



Analyse économique des impacts des changements climatiques sur les étiages et leurs conséquences sur divers usages de l'eau dans le bassin versant de la rivière Yamaska

Réalisé pour :
Ouranos

Février 2013

Les résultats et opinions présentés dans cette publication sont entièrement la responsabilité des auteurs et n'engagent pas Ouranos ni ses membres.



Sommaire exécutif

Dans le contexte où les projections sur les changements climatiques signalent une augmentation en fréquence et en sévérité des débits d'étiage estivaux pour les rivières du sud du Québec, un système d'alerte aux étiages pourrait prévenir leurs effets négatifs sur l'approvisionnement en eau potable, l'écosystème aquatique et les activités récréatives en signalant l'arrivée des périodes critiques et en imposant des mesures qui diminuent les prélèvements d'eau dans la rivière.

La présente étude enrichit le système d'alerte développé par l'Université de Sherbrooke (Côté et Leconte, 2012) pour des sections précises du bassin versant de la rivière Yamaska, soit les rivières Yamaska Sud-Est, Yamaska Nord et Yamaska et, plus particulièrement, pour les municipalités de Bromont, Cowansville, Farnham, Granby et St-Hyacinthe. Elle ajoute une estimation et une analyse des coûts et des bénéfices des mesures du système d'alerte dans le but de mesurer son efficacité. Cette analyse est réalisée pour la situation présente et pour la situation future caractérisée par une aggravation des conditions d'étiage causée par les changements climatiques.

Les résultats montrent que, dans les cas les plus problématiques comme celui de Cowansville où les prélèvements municipaux sont élevés par rapport aux débits d'alerte de la rivière et où les débits ne sont pas régularisés par un barrage avec réservoir situé en amont, les mesures de diminution de la consommation d'eau sont efficaces mais seulement quand la rivière atteint les plus bas niveaux, comme le niveau de crise et d'alerte renforcée. À Saint-Hyacinthe et Farnham, qui bénéficient d'apports hydrologiques provenant de plus vastes bassins versants, l'effet du système d'alerte est faible en ce sens que le nombre de jours où la rivière est en bas des niveaux d'alerte diminue de seulement un à deux jours par rapport à la situation où un tel système n'existerait pas. Ces résultats restent valides tant dans le contexte actuel que dans la situation future où les épisodes d'étiages seront plus fréquents et, à certains endroits, d'une plus longue durée.

Si l'efficacité du système d'alerte est réelle dans les cas les plus problématiques comme celui de Cowansville, son efficacité ne l'est pas. Plus précisément, les coûts imposés aux industries et aux résidences par les mesures du système d'alerte dépassent largement la valeur monétaire des améliorations de l'écosystème aquatique et des activités récréatives, tant pour le présent que pour le futur. Par exemple, dans le cas d'un épisode d'étiage fort, tel qu'enregistré en 2011 à Cowansville et en 1999 à St-Hyacinthe et Farnham, les coûts s'élèvent à presque 3 millions \$, tandis que les bénéfices s'élèvent à seulement 0,05 millions \$ et cela pour l'ensemble des municipalités de Cowansville, Farnham et Saint-Hyacinthe. Les résultats sont similaires pour le futur, considérant les données disponibles.

Cette conclusion pourrait changer si les bénéfices liés à l'amélioration de la qualité de l'eau étaient également quantifiés et inclus dans l'analyse. De plus, cette conclusion est valide pour l'ensemble de l'épisode d'étiage mais il se peut qu'elle soit différente pour les niveaux très bas de la rivière comme les niveaux « alerte renforcée » et « crise ».

L'analyse suggère également que, dans le cas concret de la rivière Yamaska, des mesures structurales comme la réfection du système de drainage agricole et l'augmentation de la superficie des milieux humides devraient également être considérées. Par contre, leur efficacité devrait être vérifiée pour s'assurer que leurs coûts ne dépassent pas les bénéfices générés.

Équipe

Rédaction, recherche et analyse	Maria Olar, Analyste principale, ÉcoRessources Catherine Lessard, Chargée de projets, ÉcoRessources
Conseiller scientifique	Claude Sauvé, Collaborateur – Expert en économie de l'environnement, ÉcoRessources
Relecture	Édith Pichette, Camille Faucher Relectrices externes
Mise en page	Josée Messier, Adjointe administrative, ÉcoRessources

Table des matières

SOMMAIRE EXÉCUTIF	I
1. MISE EN CONTEXTE ET OBJECTIFS DE L'ÉTUDE	1
1.1 MISE EN CONTEXTE.....	1
1.2 OBJECTIFS DE L'ÉTUDE	2
2. MÉTHODOLOGIE	3
2.1 PLAN DE TRAVAIL	3
2.2 COURBES DE DOMMAGES DES ÉTIAGES ET DES COÛTS DES MESURES D'INTERVENTION	4
2.3 SCÉNARIOS CONSIDÉRÉS	6
2.4 TERRITOIRE À L'ÉTUDE.....	8
2.5 MÉTHODES RETENUES POUR L'ESTIMATION DES COÛTS.....	9
2.6 HYPOTHÈSE DE LINÉARITÉ DES IMPACTS DES ÉTIAGES	10
3. UTILISATEURS D'EAU DU BASSIN VERSANT DE LA RIVIÈRE YAMASKA	11
3.1 UTILISATEURS D'EAU À L'EXTÉRIEUR DU COURS D'EAU (OFFSTREAM USERS).....	11
3.2 UTILISATEURS D'EAU DANS LA RIVIÈRE (INSTREAM USERS)	14
3.3 USAGES DE L'EAU RETENUS POUR L'ANALYSE	17
3.4 PLANS D'EAU RETENUS POUR L'ANALYSE.....	18
3.5 USAGES DE L'EAU ET PLANS D'EAU PAR MUNICIPALITÉ	19
4. COÛTS DES IMPACTS DES FAIBLES DÉBITS D'ÉTIAGE SUR LES UTILISATEURS D'EAU (SCÉNARIOS 1 ET 3) ...	23
4.1 IMPACTS DES FAIBLES DÉBITS D'ÉTIAGE RECENSÉS DANS LA LITTÉRATURE.....	23
4.2 COÛTS DES IMPACTS DES ÉTIAGES ACTUELS SUR LES UTILISATEURS D'EAU (SCÉNARIO 1)	28
4.2.1 Coûts des impacts de la quantité d'eau disponible.....	28
4.2.2 Coûts des impacts de la qualité de l'eau en période d'étiage.....	35
4.3 COÛTS DES IMPACTS DES ÉTIAGES FUTURS SUR LES UTILISATEURS D'EAU (SCÉNARIO 3).....	37
4.3.1 Projections des étiages futurs.....	37
4.3.2 Coûts des impacts de la quantité d'eau disponible.....	39
4.3.3 Coûts des impacts de la qualité de l'eau en période d'étiage.....	42
5. COÛTS ET BÉNÉFICES ASSOCIÉS AUX MESURES D'ATTÉNUATION DES IMPACTS DES ÉTIAGES	43
5.1 MESURES LIÉES AUX UTILISATIONS RÉSIDENTIELLES	43
5.1.1 Économies d'eau	45
5.1.2 Coûts des mesures	50
5.2 MESURES LIÉES AUX UTILISATIONS INDUSTRIELLES	52
5.2.1 Eau économisée	52
5.2.2 Coûts des mesures	52
5.3 MESURES LIÉES AUX UTILISATIONS COMMUNAUTAIRES	57
5.3.1 Eau économisée	57
5.3.2 Coûts des mesures (scénarios 2 et 4)	59
5.4 MESURES LIÉES AUX UTILISATIONS AGRICOLES.....	60
5.4.1 Eau économisée	60
5.4.2 Coûts des mesures (scénarios 2 et 4)	61
5.5 VOLUME D'EAU ÉCONOMISÉE SUR L'ENSEMBLE DES MESURES	61
6. BILAN.....	63
6.1 SITUATION ACTUELLE (SCÉNARIOS 1 ET 2).....	63
6.1.1 Bénéfices du système d'alerte aux étiages.....	63
6.1.2 Comparaison des coûts et des bénéfices du système d'alerte aux étiages	69
6.2 SITUATION FUTURE AVEC AGGRAVATION DES ÉTIAGES RELIÉE AUX EFFETS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES (SCÉNARIOS 3 ET 4).....	73
6.2.1 Bénéfices du système d'alerte aux étiages.....	73
6.2.2 Comparaison des coûts et des bénéfices du système d'alerte aux étiages	74

7. UNE APPROCHE PAR NIVEAU D'ALERTE.....	76
8. ANALYSE DE SENSIBILITÉ	77
9. DES MESURES ALTERNATIVES POUR DIMINUER OU ÉVITER L'IMPACT DES ÉTIAGES	79
CONCLUSIONS	81
PISTES DE RECHERCHE	83
BIBLIOGRAPHIE	85

Liste des tableaux

TABEAU 1 : LES MÉTHODES D'ÉVALUATION ÉCONOMIQUE DE L'ENVIRONNEMENT UTILISÉES DANS LE CADRE DE CETTE ÉTUDE.....	10
TABEAU 2 : NOMBRE DE PERSONNES DESSERVIES PAR LES RÉSEAUX MUNICIPAUX D'EAU POTABLE DES VILLES DE LA PRÉSENTE ÉTUDE.....	12
TABEAU 3 : TERRAINS DE GOLF QUI PRÉLÈVENT DE L'EAU DIRECTEMENT DANS LA RIVIÈRE, DANS LES MUNICIPALITÉS À L'ÉTUDE.....	13
TABEAU 4 : ICI QUI PRÉLÈVENT DE L'EAU DIRECTEMENT DANS LA RIVIÈRE, DANS LES MUNICIPALITÉS À L'ÉTUDE.....	13
TABEAU 5 : ENDROITS PROPICES À LA RÉCRÉATION LIÉE À L'EAU DANS LES MUNICIPALITÉS DE L'ÉTUDE	15
TABEAU 6 : IMPACTS DES ÉTIAGES DE LA SEINE ET LES COÛTS ASSOCIÉS.....	24
TABEAU 7 : IMPACTS DES ÉTIAGES SUR L'ÉCOSYSTÈME RIVERAIN.....	25
TABEAU 8 : ÉVALUATIONS ÉCONOMIQUES DES IMPACTS DES ÉTIAGES SUR LES ACTIVITÉS RÉCRÉOTOURISTIQUES.....	26
TABEAU 9 : ÉVALUATIONS ÉCONOMIQUES DES IMPACTS DES ÉTIAGES SUR LES USAGES RÉSIDENIELS.....	27
TABEAU 10 : ESTIMATION DES COÛTS DES IMPACTS DES ÉTIAGES FORTS ACTUELS SUR LA PÊCHE SPORTIVE (\$/AN).....	29
TABEAU 11 : ESTIMATION DES COÛTS ANNUELS MOYENS DES ÉTIAGES ACTUELS SUR LA PÊCHE SPORTIVE (\$/AN).....	30
TABEAU 12 : ESTIMATION DES COÛTS DES IMPACTS DES ÉTIAGES FORTS SUR LES ACTIVITÉS NAUTIQUES À RAMES (\$/AN).....	32
TABEAU 13 : ESTIMATION DES COÛTS MOYENS ANNUELS DES IMPACTS DES ÉTIAGES SUR LES ACTIVITÉS NAUTIQUES À RAMES (\$/AN).....	33
TABEAU 14 : COÛTS SUPPLÉMENTAIRES POUR LES USINES DE TRAITEMENT DE L'EAU POTABLE DUS AUX PÉRIODES D'ÉTIAGE (\$/AN).....	36
TABEAU 15 : PROJECTIONS DES ÉTIAGES PENDANT LA PÉRIODE 2040 – 2070	38
(NOMBRE MOYEN DE JOURS/AN *).....	38
TABEAU 16 : ESTIMATION DES COÛTS ANNUELS MOYENS DES ÉTIAGES FUTURS SUR LA PÊCHE SPORTIVE (\$/AN).....	40
TABEAU 17 : ESTIMATION DES COÛTS MOYENS ANNUELS DES IMPACTS DES ÉTIAGES FUTURS SUR LES ACTIVITÉS NAUTIQUES À RAMES (\$/AN).....	41
TABEAU 18 : MESURES D'ÉCONOMIE D'EAU POTABLE RÉSIDENIELLE PRÉSENTEMENT EN PLACE DANS LES MUNICIPALITÉS À L'ÉTUDE.....	44
TABEAU 19 : HYPOTHÈSES UTILISÉES DANS LE CALCUL DES BÉNÉFICES LIÉES AUX MESURES DE RESTRICTION VISANT LES USAGES RÉSIDENIELS	45
TABEAU 20: NOMBRE DE RÉSIDENCES UNIFAMILIALES PAR MUNICIPALITÉ À L'ÉTUDE	46
TABEAU 21: POURCENTAGE DE RÉDUCTION DE LA CONSOMMATION D'EAU PAR NIVEAU D'ALERTE ET PAR MUNICIPALITÉ.....	47
TABEAU 22 : EAU ÉCONOMISÉE GRÂCE AUX MESURES DU SYSTÈME D'ALERTE, POUR LA VILLE DE BROMONT (PAR JOUR).....	48
TABEAU 23 : EAU ÉCONOMISÉE GRÂCE AUX MESURES DU SYSTÈME D'ALERTE, POUR LA VILLE DE COWANSVILLE (PAR JOUR)	48
TABEAU 24 : EAU ÉCONOMISÉE GRÂCE AUX MESURES DU SYSTÈME D'ALERTE, POUR LA VILLE DE FARNHAM (PAR JOUR)	49
TABEAU 25 : EAU ÉCONOMISÉE GRÂCE AUX MESURES DU SYSTÈME D'ALERTE, POUR LA VILLE DE GRANBY (PAR JOUR)	49
TABEAU 26 : EAU ÉCONOMISÉE GRÂCE AUX MESURES DU SYSTÈME D'ALERTE, POUR LA VILLE DE FARNHAM (PAR JOUR)	49
TABEAU 27 : ESTIMATION DE LA VALEUR MONÉTAIRE DE LA PERTE D'UTILITÉ DES MÉNAGES SUITE AUX RESTRICTIONS DU SYSTÈME D'ALERTE.....	51
TABEAU 28 : DIMINUTION DE LA CONSOMMATION D'EAU DES ICI AVEC COMPTEUR SUITE AUX MESURES DU SYSTÈME D'ALERTE AUX ÉTIAGES.....	52
TABEAU 29 : REVENUS ET PROFITS DES PLUS GRANDS CONSOMMATEURS D'EAU DE TYPE ICI DE BROMONT, COWANSVILLE, FARNHAM, GRANBY ET SAINT-HYACINTHE.....	53
TABEAU 30 : DIMINUTION DES PROFITS ANNUELS DES PLUS GRANDS ICI, SUITE À UNE RÉDUCTION DE LA QUANTITÉ D'EAU DISPONIBLE LORS D'UN ÉPISODE D'ÉTIAGE FORT ACTUEL	54
TABEAU 31 : DIMINUTION DES PROFITS ANNUELS DES PLUS GRANDS ICI, SUITE À UNE RÉDUCTION DE LA QUANTITÉ D'EAU DISPONIBLE – MOYENNE ANNUELLE ACTUELLE	55
TABEAU 32 : DIMINUTION DES PROFITS ANNUELS DES PLUS GRANDS ICI, SUITE À UNE RÉDUCTION DE LA QUANTITÉ D'EAU DISPONIBLE – MOYENNE ANNUELLE ACTUELLE	56

TABLEAU 33 : HYPOTHÈSES UTILISÉES DANS LE CALCUL DES BÉNÉFICES LIÉES AUX MESURES DE RESTRICTION VISANT LES USAGES COMMUNAUTAIRES	57
TABLEAU 34 : DONNÉES UTILISÉES DANS LE CALCUL DES BÉNÉFICES LIÉES AUX MESURES DE RESTRICTION VISANT LES USAGES COMMUNAUTAIRES	58
TABLEAU 35 : BÉNÉFICES DES MESURES DE RESTRICTIONS DES USAGES COMMUNAUTAIRES PAR NIVEAU D'ALERTE ET PAR MUNICIPALITÉ (M³/JOUR)	59
TABLEAU 36 : NOMBRE D'ENTREPRISES AGRICOLES IRRIGUÉES PAR MUNICIPALITÉ	61
TABLEAU 37 : EAU ÉCONOMISÉE PAR TYPE D'USAGE, EN % PAR RAPPORT À LA QUANTITÉ TOTALE ÉCONOMISÉE	62
TABLEAU 38 : EAU ÉCONOMISÉE GRÂCE AUX MESURES DU SYSTÈME D'ALERTE AUX ÉTIAGES (M³/S) ET SA PART DANS LE PRÉLÈVEMENT D'EAU DE L'USINE DE TRAITEMENT D'EAU	62
TABLEAU 39 : IMPACT DU SYSTÈME D'ALERTE SUR LE NOMBRE DE JOURS OÙ LE DÉBIT DE LA RIVIÈRE EST EN BAS DES NIVEAUX D'ALERTE – ÉTIAGES ACTUELS	64
TABLEAU 40 : ESTIMATION DE LA VALEUR MONÉTAIRE DES AMÉLIORATIONS DE L'ÉCOSYSTÈME AQUATIQUE	65
TABLEAU 41 : ESTIMATION DES COÛTS ANNUELS DES IMPACTS DES ÉTIAGES FORTS ACTUELS SUR LA PÊCHE SPORTIVE QUAND UN SYSTÈME D'ALERTE EST MIS EN PLACE – SCÉNARIO 2 (\$/AN)	66
TABLEAU 42 : ESTIMATION DES COÛTS ANNUELS DES IMPACTS DES ÉTIAGES MOYENS ACTUELS SUR LA PÊCHE SPORTIVE QUAND UN SYSTÈME D'ALERTE EST MIS EN PLACE – SCÉNARIO 2 (\$/AN)	67
TABLEAU 43 : ESTIMATION DES COÛTS DES IMPACTS DES ÉTIAGES FORTS ACTUELS SUR LES ACTIVITÉS NAUTIQUES À RAMES QUAND UN SYSTÈME D'ALERTE EST MIS EN PLACE – SCÉNARIO 2 (\$/AN)	68
TABLEAU 44 : ESTIMATION DES COÛTS DES IMPACTS DES ÉTIAGES MOYENS ACTUELS SUR LES ACTIVITÉS NAUTIQUES À RAMES QUAND UN SYSTÈME D'ALERTE EST MIS EN PLACE – SCÉNARIO 2 (\$/AN)	69
TABLEAU 45 : COÛTS ET BÉNÉFICES ANNUELS ASSOCIÉS AU SYSTÈME D'ALERTE DANS LA SITUATION ACTUELLE ET DANS LE CAS D'UN ÉTIAGE FORT	71
TABLEAU 46 : COÛTS ET BÉNÉFICES ANNUELS MOYENS ASSOCIÉS AU SYSTÈME D'ALERTE DANS LA SITUATION ACTUELLE	72
TABLEAU 47 : IMPACT DU SYSTÈME D'ALERTE SUR LE NOMBRE DE JOURS OÙ LE DÉBIT DE LA RIVIÈRE EST EN BAS DES NIVEAUX D'ALERTE – ÉTIAGES FUTURS	73
TABLEAU 48 : COÛTS ANNUELS DES IMPACTS DES ÉTIAGES FUTURS SUR LA PÊCHE SPORTIVE ET LES ACTIVITÉS NAUTIQUES, QUAND UN SYSTÈME D'ALERTE EST MIS EN PLACE – SCÉNARIO 4 (\$/AN)	74
TABLEAU 49 : COÛTS ET BÉNÉFICES ANNUELS MOYENS ASSOCIÉS AU SYSTÈME D'ALERTE DANS LA SITUATION FUTURE	75
TABLEAU 50 : COÛTS POUR LES INDUSTRIES, PAR NIVEAU D'ALERTE – SITUATION PRÉSENTE (SCÉNARIO 2)	76
TABLEAU 51 : COÛTS ET BÉNÉFICES ANNUELS ASSOCIÉS AU SYSTÈME D'ALERTE DANS LA SITUATION ACTUELLE ET DANS LE CAS D'UN ÉTIAGE FORT - COWANSVILLE	78

Liste des figures

FIGURE 1 : PLAN DE TRAVAIL	3
FIGURE 2 : ILLUSTRATION DES COURBES DE DOMMAGES ET DE COÛTS MARGINALES DES ÉTIAGES	5
FIGURE 3 : LES SCÉNARIOS CONSIDÉRÉS	6
FIGURE 4 : LE RÔLE DU SYSTÈME D'ALERTE AUX ÉTIAGES.....	7
FIGURE 5 : LOCALISATION DES MUNICIPALITÉS À L'ÉTUDE SUR LE BASSIN VERSANT DE LA RIVIÈRE YAMASKA.....	8
FIGURE 6 : PRINCIPAUX USAGES DE L'EAU DANS LE BASSIN VERSANT DE LA RIVIÈRE YAMASKA	18
FIGURE 7 : CRITÈRES DE SÉLECTION DES PLANS D'EAU RETENUS : 1) LIEN AVEC LES RIVIÈRES YAMASKA, YAMASKA NORD OU YAMASKA SUD-EST ET 2) LOCALISATION PAR RAPPORT À LA PRISE D'EAU MUNICIPALE	19
FIGURE 8 : USAGES DE L'EAU ET PLANS D'EAU RETENUS POUR BROMONT	20
FIGURE 9 : USAGES DE L'EAU ET PLANS D'EAU RETENUS POUR COWANSVILLE.....	20
FIGURE 10 : USAGES DE L'EAU ET PLANS D'EAU RETENUS POUR FARNHAM	21
FIGURE 11 : USAGES DE L'EAU ET PLANS D'EAU RETENUS POUR GRANBY	22
FIGURE 12 : USAGES DE L'EAU ET PLANS D'EAU RETENUS POUR SAINT-HYACINTHE.....	22
FIGURE 13 : LES MESURES QUI PEUVENT FAIRE DIMINUER L'IMPACT DES ÉTIAGES SUR LES UTILISATEURS D'EAU	80

Liste des annexes

ANNEXE 1 : ESTIMATION DES COÛTS ASSOCIÉS AUX IMPACTS DES ÉTIAGES SUR LA PÊCHE	88
ANNEXE 2 : ESTIMATION DES COÛTS ASSOCIÉS AUX IMPACTS DES ÉTIAGES SUR LES ACTIVITÉS NAUTIQUES ..	90
ANNEXE 3 : ESTIMATION DE LA VALEUR D'UNE JOURNÉE D'ACTIVITÉS RÉCRÉATIVES LIÉES À L'EAU DANS LE PARC DE LA YAMASKA.....	93
ANNEXE 4 : DONNÉES SUR LA CONSOMMATION DES ICI DES MUNICIPALITÉS À L'ÉTUDE	96
ANNEXE 5 : EAU ÉCONOMISÉE GRÂCE AUX MESURES DU SYSTÈME D'ALERTE AUX ÉTIAGES.....	99
ANNEXE 6 : MESURES PRÉVUES PAR LE SYSTÈME D'ALERTE AUX ÉTIAGES	100

1. Mise en contexte et objectifs de l'étude

1.1 Mise en contexte

Les périodes chaudes et sèches de l'été sont habituellement accompagnées de débits de rivières particulièrement bas pendant quelques jours consécutifs. Le phénomène de diminution des débits peut aussi apparaître en hiver. Le débit minimal atteint par un cours d'eau est appelé débit d'étiage (Centre d'expertise hydrique du Québec, 2005).

Les projections sur les changements du climat signalent l'augmentation en fréquence et en sévérité de ces débits d'étiage estivaux pour les rivières du sud du Québec. La rivière Yamaska compte parmi celles qui risquent de connaître une baisse de leur débit d'étiage marquée lors des prochaines décennies. Cette situation est d'autant plus préoccupante compte tenu du fait qu'environ 118 000 personnes dépendent de la rivière Yamaska pour leur consommation d'eau potable.

Cette diminution des débits d'étiage estivaux, et donc de la quantité d'eau disponible à certains moments de l'année, est un enjeu de taille pour le bassin versant de la Yamaska, où les usages humains, industriels, récréatifs et environnementaux compétitionnent pour cette ressource. Chacun de ces usages risque d'être affecté négativement par les étiages. La problématique de la disponibilité de l'eau se retrouve d'ailleurs à l'échelle du Québec et de l'Amérique du Nord, ces dernières années ayant vu la multiplication de périodes d'étiage sévère et de sécheresse dans certaines régions.

Dans ce contexte, un système d'alerte qui signalerait à la fois les faibles débits et les prélèvements excessifs permettrait de prévenir et de mitiger d'éventuelles difficultés d'approvisionnement ainsi que certains impacts négatifs sur les autres usages, environnementaux et autres. Un tel système d'alerte, lorsqu'il sera déclenché, pourrait impliquer la mise en œuvre de mesures d'intervention lorsque les débits d'étiage atteindraient un certain seuil. Des restrictions concernant l'utilisation de l'eau, telles des quantités maximales prélevées ou l'interdiction de certains usages, pourraient être imposées. Ces restrictions entraîneraient une répartition des dommages entre les différents usagers de l'eau du bassin versant.

L'Université de Sherbrooke développe actuellement un prototype de système d'alerte aux étiages pour des sections précises du bassin versant de la rivière Yamaska, soit les rivières Yamaska Sud-Est, Yamaska Nord et Yamaska et, plus particulièrement, les municipalités de Bromont, Cowansville, Farnham, Granby et St-Hyacinthe (Côté et Leconte, 2012). La présente étude enrichit ce système d'alerte par l'analyse économique des impacts des mécanismes d'intervention sur les usages de l'eau et compare les impacts des mesures d'intervention aux impacts d'une situation de non-intervention. Cette analyse permet ainsi de déterminer comment les coûts et les bénéfices de la mise en place de mécanismes d'intervention sont répartis entre les différents utilisateurs de l'eau du bassin versant, ce qui fournit une information essentielle à la hiérarchisation des usages de l'eau. Une telle analyse sert également à faire ressortir les enjeux économiques d'une stratégie de gestion durable de l'eau prélevée, en vue de l'adaptation aux changements climatiques au Québec.

1.2 Objectifs de l'étude

Dans le contexte où les projections sur les changements du climat et du régime hydrique indiquent une augmentation de la fréquence et de la sévérité des débits d'étiage en été pour les rivières du sud du Québec, l'objectif de la présente étude est de faire ressortir les impacts économiques d'une diminution de la quantité d'eau disponible dans la rivière Yamaska en période d'étiage et de les comparer aux impacts économiques de la mise en œuvre d'un mécanisme d'intervention pour la régulation des usages de l'eau.

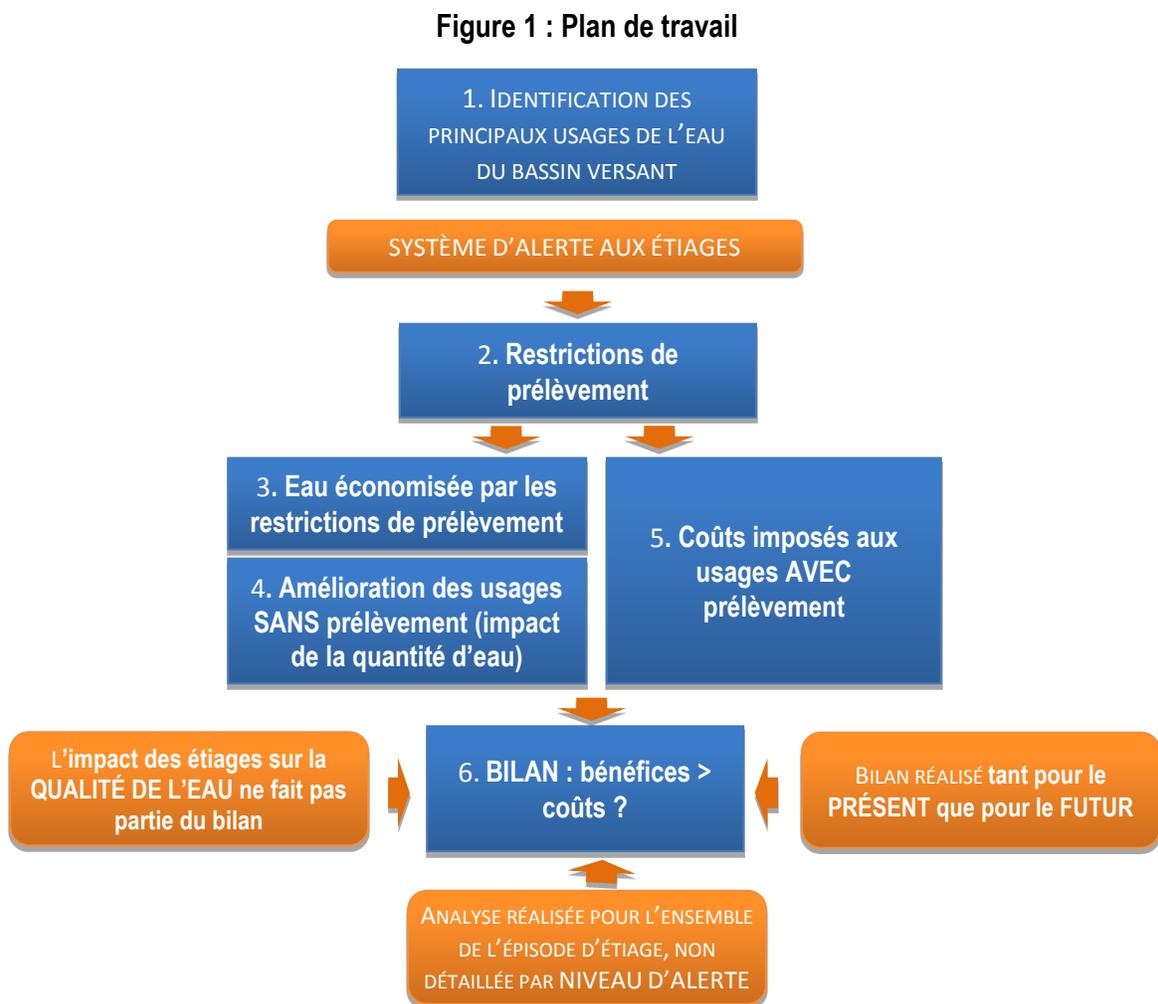
Cet objectif principal se traduit par les objectifs spécifiques suivants :

- Identification des impacts d'une diminution du débit d'étiage sur les usages de l'eau de la rivière Yamaska, dans la situation actuelle et pour un scénario futur avec aggravation des étiages sous l'effet des changements climatiques;
- Évaluation monétaire des impacts de la réduction du débit d'étiage, en l'absence de mécanismes d'intervention, pour les situations présente et future;
- Identification des mesures d'intervention disponibles pour réduire les impacts négatifs des étiages sur les utilisations de l'eau;
- Évaluation monétaire des impacts des mesures d'intervention en cas de conflits d'utilisation de l'eau, dans la situation actuelle et pour le scénario futur avec aggravation des étiages sous l'effet des changements climatiques;
- Analyse comparative des coûts et des enjeux des scénarios sans intervention et des scénarios avec mesures d'atténuation et priorisation des mesures d'intervention.

2. Méthodologie

2.1 Plan de travail

Ces objectifs sont atteints à l'aide d'une méthode rigoureuse synthétisée à la Figure 1 et qui se décline en six étapes. La première étape consiste à identifier les principaux usages de l'eau du bassin versant de la rivière Yamaska. Elle est suivie par l'identification des restrictions de prélèvement associées au système d'alerte aux étiages et par l'estimation de la quantité d'eau économisée par les restrictions de prélèvement. La quatrième étape consiste à estimer la valeur de l'amélioration des usages sans prélèvement, grâce à la quantité d'eau économisée. Les coûts imposés par le système d'alerte aux usages avec prélèvement sont estimés lors de la cinquième étape. Finalement, la sixième étape compare ces coûts aux bénéfices associés à l'amélioration des usages sans prélèvement et conclut si le système d'alerte est justifié du point de vue économique.



Les étapes quatre à six sont réalisées tant dans le contexte des étiages actuels, que dans celui des étiages futurs aggravés par les changements climatiques. Par contre, seulement l'aspect de la quantité d'eau a pu être considéré lors de l'estimation des impacts des étiages sur les usages de l'eau car la qualité de l'eau, également affectée par les étiages, n'est pas suffisamment documentée. La seule exception est l'impact des cyanobactéries sur les coûts des usines de traitement de l'eau potable, qui a pu être évalué grâce aux informations obtenues directement de ces usines.

