-6 : Deuxième étape de remplissage du réservoir de la Romaine 2 – Débit minimal en aval du barrage de la Romaine-2 selon l'hydraulité

Hydraulité	Débit minimal (m ³ /s)			
	PK 85	PK 82	PK 52	Embouchure
Faible	0,3	11	16	47
Moyenne	0,8	29	40	118
Forte	1,3	49	68	200

Figure 16-25 : Deuxième étape de remplissage du réservoir de la Romaine 2 – Hydrogrammes au PK 52 de la Romaine selon l'hydraulicité



La baisse du débit provoquera une baisse du niveau dans l'ensemble du tronçon compris entre le barrage de la Romaine-2 (PK 90,3) et l'embouchure de la Romaine ainsi qu'une perte temporaire de la superficie en eau. La réduction de débit sera particulièrement forte entre le barrage de la Romaine-2 et l'extrémité amont du bassin des Murailles (PK 83,7). Dans la plupart des conditions d'hydraulicité, le débit minimal serait inférieur à 1 m³/s. On considère donc que la superficie en eau de ce tronçon de rivière sera entièrement perdue, en l'absence de débit réservé.

Le bassin des Murailles recevra les apports de la rivière Romaine Sud-Est. Les travaux d'excavation de son exutoire seront effectués à la fin de la deuxième étape de remplissage pour limiter l'abaissement du niveau d'eau et la superficie exondée. En raison de la réduction du débit et de l'absence du réservoir de la Romaine 1, le niveau du bassin sera abaissé en dessous du niveau prévu durant l'exploitation des quatre centrales. Ainsi, lorsque le débit minimal surviendra, la perte de largeur dans le bassin variera de 6 m à 350 m, les pertes les plus importantes survenant dans sa portion aval.

Plus en aval sur la Romaine, l'abaissement du niveau d'eau sera moindre, grâce à l'augmentation progressive du débit vers l'aval et à la présence de seuils rocheux. Une largeur moyenne de 27 m sera exondée sur chaque rive entre les PK 52,5 et 81,8 et une largeur de 38 m le sera entre les PK 51,5 et 0,7.

Les tableaux 16-7 et 16-8 présentent les baisses de niveau et les pertes de superficie en eau par rapport au niveau moyen d'été qui surviendront à différents endroits de la rivière durant la deuxième étape de remplissage du réservoir de la Romaine 2.

Tableau 16-7 : Deuxième étape de remplissage du réservoir de la Romaine 2 – Abaissement du niveau d'eau en aval du barrage de la Romaine-2 selon l'hydraulicité

Tronçon	Niveau d'eau actuel (m)	Abaissement moyen du niveau (m)		
		Faible hydraulicité	Moyenne hydraulicité	Forte hydraulicité
Tronçon court-circuité de la Romaine-2 (PK 90,3-83,7)	De 143,3 à 84,0	3,0	3,0	3,0
Bassin des Murailles (PK 83,7-81,8)	84,0	2,5	2,0	1,7
Partie fluviale du réservoir de la Romaine 1 (PK 81,8-69,0)	De 80,0 à 83,2	2,8	2,1	1,7
Partie lacustre du réservoir de la Romaine 1 (PK 69,0-52,5)	De 54,2 à 80,0	2,0	1,6	1,4
Tronçon court-circuité de la Romaine-1 (PK 52,5-51,5)	De 19,4 à 23,6	2,0	1,6	1,4
Cours inférieur de la Romaine : PK 51,5-16,0	De 9,4 à 19,4	2,4	1,9	1,6
Cours inférieur de la Romaine : PK 16,0-0,7	De 4,0 à 5,2	2,0	1,1	0,6

Tableau 16-8 : Deuxième étape de remplissage du réservoir de la Romaine 2 – Perte de superficie aquatique en aval du barrage de la Romaine-2 selon l'hydraulicité

Tronçon	Superficie actuelle (ha)	Perte de superficie aquatique (ha)		
		Faible hydraulicité	Moyenne hydraulicité	Forte hydraulicité
Tronçon court-circuité de la Romaine-2 (PK 90,3-83,7)	89,2	Perte totale	Perte totale	Perte totale
Bassin des Murailles (PK 83,7-81,8)	94,8	39	32	27
Partie fluviale du réservoir de la Romaine 1 (PK 81,8-69,0)	194,8	102	78	61
Partie lacustre du réservoir de la Romaine 1 (PK 69,0-52,5)	348,0	112	87	60
Tronçon court-circuité de la Romaine-1 (PK 52,5-51,5)	8,0	3,5	3,5	3,5
Cours inférieur de la Romaine :	1 424,8	–	–	–
• PK 51,5-16,0	–	541	419	354
• PK 16,0-0,7	–	254	123	64

La baisse du niveau d'eau se répercutera également à l'embouchure des tributaires. Cette baisse se manifesterait jusqu'au premier seuil ou jusqu'à une rupture de pente marquée. Le tableau 16-9 compare le niveau moyen d'été au niveau minimal atteint à la confluence des tributaires et de la Romaine pendant la deuxième étape de remplissage du réservoir de la Romaine 2.

Tableau 16-9 : Deuxième étape de remplissage du réservoir de la Romaine 2 – Niveau moyen d'été et niveau minimal à l'embouchure des tributaires de la Romaine en aval du barrage de la Romaine-2

Embouchure du tributaire	Niveau moyen d'été actuel (m)	Niveau minimal durant le remplissage (m)
PK 82,5 (rivière Romaine Sud-Est)	84,0	82,0
PK 81,4	82,3	80,2
PK 78,0	81,2	79,0
PK 75,8	80,8	78,6
PK 73,5	80,6	78,5
PK 66,7	78,4	76,5
PK 63,1	77,9	76,3
PK 62,1	68,1	66,3
PK 59,0	64,6	63,3
PK 57,9	54,3	53,1
PK 53,2	54,1	53,0
PK 51,2	19,2	17,4
PK 46,2	18,6	16,8
PK 44,4	18,3	16,3
PK 19,0	9,5	7,3
PK 17,0	9,4	7,2
PK 15,4	5,2	4,0
PK 12,8 (rivière Puyjalon)	5,1	4,0

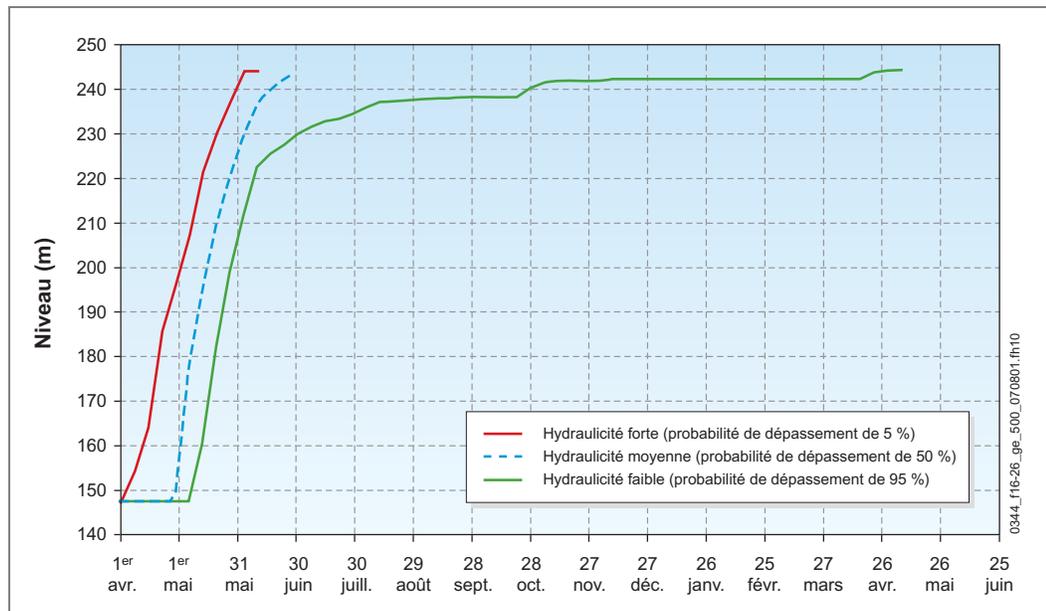
La troisième étape de remplissage du réservoir de la Romaine 2 commencera au moment où l'eau atteindra le coursier de l'évacuateur de crues et elle se terminera lorsque le réservoir aura atteint son niveau d'exploitation maximal de 243,8 m. Durant cette période, la gestion du débit réservé se fera au moyen de l'évacuateur de crues. Selon les simulations, cette étape devrait durer environ 30 jours.

On exploitera l'évacuateur de crue de façon à assurer les débits minimaux suivants :

- 70 m³/s entre le 1^{er} avril et le 31 mai ;
- 140 m³/s entre le 1^{er} juin et le 30 juin ;
- 170 m³/s entre le 1^{er} juillet et le 30 septembre ;
- 200 m³/s entre le 1^{er} octobre et le 31 octobre ;
- la plus faible des valeurs suivantes entre le 1^{er} novembre et la fin du remplissage : 140 m³/s ou les apports naturels à l'emplacement de la centrale de la Romaine-1.

À partir du 1^{er} avril, la durée totale de remplissage du réservoir de la Romaine 2, qui serait d'environ 98 jours, sera prolongée de 308 jours en situation de faible hydraulité (probabilité de dépassement de 95 %) ou raccourcie de 21 jours en situation de forte hydraulité (probabilité de dépassement de 5 %). La figure 16-26 montre la courbe de remplissage du réservoir de la Romaine 2 selon l'hydraulité.

Figure 16-26 : Courbe de remplissage du réservoir de la Romaine 2 selon l'hydraulité



16.4.4 Construction de l'aménagement de la Romaine-1

Deux types de modifications des régimes hydrologique, hydraulique et hydrodynamique se produiront pendant la construction de l'aménagement de la Romaine-1 :

- une modification locale de l'écoulement liée au passage de l'eau dans la galerie de dérivation ;
- une modification du régime hydrologique de la rivière pendant le remplissage du réservoir.

Avant le remplissage du réservoir, la construction de l'aménagement de la Romaine-1 ne modifiera pas le régime hydrologique ou hydrodynamique en aval du barrage de la Romaine-1 (PK 52,5). Durant les travaux, la Romaine sera dérivée par une galerie provisoire. Le lit de la rivière sera donc asséché entre le batardeau amont et la Grande Chute. De plus, le passage de l'eau dans la galerie de dérivation provoquera un rehaussement du niveau amont. La valeur de ce rehaussement augmentera avec les apports. Puisque le réservoir de la Romaine 2 sera présent au moment où la rivière sera dérivée, les crues printanières seront amorties. S'il survient une crue d'une récurrence de 40 ans, le passage de l'eau dans la galerie provoquera un rehaussement de 8 m à l'amont immédiat de la galerie. Le tronçon

touché par le rehaussement s'étendra jusqu'au PK 58. Entre cet endroit et la limite aval du bassin des Murailles, il n'y aura pas de modification du régime hydraulique attribuable à la construction de l'aménagement de la Romaine-1.

Le remplissage du réservoir de la Romaine 1 commencera à la mi-juillet 2016. Durant cette période, le débit réservé écologique de 170 m³/s sera assuré en tout temps soit par la galerie de dérivation provisoire, soit par l'évacuateur de crues. Selon les simulations, le remplissage devrait durer environ 17 jours. Cette durée sera prolongée de 27 jours en situation de faible hydraulité (probabilité de dépassement de 95 %) ou raccourcie de 10 jours en situation de forte hydraulité (probabilité de dépassement de 5 %).

17 Régime thermique

17.1 Conditions actuelles

17.1.1 Démarche méthodologique

Pour caractériser le régime thermique de la rivière Romaine en conditions actuelles, on a reconstitué les températures de l'eau pour la période 1984-2003 à partir des températures de l'eau et de l'air mesurées à différents endroits de la Romaine et de ses tributaires de 1999 à 2006 ainsi qu'à partir des séries météorologiques des stations d'Environnement Canada de la région.

On s'est servi des mêmes données pour effectuer les calculs des températures de l'eau et caractériser le régime thermique des réservoirs et des tronçons fluviaux de la Romaine en conditions futures, en tenant compte des caractéristiques des réservoirs projetés.

Pour plus de détails sur les modalités de l'étude du régime thermique, voir la méthode 5 dans le volume 9.

Les résultats présentés dans ce chapitre proviennent de l'étude suivante :

- Hydro-Québec Équipement. 2007c. *Complexe Romaine, avant-projet phase 2. Régime thermique de l'eau. Rapport sectoriel*. Montréal, Hydro-Québec Équipement.

17.1.2 Régime thermique

17.1.2.1 Tronçon en aval de la centrale de la Romaine-1

Dans le tronçon de la rivière en aval de la centrale de la Romaine-1 (PK 0-51,5), la température de l'eau est voisine de zéro en hiver. Le réchauffement printanier commence à une date qui varie d'une année à l'autre, à l'intérieur d'une période de trois semaines centrée sur la mi-mai, durant la fonte de la couverture de glace. La température de l'eau augmente alors rapidement et atteint environ 7 °C (entre 3 et 12 °C) à la fin de mai, puis environ 14 °C (entre 10 et 18 °C) à la fin de juin. L'eau de la Romaine atteint habituellement sa température maximale entre la mi-juillet et la mi-août. La température de l'eau varie généralement entre 21 et 23 °C durant cette période, mais peut baisser jusqu'à 13 °C sous l'influence des conditions météorologiques. La valeur instantanée de la température de l'eau oscille d'environ 1 °C entre le jour et la nuit. De juin à septembre, la température moyenne de l'eau est de 14,5 °C. À partir de la mi-août, le refroidissement automnal commence à se manifester. Le 1^{er} septembre, la température moyenne de l'eau est de 15 °C (entre

12 et 18 °C) ; elle baisse à 10 °C (entre 7 et 12 °C) le 1^{er} octobre et à environ 2,5 °C (entre 0 et 5 °C) le 1^{er} novembre. L'eau atteint le point de congélation vers le 10 novembre (entre le 1^{er} et le 20 novembre) et se maintient près de zéro durant l'hiver.

La plupart du temps, la température de l'eau est uniforme sur l'ensemble du tronçon. Au printemps et à l'automne, la rivière Puyjalon modifie légèrement le régime thermique de la Romaine à partir de leur point de confluence, au PK 13. Comme l'eau de la Puyjalon amorce son réchauffement printanier avec une ou deux semaines d'avance sur la Romaine, elle accélère la fonte de la couverture de glace de la Romaine à partir du PK 13. Par conséquent, l'eau de la Romaine se réchauffe souvent beaucoup plus tôt à l'aval qu'en amont du PK 13, bien que la différence d'altitude soit négligeable. À l'automne, la Puyjalon refroidit plus tard que la Romaine, ce qui a pour effet de retarder l'atteinte du point de congélation de l'eau de la Romaine en aval du PK 13.

La figure 17-1 présente les températures journalières moyennes mesurées à différents endroits de la rivière Romaine et sur trois de ses tributaires, soit la rivière Puyjalon (PK 13), la rivière Romaine Sud-Est (PK 82,5) et la rivière de l'Abbé-Huard (PK 131,5).

17.1.2.2 Tronçon en amont de la centrale de la Romaine-1

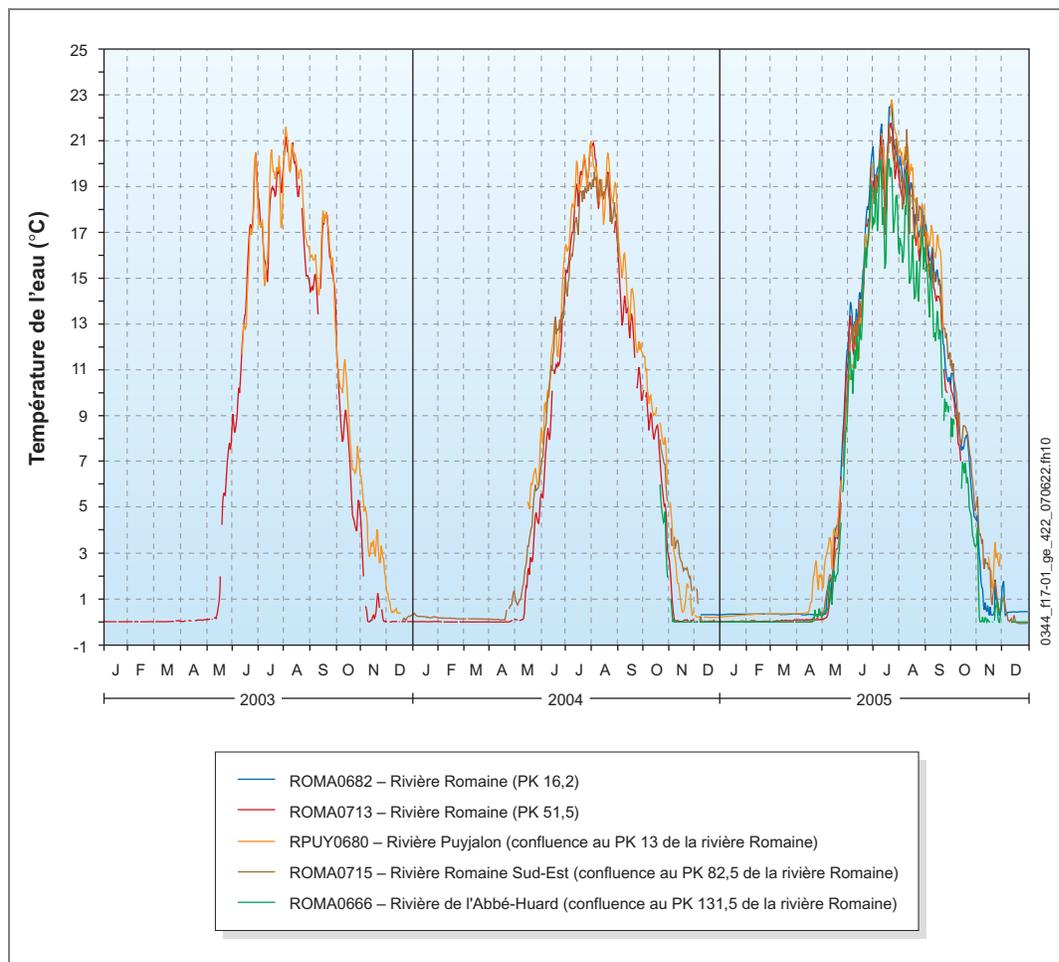
Dans le tronçon en amont de la centrale de la Romaine-1 (PK 51,5-290), le cycle annuel du régime thermique de l'eau ressemble à celui du tronçon aval. Les différences sont attribuables aux effets de l'altitude plus élevée sur les températures de l'air.

Le réchauffement printanier de l'eau s'amorce à peu près à la même date sur tout le parcours de la Romaine (PK 0-290), mais peut occasionnellement commencer quelques jours plus tard dans sa partie amont. Cependant, au-delà du PK 290, on recense plusieurs lacs profonds à la sortie desquels la fonte de la couverture de glace et le réchauffement de l'eau sont plus rapides qu'entre les PK 50 et 290.

La température moyenne de l'eau de juin à septembre passe d'environ 14,5 °C en aval de la centrale de la Romaine-1 à environ 13 °C au site de la centrale de la Romaine-4 et à environ 12 °C au PK 290, près de la limite amont du réservoir de la Romaine 4.

À l'automne, l'eau atteint le point de congélation un peu plus tôt en amont ; le décalage par rapport au site de la centrale de la Romaine-1 varie de quelques jours à une dizaine de jours selon les années.

Figure 17-1 : Température journalière moyenne de l'eau de la rivière Romaine et de trois de ses affluents – Conditions actuelles



17.1.2.3 Principaux tributaires

Les principaux tributaires de la Romaine ont un régime thermique très semblable à celui de la rivière. Toutefois, l'eau de la rivière Puyjalon se réchauffe une ou deux semaines plus tôt au printemps et atteint le point de congélation plus tard en hiver. Le reste de l'année, les tributaires et la Romaine affichent des températures semblables à leur point de confluence.

17.2 Modifications liées à la présence et à l'exploitation des aménagements

17.2.1 Secteur de la Romaine-4

17.2.1.1 Réservoir (PK 289,2-191,9)

La création du réservoir de la Romaine 4 provoquera un rehaussement d'environ 80 m du niveau actuel de la rivière Romaine, à l'emplacement du barrage. La prise d'eau soutirera l'eau du réservoir par un canal à surface libre dont la profondeur variera entre 10 et 25 m. Globalement, le temps de renouvellement de l'eau du réservoir sera d'environ six mois. La vitesse d'écoulement moyenne sera lente.

La température de l'eau du réservoir de la Romaine 4 présentera une stratification verticale de type dimictique, c'est-à-dire une stratification thermique en hiver, une isothermie printanière à 4 °C, une stratification thermique en été et une seconde isothermie à 4 °C à l'automne.

Durant l'hiver, la température de l'eau sera de 0 °C au point de contact entre l'eau et la glace. Elle augmentera avec la profondeur pour atteindre 3 °C entre 20 et 50 m de profondeur selon l'hiver et variera de 3,3 à 3,8 °C dans la partie la plus profonde. En mai, l'eau se réchauffera rapidement, et une température de 4 °C, uniforme sur la verticale, sera de nouveau atteinte avant la fin de mai.

Après cette isothermie, le réchauffement se poursuivra et s'accompagnera de l'apparition de la stratification thermique estivale. Durant la période la plus chaude, la température de l'eau sera relativement homogène dans la tranche supérieure de 10 m et culminera à la fin de juillet ou au début d'août à une valeur de 16 à 20 °C selon l'année. La moyenne de cette valeur de juin à septembre sera d'environ 15 °C. Sous la couche superficielle relativement uniforme, la température de l'eau ira en diminuant avec la profondeur et se maintiendra entre 4 et 5 °C aux profondeurs de 40 m et plus.

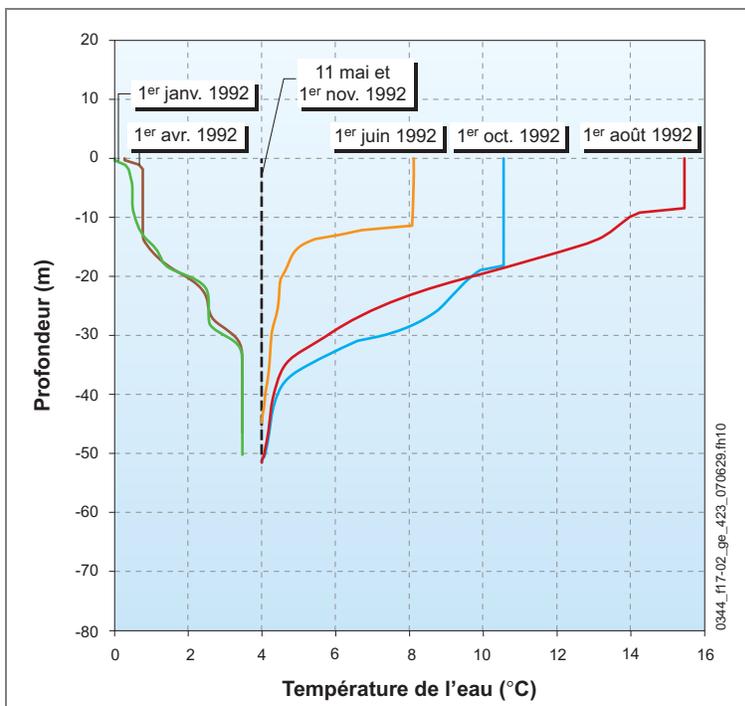
De juin à septembre, les variations d'intensité et de direction du vent auront pour effet de déplacer horizontalement la couche superficielle d'eau du réservoir, ce qui provoquera des fluctuations de son épaisseur. Ces fluctuations se propageront sous forme d'ondes internes et ramèneront près de la surface des couches d'eau plus froides venues de profondeurs dépassant 25 m, ce qui entraînera des refroidissements ponctuels de la couche superficielle.

Le refroidissement de l'eau s'amorcera en septembre et s'accompagnera d'un approfondissement progressif de la couche superficielle du réservoir. L'eau atteindra une température de 4 °C, uniforme sur toute la profondeur, vers le 1^{er} novembre en moyenne. Après cette isothermie d'automne, le refroidissement de l'eau se limitera progressivement à une couche de plus en plus superficielle et ira en

s'accroissant avec la formation de la couverture de glace. Lorsque la couverture de glace sera complète, à la fin de novembre ou au début de décembre, les conditions hivernales décrites plus haut prévaleront.

La figure 17-2 montre les profils verticaux de température dans le réservoir projeté, pour quelques dates d'une année type.

Figure 17-2 : Profils verticaux de température de l'eau du réservoir de la Romaine 4



17.2.1.2 Tronçon court-circuité (PK 191,9-190,3)

L'eau du tronçon court-circuité de la Romaine 4 proviendra des conduites intégrées aux piliers de l'évacuateur de crues, ou de l'évacuateur lui-même s'il y a déversement.

Au pied de l'évacuateur, l'eau se maintiendra légèrement au-dessus du point de congélation, entre 0,5 et 1 °C, de la mi-novembre à la mi-avril. Elle présentera des fluctuations occasionnelles qui la feront varier de la moitié au double de sa valeur habituelle pour un hiver donné. En parcourant le tronçon court-circuité, l'eau refroidira quelque peu au contact de l'air ; en décembre, en janvier et en février, elle refroidira suffisamment pour s'établir près du point de congélation avant de quitter le tronçon.

Au printemps, le réchauffement de l'eau commencera un peu plus tôt, mais progressera plus lentement, de sorte qu'au début de juin l'eau affichera à peu près la même température qu'en conditions actuelles. À partir de juin, l'eau présentera des fluctuations de température associées aux ondes internes du réservoir. On observera des valeurs transitoires de 5 à 15 °C à partir de la mi-juin.

En été, la température de l'eau dans le tronçon court-circuité sera proche des conditions actuelles pour ce qui est des moyennes, mais présentera une plage de variabilité plus grande. La température moyenne de l'eau culminera à 17 °C à la fin de juillet et au début d'août, comme dans les conditions actuelles. Des valeurs transitoires de 7 à 20 °C pourront également se présenter à l'occasion. De juin à septembre, la température moyenne de l'eau sera d'environ 13 °C, soit pratiquement la même valeur qu'en conditions actuelles.

À partir de septembre, l'eau du tronçon court-circuité refroidira un peu plus lentement qu'en conditions actuelles. Au pied de l'évacuateur, elle sera plus chaude de 1 à 2 °C en septembre et en octobre. La température d'hiver sera atteinte avec la formation de la couverture de glace sur le réservoir, en moyenne à la mi-novembre, à une date qui variera selon les années.

17.2.1.3 Canal de fuite (PK 190,3)

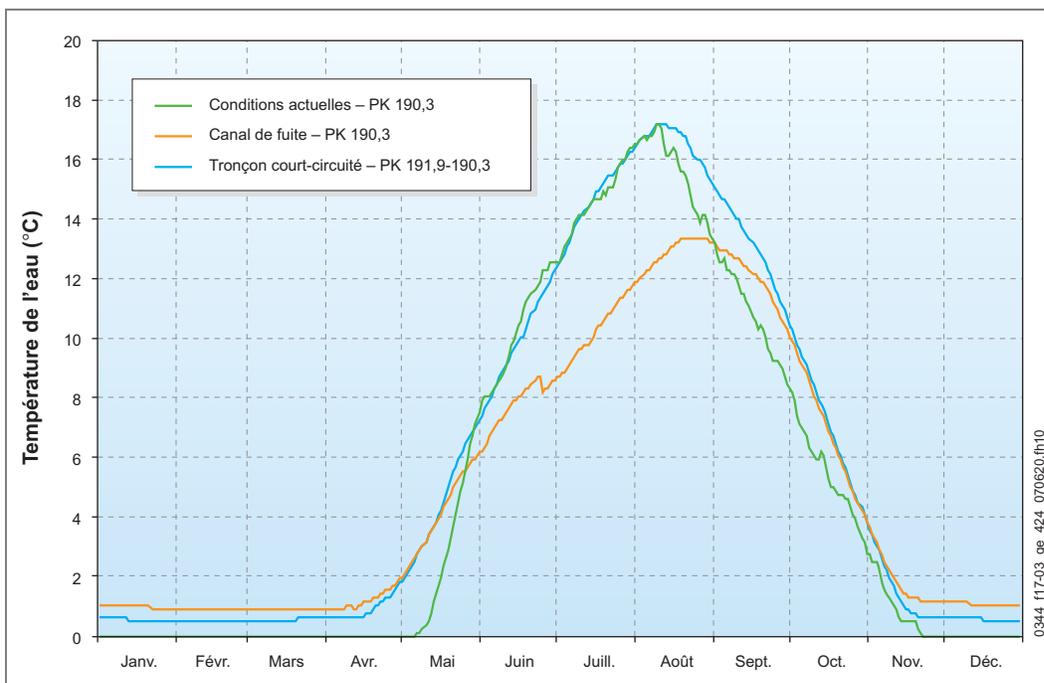
L'eau turbinée par la centrale proviendra de la couche superficielle et de la couche mi-profonde du réservoir. La température de l'eau restituée par le canal de fuite présentera une valeur supérieure au point de congélation en hiver et inférieure à celle de l'eau superficielle du réservoir en été.

En hiver, l'eau tirée du réservoir présentera une température de 1 à 1,5 °C avec des fluctuations d'environ 0,5 °C par rapport à la valeur habituelle d'un hiver donné. Il est possible que la température de l'eau atteigne 2 °C certains hivers.

Au printemps, le réchauffement de l'eau débutera à la fin d'avril ou au début de mai. À la fin de mai, la température moyenne sera de 5 à 7 °C mais pourra occasionnellement varier entre 4,5 et 10 °C. La température de l'eau restituée augmentera progressivement jusqu'à la mi-août. Elle atteindra alors 12 à 15 °C en moyenne et pourra fluctuer entre 6 et 18 °C pendant quelques heures à plusieurs jours. De juin à septembre, la moyenne sera voisine de 11 °C. Le refroidissement automnal se fera principalement sentir à partir de la mi-septembre, avec des températures moyennes entre 11 et 14 °C et une plage de variation comprise entre 8 et 16 °C. Les fluctuations deviendront rares à la fin de septembre, puis disparaîtront en octobre. Au cours du refroidissement automnal, l'eau sera en moyenne un peu plus chaude que l'eau de la rivière en conditions actuelles ; la valeur d'hiver sera atteinte en moyenne à la mi-novembre, à une date qui variera selon les années.

La figure 17-3 compare les températures de l'eau actuelle et future au PK 190,3 de la Romaine, à la sortie du canal de fuite de la Romaine-4.

Figure 17-3 : Température de l'eau au PK 190,3 de la Romaine (canal de fuite de la Romaine-4) – Conditions actuelles et futures



17.2.2 Secteur de la Romaine-3

17.2.2.1 Réservoir (PK 190,7-158,4)

Comme dans le cas du réservoir de la Romaine 4, la température de l'eau du réservoir de la Romaine 3 présentera une stratification verticale de type dimyctique, c'est-à-dire une stratification thermique en hiver, une isothermie à 4 °C au printemps, une stratification thermique en été et une seconde isothermie à 4 °C à l'automne.

En hiver, la température de l'eau sera de 0 °C au point de contact entre l'eau et la glace. Au-dessous, la température augmentera avec la profondeur : 1 °C entre 0,5 et 3 m, 3 °C entre 15 et 50 m, selon l'hiver, et de 3,5 à 3,9 °C dans la partie la plus profonde. En mai, la couverture de glace disparaîtra, et l'eau se réchauffera pour atteindre une température de 4 °C, uniforme sur la verticale.

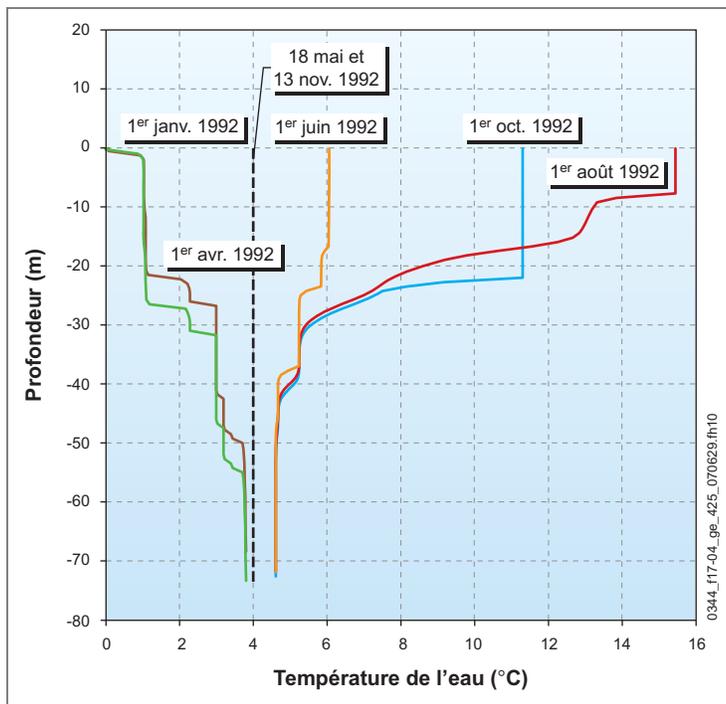
Après cette isothermie, le réchauffement se poursuivra et la stratification thermique estivale apparaîtra dès le début de juin. Durant la période la plus chaude, la température de l'eau sera relativement homogène dans la couche supérieure de 10 m et elle culminera à la fin de juillet ou au début d'août à une valeur de 15 à 19 °C selon

l'année. La moyenne de cette valeur de juin à septembre sera d'environ 14 à 15 °C. Sous la couche superficielle relativement uniforme, la température de l'eau ira en diminuant et se maintiendra entre 4 et 5 °C aux profondeurs de 40 m et plus.

Comme dans le cas du réservoir de la Romaine 4, des oscillations de masses d'eau pourront ramener la couche d'eau plus froide près de la surface et faire varier la température de l'eau.

La figure 17-4 montre les profils verticaux de température dans le réservoir projeté, pour quelques dates d'une année type.

Figure 17-4 : Profils verticaux de température de l'eau du réservoir de la Romaine 3



17.2.2.2 Tronçon court-circuité (PK 158,4-155,0)

L'eau du tronçon court-circuité de la Romaine-3 proviendra des conduites intégrées à la base des murs bajoyers de l'évacuateur de crues, ou de l'évacuateur lui-même s'il y a déversement.

Au pied de l'évacuateur, l'eau se maintiendra au-dessus du point de congélation, entre 0,5 et 1,5 °C, de la mi-décembre à la mi-avril, avec des fluctuations occasionnelles d'environ 0,5 °C. En parcourant le tronçon court-circuité, l'eau refroidira quelque peu ; en décembre, en janvier et en février, elle atteindra le point de congélation à la limite aval de ce tronçon.

Au printemps, le réchauffement de l'eau commencera un peu plus tôt, mais progressera plus lentement, de sorte qu'à la fin de mai l'eau atteindra à peu près la même température qu'en conditions actuelles. Par la suite, l'eau présentera des fluctuations de température associées aux ondes internes du réservoir. Des valeurs transitoires de 6 à 14 °C pourront être atteintes à partir de la mi-juin. En été, la température de l'eau dans le tronçon court-circuité sera plus basse d'environ 2 °C en moyenne par rapport aux conditions actuelles et présentera une plage de variabilité plus grande. La température moyenne de l'eau culminera à 15 °C à la mi-août, soit environ 2 °C de moins et deux semaines plus tard que dans les conditions actuelles. Des valeurs transitoires de 8 à 18 °C pourront également se présenter à l'occasion en août. De juin à septembre, la température moyenne de l'eau sera d'environ 12 °C, soit environ 1 °C de moins qu'en conditions actuelles.

À partir de septembre, l'eau du tronçon court-circuité refroidira un peu plus lentement qu'en conditions actuelles. Au pied de l'évacuateur, elle sera plus chaude d'environ 2 °C de septembre à novembre. La température d'hiver sera atteinte avec la formation de la couverture de glace sur le réservoir, en moyenne à la fin de novembre ou au début de décembre, à une date qui variera selon les années.

17.2.2.3 Canal de fuite (PK 155,0)

L'eau restituée par le canal de fuite de la centrale, au PK 155,0 de la Romaine, proviendra de la couche superficielle et de la couche mi-profonde du réservoir.

L'eau tirée du réservoir se maintiendra au-dessus du point de congélation, entre 0,7 et 1,7 °C, de la mi-décembre à la mi-avril ; elle présentera des fluctuations occasionnelles d'environ 0,7 °C. Il est possible que la température de l'eau se maintienne autour de 2 °C au cours de certains hivers.

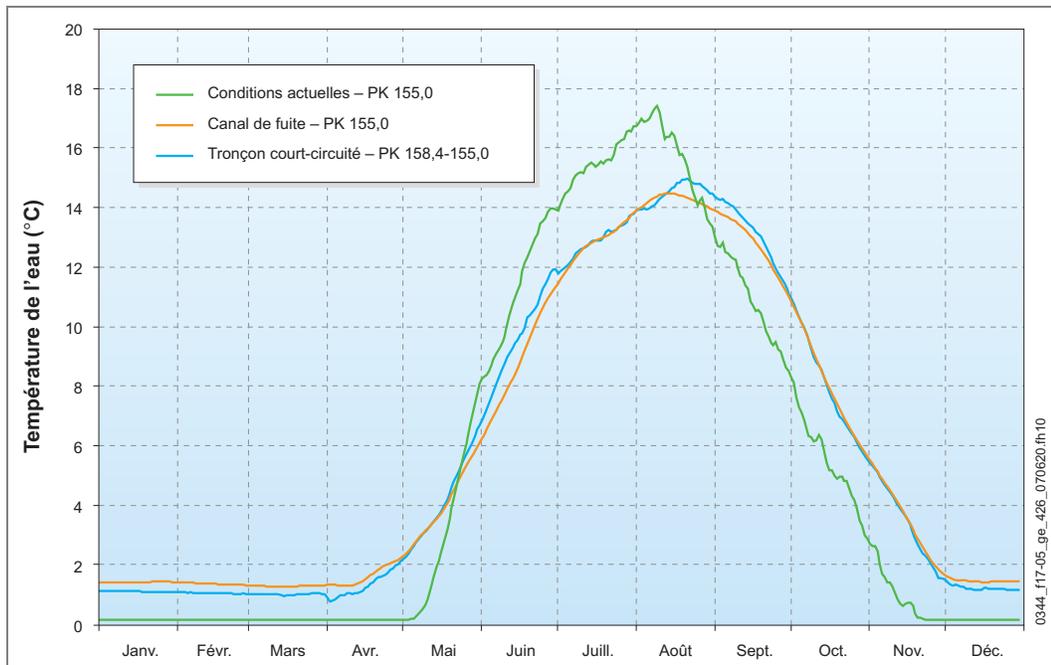
Au printemps, le réchauffement de l'eau commencera un peu plus tôt, mais progressera plus lentement, de sorte qu'à la fin de mai l'eau atteindra à peu près la même température qu'en conditions actuelles. À partir de la fin de mai, l'eau présentera des fluctuations de température associées aux ondes internes du réservoir et pourrait atteindre des valeurs comprises entre 6 et 14 °C à partir de la mi-juin.

En été, la température de l'eau restituée à la tête du réservoir de la Romaine 2 sera plus basse d'environ 2 °C en moyenne par rapport aux conditions actuelles et elle présentera une plage de variabilité plus grande. La température moyenne de l'eau culminera à 15 °C à la mi-août, soit environ 2 °C de moins et deux semaines plus tard qu'en conditions actuelles. Des valeurs transitoires de 8 à 18 °C pourront également se présenter à l'occasion en août. De juin à septembre, la température moyenne de l'eau sera d'environ 12 °C, soit 1 °C de moins qu'en conditions actuelles à cet endroit de la rivière.

À partir de septembre, l'eau du canal de fuite refroidira un peu plus lentement qu'en conditions actuelles. Elle sera plus chaude d'environ 2 °C de septembre à novembre.

La figure 17-5 compare les températures de l'eau actuelle et future au PK 155,0 de la Romaine, à la sortie du canal de fuite de la Romaine-3.

Figure 17-5 : Température de l'eau au PK 155,0 de la Romaine (canal de fuite de la Romaine-3) – Conditions actuelles et futures



17.2.3 Secteur de la Romaine-2

17.2.3.1 Réservoir (PK 155,0-90,3)

Comme dans le cas des réservoirs de la Romaine 4 et de la Romaine 3, la température de l'eau du réservoir de la Romaine 2 présentera une stratification verticale en hiver et en été, avec une isothermie à 4 °C au printemps et à l'automne.

En hiver, la température de l'eau sera de 0 °C au point de contact entre l'eau et la glace. Au-dessous, il y aura une première couche de 10 à 15 m d'épaisseur, alimentée principalement par l'eau du réservoir de la Romaine 3, dont la température variera de 0,7 à 1,7 °C environ. Sous cette couche, la température de l'eau augmentera avec la profondeur : 1 °C entre 0,5 et 3 m, 3 °C entre 15 et 50 m, selon l'hiver, et de 3,5 à 3,9 °C dans la partie la plus profonde. À la fin d'avril ou au début de mai, la couverture de glace disparaîtra, et l'eau se réchauffera pour atteindre une température de 4 °C, uniforme sur la verticale. Après cette isothermie, le réchauffement se poursuivra et la stratification thermique estivale apparaîtra dès le

début de juin. Durant la période la plus chaude, la température de l'eau sera relativement homogène dans la tranche supérieure de 6 à 10 m et culminera à la fin de juillet ou au début d'août à une valeur de 17 à 21 °C selon l'année. La moyenne de cette valeur de juin à septembre sera d'environ 16 °C. Sous la couche superficielle relativement uniforme, la température de l'eau ira en diminuant et se maintiendra entre 4 et 5 °C aux profondeurs de 30 m et plus.

Comme dans les réservoirs de la Romaine 4 et de la Romaine 3, de juin à septembre, des oscillations de masses d'eau causées par le vent pourront ramener la couche d'eau plus froide près de la surface et faire varier la température de l'eau du réservoir de la Romaine 2.

En septembre, le refroidissement de l'eau s'amorcera et s'accompagnera d'un approfondissement progressif de la couche superficielle du réservoir. L'eau atteindra une température de 4 °C, uniforme sur toute la profondeur, vers le 20 novembre. Après cette isothermie d'automne, le refroidissement de l'eau se limitera progressivement à une couche de plus en plus superficielle et ira en s'accéléralant avec la formation de la couverture de glace.

La figure 17-6 montre les profils verticaux de température dans le réservoir projeté, à différentes périodes de l'année.

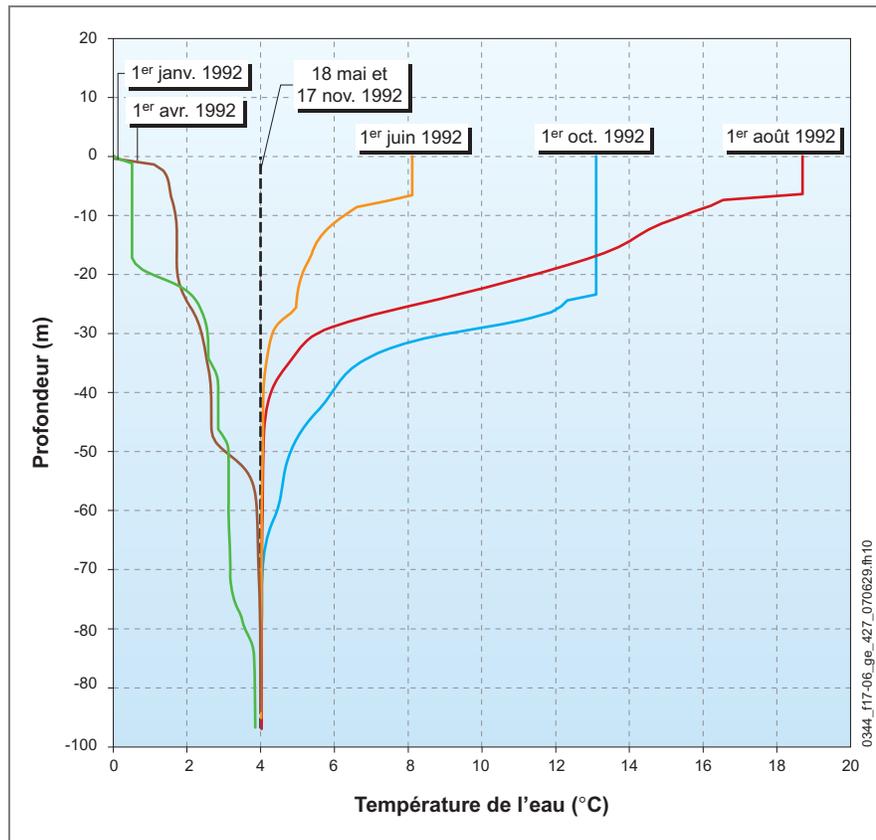
17.2.3.2 Tronçon court-circuité (PK 90,3-83,7)

L'eau du tronçon court-circuité de la Romaine-2 proviendra des conduites intégrées à la base du coursier de l'évacuateur de crues, ou de l'évacuateur lui-même s'il y a déversement.

Au pied de l'évacuateur, l'eau se maintiendra au-dessus du point de congélation, entre 0,6 et 3 °C, de la mi-décembre à la mi-avril, avec une moyenne interannuelle de 1,4 à 1,7 °C et des fluctuations occasionnelles d'environ 0,5 °C. En parcourant le tronçon court-circuité, l'eau refroidira quelque peu et, de décembre à février, sa température s'établira près du point de congélation à la limite aval du tronçon.

Au printemps, le réchauffement de l'eau commencera un peu plus tôt, mais progressera plus lentement qu'en conditions actuelles. À partir de la fin de mai, l'eau restituée par l'évacuateur sera plus froide que celle de la rivière dans les conditions actuelles. À partir de la fin de mai également, l'eau présentera des fluctuations de température associées aux ondes internes du réservoir. Au pied de l'évacuateur, on pourra observer des valeurs transitoires de 4,5 à 10 °C au début de juin et de 5 à 15 °C à la fin de juin. En parcourant le tronçon court-circuité, l'eau ira en se réchauffant et présentera de moins grandes fluctuations de température.

Figure 17-6 : Profils verticaux de température de l'eau du réservoir de la Romaine 2



En été, la température de l'eau dans le tronçon court-circuité sera plus basse qu'en conditions actuelles et présentera une plage de variabilité plus grande. En général, au pied de l'évacuateur, l'écart par rapport aux conditions actuelles sera de 5 °C en juin, de 6 °C en juillet et de 4 °C en août ; cet écart variera d'année en année. À la fin d'août, la température de l'eau au pied de l'évacuateur culminera à 15 °C, soit environ 3 ou 4 °C de moins et un mois plus tard que dans les conditions actuelles. Des valeurs transitoires de 5 à 18 °C pourront également être atteintes à l'occasion en août. De juin à septembre, la température moyenne de l'eau sera d'environ 12 °C, soit 2,5 °C de moins qu'en conditions actuelles à cet endroit.

À partir de septembre, l'eau du tronçon court-circuité commencera à refroidir mais restera plus chaude qu'en conditions actuelles. Au pied de l'évacuateur, l'écart sera d'environ 2 °C en septembre et de 4 °C en octobre, et il pourrait atteindre 5 °C en novembre. La température d'hiver sera atteinte au début de décembre, à une date qui variera selon les années.

17.2.3.3 Canal de fuite (PK 83,7)

En hiver, de la mi-décembre à la mi-avril, l'eau restituée par le canal de fuite de la centrale se maintiendra au-dessus du point de congélation, entre 1 et 3 °C, avec une moyenne interannuelle d'environ 1,8 à 2 °C et des fluctuations occasionnelles d'environ 0,5 °C.

Au printemps, le réchauffement commencera un peu plus tôt qu'en conditions actuelles, mais progressera plus lentement. À partir de la fin de mai, l'eau restituée sera plus froide que l'eau de la rivière en conditions actuelles. À partir de la fin de mai également, l'eau présentera des fluctuations de température associées aux ondes internes du réservoir.

En été, la température de l'eau sera plus basse qu'en conditions actuelles et présentera une plage de variabilité plus grande. Généralement, l'écart par rapport aux conditions actuelles sera de 5 °C en juin, de 7 °C en juillet et de 6 °C en août ; cet écart variera d'année en année. À la fin d'août, la température de l'eau du canal de fuite culminera autour de 12 °C, soit environ 6 °C de moins et un mois plus tard que dans les conditions actuelles. De juin à septembre, la température moyenne de l'eau sera d'environ 10,5 °C, soit 4 °C de moins qu'en conditions actuelles. À la sortie du canal de fuite, on observera des valeurs transitoires de 4,5 à 9 °C au début de juin, de 5 à 12 °C à la fin de juin et de 6 à 17 °C de juillet à septembre.

À partir du milieu de septembre, l'eau commencera à refroidir tout en restant plus chaude que dans les conditions actuelles. L'écart sera de 3,5 °C en octobre et pourrait atteindre 5 °C en novembre.

La figure 17-7 compare les températures de l'eau actuelle et future au PK 83,7 de la Romaine, à la sortie du canal de fuite de la Romaine-2.

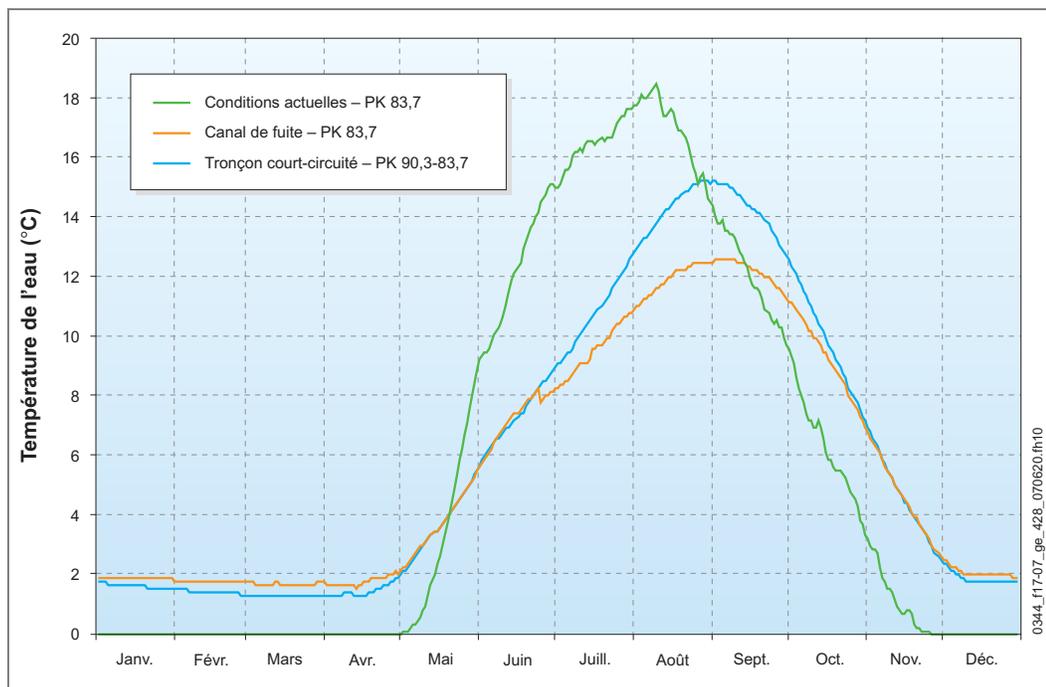
17.2.4 Secteur de la Romaine-1

17.2.4.1 Réservoir (PK 81,8-52,5)

Le réservoir de la Romaine 1 sera principalement alimenté par le réservoir de la Romaine 2, mais il bénéficiera également d'un apport important de la rivière Romaine Sud-Est lorsque celle-ci sera en crue. La moyenne mensuelle du débit de la Romaine Sud-Est pour le mois de mai est d'environ 50 m³/s.

