

Hydro-Québec Équipement
Direction Ingénierie de production
Conception des aménagements de production - Hydraulique et géotechnique

Complexe Romaine, avant-projet phase 2

Régime thermique de l'eau

Rapport Sectoriel

Préparé par :


Laurent Bilodeau, ing. 2007-12-04
Équipe Ouvrages hydrauliques

Revu par :


Pierre Bruneau, ing. 2007-12-04
Chef Hydraulique
Conception des aménagements de
production - Hydraulique et
Géotechnique

Approuvé par :


Denis Bergeron, ing. 07 12 04
Chef d'unité
Conception des aménagements de
production - Hydraulique et
Géotechnique

Novembre 2007

[Page laissée intentionnellement vide pour fins de mise en page]

Sommaire et conclusions

Le régime thermique de la rivière Romaine est présenté pour les conditions actuelles, pour les conditions futures d'exploitation permanente et de construction du Complexe de la Romaine, variante 1-B-E s'étendant sur les années 2009 à 2020.

L'aménagement prévu comporte quatre réservoirs nommés d'aval en amont RO-1 à RO-4. Le régime thermique des conditions actuelles et futures est évalué par modélisation du régime thermique des réservoirs et tronçons en rivière à l'aide d'un épisode de vingt années consécutives (1984-2003) tirées du scénario hydrologique et de production hydroélectrique qui a servi aux évaluations économiques du projet.

Ce rapport présente les données de base de température de l'eau, la méthode d'ajustement aux observations et les résultats des calculs, sous forme de figures, planches et tableaux. Les conditions transitoires d'exploitation de Romaine-2 seul, puis de Romaine-2 et Romaine-1 en tandem sont également présentées avec ce niveau de détail. Les autres étapes de construction, de mise en eau et d'exploitation font l'objet d'évaluations plus sommaires.

Un des résultats est qu'en aval du site de Romaine-1, le nombre de degrés-jours de température de l'eau en rivière sera maintenu et probablement légèrement augmenté par rapport aux conditions actuelles, malgré une baisse de température de l'eau en été, à cause de l'allongement de la période où la température de l'eau restera au-dessus du point de congélation.

[Page laissée intentionnellement vide pour fins de mise en page]

Remerciements

L'aide de Mme Carole Ogouma pour la réalisation de nombreux cas de calculs, planches et figures, et la participation de Pierre Bruneau, Marc Barbet et Isabelle Thériault aux discussions et relectures ont grandement contribué à la réalisation de cette étude.

[Page laissée intentionnellement vide pour fins de mise en page]

Table des matières

Sommaire et conclusions

Table des matières

Liste des tableaux

Liste des figures

Liste des planches

1	Objectif de l'étude.....	19
2	Données de base	21
2.1	Localisation générale du projet.....	21
2.2	Variante d'aménagement de l'avant-projet phase 2	21
2.3	Domaine couvert par l'étude	21
2.4	Hydrologie.....	22
2.5	Caractéristiques des réservoirs	22
2.6	Bilan hydrique et scénarios d'exploitation.....	22
2.7	Données d'observation de la température de l'eau	23
2.8	Données de climatologie régionale.....	23
3	Méthodologie de l'étude	25
3.1	Orientations et choix méthodologiques.....	25
3.2	Étapes de l'étude	25
3.3	Séries de la température de l'air	26
3.3.1	Considérations	26
3.3.2	Choix des stations.....	27
3.3.3	Examen de la représentativité	27
3.3.4	Production de séries adaptées aux plans d'eau	28
3.4	Séries météorologiques autres que la température de l'air	28
3.5	Méthode de calcul pour les affluents et la Romaine en conditions actuelles.....	28
3.6	Méthode de calcul du bilan thermique en milieu stratifié verticalement.....	30
3.7	Méthode de calcul de la température de l'eau le long de tronçons fluviaux	33

4	Ajustement de la température de l'air aux sites de la rivière Romaine.....	35
4.1	Station ROMA0730.....	35
4.2	Station ROMA0826.....	35
4.3	Station ROMA0828.....	36
4.4	Station ROMA0835.....	36
4.5	Station Lac Éon 704C64L.....	37
4.6	Revue des ajustements	37
5	Régime thermique des affluents.....	39
6	Régime thermique de la rivière Romaine à l'état actuel.....	41
6.1	Présentation des données et résultats	41
6.2	Rivière Romaine en aval du site de Romaine-1	42
6.3	Rivière Romaine en amont du site de Romaine-1	43
6.4	Principaux tributaires	43
7	Régime thermique des aménagements Romaine-4 et Romaine-3	45
7.1	Réservoir Romaine-4.....	45
7.1.1	Description.....	45
7.1.2	Tableaux et diagrammes	45
7.1.3	Régime thermique.....	46
7.2	Tronçon court-circuité par l'aménagement de la Romaine 4 (PK 190,3 à 191,9) 47	
7.2.1	Description.....	47
7.2.2	Régime thermique.....	47
7.3	Canal de fuite de l'aménagement de la Romaine-4 (PK 190,3).....	48
7.3.1	Description	48
7.3.2	Régime thermique.....	48
7.4	Réservoir Romaine-3.....	48
7.4.1	Description	48
7.4.2	Tableaux et diagrammes	49
7.4.3	Régime thermique.....	49
7.5	Tronçon court-circuité par l'aménagement de la Romaine-3 (PK 155,0 à 158,4) 50	
7.5.1	Description	50
7.5.2	Régime thermique.....	50
7.6	Canal de fuite de l'aménagement de la Romaine-3 (PK 155,0).....	51
7.6.1	Description	51

7.6.2	Régime thermique.....	51
8	Régime thermique de l'aménagement Romaine-2 et de son aval.....	53
8.1	Réservoir Romaine-2.....	53
8.1.1	Description.....	53
8.1.2	Tableaux et diagrammes.....	53
8.1.3	Régime thermique.....	53
8.2	Évacuateur de crue et tronçon court-circuité de Romaine-2 (PK 83,7 à 90,3)	55
8.2.1	Description.....	55
8.2.2	Tableaux et diagrammes.....	55
8.2.3	Régime thermique, seuil du canal d'amenée de RO-2 à 215 m.....	55
8.3	Canal de fuite de la centrale Romaine-2 (PK 83,7).....	56
8.3.1	Description.....	56
8.3.2	Tableaux et diagrammes.....	56
8.3.3	Régime thermique.....	57
8.4	Tronçon fluvial du réservoir Romaine-1.....	57
8.4.1	Description.....	57
8.4.2	Tableaux et diagrammes.....	58
8.4.3	Régime thermique.....	58
8.5	Tronçon en lac du réservoir Romaine-1.....	58
8.5.1	Description.....	58
8.5.2	Tableaux et diagrammes.....	59
8.5.3	Régime thermique.....	59
8.6	Exutoires du réservoir Romaine-1.....	60
8.6.1	Description.....	60
8.6.2	Tableaux et diagrammes.....	60
8.6.3	Régime thermique au canal de fuite.....	60
8.6.4	Régime thermique à l'évacuateur de crue.....	61
8.7	Rivière Romaine en aval de Romaine-1.....	61
8.7.1	Tableaux et diagrammes.....	61
8.7.2	Régime thermique.....	61
9	Phases de construction et d'exploitation transitoire.....	63
9.1	Généralités.....	63
9.2	Effet des chantiers sur la température de l'eau.....	63
9.3	Remplissage du réservoir Romaine-2.....	64
9.3.1	Description.....	64

9.3.2	Régime thermique durant la fermeture avec débit réservé dans la galerie de dérivation	64
9.3.3	Fermeture complète.....	65
9.3.4	Complétion du remplissage avec passage du débit réservé par l'évacuateur.....	65
9.4	Exploitation de Romaine-2 seul.....	66
9.4.1	Description de l'aménagement	66
9.4.2	Tableaux et diagrammes	66
9.4.3	Régime thermique du réservoir Romaine-2.....	67
9.4.4	Régime thermique du tronçon court-circuité.....	67
9.4.5	Régime thermique en rivière en aval de Romaine-2 seul.....	67
9.5	Remplissage de Romaine-1	67
9.6	Exploitation de Romaine-2 et Romaine-1	68
9.6.1	Description de l'aménagement	68
9.6.2	Tableaux et diagrammes	69
9.6.3	Régime thermique du réservoir Romaine-1 et à son aval.....	69
9.7	Remplissage de Romaine-3	69
9.7.1	Description de l'étape	69
9.7.2	Tableaux et diagrammes	70
9.7.3	Régime thermique.....	70
9.7.3.1	Réservoir Romaine-3.....	70
9.7.3.2	Tronçon court-circuité de Romaine-3.....	70
9.7.3.3	Réservoir Romaine-2.....	70
9.7.3.4	Exutoires de Romaine-2.....	71
9.7.3.5	Réservoir Romaine-1	71
9.8	Exploitation de Romaine-1, Romaine-2 et Romaine-3	71
9.9	Remplissage de Romaine-4	71
9.9.1	Description de l'aménagement	71
9.9.2	Régime thermique.....	72
10	Références.....	73
11	Tableaux.....	75
12	Figures.....	91
13	Planches.....	121

- Annexe A. Recueil des séries observées
- Annexe B. Régime thermique du réservoir Romaine-2 et de son aval pour le cas du seuil du canal d'amenée de Romaine-2 à la cote de 206 m.

[Page laissée intentionnellement vide pour fins de mise en page]

Liste des tableaux

Tableau 1	Principales caractéristiques hydrologiques et hydrauliques des aménagements de la Romaine selon la variante 1-BC, du point de vue de l'Étude du régime thermique.....	77
Tableau 2	Contraintes de débit minimal à respecter à RO-1.....	78
Tableau 3	Liste des stations de mesure de la température de l'eau.....	79
Tableau 4	Différence de température de l'air entre Lac Éon et les sites ROMA0826, ROMA0828 et ROMA0835 pour trois conditions.....	80
Tableau 5	Rivière Garneau à sa confluence avec la Romaine (PK 192 de la Romaine). Moyennes mensuelles de la température de l'eau.....	81
Tableau 6	Rivière de l'Abbé-Huard à sa confluence avec la Romaine (PK 181 de la Romaine). Moyennes mensuelles de la température de l'eau.....	81
Tableau 7	Rivière Romaine Sud-Est à sa confluence avec la Romaine (PK 132 de la Romaine). Moyennes mensuelles de la température de l'eau.....	81
Tableau 8	Rivière Romaine au PK 290 en conditions actuelles. Moyennes mensuelles de la température de l'eau.....	82
Tableau 9	Rivière Romaine au PK 153 en conditions actuelles. Moyennes mensuelles de la température de l'eau.....	82
Tableau 10	Rivière Romaine au PK 51 en conditions actuelles. Moyennes mensuelles de la température de l'eau.....	82
Tableau 11	Rivière Romaine au PK 16 en conditions actuelles. Moyennes mensuelles de la température de l'eau.....	82
Tableau 12	Aménagement Romaine-4. Moyennes mensuelles de la température de l'eau.....	83
Tableau 13	Aménagement Romaine-3. Moyennes mensuelles de la température de l'eau.....	84
Tableau 14	Réservoir Romaine-2. Moyennes mensuelles et estivale de la température de l'eau.....	85
Tableau 15	Réservoir Romaine-1. Moyennes mensuelles et estivale de la température de l'eau.....	86
Tableau 16	Rivière Romaine en aval de l'aménagement Romaine-1. Moyennes mensuelles et estivale de la température de l'eau.....	87
Tableau 17	Aménagement Romaine-2 et rivière Romaine en conditions transitoires (absence de Romaine-4 et de Romaine-3, marnage de 19 m), en l'absence de Romaine-1. Moyennes mensuelles de la température de l'eau aux exutoires et à l'aval.....	88

Tableau 18 Aménagement Romaine-1 et rivière Romaine en conditions transitoires
(absence de Romaine-4 et de Romaine-3, marnage de 19 m à
Romaine-2). Moyennes mensuelles de la température de l'eau aux
exutoires et à l'aval. 89

Liste des figures

Figure 1	Représentation schématique de la rivière Romaine aménagée pour l'étude de régime thermique	93
Figure 2	Position géographique des stations météorologiques de la région de la rivière Romaine pour lesquelles des séries sont disponibles	94
Figure 3	Historique de disponibilité des séries de la moyenne journalière de la température de l'air de la région du complexe Romaine.	95
Figure 4	Position des stations de mesure de paramètres météorologiques le long de la rivière Romaine.....	96
Figure 5	Historique de la disponibilité des séries de température de l'air le long de la Romaine.....	97
Figure 6	Schéma général de représentation d'un lac ou réservoir avec le logiciel RESTHERM 5.....	98
Figure 7	Wabush - 8504175. Température de l'air désaisonnalisée de 1960 à 2005.....	99
Figure 8	Wabush - 8504175. Température de l'air désaisonnalisée de 1984 à 2003.....	100
Figure 9	Cycle annuel de l'écart de température de l'air entre l'aval de RO-1 (ROMA0730) et Lac Éon (704C64L)	101
Figure 10	Cycle annuel de l'écart de température de l'air entre l'aval de RO-1 (ROMA0730) et Havre-Saint-Pierre (7043017)	102
Figure 11	Température de l'air à l'aval de RO-2 (ROMA0826) en fonction de celle de Lac Éon (704C64L).....	103
Figure 12	Température de l'air à l'aval de RO-3 (ROMA0828) en fonction de celle de Lac Éon (704C64L).....	104
Figure 13	Température de l'air à l'aval de RO-4 (ROMA0835) et ajustement en fonction de celle de Lac Éon (704C64L).....	105
Figure 14	Température de l'eau de la rivière Garneau et des autres affluents du réservoir RO-3 telle que représentée par calcul, en contexte avec D'autres variables hydrométéorologiques pour 2000 et 2001.	106
Figure 15	Température de l'eau de la rivière de l'Abbé-Huard telle que mesurée et reproduite par calcul pour 2000 et 2001.	107
Figure 16	Température de l'eau de la rivière Romaine Sud-Est telle que mesurée et reproduite par calcul pour 2003 et 2004.	108
Figure 17	Rivière Garneau, représentant les affluents du réservoir RO-3.....	109

Figure 18	Rivière de l'Abbé-Huard, affluent du réservoir RO-2.	110
Figure 19	Rivière Romaine Sud-Est, affluent du tronçon fluvial reliant la centrale RO-2 au réservoir RO-1.....	111
Figure 20	Température de l'eau au PK 290 de la rivière Romaine à l'état naturel telle que mesurée et reproduite par calcul pour 2000 et 2001.	112
Figure 21	Température de l'eau de la rivière Romaine au PK 153, à l'état naturel et en tant qu'affluent du réservoir RO-2 durant les conditions transitoires qui précèdent la mise en service de RO-3 et RO-4.	113
Figure 22	Température de l'eau de la rivière Romaine au PK 51, à l'état naturel. Comparaison entre le calcul et l'observation pour 2002.	114
Figure 23	Température de l'eau de la rivière Romaine au PK 51, à l'état naturel. Comparaison entre le calcul et l'observation pour 2003.	115
Figure 24	Température de l'eau de la rivière Romaine au PK 16, à l'état naturel. Comparaison entre le calcul et l'observation pour 2000.	116
Figure 25	Température de l'eau de la rivière Romaine au PK 16, à l'état naturel. Comparaison entre le calcul et l'observation pour 2001.	117
Figure 26	Température de l'eau de la rivière Romaine au PK 16, à l'état naturel. Comparaison entre le calcul et l'observation pour 2003.	118
Figure 27	Température de l'eau observée en trois points de la rivière Romaine et sur trois de ses affluents de 2003 à 2005.	119

Liste des planches

Planche 1	Situation du projet Romaine.	123
Planche 2	Profil longitudinal de l'aménagement de la rivière Romaine.	124
Planche 3	Rivière Romaine à l'état actuel. Température de l'eau aux PK 290 et 153.	125
Planche 4	Rivière Romaine à l'état actuel. Température de l'eau au PK 51 et au PK 16 reconstituées par calcul pour la période de 1984 à 2003.	126
Planche 5	Rivière Romaine à l'état actuel. Température de l'eau sur la Romaine en 2005 et comparaison entre le PK 5 et les PK 16 et 51.	127
Planche 6	Réservoir Romaine-4. Profils verticaux instantanés et séries temporelles de la température de l'eau dans le réservoir.	128
Planche 7	Réservoir Romaine-4. Isothermes dans le réservoir pour trois années-type.	129
Planche 8	Réservoir Romaine-4. Température de l'eau et débit aux exutoires.	130
Planche 9	Réservoir Romaine-3. Profils verticaux instantanés et séries temporelles de la température de l'eau dans le réservoir.	131
Planche 10	Réservoir Romaine-3. Isothermes dans le réservoir pour trois années-type.	132
Planche 11	Réservoir Romaine-3. Température de l'eau et débit aux exutoires.	133
Planche 12	Réservoir Romaine-2. Profils verticaux instantanés et séries temporelles de la température de l'eau dans le réservoir.	134
Planche 13	Réservoir Romaine-2. Isothermes dans le réservoir pour trois années-type.	135
Planche 14	Réservoir Romaine-2. Température de l'eau et débit aux exutoires.	136
Planche 15	Rivière Romaine. Tronçons fluviaux situés entre la centrale Romaine-2 et le PK 13. Profils longitudinaux mensuels de la température de l'eau.	137
Planche 16	Réservoir Romaine-1. Profils verticaux instantanés et séries temporelles de la température de l'eau dans le réservoir.	138
Planche 17	Réservoir Romaine-1. Isothermes dans le réservoir pour trois années-type.	139
Planche 18	Réservoir Romaine-1. Température de l'eau et débit aux exutoires.	140

Planche 19	Réservoir Romaine-2, phase transitoire. Profils verticaux instantanés et séries temporelles de la température de l'eau dans le réservoir.	141
Planche 20	Réservoir Romaine-2, phase transitoire. Isothermes dans le réservoir pour trois années-type.	142
Planche 21	Réservoir Romaine-2, phase transitoire. Température de l'eau et débit aux exutoires.	143
Planche 22	Rivière Romaine, phase transitoire sans Romaine-1. Tronçons fluviaux situés entre la centrale Romaine-2 et le PK 13. Profils longitudinaux mensuels de la température de l'eau.	144
Planche 23	Réservoir Romaine-1, phase transitoire. Profils verticaux instantanés et séries temporelles de la température de l'eau dans le réservoir.	145
Planche 24	Réservoir Romaine-1, phase transitoire. Isothermes dans le réservoir pour trois années-type.	146
Planche 25	Réservoir Romaine-1, phase transitoire. Température de l'eau et débit aux exutoires du réservoir Romaine-1.	147
Planche 26	Rivière Romaine, phase transitoire avec Romaine-1. Tronçons fluviaux situés entre la centrale Romaine-2 et le PK 13. Profils longitudinaux mensuels de la température de l'eau.	148

1 Objectif de l'étude

L'étude a pour objectif de présenter le régime thermique de l'eau sur la partie de la rivière Romaine qui sera touchée par la construction de quatre aménagements hydroélectriques.

Les conditions à couvrir avec un bon niveau de détail sont :

- État actuel de la rivière Romaine
- Phase d'exploitation : aménagement complet, de Romaine-1 à Romaine-4
- Étape transitoire A : la centrale Romaine-2 seule est en exploitation
- Étape transitoire B : les centrales Romaine-2 et Romaine-1 sont en exploitation

Les autres étapes transitoires sont couvertes par des évaluations.

Ce rapport ayant pour objectif de faire état des études réalisées, il présente deux annexes présentant des informations ayant demandé un travail substantiel :

L'annexe A présente les séries de température de l'eau qui ont été relevées durant l'avant-projet ainsi que les séries météorologiques simultanées.

L'annexe B présente le régime thermique associé à une variante du canal d'amenée de la centrale Romaine-2 qui a été évaluée en cours d'avant-projet, mais qui n'a pas été retenue.

[Page laissée intentionnellement vide pour fins de mise en page]

2 Données de base

2.1 Localisation générale du projet

La rivière Romaine se situe sur la côte Nord du fleuve Saint-Laurent. Son embouchure sur le Golfe du Saint-Laurent se situe à l'ouest de Havre Saint-Pierre (50° 15' N, 63° 35' O), entre Sept-Îles et Natashquan et son bassin versant s'étend sur une superficie de 14470 km².

Le projet d'aménagement de la Romaine modifiera le niveau et le débit de la Romaine de l'embouchure jusqu'au km 290 de la rivière. La situation générale du projet Romaine est présentée sur la Planche 1 et sur les planches A et B de l'annexe A (Recueil des données d'observation).

2.2 Variante d'aménagement de l'avant-projet phase 2

La variante générale de l'aménagement est présentée dans le rapport de l'étude d'impact du projet du complexe de la Romaine émis par Hydro-Québec Production (Réf. 1), telle qu'elle a été retenue en 2005 en avant-projet phase 2. Elle comporte la réalisation d'un escalier de quatre réservoirs et centrales hydroélectriques numérotés de 1 à 4 de l'aval vers l'amont. Elle est illustrée par la coupe longitudinale de la Planche 2. Le Tableau 1 en résume les caractéristiques.

2.3 Domaine couvert par l'étude

Le domaine couvert par l'étude s'étend de la limite d'amont du réservoir RO-4, vers le PK 290, jusqu'à l'embouchure de la rivière Romaine. L'estuaire et les estrans de la Romaine sont exclus.

La Figure 1 donne une représentation schématique du cours de la Romaine et des caractéristiques des réservoirs. Elle présente aussi le découpage en sous-domaines qui a été utilisé pour les calculs.

Une étude spécifique du couvert de glace en rivière (Réf. 4) a été réalisée conjointement pour le tronçon fluvial reliant la centrale RO-2 au réservoir RO-1 ainsi que le tronçon fluvial allant de la centrale RO-1 à l'estuaire de la Romaine.

L'étude de glace a utilisé les résultats de température de l'eau à la sortie de Romaine-2 et de Romaine-1 en tant que conditions aux frontières d'amont pour la saison hivernale.

2.4 Hydrologie

L'hydrologie de la rivière Romaine est connue principalement grâce aux relevés continus effectués par le Ministère de l'Environnement du Québec de 1956 à 2004 à la station 073801, située au km 14,8 de la rivière Romaine, légèrement en amont de la confluence de la rivière Puyjalon.

Dans le cadre de l'étude d'hydrologie de l'avant-projet phase 2 de la Romaine (Réf. 3), la production hydroélectrique du projet a été évaluée par simulation basée sur les séries temporelles d'apport hydrologique. Les apports hydrologiques de chacun des quatre réservoirs ont été évalués à l'aide de la série de la station 073801 en la ramenant à une série de moyennes hebdomadaires et en lui appliquant un facteur de proportionnalité basé sur l'aire des bassins versants intermédiaires.

Les séries du débit d'apport des études de production hydroélectrique ont été retenues pour l'étude de régime thermique parce qu'elles font partie d'un ensemble cohérent et représentatif qui inclut également le débit aux ouvrages et le marnage des réservoirs (voir la section 2.6).

2.5 Caractéristiques des réservoirs

Le volume d'eau en réservoir et la superficie en fonction du niveau de l'eau ont été obtenus de la Réf. 6. Les autres caractéristiques ont été tirées des plans, coupes et cartes qu'on peut trouver dans l'étude d'impact, déjà citée plus haut (Réf. 1).

2.6 Bilan hydrique et scénarios d'exploitation

Les scénarios d'exploitation qui ont été utilisés pour les calculs de la présente étude sont tirés de l'étude d'hydrologie déjà citée ci-dessus (Réf. 3). Ils consistent en un ensemble incluant la courbe d'emménagement de chacun des réservoirs, et les séries temporelles de débits d'apport, de débit aux exutoires et de marnage du réservoir.

Sur les tronçons court-circuités, le mandat pour l'étude de régime thermique a été d'utiliser un débit réservé de 1 % du débit module, plutôt que la valeur de 2,5 % qui a été utilisée dans l'étude d'hydrologie.

2.7 Données d'observation de la température de l'eau

L'annexe A présente un recueil des séries observées de la température de l'eau qui ont été utilisées. On y retrouve 31 séries d'observation à cadence horaire ou quadrihoraire provenant de 21 sites de mesure et couvrant une variété d'intervalles allant de l'automne 1999 à l'automne 2005.

La planche B du recueil présente la position géographique des sites de mesure. Le tableau I du recueil présente une brève description de ces sites.

Les sites de mesure se situent entre les km 5,2 et 329,8 de la rivière Romaine ainsi que sur les affluents Romaine Sud-Est, Abbé Huard et Puyjalon. Il s'y ajoute trois séries provenant du bassin de la rivière Atikonak qui ont été retenues pour fins de comparaisons qualitatives, à cause de leur proximité du bassin versant de la Romaine.

La planche C du recueil présente un diagramme de l'historique de disponibilité des observations. Une station peut y présenter plusieurs séries lorsque plusieurs enregistreurs et capteurs différents y ont été utilisés.

2.8 Données de climatologie régionale

Un inventaire des stations météorologiques offrant de longues séries dans la région a été effectué. Les stations repérées sont présentées sur la Figure 2. Les séries d'observations de ces stations ont été obtenues auprès d'Environnement Canada (Réf. 7).

La Figure 3 présente l'historique de disponibilité de la moyenne journalière de la température de l'air à ces stations pour la période de 1973 à 2005.

Des stations temporaires d'enregistrement de la température de l'air ont aussi été installées le long de la rivière Romaine afin d'obtenir des observations locales et simultanées à celles de la température de l'eau. La Figure 4 présente la position géographique de stations situées à proximité immédiate de la rivière Romaine.

La Figure 5 présente l'historique de disponibilité des séries aux stations de la Figure 4, pour la période de 2001 à 2005.

[Page laissée intentionnellement vide pour fins de mise en page]

3 Méthodologie de l'étude

3.1 Orientations et choix méthodologiques

Le domaine a été découpé en composants de trois types: affluents, réservoirs et tronçons fluviaux. La rivière Romaine à l'état naturel a été assimilée aux affluents. Le découpage résultant, pour l'aménagement final et complet, est présenté à la Figure 1. Le régime thermique de chacun de ces éléments a été examiné avec un logiciel approprié à chacun des trois types, dans une séquence allant de l'amont vers l'aval. L'eau issue des éléments d'amont a constitué une condition à la frontière d'amont des éléments connectés à leur aval immédiat, en débit et en température de l'eau.

Pour obtenir une représentativité satisfaisante des résultats, il a été retenu de représenter par calcul plusieurs années. Des années consécutives ont été retenues de façon à simplifier la gestion des données et des cas de calcul. Avec une durée d'une vingtaine d'années, l'éventail des conditions représentées et la représentativité hydrologique et climatologique a été jugée satisfaisante.

La période couverte par la campagne de mesure a présenté plusieurs épisodes nettement plus chauds que la moyenne climatologique; en modélisant une période plus longue, les résultats ont été plus représentatifs que si les analyses s'étaient limitées à la période directement observée.

3.2 Étapes de l'étude

L'étude du régime thermique a été réalisée selon les étapes suivantes:

- Inventaire et examen des données de base telles que température de l'eau, caractéristiques hydrauliques des ouvrages, données météorologiques, niveau des réservoirs, débits aux exutoires et aux tronçons court-circuités.
- Ajustement des séries temporelles de niveau et de débit de chacun des réservoirs, affluents et ouvrages à partir de la simulation de production de l'étude d'hydrologie (Réf. 3).
- Identification de stations de climatologie régionale et élaboration de séries de météorologie complètes pour ces stations.

- Élaboration des séries météorologiques de chacun des sous-domaines à partir des séries complétées de climatologie régionale et en utilisant les stations locales de courte durée.
- Pour les conditions actuelles de la rivière Romaine et des affluents, calcul du régime thermique pour toute la période couverte par l'étude à l'aide d'une méthode d'ajustement aux conditions ambiantes fournie par le logiciel RESTHERM.
- Pour les conditions futures, calculs enchaînés d'amont vers l'aval du régime thermique sur chacun des sous-domaines en utilisant le bilan thermique avec RESTHERM sur les réservoirs et RIVTHERM sur les tronçons fluviaux.

3.3 Séries de la température de l'air

3.3.1 Considérations

La température de l'air est une variable importante pour le calcul des bilans thermique. La zone d'étude comporte une dénivellation de près de 450 m et une étendue d'environ 290 km le long de la rivière de sorte qu'il y a des différences appréciables de climat d'un sous-domaine à l'autre. Une attention particulière a donc été apportée à la confection de séries de température de l'air qui soient aussi représentatives que possible pour chacun des sous-domaines de la zone d'étude.

Un soin particulier a été apporté au transfert de la température de l'air vers les zones à l'étude, par comparaison avec l'usage pour d'autres études, pour deux raisons principales.

D'une part, les campagnes de mesure de la température de l'eau de l'avant-projet Romaine ont été réalisées dans un contexte d'années particulièrement chaudes faisant que leur représentativité pouvait laisser à désirer si aucun effort n'était fait pour rendre l'étude représentative du long terme.

D'autre part, l'étude de phase I de l'avant-projet de la Romaine a montré que l'aval de la rivière Romaine se trouve dans un climat côtier qui diffère grandement de celui qu'on retrouve à l'intérieur des terres en été. Havre-Saint-Pierre se trouve en bord de mer et l'air y est particulièrement froid en été. Il se produit des épisodes de canicule où la température de l'air à Lac Éon et Wabush peut approcher les 30 °C alors qu'à Havre-Saint-Pierre il peut faire de 12 à 17 °C. On a dû se demander quelle serait la température de l'air vers les km 90 à 200 sur le bassin de la Romaine et il est apparu qu'on ne pouvait pas simplement interpoler entre Havre-Saint-Pierre et Lac Éon car la température de l'eau ainsi calculée en rivière pour la situation actuelle s'éloignait de celle qui était observée dans les épisodes disponibles.

Des points de mesure temporaires de la température de l'air ont donc été installés le long de la Romaine pour vérifier; les séries enregistrées, bien que brèves, ont montré une grande ressemblance à celles de Lac Éon et il a été possible d'ajuster la série de Lac Éon à ces sites par des formules simples.

La méthodologie de base pour la température de l'air a consisté à :

- identifier des séries de longue durée provenant de sites de la région et les compléter à partir d'autres stations régionales de caractéristiques climatologiques semblables;
- les comparer aux brefs épisodes observés localement et trouver des corrections permettant de ramener les valeurs de la série à long terme à celles de la série locale;
- produire des séries longues pour les sites locaux en appliquant les corrections aux séries longues.

3.3.2 Choix des stations

Lac Éon (704C64L) et Havre-Saint-Pierre (7043018) ont été retenues pour leur position aux deux extrémités de la zone d'étude et Wabush (8504175) et Sept-Îles (7047910) ont été utilisées pour compléter les séries.

3.3.3 Examen de la représentativité

La représentativité de la période représentée par calcul est évaluée par examen de la température de l'air désaisonnalisée à la station Wabush (8504175).

La station Wabush a été retenue pour cela parce qu'elle a un climat qui ressemble de près à celui de Lac Éon et de la vallée de la Romaine en général, sauf près de la côte. La station présente une série de température de l'air journalière à peu près ininterrompue de 1960 à maintenant, alors que la série de Lac Éon présente plusieurs années manquantes.

Pour cet examen, une série désaisonnalisée de la température de l'air a été élaborée puis examinée. Dans un premier temps, une analyse harmonique du cycle annuel de la température de l'air a été faite en utilisant l'année comme période fondamentale. Les périodes conservées pour le cycle moyen à long terme sont celles de 1 cycle/année à 6 cycles par année. Ensuite, la moyenne à long terme et le cycle annuel élaboré ci-dessus ont été soustraits à la série initiale de la température de l'air. La série résultante présente donc uniquement l'écart entre la température de l'air à une date donnée et la moyenne à long terme à la même date. Cette série a été elle-même lissée de façon à faire ressortir les tendances qui ont duré un mois et plus.

La Figure 7 présente la série désaisonnalisée de Wabush de 1961 à 2005.

La Figure 8 présente la série pour la période retenue pour les calculs, soit de 1984 à 2003.

Ces figures permettent de vérifier qualitativement que la période retenue pour les calculs est relativement équilibrée en termes du nombre d'épisodes se trouvant au-dessous et au-dessus de la normale. Elle est utile pour situer les séries observées récemment le long de la Romaine par rapport au plus long terme.

3.3.4 Production de séries adaptées aux plans d'eau

Ensuite, ces séries ont été ajustées pour les appliquer à chacun des sites pour lesquels des calculs ont été effectués. Les corrections ont été déterminées en comparant les épisodes de relevés simultanés aux stations à long terme et aux sites temporaires se trouvant au sein du domaine étudié. L'ajustement à la température de l'air fait l'objet du chapitre 3.6 du présent rapport.

La cadence des séries a été journalière pour les calculs de régime thermique en réservoir et sur les tronçons en rivière, et horaire pour les calculs d'hiver entre RO-2 et RO-1 et en aval de RO-1 de l'étude conjointe du couvert de glace.

3.4 Séries météorologiques autres que la température de l'air

Les séries complétées de Lac Éon ont été retenues pour le taux de couverture nuageuse et la vitesse du vent pour tous les sites sauf le tronçon fluvial situé à l'aval de RO-1, pour lequel les séries complétées de Havre-Saint-Pierre ont été utilisées.

Le taux de rayonnement solaire a été calculé à partir du taux incident par ciel clair, modifié pour tenir compte du couvert nuageux enregistré en dixièmes aux stations d'Environnement Canada.

3.5 Méthode de calcul pour les affluents et la Romaine en conditions actuelles

Chacun des réservoirs présente des affluents dont la température de l'eau doit être connue lors du calcul de bilan thermique en réservoir, sur toute la période modélisée (de 1984 à 2003). La rivière Romaine présente plusieurs sites où la température de l'eau des conditions actuelles doit également être connue sur la même durée afin de documenter les conditions actuelles et afin de permettre une comparaison avec les conditions futures qui soit aussi libre de biais que possible.

Les relevés de température de l'eau couvrent des périodes réduites de quelques mois à quelques années. La série doit donc être allongée par calcul à partir des séries hydrologiques et météorologiques et en s'ajustant sur la période observée.

Les sites dont le régime thermique a été ainsi reconstitué sont, sur les affluents :

- la rivière Garneau à sa confluence avec la Romaine (PK 181 de la Romaine), en tant qu'affluent du réservoir Romaine-3 pour les cas où ce réservoir est en exploitation;
- la rivière de l'Abbé Huard à sa confluence avec la Romaine (PK 131 de la Romaine), comme affluent du réservoir Romaine-2;

- la rivière Romaine Sud-Est à sa confluence avec la Romaine (PK 82 de la Romaine), comme affluent de la section d'amont du réservoir RO-1, à écoulement fluvial;

et sur la Romaine en conditions actuelles :

- le PK 290 représentant la confluence de la Romaine non-régularisée dans le réservoir Romaine-4;
- le PK 153 représentant la confluence de la Romaine non-régularisée dans le réservoir Romaine-2 pour les conditions transitoires (décrites plus loin) où le réservoir Romaine-2 est exploité sans autre réservoir à son amont;
- le PK 51 représentant le site de la centrale Romaine-1 dans les conditions actuelles;
- le PK 16 représentant l'aval de la rivière Romaine, en amont de la confluence de la rivière Puyjalon.

Le processus suivant a été utilisé pour calculer le régime thermique de chacun des points représentant ces affluents:

- établir les séries hydrologiques et météorologiques finales qui sont adaptées au site;
- examiner la morphologie de l'affluent en amont de la confluence pour prendre note de caractéristiques telles: haute ou faible dénivelée, présence de lacs profonds ou nombreux, bassin versant marécageux, proportion du bassin versant associée à la zone rapprochée de la confluence;
- ajuster de façon préalable la série de la température de l'air régionale pour l'appliquer au site; ceci est décrit à la section suivante;
- introduire une altitude, des paramètres géométriques et une relation niveau-débit à la section fictive qui représente l'affluent dans les calculs;
- ajuster le modèle pour reproduire les dates de début du réchauffement de l'eau au printemps qui ont été observées;
- ajuster les paramètres de calcul pour optimiser la ressemblance de la série de température calculée à la série observée sur toute l'année;
- utiliser les paramètres trouvés par ajustement sur l'intervalle court pour calculer le régime thermique sur l'ensemble de la période s'étendant de 1984 à 2003;
- vérifier l'ensemble des résultats et reprendre les calculs jusqu'à satisfaction pour la représentativité et la plausibilité générale des résultats.

3.6 Méthode de calcul du bilan thermique en milieu stratifié verticalement

L'analyse par calcul du bilan thermique des plans d'eau a fait appel au logiciel RESTHERM (Réf. 8 et Réf. 9).

Ce logiciel représente le lac ou le réservoir comme un volume d'eau ayant des conditions aux frontières d'amont, d'aval et de surface (au niveau de l'eau), tel que présenté à la Figure 6. En amont, le débit et la température de l'eau des affluents doivent être prescrits; en aval, seulement le débit sortant doit être prescrit; à la surface du plan d'eau, la température de l'air, la vitesse du vent, le taux d'humidité et le taux de couverture nuageuse sont utilisés pour calculer les apports et pertes de chaleur passant par la surface de l'eau.

Au sein du volume, RESTHERM utilise la méthode des différences finies pour représenter les déplacements verticaux d'eau et de chaleur dans une série de couches horizontales superposées dont les superficies sont ajustées à la courbe d'emmagasinement du réservoir. Chaque couche est caractérisée par les propriétés suivantes, qui varient en fonction de la profondeur et en fonction du temps :

- température de l'eau ;
- fraction du débit contribué par chacun des apports ;
- fraction du débit soutiré à chacun des exutoires ;
- fraction des échanges thermiques reçus par la surface ;
- fraction de l'énergie du vent arrivant par la surface.

L'épaisseur des couches est uniforme sauf pour la couche la plus superficielle, dans laquelle se trouve le niveau de l'eau à un instant donné. Pour cette couche, l'épaisseur, la superficie et le volume sont variables en fonction du niveau de l'eau. Des couches sont retranchées ou ajoutées au besoin en fonction de l'évolution du niveau du réservoir.

Un cas de calcul effectué avec le logiciel RESTHERM commence par l'imposition au modèle d'un état initial, choisi en fonction de la date de début de la période à représenter par calcul. L'état initial comprend le niveau de l'eau, le profil vertical de la température de l'eau et, lorsque c'est approprié, l'épaisseur de la glace et celle de la neige déposée sur la glace.

Le calcul procède ensuite avec un pas journalier en imposant les conditions aux frontières suivantes:

- le débit et la température de l'eau aux affluents;
- le débit aux exutoires;

- les conditions météorologiques à la surface du réservoir: température de l'air, vitesse du vent, taux d'humidité, taux de couverture nuageuse.

Les apports en débit et en chaleur sont distribués au sein des couches déjà présentées plus haut. La redistribution du débit et de la chaleur selon l'axe vertical est calculée. Le débit soutiré aux exutoires est distribué sur la verticale en tenant compte de la valeur du débit, de la stratification thermique en réservoir et de la géométrie du canal d'amenée de chaque exutoire. La température de l'eau des débits aux exutoires est calculée par sommation sur les contributions de chacune des couches. Le profil vertical de la température de l'eau qui est utilisé pour le soutirage est obtenu soit directement à partir du profil vertical qui représente le réservoir, soit par modification de celui-ci pour représenter l'effet des ondes internes.

La durée du pas de calcul est ajustée une fois par jour et varie entre une heure et une fraction d'heure de façon à respecter des critères de stabilité numérique. Les résultats sont mis en fichier à cadence journalière.

La formation, l'épaississement et la fonte de la couverture de glace sont pris en compte à l'aide de bilans volumiques liés pour l'eau et la glace. Le volume de glace fixé sur les berges en hiver par le gel et la baisse du niveau d'eau est soustrait du volume liquide du réservoir ; il y est réintroduit au printemps au moment de la fonte ou lors de la remontée du niveau s'il y en a.

Plusieurs coefficients d'ajustement sont disponibles, dont les suivants :

- un facteur d'exposition au rayonnement solaire ;
- un facteur d'exposition aux échanges atmosphériques ;
- une distance d'absorption de la lumière dans l'eau du réservoir ;
- une constante à ajouter à la température de l'air de référence pour l'adapter au plan d'eau analysé ;
- un facteur à appliquer à la vitesse du vent de référence pour l'adapter au plan d'eau analysé ;
- l'épaisseur (c'est-à-dire le nombre) des couches servant au calcul ;
- des paramètres liés au calcul de distribution du débit entrant et du mélange vertical;
- des paramètres et des sections transversales permettant de tenir compte de la géométrie des exutoires;
- une amplitude-type pour les ondes internes pour la saison sans couvert de glace et une autre pour la saison avec couvert de glace.

Lorsque des données d'observation sont disponibles, les paramètres du calcul peuvent être ajustés pour optimiser la concordance entre l'observation et le calcul.

Les résultats du calcul sont:

- la température de l'eau en fonction de la profondeur, du fond jusqu'à la surface, dans la partie profonde du réservoir, en fonction du temps pour la durée représentée par calcul;
- la température de l'eau en fonction du temps à chacun des exutoires;
- l'état des variables utilisées par le calcul en fonction du temps.

Les résultats qui sont présentés ici sont, pour chacun des cas de calcul :

- La température de l'eau en fonction du temps dans le réservoir, sous forme de diagrammes d'isothermes, pour trois années-type choisies en fonction de la moyenne d'été de la température de l'eau aux exutoires du réservoir Romaine-2 en conditions futures d'aménagement complet du complexe Romaine:
 - 1997, année la plus froide;
 - 2001, année la plus chaude;
 - 1990, année la plus rapprochée de la médiane.
- Des profils verticaux instantanés de la température de l'eau durant l'année 1988, aux dates suivantes: 1 janvier, 1 avril, 1 juin, 1 août, 1 octobre, 31 décembre, et les jours du printemps et de l'automne où la température de l'eau est passée par la valeur de 4 °C. L'année 1988 a été retenue au départ parce qu'elle avait une température d'été assez typique.
- Des figures présentant les cycles annuels suivants :
 - température de l'eau dans la nappe supérieure du réservoir, calculée à l'aide des 4 m les plus près de la surface de l'eau;
 - température de l'eau dans la nappe profonde du réservoir, calculée entre le fond et la profondeur de 15 m;
 - température de l'eau au canal de fuite de la centrale;
 - température de l'eau à l'évacuateur, par où passent tant les crues que le débit réservé des tronçons à débit réduits.
- Des tableaux statistiques de la moyenne mensuelle de la température de l'eau aux exutoires, ainsi que de la moyenne estivale calculée sur un été synthétique allant du 01 juin au 30 septembre de chaque année.

Les figures de cycle annuel aux exutoires présentent également les températures hautes et basses qui s'obtiennent par calcul en supposant que l'amplitude des ondes internes devant les prises d'eau atteignent 8 m (16 m crête à crête) en eau libre et 3 m (6 m crête à crête)

en présence d'un couvert de glace. Ces valeurs proviennent de l'expérience sur les réservoirs Sainte-Marguerite 3 et Outardes 4 (Réf. 9).

3.7 Méthode de calcul de la température de l'eau le long de tronçons fluviaux

Le calcul du régime thermique le long des tronçons fluviaux a été effectué à l'aide du logiciel RIVTHERM 4.0 (Réf. 10 et Réf. 11). Avec ce logiciel, un tronçon en rivière est représenté par une succession de sections transversales pour laquelle sont connues:

- la relation niveau-débit;
- la relation niveau-largeur de surface;
- la relation niveau-rayon hydraulique.

Ces informations sont obtenues par calcul de ligne d'eau en régime permanent à l'aide du logiciel HEC-RAS 3 (Réf. 12). Le calcul procède alors d'amont vers l'aval et évalue l'évolution de la température de l'eau en fonction des conditions météorologiques ambiantes à partir des mêmes intrants météorologiques et formules que les cas en réservoir ainsi que le calcul de la convection forcée par l'écoulement d'amont en aval.

Lorsque la température de l'eau atteint le point de congélation en automne, elle y reste jusqu'à l'échéance la plus hâtive parmi:

- une date prescrite dans intrants au calcul
- une date où la température de l'eau obtenue par calcul, en provenance de l'amont, dépasse une valeur seuil qui a été fixée ici à 0,2°C.

[Page laissée intentionnellement vide pour fins de mise en page]

4 Ajustement de la température de l'air aux sites de la rivière Romaine

4.1 Station ROMA0730

La station de courte durée ROMA0730 se trouve près de Havre-Saint-Pierre et de la future centrale RO-1. Elle a été utilisée pour le cours fluvial de la rivière Romaine en aval de RO-1.

La température de l'air observée à ROMA0730 a été comparée aux valeurs simultanées observées à Lac Éon et à Havre-Saint-Pierre. L'écart en fonction du temps a été exprimé sous la forme de cycles annuels d'écart qui sont présentés à la Figure 9 pour l'écart avec Lac Éon, et à la Figure 10 pour l'écart avec Havre-Saint-Pierre.

Les figures montrent que l'écart avec Havre-Saint-Pierre est le plus faible des deux et que la variabilité des écarts instantanés autour de l'écart moyen y est également plus faible. L'écart moyen est de l'ordre de 1 °C. Les autres paramètres météorologiques attribués au site de ROMA0730 dans le cadre de l'étude de régime thermique ont été les séries complétées de Havre-Saint-Pierre sans autre modification.

4.2 Station ROMA0826

La station temporaire ROMA0826 se trouve le long de la Romaine à proximité du site du canal de fuite de la future centrale Romaine-2. Elle a été utilisée pour les calculs sur les réservoirs Romaine-1 et Romaine-2.

Une simple corrélation entre les valeurs journalières de ROMA0826 et de Lac Éon s'est avérée suffisante pour les besoins de l'étude. La Figure 11 présente la mise en rapport de ces valeurs. La figure présente également le résultat de l'ajustement par minimisation des moindres carrés effectué à l'aide de l'outil de régression polynomiale du progiciel Excel de MS. L'équation linéaire est:

$$T_{\text{ROMA0826}} = 3,13 + 0,90 T_{\text{Lac}_\text{Éon}}$$

où: T_{ROMA0826} représente la température de l'air (°C) à ROMA0826,

et: $T_{\text{Lac}_\text{Éon}}$ représente la température de l'air (°C) à Lac Éon (704C64L).

Les autres paramètres météorologiques attribués au site de ROMA0826 dans le cadre de l'étude de régime thermique ont été les séries complétées de Lac Éon sans autre modification.

4.3 Station ROMA0828

La station temporaire ROMA0828 se trouve le long de la Romaine à proximité du site du canal de fuite de la future centrale Romaine-3. Elle a été utilisée pour les calculs préliminaires sur le réservoir Romaine-3.

Une simple corrélation entre les valeurs journalières de ROMA0828 et de Lac Éon s'est avérée suffisante pour les besoins de l'étude. La Figure 12 présente la mise en rapport de ces valeurs et l'ajustement par minimisation des moindres carrés effectué à l'aide de l'outil de régression polynomiale du progiciel Excel de MS. L'équation linéaire est:

$$T_ROMA0828 = 2,28 + 0,92 T_Lac_Éon$$

où: $T_ROMA0828$ représente la température de l'air (°C) à ROMA0828,

et: $T_Lac_Éon$ représente la température de l'air (°C) à Lac Éon (704C64L).

Les autres paramètres météorologiques attribués au site de ROMA0828 dans le cadre de l'étude de régime thermique ont été les séries complétées de Lac Éon sans autre modification.

4.4 Station ROMA0835

La station temporaire ROMA0835 se trouve le long de la Romaine à proximité du site du canal de fuite de la future centrale RO-4. Elle a été utilisée pour les calculs sur le réservoir Romaine-4 et les calculs finaux sur Romaine-3.

La Figure 13 présente la mise en rapport de ces valeurs et l'ajustement par minimisation des moindres carrés effectué à l'aide de l'outil de régression polynomiale du progiciel Excel de MS. L'équation linéaire est:

$$T_ROMA0835 = 1,27 + 0,98 T_Lac_Éon$$

où: $T_ROMA0835$ représente la température de l'air (°C) à ROMA0835,

et: $T_Lac_Éon$ représente la température de l'air (°C) à Lac Éon (704C64L).

Les autres paramètres météorologiques attribués au site de ROMA0835 dans le cadre de l'étude de régime thermique ont été les séries complétées de Lac Éon sans autre modification.

4.5 Station Lac Éon 704C64L

Les séries météorologiques complétées pour la station Lac Éon (704C64L) ont été utilisées sans modification autre qu'un ajustement de $-1^{\circ}\text{C} / 100 \text{ m}$ de différence d'altitude pour le calcul du régime thermique de:

- la rivière Romaine en tant qu'affluent du réservoir Romaine-4
- la rivière Romaine en tant qu'affluent du réservoir Romaine-2 en phase transitoire
- la rivière Garneau en tant qu'affluent du réservoir Romaine-3
- la rivière de l'Abbé Huard en tant qu'affluent du réservoir Romaine-2
- la rivière Romaine Sud Est en tant qu'affluent du réservoir Romaine-1

4.6 Revue des ajustements

Les relations linéaires qui ont été établies entre les stations temporaires et Lac Éon permettent d'évaluer la différence moyenne de température de l'air. Comme le coefficient multiplicatif de ces relations diffère de l'unité, l'écart moyen sera différent d'une saison à l'autre. Le Tableau 4 présente ces écarts pour trois situations de température de l'air à Lac Éon : -20°C (hiver), 0°C (printemps et automne) et 15°C (été).

On retient en particulier que les valeurs des coefficients présentent une évolution graduée et cohérente d'amont vers l'aval. Le signe est également le bon: la température augmente de plusieurs degrés avec la perte d'altitude. Ceci est le comportement auquel on s'attend.

[Page laissée intentionnellement vide pour fins de mise en page]

5 Régime thermique des affluents

Les affluents ne font pas partie de la zone d'influence du projet, sauf au site-même de leur confluence avec la Romaine. Leur régime thermique est évalué ici parce que les affluents constituent une condition à la frontière du domaine.

Trois affluents ont été retenus :

- rivière Garneau à sa confluence, donnant sur le futur réservoir RO-3, pour représenter l'ensemble des affluents de ce réservoir;
- rivière de l'Abbé Huard à sa confluence, donnant sur le futur réservoir RO-2;
- rivière Romaine Sud-Est à sa confluence, donnant sur l'amont du tronçon fluvial joignant la centrale RO-2 au réservoir RO-1.

Les affluents du réservoir RO-1 ont été négligés car la faiblesse de leur débit rend négligeable leur contribution au bilan thermique de ce réservoir.

Les résultats du calcul se trouvent ici:

Affluent	Ajustement aux observations	Diagramme du cycle annuel	Tableau des moyennes mensuelles
Rivière Garneau	Figure 14	Figure 17	Tableau 5
Rivière de l'Abbé Huard	Figure 15	Figure 18	Tableau 6
Rivière Romaine Sud-Est	Figure 16	Figure 19	Tableau 7

Les valeurs trouvées comme moyennes et médianes représentent assez bien la température de l'eau d'hiver et d'été, ainsi que la date du début du réchauffement printanier et le gel automnal. Durant le réchauffement printanier et durant le refroidissement automnal, la précision pourrait être inférieure, soit de l'ordre de $\pm 2^{\circ}\text{C}$.

Les valeurs hautes et basses qui sont présentées dans les tableaux sont les maxima et minima tirés du calcul sur l'intervalle de 1984 à 2003. Ces valeurs fournissent une indication générale utile pour comparer les diagrammes entre eux, et pour assurer que le déroulement des calculs est satisfaisant. Leur probabilité de dépassement n'a cependant pas été évaluée.

6 Régime thermique de la rivière Romaine à l'état actuel

6.1 Présentation des données et résultats

À l'état actuel, la rivière Romaine présente un régime thermique qui est relativement uniforme sur de longues distances de sorte qu'il a été suffisant de le décrire en des points choisis.

La température de l'eau de la rivière Romaine à l'état naturel a été évaluée aux sites suivants, sur la Romaine :

- le PK 290, situé à la confluence de la rivière dans le réservoir RO-4;
- le PK 153, situé à la confluence de la rivière Romaine dans le réservoir RO-2;
- le PK 51, situé à peu près au site de la future centrale RO-1;
- le PK 16, situé juste à l'amont de la confluence de la rivière Puyjalon;
- le PK 5, situé à l'aval de la confluence de la Puyjalon et près de l'estuaire.

Les résultats du calcul se trouvent ici:

Site	Ajustement aux observations	Diagramme du cycle annuel	Tableau des moyennes mensuelles
PK 290	Figure 20	Planche 3	Tableau 8
PK 153	Figure 21	Planche 3	Tableau 9
PK 51	Figure 22 Figure 23	Planche 4	Tableau 10
PK 16	Figure 24 Figure 25 Figure 26	Planche 4	Tableau 11
PK 5		Planche 5	

La Figure 27 présente la température de l'eau mesurée de 2003 à 2005 à trois sites de la rivière Romaine (les PK 16, 51 et 155) ainsi que sur trois de ses tributaires, les rivières

Puyjalon, Romaine Sud-Est et de l'Abbé-Huard (confluences au PK 13, 82 et 132 de la Romaine).

Noter que les valeurs de température de l'eau qui sont citées dans le texte représentent des moyennes journalières, à moins qu'il soit indiqué qu'il s'agit d'autres types d'évaluations.

6.2 Rivière Romaine en aval du site de Romaine-1

En hiver, la température de l'eau est voisine de zéro sur le tronçon situé en aval du site de la centrale Romaine-1.

Le réchauffement printanier de l'eau débute à une date qui varie d'une année à l'autre dans un intervalle d'environ trois semaines centré sur la mi-mai, lors de la fonte du couvert de glace. La température de l'eau augmente alors rapidement et atteint environ 7 °C (entre 3 °C et 12 °C) à la fin de mai, puis environ 14 °C (entre 10 °C et 18 °C) à la fin de juin.

En été, la température de l'eau de la rivière Romaine atteint habituellement un maximum de 21 à 23 °C; le maximum d'un été est habituellement atteint entre la mi-juillet et la mi-août. Elle peut aussi baisser jusqu'à environ 13 °C. La valeur instantanée de la température de l'eau oscille d'environ 1 °C entre le jour et la nuit. Entre les mois de juin et septembre, la température moyenne de l'eau est d'environ 14,5 °C.

À partir de la mi-août, le refroidissement automnal commence à se manifester. Au 1^{er} septembre, la température de l'eau est d'environ 15 °C en moyenne (entre 12 °C et 18 °C). Au 1^{er} octobre, elle est d'environ 10 °C (entre 7 °C et 12 °C). Au 1^{er} novembre elle est d'environ 2,5 °C (entre 0 °C et 5 °C).

La température de l'eau atteint le point de congélation vers le 10 novembre (entre le 1 et le 20 novembre) et y reste pour l'hiver.

La plupart du temps, la température de l'eau est uniforme sur l'ensemble de ce tronçon, qui s'étend du PK 0 au PK 51,5. Au printemps et à l'automne, la rivière Puyjalon vient modifier légèrement le régime thermique de la rivière Romaine de la confluence avec la Romaine (PK 13 de la Romaine) vers l'aval. L'eau de la rivière Puyjalon amorce son réchauffement printanier de une à deux semaines avant la Romaine et accélère la fonte du couvert de glace de la Romaine au PK 13 et en aval. Ainsi, il arrive fréquemment que le réchauffement de l'eau à l'aval du PK 13 de la Romaine devance nettement celui de l'amont malgré que la différence d'altitude soit négligeable. À l'automne, l'eau de la Puyjalon reste plus longtemps au-dessus du point de congélation que celle de la Romaine de sorte qu'en aval du PK 13 de la Romaine, l'eau reste également un peu plus longtemps au-dessus du point de congélation qu'à l'amont du PK 13.

Le calcul en rivière, à l'aval de RO-1, a été effectué jusqu'à la confluence de la rivière Puyjalon. Les observations disponibles en aval de la confluence (Station ROMA0665) ont montré que la rivière Puyjalon influence le régime thermique de l'eau de la Romaine surtout au printemps et à l'automne. Ceci a été illustré dans la zone du bas de la Planche 4.

La crue printanière et le réchauffement de l'eau de la Puyjalon débutent habituellement avant ceux de la Romaine. Ainsi, en fin d'avril et au début de mai, l'eau de la Romaine contient une plus grande proportion d'eau de la Puyjalon que durant le reste de l'année et s'en trouve réchauffée de près de 1,5 °C en moyenne au début de mai.

À l'état naturel, de juin à décembre, l'apport de la Puyjalon a pour effet de réchauffer l'eau de la Romaine de 0,3 à 0,5 °C en moyenne, avec un maximum d'environ 1 °C en fin d'octobre et au début de novembre.

L'effet de la Puyjalon n'a pas été reproduit par le calcul parce qu'il n'y avait pas de série de débit de la Puyjalon présentant les caractéristiques voulues au moment de réaliser la présente étude. Ainsi, le domaine représenté directement par calcul s'arrête au PK 13 de la Romaine, juste en amont de la confluence de la Puyjalon.

6.3 Rivière Romaine en amont du site de Romaine-1

Sur le tronçon situé en amont du site de la centrale Romaine-1, soit environ du PK 50 au PK 290, le cycle annuel du régime thermique de l'eau ressemble de près à celui de la zone d'aval du site de Romaine-1 déjà décrite plus haut. Les différences s'expliquent principalement par l'altitude des plans d'eau, qui va en augmentant vers l'amont. L'augmentation de l'altitude est associée au refroidissement de l'eau et, en général, des conditions ambiantes.

La date du début du réchauffement de l'eau au printemps est relativement uniforme sur tout le parcours; lorsqu'il y a une différence de quelques jours, le réchauffement arrive un peu plus tard en amont. Dans les données disponibles, on observe toutefois qu'en amont du PK 290, il se trouve plusieurs lacs profonds à l'aval desquels le couvert de glace fond plus rapidement qu'ailleurs et le début du réchauffement y devance celui du reste de la Romaine des PK 50 à 290.

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

À l'automne, l'eau atteint le point de congélation un peu plus tôt en amont; le délai varie d'une année à l'autre de quelques jours à une dizaine de jours par rapport au site de Romaine-1.

6.4 Principaux tributaires

Les principaux tributaires de la rivière ont un régime thermique qui ressemble à celui de la rivière Romaine. Comme il a été mentionné plus haut, la rivière Puyjalon se démarque par l'avance de son réchauffement printanier de une à deux semaines par rapport à celui de la Romaine, et par un retard de l'atteinte du point de congélation en hiver. Le reste de

l'année, les températures des tributaires reflètent la température de la Romaine à leur point de confluence.

7 Régime thermique des aménagements Romaine-4 et Romaine-3

7.1 Réservoir Romaine-4

7.1.1 Description

La création du réservoir de Romaine 4 provoquera un rehaussement du niveau d'eau d'environ 80 m au-dessus du niveau actuel de la rivière Romaine, au site du barrage. L'exutoire principal du réservoir est la prise d'eau de la centrale. Elle est reliée au réservoir par une tranchée à surface libre dont la profondeur à l'embouchure varie entre environ 10 m et 25 m selon le niveau du réservoir. Globalement, le temps de renouvellement de l'eau du réservoir sera d'environ six mois. La vitesse d'écoulement moyenne y sera lente.

7.1.2 Tableaux et diagrammes

La Planche 6 présente la température de l'eau au sein du réservoir Romaine-4 pour trois années. Ces années ont été désignées comme *chaude*, *médiane* ou *froide* en comparant la moyenne de la température de leurs exutoires en juillet à celle des autres années.

La Planche 7 et le Tableau 12 présentent la température de l'eau de la nappe superficielle flottant sur la partie profonde du réservoir. Ces valeurs sont sujettes à une certaine caution. En été (entre l'isothermie du printemps et celle de l'automne), cette nappe se déplace sous l'effet du vent et laisse de l'eau plus froide apparaître en surface. Ainsi, en un point donné du réservoir, la température de l'eau peut s'écarter de celle du tableau; dans ce cas, elle est plus froide. Ainsi, la moyenne ressentie en un point fixe de la berge sera plus froide que la valeur donnée au tableau parce qu'une telle moyenne sera calculée sur une durée présentant des intervalles où la température de l'eau est proche de la moyenne, et d'autre où la température de l'eau est plus froide.

La Planche 7 présente également quelques profils verticaux de la température de l'eau pour une année-type.

La Planche 8 présente la température de l'eau aux exutoires du réservoir Romaine-4.

7.1.3 Régime thermique

Dans le réservoir Romaine-4, la température de l'eau présentera une stratification verticale de type dimyctique, c'est-à-dire avec 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, il y aura un couvert de glace sur l'ensemble du réservoir. Son épaisseur culminera en mars à 0,8 à 1 m. La température de l'eau sera de 0 °C au contact entre l'eau et la glace. Au-dessous, la température de l'eau augmente avec la profondeur; elle atteint 3 °C vers 20 à 50 m de profondeur selon l'hiver et 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 sur la tranche supérieure de 10 m et culminera en fin de juillet ou au début d'août à une valeur de 16 à 20 °C selon l'année. La moyenne de cette valeur sur la période des mois de juin à septembre sera d'environ 15 °C. Sous la couche superficielle relativement uniforme, la température de l'eau diminue lorsque la profondeur augmente et se maintient à entre 4 et 5 °C aux profondeurs de 40 m et plus.

Durant la période de juin à septembre, les variations d'intensité et de direction du vent ont pour effet de déplacer horizontalement la couche superficielle d'eau du réservoir. Ceci engendre des inhomogénéités de l'épaisseur de la couche superficielle. Les inhomogénéités se propagent sous forme d'ondes internes. Ceci entraîne des fluctuations de la température de l'eau qui s'observe entre la surface et une profondeur de 20 à 30 m. De l'eau dont la position d'équilibre se trouve à des profondeurs de 10 à 30 m peut faire surface de sorte que la température observable devient à ce moment nettement plus froide que celle de l'eau superficielle.