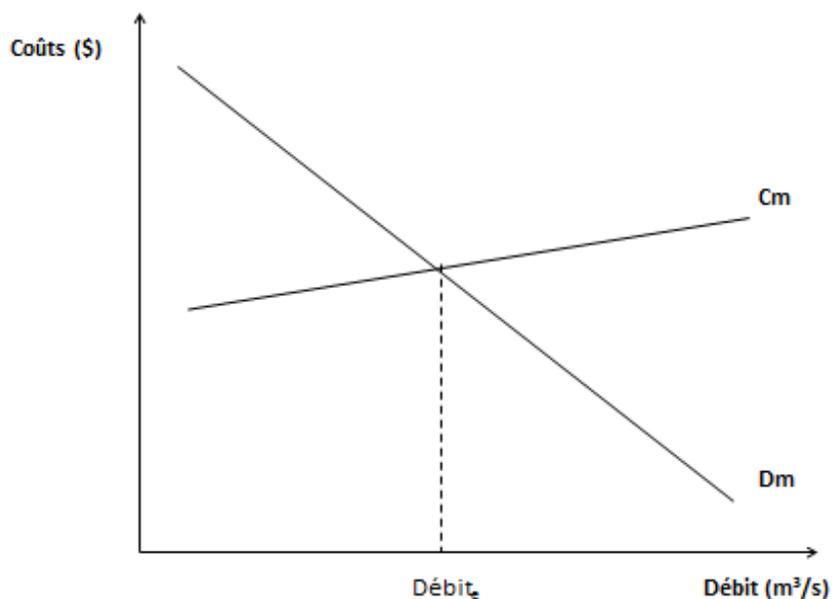
Idéalement, cette analyse devrait se faire pour chaque niveau d'alerte. Par contre, la littérature existante ne permet pas l'estimation des coûts et des bénéfices par niveau de débit. Le seul usage qui a été analysé par niveau de débit est la consommation industrielle d'eau potable.

2.2 Courbes de dommages des étiages et des coûts des mesures d'intervention

L'analyse des coûts et des bénéfices liés à des mesures visant l'amélioration de l'environnement s'appuie généralement sur le concept économique des courbes de dommage marginal et de coût marginal. De façon simplifiée, les courbes de dommage mettent en relation la valeur des dommages environnementaux avec le niveau de dégradation de l'environnement. Plus le niveau de dégradation de l'environnement est élevé, plus les impacts monétaires associés aux dommages seront élevés. Les courbes de coût marginal considèrent les coûts liés à l'amélioration de l'environnement en fonction du niveau de dégradation de l'environnement. Le niveau optimal d'amélioration de l'environnement correspond à la rencontre des courbes de dommage marginal et de coût marginal.

Dans le cas présent des impacts des étiages, la diminution du débit de la rivière Yamaska est associée à un coût, en termes d'approvisionnement en eau potable et de pertes d'usages récréatifs et environnementaux. Chaque diminution de débit est associée à un coût supplémentaire pour les usagers et les écosystèmes. Ainsi, tel qu'illustré par la courbe D_m à la Figure 2, plus le débit augmente, plus les dommages diminuent. L'augmentation du débit est donc liée à une réduction des dommages. La mise en place d'un système d'alerte aux étiages couplé de mesures de diminution de la consommation d'eau permet théoriquement d'atténuer la diminution du débit de la rivière, et donc de diminuer les dommages. Ce système est toutefois lié à des coûts, illustrés par la courbe C_m à la Figure 2. Tant que les coûts liés à la mise en place du système d'alerte sont inférieurs aux dommages pour un niveau de débit donné, l'utilisation du système d'alerte est justifiée économiquement. Cette situation est illustrée par la partie du graphique située à la gauche du débit d'équilibre $Débit_e$. Une fois ce débit dépassé, les coûts des mesures de mitigation deviennent plus élevés que les dommages causés à un débit donné. L'utilisation de mesures de mitigation n'est donc plus économiquement justifiée.

Figure 2 : Illustration des courbes de dommages et de coûts marginales des étiages



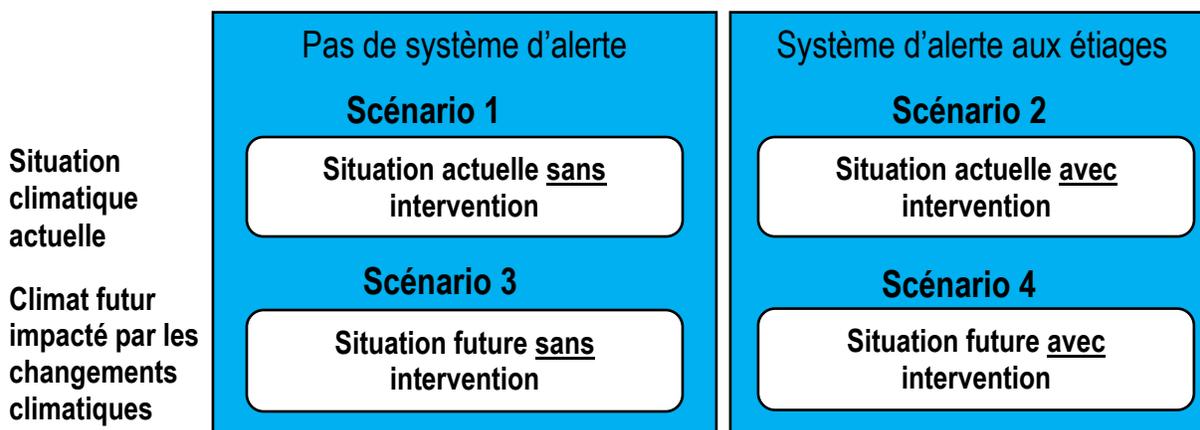
Idéalement, l'analyse réalisée dans le cadre de la présente étude permettrait d'estimer les courbes de dommage marginal et de coût marginal, tel qu'illustré à la Figure 2. Ainsi, il serait possible d'associer chaque niveau de débit avec des dommages économiques chiffrés et de déterminer les coûts des mesures de mitigation pour différents niveaux de débit. Également, bien que la Figure 2 suggère une relation linéaire entre le débit et les coûts, celle-ci est probablement non linéaire et la pente devrait varier en fonction du débit. Ainsi, les dommages marginaux (soit la pente de la courbe Dm) seront plus élevés pour un débit faible que pour un débit élevé¹. En raison du manque de données disponibles, principalement l'identification du lien entre les débits et les effets sur l'environnement, il est ardu de modéliser les courbes de dommage marginal et de coût marginal. Afin de permettre néanmoins la poursuite de l'étude, la relation sera donc estimée pour différents niveaux de débits, lorsque possible.

¹ À condition de demeurer dans la plage de valeurs de débits voisine des conditions d'étiage. Cette remarque ne s'applique pas pour des conditions de crue impliquant des dommages par inondation.

2.3 Scénarios considérés

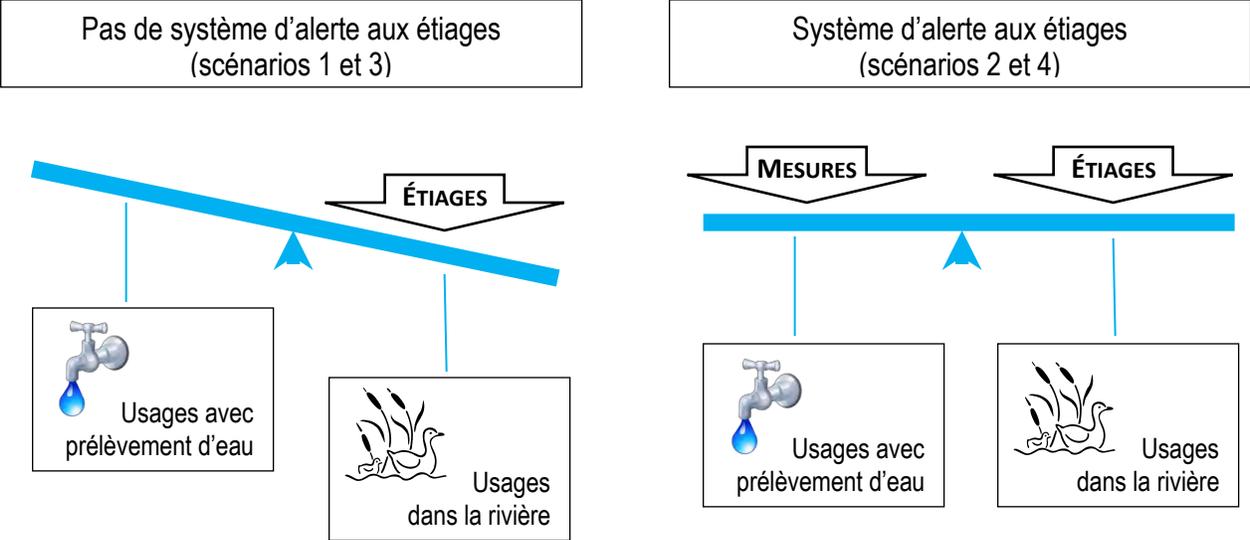
Les impacts des faibles débits d'étiage sur les divers usages de l'eau de la rivière Yamaska sont estimés pour quatre scénarios distincts. Deux scénarios reflètent la situation actuelle, c'est-à-dire le niveau actuel des étiages et les impacts observés présentement. Il s'agit des scénarios 1 et 2 (voir Figure 3). Les deux autres scénarios représentent les conditions climatiques futures et les répercussions des étiages futurs sur les différents usages de l'eau (scénarios 3 et 4). Dans chacune de ces deux situations (présente et future), un des scénarios considère qu'aucune mesure d'intervention n'est envisagée pour améliorer les conflits d'usage de l'eau (scénario 1 et 3), tandis qu'un système d'alerte aux étiages munis de mesures d'atténuation sont prévues dans l'autre (scénarios 2 et 4).

Figure 3 : Les scénarios considérés



Le système d'alerte aux étiages joue un rôle de contrepois aux impacts des étiages qui affectent d'abord les usages dans la rivière. Plus précisément, quand des mesures ne sont pas prévues pour protéger les activités récréatives et l'état de l'écosystème, ces usages souffrent en premier quand le niveau de la rivière baisse car ils utilisent l'eau qui reste dans la rivière après les usages avec prélèvement (eau potable, irrigation, jeux d'eau etc.). Les mesures de restrictions du système d'alerte aux étiages ont comme objectif de diminuer les prélèvements d'eau pour laisser suffisamment d'eau dans la rivière pour les usages récréatifs et le bien-être de l'écosystème riverain. La Figure 4 présente la façon dont un système d'alerte aux étiages redistribue les impacts des étiages parmi l'ensemble des utilisateurs d'eau d'une rivière.

Figure 4 : Le rôle du système d'alerte aux étiages



2.4 Territoire à l'étude

Le territoire visé par l'étude est une partie du bassin versant de la rivière Yamaska et plus concrètement les environs des cinq municipalités suivantes : Bromont, Cowansville, Farnham, Granby et Saint-Hyacinthe (voir Figure 5). Bromont, Farnham et Saint-Hyacinthe se situent sur le bord de la rivière Yamaska, tandis que Granby longe la rivière Yamaska Nord et Cowansville la rivière Yamaska Sud-Est. Dans deux de ces municipalités, la rivière alimente un lac qui donne lieu à plusieurs usages dont les activités récréatives et la prise d'eau potable de la ville. Il s'agit précisément de Granby, avec le lac Boivin et le réservoir Choinière ainsi que Cowansville, avec le lac Davignon. Dans le cas de Bromont, la rivière forme aussi un lac, le lac Sheffington, mais peu d'usages y sont rattachés.

Figure 5 : Localisation des municipalités à l'étude sur le bassin versant de la rivière Yamaska



Granby et Bromont ne sont pas inclus dans la comparaison des coûts et des bénéfices engendrés par le système d'alerte car les projections des débits futurs n'ont pas pu être réalisées pour ces deux municipalités à cause de la gestion des barrages qui se trouvent en amont (le lac Brome et le réservoir Choinière). Elles ont aussi été exclues de la comparaison des coûts et des bénéfices dans la situation présente à cause de l'insuffisance de données sur le débit de la rivière à Bromont et la quasi absence des étiages actuels à Granby. Par contre, des éléments de coûts et de bénéfices sont estimés pour ces deux municipalités dans le but d'avoir une base de départ pour une phase ultérieure de l'étude où la gestion des barrages pourra être considérée. L'Université de Sherbrooke est présentement en train d'étudier l'optimisation de la gestion du barrage Choinière et la possibilité de la considérer dans le cadre du modèle Hydrotel.

2.5 Méthodes retenues pour l'estimation des coûts

Les méthodes retenues pour la réalisation des évaluations économiques des impacts de la mise en place de la stratégie d'intervention sont la méthode des coûts de transport (l'approche par zones), le transfert de bénéfices et la méthode des prix de marché. Ces méthodes permettent l'estimation de la valeur monétaire des pertes d'usage marchand et non marchand avec des ressources budgétaires limitées et dans des délais assez courts. Par contre, les résultats reflètent moins bien la réalité que ceux obtenus avec des méthodes tels l'évaluation contingente, l'économie expérimentale, la méthode des prix hédoniques et les coûts de transport (à l'aide d'un sondage), surtout dans le cas des usages récréatifs et environnementaux. Le Tableau 1 présente l'ensemble des méthodes d'évaluation monétaire de l'environnement et identifie celles utilisées dans le cadre de cette étude.

Le transfert de bénéfices

Cette méthode permet de transférer des valeurs calculées originalement sur un site particulier (le site de l'étude) vers un autre site (le site visé), grâce à certains types de modifications qui dépendent du contexte. Elle s'applique lorsqu'il y a déjà assez d'études primaires réalisées sur la ressource étudiée et que le budget ou le temps disponibles ne permettent pas la réalisation d'une étude primaire.

Généralement, deux grandes catégories d'utilisation sont considérées : (1) le transfert direct de valeurs monétaires et (2) le transfert de modèles de valeurs. La présente étude utilise le transfert de valeurs car il n'y a pas suffisamment d'études pertinentes pour estimer un modèle.

Dans le cas de l'écosystème aquatique, le transfert de valeurs a été fait à partir d'une étude qui utilise la méthode de l'évaluation contingente pour estimer la valeur d'une amélioration de l'écosystème aquatique grâce à la mise en place de restrictions de prélèvement. L'évaluation contingente est une méthode largement utilisée pour estimer la valeur de préservation de l'environnement et consiste en un sondage qui demande la volonté à payer des gens pour des améliorations environnementales. Le questionnaire débute avec une présentation des enjeux environnementaux pour informer le mieux possible les répondants sur les bénéfices de l'écosystème visé. Le montant que le répondant est prêt à payer pour ces améliorations environnementales représentent un ensemble de plusieurs valeurs comme la valeur qu'il accorde au fait que les générations futures puissent en bénéficier (valeur d'héritage), au fait que d'autres personnes de sa génération puissent en bénéficier (valeur altruiste), que lui-même puissent en bénéficier dans le futur ou à l'existence de l'écosystème pour sa valeur intrinsèque. Ces valeurs couvrent donc la valeur des écosystèmes dans le futur mais toujours du point de vue des gens actuels. Elles sont dépendantes du niveau de connaissances que le répondant a sur l'importance des écosystèmes et de l'importance qu'il accorde aux générations futures.

La méthode des prix du marché

Cette méthode utilise les prix des biens et services qui sont vendus sur le marché pour estimer la valeur d'une ressource comme différence entre le prix de la demande ou de l'offre et son prix actuel sur le marché (surplus du consommateur ou du producteur).

La méthode des coûts de transport

La méthode des coûts de transport est utilisée surtout pour estimer la valeur associée à un nouveau site récréatif, à l'amélioration de la qualité d'un site récréatif existant ou à l'amélioration d'habitats fauniques ou halieutiques pouvant se traduire par une augmentation de l'offre de chasse ou de pêche. Elle utilise l'information sur les dépenses totales de visiteurs sur un site particulier afin de déduire la courbe de demande de services du site.

Tableau 1 : Les méthodes d'évaluation économique de l'environnement utilisées dans le cadre de cette étude

Méthodes utilisées	Application
Coûts de transport (approche par zones)	Valeur d'une journée d'activités récréatives dans le parc de la Yamaska
Transfert de bénéfices	Valeur d'une journée de pêche Valeur d'une journée d'activités nautiques
Prix du marché	Impact des mesures d'intervention sur les industries

2.6 Hypothèse de linéarité des impacts des étiages

La façon dont les coûts associés aux étiages sont estimés suppose que la durée des périodes d'étiage a un effet linéaire sur les coûts. Plus précisément, l'étude estime les coûts associés aux étiages sur une base journalière et les agrège par la suite en multipliant les coûts journaliers par le nombre de jours d'étiage. Cette façon de faire peut ne pas refléter la réalité mais elle représente un point de départ pour des analyses plus sophistiquées.

Un exemple où l'hypothèse de linéarité n'est pas réaliste est l'impact des étiages sur les écosystèmes. L'effet sur le milieu aquatique d'un débit de crise pendant 10 jours peut ne pas être seulement 10 fois plus élevé que l'effet d'un débit de crise pendant un seul jour mais 20 fois ou même plus car l'écosystème peut subir des pertes irréversibles. L'effet du nombre de jours peut être exponentiel dans ce cas. Par contre, l'hypothèse de linéarité n'a pas été appliquée aux impacts sur l'écosystème aquatique parce que la façon dont la valeur de leur amélioration est estimée ne tient pas compte de la durée des étiages.

3. Utilisateurs d'eau du bassin versant de la rivière Yamaska

Les utilisateurs de l'eau de la rivière Yamaska sont nombreux et diversifiés. Ils incluent les municipalités ayant des prises d'eau dans la rivière ainsi que les ménages, commerces et industries qu'elles approvisionnent, les agriculteurs pouvant effectuer des prélèvements directement dans la rivière et les récréateurs. Les besoins en eau des écosystèmes aquatiques sont également à considérer.

La littérature spécialisée classe les utilisateurs d'eau en deux catégories : les utilisateurs à l'extérieur du cours d'eau (*offstream users*) et les utilisateurs dans le cours d'eau (*instream users*). Les premiers utilisent l'eau en la prélevant de la rivière, comme les municipalités pour alimenter leur réseau d'eau potable, les établissements industriels hors réseau et, dans certains cas, des producteurs agricoles, tandis que les utilisateurs dans le cours d'eau ne font aucun prélèvement. La baignade, les activités nautiques et les barrages hydroélectriques sont des exemples d'usages qui se réalisent dans le cours d'eau.

3.1 Utilisateurs d'eau à l'extérieur du cours d'eau (*offstream users*)

Les utilisateurs à l'extérieur du cours d'eau peuvent prélever l'eau dans les eaux de surface ou dans les eaux souterraines mais le système d'alerte aux étiages concerne uniquement les prélèvements dans les eaux de surface. Les prélèvements dans les eaux de surface se font soit par l'intermédiaire du réseau municipal d'aqueducs, soit directement dans la rivière. D'après l'information disponible, les prélèvements d'eau de surface hors du réseau municipal sont négligeables sur le bassin versant de la rivière Yamaska, surtout en période estivale.

Usines de traitement de l'eau potable

Les usagers des réseaux d'eau potable sont divisés en quatre secteurs : le secteur résidentiel (les ménages), le secteur industriel, le secteur commercial et le secteur institutionnel. Pour les trois derniers secteurs l'acronyme ICI est utilisé. Les usines de traitement d'eau potable des villes qui font l'objet de la présente étude ont toutes des prises d'eau en surface et la totalité d'entre elles utilisent le traitement de type « filtration – chloration ». Cowansville et Granby prélèvent leur eau dans un lac (lac Davignon et lac Boivin, respectivement), tandis que Bromont, Farnham et Saint-Hyacinthe prélèvent l'eau directement dans la rivière (COGEBY, 2010).

Ménages

Le réseau d'aqueduc municipal approvisionne en eau la majorité de la population des municipalités ciblées par cette étude. Comme le Tableau 2 le montre, le nombre de personnes desservies par le réseau municipal est très proche du nombre total d'habitants, ce qui indique que le nombre de personnes qui utilisent d'autres sources d'eau potable est négligeable. Dans le cas de Farnham, la différence est légèrement plus importante mais elle s'explique par le fait qu'une partie de la municipalité se trouve à l'extérieur du bassin versant. La population utilisant de l'eau provenant de la rivière Yamaska est donc plus petite que l'ensemble de la population desservie.

Tableau 2 : Nombre de personnes desservies par les réseaux municipaux d'eau potable des villes de la présente étude

Ville	Nombre de personnes desservies dans le bassin versant (2002)	Population (2001)
Bromont	5 400	4 808
Cowansville	12 010	12 032
Farnham	6 088	7 747
Granby	44 420	44 121
St-Hyacinthe	49 750	50 394

Source : COGEBY, 2010 et Recensement 2001.

Entreprises agricoles

Presque la moitié du territoire du bassin versant de la rivière Yamaska est dédiée à la production végétale. La capacité de support² de la rivière Yamaska est largement dépassée et la part des cultures à grand interligne et à interligne étroit est trop importante car elle représente 34 % du territoire du bassin versant, alors que ce pourcentage ne devrait normalement pas dépasser 5 % (Gangbazo *et al.*, 2005). Par conséquent, l'agriculture exerce une forte pression sur la qualité de l'eau de la rivière Yamaska.

Par contre, la pression de l'agriculture est moins importante en termes de quantité d'eau utilisée, la raison étant la dominance des cultures de maïs et de soya qui ne nécessitent que peu ou pas d'irrigation. L'eau est principalement utilisée pour les besoins des animaux³. Il est toutefois estimé que seule une faible proportion des animaux sont abreuvés à même l'eau de la rivière en raison de la présence de pathogènes. Par conséquent, la plupart des prélèvements d'eau en agriculture proviennent vraisemblablement de sources souterraines ou du réseau d'aqueduc des municipalités.

Terrains de golf

Au-delà de leur impact sur la qualité de l'eau de rivières par le lessivage d'engrais minéraux et de pesticides, les terrains de golf sont d'importants utilisateurs d'eau en période estivale. La plupart sont approvisionnés en eau par le réseau municipal ou les nappes souterraines et très peu prélèvent leur eau directement dans la rivière (voir Tableau 3).

² La capacité de support est définie par Garbanzo *et al.* (2005, p. v) comme « une intensité d'activités agricoles qui permet de respecter le critère de concentration de phosphore pour la prévention de l'eutrophisation ou, plus généralement, comme la somme des activités humaines dont l'incidence globale respecte ce critère ».

³ Information obtenue de Catherine Laurence-Ouellet, directrice de l'Organisme de bassin versant de la rivière Yamaska.

Tableau 3 : Terrains de golf qui prélèvent de l'eau directement dans la rivière, dans les municipalités à l'étude

Entreprise	Municipalité	Volume prélevé (m ³ /année)
Club de Golf les Cèdres	Granby	Inconnu
Golf du Château Bromont	Bromont	37 000*

* Possiblement prélevé dans le lac Sheffington, qui fait partie de la rivière Yamaska; sinon, prélevé dans un lac artificiel.

Source : Projet en cours sur les eaux souterraines de la Montérégie Est⁴

Industries, commerces et institutions (ICI)

L'approvisionnement en eau directement dans la rivière par les commerces et les industries est considéré comme marginal sur le bassin versant de la rivière Yamaska. En effet, les grands préleveurs d'eau hors réseau sont très peu nombreux (voir Tableau 4 pour les municipalités à l'étude). Ski Bromont prélève de grandes quantités d'eau mais seulement en hiver, pour la fabrication de la neige, ce qui n'affecte pas les étiages d'été car l'eau est retournée au milieu naturel lors de la fonte.

Tableau 4 : ICI qui prélèvent de l'eau directement dans la rivière, dans les municipalités à l'étude

Entreprise	Municipalité	Volume prélevé (m ³ /année)
Plage & Camping Tropicana	Granby	Inconnu
Ski Bromont	Bromont	800 000*

* Prélevé dans la rivière Yamaska et deux réservoirs, pour la fabrication de la neige.

Source : Projet en cours sur les eaux souterraines de la Montérégie Est⁵.

⁴ Idem

⁵ Selon les résultats du sondage réalisé par le projet en cours « Projet d'acquisition de connaissances sur les eaux souterraines de la Montérégie Est ». Ce projet est coordonné par l'Institut national de la recherche scientifique – Centre Eau Terre Environnement (INRS-ETE) et il est financé à 80 % par le Programme d'acquisition de connaissances sur les eaux souterraines du Québec du ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs (MDDEP).

3.2 Utilisateurs d'eau dans la rivière (instream users)

En absence de mesures de gestion des usages de l'eau, les usages dans le cours d'eau sont les premiers à subir les effets des faibles débits d'étiage, surtout s'ils se situent en aval des prises d'eau. Les activités récréotouristiques, les centrales hydroélectriques et l'écosystème aquatique bénéficient de l'eau qui reste dans la rivière une fois que les usines de traitement de l'eau potable et les utilisateurs hors du réseau municipal ont prélevé les quantités nécessaires.

Centrales hydroélectriques

La production d'hydroélectricité est marginale sur le bassin versant de la rivière Yamaska avec une seule hydrocentrale, la centrale T.D. Bouchard, située à Saint-Hyacinthe ayant une capacité de 2,3 mégawatts. Elle est la propriété d'Algonquin Power & Utilities Corp. et l'ensemble de la production est vendue à Hydro-Québec⁶. C'est une hydrocentrale au fil de l'eau, ce qui la rend plus vulnérable aux faibles débits de la rivière.

Activités récréotouristiques

Les activités récréotouristiques liées à l'eau comme la baignade, la pêche, les activités nautiques et la promenade le long de la rivière, sont principalement situées dans la partie en amont du bassin versant à cause de la meilleure qualité de l'eau (COGEBY, 2010). De nombreux parcs municipaux sont situés en bordure des cours d'eau. Le potentiel récréotouristique lié à l'eau se concentre dans les municipalités de Waterloo, Roxton Pond, Granby, Bromont, Cowansville, Saint-Hyacinthe et Lac-Brome où une grande quantité de parcs riverains a été créée. Le Tableau 5 présente les principaux endroits propices à la récréation liée à l'eau autour des cinq municipalités qui font l'objet de la présente étude. Le réservoir Choinière, le lac Boivin, le lac Davignon, le lac Bromont et le lac Gale comptent parmi les endroits les plus prisés car l'offre est très diversifiée.

⁶ Information disponible sur les sites internet d'Algonquin Power Fund (St-Hyacinthe, T.D. Bouchard), http://www.algonquinpower.com/business/facility/hydroelectric_hydraska.asp?choice=segment et Wikipédia (Liste des centrales hydroélectriques au Québec, http://fr.wikipedia.org/wiki/Liste_des_centrales_hydro%C3%A9lectriques_au_Qu%C3%A9bec).

Tableau 5 : Endroits propices à la récréation liée à l'eau dans les municipalités de l'étude

Activité récréotouristique liée à l'eau	Municipalité	Endroit
Baignade	Bromont	Lac Bromont Domaine naturel du lac Gale Camping du village (lac artificiel)
	Cowansville	Centre de la nature de Cowansville (lac Davignon)
	Granby	Parc de la Yamaska (réservoir Choinière) Ruisseau Derrill (Camping Tropicana) Plage du camping Granby (lac artificiel)
Pêche	Bromont	Lac Sheffington Lac Bromont Rivière Yamaska
	Cowansville	Centre de la nature de Cowansville (lac Davignon) Rivière Yamaska Sud-Est
	Farnham	Rivière Yamaska
	Granby	Parc de la Yamaska (réservoir Choinière) Lac Boivin Rivière Yamaska Nord (sur 9 km)
	Saint-Hyacinthe	Rivière Yamaska
Activités nautiques	Bromont	Lac Bromont
	Cowansville	Centre de la nature de Cowansville (lac Davignon)
	Farnham	Rivière Yamaska
	Granby	Parc de la Yamaska (réservoir Choinière) Lac Boivin (pas d'embarcations à moteur)
	Saint-Hyacinthe	Rivière Yamaska
Promenade au bord de l'eau (randonnée ou vélo)	Bromont	Route verte Domaine naturel du lac Gale
	Cowansville	Centre de la nature de Cowansville (lac Davignon)
	Farnham	Centre de la nature de Farnham (2,4 km)
	Granby	Parc de la Yamaska (réservoir Choinière) Centre d'interprétation de la nature du lac Boivin
	Ste-Hyacinthe	Promenade Gérard-Côté (2 km)

Source : COGEBY (2010), MDDEP (2010), Ministère de l'Environnement du Gouvernement du Québec (1999), Ministère de l'Environnement du Gouvernement du Québec (1989).

La baignade

Le parc de la Yamaska abrite la principale plage du bassin versant et offre une large gamme d'activités récréotouristiques en lien avec l'eau mais la baignade peut se pratiquer sur 26 autres plages publiques situées sur le bassin versant (COGEBY, 2010). La baignade se pratique dans trois des cinq municipalités de l'étude, c'est-à-dire Granby, Bromont et Cowansville. Les deux autres municipalités, Farnham et Saint-Hyacinthe, sont situées plus en aval, où la qualité de l'eau est dégradée. Parmi les plages des trois municipalités, il y a la plage du lac Bromont, la plage du Domaine naturel du lac Gale et la plage du camping du village, à Bromont, la plage du lac Davignon, à Cowansville, les plages des campings Tropicana et Granby et celle du Parc de la Yamaska, à Granby.

Deux de ces plages revêtent un intérêt particulier dans le cadre de ce mandat car leur qualité et leur niveau d'eau pourraient être influencés par le changement de débit de la rivière Yamaska. Il s'agit de la plage de Cowansville et de celle du réservoir Choinière. La plage de Cowansville est située sur le lac Davignon, soit sur le même plan d'eau que la prise d'eau. Pour sa part, le réservoir Choinière a comme principale fonction la régularisation de la rivière Yamaska et la sécurisation de l'approvisionnement en eau de la ville de Granby.

La pêche

La pêche se pratique dans plusieurs secteurs de la rivière Yamaska, de la Yamaska Nord et de la Yamaska Sud-est. Diverses espèces recherchées par les pêcheurs sont présentes dans le bassin versant de la Yamaska, incluant l'achigan, la marigane noire, le brochet, le maskinongé, la perchaude et le doré. La pêche est permise pendant la période estivale. Cependant, les dates d'ouverture de la pêche varient selon les espèces et la zone de pêche.

La plupart des municipalités à l'étude bénéficient de lieux de pêche recherchés. Par exemple, à Granby il est possible de pratiquer la pêche en ville sur une distance de 9 km (entre la rue Montain, au centre-ville de Granby et la route 139), zone qui estensemencée par l'Association des pêcheurs de l'Estrie. De 2 000 à 3 000 pêcheurs s'y rendent chaque été, selon les estimations de Georges Landry de cette association.

Les activités nautiques

Les activités nautiques, incluant le canot, le kayak, la planche à voile et la navigation de plaisance, se pratiquent sur plusieurs lacs et différentes sections de la rivière Yamaska. D'après Primeau *et al.*, 1999, le canot et la navigation de plaisance se pratiquent de Farnham jusqu'au barrage de St-Hyacinthe, puis près de l'embouchure du lac Saint-Pierre. D'après COGEBY (2010), les principaux lacs où des activités nautiques se pratiquent à proximité des municipalités à l'étude sont le réservoir Choinière, le lac Boivin, le lac Davignon et le lac Bromont.

Promenade au bord de l'eau

L'attrait visuel de la rivière Yamaska pour les randonneurs et les cyclistes constitue également un usage (MDDEP, 1999). Par exemple, la promenade Gérard-Côté, à St-Hyacinthe, le sentier Route verte à Bromont et les sentiers du Centre de la nature de Farnham longent la rivière Yamaska. Plusieurs autres sentiers se trouvent au bord de lacs comme ceux du parc de la Yamaska, du Centre d'interprétation de la nature du lac Boivin et du Centre de la nature de Cowansville (lac Davignon).

Écosystèmes aquatiques

La rivière Yamaska est l'hôte de plusieurs espèces de poissons, de benthos, d'algues et autres microorganismes. Les étiages sévères ont nécessairement un impact sur ces espèces. Cependant, ceux-ci ne sont pas connus avec certitude compte tenu du fait que plusieurs autres paramètres, tels la pollution, le type de rivière et les activités humaines ont également une influence sur l'écosystème aquatique. Les impacts négatifs des étiages sur la faune et la flore ne sont également pas spontanés et peuvent se faire ressentir après plusieurs jours d'étiages sévères.