Dans le tronçon compris entre la sortie du canal de fuite de la Romaine-2 (PK 83,7) et le PK 62, la vitesse d'écoulement de l'eau empêchera la stratification thermique, et le régime thermique sera similaire à celui du PK 83,7. En hiver, la température de l'eau baissera d'amont en aval : elle s'établira entre 1,8 et 2 °C au PK 83,7 et entre 0,5 et 2 °C au PK 62, selon le mois. À l'inverse, de mai et à septembre, l'eau se réchauffera en moyenne de 0,5 à 1 °C entre les PK 83,7 et 62.

Figure 17-7 : Température de l'eau au PK 83,7 de la Romaine (canal de fuite de la Romaine-2) – Conditions actuelles et futures



Dans la partie du réservoir de la Romaine 1 qui se trouve entre les PK 62 et 52,5, il y aura une couche superficielle de 15 à 20 m d'épaisseur, alimentée par l'eau provenant de la centrale de la Romaine-2, dont la température variera entre 0 et 1,3 °C environ en fonction des conditions météorologiques des journées et des semaines précédentes. Durant l'hiver, de l'eau restera captive dans les 10 à 15 m les plus profonds du réservoir, à une température variant entre 1,8 et 3,7 °C d'une année à l'autre.

Au printemps, le réchauffement du réservoir correspondra au réchauffement de l'eau au PK 62, décrit ci-dessus. Le réchauffement débutera en avril. En mai, le réservoir deviendra isotherme pour une période prolongée pendant laquelle la température de l'eau passera d'environ 2,5 °C à environ 6,5 °C au PK 62. Il y aura une légère stratification près du fond qui isolera l'eau la plus profonde de l'eau en transit.

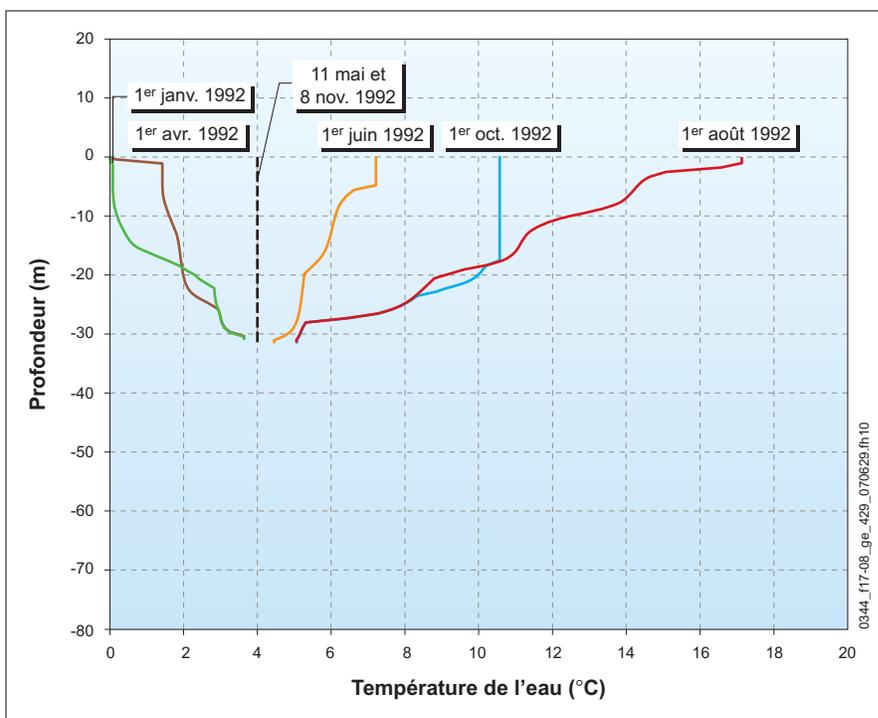
En juin, une certaine stratification thermique apparaîtra sous l'influence d'eau plus chaude en provenance de la centrale de la Romaine-2 et de la rivière Romaine Sud-Est. Durant l'été (de juin à septembre), l'eau qui traversera le réservoir occupera la couche superficielle de 15 à 20 m ; sa température passera d'environ 7 °C en moyenne au 1^{er} juin à 15 ou 16 °C au début d'août, puis baissera à environ 12 °C à la fin de septembre. L'eau sous-jacente restera captive, et sa température évoluera

peu. Le réservoir de la Romaine 1 ne présentera pas d'ondes internes importantes pour la température de l'eau, contrairement aux autres réservoirs de la Romaine. En été, l'eau très près de la surface pourrait se réchauffer davantage, à l'occasion.

L'isothermie automnale débutera lorsque la température de l'eau s'établira entre 7 et 10 °C vers la fin d'octobre et se maintiendra à une température de 2,5 à 3 °C jusqu'aux premières périodes froides de la fin de novembre. La stratification thermique hivernale apparaîtra ensuite.

La figure 17-8 montre les profils verticaux de température du réservoir projeté, à différentes périodes de l'année.

Figure 17-8 : Profils verticaux de température de l'eau du réservoir de la Romaine 1



17.2.4.2 Tronçon en aval de la centrale de la Romaine-1 (PK 51,5-0)

L'eau en aval de la centrale de la Romaine-1 proviendra du débit turbiné par la centrale et, parfois, du débit relâché par l'évacuateur de crues. La température de l'eau sera la même peu importe la provenance de l'eau.

En hiver, normalement, la température moyenne de l'eau variera entre 0,6 et 1,8 °C entre décembre et avril. Durant les hivers plus rigoureux, elle variera entre 0,1 et 1,3 °C, tandis que pendant les hivers cléments elle variera entre 1,4 et 2,8 °C.

La température de l'eau passera d'environ 3 °C au début de mai à 7 °C au début de juin, puis à 11 °C à la fin de juin. En été, la température de l'eau culminera autour de 14 °C en moyenne à la mi-août, soit environ 5 °C de moins et deux semaines plus tard que dans les conditions actuelles. La moyenne de la température de l'eau de juin à septembre sera de 12 °C, comparativement à 14,5 °C en conditions actuelles. La température de l'eau ne variera pas aussi subitement qu'en aval des autres centrales. Une partie des fluctuations prévues immédiatement en aval de la centrale de la Romaine-1 résulteront des fluctuations de la température de l'eau du réservoir de la Romaine 2, amorties par le réservoir de la Romaine 1.

En septembre, le refroidissement de l'eau s'accroîtra, mais restera plus lent qu'en conditions actuelles. À partir de la mi-septembre en moyenne, l'eau issue du réservoir sera plus chaude que celle de la rivière en conditions actuelles. La température de l'eau passera sous 11 °C au début d'octobre, puis sous 7 °C au début de novembre, pour atteindre les conditions d'hiver à la fin de novembre.

D'amont en aval, la température de l'eau se rapprochera des conditions actuelles. Les températures de l'air plus élevées et le rayonnement solaire réchaufferont l'eau en été, alors que l'eau relativement chaude issue de la centrale en hiver refroidira vers l'aval, sous l'effet de l'air froid.

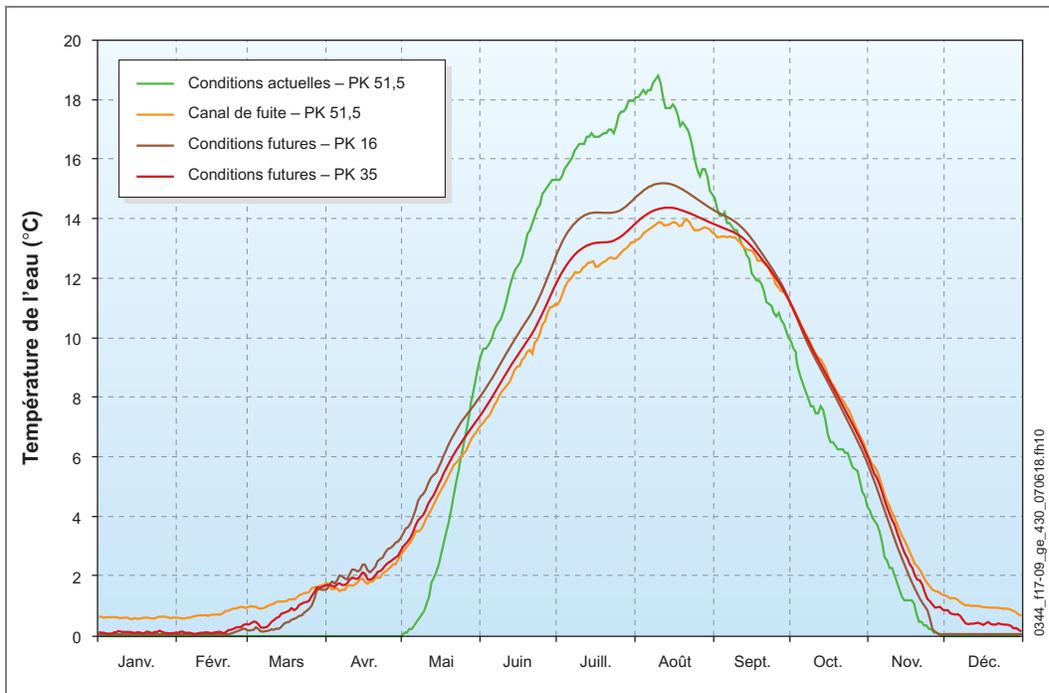
Dans les conditions futures, en janvier, le point de congélation sera habituellement atteint entre les PK 33 et 43 de la Romaine, selon la rigueur des conditions ambiantes et la température de l'eau à la sortie de la centrale de la Romaine-1. Au PK 35, la température moyenne de l'eau s'établira au point de congélation la plupart des années entre la fin de décembre et la fin de février ; au PK 16, elle restera au point de congélation la plupart des années du début de décembre à la mi-mars.

Au printemps, le réchauffement de l'eau débutera six semaines plus tôt que dans les conditions actuelles aux PK 16 et 35. Au début de mai, la température moyenne de l'eau dans ce tronçon sera supérieure d'environ 4 °C. Le réchauffement progressera cependant plus lentement, de sorte que les moyennes de température en conditions futures et actuelles se rejoindront autour de 7 °C le dernier jour de mai. Pour le reste du printemps et de l'été, l'eau sera plus froide qu'en conditions actuelles.

En été, la température de l'eau culminera en moyenne à peu près au même moment que dans les conditions actuelles, mais à une valeur inférieure de 3 ou 4 °C. La moyenne de la température de l'eau de juin à septembre sera d'environ 12,5 °C au PK 35 et d'environ 13 °C au PK 16, soit respectivement 2 °C et 1,5 °C de moins que la moyenne de 14,5 °C en conditions actuelles. La température moyenne de septembre sera à peu près la même que dans les conditions actuelles, mais elle refroidira plus lentement de sorte que les températures d'octobre et de novembre seront plus élevées de 2 °C à 2,5 °C.

La figure 17-9 compare les températures de l'eau actuelle et future au PK 51,5 de la Romaine, à la sortie du canal de fuite de la Romaine-1.

Figure 17-9 : Température de l'eau en aval de la centrale de la Romaine-1 – Conditions actuelles et futures



17.3 Modifications liées à la période d'exploitation transitoire

17.3.1 Exploitation de l'aménagement de la Romaine-2 seul et exploitation des aménagements de la Romaine-2 et de la Romaine-1

17.3.1.1 Réservoir de la Romaine 2 (PK 155,0-90,3)

De l'automne 2014 à l'automne 2016, l'aménagement de la Romaine-2 sera exploité en l'absence des réservoirs de la Romaine 3 et de la Romaine 4.

Durant cette période transitoire, le réservoir de la Romaine 2 sera le seul réservoir présent sur la Romaine. Il sera principalement alimenté par la rivière elle-même, non régularisée.

Le régime thermique du réservoir de la Romaine 2 pendant la période transitoire ressemblera à celui qui est prévu après la mise en exploitation des quatre centrales du complexe. Les deux régimes seront caractérisés par une stratification thermique en hiver et en été (voir la section 17.2). Quelques différences méritent toutefois d'être signalées.

En hiver, la température de l'eau de la rivière Romaine et des autres affluents du réservoir sera voisine du point de congélation et le débit de ces affluents sera en étiage. En conséquence, il y aura une couverture de glace sur l'ensemble du réservoir, y compris à la tête du réservoir. La température de l'eau sera de 0 °C au point de contact entre l'eau et la glace. Sous cette couche, la température de l'eau augmentera rapidement avec la profondeur et on retrouvera de l'eau plus chaude que 3 °C à des profondeurs de 20 m et plus. En période d'eau libre (sans couverture de glace), une température de 4 °C, uniforme sur la verticale, sera atteinte entre le milieu et la fin de mai. Le régime thermique estival sera semblable à celui qui sera obtenu par l'exploitation des quatre centrales. Le réservoir de la Romaine 2 présentera une couche superficielle relativement chaude sous laquelle se trouvera de l'eau devenant de plus en plus froide avec la profondeur ; aux profondeurs de 30 m et plus, la température de l'eau se maintiendra entre 4 °C et 5 °C.

17.3.1.2 Tronçon court-circuité de la Romaine-2 (PK 90,3-83,7)

La température de l'eau dans le tronçon court-circuité de la Romaine-2 sera semblable à ce qui est prévu après la mise en service du complexe. Toutefois, la température de l'eau en hiver sera d'environ 0,2 °C plus froide, mais elle demeurera au-dessus du point de congélation pendant toute la durée de l'hiver. En été, l'eau sera un peu plus chaude qu'avec les quatre aménagements ; elle atteindra une température de 16 °C, soit environ 2 ou 3 °C de moins que dans les conditions actuelles. Les variations de la température de l'eau qui surviennent au moment de grands vents, lorsque la couche d'eau plus froide du réservoir est ramenée près de la surface, se produiront dès la mise en service de la centrale de la Romaine-2.

17.3.1.3 Rivière Romaine en aval de la centrale de la Romaine-2 (PK 83,7-0)

La température de l'eau dans le canal de fuite de la Romaine-2 sera semblable, en période transitoire, à la température qui prévaudra pendant l'exploitation de la totalité du complexe. Toutefois, la température de l'eau en hiver sera d'environ 0,2 °C plus froide, mais elle demeurera au-dessus du point de congélation pendant toute la durée de l'hiver. En été, la température culminera à 13,5 °C, soit une valeur un peu plus élevée qu'avec les quatre centrales ; cette température est d'environ 4 ou 5 °C plus basse que dans les conditions actuelles. Les variations de la température de l'eau qui surviennent au moment de grands vents, lorsque la couche d'eau plus froide du réservoir est ramenée près de la surface, continueront de se produire.

Le réchauffement de l'eau à partir du début d'avril et son refroidissement à partir de septembre se produiront au même rythme qu'avec les quatre aménagements.

Plus on avancera vers l'embouchure de la rivière, plus la température de l'eau se rapprochera des conditions actuelles. En hiver, l'eau de ce tronçon se refroidira vers l'aval. L'évolution de la température de l'eau et de la couverture de glace est décrite à la section 18.3 portant sur le régime des glaces. Après la fonte de la couverture de

glace, au début d'avril, jusqu'en septembre, l'eau se réchauffera vers l'aval. Au PK 50, la température atteindra en moyenne 13 °C le 1^{er} juillet et 14,5 °C le 1^{er} août. L'eau se réchauffera d'en moyenne 0,5 °C au PK 35.

17.3.2 Exploitation des aménagements de la Romaine-2 et de la Romaine-1

La centrale de la Romaine-1 entrera en service pendant l'hiver 2016-2017, durant lequel on procédera également au remplissage du réservoir de la Romaine 3. Le régime thermique durant cette période d'exploitation à deux centrales sera pratiquement le même qu'après la mise en service des quatre centrales. Tout au plus, l'eau restituée par la centrale de la Romaine-2 sera légèrement plus froide en hiver et légèrement plus chaude en été, mais les écarts ne dépasseront pas 1 °C.

17.3.3 Exploitation des aménagements de la Romaine-3, de la Romaine-2 et de la Romaine-1

Le complexe de la Romaine comptera trois centrales en exploitation pendant trois années (de 2017 à 2019). Durant cette période, le régime thermique de la Romaine dans le réservoir de la Romaine 3 et en aval sera semblable à celui qui prévaudra lorsque les quatre aménagements seront en service.

17.4 Modifications liées à la période de construction

Les activités de construction ne modifieront pas de façon notable le régime thermique de la Romaine. En dehors de la période de crue, le rehaussement du niveau d'eau à l'entrée des galeries de dérivation n'est pas suffisant pour qu'une stratification thermique se produise. La température de l'eau ne sera donc pas modifiée du fait de la dérivation. Le rehaussement du niveau pourra être plus important en crue, mais il s'agit de la période où les plans d'eau sont isothermes. Le rehaussement du niveau n'aura donc pas d'effet sur la température de l'eau sortant des galeries de dérivation.

18 Régime des glaces

18.1 Conditions actuelles

18.1.1 Démarche méthodologique

Le régime des glaces de la rivière Romaine a été caractérisé par différentes méthodes : survols et rapports photographiques, mesure de la température de l'eau, du niveau de l'eau et de l'épaisseur de la glace au cours des hivers 2003 à 2005 ainsi que modélisation numérique de l'évolution de la couverture de glace. Les hivers 1977-1978 et 2004-2005 ainsi que le printemps 2006 ont fait l'objet de rapports photographiques. Le régime des glaces dans la zone de l'embouchure est traité au chapitre 22.

La modélisation numérique de l'évolution de la couverture de glace a été faite pour dix-neuf hivers par association de séquences de débits et de températures de l'air.

Pour plus de détails sur la description du régime des glaces en conditions actuelles et futures, voir la méthode 6 dans le volume 9.

L'information présentée dans ce chapitre est tirée des études suivantes :

- Groupe-conseil LaSalle. 2007. *Projet du complexe de la Romaine. Réévaluation du régime des glaces de la rivière Romaine avant et après aménagement*. Rapport n° R-1661. Préparé pour Hydro-Québec Équipement. Montréal, Groupe-conseil LaSalle. 46 p. et ann.
- Hydro-Québec Équipement. 2007c. *Complexe Romaine, avant-projet phase 2. Régime thermique de l'eau*. Rapport sectoriel. Montréal, Hydro-Québec Équipement.

18.1.2 Régime des glaces de la rivière Romaine

La couverture de glace sur la Romaine commence à se former au début de décembre, le long des rives où la vitesse d'écoulement est la plus faible. La glace progresse ensuite vers le centre de la rivière, mais à la mi-décembre de larges éclaircies subsistent encore au milieu du cours d'eau. Les lacs Lozeau, Anderson, Lavoie et Brûlé, qui se trouvent à la tête de la rivière, se couvrent également de glace tôt en hiver.

La couverture de glace se forme de façon semblable dans le tronçon Romaine-1–Romaine-2^[1]. Les zones de rapides étant plus étendues dans ce tronçon, les éclaircies occupent une plus grande superficie pendant toute la durée de l'hiver. Ainsi,

[1] Aux fins de l'étude des glaces, le tronçon Romaine-1–Romaine-2 s'étend approximativement du PK 54 au PK 84.

dans les rapides qui s'étendent du PK 98 au PK 84, le centre de la rivière demeure libre de glace pendant tout l'hiver et alimente continuellement le bassin des Murailles en frasil. L'accumulation de frasil atteint plusieurs mètres d'épaisseur à la mi-février, ce qui explique que le niveau d'eau soit passablement plus élevé qu'en période d'eau libre même si le débit est semblable. De larges éclaircies persistent également dans la chute des PK 59-58 et dans les rapides des PK 62-61, au pied desquels on observe également des accumulations de frasil. Les figures 18-1 et 18-2 montrent la couverture de glace sur le tronçon Romaine-1–Romaine-2 à différentes périodes d'un hiver de rigueur moyenne ainsi que les accumulations de frasil.

On trouve également des zones qui demeurent libres de glace sur de longues distances dans les rapides entre les PK 197 et 183, entre les PK 160 et 143, au PK 140 et entre les PK 105 et 104.

Dans le tronçon en aval de la centrale de la Romaine-1, les éclaircies se referment au cours de l'hiver, sauf aux endroits suivants :

- la Grande Chute (PK 52,5) et les rapides présents à ses pieds (PK 51 et 52) ;
- les Chutes à Charlie (PK 35) ;
- le rapide à Ferdinand (PK 30,5) ;
- la Chute de l'Église (PK 16) ;
- la chute sous le pont de la route 138 (PK 2) ;
- la chute de l'Auberge (PK 0).

La photo 18-1 montre l'étendue libre de glace au pied de la Grande Chute, le 10 avril 2006. En raison des faibles étendues d'eau libre, les accumulations de frasil sous la couverture de glace se trouvent en grande partie au pied des chutes. Dans une moindre mesure, les segments plus lents reçoivent également du frasil formé dans les éclaircies présentes au début de l'hiver. Les figures 18-3 et 18-4 montrent l'évolution de la couverture de glace sur le tronçon de la rivière en aval de la centrale de la Romaine-1 au cours d'un hiver de rigueur moyenne de même que les zones d'accumulation de frasil.

L'épaisseur de la glace augmente progressivement au cours de l'hiver. Dans le tronçon en aval de la centrale de la Romaine-1, elle atteint sa valeur maximale au début d'avril. La couverture est peu influencée par le débit, mais varie selon la rigueur de l'hiver : 70 cm pour un hiver normal, 60 cm pour un hiver clément et 80 cm pour un hiver rigoureux. En moyenne, la présence de glace provoque une hausse du niveau d'eau qui varie de 0,2 à 1,1 m.

Figure 18-1 : Emprise de la couverture de glace entre les centrales de la Romaine-1 et de la Romaine-2 – Hiver de rigueur moyenne (15 décembre et 15 janvier) – Conditions actuelles

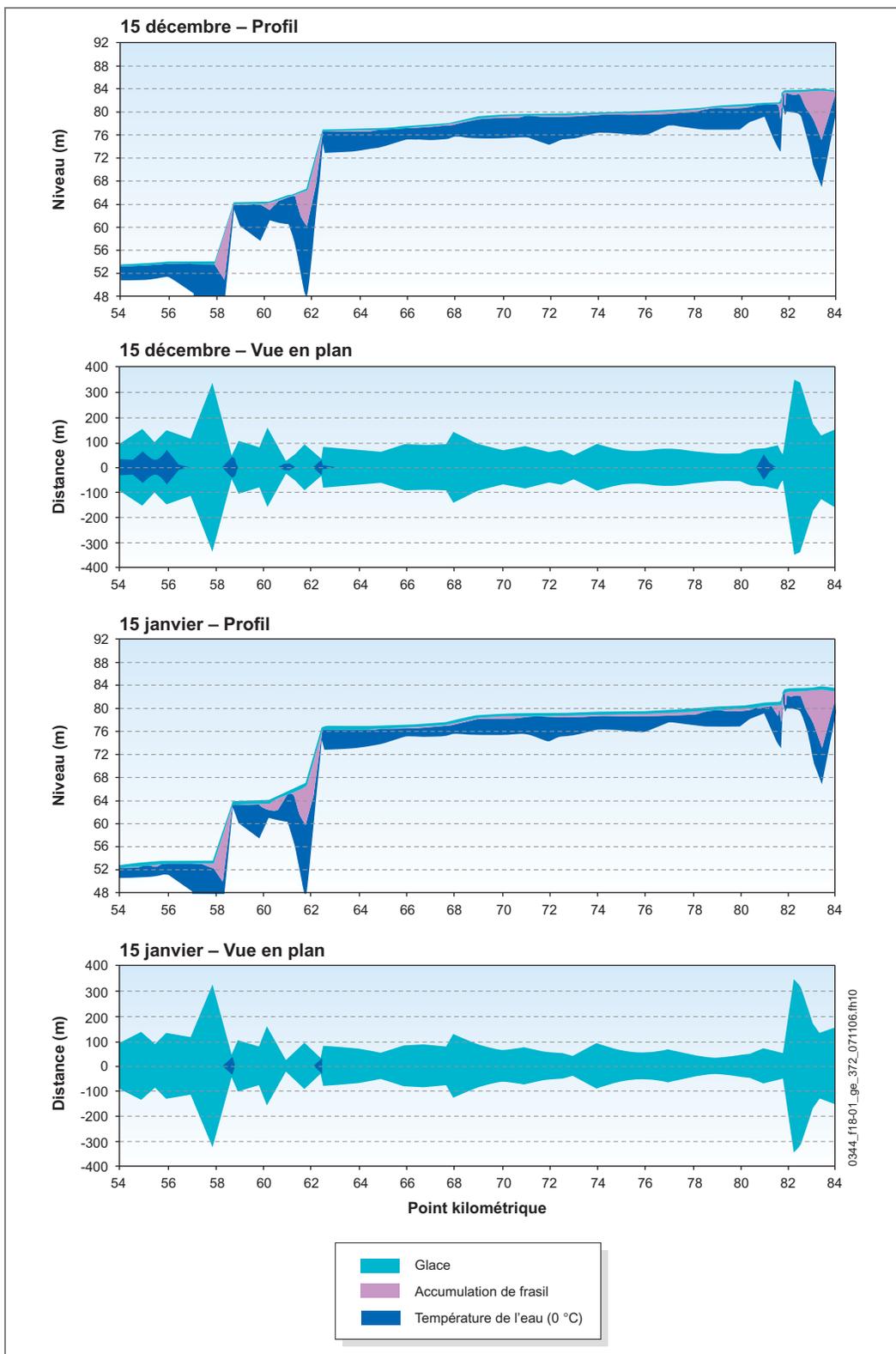


Figure 18-2 : Emprise de la couverture de glace entre les centrales de la Romaine-1 et de la Romaine-2 – Hiver de rigueur moyenne (15 février et 15 mars) – Conditions actuelles

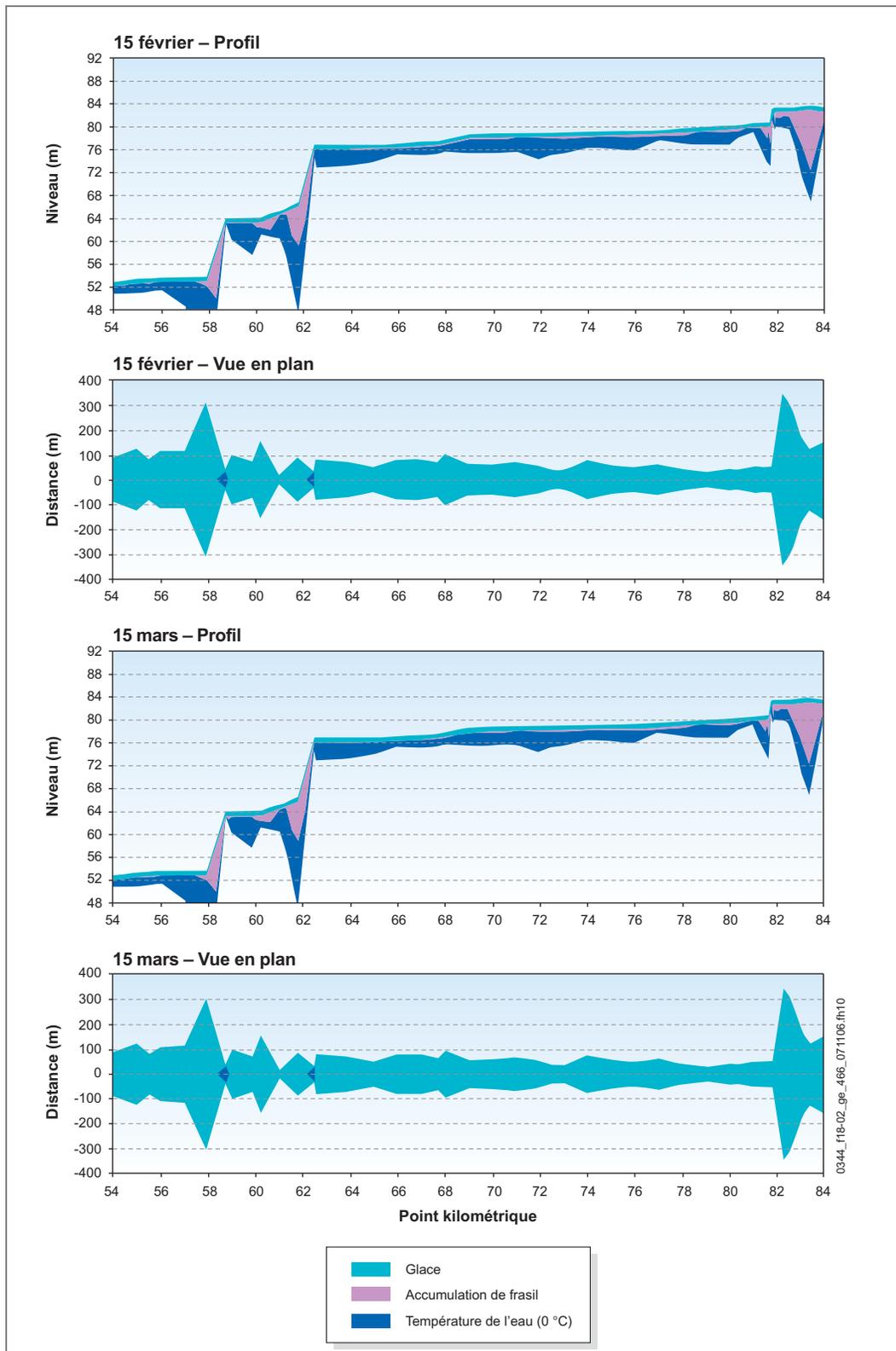


Photo 18-1 : Étendue d'eau libre dans la Grande Chute et les rapides présents à ses pieds – 10 avril 2006



Au printemps, des éclaircies se forment près des rives aux embouchures de tous les petits tributaires. L'eau se réchauffe d'abord dans ces éclaircies et dans celles qui sont déjà présentes dans les chutes. Au fur et à mesure que la température de l'eau augmente, les éclaircies progressent vers l'aval, et le départ des glaces se produit par érosion thermique. Selon les années, le départ des glaces a lieu entre le début et la troisième semaine d'avril.

Le Club de motoneigistes Le Blizzard utilise un critère d'épaisseur de glace de 20 cm pour la pratique de la motoneige sur la rivière Romaine. L'épaisseur de la couverture de glace dépasse 20 cm sans interruption et la couverture est complète d'une rive à l'autre habituellement autour du 5 décembre. La figure 18-5 illustre les périodes pendant lesquelles l'épaisseur de la couverture de glace dépasse 20 cm et est complète d'une rive à l'autre.

Dans les tronçons de la rivière situés en amont de la centrale de la Romaine-1, le départ des glaces se produit parfois en même temps que dans le tronçon aval, parfois quelques jours plus tard en mai, selon les conditions météorologiques.

Figure 18-3 : Emprise de la couverture de glace en aval de la centrale de la Romaine-1 – Hiver de rigueur moyenne (15 décembre et 15 janvier) – Conditions actuelles

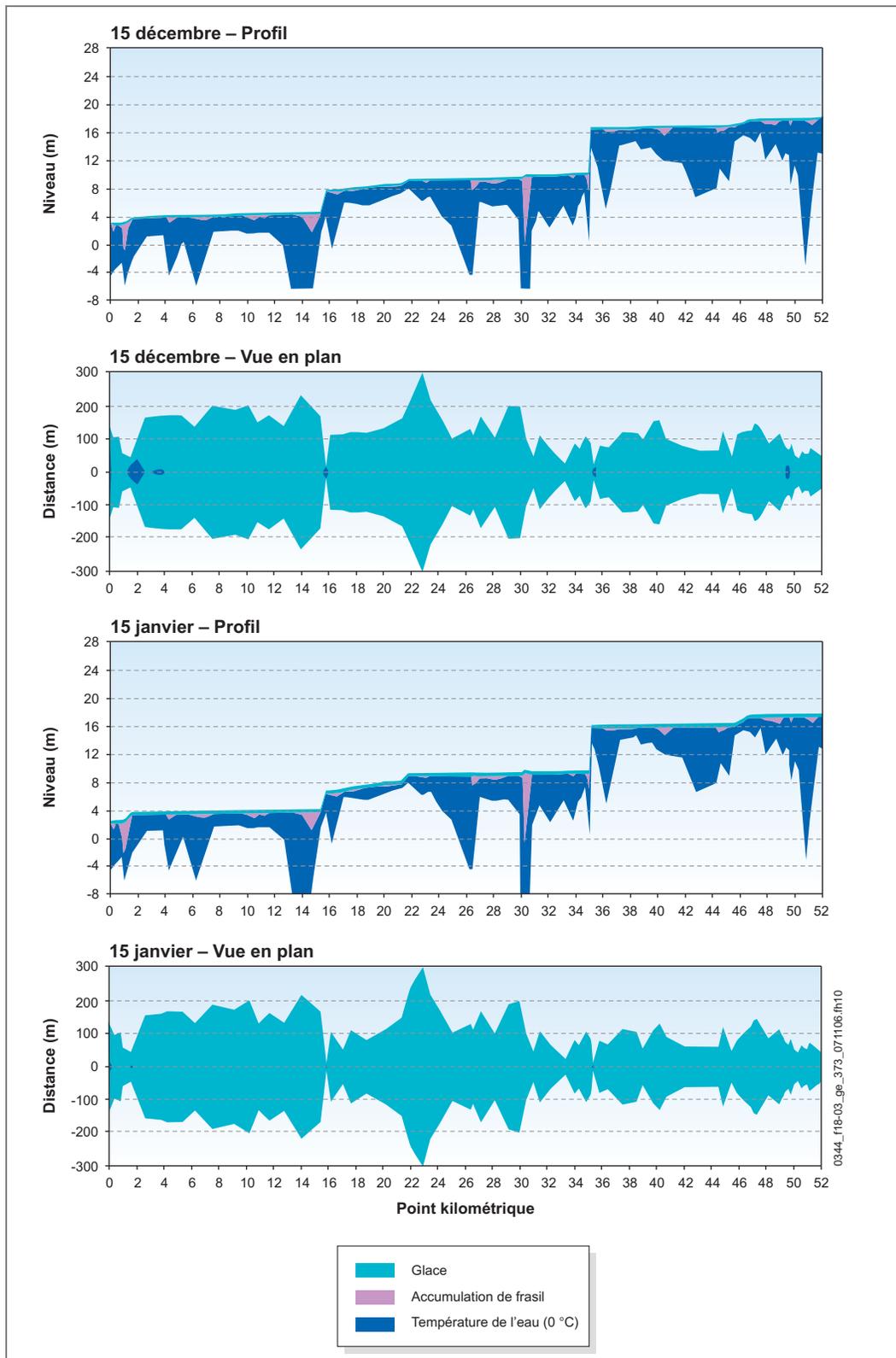


Figure 18-4 : Emprise de la couverture de glace en aval de la centrale de la Romaine-1 – Hiver de rigueur moyenne (15 février et 15 mars) – Conditions actuelles

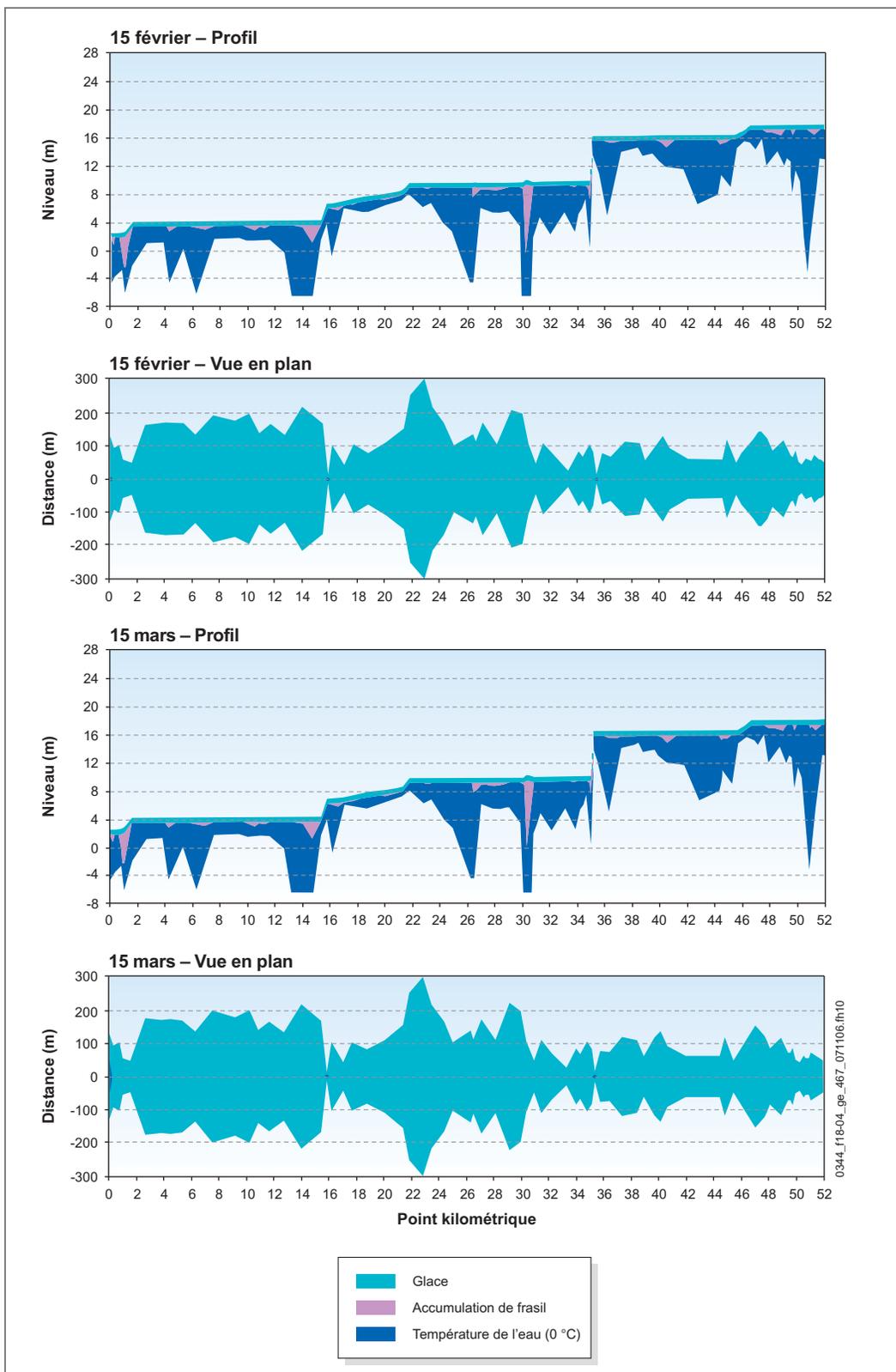
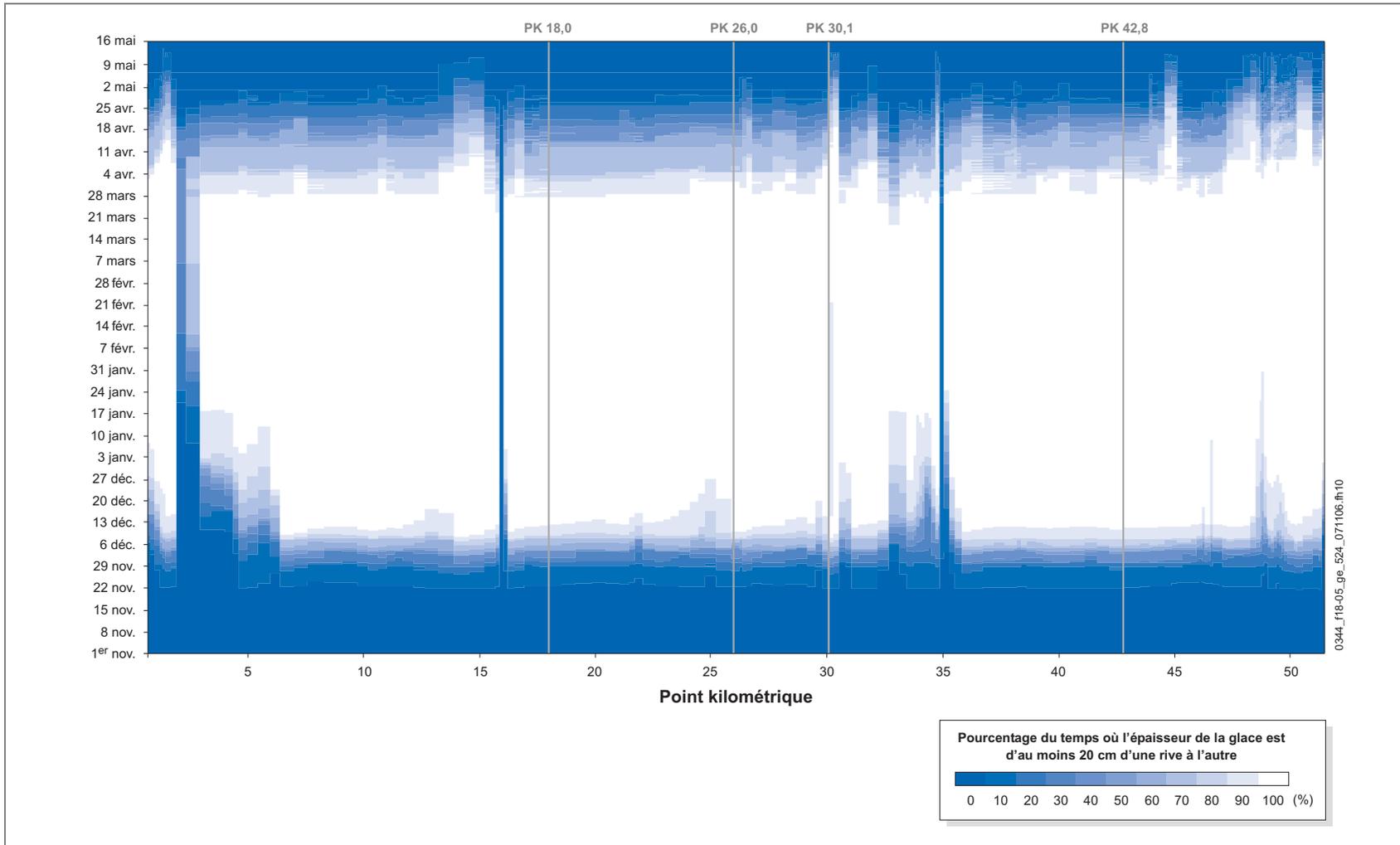


Figure 18-5 : Périodes pendant lesquelles l'épaisseur de la glace dépasse 20 cm en aval de la centrale de la Romaine-1 – Hiver de rigueur moyenne – Conditions actuelles



18.2 Modifications liées à la présence et à l'exploitation des aménagements

18.2.1 Réservoirs de la Romaine 2, de la Romaine 3 et de la Romaine 4

La glace commencera à se former à la tête du réservoir de la Romaine 4 vers la fin de novembre, avec un léger retard par rapport aux conditions actuelles. Les points de confluence des tributaires naturels avec les réservoirs gèleront tôt en saison, soit au début de décembre. Puis, la glace gagnera les zones plus profondes des réservoirs de la Romaine 4, de la Romaine 3 et de la Romaine 2. Toutefois, les limites amont des réservoirs de la Romaine 3 et de la Romaine 2 resteront libres de glace pendant toute la durée de l'hiver en raison de la température relativement chaude de l'eau provenant de la centrale située en amont. La circulation de l'eau dans ces réservoirs pourra créer des zones de glace mince et des ouvertures de faible étendue. Ailleurs, l'épaisseur de la couverture de glace culminera en mars à des valeurs de 0,6 à 1 m. Selon la rigueur de l'hiver, le réservoir de la Romaine 4 sera entièrement couvert de glace entre le début de novembre et la mi-décembre, tandis que les réservoirs de la Romaine 2 et de la Romaine 3 suivront deux semaines plus tard.

La glace suivra par ailleurs les variations du niveau d'eau associées à l'exploitation des centrales. L'abaissement des réservoirs près du niveau d'exploitation minimal chaque hiver, soit du début de janvier à la fin d'avril, entraînera une descente graduelle de la couverture de glace, de 4 à 12 m selon le réservoir. Cette baisse fera apparaître des fissures près des rives.

18.2.2 Réservoir de la Romaine 1

Comme la température de l'eau restituée par la centrale de la Romaine-2 sera supérieure à 0 °C jusqu'à la centrale de la Romaine-1, le bassin des Murailles (PK 81,8-83,7) de même que la partie fluviale et une toute petite portion de la partie lacustre du réservoir de la Romaine 1 (PK 62-81,8) seront libres de glace pendant tout l'hiver, à l'exception d'une bande étroite près des rives. Il ne s'y formera pas de frasil non plus. Malgré une température légèrement au-dessus de 0 °C, la faible vitesse d'écoulement dans la partie lacustre du réservoir de la Romaine 1 (PK 62-52,5) favorisera la formation de la glace. Il est possible que l'épaisseur soit inférieure à 20 cm par endroits, sous certaines conditions de débit et de température de l'air. Dès le début de mars, la couverture de glace dans la partie lacustre du réservoir commencera à s'éroder. Les figures 18-6 et 18-7 montrent l'emprise de la couverture de glace et le profil en long de la rivière dans les limites du réservoir projeté de la Romaine 1.

Figure 18-6 : Emprise de la couverture de glace sur le réservoir de la Romaine 1 – Hiver de rigueur moyenne (15 décembre et 15 janvier) – Conditions futures

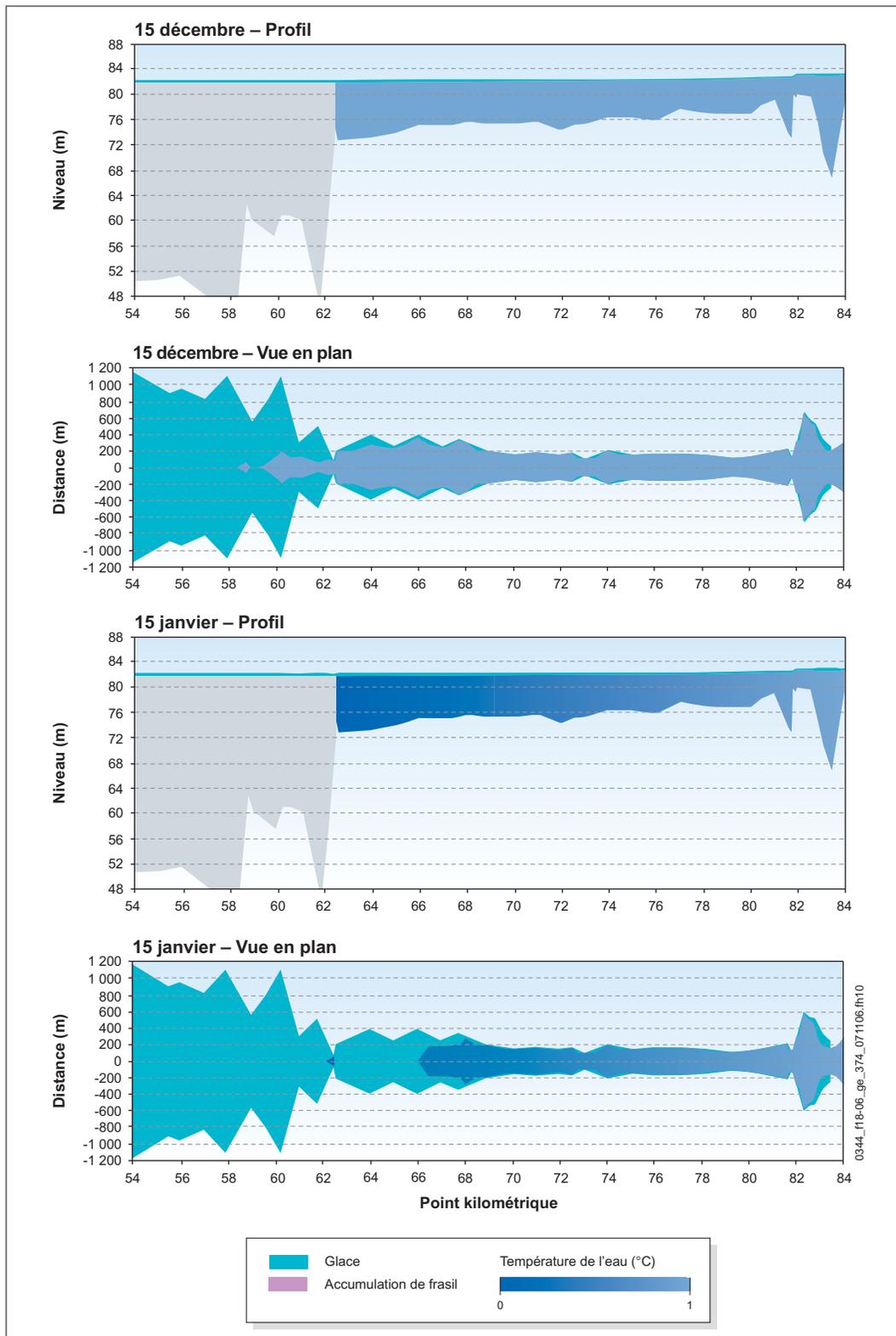
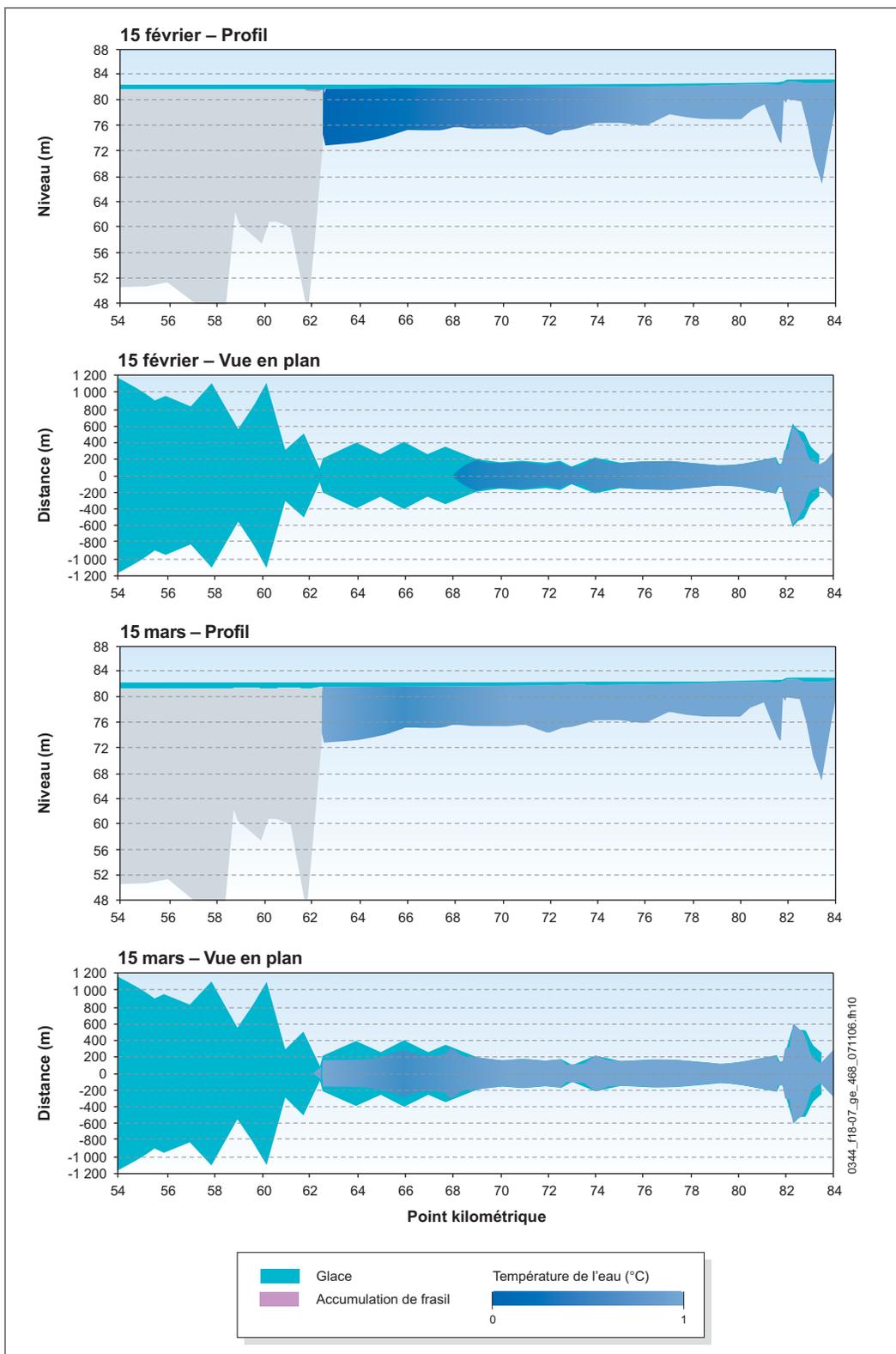


Figure 18-7 : Emprise de la couverture de glace sur le réservoir de la Romaine 1 – Hiver de rigueur moyenne (15 février et 15 mars) – Conditions futures



À cause de l'absence de la couverture de glace entre la sortie de la centrale de la Romaine-2 et le PK 62, l'eau se refroidira d'amont en aval. Son taux de refroidissement dépendra de la température de l'air. La température de l'eau sortant de la centrale de la Romaine-1 reflétera la température de l'eau au PK 62.