En septembre, le refroidissement de l'eau s'amorce et s'accompagne d'un approfondissement progressif de la couche superficielle du réservoir. L'atteinte de la température de 4 °C, uniforme sur toute la profondeur, survient vers le 1er novembre en moyenne. Après cette isothermie d'automne, le refroidissement de l'eau se limite progressivement à une couche de plus en plus superficielle et s'accélère tandis que la formation du couvert de glace s'amorce. Lorsque le couvert de glace est complet, en fin de novembre ou au début de décembre, on retrouve la situation d'hiver déjà décrite plus haut.

7.2 Tronçon court-circuité par l'aménagement de la Romaine 4 (PK 190,3 à 191,9)

7.2.1 Description

Le barrage se trouvant au PK 191,9 et le canal de fuite de la centrale se trouvant au PK 190,3, il reste entre les deux un tronçon court-circuité de 1,6 km qui se trouve hors du trajet principal du débit de la Romaine. L'eau de ce tronçon de rivière proviendra de l'évacuateur de crue. Elle passera par les vannes principales lorsqu'il devra y avoir déversement, et par l'ouvrage de débit réservé intégré à l'évacuateur de crue pour le reste du temps. Dans les deux cas, l'eau du réservoir emprunte un canal d'amenée formée en tranchée à surface libre dont la profondeur varie entre approximativement entre 2 et 16 m selon le niveau du réservoir.

7.2.2 Régime thermique

La Planche 8 présente la température de l'eau passant par l'évacuateur en tant que débit réservé et en tant que débit évacué, les limites minimales et maximales.

En hiver, 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 baisser à la moitié et monter au double de sa valeur habituelle d'un hiver donné. En parcourant le tronçon court-circuité, l'eau se refroidira quelque peu; en décembre, janvier et février, elle se refroidira suffisamment pour se retrouver près du point de congélation avant de quitter le tronçon.

Au printemps, le réchauffement de l'eau commencera un peu plus tôt qu'en rivière mais il progressera plus lentement et il atteindra à peu près la même température au début de juin. À partir du début de juin, l'eau présentera des fluctuations de température associées aux ondes internes du réservoir. Des valeurs transitoires de 5 à 15 °C pourront se présenter à la mi-juin.

En été, la température de l'eau dans le tronçon court-circuité ressemblera à celle de l'état naturel en termes de moyennes mais elle présentera une plage de variabilité plus grande. La moyenne de température de l'eau culminera vers 17 °C en été en fin de juillet et au début d'août, comme dans les conditions actuelles. Des valeurs transitoires atteignant 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, ce qui est à toute fin la même température qu'à l'état naturel à cet endroit.

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

7.3 Canal de fuite de l'aménagement de la Romaine-4 (PK 190,3)

7.3.1 Description

L'eau émise par le canal de fuite de la centrale au PK 190,3 est soutirée du réservoir par un canal d'amenée construit en tranchée dans la berge du réservoir; elle provient d'un éventail de profondeurs qui met à contribution l'eau superficielle du réservoir ainsi que l'eau à mi-profondeur. La température de l'eau provenant de la centrale présente alors une valeur supérieure au point de congélation en hiver, et inférieure à celle de l'eau superficielle du réservoir en été.

7.3.2 Régime thermique

La Planche 8 présente la température moyenne de l'eau sortant de la future centrale, les limites minimales et maximales.

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 lors de certains hivers.

Au printemps, le réchauffement de l'eau débute à la fin d'avril ou au début de mai. À la fin de mai, la température atteint de 5 à 7 °C et elle commence à présenter des fluctuations occasionnelles entre 4,5 et 10 °C. La température de l'eau émise augmente progressivement jusqu'à la mi-août. Elle atteint alors de 12 à 15 °C en moyenne et peut présenter des fluctuations de quelques heures à plusieurs jours à des valeurs s'étendant entre 6 et 18 °C. Sur l'intervalle de juin à septembre, la moyenne multi annuelle sera voisine de 11 °C.

Le refroidissement automnal se fait principalement sentir à partir de la mi-septembre alors que la température de l'eau se trouve entre 11 et 14 °C et peut fluctuer entre 8 et 16 °C. Les fluctuations deviennent rares en septembre puis disparaissent en octobre. Au cours du refroidissement automnal, l'eau émise est en moyenne un peu plus chaude que l'eau de la rivière; la valeur d'hiver est atteinte en moyenne à la mi novembre, à une date qui varie selon les années.

7.4 Réservoir Romaine-3

7.4.1 Description

La création du réservoir Romaine-3 entraîne le rehaussement du plan d'eau d'environ 78 m en son point le plus profond. Comme pour le réservoir Romaine-4, décrit plus haut, l'exutoire principal du réservoir est la prise d'eau de la centrale qui est reliée au réservoir par une tranchée à surface libre dont la profondeur varie entre environ 13 et 25 m selon le

niveau du réservoir. Globalement, le temps de renouvellement de l'eau du réservoir Romaine-3 est de trois mois et la vitesse d'écoulement moyenne y est lente.

7.4.2 Tableaux et diagrammes

La Planche 9 présente la température de l'eau au sein du réservoir Romaine-3 pour trois années choisies en fonction de la température moyenne de l'eau aux exutoires en juillet.

La Planche 10 présente les profils verticaux de température dans le futur réservoir Romaine-3, à différentes périodes de l'année, pour quelques dates d'une année-type.

La Planche 11 présente la température de l'eau aux exutoires du réservoir Romaine-3.

7.4.3 Régime thermique

Comme pour le réservoir Romaine-4, la température de l'eau du réservoir Romaine-3 présentera une stratification verticale de type dimyctique, c'est-à-dire avec 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, il y aura un couvert de glace sur l'ensemble du réservoir sauf à la limite d'amont où arrive l'eau chaude de Romaine-4 et près de la prise d'eau de la centrale. La circulation de l'eau de Romaine-4 dans le réservoir pourra entraîner l'apparition de zones de glace mince et d'ouvertures de faible étendue. Ailleurs, l'épaisseur du couvert de glace culminera en mars à 0,6 à 1 m. La température de l'eau sera de 0 °C au contact entre l'eau et la glace. Au-dessous, la température de l'eau augmentera avec la profondeur. Elle atteindra 1 °C à faible profondeur (de 0,5 à 3 m). Elle atteindra 3 °C à une profondeur pouvant varier selon les années entre 15 et 50 m selon l'hiver. Elle atteindra de 3,5 à 3,9 °C dans la partie la plus profonde. En mai, le couvert de glace disparaîtra et l'eau se réchauffera jusqu'à l'atteinte de la température de 4 °C, uniforme sur la verticale.

Après cette isothermie, le réchauffement se poursuivra et s'accompagnera de l'apparition de la stratification thermique estivale dès le début de juin. Durant la période la plus chaude, la température de l'eau sera relativement homogène sur la tranche supérieure de 10 m et culminera en fin de juillet ou au début d'août à une valeur de 15 à 19 °C selon l'année. La moyenne de cette valeur sur la période des mois de juin à septembre sera d'environ 14 à 15 °C. Sous la couche superficielle relativement uniforme, la température de l'eau diminue lorsque la profondeur augmente et se maintient à entre 4 et 5 °C aux profondeurs de 40 m et plus.

Comme pour le réservoir Romaine-4, durant la période de juin à septembre, les variations d'intensité et de direction du vent ont pour effet de déplacer horizontalement la couche superficielle d'eau du réservoir. Ceci engendre des fluctuations de son épaisseur dans le réservoir. Les fluctuations d'épaisseur de la couche superficielle se propagent sous forme d'ondes internes et entraînent des fluctuations de la température de l'eau qui s'observe aux profondeurs inférieures à environ 25 m. De l'eau dont la position d'équilibre se trouve à

des profondeurs de 10 à 30 m peut faire surface de sorte que la température observable devient à ce moment nettement plus froide que celle de l'eau superficielle.

En septembre, le refroidissement de l'eau s'amorce et s'accompagne d'un approfondissement progressif de la couche superficielle du réservoir. L'atteinte de la température de 4 °C, uniforme sur toute la profondeur, survient vers le 15 novembre en moyenne. Après cette isothermie d'automne, le refroidissement de l'eau se limite progressivement à une couche de plus en plus superficielle et s'accélère tandis que la formation du couvert de glace s'amorce. Lorsque le couvert de glace est complet, en fin de novembre ou au début de décembre, on retrouve la situation d'hiver déjà décrite plus haut.

7.5 Tronçon court-circuité par l'aménagement de la Romaine-3 (PK 155,0 à 158,4)

7.5.1 Description

Le barrage se trouvant au PK 158,4 et le canal de fuite de la centrale se trouvant au PK 155, il reste entre les deux un tronçon court-circuité de 3,4 km qui se trouve hors du trajet principal du débit de la Romaine. L'eau de ce tronçon de rivière proviendra de l'évacuateur de crue. Elle passera par les vannes principales lorsqu'il devra y avoir déversement, et par l'ouvrage de débit réservé intégré à l'évacuateur de crue pour le reste du temps. Dans les deux cas, l'eau du réservoir emprunte un canal d'amenée formée en tranchée à surface libre dont la profondeur varie entre approximativement entre 5 et 17 m selon le niveau du réservoir.

7.5.2 Régime thermique

En hiver, 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; elle présentera des fluctuations occasionnelles d'environ $\pm 0,5$ °C. En parcourant le tronçon court-circuité, l'eau se refroidira quelque peu; en décembre, janvier et février, elle se refroidira suffisamment pour se retrouver près du point de congélation avant de quitter le tronçon.

Au printemps, le réchauffement de l'eau commencera un peu plus tôt qu'en rivière mais il progressera plus lentement et il atteindra à peu près la même température en fin de mai. À partir de la fin de mai, l'eau présentera des fluctuations de température associées aux ondes internes du réservoir. Des valeurs transitoires de 6 à 14 °C pourront se présenter à partir de la mi-juin.

En été, la température de l'eau dans le tronçon court-circuité sera en moyenne environ 2 °C plus froide que celle de l'état naturel; elle présentera une plage de variabilité plus grande. La moyenne de température de l'eau culminera vers 15 °C à la mi août, ce qui sera environ 2 °C plus froid et environ deux semaines plus tard que dans les conditions

actuelles. Des valeurs transitoires atteignant 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, ce qui est environ 1 °C plus froid qu'à l'état naturel à cet endroit.

À partir de septembre, l'eau du tronçon court-circuité se refroidira un peu plus lentement qu'à l'état naturel. Au pied de l'évacuateur, elle sera environ 2 °C plus chaude que celle de la rivière à l'état naturel en septembre, octobre et novembre. La température d'hiver est atteinte avec la formation du couvert de glace sur le réservoir, en moyenne à la fin de novembre ou au début de décembre, à une date qui varie selon les années.

7.6 Canal de fuite de l'aménagement de la Romaine-3 (PK 155,0)

7.6.1 Description

L'eau émise par le canal de fuite de la centrale au PK 155,0 est soutirée du réservoir par un canal d'amenée construit en tranchée dans la berge du réservoir; elle provient d'un éventail de profondeurs qui met à contribution l'eau superficielle du réservoir ainsi que l'eau à mi-profondeur. La température de l'eau provenant de la centrale présente alors une valeur supérieure au point de congélation en hiver, et inférieure à celle de l'eau superficielle du réservoir en été.

7.6.2 Régime thermique

Le calcul a montré que la température de l'eau issue de la centrale est très voisine de celle qui provient de l'évacuateur, en termes de moyennes mensuelles et en termes de variabilité sous l'effet des ondes internes du réservoir. En hiver, l'eau tirée du réservoir 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 $\pm 0,7$ °C. Il est possible que la température de l'eau se maintienne à environ 2 °C lors de certains hivers.

Au printemps, le réchauffement de l'eau commencera un peu plus tôt qu'en rivière mais il progressera plus lentement et il atteindra à peu près la même température en fin de mai. À partir de la fin de mai, l'eau présentera des fluctuations de température associées aux ondes internes du réservoir. Des valeurs transitoires de 6 à 14 °C pourront se présenter à partir de la mi-juin.

En été, la température de l'eau du canal de fuite sera en moyenne environ 2 °C plus froide que celle de l'état naturel; elle présentera une plage de variabilité plus grande. La moyenne de température de l'eau culminera vers 15 °C à la mi août, ce qui sera environ 2 °C plus froid et environ deux semaines plus tard que dans les conditions actuelles. Des valeurs transitoires atteignant 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, ce qui est environ 1 °C plus froid qu'à l'état naturel à cet endroit.

À partir de septembre, l'eau du canal de fuite se refroidira un peu plus lentement qu'à l'état naturel. Au pied de l'évacuateur, elle sera environ 2 °C plus chaude que celle de la rivière à l'état naturel en septembre, octobre et novembre. La température d'hiver est atteinte avec la formation du couvert de glace sur le réservoir, en moyenne à la fin de novembre ou au début de décembre, à une date qui varie selon les années.

8 Régime thermique de l'aménagement Romaine-2 et de son aval

Ce chapitre porte sur le régime thermique à Romaine-2 et en aval.

8.1 Réservoir Romaine-2

8.1.1 Description

La création du réservoir Romaine-2 entraîne le rehaussement du plan d'eau de près de 95 m en son point le plus profond. Globalement, le temps de renouvellement de l'eau du réservoir Romaine-2 est de cinq mois et la vitesse d'écoulement moyenne y est lente.

L'exutoire principal du réservoir est la prise d'eau de la centrale qui est reliée au réservoir par un canal d'amenée qui est une tranchée à surface libre. La profondeur du canal varie entre environ 24 et 29 m selon le niveau du réservoir.

8.1.2 Tableaux et diagrammes

La Planche 12 présente les profils verticaux de température dans le futur réservoir Romaine-2 pour quelques dates d'une année-type.

La Planche 13 présente la température de l'eau en fonction du temps sous forme d'isothermes au sein du réservoir Romaine-2 pour trois années; les années ont été choisies en fonction de la température moyenne de l'eau aux exutoires en juillet.

Le Tableau 14 présente les moyennes mensuelles et estivales (juin à septembre) de la température de l'eau dans le réservoir.

8.1.3 Régime thermique

Comme pour les réservoirs Romaine-4 et Romaine-3, la température de l'eau du réservoir Romaine-2 présentera une stratification verticale de type dimyctique, c'est-à-dire avec 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, il y aura un couvert de glace sur l'ensemble du réservoir sauf à la limite d'amont où arrive l'eau chaude de Romaine-3 et près de la prise d'eau de la centrale. La circulation de l'eau de Romaine-3 dans le réservoir Romaine-2 entraînera l'apparition de nombreuses zones de glace mince et d'ouvertures de faible étendue. Ailleurs, l'épaisseur du couvert de glace culminera en mars à 0,6 à 0,8 m. La température de l'eau sera de 0 °C au contact entre l'eau et la glace. Au-dessous, il y aura une première couche de 10 à 15 m d'épaisseur, principalement occupée par l'eau arrivant de Romaine-3, et dont la température variera de 0,6 à 1,8 °C environ. Au-dessous de celle-ci, la température de l'eau augmentera avec la profondeur. Elle atteindra 3 °C à une profondeur pouvant varier selon les années entre 15 et 50 m. Elle atteindra de 3,5 à 3,9 °C dans la partie la plus profonde.

En fin d'avril ou au début de mai, le couvert de glace disparaîtra et l'eau se réchauffera jusqu'à l'atteinte de la température de 4 °C, uniforme sur la verticale. Après cette isothermie, le réchauffement se poursuivra et s'accompagnera de l'apparition de la stratification thermique estivale dès le début de juin.

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

Comme pour les réservoirs Romaine-4 et Romaine-3, durant la période de juin à septembre, les variations d'intensité et de direction du vent ont pour effet de déplacer horizontalement la couche superficielle d'eau du réservoir. Ceci engendre des fluctuations de son épaisseur dans le réservoir. Les fluctuations d'épaisseur de la couche superficielle se propagent sous forme d'ondes internes et entraînent des fluctuations de la température de l'eau qui s'observe aux profondeurs inférieures à environ 25 m. De l'eau dont la position d'équilibre se trouve à des profondeurs de 10 à 30 m peut faire surface de sorte que la température observable devient à ce moment nettement plus froide que celle de l'eau superficielle. En septembre, le refroidissement de l'eau s'amorce et s'accompagne d'un approfondissement progressif de la couche superficielle du réservoir.

Durant l'automne, l'atteinte de la température de 4 °C, uniforme sur toute la profondeur, survient vers le 20 novembre en moyenne. Après cette isothermie d'automne, le refroidissement de l'eau se limite progressivement à une couche de plus en plus superficielle et s'accélère tandis que la formation du couvert de glace s'amorce. En fin de novembre ou au début de décembre, on retrouve la situation d'hiver déjà décrite plus haut.

8.2 Évacuateur de crue et tronçon court-circuité de Romaine-2 (PK 83,7 à 90,3)

8.2.1 Description

Le barrage Romaine-2 se trouve au PK 90,3 alors que le canal de fuite de la centrale se trouve au PK 83,7. Entre eux, l'ancien lit de la rivière forme un tronçon court-circuité qui se trouve désormais hors du trajet principal du débit de la Romaine. Ce trajet effectue quelques détours de sorte que sa longueur est de 6,6 km.

Le trajet court-circuité sera alimenté en permanence par un débit réservé provenant de conduites vannées intégrées à la base du coursier de l'évacuateur de crues; en présence de crues, le débit du tronçon court-circuité proviendra des vannes principales de l'évacuateur.

L'eau du réservoir parvient à l'évacuateur par un canal d'amenée dont la profondeur varie entre approximativement 18 et 23 m selon le niveau du réservoir.

8.2.2 Tableaux et diagrammes

La Planche 14 présente la température de l'eau aux exutoires du réservoir Romaine-2, incluant celle de l'évacuateur.

Le Tableau 14 présente les moyennes mensuelles et estivales (juin à septembre) de la température de l'eau aux exutoires.

8.2.3 Régime thermique, seuil du canal d'amenée de RO-2 à 215 m

Au pied de l'évacuateur, en hiver, de la mi décembre à la mi avril, la température de l'eau se maintiendra entre 0,6 et 3°C. Les moyennes mensuelles de janvier à mars varient d'une année à l'autre autour d'une médiane. La valeur de cette médiane varie entre 1,4 °C (février et mars), et 1,7 °C (janvier). Pour un hiver donné, la température de l'eau varie de façon progressive et peut présenter des fluctuations occasionnelles d'environ $\pm 0,5$ °C. En parcourant le tronçon court-circuité, l'eau se refroidira quelque peu; en décembre, janvier et février, elle se refroidira suffisamment pour se retrouver près du point de congélation à la confluence du tronçon et du cours principal de la Romaine. Le tronçon sera libre de glace sur une bonne partie de son parcours.

Au printemps, l'eau provenant de l'évacuateur commencera à se réchauffer un peu plus tôt que dans les conditions actuelles mais le réchauffement progressera plus lentement. À partir de la fin de mai, l'eau provenant de l'évacuateur sera plus froide que 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, des valeurs transitoires de 4,5 à 10 °C pourront se présenter au début de juin, et de 5 à 15 °C à la fin de juin. Durant son parcours le long du tronçon court-circuité, l'eau se rapprochera

d'un équilibre dynamique avec les conditions ambiantes; rendu à la confluence avec le cours principal, elle sera plus chaude et présentera de moins grandes fluctuations qu'au pied de l'évacuateur.

En été, la température de l'eau dans le tronçon court-circuité sera plus froide que celle des conditions actuelles et elle présentera une plage de variabilité plus grande. De façon typique, au pied de l'évacuateur, l'écart avec les conditions actuelles sera de 5 °C en juin, 6 °C en juillet et 4 °C en août; cet écart variera d'année en année. À la fin d'août, la température de l'eau du pied de l'évacuateur culminera vers 15 °C, ce qui sera environ 3 à 4 °C plus froid et environ un mois plus tard que dans les conditions actuelles. Des valeurs transitoires atteignant 5 à 18 °C pourront également se présenter à l'occasion en août. La moyenne de la température de l'eau sur l'été (de juin à septembre) sera d'environ 12 °C, ce qui est environ 2,5 °C plus froid que dans les conditions actuelles à cet endroit.

À partir de septembre, l'eau du tronçon court-circuité commencera à se refroidir mais restera plus chaude qu'en conditions actuelles. Au pied de l'évacuateur, la moyenne mensuelle de septembre sera environ 2 °C plus chaude que celle de la rivière à l'état naturel en septembre, 4 °C en octobre et 4 à 5 °C en novembre. La température d'hiver est atteinte au début de décembre, à une date qui variera selon les années.

8.3 Canal de fuite de la centrale Romaine-2 (PK 83,7)

8.3.1 Description

La centrale Romaine-2 tire de l'eau du réservoir par un canal d'amenée construit en tranchée dans la berge du réservoir. Le canal d'amenée rejoint le réservoir par un seuil dont la cote est à 215 m. L'eau tirée par la centrale provient donc de la *colonne d'eau* se trouvant à l'amont immédiat du canal d'amenée. Sa température sera influencée par la stratification thermique de l'eau du réservoir, telle qu'elle se présente devant le canal d'amenée. C'est cette même eau qui est ensuite restituée au canal de fuite de la centrale, au PK 83,7.

Rappel - Cette section porte sur le cas où le seuil du canal d'amenée de Romaine-2 est à la cote de 215 m.

8.3.2 Tableaux et diagrammes

La Planche 14 présente la température de l'eau aux exutoires du réservoir Romaine-2, incluant celle du canal de fuite.

Le Tableau 14 présente les moyennes mensuelles et estivales (juin à septembre) de la température de l'eau aux exutoires.

8.3.3 Régime thermique

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

Au printemps, le réchauffement de l'eau ressemblera à celui de l'eau de l'évacuateur; il commencera un peu plus tôt qu'en rivière et il progressera plus lentement. À partir de la fin de mai, l'eau du canal de fuite 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.

En été, la température de l'eau du canal de fuite sera plus basse que celle des conditions actuelles et elle présentera une plage de variabilité plus grande; elle sera aussi un peu plus basse qu'à l'évacuateur. La moyenne mensuelle des mois d'août et de septembre se distribuera autour d'une médiane d'environ 12 °C. Du point de vue de la moyenne mensuelle, l'écart avec les conditions actuelles sera de -5 °C en juin, -7 °C en juillet et -6 °C en août; cet écart variera d'année en année. La moyenne sur les quatre mois de juin à septembre se distribuera autour d'une valeur médiane d'environ 10,5 °C, ce qui est environ 4 °C plus froid que dans les conditions actuelles à cet endroit. Au canal de fuite, des valeurs transitoires de 4,5 à 9 °C pourront se présenter au début de juin, et 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 du canal de fuite commencera à se refroidir; ce refroidissement étant plus lent qu'en conditions actuelles, l'eau du canal de fuite deviendra plus chaude que celle des conditions actuelles. L'écart avec les conditions actuelles de la rivière sera d'environ 3,5 °C en octobre et jusqu'à 5 °C en novembre. La température d'hiver est atteinte au début de décembre, à une date qui varie selon les années.

8.4 Tronçon fluvial du réservoir Romaine-1

8.4.1 Description

Le réservoir Romaine-1 s'étend sur 33,2 km, du canal de fuite de la centrale Romaine-2 situé au PK 83,7 au barrage de Romaine-1 situé au PK 50,5. Le réservoir Romaine-1 est alimenté en eau principalement par le réservoir Romaine-2. L'affluent Romaine-Sud-Est ne contribue à une part significative du débit que durant la crue car dans cette situation, le débit à Romaine-2 est diminué de façon à ne pas avoir à le déverser sans production hydroélectrique à Romaine-1; la moyenne mensuelle du débit de mai de la Romaine-Sud-Est est d'environ 50 m³/s.

Le tronçon fluvial du réservoir Romaine-1 occupe les 22 km situés entre le PK 83,7 et le PK 62. Les conditions de l'écoulement (vitesse, nombre de Froude) y sont de type fluvial et aucune stratification thermique n'y est prévue.

8.4.2 Tableaux et diagrammes

La Planche 15 présente la température de l'eau dans le tronçon fluvial des PK 83,7 à 62 se trouvant à l'amont du réservoir Romaine-1. La Planche 15 présente également le tronçon fluvial situé à l'aval de Romaine-1, qui est décrit à la section 8.7 ci-dessous.

Le Tableau 15 présente les moyennes mensuelles et estivale (juin à septembre) de la température de l'eau au PK 62 qui est la limite d'aval du tronçon fluvial de Romaine-1.

8.4.3 Régime thermique

Dans le tronçon fluvial des PK 83,7 à 62, la température de l'eau passe progressivement de celle du canal de fuite de Romaine-2, déjà décrite plus haut, à celle du PK 62.

L'hiver est pris ici comme étant les mois de décembre à avril. En hiver, la médiane des moyennes mensuelles passe, selon le mois, de 1,8 à 2 °C au PK 83,7 à entre 0,5 et 2 °C au PK 62 (voir le Tableau 15). Le tronçon fluvial ne présente habituellement pas de couvert de glace même s'il peut y avoir de la glace de rive. Par temps plus froid, l'eau atteint fréquemment le point de congélation peu avant d'arriver au PK 62; par temps très doux, elle conserve une température voisine de celle du PK 83,7 (voir la Planche 15). En janvier, typiquement, l'eau se refroidit d'environ 1,5°C durant son transit du PK 83,7 au PK 62. Ce refroidissement décroît en février, mars et avril car les conditions ambiantes deviennent progressivement moins rigoureuses.

Au printemps, le réchauffement de l'eau s'amorce en mai. De mai à août, au PK 62, la température de l'eau est en moyenne un peu plus chaude qu'au PK 83,7; l'écart moyen varie entre 0,5 à 1 °C selon le mois. Septembre est un mois d'équilibre où l'eau reste à peu près à la même température le long du tronçon fluvial. En octobre et novembre, le refroidissement de l'eau du PK 62 par rapport au PK 83,7 s'accroît et atteint environ 1 °C en fin de novembre. Le régime d'hiver est établi en décembre.

8.5 Tronçon en lac du réservoir Romaine-1

8.5.1 Description

Le tronçon en lac du réservoir Romaine-1 occupe les 11 km d'aval de ce réservoir, du PK 62 au PK 50,5.

La profondeur et la largeur en eau y sont plus grandes qu'en amont et plus typiques de celles d'un réservoir. À l'amont immédiat du barrage Romaine-1 la profondeur atteint 31,7 m, correspondant au relèvement du niveau de l'eau de la cote 50,6 m dans les conditions actuelles à la cote de 82,3 m au niveau maximum d'exploitation. Le temps de renouvellement global est évalué à 6 jours et la vitesse d'écoulement en réservoir est non-négligeable. Une certaine stratification thermique d'hiver et d'été se manifesterait bien qu'elle sera moins prononcée que dans les autres réservoirs du complexe Romaine.

8.5.2 Tableaux et diagrammes

La Planche 16 montre les profils verticaux de température dans le réservoir Romaine-1 pour quelques dates d'une année-type.

La Planche 17 présente la température de l'eau au sein du réservoir Romaine-1 pour les trois années qui ont été retenues plus haut pour le cas du réservoir Romaine-2.

Le Tableau 15 présente les moyennes mensuelles et estivales (juin à septembre) de la température de l'eau au PK 62 et dans les nappes superficielle (les 4 m près de la surface) et profonde (de 15 m de profondeur au fond) du réservoir.

8.5.3 Régime thermique

En hiver, sur le tronçon en lac, il y aura un couvert de glace érodé présentant des zones de glace mince d'étendue variable. Il y aura une couche superficielle de 15 à 20 m d'épaisseur qui sera occupée par l'eau traversant le réservoir, et dont la température variera de 0 à 1,3 °C environ, en fonction des conditions ambiantes des jours et semaines précédentes. Dans les 10 à 15 m les plus profonds du réservoir, il y aura de l'eau dont la température variera d'une année à l'autre entre 1,8 et 3,7 °C.

Au printemps, le réchauffement de l'eau du réservoir Romaine-1 reflète directement celui de l'eau qui arrive par le PK 62, déjà décrit ci-dessus. Il débute en avril; en mai, le réservoir reste isotherme de façon prolongée tandis que la température de l'eau passe d'environ 2,5 °C à environ 6,5 °C au PK 62; il y a une légère stratification près du fond qui isole l'eau la plus profonde de l'eau en transit.

En juin, une certaine stratification thermique apparaît; elle est due à l'arrivée d'eau plus chaude en provenance de RO-2 et de l'affluent Romaine-Sud-Est. Durant l'été (juin à septembre), l'eau qui traverse le réservoir occupe les 15 à 20 m superficiels. On peut en suivre l'évolution sur la Planche 16. Sa température passe d'environ 7 °C en moyenne au premier juin à environ 15 à 16 °C au début d'août, puis à environ 12 °C à la fin de septembre. L'eau sous-jacente reste captive et sa température n'évolue que peu. Le réservoir Romaine-1 ne présente pas d'ondes internes importantes pour la température de l'eau, contrairement aux autres réservoirs de la Romaine à cause de la profondeur de la couche d'eau en transit et de la faible emprise au vent que présente le plan d'eau. Épisodiquement, en juillet et août, il se forme néanmoins une couche superficielle plus chaude soit par baisse du mélange vertical dû à une accalmie du vent, soit par réchauffement par le soleil et le contact de l'air.

L'isothermie automnale débute à une température de l'eau de 7 à 10 °C vers la fin d'octobre. La température de 4°C sera atteinte en moyenne à la mi-novembre. L'isothermie se maintient jusqu'aux premières périodes froides de la fin de novembre à une température de 2,5 à 3 °C. La stratification thermique hivernale apparaît ensuite telle que décrite plus haut.

8.6 Exutoires du réservoir Romaine-1

8.6.1 Description

Le réservoir Romaine-1 présente deux exutoires:

- le canal d'amenée de la centrale dont le seuil au réservoir est à la cote de 77 m et dont le débit rejoint le canal de fuite de la centrale Romaine-1;
- le canal d'amenée de l'évacuateur de crue, dont le seuil au réservoir est à la cote de 65 m.

En situation normale, seule la centrale laisse passer un débit significatif.

8.6.2 Tableaux et diagrammes

La Planche 18 présente le cycle annuel de la température de l'eau aux exutoires du réservoir Romaine-1.

Le Tableau 15 présente les moyennes mensuelles et estivales (juin à septembre) de la température de l'eau aux deux exutoires.

8.6.3 Régime thermique au canal de fuite

En hiver (de décembre à avril), dans les conditions actuelles, la température de l'eau est à peu près zéro (Tableau 15). En conditions futures, de décembre à avril, la médiane de la moyenne mensuelle varie entre 0,6 et 1,8 °C selon le mois. Il peut y avoir des mois d'hivers particulièrement froids du point de vue de la température de l'eau et la moyenne mensuelle varierait alors entre 0,1 et 1,3 °C selon le mois; lors de mois d'hivers particulièrement doux, elle varierait entre 1,4 et 2,8 °C selon le mois.

En mai et juin, le réchauffement de l'eau procède. Selon le cycle de la médiane de la Planche 18, la température médiane de l'eau passe d'environ 3 °C au début de mai à 7 °C au début de juin, et à 11 °C en fin de juin.

En été, la médiane de la température de l'eau culmine à la mi août vers 14 °C en moyenne, ce qui est environ 5 °C plus froid et deux semaines plus tard que dans les conditions actuelles. La moyenne d'été de la température de l'eau (de juin à septembre) est de 12 °C, ce qui est environ 2,5 °C plus bas que la moyenne de 14,5 °C environ dans les conditions actuelles. La stratification thermique estivale du réservoir Romaine-1 est insuffisante pour qu'il y ait de fortes fluctuations de température aux exutoires. Une partie des fluctuations qui apparaissent à l'aval immédiat de Romaine-1 sont une répercussion atténuée des fluctuations de température de l'eau apparues à Romaine-2 et laminées par Romaine-1; à cela s'ajoutent les effets météorologiques sur le réservoir Romaine-1 lui-même, principalement dans sa partie fluviale. La Planche 18 présente une enveloppe de variabilité qui a été calculée en supposant une amplitude d'oscillations de la thermocline

d'été de 8 m (16 m crête à crête) qui est trop élevée pour le cas de Romaine-1 et qui donne ici un portrait un peu exagéré de la variabilité aux exutoires. En septembre, le refroidissement de l'eau s'accroît mais il est plus lent qu'en rivière.

À partir de la mi-septembre en moyenne, l'eau issue du réservoir apparaît comme plus chaude que celle de la rivière en conditions actuelles parce qu'elle se refroidit plus lentement. La température de l'eau franchit les 11 °C en début d'octobre, puis 7 °C en début de novembre et les conditions d'hiver sont atteintes en fin de novembre.

8.6.4 Régime thermique à l'évacuateur de crue

La plupart du temps, l'évacuateur a un débit nul. La plupart des évacuations auront lieu lors de la crue printanière, en mai et juin, et en fin d'automne. Dans cette situation, il y a peu de stratification dans le réservoir, et la température de l'eau est la même aux deux exutoires, à une fraction de °C près. Il est rare qu'il entre en opération en hiver et en été. Lorsque cela se produit, l'eau émise par l'évacuateur est environ 0,1 °C plus chaude en hiver et de 0,5 à 1 °C plus froide en été que l'eau émise par la centrale.

Les diagrammes et tableaux ont été calculés en supposant qu'il y avait toujours un débit de quelques m³/s sinon la température de l'eau y serait indéfinie. Ceci a cependant pour résultat d'attribuer à cet exutoire une valeur de température de l'eau un peu plus froide en été et un peu plus chaude en hiver que ce qu'on y trouverait en présence d'ouverture des vannes de l'évacuateur. Cela permet d'évaluer simplement que l'utilisation de l'évacuateur ne modifierait pas grandement le régime thermique à l'aval immédiat de Romaine-1.

8.7 Rivière Romaine en aval de Romaine-1

8.7.1 Tableaux et diagrammes

La Planche 15 (déjà introduite plus haut pour le tronçon fluvial du réservoir Romaine-1) présente la température de l'eau dans la rivière Romaine entre Romaine-1 et le PK 13 de la rivière.

Le Tableau 16 présente les moyennes mensuelles et estivales (juin à septembre) de la température de l'eau aux PK 50,5, 35 et 16.

8.7.2 Régime thermique

En coulant vers l'aval, l'écart entre la température de l'eau des conditions futures et actuelles ira en diminuant. Ainsi, en conditions futures, en s'éloignant de Romaine-1 vers l'aval, l'eau se réchauffera en été et se refroidira en hiver.

En hiver, au PK 35, l'eau reste habituellement au point de congélation de la mi-décembre à la mi-février. Au PK 16, elle reste habituellement au point de congélation du début de décembre à la mi-mars. Habituellement, le point de congélation atteint sa position la plus en amont en janvier, entre les PK 38 et 48. Les conditions de glace sont couvertes par l'étude conjointe sur le couvert de glace (Réf. 4).

Au printemps, le réchauffement de l'eau débute de six semaines plus tôt que dans les conditions actuelles aux PK 16 et 35. Au début de mai, en moyenne, la température de l'eau dépasse celle des conditions actuelles par environ 4 °C. Le réchauffement progresse cependant plus lentement de sorte que les moyennes de la température de l'eau des conditions futures et actuelles se rejoignent vers 7 °C le dernier jour de mai. Par la suite, l'eau est plus froide qu'en conditions actuelles.

En été, la température de l'eau culmine en moyenne à peu près au même moment que dans les conditions actuelles à une valeur qui est de 3 à 4 °C plus basse. La moyenne de la température de l'eau sur les mois de juin à septembre sera d'environ 12,5 °C au PK 35 et d'environ 13 °C au PK 16, ce qui est respectivement 2 °C et 1,5 °C plus bas que la moyenne de 14,5 °C évaluée pour les conditions actuelles. La température moyenne de septembre sera à peu près la même que dans les conditions actuelles alors que celles d'octobre et de novembre seront de 2 °C à 2,5 °C plus chaudes que celles des conditions actuelles.

Durant l'automne, le refroidissement de l'eau progresse plus lentement que dans les conditions actuelles et se traduit par un écart de 2 à 3 °C en octobre et au début de novembre, où l'eau des conditions futures est plus chaude que celle des conditions actuelles. Le point de congélation sera atteint vers la première semaine de décembre au PK 35 et vers le dernier jour de novembre au PK 16. Par la suite, le régime thermique d'hiver est celui qui a déjà été décrit plus haut.

Dans l'ensemble, l'évolution saisonnière de la température de l'eau du tronçon situé à l'aval de l'aménagement Romaine-1 présente une courbe en cloche qui débute plus tôt, est plus basse et se termine plus tard dans les conditions futures que dans les conditions actuelles.

Le calcul des degrés-jours de fonte de la température de l'eau au PK 16 donne les valeurs suivantes :

conditions futures	2216 °C-j
conditions actuelles	2040 °C-j

Ce calcul a été effectué avec les valeurs mensuelles de la médiane du Tableau 16 pour les conditions futures et pour les conditions actuelles du PK 16; chaque valeur est pondérée par le nombre de jours du mois. On obtient à peu près le même résultat en utilisant la moyenne mensuelle (qui n'est pas inscrite au tableau).

Un résultat similaire s'obtient pour le PK 35.

L'écart entre ces deux valeurs est suffisamment petit pour qu'on puisse en retenir que le total des degrés-jours de fonte est peu modifié par la présence de l'aménagement.

9 Phases de construction et d'exploitation transitoire

9.1 Généralités

Les phases de construction et d'exploitation transitoire s'étendent du remplissage du réservoir Romaine-2, premier des aménagements à être mis en production, à la mise en exploitation de Romaine-4, dernier des aménagements à être mis en production.

Le rapport d'impact (Réf. 1) présente les phases de remplissage dans la section 16.4 portant sur les étapes de construction alors que l'exploitation avec un aménagement incomplet sont couvertes dans la section 16.3.

Ici, un ordre chronologique de mise en exploitation a été utilisé pour clarifier l'enchaînement des étapes.

Les sections sur l'exploitation de Romaine-2 seul et Romaine-2 avec Romaine-1 ont été couvertes avec un niveau de détail élevé parce qu'il avait été perçu au départ que ces étapes dureraient plus longtemps que ce qui est présentement envisagé. Les autres épisodes sont couverts de façon plus succincte et sans planches et tableaux avec des estimations basées sur la connaissance des réservoirs qui a été accumulée dans le cadre du reste de l'étude.

9.2 Effet des chantiers sur la température de l'eau

L'effet d'un chantier sur la température de l'eau est insignifiant pour la rivière Romaine, comme pour d'autres rivières ayant un débit nettement plus grand que celui des installations d'eau potable et sanitaire du chantier. En cours de construction du barrage, l'eau passe par une dérivation provisoire sans que sa température change de façon appréciable autrement qu'un léger réchauffement associé à la dissipation de l'énergie potentielle gravitationnelle de l'eau en chaleur. De l'ordre de quelques centièmes à quelques dixièmes de degrés, ce gain de température ne peut se faire sentir qu'en hiver et sur une courte distance en aval de la sortie de la dérivation. Dans les conditions naturelles, l'eau passe par la même dénivellation et présente un gain semblable mais elle est exposée à l'air sur une plus grande superficie et s'ajuste plus aux conditions ambiantes que l'eau qui est en dérivation car la dérivation est soit un tunnel, soit un canal étroit.

En résumé, on peut négliger l'effet des chantiers de la Romaine sur la température de l'eau de la rivière.

Dans le rapport d'impact, le remplissage des réservoirs est associé à la phase de construction. Le remplissage a, lui, un effet appréciable sur le régime thermique et il est abordé dans les sections qui suivent.

9.3 Remplissage du réservoir Romaine-2

9.3.1 Description

Le remplissage du réservoir Romaine-2 procèdera en trois étapes:

- Fermeture en avril avec contribution au débit réservé par la galerie de dérivation
- Fermeture complète de Romaine-2 jusqu'à ce que le niveau de l'eau dépasse le seuil de l'évacuateur de crue.
- Fin de remplissage avec contribution au débit réservé par l'évacuateur de crue.

Des scénarios de remplissage ont été évalués par bilan thermique de façon sommaire et aucun diagramme n'est présenté ici à leur sujet. Les conditions hydrauliques de la rivière Romaine ont aussi été évaluées par profil longitudinal en conditions de très bas débit.

9.3.2 Régime thermique durant la fermeture avec débit réservé dans la galerie de dérivation

La galerie de dérivation est partiellement fermée; l'ouverture partielle permet d'acheminer un certain débit vers l'aval pour contribuer au respect du débit minimal en rivière à l'aval de Romaine-1; ceci est maintenu jusqu'à ce que la cote du réservoir atteigne la valeur maximale permise pour la hauteur de charge sur les vannes de la dérivation provisoire.

Le remplissage débute avant l'arrivée de la crue printanière car la crue permet de remplir plus rapidement le réservoir; la crue concomitante des affluents d'aval permet également de diminuer la contribution de Romaine-2 au débit réservé, ce qui sert aussi à accélérer le remplissage.

Cette étape débute le 01 avril 2014 et dure environ 45 jours soit jusqu'en mai.

Durant la fermeture partielle de la dérivation provisoire, l'eau du réservoir Romaine-2 est presque entièrement de l'eau de crue dont la température est froide; la dérivation provisoire s'alimente à même l'eau profonde de Romaine-2, c'est-à-dire l'eau froide reçue au début de la crue. Durant mai et juin, l'eau à l'aval immédiat de Romaine-2 sera donc nettement plus froide que dans les conditions actuelles.

Le débit issu de Romaine-2 étant faible, l'eau froide sera diluée dans une proportion significative d'eau des affluents non-régularisés et s'écoulera vers l'aval avec une moins

grande profondeur moyenne. Ceci permet à l'eau en rivière de s'ajuster aux conditions ambiantes sur une distance plus courte que durant la phase d'exploitation.

Rendu au site de la future centrale Romaine-1, la température de l'eau durant le printemps et l'été du remplissage évoluera selon un régime intermédiaire entre celui des conditions actuelles et celui qui est prévu pour l'exploitation permanente (eau plus froide).

9.3.3 Fermeture complète

Lorsque la galerie de dérivation est définitivement fermée, il se produit une période durant laquelle le réservoir Romaine-2 ne fournit aucune eau à l'aval. Cette période se termine lorsque le niveau dépasse la cote du seuil des évacuateurs permettant au réservoir Romaine-2 de reprendre sa contribution au débit réservé par les vannes principales de l'évacuateur de crue.

De façon typique, cette étape durerait de 17 à 59 jours (médiane 24 jours) et aurait lieu le plus probablement de la mi-mai à la mi-juin; il y a une certaine probabilité aussi qu'elle dure jusqu'en juillet.

Durant cette période, le débit au lac des Murailles et en aval est très réduit. La rivière Romaine est alimentée en eau en provenance des affluents non-régularisés et prend l'aspect d'une succession de bassins relativement profonds reliés par des tronçons peu profonds et à écoulement plutôt rapide.

Rendu au PK 51 et à son aval, le régime thermique de l'eau sera semblable à celui des conditions actuelles en termes de moyenne mensuelle. La température de l'eau sera plus sensible aux variations météorologiques à court terme qui se présenteront le long de son parcours et pourrait atteindre des valeurs plus froides et, en canicule, plus chaudes qu'en conditions actuelles.

Durant les canicules, la partie profonde des bassins pourrait conserver de l'eau plus froide qu'en surface. Cette eau plus froide serait de l'eau arrivée quelques jours plus tôt à l'occasion d'une période de météorologie plus fraîche.

9.3.4 Complétion du remplissage avec passage du débit réservé par l'évacuateur

Une fois que le niveau du réservoir dépasse la cote du seuil des évacuateurs, le réservoir Romaine-2 reprend sa contribution au débit réservé par les vannes principales de l'évacuateur de crue jusqu'à ce que les conditions soient propices à la mise en service de la centrale Romaine-2.

Après cela, on se retrouve dans la condition d'exploitation présentée à la section suivante pour le cas de Romaine-2 seul.

Le débit tiré du réservoir par l'évacuateur consistera en de l'eau tirée près de la surface, car le niveau du réservoir sera encore bas. Le régime thermique de l'eau sera alors assez

semblable à celui qui est prévu pour les conditions d'exploitation transitoires avec Romaine-2 seul. Les écarts par rapport à l'exploitation de Romaine-2 seul seront que l'eau au pied de l'évacuateur sera légèrement plus froide en hiver et plus chaude en été que celle qui proviendrait de la centrale en conditions d'exploitation permanente.

Rendu au PK 51, le régime thermique sera intermédiaire entre celui de l'exploitation avec Romaine-2 seul et celui des conditions actuelles.

9.4 Exploitation de Romaine-2 seul

9.4.1 Description de l'aménagement

Dans la première phase d'exploitation du complexe Romaine qui est envisagé pour l'avant-projet phase II, l'aménagement Romaine-2 est exploité seul. Durant cette phase, il est prévu que le réservoir soit exploité avec un marnage maximal de 19 m.

Ainsi, le réservoir Romaine-2 en phase transitoire diffère du réservoir Romaine-2 en phase permanente par son marnage et par le fait que ses affluents sont des rivières non régularisées, dont le régime thermique est celui des conditions actuelles.

Dans les évaluations données ci-dessous, le seuil du canal d'amenée de la centrale Romaine-2 est à la cote de 215 m.

9.4.2 Tableaux et diagrammes

La Planche 19 présente quelques profils verticaux instantanés de la température de l'eau dans le réservoir Romaine-2 ainsi que le cycle annuel de la température de l'eau de la nappe superficielle et la nappe profonde.

La Planche 20 présente la température de l'eau au sein du réservoir pour trois années-type. Ces années ont été choisies en fonction de la température moyenne de l'eau aux exutoires de Romaine-2 en été, pour les conditions permanentes; ce choix a été conservé ici afin de faciliter la comparaison entre ces cas car ils partagent la même météorologie et la même hydrologie.

La Planche 21 présente la température de l'eau aux exutoires du réservoir Romaine-2.

La Planche 22 présente la température de l'eau en rivière en aval de la centrale Romaine-2.

Le Tableau 17 présente les moyennes mensuelles et estivales (juin à septembre) de la température de l'eau à Romaine-2 (canal de fuite et évacuateur de crue) et aux PK 51, 35 et 16 de la rivière Romaine.

9.4.3 Régime thermique du réservoir Romaine-2

Aux exutoires du réservoir Romaine-2, dans les conditions transitoires, la température de l'eau est légèrement plus froide (0,1 à 0,2 °C) en hiver et légèrement plus chaude (0,5 °C) en été que dans les conditions permanentes. Ceci s'explique, dans les grandes lignes par le fait que la totalité du débit d'apport provient de rivières non aménagées.

En hiver, le fait d'avoir des affluents non régularisés aura pour conséquences que le réservoir aura le couvert de glace d'un lac sur toute son étendue jusqu'à l'amont, sauf peut-être sur une courte distance à l'amont immédiat du canal d'amenée de la centrale.

9.4.4 Régime thermique du tronçon court-circuité

Le régime thermique de l'eau au pied de l'évacuateur et le long du tronçon court-circuité sera à peu près identique à celui des conditions permanentes d'exploitation, déjà décrit à la section 8.2.

9.4.5 Régime thermique en rivière en aval de Romaine-2 seul

En hiver, sur le cours de la rivière se trouvant à l'aval de Romaine-2, le point de congélation est atteint nettement plus en amont que dans les conditions permanentes. Ceci est dû, d'une part, à ce que les 11 km en lac du réservoir Romaine-1 sont ici en rivière, et d'autre part, à l'absence du volume d'eau du réservoir car ce volume retarde le refroidissement de l'eau en début d'hiver.

En été, en termes de moyennes mensuelles, la température de l'eau le long de la rivière Romaine reste froide comparée aux conditions actuelles et ressemble de près à celles des conditions permanentes en présence de Romaine-1. En termes de valeurs instantanées, il est prévu que les bornes de la variabilité sont les plus grandes près de Romaine-2 et vont en décroissant vers l'aval comme dans les conditions permanentes. L'absence du réservoir Romaine-1 permet à cet ajustement de se produire plus en amont.

9.5 Remplissage de Romaine-1

Le remplissage de Romaine-1 se fera alors que Romaine-2 est en exploitation normale. L'échéancier actuel de mise en service prévoit le remplissage de Romaine-1 pour juillet 2016.

Durant le remplissage, il est prévu que la dérivation provisoire sera utilisée pour assurer le débit réservé en aval du PK 51. Il s'agit d'une prise de fond qui évacuera donc l'eau profonde de Romaine-1.

Le remplissage durera quelques semaines.

L'effet sur le régime thermique dans le réservoir sera que la température de l'eau du réservoir sera plus homogène sur la verticale que dans les conditions futures car toute eau qui viendrait se loger dans la partie profonde sera la première à être évacuée par la dérivation provisoire. La température de l'eau du réservoir sera à peu près la même que celle qu'avait cette eau au moment où elle a été tirée du réservoir Romaine-2, de une à plusieurs semaines auparavant. Durant le remplissage de Romaine-1, la température de l'eau émise par Romaine-1 ne s'éloignera donc pas beaucoup de celle qui aurait été émise à la même date si les réservoirs Romaine-2 et Romaine-1 avaient été en exploitation normale de la phase transitoire.

En somme, à l'aval immédiat de Romaine-1, la température de l'eau sera peu modifiée par le fait que le réservoir est en cours de remplissage, quelle que soit la saison où se fera ce remplissage. La température de l'eau sera celle qu'on y aurait trouvée durant la phase d'exploitation en tandem de Romaine-1 et Romaine-2 (voir sections suivantes).

Plus loin en aval, le régime thermique sera également voisin de celui de l'exploitation en tandem de Romaine-1 et Romaine-2 avec une nuance. Le débit qui sera remis à la rivière sera aussi faible que possible pour accélérer le remplissage; il sera donc à peu près égal au débit garanti, et sera moindre que le débit normal d'exploitation. La température de l'eau aura alors tendance à s'ajuster aux conditions ambiantes sur une distance plus courte que durant les conditions d'exploitation en tandem. Elle différera donc légèrement de celles-ci dans le sens de se rapprocher des conditions actuelles.

9.6 Exploitation de Romaine-2 et Romaine-1

9.6.1 Description de l'aménagement

Le début de l'avant-projet phase 2 a envisagé une seconde phase d'exploitation en conditions transitoires durant laquelle les aménagements Romaine-2 et Romaine-1 sont exploités en tandem et en l'absence complète des aménagements Romaine-3 et Romaine-4.

Le réservoir Romaine-1 est exploité comme une centrale au fil de l'eau. Le mode d'exploitation de Romaine-2 est le même que pour le cas où Romaine-2 est seul.

Ainsi, le régime thermique dans le réservoir Romaine-2 et à ses exutoires est le même que pour le cas où Romaine-2 est exploité seul (section précédente).

Sur le tronçon fluvial se trouvant entre Romaine-2 et le PK 62, le régime thermique est également le même que dans le cas où Romaine-2 est exploité seul. Du point de vue du régime thermique, la présence de l'aménagement Romaine-1 ne se fait sentir qu'en aval du PK 62, où se rencontrent des conditions hydrauliques de réservoir (avec Romaine-1) plutôt que de rivière (sans Romaine-1).

On notera que la durée de l'étape d'exploitation de Romaine-1 et Romaine-2 seules sera brève, selon l'échéancier qui est prévu. La centrale Romaine-1 sera probablement encore

en rodage lorsque commenceront les préparatifs pour le remplissage du réservoir Romaine-3. Le cas de simulation sur vingt années qui est présenté ici est donc un exercice pour dégager les tendances du régime thermique plutôt que pour le prévoir en détail.

9.6.2 Tableaux et diagrammes

La Planche 23 présente des profils verticaux de la température de l'eau durant une année-type ainsi que le cycle annuel de la température de l'eau superficielle et profonde.

La Planche 24 présente l'évolution de la température de l'eau dans le réservoir pour trois années-type à l'aide de diagrammes d'isothermes en fonction du temps.

La Planche 25 présente la température de l'eau aux exutoires du réservoir Romaine-1. Pour l'évacuateur de crue, il a été supposé qu'il y avait en permanence un débit de quelques m³/s afin que la température de l'eau y reste définie; ceci tend à donner des valeurs un peu plus chaude en hiver et un peu plus froide en été que si l'on tient compte seulement des déversements, mais de toute façon cette contribution au régime thermique d'aval reste négligeable comparée à celle de la centrale.

La Planche 26 présente des profils longitudinaux mensuels le long de la rivière Romaine, de Romaine-2 au PK 13.

Le Tableau 18 présente les moyennes mensuelles et estivales (juin à septembre) de la température de l'eau aux PK 51, 35 et 16.

9.6.3 Régime thermique du réservoir Romaine-1 et à son aval

Dans les conditions transitoires avec Romaine-2 et Romaine-1, sur la Romaine en aval de Romaine-1, la température de l'eau ressemble de près à celle des conditions permanentes; elle est plus froide en hiver de quelques dixièmes de °C là où elle est au-dessus du point de congélation; en été, elle est plus chaude d'une fraction de °C.

9.7 Remplissage de Romaine-3

9.7.1 Description de l'étape

Le remplissage de Romaine-3 aura lieu alors que Romaine-2 et Romaine-1 sont en exploitation; il est possible que Romaine-1 soit encore en phase de test et vérification des équipements et que le débit à Romaine-1 soit géré par son évacuateur.

Durant le remplissage de Romaine-3, le débit disponible à Romaine-2 sera diminué du débit utilisé pour remplir Romaine-3. Le plein marnage de Romaine-2 sera sollicité.

Le remplissage de Romaine-3 comportera deux étapes totalisant environ 225 jours:

- étape de coupure complète, du moment où la dérivation provisoire est fermée jusqu'au moment où le niveau dépasse celui du coursier de l'évacuateur, sur une durée d'environ 125 jours (de 61 à 207 jours)
- étape de coupure avec débit réservé dans le tronçon court-circuité, durant laquelle un débit de 2,2 m³/s est fourni au tronçon court-circuité tandis que le remplissage du réservoir se poursuit, durant environ 90 jours.

La situation du remplissage vient modifier profondément le régime du débit des aménagements Romaine-2 et Romaine-1 et en modifie également le régime thermique.

9.7.2 Tableaux et diagrammes

Il n'y a aucun tableau ou diagramme pour cette phase.

9.7.3 Régime thermique

9.7.3.1 Réservoir Romaine-3

Dans le réservoir Romaine-3, le régime thermique de l'eau près de la surface ressemblera à celui d'un lac profond ou un réservoir de tête d'un aménagement, tel Outardes 4. La température de l'eau profonde présentera une particularité: elle dépendra du moment du début du remplissage plutôt que de dépendre de l'isothermie la plus récente. Ainsi, en commençant le remplissage en milieu ou fin d'octobre, l'eau profonde pourrait se retrouver à une température de 2, 1 ou même 0,5 °C pour tout l'hiver qui suivra alors qu'en commençant le remplissage en juillet, l'eau profonde se trouverait à une valeur entre 12 et 16 °C. Cet effet se fait sentir jusqu'à l'isothermie suivante qui pourra être avancée ou retardée de quelques jours ou semaines. Par la suite, cet effet disparaît.

9.7.3.2 Tronçon court-circuité de Romaine-3

Comme le réservoir est en remplissage et que c'est l'eau superficielle qui est transmise au tronçon court-circuité, l'anomalie de la température de l'eau profonde n'a aucun effet en aval de Romaine-3.

9.7.3.3 Réservoir Romaine-2

Dans le réservoir Romaine-2, le remplissage de Romaine-3 se fait sentir par une baisse prononcée du débit des affluents, car l'affluent principal au moment de la coupure est la rivière Romaine elle-même. Le débit disponible à Romaine-2 pour la production hydro-électrique va lui aussi diminuer et il sera géré de façon à garantir les engagements sur le débit réservé en aval de Romaine-1.

Le réservoir Romaine-2 a lui aussi un régime thermique typique d'un lac ou d'un réservoir de tête pour ce qui est de son profil vertical de la température de l'eau; il ressemblera donc à celui qui est décrit pour la phase où Romaine-1 et Romaine-2 sont exploitées en tandem.

9.7.3.4 Exutoires de Romaine-2

Le fait de turbiner à bas débit entraîne en général une certaine augmentation de la proportion d'eau profonde dans le débit turbiné. Il en résultera une hausse de la température de l'eau tirée par la centrale en hiver, et une baisse en été. Aux exutoires de Romaine-2, le régime thermique sera donc semblable à celui de la phase d'exploitation transitoire avec Romaine-1 et Romaine-2 seuls avec une modification légère: le débit tiré du réservoir étant plus faible, l'eau soutirée par la centrale aura tendance à être plus froide en été et plus chaude en hiver que ce qui a été présenté à la section sur Romaine-1 et Romaine-2.

9.7.3.5 Réservoir Romaine-1

Dans la partie en lac du réservoir Romaine-1 et à son aval, le régime thermique sera influencé par la diminution du débit provenant de Romaine-2. La température de l'eau aura tendance à se rapprocher un peu plus des conditions actuelles, sans les atteindre complètement à Romaine-1. Ainsi, l'eau au PK 50,5 sera un peu plus chaude en été et un peu plus froide en hiver qu'avec le cas Romaine-1 et Romaine-2 seuls.

9.8 Exploitation de Romaine-1, Romaine-2 et Romaine-3

Durant l'exploitation des trois aménagements Romaine-1, Romaine-2 et Romaine-3, le régime thermique de Romaine-3 présentera une différence par rapport à celui des conditions d'exploitation permanente car il sera alimenté en eau provenant de la Romaine non-régularisée plutôt que du réservoir Romaine-4. L'eau présente en surface du réservoir et l'eau émise par Romaine-3 auront tendance à être un peu plus chaudes en été et un peu plus froides en hiver que dans les conditions permanentes. Le régime thermique sera intermédiaire entre celui des conditions futures et celui des conditions actuelles. Cet effet sera légèrement détectable dans le réservoir Romaine-2 et non-détectable à Romaine-1 et en aval.

9.9 Remplissage de Romaine-4

9.9.1 Description de l'aménagement

Les aménagements Romaine-3, Romaine-2 et Romaine-1 sont exploités en tandem et le réservoir de Romaine-4 est en cours de remplissage.

Le calendrier actuel du projet prévoit le début du remplissage de Romaine-4 pour septembre 2019 et en évalue la durée à environ 275 jours, soit près de neuf mois, c'est-à-dire jusqu'après la crue de printemps de 2020.

La situation du remplissage vient modifier le régime du débit des aménagements Romaine-3, Romaine-2 et Romaine-1 et en modifie également le régime thermique.

9.9.2 Régime thermique

Dans le réservoir Romaine-4, le profil vertical de la température de l'eau sera nettement différent de celui des conditions d'exploitation permanentes mais il sera ramené à des conditions proches des conditions permanentes lors de chacune des isothermies printanières ou automnales qui se produiront durant le remplissage.

En surface, la température de l'eau ressemblera à celle d'un lac profond de la région.

Dans le réservoir Romaine-3, le régime thermique sera très voisin de celui du cas où Romaine-3, Romaine-2 et Romaine-1 seraient exploités seuls. Les différences seront reliées au manque de débit provenant de l'amont et résulteront en de l'eau un peu plus chaude en hiver (un ou quelques dixièmes de °C) et plus froide en été (0,5 à 2 °C) aux exutoires que dans le cas cité.

Dans le réservoir Romaine-2, l'effet du remplissage de Romaine-4 deviendra indétectable et le régime thermique ressemblera à celui de l'exploitation à Romaine-3, Romaine-2 et Romaine-1. Il en sera de même à Romaine-1 et en aval.

10 Références

- Réf. 1 **Hydro-Québec Production. Complexe de la Romaine. Étude d'impact sur l'environnement. Volume 1. Vue d'ensemble et description des aménagements hydroélectriques.** Décembre 2007.
- Réf. 2 **Hydro-Québec. Projet La Romaine-2. Rapport d'avant-projet Phase 2. Émission finale.** Document 016205-3100-40ER-0001-00. Produit par la division Énergie de SNC Lavalin, pour Hydro-Québec. Novembre 2005.
- Réf. 3 **Hydro-Québec. Aménagement de la rivière Romaine. Avant-projet. Études hydrologiques et énergétiques. Rapport sectoriel.** Barbet, Marc, Legendre, Pierre, Payette, Denis, Trudelle, André, Thiémonge, Nathalie. Rapport RA-2006-0015-01. Unité Conception des aménagements de production, Hydraulique et Géotechnique. Hydro-Québec Équipement. Mai 2006.
- Réf. 4 **Le Groupe-Conseil LaSalle Inc. Hydro-Québec. Projet du complexe de la Romaine. Réévaluation du régime des glaces de la rivière Romaine avant et après aménagement.** Waël Taha et Jean-Philippe Saucet. Rapport R.1661. Le Groupe-Conseil LaSalle Inc. Rapport produit pour l'unité Conception des aménagements de production, hydraulique et géotechnique d'Hydro-Québec Équipement, Hydro-Québec. Août 2007.
- Réf. 5 **Hydro-Québec. Aménagement hydroélectrique Romaine-1. Agencement et dimensionnement des ouvrages hydrauliques. Étude d'avant-projet Phase 2. Rapport sectoriel.** Bisson, Jacques. Rapport RA-2005-0039-01. Hydro-Québec Équipement. Juillet 2005.
- Réf. 6 **Hydro-Québec. Romaine : Courbes d'emménagement et surfaces ennoyées.** Galibois, Pierre. Unité Hydraulique et Géotechnique. Direction Ingénierie. Hydro-Québec Équipement. Correspondance interne CI-2004-0027-01. Hydro-Québec Équipement. 29 juillet 2004.
- Réf. 7 **Environnement Canada. Données climatiques du Canada.** Page de consultation en ligne des valeurs journalières, horaires et autres. La Voie Verte (MC), Environnement Canada. Disponible en 2005 et 2006 par le lien Internet suivant :

http://www.climate.weatheroffice.ec.gc.ca/climateData/canada_f.html

- Réf. 8** **Hydro-Québec. RESTHERM. Logiciel de modélisation des bilans thermiques en lac et en réservoir. Principes généraux et documentation de base de la version 5.00.** Laurent Bilodeau. Rapport RA-2006-0046-01. Unité Conception des aménagements de production, Hydraulique et Géotechnique. Hydro-Québec Équipement. Novembre 2006.
- Réf. 9** **Hydro-Québec. Régime thermique de l'eau à l'aval de la centrale SM-3. Comparaison entre la prévision et l'observation.** Laurent Bilodeau et Carole Ogouma. Rapport RA-2006-0010-01. Unité Conception des aménagements de production, Hydraulique et Géotechnique. Direction Ingénierie de production. Hydro-Québec Équipement. Septembre 2006.
- Réf. 10** **Hydro-Québec. RIVTHERM. Logiciel de modélisation du régime thermique des cours d'eau naturels et aménagés. Documentation générale de la version 2.02.** Laurent Bilodeau. Rapport RA-1994-0042-01 (07442-RA-94/42). Service Hydraulique. Direction Ouvrages civils. Hydro-Québec. Décembre 1994.
- Réf. 11** **Hydro-Québec. Vérification du logiciel RIVTHERM sur le cas de la rivière Péribonka entre Chute-des-Passes et Chute-du-Diable.** Laurent Bilodeau. Rapport RA-2007-0031-01. Unité Conception des aménagements de production – Hydraulique et géotechnique. Direction principale Expertise. Hydro-Québec Équipement. Émission prévue pour décembre 2007.
- Réf. 12** **USACE. HEC-RAS, River Analysis System User's manual Version 3.0.** Gary W. Brunner. Hydrologic Engineering Center, United States Army Corps of Engineers, 609 Second Street, Davis, CA, 95616-4687 U. S. A. Janvier 2001.