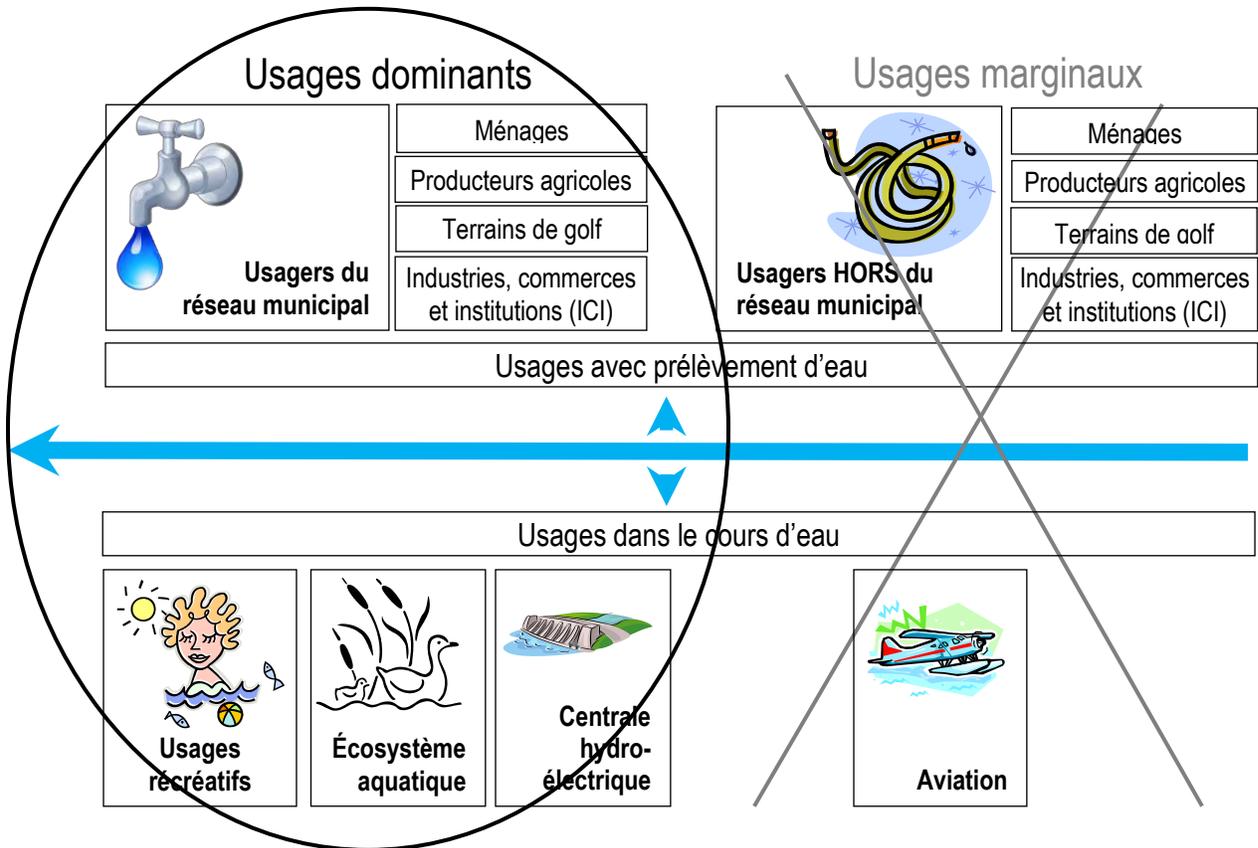
L'aviation

Un rapport du ministère de l'Environnement du Québec (1999) mentionne que la rivière Yamaska sert de surface d'amerrissage pour les hydravions entre Farnham et St-Hyacinthe. Cependant, cet usage est marginal car la rivière Richelieu est préférée en période estivale.

3.3 Usages de l'eau retenus pour l'analyse

Les consultations menées auprès des municipalités et du forum d'usagers, ainsi que nos propres recherches font ressortir que les prélèvements d'eau directement de la rivière, autres que ceux des municipalités, sont marginaux. Comme la section précédente le montre, la grande majorité de la population est desservie par le réseau municipal d'aqueduc ou par des sources d'eau souterraines, tout comme la majorité des ICI, des producteurs agricoles et des terrains de golf. Étant donné la quantité d'eau négligeable qu'ils prélèvent dans la rivière par rapport au volume produit par le réseau municipal, les usages hors du réseau municipal sont exclus de l'étude pour fins de simplification. Dans le même ordre d'idées, un des usages dans le cours d'eau, l'aviation, est aussi exclu étant donné que c'est une activité marginale. La Figure 6 résume ces choix.

Figure 6 : Principaux usages de l'eau dans le bassin versant de la rivière Yamaska



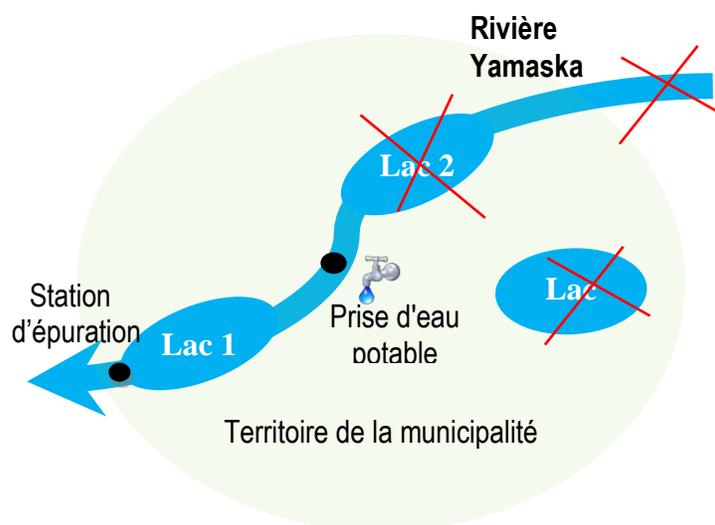
3.4 Plans d'eau retenus pour l'analyse

Les plans d'eau retenus dans chaque municipalité sont sélectionnés en fonction des deux critères suivants: 1) le lien avec les rivières Yamaska, Yamaska Nord et Yamaska Sud-Est et 2) leur localisation par rapport à la prise d'eau municipale. Plus précisément, les plans d'eau qui ne sont pas directement alimentés par les rivières Yamaska, Yamaska Nord et Yamaska Sud-Est ne sont pas considérés car il est difficile de déterminer comment ils sont affectés par les faibles débits d'étiage de ces rivières. Par exemple, dans la Figure 7, le « lac 3 » est exclu de l'étude compte tenu de l'absence d'un lien direct avec la rivière Yamaska.

Ensuite, si la prise d'eau de la municipalité est située en aval du plan d'eau, ce plan d'eau est aussi exclu car il n'y a pas de conflit d'usage, étant donné que le seul prélèvement majeur dans la rivière est celui de l'usine de traitement de l'eau potable. La seule exception à cette règle est le réservoir Choinière qui est considéré dans l'analyse même si la prise d'eau municipale est en aval, la raison étant que la gestion du barrage est liée à l'approvisionnement en eau potable de la municipalité de Granby.

De plus, le secteur de la rivière en aval de la station d'épuration devrait également être exclu parce que la grande majorité de l'eau prélevée par l'usine de traitement d'eau potable est retournée à la rivière à cet endroit et l'effet des restrictions de prélèvement est grandement réduit. Par contre, l'évaluation des effets bénéfiques des restrictions de prélèvement ne permet pas la prise en compte d'un secteur spécifique de la rivière à cause du manque d'informations raffinées sur la fréquentation de ce secteur par les amateurs d'activités récréatives ainsi que sur les améliorations environnementales d'un secteur précis de la rivière. Cependant, la longueur de la rivière entre la prise d'eau et la station d'épuration est parfois assez grande, couvrant la majorité du secteur urbain de la rivière, ce qui fait que l'impact sur les résultats est minime (les bénéfiques sont légèrement surestimés). Cette longueur est de plus de 5 km pour St-Hyacinthe, d'environ 2.5 km pour Farnham et d'environ 7 km pour Cowansville (Côté et Leconte (2012)).

Figure 7 : Critères de sélection des plans d'eau retenus : 1) lien avec les rivières Yamaska, Yamaska nord ou Yamaska sud-est et 2) localisation par rapport à la prise d'eau municipale



3.5 Usages de l'eau et plans d'eau par municipalité

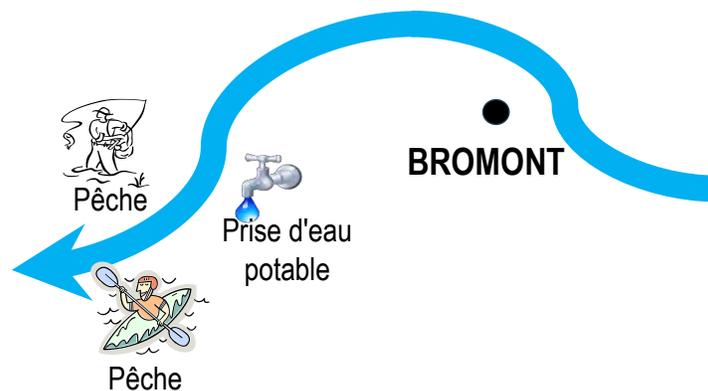
Cette section présente les usages et les plans d'eau qui ont été retenus pour chacune des municipalités de l'étude selon les critères présentés ci-dessus.

Bromont

La municipalité de Bromont bénéficie de la présence sur son territoire de plusieurs lacs comme le lac Bromont, l'étang Gale et le lac Sheffington mais seulement le dernier est en lien direct avec la rivière. De plus, le lac Sheffington est en amont de la prise d'eau municipale, ce qui ne le rend pas en conflit d'usage avec les utilisateurs du réseau municipal. Par conséquent, seule la rivière Yamaska sera retenue pour les fins de cette étude.

La grande majorité des activités récréotouristiques de Bromont se pratiquent sur les lacs. La rivière est utilisée pour la pêche et une piste cyclable qui longe la rivière existe mais en amont de la prise d'eau. Par conséquent, les seuls usages de l'eau retenus pour Bromont sont la pêche sur la rivière Yamaska et les activités nautiques en aval de la prise d'eau municipale, les prélèvements de la municipalité et les besoins de l'écosystème aquatique. La Figure 8 présente ces usages et leur localisation.

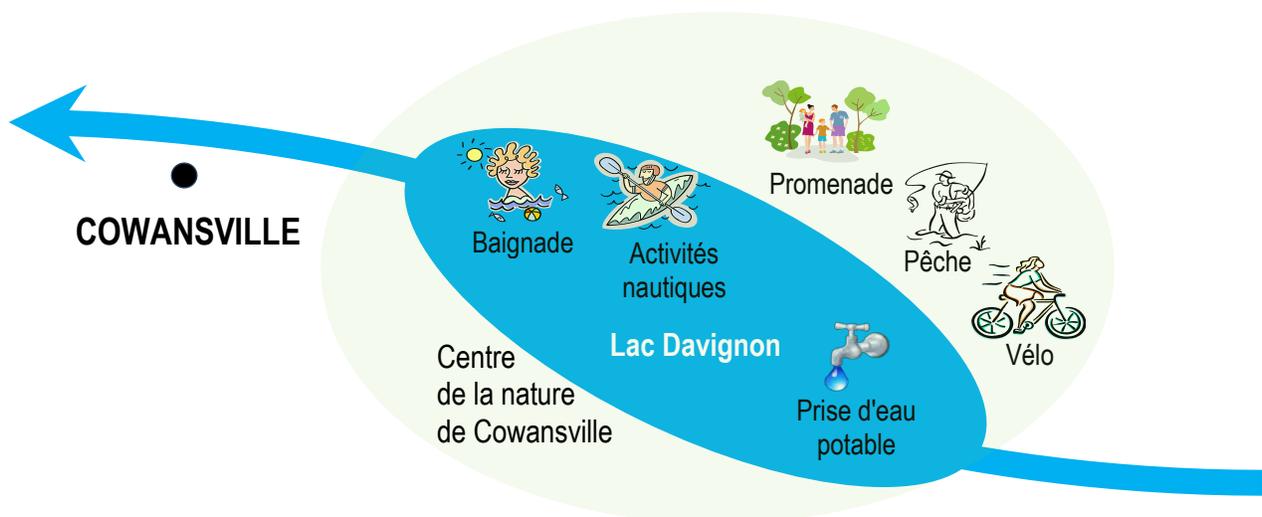
Figure 8 : Usages de l'eau et plans d'eau retenus pour Bromont



Cowansville

Le Centre de la nature de Cowansville, situé au bord du lac Davignon, concentre la plupart des usages de l'eau de la municipalité de Cowansville. On y retrouve une plage, des endroits pour pêcher, la possibilité de pratiquer des activités nautiques, des sentiers au bord de l'eau et même une piste cyclable (voir Figure 9). De plus, la prise d'eau municipale se situe à ce même endroit. Par conséquent, le lac Davignon avec ces différents usages de l'eau est le plan d'eau retenu pour analyse.

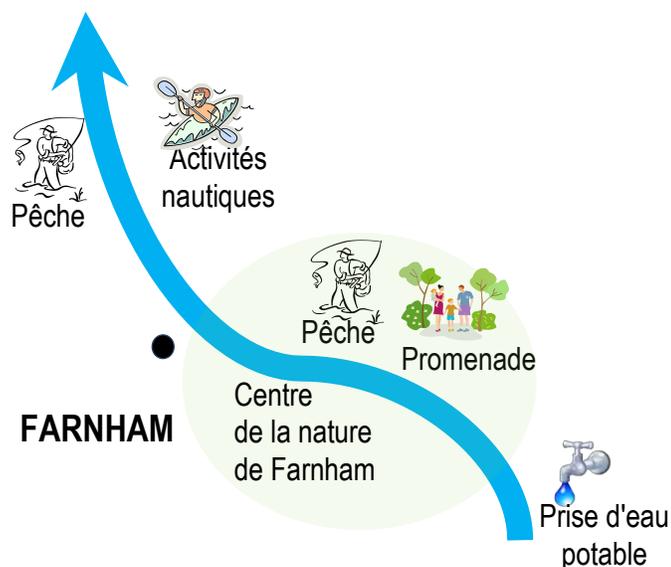
Figure 9 : Usages de l'eau et plans d'eau retenus pour Cowansville



Farnham

La rivière Yamaska est le seul endroit à Farnham qui offre la possibilité de pratiquer des activités récréotouristiques liées à l'eau. La randonnée au bord de l'eau se pratique au Centre de la nature de Farnham et la pêche et des activités nautiques peuvent avoir lieu tout le long de la rivière jusqu'au barrage de Saint-Hyacinthe. La prise d'eau municipale se situe en amont de la ville, ce qui fait que la pêche et la randonnée au Centre de la nature de Farnham, ainsi que la pêche et les activités nautiques entre la prise d'eau de Farnham et le barrage de Saint-Hyacinthe, seront considérées pour analyse. La Figure 10 présente ces usages et leur localisation.

Figure 10 : Usages de l'eau et plans d'eau retenus pour Farnham



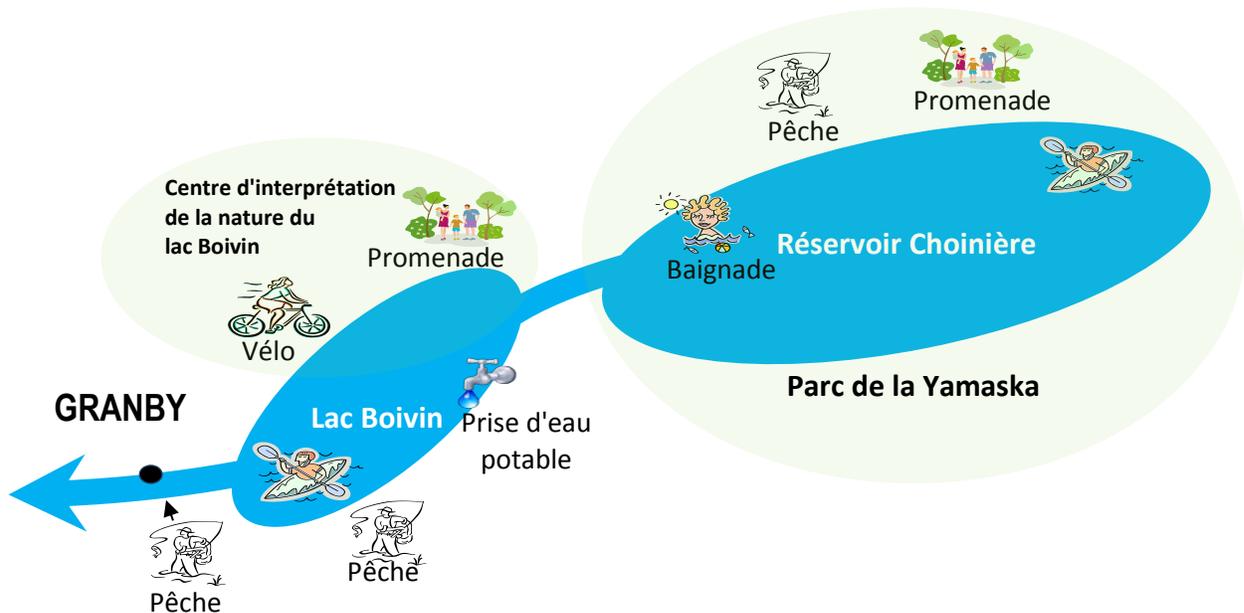
Granby

Granby bénéficie d'une vaste offre d'activités récréotouristiques liées à l'eau grâce à la présence dans ses alentours du lac Boivin et du réservoir Choinière, deux lacs alimentés par la rivière Yamaska Nord. Le Centre de la nature du lac Boivin offre plusieurs sentiers pour la randonnée et le vélo, ainsi que des activités d'interprétation de la nature. Sur le même lac, mais à l'extérieur du centre, les activités nautiques et la pêche sont permises sous la restriction de ne pas utiliser des embarcations à moteur. Dans la partie est du lac se trouve le réservoir Lemieux qui fournit de l'eau potable à la ville de Granby.

Le parc de la Yamaska, avec son réservoir Choinière, offre une belle plage et la possibilité de pratiquer la pêche, la randonnée au bord de l'eau et les activités nautiques. La pêche se pratique aussi en ville, sur environ 9 km de la rivière Yamaska Nord et c'est une activité très appréciée par les résidents. La Figure 11 présente ces usages et leur localisation.

La ville de Granby bénéficie d'une prise d'eau d'appoint dans le lac Coupland mais elle n'est pas considérée dans cette étude parce que le niveau du lac Coupland n'est pas directement influencé par la rivière Yamaska Nord.

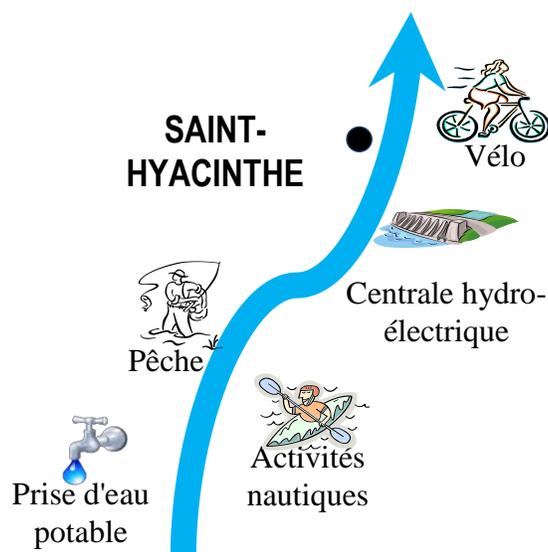
Figure 11 : Usages de l'eau et plans d'eau retenus pour Granby



Saint-Hyacinthe

La municipalité de Saint-Hyacinthe ressemble beaucoup à Farnham au niveau des usages de l'eau. La rivière est le principal plan d'eau de la ville et rassemble des usages comme les prélèvements d'eau potable, en amont de la ville, la pêche et les activités nautiques. La promenade Gérard-Côté longe la rivière sur 2 km et offre la possibilité d'une belle promenade à pied ou en vélo. Un usage particulier de l'eau est la production d'électricité par la centrale hydroélectrique au fil de l'eau d'Algonquin Power. La Figure 12 présente ces usages et leur localisation.

Figure 12 : Usages de l'eau et plans d'eau retenus pour Saint-Hyacinthe



4. Coûts des impacts des faibles débits d'étiage sur les utilisateurs d'eau (scénarios 1 et 3)

Les faibles débits d'étiage exercent sur les utilisateurs de l'eau une pression autant au niveau de la quantité disponible pour l'ensemble des utilisations qu'au niveau de sa qualité. Ainsi, lorsque les débits des rivières sont faibles, des conflits d'usage peuvent apparaître entre ceux qui prélèvent l'eau de la rivière et ceux qui pratiquent des activités récréotouristiques. D'autre part, la diminution des débits a une influence directe sur la qualité de l'eau disponible pour diverses utilisations car la concentration d'algues et de polluants augmente à cause de la moindre capacité de dilution de la rivière.

4.1 Impacts des faibles débits d'étiage recensés dans la littérature

Plusieurs études estiment les impacts socio-économiques des étiages dans les pays les plus confrontés à des périodes de sécheresse. Un grand nombre d'études proviennent des États-Unis pour des régions comme la Californie, le Texas et le Colorado. D'autres études ont été réalisées en Australie, en Espagne, en France et en Allemagne. Comparée à la littérature scientifique sur les impacts économiques des inondations, celle sur les impacts économiques des étiages reste limitée. Le sujet des impacts des épisodes de crue a été beaucoup plus étudié en raison de leurs coûts plus élevés.

La plupart des études économiques sur les étiages ciblent des impacts spécifiques et estiment les coûts associés à ces impacts. C'est le cas de la majorité des études américaines qui ciblent principalement les activités récréo-touristiques. Seulement une minorité d'études considèrent l'ensemble des impacts des étiages sur les utilisateurs d'eau, comme la présente étude le fait.

Impacts des étiages sur l'ensemble des usages de l'eau

Parmi les études qui estiment l'impact des étiages sur un ensemble d'usage de l'eau, mentionnons, entre autres, Bousquet *et al.* (2003) pour la Seine en France, Grossman *et al.* (2009) pour l'Elbe en Allemagne et Honey-Roses (2008) pour la rivière Ter en Espagne. L'étude de Bousquet *et al.* (2003) est la publication scientifique qui ressemble le plus à la présente étude. Elle s'intéresse aux effets socio-économiques des étiages sur l'ensemble des utilisateurs de l'eau de la Seine et quantifie les coûts associés à certains de ces impacts.

Les usages de l'eau de la Seine affectés par les étiages sont: l'eau potable, la production d'électricité, l'irrigation des terres agricoles, la circulation fluviale commerciale et touristique, le tourisme et la pêche ainsi que les usages paysagers, patrimoniaux et écologiques. Les auteurs identifient que les principaux effets négatifs des étiages sont liés à la température et à la composition chimique de l'eau. L'apparition d'algues et l'augmentation de la concentration d'ammonium sont, par exemple, liées à une augmentation des coûts de traitement des eaux tandis que la température de l'eau a un effet sur la climatisation des centrales électriques. Également, des débits faibles peuvent occasionner une augmentation du temps d'attente des bateaux aux écluses. Le tableau suivant présente les principales estimations de coûts effectués par les auteurs, en dollars canadiens.

Tableau 6 : Impacts des étiages de la Seine et les coûts associés

Usage affecté	Effets des étiages	Coûts approximatifs
Traitement de l'eau potable	Coûts supplémentaires de traitement des eaux associés au charbon actif, aux coagulants et à l'ozonation	0,06 \$ à 0,07 \$ par m ³ d'eau traitée
Production électrique	Substitution d'un mode de production à un autre	0,02 \$ par kWh
Pertes environnementales	Ramassage et destruction des poissons morts	520 \$/tonne
	Ré-alevinage	7000 \$/tonne
Contraintes de navigation	Retard dans livraisons	0,21 \$/tonne
	Immobilisation des bateaux	200 à 639 \$/jour
Irrigation	Sans réel effet	-
Coûts totaux		Environ 2 000 000 \$ par épisode

Source : Bousquet, Gaume et Lancelot, 2003.

Les mesures de prévention des étiages sont, somme toute, peu nombreuses et incluent des stations flottantes pour éviter les blooms d'algues, des capacités de stockage de déchets radioactifs supplémentaires et l'installation de dispositifs de réoxygénation artificiels. Les auteurs concluent que les coûts des étiages sur la Seine sont modestes, surtout lorsque comparés au coût des crues. Également, l'augmentation du débit d'étiage n'aurait qu'un effet presque nul sur la température et la composition chimique.

Impacts des étiages sur un usage spécifique

Effets environnementaux

Lavoie *et al.* (2003), ont montré une relation inversement proportionnelle entre le débit des rivières et le poids sec organique (incluant principalement des diatomées, des algues vertes et des cyanobactéries) du périphyton dans la rivière Boyer au Québec. Similairement, une étude de Souchon *et al.* (1996) identifie, comme principaux effets des périodes d'étiage, la réduction de la capacité de dilution des substances rejetées, une oxygénation moindre et l'augmentation des températures. Ces facteurs causent, entre autres, l'accroissement de la production d'algues (incluant les chlorophycées filamenteuses, souvent nuisibles), de phytoplancton et des macrophytes ainsi qu'une modification des peuplements d'invertébrés sur le court terme et l'anoxie et l'hyperthermie chez le poisson, ce qui peut causer la mortalité. La durée de récupération des communautés de poissons est variable; elle peut être d'environ 2 mois et s'étaler jusqu'à environ 14 mois.

Falke *et al.* (2010) ont toutefois déterminé que les effets néfastes des étiages temporaires sur le méné laiton étaient relativement faibles. Celui-ci peut survivre à des variations importantes du débit et le rétablissement de la population s'effectue rapidement. La réduction permanente des débits est, selon eux, beaucoup plus préoccupante.

Peu d'études ont estimé la valeur monétaire de garder des niveaux minimums des rivières pour assurer l'intégrité des écosystèmes riverains. Une de ces études est Ortega *et al.* (2011) qui estime conjointement les valeurs monétaires d'une amélioration de l'écosystème riverain et de l'évitement des restrictions de l'utilisation résidentielle de l'eau potable. La valeur accordée à l'amélioration de l'écosystème riverain s'élève de 7,95 à 10,88 euros/ménage/an tandis que la valeur attribuée à la possibilité d'enlever les restrictions d'utilisation de l'eau potable pour des usages secondaires (lavage de voitures, arrosage de pelouses) s'élève à 39,53 euros/ménage/an. Ces résultats montrent qu'au plan économique, la perte de bien-être engendrée par les restrictions d'utilisation de l'eau potable serait, pour un ménage moyen de l'Espagne, beaucoup plus importante que le bénéfice qu'il retirerait de la protection du système riverain.

Une autre étude, Berrens *et al.* (1996), estime à l'aide de la méthode d'évaluation contingente les avantages non marchands⁷ de la protection des débits réservés au Nouveau-Mexique. Les valeurs obtenues s'élèvent de 28,73 à 89,68 \$/ménage/an dépendamment s'il s'agit d'une seule rivière, de plusieurs ou de toutes les rivières du Nouveau-Mexique.

Tableau 7 : Impacts des étiages sur l'écosystème riverain

Publication	Résultats	Endroit	Objet de l'étude
Berrens et al. (1996)	28,73 – 89,68 \$/ménage/an	États-Unis (Nouveau-Mexique)	Protection des débits minimums d'une ou plusieurs rivières du Nouveau-Mexique.
Ortega et al. (2011)	7,95 – 10,88 euros/ménage/an	Espagne	Amélioration de l'écosystème de la rivière Guadalquivir
Lavoie et al. (2003)	Relation inversement proportionnelle entre le débit des rivières et le poids sec organique du périphyton.	Québec	Évaluation de l'évolution temporelle du périphyton de la rivière Boyer ainsi que des variables qui l'influencent.
Souchon et al. (1996)	Les principaux effets des périodes d'étiage sont la réduction de la capacité de dilution des substances rejetées, une oxygénation moindre et l'augmentation des températures.	France	Dresser l'état des connaissances des impacts des épisodes secs sur les cours d'eau européens tempérés.
Falke et al. (2010)	Les effets néfastes des étiages temporaires sur le méné laiton sont relativement faibles.	États-Unis	Déterminer comment la croissance et la survie du méné laiton varie sur des segments de la rivière Arikaree, Colorado, sont l'hydrologie et la modification du climat.

⁷Les avantages non-marchands sont ceux qui ne se retrouvent pas sur un marché, comme les activités récréatives, les fonctions de régularisation des écosystèmes, le paysage etc. Pour estimer la valeur des avantages non-marchands il faut faire appel à des méthodes spécifiques comme la méthode des coûts de transport, les prix hédoniques, l'économie expérimentale ou l'évaluation contingente, car le marché ne capte pas leur valeur.

Activités récréotouristiques

L'impact des étiages sur les activités récréotouristiques a été largement étudié aux États-Unis (voir Tableau 8). Par exemple, Daubert et Young (1981) estiment la valeur d'une journée de pêche, d'une journée de navigation de plaisance et d'une journée de promenade le long de la rivière, en fonction de différents débits de la rivière Poudre au Colorado. Ainsi, selon le débit de la rivière, la valeur monétaire d'une journée de pêche varie de 11,67 \$/pêcheur à 30,35 \$/pêcheur. La méthode utilisée est celle de l'évaluation contingente.

Une autre étude au Colorado, Harpman *et al.* (1993), estime l'impact de plusieurs niveaux de débits sur la valeur d'une journée de pêche par le biais de l'impact des débits sur les niveaux de prise. Les valeurs estimées s'élèvent à 23,06 – 30,95 \$/jour/pêcheur en fonction du nombre de poissons pêchés (de 1 à 12).

Brown et Duffiels (1995), estiment la valeur que les ménages du Montana accordent à la préservation des débits des rivières à un niveau qui permet la pêche et la navigation de plaisance. Ils obtiennent des valeurs entre 1,63 et 4,78 \$/an/personne dépendamment du nombre de rivières considérées. Ces valeurs ont été obtenues par la méthode de l'évaluation contingente.

Dans une étude réalisée dans le sud-ouest de l'Angleterre, Willis et Garrod (1999) estiment la valeur d'une amélioration du débit d'étiage pour les pêcheurs et pour les personnes qui se promènent le long de la rivière en utilisant la méthode de l'évaluation contingente et l'analyse conjointe (*choice experiment*). Ils obtiennent des valeurs qui s'élèvent à 0,0475 £/ménage/km/an pour la promenade.

Tableau 8 : Évaluations économiques des impacts des étiages sur les activités récréotouristiques

Usage récréatif	Publication	Valeurs estimées	Endroit
Promenade	Willis et Garrod (1999)	0,0475 £/ménage/km/an	Angleterre (sud-ouest)
Pêche	Daubert et Young (1981)	11,67 – 30,35 \$/jour/pêcheur	États-Unis (Rivière Poudre, Colorado)
Pêche et kayak/canot	Brown et Duffiels (1995)	1,63 – 4,78 \$/an/personne	États-Unis (Montana, 1 à 5 rivières)
Pêche	Harpman et al. (1993)	23,06 – 30,95 \$/jour/pêcheur	États-Unis (Colorado)

Usages résidentiels

Les études recensées estiment l'impact des étiages sur les usages résidentiels de deux façons : comme désutilité créée par la mise en place de restrictions qui font diminuer la consommation d'eau résidentielle et comme volonté à payer pour éviter de telles restrictions. Dans la première catégorie, on retrouve surtout des études australiennes qui font une analyse basée sur la demande d'eau et dans la deuxième catégorie, on retrouve des études américaines et européennes qui utilisent les méthodes des préférences déclarées (évaluation contingente, analyse conjointe). Le Tableau 9 présente les résultats des études consultées.

Une évaluation monétaire des restrictions des usages secondaires de l'eau comme celles du système d'alerte aux étiages envisagées dans cette étude est réalisée par Ortega *et al.* (2011) pour l'Espagne. Les ménages sont prêts à payer environ 16 % de leur facture d'eau pour éviter ces restrictions (61,68 \$/ménage/an). Aux États-Unis, Griffin et Mjelde (2000) estiment la valeur que les ménages du Texas accordent au fait d'éviter des coupures d'eau présentes et futures. Ces valeurs s'élèvent de 8,47 à 13,2 \$/mois/ménage et représentent 22,2 % et plus de la facture d'eau potable. Pour la Californie, Barakat et Chamberlain (1994) estiment que les gens sont prêts à déboursier des frais de 11,62 à 16,92 \$ /ménage/mois pour éviter des restrictions qu'ils ont déjà vécues.

Tableau 9 : Évaluations économiques des impacts des étiages sur les usages résidentiels

Publication	Valeurs estimées	% de la facture d'eau	Endroit	Restrictions d'usage
Grafton et Word (2009)	150 \$/ménage/an	50 %	Australie (Sydney)	L'ensemble des restrictions en Australie.
Brennan et al. (n.d.)	2 \$ à 80 \$/personne/an	n.d.	Australie (Perth)	Restriction d'arroser la pelouse pendant tout l'été avec probabilité de 0,5 % de mise en place de cette mesure (1 fois au 200 ans).
Ortega et al. (2011)	61,68 \$/ménage/an	16%	Espagne	Restrictions sur l'arrosage des pelouses, le remplissage des piscines, l'utilisation des machines à laver et d'autres utilisations secondaires. Les restrictions durent 6 à 7 heures pendant maximum 20 jours.
Griffin et Mjelde (2000)	8,47 \$/ménage/ mois	22,20%	États-Unis (Texas)	Restrictions qui font diminuer la consommation d'eau de 10 à 30 % pendant une période de 14 à 28 jours.
Barakat et Chamberlain (1994)	11,62 \$ à 16,92 \$/ménage/mois	n.d.	États-Unis (Californie)	Éviter des restrictions qu'ils ont déjà vécues.