18.2.3 Tronçons court-circuités

La température de l'eau à la sortie des ouvrages de restitution de débit réservé dans les tronçons court-circuités par les aménagements de la Romaine-2, de la Romaine-3 et de la Romaine-4 sera supérieure à 0 °C pendant toute la durée de l'hiver, ce qui empêchera la formation d'une couverture de glace et préviendra l'apparition de frasil. Comme l'eau se refroidira d'amont en aval, de la glace pourrait se former par temps froid sur les rives et dans quelques petits bassins à l'extrémité des tronçons court-circuités.

Il n'y aura pas de débit réservé dans le tronçon court-circuité de la Romaine-1. Dans les conditions d'exploitation normales, il n'y aura pas de déversements durant la période hivernale. Par conséquent, une partie de ce tronçon sera asséchée pendant cette période.

18.2.4 Tronçon en aval de la centrale de la Romaine-1

La création du réservoir de la Romaine 1 et l'écoulement d'un débit hivernal plus élevé que dans les conditions actuelles auront pour effet de modifier le régime des glaces en aval de la centrale de la Romaine-1 (PK 0-51,5). Dans l'ensemble, la température de l'eau restituée par cette centrale entre le 15 décembre et le 15 avril sera plus élevée qu'en conditions actuelles. Comme l'eau se refroidira en parcourant le réservoir depuis la centrale de la Romaine-2 jusqu'au PK 62, sa température reflétera la température de l'air, ce qui donnera lieu aux variations suivantes :

- La température de l'eau variera entre 0,3 et 0,6 °C durant les hivers de rigueur moyenne.
- Elle fluctuera entre 0,6 et 1,7 °C durant les épisodes de redoux.
- Elle variera entre 0,1 et 0,2 °C durant les périodes les plus froides de l'hiver.

L'eau se refroidira progressivement d'amont en aval pour atteindre 0 °C en aval du PK 38. Elle restera à cette température jusqu'au départ des glaces en mars. À l'embouchure, la température s'établira à 0 °C autour du 26 novembre (20 novembre en conditions actuelles) et s'y maintiendra jusqu'au départ des glaces (1^{er} mai en conditions actuelles).

L'épaisseur de la glace en aval du PK 38 dépendra de la rigueur de l'hiver, tout comme en conditions actuelles. Durant un hiver de rigueur moyenne, la couverture de glace commencera à se former près des rives et dans les zones de faible vitesse à partir du 15 décembre, sauf dans le segment de 6 km en aval de la centrale

(PK 45,5-51,5), qui restera libre de glace – à l'exception des rives – pendant tout l'hiver et où la température de l'eau empêchera la formation de frasil. Au fil de l'hiver, la couverture progressera vers le centre de la rivière de sorte que le tronçon en aval de la centrale de la Romaine-1 sera totalement couvert de glace de la mi-janvier à une date comprise entre la fin de février et la fin de mars, à l'exception des chutes et du segment de 6 km susmentionné. Toutefois, contrairement aux conditions actuelles, la couverture de glace réagira rapidement aux épisodes de redoux survenant en cours d'hiver et aux fluctuations du débit turbiné. La zone libre de glace pourra avancer jusqu'au PK 30, lorsque la température de l'air dépasse 0 °C, et jusqu'au PK 16, si elle dépasse 4 °C, ce qui se produit rarement en janvier ou février. La couverture de glace progressera à nouveau vers l'amont, à la faveur du temps froid. En aval du PK 45, l'épaisseur des accumulations de frasil sera plus faible que dans les conditions actuelles en raison de l'érosion thermique, surtout entre les PK 38 et 45.

Au printemps, l'éclaircie déjà présente en aval de la centrale de la Romaine-1 s'étendra jusqu'aux rives et progressera vers l'aval. À partir de la fin de février, l'éclaircie s'étendra rapidement vers l'aval dès que la température de l'air dépassera 0 °C. Normalement, la glace aura disparu du tronçon en aval de la centrale de la Romaine-1 à une date comprise entre le 21 février et le 25 mars, selon les années.

Les figures 18-8 et 18-9 montrent l'emprise de la couverture de glace, le profil en long de la rivière et les zones d'accumulation de frasil dans le tronçon en aval de la centrale de la Romaine-1.

L'épaisseur de la couverture de glace dépassera 20 cm sans interruption et la couverture sera complète d'une rive à l'autre aux points de modélisation situés à l'aval de la centrale de la Romaine-1 (PK 3, 18 et 26), mais la période durant laquelle cet état prévaudra commencera plus tard et finira plus tôt. Au PK 3, la rivière se couvrira de glace entre le 26 décembre et le 17 janvier, soit avec un retard de moins d'une semaine par rapport aux conditions actuelles. La rivière restera couverte jusqu'à une date comprise entre le 26 février et le 28 mars, ce qui devance d'en moyenne trois semaines le départ des glaces en conditions actuelles. Aux points de modélisation des PK 18 et 26, l'épaisseur de la glace dépassera 20 cm entre le 8 décembre et le 1^{er} janvier, soit au maximum deux semaines plus tard qu'en conditions actuelles. La couverture de glace restera présente à ces points de modélisation jusqu'à une date qui variera entre le 22 février et le 25 mars, selon les années. La couverture de glace au PK 31 deviendra complète d'une rive à l'autre entre le 8 décembre et le 1^{er} janvier. Toutefois, lorsque la température de l'air atteindra 0 °C, ce qui survient la plupart des hivers, des ouvertures se produiront dans la couverture. En ce qui concerne le point de modélisation du PK 43, la couverture de glace s'y formera par temps froid, mais elle reculera au moindre redoux. Elle progressera vers l'amont par temps froid et reculera vers l'aval par temps doux, parfois plusieurs fois au cours d'un même hiver.

Figure 18-8 : Emprise de la couverture de glace en aval de la centrale de la Romaine-1 – Hiver de rigueur moyenne (15 décembre et 15 janvier) – Conditions futures

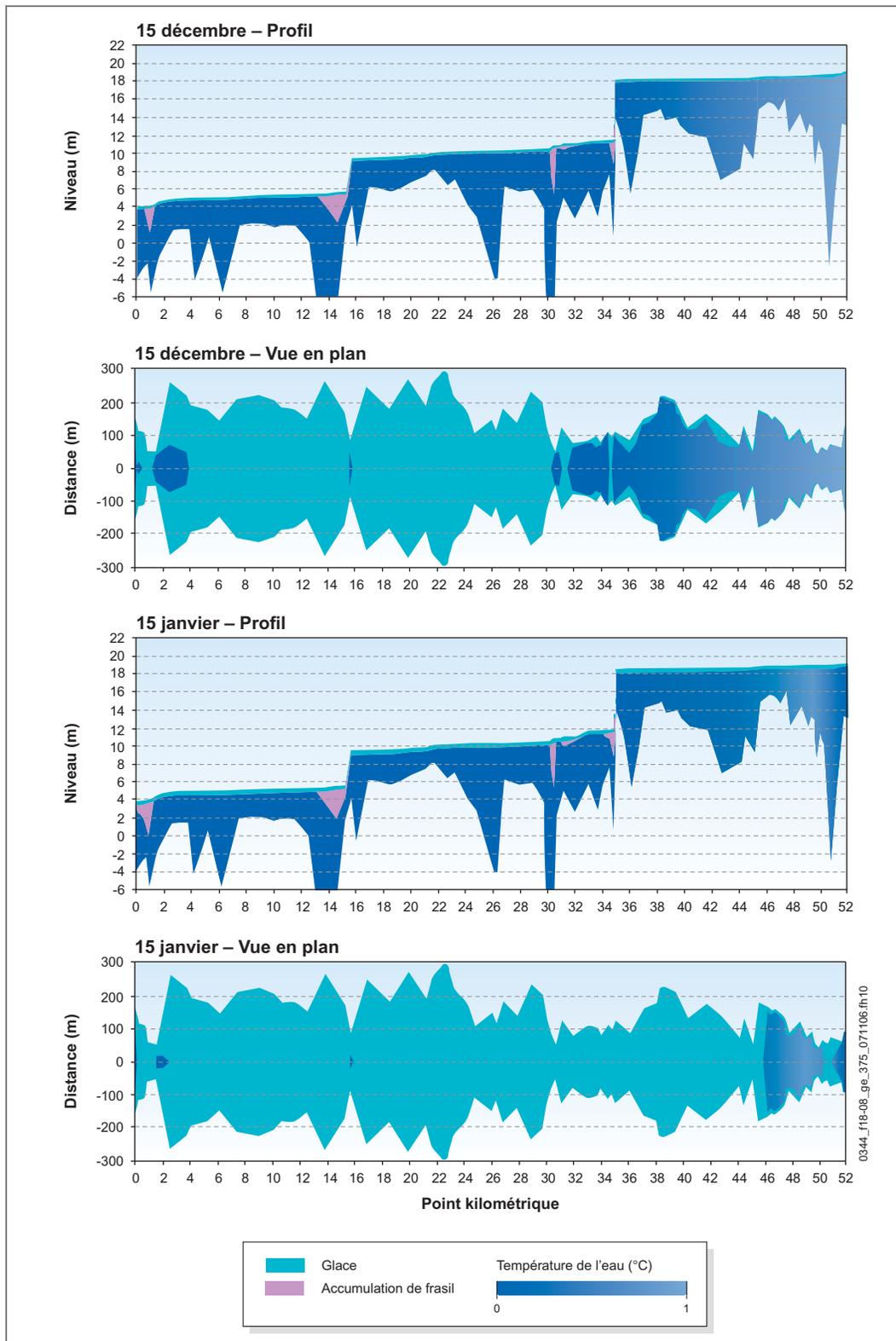
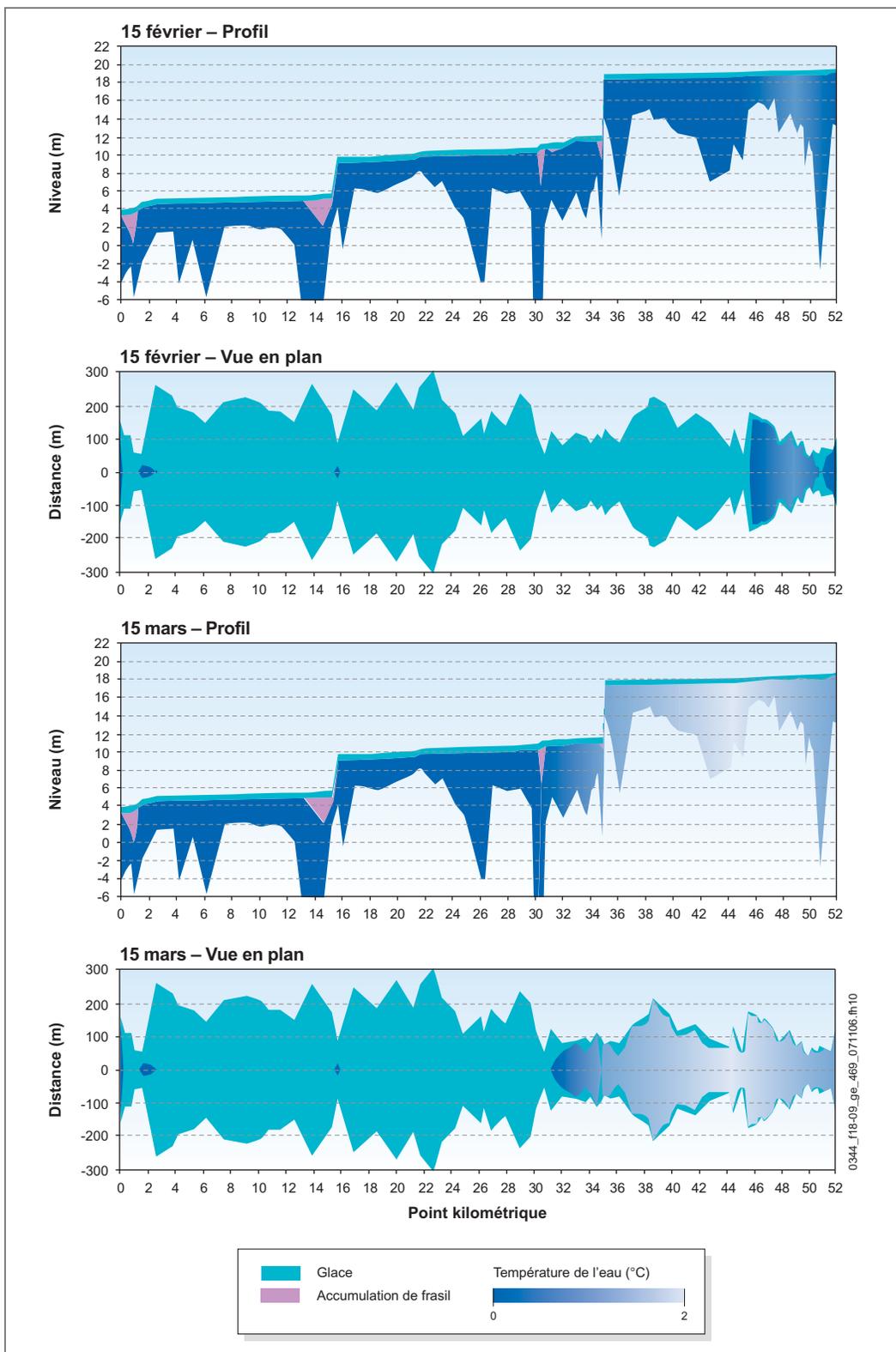


Figure 18-9 : Emprise de la couverture de glace en aval de la centrale de la Romaine-1 – Hiver de rigueur moyenne (15 février et 15 mars) – Conditions futures



Dans l'ensemble, en amont du PK 35, les nombreuses éclaircies et la température plus élevée de l'eau risquent d'altérer la portance de la glace. Des périodes pendant lesquelles la couverture ne sera pas complète d'une rive à l'autre ou son épaisseur n'atteindra pas 20 cm pourront survenir à tout moment. Le tableau 18-1 compare les dates où l'épaisseur de 20 cm sera respectée en conditions actuelles et futures, pour les dix-neuf hivers simulés.

Tableau 18-1 : Périodes pendant lesquelles l'épaisseur de la couverture de glace dépasse 20 cm en aval de la centrale de la Romaine-1 – Conditions actuelles et futures

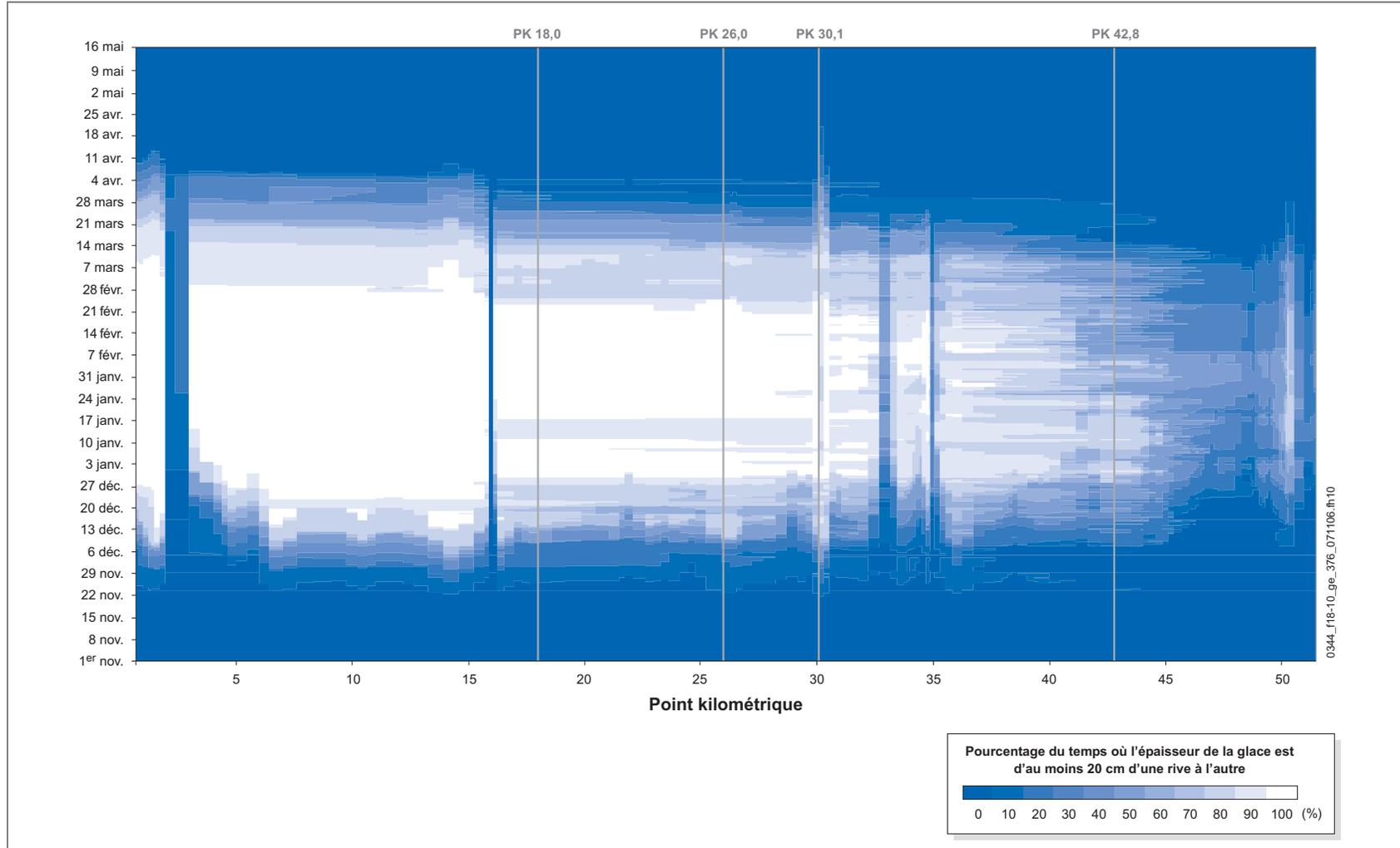
Point de modélisation (PK)	Conditions actuelles						Conditions futures					
	Début de la période			Fin de la période			Début de la période			Fin de la période		
	Date la plus hâtive	Date moyenne	Date la plus tardive	Date la plus hâtive	Date moyenne	Date la plus tardive	Date la plus hâtive	Date moyenne	Date la plus tardive	Date la plus hâtive	Date moyenne	Date la plus tardive
3	19 déc.	1 ^{er} janv.	17 janv.	28 mars	10 avril	23 avril	26 déc.	3 janv.	17 janv.	26 févr.	14 mars	28 mars
18	29 nov.	5 déc.	14 déc.	28 mars	10 avril	25 avril	8 déc.	18 déc.	1 ^{er} janv.	22 févr.	15 mars	25 mars
26	29 nov.	5 déc.	27 déc.	6 avril	10 avril	23 avril	8 déc.	18 déc.	1 ^{er} janv.	22 févr.	15 mars	25 mars
31	29 nov.	6 déc.	10 déc.	4 avril	12 avril	18 avril	8 déc.	22 déc.	1 ^{er} janv.	21 févr.	5 mars	17 mars
43	29 nov.	6 déc.	10 déc.	1 ^{er} avril	12 avril	23 avril	–	–	–	–	–	–

La figure 18-10 illustre les périodes pendant lesquelles l'épaisseur de la couverture de glace dépasse 20 cm sur la Romaine les dix-neuf hivers simulés.

Le débit moyen durant l'hiver sera de 190 m³/s et le débit hebdomadaire variera entre 140 et 260 m³/s. Les variations horaires de débit auront peu d'impact sur la couverture de glace. En effet, l'amplitude des variations de débit et de niveau diminuera rapidement d'amont en aval ; de plus, la couverture de glace sera quasi absente dans la zone où cette amplitude sera la plus forte, entre les PK 45 et 51,5. En cas de grand froid, la centrale produira avec deux groupes pendant une période prolongée. On a vérifié la résistance à l'érosion thermique et la stabilité de la couverture de glace par rapport à ce régime de débits par grand froid.

L'augmentation du débit turbiné entraînera une augmentation de la température de l'eau restituée à la centrale de la Romaine-1 parce que l'eau ne se refroidira pas autant entre le canal de fuite de la Romaine-2 et la tête du réservoir de la Romaine 1, du fait du débit accru. On a simulé l'évolution de la couverture de glace lorsque celle-ci est soumise à une augmentation de 200 à 400 m³/s du débit journalier en imposant une température de 1 °C plus chaude à la sortie de la centrale de la Romaine-1.

Figure 18-10 : Périodes pendant lesquelles l'épaisseur de la glace dépasse 20 cm en aval de la centrale de la Romaine 1 - Conditions futures



Comme les variations horaires en l'absence de couverture de glace, l'augmentation du débit mettra 36 heures à se propager jusqu'à l'embouchure. L'augmentation du débit journalier provoquera une hausse du niveau d'eau de 0,8 à 1,2 m sur l'ensemble de la rivière. L'accroissement du débit durant les périodes de grand froid provoquera, par érosion thermique, le déplacement vers l'aval de la couverture de glace jusqu'au PK 35, ce qui reste en amont de la position de la couverture de glace lorsque la température est plus clémente (PK 30).

Le marnage causé par la variation journalière du débit sera de l'ordre de 1 m, ce qui est suffisant pour fissurer la couverture de glace et la détacher des berges. Dans ce cas, la glace ne tiendra que par frottement contre les berges. On a établi le bilan des forces horizontales qui agiront sur la couverture de glace afin de déterminer s'il y avait risque de décrochement dans les trois segments suivants :

- entre la centrale de la Romaine-1 (PK 51,5) et la chute du PK 35 ;
- entre la chute du PK 35 et la chute du PK 16 ;
- entre la chute du PK 16 et l'embouchure (PK 0).

Ce bilan a permis de déterminer que les poussées maximales qui s'exerceront sur la couverture de glace seront inférieures aux poussées critiques qui provoqueraient sa rupture par écrasement, par flambement ou par flexion, dans les trois segments étudiés. Une augmentation du débit au moment de la pointe hivernale ne provoquera donc pas le décrochement de la couverture de glace. À cause de vitesses plus élevées et d'une forte pente d'écoulement, la couverture entre le pont de la route 138 (PK 2) et le PK 1,6 pourrait décrocher, mais il s'agirait d'un phénomène local. La glace en amont du pont demeurerait en place.

Les variations de niveau d'eau de l'ordre de 1 m entraînent fréquemment l'apparition d'un jeu de trois fissures parallèles qui agissent comme une charnière et permettent à la glace de s'adapter aux mouvements de l'eau. La surface de la glace peut également se couvrir d'eau à proximité des berges très escarpées ou lorsqu'elle supporte une épaisse couche de neige.

Lorsque la demande en énergie sera très élevée, le débit turbiné pourra approcher la capacité maximale de la centrale, soit 480 m³/s durant les heures de forte demande, ce qui entraînera des variations horaires du niveau d'eau. Toutefois, les résultats relatifs à l'étendue de la couverture de glace restent les mêmes : des fissures se formeront le long des rives et la couverture reculera jusqu'au PK 35 mais restera stable en aval de ce point.

Le tableau 18-2 présente le marnage qui sera provoqué par les fluctuations de débit à différents points kilométriques en aval de la centrale de la Romaine-1.

Tableau 18-2 : Marnages associés aux variations de débit aux PK 51,5, 34,5, 15,65 et 1 de la Romaine

Point kilométrique (PK)	Marnage (m)	
	Variation du débit journalier de 200 à 400 m ³ /s	Variation du débit horaire de 400 à 480 m ³ /s
51,5	1,2	0,3
34,5	0,9	0,2
15,65	0,8	0,1
1	0,8	0,02

18.3 Modifications liées à la période d'exploitation transitoire

18.3.1 Exploitation de l'aménagement de la Romaine-2

D'après le calendrier des travaux de construction du complexe de la Romaine, la centrale de la Romaine-2 sera la première à entrer en service et la seule en exploitation durant les hivers 2014-2015 et 2015-2016. Les débits durant la période hivernale sont précisés à la section 16.3, qui porte sur les régimes hydraulique et hydrologique. Le régime des glaces en aval de l'aménagement de la Romaine-2 subira des modifications dès la mise en service de la centrale parce que les débits d'hiver seront plus importants qu'en conditions actuelles et que la température de l'eau turbinée dépassera le point de congélation pendant toute la durée de l'hiver. De fait, la température de l'eau sera supérieure à 0 °C jusqu'au PK 62 de la Romaine. De la glace pourra se former près des rives, là où les vitesses d'écoulement demeureront faibles, mais elle ne progressera pas vers le centre de la rivière. Il n'y aura pas de frasil non plus. L'eau se refroidira progressivement d'amont en aval pour atteindre 0 °C en aval du PK 62. En décembre, la glace de rive commencera à se former dans les secteurs les plus lents, dans le tronçon compris entre les PK 62 et 54. La position de la limite amont de la couverture de glace oscillera en fonction des conditions météorologiques. En janvier, durant la plupart des hivers simulés, la glace couvrira toute l'emprise de la rivière en aval du PK 62, à l'exception des zones de chutes et de rapides, qui demeureront libres de glace, comme c'est déjà le cas en conditions actuelles. Elle pourra progresser temporairement vers l'amont jusqu'au PK 70 à la faveur de temps très froid. Le tronçon compris entre les PK 62 et 54 restera donc couvert de glace la plupart du temps. Le peu de frasil qui se formera dans les rapides du PK 62 s'accumulera au pied de ces derniers. Toutefois, cette couverture de glace sera susceptible de disparaître durant les épisodes de redoux, en cours d'hiver. Elle progressera de nouveau vers l'amont avec le retour du temps froid.

Certains hivers, la température de l'eau provenant de la centrale de la Romaine-2 ne descendra pas à moins de 2,5 °C. Si cela se produit durant la période d'exploitation transitoire, l'ensemble du tronçon compris entre la centrale de la Romaine-2 et le barrage de la Romaine-1 restera libre de glace pendant toute la durée de l'hiver, à l'exception des rives.

En aval du PK 51,5, la couverture de glace commencera à se former près des rives et dans la portion de la rivière en aval du PK 16 à partir de la mi-décembre. Au fil de l'hiver, elle progressera vers l'amont et couvrira l'ensemble du tronçon jusqu'au PK 51,5, à l'exception des rapides et des chutes. La position de bord frontal de la couverture de glace oscillera donc entre les PK 51,5 et 30, selon la température de l'air, se situant le plus souvent aux environs du PK 45. La plupart du temps, à l'exception des principaux rapides, la couverture de glace sera complète d'une rive à l'autre et son épaisseur dépassera 20 cm de l'embouchure au PK 45. Toutefois, la couverture comprise entre les PK 30 et 45 risque de disparaître à la faveur des épisodes de redoux qui se produisent en cours d'hiver.

En somme, la glace couvrira rarement toute la largeur de la rivière en amont du PK 51,5, alors qu'en aval elle sera présente à une date plus tardive qu'en conditions actuelles au début de l'hiver et devrait disparaître plus tôt en mars. Les dates pendant lesquelles l'épaisseur de la couverture de glace dépasse 20 cm et est complète d'une rive à l'autre aux principaux points de modélisation seront pratiquement les mêmes durant la période d'exploitation transitoire et lorsque les quatre centrales seront exploitées.

18.3.2 Exploitation des aménagements de la Romaine-2 et de la Romaine-1

La centrale de la Romaine-1 entrera en service pendant l'hiver 2016-2017, durant lequel on procédera également au remplissage du réservoir de la Romaine 3. Le régime des glaces durant cette période d'exploitation transitoire (deux centrales) sera le même qu'après la mise en service des quatre centrales. Il pourrait toutefois y avoir des différences mineures parce que l'eau restituée par la centrale de la Romaine-2 sera plus froide en période transitoire, de sorte que la couverture de glace du réservoir de la Romaine 1 pourrait s'étendre jusqu'au PK 72, soit 10 km plus en amont que lorsque les quatre centrales fonctionneront. Il est possible que l'épaisseur de la couverture de glace soit inférieure à 20 cm dans certaines conditions de débit ou de température de l'air.

En aval de l'aménagement de la Romaine-1, les dates de prise et de départ de la couverture de glace ainsi que son épaisseur maximale seront à peu près les mêmes que lorsque les quatre centrales seront exploitées.

18.3.3 Exploitation des aménagements de la Romaine-3, de la Romaine-2 et de la Romaine-1

Selon le calendrier du projet, le complexe tournera à trois aménagements pendant trois hivers (de 2017 à 2019). Durant cette période, le régime des glaces sera pratiquement le même que celui qui prévaudra lorsque les quatre aménagements seront en service.

18.4 Modifications liées aux activités de construction

Les activités de construction ne modifieront pas le régime des glaces de la Romaine.

Le remplissage du réservoir de la Romaine 2 débutera le 1^{er} avril 2014, à un moment de l'année où la rivière sera couverte de glace. Puisque le débit en aval du barrage de la Romaine-2 sera plus faible qu'en conditions actuelles au moment où le départ des glaces a normalement lieu, celui-ci pourrait être retardé.

Le remplissage du réservoir de la Romaine 1 se déroulera durant la période libre de glace.

Les remplissages des réservoirs de la Romaine 3 et de la Romaine 4 auront lieu pendant la période d'exploitation transitoire des aménagements de la Romaine-2 et de la Romaine-1. Le régime des glaces qui prévaudra durant cette période est décrit à la section 18.3.2.

19 Géomorphologie

19.1 Conditions actuelles

19.1.1 Démarche méthodologique

La méthode 7 dans le volume 9 décrit en détail la démarche méthodologique utilisée pour l'étude de la géomorphologie. La zone d'étude, décrite plus précisément à la section M7.2, s'étend de l'embouchure de la Romaine dans le golfe du Saint-Laurent au PK 295. Elle forme un long corridor de 2 à 10 km de largeur centré sur la rivière et qui englobe le territoire ennoyé par les réservoirs projetés.

Une grande partie de l'étude de géomorphologie (caractérisation des matériaux encaissants et des rives, et délimitation des zones d'érosion) a été réalisée par photo-interprétation, à l'aide de photographies aériennes dont l'échelle variait du 1 : 15 000 au 1 : 40 000. Deux campagnes de terrain ont permis de valider ces informations. Des cartes illustrant les dépôts de surface, les formes de terrain et la composition des berges ont ensuite été produites à différentes échelles (1 : 5 000, 1 : 10 000 et 1 : 20 000). Une étude portant sur les sols indurés a également été réalisée dans le but d'évaluer les risques de libération des métaux contenus dans ces sols après leur ennoisement ou en raison de l'érosion de rives des réservoirs projetés. Les résultats de ces études, résumés dans le présent texte, sont décrits en détail dans les études sectorielles suivantes :

- Poly-Géo. 2006c. *Complexe de la Romaine. Étude d'impact sur l'environnement. Géomorphologie. Caractérisation de l'évolution des rives et sensibilité à l'érosion*. 3 vol. Préparé pour Hydro-Québec Équipement. Saint-Lambert, Poly-Géo. 117 p. et ann.
- Poly-Géo. 2006b. *Complexe de la Romaine. Étude d'impact sur l'environnement. Caractérisation des sols indurés (ortsteins) et évaluation de leur toxicité potentielle dans les secteurs inondés par les réservoirs projetés*. Préparé pour Hydro-Québec Équipement. Saint-Lambert, Poly-Géo. 22 p. et ann.

19.1.2 Géomorphologie des rives de la Romaine

L'ensemble de la rivière Romaine se divise en quatre grands tronçons (la plaine côtière, le piémont, les hauts plateaux ainsi que les collines rocheuses et la plaine de till) qui correspondent aux unités et sous-unités physiographiques (voir la section 5.1.3.1 dans le volume 1). Ces tronçons sont segmentés en 27 zones homogènes. Chacune des zones homogènes se distingue quant aux caractéristiques hydrologiques du cours d'eau, à la nature des matériaux encaissants et à la composition du lit et des berges. La composition des berges des zones homogènes est représentée sur les cartes B et C dans le volume 10. Le tableau 19-1 indique la composition des

berges et la proportion de rives en érosion dans chacune de ces zones. Ces données sont compilées pour chaque tronçon de rivière et sont également fournies pour les portions de la rivière Bernard et de la rivière de l'Abbé-Huard comprises dans la zone d'étude.

Les principales caractéristiques de la Romaine à l'intérieur de chaque unité ou sous-unité physiographique sont les suivantes (voir la carte 5-1) :

- **Plaine côtière (PK 0-52,5)** – La rivière Romaine, dans l'ensemble assez large (300-500 m), présente quelques rétrécissements dans les secteurs de rapides. Bien qu'on trouve une dénivelée de près de 35 m à la Grande Chute (PK 52,5), le profil en long de la rivière présente une faible pente (environ 0,4 m/km). À l'aval du PK 50, la Romaine franchit cinq principaux seuils rocheux dont la dénivelée totale est de 18 m. L'écoulement est dans l'ensemble assez lent, sauf à ces endroits et dans quelques courts segments de rapides. La rivière Puyjalon (PK 13) est le seul tributaire d'importance. La Romaine s'est entaillée dans des dépôts marins silto-argileux et sableux épais, qui constituent 72 % des matériaux encaissants. L'encaissement du cours d'eau a formé des terrasses souvent étagées, dont la hauteur varie de 5 à 20 m. La bordure supérieure des plus hauts talus est entrecoupée de plusieurs ravins et porte par endroits des cicatrices de glissements de terrain anciens. Les berges sont formées, entre autres, à 45 % de sable, à 26 % de roc et à 25 % de sédiments fins (silt et argile). L'érosion, plus importante que dans les autres tronçons, touche tout près de 17 % des rives. Elle se manifeste par des éboulements et des glissements de terrain, principalement dans les talus composés de sédiments argileux recouverts de sable et de tourbe.
- **Piémont (PK 52,5-81,8)** – La largeur de la rivière Romaine passe de 300 m à 100 m de l'aval vers l'amont. La pente du lit est un peu plus forte que dans la plaine côtière (1 m/km) en raison d'une série de seuils rocheux recoupés entre les PK 58 et 62. En dehors de ce segment de rapides, les vitesses d'écoulement sont peu élevées. Ce tronçon reçoit peu de tributaires importants, mis à part la rivière Romaine Sud-Est, qui se déverse dans le bassin des Murailles situé à son extrémité nord. La rivière Romaine coule dans une vallée rocheuse en partie comblée de dépôts meubles, principalement sablo-graveleux, qui recouvrent par endroits des sédiments fins. Ces matériaux forment régulièrement des terrasses délimitées par des talus hauts de 10 à 20 m et parfois plus. Les matériaux encaissants se répartissent comme suit : sable et gravier (54 %), roc (37 %), sable (8 %) et sédiments fins (moins de 1 %). Les berges sont formées surtout de matériaux granulaires (41 % de sable et gravier et 24 % de sable). Le roc, présent surtout en rive gauche, compose 33 % des berges. Près de 13 % des talus riverains sont instables. Des éboulements se produisent sur le rebord des hautes terrasses de sable ou de sable et gravier surmontant des sédiments fins. Le pied de ces talus instables est souvent recouvert d'un pavage de matériaux grossiers, résidus du lessivage des sables et graviers, qui contribue à ralentir l'érosion.

Tableau 19-1 : Composition des berges de la Romaine et longueur de rives en érosion

Zone homogène	Roc		Matériaux grossiers ^a		Sable et gravier		Sable		Sédiments fins		Rives en érosion		Longueur totale ^b (km)
	Longueur ^b (km)	%	Longueur ^b (km)	%	Longueur ^b (km)	%	Longueur ^b (km)	%	Longueur ^b (km)	%	Longueur ^b (km)	%	
Plaine côtière (PK 0-52,5)													
1 (PK 0-2,2)	7,6	82	0	0	0	0	1,6	18	0	0	0,1	1	9,2
2 (PK 2,2-16,0)	5,3	14	0	0	0	0	21,0	57	10,8	29	9,6	26	37,1
3 (PK 16,0-30,5)	4,3	12	0	0	1,2	3	16,9	46	14,6	39	8,6	23	36,9
4 (PK 30,5-35,0)	4,0	36	0	0	0,1	1	3,4	31	3,5	32	1,5	14	11,0
5 (PK 35,0-47,0)	7,4	27	0	0	2,4	9	13,7	49	4,2	15	2,8	10	27,7
6 (PK 47,0-52,5)	5,9	49	1,5	12	0	0	4,7	39	0	0	0,0	0	12,2
<i>Total partiel – plaine côtière</i>	<i>34,5</i>	<i>26</i>	<i>1,5</i>	<i>1</i>	<i>3,8</i>	<i>3</i>	<i>61,3</i>	<i>45</i>	<i>33,0</i>	<i>25</i>	<i>22,6</i>	<i>17</i>	<i>134,0</i>
Piémont (PK 52,5-81,8)													
7 (PK 52,5-58,0)	4,3	33	0	0	3,9	31	4,6	36	0	0	1,8	14	12,9
8 (PK 58,0-63,0)	11,7	69	0,5	3	2,4	14	2,4	14	0	0	0,1	1	17,0
9 (PK 63,0-68,0)	1,2	10	0	0	8,7	72	1,5	12	0,7	6	2,6	21	12,2
10 (PK 68,0-75,0)	4,6	29	0	0	6,0	39	5,1	32	0	0	1,2	8	15,7
11 (PK 75,0-81,8)	2,4	16	0	0	8,7	59	3,6	25	0	0	3,4	23	14,7
<i>Total partiel – piémont</i>	<i>24,2</i>	<i>33</i>	<i>0,5</i>	<i>1</i>	<i>29,8</i>	<i>41</i>	<i>17,2</i>	<i>24</i>	<i>0,7</i>	<i>1</i>	<i>9,1</i>	<i>13</i>	<i>72,4</i>
Hauts plateaux (PK 81,8-197,0)													
12 (PK 81,8-90,4)	19,1	76	1,8	7	2,6	10	1,4	6	0,3	1	1,5	6	25,2
13 (PK 90,4-125,0)	38,6	51	22,6	30	11,1	15	3,1	4	0	0	4,1	5	75,4
14 (PK 125,0-141,5)	3,1	5	29,0	50	24,7	43	0,7	1	0,3	1	11,8	20	57,7
17 (PK 141,5-154,5)	14,7	49	14,2	48	0,7	2	0,3	1	0	0	1,6	5	29,9

Tableau 19-1 : Composition des berges de la Romaine et longueur de rives en érosion (*suite*)

Zone homogène	Roc		Matériaux grossiers ^a		Sable et gravier		Sable		Sédiments fins		Rives en érosion		Longueur totale ^b (km)
	Longueur ^b (km)	%	Longueur ^b (km)	%	Longueur ^b (km)	%	Longueur ^b (km)	%	Longueur ^b (km)	%	Longueur ^b (km)	%	
18 (PK 154,5-158,5)	9,0	78	2,0	17	0	0	0,6	5	0	0	0,0	0	11,6
19 (PK 158,5-176,5)	5,3	13	8,0	20	14,5	37	11,6	30	0	0	2,6	7	39,4
20 (PK 176,5-181,5)	3,6	27	4,4	32	5,0	37	0,5	4	0	0	0,8	6	13,6
21 (PK 181,5-190,5)	11,1	48	11,6	51	0,1	1	0	0	0	0	0,6	3	22,8
22 (PK 190,5-197,0)	9,3	64	4,0	28	0	0	1,2	8	0	0	0,4	3	14,5
<i>Total partiel – hauts plateaux</i>	<i>113,7</i>	<i>39</i>	<i>97,7</i>	<i>34</i>	<i>58,8</i>	<i>20</i>	<i>19,3</i>	<i>7</i>	<i>0,7</i>	<i>0</i>	<i>23,4</i>	<i>8</i>	<i>290,1</i>
Collines rocheuses et plaine de till (PK 197,0-290,5)													
23 (PK 197,0-214,5)	3,5	9	26,2	69	2,9	8	5,4	14	0	0	1,5	4	38,0
24 (PK 214,5-252,5)			1,5	1	17,9	18	83,0	81	0	0	7,7	8	102,5
25 (PK 252,5-263,5)	2,9	10	11,8	41	10,4	36	3,6	13	0	0	2,4	8	28,7
26 (PK 263,5-284,0)			1,7	3	2,2	5	44,8	92	0	0	6,3	13	48,6
27 (PK 284,0-290,5)	0,2	1	9,2	48	3,2	17	6,4	34	0	0	0,7	4	19,1
<i>Total partiel – collines rocheuses et plaine de till</i>	<i>6,6</i>	<i>3</i>	<i>50,5</i>	<i>21</i>	<i>36,6</i>	<i>15</i>	<i>143,3</i>	<i>61</i>	<i>–</i>	<i>–</i>	<i>18,6</i>	<i>8</i>	<i>236,9</i>
Total – rivière Romaine	179,0	24	150,1	20	128,9	18	241,0	33	34,4	5	73,7	10	733,5
15 (rivière Bernard)	1,2	5	8,5	35	12,9	53	0,8	3	0,9	4	1,8	7	24,3
16 (rivière de l'Abbé-Huard)	6,3	13	22,3	47	18,3	39	0,1	1	–	–	6,4	14	47,1

a. Les matériaux grossiers sont composés principalement de cailloux et de blocs, mais ils peuvent contenir une certaine proportion de gravier et de sable.

b. La longueur des berges comprend les berges en rive gauche et en rive droite de même que le périmètre des îles.

- **Hauts plateaux (PK 81,8 – 197,0)** – Sauf exception, le lit de la Romaine est étroit (50-150 m) et demeure assez linéaire. La rivière coule au fond d'une profonde vallée rocheuse et son profil longitudinal présente une pente assez prononcée (3 m/km). Les principales ruptures de pente sont situées à faible distance en aval des barrages projetés de la Romaine-2, de la Romaine-3 et de la Romaine-4. Dans l'ensemble, les vitesses d'écoulement sont de fortes à moyennes, mais elles deviennent plus lentes entre les PK 125 et 130 ainsi que du PK 160 au PK 180. Ce long tronçon de la Romaine est alimenté par plusieurs tributaires importants, dont la rivière Bernard, la rivière de l'Abbé-Huard et la rivière Garneau. Des terrasses sablo-graveleuses composent 47 % des matériaux encaissants. Elles sont surtout présentes dans les secteurs où la vallée s'élargit, notamment dans le secteur des embouchures de la rivière Bernard et de la rivière de l'Abbé-Huard ainsi qu'au sud de l'embouchure de la rivière Garneau. Dans le reste du tronçon, les matériaux encaissants sont composés de roc (40 %) et, dans une moindre proportion, de sable (7 %) ou de till (6 %). Les talus riverains font en moyenne de 4 à 10 m de hauteur et atteignent parfois 30 m. Les berges sont composées à 39 % de roc, à 34 % de matériaux grossiers, à 20 % de sable et gravier et à 7 % de sable. L'érosion touche 8 % des rives. Elle est plus dispersée que dans les autres tronçons et s'attaque surtout aux talus bordant les terrasses sablo-graveleuses qui s'allongent entre les secteurs rocheux. Un pavage résistant de cailloux et de blocs protège généralement le pied des talus instables.
- **Collines rocheuses et plaine de till (PK 197,0-290,5)** – La vallée de la Romaine s'élargit et devient nettement plus évasée. Son fond est colmaté, en amont du PK 215, par de larges terrasses de matériaux principalement sableux et, plus localement, par une accumulation fluvioglaciale majeure. La pente du cours d'eau est dans l'ensemble assez faible (moins de 0,5 m/km), sauf à l'extrémité aval du tronçon et entre les PK 252 et 263, où l'écoulement est plus rapide. Le lit de la rivière s'élargit de façon importante (jusqu'à 400 ou 500 m), mais demeure assez étroit dans les secteurs de rapides. Plusieurs tributaires alimentent ce tronçon de la Romaine, dont les plus importants sont la Petite rivière Romaine, la rivière Touladis et la rivière aux Sauterelles. Les sables constituent près de 60 % des matériaux encaissants et les matériaux sablo-graveleux, environ 27 %. En général, la hauteur des talus riverains est assez faible (de 3 à 6 m), mais peut atteindre jusqu'à 40 m par endroits. La composition des berges se répartit comme suit : sable (61 %), matériaux grossiers (21 %), sable et gravier (15 %) et roc (3 %). L'érosion touche 8 % des rives, surtout des talus sableux regroupés entre les PK 217 et 227, les PK 255 et 262, et les PK 271 et 281.

19.1.3 Principales zones en érosion le long de la Romaine

Les talus instables totalisent près de 74 km, ce qui représente 10 % de l'ensemble des rives comprises entre le PK 290 et l'embouchure de la Romaine.

Environ le tiers des zones en érosion sont situées à l'aval de la Grande Chute, dans le segment de la plaine côtière compris entre les PK 5 et 35. L'érosion se manifeste par des éboulements, des glissements de terrain et de petites coulées qui surviennent sur la bordure des hautes terrasses composées d'argile marine et de sable (voir la photo 19-1).

Plus en amont, les talus instables se concentrent surtout dans le secteur des embouchures de la rivière Bernard et de la rivière de l'Abbé-Huard (PK 118-140) de même que plus au nord, entre les PK 217 et 284. Entre les PK 118 et 140, l'érosion touche la bordure des terrasses composées d'un mélange de sable et de gravier. Les matériaux les plus grossiers éboulés à la base des talus en érosion forment souvent un pavage résistant qui contribue à ralentir l'érosion (voir la photo 19-2). Entre les PK 217 et 284, les talus en érosion sont surtout sableux (voir la photo 19-3). On trouve une estimation des volumes de sédiments fournis annuellement par ces rives instables à la section 20.1.

Photo 19-1 : PK 18 de la Romaine – Vue vers le sud



Photo 19-2 : PK 133 de la Romaine – Rive gauche



Photo 19-3 : PK 257,5 de la Romaine – Rive gauche



19.1.4 Sols indurés

On observe parfois des horizons de sols indurés par cimentation d'oxydes et d'hydroxydes de fer à une faible profondeur dans les terrasses sableuses et sablo-graveleuses qui occupent le fond de la vallée de la Romaine. Ces couches sont susceptibles d'adsorber les ions métalliques et de favoriser leur accumulation.

Une étude portant sur les sols indurés a permis de préciser la distribution de ces sols, de déterminer leur teneur en métaux lourds et d'évaluer le potentiel de relargage de ces éléments dans les réservoirs projetés.

Au cours de l'avant-projet, on a effectué 1 194 sondages dans les dépôts de till et de sable et gravier situés dans les limites des réservoirs. Des sols indurés étaient présents à 39 de ces points de sondage.

Des analyses ont été faites sur seize échantillons prélevés dans des horizons de sols indurés qui se développent dans des sédiments sableux ou sablo-graveleux (voir la section M7.3.4 dans le volume 9). Les résultats indiquent que les composés caractéristiques des sols indurés (oxydes et hydroxydes de fer) n'adsorbent que de très faibles quantités d'ions potentiellement toxiques, comme l'arsenic, le cadmium, le mercure, le plomb, le sélénium et le zinc.