11 Tableaux

[Page laissée intentionnellement vide pour fins de mise en page]

Tableau 1 Principales caractéristiques hydrologiques et hydrauliques des aménagements de la Romaine selon la variante 1-BC, du point de vue de l'Étude du régime thermique

Aménagement		RO-1	RO-2		RO-3	RO-4
Paramètre	Unités		Seuil à 215 m	Seuil à 206 m		
Position du barrage	km	52,5	90,5	158,6	191,8	
Position de la confluence du canal de fuite avec la rivière	km	50,5	83,7	155,0	190,3	
Position de la confluence du canal d'évacuation avec la rivière	km	50,5	90,3	158,4	191,9	
Longueur du tronçon court-circuité	km	-	6,6	3,4	1,6	
Débit d'équipement des centrales	m ³ /s	485	453	372	307	
Débit module au barrage	m ³ /s	289,4	271,5	223,3	184,5	
Débit garanti du tronçon court-circuité	m ³ /s	2,92	2,72	2,24	1,84	
Cote du fond du réservoir	m	50,6	146	287	382	
Niveau maximum d'exploitation	m	82,3	243,8	365,8	458,6	
Niveau minimum d'exploitation – Cond. Perm.	m	81,3	238,8	352,8	442,15	
Niveau minimum d'exploitation – Cond. Trans.	m	81,3	224,8	-	-	
Marnage maximal – Conditions permanentes	m	1	5	13	16,45	
Marnage maximal – Conditions transitoires	m	1	19	-	-	
Superficie au niveau maximum d'exploitation	km ²	12,6	85,8	38,5	141,8	
Superficie au niveau minimum d'exploitation	km ²	10,9	81,1	34,4	76,9	
Cote du seuil du canal d'amenée de la centrale	m	77	215	206	340	432,75
Cote du seuil du canal d'amenée de l'évacuateur	m	65	220	348	441,5	
Largeur du seuil du canal d'amenée de la centrale	m	70	40	30	30	
Largeur du seuil du canal d'amenée de l'évacuateur	m	60	90	50	72	
Volume total au maximum d'exploitation	hm ³	147	3719	1878	2708	
Volume total au minimum d'exploitation	hm ³	-	3301	1403	953	
Temps de renouvellement de l'eau selon le débit module	j	6	158	97	170	

Tableau 2 **Contraintes de débit minimal à respecter à RO-1**

Dates	Débit (m ³ /s)
Juin	242
juillet - septembre	170
octobre	242
novembre - mai	140

Tableau 3 Liste des stations de mesure de la température de l'eau

Numéro	Latitude	Longitude	Altitude	Km	Description
RFLE0685	52,6761	64,2713		-	RIVIÈRE AUX FLEURS (ATIKONAK), RIVE GAUCHE, THERMOGRAPHE
RJOS0684	52,6033	64,7724		-	RIVIÈRE ST-JOSEPH (ATIKONAK), RIVE GAUCHE, THERMOGRAPHE
RMAY0683	52,2772	64,3301		-	RIVIÈRE FLEUR DE MAY (ATIKONAK), RIVE GAUCHE, THERMOGRAPHE
ROMA0665	50,3236	63,7533		5,2	RIVIÈRE ROMAINE, STATION LIMNIMÉTRIQUE, RIVE DROITE
ROMA0666	51,0369	63,2119		132,0	RIVIÈRE DE L'ABBÉ HUARD À L'EST DE LA RIV. ROMAINE (KM 132,0) RIVE DROITE
ROMA0667	51,3703	63,5082		193,2	RIVIÈRE ROMAINE, RIVE GAUCHE, STATION LIMNIMÉTRIQUE
ROMA0668	51,3928	63,7041		213,0	RIVIÈRE ROMAINE, RIVE GAUCHE, STATION LIMNIMÉTRIQUE
ROMA0669	51,7714	63,7172		263,5	RIVIÈRE ROMAINE, RÉSERVOIR RO-4, RIVE DROITE
ROMA0670	52,1019	63,7107		329,8	RIVIÈRE ROMAINE, AU LAC LAVOIE, RIVE DROITE
ROMA0673	51,0167	63,3760		141,1	RIVIÈRE ROMAINE, RIVE GAUCHE STATION LIMNIMÉTRIQUE
ROMA0682	50,3081	63,6217		16,2	RIVIÈRE ROMAINE, STATION THERMOGRAPHIQUE, RIVE DROITE
ROMA0689	52,5714	64,0333		400,0	RIVIÈRE ROMAINE, RIVE DROITE, STATION LIMNIMÉTRIQUE
ROMA0713	50,3853	63,2614		51,5	RIVIÈRE ROMAINE, STATION LIMNIMÉTRIQUE
ROMA0714	50,3894	63,2500		52,8	RIVIÈRE ROMAINE, STATION LIMNIMÉTRIQUE
ROMA0715	50,6414	63,1664		82,5	RIVIERE ROMAINE-SUD-EST, PK 1,2. PRES DU KM 82,5 DE LA ROMAINE. STA. LIMNI.
ROMA0729	50,3847	63,2594		52,2	RIVIERE ROMAINE, EN AVAL DE LA GRANDE CHUTE (RO-01), RIVE DROITE
ROMA0826	50,6281	63,1878		83,5	RIVIERE ROMAINE, BASSIN DES MURAILLES
ROMA0828	51,1103	63,3989		154,8	RIVIERE ROMAINE, SITE RO-3 SORTIE DE LA GALERIE D'AMENEE
ROMA0835	51,3483	63,4858		190,4	RIVIÈRE ROMAINE, SITE RO-4 SORTIE DE LA GALERIE D'AMENÉE, RIVE DROITE

Tableau 4 Différence de température de l'air entre Lac Éon et les sites ROMA0826, ROMA0828 et ROMA0835 pour trois conditions

Température de l'air à Lac Éon	Coefficients d'ajustement		T. de l'air aux sites (° C)			Écart avec Lac Éon (° C)		
	a	b	-20	0	+15	-20	0	+15
			T air aux sites			Écart		
ROMA0835 (aval de RO-4)	1,27	0,98	-18,3	1,3	16,0	1,7	1,3	1,0
ROMA0828 (aval de RO-3)	2,28	0,92	-16,1	2,3	16,1	3,9	2,3	1,1
ROMA0826 (aval de RO-2)	3,13	0,90	-14,9	3,1	16,6	5,1	3,1	1,6

Notes:

- Les coefficients a et b s'utilisent ainsi: $T(\text{site}) = a + b * T(\text{Lac Éon})$.
- Avec un écart positif, la température du site est plus élevée que celle de Lac Éon.
- Les températures de l'air de -20 et de +15 °C s'associent bien avec l'hiver et l'été.

Tableau 5 Rivière Garneau à sa confluence avec la Romaine (PK 192 de la Romaine). Moyennes mensuelles de la température de l'eau.

	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Été
Médiane	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	9,7	14,6	15,1	10,3	3,0	0,0	0,0	13,0
Moyenne	0,0	0,0	0,0	0,0	1,2	9,6	14,6	14,9	10,2	2,9	0,0	0,0	13,3
Valeur basse	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	8,7	8,5	3,9	0,0	0,0	0,0	11,9
Valeur élevée	0,0	0,0	0,0	0,5	11,6	17,7	19,9	20,9	17,6	12,3	2,7	0,0	15,2

Note : La rivière Garneau est l'affluent principal du réservoir RO-3.

Tableau 6 Rivière de l'Abbé-Huard à sa confluence avec la Romaine (PK 181 de la Romaine). Moyennes mensuelles de la température de l'eau.

	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Été
Médiane	0,0	0,0	0,0	0,0	1,4	9,4	14,7	15,7	10,9	4,8	0,0	0,0	12,5
Moyenne	0,0	0,0	0,0	0,0	1,4	9,4	14,7	15,7	10,9	4,7	0,3	0,0	12,6
Valeur basse	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	7,4	11,5	13,7	8,8	3,8	0,0	0,0	11,9
Valeur élevée	0,0	0,0	0,0	0,0	3,7	12,2	15,6	17,5	14,5	6,2	1,3	0,2	14,5

Note : La rivière de l'Abbé-Huard est l'affluent principal du réservoir RO-2.

Tableau 7 Rivière Romaine Sud-Est à sa confluence avec la Romaine (PK 132 de la Romaine). Moyennes mensuelles de la température de l'eau.

	Jan.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil	Août	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Été
Médiane	0,0	0,0	0,0	0,0	3,4	9,8	13,8	15,4	11,8	6,8	1,2	0,0	12,5
Moyenne	0,0	0,0	0,0	0,0	3,4	10,2	14,1	15,4	12,0	6,9	1,5	0,0	12,9
Valeur basse	0,0	0,0	0,0	0,0	1,4	7,9	10,9	13,2	9,3	5,5	0,0	0,0	10,9
Valeur élevée	0,0	0,0	0,0	0,2	6,1	13,6	17,4	17,7	14,9	10,9	3,9	0,5	15,5

Note : La rivière Romaine Sud-Est est l'affluent principal du tronçon fluvial reliant la centrale RO-2 au réservoir RO-1.

Tableau 8 Rivière Romaine au PK 290 en conditions actuelles. Moyennes mensuelles de la température de l'eau.

	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Été
Médiane	0,0	0,0	0,0	0,0	1,8	8,4	14,0	14,8	10,9	3,9	0,0	0,0	11,8
Moyenne	0,0	0,0	0,0	0,0	1,8	8,6	13,7	14,8	10,6	3,8	0,1	0,0	11,9
Valeur basse	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	5,6	11,8	13,1	8,4	1,8	0,0	0,0	10,4
Valeur élevée	0,0	0,0	0,0	0,6	3,7	11,0	15,1	16,8	13,9	5,8	0,7	0,0	14,0

Tableau 9 Rivière Romaine au PK 153 en conditions actuelles. Moyennes mensuelles de la température de l'eau.

	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Été
Médiane	0,0	0,0	0,0	0,0	3,1	10,7	15,6	15,7	10,8	5,5	0,9	0,0	13,0
Moyenne	0,0	0,0	0,0	0,0	2,6	10,9	15,2	15,7	10,9	5,6	0,9	0,0	13,2
Valeur basse	0,0	0,0	0,0	0,0	0,6	8,9	12,6	13,9	8,7	4,4	0,0	0,0	11,9
Valeur élevée	0,0	0,0	0,0	0,0	5,3	13,3	16,5	17,5	13,9	7,5	2,2	0,0	14,9

Tableau 10 Rivière Romaine au PK 51 en conditions actuelles. Moyennes mensuelles de la température de l'eau.

	Jan.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil	Août	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Été
Médiane	0,0	0,0	0,0	0,0	2,7	10,9	17,1	17,5	12,7	5,7	0,6	0,0	14,3
Moyenne	0,0	0,0	0,0	0,0	2,8	11,4	16,9	17,5	12,7	5,9	0,6	0,0	14,6
Valeur basse	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	8,6	15,0	16,1	10,5	4,2	0,0	0,0	13,4
Valeur élevée	0,0	0,0	0,0	0,1	5,3	13,7	18,2	19,6	15,6	8,2	1,5	0,0	16,2

Tableau 11 Rivière Romaine au PK 16 en conditions actuelles. Moyennes mensuelles de la température de l'eau.

	Jan.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil	Août	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Été
Médiane	0,0	0,0	0,0	0,0	2,5	10,5	16,8	17,4	12,8	6,1	0,7	0,0	14,2
Moyenne	0,0	0,0	0,0	0,0	2,6	10,9	16,6	17,4	12,9	6,2	0,7	0,0	14,4
Valeur basse	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	8,1	14,8	16,1	10,7	4,5	0,0	0,0	13,2
Valeur élevée	0,0	0,0	0,0	0,1	5,1	13,3	18,0	19,5	15,7	8,5	1,7	0,0	16,0

Tableau 12 Aménagement Romaine-4. Moyennes mensuelles de la température de l'eau.

	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Été
Nappe superficielle													
Médiane	0,4	0,4	0,5	1,0	4,9	12,2	17,8	18,0	13,9	7,5	1,6	0,4	15,3
Basse	0,3	0,3	0,4	0,5	3,3	9,1	15,1	16,1	11,8	4,9	0,5	0,2	13,9
Haute	0,5	0,5	0,6	1,5	7,4	14,9	18,5	20,1	16,6	9,2	3,7	0,6	16,9
Nappe profonde													
Médiane	2,9	2,9	2,9	2,9	3,9	4,9	5,5	6,4	6,5	5,4	3,2	2,9	5,7
Basse	2,0	2,1	2,2	2,3	3,3	4,5	5,0	5,7	5,8	4,4	2,2	2,0	5,4
Haute	3,5	3,4	3,4	3,4	4,2	5,7	6,4	7,2	7,5	6,0	3,8	3,5	6,6
Canal de fuite de la centrale													
Médiane	0,9	0,9	0,9	1,1	4,2	7,8	10,3	12,9	12,3	7,1	1,5	1,0	16,2
Basse	0,4	0,4	0,5	0,4	1,4	4,7	6,9	9,9	8,2	1,6	0,4	0,5	14,9
Haute	2,2	1,9	1,8	2,6	7,7	11,0	13,8	15,1	14,9	13,1	6,2	2,2	17,6
Évacuateur de crue													
Médiane	0,5	0,5	0,6	0,8	4,2	9,6	14,8	16,7	13,3	7,4	0,7	0,6	15,6
Basse	0,4	0,4	0,4	0,0	1,2	4,7	9,7	13,3	8,5	1,5	0,2	0,3	14,4
Haute	1,7	1,2	1,0	2,4	11,1	15,4	18,7	19,6	17,3	13,8	6,5	1,5	17,0
Rivière Romaine en conditions actuelles au PK 153													
Médiane	0,0	0,0	0,0	0,0	3,1	10,7	15,6	15,7	10,8	5,5	0,9	0,0	13,0
Basse	0,0	0,0	0,0	0,0	0,6	8,9	12,6	13,9	8,7	4,4	0,0	0,0	11,9
Haute	0,0	0,0	0,0	0,0	5,3	13,3	16,5	17,5	13,9	7,5	2,2	0,0	14,9

Notes:

- Fréquemment, la nappe superficielle ne recouvre pas le réservoir au complet.
- En hiver, les valeurs observables pourraient s'écarter de $\pm 50\%$ de la moyenne sur 4 m de profondeur qui est présentée ici.
- La précision de la valeur de la moyenne est évaluée à environ $\pm 0,5$ °C en hiver et à environ $\pm 1,5$ °C en été.
- La valeur d'été est la moyenne des mois de juin, juillet, août et septembre de chacune des années.
- Le nombre de chiffres après la virgule n'est pas une indication de la précision.

Tableau 13 Aménagement Romaine-3. Moyennes mensuelles de la température de l'eau.

	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Été
--	------	------	------	-------	-----	------	-------	------	------	------	------	------	-----

Nappe superficielle

Médiane	0,8	0,7	0,7	1,1	4,1	10,8	16,4	17,2	13,9	8,5	3,5	0,8	14,7
Basse	0,4	0,4	0,5	0,8	3,0	8,7	14,8	15,1	12,2	6,1	1,6	0,4	13,1
Haute	1,0	1,5	1,5	1,7	6,5	14,0	17,8	18,6	16,3	9,6	5,3	1,1	16,1

Nappe profonde

Médiane	3,1	3,1	3,1	3,1	3,6	5,1	5,5	5,8	5,7	5,9	4,1	3,1	5,5
Basse	2,4	2,5	2,5	2,6	3,2	4,5	4,8	5,1	4,9	5,1	3,1	2,4	4,8
Haute	3,9	3,9	3,8	3,6	4,2	6,2	6,5	6,8	6,9	6,6	5,2	3,9	6,6

Canal de fuite de la centrale

Médiane	1,3	1,2	1,1	1,5	3,7	8,6	12,7	14,7	12,9	8,0	3,6	1,3	1,3
Basse	0,7	0,6	0,6	1,0	3,0	6,9	10,8	12,4	11,3	5,7	1,8	0,6	0,7
Haute	2,0	1,9	1,8	2,0	4,9	10,2	16,0	16,2	15,2	10,9	5,0	2,3	2,0

Évacuateur de crue

Médiane	1,0	0,9	0,8	1,1	3,8	9,1	12,3	14,5	13,1	8,1	3,6	0,9	1,0
Basse	0,5	0,5	0,5	0,8	3,0	7,8	10,8	11,8	11,6	5,8	1,5	0,5	0,5
Haute	1,3	1,7	1,7	1,7	4,9	11,3	15,9	16,1	15,3	10,9	5,0	2,5	1,3

Rivière Romaine en conditions actuelles au PK 153

Médiane	0,0	0,0	0,0	0,0	3,1	10,7	15,6	15,7	10,8	5,5	0,9	0,0	13,0
Basse	0,0	0,0	0,0	0,0	0,6	8,9	12,6	13,9	8,7	4,4	0,0	0,0	11,9
Haute	0,0	0,0	0,0	0,0	5,3	13,3	16,5	17,5	13,9	7,5	2,2	0,0	14,9

Notes:

- Fréquemment, la nappe superficielle ne recouvre pas le réservoir au complet.
- En hiver, les valeurs observables pourraient s'écarter de $\pm 50\%$ de la moyenne sur 4 m de profondeur qui est présentée ici.
- La précision de la valeur de la moyenne est évaluée à environ $\pm 0,5$ °C en hiver et à environ $\pm 1,5$ °C en été.
- La valeur d'été est la moyenne des mois de juin, juillet, août et septembre de chacune des années.
- Le nombre de chiffres après la virgule n'est pas une indication de la précision.

Tableau 14 Réservoir Romaine-2. Moyennes mensuelles et estivale de la température de l'eau.

	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Été
--	------	------	------	-------	-----	------	-------	------	------	------	------	------	-----

Nappe superficielle.

Médiane	1,0	1,0	0,9	1,2	3,9	12,3	18,4	18,9	15,4	10,5	5,1	1,0	16,2
Basse	0,5	0,5	0,5	0,8	3,2	10,3	16,5	16,9	13,9	8,3	2,6	0,5	14,9
Haute	1,6	1,5	1,5	1,9	6,2	15,6	19,3	20,5	17,7	11,6	6,6	1,5	17,6

Nappe profonde.

Médiane	3,4	3,4	3,3	3,3	3,9	4,7	5,1	5,8	6,2	5,7	4,6	3,5	5,4
Basse	3,0	2,9	2,8	2,8	3,6	4,3	4,8	5,4	5,5	5,2	3,8	3,1	5,1
Haute	3,9	3,9	3,8	3,8	4,1	5,1	5,5	6,1	6,5	6,1	5,2	4,0	5,8

Centrale Romaine-2, canal de fuite.

Médiane	2,0	1,8	1,7	1,7	3,7	7,3	9,8	11,9	12,4	9,4	4,8	2,1	10,3
Basse	1,2	1,2	1,1	1,3	3,1	6,6	7,6	10,9	11,1	7,3	3,0	1,1	9,3
Haute	2,9	2,7	2,5	2,6	4,3	8,1	10,4	13,1	13,9	10,4	6,2	3,1	11,3

Évacuateur de crue de Romaine-2.

Médiane	1,7	1,3	1,3	1,5	3,7	7,5	10,3	14,5	14,3	10,0	4,8	1,9	11,6
Basse	0,6	0,6	0,7	1,0	3,1	5,5	9,5	12,7	13,3	7,9	2,9	0,7	10,5
Haute	3,2	2,9	2,3	2,1	4,2	8,6	12,8	16,1	15,9	11,0	6,3	3,3	13,1

Rivière Romaine au PK 51. Conditions actuelles.

Médiane	0,0	0,0	0,0	0,0	2,7	10,9	17,1	17,5	12,7	5,7	0,6	0,0	14,3
Basse	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	8,6	15,0	16,1	10,5	4,2	0,0	0,0	13,4
Haute	0,0	0,0	0,0	0,1	5,3	13,7	18,2	19,6	15,6	8,2	1,5	0,0	16,2

Notes:

- Fréquemment, la nappe superficielle ne recouvre pas le réservoir au complet.
- En hiver, les valeurs observables pourraient s'écarter de $\pm 50\%$ de la moyenne sur 4 m de profondeur qui est présentée ici.
- La précision de la valeur de la moyenne est évaluée à environ $\pm 0,5$ °C en hiver et à environ $\pm 1,5$ °C en été.
- La valeur d'été est la moyenne des mois de juin, juillet, août et septembre de chacune des années.

Le nombre de chiffres après la virgule n'est pas une indication de la précision.

Tableau 15 Réservoir Romaine-1. Moyennes mensuelles et estivale de la température de l'eau.

	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Été
--	------	------	------	-------	-----	------	-------	------	------	------	------	------	-----

Réservoir Romaine-1, PK 62.

Médiane	0,6	0,8	1,3	2,0	4,2	8,0	10,8	12,6	12,6	9,0	3,8	0,9	10,9
Basse	0,0	0,2	0,7	1,6	3,7	7,2	9,8	11,6	11,2	7,0	1,8	0,2	10,2
Haute	1,5	1,5	1,9	3,0	4,8	8,9	11,5	13,7	14,1	9,8	5,5	2,1	11,9

Nappe superficielle du réservoir Romaine-1.

Médiane	0,4	0,6	1,0	1,7	5,1	10,0	14,1	15,2	13,8	9,2	3,4	0,7	13,1
Basse	0,0	0,1	0,5	1,2	4,4	8,8	12,6	14,1	12,2	7,1	1,4	0,2	12,3
Haute	1,2	1,2	1,6	2,9	6,1	11,4	15,5	16,4	15,7	10,2	5,2	1,8	14,3

Nappe profonde du réservoir Romaine-1.

Médiane	2,5	2,4	2,2	2,4	4,2	6,2	8,0	8,5	8,7	8,0	4,0	2,6	7,9
Basse	1,8	1,6	1,6	1,8	3,9	5,8	6,4	6,7	7,2	6,6	2,6	1,9	6,6
Haute	3,0	3,0	2,9	3,0	4,8	8,4	10,4	11,3	11,9	9,6	5,5	3,2	10,5

Centrale Romaine-1, canal de fuite - PK 50,5 de la Romaine.

Médiane	0,6	0,7	1,1	1,8	4,9	9,0	12,5	13,8	12,7	8,8	3,3	0,9	11,9
Basse	0,0	0,2	0,6	1,3	4,2	8,1	10,9	12,5	11,4	6,8	1,4	0,3	11,1
Haute	1,4	1,3	1,8	2,8	5,5	10,1	14,2	14,8	14,5	9,7	5,0	2,0	13,0

Rivière Romaine au PK 51. Conditions actuelles.

Médiane	0,0	0,0	0,0	0,0	2,7	10,9	17,1	17,5	12,7	5,7	0,6	0,0	14,3
Basse	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	8,6	15,0	16,1	10,5	4,2	0,0	0,0	13,4
Haute	0,0	0,0	0,0	0,1	5,3	13,7	18,2	19,6	15,6	8,2	1,5	0,0	16,2

Notes:

- Fréquemment, la nappe superficielle ne recouvre pas le réservoir au complet.
- En hiver, les valeurs observables pourraient s'écarter de $\pm 50\%$ de la moyenne sur 4 m de profondeur qui est présentée ici.
- La précision de la valeur de la moyenne est évaluée à environ $\pm 0,5$ °C en hiver et à environ $\pm 1,5$ °C en été.
- La valeur d'été est la moyenne des mois de juin, juillet, août et septembre de chacune des années.
- Le nombre de chiffres après la virgule n'est pas une indication de la précision.

Tableau 16 Rivière Romaine en aval de l'aménagement Romaine-1. Moyennes mensuelles et estivale de la température de l'eau.

	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Été
--	------	------	------	-------	-----	------	-------	------	------	------	------	------	-----

PK 50,5 de la rivière Romaine - Centrale Romaine-1, canal de fuite - Conditions futures.

Médiane	0,6	0,7	1,1	1,8	4,9	9,0	12,5	13,8	12,7	8,8	3,3	0,9	11,9
Basse	0,0	0,2	0,6	1,3	4,2	8,1	10,9	12,5	11,4	6,8	1,4	0,3	11,1
Haute	1,4	1,3	1,8	2,8	5,5	10,1	14,2	14,8	14,5	9,7	5,0	2,0	13,0

PK 35 de la rivière Romaine - Conditions futures.

Médiane	0,0	0,1	0,9	2,1	5,3	9,4	13,2	14,2	12,9	8,6	2,9	0,3	12,4
Basse	0,0	0,0	0,3	1,6	4,6	8,5	11,5	12,9	11,6	6,7	0,9	0,0	11,4
Haute	0,3	0,7	1,4	3,0	5,9	10,6	15,1	15,2	14,7	9,6	4,6	1,2	13,4

PK 16 de la rivière Romaine - Conditions futures.

Médiane	0,0	0,0	0,8	2,5	6,0	10,1	14,1	14,9	13,0	8,5	2,4	0,1	13,0
Basse	0,0	0,0	0,3	1,8	5,2	9,2	12,3	13,5	11,8	6,5	0,6	0,0	12,0
Haute	0,1	0,5	1,3	3,5	6,6	11,3	16,5	15,9	14,9	9,4	4,1	0,4	14,0

PK 51 de la rivière Romaine - Conditions actuelles.

Médiane	0,0	0,0	0,0	0,0	2,7	10,9	17,1	17,5	12,7	5,7	0,6	0,0	14,3
Basse	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	8,6	15,0	16,1	10,5	4,2	0,0	0,0	13,4
Haute	0,0	0,0	0,0	0,1	5,3	13,7	18,2	19,6	15,6	8,2	1,5	0,0	16,2

PK 16 de la rivière Romaine - Conditions actuelles.

Médiane	0,0	0,0	0,0	0,0	2,5	10,5	16,8	17,4	12,8	6,1	0,7	0,0	14,4
Basse	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	8,1	14,8	16,1	10,7	4,5	0,0	0,0	13,2
Haute	0,0	0,0	0,0	0,1	5,1	13,3	18,0	19,5	15,7	8,5	1,7	0,0	16,0

- Les valeurs qualifient les moyennes mensuelles calculées sur une période de 20 années.
- Le nombre de chiffres après la virgule n'est pas une indication de la précision absolue; il sert à indiquer les tendances.
- La précision de la médiane est évaluée à environ $\pm 50\%$ de décembre à avril et à environ $\pm 1,5\text{ °C}$ le reste de l'année.
- L'été représente ici la moyenne des valeurs de juin, juillet, août et septembre d'une année donnée.

Tableau 17 Aménagement Romaine-2 et rivière Romaine en conditions transitoires (absence de Romaine-4 et de Romaine-3, marnage de 19 m), en l'absence de Romaine-1. Moyennes mensuelles de la température de l'eau aux exutoires et à l'aval.

	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Été
--	------	------	------	-------	-----	------	-------	------	------	------	------	------	-----

Centrale Romaine-2, canal de fuite

Médiane	1,8	1,7	1,6	1,7	3,3	7,6	10,6	12,9	12,5	8,7	4,0	1,9	10,7
Basse	0,4	0,4	0,4	0,3	0,9	3,8	6,3	7,8	7,4	4,3	1,0	0,5	10,1
Haute	2,9	2,7	2,6	3,0	8,1	12,7	17,1	17,7	16,7	13,4	7,7	3,1	12,1

Évacuateur de crue de Romaine-2

Médiane	1,1	0,6	0,5	0,5	3,2	8,3	12,0	15,5	14,7	9,6	4,0	1,8	12,5
Basse	0,2	0,2	0,2	0,0	0,2	3,8	4,9	7,2	9,4	4,3	0,2	0,3	11,4
Haute	3,2	2,7	1,7	1,6	8,6	15,5	18,2	19,0	17,3	14,4	7,8	3,4	15,0

PK 51

Médiane	0,2	0,2	1,4	2,8	4,7	8,9	12,2	14,2	13,0	8,5	3,1	0,5	12,0
Basse	0,1	0,1	0,7	2,1	3,9	7,4	11,3	13,0	11,5	6,9	1,3	0,1	11,1
Haute	0,7	1,3	2,2	3,4	5,9	10,2	14,2	15,3	14,6	9,8	5,4	1,3	13,3

PK 35

Médiane	0,1	0,1	1,3	3,3	5,3	9,4	12,9	14,7	13,3	8,4	2,9	0,2	12,4
Basse	0,0	0,0	0,6	2,3	4,5	7,7	11,9	13,5	11,6	6,8	1,0	0,0	11,6
Haute	0,3	0,9	2,1	4,0	6,5	10,6	14,8	15,7	14,8	9,9	5,3	0,8	13,7

PK 16

Médiane	0,0	0,1	1,3	3,9	6,3	10,0	13,9	15,4	13,5	8,2	2,6	0,1	13,1
Basse	0,0	0,0	0,5	2,6	5,3	8,2	12,7	14,3	11,8	6,7	0,8	0,0	12,2
Haute	0,1	0,7	2,1	4,7	7,4	11,3	15,8	16,4	15,1	10,1	5,1	0,5	14,3

- Les valeurs basses et hautes ont été calculées sur une période de 20 années à partir des valeurs journalières.
- Le nombre de chiffres après la virgule aide à indiquer les tendances et n'est pas une indication de la précision absolue.
- La précision de la valeur de la moyenne est évaluée à environ $\pm 0,5$ °C en hiver et à environ $\pm 1,5$ °C en été.

Tableau 18 Aménagement Romaine-1 et rivière Romaine en conditions transitoires (absence de Romaine-4 et de Romaine-3, marnage de 19 m à Romaine-2). Moyennes mensuelles de la température de l'eau aux exutoires et à l'aval.

Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Été
------	------	------	-------	-----	------	-------	------	------	------	------	------	-----

Centrale Romaine-1, canal de fuite - PK 51

Médiane	0,4	0,4	1,0	2,0	5,0	9,3	12,8	14,6	12,9	8,3	2,8	0,8	12,3
Basse	0,0	0,1	0,6	1,5	4,0	7,6	11,6	13,4	11,4	6,6	1,2	0,3	11,4
Haute	1,4	1,5	2,0	2,7	6,2	10,5	14,6	15,7	14,8	9,4	4,7	1,9	13,5

PK 35

Médiane	0,1	0,1	0,9	2,4	5,5	9,5	13,2	14,5	12,8	8,0	2,3	0,3	12,4
Basse	0,0	0,0	0,4	1,8	4,3	7,7	11,8	13,5	11,3	6,2	0,6	0,1	11,5
Haute	0,2	0,6	1,5	3,3	6,3	10,7	14,8	15,6	14,7	9,0	3,9	0,7	13,7

PK 16

Médiane	0,0	0,1	0,9	3,1	6,3	10,1	14,1	15,2	13,1	7,9	2,1	0,1	12,0
Basse	0,0	0,0	0,3	2,2	5,1	8,1	12,5	14,2	11,6	6,2	0,5	0,0	13,0
Haute	0,1	0,4	1,6	4,0	7,1	11,4	15,8	16,3	15,0	9,0	3,6	0,4	14,4

Notes:

- Fréquemment, la nappe superficielle ne recouvre pas le réservoir au complet.
- En hiver, les valeurs observables pourraient s'écarter de $\pm 50\%$ de la moyenne sur 4 m de profondeur qui est présentée ici.
- La précision de la valeur de la moyenne est évaluée à environ $\pm 0,5$ °C en hiver et à environ $\pm 1,5$ °C en été.
- La valeur d'été est la moyenne des mois de juin, juillet, août et septembre de chacune des années.
- Le nombre de chiffres après la virgule n'est pas une indication de la précision.

[Page laissée intentionnellement vide pour fins de mise en page]

12 Figures

[Page laissée intentionnellement vide pour fins de mise en page]

Figure 1 Représentation schématique de la rivière Romaine aménagée pour l'étude de régime thermique

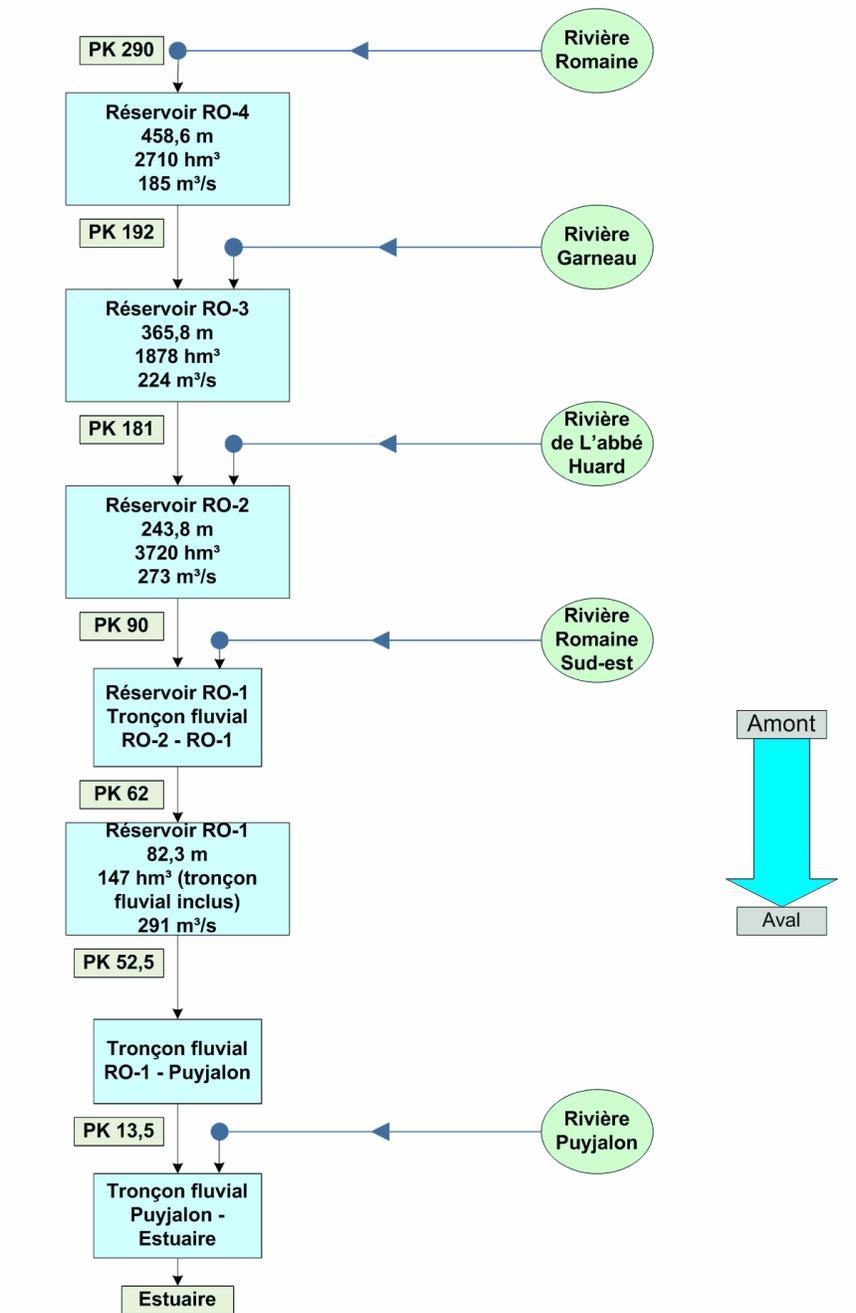


Figure 2 Position géographique des stations météorologiques de la région de la rivière Romaine pour lesquelles des séries sont disponibles

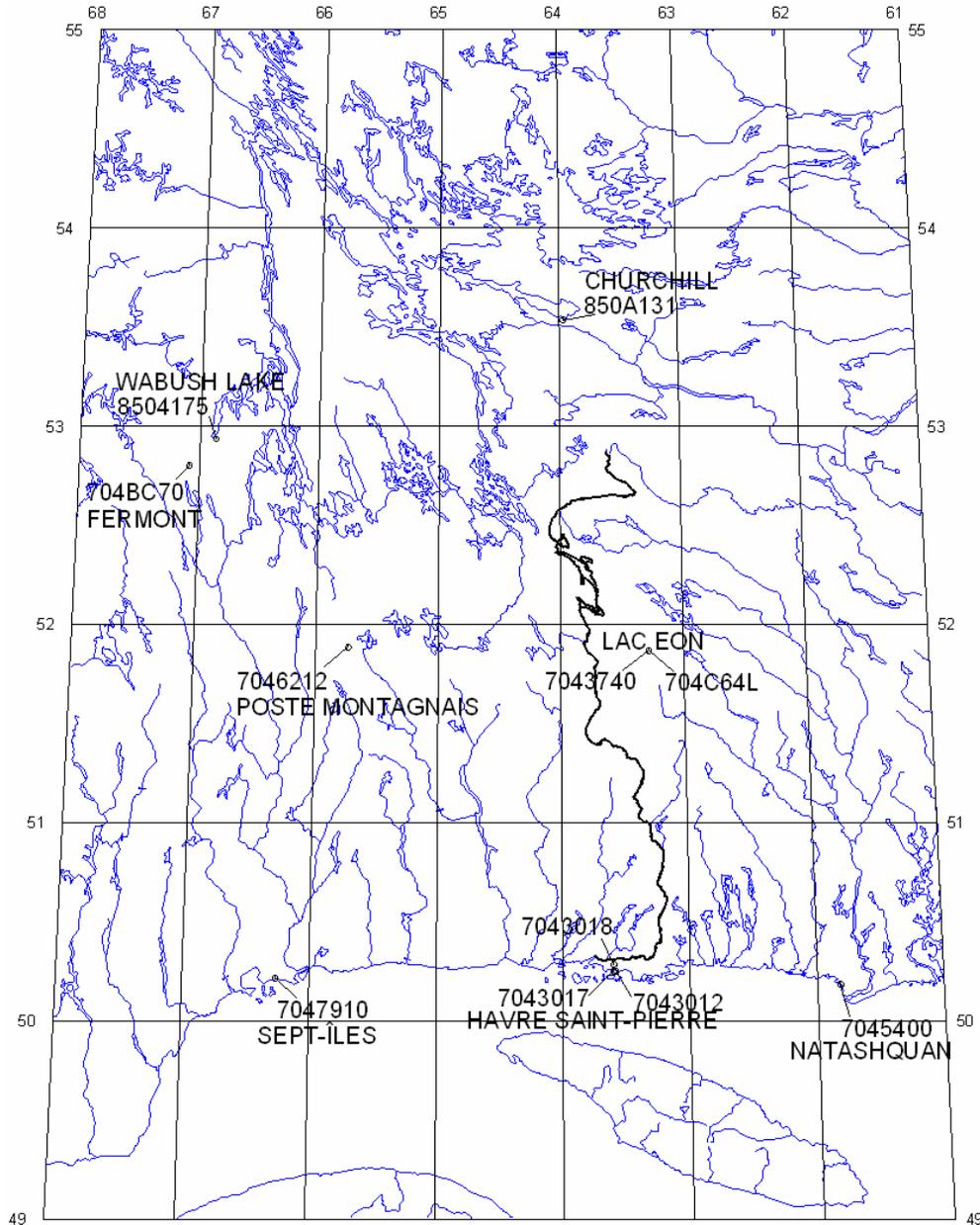


Figure 3 Historique de disponibilité des séries de la moyenne journalière de la température de l'air de la région du complexe Romaine.

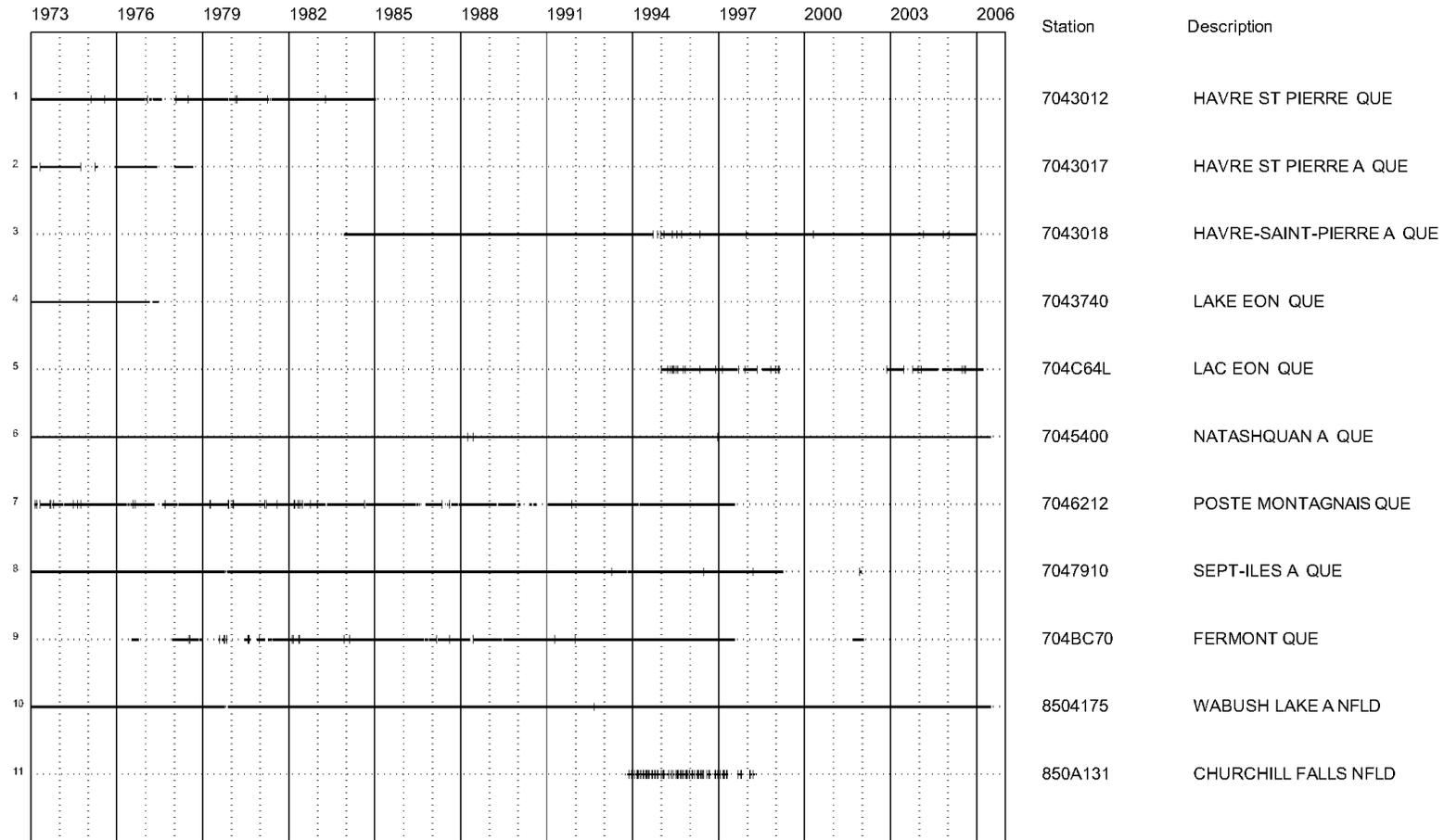


Figure 4 Position des stations de mesure de paramètres météorologiques le long de la rivière Romaine

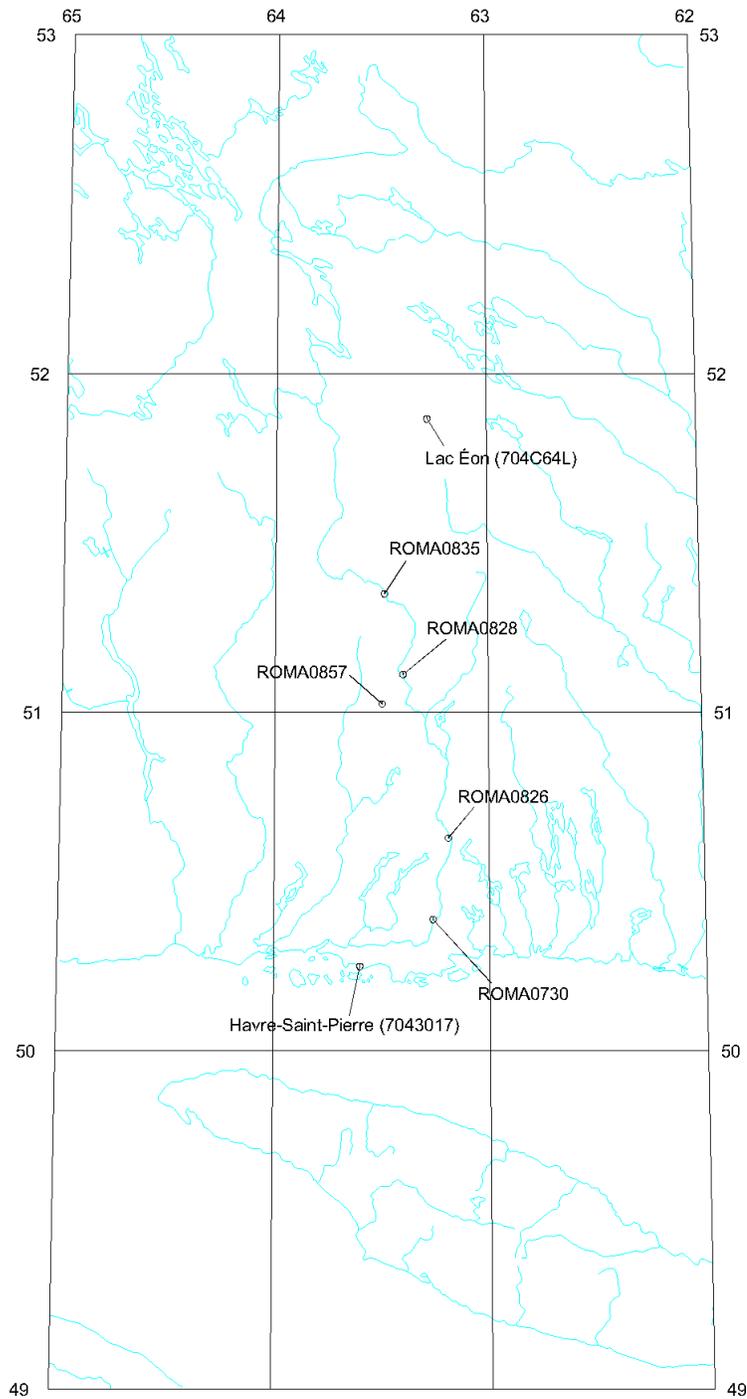


Figure 5 Historique de la disponibilité des séries de température de l'air le long de la Romaine

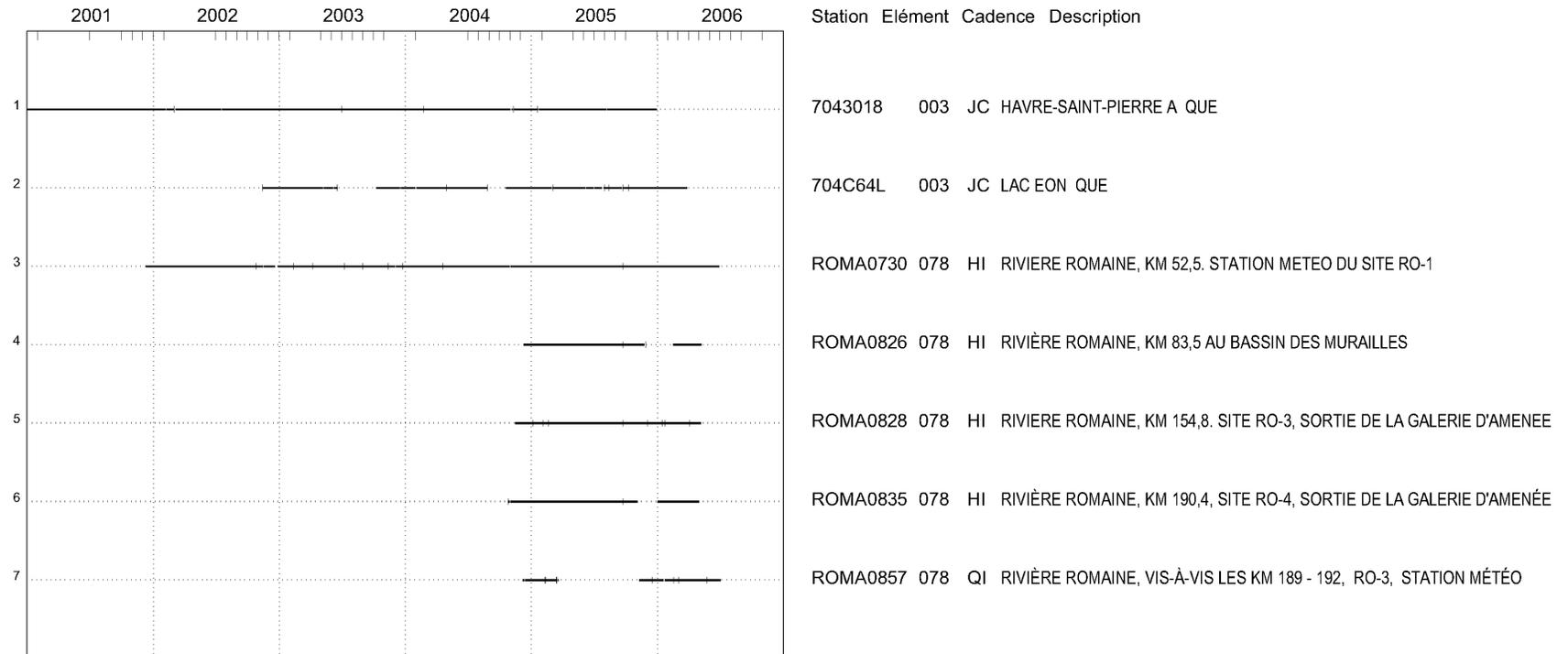


Figure 6 Schéma général de représentation d'un lac ou réservoir avec le logiciel RESTHERM 5.

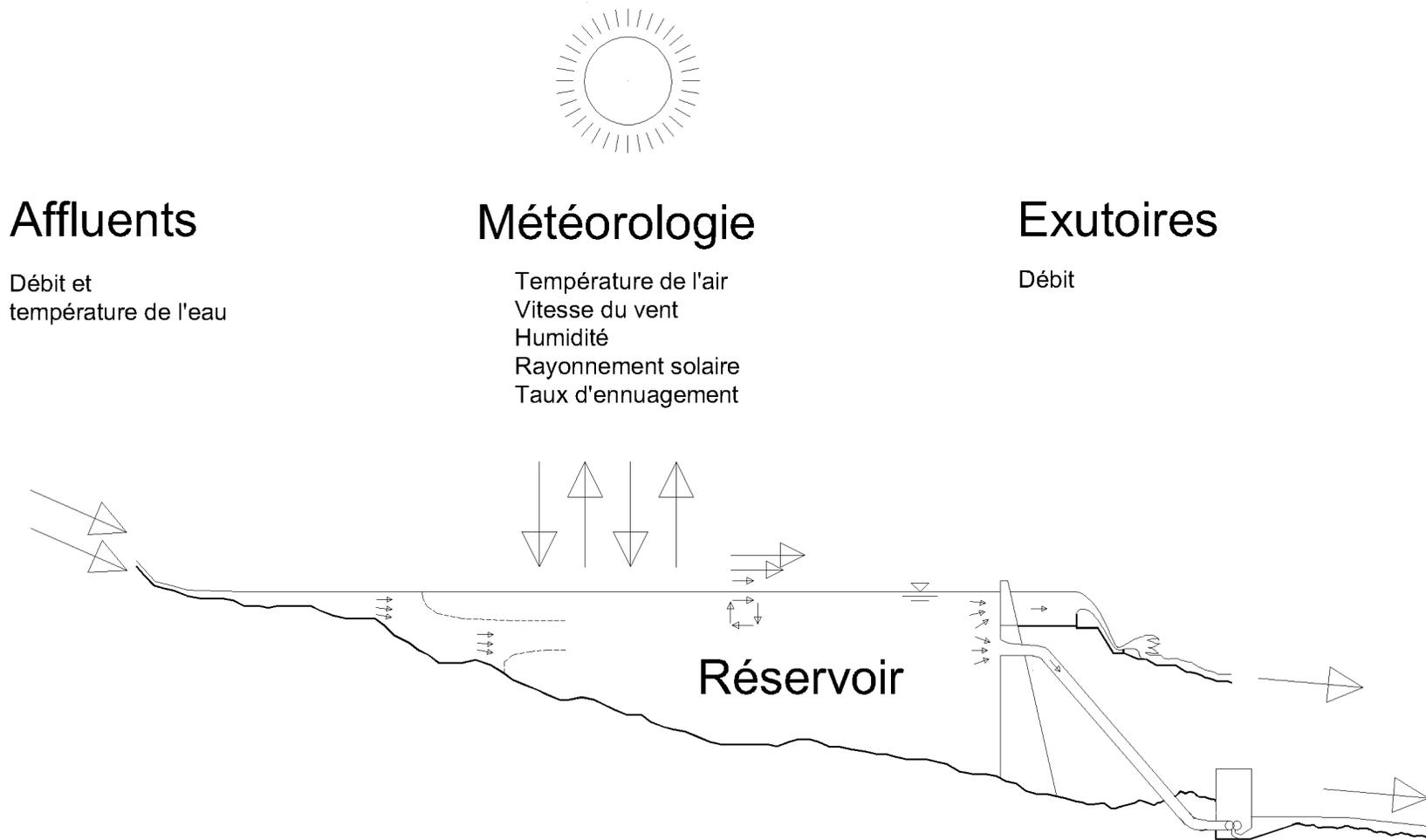


Figure 7 Wabush - 8504175. Température de l'air désaisonnalisée de 1960 à 2005.