4.2 Coûts des impacts des étiages actuels sur les utilisateurs d'eau (scénario 1)

Les consultations auprès des municipalités et du forum d'usagers révèlent très peu d'impacts des étiages actuels sur les usages de l'eau.

4.2.1 Coûts des impacts de la quantité d'eau disponible

Utilisateurs du réseau municipal

Aucune des cinq municipalités à l'étude n'a signalé des interruptions de prélèvement d'eau brute en lien avec une pénurie d'eau en période d'étiage. Par conséquent, les usagers du réseau municipal n'ont pas encore ressenti un manque d'eau à cause des étiages.

Usages récréatifs

Pêche sportive

D'après l'Association des pêcheurs de l'Estrie, le secteur de pêche entre Farnham et Saint-Hyacinthe est affecté par les faibles débits d'étiage car la rivière n'est pas profonde. Toutefois, la pêche en ville à Granby est moins affectée à cause du débit contrôlé par le réservoir Choinière.

L'estimation de la perte de satisfaction des pêcheurs suite aux faibles débits de la rivière est basée sur quatre concepts clés, c'est-à-dire: (1) le nombre de jours disponibles pour la pêche et affectés par les étiages; (2) le nombre de pêcheurs; (3) le nombre de jours passés à la pêche et (4) la valeur d'une journée de pêche. Les tableaux Tableau 10 et Tableau 11 et l'Annexe 1 présentent ces calculs et les résultats.

a) Coûts d'un étiage fort

Pour l'ensemble des municipalités de Cowansville, Farnham et Saint-Hyacinthe, l'impact d'un épisode d'étiage fort sur la pêche sportive engendre à chaque année des coûts de perte d'utilité de 351 060 \$. Ces coûts sont dus à la diminution du nombre de jours de pêche à cause du niveau trop bas de la rivière, défini comme le niveau où le débit est plus bas que le débit d'alerte renforcée. Les pertes les plus considérables sont subies par Saint-Hyacinthe, en raison d'une plus forte densité de population et, implicitement, du nombre plus élevé de pêcheurs. Les coûts pour cette municipalité s'élèvent à 232 194 \$/an.

La valeur d'une journée de pêche provient de l'étude Dupont (2003) et elle a été estimée pour le port Hamilton en bordure du lac Ontario. Elle a été préférée aux valeurs estimées pour les États-Unis à cause de son potentiel de mieux refléter les préférences des pêcheurs québécois.

Le nombre de jours de pêche perdus par pêcheur est estimé à partir du nombre de jours où le débit de la rivière est en bas du niveau « alerte renforcée ». On retient uniquement les fins de semaine et les deux semaines de vacances de la construction comme étant des jours potentiels de pêche. Les détails de ce calcul se trouvent à Annexe 1.

L'estimation du nombre de pêcheurs locaux part de l'hypothèse que le nombre de personnes qui pêchent à l'extérieur de leur municipalité est à peu près égal au nombre de visiteurs québécois et étrangers qui pêchent dans ces municipalités. Par conséquent, on retient seulement le nombre d'« adeptes locaux » et on ignore le nombre de « visiteurs québécois » et de « visiteurs étrangers », tels que présentés dans MRNF (2007).

Puisque les plans d'eau propices à la pêche sur le territoire des municipalités sont tous directement liés aux rivières, tous les jours de pêche estimés pour les adeptes locaux sont retenus. S'il y avait, par exemple, un lac où se pratiquait la pêche et que ce lac n'était pas directement alimenté par la rivière, une partie des jours de pêche aurait dû être enlevée.

Tableau 10 : Estimation des coûts des impacts des étiages forts actuels sur la pêche sportive (\$/an)

		Cowansville	Farnham	Saint-Hyacinthe	Total
Population en 2011*	A	12 489	8 330	53 236	74 055
% des pêcheurs locaux**	B	3,61 %			-
Nombre de pêcheurs locaux	C=A*B	451	301	1 921	2 672
Nombre de jours de pêche perdus par pêcheur**	D	4,5	3,3	3,1	-
Nombre de jours de pêche perdus	E=C*D	2 007	1 004	5 883	8 894
Valeur d'une journée de pêche***	F	39 \$			-
Perte de valeur associée aux étiages	F*E	79 232 \$	39 635 \$	232 194 \$	351 060 \$

Sources : * Recensement 2011, ** Voir Annexe 1 pour le calcul, *** Dupont (2003).

b) Coûts annuels moyens des étiages

La même approche a été utilisée pour estimer les coûts annuels sur un horizon allant jusqu'à 40 ans⁸. La différence apparaît uniquement au niveau du nombre de jours de pêche perdus qui est moindre, parce que les étiages forts n'apparaissent pas à chaque année et que, par conséquent, sur un horizon temporel plus long les étiages ont des impacts moyens annuels moins importants.

⁸ L'horizon temporel considéré varie d'une municipalité à l'autre en fonction des données disponibles : Cowansville – 1979 à 2010, Farnham – 1966 à 2010 et Saint-Hyacinthe – 1984 à 1993 et 2001 à 2010.

Les coûts moyens annuels pour les municipalités Cowansville, Farnham et Saint-Hyacinthe représentent 42 % des coûts d'un épisode d'étiage fort. Comme dans le cas précédant, les pertes les plus considérables sont subies par Saint-Hyacinthe, en raison d'une plus forte densité de population et, implicitement, du nombre plus élevé de pêcheurs. Les coûts pour cette municipalité s'élèvent à 116 097 \$/an.

Tableau 11 : Estimation des coûts annuels moyens des étiages actuels sur la pêche sportive (\$/an)

		Cowansville	Farnham	Saint-Hyacinthe	Total
Population en 2011*	A	12 489	8 330	53 236	74 055
% des pêcheurs locaux**	B	3,61 %			-
Nombre de pêcheurs locaux	C=A*B	451	301	1 921	2 672
Nombre de jours de pêche perdus par pêcheur**	D	1,0	1,2	1,5	-
Nombre de jours de pêche perdus	E=C*D	455	365	2 941	3 761
Valeur d'une journée de pêche***	F	39 \$			-
Perte de valeur associée aux étiages	F*E	17 939 \$	14 413 \$	116 097 \$	148 449 \$

Sources : * Recensement 2011, **Voir Annexe 1 pour le calcul, *** Dupont (2003).

Une approche alternative pour estimer l'impact des étiages sur le bien-être des pêcheurs aurait été l'utilisation des valeurs d'une journée de pêche en fonction du débit de la rivière telles qu'elles sont estimées par Daubert et Young (1981) (voir Tableau 8 pour les résultats de cette étude). Le point faible de cette approche est la différence trop importante entre la qualité du site de pêche de l'étude Daubert et Young (1981), qui est un parc de la rivière Colorado où les pêcheurs bénéficient du paysage exceptionnel du site et se déplacent sur de longues distances pour y accéder et les sites de pêche de la rivière Yamaska dont le paysage est plus ordinaire. Cette approche a été écartée par souci d'éviter une surestimation des impacts.

Activités nautiques

Comme dans le cas de la pêche, la navigation de plaisance devient moins intéressante quand le débit de la rivière est trop bas. Dans le cas particulier du réservoir Choinière, des obstacles à la navigation apparaissent sur le lac, comme des arbres, des roches et même un ancien pont, lorsque le niveau du lac baisse à moins de 141 m, comme c'était le cas lors de l'étiage fort de 2 000⁹. D'après les observations des employés du parc de la Yamaska, l'apparition de ces obstacles ne semble avoir que peu de conséquences sur les activités nautiques.

L'estimation de la perte de satisfaction des personnes qui pratiquent des activités nautiques suite aux faibles débits de la rivière est basée, comme dans le cas de la pêche, sur quatre concepts clés : (1) le nombre de jours disponibles pour les activités nautiques qui sont affectées par les étiages, (2) le nombre de personnes qui pratiquent des activités nautiques, (3) le nombre de jours d'activités nautiques et (4) la valeur d'une journée d'activités nautiques. Le Tableau 12 et l'Annexe 2 présentent ce calcul et les résultats.

La disponibilité des données sur le nombre de personnes qui pratiquent des activités nautiques et le nombre de jours d'activités nautiques par année a fait en sorte que seulement les activités nautiques à rames (canot, chaloupe à rames et kayak de mer et de rivière) ont pu être considérées. Cette information provient de l'enquête ISQ (2006). Les coûts estimés représentent donc un minimum.

a) Coûts d'un étiage fort

Pour l'ensemble des trois municipalités, l'impact des étiages actuels sur les activités nautiques engendre annuellement des coûts de perte d'utilité de 255 096 \$. Ces coûts sont dus à la diminution du nombre de jours d'activités nautiques en fonction du niveau trop bas de la rivière, défini comme le niveau où le débit est plus bas que le débit d'alerte renforcée. Les pertes les plus importantes sont subies par Saint-Hyacinthe en raison de sa population plus dense et implicitement du nombre plus élevé de personnes qui pratiquent des activités nautiques. Les coûts pour cette municipalité s'élèvent à 170 302 \$/an.

La valeur d'une journée d'activités nautiques est approximée par la valeur d'une journée d'activités récréatives liées à l'eau dans le parc de la Yamaska. La SEPAQ dispose de données sur le nombre de touristes en fonction de leur ville d'origine, ce qui permet l'estimation de la valeur que ces touristes accordent à une journée passée dans le parc. Puisque les activités dominantes de ce parc sont liées à l'eau, cette valeur représente la valeur d'une journée d'activités récréatives liées à l'eau. Elle s'élève à 19 \$/personne/jour et représente ce que le touriste est prêt à payer au-delà des dépenses de transport, pour réaliser une activité récréative liée à l'eau. L'estimation est réalisée en utilisant l'approche par zone de la méthode des coûts de transport. La base de données comprend de l'information sur le lieu de résidence de 3 946 personnes ou ménages ayant fait une réservation de camping pendant l'été 2010. L'Annexe 3 présente les principales étapes de cette estimation.

⁹ Cette information sur le réservoir Choinière a été obtenue lors d'une conversation avec Alain Mochon du Parc de la Yamaska.

Le nombre de jours d'activités nautiques perdus par personne est estimé à partir du nombre de jours où le débit de la rivière est en bas du niveau « alerte renforcée ». On retient uniquement les fins de semaine et les deux semaines de vacances de la construction comme étant des jours potentiels de pêche. Les détails de ce calcul se trouvent à Annexe 2.

Étant donné que les plans d'eau des trois municipalités ne sont pas des centres touristiques d'importance régionale, l'estimation du nombre de jours d'activités nautiques par an dans ces municipalités est basée sur l'hypothèse que les habitants des municipalités concernées font des activités nautiques dans des centres d'importance régionale à 50 % du temps (voir Annexe 2). Par conséquent, seulement 50 % des jours d'activités nautiques concernent les plans d'eau locaux. Les jours passés sur des plans d'eau locaux sont tous retenus car ils sont tous des plans d'eau directement influencés par la rivière Yamaska.

Tableau 12 : Estimation des coûts des impacts des étiages forts sur les activités nautiques à rames (\$/an)

		Cowansville	Farnham	Saint-Hyacinthe	Total
Population de 15 ans et plus en 2011*	A	10 589	6 895	46 041	63 525
% de la population de 15 ans et plus qui pratique des sports nautiques à rames (canot, kayak, chaloupe)**	B	27 %			-
Nombre de personnes qui pratiquent des sports nautiques à rames	C=A*B	2 859	1 862	12 431	31 633
Nombre de jours de sports nautiques à rames perdus par personne***	D	1,0	0,8	0,7	-
Nombre de jours de sports nautiques perdus	E=C*D	2 998	1 464	8 963	13 426
Valeur d'une journée d'activités récréatives liées à l'eau****	F	19 \$			-
Perte de valeur associée aux étiages	F*E	56 971 \$	27 823 \$	170 302 \$	255 096 \$

Sources : * Recensement 2011, **ISQ (2006), ***Voir Annexe 2 pour le calcul, ****Voir Annexe 3 pour le calcul.

b) Coûts annuels moyens des étiages

La même approche a été utilisée pour estimer les coûts annuels moyens. La différence apparaît uniquement au niveau du nombre de jours d'activités nautiques perdus qui est moindre, à cause que les étiages forts n'apparaissent pas à chaque année et que, par conséquent, sur un horizon temporel plus long les étiages ont des impacts moyens annuels moins importants.

Les coûts moyens annuels représentent 42 % des coûts d'un épisode d'étiage fort. Comme dans le cas précédant, les pertes les plus considérables sont subies par Saint-Hyacinthe, en raison d'une plus forte densité de population et, implicitement, du nombre plus élevé de personnes qui pratiquent les activités nautiques. Les coûts pour cette municipalité s'élèvent à 85 151 \$/an.

Tableau 13 : Estimation des coûts moyens annuels des impacts des étiages sur les activités nautiques à rames (\$/an)

		Cowansville	Farnham	Saint-Hyacinthe	Total
Population de 15 ans et plus en 2011*	A	10 589	6 895	46 041	63 525
% de la population de 15 ans et plus qui pratique des sports nautiques à rames (canot, kayak, chaloupe)**	B	27 %			-
Nombre de personnes qui pratiquent des sports nautiques à rames	C=A*B	2 859	1 862	12 431	17 152
Nombre de jours de sports nautiques à rames perdus par personne***	D	0,2	0,3	0,4	-
Nombre de jours de sports nautiques perdus	E=C*D	679	532	4 482	5 693
Valeur d'une journée d'activités récréatives liées à l'eau****	F	19 \$			-
Perte de valeur associée aux étiages	F*E	12 899 \$	10 117 \$	85 151 \$	108 167 \$

Sources : * Recensement 2011, **ISQ (2006), ***Voir Annexe 2 pour le calcul, ****Voir Annexe 3 pour le calcul.

Baignade

Selon la sélection d'usages et de plans d'eau réalisée plus haut, la baignade est analysée pour deux plages : celle du parc de la Yamaska (proche de Granby) et celle du lac Davignon (Cowansville), les autres plages n'étant pas directement affectées par les débits de la rivière Yamaska. D'après nos recherches et les consultations menées auprès des municipalités, aucune de ces deux plages n'est présentement affectée par les périodes d'étiage.

Le niveau d'eau du réservoir Choinière peut baisser significativement pendant l'été. Puisque la plage est artificielle, une baisse plus forte du niveau du lac fait apparaître des cailloux à proximité de l'eau. La belle plage reste ainsi éloignée de l'eau et une nouvelle plage se forme couverte de végétation, cailloux et terre. Cette nouvelle plage est moins agréable et pourrait avoir un impact négatif sur les touristes mais les plus bas niveaux du lac sont enregistrés surtout à l'automne, quand la saison touristique pour la plage est déjà terminée¹⁰.

¹⁰ Information obtenue lors d'une conversation avec Alain Mochon du Parc de la Yamaska.

Centrale hydroélectrique

Selon les communications avec Algonquin Power, le propriétaire de la centrale électrique Hydraska de Saint-Hyacinthe, les étiages actuels n'affectent pas de façon significative la production d'électricité dans le sens où la production cible de l'entreprise qui s'élève à 5,6 MW pour la période d'été, peut être atteinte en compensant la diminution de production des périodes d'étiages avec une plus grande production pendant les périodes de crues estivales.

Le tarif payé à Algonquin Power par Hydro-Québec est de 6,399 cents/kWh en période estivale. La production varie proportionnellement avec le débit jusqu'au maximum de débit autorisé. Le débit minimal d'opération de la centrale électrique Hydraska est de 7m³/s de façon à pouvoir maintenir un débit écologique réservé de 2m³/s. Suite à une entente avec Algonquin Power, la ville de St-Hyacinthe peut demander qu'un débit allant jusqu'à 7m³/s puisse être maintenu. La Ville paie la centrale pour la production électrique perdue en raison d'un débit maintenu entre 2m³/s et 7m³/s. En cas de débit inférieur à 7m³/s, ou d'un débit supérieur selon les besoins de la ville de St-Hyacinthe, l'eau est accumulée à l'amont du barrage et le turbinage se fait de façon sporadique.

Écosystèmes aquatiques

Le manque d'eau dans la rivière pendant plusieurs jours consécutifs a nécessairement des impacts sur les écosystèmes aquatiques mais ils ne sont pas connus avec certitude. Dans le cas des poissons, des méthodes ont été développées pour déterminer le débit réservé écologique, soit les débits recommandés pour la sauvegarde de certaines espèces de poissons. D'après Belzile (1997), le débit réservé écologique est de 0,5 QMA (débit moyen annuel) dans le cas du doré jaune et de 0,5 QMP (débit moyen sur la période du 1^{er} avril au 15 juillet) dans le cas de l'achigan à petite bouche.

Au réservoir Choinière, un étiage fort a été enregistré à la fin de l'été 2000 mais des épisodes de mortalité des poissons n'ont pas été observés. Selon les employés du parc, certaines espèces moins mobiles, comme les moules, pourraient en souffrir car elles restent accrochées dans les parties asséchées du lac.

Selon la revue de littérature présentée à la section 4.1, les gens sont prêts à payer pour une amélioration de l'écosystème riverain endommagé par les débits bas des rivières. Par exemple, aux États-Unis le montant s'élève à 28,73 \$/ménage/an s'il s'agit d'une seule rivière au Nouveau-Mexique (Berrens *et al.*, 1996) tandis qu'en Espagne, il varie de 7,95 à 10,88 euros/ménage/an selon le niveau bon ou très bon de l'amélioration (Ortega *et al.*, 2011). Ces valeurs sont associées à une amélioration de l'écosystème aquatique suite à la mise en place de mesures de rétablissement. Elles ne permettent pas l'estimation de la valeur des pertes environnementales engendrées par les étiages mais seulement l'amélioration due aux mesures d'économie d'eau. Par conséquent, elles seront associées aux impacts des mesures du système d'alerte. La façon dont on estime cette valeur est présentée à la section « 6.1.1.2 Impact sur les usages sans prélèvement ».

4.2.2 Coûts des impacts de la qualité de l'eau en période d'étiage

Les étiages favorisent le développement d'algues et d'odeurs, phénomènes qui nuisent aux activités récréotouristiques, au traitement de l'eau potable et à l'écosystème riverain. Par contre, il est très difficile de faire un lien entre les étiages et le développement d'algues et d'odeurs car les étiages représentent seulement un des facteurs du développement de ces phénomènes. Faute d'information scientifique sur le rôle des étiages dans la diminution de la qualité de l'eau de surface, il est difficile d'évaluer l'impact des étiages sur les différents usages de l'eau par leur impact sur la qualité de l'eau. Par conséquent, ces impacts sont analysés de façon qualitative, à l'exception des usines de traitement d'eau potable pour lesquelles l'opinion des experts de l'usine a été utilisée pour déduire la partie des coûts associés aux algues bleues qui est attribuable aux étiages.

Un lien peut être fait entre de faibles étiages et la présence d'algues dans les rivières mais il n'est pas assez précis. Par exemple, Lavoie *et al.* (2003) ont montré une relation inversement proportionnelle entre le débit des rivières et le poids sec organique (incluant principalement des diatomées, des algues vertes et des cyanobactéries) du périphyton dans la rivière Boyer au Québec. Les cyanobactéries se développent plus lentement que les diatomées, qui colonisent rapidement les rivières après une période de débits plus élevés. Cette tendance a également été observée par des intervenants dans le cas de la rivière Yamaska, où les algues se développent après quelques jours de faibles étiages.

Usines de traitement de l'eau potable

Les épisodes d'algues bleues génèrent une augmentation importante de la fréquence de lavage des filtres d'eau, des produits chimiques et de la production d'ozone de l'usine de traitement de l'eau potable. Ces ajustements engendrent des coûts supplémentaires variant entre 3 000 \$/an et 72 206 \$/an selon le contexte particulier de chaque municipalité (Tableau 14). La seule municipalité qui n'a signalé aucun impact des étiages sur les coûts de l'usine de traitement de l'eau potable est Cowansville. Pour l'ensemble des cinq municipalités, les coûts supplémentaires dus aux étiages s'élèvent à 130 206 \$/an.

Les épisodes d'algues bleues de Bromont apparaissent à l'été, principalement à cause des étiages, et à l'automne à cause du largage des eaux du lac Brome qui augmente sa capacité de rétention en prévision des périodes d'inondation. La municipalité estime à 10 000 \$/an les coûts supplémentaires associés aux algues bleues dont environ la moitié pour les épisodes d'algues bleues engendrés par les étiages.

Les périodes de prolifération d'algues bleues ont obligé l'usine de filtration de Farnham à instaurer depuis 2007 un dosage de charbon actif en poudre et un dosage accru d'alun pour le contrôle des cyanotoxines. Le principal coût est celui du charbon actif et s'élève à environ 10 000 \$/an selon l'estimation de l'usine. Par contre, il est estimé que seulement 30 % de ces coûts sont attribuables aux périodes d'étiage.

À Granby, depuis l'été 2008, il y a eu des surcoûts de performance à cause de la présence significative de cyanobactéries dans le réservoir Lemieux. Du mois de juillet jusqu'à la fin octobre de chaque année, l'usine doit augmenter le dosage de charbon activé à l'eau brute de 3 à 10 ppm. Le coût supplémentaire est d'environ 50 000 \$ par année. D'autre part, les algues bleues apparaissent aussi en dehors des périodes d'étiage, donc une partie des surcoûts ne sont pas dus aux étiages.

La municipalité de Saint-Hyacinthe a estimé les coûts supplémentaires associés aux étiages en faisant la différence entre le coût des produits chimiques et de la production d'ozone en 2002, une année marquée par des étiages très forts, et celui de l'année 2001. Il s'élève à 72 206 \$.

Tableau 14 : Coûts supplémentaires pour les usines de traitement de l'eau potable dus aux périodes d'étiage (\$/an)

	Impacts des algues bleues?	Coût annuel
Bromont	Oui	5 000 \$
Cowansville	Non	-
Farnham	Oui	3 000 \$
Granby	Oui	50 000 \$
Saint-Hyacinthe	Oui	72 206 \$
Total	-	130 206 \$

Source : Communications avec les municipalités.

Utilisateurs du réseau municipal

Aucune municipalité n'a connu d'interruption de prélèvements de l'eau brute en raison de sa mauvaise qualité. Elles ont assuré une offre continue d'eau potable en ajustant le traitement de l'eau brute. Les utilisateurs du réseau d'aqueduc ont donc bénéficié d'eau potable, et ce, même pendant les périodes d'étiage. Par contre, en dépit du fait que l'eau est potable, certains goûts et odeurs plus forts se font sentir pendant la période d'étiage, ce qui fait diminuer la confiance de la population dans la qualité de l'eau. À Bromont, par exemple, la municipalité reçoit des plaintes chaque fois que de mauvais goûts et odeurs sont présents.

Usages récréatifs et écosystèmes aquatiques

Les étiages favorisent le développement d'algues et d'odeurs, phénomènes qui nuisent aux activités récréotouristiques. La baignade est interdite en période d'algues bleues et la pêche et les activités nautiques sont moins agréables dans ces conditions. Par contre, le lien entre les épisodes d'étiages et le nombre de jours de fermeture des plages à cause des épisodes de cyanobactéries n'est pas documenté.

4.3 Coûts des impacts des étiages futurs sur les utilisateurs d'eau (scénario 3)

Les coûts des impacts des étiages futurs sont estimés uniquement comme moyenne annuelle sur un horizon de temps donné parce que les projections du climat futur sont des résultats statistiques sur plusieurs années et des conclusions ne peuvent pas être tirées pour une année en particulier. Le cas d'un étiage fort n'est donc pas considéré pour le futur.

4.3.1 Projections des étiages futurs

Selon les simulations réalisées par l'Université de Sherbrooke sur la rivière Yamaska, les épisodes d'étiage fort que cette région a déjà connus arriveront plus souvent (Côté et Leconte (2012)). Par conséquent, la moyenne annuelle du nombre de jours où le débit de la rivière est en bas des niveaux d'alerte augmentera dans le futur. Le Tableau 15 présente ce nombre de jours pour la situation présente (valeurs observées) et la différence entre les simulations futures et présentes. On constate que le nombre de jours en bas du premier niveau d'alerte (DOE) augmente de 42 % à 49 %, dépendamment de l'endroit. Le nombre de jours en bas des niveaux suivants augmente encore plus : 70 % à 82 % pour le niveau « Alerte », 132 % à 161 % pour le niveau « Alerte renforcée » et 250 % à 338 % pour le niveau « Crise ».

Les simulations futures n'ont pas pu être réalisées pour Bromont et Granby car les débits de la rivière à ces deux endroits sont influencés par la gestion des barrages situés en amont (lac Brome et réservoir Choinière). Les règles de gestion de ces réservoirs pourraient changer dans le futur, puisque par exemple la crue printanière pourrait arriver plus tôt. Il n'est donc pas possible d'évaluer les débits dans le futur pour ces deux municipalités sans réévaluer les règles de gestion pour le futur. Par contre, l'Université de Sherbrooke est présentement en train d'étudier les règles de gestion du réservoir Choinière et Bromont pour un contexte de changement climatique, ce qui fait espérer que des simulations pour Bromont et Granby soient éventuellement disponibles dans quelques années (Côté et Leconte (2012)).

**Tableau 15 : Projections des étiages pendant la période 2040 – 2070
(nombre moyen de jours/an *)**

		DOE (débit objectif d'étiage)	Alerte	Alerte renforcée	Crise
Cowansville	Présent (1979 - 2010)**	57	34	12	2
	De plus dans le futur***	24	23	15	4
	En %	43%	70%	133%	250%
Farnham	Présent (1966 - 2010)**	61	34	16	1
	De plus dans le futur***	27	26	19	5
	En %	42%	82%	161%	300%
Saint-Hyacinthe	Présent (1984 -1993 et 2001 - 2010)**	55	35	16	1
	De plus dans le futur***	27	28	23	4
	En %	49%	81%	132%	338%

Source : Côté et Leconte (2012) et nos calculs.

Notes : * Le nombre de jours indiqué pour chaque niveau d'alerte inclut le nombre de jours où le débit de la rivière est en bas des niveaux d'alerte inférieurs. Par exemple, les 57 jours où la rivière Yamaska Sud-Est à Cowansville était en bas du niveau « DOE » inclut les 34 jours où elle était en bas du niveau « alerte ».

** Le nombre de jours d'étiage pour la situation présente est basé sur les observations plutôt que les simulations utilisant les projections climatiques en période de référence (1971-2000). Par contre, les niveaux d'alerte de la période de référence, utilisé pour évaluer le nombre de jours sous chacun des niveaux dans le futur, ont été ajustés pour qu'ils reflètent le mieux possible la réalité présente.

*** Le nombre de jours supplémentaire d'étiage est estimé comme différence entre les simulations en périodes référentielle et future. Les projections des étiages futurs sont réalisées à l'aide du modèle HYDROTEL et des projections climatiques du Centre d'Expertise hydrique du Québec. Il s'agit de cinq membres du Modèle Régional Canadien du Climat (MRCC) piloté par le CGCM3 sous le scénario d'émissions SRES A2. Les cinq membres constituent des simulations où les conditions initiales du modèle ont été perturbées afin de représenter la variabilité naturelle du climat. La moyenne des cinq simulations est utilisée.

Finalement, le débit minimum des rivières subira aussi des changements dans le futur. Il diminuera de 16 % à 59 % par rapport au débit minimum enregistré jusqu'à présent, selon le mois et la municipalité. La moindre diminution est enregistrée à Saint-Hyacinthe avec 16 % à 34 % du débit minimum actuel, suivie par Cowansville avec 22 % à 42 % et Farnham avec 44 % à 59 %.

4.3.2 Coûts des impacts de la quantité d'eau disponible

Utilisateurs du réseau municipal

Selon les projections réalisées par l'Université de Sherbrooke (Côté et Leconte (2012)), le débit minimum des rivières avant prélèvements diminuera de 13 % à 45 % selon la municipalité et le mois. En dépit du fait qu'ils baissent, les débits minimums sont quand même suffisants pour couvrir les besoins moyens actuels d'eau potable. Effectivement, les débits minimums futurs après prélèvements restent positifs selon les estimations réalisées par Côté et Leconte (2012). Par conséquent, il n'y a pas de coûts associés aux utilisateurs du réseau municipal dans le scénario futur sans restrictions de prélèvement.

Usages récréatifs

L'estimation des impacts des étiages futurs sur les usages récréatifs est similaire à celle réalisée pour les étiages actuels. Les seules variables qui changent sont le nombre de jours où la rivière est en bas du niveau « Alerte renforcée », qui est généralement plus élevé dans le futur, et la population des municipalités qui augmente également dans le futur.

Pêche sportive

Sur l'horizon 2040 - 2070, la pêche sportive subira des pertes d'utilité à cause des étiages qui seront 2,6 fois plus élevées que présentement. Les pertes s'élèveront à 384 220 \$/an pour l'ensemble des trois municipalités (voir Tableau 16) tandis qu'elles sont de seulement 148 449 \$/an présentement. Les pertes les plus considérables seront subies par Saint-Hyacinthe, en raison du nombre plus élevé de pêcheurs (312 126 \$/an).

Le facteur qui influence le plus l'augmentation de l'impact sur la pêche dans le futur est le fait que le nombre de jours où la rivière est en bas du niveau « Alerte renforcée »¹¹ est 2,6 fois plus élevés dans le futur. Un facteur secondaire est l'augmentation de la population et implicitement l'augmentation du nombre de pêcheurs.

¹¹ Nous faisons l'hypothèse que si le débit de la rivière est en bas du niveau « Alerte renforcée », la journée de pêche est perdue.

Farnham bénéficie de la moindre augmentation des pertes et cela parce que la fréquence des épisodes d'étiage fort augmente moins à Farnham qu'à Cowansville. Saint-Hyacinthe connaît la plus forte augmentation des pertes de bien-être liées à la pêche (2,7 fois plus).

Tableau 16 : Estimation des coûts annuels moyens des étiages futurs sur la pêche sportive (\$/an)

		Cowansville	Farnham	Saint-Hyacinthe	Total
Population en 2024*	A	13 775	8 445	57 250	79 470
% des pêcheurs locaux**	B	3,61 %			-
Nombre de pêcheurs locaux	C=A*B	497	305	2 065	2 867
Nombre de jours de pêche perdus par pêcheur**	D	2,2	2,4	3,8	-
Nombre de jours de pêche perdus	E=C*D	1 086	740	7 908	9 734
Valeur d'une journée de pêche***	F	39 \$			-
Perte de valeur associée aux étiages	F*E	42 871 \$	29 223 \$	312 126 \$	384 220 \$

Sources : * ISQ (2012), **Voir Annexe 1 pour le calcul, *** Dupont (2003).

Activités nautiques

Les augmentations relatives (en %) des pertes de bien-être des amateurs de sports nautiques à rames sont identiques à celles des pertes de bien-être des pêcheurs car les variables qui influencent ces augmentations sont les mêmes, notamment le nombre de jours où le débit de la rivière est en bas du niveau « alerte renforcée » et la population.

Comme dans le cas de la pêche, les activités nautiques à rames subiront des pertes 2,6 fois plus élevées que celles causées par les étiages actuels. La perte d'utilité des personnes qui pratiquent des sports nautiques à rames des municipalités Cowansville, Farnham et Saint-Hyacinthe est estimée à 280 268 \$/an pendant la période 2040 – 2070 et à 108 167 \$/an présentement (voir Tableau 17). Les pertes les plus considérables sont subies par Saint-Hyacinthe, en raison de sa population plus élevée (228 928 \$/an). Comme dans le cas de la pêche, Farnham est la ville où les impacts des étiages futurs augmentent le moins (2 fois plus) et Saint-Hyacinthe celle où ils augmentent le plus (2,7 fois plus).