L'enneigement des sols dans les réservoirs créera des conditions peu favorables au relargage des ions adsorbés pour cinq raisons :

- Les horizons de sol indurés sont peu fréquents dans les limites des réservoirs projetés.
- La majeure partie des horizons indurés, en raison de leur imperméabilité, n'est pas en connexion hydraulique avec les eaux de surface et souterraines.
- La cimentation de ces horizons leur confère un caractère très résistant, difficile à modifier au contact de l'eau.
- La concentration de métaux potentiellement toxiques des horizons indurés est faible.
- La submersion entraînera une hausse du pH à l'interface sol-eau qui réduira la mobilité ionique et, par conséquent, les possibilités de relargage des ions métalliques adsorbés.

19.2 Modifications liées à la présence et à l'exploitation des aménagements

Cette section présente les trois principales modifications attendues durant la période d'exploitation du complexe de la Romaine, à savoir les modifications liées aux conditions d'érosion des rives des réservoirs (voir la section 19.2.1), les modifications liées aux tronçons court-circuités (section 19.2.2) et les modifications touchant le tronçon de la Romaine situé en aval de la centrale de la Romaine-1 (section 19.2.3).

19.2.1 Réservoirs

Déclaration de la modification

Érosion touchant 7 % des rives des réservoirs.

Source de la modification

- Présence des réservoirs.

Mesure d'atténuation

Aucune

Description détaillée de la modification

Critères d'évaluation de la modification

La description des modifications liées à l'érosion riveraine au pourtour des réservoirs projetés s'appuie sur l'évaluation de la sensibilité à l'érosion des matériaux de surface qui formeront ces milieux. L'évaluation de cette sensibilité revient à évaluer le risque que la rive soit déstabilisée. Elle dépend avant tout de la composition et de la pente des terrains, mais intègre également des données sur la largeur du plan d'eau – le fetch –, qui détermine l'énergie des vagues auxquelles les rives seront soumises. Exposées à de plus fortes vagues, les rives des parties plus larges des réservoirs (plus de 500 m) sont jugées plus sensibles que celles des parties étroites et des secteurs protégés par des îles.

Le marnage a été considéré pour chacun des réservoirs, mais dans aucun cas il n'a été retenu comme un facteur pouvant influencer sur l'érosion. Le réservoir de la Romaine 1, exploité au fil de l'eau, ne subira pratiquement aucun marnage (0,6 m

en moyenne) (voir les sections 16.2.2 et section 16.3). Bien que le marnage soit plus élevé dans les réservoirs de la Romaine 2 (4 m et 19 m), de la Romaine 3 (10 m) et de la Romaine 4 (12 m), il n'influera pas sur l'érosion pour deux raisons :

- soit les nouvelles rives ne seront pas sensibles à l'érosion, comme dans le cas des réservoirs de la Romaine 2 et de la Romaine 3 ;
- soit le marnage se produira généralement entre janvier et mai, au moment où les rives seront gelées, comme dans le cas des réservoirs de la Romaine 3 et de la Romaine 4.

La classification retenue, présentée au tableau 19-2, distingue les terrains non sensibles à l'érosion de ceux qui présentent une sensibilité faible, moyenne ou forte. Les rives composées de roc^[1] ne présentent aucune sensibilité à l'érosion, et les rives de tourbe ont une sensibilité jugée négligeable. Les rives de till et de matériaux sablo-graveleux, relativement résistantes, ont une sensibilité nulle, faible ou moyenne, selon leur pente. Les rives sableuses sont plus sensibles, en raison de la nature non cohérente des dépôts sableux. Leur sensibilité à l'érosion varie de faible à forte, en fonction de l'inclinaison de la rive. Les rives sableuses de pente forte (plus de 15°) et celles qui recoupent des dunes présentent une forte sensibilité à l'érosion. Le silt argileux, qui ne représentera qu'une faible proportion des milieux riverains du réservoir de la Romaine 1, a une sensibilité variant de faible à forte.

Dans le but de synthétiser les informations, on n'a cartographié, à l'échelle de 1 : 100 000, que les zones les plus susceptibles de s'éroder au pourtour des réservoirs (voir les cartes B et C dans le volume 10). On y a représenté par des traits rouges les zones les plus sensibles à l'érosion, en considérant un niveau d'attaque constant des vagues au niveau maximal des réservoirs. Ce niveau maximal sera maintenu durant la majeure partie de la période d'eau libre, au cours de laquelle les agents d'érosion sont les plus efficaces. Les zones les plus sensibles représentées sur la carte synthèse sont constituées de segments de rive de forte sensibilité de plus de 50 m de longueur ainsi que de segments de sensibilité moyenne quand ils sont compris entre des rives de forte sensibilité. Ces zones peuvent également intégrer quelques segments isolés de sensibilité faible à nulle. On considère que ces segments de rive les plus sensibles risquent le plus d'être déstabilisés et de subir une modification de leur profil, du fait de nouvelles conditions d'érosion. Par ailleurs, ni les segments de rive faiblement sensibles à l'érosion ni les segments de sensibilité moyenne qui leur sont adjacents ne figurent sur la carte synthèse. On considère que le risque qu'ils soient déstabilisés par l'attaque des vagues est faible et que, s'ils subissent une érosion, les modifications y seront mineures et de courte durée. À court ou moyen terme, un pavage de matériaux grossiers ou une plage s'y formera, et la végétation qui s'implantera contribuera à stabiliser définitivement ces rives.

[1] Y compris le roc masqué de moins de 2 m de matériaux meubles.

Tableau 19-2 : Classes de sensibilité à l'érosion des berges

Matériaux des berges ^a	Sensibilité à l'érosion selon la pente			
	A (< 5°)	B (5-14°)	C (15-25°)	D (> 25°)
Fetch supérieur à 500 m				
Roc (R, R+T _m /R, R+B, B/R, T _m /R, SG _m /R et S _m /R)	—	—	—	—
Till (T, T-SG, T/R, S _m /T et SG _m /T)	—	—	Faible	Moyenne
Sable et gravier (SG, S-SG, SG-T, S-SG/R, SG/R et SG/T)	—	Faible	Faible	Moyenne
Sable (S, S/R et S/T)	Faible	Moyenne	Forte	Forte
Silt, argile (SM, CM et S _m /CM)	Faible	Faible	Moyenne	Forte
Dunes	Forte	Forte	Forte	Forte
Tourbe (de toute épaisseur)	—	—	—	—
Fetch inférieur à 500 m				
Roc (R, R+T _m /R, R+B, B/R, T _m /R, SG _m /R et S _m /R)	—	—	—	—
Till (T, T-SG, T/R, S _m /T et SG _m /T)	—	—	—	Faible
Sable et gravier (SG, S-SG, SG-T, S-SG/R, SG/R et SG/T)	—	—	Faible	Faible
Sable (S, S/R et S/T)	—	Faible	Moyenne	Forte
Silt, argile (SM, CM et S _m /CM)	—	Faible	Faible	Moyenne
Dunes	Forte	Forte	Forte	Forte
Tourbe (de toute épaisseur)	—	—	—	—

a. B : blocs. CM : argile. R : roc (> 80 %). S : sable. SG : sable et gravier. SM : silt. T : till.
 L'indice « m » indique qu'il s'agit d'une couche mince (< 2 m).

Évolution des rives selon les types de matériaux

Les photos 19-4 à 19-9 montrent des types de milieux qui deviendront les rives des réservoirs projetés ainsi que des rives qui se sont formées dans des réservoirs similaires peu de temps après la mise en eau.

■ Rives de till

Les rives composées de till sont considérées comme peu sensibles à l'érosion. L'action des vagues sur les rives de till de pente forte risque d'en déstabiliser temporairement les matériaux et d'y entraîner la formation d'éboulements. Les

vagues lessiveront rapidement la fraction fine du till (sable, silt et argile), mais laisseront en place les éléments les plus grossiers (gravier, cailloux et blocs), qu'elles seront incapables de déplacer sur des distances importantes. Les taux de recul seront faibles. Les vagues de tempête contribueront à maintenir les talus dénudés. Les matériaux grossiers éboulés formeront assez rapidement, à la base des talus, un rempart qui contribuera à freiner l'érosion (voir les photos 19-4 et 19-5). Après quelques années, ces talus ne fourniront plus que de faibles volumes d'alluvions au plan d'eau.

Photo 19-4 : Dépôt de till fuselé peu sensible à l'érosion qui sera rejoint par le réservoir de la Romaine 4 (PK 199 de la Romaine)



■ Rives de sable et gravier

Les rives composées de sable et gravier sont considérées comme peu sensibles à l'érosion. Même lorsqu'elles recouperont des versants de pente forte, ces rives resteront difficilement érodables. L'attaque des vagues pourra y entraîner la formation de talus d'éboulement, mais, en raison de la relative résistance des matériaux, les taux de recul y demeureront assez faibles. Les vagues n'auront pas la force de déplacer le gravier et les cailloux sur de grandes distances, si bien que ces éléments en viendront à former un pavage au niveau de la berge. Ce revêtement résistant à l'érosion contribuera à stabiliser la rive, une situation qui pourrait être atteinte après

Photo 19-5 : Rive du réservoir Sainte-Anne (Côte-Nord) développée dans des dépôts de till peu de temps après la mise en eau du barrage de la Toulnostouc



dix à quinze ans. Dans les aires exposées à de longs fetchs, certaines très petites îles de sable et gravier pourraient disparaître et, après quelques années, faire place à des hauts-fonds ou n'émerger qu'à de bas niveaux.

■ Rives de sable

Les rives sableuses sont sensibles à l'érosion en raison de la nature non cohérente des dépôts sableux. Dans les secteurs de pente moyenne ou forte plus particulièrement, les vagues risquent de déstabiliser les matériaux et d'entraîner le déplacement du sable par éboulements successifs (voir les photos 19-6 et 19-7), jusqu'à ce qu'une pente d'équilibre soit atteinte. Les taux de recul s'approcheront de 0,2 m par an dans les aires exposées à des fetchs dépassant 500 m. Ces rives évolueront jusqu'à la formation d'une pente d'équilibre, ce qui ne surviendra qu'à long terme (plus de 25 ans), à moins que l'érosion n'atteigne auparavant des matériaux plus résistants (roc, till et sable et gravier). Les petites îles de sable seront rapidement arasées par les vagues, sauf peut-être aux endroits abrités.

Les dunes, composées de sable généralement assez fin, sont fortement sensibles à l'érosion. Elles seront rapidement arasées (moins de cinq ans) par les vagues et le sable sera redistribué le long des rives selon une pente faible (voir les photos 19-8 et 19-9).

Photo 19-6 : Talus de terrasse sableuse fortement sensible à l'érosion qui sera rejoint par le réservoir de la Romaine 4 (PK 252 de la Romaine)



Photo 19-7 : Rive sableuse en érosion du ruisseau Kanetnau, un affluent de la Romaine



Photo 19-8 : Dune longitudinale de forte sensibilité à l'érosion qui sera rejointe par le réservoir de la Romaine 1 (PK 54 de la Romaine)



Photo 19-9 : Nouvelle rive sableuse du lac Sainte-Anne (Côte-Nord) peu après la mise en eau du barrage de la Toulnostouc



■ Rives de sédiments fins

Les rives composées de sédiments fins (argile et silt) sont particulièrement sensibles à l'érosion lorsqu'elles présentent une pente forte ou qu'elles portent les marques d'anciens mouvements de masse. L'attaque des vagues à la base des argiles sensibles saturées en eau peut provoquer des éboulements et faciliter le déclenchement de glissements ou de coulées argileuses. Quand ces glissements se produisent, d'importants volumes de sédiments fins sont entraînés dans le plan d'eau puis sont emportés en suspension vers l'aval. Ces phénomènes sont soudains et surviennent souvent pendant la fonte des neiges ou après de fortes pluies, lorsque les argiles sont gorgées d'eau. La fissuration occasionnée par les cycles gel-dégel peut également rendre l'argile plus sensible à ce type de mouvement.

Description de l'érosion par réservoir

Pour faciliter la compréhension des modifications attendues, on a effectué une synthèse de la composition des rives des réservoirs projetés (voir le tableau 19-3), puis une synthèse de leur sensibilité à l'érosion (voir le tableau 19-4). Le tableau 19-5 compare les longueurs de rives actuellement en érosion et celles qui risquent le plus d'être érodées en bordure des réservoirs.

Tableau 19-3 : Matériaux présents le long des rives des réservoirs projetés (niveau d'exploitation maximal)

Réservoir	Proportion des matériaux de surface dominants (%)					
	Roc	Till	Sable et gravier	Sable	Sédiments fins	Tourbe
Romaine 1	36	0	32	18	11	3
Romaine 2	86	8	6	0	0	0,5
Romaine 3	85	13	2	0	0	0
Romaine 4	14	29	14	42	0	1

■ Réservoir de la Romaine 1

Le sable et gravier et le roc constituent les matériaux de surface dominants au pourtour du réservoir de la Romaine 1 (voir la carte B). Le tableau 19-3 montre que, au niveau d'exploitation maximal, les matériaux des berges se répartissent dans les proportions suivantes : 36 % de roc, 32 % de sable et gravier, 18 % de sable, 11 % de sédiments fins et 3 % de tourbe.

Les sédiments fins (silt et argile) recoupés par les rives n'apparaissent pas sur la carte B, car ils sont recouverts de matériaux sablo-graveleux épais (plus de 2 m). Ils occupent la base de talus et formeront les rives sur environ 7 km de longueur dans la partie étroite du réservoir, principalement sur sa rive ouest, en amont du PK 75 de la Romaine. On trouve aussi des sédiments fins sur la rive ouest de la partie large du réservoir, vers les PK 59 à 61, à la base d'un talus délimitant d'anciennes coulées argileuses.

Tableau 19-4 : Segments de rive les plus sensibles à l'érosion au pourtour des réservoirs projetés (niveau d'exploitation maximal)

Réservoir	Sensibilité moyenne ^a				Sensibilité forte ^b			Total		
	Till	Sable et gravier	Sable	Sédiments fins	Sable	Dunes	Sédiments fins	Longueur (km)	Proportion ^c (%)	
Romaine 1 (longueur totale de rives au niveau de 82,3 m : 97,7 km)										
Longueur (km)		0	0	6,2	2,5	4,4	0,8	1,2	15,1	15,4
Total partiel	Longueur (km)	8,7				6,4				
	Proportion ^c (%)	8,9				6,6				
Romaine 2 (longueur totale de rives au niveau de 243,8 m : 313,1 km)										
Longueur (km)		0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total partiel	Longueur (km)	0				0				
	Proportion ^c (%)	0				0				
Romaine 3 (longueur totale de rives au niveau de 365,8 m : 105,3 km)										
Longueur (km)		0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total partiel	Longueur (km)	0				0				
	Proportion ^c (%)	0				0				
Romaine 4 (longueur totale de rives au niveau de 458,6 m : 602,1 km)										
Longueur (km)		0	0	17,7	0	24,5	21,5	0	63,7	10,6
Total partiel	Longueur (km)	17,7				46,0				
	Proportion ^c (%)	2,9				7,6				

a. Seules les zones de sensibilité moyenne comprises entre des segments de forte sensibilité ont été prises en considération.

b. Les chiffres diffèrent de ceux de l'étude sectorielle (Poly-Géo, 2006c), puisque les données ont été arrondies à 100 m près. Ainsi, les segments de forte sensibilité peuvent comprendre des segments isolés de sensibilité faible ou nulle.

c. Proportion par rapport à l'ensemble des rives du réservoir.

Tableau 19-5 : Longueurs de rives visées par l'érosion – Conditions actuelles et futures

Réservoir	Longueur totale de rives en érosion (km)	
	Conditions futures (réservoir)	Conditions actuelles (tronçon correspondant de la rivière Romaine)
Romaine-1	15,1	9,1
Romaine-2	0	27,2
Romaine-3	0	4,0
Romaine-4	63,7	19,0
Total	78,8	59,3 ^a

a. Inclut les rives actuellement en érosion des parties des rivières Romaine, Bernard et de l'Abbé-Huard qui seront ennoyées.

Les matériaux sablo-graveleux dominent sur la rive est du réservoir, entre les PK 61 et 75, et ils sont assez bien représentés sur la rive opposée, en amont du PK 64. Le sable, plus sensible à l'érosion, est surtout présent sur la rive ouest, dans la partie large du réservoir. En amont du PK 64, il ne formera que de courts segments de rive. Le roc constitue le matériau dominant de la rive est de la partie fluviale du réservoir (PK 68-84) et il affleura régulièrement sur la rive ouest, sur toute la longueur du réservoir. À l'extrémité sud-est, la rive du plan d'eau recoupera surtout de la tourbe.

Même si un peu plus de la moitié (54 %) des rives du réservoir de la Romaine 1 seront sensibles à l'érosion à des degrés variables, seules 15 % risquent d'être déstabilisées de façon notable. Il s'agit de rives fortement sensibles (près de 7 % des rives du réservoir) et moyennement sensibles (près de 9 %).

La plupart des zones les plus sensibles sont concentrées dans la partie large du réservoir. Sur la rive est, entre les PK 53 et 63,2, les segments les plus sensibles correspondent à des secteurs où le plan d'eau rejoindra les talus bordant des terrasses sableuses, les versants raides de ravins et quelques dunes. Sur la rive ouest, entre les PK 59 et 61, la rive se développera dans le silt argileux formant la partie inférieure d'un talus d'une quinzaine de mètres de hauteur. Ce talus porte les cicatrices de deux coulées argileuses anciennes. L'argile y est surmontée d'une épaisse couche de matériaux sableux (passant du sable silteux au contact de l'argile à un matériel plus grossier en surface). Au contact des vagues du réservoir de la Romaine 1, ces rives évolueront par éboulements à court terme. L'érosion se poursuivra jusqu'à ce que des matériaux plus résistants soient rencontrés. Ailleurs au pourtour du réservoir de la Romaine 1, les rives les plus sensibles sont dispersées et peu étendues. Toutes ces zones, situées en rive ouest, vers les PK 55,5, 56, 64 et 79,5, ainsi qu'en rive est, vers le PK 76, correspondent à des talus de sable de pente forte.

Dans ce tronçon, on s'attend à une augmentation globale de l'érosion. En effet, la longueur totale des rives sensibles en bordure du réservoir de la Romaine 1 sera de 15,1 km, alors que celle des segments de rivière correspondants totalise 9,1 km.

■ Réservoirs de la Romaine 2 et de la Romaine 3

Les rives des réservoirs de la Romaine 2 et de la Romaine 3 seront en très grande partie composées de roc. Au niveau d'exploitation maximal, le roc représente 85 % à 86 % des matériaux des rives de ces deux plans d'eau. Le reste des rives s'inscrit dans des dépôts de till ou de sable et gravier assez résistants à l'attaque des vagues. Ces plans d'eau ne compteront ainsi aucune rive véritablement sensible à l'érosion (voir les photos 19-10 et 19-11).

Photo 19-10 : Escarpement rocheux qui bordera le réservoir de la Romaine 3 (PK 164 de la Romaine)



Dans ces tronçons, on s'attend à une diminution globale de l'érosion, puisque l'ensemble des zones actuellement en érosion seront ennoyées (voir les cartes B et C dans le volume 10). Le secteur pour lequel cette diminution sera la plus marquée est situé aux environs des embouchures des rivières Bernard et de l'Abbé-Huard, où est actuellement concentrée une grande partie des rives actives.

■ Réservoir de la Romaine 4

Le réservoir de la Romaine 4 s'inscrit dans un tronçon de la vallée de la Romaine caractérisé par une épaisse couverture meuble. Les sables constituent 42 % des matériaux recoupés le long du niveau d'exploitation maximal, le till, 29 %, le sable et gravier, 14 %, le roc, 14 % et la tourbe, 1 %.

En raison principalement de l'abondance des matériaux sableux, qui forment notamment d'importants champs de dunes sur la rive est de la Romaine, les milieux riverains sensibles à l'érosion seront plus étendus dans ce réservoir que dans les autres. Les rives les plus sensibles à l'érosion en conditions futures y totalisent environ 64 km, ce qui représente près de 11 % de l'ensemble des rives (voir le tableau 19-4). Celles-ci regroupent des rives de forte sensibilité (8 % des rives du réservoir) et des rives de sensibilité moyenne (3 %).

Photo 19-11 : Rives rocheuses escarpées du lac Sainte-Anne (Côte-Nord) représentatives des rives des réservoirs de la Romaine 2 et de la Romaine 3



Au sud du PK 214, la quasi-totalité des rives se développeront dans le till et le roc, et seront, par conséquent, très peu sensibles à l'érosion (voir la carte B).

Dans le secteur situé entre les PK 214 et 261 de la Romaine, les rives du réservoir seront nettement plus sensibles, car elles rejoindront de larges terrasses de sable et de matériaux sablo-graveleux bordées de talus raides, plusieurs champs de dunes, les flancs raides d'eskers ainsi que des zones de till de pente forte. Ce secteur représente l'endroit où les zones sensibles sont les plus nombreuses (voir l'agrandissement de la carte C).

Au nord du PK 261, dans la partie étroite du réservoir, la plupart des rives sont sensibles, car elles se composent de sable. Leur degré de sensibilité est variable, mais généralement faible. Dans la portion aval du tronçon (PK 261-270), au niveau d'exploitation maximal, le réservoir débordera du chenal actuel de la Romaine pour envoyer les terrains adjacents : des terrasses alluviales, d'anciens chenaux abandonnés et l'embouchure de petits tributaires. Plus au nord, entre les PK 270 et 289, la plupart des rives se développeront dans les talus riverains actuels de la Romaine, dont d'importants segments sont déjà instables. Les talus sableux de ce secteur délimitent plusieurs zones de forte sensibilité. Dans ce tronçon, on s'attend

à une augmentation globale de l'érosion par rapport aux conditions actuelles. En effet, la longueur des rives les plus sensibles du réservoir est de près de 64 km, alors que l'érosion touche actuellement 19 km de rives du secteur de la Romaine-4.

Résumé de la modification

Au total, seulement 7 % de l'ensemble des rives des réservoirs projetés seront touchées par l'érosion.

Environ 10 à 15 % des rives des réservoirs de la Romaine 1 et de la Romaine 4 seront sujettes à l'érosion. Pour la majeure partie des rives du réservoir de la Romaine 1, l'érosion en cours d'exploitation sera assez localisée, et le remaniement du profil des rives y sera somme toute d'assez faible envergure, sauf pour le segment de rive d'environ 1,5 km qui recoupe d'anciennes cicatrices de glissement. En ce qui concerne le réservoir de la Romaine 4, les rives les plus sensibles, en marge des terrasses sableuses et en bordure de dunes, seront plus continues. Par conséquent, le remaniement du profil des talus sera plus marqué.

19.2.2 Tronçons court-circuités

Déclaration de la modification

Modification négligeable des conditions d'érosion dans les tronçons court-circuités.

Source de la modification

- Gestion hydraulique des ouvrages :
 - baisse marquée du débit, entraînant une chute de la vitesse d'écoulement et un abaissement du niveau d'eau ;
 - écart important entre les débits réservés et les débits déversés.

Mesure d'atténuation

Aucune

Description détaillée de la modification

L'introduction d'un régime à très faible débit et à déversements occasionnels provoquera un changement radical des écoulements. Les écarts entre les débits déversés et les débits réservés seront beaucoup plus grands qu'entre les débits de crue et les débits moyens actuels. Le débit réservé représente environ 1 % du débit moyen en conditions actuelles. Les vitesses d'écoulement seront donc quasi nulles presque toute l'année. Les déversements, qui se produiront une année sur 2,6, atteindront des valeurs correspondant environ aux deux tiers des débits de crue

moyens actuels. Ces déversements se feront par les évacuateurs de crues situés dans la partie amont des tronçons court-circuités. Ces déversements n'excéderont pas les débits de crue actuels.

Faible modification des conditions d'érosion des rives

Les quatre segments court-circuités présentent de grandes similarités. Le lit de la rivière, de pente accentuée, forme une succession de seuils plus ou moins importants correspondant à des rapides et à des chutes. Le lit y est essentiellement rocheux, comme les îles, qui portent souvent de gros blocs (de 1 à 3 m de diamètre, en moyenne).

Les rives des tronçons court-circuités sont largement dominées par le roc et par des concentrations de cailloux ou de blocs, matériaux peu ou pas sensibles à l'érosion (voir le tableau 19-6). Des cailloux et des blocs épars sont présents le long des rives rocheuses. Localement, dans le fond de petites baies, on trouve de courts segments de rive composés de sable et gravier ou de sable.

Tableau 19-6 : Composition des rives des tronçons court-circuités

Tronçon court-circuité (longueur)	Composition des rives (%)			
	Roc	Matériaux grossiers	Sable et gravier	Sable
Romaine-1 (1,0 km)	79	6	15	0
Romaine-2 (6,6 km)	84	4	6	6
Romaine-3 (3,4 km)	78	14	5	3
Romaine-4 (1,6 km)	88	10	0	2

Les rives des tronçons court-circuités ne subissent que très peu d'érosion en conditions actuelles. La baisse marquée du débit et du niveau d'eau en dehors des périodes de crue dans ces tronçons de rivière aura donc peu d'effet sur l'érosion. Seuls deux segments de rive, d'une longueur cumulée de 300 m, sont actuellement en érosion ; ils se trouvent dans le secteur de la Romaine-2, en bordure de terrasses sablo-graveleuses situées sur la rive droite, vers les PK 87,4 et 89,6. En conditions futures, ces rives ne seront touchées par les courants que pendant la période des déversements de crue. L'érosion risque donc de diminuer à long terme.

Risque négligeable d'augmentation de l'érosion à l'aval immédiat des évacuateurs de crues et des galeries de fuite

Dans les secteurs de la Romaine-1, de la Romaine-3 et de la Romaine-4, les rives faisant face aux évacuateurs de crues et aux galeries de fuite des centrales sont composées de roc ou de blocs et cailloux résistants à l'érosion. On n'y prévoit aucune modification. Dans le secteur de la Romaine-2, les eaux déversées perdront la plus grande partie de leur vitesse dans un bassin de dissipation aménagé à la

sortie de l'évacuateur de crues. Les eaux qui réintégreront le lit de la Romaine plus en aval s'écouleront plus lentement que durant les crues actuelles. Les risques de provoquer de l'érosion en bordure de la terrasse sablo-graveleuse située sur la rive opposée sont donc négligeables.

Aucun risque d'encaissement des tributaires

Les cours d'eau alimentant les tronçons court-circuités empruntent des lits rocheux ou composés de gravier, de cailloux et de blocs résistants à l'érosion. On y trouve souvent des seuils rocheux à faible distance de leur embouchure. La baisse générale du niveau d'eau dans les tronçons court-circuités n'entraînera donc pas d'encaissement des tributaires.

Résumé de la modification

La majeure partie des rives des tronçons court-circuités sont composées de matériaux très résistants à l'érosion. La baisse du niveau d'eau n'aura pas d'effet notable sur l'érosion des rives. Aucun des tributaires qui atteignent ces tronçons ne subira d'encaissement. Pendant les déversements de crue, les vitesses d'écoulement n'atteindront pas celles des crues actuelles, si bien qu'en conditions futures les deux courts segments de rive actuellement instables devraient être moins sollicités et se stabiliser progressivement. Dans le secteur de la Romaine-2, les risques d'érosion des rives sablo-graveleuses situées sur la rive opposée à la sortie de l'évacuateur de crues sont considérés comme négligeables. La vitesse d'écoulement des eaux déversées sera grandement réduite puisqu'elles traverseront un bassin de dissipation avant de réintégrer le lit de la Romaine.

19.2.3 Tronçon en aval de la centrale de la Romaine-1

Déclaration de la modification

Bilan global de l'érosion équivalent au bilan actuel.

Source de la modification

- Gestion hydraulique des ouvrages :
 - hausse de la température des eaux provenant de la centrale et augmentation du débit en hiver ;
 - régularisation du débit.

Mesure d'atténuation

Aucune

Description détaillée de la modification

La régularisation des crues de printemps et d'automne sera le principal changement apporté au régime hydraulique par la mise en service du complexe de la Romaine.

En conditions futures, le débit moyen de la période printanière atteindra 440 m³/s, ce qui représente une baisse d'environ 40 % par rapport au débit moyen actuel de 750 m³/s durant la même période. Une année sur 2,6, durant les déversements, les débits de crue atteindront 965 m³/s. L'autre année, le débit n'atteindra que 485 m³/s. Ces débits représentent respectivement les deux tiers et le tiers du débit actuel de la crue bisannuelle (1 500 m³/s).

En octobre, pendant la période de crue automnale, on maintiendra un débit de 242 m³/s en aval de la centrale de la Romaine-1. Cette valeur est inférieure au débit mensuel moyen (350 m³/s) et au débit de la crue bisannuelle (578 m³/s) observés pour cette période en conditions actuelles.

En dehors des périodes de crue, le débit turbiné variera le plus souvent entre 200 et 400 m³/s pour répondre à la demande de pointe, selon qu'on utilisera une ou deux turbines. La majeure partie de la journée, on n'exploitera qu'une seule turbine ; les deux turbines seront utilisées simultanément environ six heures par jour. Ces changements de régime représentent une augmentation marquée des débits par rapport aux conditions hivernales actuelles (débit moyen de l'ordre de 85 m³/s). L'été, en revanche, il y aura peu de changements par rapport aux conditions moyennes actuelles (débit moyen de 300 m³/s) et la variabilité du débit demeurera approximativement la même. Les débits extrêmes seront cependant éliminés, si bien que le débit sera plus longtemps maintenu entre 200 et 400 m³/s (15 % plus longtemps qu'en conditions actuelles). La fréquence de dépassement du débit réservé écologique (170 m³/s) sera de 85 % en août et en septembre. La répercussion de cette gestion hydraulique aura pour conséquence un niveau d'eau moyen d'été légèrement plus élevé qu'en conditions actuelles. La fluctuation du niveau engendrée par le passage fréquent d'un débit à l'autre s'atténuera progressivement vers l'aval, passant de 100 cm près de la centrale à 50 cm vers le PK 35 et à 15 cm au PK 26, et devenant pratiquement nulle à l'aval du PK 16. Le niveau d'attaque des agents d'érosion sera donc maintenu plus constant sur les rives comprises entre les PK 0 et 25.

Aucune modification causée par la disparition partielle de la couverture de glace

Le segment de la Romaine compris entre les PK 45,5 et 51,5 sera en grande partie libre de glace pendant toute la saison hivernale. Ce phénomène est occasionné par la hausse de la température des eaux turbinées, mais également par l'augmentation du débit en hiver, qui limitera la formation de glace dans les sections à écoulement rapide (voir la section 18.2.4). Un pied de glace se formera toutefois le long des

rives, protégeant les talus riverains de l'attaque des vagues et des glaces flottantes. Lorsqu'ils sont gelés, les matériaux des berges et des talus riverains offrent une grande résistance aux agents d'érosion.

Modification mineure de l'érosion causée par la régularisation du débit

En hiver, l'augmentation du débit et du niveau d'eau n'aura pas de répercussion sur l'érosion des rives, étant donné que les matériaux composant les rives et les talus seront gelés.

Au printemps et à l'automne, la régularisation des débits de crue aura pour effet de diminuer l'érosion qui survient actuellement en période de crue. Certains talus actifs ne seront plus sollicités que très rarement durant les crues et pourront se stabiliser à long terme. La plupart des talus riverains seront encore rejoints par les vagues, mais à un niveau inférieur. L'érosion s'y poursuivra à un degré moindre, et les volumes de sédiments diminueront.

En été, la variation du débit entre 200 et 400 m³/s pendant presque toute la période estivale fera en sorte que l'érosion se manifestera plus fréquemment qu'en conditions actuelles. Le niveau d'eau sera maintenu à des valeurs légèrement supérieures, de sorte que la base de la plupart des talus sera rejointe plus fréquemment, surtout en août et en septembre. L'érosion se poursuivra donc régulièrement au droit des talus actifs au cours de la période estivale. À l'aval du PK 25, où le niveau d'eau sera plus constant, l'érosion pourrait s'étendre à certaines portions de talus actuellement stables. Dans ce secteur, ce sont les rives sableuses, formées de dépôts non cohérents, qui seront plus vulnérables à l'attaque répétée des vagues et des courants, plutôt que les rives d'argile consolidée. On compte 8 km de ces rives sableuses en aval du PK 25. Généralement basses (de 1 à 2 m), ces rives ne fourniraient que de faibles volumes de sable supplémentaires à la rivière Romaine (de l'ordre de quelques centaines de tonnes par année).

Le bilan global de l'érosion en conditions futures est à peu près équivalent au bilan actuel. La perte des apports sédimentaires fournis actuellement par l'érosion en période de crue sera à peu près compensée par la quantité de sédiments produite par l'érosion accrue en été. L'érosion se poursuivra sur les rives déjà instables, mais pourrait gagner quelques rives sableuses stables en aval du PK 25. Les volumes de sédiments fournis par l'érosion devraient globalement rester les mêmes. En revanche, l'érosion sera répartie tout au long de la période d'eau libre (de la mi-mai à la mi-octobre) et non plus principalement en période de crue, comme en conditions actuelles.

Résumé de la modification

Les changements apportés au régime hydraulique auront peu de répercussions sur le bilan de l'érosion des rives du cours inférieur de la Romaine. Les quantités de sédiments fournies par l'érosion demeureront sensiblement les mêmes, mais seront

livrées à la rivière durant toute la période d'eau libre. La longueur de rives instables risque de s'accroître légèrement en aval du PK 25, sur quelque 8 km, mais, compte tenu de la morphologie des rives, les volumes de matériaux érodés seront négligeables.

19.3 Modifications liées aux activités de construction

Les activités de construction n'entraîneront pas de modification de la géomorphologie de la zone d'étude. Les modifications liées à la mise en suspension de particules fines pendant la construction des ouvrages de dérivation et le remplissage des réservoirs sont traitées à la section 20.3.

20 Dynamique sédimentaire

20.1 Conditions actuelles

20.1.1 Démarche méthodologique

Le principal objectif de l'étude consiste à dresser un portrait de la dynamique sédimentaire actuelle du bassin versant de la rivière Romaine, de façon à évaluer les modifications susceptibles de s'y produire à la suite de l'aménagement du complexe de la Romaine.

La méthode 8 dans le volume 9 décrit la démarche méthodologique de l'étude. Le présent texte résume les résultats des quatre approches suivies pour dresser le portrait de la dynamique sédimentaire de la Romaine :

- calcul des apports sédimentaires potentiels issus de l'érosion des rives dans le bassin versant de la Romaine ; on a évalué les volumes de matériaux érodés annuellement à partir de photographies aériennes, en mesurant entre autres le taux de recul des talus, ainsi qu'à partir des observations de terrain de 2004 et de 2005 ;
- mesure des charges sédimentaires de fond et en suspension durant les crues printanières de 2003 et de 2004 à trois stations de la rivière Romaine ;
- calcul de la charge théorique de transport de fond à ces mêmes stations, selon la bathymétrie, les données hydrauliques et la nature du lit du cours d'eau ;
- étude du transit sédimentaire par traçage géochimique, qui met en évidence les discontinuités de la composition de la charge de fond à l'intérieur du bassin versant ; à cette fin, on a échantillonné les sédiments du lit de la Romaine et de ses tributaires.

Les résultats de ces quatre approches sont décrits en détail dans l'étude sectorielle suivante :

- Poly-Géo. 2006a. *Complexe de la Romaine. Étude de la dynamique sédimentaire*. Préparé pour Hydro-Québec Équipement. Saint-Lambert, Poly-Géo. 121 p. et ann.

20.1.2 Érosion et apports sédimentaires dans le bassin versant de la Romaine

20.1.2.1 Apports de la rivière Romaine

Les talus instables le long de la Romaine totalisent près de 74 km de longueur, ce qui représente 10 % de l'ensemble des rives comprises entre le PK 295 et l'embouchure du cours d'eau. Le tableau 20-1 montre les volumes de matériaux érodés annuellement par la rivière. L'ensemble des rives en érosion de la Romaine fournirait environ 5 000 m³/a (ou 8 000 t/a) de matériaux grossiers, un peu plus de 26 000 m³/a (environ 42 000 t/a) de sable et 12 000 m³/a (environ 16 000 t/a) de sédiments fins (silt et argile).

Tableau 20-1 : Volumes de sédiments issus de l'érosion de rives instables en aval du PK 295 de la Romaine

Unité ou sous-unité physiographique	Longueur de berge en érosion (m)	Volume de sédiments ^a issus de l'érosion (m ³)				Volume de sédiments ^{a b} considéré dans l'étude du bilan sédimentaire	
		Silt et argile	Sable	Éléments grossiers	Total	Sable, silt et argile (m ³)	Proportion du volume total issu de l'érosion (%)
Plaine côtière	22 500	9 160	3 720	< 10	12 890	12 880	34
Piémont	9 100	1 510	1 260	390	3 160	2 770	7
Hauts plateaux	23 400	530	12 770	3 610	16 910	13 300	35
Collines rocheuses et plaine de till	18 600	840	8 520	940	10 300	9 360	24
Total	73 600	12 040	26 270	4 950	43 260	38 310	100

a. Valeurs arrondies à 10 m³ près.

b. À l'exclusion des éléments grossiers.

La majeure partie des apports sableux résulte de l'érosion des rives situées à l'amont du bassin des Murailles (PK 82,5). Les plus grands volumes proviennent des hauts plateaux (surtout entre les PK 118 et 140) ainsi que des collines rocheuses et de la plaine de till (entre les PK 217 et 284). Les rives en érosion du piémont et de la plaine côtière n'en produisent qu'environ 5 000 m³.

La plus grande partie des sédiments fins (silt et argile) est livrée à la rivière Romaine par les talus instables situés à l'aval du bassin des Murailles. Ces particules fines proviennent principalement d'éboulements et de glissements dans les hauts talus de la plaine côtière (PK 5-30) et, dans une moindre proportion, des talus instables bordant les hautes terrasses composées de sable et gravier et de sédiments fins, à l'extrémité nord du piémont (PK 75-82).

20.1.2.2 Apports des tributaires

L'étude de l'érosion le long des tributaires a porté sur quatorze des principaux cours d'eau qui alimentent la Romaine en aval du PK 295, soit la rivière Puyjalon, la rivière Romaine Sud-Est, le ruisseau sans dénomination situé aux environs du PK 95, la rivière Bernard, la rivière de l'Abbé-Huard, le ruisseau Mista, les rivières Garneau, Glapion, Baubert et Jérôme, la Petite rivière Romaine, le ruisseau Katahtauatshupunan ainsi que les rivières Touladis et aux Sauterelles.

L'érosion dans les tributaires de la Romaine est faible, si bien que ceux-ci ne livrent que de modestes volumes d'alluvions à la rivière. L'ensemble des rives en érosion des tributaires fournirait près de 8 000 m³/a (environ 12 000 t/a) de sable et un peu plus de 650 m³/a (environ 900 t/a) de sédiments fins (silt et argile).

Les rivières aux Sauterelles et de l'Abbé-Huard font cependant exception, avec respectivement 9 km et 8 km de rives en érosion. La présence d'un delta bien développé à leur embouchure indique qu'une bonne part de ces matériaux rejoint la rivière Romaine (voir les photos 20-1 et 20-2). À elles seules, ces deux rivières fournissent 95 % du sable et 91 % des sédiments fins apportés par les tributaires. La rivière Puyjalon, la rivière Bernard, la Petite rivière Romaine, la rivière Touladis et le ruisseau du PK 95, moins touchés par l'érosion (avec chacun de 2 à 3 km de rives instables), ne produiraient que de faibles volumes de sédiments. La rivière Bernard et la Petite rivière Romaine contribuent respectivement pour 1 % et 2 % des apports sableux totaux. La rivière Puyjalon participe pour environ 5 % des apports de silt et d'argile. Les sept autres tributaires ne fournissent que très peu de sédiments à la Romaine.

20.1.3 Charge sédimentaire de la rivière Romaine

La mesure de la charge de fond et de la charge en suspension à trois stations établies sur la Romaine a permis d'estimer la charge sédimentaire annuelle de la rivière. Les trois stations sont réparties comme suit :

- station amont (PK 162,5) : près de l'emplacement prévu de la centrale de la Romaine-3 ;
- station médiane (PK 53,5) : près de l'emplacement prévu de la centrale de la Romaine-1 ;
- station aval (PK 3,8) : près de l'embouchure de la Romaine.

Les mesures ont été prises pendant la période de crue de 2003 (PK 3,8 et 53,5) et de 2004 (PK 3,8 et 162,5). Le tableau 20-2 présente les charges estimées à partir de ces mesures.

Photo 20-1 : Embouchure de la rivière de l'Abbé-Huard au PK 131,5 de la Romaine – Vue vers le nord



Photo 20-2 : Delta de la rivière aux Sauterelles au PK 282 de la Romaine



Tableau 20-2 : Charge sédimentaire annuelle estimée aux PK 3,8, 53,5 et 162,5 de la Romaine

Saison d'échantillonnage	Charge sédimentaire annuelle (t/a) ^a					
	Station aval (PK 3,8)		Station médiane (PK 53,5)		Station amont (PK 162,5)	
	Suspension	Fond	Suspension	Fond	Suspension	Fond
2003	62 000	8 000	30 000	3 000	Non mesurée	Non mesurée
2004	43 000	8 000 à 12 000	Non mesurée	Non mesurée	27 000	6 000 à 7 000

a. Valeurs arrondies à 1 000 t près.

20.1.3.1 Charge de fond

La relation entre le débit de la Romaine et la charge de fond est synchrone, ce qui signifie que la variation du débit entraîne instantanément une variation de la charge. La charge de fond est essentiellement composée de sables moyen et grossier. Les valeurs estimées sur une base annuelle sont les suivantes :

- PK 3,8 : de 8 000 à 12 000 t/a ;
- PK 53,5 : environ 3 000 t/a ;
- PK 162,5 : environ 6 000 t/a.

La charge de fond, qu'elle soit mesurée sur une base annuelle ou journalière, demeure plus élevée à la station aval qu'aux deux autres stations. On observe une augmentation de la charge de fond durant la première phase de la crue, surtout à la station aval (PK 3,8). Durant la décrue, la charge de fond diminue à la station aval mais demeure forte aux deux stations situées plus en amont, malgré la diminution du débit et de la vitesse d'écoulement.

20.1.3.2 Charge de fond théorique

On a calculé la charge de fond théorique de la Romaine à partir des données hydrauliques et bathymétriques obtenues aux trois stations de mesure de la charge sédimentaire. Ces valeurs théoriques correspondent à la capacité de transport potentielle de la rivière. Elles révèlent que la rivière Romaine a un potentiel de transport beaucoup plus élevé que ce qui a été mesuré aux stations des PK 53,5 et 162,5 : la charge de fond mesurée atteint à peine 20 % de la charge théorique au PK 162,5 et 7 à 13 % des valeurs théoriques au PK 53,5. Au PK 3,8, la charge sédimentaire mesurée est égale à la capacité de transport de la rivière.

20.1.3.3 Charge en suspension

La relation entre le débit et la charge en suspension n'est pas synchrone. Le pic de la charge en suspension précède de cinq à quinze jours les débits maximaux de la crue à la station aval. En ce qui concerne la taille des matières en suspension, il semble qu'on trouve, en plus du silt et de l'argile, des proportions non négligeables

de sables fin et moyen. Les valeurs estimées de la charge annuelle en suspension sont les suivantes :

- PK 3,8 : de 43 000 à 62 000 t/a ;
- PK 53,5 : environ 30 000 t/a ;
- PK 162,5 : environ 27 000 t/a.

Les valeurs estimées aux stations amont et médiane correspondent respectivement à 48 % et à 62 % des valeurs mesurées à l'embouchure (voir le tableau 20-2). À ces deux stations, les charges saisonnières calculées pour la période de la crue représentent respectivement entre 78 % et 85 % et entre 77 % et 89 % de la charge annuelle estimée à l'embouchure de la Romaine. Une contribution de particules sableuses en saltation – un phénomène non uniforme et difficile à évaluer – influe sur les volumes annuels en suspension aux trois stations. Les particules qui sont en saltation le demeurent dans les segments de rapides et se déposent dans les élargissements où l'écoulement est plus lent. On ne peut donc pas cumuler les charges en suspension d'une station située en amont pour expliquer les charges en suspension d'une station située en aval.

20.1.4 Discontinuités de la composition géochimique des sédiments du lit de la Romaine et de ses tributaires

La figure 20-1 illustre les tendances principales à l'intérieur du bassin versant de la Romaine, déterminées à partir d'analyses géochimiques et de tests statistiques (composantes principales et distances de composition). Elle montre aussi les limites des principaux domaines ainsi que les discontinuités géochimiques qui ont été décelées.

L'analyse des distances de composition, effectuée sur des échantillons liés entre eux par leur position respective le long du parcours des eaux, a permis de déceler un total de six discontinuités majeures sur le cours de la Romaine, aux environs du PK 285 (discontinuités S1 et N1), du PK 255 (S2), du PK 200 (S3), du PK 135 (S4), du PK 67 (S5) et du PK 50 (S6) (voir la figure 20-1). Chacune des discontinuités représente un changement significatif dans la composition géochimique entre l'amont et l'aval. Ce changement peut être occasionné par :

- la sédimentation partielle ou totale de la charge de fond, entraînant son renouvellement progressif ;
- l'incorporation de sédiments provenant d'une nouvelle source, tel un tributaire, ou de l'érosion locale des rives de la Romaine.

Ces deux phénomènes peuvent se produire de façon simultanée et concurrente.

En comparant la composition des sédiments deltaïques des tributaires avec celle des sédiments de la rivière Romaine, en amont et en aval de l'embouchure des tributaires, on peut évaluer la contribution sédimentaire des tributaires et l'étendue de leur influence sur la composition de la charge sédimentaire de la Romaine.

Figure 20-1 : Transit sédimentaire en aval du PK 290,0 de la Romaine

11x17

Figure 20-1 : Transit sédimentaire en aval du PK 290,0 de la Romaine

Un tributaire qui contribue de façon importante à la charge sédimentaire de la Romaine devrait influencer sur la composition des sédiments du lit de la rivière à l'aval du point de confluence. L'analyse comparative a été effectuée pour l'ensemble des tributaires présentant des deltas bien développés à la confluence avec la Romaine, soit la rivière aux Sauterelles, la rivière Touladis, le ruisseau Katahtauatshupunan, la Petite rivière Romaine, les rivières Jérôme, Baubert, de l'Abbé-Huard et Bernard, le ruisseau du PK 95, la rivière Romaine Sud-Est et la rivière Puyjalon. Voici les principaux constats tirés de cette analyse :

- Les apports sédimentaires de la rivière aux Sauterelles influencent de façon notable la charge sédimentaire de la Romaine jusque vers le PK 256, soit 26 km en aval du point de confluence.
- Les apports de la rivière de l'Abbé-Huard et, dans une moindre mesure, ceux de la rivière Bernard modifient la composition des sédiments de la Romaine dans le secteur immédiat de leur embouchure. Cette influence ne se fait sentir que sur environ 7 km vers l'aval. Une faible proportion des apports de ces deux rivières semblent être prise en charge efficacement par la Romaine.
- Les autres cours d'eau étudiés contribuent faiblement ou de façon négligeable à la charge sédimentaire de la Romaine.

20.1.5 Bilan et transit sédimentaires de la rivière Romaine

Pour établir le bilan sédimentaire de la Romaine, on a segmenté la rivière en trois tronçons qui s'étendent à l'amont de chaque station de mesure de la charge sédimentaire, soit les tronçons compris entre les PK 290,0 et 162,5, entre les PK 162,5 et 53,5 et entre les PK 53,5 et 3,8. Pour chacun des tronçons, le bilan prend en considération :

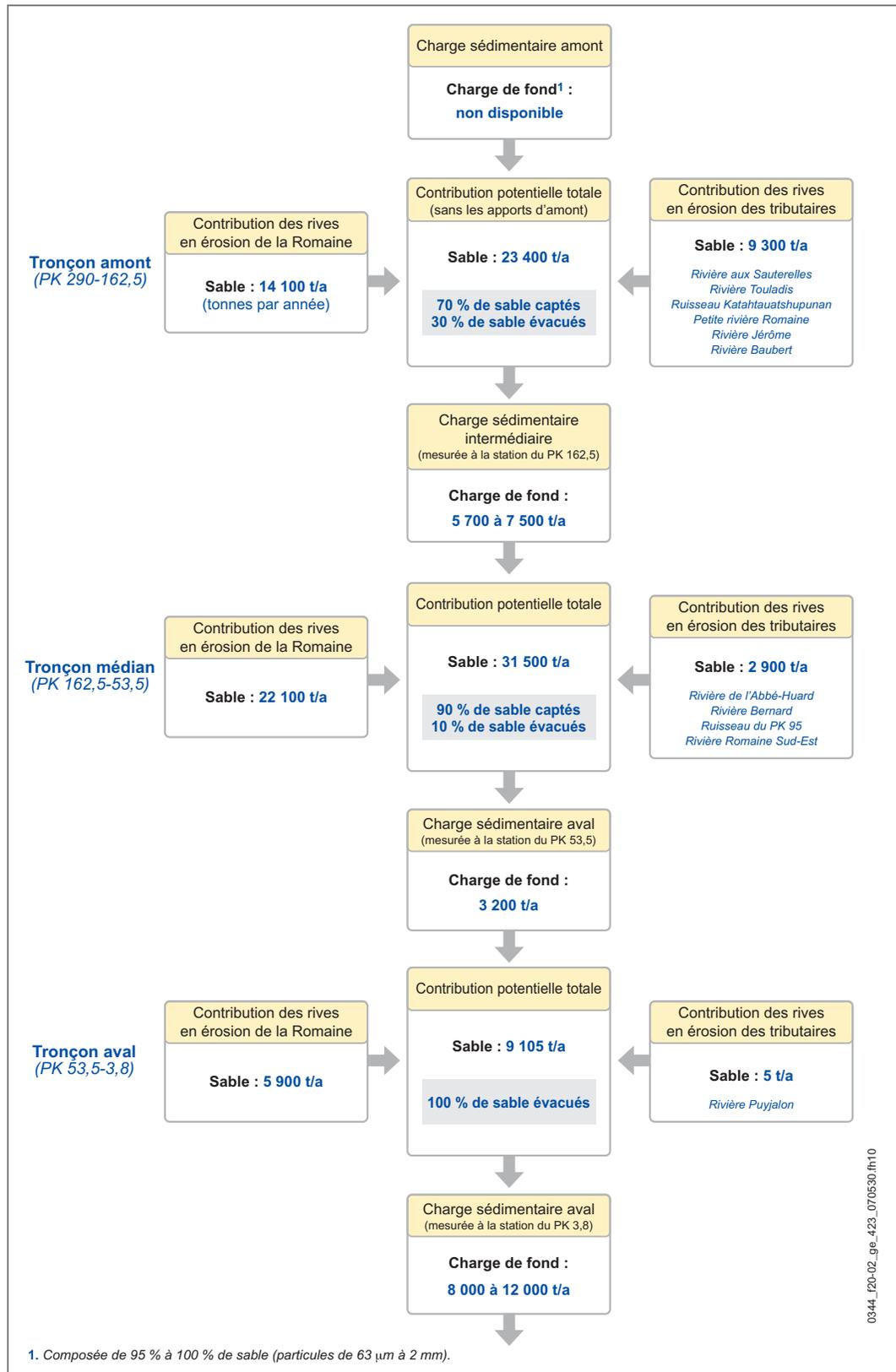
- la charge sédimentaire mesurée à l'aval du tronçon ;
- les apports potentiels de sédiments fournis par les rives en érosion du tronçon en question (indiqués au tableau 20-1) et par les tributaires qui l'alimentent ;
- les apports potentiels de sédiments provenant du cours amont de la rivière.