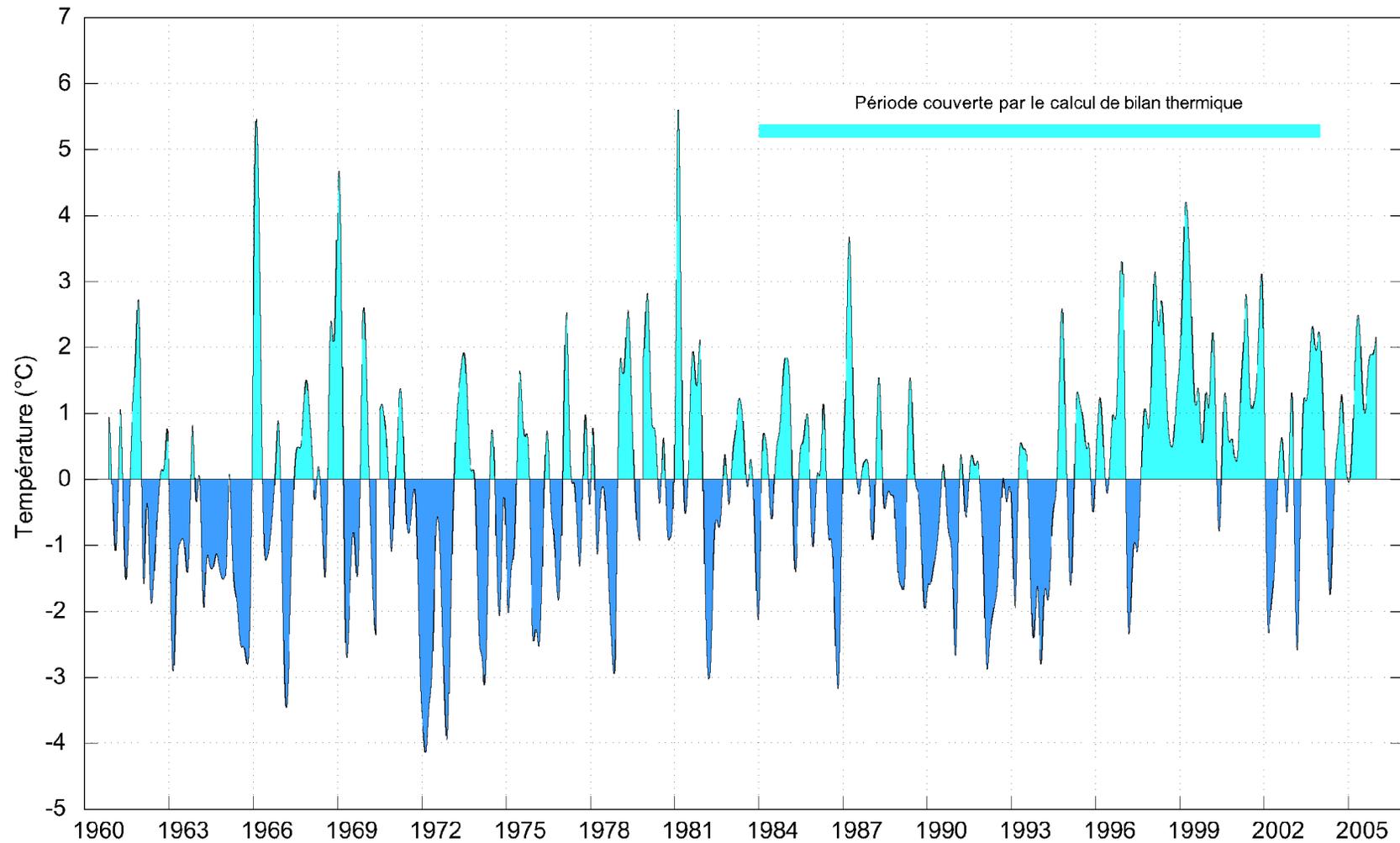


Figure 8 Wabush - 8504175. Température de l'air désaisonnalisée de 1984 à 2003

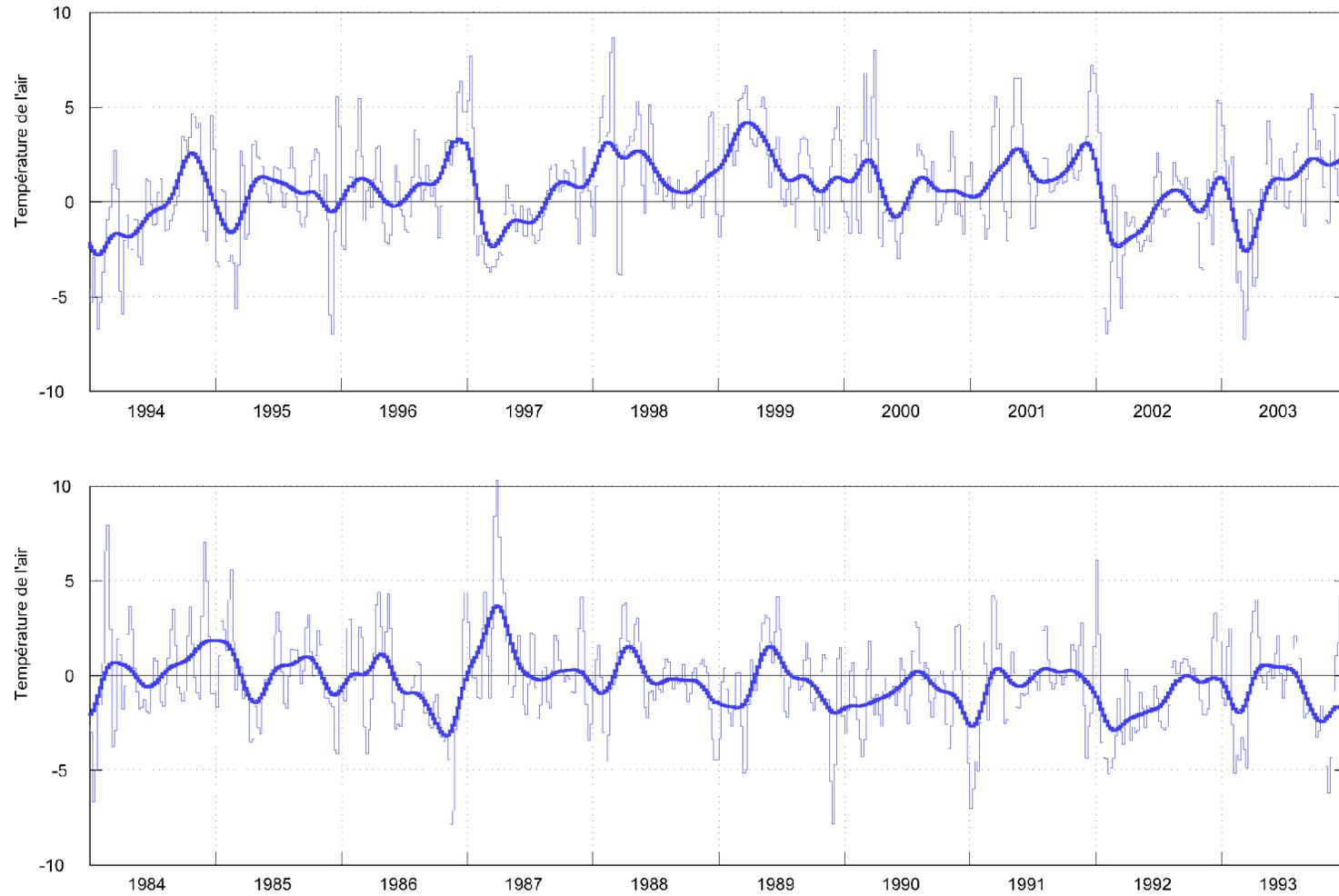


Figure 9 Cycle annuel de l'écart de température de l'air entre l'aval de RO-1 (ROMA0730) et Lac Éon (704C64L)

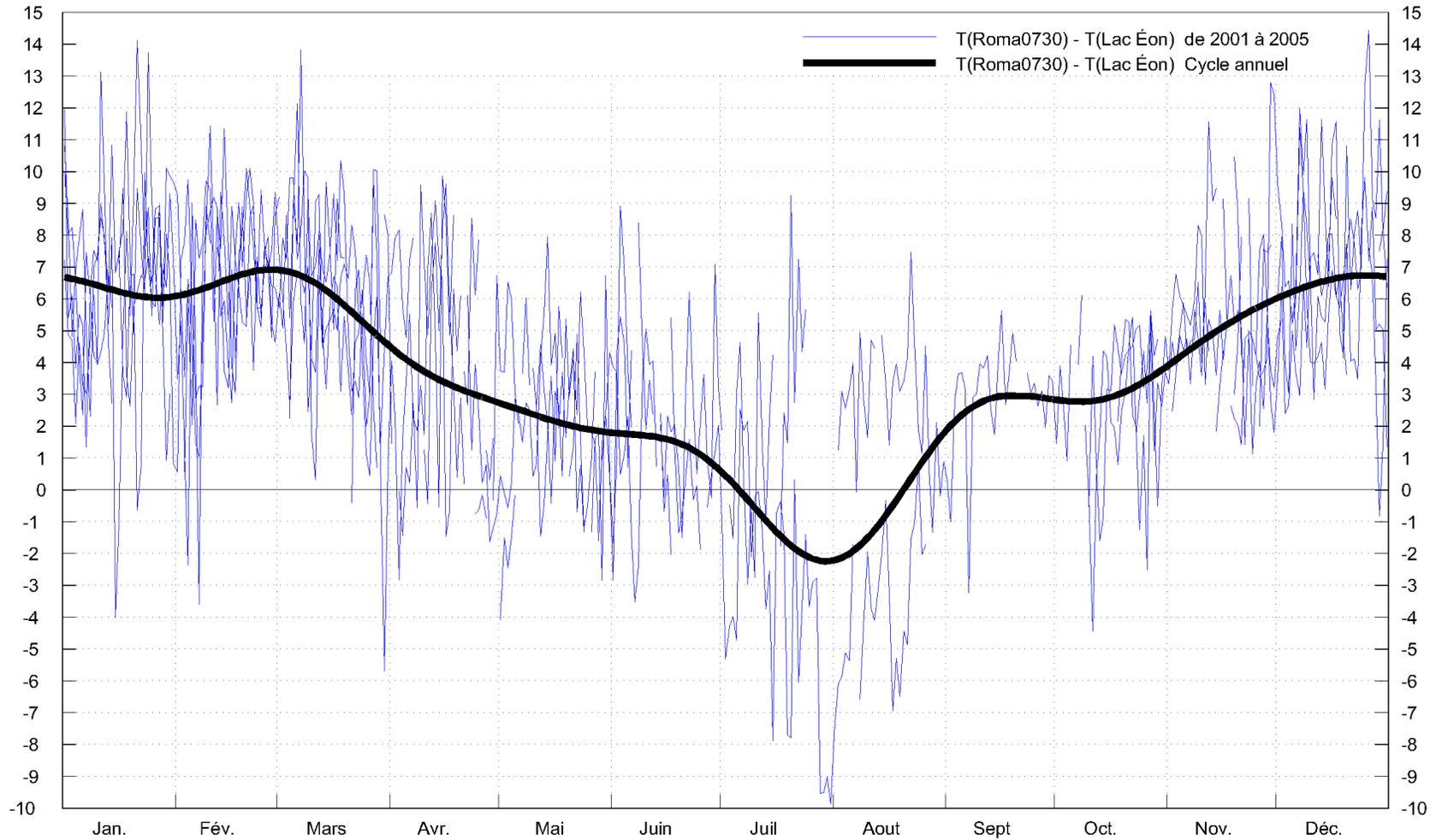


Figure 10 Cycle annuel de l'écart de température de l'air entre l'aval de RO-1 (ROMA0730) et Havre-Saint-Pierre (7043017)

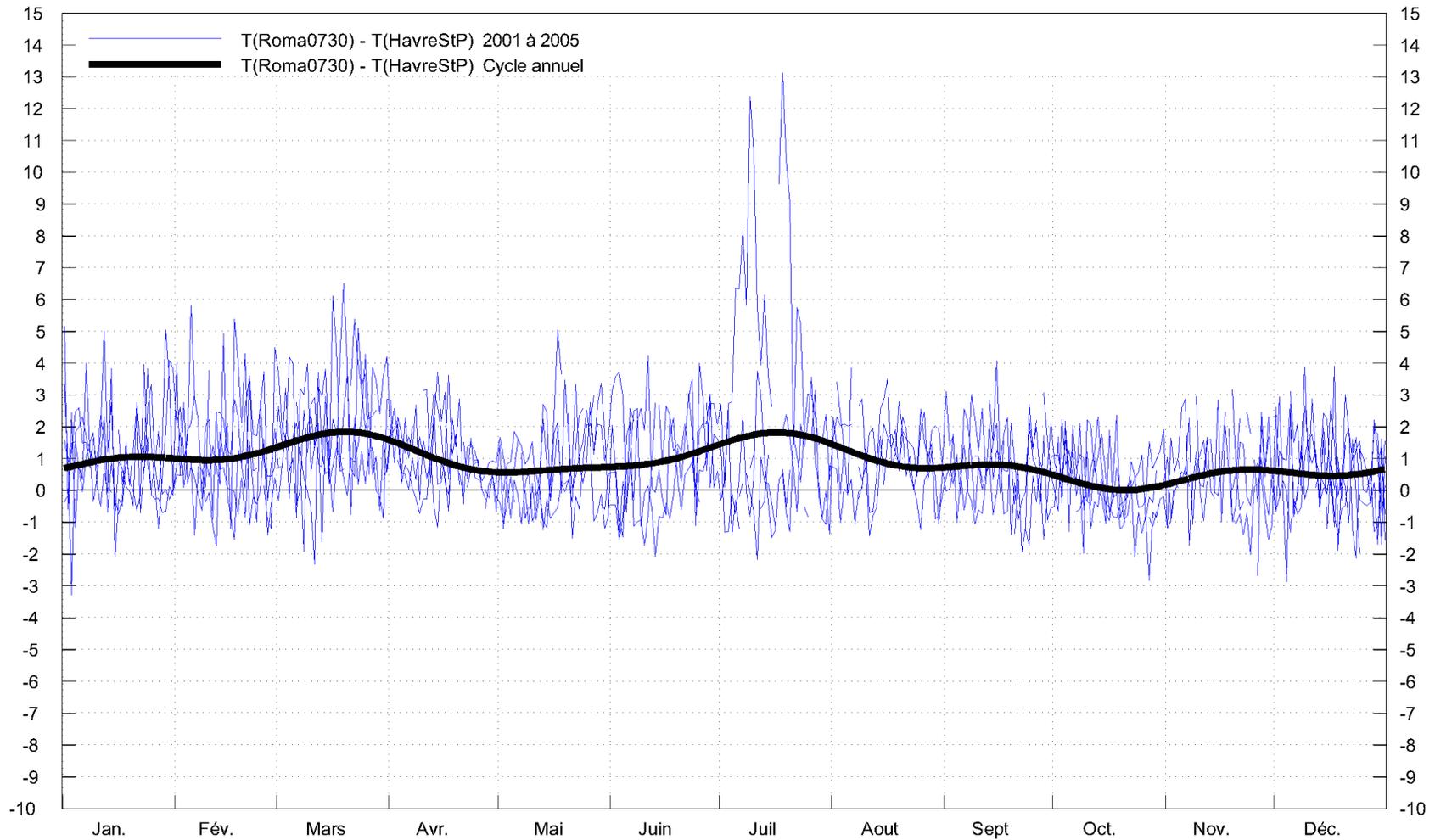


Figure 11 Température de l'air à l'aval de RO-2 (ROMA0826) en fonction de celle de Lac Éon (704C64L)

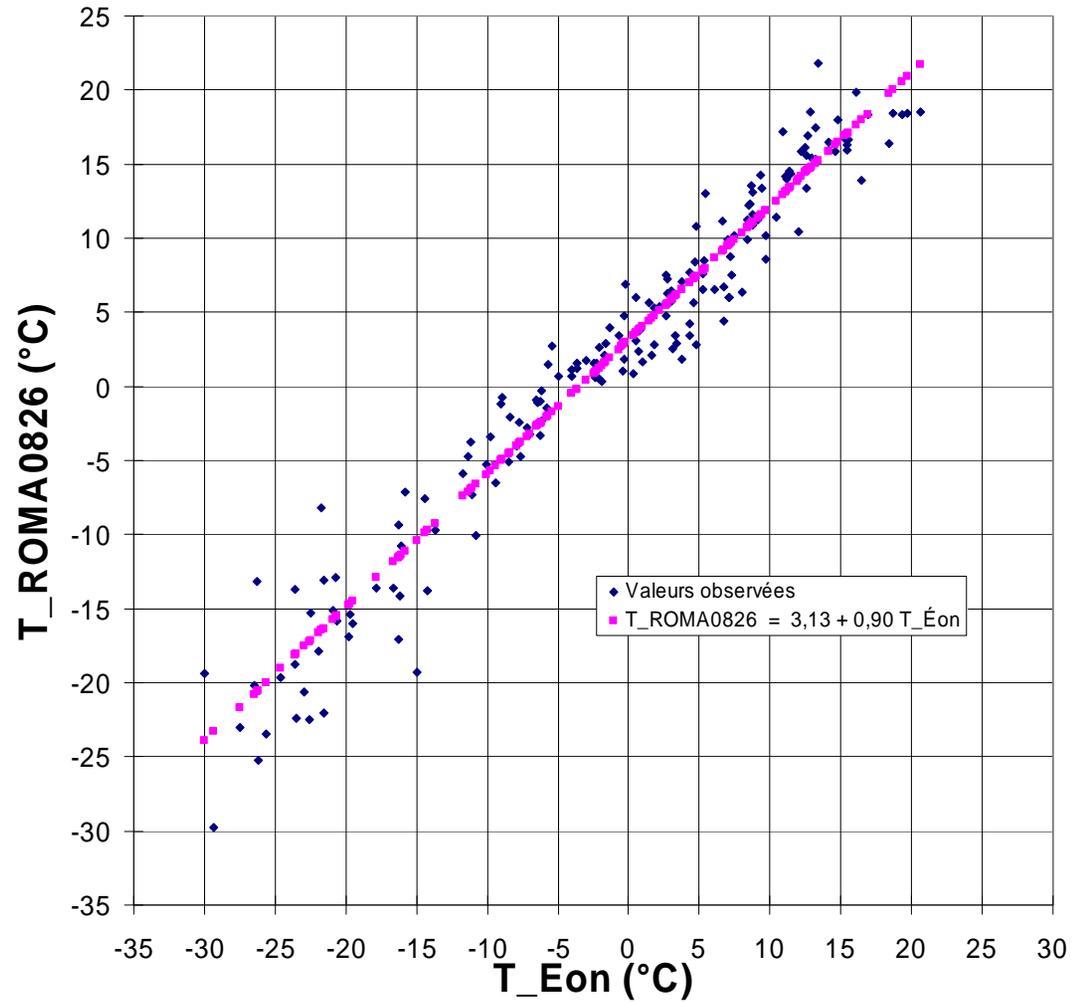


Figure 12 Température de l'air à l'aval de RO-3 (ROMA0828) en fonction de celle de Lac Éon (704C64L)

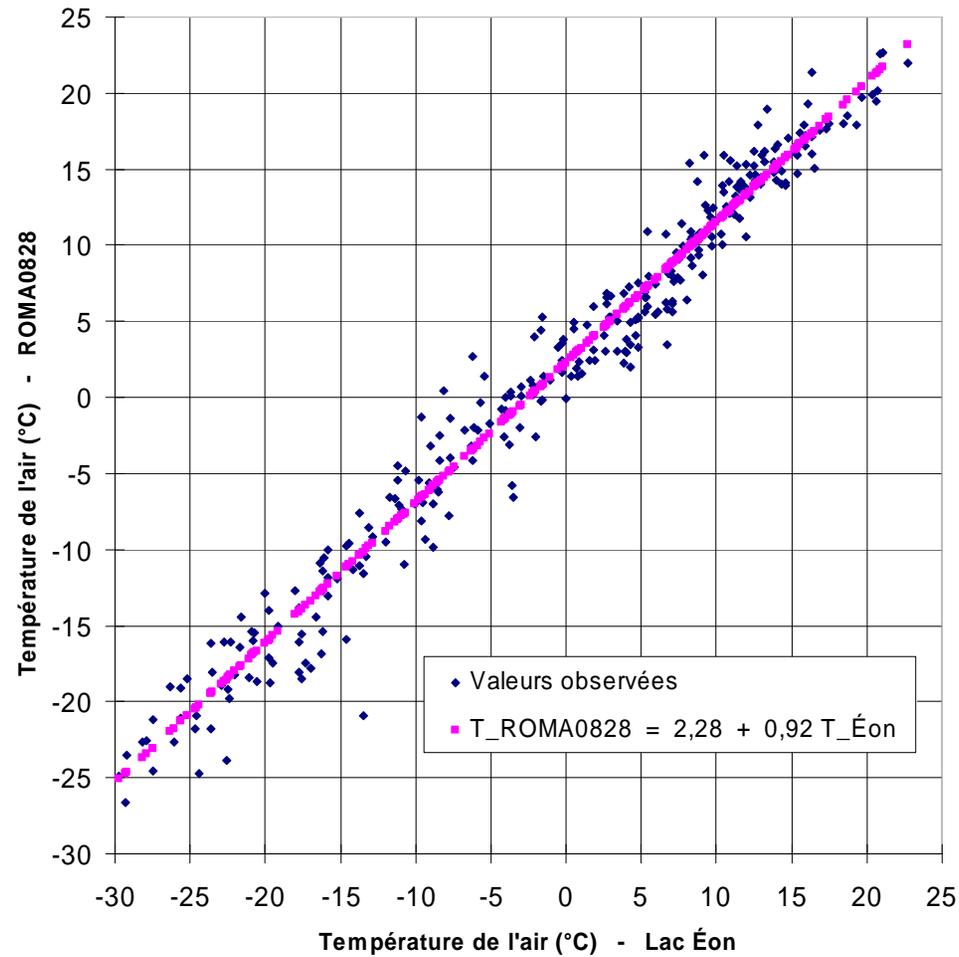


Figure 13 Température de l'air à l'aval de RO-4 (ROMA0835) et ajustement en fonction de celle de Lac Éon (704C64L)

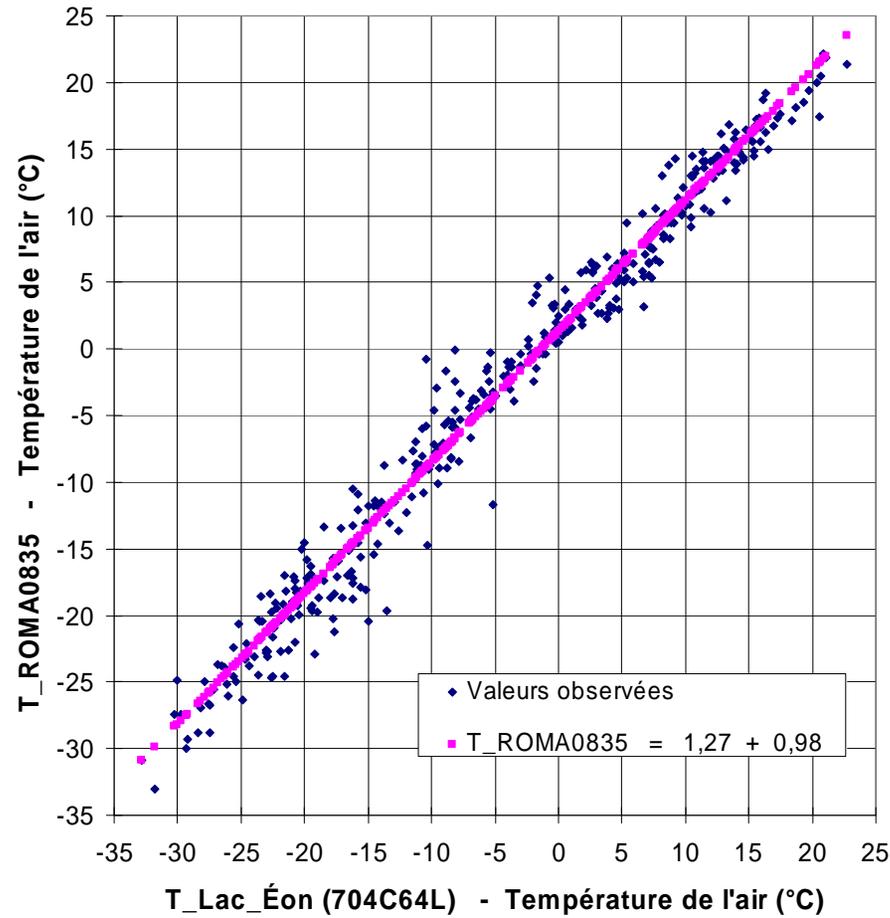


Figure 14 Température de l'eau de la rivière Garneau et des autres affluents du réservoir RO-3 telle que représentée par calcul, en contexte avec D'autres variables hydrométéorologiques pour 2000 et 2001.

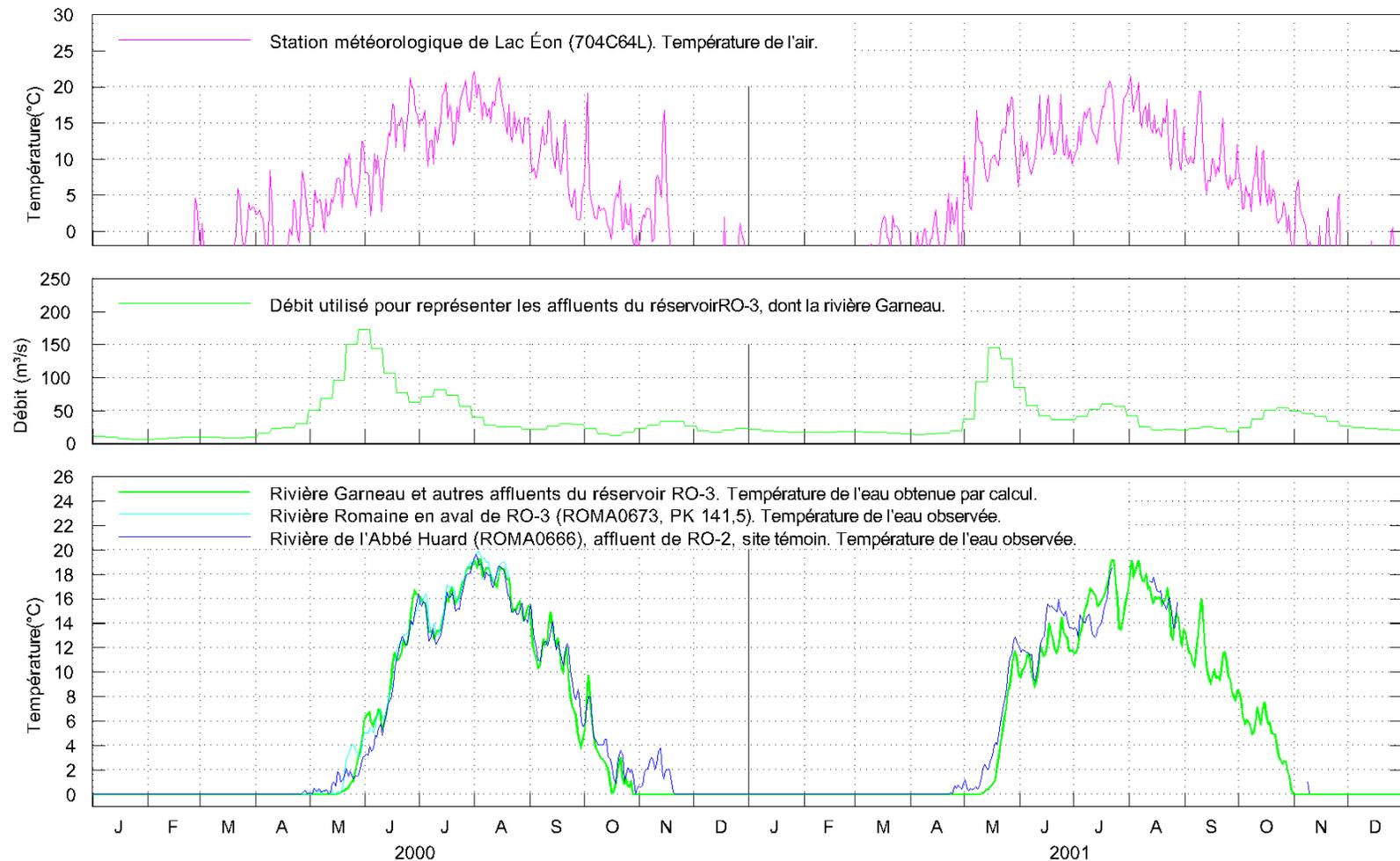


Figure 15 Température de l'eau de la rivière de l'Abbé-Huard telle que mesurée et reproduite par calcul pour 2000 et 2001.

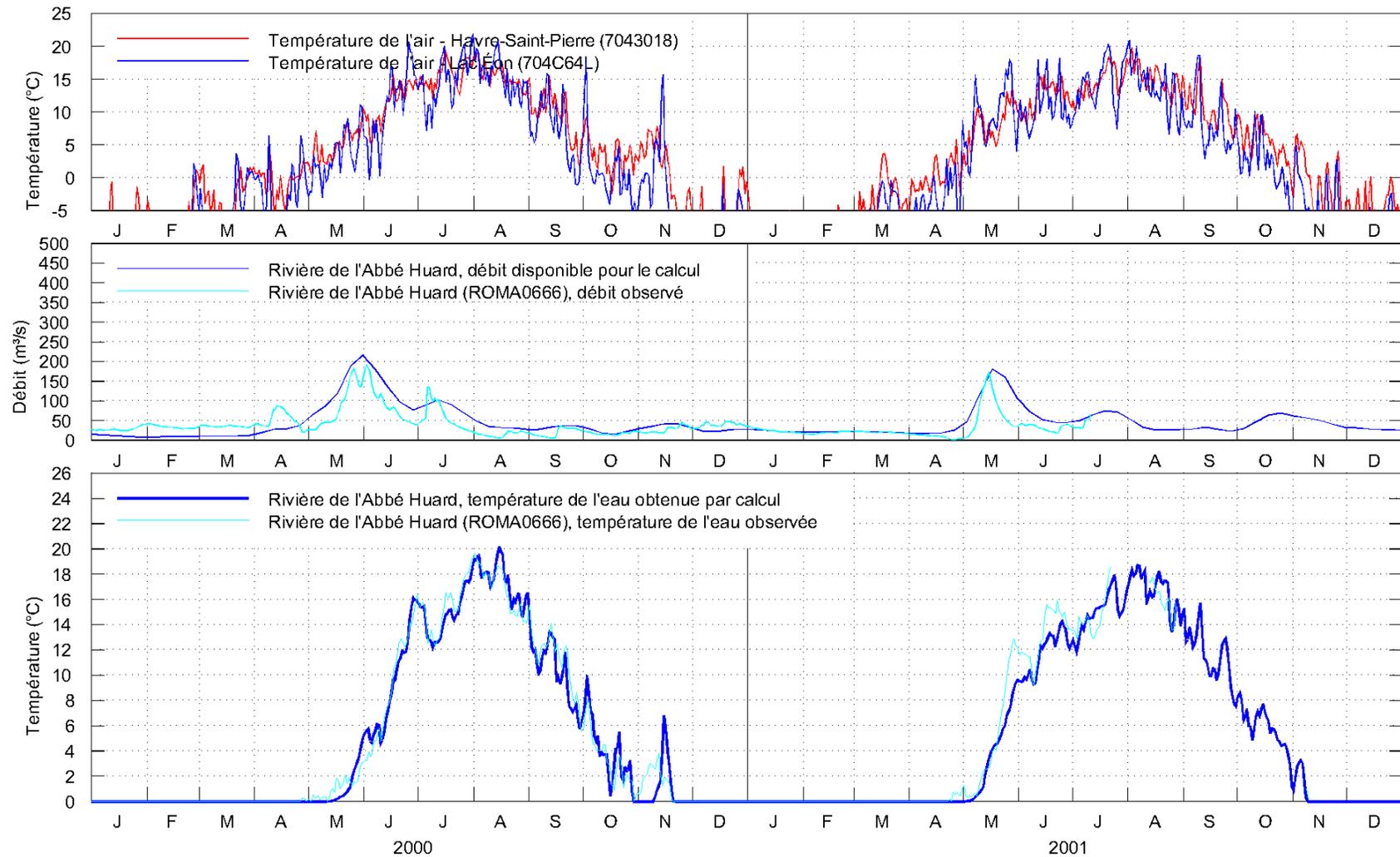


Figure 16 Température de l'eau de la rivière Romaine Sud-Est telle que mesurée et reproduite par calcul pour 2003 et 2004.

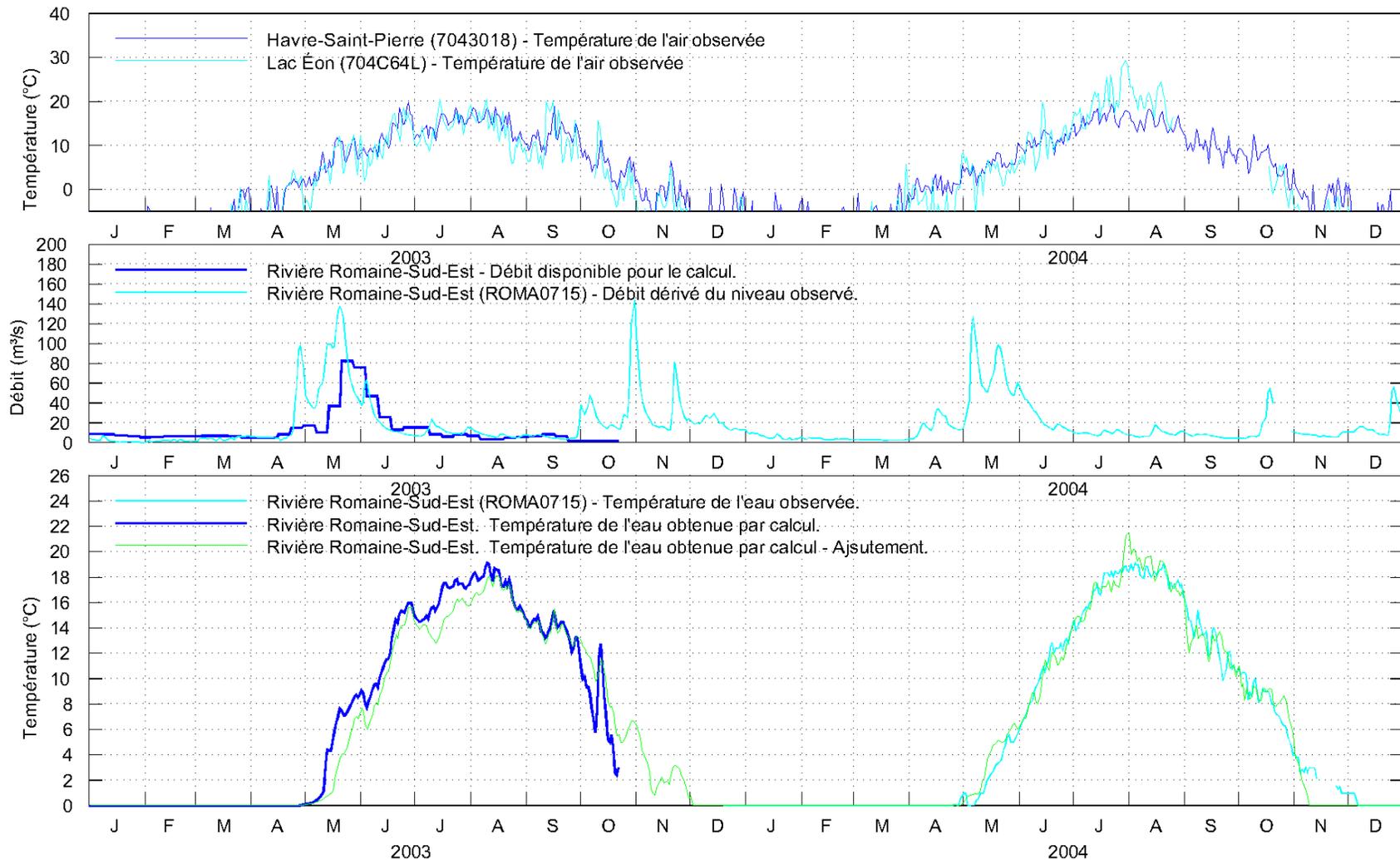


Figure 17 Rivière Garneau, représentant les affluents du réservoir RO-3.

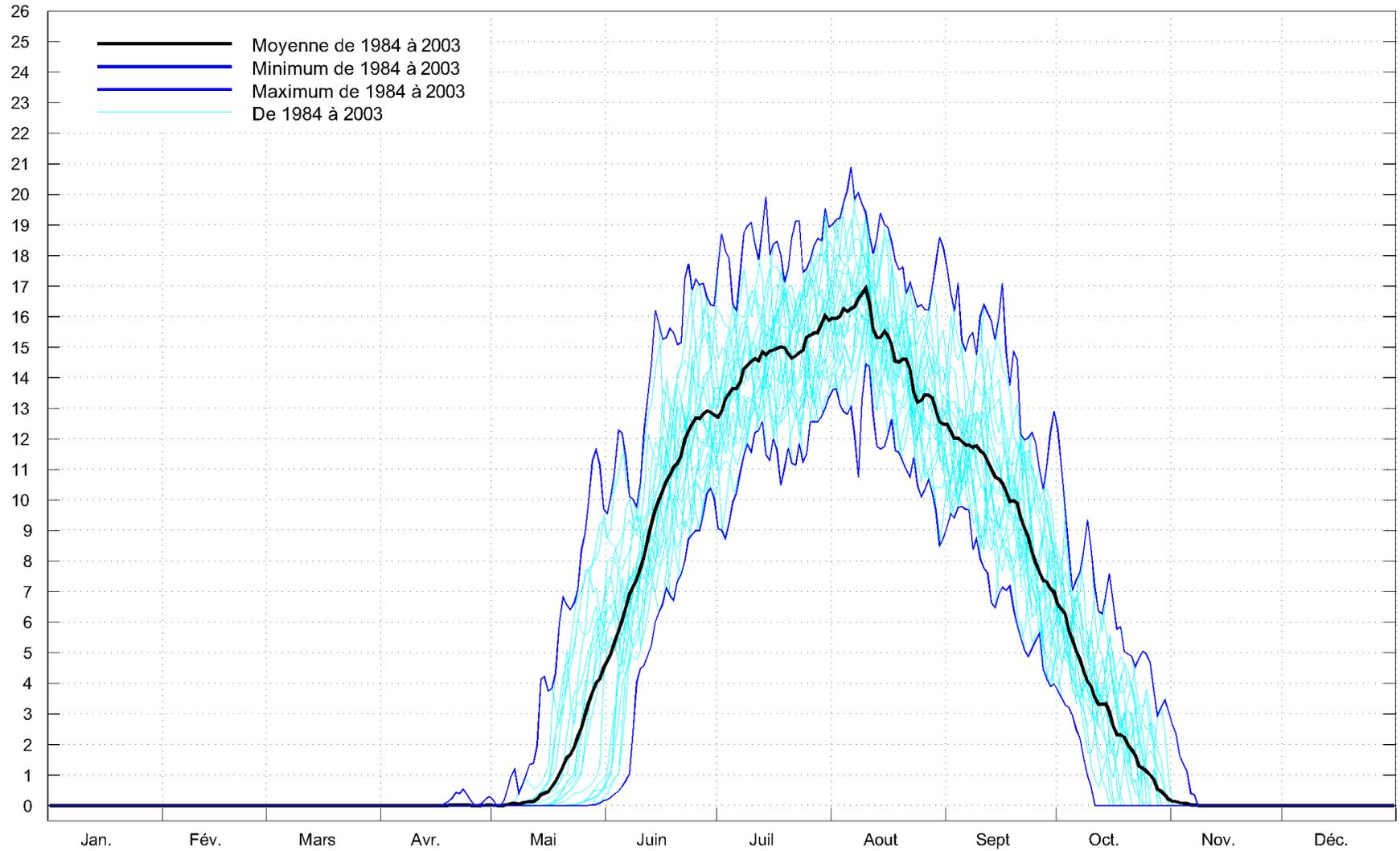


Figure 18 Rivière de l'Abbé-Huard, affluent du réservoir RO-2.

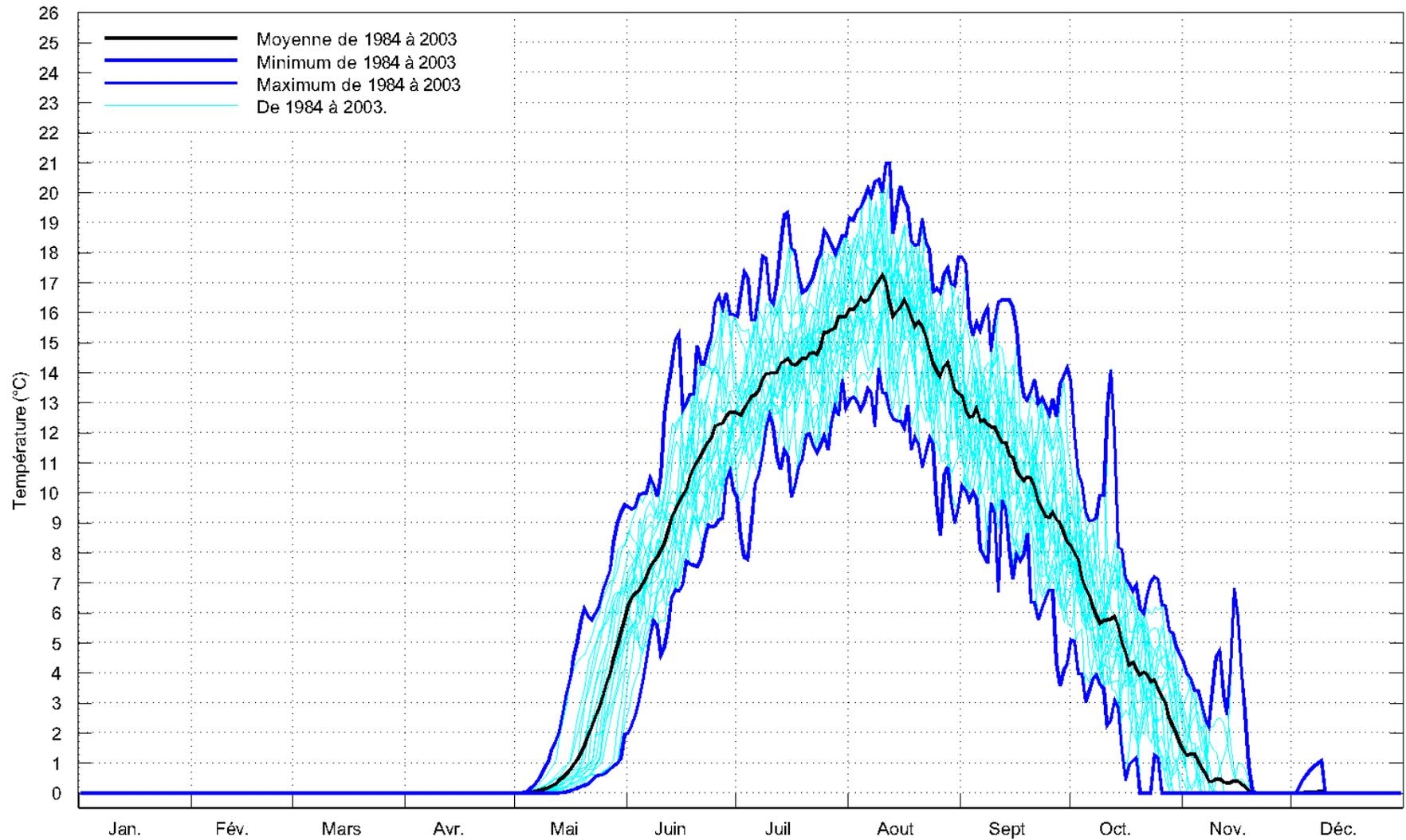


Figure 19 Rivière Romaine Sud-Est, affluent du tronçon fluvial reliant la centrale RO-2 au réservoir RO-1.

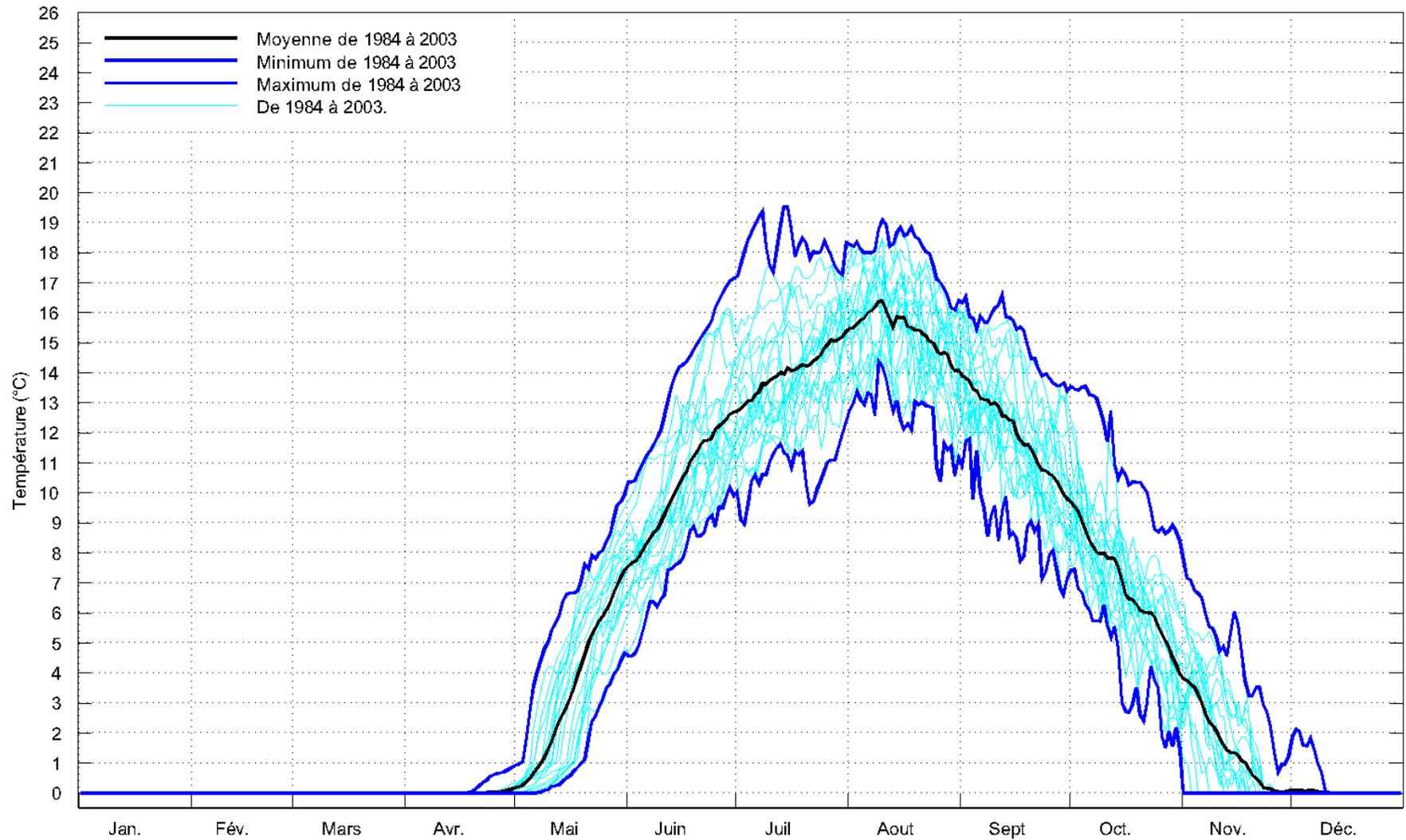


Figure 20 Température de l'eau au PK 290 de la rivière Romaine à l'état naturel telle que mesurée et reproduite par calcul pour 2000 et 2001.

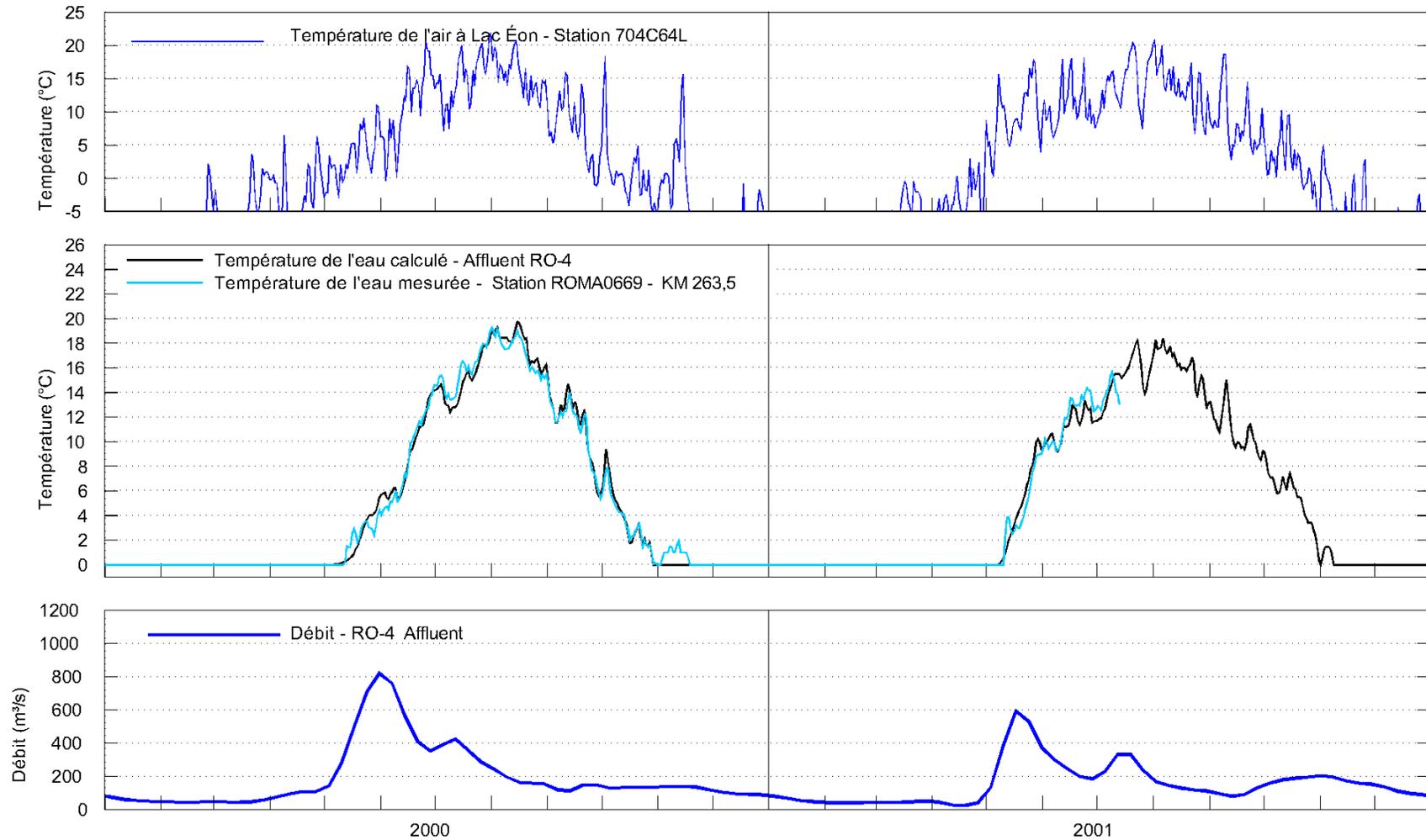


Figure 21 Température de l'eau de la rivière Romaine au PK 153, à l'état naturel et en tant qu'affluent du réservoir RO-2 durant les conditions transitoires qui précèdent la mise en service de RO-3 et RO-4.

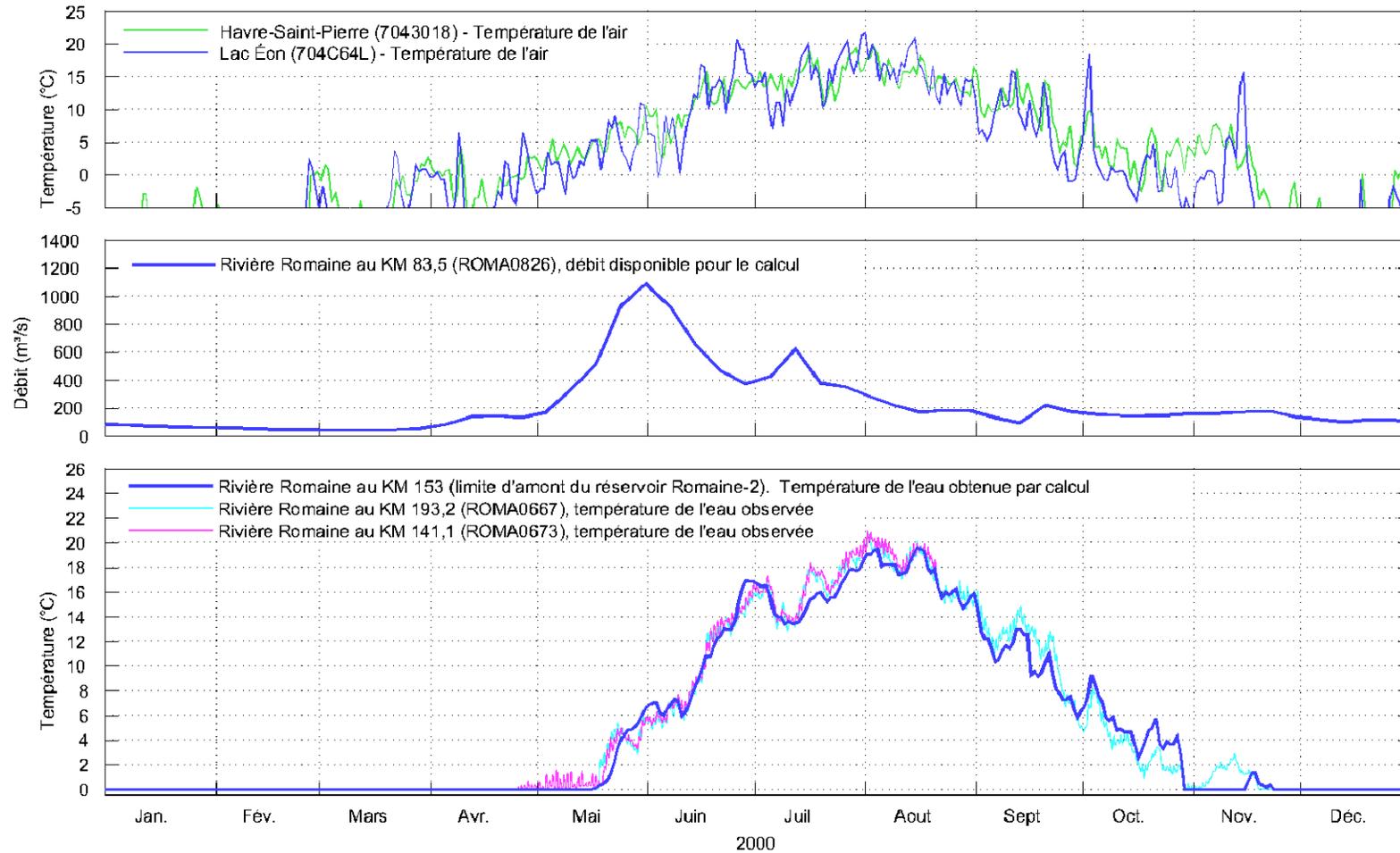


Figure 22 Température de l'eau de la rivière Romaine au PK 51, à l'état naturel. Comparaison entre le calcul et l'observation pour 2002.

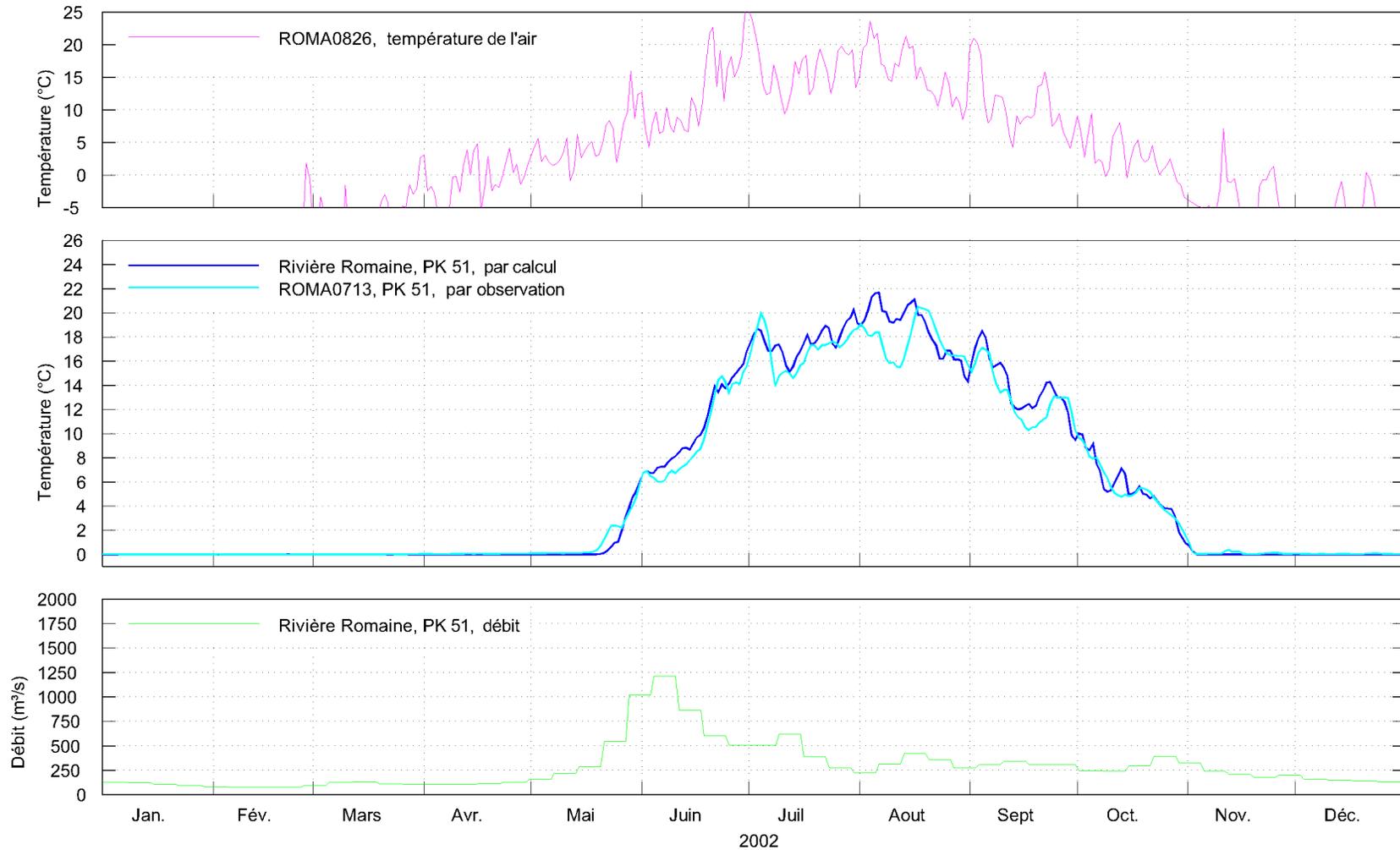


Figure 23 Température de l'eau de la rivière Romaine au PK 51, à l'état naturel. Comparaison entre le calcul et l'observation pour 2003.

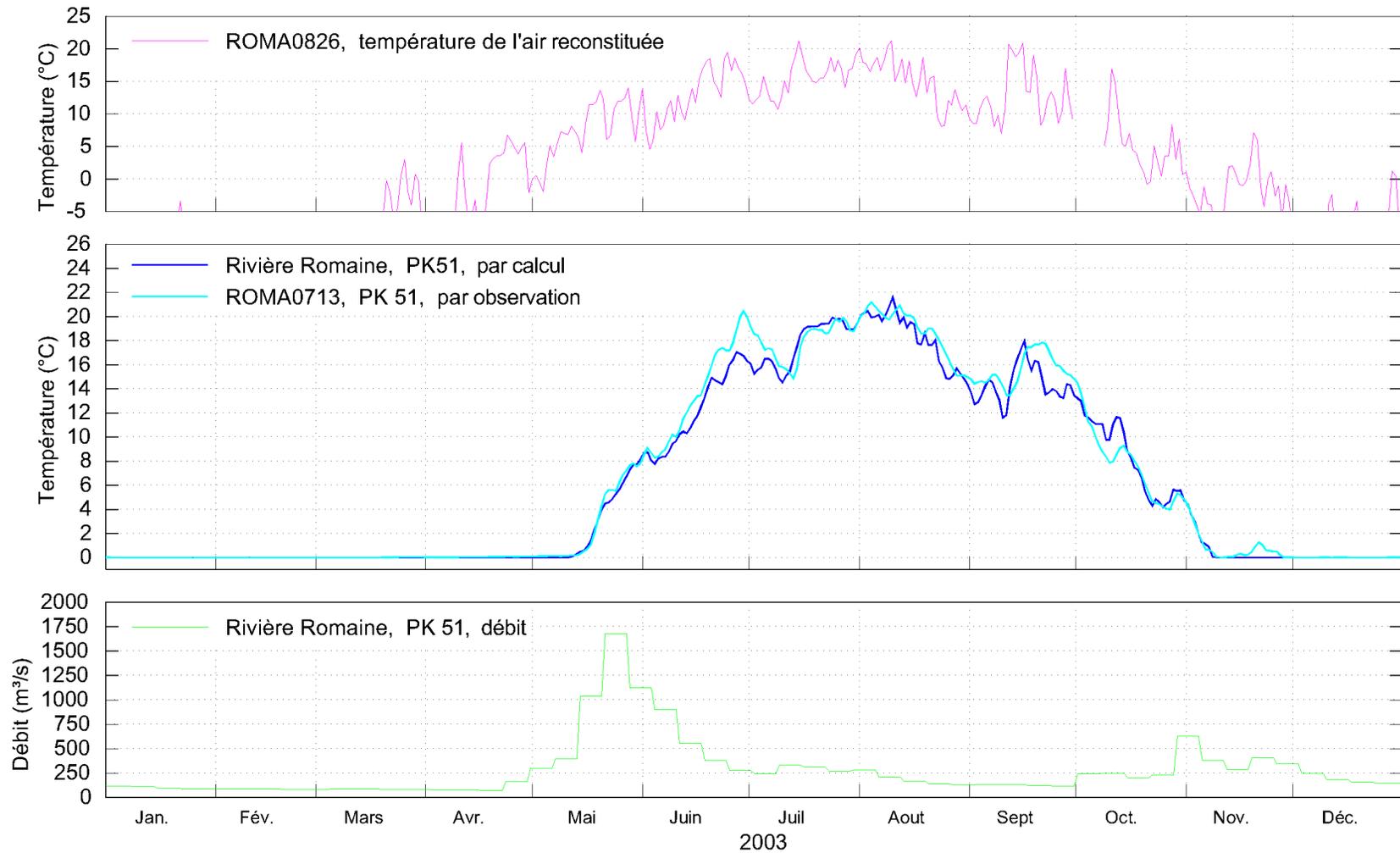


Figure 24 Température de l'eau de la rivière Romaine au PK 16, à l'état naturel. Comparaison entre le calcul et l'observation pour 2000.

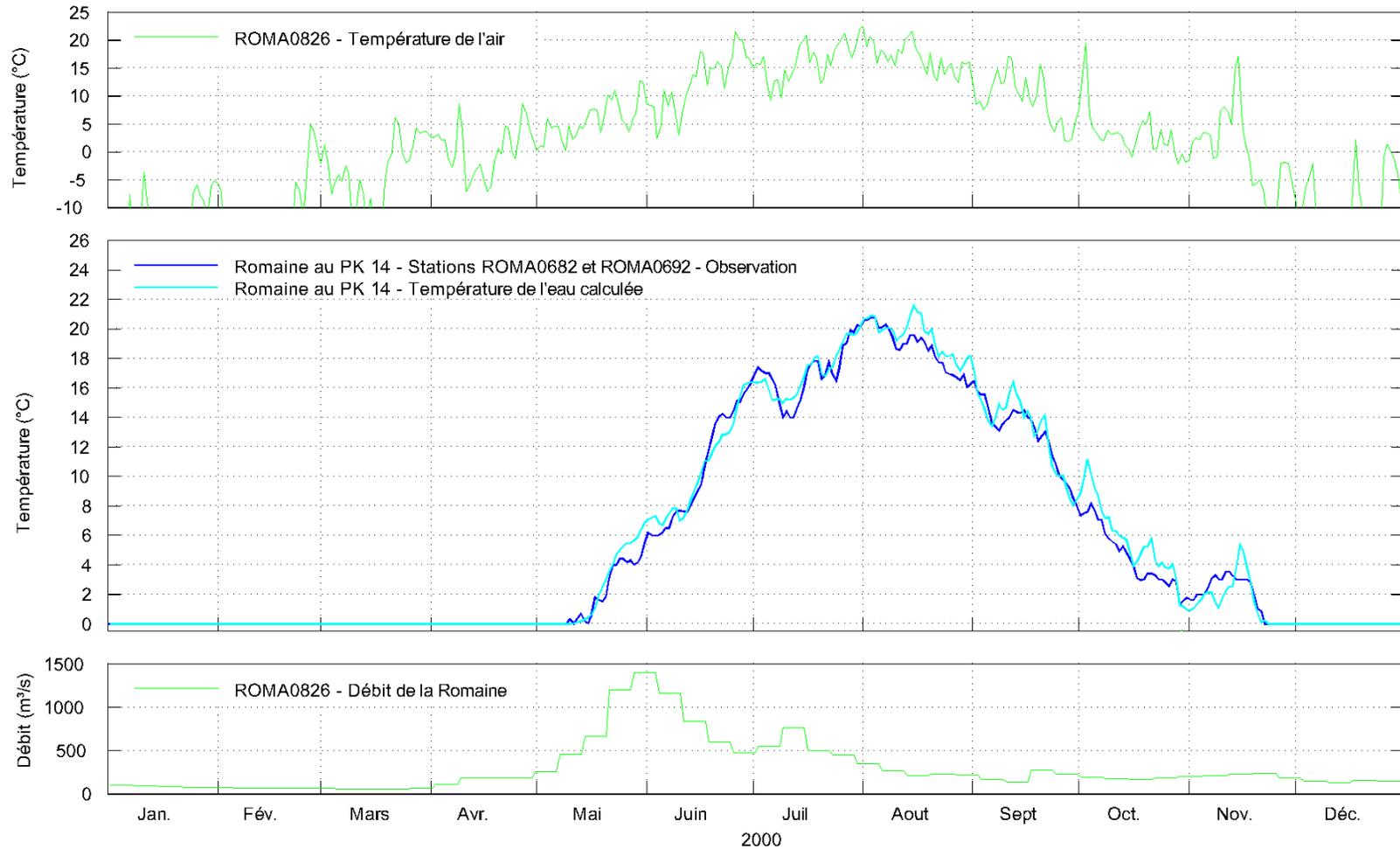


Figure 25 Température de l'eau de la rivière Romaine au PK 16, à l'état naturel. Comparaison entre le calcul et l'observation pour 2001.