Tableau 17 : Estimation des coûts moyens annuels des impacts des étiages futurs sur les activités nautiques à rames (\$/an)

		Cowansville	Farnham	Saint-Hyacinthe	Total
% de la population de 15 ans et plus en 2011*	A	85%	83%	86%	-
Prévisions de la population pour 2024**	B	13 775	8 445	57 250	79 470
Prévisions de la population de 15 ans et plus en 2024	C=A*B	11 679	6 990	49 512	68 182
% de la population de 15 ans et plus qui pratique des sports nautiques à rames (canot, kayak, chaloupe)***	D	27 %			-
Nombre de personnes qui pratiquent des sports nautiques à rames	E=D*C	3 153	1 887	13 368	18 409
Nombre de jours de sports nautiques à rames perdus par personne****	F	0,5	0,6	0,9	-
Nombre de jours de sports nautiques perdus	G=E*F	1 622	1 080	12 049	14 751
Valeur d'une journée d'activités récréatives liées à l'eau*****	H	19 \$			-
Perte de valeur associée aux étiages	H*G	30 826 \$	20 514 \$	228 928 \$	280 268 \$

Sources : * Recensement 2011 et nos calculs, **ISQ (2012), ***ISQ (2006), ****Voir Annexe 2 pour le calcul, *****Voir Annexe 3 pour le calcul.

Baignade

Comme mentionné dans la section « 4.2 Coûts des impacts des étiages actuels sur les utilisateurs d'eau (scénario 1) », les deux plages identifiées comme faisant l'objet de cette étude, celle du parc de la Yamaska (proche de Granby) et celle du lac Davignon (Cowansville), ne sont pas affectées présentement par les périodes d'étiage¹². Par contre, dans aucun de ces deux cas n'est présentement possible de déterminer si la diminution des débits minimums de la rivière affecte la qualité de la plage. Des recherches supplémentaires sont nécessaires pour faire le lien entre la diminution des débits minimums, les niveaux des deux lacs, la qualité des plages et la réaction des baigneurs aux changements de qualité de la plage.

¹² Plus précisément, l'aspect quantité d'eau ne semble pas affecter la baignade de façon directe. Par contre, l'influence du manque d'eau sur la qualité d'eau peut avoir un effet négatif sur la baignade à cause de l'apparition potentielle de cyanobactéries. Cet aspect est traité dans la section « 4.2.2 Coûts des impacts de la qualité de l'eau en période d'étiage ».

Centrale hydroélectrique

Présentement, la production d'électricité de la centrale Hydraska de Saint-Hyacinthe n'est pas affectée par les étiages dans le sens où la production cible de l'entreprise peut être atteinte en compensant la diminution de production des périodes d'étiages avec une plus grande production pendant les périodes de crue. Selon les projections, dans 30 à 60 ans la durée des périodes d'étiage à Saint-Hyacinthe augmentera de 49 % à 338 % par rapport à la situation présente (voir Tableau 13), ce qui pourra diminuer la capacité de la centrale à réaliser sa production cible pendant l'été. Des recherches supplémentaires sont nécessaires pour estimer l'impact des étiages futurs sur la capacité de la centrale à atteindre ses objectifs.

Écosystèmes aquatiques

Comme mentionné dans le cas des étiages présents, il existe quelques études qui font le lien entre les étiages et la valeur économique de l'écosystème aquatique, comme Ortega *et al.* (2011) et Berrens *et al.* (1996), mais les valeurs estimées font référence aux améliorations apportées à l'écosystème aquatique par la mise en place de restrictions dans le prélèvement de l'eau et non aux dommages que les étiages induisent à cet écosystème. Par conséquent, nous utilisons ces valeurs pour estimer l'amélioration de l'écosystème aquatique grâce aux mesures restrictives du scénario 2 (et respectivement 4) et par rapport à son état dans le scénario 1 (et respectivement 3).

4.3.3 Coûts des impacts de la qualité de l'eau en période d'étiage

Comme mentionné dans le cas des étiages présents, il est très difficile de faire un lien entre les étiages et le développement d'algues et d'odeurs car les étiages représentent seulement un des facteurs du développement de ces phénomènes. De plus, l'information scientifique sur le rôle des étiages dans la diminution de la qualité de l'eau de surface est mince, ce qui rend très difficile l'estimation des coûts de la détérioration de la qualité de l'eau en période d'étiage. Si pour la situation présente les coûts supportés par les usines de traitement de l'eau potable ont pu être estimés, ce n'est pas le cas pour le futur à cause du manque du lien entre l'augmentation de la durée et de l'ampleur des étiages et le changement induit dans la qualité de l'eau.

5. Coûts et bénéfices associés aux mesures d'atténuation des impacts des étiages

Les mesures ponctuelles d'atténuation proposées dans l'étude de l'Université de Sherbrooke sur le développement d'un prototype de système d'alerte aux étiages incluent des mesures visant les utilisations résidentielles, communautaires, industrielles et agricoles. Ces mesures, présentées à l'Annexe 6, sont associées à différents niveaux d'alerte de faible débit, également déterminés dans l'étude de l'Université de Sherbrooke. La présente section vise à déterminer les coûts de la mise en place de ces mesures ainsi que les bénéfices associés en matière d'économie d'eau potable. Les coûts sont de différents types, soit les coûts d'adoption et de mise en place de la réglementation, les coûts liés à la perte d'utilité des ménages et les coûts liés à des pertes financières directes associées aux mesures.

5.1 Mesures liées aux utilisations résidentielles

Les villes à l'étude ont toutes des réglementations visant la limitation de la consommation d'eau potable en période estivale. Ces réglementations sont, dans la plupart des municipalités, renforcées par des inspections effectuées par des équipes mises en place à cette fin ou par le service de police. Des amendes sont émises suite à l'infraction des règlements. Le Tableau 18 présente un résumé des mesures présentement en place dans les municipalités à l'étude, et présente à quel niveau d'alerte chacune d'elles correspondrait selon le système proposé dans l'étude de l'Université de Sherbrooke. On constate que cette correspondance n'est pas uniforme d'une municipalité à l'autre. Une restriction par rapport aux heures de la journée permise a été jugée équivalente à une restriction par rapport aux jours de la semaine permis.

Tableau 18 : Mesures d'économie d'eau potable résidentielle présentement en place dans les municipalités à l'étude

Mesures		Bromont	Cowansville	Farnham	Granby	Saint-Hyacinthe
Lavage des voitures	Réglementation en place	De 19h à 22h la semaine et la fin de semaine de 8h à 18h	Aucune mesure	Aucune mesure	De 20h à 22h, 1 jour sur 2 la semaine et de 8h à 18h la fin de semaine	Aucune mesure
	Niveau d'alerte équivalent	Alerte 1	Vigilance	Vigilance	Alerte 2	Vigilance
Arrosage des pelouses	Réglementation en place	De 19h à 22h, 1 jour sur 2	De 19h30 à 21h pour tourniquets et de 5h à 6h30 avec gicleurs, 3 jours sur 7	De 20h à 22h, 1 jour sur 2 du 1 ^{er} mai au 1 ^{er} octobre	De 5h à 7h ou de 20h à 22h pour tourniquets et de 5h à 7h avec gicleurs, 1 jour sur 2	De 19h à 22h, 1 jour sur 2
	Niveau d'alerte équivalent	Alerte 2	Alerte 2	Alerte 2	Alerte 2	Alerte 2
Remplissage des piscines	Réglementation en place	De 19h à 22h la semaine et la fin de semaine de 8h à 18h	1 remplissage par année entre 24h et 6h sans permis	Aucune mesure	De 20h à 22, 1 jour sur deux et de 24h à 7h	De 24h à 7h, 1 jour sur 2 avant le 1 ^{er} juin sans permis
	Niveau d'alerte équivalent	Alerte 1	Alerte 1	Vigilance	Alerte 2	Alerte 2
Nettoyage à l'eau des entrées privées	Réglementation en place	Aucune mesure	Interdiction de laver les entrées d'auto et les aires de stationnement	Aucune mesure	Interdiction de laver les entrées d'auto et les aires de stationnement	Aucune mesure
	Niveau d'alerte équivalent	Vigilance	Crise	Vigilance	Crise	Vigilance
Nettoyage des façades et terrasses	Réglementation en place	Aucune mesure	Aucune mesure	Aucune mesure	De 6h à 18h la fin de semaine	Aucune mesure
	Niveau d'alerte équivalent	Vigilance	Vigilance	Vigilance	Vigilance	Vigilance
Arrosage des potagers		Pas de réglementation propre aux potagers				
Remplissage des plans d'eau artificiels		Pas de réglementation propre aux plans d'eau artificiels				

Plusieurs municipalités ont des mesures de restriction de la consommation d'eau totale s'approchant du niveau de restriction prévu par l'Université de Sherbrooke pour un niveau d'alerte 1 ou 2. La réglementation en place a ainsi comme effet de diminuer les bénéfices éventuels de la mise en place d'un système d'alerte lié aux mesures présentées à l'Annexe 6.

5.1.1 Économies d'eau

Malgré que des mesures d'économie d'eau potable soient fréquemment mises en place par les municipalités en période estivale, leur efficacité n'a pas fait l'objet d'une évaluation économique. Les bénéfices amenés par ces mesures, soit la réduction de la consommation d'eau par les ménages, dépendent de plusieurs facteurs peu documentés, soit les habitudes d'utilisation d'eau à l'extérieur en matière d'usage, de fréquence, de temps d'utilisation, etc. Une évaluation précise nécessiterait ainsi la réalisation d'un sondage auprès des résidents pour documenter précisément ces divers facteurs. L'estimation des bénéfices effectuée dans le cadre de cette étude se base ainsi sur un certain nombre d'hypothèses crédibles et demeure une approximation des bénéfices précis. Elle peut cependant permettre de donner un ordre de grandeur des économies d'eau effectuées. Le Tableau 19 présente un sommaire des hypothèses par mesure ayant été considérées pour le calcul des bénéfices.

Tableau 19 : Hypothèses utilisées dans le calcul des bénéfices liées aux mesures de restriction visant les usages résidentiels

Mesures	Durée moyenne de l'activité règlementée*	Fréquence moyenne	% des ménages faisant l'activité
Lavage des voitures	18 minutes	Une fois aux deux semaines	50 %
Arrosage des pelouses	3,5 heures	Une fois par semaine	30 %
Arrosage des potagers	3 minutes	Cinq fois par semaine	20 %
Remplissage d'appoint des piscines	3 heures	Une fois par quatre semaines	25 %
Remplissage des plans d'eau artificiels	Pas suffisamment de données pour faire l'estimation		
Nettoyage à l'eau des entrées privées	12 minutes	Une fois par deux semaines	25 %
Nettoyage des façades et terrasses	12 minutes	Une fois par trois semaines	25 %

* Arrosage avec un boyau standard.

Les bénéfices des mesures dépendent également du nombre de ménages vivant dans des résidences unifamiliales. En effet, celles-ci auront davantage d'activités extérieures utilisatrices d'eau qui seront touchées par les mesures ponctuelles de restriction. Les types de résidences considérées comme unifamiliales incluent les maisons individuelles non attenantes, les maisons mobiles, les maisons jumelées, les maisons en rangées et les autres maisons individuelles attenantes. Le tableau suivant présente le nombre de résidences unifamiliales par municipalité en 2006.

Tableau 20: Nombre de résidences unifamiliales par municipalité à l'étude

Municipalité	Nombre de résidences unifamiliales
Bromont	1915
Cowansville	2625
Farnham	2050
Granby	8665
Saint-Hyacinthe	9930

Source : Statistiques Canada (2006).

La consommation d'eau quotidienne pour chaque activité touchée par des mesures de restriction est estimée en multipliant la consommation d'eau totale de l'activité¹³ avec la fréquence sur une base quotidienne, le taux d'adoption de l'activité par les ménages et le nombre de résidences unifamiliales. Pour chaque niveau d'alerte, un pourcentage de réduction de la consommation d'eau peut être estimé, sur la base des mesures déjà en place dans chaque municipalité. En effet, une municipalité ayant déjà une réglementation sévère a déjà un pourcentage de réduction de sa consommation. Ainsi, pour plusieurs activités et municipalités, le fait d'atteindre l'alerte 1 n'aura aucun effet sur la consommation d'eau.

¹³ Sur la base qu'en moyenne, un boyau d'arrosage débite 1000 litres d'eau par heure. (Ville de Saint-Hyacinthe, 2002)

Tableau 21: Pourcentage de réduction de la consommation d'eau par niveau d'alerte et par municipalité

Mesure		Bromont	Cowansville	Farnham	Granby	Saint-Hyacinthe
Lavage des voitures	Alerte 1	0 %	35 %	35 %	0 %	35 %
	Alerte 2	35 %	70 %	70 %	0 %	70 %
	Alerte 3	70 %	100 %	100 %	35 %	100 %
	Crise	70 %	100 %	100 %	35 %	100 %
Arrosage des pelouses	Alerte 1	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
	Alerte 2	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
	Alerte 3	35 %	35 %	35 %	35 %	35 %
	Crise	35 %	35 %	35 %	35 %	35 %
Arrosage des potagers	Alerte 1	35 %	35 %	35 %	35 %	35 %
	Alerte 2	70 %	70 %	70 %	70 %	70 %
	Alerte 3	70 %	70 %	70 %	70 %	70 %
	Crise	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %
Remplissage des piscines	Alerte 1	0 %	0 %	35 %	0 %	0 %
	Alerte 2	35 %	35 %	70 %	0 %	0 %
	Alerte 3	70 %	70 %	100 %	35 %	35 %
	Crise	70 %	70 %	100 %	35 %	35 %
Nettoyage à l'eau des entrées privées	Alerte 1	100 %	0 %	100 %	0 %	100 %
	Alerte 2	100 %	0 %	100 %	0 %	100 %
	Alerte 3	100 %	0 %	100 %	0 %	100 %
	Crise	100 %	0 %	100 %	0 %	100 %
Nettoyage des façades et terrasses	Alerte 1	100 %	100 %	100 %	70 %	100 %
	Alerte 2	100 %	100 %	100 %	70 %	100 %
	Alerte 3	100 %	100 %	100 %	70 %	100 %
	Crise	100 %	100 %	100 %	70 %	100 %

Les résultats des estimations de réduction de consommation d'eau liées à la mise en place de mesures de restriction sont présentés aux tableaux 18 à 22. Les municipalités ayant déjà plusieurs restrictions sur l'utilisation extérieure de l'eau en période estivale n'ont que de faibles réductions pour les premiers niveaux d'alerte. Également, il ressort que l'arrosage des pelouses est l'activité qui gagne le plus à être régulée en raison de sa forte consommation d'eau. Il s'agit d'ailleurs de celle pour laquelle les mesures sont le plus fréquemment mises en place par les municipalités.

Tableau 22 : Eau économisée grâce aux mesures du système d'alerte, pour la ville de Bromont (par jour)

Mesures	Alerte 1	Alerte 2	Alerte 3	Crise
Lavage des voitures	0 m ³	7,2 m ³	14,4 m ³	14,4 m ³
Arrosage des pelouses	0 m ³	0 m ³	100,5 m ³	100,5 m ³
Arrosage des potagers	4,8 m ³	9,6 m ³	9,6 m ³	13,7 m ³
Remplissage d'appoint des piscines	0 m ³	18,0 m ³	35,9 m ³	35,9 m ³
Nettoyage à l'eau des entrées privées	6,8 m ³	6,8 m ³	6,8 m ³	6,8 m ³
Nettoyage des façades et terrasses	4,6 m ³	4,6 m ³	4,6 m ³	4,6 m ³
Total	14,8 m³	44,7 m³	170,4 m³	174,5 m³

Tableau 23 : Eau économisée grâce aux mesures du système d'alerte, pour la ville de Cowansville (par jour)

Mesures	Alerte 1	Alerte 2	Alerte 3	Crise
Lavage des voitures	9,8 m ³	19,7 m ³	28,1 m ³	28,1 m ³
Arrosage des pelouses	0 m ³	0 m ³	137,8 m ³	137,8 m ³
Arrosage des potagers	6,6 m ³	13,1 m ³	13,1 m ³	18,8 m ³
Remplissage d'appoint des piscines	0 m ³	24,6 m ³	49,2 m ³	49,2 m ³
Nettoyage à l'eau des entrées privées	0 m ³	0 m ³	0 m ³	0 m ³
Nettoyage des façades et terrasses	6,3 m ³	6,3 m ³	6,3 m ³	6,3 m ³
Total	22,7 m³	63,7 m³	234,5 m³	240,2 m³

Tableau 24 : Eau économisée grâce aux mesures du système d'alerte, pour la ville de Farnham (par jour)

Mesures	Alerte 1	Alerte 2	Alerte 3	Crise
Lavage des voitures	7,7 m ³	15,4 m ³	22,0 m ³	22,0 m ³
Arrosage des pelouses	0 m ³	0 m ³	107,6 m ³	107,6 m ³
Arrosage des potagers	5,1 m ³	10,2 m ³	10,2 m ³	14,6 m ³
Remplissage d'appoint des piscines	54,9 m ³	54,9 m ³	54,9 m ³	54,9 m ³
Nettoyage à l'eau des entrées privées	7,3 m ³	7,3 m ³	7,3 m ³	7,3 m ³
Nettoyage des façades et terrasses	3,4 m ³	3,4 m ³	3,4 m ³	3,4 m ³
Total	78,5 m³	91,3 m³	205,5 m³	209,8 m³

Tableau 25 : Eau économisée grâce aux mesures du système d'alerte, pour la ville de Granby (par jour)

Mesures	Alerte 1	Alerte 2	Alerte 3	Crise
Lavage des voitures	0 m ³	0 m ³	32,5 m ³	32,5 m ³
Arrosage des pelouses	0 m ³	0 m ³	454,9 m ³	454,9 m ³
Arrosage des potagers	6,6 m ³	13,1 m ³	13,1 m ³	18,8 m ³
Remplissage d'appoint des piscines	0 m ³	0 m ³	81,2 m ³	81,2 m ³
Nettoyage à l'eau des entrées privées	0 m ³	0 m ³	0 m ³	0 m ³
Nettoyage des façades et terrasses	14,4 m ³	14,4 m ³	14,4 m ³	14,4 m ³
Total	36,1 m³	57,8 m³	626,4 m³	645,0 m³

Tableau 26 : Eau économisée grâce aux mesures du système d'alerte, pour la ville de Farnham (par jour)

Mesures	Alerte 1	Alerte 2	Alerte 3	Crise
Lavage des voitures	37,2 m ³	74,4 m ³	106,4 m ³	106,4 m ³
Arrosage des pelouses	0 m ³	0 m ³	521,3 m ³	521,3 m ³
Arrosage des potagers	24,8 m ³	49,7 m ³	49,7 m ³	71,0 m ³
Remplissage d'appoint des piscines	0 m ³	0 m ³	93,1 m ³	93,1 m ³
Nettoyage à l'eau des entrées privées	35,5 m ³	35,5 m ³	35,5 m ³	35,5 m ³
Nettoyage des façades et terrasses	23,6 m ³	23,6 m ³	23,6 m ³	23,6 m ³
Total	121,2 m³	183,2 m³	829,6 m³	850,8 m³

5.1.2 Coûts des mesures

Coûts administratifs

Les principaux coûts administratifs associés à la mise en place d'un système d'alerte par les municipalités sont les coûts d'adoption ou de modification de la réglementation et ceux liés au respect de la réglementation. Le coût d'adoption est difficilement estimable et inclut du travail supplémentaire pour le conseil municipal et la diffusion d'information sur les nouveaux règlements aux résidents. Les coûts d'inspection pour les municipalités sont faibles si celles-ci ont déjà en place des équipes habilitées à patrouiller les quartiers résidentiels et à émettre des constats d'infraction, ce qui est vraisemblablement le cas pour les municipalités à l'étude. Par exemple, la ville de Granby engage des étudiants en techniques policières pour appliquer les règlements environnementaux de la municipalité, dont les règlements sur la consommation d'eau. Cinq étudiants ont été engagés à cet effet à l'été 2011 (Ville de Granby, 2011). Les municipalités doivent cependant être prêtes à payer un salaire plus élevé pour des patrouilles de nuit lorsque les nouveaux règlements le requièrent. Également, l'adoption d'une nouvelle réglementation pourrait nécessiter l'embauche de patrouilleurs supplémentaires.

Perte d'utilité des résidents

Selon la revue de littérature présentée à la section 4.1, les résidents sont prêts à payer pour éviter des restrictions sur l'utilisation de l'eau potable. Par exemple, aux États-Unis le montant s'élève à 8,47 \$/ménage/mois au Texas (Griffin et Mjield, 2000) et de 11,62 à 16,92 \$/ménage/mois en Californie (Barakat & Chamberlin, 1994). En Espagne, un ménage est prêt à verser 39,47 euros à chaque année pour éviter des restrictions sur des usages secondaires de l'eau (Ortega *et al.*, 2011).

Pour donner un ordre de grandeur de la perte d'utilité engendrée par les restrictions sur les utilisations résidentielles, nous utilisons les résultats de l'étude Ortega *et al.* (2011). Cette étude est pertinente dans le cas présent car les restrictions considérées sont très proches de celles du système d'alerte aux étiages. Plus précisément, elles visent seulement les utilisations secondaires comme le lavage des voitures ou l'arrosage du jardin et durent au maximum 20 jours. Par contre, les valeurs estimées par cette étude ne varient pas en fonction de la durée et de l'intensité des étiages, ce qui ne permet pas de distinguer entre les coûts de la situation présente et ceux du futur, ni entre les coûts d'un épisode d'étiage fort et les coûts moyens annuels.

Pour adapter les résultats de l'étude Ortega *et al.* (2011) au contexte des municipalités à l'étude, nous utilisons la proportion de la valeur dans la facture d'eau au lieu d'utiliser la valeur telle quelle. Cette proportion s'élève à 16 %. Appliquée à la moyenne des factures d'eau qui est de 163 \$/ménage/an, la perte de bien-être causée par les mesures restrictives s'élève à 26 \$/ménage/an et respectivement à 820 402 \$/an pour l'ensemble des trois municipalités (voir Tableau 27).

Tableau 27 : Estimation de la valeur monétaire de la perte d'utilité des ménages suite aux restrictions du système d'alerte

	Factures d'eau (\$/an)	Nombre de ménages (ménages)	Diminution d'utilité (% de la facture d'eau)	Perte d'utilité par ménage (\$/ménage/an)	Perte d'utilité agrégée (\$/an)
Cowansville	150 \$	5 160			
Farnham	165 \$	3 340		-	
St-Hyacinthe	175 \$	22 885			
L'ensemble des municipalités	163 \$	31 385	16%	26 \$	820 402 \$

Coûts en valeur marchande

De très faibles pertes marchandes liées aux mesures d'atténuation visant les utilisations résidentielles sont attendues suite à la mise en place du système d'alerte et des mesures d'atténuation. La principale possibilité serait par exemple la perte de revenu d'un ménage tirant profit de la vente de ses légumes potagers. Également, des pertes au potager dues à l'interdiction d'arrosage pourraient mener à la nécessité de remplacer les légumes en les achetant du commerce.

5.2 Mesures liées aux utilisations industrielles

5.2.1 Eau économisée

Le système d'alerte aux étiages prévoit des mesures de réduction de la consommation d'eau potable des ICI avec compteur de 10 % à 30 % en fonction du niveau d'alerte. Dans la situation optimale où ces mesures sont appliquées à la lettre, l'eau retournée dans la rivière varie de 140 m³/jour à 3 622 m³/jour selon les niveaux d'alerte et les municipalités (voir le Tableau 28). Ces estimations découlent de la consommation totale des ICI avec compteur, de chaque ville (voir Annexe 4).

Tableau 28 : Diminution de la consommation d'eau des ICI avec compteur suite aux mesures du système d'alerte aux étiages

		Bromont	Cowansville	Farnham	Granby	Saint-Hyacinthe
Consommation journalière des industries (m ³ /jour)		3 663	1 405	1 150	9 675	12 074
Diminution de l'eau au compteur des industries (m ³ /jour)						
DOE	10%	366	140	115	968	1 207
Alerte	15%	549	211	173	1 451	1 811
Alerte renforcée	20%	733	281	230	1 935	2 415
Crise	30%	1 099	421	345	2 903	3 622

5.2.2 Coûts des mesures

Coûts administratifs

Tout comme pour les mesures liées aux utilisations résidentielles, des coûts d'adoption ou de modification de la réglementation devront être supportés par les municipalités. Également, ces mesures requerront l'inspection des industries visées. Si la municipalité ne possède pas les ressources d'inspection nécessaires, des embauches supplémentaires devront également être effectuées.

Coûts en valeur marchande

Les restrictions sur le niveau de consommation des ICI peuvent avoir un impact direct sur la production et les profits si la quantité d'eau potable disponible baisse au-delà d'un certain seuil. L'étude de Brozovic *et al.* (2007) fournit une méthodologie d'estimation de l'impact d'une diminution de la quantité d'eau disponible sur le niveau de revenus de l'entreprise qui est basée sur deux concepts clés, précisément (1) la résilience de l'entreprise au manque d'eau (r) et (2) le niveau plancher du besoin en eau en bas duquel une partie de la production doit fermer (δ). L'équation suivante estime la diminution en % des revenus de production (λ) en fonction de la quantité d'eau disponible en termes relatifs par rapport à la consommation habituelle (z).

La résilience de l'entreprise au manque d'eau (r) est définie comme le pourcentage de la production qui peut être réalisée sans eau. La quantité d'eau disponible (z) est exprimée en % par rapport à la consommation habituelle. L'équation dit que si la quantité d'eau disponible à l'entreprise (z) est plus petite que le niveau minimum d'eau en bas duquel l'entreprise ferme une partie de sa production (δ), sa production diminue avec la production qui doit fermer ($1-r$). Si, par contre, la quantité d'eau disponible est plus élevée ($z > \delta$), sa production diminue moins.

En utilisant la formule ci-dessus, la valeur de la résilience (r) pour le secteur manufacturier estimée par Chang *et al.* (2002) à 42 % et la valeur estimée du niveau plancher (δ) utilisée par Brozovic *et al.* (2007), soit 50 %, on obtient des diminutions du niveau de production de 2 % à 21 % dépendamment du niveau d'alerte. Ces pourcentages ont été appliqués aux profits estimés des plus grands consommateurs d'eau de type ICI (voir Tableau 29 pour les profits estimés et le Tableau 30 pour les % de diminution des revenus).

Les revenus des plus grands consommateurs de type ICI sont estimés à partir des données de l'ISQ sur les revenus et le nombre d'emplois des secteurs industriels de l'Estrie (ISQ 2011). Plus précisément, les revenus de ces entreprises sont estimés en utilisant le revenu par employé et par secteur d'activité et le nombre d'employés des entreprises visées. Une marge bénéficiaire de 9,2 % (Statistique Canada 2011) est utilisée pour estimer les profits de ces entreprises. Par la suite, les profits par jour sont estimés en supposant qu'il y a 246 jours ouvrables par an. Le Tableau 29 présente les revenus et les profits estimés pour les plus grands consommateurs de type ICI des cinq municipalités considérées.

Tableau 29 : Revenus et profits des plus grands consommateurs d'eau de type ICI de Bromont, Cowansville, Farnham, Granby et Saint-Hyacinthe

	Revenus de production des plus grands manufacturiers*	Profits des plus grands manufacturiers (9,2 % **)	Profits des plus grands manufacturiers, par jour (9,2 % **)
Bromont	1 100 508 851 \$	101 246 814 \$	411 572 \$
Cowansville	140 990 295 \$	12 971 107 \$	52 728 \$
Farnham	418 266 839 \$	38 480 549 \$	156 425 \$
Granby	280 942 032 \$	25 846 667 \$	105 068 \$
Saint-Hyacinthe	429 700 794 \$	39 532 473 \$	160 701 \$

Source : * ISQ (2011) et nos calculs; ** Statistique Canada (2011)

La liste des ICI considérés avec leurs revenus estimés et leur consommation d'eau se trouve à l'Annexe 4. La liste de départ a été constituée des 10 plus grands consommateurs d'eau de type ICI de chaque ville mais les propriétaires immobiliers ont été éliminés car leurs coûts se retrouvent dans le secteur résidentiel. D'autres entreprises ont dû être écartées aussi en raison du manque de données sur les revenus. La consommation d'eau des ICI retenus représente 74 % de toute la consommation des ICI avec compteur dans le cas de Bromont, 47 % dans le cas de Cowansville, 43 % dans le cas de Farnham et 81 % dans le cas de Granby.

Étiage actuel (scénario 2)

a) Coûts d'un étiage fort

Les coûts que les plus grands ICI supportent lors d'un épisode d'étiage fort sont présentés au Tableau 30. Ces coûts représentent les pertes de profits des entreprises soumises aux mesures du système d'alerte et sont obtenus en multipliant les pertes de profits journaliers par le nombre de jours où le débit de la rivière a été en bas du niveau d'alerte. L'année d'étiage fort considéré est celui enregistré pendant les 10 dernières années (2001 pour Cowansville et 1999 pour Farnham et Saint-Hyacinthe). Dans le cas de Bromont et Granby il n'y a pas eu d'étiage fort enregistré jusqu'à présent.

Les résultats montrent que le système d'alerte aux étiages fait diminuer les profits des entreprises des trois municipalités de 2,2 millions \$/an sur l'ensemble de l'épisode d'étiage fort (voir Tableau 30). Le niveau d'alerte qui engendre le plus de coûts est celui d' « alerte renforcée » (1,1 millions \$/an). La ville la plus touchée est Farnham avec 0,9 millions \$/an, suivie par Saint-Hyacinthe avec 0,7 millions \$/an et Cowansville avec 0,4 millions \$/an.

Tableau 30 : Diminution des profits annuels des plus grands ICI, suite à une réduction de la quantité d'eau disponible lors d'un épisode d'étiage fort actuel

Niveau d'alerte	% de réduction de l'eau au compteur	% de réduction des revenus de production**	Diminution des profits de production par année*			Total
			Cowansville	Farnham	Saint-Hyacinthe	
DOE	10 %	2 %	23 200 \$ (22 jours)	87 598 \$ (28 jours)	73 923 \$ (23 jours)	184 721 \$
Alerte	15 %	5 %	55 364 \$ (21 jours)	195 531 \$ (25 jours)	120 526 \$ (15 jours)	371 422 \$
Alerte renforcée	20 %	9 %	166 093 \$ (35 jours)	591 286 \$ (42 jours)	376 041 \$ (26 jours)	1 133 421 \$
Crise	30 %	21 %	199 312 \$ (18 jours)	65 698 \$ (2 jours)	202 483 \$ (6 jours)	467 494 \$
Total	-	-	443 970 \$	940 114 \$	772 972 \$	2 157 057 \$

Notes :

* Entre parenthèses est marqué le nombre de jours où le débit de la rivière a été en bas du niveau d'alerte. Le nombre de jours associé au niveau d'alerte DOE n'inclut pas le nombre de jours associé au niveau d'alerte « Alerte ». Pareil pour les niveaux « Alerte »/ « Alerte renforcée » et « Alerte renforcée »/ « Crise ».

** On fait l'hypothèse que les profits sont réduits dans la même proportion.

b) Coûts moyens annuels

À part les épisodes d'étiage fort, il est utile de connaître les implications annuelles des étiages sur un horizon plus long. L'horizon temporel diffère d'une municipalité à l'autre en fonction de la disponibilité des débits des rivières (Cowansville – 1979 à 2010, Farnham – 1966 à 2010 et Saint-Hyacinthe – 1984 à 1993 et 2001 à 2010).

Les coûts que les plus grands ICI supportent annuellement sont estimés au Tableau 31. Ils sont estimés en multipliant les pertes de profits journaliers par le nombre de jours où le débit de la rivière a été en bas du niveau d'alerte. Ce nombre de jours diffère du nombre de jours d'un épisode d'étiage fort par le fait qu'il représente la moyenne annuelle sur un horizon de plusieurs dizaines d'années.

Les résultats montrent que le système d'alerte aux étiages fait diminuer les profits des entreprises des trois municipalités de 1,1 millions \$ par année (voir Tableau 30). Ce coût représente seulement 50 % du coût d'un épisode d'étiage fort. Comme dans le cas d'un étiage fort, le niveau d'alerte qui engendre le plus de coûts est celui d'« alerte renforcée » (0,5 millions \$/an). Les villes les plus touchées sont Farnham et Saint-Hyacinthe avec 0,4 millions \$/an chacune, suivie par Cowansville avec 0,1 millions \$/an.

Tableau 31 : Diminution des profits annuels des plus grands ICI, suite à une réduction de la quantité d'eau disponible – moyenne annuelle actuelle

Niveau d'alerte	% de réduction de l'eau au compteur	% de réduction de la production	Diminution des profits de production par année*			Total
			Cowansville	Farnham	Saint-Hyacinthe	
DOE	10 %	2 %	24 255 \$ (23 jours)	84 469 \$ (27 jours)	70 708 \$ (22 jours)	179 433 \$
Alerte	15 %	5 %	55 364 \$ (21 jours)	140 782 \$ (18 jours)	152 666 \$ (19 jours)	348 813 \$
Alerte renforcée	20 %	9 %	47 455 \$ (10 jours)	197 095 \$ (14 jours)	216 946 \$ (15 jours)	461 497 \$
Crise	30 %	21 %	22 146 \$ (2 jours)	32 849 \$ (1 jour)	33 747 \$ (1 jour)	88 742 \$
Total	-	-	149 220 \$	455 197 \$	474 068 \$	1 078 485 \$

Note :

* Entre parenthèses est marqué le nombre de jours où le débit de la rivière a été en bas du niveau d'alerte. Le nombre de jours associé au niveau d'alerte DOE n'inclut pas le nombre de jours associé au niveau d'alerte « Alerte ». Pareil pour les niveaux « Alerte »/ « Alerte renforcée » et « Alerte renforcée »/ « Crise ».