20.1.5.1 Charge de fond (sable)

La figure 20-2 schématise le bilan sédimentaire de la charge de fond^[1] dans les trois tronçons de la Romaine. La figure 20-1 illustre le profil longitudinal de la rivière et met en relation les divers éléments du milieu (substrat rocheux, composition des berges, talus instables, discontinuités géochimiques, pièges sédimentaires, etc.) de façon à faire ressortir le transit de la charge de fond le long de la Romaine.

[1] La charge de fond considérée tant dans le calcul des apports par érosion que dans la mesure de la charge sédimentaire est constituée de sable (particules de 63 µm à 2 mm).

Figure 20-2 : Bilan annuel de la charge sédimentaire de fond du PK 290,0 au PK 3,8 de la Romaine



Tronçon amont (PK 290,0-162,5)

Ce tronçon de rivière chevauche les portions de la rivière Romaine touchées par les aménagements projetés de la Romaine-3 et de la Romaine-4.

Intrants (23 400 t/a)

Le tronçon amont est alimenté par la rivière aux Sauterelles, la rivière Touladis, le ruisseau Katahtauatshupunan, la Petite rivière Romaine, la rivière Jérôme et la rivière Baubert, qui lui livrent environ 9 300 t/a de sable. La rivière aux Sauterelles fournit à elle seule les deux tiers de la contribution totale des tributaires. Les talus instables le long du tronçon amont, situés pour l'essentiel entre les PK 282 et 215, produisent 14 100 t/a de sable. La quantité de sédiments provenant de l'amont de la zone d'étude n'est pas connue.

Extrants (de 5 700 à 7 500 t/a)

Environ 30 % des apports sableux du tronçon amont (soit quelque 6 500 t/a) parviennent au PK 162,5 et sont évacués vers l'aval. Par conséquent, 70 % de la charge de fond (près de 17 000 t/a) sont captés à l'intérieur du tronçon. Une certaine proportion peut s'accumuler au pied des talus en érosion, alors que le reste se dépose dans les bassins du tronçon où l'écoulement est lent.

Dynamique sédimentaire

Le tronçon amont a subi une accumulation nette de sédiments en 2003 et en 2004. Les discontinuités géochimiques des matériaux composant le lit de la rivière tendent à confirmer que le transport des sédiments est peu efficace et que le tronçon amont est en période de remplissage. Les apports sédimentaires, particulièrement abondants en raison de la production de la rivière aux Sauterelles et des nombreux talus en érosion de la Romaine, seraient stockés principalement entre les PK 290 et 215 ; ce segment présente en effet une pente faible qui favorise la sédimentation, comme en témoignent les nombreux hauts-fonds sableux visibles dans la Romaine.

Tronçon médian (PK 162,5-53,5)

Ce tronçon de la Romaine, d'une longueur de 109 km, sera touché par les aménagements de la Romaine-1 et de la Romaine-2.

Intrants (31 500 t/a)

Les tributaires suivants se jettent dans le tronçon médian : la rivière de l'Abbé-Huard, la rivière Bernard, le ruisseau du PK 95 et la rivière Romaine Sud-Est. L'érosion des berges de ces tributaires procure 2 900 t/a de sable à la Romaine, dont près de 60 % proviennent de la rivière de l'Abbé-Huard. L'érosion des rives de la

Romaine comprises dans le tronçon fournit 22 100 t/a de sable, la plus grande partie provenant des rives instables entre les PK 142 et 82. S'ajoutent à cela des apports d'environ 6 500 t/a provenant du tronçon amont.

Extrants (3 200 t/a)

Environ 10 % des apports sableux du tronçon médian (soit 3 200 t/a) parviennent au PK 53,5 et poursuivent leur course vers l'aval. Le reste (environ 28 300 t/a) est capté par les bassins du tronçon où l'écoulement est lent.

Dynamique sédimentaire

Comme le tronçon amont, le tronçon médian a subi une accumulation nette de sédiments au cours des deux années de mesure et serait en période de remplissage. Le stockage des apports sédimentaires se concentre dans trois segments de la Romaine :

- le segment de rivière qui s'étend depuis les embouchures des rivières de l'Abbé-Huard et Bernard jusque vers le PK 106, où les talus en érosion sont nombreux ;
- le segment compris entre les PK 90 et 82, qui englobe une série de bassins, dont le principal est le bassin des Murailles ;
- le segment qui s'étend du PK 64 au PK 53,5, qui comprend quelques bassins plus ou moins étendus.

Le tronçon médian présente deux discontinuités géochimiques principales :

- La discontinuité S4, qui couvre l'embouchure des rivières de l'Abbé-Huard et Bernard, indique que l'influence des apports ne se fait presque plus sentir en aval du PK 124. Ainsi, ces tributaires contribueraient peu à la charge sédimentaire de la Romaine et les apports provenant des talus instables du tronçon médian seraient transportés efficacement sur moins de 5 à 10 km.
- La discontinuité S5, située vers le PK 68, indique qu'une faible proportion des apports provenant de l'amont du PK 68 atteignent le PK 53,5.

Tronçon aval (PK 53,5-3,8)

Le tronçon aval s'allonge sur une cinquantaine de kilomètres à l'aval de la Grande Chute (PK 52,5), où sera construit le barrage de la Romaine-1.

Intrants (9 105 t/a)

La rivière Puyjalon, seul tributaire d'importance du tronçon aval, ne produit qu'une infime quantité de sable (5 t/a). L'érosion des rives de la Romaine comprises dans le tronçon aval en fournit 5 900 t/a, l'essentiel provenant du segment compris entre les PK 25 et 4. Les apports du tronçon médian sont de 3 200 t/a.

Extrants (de 8 000 à 12 000 t/a)

La totalité des apports sédimentaires du tronçon aval (environ 10 000 t/a) semblent parvenir au PK 3,8 et poursuivre leur course vers l'embouchure de la Romaine. Ce tronçon est donc le seul à présenter un bilan sédimentaire équilibré : les apports sont presque entièrement transférés vers l'aval et très peu de sédiments sont retenus dans le tronçon.

Dynamique sédimentaire

Le tronçon aval ne semble pas avoir stocké de sédiments au cours des deux années de mesure (2003 et 2004), et le bilan sédimentaire y est nul ou en équilibre. La production annuelle de matériaux érodés est compensée par l'évacuation d'une quantité équivalente de particules vers l'aval. Les pièges sédimentaires présents dans le tronçon (aux PK 51, 43, 36, 30, 26 et 15) auraient atteint leur pleine capacité et les apports additionnels seraient transférés vers l'aval. La discontinuité géochimique S6, située au pied de la Grande Chute (vers le PK 51), indique que les sédiments du lit de la rivière en aval de ce point ont une composition homogène et que la contribution des apports d'amont (de composition différente) est faible.

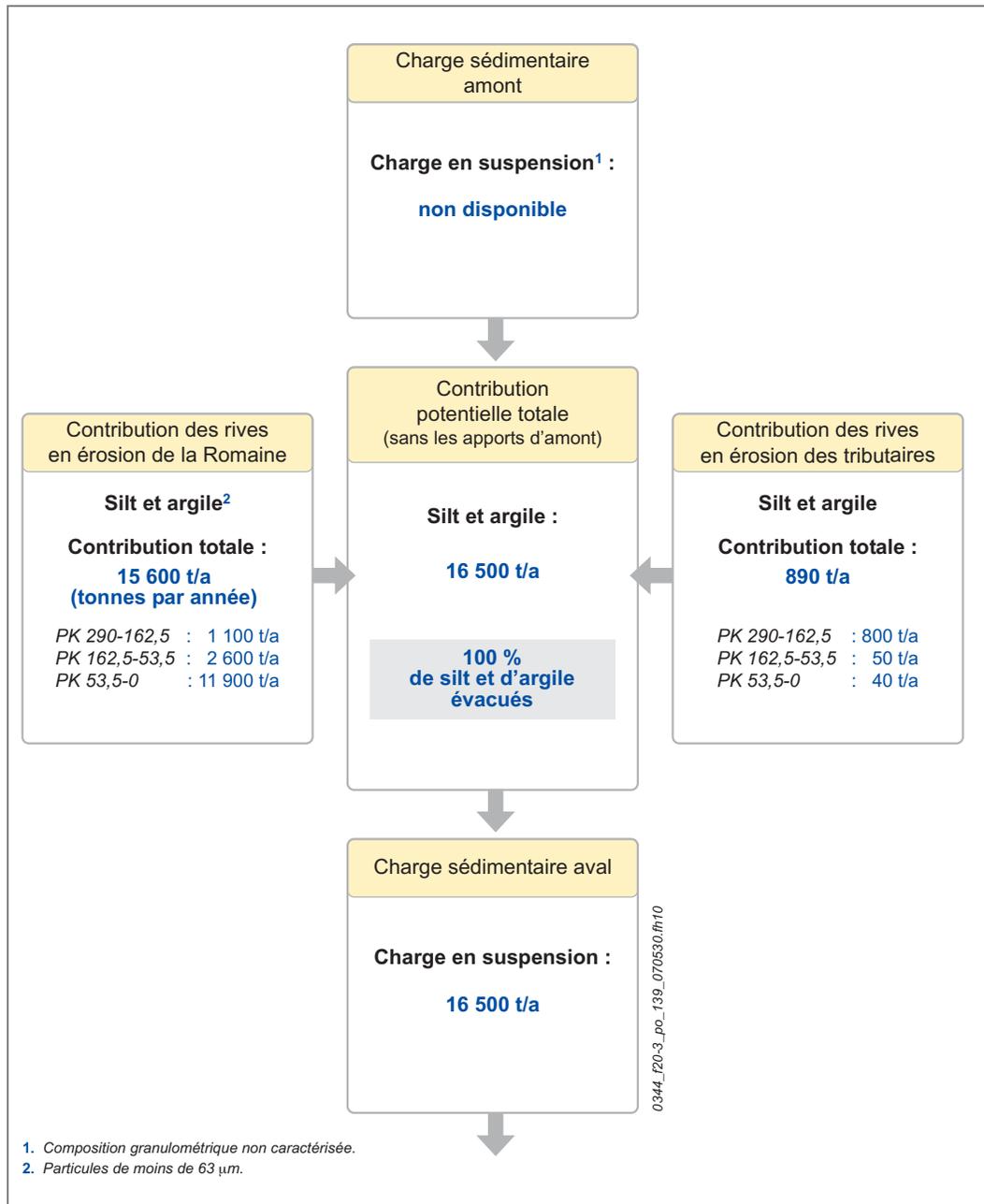
20.1.5.2 Charge en suspension (silt et argile)

Les silts et les argiles considérés dans le calcul des volumes de matériaux érodés correspondent aux particules dont la taille est inférieure à 63 µm. Les particules en suspension échantillonnées aux trois stations de mesure englobent, en plus des silts et des argiles, une proportion non déterminée de sable transporté par saltation. Il y a lieu de croire que la mesure de la charge en suspension surestime la quantité de silt et d'argile réellement transportée aux points d'échantillonnage. Pour cette raison, le bilan sédimentaire des silts et des argiles tient compte uniquement de l'estimation des volumes de sédiments fins érodés par la rivière Romaine et ses tributaires. Les résultats sont schématisés à la figure 20-3.

La quantité de particules fines (silt et argile) fournie par les talus en érosion de la Romaine et de ses principaux tributaires totalise 16 500 t/a. Environ 95 % de ces apports sont produits par les talus de la plaine côtière (PK 25-4) et, dans une moindre mesure, par ceux du piémont (PK 82-76). Seulement 5 % des apports totaux de silt et d'argile sont issus des tributaires : la majeure partie (90 %) est apportée par la rivière aux Sauterelles, le reste provenant surtout des rivières Puyjalou et de l'Abbé-Huard.

Les conditions d'écoulement le long de la Romaine permettent difficilement la sédimentation des particules fines, même dans les bassins les plus profonds. On évalue ainsi que la presque totalité des silts et des argiles produits par érosion participe à la charge sédimentaire et est transportée jusqu'à l'embouchure de la rivière.

Figure 20-3 : Bilan annuel de la charge sédimentaire silto-argileuse de la Romaine



Un peu plus des trois quarts de la charge de sédiments fins est engendrée par l'érosion des hauts talus argileux situés en aval de la Grande Chute, plus particulièrement entre les PK 5 et 30. Le reste provient surtout du secteur immédiatement à l'aval du bassin des Murailles (PK 82-76) ainsi que des apports de la rivière aux Sauterelles et des talus instables situés à l'amont du barrage projeté de la Romaine-4 (PK 191,9).

20.2 Modifications liées à la présence et à l'exploitation des aménagements

20.2.1 Réservoirs

Déclaration de la modification

Hausse temporaire de la production et du transit de particules fines et confinement des apports sableux dans les réservoirs.

Source de la modification

- Présence des réservoirs.

Mesure d'atténuation

Aucune

Description détaillée de la modification

Hausse temporaire de la production et du transit de particules fines

Durant les premières années suivant la mise en eau, la couche superficielle des sols exposés à l'action des vagues sera remaniée localement et des particules fines (organiques et minérales) seront libérées dans les réservoirs. Ces particules seront maintenues en suspension, et les plus fines (silt et argile) finiront par se rendre jusqu'à l'embouchure de la Romaine. Ce processus ne durera que quelques années.

Le développement de talus d'érosion dans les dépôts de till et les argiles marines provoquera également la libération de particules fines (silt et argile), qui seront mises en suspension et transportées sur de grandes distances. À moyen et long termes, l'érosion en bordure des réservoirs ne devrait pas fournir plus de particules fines qu'en conditions actuelles, étant donné la faible proportion (moins de 5 %) de rives sensibles à l'érosion contenant du silt et de l'argile au pourtour des réservoirs (voir la section 19.2.1).

Hausse globale des apports sableux et confinement de ces apports dans les réservoirs

L'enneigement de talus actuellement en érosion sur les rives de la Romaine entraînera une perte d'apports sédimentaires. Cette perte sera cependant compensée par les apports de sédiments qui proviendront de l'érosion des rives les plus sensibles des réservoirs. La longueur de rives actuellement en érosion dans les tronçons qui seront ennoyés s'élève à près de 60 km. En conditions futures, près de 80 km de rives risquent de subir une érosion en bordure des réservoirs.

Dans les réservoirs de la Romaine 2 et de la Romaine 3, on prévoit une perte nette d'apports sableux (de l'ordre de 14 000 t/a), puisque les rives, principalement rocheuses, ne fourniront que très peu de sédiments. Dans les réservoirs de la Romaine 1 et de la Romaine 4, cependant, les apports globaux de sédiments sableux devraient augmenter. La longueur totale de rives en érosion le long de ces deux réservoirs pourrait excéder d'une cinquantaine de kilomètres celle des rives actuellement en érosion le long des segments de la Romaine correspondants (voir le tableau 19-5).

On prévoit relativement peu de modifications des apports sableux provenant des tributaires. La plupart d'entre eux ne contribuent que très faiblement à la charge sédimentaire de la Romaine, et l'ennoiement de leur cours inférieur par les réservoirs n'entraînera qu'une faible réduction des apports. La rivière aux Sauterelles, dont l'embouchure sera à peine rejointe par le réservoir de la Romaine 4, continuera de fournir approximativement les mêmes volumes de sédiments à la Romaine (5 650 t/a de sable). Le sable s'accumulera à son arrivée dans le réservoir, un peu en amont du delta actuel. En ce qui concerne les rivières de l'Abbé-Huard et Bernard, qui contribuent conjointement pour près de 2 000 t/a de sable, la majeure partie des segments de rives en érosion de ces affluents sera ennoyée par le réservoir de la Romaine 2, réduisant par conséquent leur contribution au régime sédimentaire de la Romaine.

La formation de talus d'érosion au droit des rives les plus sensibles fournira, à long terme, d'importantes quantités de sédiments aux réservoirs. Les blocs, les cailloux et le gravier s'accumuleront au pied des talus, où ils finiront par former un pavage résistant. Le sable, qui pourrait être libéré en quantités appréciables dans le réservoir de la Romaine 1 et, surtout, dans le réservoir de la Romaine 4, sera transporté sur de faibles distances vers des parties plus profondes des plans d'eau. Des bancs sableux risquent de se former aux endroits peu profonds, là où se concentrent les segments de rives les plus sensibles à l'érosion, soit entre les PK 53 à 63,2 (réservoir de la Romaine 1) et entre les PK 214 et 261 (réservoir de la Romaine 4).

Ces nouveaux apports sableux de même que la faible contribution de l'ensemble des tributaires seront entièrement retenus dans les réservoirs. En conditions actuelles, la majeure partie de la charge sableuse transitant dans ces segments est déjà piégée à différents endroits de la rivière. Ces pièges se concentrent essentiellement entre les PK 215 et 250 (réservoir de la Romaine 4), les PK 162,5 et 181 (réservoir de la Romaine 3), les PK 82 à 83,5 (bassin des Murailles) et entre les PK 55 et 61 (réservoir de la Romaine 1). En conditions futures, les réservoirs constitueront quatre grands bassins qui entraîneront la sédimentation complète de la charge sableuse en raison de la diminution importante des vitesses d'écoulement.

Résumé de la modification

Le décapage superficiel des sols qui s'effectuera au cours des premières années suivant la mise en eau augmentera la charge sédimentaire fine pendant quelques années. À plus long terme, cependant, les quantités de particules fines libérées par l'érosion des nouvelles rives seront à peu près les mêmes qu'en conditions actuelles.

Dans les réservoirs de la Romaine 1 et de la Romaine 4, la totalité du sable issu de l'érosion sera retenu sur place et s'accumulera à faible distance des rives instables. L'augmentation des apports sédimentaires sableux n'aura pas de répercussion sur le transit sédimentaire global.

20.2.2 Tronçons court-circuités

Déclaration de la modification

Peu de modification, hormis l'érosion à long terme des bancs sableux dans la partie amont du tronçon court-circuité de la Romaine-2.

Sources de la modification

- Gestion hydraulique des ouvrages : baisse du débit et du niveau d'eau.
- Présence des réservoirs.

Mesure d'atténuation

Aucune

Description détaillée de la modification

Baisse globale des apports de sédiments sableux

La charge sédimentaire sableuse transitant actuellement dans les tronçons court-circuités provient essentiellement des segments de rivière situés plus en amont. L'érosion des rives à l'intérieur des tronçons court-circuités ne fournit qu'une très faible proportion de sédiments, les rives instables y étant très dispersées et peu étendues. En conditions futures, l'effet de la réduction des volumes de sédiments fournis par l'érosion le long de ces tronçons sera donc mineur.

Une baisse des apports sableux provenant de l'amont surviendra cependant en conditions futures, puisque le sable sera retenu en permanence dans les réservoirs. Selon des mesures effectuées au PK 53,5 (près du barrage de la Romaine-1) et au PK 162,5 (près du barrage de la Romaine-3), seule une faible proportion (de 10 à 30 %) de la charge sableuse transite actuellement à l'aval des barrages projetés.

Dans les tronçons court-circuités, la coupure des apports sableux en provenance de l'amont aura peu de répercussions dans les segments généralement peu propices à la sédimentation. L'effet se fera davantage sentir dans le cours inférieur de la rivière, entre le canal de fuite de la Romaine-1 et l'embouchure de la Romaine (voir la section 20.2.3).

Faible modification de la sédimentation dans le tronçon court-circuité de la Romaine-2

En conditions actuelles, dans le tronçon court-circuité de la Romaine-2, trois petits élargissements situés entre les PK 87 et 90 permettent l'accumulation de sable à l'abri des courants. En conditions futures, ces bancs sableux, d'une superficie totale de 7,3 ha, ne seront plus alimentés en sable. Ils seront la plupart du temps soumis à un très faible débit, mais seront exposés à de forts courants, environ une année sur trois, durant les déversements de crue. Par conséquent, le sable s'érodera lentement et la superficie de ces bancs diminuera, à moins qu'une couche plus grossière résistant au transport ne se forme à la surface.

Résumé de la modification

L'unique segment où la baisse des apports sableux aura un effet notable sur la dynamique sédimentaire est situé dans la portion amont du tronçon court-circuité de la Romaine-2 (PK 87-90), où se succèdent quelques petits bassins propices à l'accumulation de sable. Les quelques bancs de sable de cet endroit ne seront plus alimentés et subiront une érosion durant les crues.

20.2.3 Tronçon en aval de la centrale de la Romaine-1

Déclaration de la modification

Modification de la sédimentation dans la Romaine : augmentation locale et temporaire de la sédimentation et érosion lente des bancs sableux dans le lit de la rivière ; baisse et redistribution annuelle des apports sableux à l'embouchure.

Sources de la modification

- Présence des réservoirs.
- Gestion hydraulique des ouvrages : réduction de l'intensité des crues et augmentation des débits d'hiver et d'été.

Mesure d'atténuation

Aucune

Description détaillée de la modification

La gestion hydraulique prévue réduira l'intensité de la crue d'automne et éliminera celle du printemps environ une année sur trois. La capacité de transport sera donc fortement réduite durant ces périodes (voir le tableau 20-3). Les débits d'hiver et d'été seront cependant plus élevés qu'en conditions actuelles. En conséquence, la répartition annuelle du transit sédimentaire et son amplitude seront modifiées.

Ces nouvelles conditions auront peu d'effet sur l'érosion des rives de la Romaine en aval de la centrale de la Romaine-1 (voir la section 19.2.3). L'érosion devrait se poursuivre au droit des rivages actuellement instables. La majeure partie des apports (sable et particules fines) proviendront toujours des hauts talus riverains situés à l'aval du PK 40. Le segment de rivière situé plus en amont (PK 40-51,5) n'en fournira encore qu'une faible quantité. Les quantités globales de sédiments érodés devraient rester sensiblement les mêmes qu'en conditions actuelles, mais les apports seront livrés à la Romaine plus régulièrement tout au long de la période d'eau libre.

On a appliqué un modèle hydrologique unidimensionnel au cours inférieur de la Romaine afin de calculer la capacité de transport annuelle à quatorze emplacements le long de ce tronçon. Pour ce faire, on a fixé le diamètre médian des particules à 0,5 mm et la densité minérale à 2,65 (soit celle du quartz, le minéral le plus commun). Les capacités de transport actuelles ont été calculées à partir des débits moyens annuels des 50 dernières années. Les capacités futures tiennent compte des débits moyens annuels projetés en période d'exploitation, et sont fondées sur les hydrogrammes des 50 dernières années. La charge disponible estimée à chacun des emplacements tient compte des apports de l'amont et des quantités moyennes de sédiments issus de l'érosion des rives. Le tableau 20-3 et la figure 20-4 montrent les capacités de transport et la charge disponible en conditions actuelles et futures.

Le tableau 20-3 présente le bilan des modifications qui se produiront en aval de la centrale de la Romaine-1. Celles-ci touchent la quantité de sédiments prise en charge par la rivière, mais aussi le transit des sédiments depuis le PK 51,5 jusqu'à l'embouchure de la Romaine.

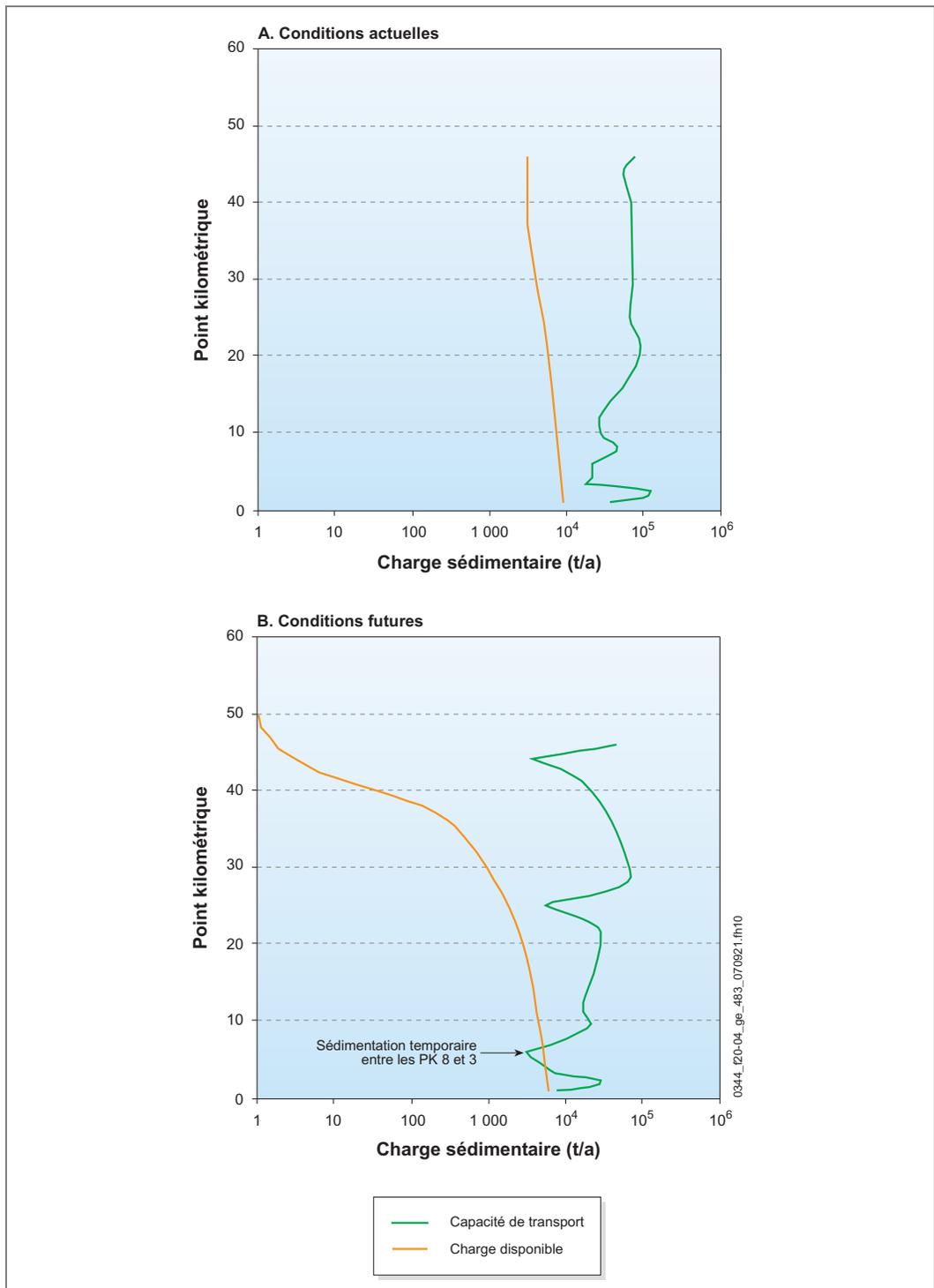
En conditions futures, l'ensemble du tronçon aval sera privé des 3 200 t/a de sable provenant de l'amont. Pendant la courte période où le sable sédimentera entre les PK 8 et 3 (voir la carte 20-1), ce déficit pourrait temporairement atteindre 4 000 t en aval du PK 3. Dans l'ensemble du tronçon, les apports de sable livrés par l'érosion des rives demeureront à peu près les mêmes qu'en conditions actuelles, si bien que la charge transportée jusqu'à l'embouchure atteindra de 5 000 t/a à 6 000 t/a.

Tableau 20-3 : Capacité de transport théorique et charge sédimentaire sableuse cumulative de la Romaine en aval de la centrale de la Romaine-1 – Conditions actuelles et futures

PK	Conditions actuelles			Conditions futures			Bilan sédimentaire en conditions futures	
	Capacité de transport (t/a)	Charge disponible cumulative ^a (t/a)	Charge transportée cumulative (t/a)	Capacité de transport (t/a) ^b	Charge disponible cumulative ^c (t/a)	Charge transportée cumulative (t/a)	Perte de charge sédimentaire (t/a) ^d	Modification du transit sédimentaire
46	78 000	3 200	3 200	43 700	Négligeable	Négligeable	3 200	Érosion lente de la portion sableuse des bancs accumulés dans le lit de la rivière en raison de la perte des apports sableux de l'amont.
44	58 000	3 200	3 200	3 600	Négligeable	Négligeable	3 200	
39	73 000	3 200	3 200	27 700	Négligeable	Négligeable	3 200	
29	75 000	4 200	4 200	70 000	1 000	1 000	3 200	Progressivement, au fil de la rivière, les apports sédimentaires vont s'ajouter. Étant donné la charge sédimentaire réduite de la rivière, la portion sableuse des bancs accumulés diminuera à long terme sans pour autant disparaître complètement.
25	68 000	4 900	4 900	5 300	1 700	1 700	3 200	
21	93 000	5 600	5 600	28 800	2 400	2 400	3 200	
11	28 000	7 300	7 300	17 000	4 100	4 100	3 200	
10	29 000	7 500	7 500	21 400	4 300	4 300	3 200	
8	49 000	7 800	7 800	11 400	4 600	4 600	3 200	
6	23 000	8 200	8 200	3 000	5 000	3 000 à 5 000	3 200 à 4 000	Sédimentation sableuse de courte durée dans les pièges situés entre les PK 3 et 8.
4	23 000	8 450	8 450	4 900	5 250	3 250 à 5 250	5 200 à 3 200	À la suite de la sédimentation temporaire aux PK 3 à 8, la dynamique de ce tronçon sera semblable à ce qu'elle est en conditions actuelles, bien que la portion sableuse des bancs accumulés devrait être réduite en raison de la diminution à long terme de 3 200 t/a de sédiments sableux.
3	19 000	8 700	8 700	7 400	5 500	3 500 à 5 500	5 200 à 3 200	
2	130 000	8 850	8 850	29 000	5 650	3 650 à 5 650	5 200 à 3 200	
1	40 000	9 000	9 000	7 900	5 800	3 800 à 5 800	5 200 à 3 200	
0	Sans objet	9 200	9 200	Sans objet	6 000	4 000 à 6 000	5 200 à 3 200	

- a. En conditions actuelles, la charge sableuse comprend les apports provenant de l'amont ainsi que les particules issues de l'érosion des rives, qui s'ajoutent surtout à l'aval du PK 40.
- b. Cette capacité de transport évoluera en conditions futures pour se stabiliser après deux à trois ans, particulièrement entre les PK 3 et 8.
- c. En conditions futures, la charge sableuse est amputée des apports de l'amont (qui seront retenus dans les réservoirs), mais continuera à être alimentée par l'érosion des rives, surtout à l'aval du PK 40.
- d. La perte de charge sédimentaire est d'abord plus élevée dans le segment à l'aval du PK 8 (de l'ordre de 5 200 t/a). Après une brève période de réorganisation du lit de la rivière (de deux à trois ans), cette perte sera équivalente à la perte de charge sédimentaire provenant de l'amont de la centrale de la Romaine-1, soit 3 200 t/a.

Figure 20-4 : Évolution de la charge sédimentaire disponible et de la capacité de transport de la Romaine en aval de la centrale de la Romaine-1



Note : Lorsque la capacité de transport théorique (trait vert) excède la charge disponible (trait orange), l'ensemble de cette dernière est transférée en aval du point considéré. À l'inverse, lorsque la capacité de transport est plus faible que la charge disponible, il y a sédimentation de la charge excédentaire. La situation actuelle est montrée en A et la situation future, en B. Le seul endroit où la capacité de la rivière sera plus faible que la charge disponible est situé entre les PK 8 et 3 (voir la flèche en B).

Peu de modification du transit sédimentaire, hormis une augmentation temporaire de la sédimentation sableuse entre les PK 8 et 3

La figure 20-4 compare les capacités de transport théoriques et la charge de sédiments disponible à plusieurs endroits le long du tronçon aval, en conditions actuelles (A) et futures (B). Les capacités de transport en conditions actuelles dépassent largement la charge sableuse disponible, bien qu'elles s'en approchent au PK 3. Environ 3 200 t/a proviennent du secteur en amont du PK 51,5. Des apports supplémentaires fournis par l'érosion des rives s'ajoutent progressivement le long du parcours de la rivière, plus particulièrement à l'aval du PK 40, pour atteindre un total d'environ 9 200 t/a à l'embouchure. La charge sédimentaire sableuse semble donc actuellement en transit sur toute la longueur du tronçon.

En conditions futures (voir la figure 20-4B), les capacités de transport théoriques seront en moyenne quatre fois plus faibles qu'en conditions actuelles. Toutefois, elles excéderont généralement la charge sédimentaire sableuse disponible, si bien que cette dernière continuera à être transférée vers l'aval à la plupart des emplacements étudiés, comme en conditions actuelles. Aux environs du PK 6, la capacité de transport de la rivière sera cependant insuffisante pour évacuer l'ensemble de la charge sableuse disponible et il y aura sédimentation (voir la figure 20-4B). L'accumulation se fera à la surface des bancs sableux qui se trouvent entre les PK 8 et 3 (voir la carte 20-1). Elle se poursuivra pendant quelques années (moins de cinq ans), jusqu'à ce que les pièges à sédiments soient comblés et que l'écoulement se concentre dans un chenal plus étroit, où la vitesse d'écoulement sera plus élevée. À partir de ce moment, les apports de l'amont pourront entièrement transiter vers l'aval.

Le cours inférieur de la Romaine sera privé annuellement de 3 200 t à 5 200 t de sable. Bien que la capacité de transport baissera de façon appréciable dans tout ce tronçon, elle demeurera généralement suffisante pour évacuer les particules sableuses de moins de 0,5 mm (voir la figure 20-4B). Étant donné que les apports sableux diminueront et que de forts courants surviendront environ une année sur trois en période de crue, on s'attend à une érosion partielle des zones d'accumulation situées dans le lit de la rivière. Le sable s'érodera lentement, et la superficie des bancs devrait diminuer à long terme.

Réduction des apports sableux dans l'ensemble du tronçon et érosion des bancs sableux du lit de la rivière

L'érosion la plus marquée devrait survenir entre les PK 51,5 et 40, où les bancs ne seront pratiquement plus alimentés en sable. En aval du PK 40, les talus riverains continueront à fournir une quantité appréciable de sable, si bien que l'amenuisement des bancs sableux sera moins marqué et plus lent. L'érosion des matériaux sableux du lit tendra à diminuer à moyen ou long terme (sur un horizon de dix ans), pour deux raisons principales :

- L'approfondissement du chenal entraînera une diminution de la vitesse d'écoulement et de la capacité de transport de la rivière.
- L'évacuation du sable risque de favoriser la concentration de matériaux plus grossiers (gravier et cailloux) et la formation d'une couche résistante à la surface des bancs. Cela pourrait surtout être le cas en amont du PK 40, où la présence assez fréquente de roc et de sable et gravier sur les rives donne à penser que le lit est probablement plus grossier.

Réduction des apports sableux à l'embouchure de la Romaine et répartition des apports sur toute la période d'eau libre

En conditions futures, l'effet de rétention des réservoirs fera en sorte que l'embouchure sera privée annuellement de 3 200 t à 5 200 t de sable. La nouvelle gestion hydraulique entraînera une baisse de la capacité de transport en période de crue et une hausse de celle-ci pendant le reste de l'année. Les apports sableux seront plus faibles, mais ils atteindront l'embouchure plus régulièrement en période d'eau libre (de juillet à novembre). Le tableau 20-4 compare les charges mensuelles au PK 3 (embouchure de la Romaine) en conditions actuelles et futures. Actuellement, 82 % des apports annuels de sable parviennent à l'embouchure durant la crue printanière (mai et juin), le reste (18 %) y étant livré principalement de juillet à octobre. En conditions futures, seule la moitié (48 %) des apports sableux sera livrée à l'embouchure pendant la crue du printemps (mai et juin), tandis que le reste des apports sera étalé pendant toute l'année, principalement de juillet à octobre.

Tableau 20-4 : Charge mensuelle de sédiments de la Romaine en aval de la centrale de la Romaine-1 selon la capacité de transport calculée au PK 3

Mois	Conditions actuelles		Conditions futures	
	Charge ^a (t/mois)	Proportion de l'année (%)	Charge ^a (t/mois)	Proportion de l'année (%)
Janvier	7	0	87	1
Février	4	0	80	1
Mars	9	0	86	1
Avril	230	1	222	3
Mai ^b	7 950	43	1 485	17
Juin ^b	7 200	39	2 640	31
Juillet	1 000	5	1 100	13
Août	500	3	800	9
Septembre	500	3	500	6
Octobre	800	4	700	8
Novembre	300	2	300	3
Décembre	200	1	590	7

a. Diamètre médian des particules : 0,5 mm ; densité : 2,65.

b. La période de la crue printanière est indiquée en grisé.

Résumé de la modification

Dans le tronçon de rivière situé à l'aval de la centrale de la Romaine-1 (PK 51,5), la régularisation du débit et la coupure des apports sableux provenant de l'amont occasionneront certaines modifications du transit sédimentaire. Les bancs accumulés dans le lit de la rivière subiront une lente érosion et leur superficie sera réduite. Le phénomène devrait se poursuivre jusqu'à ce qu'une couche de matériaux plus résistants se forme à la surface des bancs. Cet effet sera ressenti dans l'ensemble du tronçon, mais sera plus marqué entre les PK 51,5 et 40, où l'alimentation en sable sera en grande partie supprimée. Le sable devrait sédimenter pendant quelques années entre les PK 8 et 3, privant temporairement le segment plus en aval d'une faible quantité additionnelle de sable.

En conditions actuelles, la plupart des particules sableuses sont captées par des fosses et ne transitent donc pas jusqu'à l'embouchure. Des 54 300 t/a produites par l'érosion le long de la Romaine et de ses tributaires, 17 % atteignent l'embouchure, soit environ 9 200 t/a, dont 6 000 t/a proviennent de l'érosion en aval de la Grande Chute (PK 52,5). En conditions futures, le réservoir de la Romaine 1 captera les 3 200 t/a qui franchissaient le PK 52,5 et 6 000 t/a parviendront à l'embouchure. L'arrivée des sédiments sableux s'étalera sur une plus longue période dans le cycle annuel, en raison de la diminution des débits de crue et de l'augmentation des débits le reste de l'année.

20.3 Modifications liées aux activités de construction

20.3.1 Construction des ouvrages de dérivation provisoire

Déclaration de la modification

Mise en suspension temporaire de particules fines pendant la construction des ouvrages de dérivation provisoire de la Romaine-1 et de la Romaine-4.

Source de la modification

- Construction des ouvrages de dérivation provisoire.

Mesures d'atténuation

- Clauses environnementales normalisées n^{os} 2, 11 et 22 – Application des clauses relatives aux batardeaux, à l'excavation et au terrassement ainsi qu'aux travaux produisant des résidus et des eaux résiduaires (voir l'annexe E dans le volume 8).

Description détaillée de la modification

Comme les matériaux présents à l'emplacement des ouvrages et dans les aires de travaux sont essentiellement rocheux, les risques d'érosion et d'augmentation de la turbidité pendant la construction, par suite de la mise en suspension de particules fines, sont minimes, voire nuls. La plupart des ouvrages (digues, barrage, batardeau aval et dérivation provisoire) seront réalisés à sec, ce qui sera sans effet sur la turbidité de la Romaine. Les seuls travaux effectués au contact de l'eau en présence de matériaux fins visent la mise en place des batardeaux et prébatardeaux amont liés aux ouvrages de dérivation provisoire ; ces travaux pourraient occasionner la mise en suspension temporaire de particules fines dans la rivière.

À l'aménagement de la Romaine-1, on utilisera une faible quantité de till pour favoriser l'étanchéité du prébatardeau amont (voir la section 12.2.4). Des particules fines pourraient être mises en suspension pendant la période de mise en place de la clé d'étanchéité.

Avant la mise en place de la zone étanche du prébatardeau, le cours principal de la Romaine aura été dévié vers le canal d'amenée de la dérivation provisoire. Ces travaux seraient donc réalisés en eau calme et l'espace disponible entre le prébatardeau et le canal d'amenée permettrait, au besoin, l'installation d'une barrière à sédiments.

Aux aménagements de la Romaine-2 et de la Romaine-3, les matériaux utilisés ou le mode de construction des batardeaux et prébatardeaux amont feront en sorte que les risques de libération de particules dans l'eau seront nuls ou négligeables. Au site de la Romaine-2, la construction du batardeau n'exigera pas l'emploi de matériaux contenant des particules fines. Le massif sera constitué d'enrochement et l'étanchéité sera assurée par un voile d'injection à haute énergie (*jet grout*) inséré dans des matériaux granulaires (voir la section 11.2.4). Au site de la Romaine-3, on utilisera du till contenant une proportion de particules fines pour assurer l'étanchéité des ouvrages ; le till sera déposé sur une membrane géotextile entre deux massifs en enrochement et ne sera donc pas directement en contact avec l'eau (voir la section 10.2.4).

À l'aménagement de la Romaine-4, le prébatardeau amont sera composé de till contenant une proportion de particules fines. Afin de réduire au minimum les risques de libération de particules fines dans l'eau au cours de la mise en place de cet ouvrage, on construira un épi en enrochement qui servira à contenir le till déversée et limitera le contact de l'eau avec ces matériaux (voir la section 9.2.4).

Résumé de la modification

Les risques d'augmentation de la turbidité de l'eau associés à la construction du complexe de la Romaine sont nuls ou négligeables, sauf en ce qui concerne la construction des batardeaux et prébatardeaux amont liés aux ouvrages de dérivation provisoire de la Romaine-1 et de la Romaine-4. L'utilisation de till pour la construction de ces ouvrages pourrait occasionner la libération temporaire d'une certaine quantité de particules fines. Cependant, les faibles volumes de sédiments fins en cause (Romaine-1) et la construction d'un épi (Romaine-4) limiteront grandement les quantités libérées dans l'eau.

20.3.2 Remplissage du réservoir de la Romaine 2

Déclaration de la modification

Augmentation temporaire de matières en suspension à l'aval du PK 90,3 de la Romaine pendant la deuxième étape de remplissage du réservoir de la Romaine 2.

Sources de la modification

- Modification du régime hydrologique de la rivière pendant le remplissage du réservoir de la Romaine 2.
- Modification des apports sédimentaires.

Mesure d'atténuation

- Adaptation de la séquence des travaux d'excavation du seuil rocheux à la sortie du bassin des Murailles (PK 81,8) – Ces travaux seront exécutés après la deuxième étape de remplissage du réservoir de la Romaine 2 dans le but de réduire de 1 m l'abaissement du niveau du bassin des Murailles (abaissement de 2 m plutôt que de 3 m).

Description détaillée de la modification

Réduction du débit à l'aval du PK 90,3 de la Romaine pendant la deuxième étape de remplissage du réservoir de la Romaine 2

Le remplissage du réservoir de la Romaine 2 se déroulera en trois étapes. Durant la deuxième étape (d'une durée d'environ 24 jours en conditions d'hydraulicité moyenne), le débit ne sera assuré que par les tributaires de la rivière en raison de la fermeture totale de la galerie de dérivation. Selon l'hydraulicité, le débit moyen pourra alors varier de 30 à 105 m³/s au PK 52 et de 88 à 310 m³/s à l'embouchure de la Romaine (voir la section 16.4.3). La réduction du débit entraînera une baisse du niveau d'eau en aval du PK 90,3.

Les données présentées dans la présente section reposent sur des conditions d'hydraulicité moyenne, soit un débit moyen de 70 m³/s au PK 52 et de 200 m³/s au PK 3,8 ainsi qu'un abaissement du niveau d'eau de l'ordre de 2,1 à 1,1 m entre le Bassin des Murailles (PK 83,7) et l'embouchure de la Romaine.

Réduction des apports sédimentaires globaux à l'aval du PK 90,3 de la Romaine

- Encaissement de tributaires par suite de l'érosion régressive de leur embouchure

L'abaissement du niveau d'eau se fera sentir surtout entre le bassin des Murailles (PK 83,7) et la confluence avec la rivière Puyjalon (PK 11 et 13,1)^[1]. Ce tronçon de rivière est alimenté par une vingtaine de tributaires dont le bassin versant couvre une superficie de 1 km² à 1 110 km². Le tableau 20-5 présente les caractéristiques de ces tributaires.

L'abaissement du niveau d'une rivière contribue à incliner le profil en long de ses tributaires à leur embouchure, ce qui favorise, dans les matériaux sableux surtout, un encaissement par érosion régressive. L'encaissement est rapide dans le sable, mais beaucoup plus lent dans les sédiments silto-argileux plus cohésifs. En théorie, il se poursuit jusqu'à l'atteinte d'un profil d'équilibre ou jusqu'à ce qu'un seuil de roc ou de matériaux grossiers ne soit rejoint. Cependant, dans le cas de la plupart des tributaires de la Romaine situés en aval du PK 90,3, l'encaissement sera interrompu avant l'atteinte du profil d'équilibre en raison de la courte durée (24 jours) de l'abaissement du niveau d'eau dans la Romaine.

Certaines portions des tributaires sont bordées par de hauts talus abrupts pour la plupart stables. L'approfondissement du lit dans les zones principalement sableuses risque d'amorcer ou d'augmenter (dans le cas de talus déjà instables) les processus d'érosion.

Le tableau 20-5 donne aussi un aperçu des volumes de sédiments qui pourraient être fournis par l'encaissement du lit des tributaires. L'estimation est approximative et tient compte de la profondeur moyenne de l'encaissement (déterminée à partir de l'abaissement du niveau de la Romaine au point de confluence, de la composition du lit du tributaire et de la superficie de son bassin versant), de la longueur du segment susceptible de s'encaisser et de la configuration de ses rives.

Pour 14 des 20 tributaires étudiés, le risque d'encaissement est considéré comme négligeable ou faible en raison de la présence de seuils rocheux ou composés de matériaux très grossiers près de l'embouchure, de la faible étendue du bassin versant (moins de 5 km²) ou de la nature plus résistante de leur lit (sable, gravier et

[1] Le bras est du cours inférieur de la Puyjalon rejoint la Romaine au PK 13,1 et le bras ouest, au PK 11.

Tableau 20-5 : Description des tributaires de la rivière Romaine (PK 11-82,3) susceptibles de s'encaisser pendant la deuxième étape de remplissage du réservoir de la Romaine 2

Point de confluence (PK)		Abaissement attendu du niveau de la Romaine (m)	Bassin versant du tributaire		Premier seuil présent sur le tributaire			Longueur ^e de tributaire touché par l'encaissement (km)	Risque d'encaissement ^f	Volume de sédiments fournis par l'encaissement du lit du tributaire et l'érosion de ses rives ^g (m ³)		
Rive droite	Rive gauche		Superficie approximative ^a (km ²)	Matériaux encaissants ^b	Présence certaine ^c	Présence probable ^d	Non visible ou absent			Total	Sable	Sédiments fins
13,1 ^h		1,1	1 110	S et SM	X			0,7	Faible à moyen	500 à 5 000	500 à 4 500	Négligeable à 500
11 ^h		1,1		S ⁱ	X			0,3	Faible	500 à 1 100	500 à 1 000	Négligeable à 100
15,4		1,1	2	S et S/CM	X			1,1	Faible	500 à 1 000	500 à 1 000	Négligeable
17,0		2,2	12	S et S/R	X			0,5	Moyen à élevé	500 à 5 000	500 à 4 500	Négligeable à 500
19,0		2,2	7	S	X			0,9	Moyen à élevé	500 à 5 000	500 à 4 500	Négligeable à 500
34,5		2,0	8	R	X			Négligeable	Négligeable	Négligeable	Négligeable	Négligeable
	44,4	2,0	11	SGm/R	X			Négligeable	Négligeable	Négligeable	Négligeable	Négligeable
46,2		1,8	5	SG	X			0,4	Faible	Négligeable	Négligeable	Négligeable
51,2		1,8	6	B et S-SM/R	X			Négligeable	Négligeable	Négligeable		
	53,2	1,1	2	Sm/CM			X	2,0	Négligeable	Négligeable	Négligeable	Négligeable
	57,9	1,3	9	Sm/CM	X			0,1	Faible	Négligeable à 1 000	Négligeable à 500	Négligeable à 500
59,0		1,3	9	S/R				Négligeable	Négligeable	Négligeable	Négligeable	Négligeable
	62,1	1,8	6	Sm/R			X	Négligeable	Négligeable	Négligeable	Négligeable	Négligeable
	63,1	1,6	12	S et SG			X	~ 1,0	Moyen à élevé	500 à 5 000	500 à 4 500	Négligeable à 500
66,7		1,9	20	SG		X		0,4	Faible	500 à 1 000	500 à 1 000	Négligeable

Tableau 20-5 : Description des tributaires de la rivière Romaine (PK 11-82,3) susceptibles de s'encaisser pendant la deuxième étape de remplissage du réservoir de la Romaine 2 (*suite*)

Point de confluence (PK)		Abaissement attendu du niveau de la Romaine (m)	Bassin versant du tributaire		Premier seuil présent sur le tributaire			Longueur ^e de tributaire touché par l'encaissement (km)	Risque d'encaissement ^f	Volume de sédiments fournis par l'encaissement du lit du tributaire et l'érosion de ses rives ^g (m ³)		
Rive droite	Rive gauche		Superficie approximative ^a (km ²)	Matériaux encaissants ^b	Présence certaine ^c	Présence probable ^d	Non visible ou absent			Total	Sable	Sédiments fins
73,5		2,1	9	S et SG	X			1,7	Moyen	500 à 5 000	500 à 4 500	Négligeable à 500
	75,8	2,2	1	Sm/R	X			Négligeable	Négligeable	Négligeable	Négligeable	Négligeable
78,0		2,2	4	S et SG	X			< 0,15	Faible à moyen	500 à 1 000	500 à 1 000	Négligeable
	81,4	2,1	22	SG	X			< 0,3	Faible	500 à 1 000	500 à 1 000	Négligeable
	82,3	2,0	570	SG/R et SG (CM très localement)	X			0,7	Moyen	1 000 à 20 000	500 à 19 000	500 à 1000
Total	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6 000 à 51 000	5 500 à 47 000	500 à 4 000

- a. Bassin versant délimité sur les cartes topographiques à l'échelle de 1 : 50 000 et superficie mesurée à l'aide du logiciel MapInfo.
- b. B : blocs. CM : argile. R : roc (> 80 %). S : sable. SG : sable et gravier. SM : silt. T : till. L'indice « m » indique qu'il s'agit d'une couche mince (< 2 m).
- c. Seuil visible sur les photographies aériennes ou dont la présence a été validée sur le terrain.
- d. Seuil généralement masqué par la végétation, mais dont la présence est suggérée par une rupture de pente dans le profil en long du tributaire ou par le passage dans des matériaux encaissants résistants à l'érosion (roc ou till).
- e. Longueur mesurée à l'aide du logiciel MapInfo sur les bases cartographiques à l'échelle de 1 : 50 000. Cette longueur inclut les portions exondées du lit de la Romaine et exclut les segments du lit qui sont résistants à l'encaissement.
- f. Le risque d'encaissement tient compte de la composition du lit du tributaire ainsi que de la superficie de son bassin versant. Le risque est considéré comme élevé pour les tributaires qui occupent un lit sableux et comme moyen pour ceux qui s'écoulent sur des matériaux plus résistants, comme l'argile ou le sable et gravier. Le risque est jugé moindre pour les cours d'eau drainant un bassin de 5 km² et moins.
- g. L'estimation des volumes est approximative. Elle tient compte de la profondeur moyenne de l'encaissement (déterminée à partir de la composition du lit du tributaire et de la superficie de son bassin versant), de la longueur du segment susceptible de s'encaisser, de la profondeur du lit du tributaire, de la largeur du tributaire ainsi que des volumes pouvant être fournis par suite d'une augmentation de l'érosion des rives du tributaire.
- h. Le bras est du cours inférieur de la Puyjalon rejoint la Romaine au PK 13,1 et le bras ouest, au PK 11.
- i. Possibilité de seuils rocheux à faible profondeur.

cailloux ou sédiments argileux cohésifs). L'apport additionnel de sédiments de la plupart de ces tributaires est considéré comme négligeable, et il pourrait atteindre 1 000 m³ dans le cas de six d'entre eux.