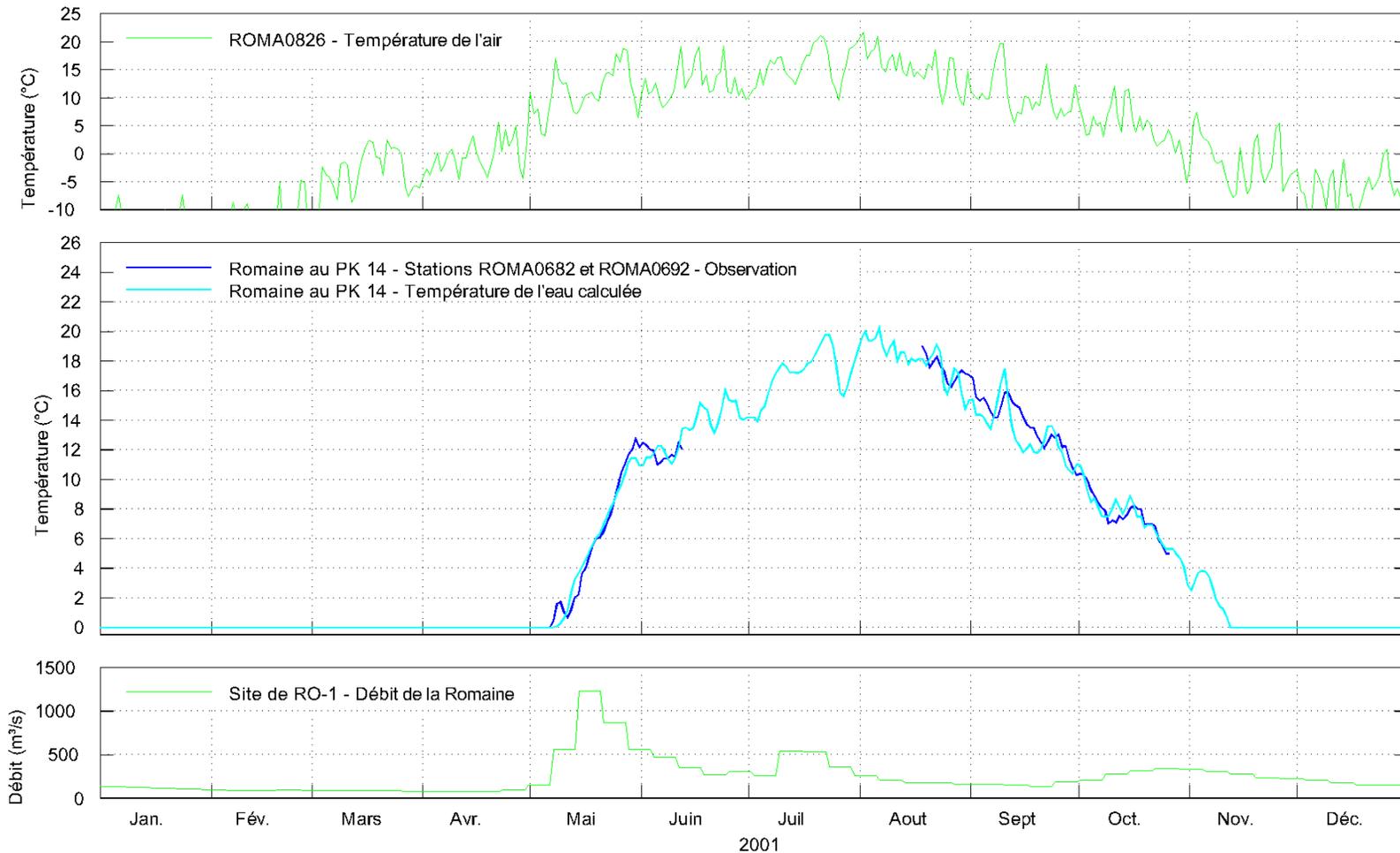


Figure 26 Température de l'eau de la rivière Romaine au PK 16, à l'état naturel. Comparaison entre le calcul et l'observation pour 2003.

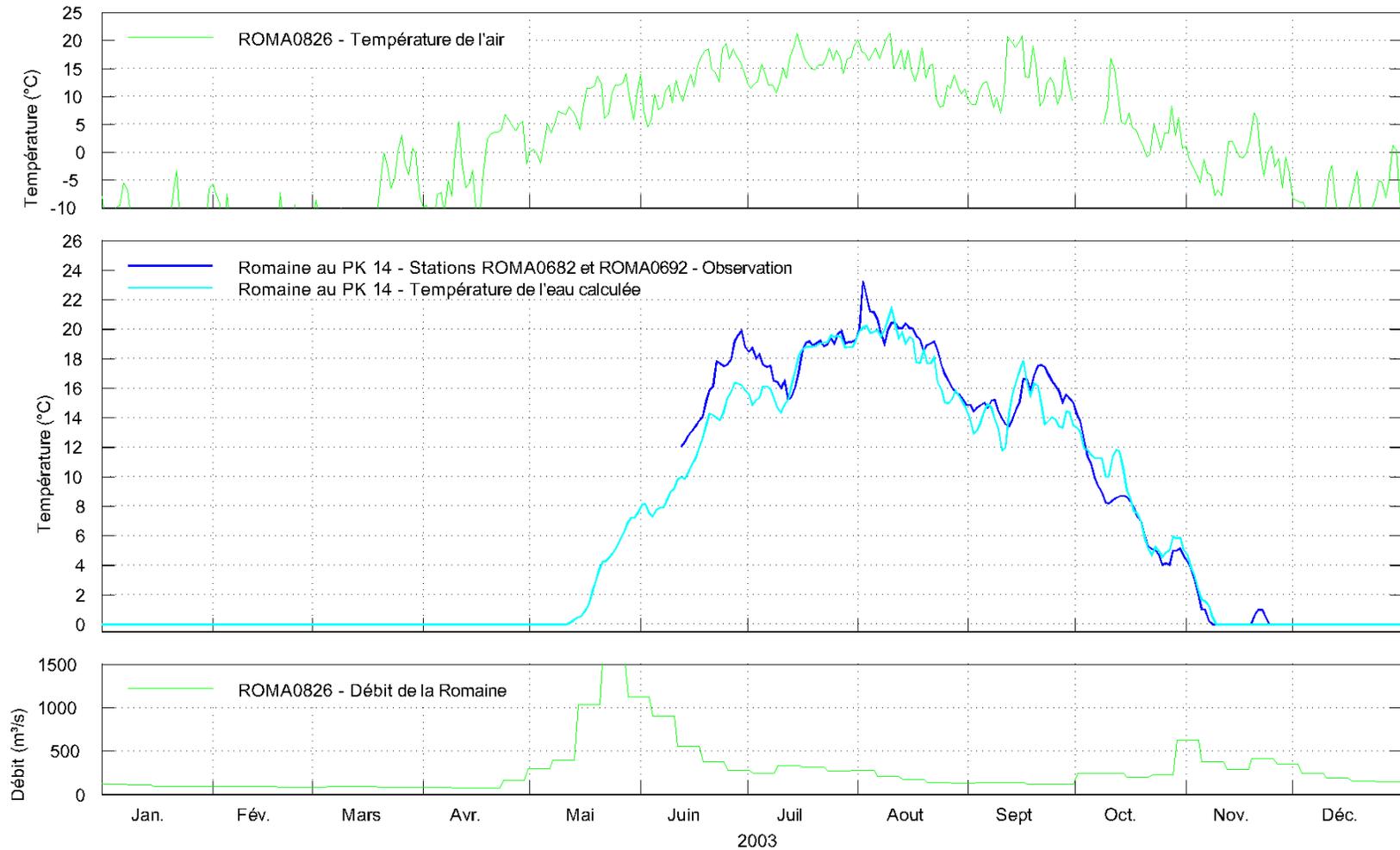
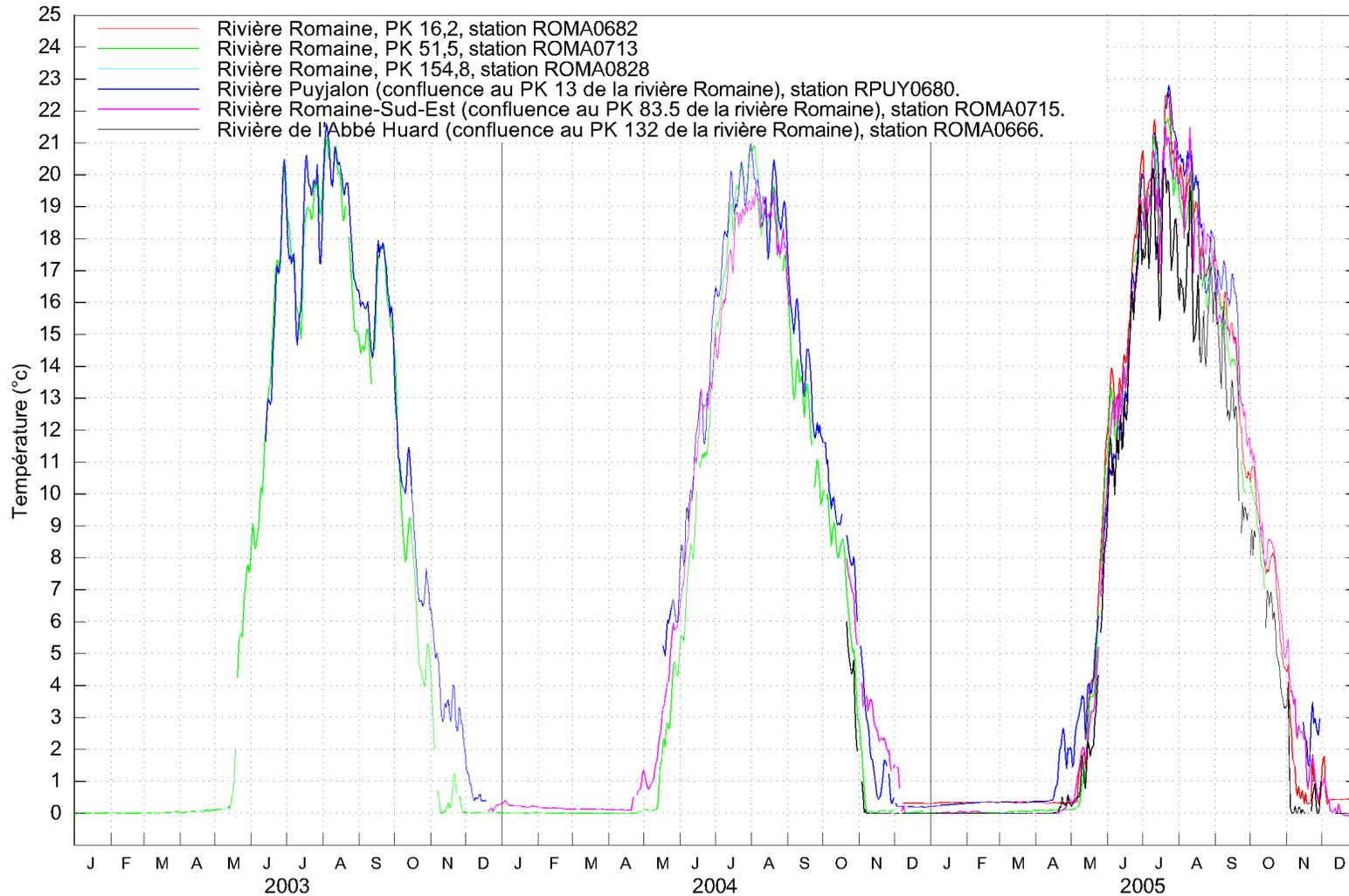


Figure 27 Température de l'eau observée en trois points de la rivière Romaine et sur trois de ses affluents de 2003 à 2005.



[Page laissée intentionnellement vide pour fins de mise en page]

13 Planches

[Page laissée intentionnellement vide pour fins de mise en page]

Situation du projet Romaine

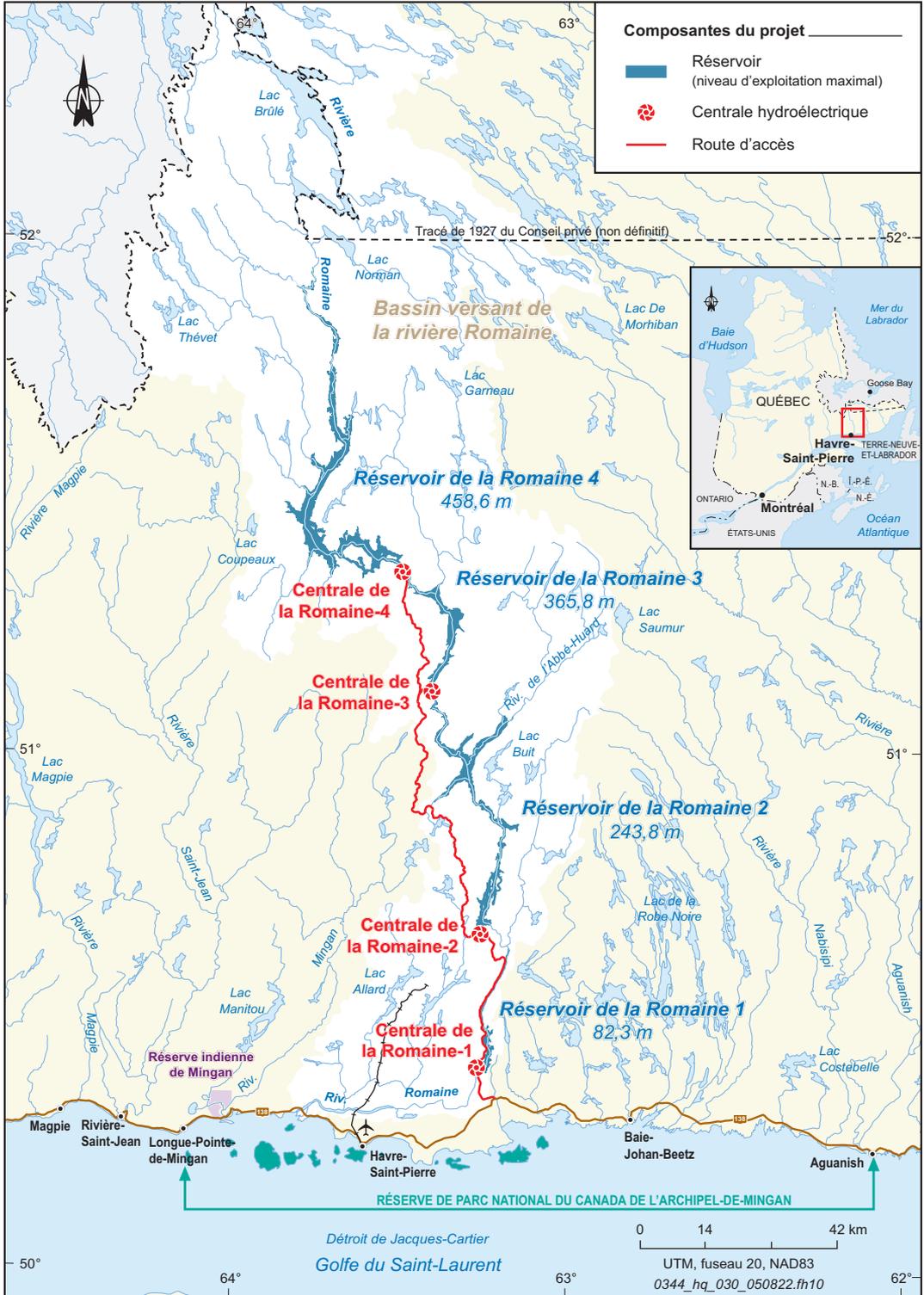


Planche 1.

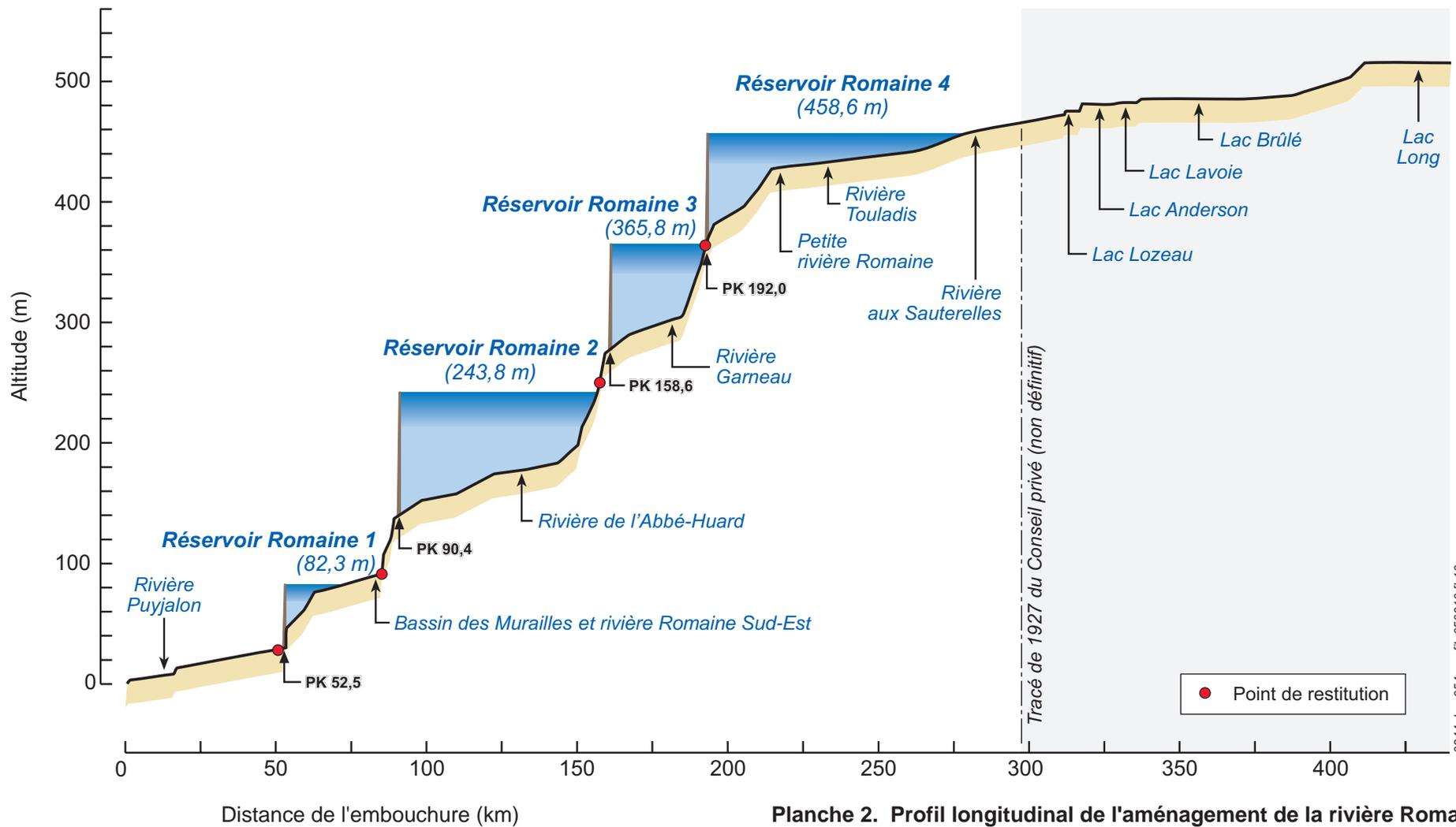
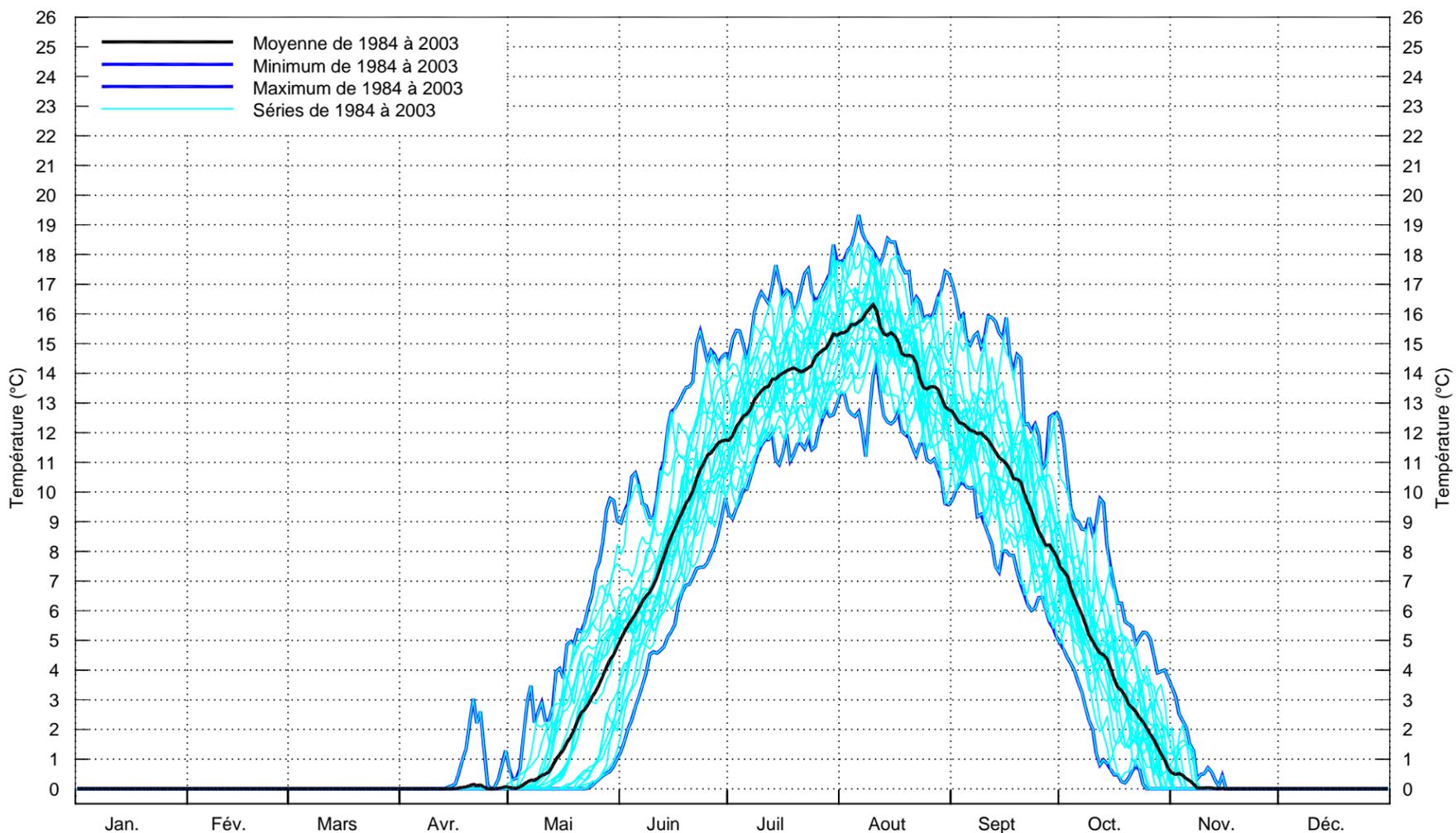


Planche 2. Profil longitudinal de l'aménagement de la rivière Romaine.

Rivière Romaine au PK 290. Température de l'eau.



Rivière Romaine non-aménagée au PK 181. Température de l'eau.

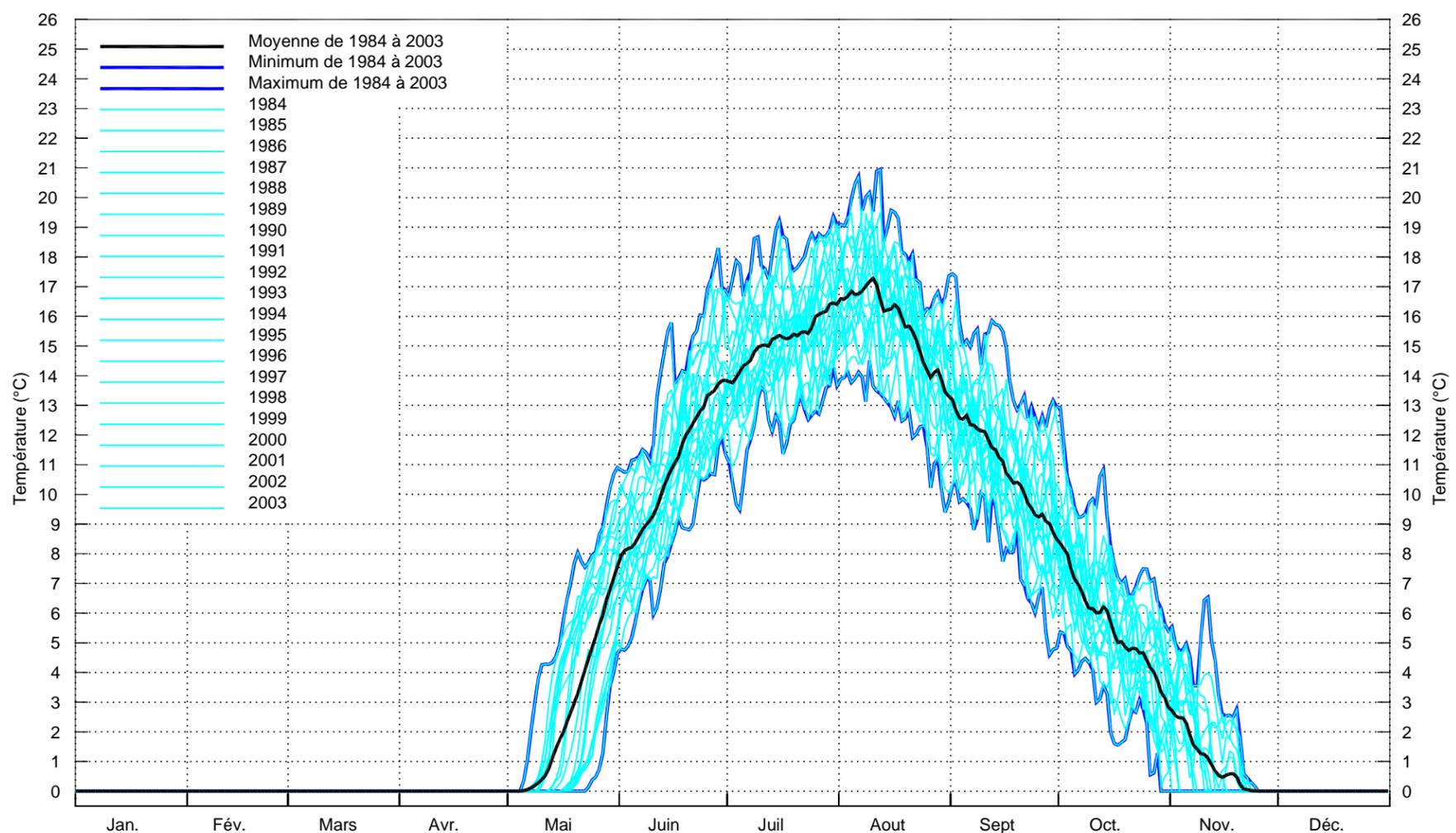
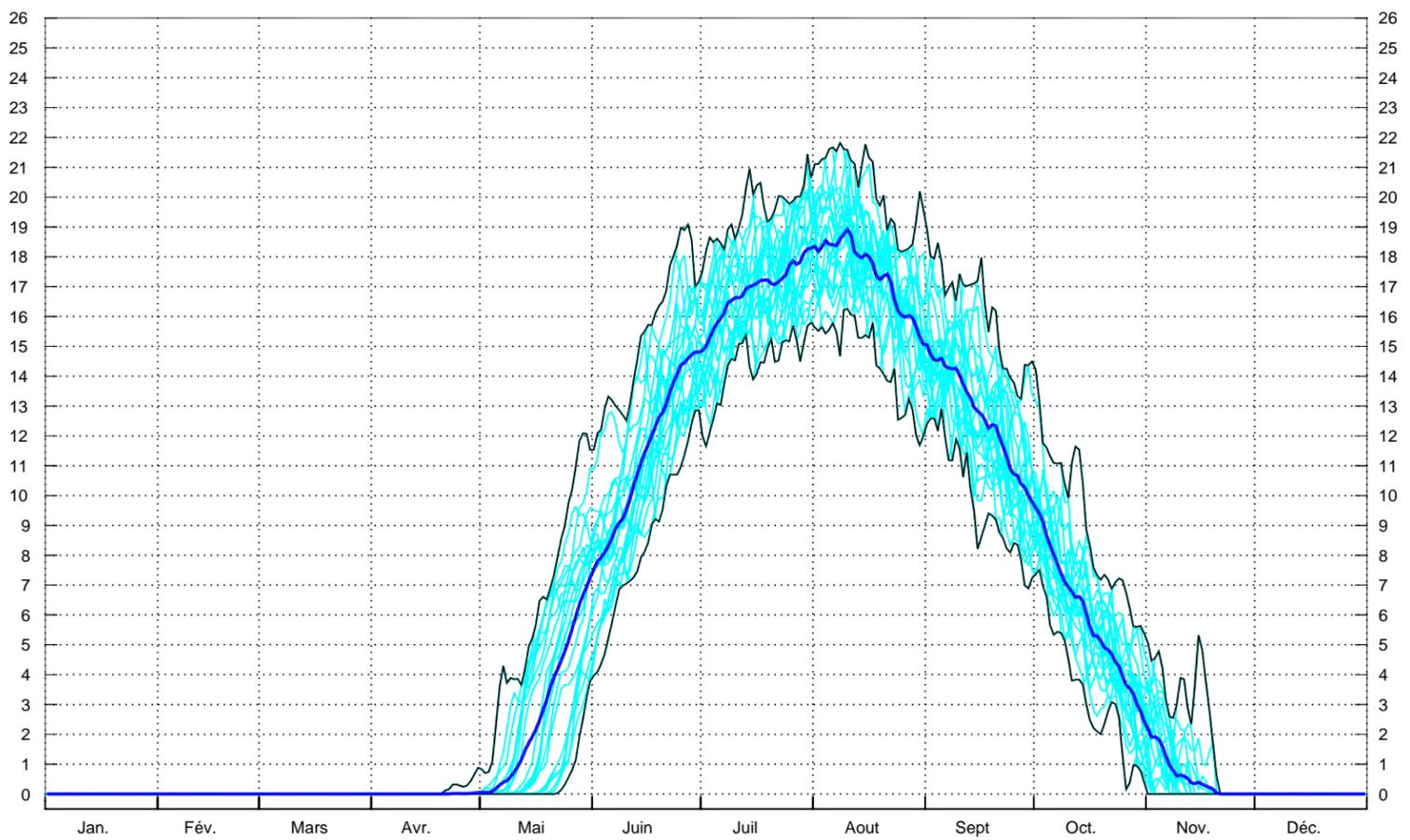


Planche 3. Rivière Romaine à l'état actuel. Température de l'eau aux PK 290 et 181.

Rivière Romaine à l'état actuel. Température de l'eau au PK 51.



Rivière Romaine à l'état actuel. Température de l'eau au PK 16.

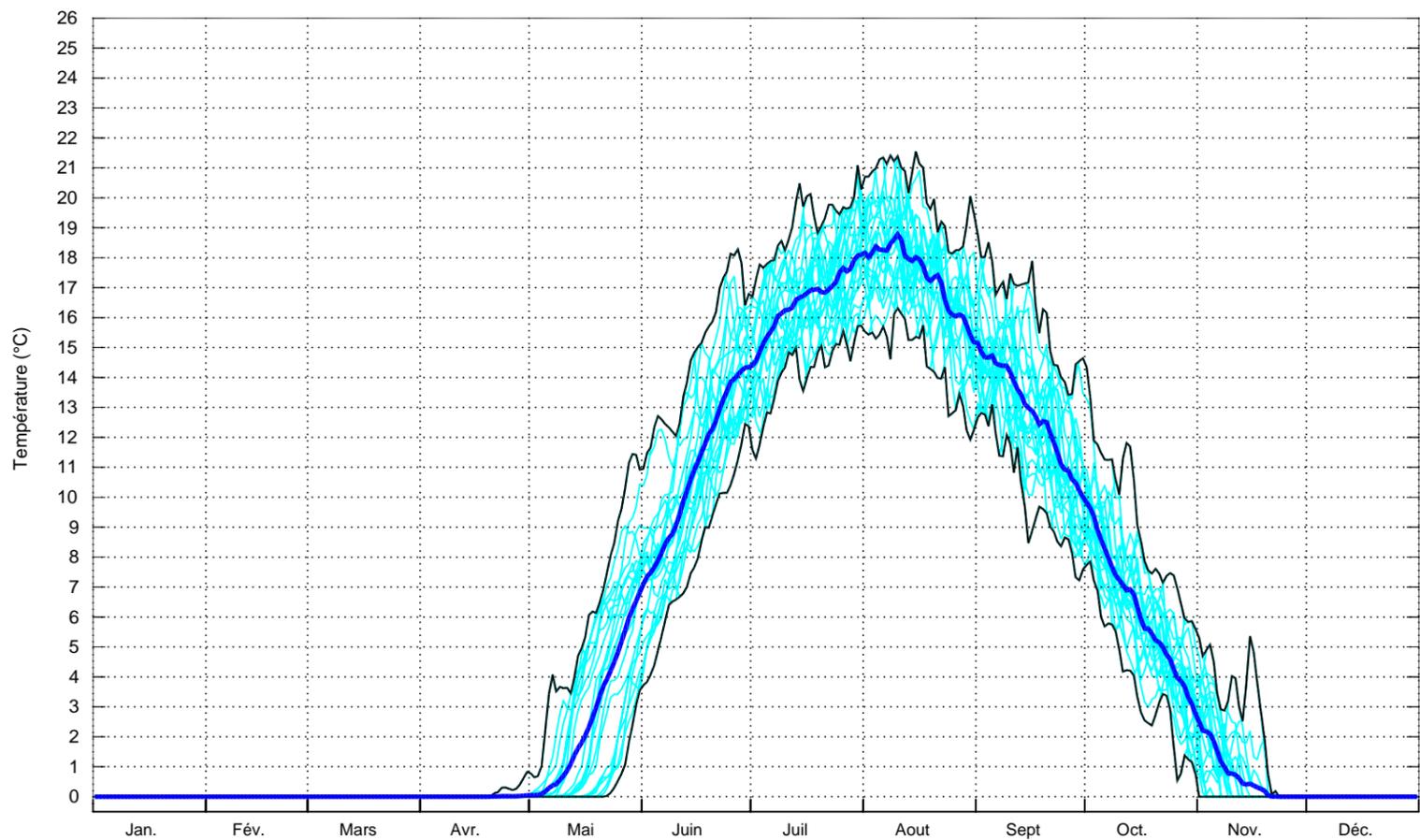
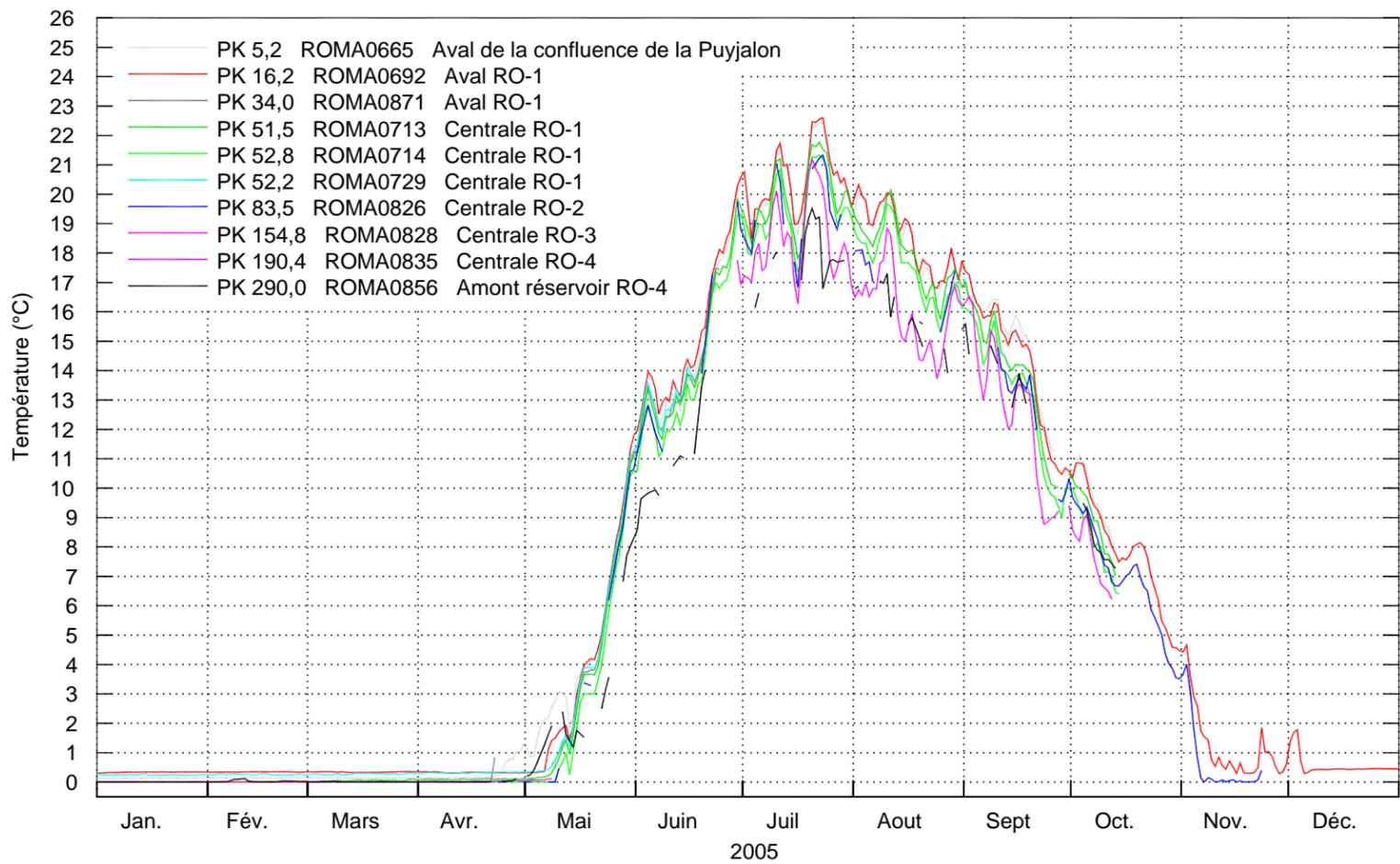


Planche 4. Rivière Romaine à l'état actuel. Température de l'eau au PK 51 et au PK 16 reconstituées par calcul pour la période de 1984 à 2003.

Rivière Romaine. Température de l'eau observée en 2005.



Rivière Romaine à l'état naturel. Écart de température de l'eau entre le PK 5 et les PK 16 et 51.

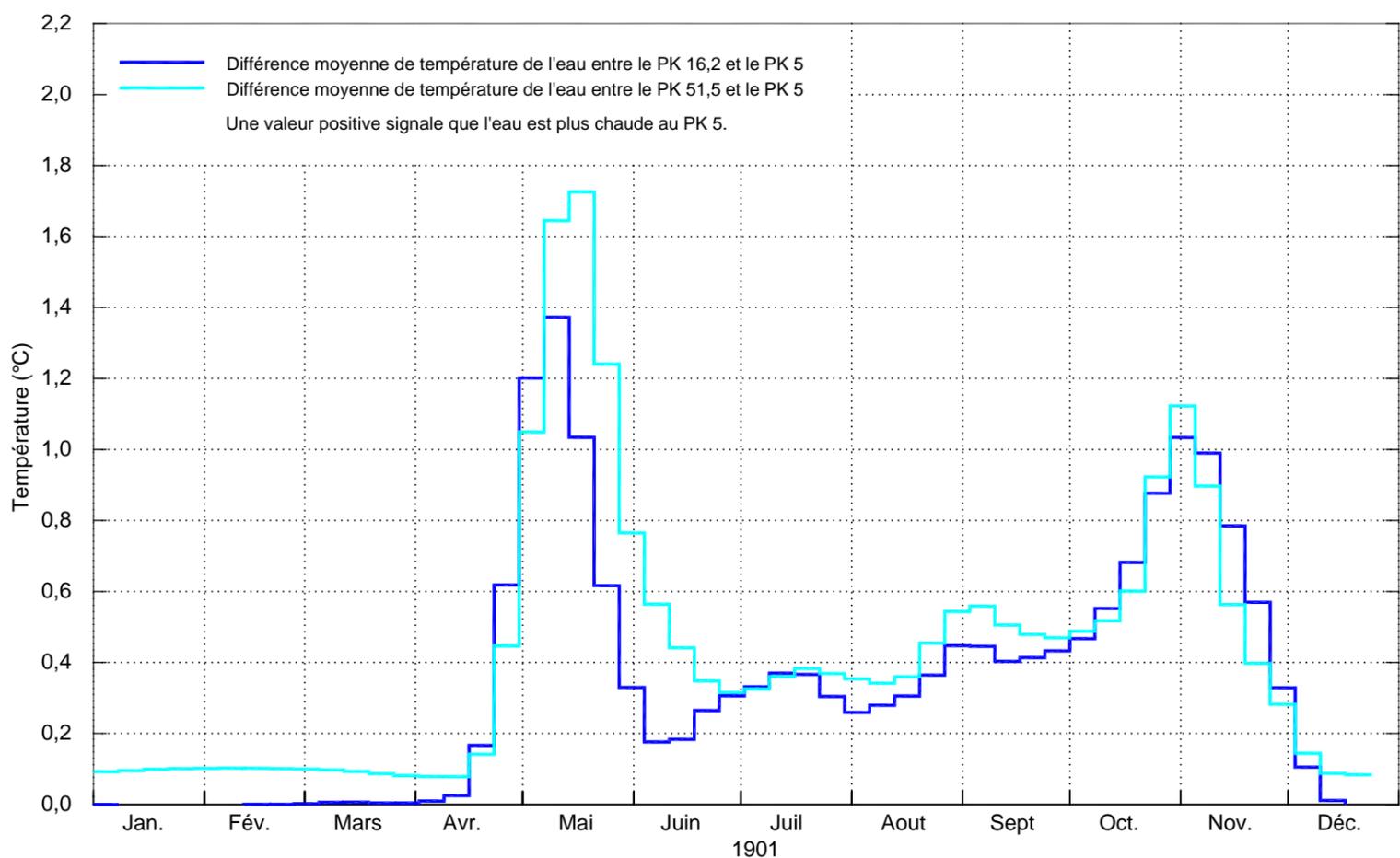


Planche 5. Rivière Romaine à l'état actuel. Température de l'eau sur la Romaine en 2005 et comparaison entre le PK 16 et le PK 5 sur plusieurs années.

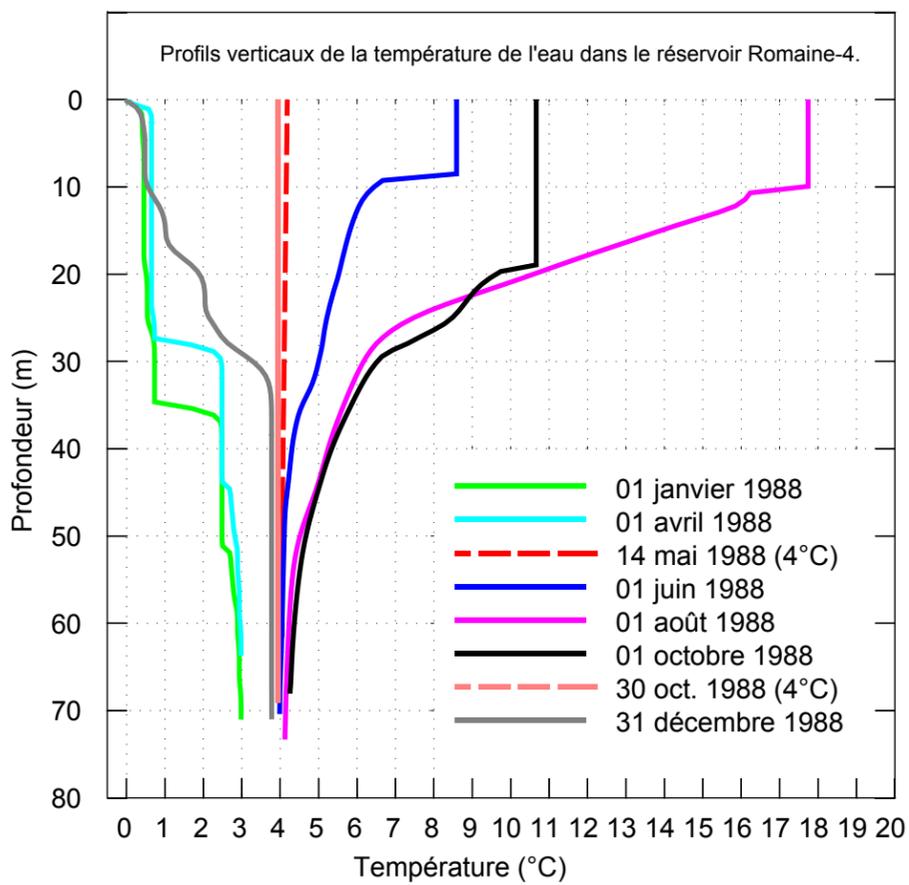
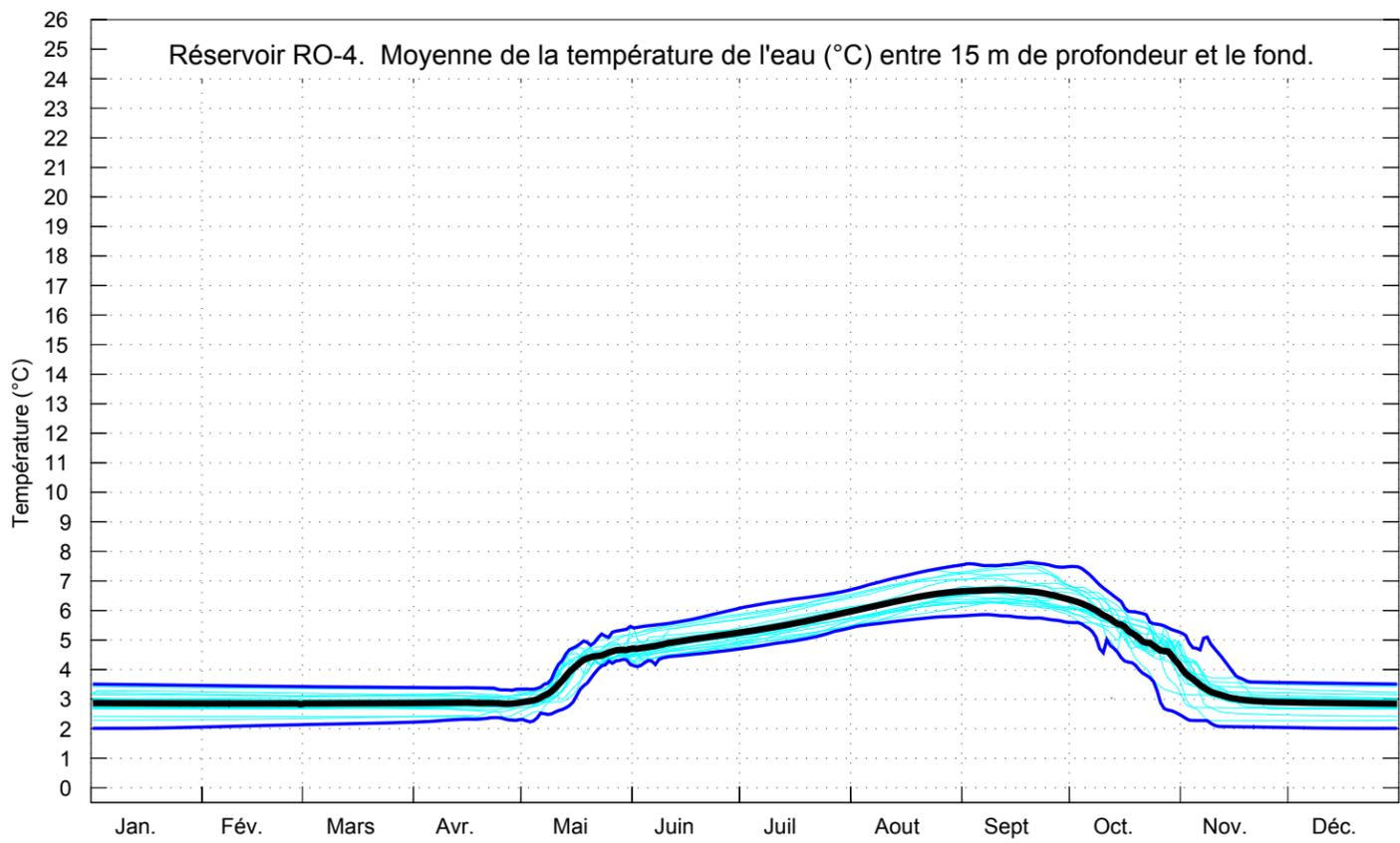
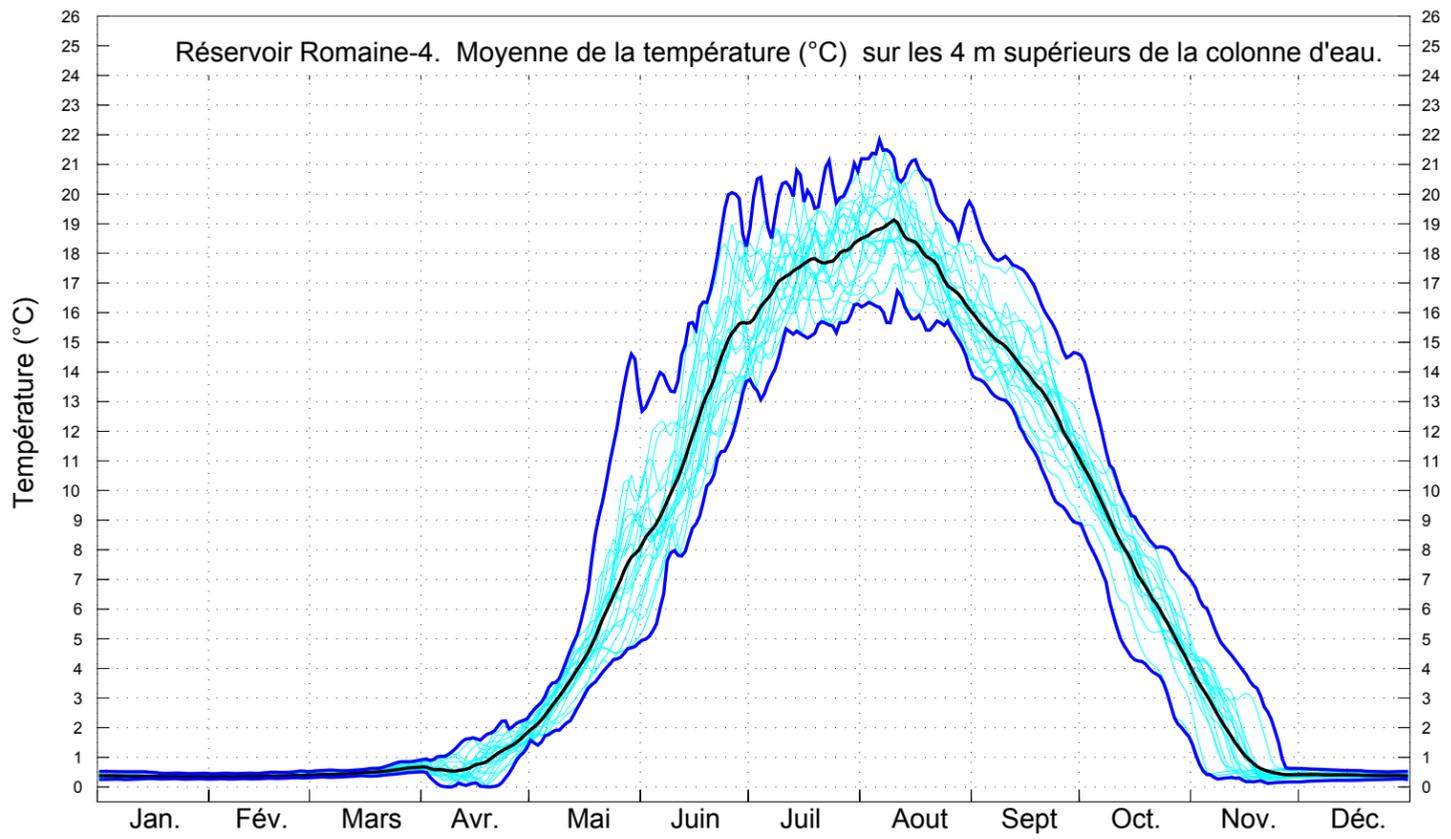
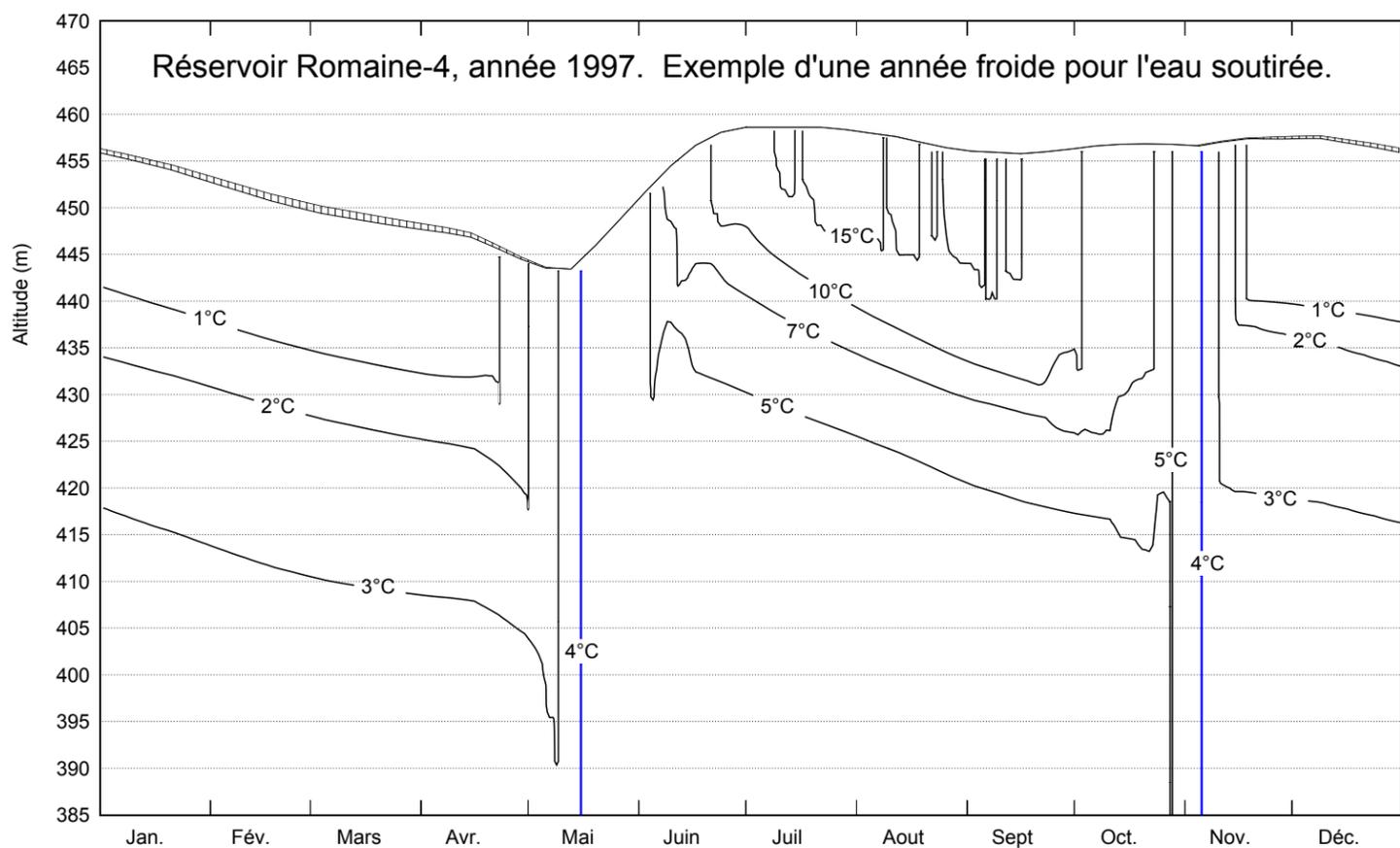
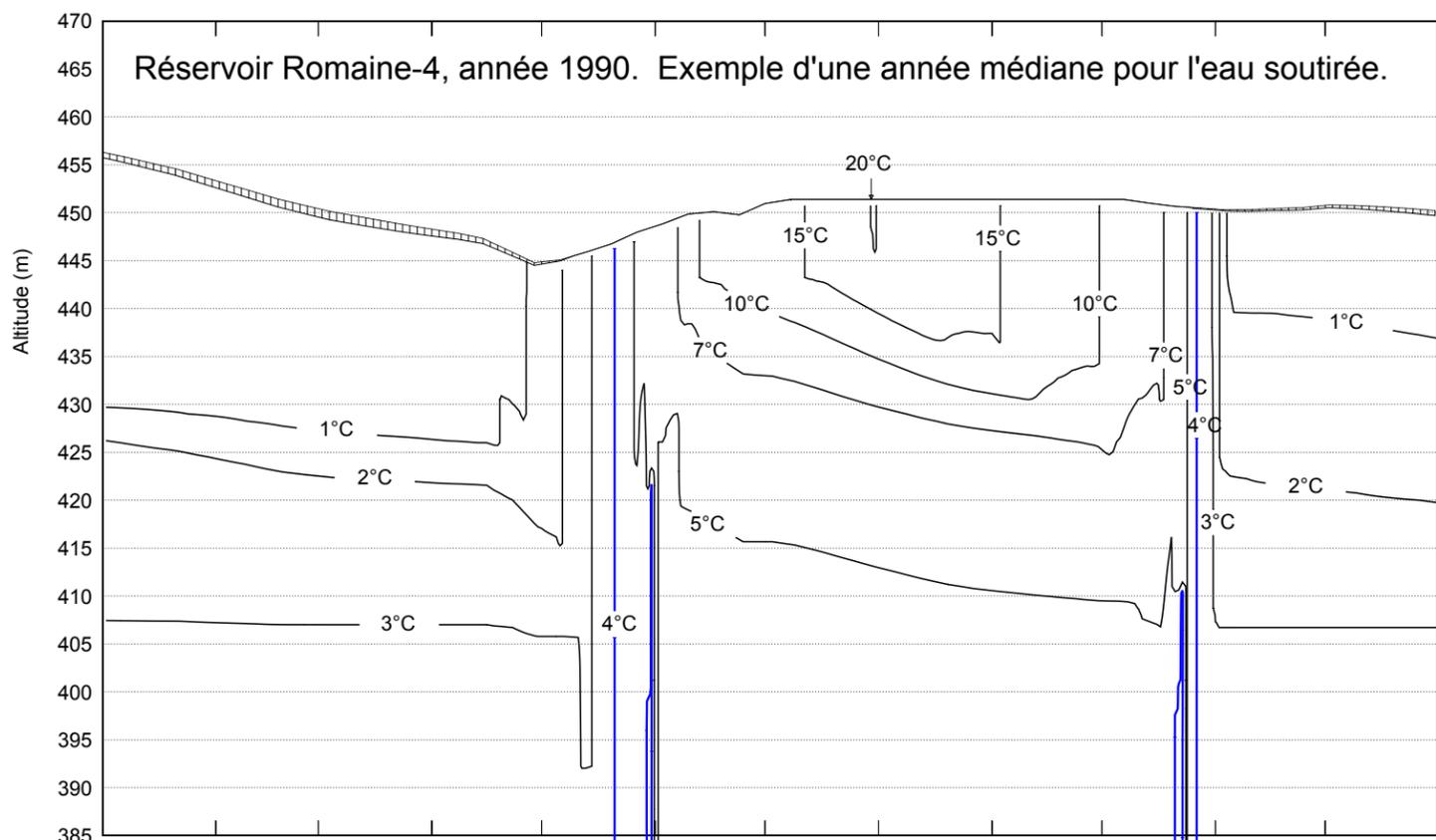
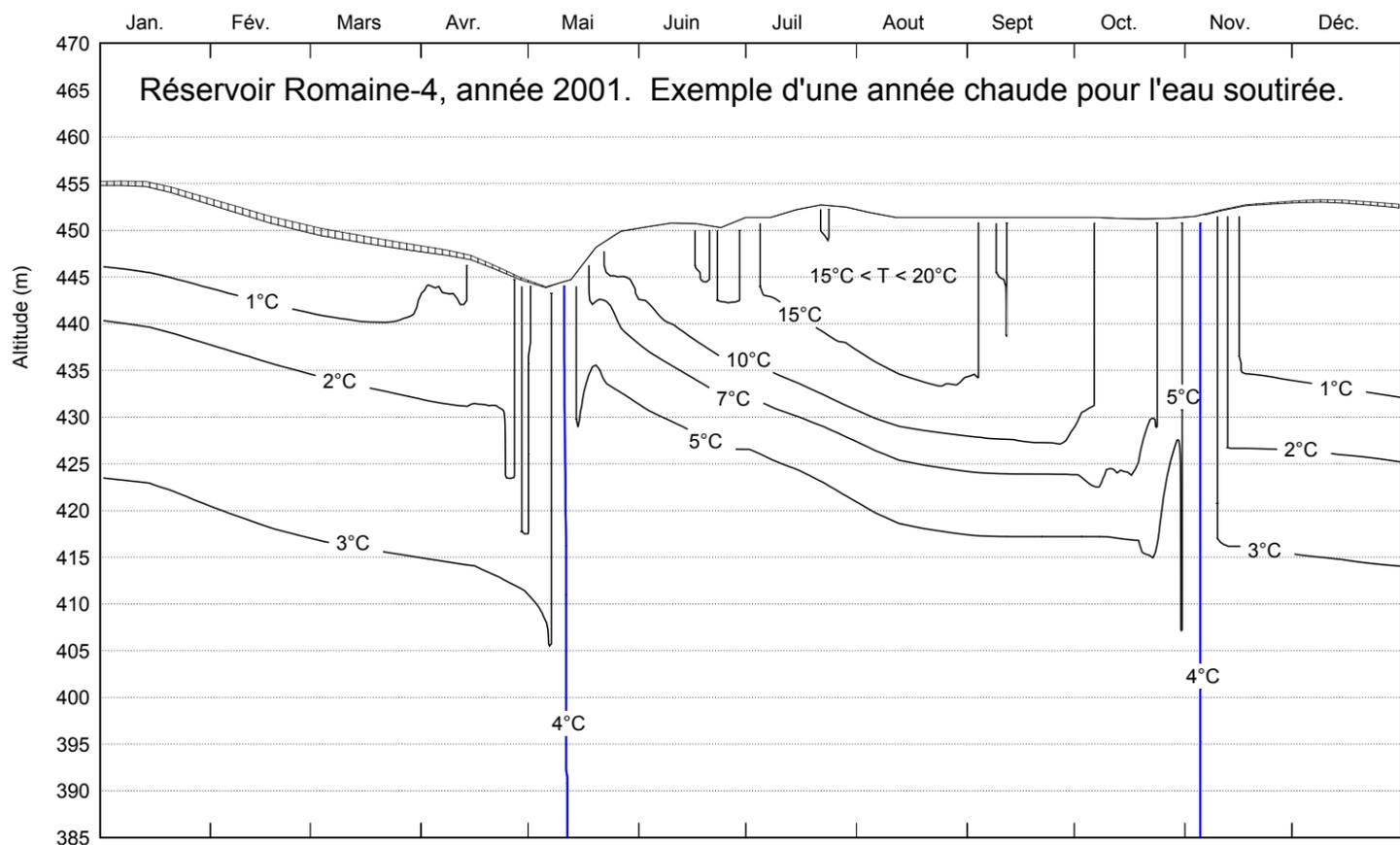


Planche 6.
 Réservoir Romaine-4. Profils verticaux instantanés et séries temporelles de la température de l'eau dans le réservoir.