Étiage futur (scénario 4)

Les coûts que les plus grands ICI supportent lors des étiages sont présentés au Tableau 32. Ces coûts représentent les pertes de profits des entreprises soumises aux mesures du système d'alerte et sont obtenus en multipliant les pertes de profits journaliers par le nombre de jours où le débit de la rivière sera en bas du niveau d'alerte.

Les résultats montrent que le système d'alerte aux étiages fait diminuer les profits des entreprises des trois municipalités de 2,5 millions \$ par année (voir Tableau 32). Les niveaux d'alerte qui engendrent le plus de coûts sont ceux de « crise » et d'« alerte renforcée » (0,9 millions \$/an chacun). Les villes les plus touchées sont Farnham et Saint-Hyacinthe avec 1,1 millions \$ chacune, suivie par Cowansville avec 0,3 millions \$. Les coûts sont 2,4 fois plus élevés que dans la situation présente.

Tableau 32 : Diminution des profits annuels des plus grands ICI, suite à une réduction de la quantité d'eau disponible – moyenne annuelle actuelle

Niveau d'alerte	% de réduction de l'eau au compteur	% de réduction de la production	Diminution des profits de production par année*			Total
			Cowansville	Farnham	Saint-Hyacinthe	
DOE	10 %	2 %	25 385 \$ (24 jours)	104 134 \$ (33 jours)	65 245 \$ (20 jours)	194 764 \$
Alerte	15 %	5 %	76 192 \$ (29 jours)	205 643 \$ (26 jours)	181 248 \$ (23 jours)	463 083 \$
Alerte renforcée	20 %	9 %	99 385 \$ (21 jours)	353 565 \$ (25 jours)	515 196 \$ (36 jours)	968 146 \$
Crise	30 %	21 %	121 802 \$ (11 jours)	394 191 \$ (12 jour)	404 967 \$ (12 jour)	920 960 \$
Total	-	-	322 764 \$	1 057 534 \$	1 166 656 \$	2 546 953 \$

Note :

* Entre parenthèses est marqué le nombre de jours où le débit de la rivière a été en bas du niveau d'alerte. Le nombre de jours associé au niveau d'alerte DOE n'inclut pas le nombre de jours associé au niveau d'alerte « Alerte ». Pareil pour les niveaux « Alerte »/ « Alerte renforcée » et « Alerte renforcée »/ « Crise ».

5.3 Mesures liées aux utilisations communautaires

5.3.1 Eau économisée

Certaines économies d'eau associées aux utilisations communautaires peuvent être estimées sur la base de la littérature disponible. En effet, une quantité d'information suffisante est disponible pour le lavage des voitures dans les lave-autos, l'arrosage des terrains de golf et le remplissage des piscines publiques. Les hypothèses et données retenues sont présentées au Tableau 33. Encore une fois, l'objectif de l'exercice est de fournir un ordre de grandeur plutôt que de présenter des résultats précis. Il ressort également que les mesures visant les arénas ne sont pas pertinentes puisque la majorité des municipalités ferment ou convertissent leurs installations pendant la période estivale.

Tableau 33 : Hypothèses utilisées dans le calcul des bénéfices liées aux mesures de restriction visant les usages communautaires

Mesures	Consommation d'eau de l'activité	Fréquence moyenne	% d'application de l'activité
Lavage des voitures dans des lave-autos	115 litres par voiture (57,5 litres pour les lave-autos munis d'un système de recyclage)	Une fois aux deux semaines	10 % des ménages
Arrosage des espaces verts publics	Manque d'informations sur la superficie des espaces verts et approvisionnement pouvant être effectué directement dans la rivière		
Arrosage des espaces sportifs			
Arrosage des terrains de golf	3 000 m ³ d'eau par jour (pour un parcours de 18 trous)	Une fois par jour	100 %
Remplissage des piscines publiques	30 litres par baigneur par jour	Une fois par jour	
Arénas	Arénas de Saint-Hyacinthe, Granby et Bromont fermées pendant la période estivale		

Sources : International Carwash Association (2002), Wheeler and Nauright (2006) et Côté (2005).

Des données ont été compilées sur chacune des municipalités pour réaliser l'estimation des réductions de consommation d'eau liées au secteur communautaire. Celles-ci sont présentées au Tableau 34. Les données sont tirées de sources publiques, principalement de listes de services (pages jaunes) et des sites Internet des municipalités. Ces chiffres sont donc des estimés plutôt qu'un recensement.

Tableau 34 : Données utilisées dans le calcul des bénéfices liées aux mesures de restriction visant les usages communautaires

Municipalité	Nombre de ménages	Nombre de lave-autos	Nombre de golfs	Nombre de piscines publiques extérieures
Bromont	2 555	0	4	0
Cowansville	5 165	3	1	0
Farnham	3 445	0	1	0
Granby	21 620	12	3	1
Saint-Hyacinthe	22 880	9	2	8

L'estimation des réductions associées aux mesures des lavages des voitures dans les lave-autos utilisent l'hypothèse que 50 % des lave-autos sont munis d'un dispositif de recyclage de l'eau et que l'efficacité de ce dispositif est de 50 %. Ces estimés sont basés sur un sondage effectué aux États-Unis par la International Carwash Association (2002).

Nous utilisons également comme hypothèse que l'ensemble des terrains de golf des municipalités à l'étude puisent leur eau d'arrosage directement de la rivière ou encore du réseau d'aqueduc. L'utilisation d'eau souterraine n'aurait pas un impact aussi direct sur le débit de la rivière. Les résultats sont ainsi possiblement surévalués.

Nous posons également l'hypothèse que les mesures d'alerte 1 amèneront une diminution de 35 % de l'eau utilisée et que l'alerte 2 causera une diminution de 70 %. En ce qui a trait au remplissage des piscines publiques, nous posons l'hypothèse que l'achalandage moyen est de 50 personnes par jour. Également, pour l'alerte 1 et l'alerte 2, nous prenons en compte que les mesures causeront une diminution de la quantité d'eau utilisée de 10 % compte tenu que le remplacement de l'eau des piscines publiques est nécessaire pour que celles-ci demeurent ouvertes. Il ressort que les golfs sont des utilisateurs d'eau majeurs dans les municipalités à l'étude (voir Tableau 35).

Tableau 35 : Bénéfices des mesures de restrictions des usages communautaires par niveau d'alerte et par municipalité (m³/jour)

Mesure	Bromont	Cowansville	Farnham	Granby	Saint-Hyacinthe	
Lavage des voitures dans des lave-auto	Alerte 1	0 m ³	1,1 m ³	0 m ³	3,6 m ³	4,1 m ³
	Alerte 2	0 m ³	1,1 m ³	0 m ³	3,6 m ³	4,1 m ³
	Alerte 3	0 m ³	1,6 m ³	0 m ³	5,3 m ³	6,1 m ³
	Crise	0 m ³	1,6 m ³	0 m ³	5,3 m ³	6,1 m ³
Arrosage des terrains de golf	Alerte 1	4 200 m ³	1 050 m ³	1 050 m ³	3 150 m ³	2 100 m ³
	Alerte 2	8 400 m ³	2 100 m ³	2 100 m ³	6 300 m ³	4 200 m ³
	Alerte 3	8 400 m ³	2 100 m ³	2 100 m ³	6 300 m ³	4 200 m ³
	Crise	12 000 m ³	3 000 m ³	3 000 m ³	9 000 m ³	6 000 m ³
Remplissage des piscines publiques	Alerte 1	0 m ³	0 m ³	0 m ³	0,2 m ³	1,2 m ³
	Alerte 2	0 m ³	0 m ³	0 m ³	0,2 m ³	1,2 m ³
	Alerte 3	0 m ³	0 m ³	0 m ³	1,5 m ³	12 m ³
	Crise	0 m ³	0 m ³	0 m ³	1,5 m ³	12 m ³
Total	Alerte 1	4 200 m ³	1 051,1 m ³	1 050 m ³	3 153,8 m ³	2105,3 m ³
	Alerte 2	8 400 m ³	2 101,1 m ³	2 100 m ³	6 303,8 m ³	4205,3 m ³
	Alerte 3	8 400 m ³	2 101,6 m ³	2 100 m ³	6 305,8 m ³	4218,1 m ³
	Crise	12 000 m ³	3 001,6 m ³	3 000 m ³	9 005,8 m ³	6018,1 m ³

5.3.2 Coûts des mesures (scénarios 2 et 4)

L'analyse des coûts supportés par les usages communautaires est réalisée de façon qualitative uniquement car ils n'ont pas pu être estimés à cause soit de leur complexité, soit du manque d'informations pertinentes.

Coûts administratifs

Tout comme pour les mesures liées aux utilisations résidentielles et industrielles, des coûts d'adoption ou de modification de la réglementation devront être supportés par les municipalités pour les mesures touchant des entreprises telles que les golfs ou les lave-autos. Également, ces mesures requerront l'inspection des commerces visés. Pour les mesures touchant des installations municipales, l'établissement de directives pourrait être suffisant.

Perte d'utilité des résidents

Bien qu'elles ne puissent être estimées, les résidents subiront des pertes d'utilités liées aux mesures de restriction des usages communautaires, principalement dans le cas des alertes 3 et des crises. Les principales pertes d'utilité identifiées sont : l'impossibilité d'avoir accès à un service de lave-auto, l'impossibilité d'avoir accès à une piscine extérieure ainsi qu'une appréciation plus faible de l'expérience sur les golfs en raison de gazons jauniss. Dans le cas des piscines, avec une volonté à payer de 3 \$, équivalent au tarif demandé pour certaines piscines publiques de la province, la perte d'utilité agrégée pour une journée de fermeture serait d'environ 150 \$.

Coûts en valeur marchande

Les lave-autos et golfs subiront vraisemblablement des pertes en valeur marchande associées à la mise en place des mesures de restrictions visant des usages communautaires. Par exemple, sur la base des hypothèses utilisées préalablement, avec un coût moyen de 10 \$ par lavage d'auto, les coûts perdus en vente pour une journée d'alerte 3 ou de crise seraient de près de 10 000 \$ pour la ville de Saint-Hyacinthe et d'environ 2 500 \$ pour la ville de Granby. Les coûts subis par les golfs dépendent de la diminution de l'achalandage associé à une détérioration de la qualité esthétique des golfs et, éventuellement, d'une perte de réputation. Ces coûts ne sont évaluables que par un sondage auprès des utilisateurs et des entreprises qui gèrent les terrains de golf.

5.4 Mesures liées aux utilisations agricoles

5.4.1 Eau économisée

L'estimation des bénéfices associés à des restrictions de l'utilisation d'eau des entreprises agricoles est complexe en raison du manque de connaissance sur les sources d'eau utilisées ainsi que sur les utilisations moyennes en eau des producteurs agricoles. Selon l'impression des intervenants contactés dans le cadre du projet, les utilisations agricoles de l'eau sont marginales. En effet, selon Statistique Canada (2009), seulement 4 % des entreprises agricoles québécoises irriguaient leurs cultures en 2005. Le tableau 29 présente le nombre d'entreprises agricoles irriguées par municipalité à l'étude en 2005. Le faible nombre d'entreprises irriguées indique que l'adoption de mesures visant à interdire l'irrigation des terres n'aurait qu'un faible impact sur la consommation d'eau des municipalités.

Selon Statistique Canada (2007), l'eau utilisée pour l'irrigation au Québec proviendrait principalement des nappes souterraines et de l'eau de surface sur l'exploitation. Seulement 12 % des entreprises utilisent de l'eau provenant de l'extérieur de la ferme, comme par exemple du système d'aqueduc. Les municipalités les plus rurales et ayant le plus grand nombre de fermes tireront davantage de bénéfices de la mise en place de mesures de restrictions des usages agricoles.

Tableau 36 : Nombre d'entreprises agricoles irriguées par municipalité

Municipalité	Nombre d'entreprises agricoles irriguées	Nombre d'entreprises irriguées - fruits et légumes	Nombre d'entreprises irriguées - grandes cultures	Nombre d'entreprises irriguées – autres cultures
Bromont	4	0	0	1
Cowansville	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Farnham	1	1	1	0
Granby	6	1	0	1
Saint-Hyacinthe	2	1	0	1

Source : Statistiques Canada (2007).

5.4.2 Coûts des mesures (scénarios 2 et 4)

Coûts administratifs

Tout comme pour les autres usages, l'adoption de mesures de restrictions des usages agricoles nécessitera des coûts d'adoption et d'inspection de la réglementation mise en place.

Coûts en valeur marchande

L'irrigation des terres agricoles vise à obtenir une augmentation des rendements ou de la qualité des cultures. Les producteurs agricoles devraient normalement effectuer une utilisation optimale de leur eau pour ne pas nuire à la croissance de leurs cultures. Ainsi, des restrictions de l'eau disponible pour l'irrigation causera nécessairement une baisse de la valeur marchande des produits. L'effet précis de l'irrigation sur valeur des produits agricoles est toutefois complexe à isoler.

5.5 Volume d'eau économisée sur l'ensemble des mesures

Les plus grandes économies d'eau sont associées aux utilisations communautaires et principalement aux terrains de golf. Par exemple, à Bromont, la quantité d'eau économisée par les usages communautaires lorsque des mesures de crise sont mises en place représente 90 % de la quantité totale d'eau économisée par ces mesures (voir Tableau 37). Les économies réalisées par les usages communautaires varient de 57 % à 93 %, dépendamment du niveau d'alerte et de la municipalité. Les mesures d'alerte imposées aux usages résidentiels font le moins d'économies d'eau, allant jusqu'à un maximum de 11 % de l'ensemble des économies.

Tableau 37 : Eau économisée par type d'usage, en % par rapport à la quantité totale économisée

	Diminution de l'eau au compteur des industries	Bromont			Cowansville			Farnham			Granby			Saint-Hyacinthe		
		Industries	Résidences	Usages communautaires	Industries	Résidences	Usages communautaires	Industries	Résidences	Usages communautaires	Industries	Résidences	Usages communautaires	Industries	Résidences	Usages communautaires
DOE	10%	8%	0%	92%	12%	2%	87%	9%	6%	84%	23%	1%	76%	35%	4%	61%
Alerte	15%	6%	0%	93%	9%	3%	88%	7%	4%	89%	19%	1%	81%	29%	3%	68%
Alerte renforcée	20%	8%	2%	90%	11%	9%	80%	9%	8%	83%	22%	7%	71%	32%	11%	57%
Crise	30%	8%	1%	90%	12%	7%	82%	10%	6%	84%	23%	5%	72%	35%	8%	57%

Le volume total d'eau qui est économisée grâce aux mesures du système d'alerte varie d'une municipalité à l'autre et d'un niveau d'alerte à l'autre. À Granby et Saint-Hyacinthe il représente 12 % à 37 % du prélèvement moyen de l'usine de traitement d'eau potable, à Cowansville 14 % à 41 %, à Farnham 29 % à 84 % et à Bromont 79 % à 229 %, dépendamment du niveau d'alerte (voir Tableau 38). À Bromont, les économies d'eau dépassent le prélèvement municipal principalement à cause des économies des quatre terrains de golf qui n'utilisent pas le réseau municipal pour l'irrigation de leurs terrains¹⁴.

Tableau 38 : Eau économisée grâce aux mesures du système d'alerte aux étiages (m³/s) et sa part dans le prélèvement d'eau de l'usine de traitement d'eau

	Bromont	Cowansville	Farnham	Granby	Saint-Hyacinthe
DOE	0,0530 (79 %)	0,0141 (14 %)	0,0144 (29 %)	0,0481 (12 %)	0,0397 (12 %)
Alerte	0,1041 (155 %)	0,0275 (27 %)	0,0274 (56 %)	0,0904 (23 %)	0,0718 (21 %)
Alerte renforcée	0,1077 (161 %)	0,0303 (29 %)	0,0293 (60 %)	0,1026 (26 %)	0,0864 (26 %)
Crise	0,1536 (229 %)	0,0424 (41 %)	0,0411 (84 %)	0,1453 (37 %)	0,1214 (36 %)
Prélèvement moyen de l'usine de traitement d'eau	0,0670	0,1028	0,0492	0,3972	0,3368

¹⁴ Information obtenue de l'usine de traitement de l'eau potable de Bromont.

6. Bilan

6.1 Situation actuelle (scénarios 1 et 2)

6.1.1 Bénéfices du système d'alerte aux étiages

6.1.1.1 Impact sur le nombre de jours d'alerte

L'objectif de départ d'un système d'alerte aux étiages est celui de redistribuer les impacts des étiages parmi les utilisateurs d'eau en imposant des restrictions sur les usages avec prélèvement pour que les usages sans prélèvement s'améliorent pendant les périodes problématiques où la rivière a des débits très faibles. On constate que les mesures restrictives ont un impact assez faible dans le cas de Saint-Hyacinthe et Farnham mais qu'elles peuvent faire une différence dans le cas de Cowansville, surtout pour les niveaux de crise. Le Tableau 39 permet de faire ce constat. Le constat est intéressant en soi parce que Cowansville est le cas le plus problématique parmi les cinq municipalités étudiées. Cette problématique est causée par le niveau élevé des prélèvements municipaux par rapport aux débits d'alerte de la rivière et par le manque d'un système de contrôle des débits.

Les mesures restrictives du système d'alerte aux étiages ont le plus d'impact dans le cas des épisodes d'étiage fort de Cowansville. Les mesures du système d'alerte sont très efficaces quand la rivière atteint le niveau de crise car l'eau économisée est suffisante pour faire passer le débit au niveau supérieur, celui d'alerte renforcée. Ainsi, si de telles mesures avaient été appliquées en 2001, la rivière n'aurait connu aucun jour de crise (il y en a eu 18). Par contre, les mesures ont peu d'impact sur les autres niveaux. Par exemple, le système d'alerte aurait sauvé seulement 3 jours sur les 53 en bas du niveau « alerte renforcée », et 3 jours sur les 74 en bas du niveau « alerte ».

Dans le cas de Saint-Hyacinthe et Farnham, le système d'alerte est moins efficace. Pendant les étiages forts de 2002 et 1999 respectivement, l'eau économisée par les mesures restrictives aurait sauvé la moitié des jours de crise et n'aurait presque pas eu d'impact sur les autres niveaux.

Sur un horizon de temps de plusieurs années, l'impact du système d'alerte se dilue. Plus précisément, son impact sur le nombre moyen annuel de jours en bas des niveaux d'alerte diminue considérablement. Dans le cas de Saint-Hyacinthe et Farnham il n'a presque pas d'impact (1 à 2 jours sauvés). Ce constat tire moins à conséquence puisque les bénéfices espérés du système d'alerte portent surtout sur des situations d'étiage sévère.

Les municipalités de Bromont et Granby n'ont pas été incluses dans cette analyse car le débit de la rivière à Granby ne descend pas sous le niveau de crise, d'alerte renforcée ou d'alerte et l'historique des débits à Bromont est trop court (depuis 2006 seulement).

Tableau 39 : Impact du système d'alerte sur le nombre de jours où le débit de la rivière est en bas des niveaux d'alerte – étiages actuels

		DOE	Alerte		
			Alerte	renforcée	Crise
Cowansville	Étiage fort (2001) - SANS système d'alerte	96	74	53	18
	Étiage fort (2001) - AVEC système d'alerte	95	71	50	0
	Moyenne annuelle (1979 - 2010) - SANS système d'alerte	57	33	12	2
	Moyenne annuelle (1979 - 2010) - AVEC système d'alerte	55	31	9	0
Farnham	Étiage fort (1999) - SANS système d'alerte	97	69	44	2
	Étiage fort (1999) - AVEC système d'alerte	97	69	42	1
	Moyenne annuelle (1966 - 2010) - SANS système d'alerte	61	34	16	1
	Moyenne annuelle (1966 - 2010) - AVEC système d'alerte	60	33	15	1
Saint-Hyacinthe	Étiage fort (2002) - SANS système d'alerte	70	47	32	6
	Étiage fort (2002) - AVEC système d'alerte	70	45	31	3
	Moyenne annuelle (1984 - 1993; 2001 - 2010) - SANS système d'alerte	57	35	16	1
	Moyenne annuelle (1984 - 1993; 2001 - 2010) - AVEC système d'alerte	57	34	16	1

6.1.1.2 Impact sur les usages sans prélèvement

Écosystème aquatique

Pour donner un ordre de grandeur à la valeur de l'amélioration des écosystèmes aquatiques engendrée par la mise en place des mesures du système d'alerte, nous utilisons les résultats de l'étude Ortega et al. (2011). La raison pour laquelle cette étude est choisie est le fait qu'elle estime la valeur de l'impact environnemental conjointement avec les impacts sur la consommation résidentielle, ce qui oblige les ménages à révéler leur préférence entre ces deux usages et fait ainsi baisser la surévaluation de l'usage environnemental, souvent favorisée par le contexte hypothétique de l'étude.

Pour adapter les résultats de l'étude Ortega et al. (2011) au contexte des municipalités à l'étude, nous utilisons la proportion des valeurs estimées dans la facture d'eau au lieu des valeurs telles quelles. L'étude estime deux niveaux de consentement à payer, notamment 7,95 euros/ménage/an pour une bonne amélioration de l'écosystème riverain et 10,88 euros/ménage/an pour une très bonne amélioration. Ces valeurs représentent 3,2 % et respectivement 4,4 % de la facture d'eau de la région de l'Espagne qui fait l'objet de l'étude Ortega et al. (2011). Appliqués à la facture moyenne des trois municipalités de la présente étude, les consentements à payer pour des améliorations de l'écosystème aquatique s'élèvent à 5,4 \$/ménage/an et respectivement 7,3 \$/ménage/an.

Le consentement à payer utilisé pour les présents calculs est celui de 5,4 \$/ménage/an car il fait référence à une bonne amélioration de l'écosystème aquatique au lieu d'une très bonne amélioration, ce qui est plus proche des améliorations potentiellement engendrées par les mesures du système d'alerte. Une bonne amélioration est définie dans Ortega et al. (2011) de la façon suivante : « Les débits et la qualité de l'environnement sont proches de leurs niveaux naturels. Il y a une petite déviation de la situation naturelle ». En même temps, une très bonne amélioration signifie que « les débits et la qualité de l'environnement sont à leurs niveaux naturels, avec presque aucune pression de la part des activités humaines ».

Étant donné que les mesures du système d'alerte ont un impact significatif seulement à Cowansville (voir la section précédente) et qu'à Saint-Hyacinthe et Farnham elles ne changent presque pas le nombre de jours où le débit de la rivière est en bas des niveaux d'alerte, on suppose qu'une amélioration de l'écosystème aquatique a lieu seulement à cet endroit. Par conséquent, la valeur de l'amélioration du système aquatique due aux mesures du système d'alerte est associée seulement à la population de Cowansville. Elle s'élève à 24 912 \$/an (voir Tableau 40). Cette valeur est considérée la même pour les étiages forts et la moyenne annuelle car l'étude utilisée ne permet pas de faire la distinction entre les différentes durées des périodes d'étiage.

Tableau 40 : Estimation de la valeur monétaire des améliorations de l'écosystème aquatique

	Factures d'eau (\$/an) A	Nombre de ménages (ménages) B	Diminution d'utilité (% de la facture d'eau) C	Perte d'utilité par ménage (\$/ménage/an) D = C*A	Perte d'utilité agrégée (\$/an) E=D*B
Cowansville	150 \$	5 160			24 912 \$
Farnham	165 \$	3 340	-	-	17 738 \$
St-Hyacinthe	175 \$	22 885			128 902 \$
L'ensemble des municipalités	163 \$	55 555	3,2 %	27 \$	164 994 \$

Usages récréatifs

Les mesures du système d'alerte font en sorte que la durée des étiages est plus courte, principalement à Cowansville, ce qui a un impact positif sur les activités récréatives car il y a plus de jours disponibles pour ces activités. La méthodologie de calcul des coûts associés aux activités récréatives lors de la mise en place d'un système d'alerte est similaire à celle utilisée pour les scénarios sans système d'alerte.

Pêche sportive

a) Coûts d'un étiage fort

Les mesures du système d'alerte font diminuer la perte d'utilité pour les pêcheurs de 4 %. Cette perte s'élève à 337 518 \$/an quand un système d'alerte est mis en place (voir Tableau 41) et à 351 060 \$/an quand il n'y a pas de système d'alerte.

Le gain le plus élevé est enregistré à Cowansville parce que le système d'alerte est le plus efficace à cet endroit. Par contre, il reste quand même petit (seulement 6 %) car l'efficacité des mesures est beaucoup moindre dans le cas du niveau « alerte renforcée » que dans le cas du niveau « crise » et c'est le niveau « alerte renforcée » qui a une influence sur les pertes d'utilité de la pêche sportive.

Tableau 41 : Estimation des coûts annuels des impacts des étiages forts actuels sur la pêche sportive quand un système d'alerte est mis en place – scénario 2 (\$/an)

		Cowansville	Farnham	Saint-Hyacinthe	Total
Population en 2011*	A	12 489	8 330	53 236	74 055
% des pêcheurs locaux**	B	3,61 %			-
Nombre de pêcheurs locaux	C=A*B	451	301	1 921	2 672
Nombre de jours de pêche perdus par pêcheur**	D	4,2	3,2	3,0	-
Nombre de jours de pêche perdus	E=C*D	1 894	959	5 699	8 551
Valeur d'une journée de pêche***	F	39 \$			-
Perte de valeur associée aux étiages	F*E	74 747 \$	37 833 \$	224 938 \$	337 518 \$

Sources : * ISQ (2012), **Voir Annexe 1 pour le calcul, *** Dupont (2003).

b) Coûts annuels moyens des étiages

Pour l'ensemble des municipalités, les mesures du système d'alerte ont la même efficacité dans le cas d'un épisode extrême que si estimée comme moyenne annuelle. Plus précisément, elles font diminuer la perte d'utilité pour les pêcheurs de 4 %. Cette perte s'élève à 143 063 \$/an quand un système d'alerte est mis en place (voir Tableau 42) et à 148 449 \$/an quand il n'y a pas de système d'alerte.

Le gain le plus élevé est enregistré à Cowansville, comme dans le cas de l'étiage fort, mais il est beaucoup plus élevé. Il s'élève à 25 % au lieu de 6 %, la raison étant que l'efficacité des mesures est plus élevée dans le cas de l'étiage annuel moyen pour le niveau « alerte renforcée » (3 jours de moins sur 12 par rapport à 3 jours de moins sur 53; voir Tableau 39).

Tableau 42 : Estimation des coûts annuels des impacts des étiages moyens actuels sur la pêche sportive quand un système d'alerte est mis en place – scénario 2 (\$/an)

		Cowansville	Farnham	Saint-Hyacinthe	Total
Population en 2011*	A	12 489	8 330	53 236	74 055
% des pêcheurs locaux**	B	3,61 %			-
Nombre de pêcheurs locaux	C=A*B	451	301	1 921	2 672
Nombre de jours de pêche perdus par pêcheur**	D	0,8	1,1	1,5	-
Nombre de jours de pêche perdus	E=C*D	341	342	2 941	3 625
Valeur d'une journée de pêche***	F	39 \$			-
Perte de valeur associée aux étiages	F*E	13 454 \$	13 512 \$	116 097 \$	143 063 \$

Sources : * ISQ (2012), **Voir Annexe 1 pour le calcul, *** Dupont (2003).

Activités nautiques

a) Coûts d'un étiage fort

Comme dans le cas de la pêche, les mesures du système d'alerte font diminuer la perte d'utilité pour les personnes qui pratiquent des sports nautiques à rames de 4 %. Cette perte s'élève à 245 284 \$/an quand un système d'alerte est mis en place (voir Tableau 43) et à 255 096 \$/an quand il n'y a pas de système d'alerte.

Le gain le plus élevé est enregistré à Cowansville, comme dans le cas de la pêche, parce que le système d'alerte est le plus efficace à cet endroit. Par contre, le gain reste quand même petit (seulement 6 %) car l'efficacité des mesures est beaucoup moindre dans le cas du niveau « alerte renforcée » que dans le cas du niveau « crise » et c'est le niveau « alerte renforcée » qui a une influence sur les pertes d'utilité des activités nautiques.

Tableau 43 : Estimation des coûts des impacts des étiages forts actuels sur les activités nautiques à rames quand un système d'alerte est mis en place – scénario 2 (\$/an)

		Cowansville	Farnham	Saint-Hyacinthe	Total
Population de 15 ans et plus en 2011*	A	10 589	6 895	46 041	63 525
% de la population de 15 ans et plus qui pratique des sports nautiques à rames (canot, kayak, chaloupe)**	B	27 %			-
Nombre de personnes qui pratiquent des sports nautiques à rames	C=A*B	2 859	1 862	12 431	17 152
Nombre de jours de sports nautiques à rames perdus par personne***	D	0,99	0,75	0,70	-
Nombre de jours de sports nautiques perdus	E=C*D	2 829	1 398	8 683	12 910
Valeur d'une journée d'activités récréatives liées à l'eau****	F	19 \$			-
Perte de valeur associée aux étiages	F*E	53 747 \$	26 558 \$	164 980 \$	245 284 \$

Sources : * Recensement 2011, **ISQ (2006), ***Voir Annexe 2 pour le calcul, ****Voir Annexe 3 pour le calcul.

b) Coûts annuels moyens des étiages

Comme dans le cas de la pêche, les mesures du système d'alerte ont la même efficacité dans le cas d'un épisode extrême que si estimée comme moyenne annuelle si on considère les trois municipalités ensemble. Plus précisément, elles font diminuer la perte d'utilité de 4 %. Cette perte s'élève à 104 310 \$/an quand un système d'alerte est mis en place (voir Tableau 44) et à 108 167 \$/an quand il n'y a pas de système d'alerte.

Le gain le plus élevé est enregistré à Cowansville, comme dans le cas de l'étiage fort, mais il est beaucoup plus élevé. Il s'élève à 25 % au lieu de 6 %, la raison étant que l'efficacité des mesures est plus élevée dans le cas de l'étiage annuel moyen pour le niveau « alerte renforcée » (3 jours de moins sur 12 par rapport à 3 jours de moins sur 53; voir Tableau 39).

Tableau 44 : Estimation des coûts des impacts des étiages moyens actuels sur les activités nautiques à rames quand un système d'alerte est mis en place – scénario 2 (\$/an)

		Cowansville	Farnham	Saint-Hyacinthe	Total
Population de 15 ans et plus en 2011*	A	10 589	6 895	46 041	63 525
% de la population de 15 ans et plus qui pratique des sports nautiques à rames (canot, kayak, chaloupe)**	B	27 %			-
Nombre de personnes qui pratiquent des sports nautiques à rames	C=A*B	2 859	1 862	12 431	17 152
Nombre de jours de sports nautiques à rames perdus par personne***	D	0,2	0,3	0,4	-
Nombre de jours de sports nautiques perdus	E=C*D	509	499	4 482	5 490
Valeur d'une journée d'activités récréatives liées à l'eau****	F	19 \$			-
Perte de valeur associée aux étiages	F*E	9 674 \$	9 485 \$	85 151 \$	104 310 \$

Sources : * Recensement 2011, **ISQ (2006), ***Voir Annexe 2 pour le calcul, ****Voir Annexe 3 pour le calcul.

6.1.2 Comparaison des coûts et des bénéfices du système d'alerte aux étiages

Les coûts et les bénéfices du système d'alerte aux étiages sont présentés au Tableau 45 pour le cas d'un étiage fort et au Tableau 46 pour la moyenne annuelle. Les coûts sont déterminés comme différence entre les coûts associés aux usages avec prélèvement dans le scénario avec système d'alerte (scénario 2) et ces coûts dans le scénario sans système d'alerte (scénario 1).

Les coûts s'élèvent à 2,9 millions \$/an dans le cas d'un étiage fort et à 1,9 millions \$/an dans le cas de la moyenne annuelle. Par contre, la différence aurait été plus importante si le coût pour les résidences avait pu être estimé en fonction de la durée des épisodes d'étiage. La part la plus importante des coûts revient aux usages industriels (57 % dans le cas des étiages forts et 72 % dans le cas de la moyenne annuelle).

Dans les deux cas, les bénéfices sont négligeables. Ils s'élèvent à 0,05 millions \$/an dans le cas des étiages forts et à 0,04 millions \$/an dans le cas de la moyenne annuelle. Comme dans le cas des coûts, la différence aurait été plus importante si les améliorations environnementales avaient pu être estimées en fonction de la durée des étiages. Les bénéfices sont distribués de façon uniforme entre les usages récréatifs et l'écosystème aquatique (49 % et respectivement 51 % dans le cas des étiages forts).