L'embouchure des six autres tributaires (confluence aux PK 13,1, 17, 19, 63,1, 73,5 et 82,3) présente un certain risque d'encaissement principalement en raison de la composante sableuse du lit. Dans la plupart des cas, l'encaissement sera modéré étant donné la possibilité d'émergence de seuils résistants (roc ou matériaux grossiers) situés à une faible profondeur. On estime qu'entre 500 et 5 000 m³ de sédiments pourraient être fournis à la rivière par chacun de ces tributaires. C'est notamment le cas de la rivière Puyjalou et de la rivière Romaine Sud-Est (PK 82,3).

Par ailleurs, même faible, l'encaissement de la rivière Romaine Sud-Est risque de déstabiliser une partie des hauts talus sableux qui forment la rive nord de son embouchure, fournissant ainsi à la Romaine une quantité additionnelle de sable, mais aussi d'argile, estimée à environ 15 000 m³. Cette érosion, même si elle est difficilement prévisible, fait en sorte que la Romaine Sud-Est pourrait contribuer de façon plus importante à l'apport de sédiments (jusqu'à 20 000 m³ au total). Ainsi l'excavation du seuil rocheux à la sortie du bassin des Murailles (PK 81,8) sera exécutée après la deuxième étape de remplissage du réservoir de la Romaine 2 dans le but de réduire de 1 m l'abaissement du niveau du bassin des Murailles (abaissement de 2 m plutôt que de 3 m).

Les volumes totaux estimés pour l'encaissement des tributaires de ce tronçon de rivière sont de l'ordre de 6 000 à 51 000 m³. L'encaissement fournirait essentiellement du sable (de 5 500 à 47 000 m³) et de faibles quantités de sédiments fins (de l'ordre de 500 à 4 000 m³). Le sable s'accumulera à une faible distance de la confluence des tributaires et de la Romaine, et il pourra être remanié par les crues. Les sédiments fins (silt et argile) seront mis en suspension et transportés jusqu'à l'embouchure.

- Réduction des apports de sédiments provenant de l'érosion des talus riverains de la Romaine et coupure des apports provenant de l'amont du PK 90,3

Une quantité importante de sédiments fournis à la Romaine provient de l'érosion des rives en période de crue. L'abaissement de la rivière pendant la deuxième étape de remplissage du réservoir de la Romaine 2 surviendrait essentiellement pendant la crue printanière (mai et juin), si bien que la base de la plupart des talus riverains ne serait pas rejointe par les vagues et les courants. L'érosion étant considérablement réduite, la Romaine serait privée d'une grande partie des sédiments qui y transitent actuellement en période de crue.

On estime qu'environ 80 % des sédiments totaux érodés annuellement (voir le tableau 20-1) le sont actuellement pendant la période de crue alors que le niveau de la rivière est suffisamment élevé pour rejoindre la base des talus riverains. Pendant que la rivière prend en charge et remanie localement le sable, elle met en suspension les sédiments argileux éboulés puis les évacue vers l'embouchure. Les volumes de sédiments fournis actuellement au printemps par les talus en érosion en aval du site de la Romaine-2 sont estimés à 7 000 m³ pour le sable et à 8 800 m³ pour les sédiments fins. Pendant la deuxième étape de remplissage, on considère qu'une faible quantité (environ 10 %) de sédiments parviendrait tout de même à la Romaine par ruissellement ou encore par glissement, soit 700 m³ de sable et 900 m³ de sédiments fins.

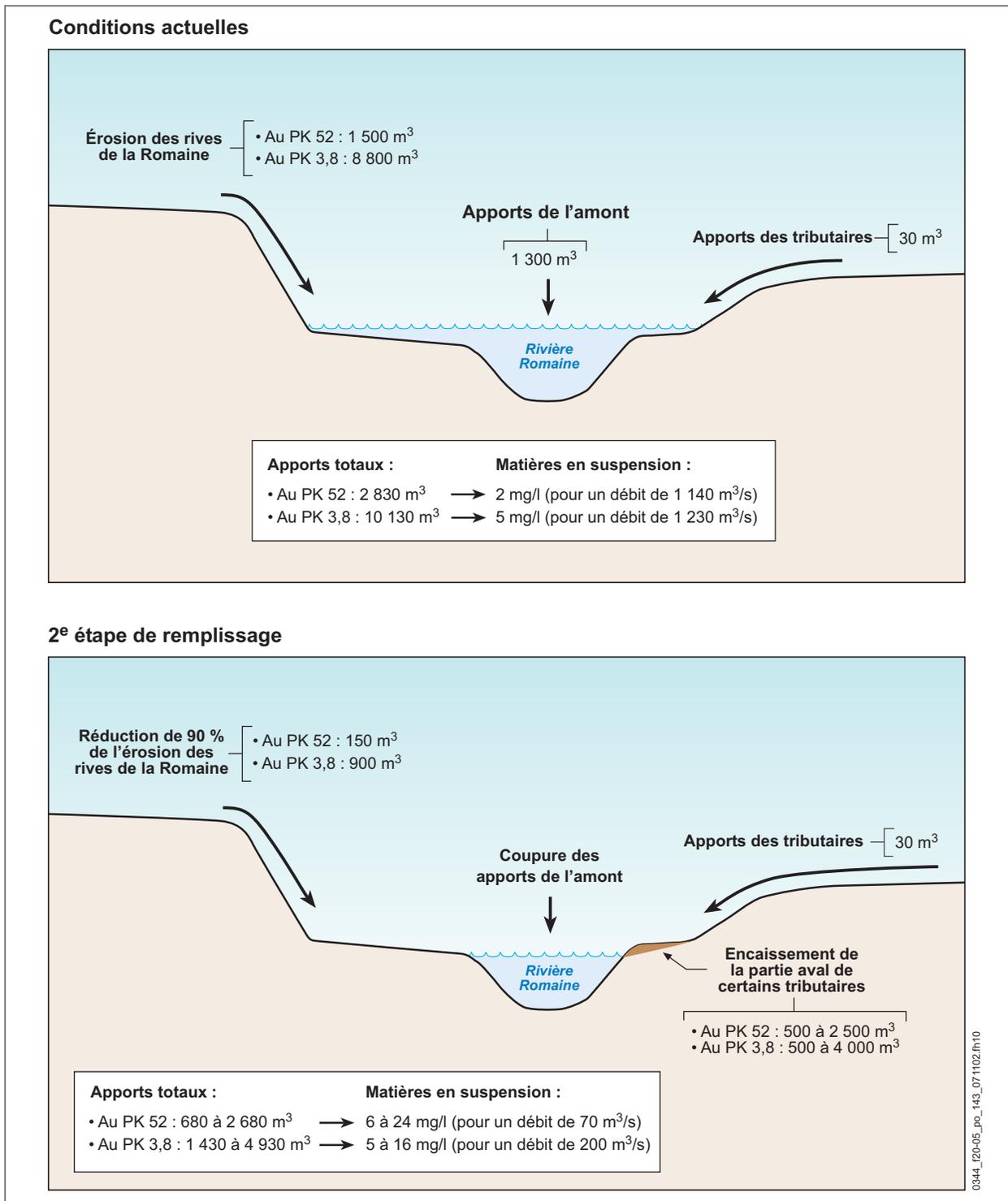
Par ailleurs, tous les sédiments (sable et sédiments fins) provenant de l'amont du PK 90,3 et fournis par l'érosion des rives de la Romaine et de ses tributaires seront retenus dans le réservoir de la Romaine 2 pendant cette étape du remplissage. En conditions actuelles, très peu du sable qui transite par le PK 90,3 franchit les bassins successifs du secteur des Murailles (voir la figure 20-2). Les sédiments fins, quant à eux, sont maintenus en suspension puis transportés jusqu'au golfe du Saint-Laurent. On évalue à environ 1 300 m³ la quantité de sédiments fins transitant dans ce tronçon de rivière au printemps. Pendant la deuxième étape de remplissage du réservoir de la Romaine 2, le tronçon en aval du PK 90,3 serait donc privé de cette quantité de sédiments fins.

Enfin, la contribution des tributaires situés à l'aval du PK 90,3 demeurera inchangée, avec un apport total très faible de l'ordre de 30 m³ (fourni par la rivière Puyjalon).

■ Bilan sédimentaire global en aval du PK 90,3 de la Romaine pendant la deuxième étape de remplissage du réservoir de la Romaine 2

Actuellement, au printemps, les apports de sédiments fins transitant dans la Romaine en aval du PK 90,3 sont de l'ordre de 2 830 m³ au PK 52 et de 10 130 m³ au PK 3,8 (voir la figure 20-5). Pendant la deuxième étape de remplissage, compte tenu de la coupure des apports de l'amont, de la réduction de l'érosion des rives et surtout de l'encaissement de la partie aval et de la faible contribution des tributaires, la quantité de sédiments fins qui devrait transiter dans ce tronçon varierait entre 680 et 2 680 m³ au PK 52 et entre 1 430 et 4 930 m³ au PK 3,8.

Figure 20-5 : Bilan sédimentaire global des sédiments fins à l'aval du PK 90,3 de la Romaine pendant la deuxième étape de remplissage du réservoir de la Romaine 2



Augmentation de la concentration de matières en suspension

La réduction des débits pendant la deuxième étape de remplissage entraînera une augmentation de la concentration de matières en suspension et ce, malgré la réduction des volumes de sédiments fins livrés à la rivière. En effet, les débits moyens pendant cette période passeront de 1 140 m³/s à 70 m³/s au PK 52 et de 1 230 m³/s à 200 m³/s au PK 3,8 (pour des conditions d'hydraulicité moyenne, soit sur une période de 24 jours). Dans ces conditions, on estime que la concentration de matières en suspension passera de 2 mg/l à 6 à 24 mg/l au PK 52 et de 5 mg/l à 5 à 16 mg/l au PK 3,8 (voir la figure 20-5).

Pour parvenir à ces valeurs, on a converti en poids les volumes de sédiments fins en utilisant un facteur de 1,3 t/m³, puis transformé le résultat en milligrammes. Le volume d'eau en litres a été calculé pour les 24 jours de la deuxième étape de remplissage à partir des débits annoncés de 70 m³/s pour le PK 52 et de 200 m³/s au PK 3,8. On a obtenu la concentration des matières en suspension en divisant le volume de sédiments en milligrammes par le volume d'eau en litres. La même méthode a été utilisée pour les conditions actuelles avec les débits moyens de crue pour une période équivalente.

Résumé de la modification

L'abaissement du niveau de la Romaine pendant la deuxième étape de remplissage du réservoir de la Romaine 2 entraînera une réduction globale des volumes de sédiments fournis à la rivière par rapport aux conditions actuelles de la même période. Malgré cette diminution des sédiments, une augmentation des matières en suspension est attendue en aval du PK 90,3 en raison de la réduction du débit.

Actuellement, les concentrations plus élevées de matières en suspension au PK 3,8 sont attribuables à l'érosion des rives argileuses présentes surtout entre les PK 5 et 30. Durant la deuxième étape de remplissage, alors que le débit sera réduit, les concentrations les plus élevées surviendront en amont du PK 13, soit avant l'apport des eaux de la Puyjalon.

21 Qualité de l'eau

21.1 Conditions actuelles

21.1.1 Démarche méthodologique

L'information de la présente section provient de l'étude sectorielle sur la qualité de l'eau de la rivière Romaine :

- Belles-Isles, M., I. Simard et D. Dussault. 2005. *Complexe de la rivière Romaine. Qualité de l'eau. Rapport sectoriel*. Préparé pour Hydro-Québec Équipement. Québec, GENIVAR Groupe Conseil. 33 p. et ann.

Les données utilisées pour l'analyse de la qualité de l'eau de la Romaine ont été obtenues lors des campagnes d'échantillonnage effectuées à trois stations en conditions hivernales (mars 2000 et 2005), printanières (juin 2004), estivales (août 2001 et 2004) et automnales (octobre 2001 et 2004). Comme les résultats varient peu d'une station à l'autre, on les a regroupés par saison pour en effectuer le traitement. Leur analyse tient compte de l'ensemble des stations et met en évidence, pour quelques variables, les particularités observées à certaines stations. Pour plus de détails sur la méthodologie, voir la méthode 9 dans le volume 9.

Le tableau 21-1 résume les résultats des campagnes d'échantillonnage de la qualité de l'eau de 2000, 2001, 2004 et 2005 aux trois stations situées en rivière (RM017 au PK 4, RM053 au PK 53 et RM019 au PK 270). Les caractéristiques de l'eau de la station RM022 du lac témoin (lac du Vingt-Deuxième Mille) obtenues lors des mêmes campagnes d'échantillonnage sont livrées au tableau 21-2.

21.1.2 Variables optiques

Les résultats indiquent que les eaux de la Romaine, comme celles du lac du Vingt-Deuxième Mille, sont colorées (de 30 à 100 UCV ; 43 UCV en moyenne). Elles sont peu turbides (de 0,50 à 2,60 UTN pour la Romaine et de 0,30 à 0,81 UTN pour le lac témoin) et transportent assez peu de matières en suspension (de 0,6 à 3,6 mg/l pour la rivière et moins de 0,4 à 0,6 mg/l pour le lac). La transparence de l'eau du lac du Vingt-Deuxième Mille varie de 3,3 à 4,8 m selon la saison, tandis que celle de l'eau de la rivière varie de 2,0 à 2,5 m en été. Ces valeurs sont, dans l'ensemble, équivalentes aux valeurs observées dans d'autres rivières et lacs de la Côte-Nord, notamment la rivière Moisie (Robitaille, 1998).

Tableau 21-1 : Résultats des campagnes d'échantillonnage aux stations de la rivière Romaine

Paramètre	Limite de détection	Unité	Campagnes de 2000, 2001, 2004 et 2005 Stations RM017, RM053 et RM019 (échantillons regroupés)				Critères de qualité de l'eau de surface			
			Hiver	Printemps	Été	Automne	Prévention contamination (eau et organismes aquatiques) ^a	Protection vie aquatique (effets chroniques) ^a	Protection vie aquatique (effets aigus) ^a	Vie aquatique ^b
Mesures <i>in situ</i>										
Transparence	0,1	m	S.O. ^c	Absence de données	2,0 à 2,5	Absence de données	S.O.	S.O.	S.O.	S.O.
Température	0,1	°C	0,1 à 0,4 ^d	5,0 à 7,3 ^d	15,1 à 20,0 ^d	5,2 à 8,7 ^d	S.O.	S.O.	S.O.	S.O.
Oxygène dissous	0,1	mg O ₂ /l	11,2 à 14,6 ^d	11,6 à 12,0 ^d	8,9 à 9,5 ^d	10,9 à 13,2 ^d	S.O.	5-8 ^e	S.O.	< 5,5
Saturation en oxygène dissous	1	%	81 à 99 ^d	90 à 99 ^d	88 à 107 ^d	90 à 105 ^d	S.O.	54-63 ^e	S.O.	S.O.
Analyses au laboratoire de terrain										
pH	0,02	-	6,0 à 6,7 ^{f,g}	6,2 à 6,3 ^{f,g}	6,5 à 6,6	6,0 à 6,5 ^{f,g}	< 6,5 ou > 8,5	< 6,5 ou > 9,0	< 5,0 ou > 9,5	< 6,5 ou > 9,0
Conductivité	1	µS/cm	19 à 20	12	10 à 16	13 à 15	S.O.	S.O.	S.O.	S.O.
Alcalinité totale	0,1	mg CaCO ₃ /l	4,8 à 6,3	2,0 à 2,8	3,1 à 4,3	1,8 à 3,0	10 ^h	S.O.	S.O.	S.O.
Bicarbonates	0,1	mg HCO ₃ /l	5,8 à 7,6	2,4 à 3,4	3,7 à 5,2	2,1 à 3,6	S.O.	S.O.	S.O.	S.O.
Carbone inorganique total	0,1	mg C/l	4,8 à 5,1 ⁱ	1,4 à 1,7	1,3 à 1,7	0,9 à 2,0	S.O.	S.O.	S.O.	S.O.
Oxygène dissous validation	0,1	mg O ₂ /l	12,5 à 14,6	11,6 à 12,0	8,8 à 9,5	11,0 à 12,1	S.O.	5-8 ^e	S.O.	< 5,5
Analyses au laboratoire de chimie										
Couleur vraie	1	UCV	30 à 40	40 à 50	30 à 50	38 à 100	S.O.	S.O.	S.O.	S.O.
Turbidité	0,05	UTN	0,50 à 0,80	1,70 à 2,60	0,70 à 2,00	0,70 à 2,50	S.O.	2 ^j	> 8 ^j	50
Matières en suspension	0,4 ou 0,5	mg/l	0,6 à 1,3	2,3 à 3,1	1,1 à 2,1	0,9 à 3,6	5	S.O.	25	S.O.
Carbone organique dissous	0,5	mg C/l	3,1 à 4,4	3,6 à 3,9	3,3 à 3,6	4,5 à 12,0 ⁱ	S.O.	S.O.	S.O.	S.O.
Carbone organique total	0,5	mg C/l	3,9 à 5,2	3,8 à 4,0	3,0 à 3,3	4,2 à 8,7	S.O.	S.O.	S.O.	S.O.
Silice réactive	0,004	mg SiO ₂ /l	5,5 à 5,8	3,8	3,6 à 3,8	3,6 à 4,0	S.O.	S.O.	S.O.	S.O.
Chlorures	0,2	mg Cl/l	0,18 à 0,81	0,12 à 0,20	0,10 à 0,59	0,15 à 0,76	250	230	860	S.O.
Phosphore hydrolysable	0,001 ou 0,002	mg P/l	0,002 à 0,003	0,007	< 0,002 à 0,007	0,004 à 0,010	S.O.	S.O.	S.O.	S.O.
Orthophosphates	0,001 ou 0,002	mg P/l	< 0,002 à 0,003	0,004 à 0,008	0,001 à 0,007	0,002 à 0,007	S.O.	S.O.	S.O.	S.O.

Tableau 21-1 : Résultats des campagnes d'échantillonnage aux stations de la rivière Romaine (*suite*)

Paramètre	Limite de détection	Unité	Campagnes de 2000, 2001, 2004 et 2005 Stations RM017, RM053 et RM019 (échantillons regroupés)				Critères de qualité de l'eau de surface			
			Hiver	Printemps	Été	Automne	Prévention contamination (eau et organismes aquatiques) ^a	Protection vie aquatique (effets chroniques) ^a	Protection vie aquatique (effets aigus) ^a	Vie aquatique ^b
Phosphore total	0,001	mg P/l	0,003 à 0,004	0,010 à 0,011	0,005 à 0,006	0,004 à 0,013	S.O.	0,02	S.O.	S.O.
Sulfates	0,05	mg SO ₄ /l	1,50 à 2,10	0,85 à 0,86	0,90 à 1,30	1,10 à 1,70	500	S.O.	300	S.O.
Nitrates et nitrites	0,01 ou 0,02	mg N/l	0,13 à 0,14	0,02	0,01	0,01 à 0,03	10	40	200	S.O.
Azote ammoniacal	0,02	mg N/l	0,02 à 0,05	0,05 à 0,14	0,02 à 0,11	< 0,02 à 0,03	1,5	1,84-2,08 ^e	23,7-28,2 ^e	S.O.
Azote total Kjeldahl	0,03	mg N/l	0,09 à 0,20	0,28 à 0,57	0,14 à 0,22	0,12 à 0,24	S.O.	S.O.	S.O.	S.O.
Sélénium	0,0001	mg Se/l	0,0001 à 0,0002	< 0,0001 à 0,0002	< 0,0001	< 0,0001 à 0,0002	0,01	0,005	0,02	0,001
Calcium	0,05	mg Ca/l	1,8 à 7,1	1,3 à 1,7	1,3 à 1,7	1,4 à 1,5	S.O.	4 ^k	S.O.	S.O.
Fer	0,02	mg Fe/l	0,19 à 0,24	0,28 à 0,40 ^g	0,12 à 0,24	0,16 à 0,44 ^g	0,3	0,3	S.O.	0,3
Magnésium	0,01	mg Mg/l	0,40 à 0,54	0,27 à 0,38	0,32 à 0,47	0,31 à 0,35	S.O.	S.O.	S.O.	S.O.
Manganèse	0,01	mg Mn/l	0,01	< 0,01 à 0,02	< 0,01	< 0,01 à 0,02	0,05	S.O.	S.O.	S.O.
Potassium	0,02	mg K/l	0,26 à 0,34	0,18 à 0,26	0,19 à 0,32	0,17 à 0,22	S.O.	S.O.	S.O.	S.O.
Sodium	0,02	mg Na/l	0,69 à 1,20	0,50 à 0,55	0,52 à 0,94	0,51 à 0,78	200	S.O.	S.O.	S.O.
Chlorophylle <i>a</i>	0,1	µg/l	< 0,1	0,6	1,1 à 1,8	0,9 à 1,2	S.O.	S.O.	S.O.	S.O.
Phéopigments	0,1	µg/l	0,1	0,2	0,2 à 0,7	0,4 à 0,9	S.O.	S.O.	S.O.	S.O.
Tannins et lignines	0,02	mg/l	0,80 à 0,95	0,79 à 0,80	1,00 à 1,40	1,30 à 2,30	S.O.	S.O.	S.O.	S.O.

a. Critères de qualité de l'eau de surface au Québec (Québec, MDDEP, 2004)

b. Recommandations canadiennes pour la qualité des eaux (Canada, Ministère de l'Environnement, 2004a).

c. S.O. : sans objet. Aucun critère de qualité n'est applicable à ce paramètre.

d. Moyenne des mesures ponctuelles réalisées entre 1 et 10 m de profondeur.

e. La valeur de ce critère dépend de la température pour l'oxygène dissous et du pH dans le cas de l'azote ammoniacal.

f. Valeur en deçà des critères de qualité de l'eau pour le maintien de la vie aquatique, mais vraisemblablement non nocive pour les poissons selon le Conseil canadien des ministres de l'environnement (CCME), à moins de conditions particulières.

g. Certaines valeurs mesurées dépassent un des critères de qualité de l'eau.

h. Une alcalinité inférieure à 10 indique un milieu sensible à l'acidification, entre 10 et 20, la sensibilité est moyenne, et au-dessus de 20, la sensibilité est faible.

i. Valeur douteuse.

j. L'augmentation de la turbidité à la suite de la réalisation du projet ne doit pas dépasser cette valeur.

k. Une concentration en calcium inférieure à 4 mg/l indique une sensibilité du milieu à l'acidification, entre 4 et 8, la sensibilité est moyenne et au-dessus de 8, la sensibilité est faible.

Tableau 21-2 : Résultats des campagnes d'échantillonnage à la station témoin du lac du Vingt-Deuxième Mille

Paramètre	Limite de détection	Unité	Campagnes de 2000, 2001, 2004 et 2005 Station RM022 (échantillons regroupés)				Critères de qualité de l'eau de surface			
			Hiver	Printemps	Été	Automne	Prévention contamination (eau et organismes aquatiques) ^a	Protection vie aquatique (effets chroniques) ^a	Protection vie aquatique (effets aigus) ^a	Vie aquatique ^b
Mesures <i>in situ</i>										
Transparence	0,1	m	S.O. ^c	4,2	3,3 à 4,0	4,4 à 4,8	S.O.	S.O.	S.O.	S.O.
Température	0,1	°C	2,4 ^d	5,6 ^d	16,8 à 17,2 ^d	8,8 à 9,5 ^d	S.O.	S.O.	S.O.	S.O.
Oxygène dissous	0,1	mg O ₂ /l	12,3 ^d	11,8 ^d	8,4 à 9,1 ^d	10,7 ^d	S.O.	5-8 ^e	S.O.	< 5,5
Saturation en oxygène dissous	1	%	89 ^d	94 ^d	91 à 93 ^d	92 à 93 ^d	S.O.	54-63 ^e	S.O.	S.O.
Analyses au laboratoire de terrain										
pH	0,02	-	5,4 ^{fg}	5,5 ^{fg}	4,8 à 5,7 ^{fg}	5,4 à 5,6 ^{fg}	< 6,5 ou > 8,5	< 6,5 ou > 9,0	< 5,0 ou > 9,5	< 6,5 ou > 9,0
Conductivité	1	µS/cm	12	11	9 à 11	11	S.O.	S.O.	S.O.	S.O.
Alcalinité totale	0,1	mg CaCO ₃ /l	0,3	1,3	1	0,4 à 0,8	10 ^h	S.O.	S.O.	S.O.
Bicarbonates	0,1	mg HCO ₃ /l	0,3	1,5	0,9	0,5 à 0,9	S.O.	S.O.	S.O.	S.O.
Carbone inorganique total	0,1	mg C/l	0,9	3,3	1,1	1,3 à 1,5	S.O.	S.O.	S.O.	S.O.
Oxygène dissous validation	0,1	mg O ₂ /l	11,8	11,9	8,7	10,5	S.O.	5-8 ^e	S.O.	< 5,5
Analyses au laboratoire de chimie										
Couleur vraie	1	UCV	39	40	40 à 48	34 à 40	S.O.	S.O.	S.O.	S.O.
Turbidité	0,05	UTN	0,32	0,81	0,30 à 0,64	0,60 à 0,69	S.O.	2 ⁱ	> 8 ⁱ	50
Matières en suspension	0,4 ou 0,5	mg/l	Absence de données	< 0,4	0,5 à 0,6	< 0,5	5	S.O.	25	S.O.
Carbone organique dissous	0,5	mg C/l	5,2	3,2	3,1 à 3,7	3,5 à 7,8	S.O.	S.O.	S.O.	S.O.
Carbone organique total	0,5	mg C/l	5,5	3,0	3,4 à 3,8	3,3 à 5,3	S.O.	S.O.	S.O.	S.O.
Silice réactive	0,004	mg SiO ₂ /l	2,5	2,3	2,1 à 2,3	2,1 à 2,2	S.O.	S.O.	S.O.	S.O.
Chlorures	0,2	mg Cl/l	0,84	0,78	< 0,2 à 0,72	0,74 à 0,77	250	230	860	S.O.
Phosphore hydrolysable	0,001 ou 0,002	mg P/l	0,002	0,004	< 0,002 à 0,005	0,002	S.O.	S.O.	S.O.	S.O.
Orthophosphates	0,001 ou 0,002	mg P/l	0,002	0,002	< 0,001 à 0,002	0,001	S.O.	S.O.	S.O.	S.O.
Phosphore total	0,001	mg P/l	0,003	0,004	< 0,002 à 0,004	0,002	S.O.	0,02	S.O.	S.O.

Tableau 21-2 : Résultats des campagnes d'échantillonnage à la station témoin du lac du Vingt-Deuxième Mille (*suite*)

Paramètre	Limite de détection	Unité	Campagnes de 2000, 2001, 2004 et 2005 Station RM022 (échantillons regroupés)				Critères de qualité de l'eau de surface			
			Hiver	Printemps	Été	Automne	Prévention contamination (eau et organismes aquatiques) ^a	Protection vie aquatique (effets chroniques) ^a	Protection vie aquatique (effets aigus) ^a	Vie aquatique ^b
Sulfates	0,05	mg SO ₄ /l	1,20	1,10	1,00 à 1,05	1,10	500	S.O.	300	S.O.
Nitrates et nitrites	0,01 ou 0,02	mg N/l	0,05	0,05	< 0,02 à 0,02	0,03 à 0,04	10	40	200	S.O.
Azote ammoniacal	0,02	mg N/l	0,04	0,13	0,03	< 0,02 à 0,02	1,5	1,84-2,08 ^e	23,7-28,2 ^e	S.O.
Azote total Kjeldahl	0,03	mg N/l	0,16	0,44	0,14 à 0,16	0,09 à 0,14	S.O.	S.O.	S.O.	S.O.
Sélénium	0,0001	mg Se/l	0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001 à 0,0001	0,01	0,005	0,02	0,001
Calcium	0,05	mg Ca/l	0,7	1,3	0,6 à 0,7	0,7	S.O.	4 ⁱ	S.O.	S.O.
Fer	0,02	mg Fe/l	0,08	0,06	0,03 à 0,04	0,02 à 0,04	0,3	0,3	S.O.	0,3
Magnésium	0,01	mg Mg/l	0,20	0,21	0,19 à 0,21	0,19 à 0,20	S.O.	S.O.	S.O.	S.O.
Manganèse	0,01	mg Mn/l	Absence de données	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,05	S.O.	S.O.	S.O.
Potassium	0,02	mg K/l	0,13	0,14	0,12 à 0,13	0,11 à 0,15	S.O.	S.O.	S.O.	S.O.
Sodium	0,02	mg Na/l	0,69	0,70	0,64 à 0,72	0,62 à 0,71	200	S.O.	S.O.	S.O.
Chlorophylle <i>a</i>	0,1	µg/l	0,1	0,3	0,9 à 1,4	0,9 à 1,3	S.O.	S.O.	S.O.	S.O.
Phéopigments	0,1	µg/l	0,1	0,1	0,3 à 0,5	0,4 à 0,9	S.O.	S.O.	S.O.	S.O.
Tannins et lignines	0,02	mg/l	1,30	0,68	1,30 à 1,40	1,30 à 1,40	S.O.	S.O.	S.O.	S.O.

a. Critères de qualité de l'eau de surface au Québec (Québec, MDDEP, 2004).

b. Recommandations canadiennes pour la qualité des eaux (Canada, Ministère de l'Environnement, 2004a).

c. S.O. : sans objet. Aucun critère de qualité n'est applicable à ce paramètre.

d. Moyenne des mesures ponctuelles réalisées entre 1 et 10 m de profondeur.

e. La valeur de ce critère dépend de la température pour l'oxygène dissous et du pH dans le cas de l'azote ammoniacal.

f. Valeur en deçà des critères de qualité de l'eau pour le maintien de la vie aquatique, mais vraisemblablement non nocive pour les poissons selon le CCME, à moins de conditions particulières.

g. Certaines valeurs mesurées dépassent un des critères de qualité de l'eau.

h. Une alcalinité inférieure à 10 indique un milieu sensible à l'acidification, entre 10 et 20, la sensibilité est moyenne et au-dessus de 20, la sensibilité est faible.

i. L'augmentation de la turbidité à la suite de la réalisation du projet ne doit pas dépasser cette valeur.

j. Une concentration en calcium inférieure à 4 mg/l indique une sensibilité du milieu à l'acidification, entre 4 et 8, la sensibilité est moyenne et au-dessus de 8, la sensibilité est faible.

21.1.3 Variables physicochimiques

Il y a peu de différences dans les propriétés physicochimiques des eaux de la Romaine de l'amont vers l'aval de la zone d'étude. En rivière, les températures enregistrées durant les campagnes de 2004 et de 2005 ont varié de 0,1 à 20,0 °C selon un cycle naturel représentatif d'une rivière non régularisée. Les taux de saturation en oxygène se sont maintenus proches de la saturation (entre 81 et 107 %) à chacune des campagnes. Au lac du Vingt-Deuxième Mille, les températures mesurées varient de 2,4 à 17,2 °C, alors que la saturation en oxygène dissous s'étend de 89 à 94 %.

Le pH des eaux de la Romaine est légèrement acide (de 6,0 à 6,7). Dans le lac du Vingt-Deuxième Mille, le pH est encore plus faible avec des valeurs comprises entre 4,8 et 5,7. En règle générale, les valeurs les plus faibles ont été enregistrées à la fin de l'hiver et au moment de la crue printanière, et les valeurs les plus élevées, lors de l'étiage estival. Il s'agit de valeurs comparables à ce qui est souvent mesuré dans les rivières et les lacs de la Côte-Nord. Elles sont influencées par la géologie des bassins à l'étude, qui présente peu de composantes pouvant servir à neutraliser l'acidité des eaux. Selon Dupont (1991), les apports anthropiques aéroportés auraient une influence minime sur l'acidité des plans d'eau de la région comparativement aux acides organiques présents dans le milieu (tourbières). La couleur prononcée des eaux de la région constitue d'ailleurs un indice de leur concentration élevée en acides organiques.

Les eaux de la zone d'étude sont en outre faiblement minéralisées. L'alcalinité et les bicarbonates présentent des concentrations d'ions inférieures à 8 mg/l, indice d'un faible pouvoir tampon des eaux. L'alcalinité et les bicarbonates dans le lac du Vingt-Deuxième Mille sont particulièrement faibles avec des valeurs de 1,5 mg/l ou moins. En rivière, lors des périodes de crue, ces variables subissent une baisse passagère en raison des phénomènes de dilution. Elles atteignent leur valeur maximale sous la couverture de glace, lorsque le débit est minimal. La contribution des eaux souterraines, plus riches en éléments dissous, est alors plus importante et le temps de contact des eaux avec les matériaux de surface est plus long.

Les autres principaux ions dans la Romaine et le lac témoin montrent également des teneurs faibles et souvent inférieures à celles qui sont observées dans la Moisie (Robitaille, 1998). Ainsi, les chlorures affichent des concentrations comprises entre 0,1 et 0,8 mg/l, les sulfates, entre 0,9 et 2,1 mg/l, le calcium, entre 0,6 et 7,1 mg/l, le magnésium, entre 0,2 et 0,5 mg/l, le potassium, entre 0,1 et 0,3 mg/l et le sodium, entre 0,5 et 1,2 mg/l.

La nature des roches à travers lesquelles l'eau s'écoule a une incidence sur la conductivité. Or, les roches cristallines qui composent la majeure partie du Bouclier canadien étant très peu solubles, la quantité de minéraux dissous est donc faible. On note que cette conductivité, qui dépend de l'ensemble des ions majeurs, offre le

même profil général de variations annuelles. Par ailleurs, ces variations saisonnières n'ont pas été observées à la station RM022 du lac témoin parce que les temps de séjour des eaux y sont plus constants durant toute l'année.

Les teneurs en éléments nutritifs dans la Romaine et le lac témoin (carbone organique, azote ammoniacal, nitrites et nitrates, silice et phosphates) sont également faibles et relativement stables. Les concentrations d'azote total Kjeldahl sont maximales au moment de la crue printanière, mais la contribution des différentes formes d'azote (nitrites, nitrates et azote ammoniacal) varie d'une saison à l'autre. Ainsi, les teneurs en azote ammoniacal varient de moins de 0,02 à 0,14 mg/l et représentent entre 8 et 79 % de la teneur en azote total Kjeldahl selon la saison et la station considérées. Le modèle des variations saisonnières de l'azote ammoniacal est, en règle générale, proche de celui de l'azote total Kjeldahl. Les teneurs en nitrites et en nitrates, quant à elles, varient de moins de 0,02 à 0,14 mg/l. Ces teneurs correspondent bien à celles qui ont été mesurées dans la Moisie (Robitaille, 1998).

Les concentrations de phosphore total, de phosphore hydrolysable et d'orthophosphates ont été faibles à chacune des saisons d'échantillonnage. À la station en lac (RM022), les teneurs sont stables d'une saison à l'autre, alors qu'en rivière elles varient en fonction du débit et suivent d'assez près les concentrations de matières en suspension. Ce phénomène s'explique par le fait que le phosphore a tendance à s'attacher aux particules fines du sol qui sont mises en circulation durant les crues. Il est à signaler que l'anorthosite est largement répandue dans la zone d'étude et qu'elle contient de l'apatite (phosphate de calcium), probablement à l'origine d'une bonne partie de la charge en phosphore. On note aussi que les concentrations de phosphore total mesurées dans la Romaine (0,006 mg/l en moyenne) sont plus faibles que celles de la Moisie (0,030 mg/l en moyenne). Les analyses des échantillons de fond du lac du Vingt-Deuxième Mille indiquent que l'ensemble de ces variables présentent des concentrations équivalentes à celles de la zone photique, et ce, pour chacune des saisons. Il semble que la productivité du lac soit faible et qu'aucune accumulation d'éléments nutritifs n'ait lieu entre les différents épisodes de retournement.

Les variables indicatrices de la productivité primaire de la Romaine et du lac du Vingt-Deuxième Mille (chlorophylle *a* et phéopigments) présentent de faibles concentrations, avec des valeurs proches de 0,1 µg/l en hiver et variant de 0,2 à 1,8 µg/l en été. Elles montrent cependant une variabilité typique des plans d'eau de la région avec des concentrations plus élevées en été et très faibles sous couverture de glace.

Le fer est plus abondant en rivière (de 0,12 à 0,44 mg/l) que dans le lac témoin (de 0,02 à 0,08 mg/l). Les concentrations dans la Romaine sont équivalentes à celles des autres rivières de la région. Les formations rocheuses de la région sont d'ailleurs riches en minéraux ferromagnésiens. Le lessivage, par les eaux de pluie et de fonte, des sols de type podzolique, reconnus pour leur richesse en fer,

constitue une autre source probable de fer. Les teneurs en fer varient suivant le même modèle général que les matières en suspension, ce qui renforce l'idée générale de l'importance prédominante de la nature des sols sur les caractéristiques des eaux.

21.1.4 Qualité de l'eau en fonction des critères d'usage

La majorité des paramètres respectent les critères de qualité de l'eau pour la protection de la vie aquatique (voir les tableaux 21-1 et 21-2). Des dépassements sont toutefois observés pour le pH dans la Romaine et le lac témoin et pour le fer dans la Romaine.

Dans le cas du pH, les valeurs sont typiques de celles des plans d'eau du Bouclier canadien. Les pH dans la Romaine se sont maintenus au-dessus de 6,0, alors que ceux du lac témoin ont varié de 4,8 à 5,7. Ces valeurs ne sont vraisemblablement pas nocives pour la vie aquatique. En effet, selon le CCME (1987), des pH entre 6,0 et 6,5 ne sont pas nocifs pour les poissons « à moins que la concentration de l'anhydride carbonique libre dépasse 100 mg/l ». Toujours selon le CCME, « la nocivité associée à des pH aussi faibles que 5,0 à 6,0 est également improbable pour toutes les espèces à moins que la concentration de l'anhydride carbonique libre soit supérieure à 20 mg/l, ce qui n'est le cas ni de la Romaine ni du lac témoin car les concentrations de carbone inorganique total y sont inférieures à 5,1 mg/l, ou que l'eau contienne des sels de fer fraîchement précipités sous forme d'hydroxyde ferrique, dont la toxicité est inconnue ». Par ailleurs, une étude du gouvernement du Québec (1994) portant sur les effets de l'acidité et basée sur les données de 253 lacs du Bouclier canadien a montré que l'ensemble des organismes ne subissent à peu près pas d'effets néfastes même si le critère de protection de la vie aquatique de 6,5 n'est pas respecté. De plus, les résultats de Tremblay (1993) laissent supposer que les populations locales d'ombles de fontaine possèdent une grande résistance aux eaux acides et faiblement minéralisées des lacs de la Côte-Nord.

En ce qui concerne le fer, la Romaine présente des concentrations dépassant le critère pour la protection de la vie aquatique au moment des crues (campagnes printanière et automnales). Ces dépassements ont été observés uniquement à la station située près de la tête du bassin versant. Les valeurs enregistrées ne sont toutefois pas nocives pour la vie aquatique. D'une part, il s'agit de dépassements temporaires qui ne sont pas réellement comparables au critère d'effets chroniques et, d'autre part, le fer forme avec la matière organique des complexes qui limitent sa biodisponibilité.

21.1.5 Mercure et méthylmercure

Les résultats d'analyse du mercure total aux stations de la Romaine, présentés dans le rapport d'Environnement Illimité (2002b), indiquent des teneurs variant de 1,1 à 1,4 ng/l. Pour leur part, les valeurs du méthylmercure oscillent entre 0,06 et

0,07 ng/l. En ce qui concerne le lac du Vingt-Deuxième Mille, les résultats d'analyse du mercure total et du méthylmercure indiquent des valeurs respectives de 1,8 ng/l et de 0,05 ng/l. Ces résultats confirment la présence de méthylmercure en milieu lacustre et en milieu fluvial. Les teneurs sont cependant relativement faibles et comparables à ce qui a été mesuré au complexe La Grande (Lucotte et coll., 1999).

21.2 Modifications liées à la présence et à l'exploitation des aménagements

Déclaration de la modification

Modification négligeable de la qualité de l'eau au regard de la protection de la vie aquatique.

Sources de la modification

- Présence des réservoirs et des ouvrages.
- Gestion hydraulique des ouvrages.

Mesures d'atténuation

Aucune mesure n'est prévue pour la plupart des milieux modifiés.

Toutefois, dans le bassin du tronçon court-circuité en aval du barrage de la Romaine-1, la teneur en oxygène dissous à la fin de la période de couverture de glace pourrait être insuffisante pour les poissons (voir la partie de la section 21.2 portant sur les tronçons court-circuités de la Romaine). On effectuera pendant cinq ans un suivi des teneurs en oxygène dissous de ce milieu en période hivernale. Si les teneurs en oxygène dissous se révèlent inadéquates, des mesures seront prises pour éviter la mortalité de poissons.

Description détaillée de la modification

La mise en eau et la gestion hydraulique des réservoirs projetés sur la Romaine sont les principales sources de modification de la qualité de l'eau pendant l'exploitation du complexe. Il en est de même de la période d'exploitation transitoire, comprise entre la mise en service de la première centrale (Romaine-2) et celle de la quatrième (Romaine-4). Pendant cette période, les mises en eau suivront la séquence suivante : le remplissage du réservoir de la Romaine 2 commencera en avril 2014, suivi du réservoir de la Romaine 1 (juillet 2016), du réservoir de la Romaine 3 (octobre 2016) et du réservoir de la Romaine 4 (septembre 2019). Les deux périodes d'exploitation seront traitées ensemble, car les durées des modifications prévues se chevauchent.

Réservoirs

Les principaux mécanismes de modification de la qualité de l'eau à la suite de la mise en eau des réservoirs projetés sur la Romaine sont les suivants :

- lessivage des sols ennoyés ;
- décomposition des matières organiques submergées ;
- augmentation de la biomasse phytoplanctonique en réponse à la hausse des éléments nutritifs.

Les modifications auront une incidence temporaire sur la qualité de l'eau. Pour chacun des réservoirs, les modifications maximales de la plupart des variables physicochimiques se produiront entre un et quatre ans après le début de la mise en eau et seront pratiquement terminées après une dizaine d'années. À cause de la mise en eau séquentielle des quatre réservoirs, le retour complet à des valeurs représentatives des conditions initiales pour la majorité des variables sera réalisé après environ dix à douze ans pour les réservoirs de la Romaine 3 et de la Romaine 4, et après environ une quinzaine d'années pour les réservoirs de la Romaine 1 et de la Romaine 2.

Les prévisions présentées dans cette section proviennent du calcul de différents indices de modification. Ces derniers mettent en relation les caractéristiques physiques des réservoirs avec les changements physicochimiques mesurés dans le réservoir Robert-Bourassa (complexe La Grande), utilisé à titre de réservoir de référence (voir la section M9.2.1 dans le volume 9. Les résultats fournissent l'ordre de grandeur des changements qui se produiront dans l'ensemble des réservoirs projetés. Il est évident que les modifications varieront localement selon les caractéristiques du milieu. Elles seront maximales aux endroits peu profonds, où la superficie terrestre ennoyée est grande, où le volume d'eau est petit et où le temps de séjour des eaux est plus long.

Les tableaux 21-3 à 21-6 présentent les principales modifications de la qualité de l'eau qui seront causées à court terme et à long terme par la création des réservoirs. On a retenu les principales variables de qualité de l'eau habituellement modifiées par ce genre d'aménagement. À l'exception de la turbidité, pour laquelle l'étendue des mesures est montrée, les valeurs présentées correspondent aux moyennes mesurées et prévues en période d'eau libre, à moins d'indication contraire. Il est à noter que la période d'eau libre comprend le printemps, l'été et l'automne.

Tableau 21-3 : Modification maximale des principales variables de la qualité de l'eau prévues à court et à long terme dans le réservoir de la Romaine 4

Variable	Valeur en conditions actuelles ^a	Modification maximale prévue à court terme ^{a, b}	Valeur prévue à long terme ^a
Turbidité (UTN)	1 à 3	1 à 3	1 à 3
Couleur vraie (UCV)	50	60	50
Carbone organique total (mg C/l)	4,8	5,7	4,8
Azote total Kjeldahl (mg N/l)	0,22	0,26	0,22
Saturation en oxygène dissous (%) :			
• moyenne hivernale ^c	85	60	85
• moyenne estivale ^d	90	60	90
Proportion maximale du volume d'eau possédant un taux de saturation inférieur à 50 % ^e	–	25 %	–
pH :			
• moyenne hivernale	6,3	6,0	6,3
• moyenne estivale	6,4	6,1	6,4
Phosphore total (µg P/l)	7	13	7
Chlorophylle <i>a</i> (µg/l)	1,2 (1,9 ^f)	2,2 à 3,5	1,2 à 1,9
Méthylmercure (ng/l)	0,06	0,15	0,06

- a. Valeurs moyennes en période d'eau libre, sauf indication contraire.
b. Modification généralement observée de un à quatre ans après la mise en eau.
c. Période de glace (de la mi-novembre à la fin d'avril) ; valeurs arrondies à 5 % près.
d. Période d'eau libre (de mai à octobre) ; valeurs arrondies à 5 % près.
e. À la fin de la période de glace, généralement celle du deuxième ou du troisième hiver suivant la mise en eau ; valeur arrondie à 5 % près.
f. Valeur attendue en milieu lacustre selon le phosphore mesuré dans la Romaine.

Tableau 21-4 : Modification maximale des principales variables de la qualité de l'eau prévues à court et à long terme dans le réservoir de la Romaine 3

Variable	Valeur en conditions actuelles ^a	Modification maximale prévue à court terme ^{a, b}	Valeur prévue à long terme ^a
Turbidité (UTN)	1 à 3	1 à 3	1 à 3
Couleur vraie (UCV)	50	50 à 60	50
Carbone organique total (mg C/l)	4,8	5,0 à 5,7	4,8
Azote total Kjeldahl (mg N/l)	0,22	0,23 à 0,26	0,22
Saturation en oxygène dissous (%) :			
• moyenne hivernale ^c	95	85 à 60	85
• moyenne estivale ^d	100	90 à 60	90
Proportion maximale du volume d'eau possédant un taux de saturation inférieur à 50 % ^e	–	10 % à 40 % ^f	–
pH :			
• moyenne hivernale	6,3	6,2 à 5,9	6,3
• moyenne estivale	6,4	6,3 à 6,1	6,4
Phosphore total (µg P/l)	7	13	7
Chlorophylle <i>a</i> (µg/l)	1,2 (1,9 ^g)	2,2 à 3,5	1,2 à 1,9
Méthylmercure (ng/l)	0,06	0,12	0,06

- a. Valeurs moyennes en période d'eau libre, sauf indication contraire.
b. Modification généralement observée de un à quatre ans après la mise en eau ; la plage de valeurs correspond aux scénarios sans et avec effet cumulatif.
c. Période de glace (de la fin de novembre à la fin d'avril) ; valeurs arrondies à 5 % près.
d. Période d'eau libre (de mai à octobre) ; valeurs arrondies à 5 % près.
e. À la fin de la période de glace, généralement celle du deuxième ou du troisième hiver suivant la mise en eau ; valeur arrondie à 5 % près.
f. Valeur arrondie à 5 % près.
g. Valeur attendue en milieu lacustre selon le phosphore mesuré dans la Romaine.