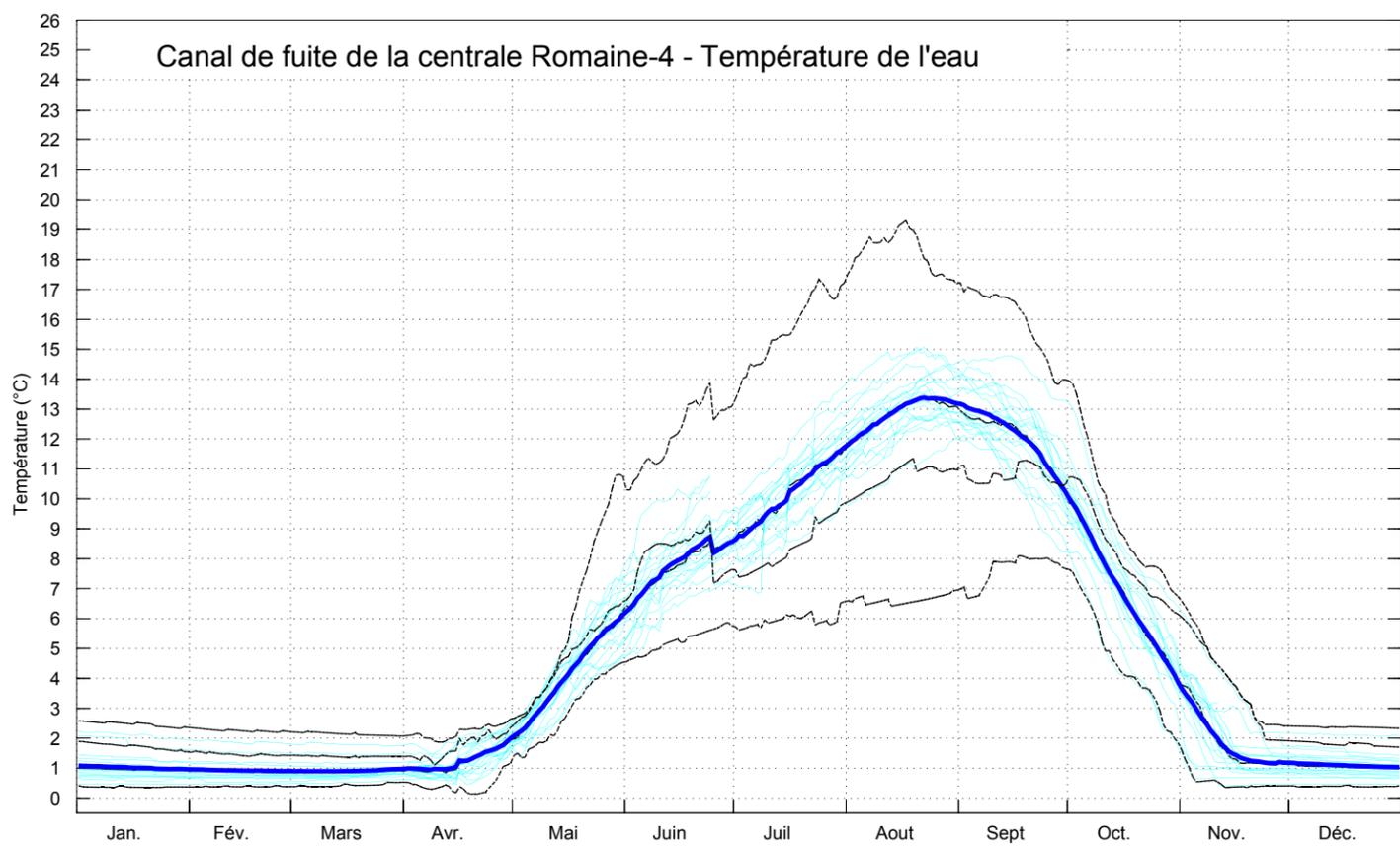
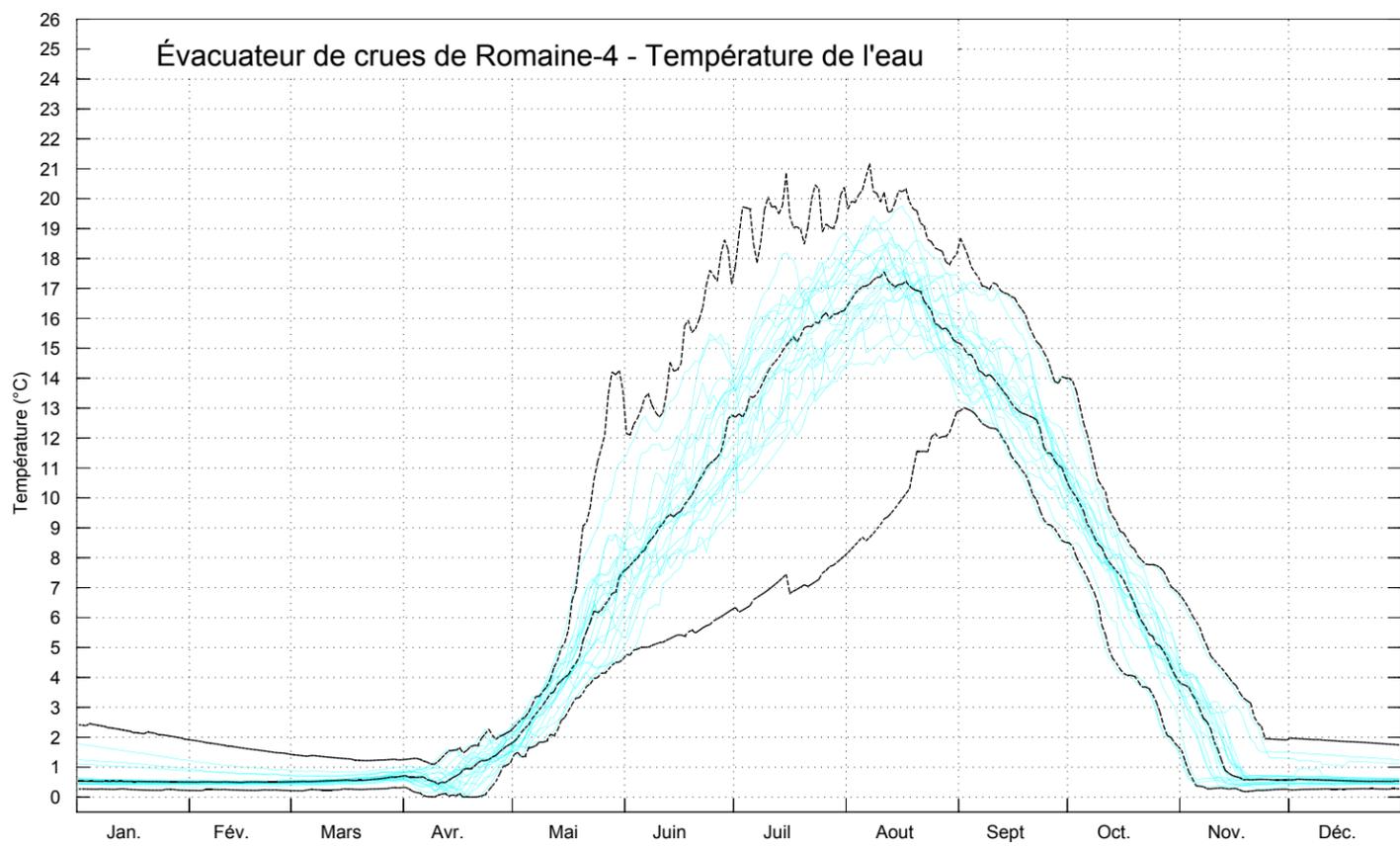
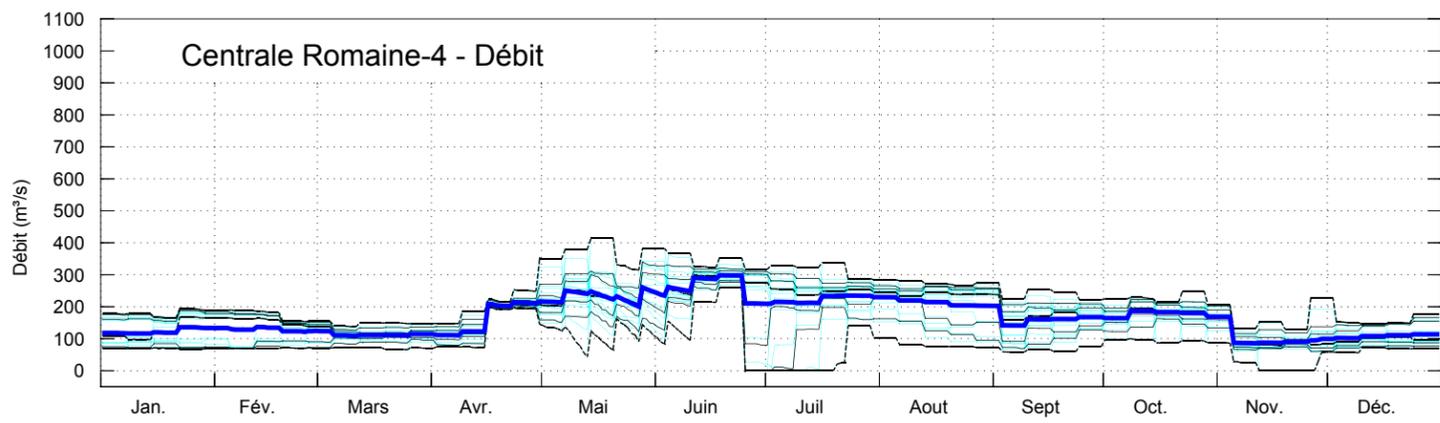
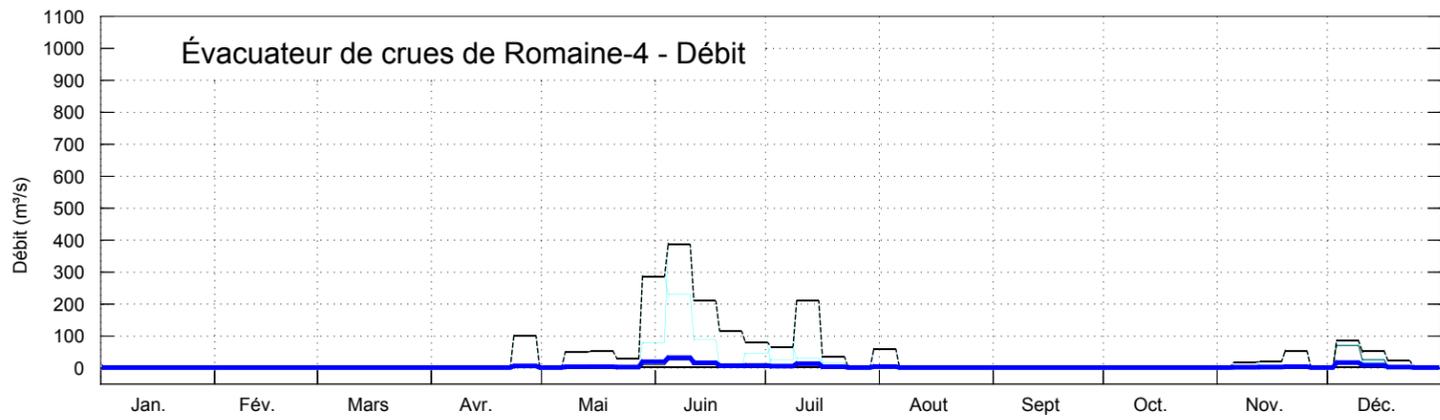


Planche 8.
Réservoir Romaine-4. Température de l'eau et débit aux exutoires.

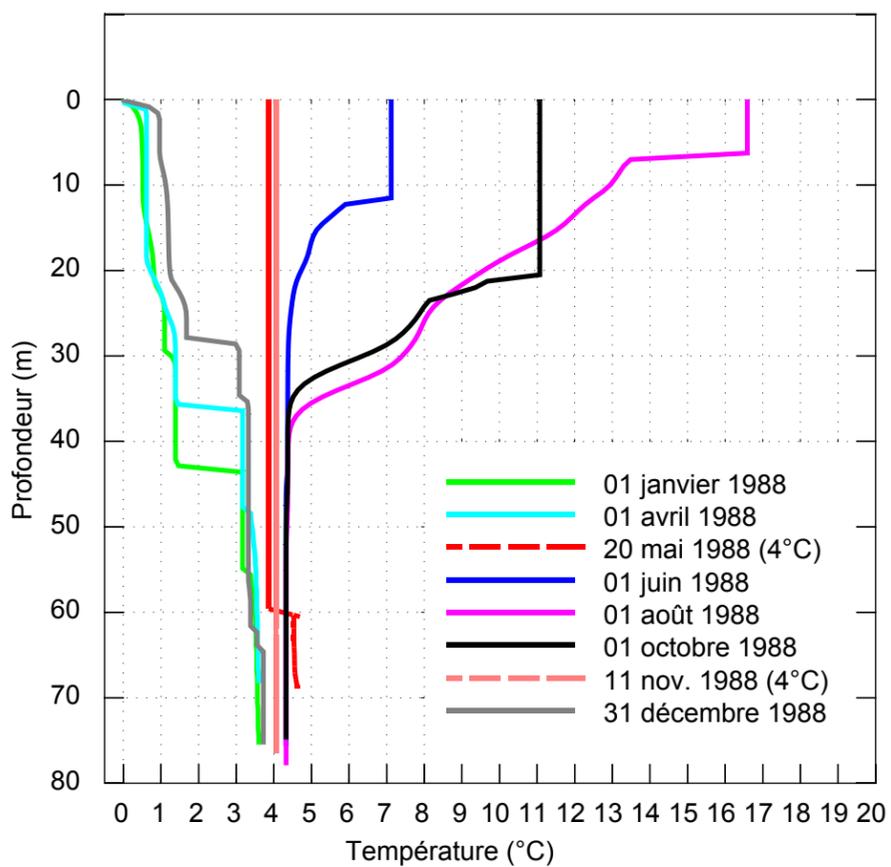
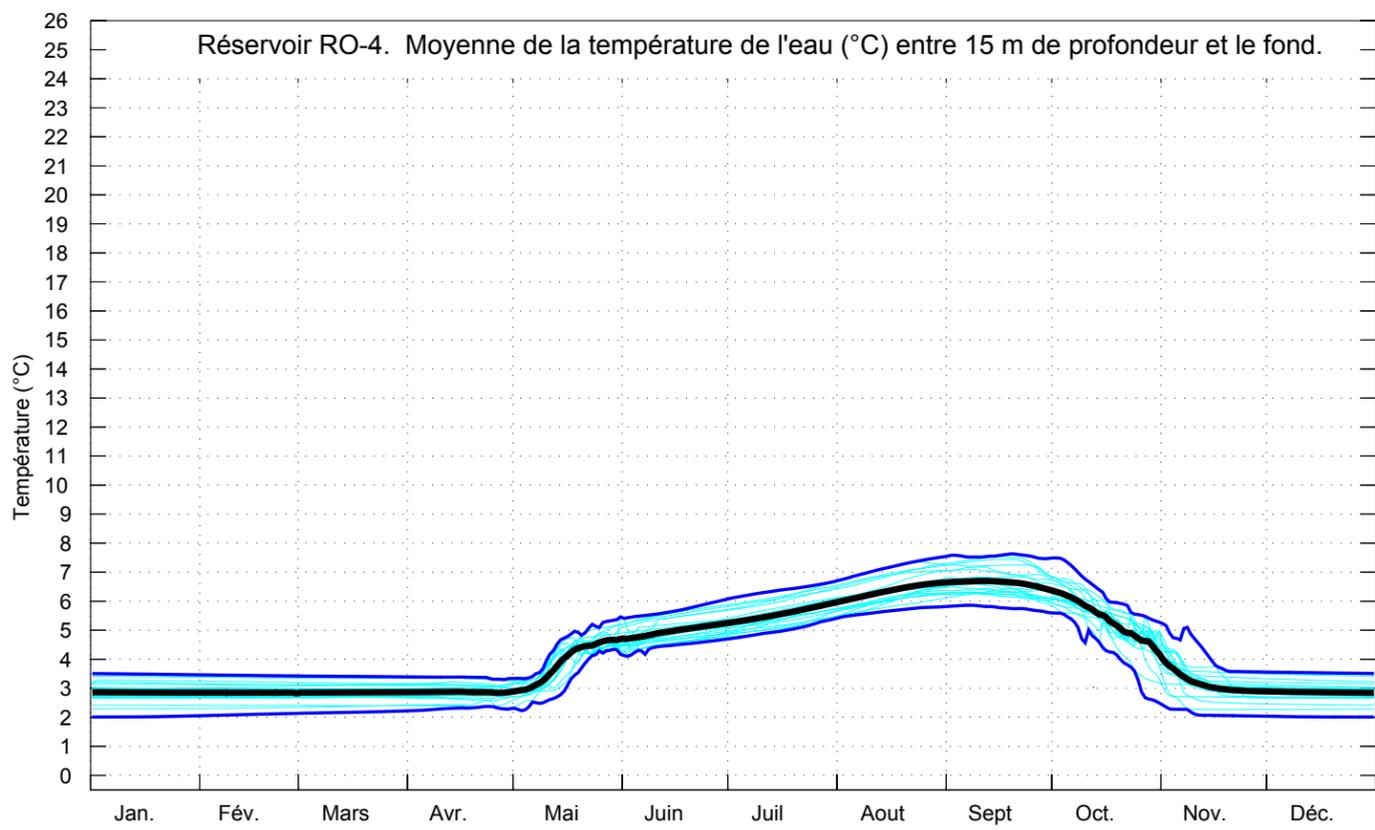
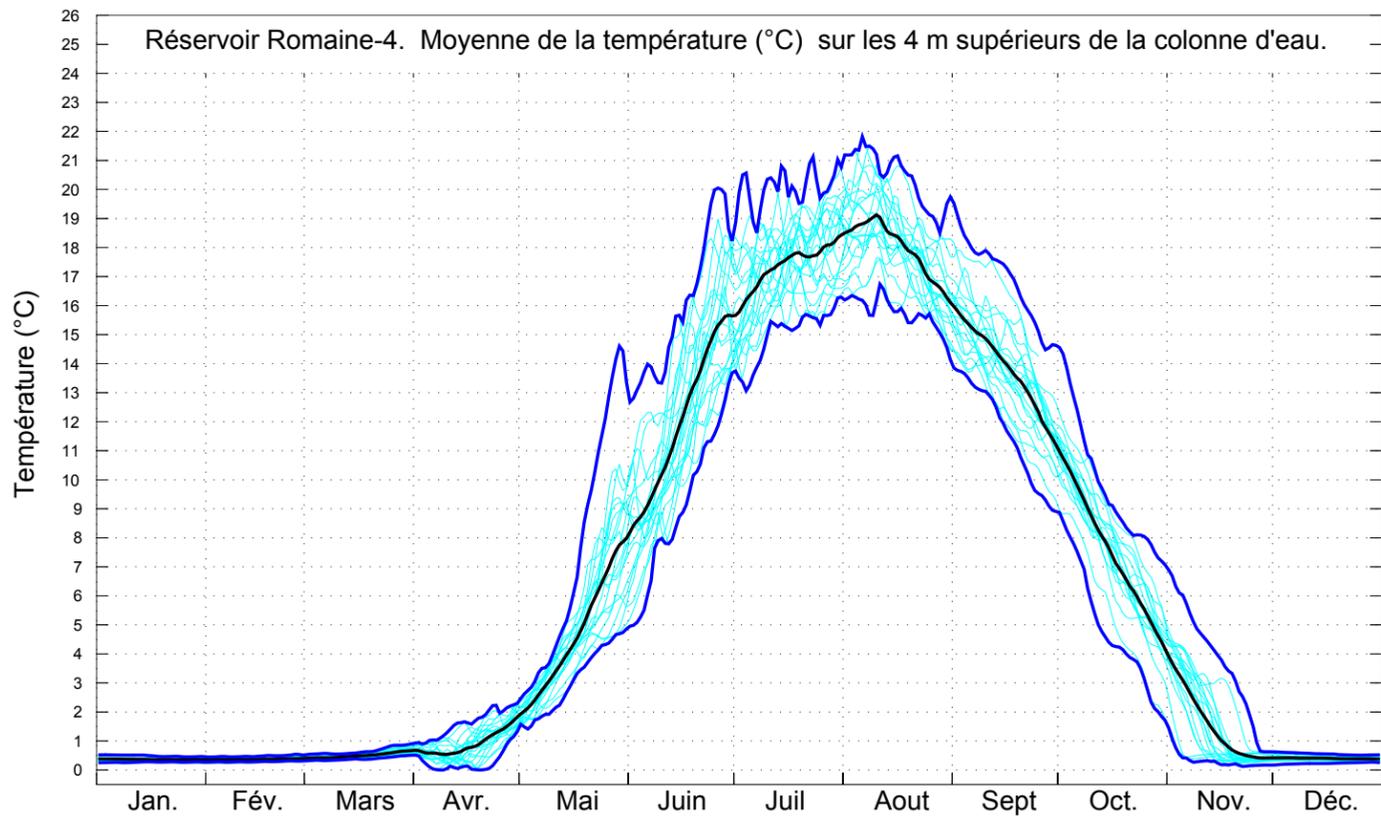


Planche 9.
 Réservoir Romaine-3. Profils verticaux instantanés
 et séries temporelles de la température de l'eau dans le réservoir.

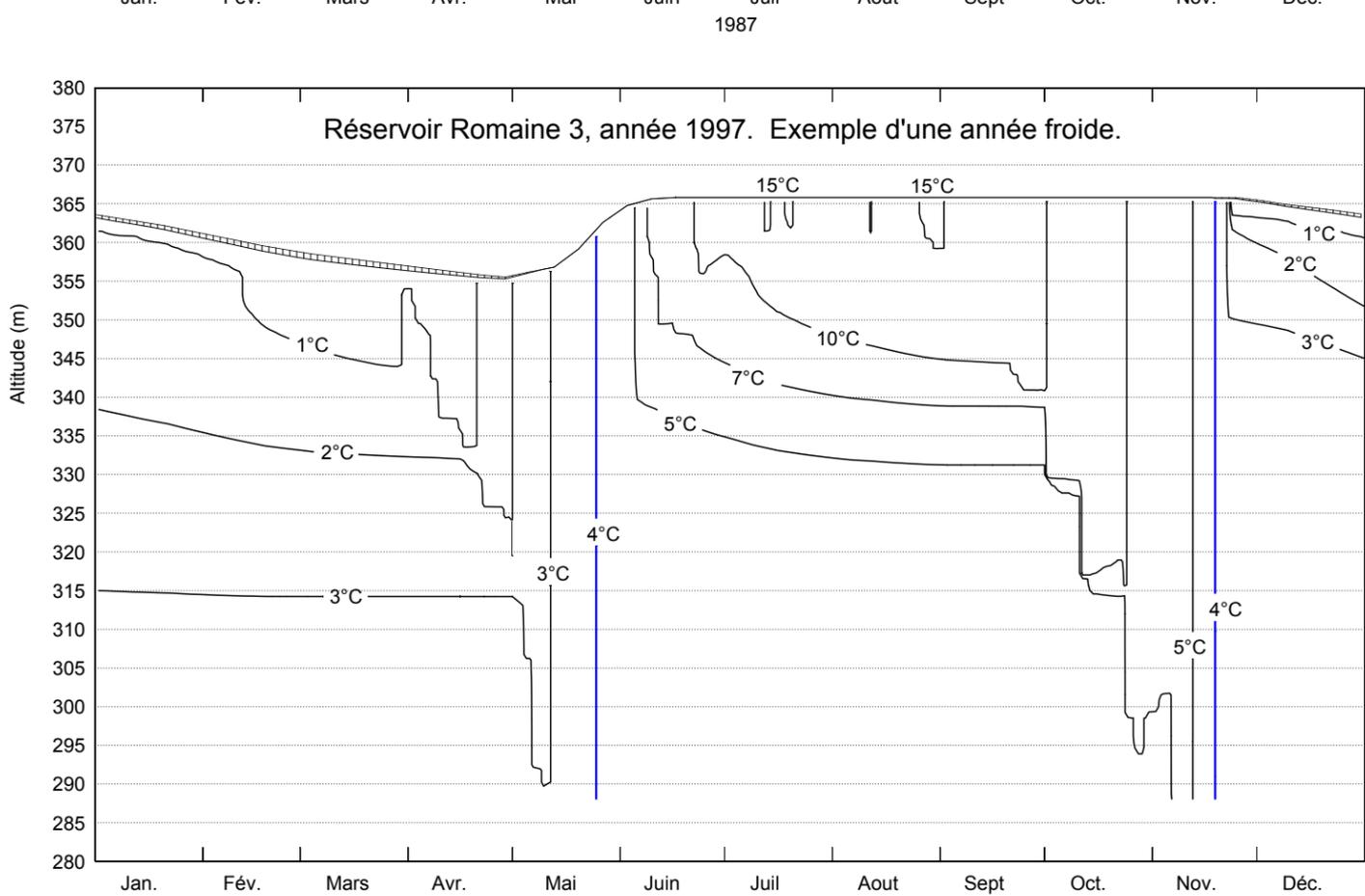
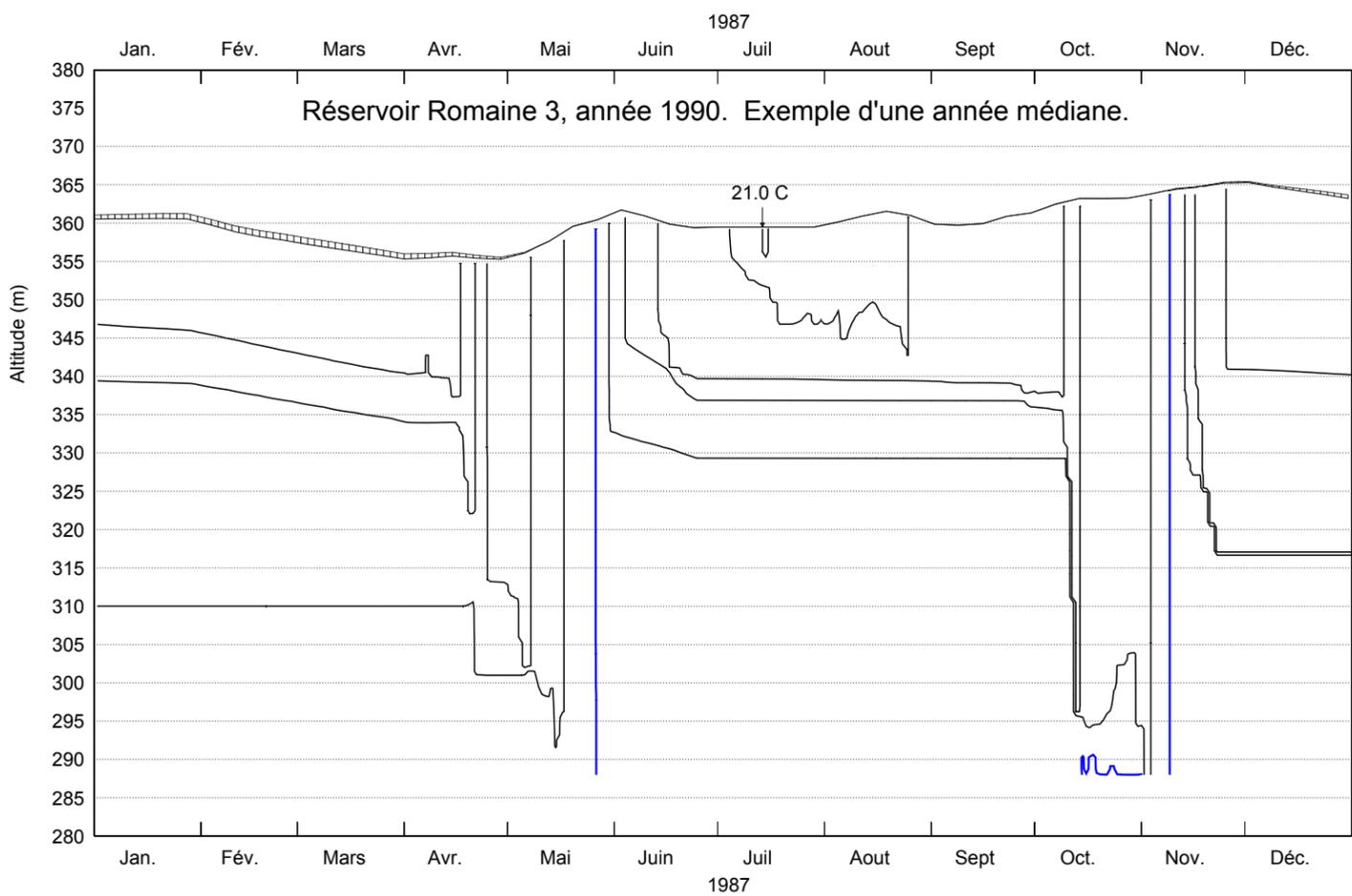
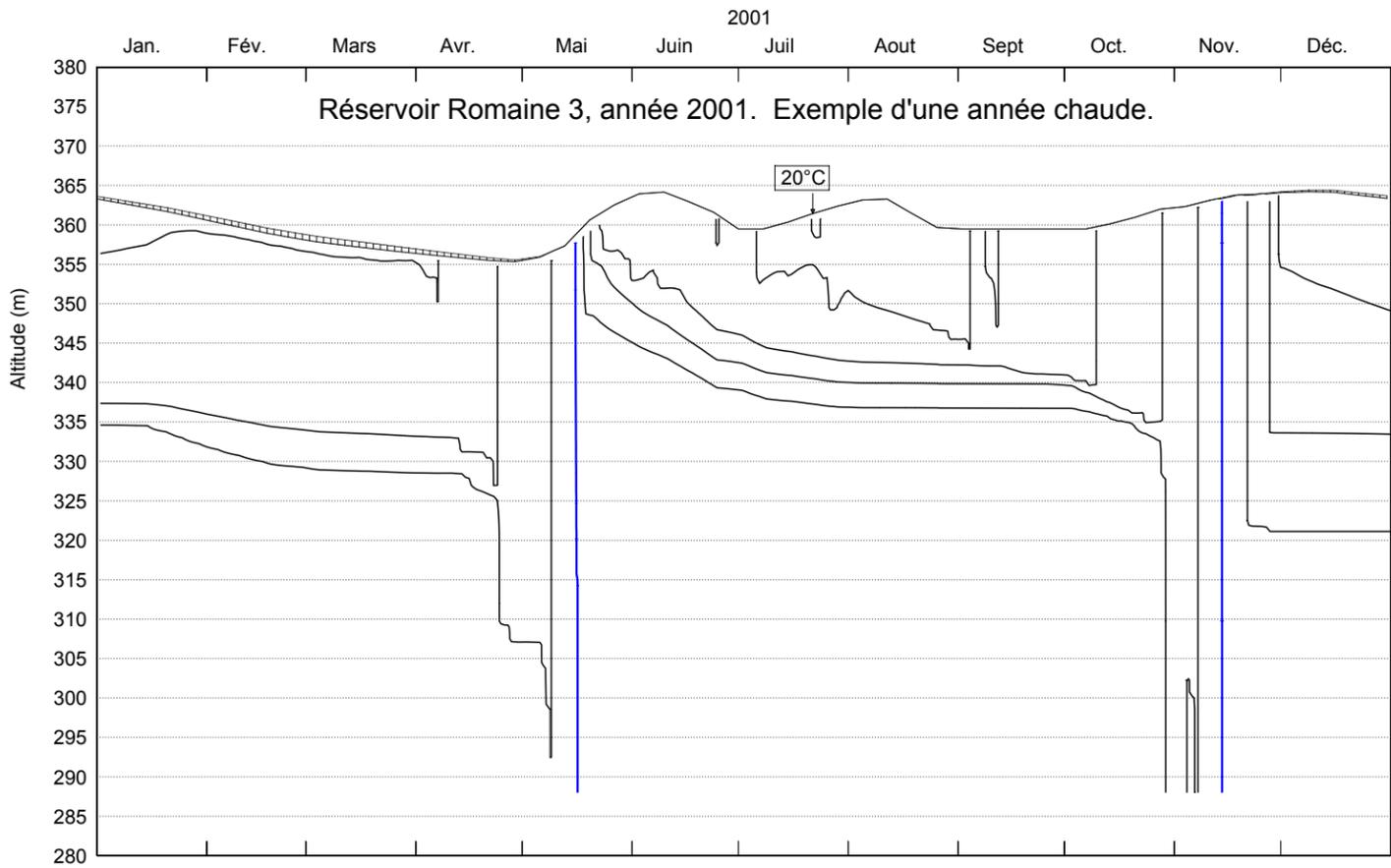


Planche 10.
Réservoir Romaine-3. Isothermes dans le réservoir pour trois années-type.

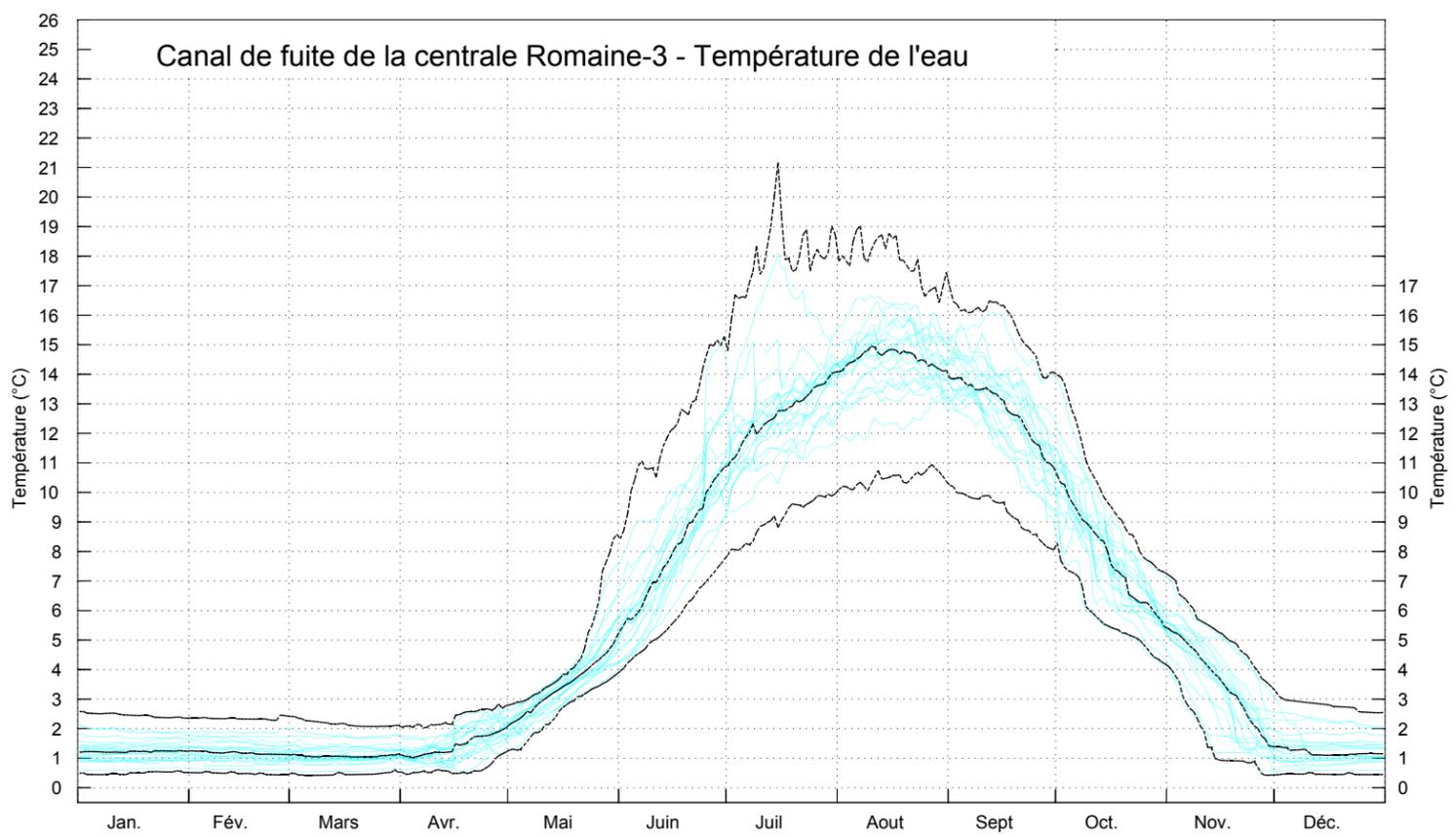
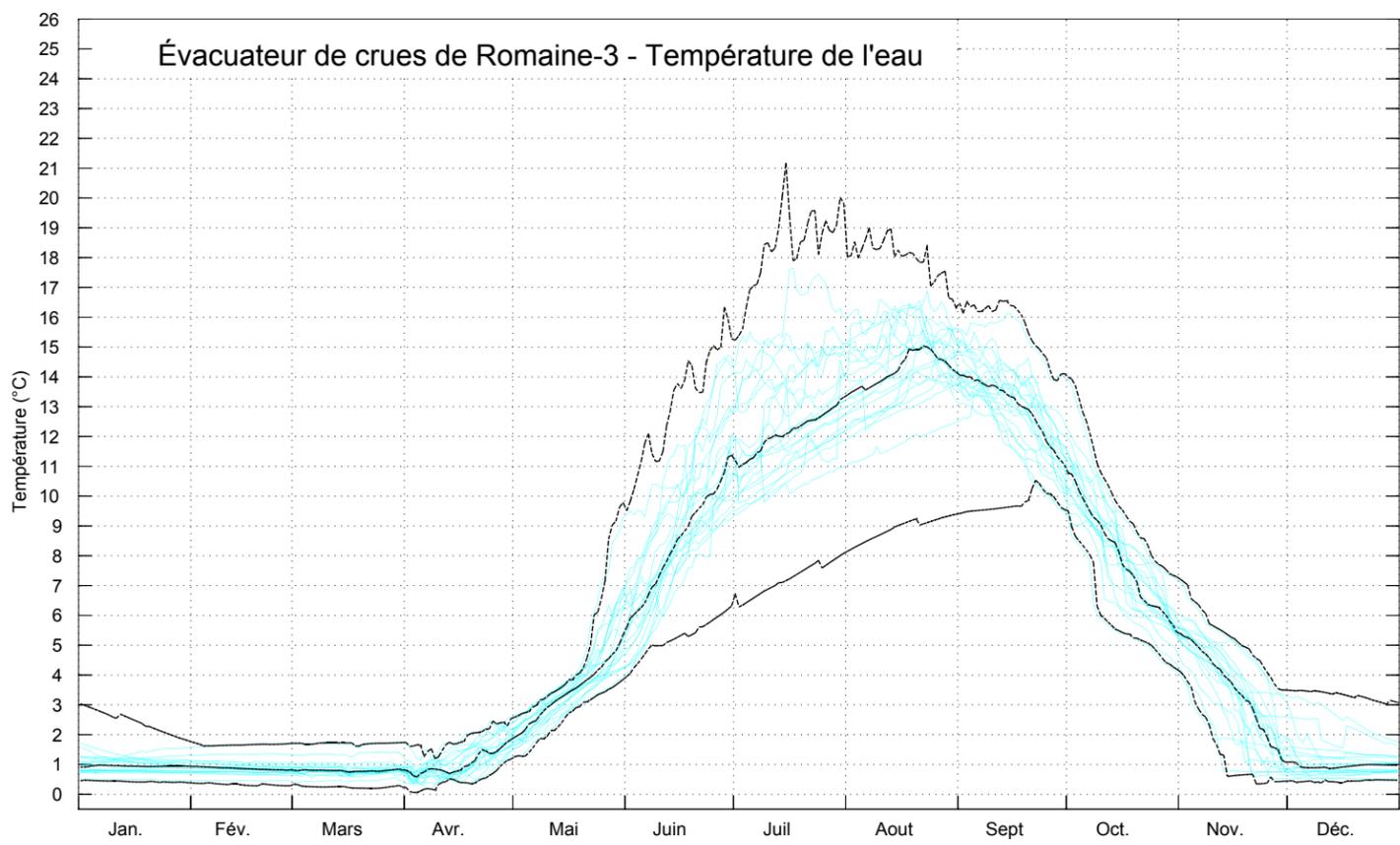
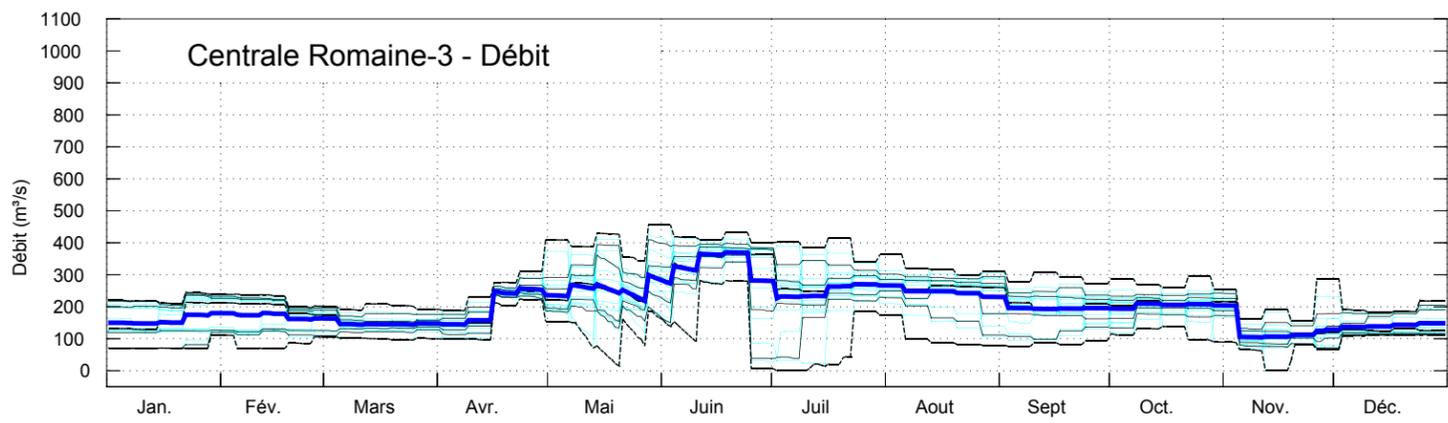
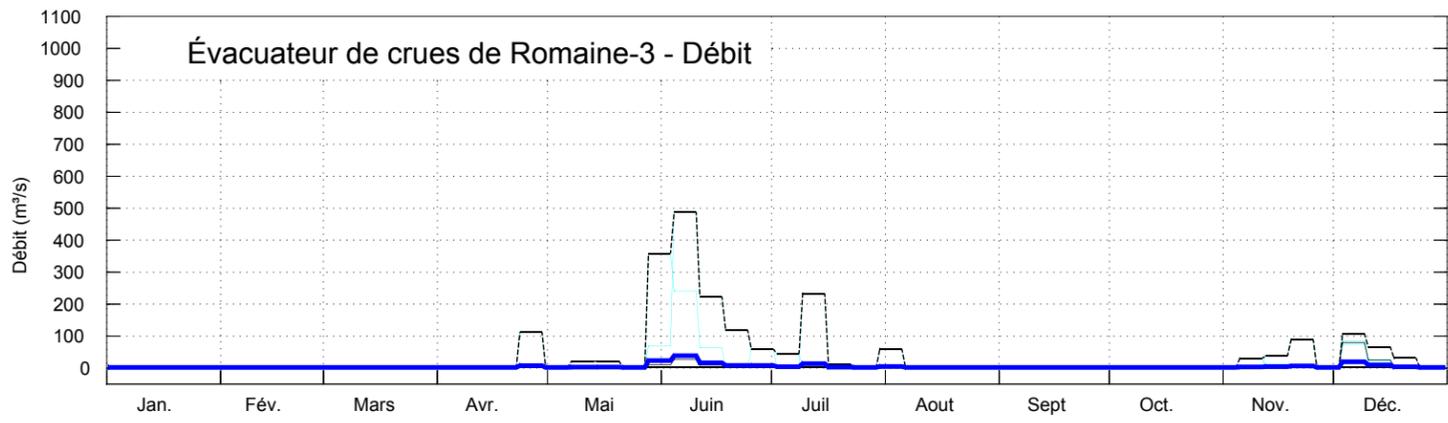


Planche 11.
Réservoir Romaine-3. Température de l'eau et débit aux exutoires.

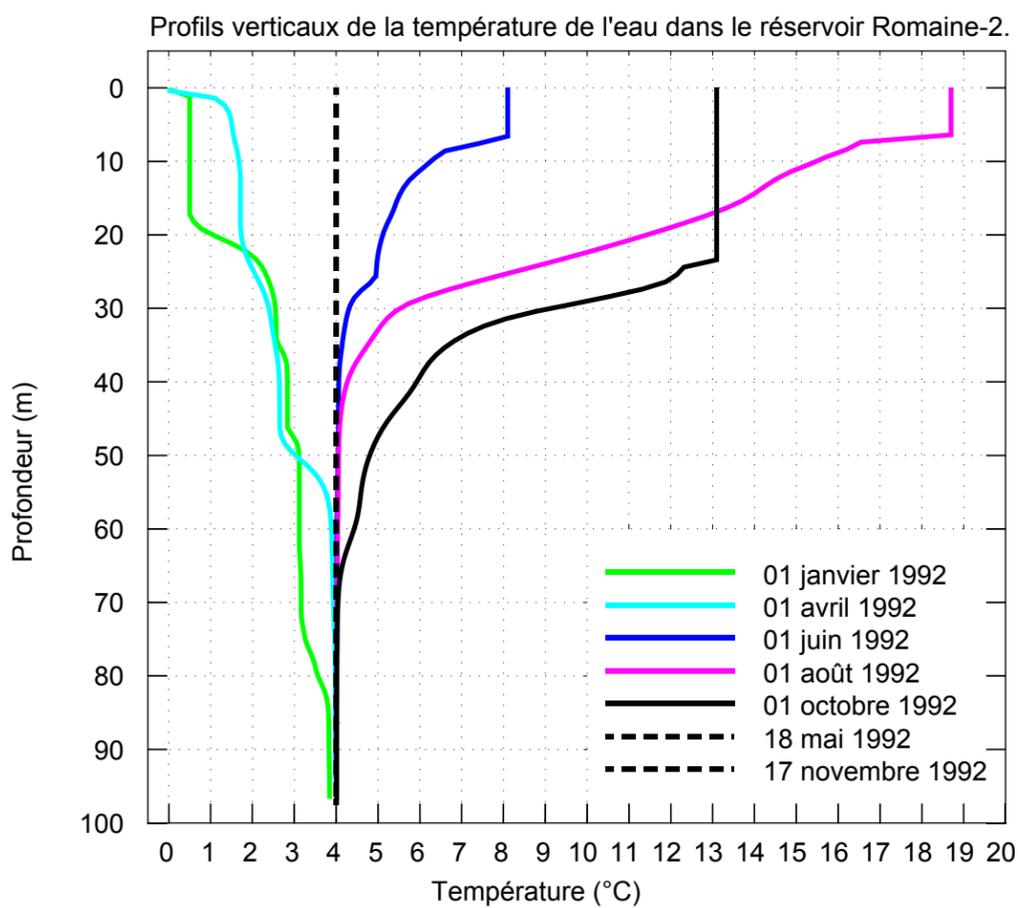
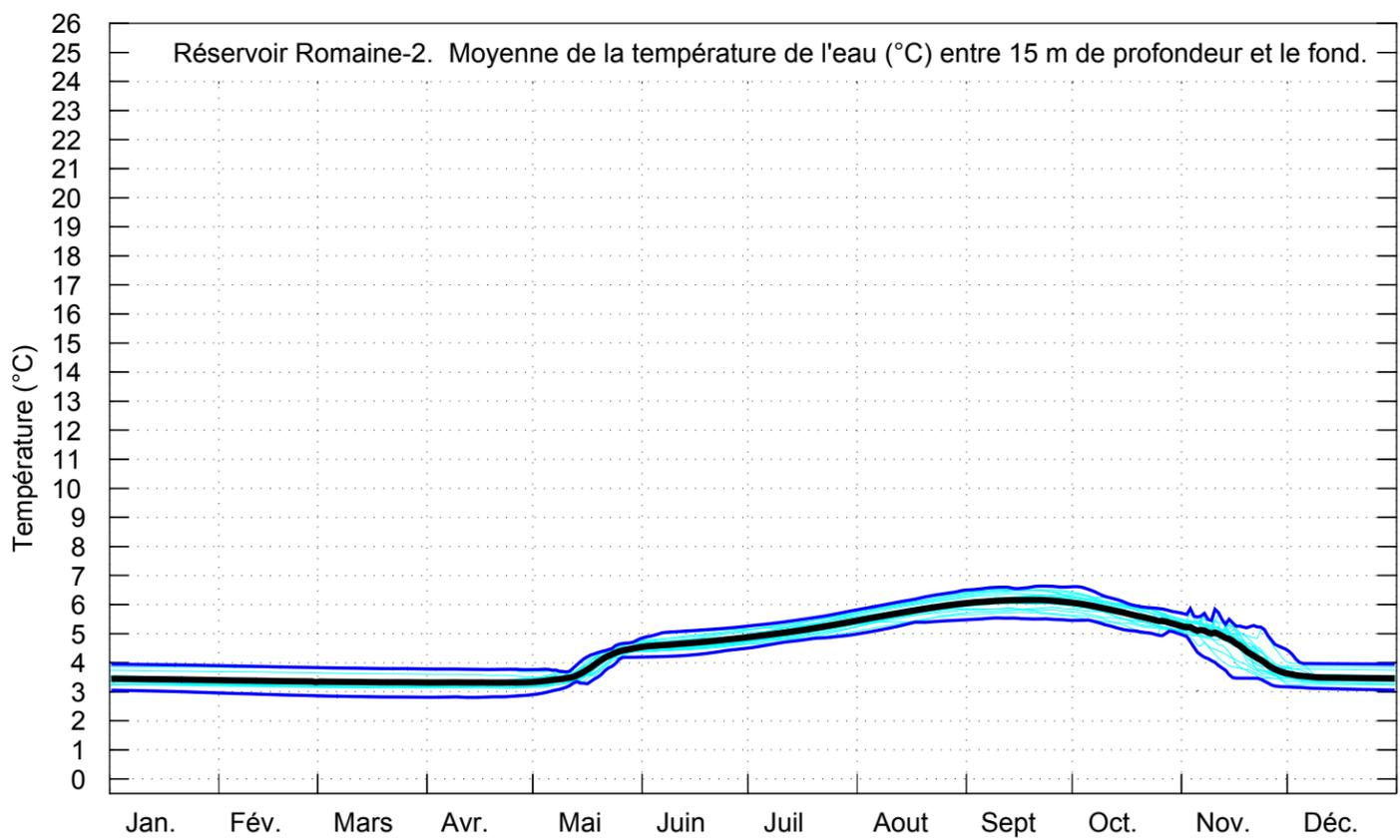
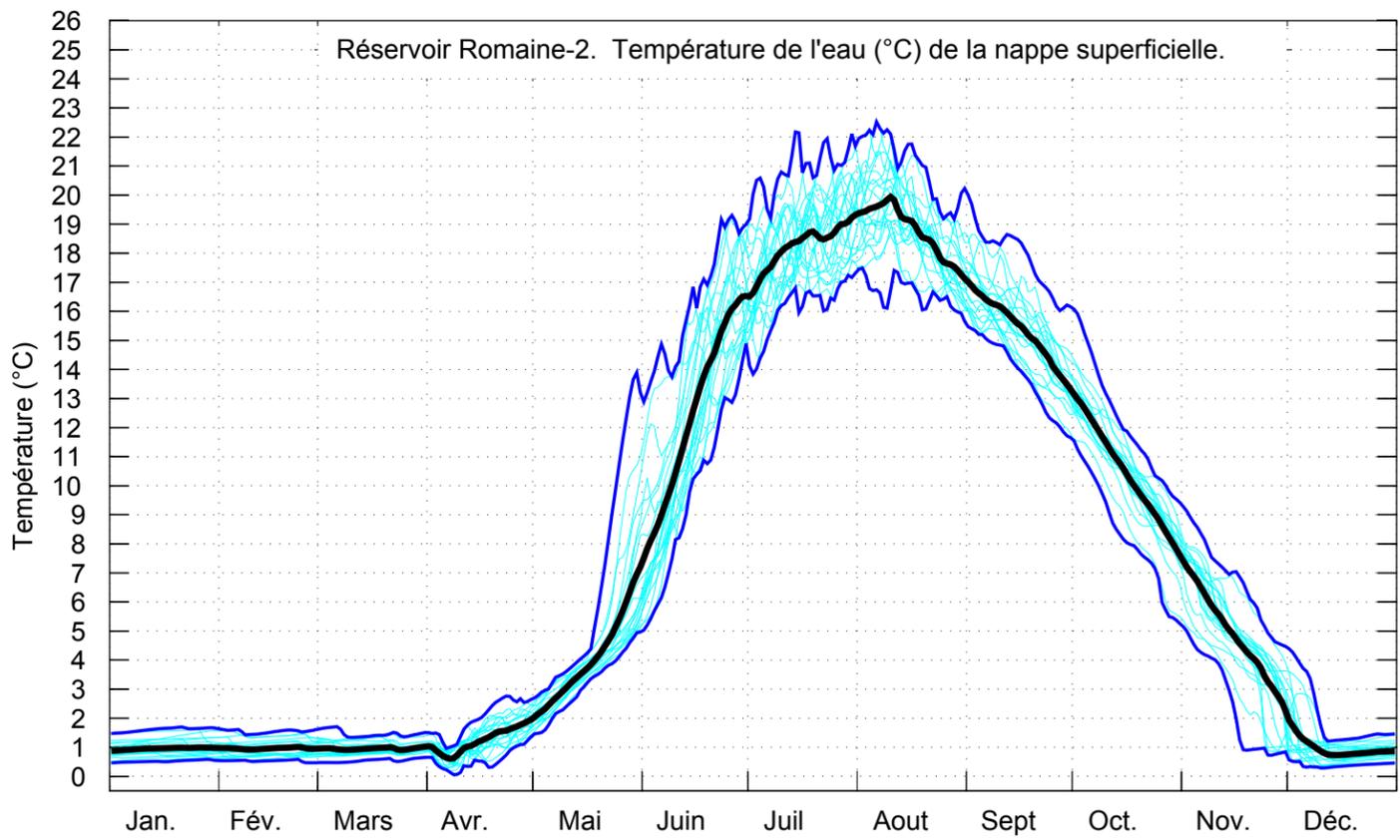


Planche 12.
 Réservoir Romaine 2. Profils verticaux et température de l'eau intérieure.

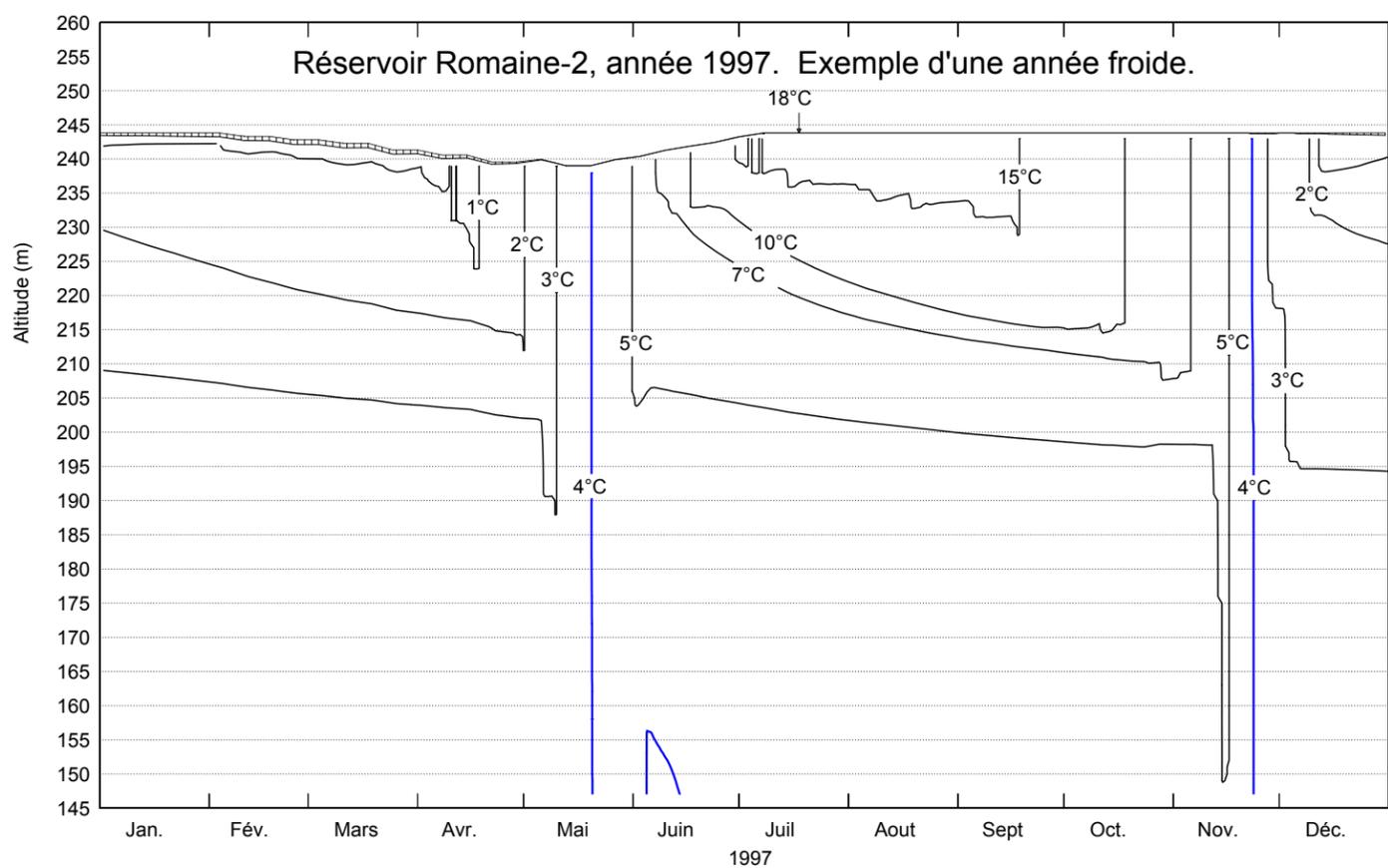
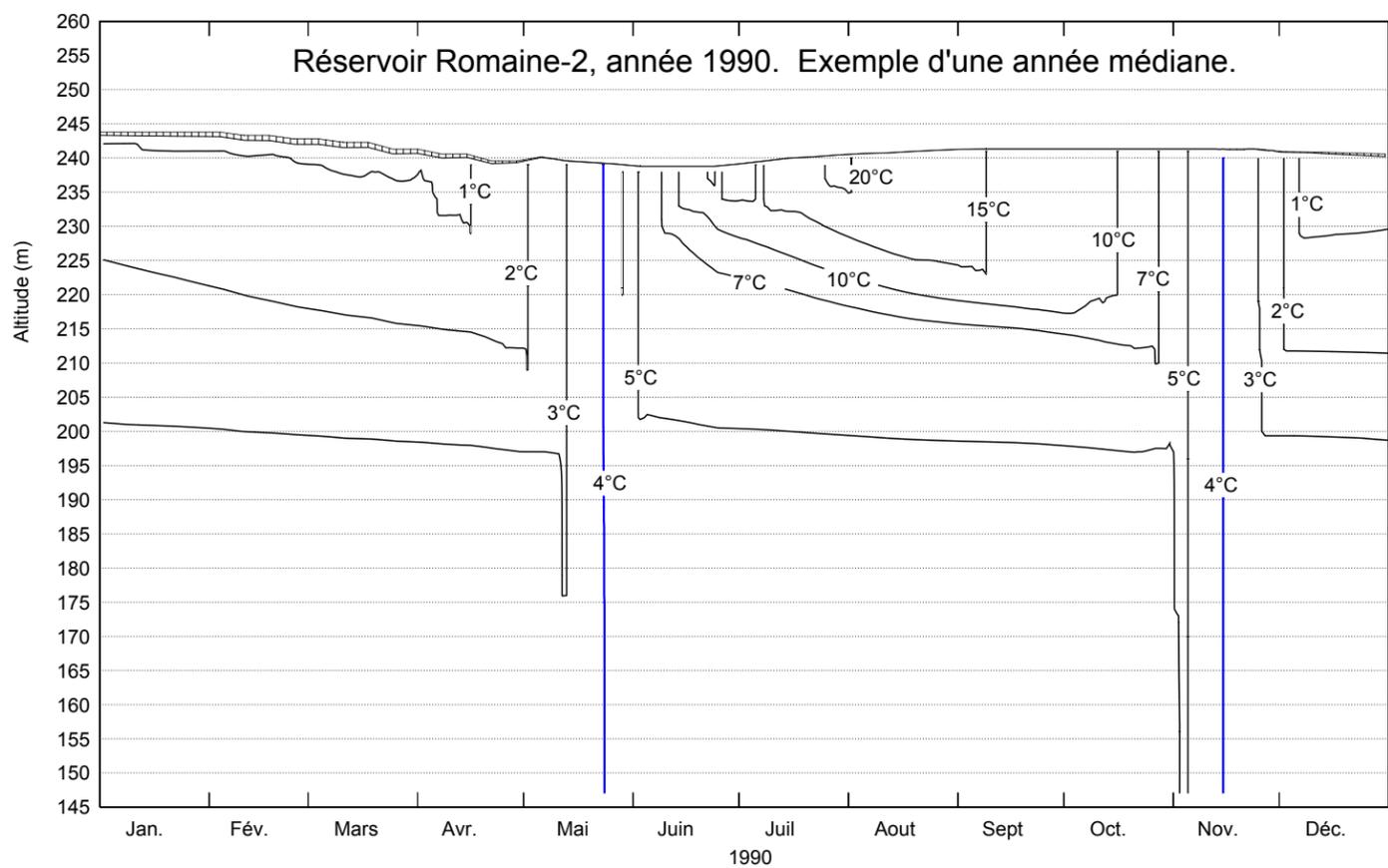
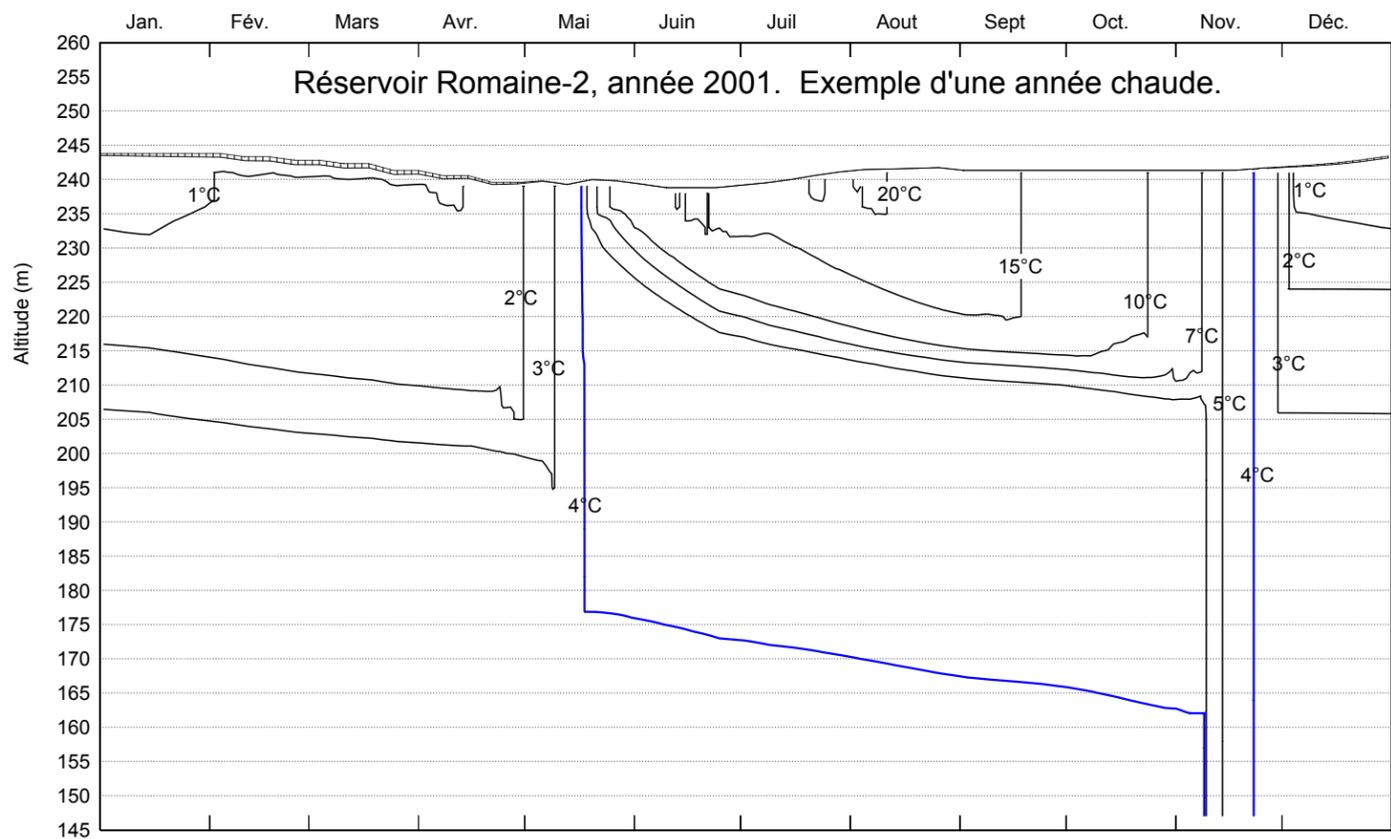


Planche 13.
 Réservoir Romaine-2. Isothermes dans le réservoir pour trois années-type.