Par conséquent, les mesures du système d'alerte telles qu'envisagées pour la présente étude ne sont pas efficaces pour les trois municipalités étudiées du bassin versant de la rivière Yamaska car les coûts dépassent largement les bénéfices. La différence entre les coûts et les bénéfices est tellement grande que même si le système était efficace à 100 %, dans le sens où tous les usages dans la rivière étaient récupérés, les coûts dépasseraient les bénéfices car le maximum des bénéfices qui peut être obtenu est de 0,6 millions \$/an dans le cas des étiages forts et de 0,3 millions \$/an dans le cas de la moyenne annuelle, tandis que les coûts dépassent 1,8 millions \$/an dans les deux cas.

La même analyse a été effectuée pour Cowansville pour voir si le système serait efficient dans ce cas particulier, étant donné que l'ensemble des bénéfices environnementaux proviennent de cette municipalité. La conclusion reste inchangée, notamment que les coûts dépassent largement les bénéfices. Ils s'élèvent à 578 852 \$/an tandis que les bénéfices s'élèvent à seulement 32 245 \$/an.

Tableau 45 : Coûts et bénéfices annuels associés au système d'alerte dans la situation actuelle et dans le cas d'un étiage fort

	Pas de système d'alerte (scénario 1)	Système d'alerte aux étiages (scénario 2)	COÛTS associés au système d'alerte
	A	B	B-A
Usages avec prélèvements	130 206 \$	3 107 665 \$	2 977 459 \$
Usagers du réseau d'aqueducs	- \$	2 977 459 \$	2 977 459 \$
- usages industriels	- \$	2 157 057 \$	2 157 057 \$
- usages résidentiels	- \$	820 402 \$	820 402 \$
- usages agricoles	- \$	n.d.	n.d.
- terrains de golf	- \$	n.d.	n.d.
Usines de traitement d'eau potable	130 206 \$	130 206 \$	-
			BÉNÉFICES associés au système d'alerte A-B
Usages dans la rivière	606 156 \$	582 802 \$	47 890 \$
Activités récréatives	606 156 \$	582 802 \$	23 354 \$
- activités nautiques	255 096 \$	245 284 \$	9 812 \$
- pêche	351 060 \$	337 518 \$	13 542 \$
- baignade	- \$	- \$	- \$
Écosystème aquatique	n.d.	n.d.	24 536 \$

n.d. = non disponible

Tableau 46 : Coûts et bénéfices annuels moyens associés au système d'alerte dans la situation actuelle

	Pas de système d'alerte (scénario 1)	Système d'alerte aux étiages (scénario 2)	COÛTS associés au système d'alerte
	A	B	B-A
Usages avec prélèvements	130 206 \$	2 029 093 \$	1 898 887 \$
Usagers du réseau d'aqueducs	- \$	1 898 887 \$	1 898 887 \$
- usages industriels	- \$	1 078 485 \$	1 078 485 \$
- usages résidentiels	- \$	820 402 \$	820 402 \$
- usages agricoles	- \$	<i>n.d.</i>	<i>n.d.</i>
- terrains de golf	- \$	<i>n.d.</i>	<i>n.d.</i>
Usines de traitement d'eau potable	130 206 \$	130 206 \$	-
			BÉNÉFICES associés au système d'alerte A-B
Usages dans la rivière	258 701 \$	247 373 \$	35 864 \$
Activités récréatives	258 701 \$	247 373 \$	11 328 \$
- activités nautiques	108 167 \$	104 310 \$	3 857 \$
- pêche	150 534 \$	143 063 \$	7 471 \$
- baignade	- \$	- \$	- \$
Écosystème aquatique	<i>n.d.</i>	<i>n.d.</i>	24 536 \$

n.d. = non disponible

6.2 Situation future avec aggravation des étiages reliée aux effets des changements climatiques (scénarios 3 et 4)

Les coûts et les bénéfices du système d'alerte aux étiages sont estimés uniquement comme moyenne annuelle car la projection d'un étiage fort dans le futur est plus problématique. Les résultats des projections climatiques ne concernent pas des événements particuliers, comme il est possible d'en cibler à partir d'observations de débit historiques.

6.2.1 Bénéfices du système d'alerte aux étiages

6.2.1.1 Impact sur le nombre de jours d'alerte

Comme dans le cas des étiages présents, on constate qu'à Saint-Hyacinthe et Farnham les mesures du système d'alerte ont un impact faible sur la durée des périodes d'étiage mais que dans le cas de Cowansville elles peuvent faire une différence, surtout pour les niveaux de crise (voir Tableau 47). Si de telles mesures avaient été appliquées en 2001, la rivière à Cowansville n'aurait connu que 2 jours de crise parmi les 11 qui ont été enregistrés. Par contre, dans le cas des autres niveaux, les mesures ont peu d'impact. Par exemple, le système d'alerte aurait sauvé seulement 6 jours sur les 49 en bas du niveau « alerte renforcée », et 1 jour sur les 79 en bas du niveau « alerte ».

Sur un horizon de temps de plusieurs années, l'impact du système d'alerte se dilue, comme dans le cas des étiages présents. Dans le cas de Saint-Hyacinthe et Farnham il n'a presque pas d'impact (1 à 2 jours sauvés).

Tableau 47 : Impact du système d'alerte sur le nombre de jours où le débit de la rivière est en bas des niveaux d'alerte – étiages futurs

		DOE	Alerte	Alerte renforcée	Crise
Cowansville	SANS système d'alerte	79	55	26	5
	AVEC système d'alerte	79	53	21	1
Farnham	SANS système d'alerte	91	58	32	6
	AVEC système d'alerte	91	58	30	6
St-Hyacinthe	SANS système d'alerte	83	63	40	5
	AVEC système d'alerte	83	63	40	4

Source : Côté et Leconte (2012) et nos calculs.

6.2.1.2 Impact sur les usages sans prélèvement

Écosystème aquatique

La valeur de l'amélioration de l'écosystème aquatique dans le futur est estimée de la même façon que dans la situation présente car l'impact des mesures du système d'alerte est très semblable dans ces deux situations. Ainsi, en se basant sur les résultats de l'étude Ortega *et al.* (2011), la valeur de l'amélioration de l'écosystème aquatique dans le futur est estimée à 7,3 \$/ménage/an et respectivement à 24 912 \$/an pour l'ensemble des ménages de Cowansville, qui est le seul endroit où la rivière bénéficie d'une amélioration réelle grâce aux mesures du système d'alerte.

Usages récréatifs

Les diminutions relatives (en %) des coûts associés à la perte d'utilité des pêcheurs et des personnes qui pratiquent des activités nautiques sont très proches de celles estimées pour le présent. Le Tableau 48 présente l'ensemble des coûts associés à ces deux activités quand des mesures restrictives sont mises en place, comme moyenne annuelle sur un horizon de plusieurs ans. Les mesures du système d'alerte diminuent ces coûts de 0 % à Saint-Hyacinthe jusqu'à 19 % à Cowansville.

Tableau 48 : Coûts annuels des impacts des étiages futurs sur la pêche sportive et les activités nautiques, quand un système d'alerte est mis en place – scénario 4 (\$/an)

	Cowansville	Farnham	Saint-Hyacinthe	Total
Pêche sportive	34 626 \$ (19 %)	27 397 \$ (6 %)	312 126 \$ (0 %)	374 150 \$ (3 %)
Activités nautiques	24 898 \$ (19 %)	19 232 \$ (6 %)	228 928 \$ (0 %)	273 058 \$ (3 %)

Note : Les nombre entre parenthèse représentent les % de réduction des coûts par rapport aux situations sans système d'alerte (scénario 3).

6.2.2 Comparaison des coûts et des bénéfices du système d'alerte aux étiages

Les coûts et les bénéfices du système d'alerte aux étiages sont présentés au Tableau 49. Les coûts sont déterminés comme différence entre les coûts associés aux usages avec prélèvement dans le scénario avec système d'alerte (scénario 4) et ces mêmes coûts dans le scénario sans système d'alerte (scénario 3). Quant aux bénéfices, ils sont calculés comme différence entre les coûts associés aux usages sans prélèvement dans le scénario avec système d'alerte (scénario 4) et ces mêmes coûts dans le scénario sans système d'alerte (scénario 3).

Les coûts s'élèvent à 3,4 millions \$/an mais la différence aurait été plus importante si le coût pour les résidences avait pu être estimé en fonction de la durée des épisodes d'étiage. La part la plus importante des coûts revient aux usages industriels (76 %). Les bénéfices sont négligeables. Ils s'élèvent à 0,04 millions \$/an et sont distribués de façon uniforme entre les usages récréatifs et l'écosystème aquatique (45 %).

Comme dans le cas des étiages présents, les mesures du système d'alerte ne sont pas efficaces pour les trois municipalités étudiées du bassin versant de la rivière Yamaska car les coûts dépassent largement les bénéfices. La différence entre les coûts et les bénéfices est tellement grande que même si le système était efficace à 100 %, dans le sens où tous les usages dans la rivière étaient récupérés, les coûts dépasseraient largement les bénéfices car le maximum des bénéfices qui peut être obtenu est de 0,6 millions \$/an, tandis que les coûts s'élèvent à 3,4 millions \$/an.

Tableau 49 : Coûts et bénéfices annuels moyens associés au système d'alerte dans la situation future

	Pas de système d'alerte (scénario 1)	Système d'alerte aux étiages (scénario 2)	COÛTS associés au système d'alerte
	A	B	B-A
Usages avec prélèvements	130 206 \$	3 497 561 \$	3 367 355 \$
Usagers du réseau d'aqueducs	- \$	3 367 355 \$	3 367 355 \$
- usages industriels	- \$	2 546 953 \$	2 546 953 \$
- usages résidentiels	- \$	820 402 \$	820 402 \$
- usages agricoles	- \$	<i>n.d.</i>	<i>n.d.</i>
- terrains de golf	- \$	<i>n.d.</i>	<i>n.d.</i>
Usines de traitement d'eau potable	130 206 \$	130 206 \$	-
			BÉNÉFICES associés au système d'alerte A-B
Usages dans la rivière	664 488 \$	647 208 \$	41 816 \$
Activités récréatives	664 488 \$	647 208 \$	17 280 \$
- activités nautiques	280 268 \$	273 058 \$	7 210 \$
- pêche	384 220 \$	374 150 \$	10 070 \$
- baignade	- \$	- \$	- \$
Écosystème aquatique	<i>n.d.</i>	<i>n.d.</i>	24 536 \$

n.d. = non disponible

7. Une approche par niveau d'alerte

Il aurait été intéressant d'avoir suffisamment d'information pour estimer l'ensemble des coûts par débit d'alerte. Malheureusement, les seuls coûts qui ont pu être détaillés de cette façon sont les coûts des mesures imposées aux industries (voir Tableau 50 pour la situation présente). Dans la présente section on analyse ces résultats dans le contexte plus large de l'analyse coûts – bénéfices du système d'alerte.

Selon ces données, le niveau d'alerte qui impose le plus de coûts est l'alerte renforcée, avec 1,1 millions \$/an dans le cas d'un étiage fort et 0,4 millions \$/an dans le cas de la moyenne annuelle. Ce résultat surprend à première vue car on s'attendait à ce que le niveau de crise comporte le plus de coûts. Si c'est effectivement vrai que le niveau de crise présente les coûts journaliers les plus élevés, le niveau d'alerte renforcée est caractérisé par le plus grand nombre de jours dans la plupart des municipalités, ce qui génère des coûts annuels plus importants. Pour que les mesures du système d'alerte soient efficaces pour le niveau d'alerte renforcée, leurs bénéfices devraient dépasser 1,1 millions \$/an pour un étiage fort et respectivement 0,4 millions \$/an pour la moyenne annuelle.

On constate que les coûts associés au niveau de crise sont peu élevés (0,08 millions \$/an si calculés comme moyennes annuelles). Il y a donc plus de chances que les bénéfices associés à ce niveau soient suffisamment élevés pour qu'ils dépassent ces coûts. Pour faire cette analyse il faudra pouvoir estimer les bénéfices spécifiquement pour le niveau de crise.

Si plus d'information avait été disponible par niveau d'alerte, une analyse des coûts et des bénéfices associés à chaque niveau aurait permis une amélioration des mesures proposées.

Tableau 50 : Coûts pour les industries, par niveau d'alerte – situation présente (scénario 2)

Niveau d'alerte	Étiage fort (\$/an)	Moyenne annuelle (\$/an)
DOE	184 721 \$	179 433 \$
Alerte	371 422 \$	348 813 \$
Alerte renforcée	1 133 421 \$	461 497 \$
Crise	467 494 \$	88 742 \$
Total	2 157 057 \$	1 078 485 \$

DOE = débit objectif d'étiage

8. Analyse de sensibilité

L'analyse coûts – bénéfices montre que le système d'alerte aux étiages n'est pas efficient, même s'il est efficace dans le cas spécifique de Cowansville et des niveaux de crise. Pour identifier les facteurs qui pourraient changer cette conclusion, une analyse de sensibilité a été réalisée pour le cas concret de Cowansville, qui a le plus de potentiel d'avoir un système d'alerte efficient. Les valeurs de quatre variables ont été changées, notamment la population de la municipalité, la valeur que les ménages accordent aux améliorations de l'écosystème aquatique, la valeur des pertes de bien-être engendrées par les restrictions dans les usages résidentiels et les pertes de profits des industries.

Si la population de Cowansville était deux fois plus élevée que ce qu'elle est présentement, la valeur de l'amélioration de l'écosystème aquatique doublerait aussi. Par contre, les coûts associés aux restrictions des usages résidentiels, tels le remplissage des piscines et l'arrosage des jardins, doubleraient aussi parce qu'ils sont proportionnels à la population. Par conséquent, le changement de la population ne peut pas améliorer le bilan bénéfices – coûts des mesures du système d'alerte parce que la perte d'utilité individuelle engendrée par les restrictions dans les usages résidentiels est plus élevée que la valeur individuelle associée à l'amélioration des écosystèmes aquatiques.

Si la valeur des améliorations de l'écosystème aquatique augmentait au niveau de celle du manque de restrictions sur la consommation des résidences et vice-versa, c'est-à-dire 26,1 \$/ménage/an pour les écosystèmes au lieu de 5,4 \$/ménage/an et inversement et que l'impact des restrictions sur le profit des industries diminuerait de moitié, les coûts totaux dans le cas des étiages forts actuels s'élèveraient à 246 908 \$/an et les bénéfices à 131 549 \$/an (voir Tableau 51). Les bénéfices sont très peu élevés par rapport aux coûts, ce qui fait que même dans ce contexte le système d'alerte n'est pas efficient.

Tableau 51 : Coûts et bénéfices annuels associés au système d'alerte dans la situation actuelle et dans le cas d'un étiage fort - Cowansville

	Pas de système d'alerte (scénario 1)	Système d'alerte aux étiages (scénario 2)	COÛTS associés au système d'alerte
	A	B	B-A
Usages avec prélèvements	0 \$	246 908 \$	246 908 \$
Usagers du réseau d'aqueducs	0 \$	246 908 \$	246 908 \$
- usages industriels	0 \$	221 985 \$	221 985 \$
- usages résidentiels	0 \$	24 923 \$	24 923 \$
- usages agricoles	0 \$	n.d.	n.d.
- terrains de golf	0 \$	n.d.	n.d.
Usines de traitement d'eau potable	0 \$	0 \$	-
			BÉNÉFICES associés au système d'alerte
			A-B
Usages dans la rivière	136 203 \$	128 494 \$	131 549 \$
Activités récréatives	136 203 \$	128 494 \$	7 709 \$
- activités nautiques	56 971 \$	53 747 \$	3 224 \$
- pêche	79 232 \$	\$	4 485 \$
- baignade	- \$	- \$	- \$
Écosystème aquatique	n.d.	n.d.	24 536 \$

n.d. = non disponible

9. Des mesures alternatives pour diminuer ou éviter l'impact des étiages

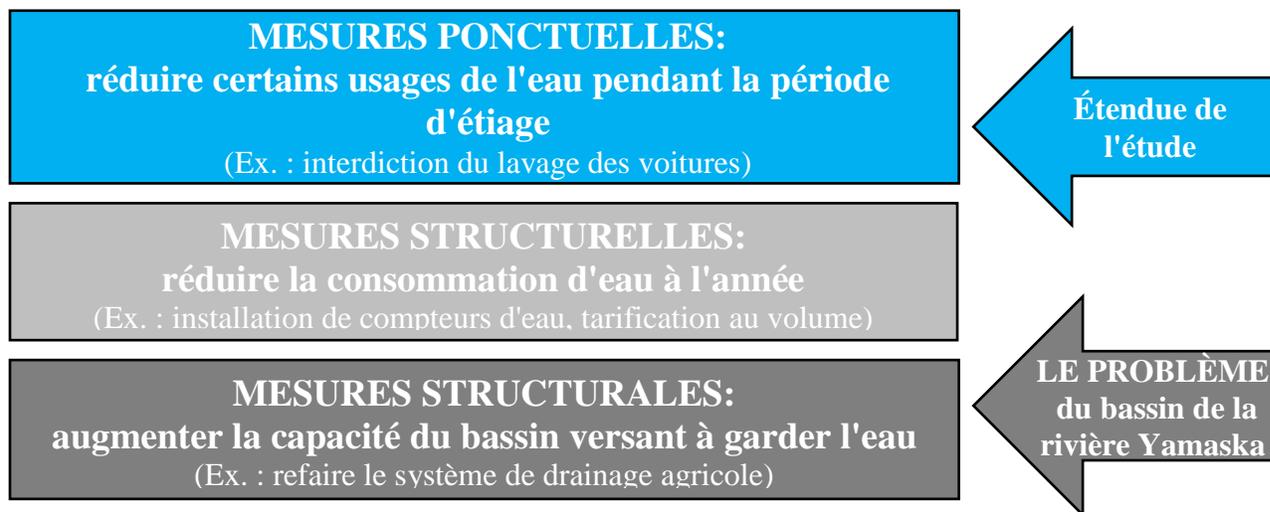
Il ressort de l'analyse que les bénéfices associés à des mesures de restriction de la consommation d'eau résidentielle, communautaire, agricole et industrielle, dans leur état actuel, ne sont pas suffisants pour justifier les coûts impliqués. Cependant, les étiages actuels affectent réellement les usages environnementaux, récréatifs et les usines de traitement de l'eau potable. Les mesures de restrictions devraient donc être modifiées de façon à améliorer les bénéfices et à diminuer les coûts. Des mesures ponctuelles plus sévères ou plus efficaces sont difficilement envisageables compte tenu que le niveau d'alerte de crise interdit déjà plusieurs des usages. Il serait donc approprié de considérer des mesures structurelles, sur le long terme, permettant de diminuer la consommation d'eau des municipalités tout au long de l'année et non seulement en période de crise.

Il ressort des discussions avec les municipalités et le forum d'usagers que le problème de fond lié à l'approvisionnement en eau de surface dans le bassin versant de la rivière Yamaska est que les caractéristiques naturelles de ce dernier lui confèrent une relativement faible capacité à retenir l'eau à l'intérieur de son réseau hydrographique. Plus précisément, il comporte peu de zones de rétention, comme des lacs ou de zones de tampon hydrologique comme des milieux humides. S'ajoutent de plus à ces caractéristiques naturelles, l'influence de systèmes artificiels de drainage, agricoles et urbains, qui font en sorte d'accroître la capacité d'évacuation du bassin versant. Il faut, par contre, mentionner la présence d'ouvrages de rétention artificiels, tel que le réservoir Choinière et quelques autres de moindre ampleur. Le rôle premier du réservoir est d'ailleurs précisément le soutien d'un débit minimum en étiage, destiné à supporter l'approvisionnement en eau de la ville de Granby.

En parallèle aux mesures qui font augmenter la capacité du bassin versant à retenir l'eau, des mesures de diminution des besoins en eau sont nécessaires pour assurer une résilience des communautés face aux périodes d'étiage. Il s'agit de mesures telles l'installation de compteurs d'eau, la tarification au volume, des programmes de détection et réparation des fuites etc.

La Figure 13 résume les trois catégories de mesures qui peuvent faire diminuer l'impact des étiages sur les utilisateurs d'eau d'un bassin versant.

Figure 13 : Les mesures qui peuvent faire diminuer l'impact des étiages sur les utilisateurs d'eau



Conclusions

Les résultats de cette étude montrent que les mesures de diminution de la consommation d'eau sont efficaces principalement quand la rivière atteint les plus bas niveaux, comme le niveau de crise et d'alerte renforcée, et seulement dans le cas de Cowansville. Par exemple, lors de l'étiage fort de 2001, de telles mesures auraient évité à 100 % les situations où le débit de la rivière était plus bas que le niveau de crise. Par contre, l'impact des mesures diminue dans la situation future à cause d'une diminution des débits minimums des rivières et donc d'une augmentation de l'économie d'eau nécessaire pour passer au niveau d'alerte supérieur.

À Saint-Hyacinthe et Farnham, l'effet des mesures du système d'alerte est faible en ce sens que le nombre de jours où la rivière est en bas des niveaux d'alerte diminue de seulement un à deux jours par rapport à la situation sans système d'alerte et cela tant dans la situation actuelle que pour le futur. Cette analyse n'a pas été réalisée pour Bromont et Granby parce que le débit de la rivière à ces endroits est directement influencé par la gestion des barrages qui se trouvent en amont (le lac Brome et le réservoir Choinière). Les règles de gestion de ces réservoirs changeront dans le futur à cause des changements climatiques. Il n'est donc pas possible d'évaluer les débits dans le futur pour ces deux municipalités sans réévaluer les règles de gestion pour le futur. Par contre, l'Université de Sherbrooke est présentement en train d'étudier les règles de gestion du réservoir Choinière et Bromont pour un contexte de changement climatique, ce qui fait que des simulations pour Bromont et Granby seront probablement disponibles dans quelques années (Côté et Leconte, 2012).

Si l'efficacité des mesures du système d'alerte est réelle dans les cas les plus problématiques comme celui de Cowansville, son efficience ne l'est pas dans le contexte concret de la rivière Yamaska. Plus précisément, les coûts imposés aux industries et aux résidences par les mesures du système d'alerte dépassent largement la valeur monétaire des améliorations de l'écosystème aquatique et des activités récréatives, tant pour le présent que pour le futur. Par exemple, dans le cas d'un épisode d'étiage fort, tel qu'enregistré en 2011 à Cowansville et en 1999 à St-Hyacinthe et Farnham, les coûts s'élèvent à presque 3 millions \$, tandis que les bénéfices s'élèvent à seulement 0,05 millions \$ et cela pour l'ensemble des municipalités de Cowansville, Farnham et Saint-Hyacinthe. Les résultats sont similaires pour le futur.

En même temps, il est important de mentionner que les bénéfices du système d'alerte liés à l'amélioration de la qualité de l'eau ne sont pas comptabilisés, ce qui fait que les bénéfices totaux sont probablement sous-estimés. Par conséquent, la prise en compte des bénéfices liés à l'amélioration de la qualité de l'eau pourrait changer la conclusion sur l'efficience du système d'alerte aux étiages. Cette conclusion pourrait également changer si l'analyse est réalisée uniquement pour les débits très bas de la rivière, comme les niveaux « alerte renforcée » et « crise ». Malheureusement cette analyse n'a pas pu être réalisée à cause du manque d'information sur les coûts et les bénéfices par niveau de débit.

Cette analyse suggère également que, dans le cas concret de la rivière Yamaska, d'autres mesures devraient être considérées pour améliorer l'impact des étiages sur les utilisateurs d'eau dans la rivière comme les pêcheurs, les kayakistes ou l'écosystème aquatique. Le problème de fond de l'approvisionnement en eau du bassin versant de la rivière Yamaska est sa capacité à retenir l'eau à l'intérieur du bassin car il y a très peu de zones tampons comme des barrages ou des milieux humides. C'est ce qui ressort des discussions avec les municipalités et avec d'autres intervenants du milieu. Par conséquent, les mesures les plus efficaces pour éviter des problèmes d'étiage sévères pour le futur semblent être les mesures structurales telles la réfection du système de drainage agricole ou l'augmentation de la superficie des milieux humides. De telles mesures sont également proposées par Côté et Leconte (2012). Il faudrait, par contre, vérifier si les mesures structurales sont également efficaces, c'est-à-dire si leurs bénéfices sont plus élevés que leurs coûts.

Pistes de recherche

La présente étude constate un manque d'information en lien avec les étiages au Québec et ailleurs dans le monde. Plusieurs sujets restent peu documentés, comme l'impact des étiages sur la qualité de l'eau, sur les écosystèmes aquatiques et sur les usages récréotouristiques. Cette section présente plusieurs sujets qui méritent d'être approfondis pour mieux comprendre et prévenir les impacts des étiages.

1. Mieux documenter les impacts des étiages sur l'écosystème aquatique.

Au Québec, il y a très peu de documentation sur la façon dont les étiages affectent la faune et la flore des rivières. Les quelques études qui existent (Lavoie *et al.* (2003), Souchon *et al.* (1996), Falke *et al.* (2010)) ne permettent pas de tirer des conclusions pouvant être utilisées par la suite pour une évaluation économique des impacts des étiages sur l'écosystème.

2. Mieux documenter les impacts des étiages sur la qualité de l'eau.

La majorité des coûts estimés dans cette étude sont dus à la diminution de la quantité d'eau disponible pendant la période d'étiage. Par contre, la qualité de l'eau est également affectée en période d'étiage, ce qui affecte certains usages comme la baignade, les activités nautiques et l'eau potable. Pour inclure ces coûts dans l'analyse, une meilleure documentation des impacts des étiages sur la qualité de l'eau est nécessaire.

3. Estimer la valeur monétaire des impacts des étiages sur l'écosystème aquatique, par débit d'alerte.

Il existe quelques études aux États-Unis et en Europe sur la valeur que les ménages accordent à une amélioration des écosystèmes aquatiques suite à la mise en place de mesures d'économie d'eau. De telles études n'existent pas au Canada. Or, même les études existantes ne mesurent pas les effets des étiages par niveau de débit, ce qui rend plus difficile l'analyse des impacts des étiages en fonction de leur sévérité.

4. Estimer la perte d'utilité des ménages engendrée par les restrictions d'utilisation de l'eau potable, par débit d'alerte.

Le présent document utilise les résultats d'une étude récente réalisée en Espagne (Ortega *et al.* 2011) à ce sujet. Il serait toutefois utile d'avoir des chiffres spécifiques au Québec variant en fonction de la durée des périodes d'étiage et du débit de la rivière. Comme le fait l'étude Ortega *et al.* 2011, l'estimation de la perte d'utilité des ménages engendrée par des restrictions d'utilisation de l'eau potable peut être réalisée en même temps que l'estimation de la valeur que ces ménages accordent au rétablissement de l'écosystème aquatique.

5. Estimer la valeur monétaire des impacts des étiages sur les activités récréatives, par débit d'alerte.

Comme dans le cas des écosystèmes aquatiques, il n'y a pas d'études au Canada quant à l'impact des étiages sur les activités récréatives. Il y en a quelques-unes aux États-Unis et en Europe. Mais d'après nos connaissances, seulement une de ces études estime les impacts des étiages par niveau de débit (Daubert et Young, 1981).

6. Mieux documenter l'impact des restrictions d'eau sur la rentabilité des entreprises.

L'impact des étiages sur les revenus des entreprises a été estimé à l'aide d'un modèle théorique (Brozovic et al. 2007) conçu pour les événements d'interruption d'eau suite aux tremblements de terre. Les résultats devraient être validés par un sondage au niveau des entreprises.

7. Analyser les bénéfices et les coûts des mesures structurales

Puisque le problème de fond de l'approvisionnement en eau du bassin versant de la rivière Yamaska est sa capacité à retenir l'eau à l'intérieur du bassin, il se peut que les mesures structurales, comme la mise en place de plus de barrages et de milieux humides, soient des mesures efficaces. Par contre, il faudrait vérifier si ces mesures sont également justifiées économiquement, c'est-à-dire si leurs bénéfices sont plus grands que leurs coûts. Les impacts environnementaux associés à l'implantation d'ouvrages de retenue devraient être inclus, entre autres, dans les coûts associés à ces mesures.

8. Estimer les prélèvements d'eau futurs.

L'étude considère que les prélèvements d'eau potable restent constants dans le temps. Par contre, il est fort probable que certains usages augmentent leurs besoins d'eau dans le futur, à cause de l'effet des changements climatiques ou de l'augmentation de la population. Une estimation des besoins d'eau futurs améliorerait les résultats de cette étude.

9. Changer l'impact linéaire de la durée des étiages sur les coûts.

L'étude considère que la durée des périodes d'étiage a un effet linéaire sur les coûts (sauf pour les industries). Plus précisément, le coût associé à 10 jours d'étiage continu est égale au coût d'un seul jour multiplié par 10. Par contre, il est fort probable que l'impact soit plutôt exponentiel dans certains cas, comme les écosystèmes aquatiques.

Bibliographie

- Barakat & Chamberlin. 1994. The Value of Water Supply Reliability : Results of a contingent Valuation Survey of Residential Customers. Étude réalisée pour California Urban Water Agencies. [En ligne] <http://www.cuwa.org/pubs/TheValueofWaterSupplyReliability.pdf>
- Belzile, L., Bérubé, P., Hoang, V.D. et Leclerc M.. 1997. Méthode écohydrologique de détermination des débits réservés pour la protection des habitats du poisson dans les rivières du Québec. Rapport présenté par l'WRS-Eau et le Groupe-conseil Génivar inc. au ministère de l'Environnement et de la Faune et à Pêches et Océans Canada. 83 p. + 8 annexes
- Berrens, R.P., Ganderton, P. et Silva, C.L. 1996. Valuing the Protection of Minimum Instream Flows in New Mexico. *Journal of Agricultural and Resource Economics*. 21(2):294-309.
- Berryman, D., 2008. État de l'écosystème aquatique du bassin versant de la rivière Yamaska: faits saillants 2004- 2006. Québec, ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, Direction du suivi de l'état de l'environnement, ISBN 978-2-550-53592-8 (PDF), 22 p.
- Bousquet, S., Gaume, E. et Lancelot, B., 2003. Évaluation des enjeux socio-économiques liés aux étiages de la Seine. *La Houille Blanche*, 2003 (3), 145-149.
- Brennan, D., Tapsuwan, S. et Ingram, G. 2007. The welfare costs of urban outdoor water restrictions. *Australian Journal of Agricultural and Resource Economics*. Volume 51, No. 3, pages 243–261, Septembre 2007.
- Brown, T.C. et Duffield., J.W. 1995. Testing part-whole valuation effects in contingent valuation of instream flow protection. *Water Resources Research*, vol. 31, no. 9, p. 2341-2351.
- Brozovic, N., Sunding D. L. et Zilberman, D. 2007. Estimating business and residential water supply interruption losses from catastrophic events. *Water Resources Research*. Vol. 43, W08423, 14 PP., 2007 doi:10.1029/2005WR004782.
- Centre d'expertise hydrique du Québec (CEHQ). 2005. Glossaire. [En ligne] <http://www.cehq.gouv.qc.ca/glossaire.htm#d>
- Centre d'expertise hydrique du Québec (CEHQ). 2011. Historique des niveaux et des débits de différentes stations hydrométriques. Les régions hydrographiques. [En ligne] http://www.cehq.gouv.qc.ca/hydrometrie/historique_donnees/default.asp#Nouvelle
- Chang, S.E., Svekla, W.D. et Shinozuka, M. 2002. Linking infrastructure and urban economy: simulation of water-disruption impacts in earthquakes. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 29:281–301.
- Conseil de gestion du bassin versant de la Yamaska (COGEBY) 2010. Portrait du bassin versant de la Yamaska 2007. Mise à jour, juin 2010. Plan directeur de l'eau (PDE) du bassin versant de la rivière Yamaska. 227 p. [En ligne] <http://www.obv-yamaska.qc.ca/portrait>
- Côté, B. et Leconte, R. 2012. Prototype d'un système d'alerte aux faibles débits et aux prélèvements excessifs dans le bassin versant de la rivière Yamaska, Département de génie civil, Université de Sherbrooke. Rapport produit pour le consortium OURANOS.
- Côté, P.-A. 2005. Guide d'exploitation des piscines et autres bassins artificiels. Ministère du développement durable, de l'environnement et des parcs du Québec. 120 p. [En ligne] <http://www.mddep.gouv.qc.ca/eau/piscine/guide-exploitation.pdf>
- Daubert, J.T. et Young, R.A. 1981. Recreational Demands for Maintaining Instream Flows: AContingent Valuation Approach. *American Journal of Agricultural Economics*, Vol. 63, No. 4 (Nov., 1981), pp. 666-676.
- Delisle, F., Gariépy, S., et Bédard, Y., 1998. Bassin versant de la rivière Yamaska : l'activité agricole et ses effets sur la qualité de l'eau. Ministère de l'Environnement et de la Faune et Saint-Laurent 2000, 124 pages.