Tableau 21-5 : Modification maximale des principales variables de la qualité de l'eau prévues à court et à long terme dans le réservoir de la Romaine 2

Variable	Valeur en conditions actuelles ^a	Modification maximale prévue à court terme ^{a, b}	Valeur prévue à long terme ^a
Turbidité (UTN)	1 à 3	1 à 3	1 à 3
Couleur vraie (UCV)	50	55 à 60	50
Carbone organique total (mg C/l)	4,8	5,1 à 5,9	4,8
Azote total Kjeldahl (mg N/l)	0,22	0,24 à 0,27	0,22
Saturation en oxygène dissous (%) :			
• moyenne hivernale ^c	95	85 à 65	85
• moyenne estivale ^d	100	90 à 65	90
Proportion maximale du volume d'eau possédant un taux de saturation inférieur à 50 % ^e	–	10 % à 30 % ^f	–
pH :			
• moyenne hivernale	6,3	6,2 à 5,8	6,3
• moyenne estivale	6,4	6,3 à 5,9	6,4
Phosphore total (µg P/l)	7	10	7
Chlorophylle <i>a</i> (µg/l)	1,2 (1,9 ^g)	1,7 à 2,7	1,2 à 1,9
Méthylmercure (ng/l)	0,06	0,09	0,06

a. Valeurs moyennes en période d'eau libre, sauf indication contraire.

b. Modification généralement observée de un à quatre ans après la mise en eau ; la plage de valeurs correspond aux scénarios sans et avec effet cumulatif.

c.. Période de glace (du début de décembre à la fin d'avril) ; valeurs arrondies à 5 % près.

d.. Période d'eau libre (de mai à octobre) ; valeurs arrondies à 5 % près.

e. À la fin de la période de glace, généralement celle du deuxième ou du troisième hiver suivant la mise en eau ; valeur arrondie à 5 % près.

f. Valeur arrondie à 5 % près.

g. Valeur attendue en milieu lacustre selon le phosphore mesuré dans la Romaine.

Dans le cas des réservoirs de la Romaine 3, de la Romaine 2 et de la Romaine 1, pour la majorité des variables retenues, on a considéré deux scénarios de calcul : sans effet cumulatif et avec effet cumulatif. Dans les tableaux 21-4 à 21-6, la plage des valeurs présentée dans la colonne des modifications maximales correspond aux scénarios sans et avec effet cumulatif. Dans le premier cas, les modifications sont moindres et correspondent aux valeurs obtenues pour chaque réservoir considéré seul, ce qui correspond à un scénario sans effet cumulatif. Dans le second cas, les modifications sont maximales et représentent l'effet cumulatif correspondant à une synchronisation parfaite des modifications maximales prévues dans tous les réservoirs. Ce scénario est très pessimiste, car les modifications maximales de la majorité des variables des réservoirs du complexe La Grande ont généralement été obtenues de deux à quatre ans après la mise en eau, et même de un à deux ans dans le cas du réservoir Opinaca. La mise en eau séquentielle des réservoirs de la Romaine, échelonnée sur une période d'un peu plus de six ans, rend ce scénario (pire scénario envisageable) très peu probable. Les modifications qui se produiront seront vraisemblablement intermédiaires entre ces deux scénarios. Il est à noter que, pendant le remplissage des réservoirs de la Romaine 3 et de la Romaine 4, alors que le débit sera réduit pour les réservoirs en aval, les indices de modification indiquent des modifications intermédiaires entre celles des deux scénarios retenus.

Tableau 21-6 : Modification maximale des principales variables de la qualité de l'eau prévues à court et à long terme dans le réservoir de la Romaine 1

Variable	Valeur en conditions actuelles ^a	Modification maximale prévue à court terme ^{a, b}	Valeur prévue à long terme ^a
Turbidité (UTN)	1 à 3	1 à 3	1 à 3
Couleur vraie (UCV)	50	55 à 60	50
Carbone organique total (mg C/l)	4,8	5,1 à 5,9	4,8
Azote total Kjeldahl (mg N/l)	0,22	0,24 à 0,27	0,22
Saturation en oxygène dissous (%) :			
• moyenne hivernale ^c	95	85 à 70	85
• moyenne estivale ^d	100	90 à 70	90
Proportion maximale du volume d'eau possédant un taux de saturation inférieur à 50 % ^e	–	10 % à 25 % ^f	–
pH :			
• moyenne hivernale	6,3	6,2 à 5,8	6,3
• moyenne estivale	6,4	6,3 à 5,9	6,4
Phosphore total (µg P/l)	7	10	7
Chlorophylle <i>a</i> (µg/l)	1,2 (1,9 ^g)	1,7 à 2,7	1,2 à 1,9
Méthylmercure (ng/l)	0,06	0,10	0,06

a. Valeurs moyennes en période d'eau libre, sauf indication contraire.

b. Modification généralement observée de un à quatre ans après la mise en eau ; la plage de valeurs correspond aux scénarios sans et avec effet cumulatif.

c. Période de glace (de la mi-décembre à la mi-avril) ; valeurs arrondies à 5 % près.

d. Période d'eau libre (de mai à octobre) ; valeurs arrondies à 5 % près.

e. À la fin de la période de glace, généralement celle du deuxième ou du troisième hiver suivant la mise en eau ; valeur arrondie à 5 % près.

f. Valeur arrondie à 5 % près

g. Valeur attendue en milieu lacustre selon le phosphore mesuré dans la Romaine.

Comme on prévoit très peu d'érosion des rives des réservoirs projetés, les eaux demeureront peu chargées de matières en suspension. En période d'eau libre, la turbidité de l'ensemble des quatre réservoirs demeurera de l'ordre de 1 à 3 UTN, soit des valeurs comparables aux conditions actuelles (voir les tableaux 21-3 à 21-6).

Selon le scénario de calcul retenu, les **teneurs en oxygène dissous** diminueront de façon sensible, mais resteront toujours suffisantes pour le maintien de la vie aquatique. En période d'eau libre, le pourcentage moyen de saturation en oxygène dissous passerait de 90-100 % en conditions actuelles à des minimums variant de 60 à 90 % selon le réservoir (voir les tableaux 21-3 à 21-6). En hiver, soit durant la période de couverture de glace, le taux moyen de saturation en oxygène dissous passerait de 85-95 % en conditions actuelles à des minimums variant de 60 à 85 % selon le réservoir. Vers la fin de la période de glace, la proportion maximale du volume total des réservoirs présentant un taux de saturation en oxygène dissous inférieur à 50 % variera de 10-25 % au réservoir de la Romaine 1 à 10-40 % au réservoir de la Romaine 3. Par conséquent, les conditions d'oxygène dissous demeureront plus qu'adéquates pour les organismes aquatiques dans au moins 60 à 90 % du volume hivernal des réservoirs.

Les modifications maximales à court terme se produiront aux réservoirs de la Romaine 3 et de la Romaine 4. À long terme, le taux moyen de saturation en oxygène dissous se maintiendra autour de 85 % en hiver et de 90 % en été, soit des taux semblables à ceux des lacs et des tronçons à écoulement lent des rivières de la région.

Selon les scénarios de calcul retenus et les réservoirs, le **pH** moyen des eaux en période d'eau libre baisserait d'une valeur initiale de 6,4 à des minimums variant à court terme de 5,9 à 6,3 (voir les tableaux 21-3 à 21-6). En période de glace, les valeurs moyennes de pH diminueraient d'une valeur initiale de 6,3 à des minimums variant à court terme de 5,8 à 6,2 unités, selon les réservoirs. Puisque la nocivité est improbable pour toutes les espèces de poissons à des pH compris entre 5,0 et 6,0 et que des valeurs équivalentes à celles des réservoirs projetés sont régulièrement mesurées dans les plans d'eau naturels du Bouclier canadien, le pH prévu sera toujours convenable pour les organismes aquatiques. À long terme, c'est-à-dire environ douze à quinze ans après la mise en eau du premier réservoir, les valeurs de pH de tous les réservoirs de la Romaine seront équivalentes aux pH mesurés en conditions actuelles.

La création des réservoirs projetés entraînera une très légère augmentation temporaire des variables de la qualité de l'eau liées aux matières organiques. Selon les scénarios de calcul retenus et les réservoirs, la valeur moyenne de la couleur vraie en période d'eau libre passerait de 50 UCV à des maximums variant à court terme de 50 à 60 UCV. À court terme, la valeur correspondante du carbone organique total augmenterait de 4,8 mg C/l à des maximums de 5,0 à 5,9 mg C/l, alors que la teneur moyenne d'azote total Kjeldahl serait haussée d'une valeur initiale de 0,22 mg N/l à des maximums compris entre 0,23 et 0,27 mg N/l selon le réservoir. À long terme, les valeurs moyennes estivales de ces variables seraient, pour tous les réservoirs, équivalentes à celles des conditions actuelles.

Selon le logiciel HQEAU (voir la section M12.2.3.1), la teneur moyenne en **phosphore total** prévue pour la période d'eau libre des réservoirs de la Romaine augmenterait à court terme d'une valeur initiale de 7 µg/l à des maximums variant de 10 µg/l (réservoirs de la Romaine 1 et de la Romaine 2) à 13 µg/l (réservoirs de la Romaine 3 et de la Romaine 4) (voir les tableaux 21-3 à 21-6). Les teneurs maximales en phosphore total atteintes dans les réservoirs de la Romaine n'entraîneront aucune prolifération d'algues, mais elles se traduiront par une hausse générale de la productivité biologique, du phytoplancton aux poissons, comme on l'a observé aux réservoirs du complexe La Grande (Schetagne et coll., 2005). À long terme, les teneurs en phosphore total des eaux des réservoirs de la Romaine redeviendront équivalentes aux valeurs mesurées en conditions actuelles.

Plusieurs facteurs peuvent influencer sur les organismes phytoplanctoniques et, par voie de conséquence, sur les concentrations de **chlorophylle a**, considérées comme une mesure de la biomasse phytoplanctonique. Le suivi de la qualité de l'eau dans

le réservoir Robert-Bourassa a montré que le phosphore et la silice sont les éléments nutritifs les plus déterminants pour l'évolution de la biomasse phyto-planctonique. Compte tenu des indices calculés (voir la section M9.2.1), la concentration moyenne de chlorophylle *a* en période d'eau libre passerait d'environ 1,2 µg/l en conditions actuelles à des concentrations maximales à court terme de 1,7 à 3,5 µg/l selon le réservoir considéré. La plage de valeurs maximales prévues correspond aux hypothèses retenues concernant les teneurs susceptibles d'être observées en conditions lacustres (ou de réservoir) selon la teneur en phosphore mesurée dans la rivière. Les effets de la vitesse d'écoulement relativement élevée et de la grande turbulence des eaux de la Romaine limitent vraisemblablement la production phytoplanctonique. Puisque des conditions lacustres demeureront dans de grandes parties des réservoirs projetés, les teneurs moyennes en chlorophylle *a* prévues à long terme dans ces réservoirs, durant la période d'eau libre, seront supérieures à celles enregistrées des conditions actuelles ; elles varieraient de 1,2 à 1,9 µg/l selon les parties des réservoirs.

Selon le logiciel HQEAU, la teneur en **méthylmercure** prévue en août, soit au moment où les teneurs sont généralement maximales, augmenterait d'une valeur initiale de 0,06 ng/l à des maximums variant de 0,09 à 0,15 ng/l selon le réservoir projeté (voir les tableaux 21-3 à 21-6). D'après les simulations effectuées, les teneurs en méthylmercure seront légèrement plus élevées aux réservoirs de la Romaine 3 et de la Romaine 4 (0,12 et 0,15 ng/l) qu'aux réservoirs de la Romaine 1 et de la Romaine 2 (0,10 et 0,09 ng/l). À long terme, les teneurs seront équivalentes à celles des conditions actuelles.

Les valeurs prévues n'auront pas d'effet sur les organismes aquatiques, car elles demeurent nettement inférieures au critère de qualité de 4 ng/l pour la protection de la vie aquatique. En ce qui concerne la santé humaine, les valeurs prévues ne poseront aucun risque. En effet, au moment où les teneurs en méthylmercure seront maximales, il faudrait boire quotidiennement plus de 200 000 l d'eau des réservoirs pour dépasser la dose journalière admissible (DJA) de 0,47 µg/kg/j recommandée par le ministère de la Santé et des Services sociaux du Québec et Santé Canada (en considérant un poids corporel de 60 kg). Pour dépasser la DJA de 0,20 µg/kg/j recommandée pour protéger l'enfant à naître, il faudrait que les femmes enceintes ou qui désirent le devenir boivent quotidiennement plus de 85 000 l d'eau des réservoirs.

Tronçons court-circuités

Dans les tronçons court-circuités de la Romaine, compris entre les barrages et les canaux de fuite des centrales, la qualité de l'eau en conditions futures sera surtout déterminée par les paramètres suivants :

- l'évolution de la qualité de l'eau dans le réservoir situé en amont ;

- le potentiel d'oxygénation et de redressement du pH, selon les caractéristiques des ouvrages qui fourniront les débits réservés et selon les segments de rapides présents dans ces tronçons ;
- les apports des tributaires de ces tronçons pouvant diluer les eaux en provenance du réservoir.

■ Caractéristiques physiques des tronçons court-circuités

Dans le tronçon court-circuité de 1,6 km en aval du **barrage de la Romaine-4**, un débit réservé de 1,8 m³/s s'écoulera de l'évacuateur de crues. La dénivelée de l'évacuateur sera d'environ 60 m et des paliers creusés dans le roc assureront la dissipation de l'énergie. La dénivelée du tronçon court-circuité sera de 13 m. Pendant l'exploitation du complexe, le tronçon comprendra deux petits bassins de 1,3 et 3,5 m de profondeur, aux eaux calmes, entre lesquels les ruptures de pente irrégulières au niveau des seuils rocheux permettront la formation de petites chutes et cascades malgré le faible débit. On note également la présence d'un tributaire, qui apportera une eau d'une qualité équivalente à celle de la Romaine en conditions actuelles. Les apports intermédiaires (0,05 m³/s en moyenne) représentent environ 3 % du débit réservé.

Dans le tronçon court-circuité de 3,4 km en aval du **barrage de la Romaine-3**, un débit réservé de 2,2 m³/s s'écoulera de l'évacuateur de crues. À la sortie de l'évacuateur, dont la dénivelée est d'environ 70 m, l'énergie de l'eau sera dissipée dans un canal creusé dans le roc. Le tronçon court-circuité, dont la dénivelée est de 38 m, sera caractérisé par la présence de quelques très petits bassins d'eaux calmes, de 2,5 et 7 m de profondeur pour les plus importants, entre lesquels se formeront de petites chutes et cascades à cause des ruptures irrégulières de pente. Les tributaires intermédiaires, dont le débit moyen (0,17 m³/s) représente environ 8 % du débit réservé, apporteront des eaux de qualité similaire à celle de la Romaine en conditions actuelles.

Dans le tronçon court-circuité de 6,6 km en aval du **barrage de la Romaine-2**, un débit réservé de 2,7 m³/s s'écoulera de l'évacuateur de crues. La dénivelée de l'évacuateur est d'environ 80 m ; celui-ci est doté d'une série de marches et d'une fosse creusées dans le roc destinées à dissiper l'énergie de l'eau. Le tronçon court-circuité, dont la dénivelée est d'environ 60 m, sera formé de plusieurs petits bassins profonds (entre 5 et 10 m) aux eaux calmes séparés par des seuils rocheux qui provoqueront de petites chutes et cascades. Les apports intermédiaires provenant de trois principaux tributaires (total d'environ 0,4 m³/s en moyenne), qui correspondent à près de 15 % du débit réservé, apporteront des eaux d'une qualité équivalente à celle de la Romaine en conditions actuelles.

Le tronçon court-circuité de 1,0 km en aval du **barrage de la Romaine-1** est actuellement caractérisé par une chute d'environ 25 m, un bassin et un court rapide ainsi que par un substrat dominé par le roc. L'évacuateur de crues aura une dénivellée de plus de 30 m, et la dissipation d'énergie se fera sans fosse, directement sur le roc nettoyé. Aucun débit réservé n'est prévu dans ce court tronçon.

■ Qualité de l'eau des tronçons court-circuités de la Romaine-4, de la Romaine-3 et de la Romaine-2

Même durant la période des modifications maximales dans les réservoirs de la Romaine, les changements de la qualité de l'eau des tronçons court-circuités en aval des barrages de la Romaine-4, de la Romaine-3 et de la Romaine-2 seront faibles. En effet, la qualité de l'eau correspondra essentiellement à celle qui est prévue dans les réservoirs (voir les tableaux 21-3 à 21-5), à l'exception des teneurs en oxygène dissous, qui seront ramenées au taux de saturation, ainsi que du pH, qui sera redressé à des valeurs voisines des conditions actuelles ; cette évolution de la teneur en oxygène dissous et du pH est liée aux zones de turbulence des eaux le long des évacuateurs et aux petites chutes et cascades présentes dans les tronçons. Les substrats sont trop grossiers pour causer une augmentation de la turbidité et les apports intermédiaires sont trop faibles pour diluer de manière notable les apports des réservoirs.

■ Qualité de l'eau du tronçon court-circuité de la Romaine-1 pendant les évacuations d'eau

Le bassin présent dans le tronçon de la Romaine-1 sera alimenté environ une année sur trois par l'évacuateur de crue, la qualité de l'eau sera également semblable à celle du réservoir de la Romaine 1 (voir le tableau 21-6), à l'exception des taux de saturation en oxygène dissous et du pH, qui seront redressés par la turbulence de l'eau durant les évacuations.

■ Qualité de l'eau du tronçon court-circuité de la Romaine-1 en l'absence d'évacuation d'eau

Durant les périodes sans évacuation d'eau, il subsistera un bassin profond où pourront être emprisonnés les poissons qui dévaleront du réservoir de la Romaine 1 par l'évacuateur de crues. Puisqu'il n'est pas prévu de débit réservé pour cet aménagement, l'absence de circulation d'eau entraînera une diminution des teneurs en oxygène dissous, surtout en hiver. Ces teneurs pourraient descendre à des niveaux inférieurs à ceux qui sont nécessaires à la survie des poissons.

Afin d'évaluer le risque de mortalité de poissons, on a estimé la déplétion en oxygène dissous selon les hypothèses suivantes :

- Il est considéré qu'en période d'eau libre, le retournement printanier et les apports en oxygène de l'air libre seront suffisants pour maintenir un niveau d'oxygénation adéquat.
- Le retournement automnal permettra une teneur en oxygène dissous moyenne de 12,75 mg/l, ce qui correspond à la saturation maximale pour une température de 5 °C.
- Selon Robitaille (1998), la demande biologique en oxygène sur cinq jours (DBO5) pour les rivières de la Côte-Nord en conditions naturelles est de 0,2 mg/l.
- La biomasse totale moyenne des poissons dans la Romaine est de 46,03 kg/ha, selon l'étude sectorielle sur les habitats et la production de poissons (GENIVAR, 2007d, tableau 6-5).
- La masse moyenne des poissons en rivière est de 161,83 g, selon GENIVAR (2007d, tableau 4-9).
- La superficie du bassin résiduel dans le tronçon court-circuité de la Romaine-1 est de 52 000 m² ou 5,2 ha, soit 400 m × 120 m.
- Le volume du bassin résiduel est estimé à 270 000 m³.
- Le bassin contient un nombre de poissons estimé à 1 479 (46,03 kg/ha × 5,2 ha ÷ 0,16183 kg).
- Le niveau de consommation d'oxygène des poissons a été évalué à partir de données tirées de la documentation (voir le tableau 21-7).

Tableau 21-7 : Consommation d'oxygène des poissons selon leur niveau d'activité

Niveau d'activité	Consommation d'oxygène (mg/h)	Source
Repos	10,1	Wu, 1977
	13,5	Brett, 1965
	12,4	Jones et Randall, 1978 ^a
Nage à vitesse critique ^b	130	Wu, 1977
	137	Brett, 1965
	124	Jones et Randall, 1978 ^c

a. $\text{Log} [\text{consommation O}_2] = -0,63 + 0,78 \log [\text{poids}]$.

b. Vitesse de nage maximale pouvant être maintenue durant 60 minutes.

c. $\text{Log} [\text{consommation O}_2] = -0,05 + 0,97 \log [\text{poids}]$.

Partant de ces hypothèses, on peut estimer que la consommation d'oxygène moyenne de chaque poisson serait de 71,2 mg/h. Les 1 479 poissons dans le bassin résiduel consomment donc $1\,479 \times 71,2$ mg/h d'oxygène, soit 105 304,8 mg/h. Les projections de consommation d'oxygène par les poissons sont présentées au tableau 21-8.

Tableau 21-8 : Teneurs résultantes en oxygène dissous dans le bassin résiduel du tronçon court-circuité de la Romaine-1 en période de glace

Durée (j)	Consommation d'oxygène des poissons (mg)	Autres consommations biologiques d'oxygène ^a (mg)	Teneur résultante en oxygène dissous (mg/l)
0	0	0	12,75
1	2 527 315	10 800 000	12,70
2	5 054 630	21 600 000	12,65
5	12 636 576	54 000 000	12,50
10	25 273 152	108 000 000	12,26
30	75 819 456	324 000 000	11,27
60	151 638 912	648 000 000	9,79
90	227 458 368	972 000 000	8,31
150	379 097 250	1 620 000 000	5,35

a. Demande biologique en oxygène sur cinq jours (DBO5).

Enfin, la déplétion d'oxygène dissous dans le bassin a été calculée selon le nombre de jours en période de glace en supposant une teneur initiale de 12,75 mg O₂/l (voir le tableau 21-8).

Le ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec (MDDEP) utilise le critère de 6 mg/l comme valeur minimale d'oxygène dissous dans l'eau pour assurer le maintien de la vie aquatique. Ainsi, les quelque 1 500 poissons dans le bassin résiduel du tronçon court-circuité de la Romaine-1 commenceraient à manquer d'oxygène après une période d'environ 120 jours, c'est-à-dire au bout de quatre mois avec couverture de glace.

La période de couverture de glace de ce bassin devrait être de l'ordre de 150 jours, puisque la durée de la période de glace du réservoir de la Romaine 4 (au temps de séjour relativement long, étant situé plus au nord) est d'environ 160 jours. Selon les hypothèses de calcul retenues, il pourrait y avoir des conditions d'oxygène dissous inadéquates pour les poissons pendant le dernier mois de la période de glace. On effectuera donc un suivi des teneurs en oxygène dissous durant les cinq premiers hivers et, au besoin, on mettra en œuvre des mesures d'atténuation pour éviter la mortalité de poissons.

■ Qualité de l'eau de la rivière Romaine en aval du réservoir de la Romaine 1

Les modifications de la qualité de l'eau prévues pendant l'exploitation du complexe dans le tronçon fluvial de la Romaine en aval de l'aménagement de la Romaine-1 seront plus faibles que celles des quatre réservoirs projetés. Les principales raisons sont les suivantes :

- Une partie des effets des réservoirs seront réduits par la turbulence des eaux dans les segments de rapides.
- Les tributaires du bassin versant résiduel déverseront des eaux de qualité semblable à celle de la Romaine en conditions actuelles.
- La baisse du niveau d'eau sera relativement faible et les matériaux de surface sont peu sujets à l'érosion.

Durant la **période d'exploitation**, la qualité de l'eau de la Romaine en aval du réservoir de la Romaine 1 (voir le tableau 21-9) demeurera adéquate pour les organismes aquatiques. Elle correspondra essentiellement à celle du réservoir de la Romaine 1. Feront exception l'oxygène dissous, dont les valeurs prévues à l'aval correspondent à une augmentation de 10 % du taux de saturation prévu pour le réservoir de la Romaine 1, ainsi que le pH, dont les valeurs prévues correspondent à un redressement de 0,1 par rapport à celles du réservoir.

On maintiendra un débit réservé de 170 m³/s durant le remplissage du réservoir de la Romaine 1, qui aura lieu du milieu à la fin de juillet deux ans après la mise en eau du réservoir de la Romaine 2, donc en période d'exploitation de la centrale de la Romaine 2. Grâce à ce débit, la qualité de l'eau de la Romaine en aval du réservoir de la Romaine 1 sera peu modifiée (voir le tableau 21-9). Elle correspondra alors au mélange de l'eau du réservoir de la Romaine 2 considéré seul (scénario sans effet cumulatif, puisque les autres réservoirs n'auront pas encore été créés) avec l'eau apportée par les tributaires du bassin résiduel. L'eau de ces tributaires sera de même qualité que celle de la Romaine en conditions actuelles.

Le débit devrait permettre une turbulence des eaux suffisante pour augmenter le taux de saturation en oxygène dissous des eaux sortant du réservoir de la Romaine 2 à des niveaux équivalents à ceux des segments actuels de la Romaine qui présentent peu de rapides, comme le segment en amont du barrage de la Romaine-4. On mesure à cet endroit des taux moyens de saturation de l'ordre de 95 % en été et de 100 % en hiver.

Pendant le **remplissage** du réservoir de la Romaine 1, le débit réservé limitera la baisse du niveau d'eau, ce qui réduira les possibilités d'érosion des matériaux fins et maintiendra la turbidité et les matières en suspension à des valeurs faibles, voisines de celles des conditions actuelles. De plus, l'encaissement et l'érosion

Tableau 21-9 : Modification maximale des principales variables de la qualité de l'eau de la Romaine prévue à court et à long terme en aval du réservoir de la Romaine 1

Variable	Valeur en conditions actuelles ^a	Modification en exploitation ^{a, b}	Modification pendant le remplissage du réservoir de la Romaine 1 ^c	Valeur à long terme ^a
Turbidité (UTN)	1 à 3	1 à 3	1 à 5	1 à 3
Couleur vraie (UCV)	50	55 à 60	50 à 55	50
Carbone organique total (mg C/l)	4,8	5,1 à 5,9	4,8 à 5,1	4,8
Azote total Kjeldahl (mg N/l)	0,22	0,24 à 0,27	0,22 à 0,24	0,22
Saturation en oxygène dissous (%) :				
• moyenne hivernale ^d	95	80 à 85	80 à 90	85
• moyenne estivale ^e	100	80 à 90	80 à 90	90
pH :				
• moyenne hivernale	6,3	5,9 à 6,3	6,2 à 6,3	6,3
• moyenne estivale	6,4	6,0 à 6,4	6,3 à 6,4	6,4
Phosphore total (µg P/l)	7	10	7 à 10	7
Chlorophylle <i>a</i> (µg/l)	1,2 (1,9 ^f)	1,7 à 2,7	1,2 à 2,7	1,2 à 1,9

a. Valeurs moyennes en période d'eau libre, sauf indication contraire.

b. Modification généralement observée de un à quatre ans après la mise en eau ; la plage de valeurs correspond aux scénarios sans et avec effet cumulatif.

c. La plage de valeurs correspond aux scénarios sans et avec effet cumulatif.

d. Période de glace ; valeurs arrondies à 5 % près.

e. Période d'eau libre (de mai à octobre) ; valeurs arrondies à 5 % près.

f. Valeur attendue en milieu lacustre selon le phosphore mesuré dans la Romaine.

régressive des tributaires de la Romaine en aval du réservoir de la Romaine 2 auront eu lieu pendant le remplissage de ce dernier, alors que le niveau d'eau sera beaucoup plus bas que pendant l'exploitation de la centrale de la Romaine-2.

Les effets du remplissage du réservoir de la Romaine 2 sur la qualité de l'eau de la rivière en aval sont traités à la section 21.3.

Sursaturation des eaux en gaz en aval de l'évacuateur de crues de la Romaine-2

La dissipation de l'énergie des eaux qui empruntent l'évacuateur de crues de la Romaine-2 se fera par une série de marches et une fosse creusées dans le roc (voir la planche 11-5). Ce type d'évacuateur peut, selon les conditions d'écoulement des eaux, entraîner une sursaturation en gaz dissous en aval.

La sursaturation en gaz dissous peut se produire lorsque des bulles d'air sont entraînées en profondeur. Ce phénomène a été observé aux évacuateurs où l'eau tombe d'une certaine hauteur (par exemple, plus de 10 m) dans une fosse de dissipation profonde (de 10 m ou plus). La pression plus grande en profondeur permet une plus grande dissolution des gaz dans l'eau. À la sortie de la fosse de dissipation, les eaux

profondes, en remontant à la surface, deviennent sursaturées. En l'absence de forte turbulence, comme dans des segments de rapides, la sursaturation peut demeurer longtemps, car le dégazage est lent.

Dans le cas de l'évacuateur de crues de la Romaine-2, le risque de sursaturation des eaux dépend du débit d'eau évacué. Selon les simulations, les situations suivantes pourraient se produire :

- Le jet d'eau tombe directement du canal de fuite de l'évacuateur dans la fosse de dissipation à partir de 650 m³/s, ce qui se produit à 5 reprises sur une période de 47 ans, pour une durée totale de 6 semaines. À ce débit, la chute entre le canal de fuite de l'évacuateur et la fosse est de 51 m. La profondeur dans le bassin est de 25 m.
- Lorsque le débit est compris entre 250 et 650 m³/s, le jet tombe sur la première marche, puis directement dans la fosse. Cela se produit à 13 reprises sur une période de 47 ans, pour une durée totale de 14 semaines (certaines années, cette situation se produit pendant 3 ou 4 semaines de suite). La hauteur de chute entre la première marche et la fosse est de 45,5 m et la profondeur dans le bassin varie entre 23 et 25 m.
- Lorsque le débit est compris entre 100 et 250 m³/s, le jet tombe sur la première marche (chute de 6 m), sur la troisième marche (chute de 40 m) puis dans le bassin (chute de 6,2 m). La profondeur dans la fosse varie de 22 à 23 m environ selon le débit. Cela se produit 18 semaines sur 47 ans.
- Lorsque le débit est inférieur à 100 m³/s, le jet tombe sur toutes les marches, avec des hauteurs de chute qui varient de 6 à 20 m. La profondeur dans la fosse varie de 21 à 22 m selon le débit. Cela se produit 27 semaines sur 47 ans pour un débit compris entre 20 et 95 m³/s.

Le risque de sursaturation des eaux n'est donc présent que pour des débits supérieurs à 250 m³/s, qui sont susceptibles de se produire 36 semaines sur une période de 47 ans (soit 1,5 % du temps). Ces débits peuvent toutefois se produire pendant 3 ou 4 semaines de suite.

Les poissons peuvent être affectés par la sursaturation car les gaz sursaturés sont diffusés de l'eau au sang du poisson et sont distribués partout dans le poisson. Selon Beyer et coll. (1976), la pression entre l'eau et le corps du poisson atteint l'équilibre en 60 à 90 minutes. Il se forme alors des bulles d'air (embolie gazeuse), entre autres dans les vaisseaux sanguins, les vaisseaux des branchies et les tissus près des yeux, ce qui peut entraîner la mort. La tolérance à la sursaturation varie beaucoup selon l'âge, le sexe et l'espèce de poisson (Bouck et coll. 1976). Par contre, ces effets n'ont été étudiés que dans des rivières très peu profondes, de moins de 2 m.

La pression ressentie par un poisson en eau profonde est très différente de la pression de surface. À chaque mètre de profondeur s'exerce une pression additionnelle qui augmente suffisamment la solubilité des gaz pour compenser environ

10 % de sursaturation (Weitkamp et Katz, 1980). Par exemple, si la saturation est de 120 % en surface, des bulles d'air ne peuvent se former à des profondeurs de plus de 2 m. Aussi, la zone de danger potentiel, dans cet exemple, est limitée aux deux premiers mètres.

Les trois éléments suivants permettent de réduire les risques pour les poissons :

- dilution en aval par des eaux non sursaturées en gaz ;
- dégazage dans les segments de rapides ;
- présence de fosses profondes en aval, qui permettent aux poissons de descendre à quelques mètres de profondeur et d'éviter des embolies gazeuses.

Dans le **tronçon court-circuité** de la Romaine-2, la dilution des eaux sursaturées sera nulle, car le débit maximal des tributaires en période de crue n'est que d'environ 1,3 m³/s. Par contre, la dénivelée du tronçon court-circuité est d'environ 60 m sur une longueur de 6,6 km. Durant les évacuations, ce tronçon est caractérisé par une succession de rapides ou de cascades qui permettront vraisemblablement un dégazage efficace des eaux et élimineront tout risque de saturation avant l'arrivée des eaux du canal de fuite de la centrale. De plus, le tronçon présente quatre bassins dont la profondeur maximale varie de 7 à 15 m au débit moyen actuel de 271 m³/s. Les poissons n'y seront pas confinés près de la surface et pourront se réfugier en profondeur afin d'éviter une éventuelle embolie gazeuse.

En conséquence, dans le cas de l'évacuateur de crues de la Romaine-2, les risques d'effets sur les poissons semblent très faibles le long du tronçon court-circuité.

En **aval du canal de fuite** de la centrale de la Romaine-2, les risques d'effets potentiels sur les poissons sont encore plus faibles que dans le tronçon court-circuité de la Romaine-2, car les apports de la centrale dilueront les eaux évacuées en période de crue avec des eaux qui auront un taux de saturation en gaz inférieur ou égal à 100 %, ce qui abaissera encore davantage le taux de gaz dissous.

Résumé de la modification

En résumé, on ne prévoit aucune perte des usages de l'eau durant l'exploitation du complexe, notamment en ce qui concerne la protection de la vie aquatique, car la qualité de l'eau sera toujours adéquate pour le maintien des organismes aquatiques. De plus, l'augmentation temporaire de la richesse des eaux aura des répercussions positives sur l'ensemble de la chaîne alimentaire aquatique jusqu'aux poissons.

Il est à noter que les autres usages de l'eau ne sont pas spécifiquement traités dans la présente étude pour plusieurs raisons. L'usage pour l'eau potable n'a pas été considéré, car il n'y a pas de prise d'eau potable municipale dans la Romaine. De plus, il est recommandé de ne jamais boire l'eau d'un cours d'eau naturel sans l'avoir fait bouillir au préalable.

Par ailleurs, le projet ne compromet pas l'usage de l'eau à des fins récréatives pour les raisons suivantes :

- Les aménagements hydroélectriques dans les milieux nordiques ne sont pas reconnus pour modifier de façon significative la qualité bactériologique (coliformes fécaux et pathogènes hydriques) des eaux.
- Le régime thermique des eaux (voir le chapitre 17) ne sera pas suffisamment modifié pour empêcher la pratique des activités récréatives, comme la baignade et la navigation de plaisance.
- La turbidité ne dépassera pas le critère de 50 UTN (voir les sections 21.2 et 21.3).
- Les teneurs en éléments nutritifs n'augmenteront pas suffisamment (voir les sections 21.2 et 21.3) pour causer une prolifération des végétaux aquatiques à un niveau qui pourrait nuire à la navigation de plaisance ou à la pêche.
- Les mesures d'atténuation courantes qui seront mises en œuvre (voir la section 21.3) empêcheront une dégradation nuisible de la qualité esthétique de l'eau (présences d'huiles et de graisses en surface, odeurs ou turbidité désagréables).

21.3 Modifications liées aux activités de construction

Il est question dans la présente section des effets du remplissage du réservoir de la Romaine 2 sur la qualité de l'eau de la Romaine en aval de ce réservoir ainsi que des effets causés par les travaux en eau liés à la construction des ouvrages.

Déclaration de la modification

Modification négligeable de la qualité de l'eau au regard de la protection de la vie aquatique.

Sources de la modification

- Réduction du débit de la Romaine en aval du réservoir de la Romaine 2 pendant le remplissage de ce réservoir.
- Travaux en eau liés à la construction des ouvrages.

Mesure d'atténuation

- Clauses environnementales normalisées nos 2, 5, 6, 7, 8, 10, 11, 12, 13, 14, 19, 20 et 22 – Application des clauses relatives aux batardeaux, au déboisement, au déneigement, au déversement accidentel de contaminants, au drainage, au matériel et à la circulation, à l'excavation et au terrassement, au forage et au sondage, au franchissement des cours d'eau, aux matières résiduelles et

dangereuses, aux réservoirs et parcs de stockage de produits pétroliers, au sautage à l'explosif et aux travaux produisant des résidus ou des eaux résiduaires (voir l'annexe E dans le volume 8).

Aucune mesure d'atténuation particulière n'est nécessaire pendant le remplissage du réservoir de la Romaine 2, car le niveau de turbidité et de matières en suspension qui sera atteint pendant la courte période d'absence de débit réservé ne mettra pas en danger les populations de poissons de la Romaine.

Description détaillée de la modification

Rivière Romaine en aval du réservoir de la Romaine 2 pendant le remplissage de ce réservoir

Le remplissage du réservoir de la Romaine 2 se déroulera en trois étapes :

- Étape 1 : Les vannes de la dérivation provisoire pourront maintenir, pour toutes les conditions d'hydraulicité, un débit minimal de 70 m³/s dans le tronçon court-circuité de la Romaine-2.
- Étape 2 : Il n'y aura aucun débit réservé pendant environ 24 jours en conditions d'hydraulicité moyenne. Cette période correspond à la crue. Le bassin versant résiduel fournira alors un débit moyen de 70 m³/s en aval du PK 52 et de 200 m³/s au PK 3,8.
- Étape 3 : L'évacuateur de crues pourra maintenir un débit minimal de 170 m³/s au PK 52 en été.

Durant le remplissage du réservoir de la Romaine 2, il n'y aura pas de débit réservé pendant environ 24 jours en conditions d'hydraulicité moyenne. Durant cette **période sans débit réservé**, la qualité de l'eau du tronçon de la rivière compris entre le canal de fuite de la Romaine-2 et l'embouchure sera principalement déterminée par les apports des tributaires du bassin versant résiduel, par l'érosion des berges de la Romaine elle-même et par l'encaissement de la partie inférieure de ses tributaires. Aussi, à l'exception des matières en suspension, de la turbidité et du phosphore total, la qualité de l'eau de la Romaine en aval demeurera pratiquement inchangée par rapport aux conditions actuelles (voir le tableau 21-10). En effet, les tributaires du bassin résiduel apporteront des eaux d'une qualité équivalente à celle de la Romaine au printemps. Par contre, on prévoit une augmentation des matières en suspension, de la turbidité et du phosphore total. L'érosion et l'encaissement des tributaires apporteront dans la Romaine des matières particulaires fines (silt et argile) qui pourront être maintenues en suspension dans la colonne d'eau. Ces matières feront augmenter la turbidité ainsi que les teneurs en phosphore, car les particules argileuses sont riches en phosphore.

Tableau 21-10 : Modification maximale des principales variables de la qualité de l'eau de la Romaine en aval de la centrale de la Romaine-2 – Deuxième étape du remplissage du réservoir de la Romaine 2

Variable	Valeur actuelle ^a	Modification maximale
Matières en suspension	2,3 à 3,1	5 à 24
Turbidité (UTN)	1,7 à 2,6	5 à 24 ^b
Couleur vraie (UCV)	40 à 50	40 à 50
Carbone organique total (mg C/l)	3,8 à 4,0	4,0
Azote total Kjeldahl (mg N/l)	0,28 à 0,57	0,3 à 0,6
Saturation en oxygène dissous (%)	90 à 99	90 à 100
pH	6,2 à 6,3	6,2 à 6,3
Phosphore total (µg P/l)	10	20 à 30
Chlorophylle <i>a</i> (µg/l)	0,6	< 1,0

a. Mesures en période de crue printanière tirées du tableau 21-1.

b. Un ratio matières en suspension/turbidité de 1/1 a été considéré, sur la base des mesures effectuées dans la Romaine (voir le tableau 21-1).

La méthode d'estimation des concentrations moyennes de matières en suspension durant le remplissage du réservoir de la Romaine 2 est détaillée à la section 20.3.2. Ces concentrations varieraient de 5 à 24 mg/l selon le tronçon de la Romaine considéré et les hypothèses de calcul retenues. Elles se situeraient entre 6 et 24 mg/l au PK 52 et entre 5 et 16 mg/l au PK 3,8.

Selon la même méthode de conversion des volumes de sédiments fins érodés en milligrammes par litre de matières en suspension, les valeurs moyennes estimées en conditions actuelles sont, pour la même période de 24 jours, de 2 mg/l au PK 52 et de 5 mg/l et au PK 3,8. Ces valeurs correspondent bien à celles de 2,3 à 3,1 mg/l (voir le tableau 21-1) mesurées au printemps dans la Romaine après la montée de crue. En 2004, une série de mesures couvrant l'ensemble de la période de crue indiquait une concentration moyenne de 12,4 mg/l durant la même période de 24 jours (du 3 au 27 mai) au PK 3,8 de la Romaine.

Les augmentations temporaires prévues, d'une durée d'environ 24 jours, ne mettront aucunement en danger les populations de poissons. Elles ne dépassent pas le critère de qualité pour la protection de la vie aquatique, qui spécifie que les matières en suspension en période de crue ne doivent pas être augmentées de plus de 25 mg/l.

Durant les étapes 1 et 3 du remplissage du réservoir de la Romaine 2, soit **pendant le relâchement du débit réservé**, la qualité de l'eau de la rivière en aval du barrage de la Romaine-2 demeurera pratiquement inchangée par rapport aux conditions actuelles. En effet, les débits déversés prévus amèneront des eaux d'une qualité comparable à celle des conditions actuelles, car les températures froides régnant à cette période empêcheront toute amorce de processus de décomposition et de

réponse phytoplanctonique dans le réservoir même. De plus, ces débits, alliés à la présence de nombreux rapides entre le réservoir de la Romaine 2 et le site de la Romaine 1, maintiendront une forte turbulence des eaux qui permettra de maintenir le taux de saturation en oxygène dissous à des valeurs voisines de 100 %, comme actuellement.

Les débits réservés, qui correspondent à environ 30 à 60 % du débit moyen actuel enregistré en septembre, limiteront aussi la baisse du niveau d'eau. Cela réduira les possibilités d'érosion des matériaux fins et maintiendra la turbidité et les matières en suspension à des valeurs faibles, voisines des valeurs naturelles.

Travaux en eau

L'exécution de la plupart des travaux à sec, à l'abri de batardeaux, ainsi que la mise en œuvre des mesures d'atténuation courantes relatives aux diverses activités à proximité des plans d'eau (voir l'annexe E dans le volume 8) occasionneront tout au plus une faible augmentation ponctuelle de la turbidité et des matières en suspension sur de courtes périodes, notamment au moment de la mise en place et du retrait des batardeaux.

Les autres activités de construction, telles que le franchissement des cours d'eau pour l'aménagement des accès ainsi que l'exploitation des campements de travailleurs, des installations de chantier et des bancs d'emprunt, pourraient avoir des répercussions ponctuelles et immédiates sur la qualité de l'eau en cas de problème d'érosion ou de déversement accidentel de contaminant. Toutefois, les cours d'eau feront l'objet de mesures de protection visant à éliminer les apports dus à l'érosion des rives. La mise en œuvre de mesures d'atténuation courantes (voir l'annexe E) réduira les risques de déversement accidentel et de contamination.

Un programme de surveillance sera en vigueur pendant toute la durée des travaux. Il permettra de s'assurer de l'application des mesures de protection de l'environnement et de la stabilisation des zones d'érosion potentielle.

Résumé de la modification

Le remplissage du réservoir de la Romaine 2 et la construction de l'ensemble des ouvrages n'entraîneront que des modifications négligeables de la qualité de l'eau au regard de la protection de la vie aquatique. La qualité de l'eau demeurera toujours adéquate pour le maintien des organismes aquatiques.

22 Océanographie physique

22.1 Conditions actuelles

La zone marine considérée dans l'étude d'impact comprend la zone de l'embouchure de la Romaine et la zone du chenal de Mingan (voir la carte 5-3).

La zone de l'embouchure est particulière à plus d'un titre. La large baie (14 km²) qui reçoit les eaux de la rivière Romaine et de la rivière Lechasseur est un milieu peu profond, qui se découvre sur plus de 25 % de sa superficie à marée basse. En outre, elle est en retrait du littoral. Vers le large, la plateforme de la zone de l'embouchure est limitée par deux îles : la Grosse Romaine et la Petite Romaine. La Romaine s'y déverse par trois exutoires constitués de seuils rocheux, à savoir la chute de l'Auberge, la Fausse Chute et la rivière Aisley, qui prend sa source au PK 3,5. On trouve une fosse au pied de la chute de l'Auberge (25 m de profondeur) et une autre au pied de la Fausse Chute (15 m). La chute de l'Auberge est franchissable par différentes espèces de poissons, alors que les deux autres exutoires sont considérés comme infranchissables, d'autant plus qu'ils sont asséchés à l'étiage. Ces deux seuils rocheux ainsi que le rapide à Brillant, à l'amont de la chute de l'Auberge, empêchent la propagation de la marée. La Romaine ne possède pas d'estuaire, selon les définitions courantes. L'hydrodynamique de la zone de l'embouchure est influencée principalement par la marée (amplitude et courants) et le débit fluvial issu des exutoires de la Romaine de même que, dans une moindre mesure, par la rivière Lechasseur. Le jeu de dominance de ces deux forces est à la source des variations quotidiennes, mensuelles et saisonnières des courants et des masses d'eau.

Le chenal de Mingan est un milieu côtier fermé par un chapelet d'îles. Il occupe une superficie d'environ 170 km². D'ouest en est, le chapelet comprend l'île du Havre de Mingan, l'île à Bouleaux de Terre, l'île à Bouleaux du Large, la Grande Île, l'île Quarry, l'île Niapiskau, l'île à Firmin et l'île du Fantôme.

Les zones d'étude océanographiques sont présentées à la carte 5-3. Les cartes 22-1 à 22-5 présentent les principales caractéristiques physiques de la zone de l'embouchure et les observations du milieu qu'on y a faites. La figure 22-1 présente les données de niveaux d'eau dans la zone de l'embouchure. De même, les cartes 22-6 à 22-8 donnent les caractéristiques équivalentes pour la zone du chenal de Mingan. Enfin, la figure 22-2 présente une coupe stratigraphique du delta en périphérie de la zone de l'embouchure.

La méthode 10 dans le volume 9, donne plus d'informations sur les méthodes d'inventaire.

Figure 22-1 : Distribution cumulative du niveau d'eau dans la zone de l'embouchure de la Romaine

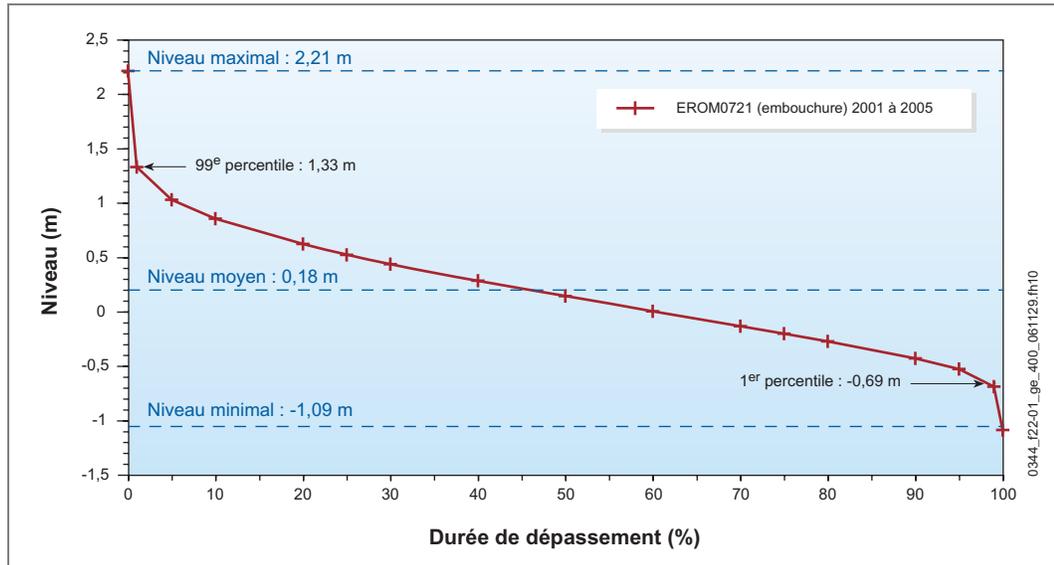
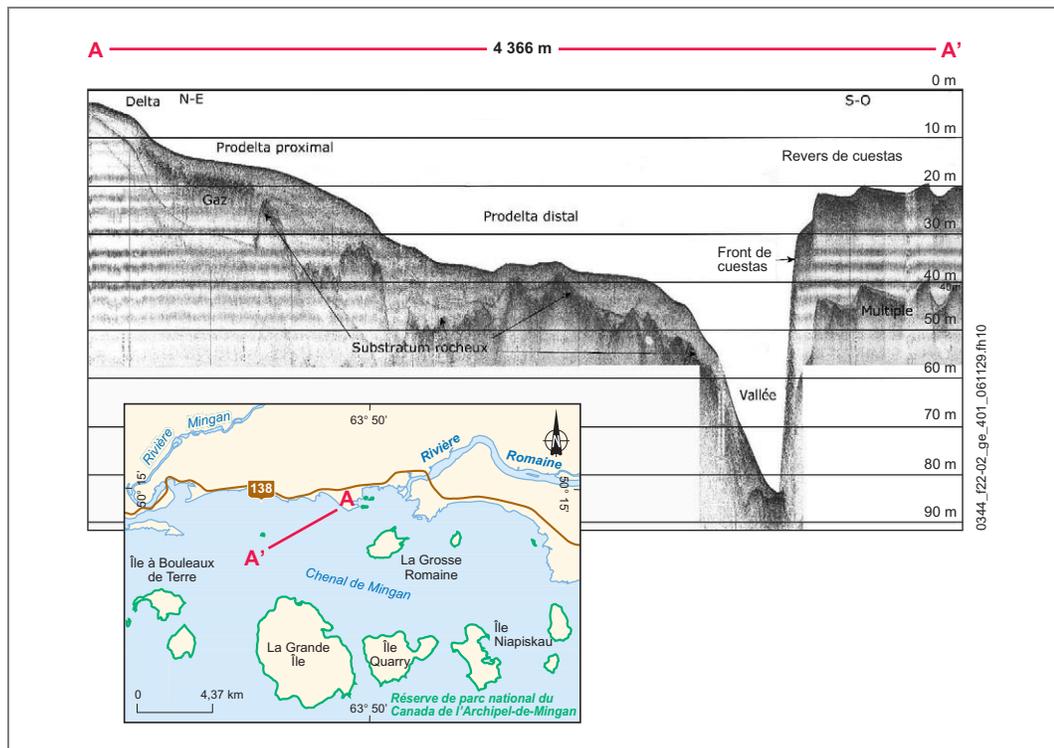


Figure 22-2 : Profil de réflexion sismique à l'ouest de l'embouchure de la Romaine



22.1.1 Démarche méthodologique

Le descriptif des conditions actuelles résume les résultats publiés dans les rapports sectoriels suivants :

- Environnement Illimité. 2002a. *Aménagement hydroélectrique de la Romaine-1. Description du milieu : océanographie physique et biologique*. Préparé pour Hydro-Québec Équipement. Montréal, Environnement Illimité. 88 p. et ann.
- Environnement Illimité. 2007. *Complexe de la Romaine. Études océanographiques complémentaires. Note technique*. Préparé pour Hydro-Québec Équipement. Montréal, Environnement Illimité. 17 p. et ann.
- Lorrain, S., G. Guay et J. Gingras. 2005. *Complexe de la Romaine. Études sédimentologiques et océanographiques de la rivière Romaine et de la zone de l'embouchure. Rapport de mission 2004*. Préparé pour Hydro-Québec Équipement. Montréal, Environnement Illimité. 132 p. et ann.
- Lorrain, S., J. Gingras et C. Morin. 2006. *Complexe de la Romaine. Études sédimentologiques et océanographiques de la rivière Romaine et de la zone de l'embouchure. Océanographie physique*. Préparé pour Hydro-Québec Équipement. Montréal, Environnement Illimité. 157 p. et ann.
- Therrien, F. 2006. *Aménagement de la rivière Romaine. Aspects glaciologiques de la zone estuarienne*. Préparé pour Hydro-Québec Équipement. Longueuil, Prodhyc. 16 p. et ann.