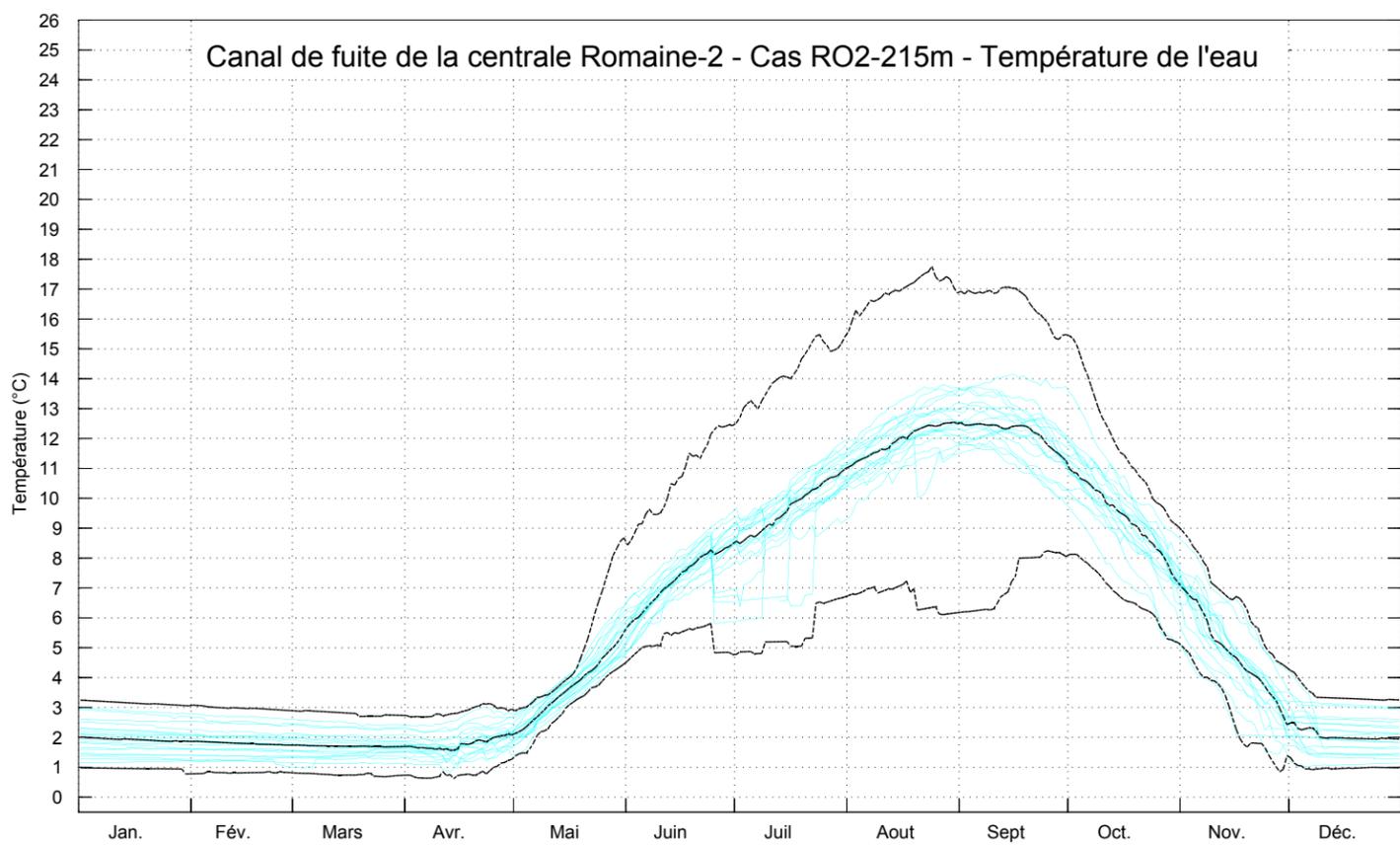
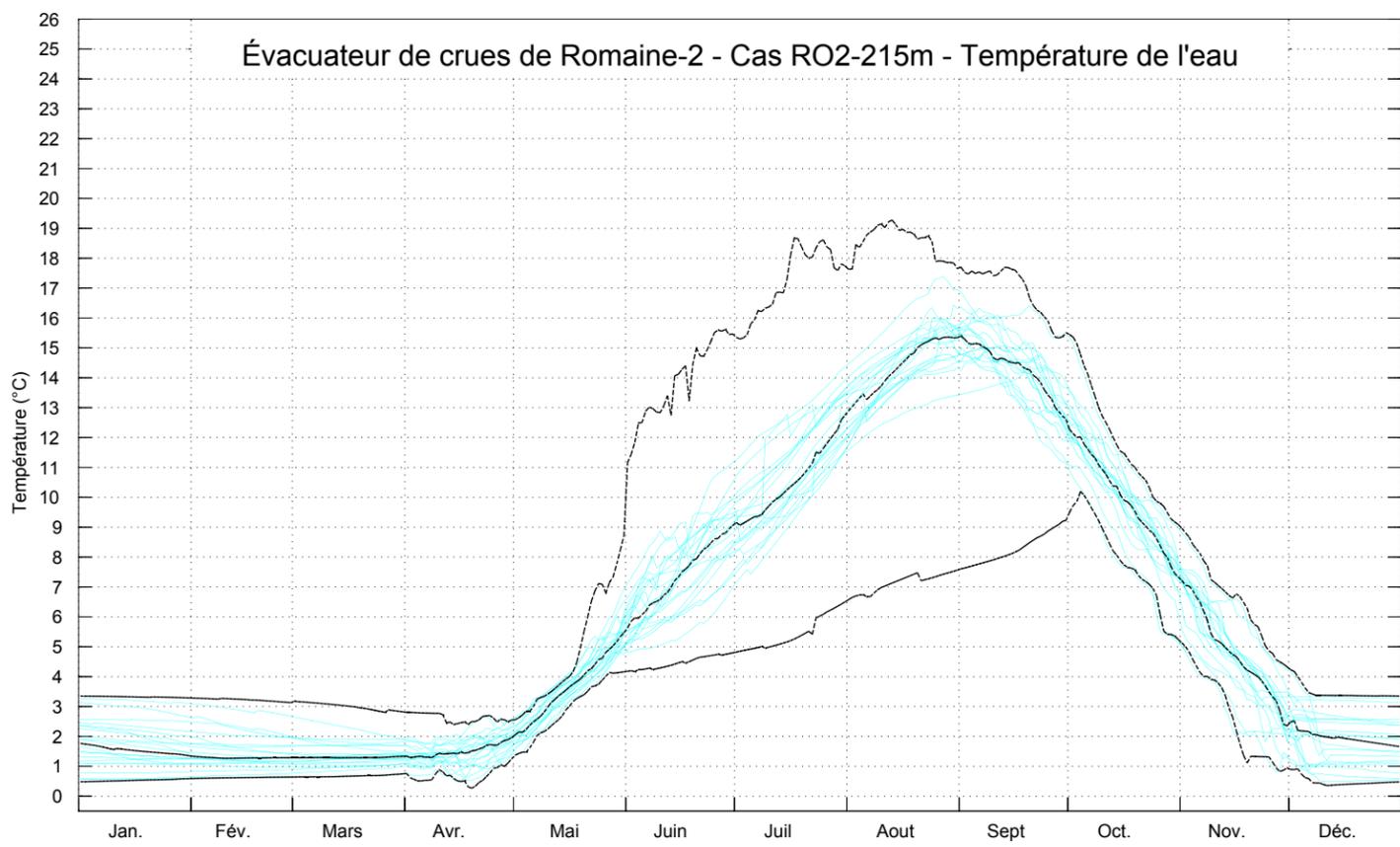
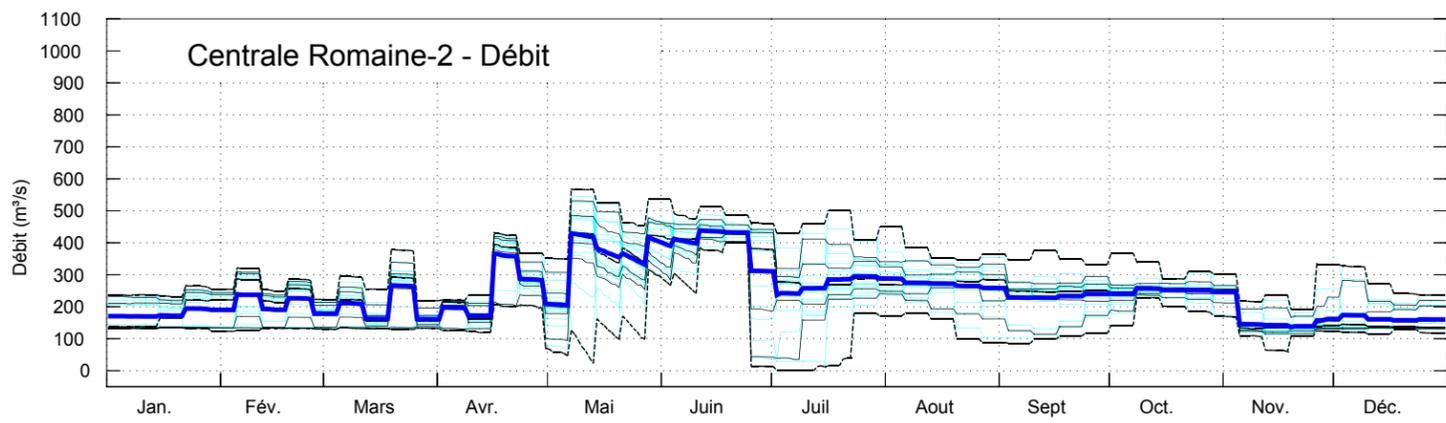
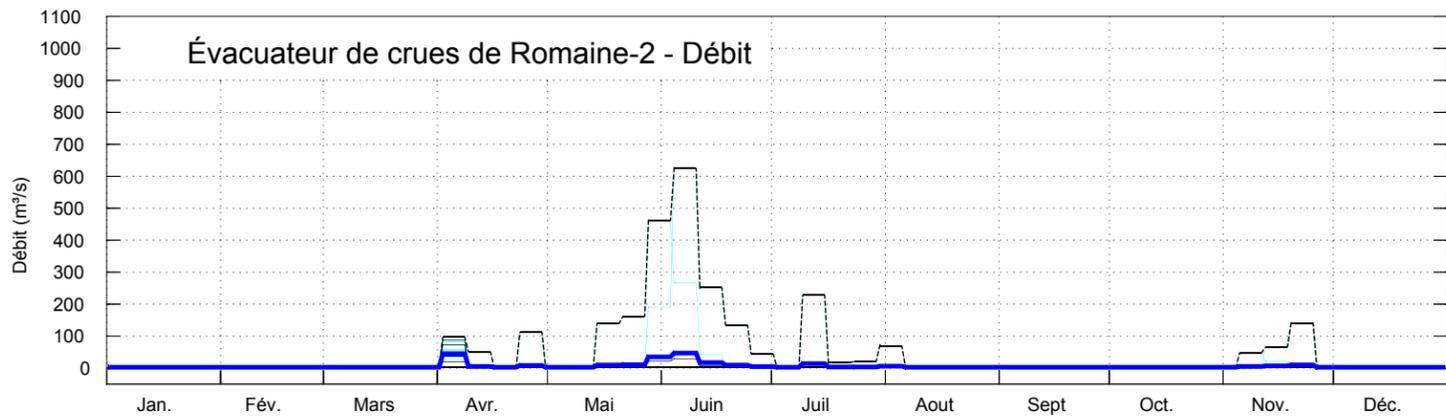


Planche 14.
Réservoir Romaine-2. Température de l'eau et débit aux exutoires.

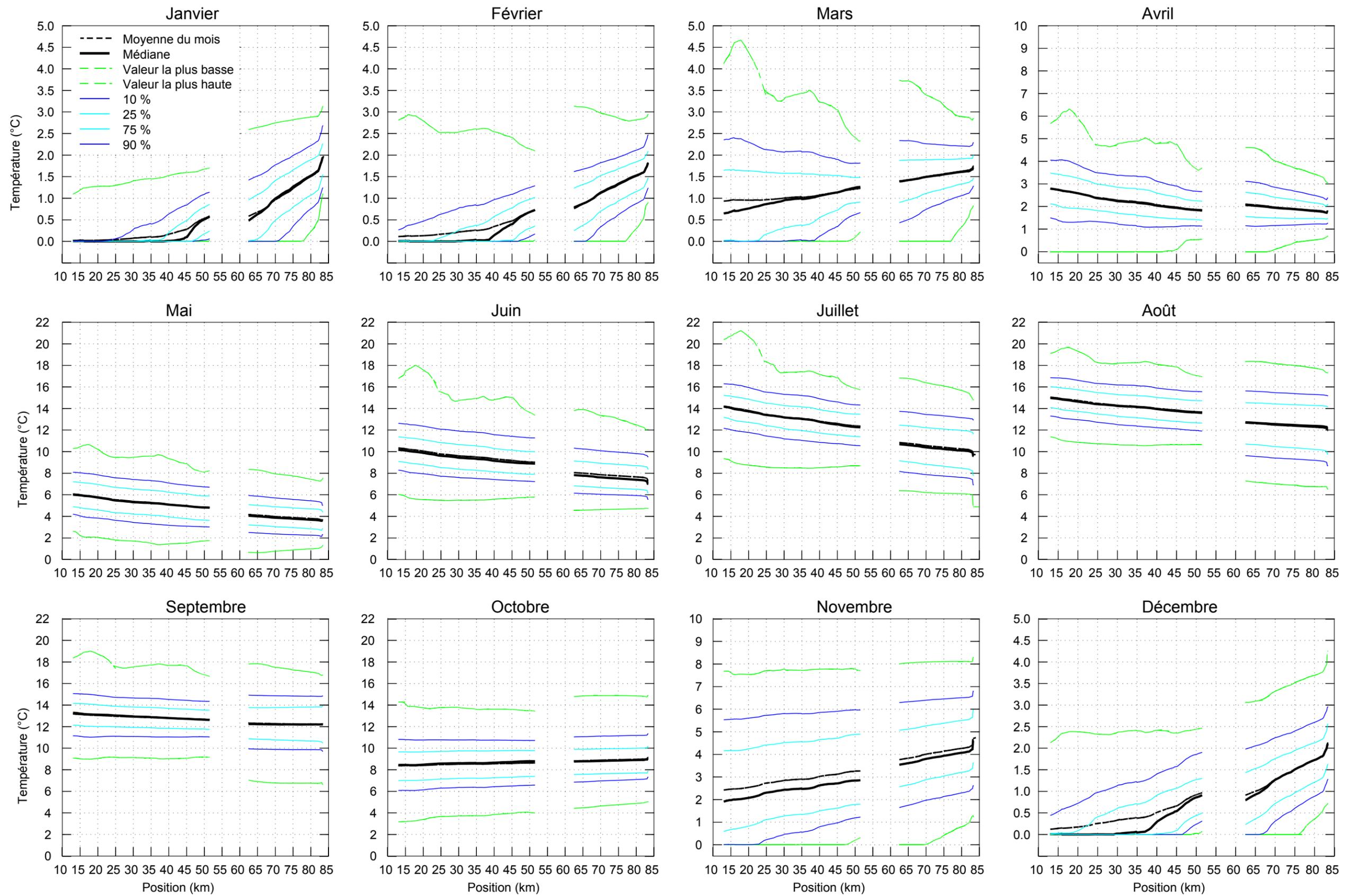


Planche 15.
 Rivière Romaine. Tronçons fluviaux situés entre la centrale Romaine-2 et le PK 13.
 Profils longitudinaux mensuels de la température de l'eau.

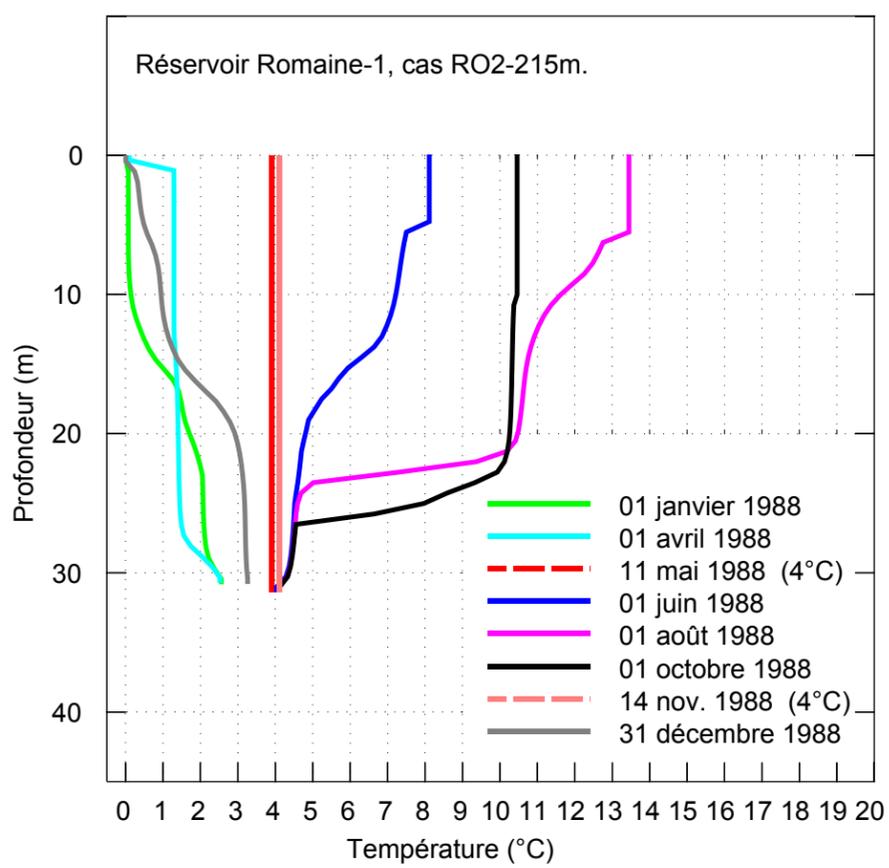
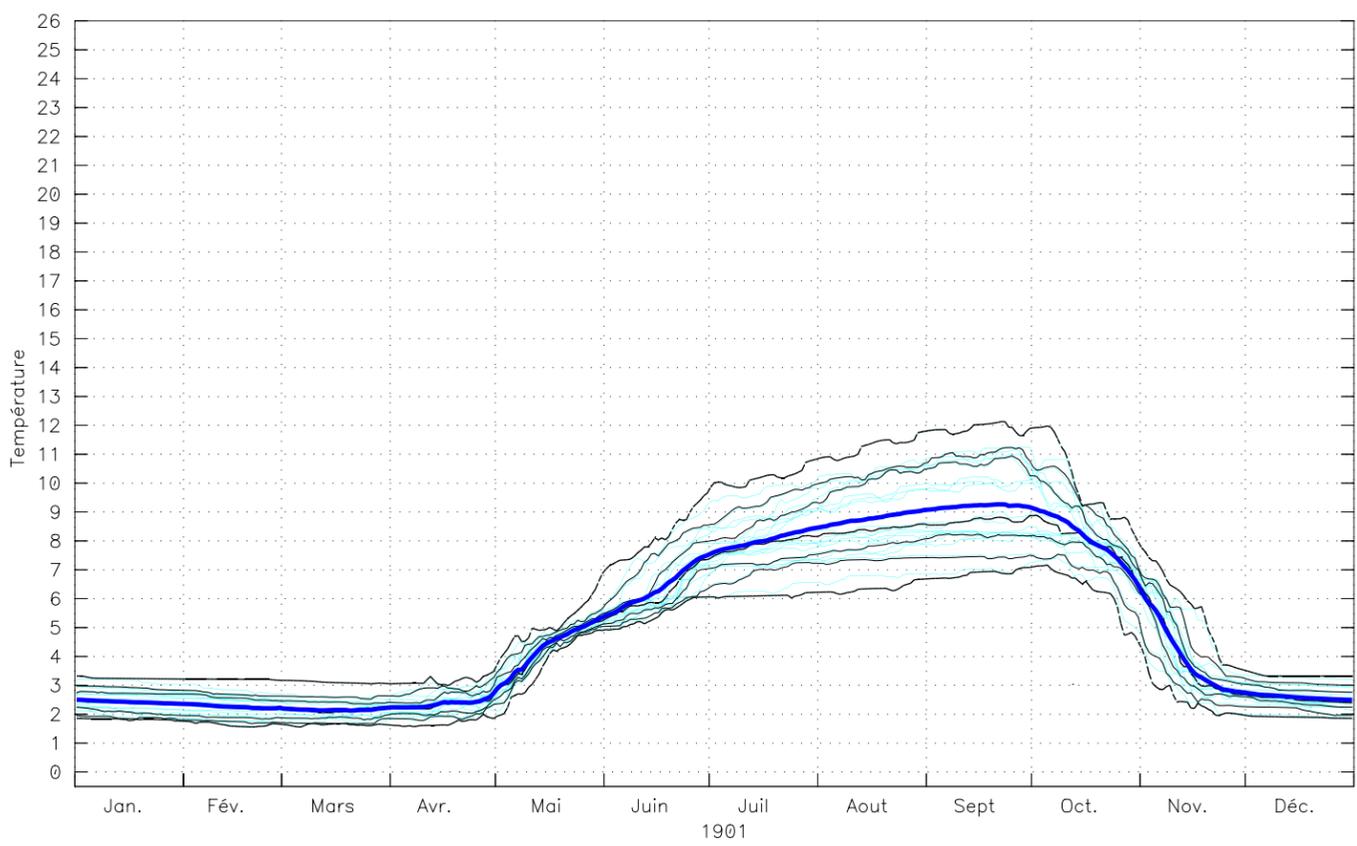
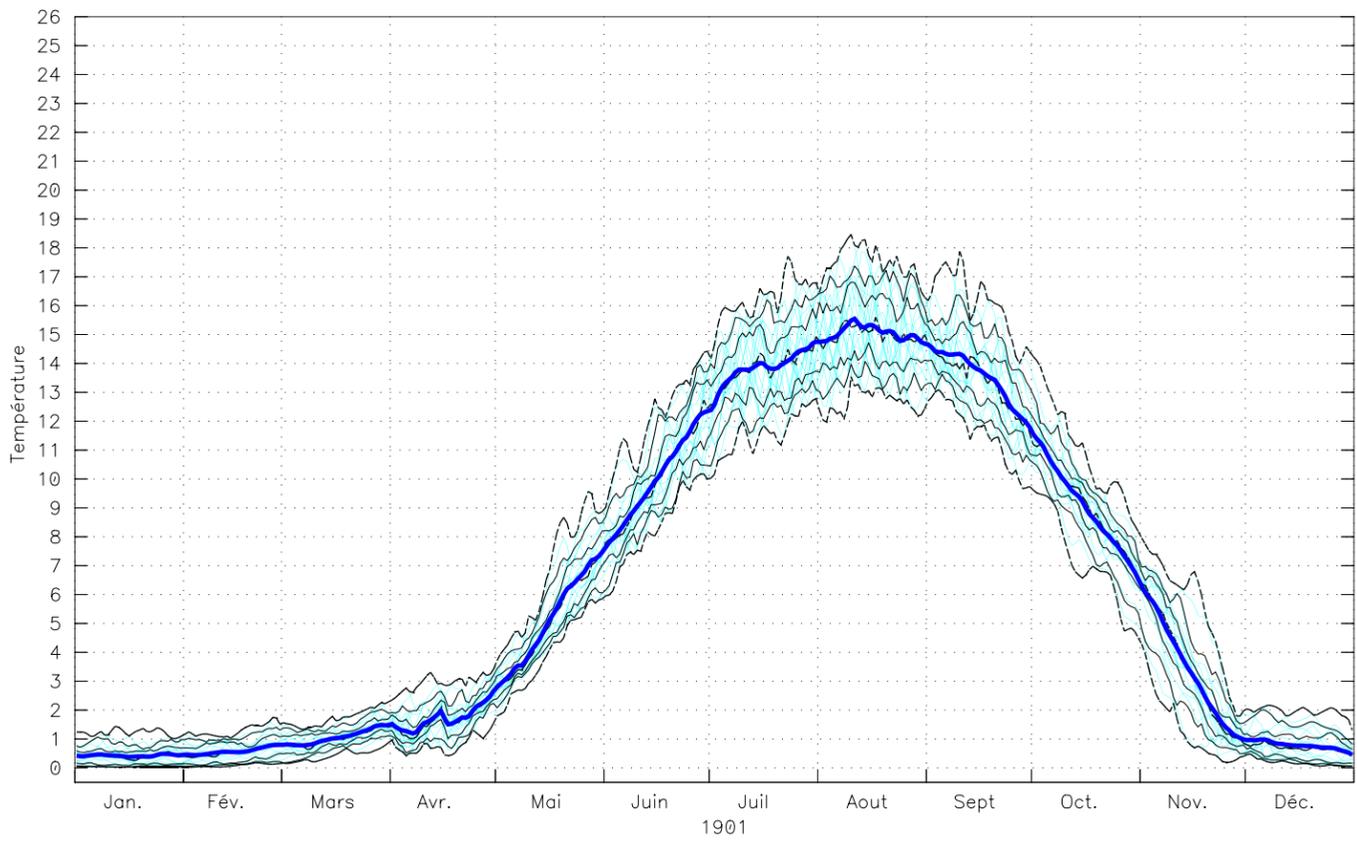


Planche 16.
 Réservoir Romaine-1. Profils verticaux instantanés et séries temporelles de température de l'eau dans le réservoir.

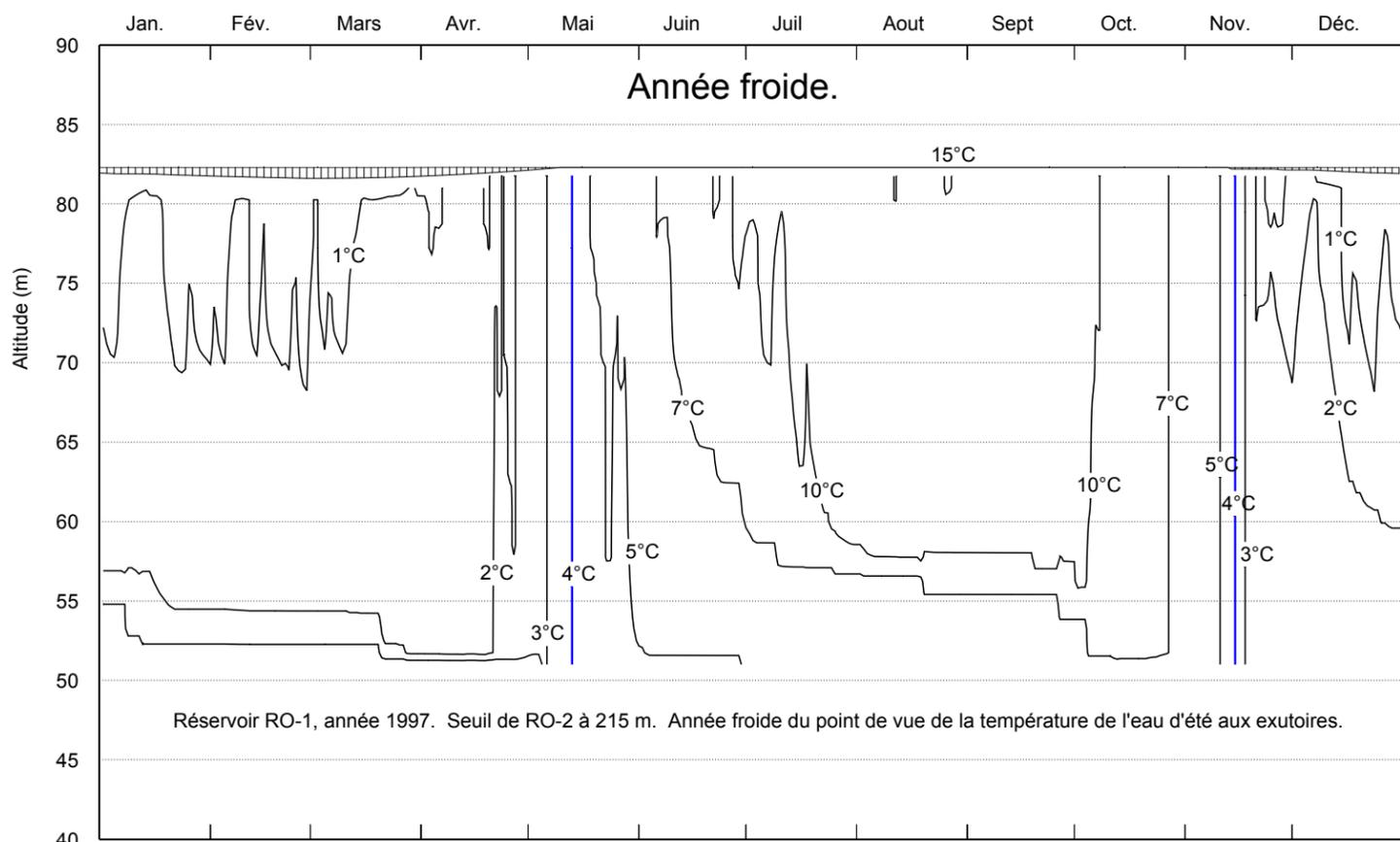
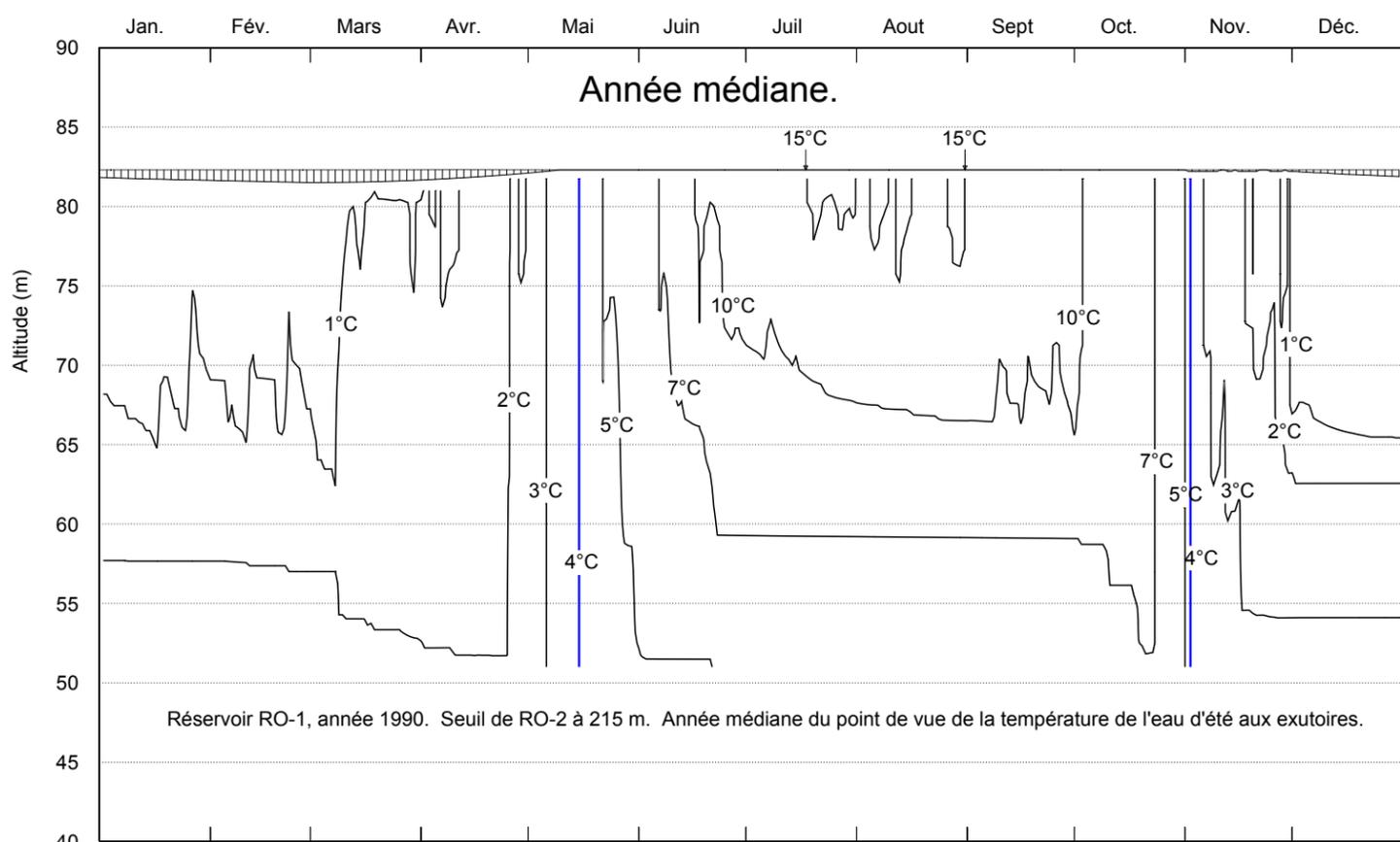
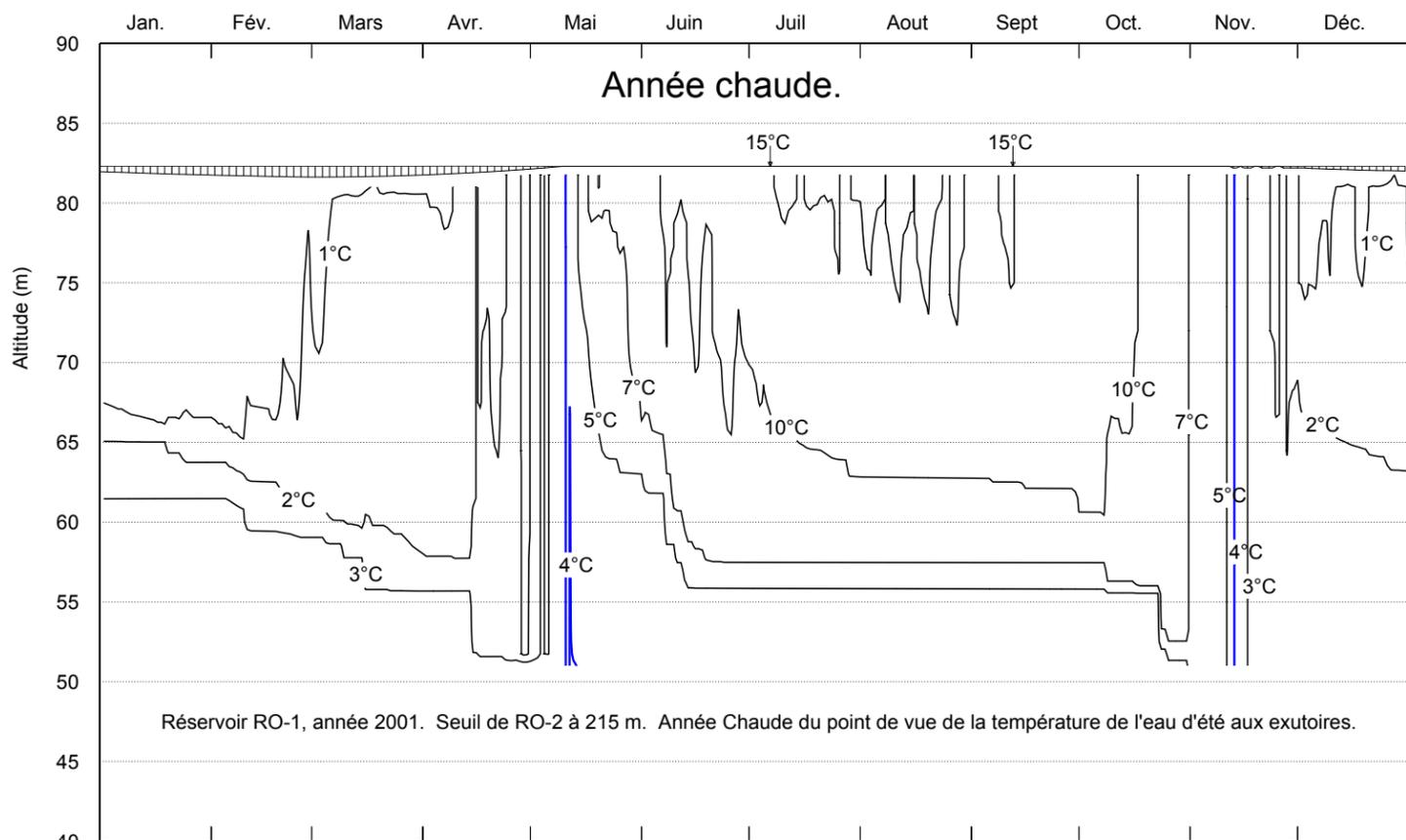


Planche 17.
 Réservoir Romaine-1. Isothermes dans le réservoir pour trois années-type,

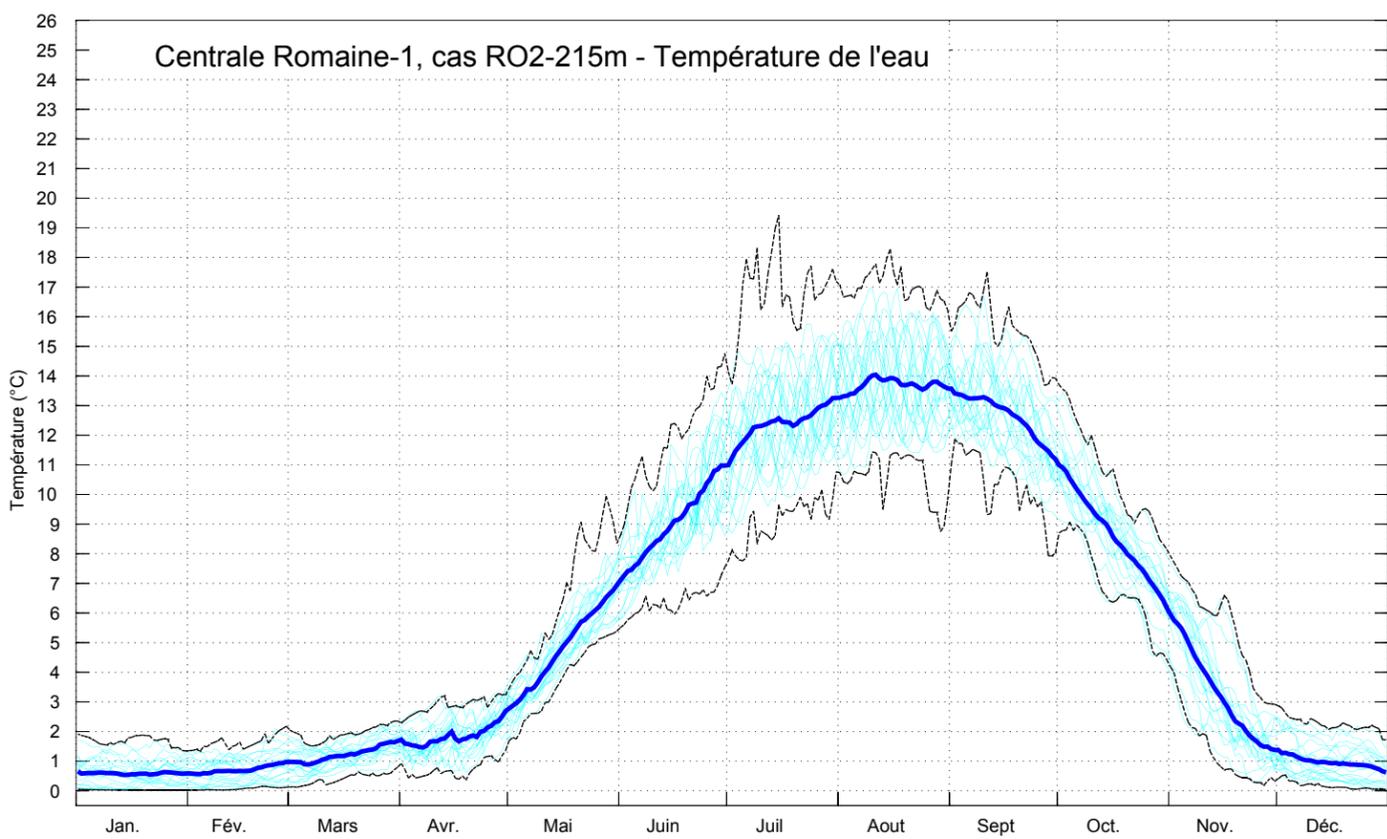
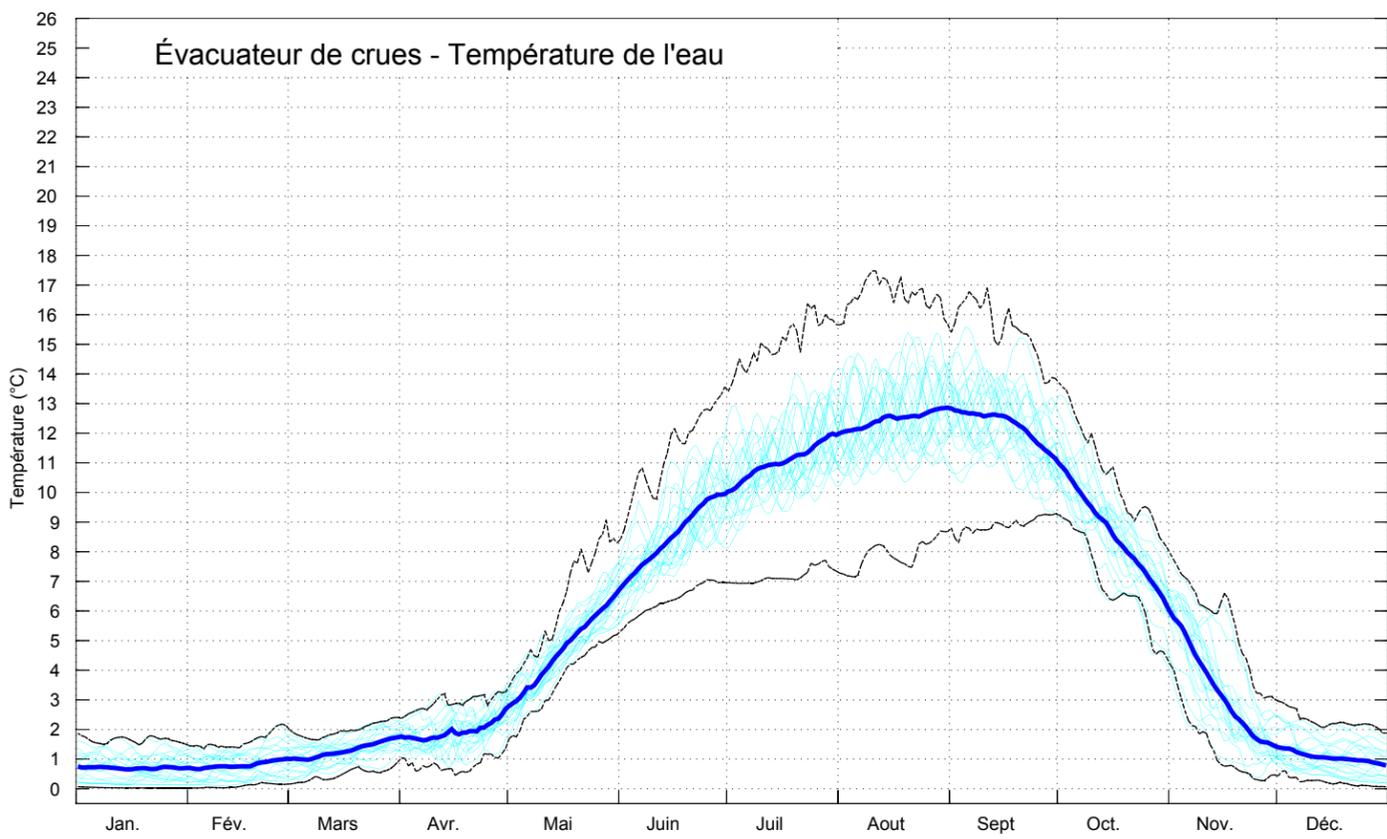
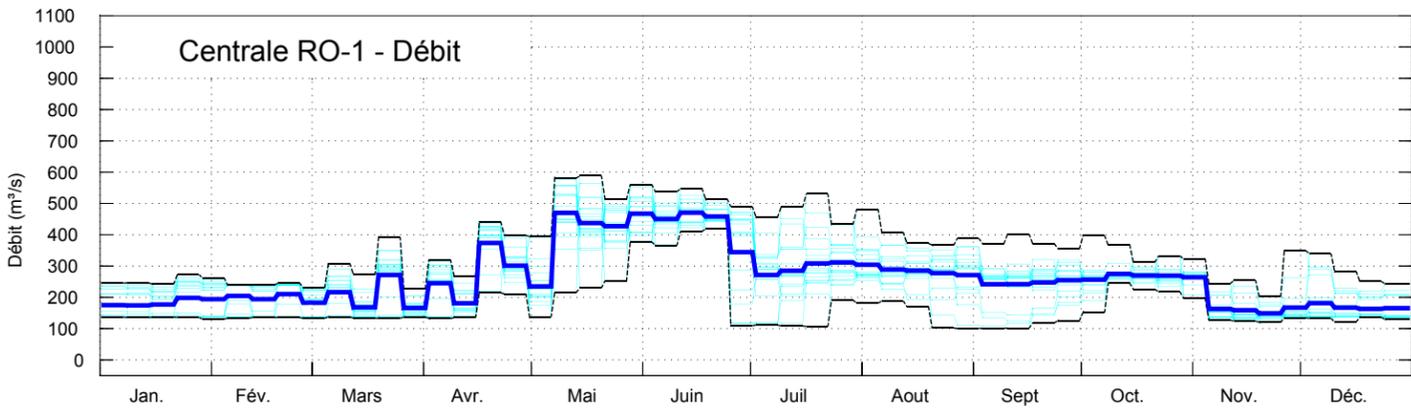
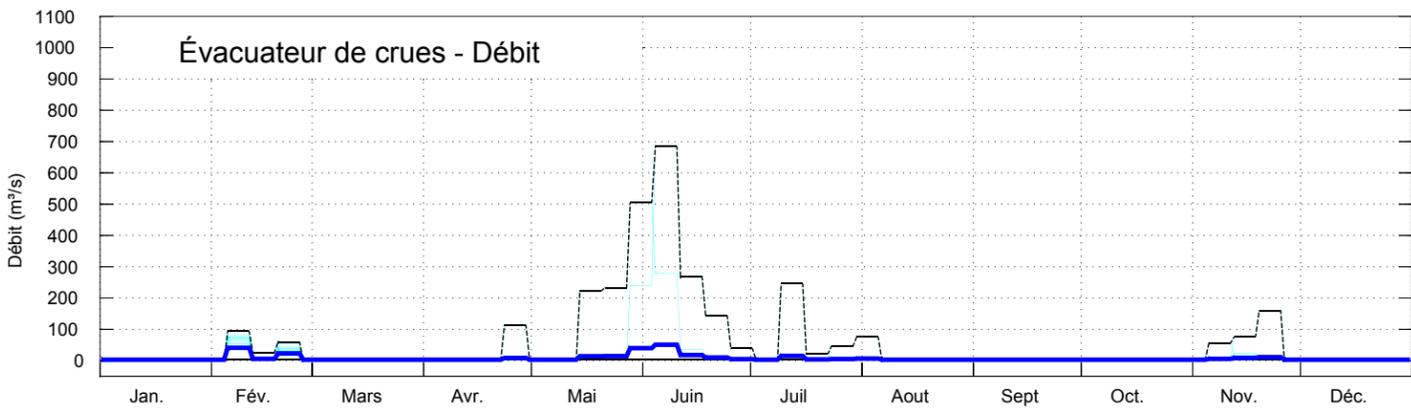


Planche 18.
Réservoir Romaine-1. Température de l'eau et débit aux exutoires.

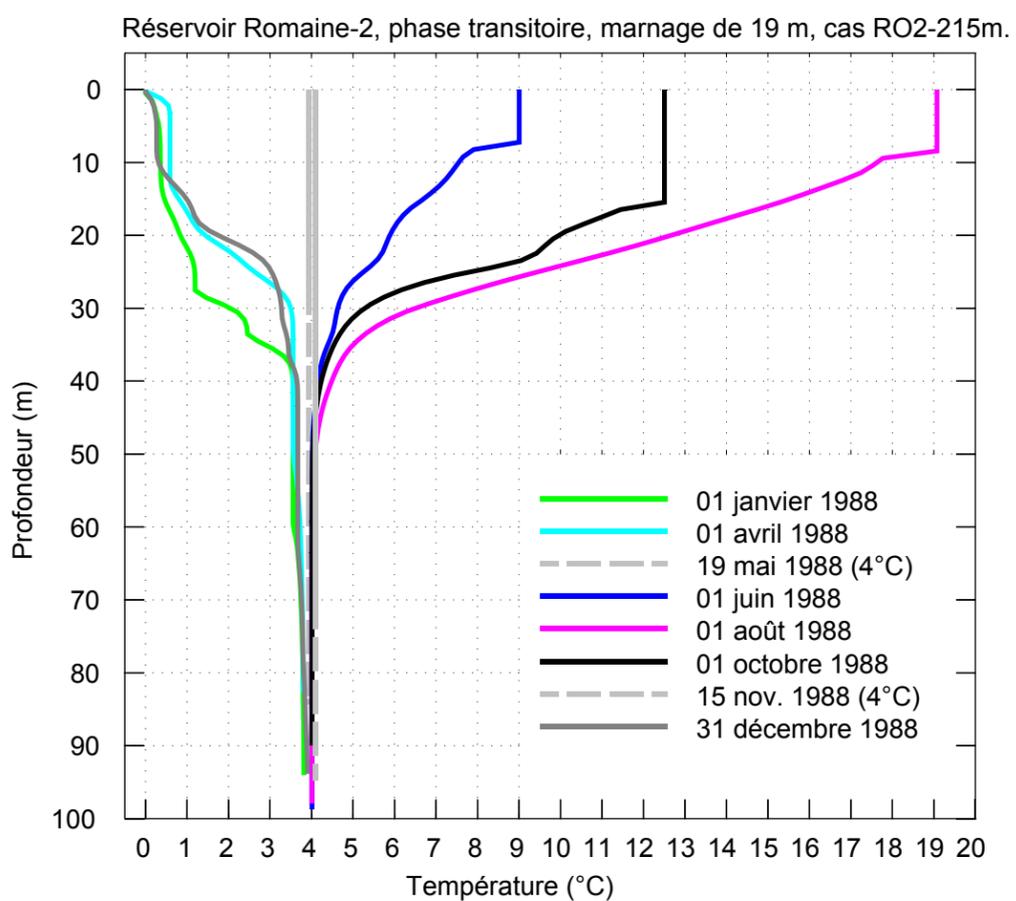
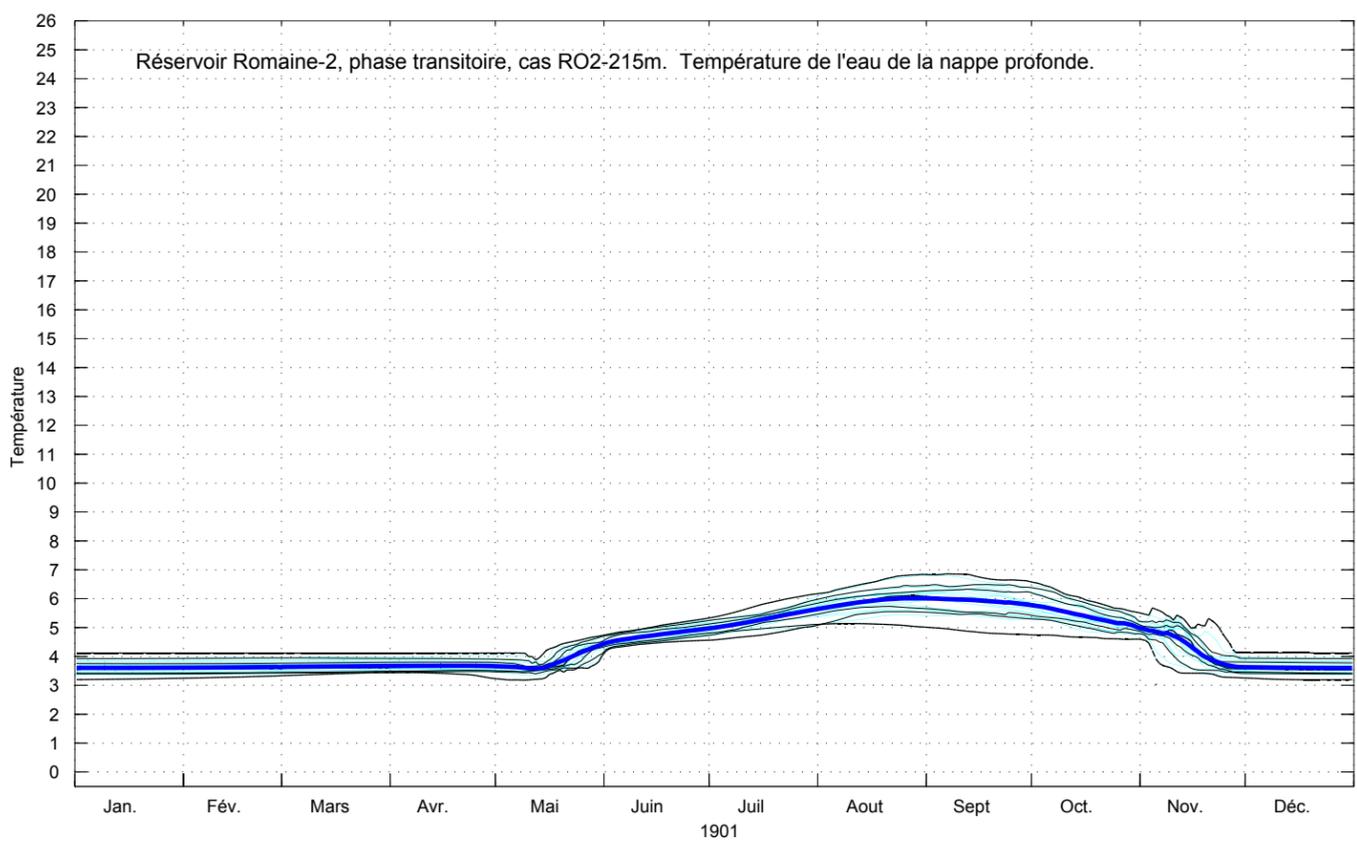
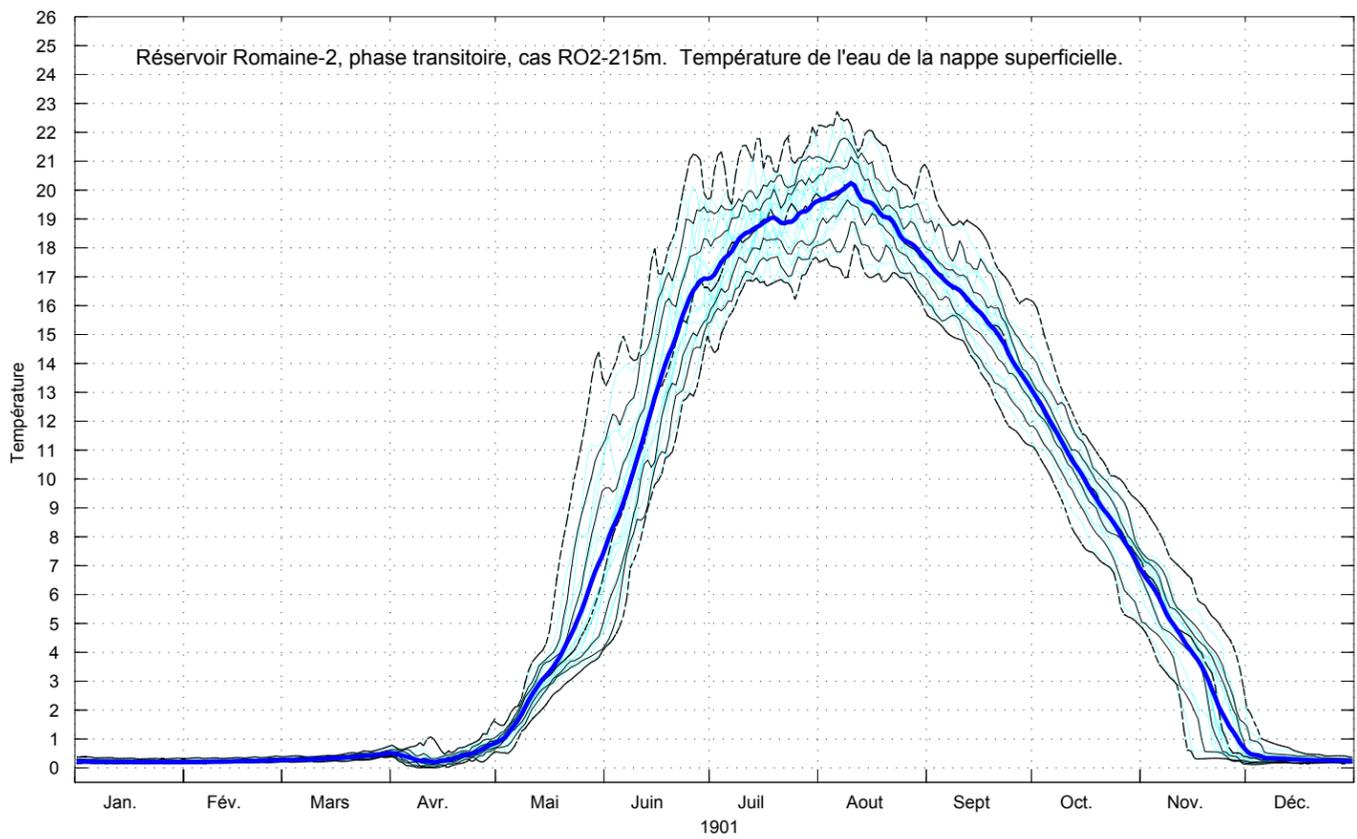


Planche 19.
 Réservoir Romaine-2, phase transitoire. Profils verticaux instantanés
 et séries temporelles de la température de l'eau dans le réservoir.

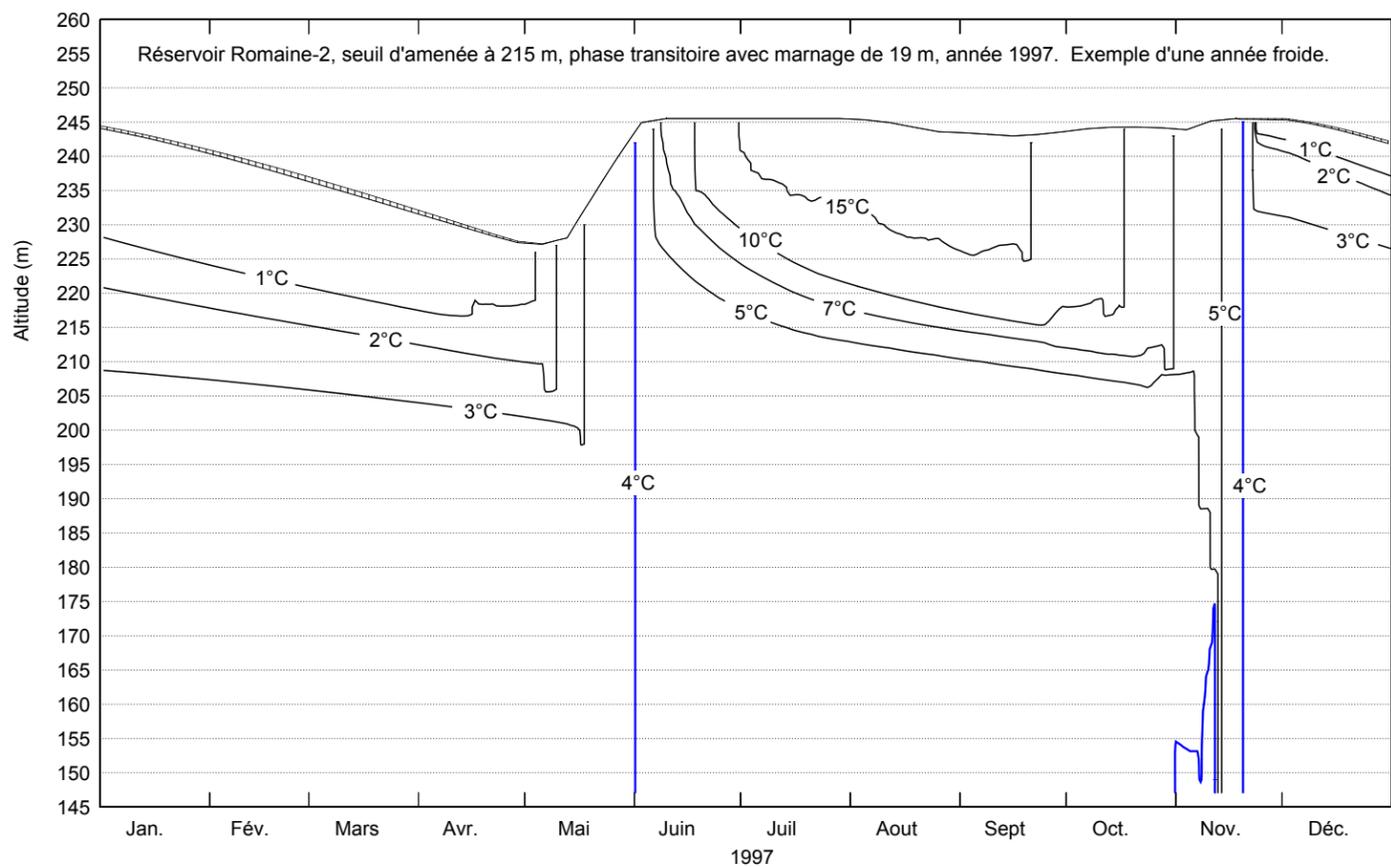
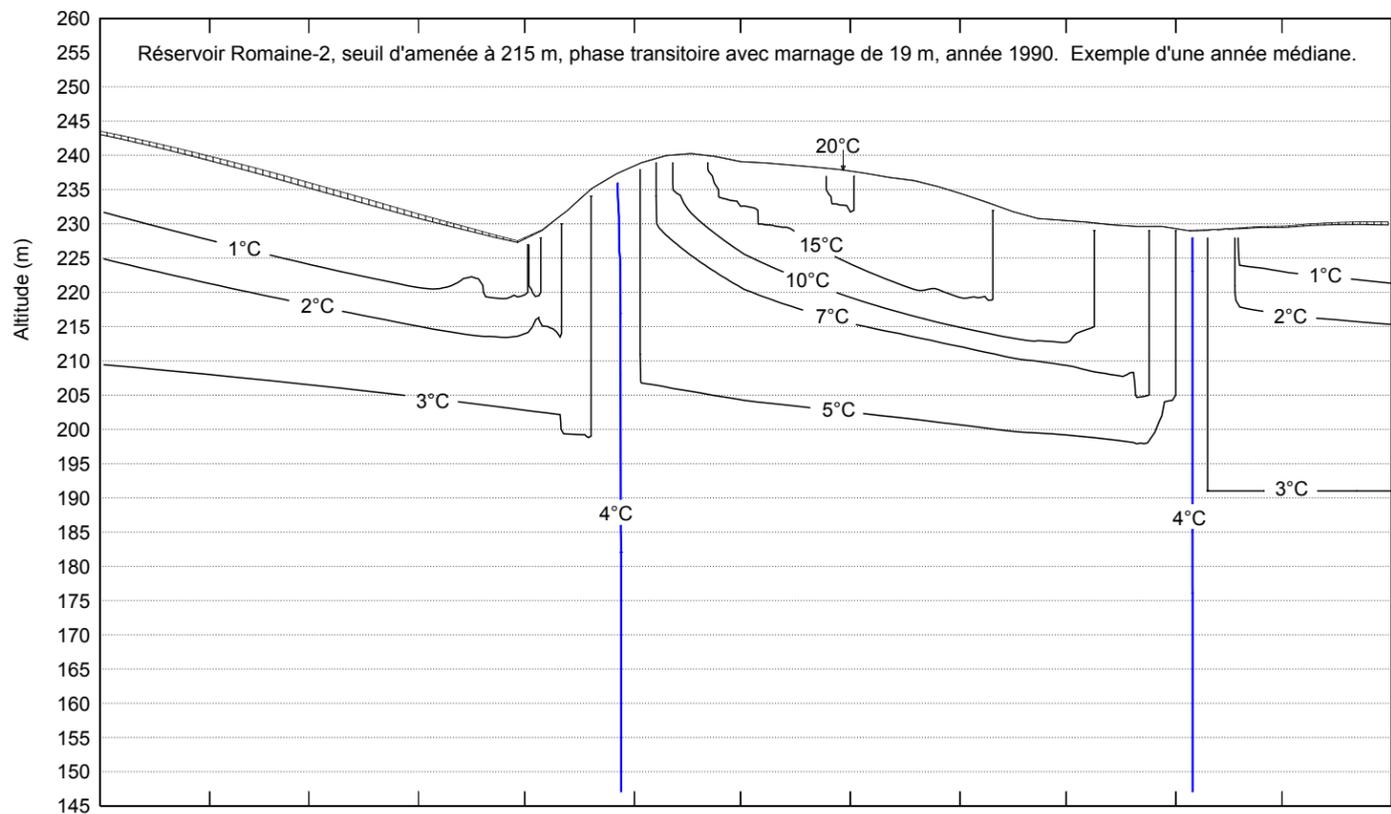
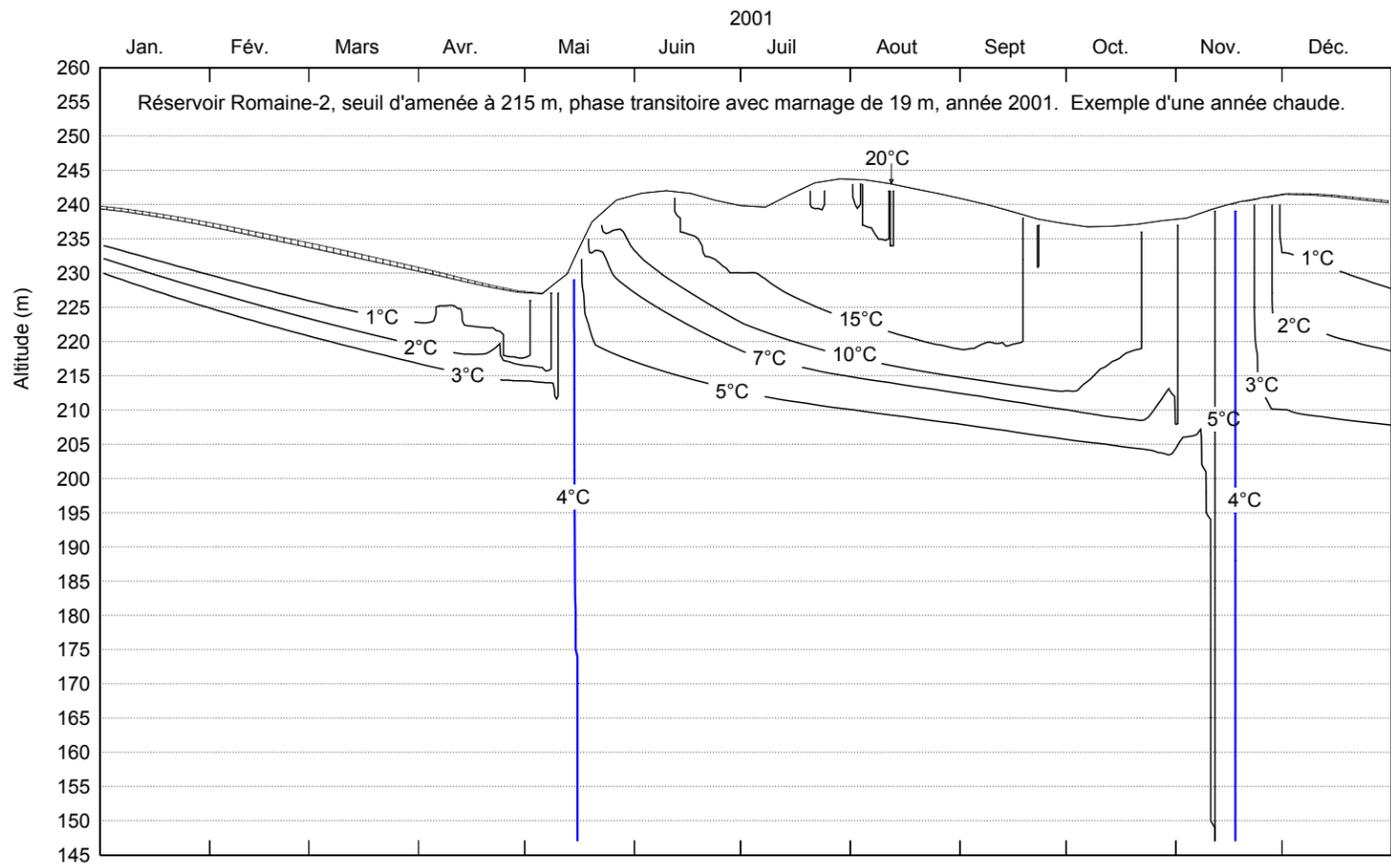


Planche 20.
 Réservoir Romaine-2, phase transitoire.
 Isothermes dans le réservoir pour trois années-type.

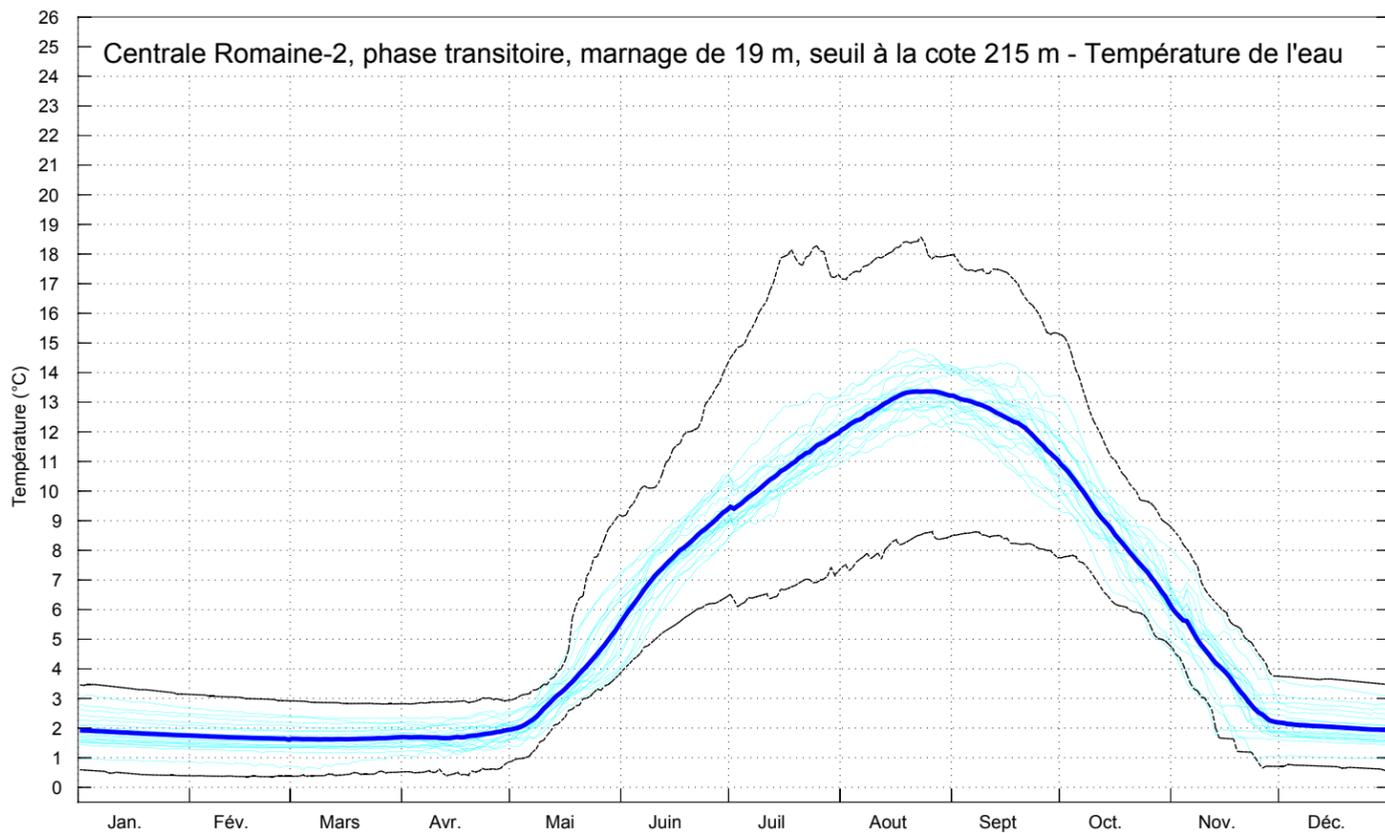
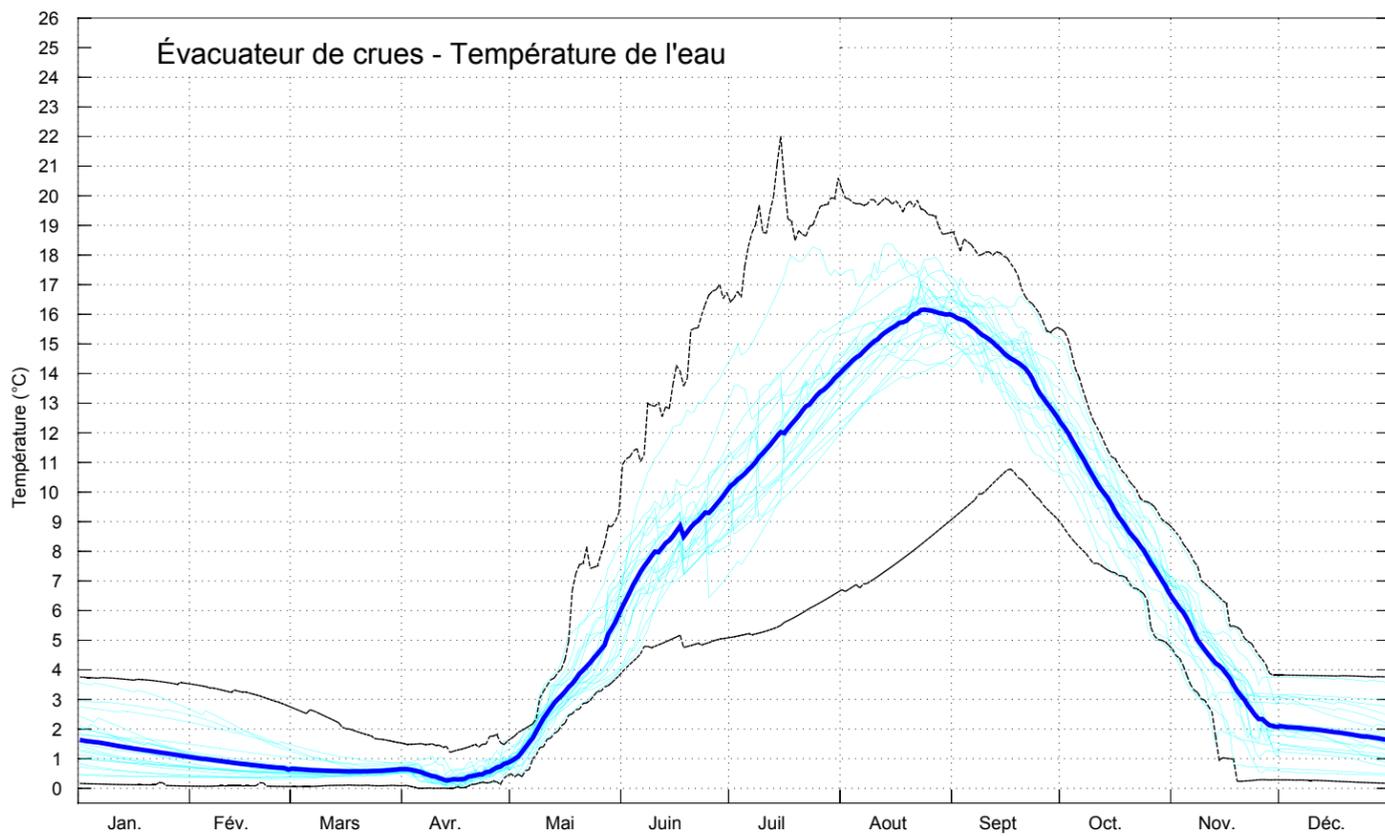
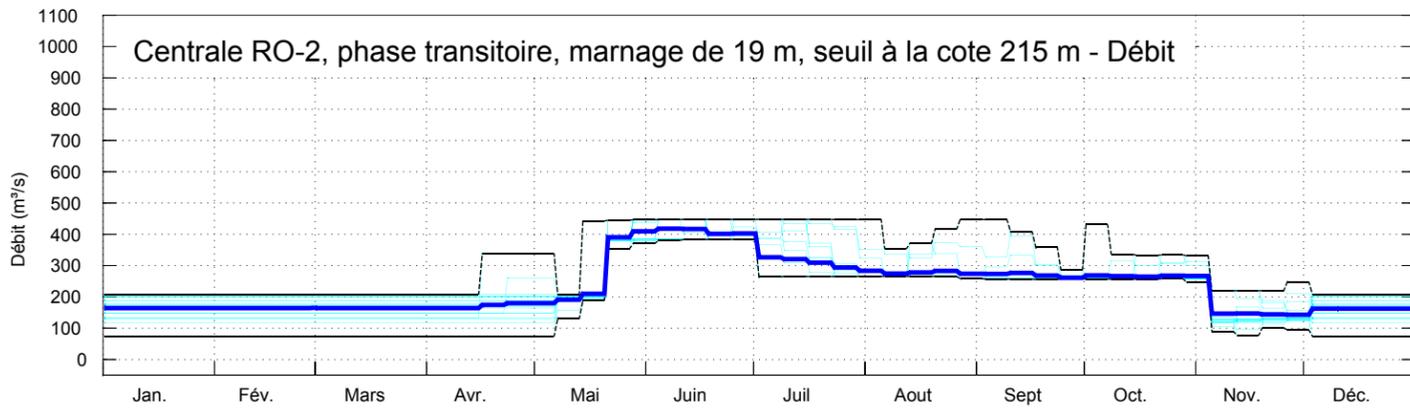
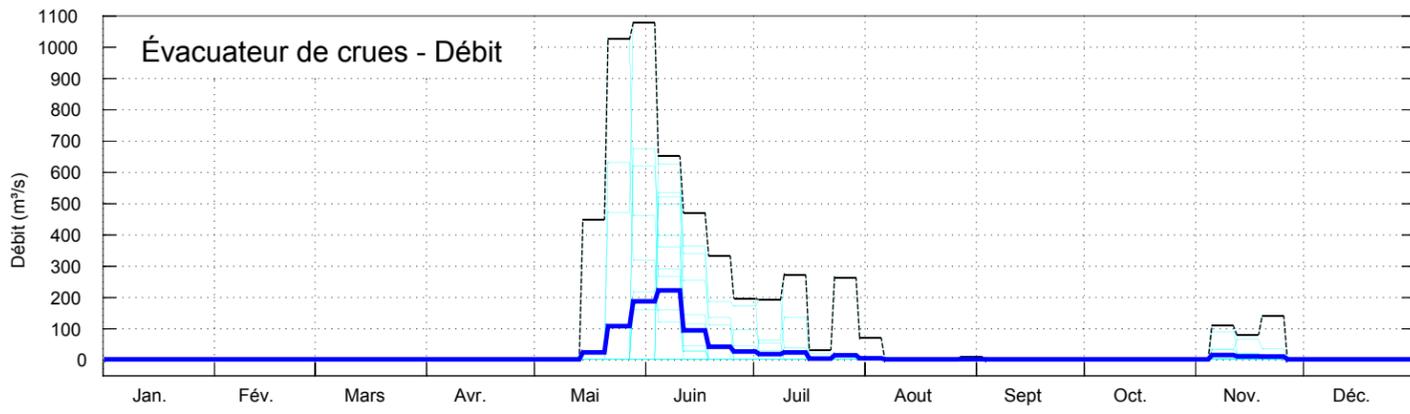


Planche 21.
 Réservoir Romaine-2, phase transitoire.
 Température de l'eau et débit aux exutoires.

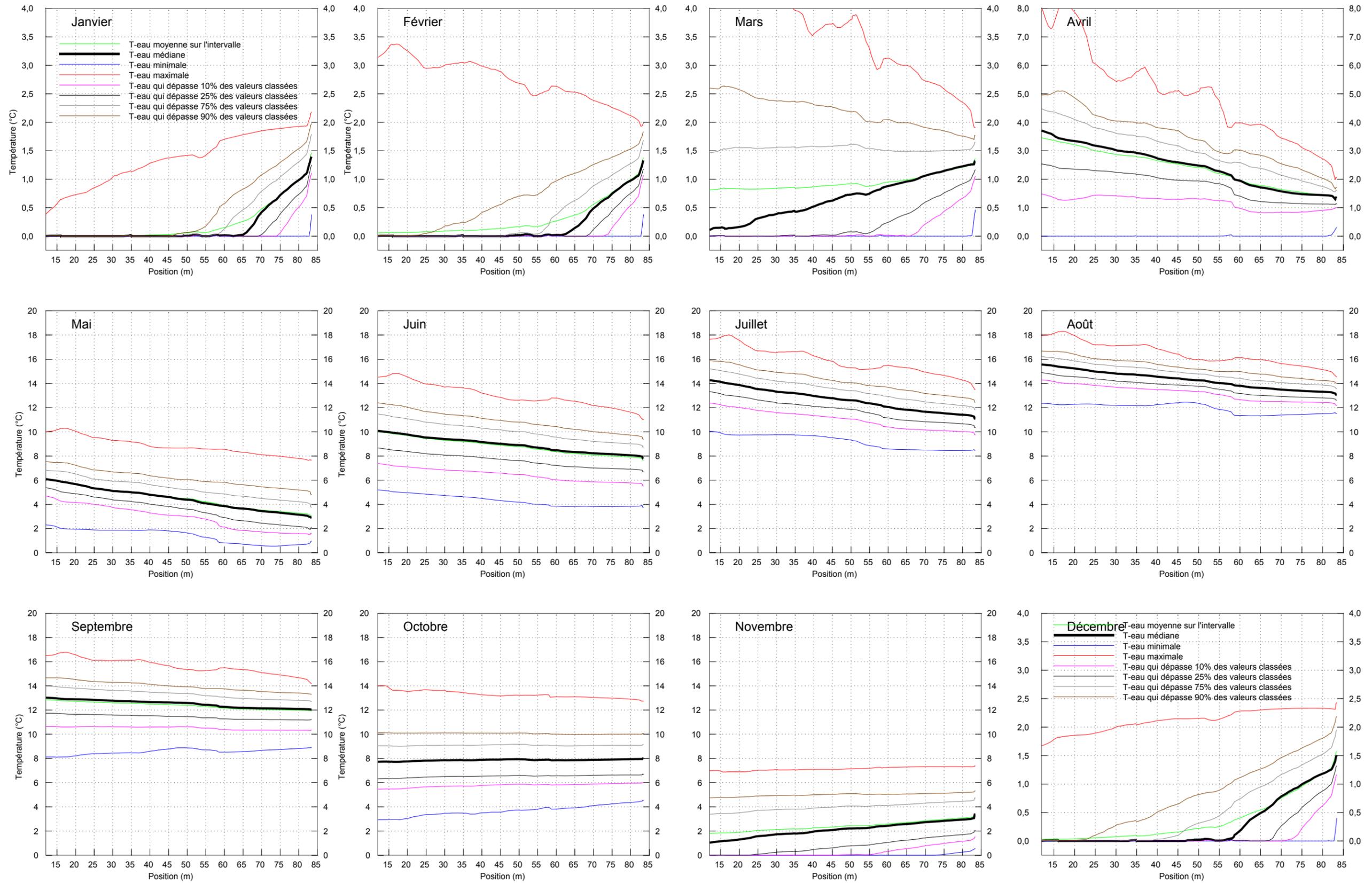


Planche 22.
 Rivière Romaine, phase transitoire sans Romaine-1.
 Tronçons fluviaux situés entre la centrale Romaine-2 et le PK 13. Profils longitudinaux mensuels de la température de l'eau.

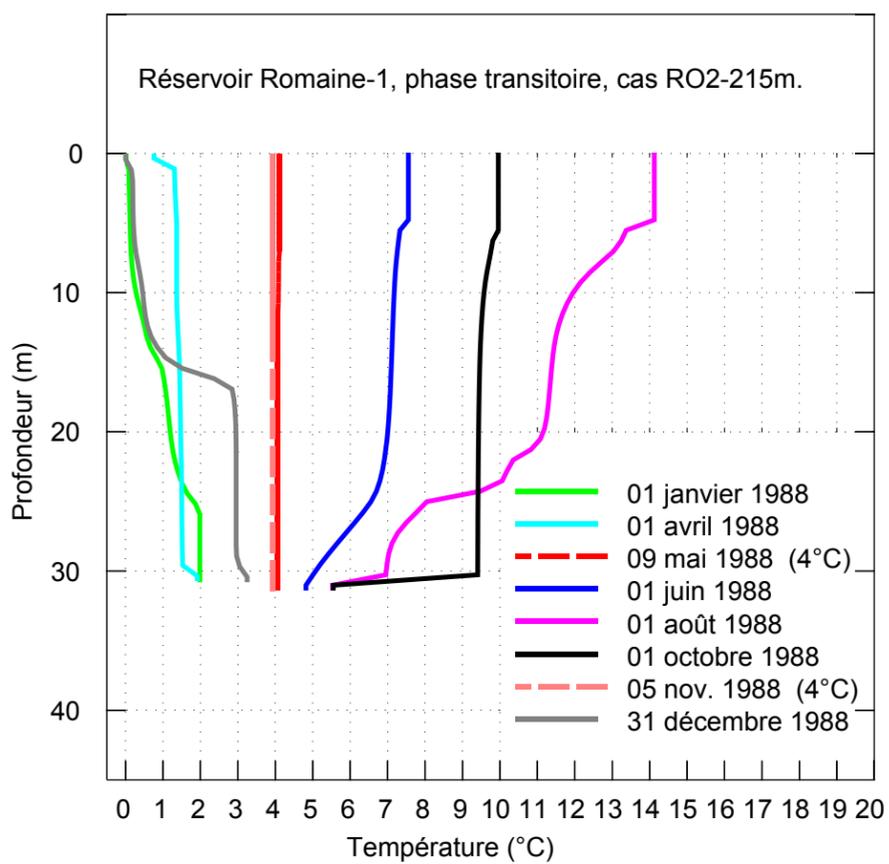
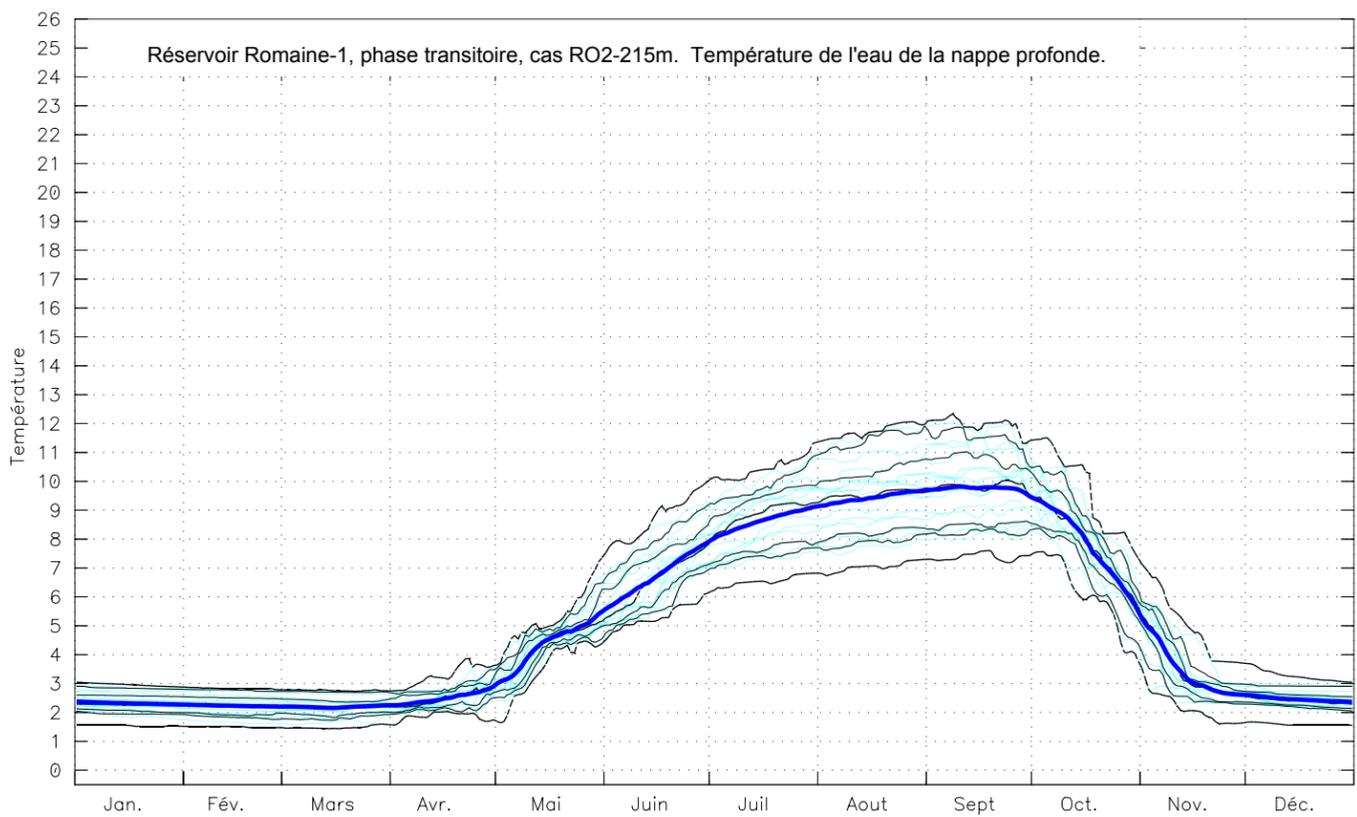
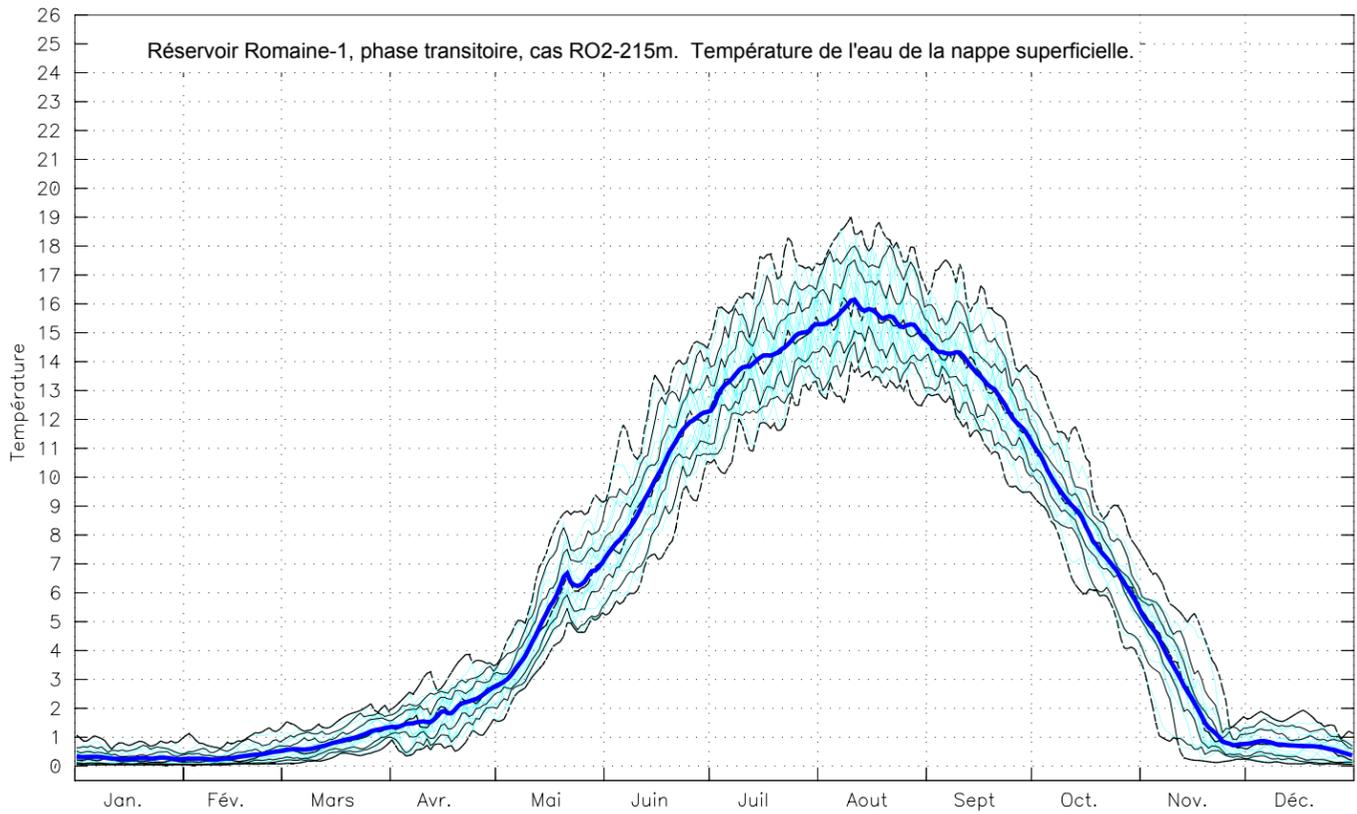


Planche 23.
 Réservoir Romaine-1, phase transitoire. Profils verticaux instantanés
 et séries temporelles de la température de l'eau dans le réservoir.

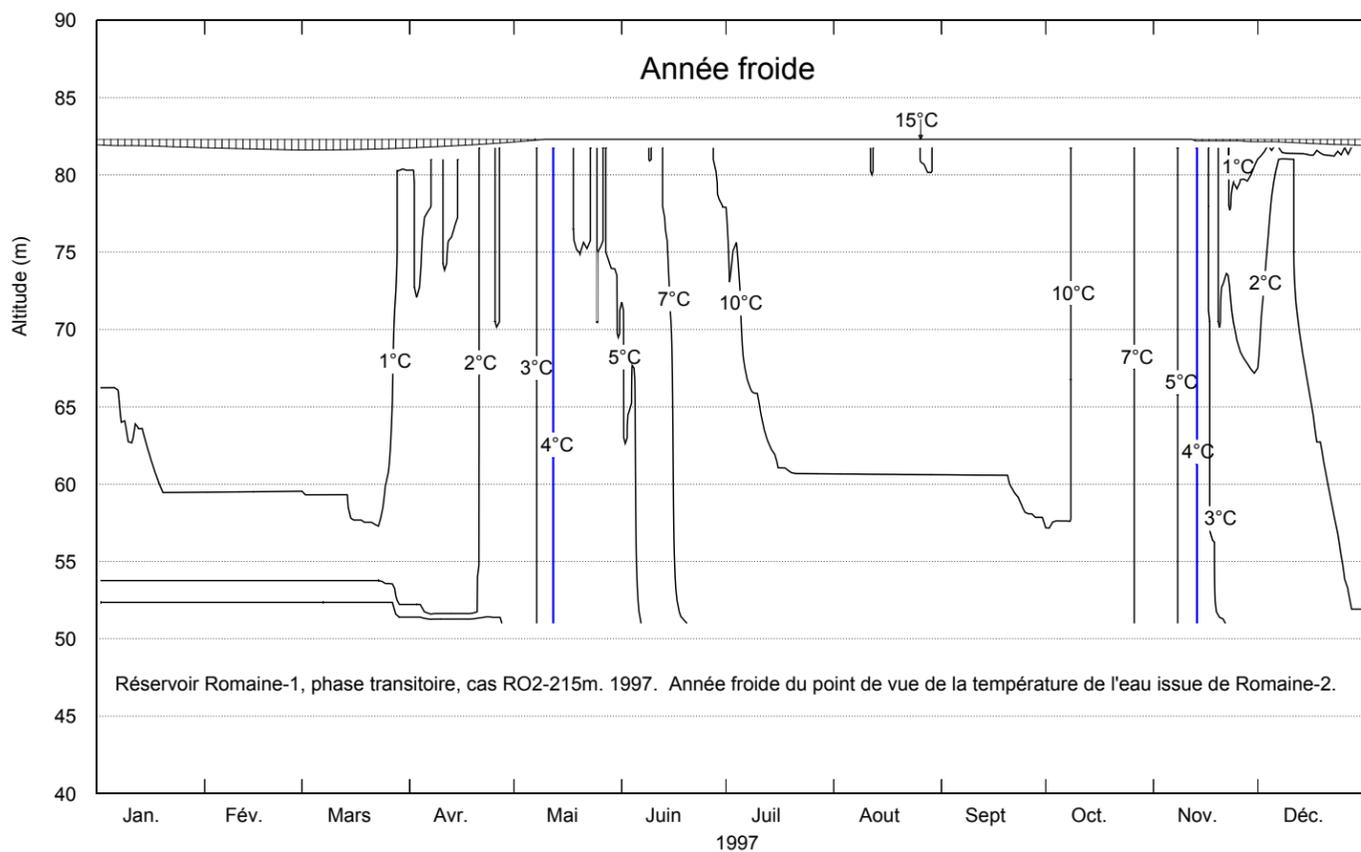
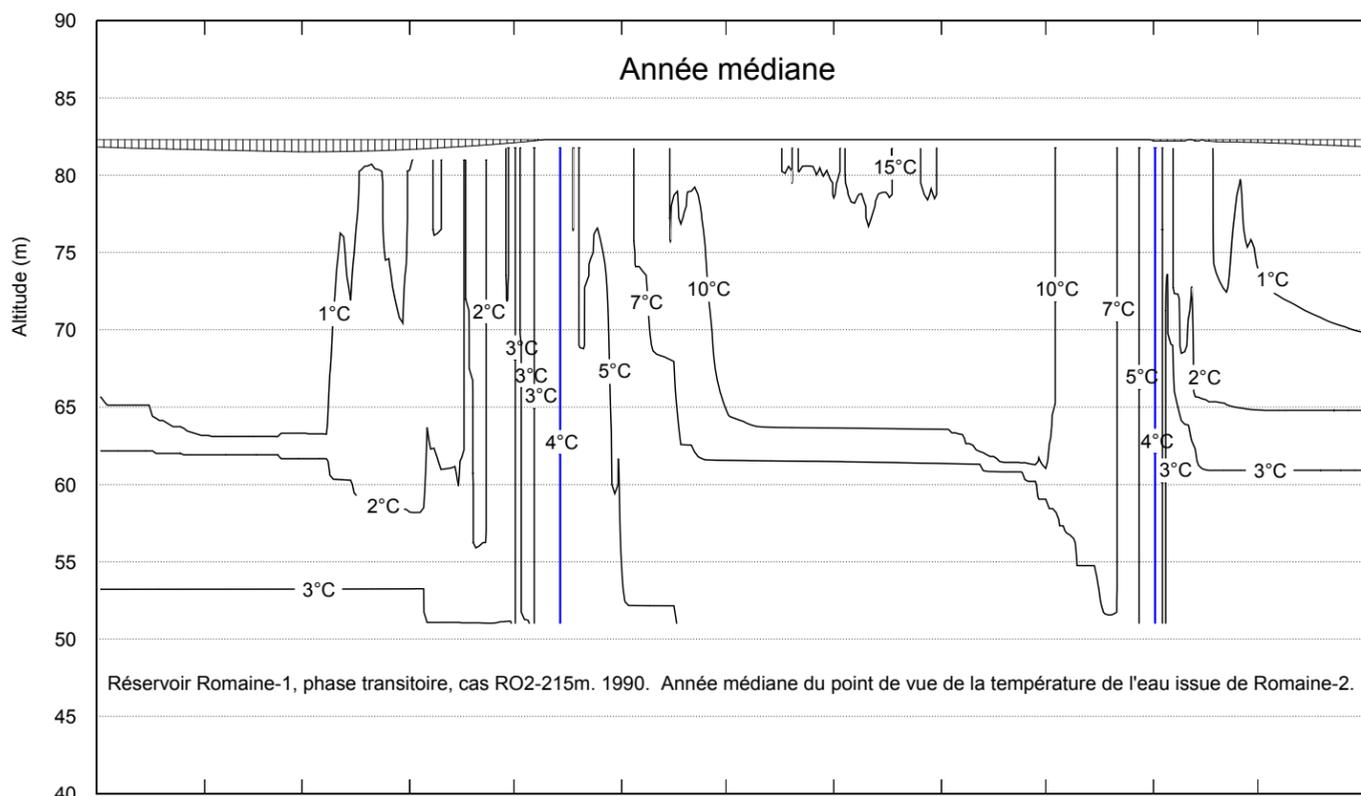
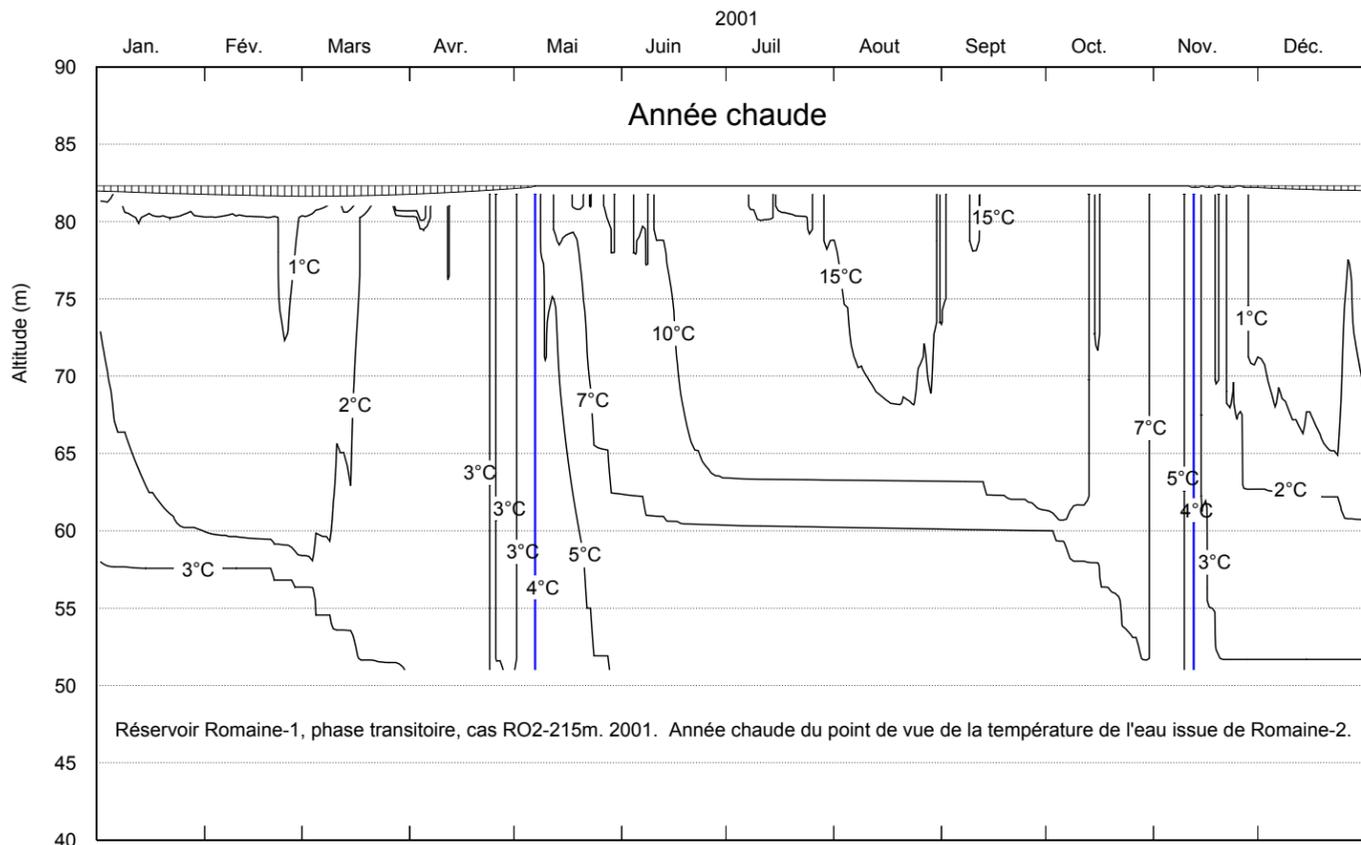


Planche 24.
 Réservoir Romaine-1, phase transitoire.
 Isothermes dans le réservoir pour trois années-type.

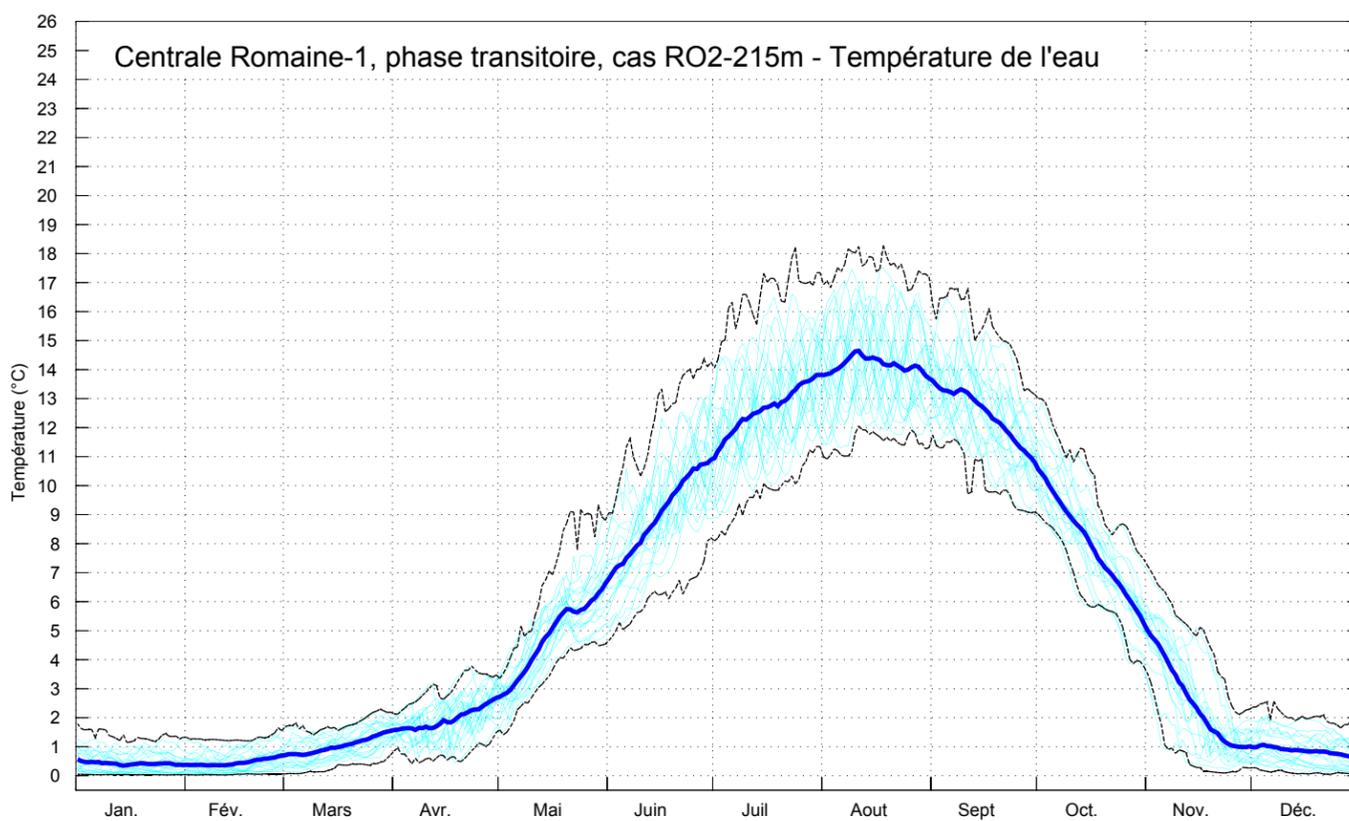
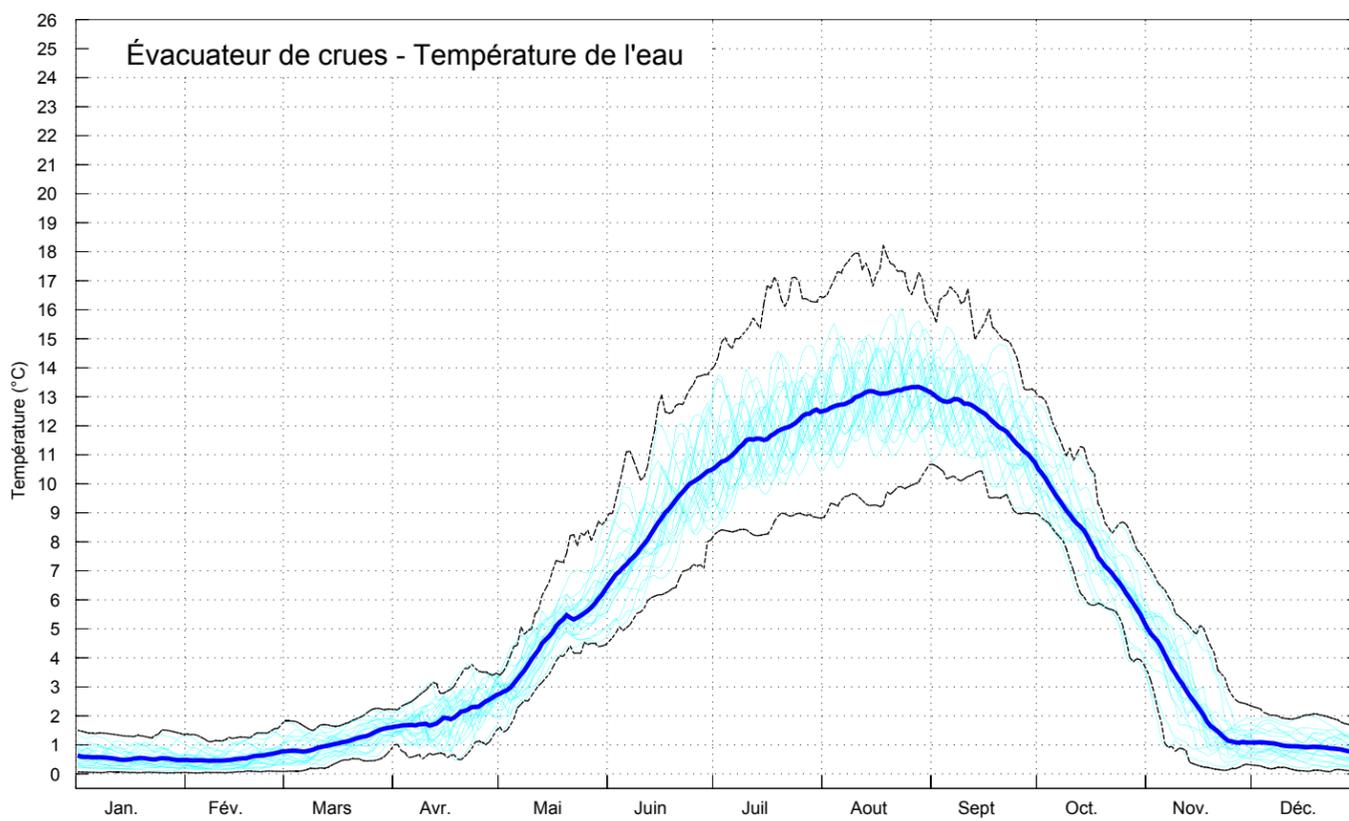
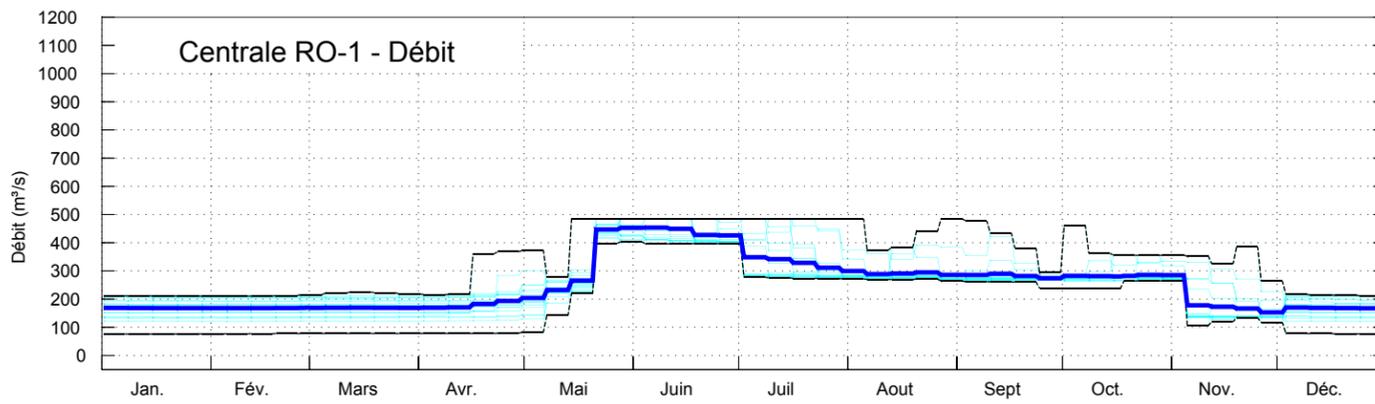
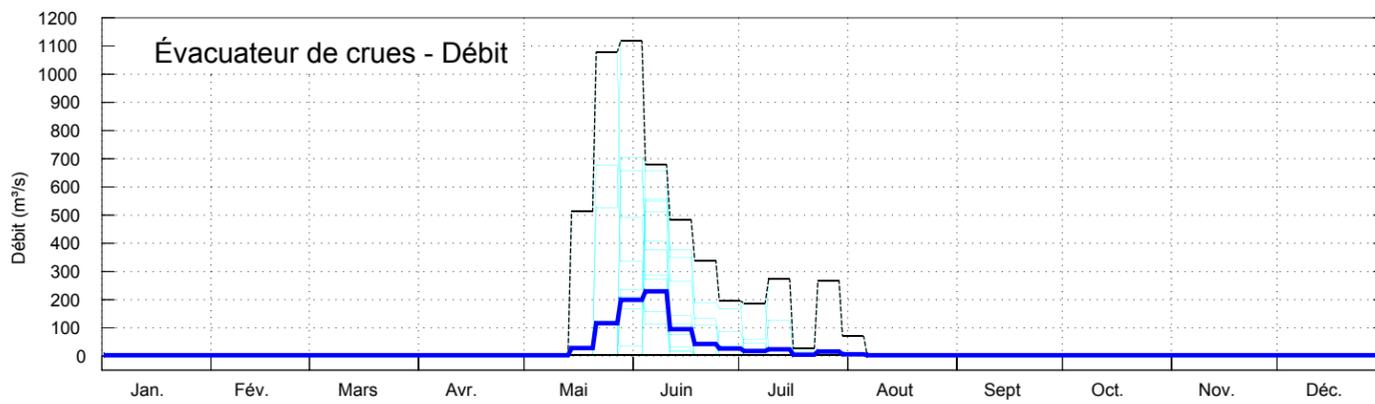


Planche 25.
 Réservoir Romaine-1, phase transitoire.
 Température de l'eau et débit aux exutoires.

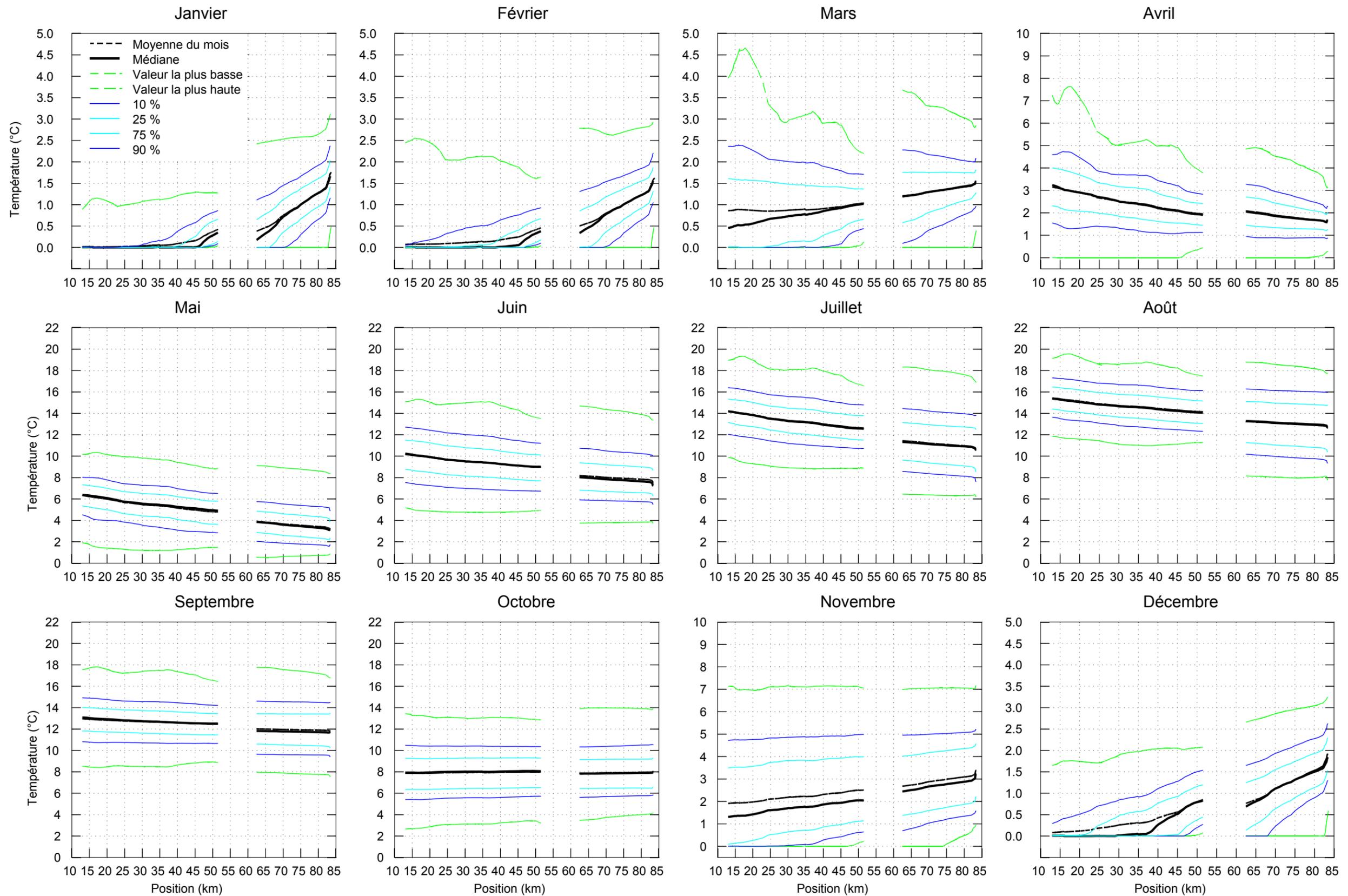


Planche 26.
Rivière Romaine, phase transitoire avec Romaine-2 et Romaine-1.
Tronçons fluviaux entre Romaine-2 et le PK 13. Profils longitudinaux mensuels de la température de l'eau.