Bathymétrie

Les données bathymétriques proviennent des relevés effectués par Hydro-Québec en 2001 dans la zone de l'embouchure de la Romaine, notamment la topographie détaillée de parties asséchées des seuils de la chute de l'Auberge, de la Fausse Chute et de la rivière Aisley. Pour la zone du chenal de Mingan, les données ont été fournies par le Service hydrographique du Canada. L'interprétation de photographies aériennes de 1948 à 2004 a permis de mettre en évidence l'évolution des chenaux et d'évaluer la stabilité du milieu.

Glace

Durant les hivers 2004-2005 et 2005-2006, on a cartographié à plusieurs reprises les glaces de la zone de l'embouchure. Les cartes de mars 2005 et de mars 2006 ont été complétées par des sondages de glace.

On a déterminé au moyen de 21 imageries Landsat la présence ou non de glace dans la zone de l'embouchure de 1984 à 2005. Trois d'entre elles ont subi un traitement numérique des couleurs afin de mettre en évidence les types de glace.

Niveau d'eau

Hydro-Québec a utilisé un marégraphe dans la zone de l'embouchure, à proximité de la chute de l'Auberge, deux autres sur la Grande Île et l'île Niapiskau, dans le chenal de Mingan, et un dernier à Havre-Saint-Pierre. Ces appareils enregistrent l'élévation du plan d'eau (niveau géodésique) toutes les quinze minutes. Des analyses statistiques et harmoniques ont été effectuées sur les séries de données.

Courants et houle

L'étude de l'hydrodynamique de la zone de l'embouchure de la Romaine et de la zone du chenal de Mingan provient principalement d'une campagne océanographique réalisée pendant l'été 2001, puis de deux campagnes effectuées en 2004 et en 2005 pour décrire l'écoulement des eaux et les caractéristiques physiques des masses d'eau ainsi que pour déterminer les principaux processus les régissant. Des séries temporelles de mesure du courant en un point fixe (1980 et 2001) ou des profils verticaux de vitesse (2006) constituent la base de l'étude des courants.

La houle a été estimée à partir des mesures de vent fournies par la station météorologique de Havre-Saint-Pierre.

Masses d'eau

Pour distinguer les masses d'eau présentes dans les zones d'étude, les mesures comprennent surtout des profils verticaux de conductivité (utilisée pour calculer la salinité) et de température sur la colonne d'eau (CTP), pris en eau libre (2001 et 2004) et sous la couverture de glace (2005 et 2006).

Pour cerner l'influence de l'eau de la Romaine sur les eaux de surface du chenal de Mingan, on a utilisé les approches suivantes : photographies obliques, fluorescence, température, salinité et turbidité des eaux de surface. En hiver, on a associé l'étendue de la nouvelle glace formée le matin avec les eaux douces issues des rivières Romaine et Mingan.

Le traitement des données de profilage CTP repose sur l'application de techniques statistiques (analyse en composantes principales et régressions linéaires). On dégage, de cette façon, les grandes tendances spatio-temporelles des phénomènes qui influent sur les caractéristiques des masses d'eau (salinité et température) et de la structure de la colonne d'eau (stratification). Cette démarche a été complétée par une analyse descriptive de l'ensemble des données.

Sédiments

Des relevés de réflexion sismique ont été effectués au cours de l'été 2004 pour mettre en évidence et délimiter les grandes unités morphologiques et sédimentaires de la zone deltaïque. La nature du substrat de la zone de l'embouchure provient d'un échantillonnage intensif de 1982, validé par un échantillonnage succinct en 2004.

22.1.2 Milieu physique de la zone de l'embouchure

Bathymétrie

La zone de l'embouchure de la Romaine forme une grande baie dominée par la présence de hauts-fonds et d'îlots, séparés par trois chenaux plus profonds ($z < 7$ m) plus ou moins bien délimités, principalement dans la moitié ouest (voir la carte 22-1). La superficie mouillée de la zone de l'embouchure est d'environ 14,1 km² à marée haute ; elle diminue d'environ 25 % à marée basse, pour atteindre 10,5 km². Le profil des chenaux est irrégulier, avec une élévation qui est supérieure à -5 m pour le chenal ouest, à -3,5 m pour le chenal central et à -2 m pour le chenal est. L'élévation de la marée basse étant de -0,5 m (95 % du temps), la profondeur des chenaux à marée basse peut n'être que de 0,5 m dans le chenal ouest, de 0,8 m dans le chenal central et de 0,5 m dans le chenal est, au point le moins profond.

Aux débouchés de la chute de l'Auberge et de la Fausse Chute, on rencontre des fosses atteignant respectivement 25 m et 15 m de profondeur. Ces fosses résultent de l'érosion par les courants sous la dune de frasil, celle-ci réduisant considérablement la section d'écoulement en hiver.

Les zones exondées à marée basse sont regroupées en deux grands systèmes de battures, séparées par un chenal central et bordées à l'ouest et à l'est par un chenal (voir la carte 22-1).

Glace

Dans la zone de l'embouchure de la Romaine, l'hiver glaciologique dure en moyenne 158 jours, débutant vers le 8 novembre pour se terminer autour du 14 avril. L'indice de gel d'un hiver moyen est de 1 382 degrés-jours de gel (froïdure de -8,8 °C). Normalement, l'épaisseur de la glace solide à la fin de l'hiver varie entre 0,71 m et 0,85 m. Lors d'un hiver rigoureux, l'épaisseur de la glace solide dépasse rarement 0,90 m. Il serait exceptionnel d'observer en fin d'hiver des épaisseurs de glace solide inférieures à 0,60 m.

La glace de berge apparaît en premier. Dans les secteurs peu profonds de la zone de l'embouchure, la glace se forme d'une façon statique et s'épaissit jusqu'à s'appuyer sur le lit. La surface de ces glaces immobiles est plutôt lisse et circonscrite par une

fissure de marée. Une première fissure de marée sépare la glace immobile de la couverture de glace déplacée par la marée (voir la carte 22-2). Une deuxième fissure, parallèle et habituellement espacée d'environ 6 m de la première, permet à la couverture de glace plus au large de suivre sans se déformer les mouvements ascendant et descendant du cycle des marées.

Au début de l'hiver, la Fausse Chute et la chute de l'Auberge produisent de la glace qui s'accumule par juxtaposition dans la zone de l'embouchure, particulièrement dans le secteur du chenal central, où la surface est hummockée (voir la carte 22-2). Une fois la surface devenue solide, ce secteur devient un pont de glace contre lequel s'empilent les glaçons produits par les chutes de l'embouchure. Le soulèvement de ce pont par le frasil accroché sous sa surface et la juxtaposition des glaçons à son bord frontal feraient progresser la couverture de glace vers la fosse de la chute de l'Auberge. La progression est telle qu'en cours d'hiver la glace peut recouvrir complètement cette chute, par où passe tout le débit de la Romaine en hiver. Une fois recouverte, la chute cesse de produire de la glace.

En mars 2006, on a mesuré des épaisseurs de 5,3 m et de 6,5 m de frasil dans la fosse à l'aval de la chute de l'Auberge. L'année précédente, aucune trace de frasil n'a été relevée dans cette fosse. Les mesures de 2005 et de 2006 n'ont pas permis d'observer des accumulations de frasil nulle part ailleurs dans la zone de l'embouchure. La présence et la quantité de frasil dans la zone de l'embouchure varient considérablement d'un hiver à l'autre selon le débit de la rivière Romaine, la température de l'air et la présence ou non de couverture de glace sur les chutes et rapides.

Le secteur à l'aval de la pointe à Aisley est couvert d'une glace transparente, dont l'épaississement est lié principalement aux échanges thermiques entre l'eau et l'air.

La sortie du chenal central est la seule ouverture dans la couverture de glace de la zone de l'embouchure. En mars 2006, on y a vu du frasil dériver vers le large.

Poussées par les vents dominants, les glaces du large s'empilent d'ouest en est dans la portion aval des chenaux ouest et central. On n'en trouve pas ailleurs dans la zone de l'embouchure de la Romaine.

Niveau d'eau

L'élévation du plan d'eau (niveau géodésique) dans la zone de l'embouchure varie habituellement de 1,0 m (valeur dépassée 5 % du temps) à -0,5 m (valeur dépassée 95 % du temps) selon l'ensemble des données observées. Les élévations médianes et moyennes sont respectivement de 0,1 m et de 0,2 m, et les valeurs maximales sont de l'ordre de 2 m et de -1 m (voir la figure 22-1). En général, les étales des pleines mers supérieure et inférieure de vive-eau ne dépassent pas les cotes de

1,5 m et de -0,9 m respectivement. Comparés à ceux de Havre-Saint-Pierre, les niveaux d'eau dans la zone de l'embouchure sont légèrement plus élevés (de l'ordre de 0,1 m).

L'effet de la marée s'exprime par le calcul du prisme de marée, qui est le volume d'eau contenu dans un estuaire entre deux étales successives de marées haute et basse. Ce volume d'eau est d'environ 20 hm³ dans la zone de l'embouchure. En période de crue printanière (1 500 m³/s), le volume d'eau fourni par la Romaine est de 32 hm³ en six heures, baissant à 10 hm³ pour un débit de 500 m³/s et à 4,3 hm³ en étiage estival (200 m³/s). Le rapport entre le volume d'eau de mer entrant dans le prisme de marée par rapport au volume d'eau douce fourni par les rivières alimentant la zone de l'embouchure suggère une prédominance des apports fluviaux sur les effets de la marée lorsque les débits sont supérieurs à 500 m³/s.

En présence de la couverture de glace, l'onde de marée dans la zone de l'embouchure se déforme, en hauteur et en durée, durant la basse mer – cette déformation étant nettement plus marquée en période de vive-eau qu'en période de morte-eau. À l'étales de basse mer, l'amortissement atteint 0,27 m en moyenne, avec un retard moyen de 50 minutes par rapport à la marée du large. L'amortissement est dû essentiellement à la rugosité supplémentaire que la glace introduit dans la section d'écoulement, et non pas à la rigidité de la couverture de glace.

Courants et houle

La rivière Romaine possède trois exutoires à son embouchure. La chute de l'Auberge constitue l'exutoire principal, et l'écoulement y est continu. De l'eau s'écoule de la Fausse Chute lorsque le débit de la rivière atteint 385 m³/s au PK 15,5, alors que le débit doit dépasser 500 m³/s au même endroit pour que la rivière Aisley coule.

La dominance du débit fluvial ou du débit de marée module la circulation de l'eau dans la zone de l'embouchure en fonction de la saison.

Durant la crue printanière (débit de la Romaine supérieur à 500 m³/s), l'eau s'écoule par les trois exutoires et emprunte les trois chenaux principaux de la zone de l'embouchure (voir la carte 22-3). Le courant le plus fort (jusqu'à 2 m/s) se trouve dans le chenal central, où il devient unidirectionnel jusqu'à une distance d'au moins 1,5 km de la chute de l'Auberge. Vers l'aval du chenal central, on observe une inversion du courant, mais la composante de la marée descendante (jusant) est nettement plus forte à cause de l'effet combiné de l'apport fluvial et du courant de marée.

Avec la décrue, l'eau ne s'écoule plus au seuil de la rivière Aisley (lorsque le débit atteint 500 m³/s et moins) et, graduellement, à celui de la Fausse Chute (385 m³/s et moins). La circulation des eaux est alors assujettie aux marées. Les courants de

marée deviennent dominants et provoquent une inversion de courant. La direction des courants suit le sens des chenaux. À toutes les stations de mesures, le courant de marée descendante (jusant) est supérieur d'environ 0,1 à 0,2 m/s au courant de marée montante (flot). C'est dans le chenal central que les courants sont les plus forts, atteignant de 0,75 à 1 m/s pour des débits supérieurs à 200 m³/s ; ailleurs, la vitesse du courant est généralement inférieure à 0,5 m/s.

La zone de l'embouchure est protégée de l'action de la houle par la présence des îles de la Grosse Romaine et de la Petite Romaine et par l'arc que constituent les rochers de Granite et les autres îlots entre la pointe Paradis et la pointe à Aisley.

La présence de la glace dans la zone de l'embouchure modifie légèrement les courants. Toutefois, comme en été, l'écoulement dans la zone de l'embouchure se concentre dans les chenaux. La vidange de l'eau douce issue de la chute de l'Auberge se fait surtout par le chenal central (0,5 m/s). On observe une inversion des courants dans le chenal ouest et dans le chenal central, et les vitesses mesurées durant la marée montante sont semblables (0,15 m/s dans le chenal ouest et 0,14 m/s dans le chenal central). À l'extrémité nord de l'île de la Grosse Romaine, l'écoulement s'inverse dans l'axe est-ouest. Ailleurs, l'écoulement se fait en direction du large durant la marée descendante et la marée montante ; durant la marée montante, la vitesse est inférieure à 0,05 m/s.

Masses d'eau

La crue printanière commence en moyenne le 28 avril, lorsque les apports augmentent au-delà de 165 m³/s. Elle se termine en moyenne le 30 juin, lorsque les apports sont de moins de 450 m³/s environ. Durant cette période de 64 jours, les débits demeurent supérieurs à 500 m³/s durant 44 jours. Entre le 1^{er} juillet et le 30 novembre, les débits ne sont supérieurs à 500 m³/s que 6,2 % du temps, soit pendant 10 jours.

Le passage de la crue printanière touche la totalité de la zone de l'embouchure, qui devient essentiellement un milieu d'eau douce, sauf dans les chenaux plus profonds de la couronne extérieure. Les apports fluviaux sont suffisamment importants pour repousser l'intrusion marine en périphérie de la zone de l'embouchure pendant une période de 54 jours en moyenne, soit moins de 15 % de l'année (hiver inclus) ou moins de 25 % de la saison libre de glace (de mai à novembre). Tout au plus observe-t-on des conditions légèrement saumâtres (de 7 à 15 psu), au fond des chenaux central et ouest, qui ne dépassent pas une frontière située entre l'île de la Grosse Romaine et la pointe Paradis.

La diminution de l'apport fluvial à la fin de la décrue printanière et durant la période sans couverture de glace qui lui succède, soit environ 40 à 50 % de l'année, permet à l'intrusion marine de pénétrer graduellement par le fond dans la zone de l'embouchure. L'influence de l'intrusion marine sur la salinité diminue à

l'approche de l'embouchure de la Romaine. Habituellement, la colonne d'eau est stratifiée, avec une couche superficielle d'eau douce dont l'épaisseur diminue avec la réduction du débit et qui repose sur une couche de fond généralement mélangée, de saumâtre à presque marine à mesure qu'on approche de la périphérie de la zone de l'embouchure ; les salinités dans la couche de fond sont de 20 à 30 psu. La salinité de la couche de fond augmente graduellement tout au long de la saison avec la diminution du débit fluvial, alors que la couche de surface est de douce à saumâtre (de 0 à 20 psu) dans le chenal central et dans le chenal ouest. Le secteur situé à l'est de l'île de la Grosse Romaine fait exception ; les conditions y sont plus souvent homogènes, avec une eau de légèrement saumâtre à marine (de 10 à 30 psu) dans le chenal est.

Durant la saison libre de glace (de mai à novembre), en conditions moyennes, la zone de l'embouchure peut être subdivisée en deux zones aux caractéristiques de salinité différentes. Cette zonation correspond à une frontière écologique qui passe de la pointe à Aisley à l'est à la pointe rocheuse située à l'embouchure de la rivière Lechasseur (voir la carte 22-4).

Dans la zone sans algues ni zostère, l'étage intertidal supérieur (au-dessus de -0,5 m) montre une nette dominance de conditions légèrement saumâtres (salinité inférieure à 10 psu), alors que dans la zone avec algues et zostère cet étage montre des conditions de légèrement saumâtres à marines (salinité de 10 à 30 psu) (voir la carte 22-4). La différence de salinité est moins prononcée entre les deux zones dans l'étage intertidal inférieur (jusqu'à -1 m), mais la zone sans algues ni zostère est néanmoins généralement moins salée.

À cause des faibles profondeurs à certains endroits des chenaux, l'intrusion marine peut être arrêtée temporairement au pied de ces seuils, pour ne pénétrer plus loin qu'avec la montée du niveau d'eau. L'épaisseur de la couche de surface d'eau douce à marée basse, en condition libre de glace et pour des débits inférieurs à 500 m³/s, se situe entre 0,5 et 1 m dans le chenal ouest et est d'environ 0,5 m dans le chenal central et le chenal est. L'intrusion marine se fait sentir périodiquement jusqu'au fond des fosses, mais l'eau douce prédominera sur une distance d'environ 500 m des chutes, alors qu'ailleurs des conditions marines persisteront au fond.

Sous la couverture de glace, l'eau est douce en surface et de saumâtre à salée au fond. La couche de surface est plus épaisse qu'en eau libre. Sous la pycnocline, la salinité augmente brusquement jusqu'à 15 psu lorsque que le lit est à moins de 3 m sous la glace ; l'augmentation peut atteindre 30 psu dans un lit plus profond. L'accumulation et le transport de l'eau douce se font donc dans une tranche d'eau de 0,5 à 1,5 m d'épaisseur sous la glace. L'épaississement de la couche de surface résulte de la diminution de l'intrusion saline dans la couronne intérieure à marée basse et en période de morte-eau. Ces conditions rappellent celles qui existent en période de crue, mais elles sont de courte durée durant le cycle semi-diurne et semi-mensuel de la marée.

Durant l'hiver, le renouvellement de la couche d'eau salée au fond des fosses se fait en période de vive-eau.

La température dans la zone de l'embouchure, pour un débit supérieur à 500 m³/s, varie entre 4 et 7 °C et ne montre pas de différence significative entre la surface et le fond. Avec le réchauffement saisonnier et la diminution des débits fluviaux, la température de surface est assez homogène (de 14 à 20 °C), avec un léger gradient décroissant vers la périphérie, alors qu'au fond elle est généralement plus froide. La température de surface la plus chaude observée dans la zone de l'embouchure est généralement atteinte autour du 24 juillet (environ 20 °C). En hiver, la température de la couche de surface est juste au-dessus du point de congélation, alors qu'au fond elle varie de -0,5 à -1,5 °C.

Sédiments de la zone de l'embouchure et du delta

Sur le plan régional, tous les sédiments sur le littoral situé à l'ouest de la Romaine jusqu'à la rivière Mingan (sur 5 ou 6 km), proviennent de cette dernière. À l'est de la zone de l'embouchure de la Romaine, les sédiments littoraux proviennent de l'érosion des berges littorales (Dubois, 1979). La zone de l'embouchure est alimentée de façon transitoire par des sédiments provenant de la rivière Romaine ou de la rivière Lechasseur. Sa structure stratigraphique résulte de la configuration du substrat rocheux, qui affleure en formant des séries d'îlots granitiques, et des dépôts du delta ancien, à travers lesquels les chenaux actuels se sont creusés en formant des structures permanentes qui lui confèrent sa stabilité.

Sur le plan sédimentologique, la zone de l'embouchure se divise en deux grandes unités de part et d'autre de l'île de la Grosse Romaine (voir la carte 22-5).

La partie est correspond au delta ancien (plus de 5 000 ans) de la rivière Romaine. C'est un milieu stable, peu sujet au remaniement du substrat par les courants. D'ailleurs, on y observe des zostérais.

La partie ouest, – plus particulièrement la zone du chenal central – constitue la zone de transit sédimentaire alimentée directement par la Romaine, qui entaille ses propres sédiments dans le cours amont ; c'est la zone à dominance fluviale. En périphérie de la zone de transit, l'allongement des dunes sableuses à proximité de la pointe Paradis suggère un effet des courants de marée (dominance tidale), alors que la grande dune exondée à marée basse entre la pointe Paradis et l'île de la Grosse Romaine témoigne de l'influence des vagues. L'absence de zostère résulte probablement de l'instabilité des fonds du chenal central et de l'évacuation préférentielle de l'eau douce provenant des rivières Romaine et Lechasseur. Les fonds du chenal ouest et des battures adjacentes sont constitués de sable compact, probablement associé aux dépôts anciens ; la zostère y est d'ailleurs présente en bordure de la partie la plus profonde.

Le substrat dans la zone de l'embouchure est dominé par le sable fin à moyen, qui constitue plus de 80 % des dépôts. La répartition spatiale de la granulométrie des sédiments révèle un profil d'écoulement fluvial, où l'apport de la Romaine lessive les matériaux fins dans la partie amont et ouest de la zone de l'embouchure en période de crue. Les dépôts de sable fin affleurent à l'est de l'île de la Grosse Romaine, alors que les dépôts de sable grossier et de gravier sont observés à la tête des chenaux ouest et central.

Durant la crue, les courants sont suffisamment forts pour provoquer le transport du sable et du gravier. À un débit supérieur à 200 m³/s, la fraction sableuse peut être transportée périodiquement par les courants de marée. Ceux-ci sont suffisamment importants pour empêcher l'accumulation de sédiments fins. Les petites baies en bordure de la zone de l'embouchure, comme la baie Lechasseur, ainsi que quelques platières à l'abri de certains îlots seraient les seuls endroits calmes favorisant l'accumulation d'un mélange de limon et d'argile en période d'eau libre.

Dans l'ensemble, la zone de l'embouchure de la Romaine est un milieu stable à l'échelle décennale. L'examen des photographies aériennes de la zone de l'embouchure depuis 1948 étaye l'hypothèse selon laquelle le transit et la construction sédimentaire se font principalement du côté ouest, où on observe la récurrence des dunes sableuses dans le secteur du chenal central, dirigées dans le sens de leur migration vers le large. Les changements dans la nature du substrat sont limités à de petites enclaves dont la superficie est mineure par rapport à l'ensemble de la zone de l'embouchure, qui montre une bonne stabilité.

Les sédiments apportés par la Romaine (sédiments fins et sables) sont donc évacués vers le large. Le delta se forme à la limite ouest de la zone de l'embouchure et est limité, vers le large, par la falaise sous-marine correspondant au front de la cuesta (voir la figure 22-2). Cette zone est restreinte, car le delta actuel est jeune, et seule la partie proximale est en cours de construction (voir la carte 22-6). La vallée profonde qui jouxte la pente du front deltaïque de la Romaine fait en sorte que la profondeur augmente rapidement, passant de 5 m à plus de 80 m en moins de 1 km. La pente varie en profondeur en fonction de la morphologie du toit du substratum rocheux, ce qui témoigne de l'épaisseur relativement faible des dépôts deltaïques. La partie sommitale de ces dépôts sableux en zone peu profonde du chenal de Mingan peut être reprise par l'action des courants marins et des houles, comme en témoignent les champs de dunes sableuses situés à l'ouest de l'île de la Grosse Romaine et entre l'île de la Grosse Romaine et l'île de la Petite Romaine.

22.1.3 Milieu physique du chenal de Mingan

Bathymétrie

La carte 22-6 met en évidence une vallée profonde (91 m) orientée vers l'ouest. Celle-ci émerge au pied de l'île de la Grosse Romaine et borde le front nord de la cuesta sous-marine dans l'alignement de la caye à Cochons, de l'île du Havre de Mingan et de l'île de la Grosse Romaine. Cette cuesta descend en pente douce vers le sud pour former le chenal de Mingan, que borde un deuxième front de cuestas très bien mis en évidence par les grandes îles de l'archipel. Les deux cuestas sont recoupées perpendiculairement par une vallée profonde (138 m), qui relie le chenal de Mingan au détroit de Jacques-Cartier à l'ouest de la Grande Île. Une autre vallée profonde recoupe le deuxième front de cuestas entre les îles Niapiskau et Firmin. Les chenaux entre l'île Niapiskau, l'île Quarry et la Grande Île sont fermés au sud par des seuils peu profonds.

Glace

La formation de la couverture de glace dans le chenal de Mingan s'amorce par l'établissement d'un pont de glace entre la Grande Île et l'île de la Grosse Romaine. Les glaces dérivantes s'empilent contre ce pont de glace pour faire progresser la couverture vers l'ouest ou passent sous le pont pour continuer leur dérive vers l'est. À l'est de ce pont, la glace se forme par l'accumulation et le gel des plaques formées sur place ou dérivant de l'ouest. Les glaces sont évacuées du chenal de Mingan par les passages situés de part et d'autre de l'île Niapiskau.

Habituellement, le chenal de Mingan est couvert d'une glace d'étendue et d'épaisseur variables entre la fin de janvier et le début d'avril (voir la carte 22-7). De 1984 à 2006, l'extension la plus grande a été observée en mars 2005. La glace couvrait alors le chenal de Mingan depuis la Grande Île jusqu'à l'île du Havre, et les deux passages de part et d'autre de l'île Niapiskau étaient fermés par la glace.

Bien que l'hiver 2004-2005 se distingue des autres hivers par une emprise plus étendue de la couverture de glace dans le chenal de Mingan, cet hiver est moyen, sur le plan glaciologique, puisqu'il est normal en termes de rigueur (1 317 degrés-jours de gel), de durée (153 jours) et de froidure (-7,9 °C). Par conséquent, les conditions de glace dans le chenal de Mingan sont liées à d'autres facteurs, comme la température des eaux du golfe du Saint-Laurent, le vent ou la production de glace au large.

Courants et houle

Les données de 1980, recueillies dans une période relativement courte (moins de deux mois), suggèrent une entrée d'eau nette vers le chenal de Mingan par le chenal au sud de l'île du Havre de Mingan, un écoulement stratifié dans le chenal

Niapiskau, avec une entrée d'eau au fond et une sortie en surface vers le détroit de Jacques-Cartier, ainsi qu'un écoulement stratifié dans le Grand Chenal, à l'ouest de la Grande Île, dirigé vers le nord en profondeur (voir la carte 5-3).

La région de l'archipel de Mingan est soumise à une houle haute de 2 m en moyenne, qui provient principalement de l'ouest-sud-ouest et du sud-ouest. En période de tempête, elle peut atteindre 4 ou 5 m de hauteur, mais ces événements sont peu fréquents. La hauteur moyenne des vagues est généralement inférieure à 1 m.

Masses d'eau

L'eau issue de la rivière Romaine peut influencer sur les eaux de surface du chenal de Mingan jusqu'aux îles de l'archipel de Mingan et probablement au-delà, au moment le plus fort de la crue (voir la carte 22-8). Dans ces conditions extrêmes, l'eau est douce à la surface dans un rayon de 5 à 6 km à partir de l'embouchure de la Romaine, puis elle se mélange graduellement avec les eaux marines du chenal de Mingan pour atteindre une salinité d'environ 20 psu dans un rayon de 14 à 16 km ; c'est ce qu'on appelle un panache. Les facteurs qui contribuent au mélange des eaux du panache et des eaux marines sont les courants de marée, le vent, la houle et, dans une moindre mesure, la turbulence et la diffusion. L'épaisseur du panache diminue rapidement à partir de la zone de l'embouchure vers le chenal de Mingan ; elle est généralement inférieure à 0,5 m.

Toutefois, d'autres propriétés du panache, comme la couleur de l'eau, la température ou la turbidité, influent sur les eaux de surface du chenal de Mingan jusqu'à une certaine distance ; ce sont les eaux colorées qui démarquent le panache visible.

En considérant la portée du panache dans des conditions de crue, celui-ci peut vraisemblablement s'étendre au-delà des îles de l'archipel et se fondre peut-être avec celui de la rivière Mingan (environ 13 km).

Au printemps, le passage de la crue printanière amène la formation d'une couche d'eau mélangée intermédiaire (de 15 à 25 psu) jusqu'à une profondeur d'environ 11 m. Cette couche d'eau intermédiaire n'est pas présente sur l'ensemble du chenal de Mingan et fluctue vraisemblablement en fonction du cycle semi-diurne des marées.

Le panache ne couvre jamais la totalité du chenal de Mingan, mais balaie plutôt la région selon le cycle semi-diurne des marées. À marée haute, le panache est rabattu vers l'ouest en collant la côte (voir la carte 22-8). Durant la marée descendante, le panache s'étend vers le sud, vers la Grande Île et l'île Quarry. Enfin, à marée basse, le panache se développe vers l'est.

Avec la diminution du débit de la Romaine, la salinité des eaux de surface augmente rapidement à proximité de l'embouchure de la rivière et l'épaisseur du panache diminue. En effet, la portion aval de la zone de l'embouchure montre des salinités supérieures à 10 psu durant la saison de croissance des plantes (voir la section 22.1.2 et la carte 22-4).

L'effet du courant de marée sur le mouvement du panache est atténué par la force et la durée des vents, qui peuvent entraîner le panache contre le courant de marée s'ils soufflent suffisamment longtemps à des vitesses de 20 à 40 km/h. Par ailleurs, le chenal de Mingan est probablement aussi sous l'influence périodique du panache de la rivière Mingan.

La tendance saisonnière de la température de la couche de surface indique que le maximum d'environ 12 °C est atteint un mois plus tard que dans la zone de l'embouchure (vers le 23 août). La température dans le chenal de Mingan est principalement soumise aux caractéristiques de la couche de surface du golfe du Saint-Laurent. La température dans la couche de surface montre aussi une variation selon le cycle des marées qui s'explique par des courants d'advection froids provenant de l'ouest à la marée descendante.

22.2 Modifications liées à la présence et à l'exploitation des aménagements

22.2.1 Zone de l'embouchure de la Romaine

Déclaration de la modification

Réduction de la variabilité annuelle et accentuation du caractère marin du milieu aquatique.

Source de la modification

- Gestion hydraulique des ouvrages : diminution du débit au printemps et augmentation en hiver.

Mesure d'atténuation

Aucune

Description détaillée de la modification

Apports d'eau douce à l'embouchure de la Romaine

Les modifications du régime hydrologique à l'aval de la centrale de la Romaine-1 sont présentées dans le chapitre 16.

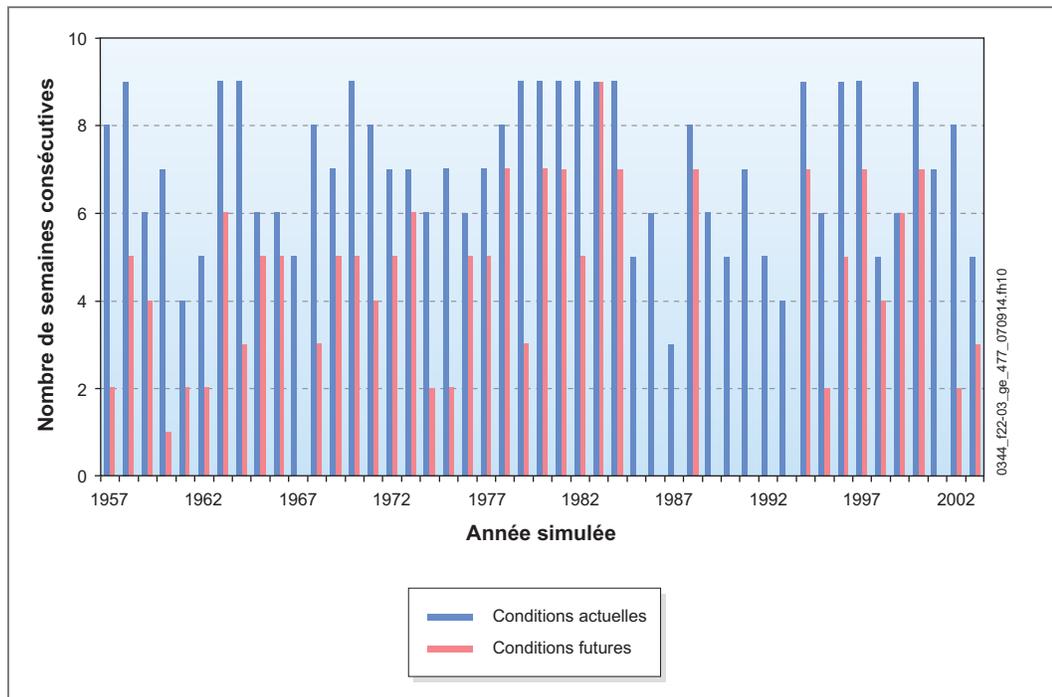
En résumé, les débits turbinés se situeront pratiquement toute l'année dans la fourchette des débits actuels d'été et d'automne, sauf au printemps. Le débit turbiné instantané ne pourra être inférieur à 140 m³/s, puisqu'il s'agit du débit écologique minimal, et le débit journalier dépassera rarement 420 m³/s lorsque la centrale de la Romaine-1 sera exploitée à pleine capacité, avec deux groupes turbinant à la puissance maximale (485 m³/s) en pointe et deux groupes à la puissance optimale (400 m³/s) le reste de la journée. En hiver, le turbinage dépendra des réserves, mais en général (75 % du temps) on n'utilisera qu'un groupe à la puissance optimale (200 m³/s). Au printemps, afin d'éviter des déversements à l'aménagement de la Romaine-1, le débit turbiné sera augmenté jusqu'à 485 m³/s, avec deux groupes à la puissance maximale toute la journée. Toutefois, il y aura quand même des déversements (voir plus bas). À l'embouchure, il n'y aura pas d'écoulement dans la rivière Aisley, sauf durant les périodes de déversement printanier, ce qui correspond aux conditions printanières actuelles. En été et en automne, le débit journalier à l'embouchure oscillera entre 200 et 300 m³/s.

En conditions actuelles, la crue printanière de la Romaine, à son embouchure et en comptant les apports de la rivière Puyjalon, dure environ 64 jours (9 semaines). Cet événement hydrologique s'oppose donc aux marées durant près de deux cycles synodiques. Les apports à l'embouchure sont, en moyenne, supérieurs à 500 m³/s pendant au moins 4 semaines consécutives 46 printemps sur 47 (98 % des printemps) et pendant au moins 6 semaines consécutives 37 printemps sur 47 (79 %).

En conditions futures, les périodes printanières de 4 semaines consécutives ou plus avec des apports supérieurs ou égaux à 500 m³/s seront près de deux fois moins fréquentes, soit 25 années sur 47 (53 %), ou un printemps sur deux (voir la figure 22-3). Quant aux périodes où les apports seront supérieurs à 500 m³/s pendant au moins 6 semaines consécutives, leur fréquence tombera à 12 années sur 47 (26 %).

Durant la période d'exploitation transitoire, les apports à l'embouchure seront semblables à ce qu'ils seront après la mise en service des quatre centrales du complexe, mis à part des déversements un peu plus importants et fréquents au printemps (voir la section 16.3).

Figure 22-3 : Nombre de semaines consécutives pendant lesquelles le débit printanier de la Romaine est supérieur à 500 m³/s à son embouchure



Glace

L'augmentation du débit moyen de la Romaine au début de l'hiver entraînera la production de frasil au rapide à Brillant et à la chute de l'Auberge. Cependant, au cours de l'hiver, le rapide à Brillant et la chute de l'Auberge seront graduellement couverts de glace et ne produiront plus de frasil. À la sortie de la fosse de la chute de l'Auberge, la dune de frasil s'étalera vers l'aval à cause de la hausse de la vitesse d'écoulement. Cette hausse pourrait aussi contribuer à élargir l'éclaircie observée en 2006 à mi-parcours du chenal central. Durant la pointe hivernale (débit de plus de 420 m³/s), l'eau s'écoulera de la Fausse Chute et du frasil y sera produit. La quantité sera toutefois négligeable, puisqu'un tel événement dure rarement plus de trois jours consécutifs. On ne prévoit aucune autre modification du régime des glaces dans la zone de l'embouchure.

Bathymétrie

L'augmentation et l'étalement de la quantité de frasil pourraient provoquer un surcreusement du chenal central en périphérie de la fosse de la chute de l'Auberge à cause de l'augmentation de la vitesse d'écoulement sous la dune de frasil. Il n'est pas certain qu'un tel surcreusement se produise, compte tenu des volumes de frasil produits et de l'érosion par le courant. Puisqu'on n'a observé aucune accumulation de frasil dans la zone de l'embouchure en mars 2005, il ne s'agit pas d'une production nécessairement récurrente. En conditions futures, les volumes de frasil ne

suffiront probablement pas à provoquer une érosion marquée des fonds. La quantité de frasil qui pourrait être produite par la Fausse Chute au cours d'une pointe hivernale serait trop faible pour influencer sur la bathymétrie en raison de la trop courte durée de la pointe.

Niveau d'eau

Le niveau d'eau observé dans la zone de l'embouchure est influencé par la marée venant du golfe du Saint-Laurent et, dans une moindre mesure, par le débit de la Romaine et la présence de la glace. Au printemps, en conditions futures, le débit cessera pendant plusieurs semaines de pousser à la hausse le niveau de basse mer. Ce dernier sera alors comparable à ce qu'il est en conditions estivales et automnales actuelles. Ce n'est en effet qu'au printemps, lorsque le débit dépasse 500 ou 600 m³/s, qu'on observe une élévation du niveau de basse mer à la station marégraphique de la chute de l'Auberge. Les déversements causeront un rehaussement, mais ce dernier sera bien moindre qu'en conditions actuelles et durera moins longtemps. Les conditions hydrologiques estivales et automnales futures seront inchangées, c'est pourquoi il n'y aura aucune modification du niveau d'eau durant ces périodes. L'augmentation du débit de la Romaine, sous la couverture de glace, se traduira par une hausse du niveau de marée basse d'environ 0,2 m au milieu et à la fin de l'hiver par rapport aux conditions actuelles. Quant au niveau de marée haute, il demeurera inchangé en toute saison.

Courants

Au printemps, l'écroulement de la crue de la Romaine entraînera un écoulement dans la zone de l'embouchure similaire à celui qui prévaut actuellement en été et en automne. En période de déversement et pour un débit à l'embouchure demeurant supérieur à 500 m³/s pendant quatre semaines ou plus un printemps sur deux, l'écoulement dans la zone de l'embouchure sera semblable à ce qu'il est actuellement au printemps. Les débits estival et automnal prévus étant semblables à ceux qui existent actuellement, les courants ne changeront pas durant ces saisons. En hiver, le débit de la rivière sera augmenté, ce qui provoquera, au maximum de la marée descendante de vive-eau, une augmentation de la vitesse de courant d'environ 15 % par rapport aux conditions actuelles. Aux autres moments du cycle des marées, l'augmentation de la vitesse sera moindre, devenant négligeable à l'étale de pleine mer supérieure. Comme le débit moyen journalier en hiver restera inférieur à 385 m³/s, ce qui correspond au seuil limite de déversement à la Fausse Chute en période libre de glace, il est peu probable qu'il y ait à cette époque un écoulement accru dans le chenal est.

Masses d'eau

En conditions futures, il y aura moins de crues soutenues d'une durée de plusieurs semaines, donc moins de dessalure dans la couronne intérieure de la zone de l'embouchure, ce qui favorisera la pénétration de l'eau salée. Actuellement, on observe un débit printanier de 500 m³/s et plus pendant au moins 6 semaines dans 79 % des cas, mais cette récurrence tombera à 26 % durant l'exploitation du complexe. En l'absence de déversement, les conditions seront alors semblables à celles qui règnent actuellement en été et en automne, c'est-à-dire une stratification des eaux dans les chenaux. Il n'y aura aucun changement en été ni en automne, puisque les conditions futures seront semblables aux conditions actuelles. En hiver, le débit de la Romaine sera plus fort et la couronne intérieure moins salée, mais les chenaux resteront néanmoins stratifiés. En effet, l'allongement du jusant (2,5 minutes) et l'augmentation du courant de jusant (jusqu'à 15 %) ne sont pas suffisamment marqués pour empêcher la pénétration de l'eau salée dans les chenaux, même si le volume d'eau salée qui s'introduira à chaque marée dans la zone de l'embouchure sera légèrement moindre.

Dans les fosses, en hiver, l'apport d'eau salée n'aura vraisemblablement lieu que durant la plus grande vive-eau mensuelle, alors qu'actuellement cela se produit durant les deux vives-eaux. On observera une dilution graduelle de l'eau salée par diffusion, en particulier dans la fosse de la chute de l'Auberge.

En conditions futures, les masses d'eau de la zone de l'embouchure resteront stratifiées toute l'année, sauf en période de déversement à l'aménagement de la Romaine-1 ou lorsque le débit à l'embouchure demeurera supérieur à 500 m³/s pendant un mois et plus.

La température de l'eau, quant à elle, sera inchangée en hiver. Toutefois, dans la couronne intérieure de la zone de l'embouchure, la couche de surface sera légèrement plus froide d'environ 3 °C de différence en été. Aucune modification notable de la température de la couche de fond n'est prévue, puisque celle-ci est surtout tributaire des conditions du chenal de Mingan.

Qualité de l'eau

Les eaux de la Romaine sont colorées, faiblement minéralisées et oligotrophes (voir le chapitre 21). L'exploitation des centrales ne modifiera pas de façon notable la qualité de l'eau douce qui se déverse dans la zone de l'embouchure. Il est toutefois possible que les concentrations d'acides humiques et fulviques, agents responsables de la coloration de l'eau, augmentent légèrement au cours des premières années d'existence des réservoirs. Si cette augmentation se confirmait, l'eau de surface serait un peu plus colorée dans la zone de l'embouchure. On ne prévoit pas d'autre modification de la qualité des eaux douces, saumâtres ou salées de la zone de l'embouchure.

Le réservoir de la Romaine 1 retiendra la totalité des débris organiques grossiers provenant de l'amont. Toutefois, ces types de débris proviennent aussi du tronçon aval de la Romaine, de la zone de l'embouchure elle-même et des falaises côtières. Ces apports sont toutefois difficilement quantifiables à l'échelle annuelle. Bien qu'on ignore la contribution en débris organiques de la Romaine, on sait que les tourbières sont concentrées à l'aval de la centrale de la Romaine-1 et que c'est de là que provient la majeure partie des matières organiques. La rétention des débris organiques en provenance de l'amont de la centrale de la Romaine-1 aura donc peu de répercussions sur la présence de ces matériaux dans la zone de l'embouchure.

Sédiments

Avec la création des réservoirs, la charge sédimentaire de fond issue de la Romaine, composée essentiellement de sable, ne proviendra plus que du tronçon situé à l'aval de la centrale de la Romaine-1. En conditions futures, la charge sableuse résiduelle qui parviendra à l'embouchure de la Romaine diminuera à environ 60 % de sa valeur actuelle (de 54 % à 65 %). L'arrivée des sédiments sableux sera répartie sur une plus longue période dans le cycle annuel en raison de la diminution des débits de crue et de l'augmentation des débits en hiver (voir le chapitre 20).

Il n'y aura pas de crue printanière soutenue une année sur deux en conditions futures. Le courant sera alors plus lent dans la zone de l'embouchure, ce qui provoquera un ralentissement du transit sédimentaire, déjà diminué par la baisse de la charge à l'embouchure. La seule zone qui puisse être touchée par ces changements est le chenal central, qui constitue l'unique voie du transit sédimentaire. Les sables progresseront vers le chenal de Mingan comme en conditions actuelles, le courant à marée descendante étant toujours plus fort que le courant de marée montante et suffisamment puissant pour transporter les sables de la zone de l'embouchure. À court et à moyen terme, on assistera à une stabilisation du régime sédimentaire, puisqu'il n'y aura plus de lessivage dans le chenal central, sauf au cours de brèves périodes de déversement soutenu. Le ralentissement du transit sédimentaire pourrait atteindre les chenaux secondaires, où la lenteur actuelle du déplacement pourrait s'accroître.

En conditions futures, la charge annuelle de sédiments en suspension sera du même ordre qu'en conditions actuelles (voir la section 20.2.3). Les conditions d'écoulement dans la zone de l'embouchure ne favoriseront pas une accumulation plus importante, et les sédiments fins continueront d'être évacués vers le chenal de Mingan. L'accumulation de sédiments fins dans les baies en bordure continentale et sur quelques platiers à l'abri de certains îlots ne sera pas modifiée.

Durant les autres saisons, on ne prévoit aucun changement sédimentologique. Bien que le débit plus élevé de la Romaine en hiver accroîtra légèrement le transit sédimentaire, ce ne sera pas suffisant pour déstabiliser le substrat.

Résumé de la modification

La gestion hydraulique des ouvrages entraînera des modifications physiques dans la zone de l'embouchure en hiver et au printemps. Globalement, le milieu aquatique deviendra moins variable et plus marin à l'échelle annuelle, et le transit sédimentaire sera ralenti, rendant le substrat plus stable.

22.2.2 Chenal de Mingan

Déclaration de la modification

Modification négligeable des caractéristiques physiques du chenal de Mingan.

Source de la modification

- Gestion hydraulique des ouvrages : diminution du débit au printemps et augmentation en hiver.

Mesure d'atténuation

Aucune

Description détaillée de la modification

Bathymétrie

On ne prévoit aucune modification de la bathymétrie du chenal de Mingan.

Marée

Le débit de la Romaine n'a aucune influence sur le cycle des marées dans le chenal de Mingan.

Glace

Les conditions de glace dans le chenal de Mingan sont indépendantes des apports de la Romaine et réagissent peu aux variations de la rigueur locale de l'hiver glaciologique. Elles sont plutôt liées à d'autres facteurs, comme la température de l'air à l'échelle du golfe du Saint-Laurent, la température des eaux du golfe, le vent ou la production de glace au large. Aucune modification n'est donc prévue en conditions futures.

Courants

Les courants dans le chenal de Mingan étant dominés par la marée, les événements météorologiques et la circulation de l'eau dans le détroit de Jacques-Cartier, ils ne subiront aucune modification en conditions futures.

Masses d'eau

En conditions futures, l'influence des eaux issues de la Romaine sur la couche d'eau de surface du chenal de Mingan devrait demeurer la même qu'en conditions actuelles, car la dispersion de cette couche est fonction des courants de marée et du vent. Toutefois, en l'absence de déversement soutenu au barrage de la Romaine-1, le panache sera moins étendu. En hiver, en eau libre, l'étendue du panache sera semblable à ce qu'elle est actuellement en été et en automne. Sous couverture de glace, l'étendue du panache sera la même qu'actuellement ; l'accroissement de la salinité de surface se fera toutefois plus au large, mais plus rapidement, ce qui se traduira par une zone frontale plus marquée. Dans la couche de surface (0-3 m) la salinité sera plus uniforme au cours de l'année, en raison de la réduction du débit des crues printanières et automnales.

La température de la couche de surface (0-3 m) du chenal de Mingan est principalement tributaire de la température des eaux de surface (0-50 m) du détroit de Jacques-Cartier et de leur mélange par la marée dans le chenal de Mingan. Les eaux de la Romaine participent occasionnellement (durant les épisodes de crue), mais brièvement, au régime thermique des eaux du chenal de Mingan. On n'entrevoit donc aucune modification notable du régime thermique du chenal.

Qualité de l'eau

Il n'y aura aucune modification notable en ce qui concerne les éléments nutritifs, les débris organiques et la productivité générale du chenal de Mingan. Les détails à ce sujet sont donnés au chapitre 29.

Sédiments

Pendant quelques années, la charge sédimentaire annuelle à l'embouchure de la Romaine sera légèrement réduite par rapport aux conditions actuelles, puis atteindra un nouvel équilibre. La circulation des eaux, et donc la dispersion des sédiments dans la zone de l'embouchure et en périphérie, s'effectuera de la même façon qu'en conditions actuelles.

La charge totale de fond et en suspension apportée par la Romaine est faible par rapport à d'autres sources de sédiments dans le chenal de Mingan. On l'estime actuellement à environ 6 000 m³/a (9 200 t/a) de sable et à 15 000 m³/a (plus de 16 500 t/a) de particules silto-argileuses (voir le chapitre 20) ; la charge sableuse

sera d'environ 4 000 m³/a (6 000 t/a) en conditions futures, tandis que la charge silto-argileuse demeurera semblable. À titre de comparaison, un glissement de terrain survenu au printemps de 1980 à environ 4 km à l'est de la pointe à Aisley a livré quelque 4 500 000 m³ au milieu côtier (Desrosiers et coll., 1984). De tels événements fournissent des apports considérables de matériaux, en comparaison des apports annuels totaux de la Romaine. De plus, l'érosion des falaises littorales avoisinantes, la dérive littorale et les autres tributaires de la Côte-Nord fournissent des quantités beaucoup plus grandes de sédiments au chenal de Mingan que la seule rivière Romaine. Par exemple, les 8 km de talus riverains d'environ 20 m de hauteur situés à l'est de la pointe à Aisley contribuent pour 80 000 m³/a au taux d'érosion estimé de 0,5 m/a, soit quatre fois la charge de la Romaine. Les caractéristiques sédimentologiques générales dans la zone de l'embouchure et le long du littoral nord du chenal de Mingan ne seront donc pas modifiées en conditions futures.

Résumé de la modification

La gestion hydraulique des ouvrages n'entraînera pas de changement notable dans le chenal de Mingan.

22.3 Modifications liées aux activités de construction

Les activités de construction n'entraîneront aucune modification notable de l'océanographie physique dans la zone de l'embouchure et le chenal de Mingan.

Durant le remplissage des réservoirs du complexe de la Romaine, il est peu probable que des déversements aient lieu au printemps (voir la section 16.4). Les conditions hydrologiques et physiques dans la zone de l'embouchure de la Romaine et le chenal de Mingan seront donc les mêmes que celles d'une année d'exploitation sans déversement. Les activités de construction n'auront ainsi qu'un impact négligeable sur l'océanographie physique dans la zone de l'embouchure de la Romaine et le chenal de Mingan.

Durant la deuxième phase du remplissage du réservoir de la Romaine 2, le débit moyen à l'embouchure sera d'environ 200 m³/s durant 24 jours dans des conditions d'hydraulicité moyenne. Cela représente un débit faible pour la saison printanière. Durant cette période, les apports en sédiments fins à l'embouchure de la rivière seront réduits de plus de 50 % de ce qu'ils sont en conditions actuelles, alors que les apports en sable seront moindres (voir la section 20-3).

Les conditions physiques dans la zone de l'embouchure durant cette courte période seront nettement dominées par la marée. Elles seront équivalentes aux conditions actuelles estivales en situation de faible hydraulicité. Les conditions sédimentologiques demeureront essentiellement les mêmes que celles d'un printemps sans déversement.

Dans le chenal de Mingan, on assistera à une importante diminution de l'influence de l'eau douce de la Romaine et de la turbidité qui lui est associée dans les eaux de surface. Cette modification n'aura pas d'influence sur les autres composantes du milieu physique du chenal de Mingan.