- Dupont, D. 2003. CVM Embedding Effects When There Are Active, Potentially Active and Passive Users of Environmental Goods. *Environmental & Resource Economics*, 25(3): 319-341.
- Falke, J.A., Bestgen, K. R. et Fausch, K.D., 2010. Streamflow Reductions and Habitat Drying Affect Growth, Survival, and Recruitment of Brassy Minnow across a Great Plains Riverscape. *Transactions of the American Fisheries Society*, 139 (5), 1566-1583.
- Gangbazo, G., Roy, J. et Le Page, A., 2005. Capacité de support des activités agricoles par les rivières : le cas du phosphore total. MDDEP, Direction des politiques en milieu terrestre. 28 pages.
- Grafton, R. Q. et Ward M. B. 2008. Prices versus Rationing: Marshallian Surplus and Mandatory Water Restrictions. *The Economic Record*. Vol. 84, special issue, September, S57-S65.
- Griffin, R.C. et Mjelde, J.W. 2000. Valuing Water Supply Reliability. *American Journal of Agricultural Economics*, Vol. 82, No. 2 (May, 2000), pp. 414-426.
- Groison, V., 2000. Profil du bassin versant de la rivière Yamaska. Conseil de gestion du bassin versant de la rivière Yamaska (COGEBY).
- Grossmann, M., Lienhoop N., Vögele S., Mutafoglu K, Koch H. Kaltofen M. et Dietrich, O. 2009. Economic assessment of risk associated with low flows in the Elbe River Basin: an integrated economic-hydrologic modelling approach. [En ligne] http://www.glowa-elbe.de/pdf/schlussbericht_glowa/Arbeitspapiere/grossmann.pdf
- Harpman, D., Sparling, E.W. et Waddle, T.J. 1993. A Methodology for Quantifying and Valuing the Impacts of Flow Changes on a Fishery. *Water Resources Research*, vol. 29, no. 3, p. 575-582.
- Honey-Roses, J. 2008. Estimating the Social Benefits of Protecting Minimum Instream Flows in a Mediterranean watershed. The case of the Ter river Catalonia (NE Spain). Étude réalisée pour Agencia Catalana de l'Aigua.
- Institut de la statistique du Québec (ISQ). 2012. Perspectives démographiques. Les municipalités, 2009-2024. [En ligne] http://www.stat.gouv.qc.ca/donstat/societe/demographie/persp_popl/index.htm
- Institut de la statistique du Québec (ISQ). 2011. Statistiques principales du secteur de la fabrication, pour l'activité manufacturière, par région administrative et sous-secteur du SCIAN, Québec, 2009. [En ligne] http://www.stat.gouv.qc.ca/donstat/econm_finnc/sectr_manfc/profil_secteur/ra_2009_scian3_actman.htm
- Institut de la statistique du Québec. 2006. Enquête québécoise sur les activités physiques, sportives et de loisir. Rapport d'enquête. Tome 1. [En ligne] http://www.stat.gouv.qc.ca/publications/sante/pdf2007/rappEQAPSL_tome1.pdf
- International Carwash Association. 2002. Water use in the professional car wash industry. 48 p.
- Jacques, L., Noiseux, M., St-Amour, M., Milord, F., Tremblay, C., Brault, N. et Mercier, M., 2004. Les maladies entériques et la qualité de l'eau des bassins hydrographiques de la Montérégie. Direction de la santé publique, région régionale de la santé et des services sociaux de la Montérégie, 124 p. + annexes.
- Lavoie, I., Warwick, F.V., Reinhard, P. et Painchaud, J., 2003. Effet du débit sur la dynamique temporelle des algues péiphytiques dans une rivière influencées par les activités agricoles. *Revue des sciences de l'eau*, 16 (1), 55-77.
- Ministère des Pêches et des Océans du Canada (MPO). 2009. L'enquête de 2005 sur la pêche récréative au Canada. [En ligne] <http://www.dfo-mpo.gc.ca/stats/rec/can/2005/section4-fra.htm>
- Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs (MDDEP), 2000. Portrait régional de l'eau, Montérégie (région administrative 16). Consultation publique sur la gestion de l'eau au Québec [En ligne] <http://www.mddep.gouv.qc.ca/eau/regions/region16/16-monteregie.htm>
- Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs (MDDEP), 2010. Liste des plages admissibles pour la région administrative de la Montérégie. [En ligne] http://www.mddep.gouv.qc.ca/regions/region_16/liste_plage16.asp
- Ministère de l'Environnement du Gouvernement du Québec, 1989. Carte des usages liés à l'eau dans le bassin de la rivière Yamaska. 1 p.

- Ministère de l'Environnement du Gouvernement du Québec, 1999. Le bassin de la rivière Yamaska : l'état de l'écosystème aquatique – 1998. Direction des écosystèmes aquatiques.
- Ministère des Ressources naturelles et de la Faune. 2007. La faune et la nature, ça compte! Le tourisme lié à la pêche sportive : une contribution significative à l'économie régionale. [En ligne] <http://www.mrmf.gouv.qc.ca/publications/faune/statistiques/tourisme-peche.pdf>
- Ortega, J. M., Giannoccaro, G. et Berbel J. 2011. Environmental and Resource Costs Under Water Scarcity Conditions: An Estimation in the Context of the European Water Framework Directive. *Water Resources Management*. 25:1615–1633. Doi 10.1007/s11269-010-9764-z.
- Souchon, Y, Philippe, M., Maridet, L., Cohen, P et Wasson, J.G., 1996. Rôle et impacts des étiages dans les cours d'eau : Les sécheresses menacent-elles les communautés animales des cours d'eau? Cemagref et Ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement de la France. 83 p.
- Statistiques Canada, 2011. Tableau 180-0003 Statistiques financières et fiscales des entreprises, selon le Système de classification des industries de l'Amérique du Nord (SCIAN), annuel (dollars sauf indication contraire).
- Statistiques Canada, 2009. Tableau 1 Nombre et pourcentage d'exploitations agricoles qui ont irrigué leurs cultures en 2005. [En ligne] <http://www.statcan.gc.ca/pub/16-002-x/2009003/tbl/water-eau/tbl001-fra.htm>
- Statistiques Canada, 2007. Recensement de l'agriculture de 2006. Tableau 4.12-1 Irrigation selon l'année civile précédant le recensement. [En ligne] <http://www.statcan.gc.ca/pub/95-629-x/4/4182483-fra.htm>
- Statistiques Canada, 2006. Recensement de la population de 2006. Produit no 97-554-XCB2006047.
- Université de Sherbrooke. 2011. Perspective du monde. Outil pédagogique des grandes tendances mondiales depuis 1945. [En ligne] <http://perspective.usherbrooke.ca/bilan/servlet/BilanEssai?codetheme=2&codeStat=PA.NUS.FCRF&grandesRegions=0&anneeStat1=1978&codeStat2=x&mode=carte&afficheNom=aucun&langue=fr>
- Ville de Granby. 2011. Patrouille verte. [En ligne] <http://www.ville.granby.qc.ca/webconcepteur/web/VilledGranby/fr/vie/nav/campagne/Patrouille.html>
- Ville de Saint-Hyacinthe. 2002?. Économie de l'eau potable. Usine de filtration Ville de Saint-Hyacinthe. [En ligne] http://www.ville.st-hyacinthe.qc.ca/medias/pdf/services/gestion_eau/Economie_eau.pdf
- Wheeler, K. et Nauright, J. 2006. A global perspective on the environmental impact of golf. *Sport in Society*, 9(3), 427-443.
- Willis, K. G. et Garrod, G. D. 1999. Angling and recreation values of low-flow alleviation in rivers. *Journal of Environmental Management* (1999) 57, 71–83.

Annexe 1 : Estimation des coûts associés aux impacts des étiages sur la pêche

Estimation de la proportion des pêcheurs dans l'ensemble de la population de Montérégie

MONTÉRÉGIE	Adeptes locaux	Visiteurs québécois	Visiteurs étrangers	Total
Nombre de pêcheurs en 2 000*	47 376	18 156	528	66 060
Population en 2001**	1 313 194			
% des pêcheurs	3,61 %	1,38 %	0,04 %	5,03 %

Sources : *MRNF (2007); ** Recensement 2001

Estimation du nombre de jours de pêche perdus à cause des étiages forts, pour la municipalité de Cowansville

Jours sans pluie parmi les jours de repos*	A	49 jours
Année SANS étiages		
Nb. de jours en dessous du débit "ALERTE RENFORCÉE", pendant les jours de repos**	B	0 jours
Jours potentiels de pêche - année sans étiage fort	C=A-B	49 jours
Nombre de jours de pêche par pêcheur en 2006, au Québec***	D	13,7 jours/pêcheur
Part des jours de pêche dans l'ensemble des jours de repos	E=D/C	28 %
2001 année AVEC étiages forts		
Nb. de jours en dessous du débit "ALERTE RENFORCÉE", pendant les jours de repos**	F	16 jours
Jours potentiels de pêche - année avec étiage fort	G=A-F	33 jours
Nombre de jours de pêche par pêcheur en 2001	H=E* G	9,2 jours/pêcheur
Perte de jours de pêche à cause des étiages	I=D-H	4,5 jours/pêcheur

Sources :

* Estimés à partir des données climatologiques d'Environnement Canada, l'hypothèse que les jours de repos sont les fins de semaine et les deux premières semaines de juillet et l'hypothèse qu'une journée sans pluie est une journée où il y a maximum 5 mm de pluie.

**Estimés à partir des débits journaliers des rivières, publiés sur le site internet du Centre d'expertise hydrique du Québec (CEHQ) et les débits « alerte renforcée ».

***MPO (2009) (Annexe A.5).

**Estimation du nombre de jours de pêche perdus en moyenne à chaque année
à cause des étiages, pour la municipalité de Cowansville**

Jours sans pluie parmi les jours de repos*	A	49 jours
Année SANS étiages		
Nb. de jours en dessous du débit "ALERTE RENFORCÉE", pendant les jours de repos**	B	0 jours
Jours potentiels de pêche - année sans étiage fort	C=A-B	49 jours
Nombre de jours de pêche par pêcheur en 2006, au Québec***	D	13,7 jours/pêcheur
Part des jours de pêche dans l'ensemble des jours de repos	E=D/C	28 %
Moyenne annuelle (de 1979 à 2010)		
Part du nombre de jours en dessous du niveau "ALERTE RENFORCÉE" pendant les vacances dans le nombre de jours total en dessous du niveau "ALERTE RENFORCÉE" (estimé pour l'année d'étiage fort)	F	30 %
Nb. de jours en dessous du niveau "ALERTE RENFORCÉE" (moyenne annuelle de 1979 à 2010)	G	12 jours
Nb. de jours en dessous du niveau "ALERTE RENFORCÉE", pendant les jours de vacances	H = G*F	4 jours
Jours potentiels de pêche – par année, sur 20 ans	I=A-H	46 jours
Nombre de jours de pêche par pêcheur en 2001	J=E*I	12,7 jours/pêcheur
Perte de jours de pêche à cause des étiages	K=D-J	1,0 jours/pêcheur

Sources :

* Estimés à partir des données climatologiques d'Environnement Canada, l'hypothèse que les jours de repos sont les fins de semaine et les deux premières semaines de juillet et l'hypothèse qu'une journée sans pluie est une journée où il y a maximum 5 mm de pluie.

**Estimés à partir des débits journaliers des rivières, publiés sur le site internet du Centre d'expertise hydrique du Québec (CEHQ) et les débits « alerte renforcée ».

***MPO (2009) (Annexe A.5).

Annexe 2 : Estimation des coûts associés aux impacts des étiages sur les activités nautiques

Estimation du nombre de jours d'activités nautiques perdus à cause des étiages, pour la municipalité de Cowansville

Jours sans pluie parmi les jours de repos*	A	49 jours
Année SANS étiages		
Nb. de jours en dessous du niveau "ALERTE RENFORCÉE", pendant les jours de vacances**	B	0 jours
Jours potentiels de sports nautiques à rames	C=A-B	49 jours
Nombre de jours de sports nautiques à rames par personne en 2005***	D	3,2 jours/personne
Part des jours de sports nautiques à rames dans l'ensemble des jours de repos disponibles	E=D/C	7 %
2001 année AVEC étiages forts		
Nb. de jours en dessous du niveau "ALERTE RENFORCÉE", pendant les jours de repos**	F	16 jours
Jours potentiels de sports nautiques à rames	G=A-F	33 jours
Nombre de jours de sports nautiques à rames par personne en 2001	H=E* G	2,2 jours/personne
Perte de jours de sports nautiques à rames, à cause des étiages	I=D-H	1,0 jour/personne

Sources :

* Estimés à partir des données climatologiques d'Environnement Canada, l'hypothèse que les jours de repos sont les fins de semaine et les deux premières semaines de juillet et l'hypothèse qu'une journée sans pluie est une journée où il y a maximum 5 mm de pluie.

**Estimés à partir des débits journaliers des rivières, publiés sur le site internet du Centre d'expertise hydrique du Québec (CEHQ) et les débits « alerte renforcée ».

***ISQ (2006) et nos calculs (voir le schéma suivant).

Estimation du nombre de jours d'activités nautiques perdus en moyenne à chaque année à cause des étiages, pour la municipalité de Cowansville et sur un horizon de 20 ans

Jours sans pluie parmi les jours de repos*	A	49 jours
Année SANS étiages		
Nb. de jours en dessous du niveau "ALERTE RENFORCÉE", pendant les jours de vacances**	B	0 jours
Jours potentiels de sports nautiques à rames	C=A-B	49 jours
Nombre de jours de sports nautiques à rames par personne en 2005***	D	3,3 jours/personne
Part des jours de sports nautiques à rames dans l'ensemble des jours de repos disponibles	E=D/C	7 %
Moyenne annuelle sur 20 ans		
Part du nombre de jours en dessous du niveau "ALERTE RENFORCÉE" pendant les vacances dans le nombre de jours total en dessous du niveau "ALERTE RENFORCÉE" (estimé pour l'année d'étiage fort)	F	30 jours
Nb. de jours en dessous du niveau "ALERTE RENFORCÉE"	G	13
Nb. de jours en dessous du niveau "ALERTE RENFORCÉE", pendant les jours de vacances	H = G*F	4
Jours potentiels de sports nautiques à rames	G=A-F	45 jours
Nombre de jours de sports nautiques à rames par personne en 2001	H=E*G	3 jours/personne
Perte de jours de sports nautiques à rames, à cause des étiages	I=D-H	0,3 jours/personne

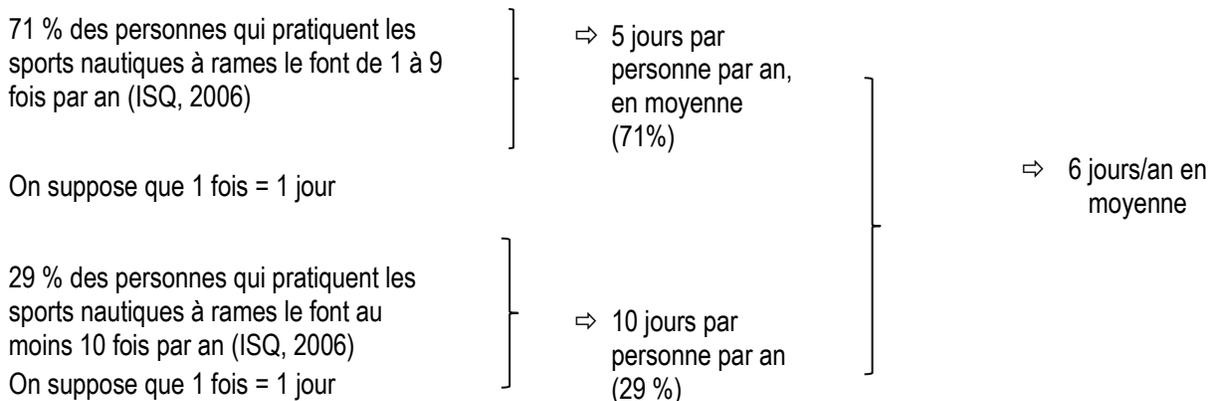
Sources :

* Estimés à partir des données climatologiques d'Environnement Canada, l'hypothèse que les jours de repos sont les fins de semaine et les deux premières semaines de juillet et l'hypothèse qu'une journée sans pluie est une journée où il y a maximum 5 mm de pluie.

**Estimés à partir des débits journaliers des rivières, publiés sur le site internet du Centre d'expertise hydrique du Québec (CEHQ) et les débits « alerte renforcée ».

***ISQ (2006) et nos calculs (voir le schéma suivant).

Estimation du nombre de jours de sports nautiques à rames par personne en 2005



% des jours passés sur les plans d'eau de la municipalité:	50 % (hypothèse)
Nb. de jours de sports nautiques à rames dans les plans d'eau locaux:	3 <u>jours/an</u> en moyenne

Annexe 3 : Estimation de la valeur d'une journée d'activités récréatives liées à l'eau dans le parc de la Yamaska

La valeur d'une journée d'activités récréatives liées à l'eau est estimée à l'aide de la méthode des coûts de transport (l'approche par zones) qui implique les étapes suivantes :

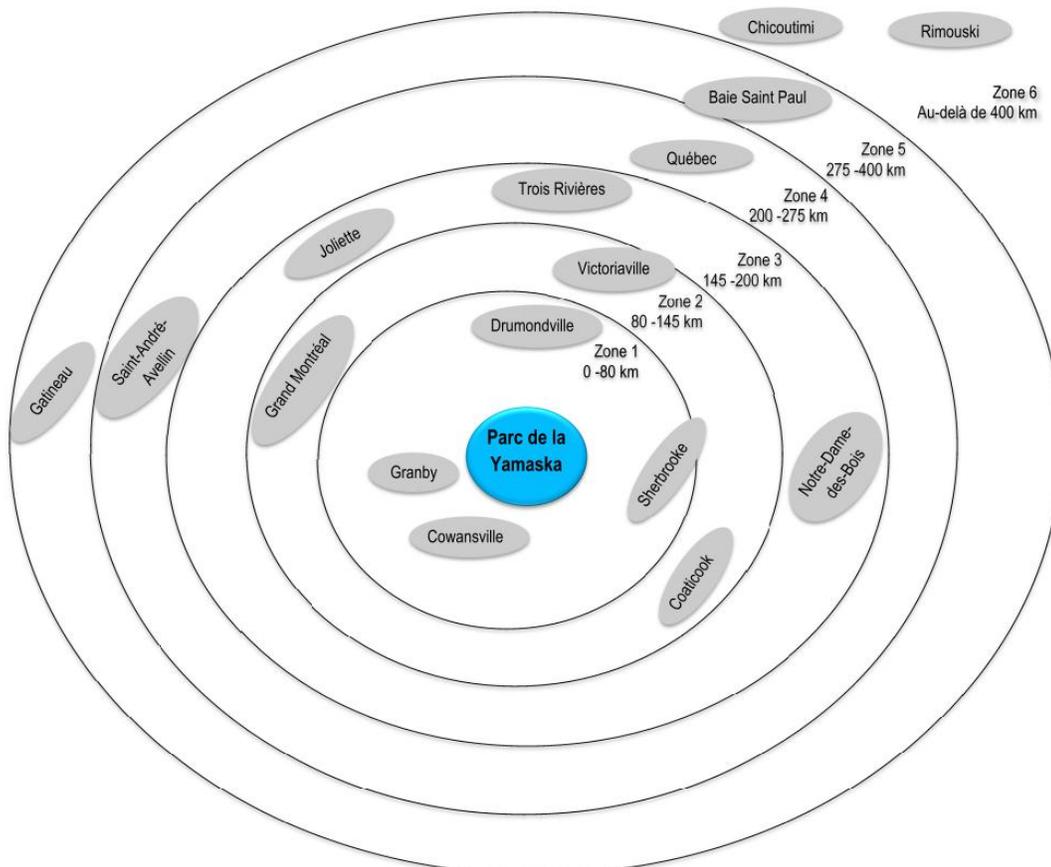
- 1) Estimation du coût de transport de la ville de résidence jusqu'au Parc de la Yamaska pour chaque ville de résidence des touristes.

Le coût de transport comprend les dépenses en essence et le coût d'opportunité du temps estimé au taux du salaire horaire moyen. La totalité du salaire horaire a été considéré comme étant un coût d'opportunité du temps car il s'agit de courts séjours d'environ 3 nuits, généralement réalisés en fin de semaine et en famille, dont la récurrence dépend beaucoup du temps passé pour arriver à destination. La perception de la longueur du trajet influence beaucoup la décision d'aller dans un parc plus proche ou plus éloigné.

- 2) Identification des zones qui engendrent des coûts semblables.

Six zones ont été identifiées en fonction du coût de transport jusqu'au parc de la Yamaska (voir la figure ci-dessous).

Les zones de transport identifiées pour estimer la valeur d'une journée passée dans le parc de la Yamaska



3) Estimation de la relation entre le nombre de visiteurs et le coût moyen du voyage par zone.

C'est une relation semi-logarithmique significative à 5 % :

$$\ln(\text{nb. visiteurs}) = 25,04698 - 0,0036732 * \text{coût}$$

Le tableau ci-dessous présente l'information à partir de laquelle l'équation précédente a été estimée. Il s'agit des coûts de transport moyens jusqu'au Parc de la Yamaska et du nombre moyen de réservations pour chacune des six zones identifiées.

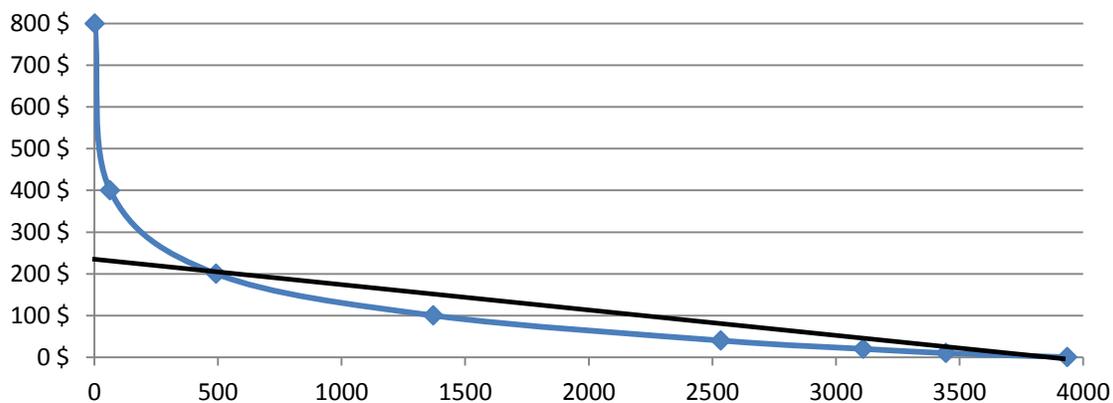
Coûts de transport moyens jusqu'au parc de la Yamaska et nombre de réservations, par zone

	Coût de transport moyen	Nombre de réservations (par 100 000 habitants)
Zone 1	32 \$	890
Zone 2	50 \$	2 371
Zone 3	74 \$	237
Zone 4	104 \$	330
Zone 5	138 \$	64
Zone 6	256 \$	44

4) Estimation de la courbe de demande

Plusieurs points de la courbe de demande sont estimés à partir de la relation obtenue à l'étape 3. Cette courbe de demande met en relation le nombre de visiteurs et la volonté de payer des visiteurs au-delà des dépenses engendrées pour visiter le parc.

Courbe de demande pour des activités récréatives dans le parc de la Yamaska



5) Estimation du surplus net du consommateur

Le surplus net des consommateurs est représenté par la superficie en-dessous de la courbe de demande. Pour la calculer, nous approximations cette superficie par celle d'un triangle. La droite qui approxime le mieux cette superficie coupe l'axe des Y à 225 \$ (voir la figure ci-dessus).

La formule utilisée est la suivante : $(225 \$ * 3\,936 \text{ réservations})/2 = 442\,800 \$$

Le surplus net par réservation : $442\,800 \$/3\,936 = 113 \$/\text{séjour}$

Le surplus net par jour : $113 \$/2,91 \text{ nuits/séjour} = 39 \$/\text{emplacement de camping}$

Le surplus net par jour et par personne adulte :

$39 \$/2 \text{ personnes adultes (hypothèse)} = 19 \$/\text{personne adulte}$

Annexe 4 : Données sur la consommation des ICI des municipalités à l'étude

Portrait de la consommation annuelle d'eau potable des municipalités à l'étude

	Consommation des ICI avec compteur	Consommation des ICI sans compteur	Consommation municipale	Consommation résidentielle	Purges en bout de ligne	Fuites	Total
Bromont (2011)	901 097 m ³	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	2 111 888 m ³
	43 %	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	10 – 15%	100 %
Cowansville (2010)	345 538 m ³	315 345 m ³	188 249 m ³	647 176 m ³	333 756 m ³	412 043 m ³ *	3 242 107 m ³
	10,7 %	9,8 %	5,8 %	50,8 %	10,3 %	12,7 %	100 %
Farnham (2008)	283 009 m ³	99 036 m ³	43 296 m ³	802 270 m ³	n.d.	325 010 m ³ **	1 552 621 m ³
	18 %	6 %	3 %	52 %	n.d.	21 %	100 %
Granby (2011)	2 246 900 m ³	997 903 m ³	20 000 m ³	5 820 000 m ³	2 000 m ³	2 215 000 m ³	11 301 803 m ³
	19,88 %	8,83 %	0,18 %	51,5 %	0,02 %	19,60 %	100 %
Saint-Hyacinthe (2010)	3 488 984 m ³		n.d.	7 131 016 m ³			10 620 000 m ³
	33 %		n.d.	67 %			100 %

Sources : Informations obtenues directement des cinq municipalités.

Notes : * Les fuites sont sous-estimée. Dans le cadre du programme d'économie d'eau potable, la municipalité de Cowansville s'est rendu compte que le pourcentage de fuite est beaucoup plus élevé que celui illustré au tableau. ** Dont 152 082 m³ une fuite exceptionnelle sur la rue Racine.

Les plus grands consommateurs d'eau de type ICI, leurs revenus estimés et leur consommation d'eau

Grand consommateur d'eau (secteur manufacturier) *	Biens/services produits	Revenus estimés **	Consommation annuelle (m³/an) *	Consommation des ICI avec compteur *	% des ICI considérés dans cette analyse dans l'ensemble des ICI avec compteurs C = A / B
			A	B	
Bromont		1 100 508 851 \$	664 240	901 097	74 %
IBM	Ordinateurs et composantes électroniques	793 444 497 \$	363 331		
Dalsa	Fabricant de semi-conducteurs	150 948 730 \$	194 590		
G.E.	Fabricant de moteurs d'avions et compresseurs	152 111 146 \$	87 319		
Devden	Chemicals and Chemical Preparations (various)	4 004 477 \$	19 000		
Cowansville		140 990 295 \$	163 957	345 538	47 %
Albany	Paper machine clothing (PMC)	108 863 376 \$	89 307		
Emballage Performant Inc	Pellicules et feuilles de plastiques	16 412 350 \$	35 633		
Peintures Pepin Ltée	Fabrication de produits de peinture et vente	7 508 394 \$	21 867		
Vinyle Kaytec Inc	Revêtements de plastique	8 206 175 \$	17 150		
Farnham		418 266 839 \$	122 423	283 009	43 %
Tarkett	Secteur manufacturier (recouvrement de plancher)	124 316 295 \$	43 030		
Place Farnham	Parc industriel	93 702 775 \$	27 903		
Meunerie Robitaille	Secteur agroalimentaire	124 047 573 \$	27 481		
Beaulieu Canada	Secteur manufacturier (tapis)	58 615 535 \$	23 583		
Harbour Industries	Secteur manufacturier (câbles industriels)	17 584 660 \$	426		

Grand consommateur d'eau (secteur manufacturier) *	Biens/services produits	Revenus estimés **	Consommation annuelle (m ³ /an) *	Consommation des ICI avec compteur *	% des ICI considérés dans cette analyse dans l'ensemble des ICI avec compteurs C = A / B
			A	B	
Granby		280 942 032 \$	1 819 300	2 246 900	81 %
Agropur	Fromages et poudre de lactosérum	74 428 544 \$	878 030		
Extrusion plastique micro	Produits en plastique extrudé -Profilés	9 378 486 \$	632 177		
Aliment Ultima	Yogourt et produits dérivé	156 299 943 \$	290 620		
Ezeflow Canada Inc	Fabricant de tuyaux et raccords	40 835 060 \$	18 473		
Saint-Hyacinthe		429 700 794 \$	1 690 205	3 488 984	48 %
4223942 Canada inc/SAPUTO	Industrie alimentaire	49 619 029 \$	638735	(tous les ICI, avec et sans compteur)	(% de tous les ICI, avec et sans compteur)
Olymel Sainte-Rosalie et Saint-Hyacinthe	Industrie alimentaire	297 217 986 \$	431897		
Agropur Cooperative	Industrie alimentaire	49 619 029 \$	196907		
Baxters Canada inc	Industrie alimentaire	4 961 903 \$	146905		
Produits de marque Liberté	Industrie alimentaire	2 480 951 \$	83050		
Barry Callebaut Canada	Industrie alimentaire	3 969 522 \$	76951		
Aliments Nutrisoya	Industrie alimentaire	8 435 235 \$	53284		
Maison de futailles SEC	Industrie alimentaire	4 961 903 \$	51530		
Vitoeuf	Industrie alimentaire	8 435 235 \$	10946		

Sources : * Les cinq municipalités; ** ISQ (2011) et nos calculs.

Annexe 5 : Eau économisée grâce aux mesures du système d'alerte aux étiages

Niveau d'alerte	Eau économisée (m ³ /jour)														
	Bromont			Cowansville			Farnham			Granby			Saint-Hyacinthe		
	Industries	Résidences	Usages communautaires	Industries	Résidences	Usages communautaires	Industries	Résidences	Usages communautaires	Industries	Résidences	Usages communautaires	Industries	Résidences	Usages communautaires
DOE	366	15	4 200	140	23	1 051	115	79	1 050	968	36	3 154	1 207	121	2 105
Alerte	549	45	8 400	211	64	2 101	173	91	2 100	1 451	58	6 304	1 811	183	4 205
Alerte renforcée	733	170	8 400	281	235	2 102	230	205	2 100	1 935	626	6 306	2 415	830	4 218
Crise	1 099	175	12 000	421	240	3 002	345	210	3 000	2 903	645	9 006	3 622	851	6 018

Annexe 6 : Mesures prévues par le système d'alerte aux étiages

Usage	Vigilance	DOE	Alerte	Alerte renforcée	Crise
UTILISATIONS RÉSIDENTIELLES	Sensibilisation (communiqué)				
Lavage des voitures		Jours pairs / impairs	Jours pairs / impairs et interdit de 8h à 20h	Interdit	Interdit
Arrosage des pelouses (sauf en cas de travaux paysagers où un permis est nécessaire)		Jours pairs / impairs et interdit de 8h à 20h	Jours pairs / impairs et interdit de 8h à 20h	Interdit	Interdit
Arrosage des potagers		Jours pairs / impairs	Jours pairs / impairs et interdit de 8h à 20h	Jours pairs / impairs et interdit de 8h à 20h	Interdit
Remplissage des piscines		Jours pairs / impairs	Jours pairs / impairs et interdit de 8h à 20h	Interdit	Interdit
Remplissage des plans d'eau artificiels		Jours pairs / impairs	Jours pairs / impairs et interdit de 8h à 20h	Interdit	Interdit
Nettoyage (à l'eau) des entrées privées		Interdit	Interdit	Interdit	Interdit
Nettoyage des façades et terrasses		Interdit (sauf en cas de travaux)	Interdit (sauf en cas de travaux)	Interdit	Interdit
*** Les mesures de restriction ne sont pas applicables si l'eau provient de réserves pluviales (barils d'eau de pluie)					
UTILISATIONS COMMUNAUTAIRES	Sensibilisation (communiqué)				
Lavage des voitures dans les lave-autos (sauf pour les véhicules d'urgences)		Permis dans les stations munies d'un système de recyclage	Permis dans les stations munies d'un système de recyclage	Interdit	Interdit
Arrosage des espaces verts publics		Interdit de 8h à 20h	Interdit de 8h à 20h	Interdit	Interdit
Arrosage des espaces sportifs		Interdit de 8h à 20h	Interdit de 8h à 20h	Interdit	Interdit
Arrosage des terrains de golfs		Interdit de 8h à 20h	Interdit (sauf pour les départs et les greens qui sont permis de 21h à 7h)	Interdit (sauf pour les greens qui sont permis de 21h à 7h)	Interdit
Alimentation des fontaines publiques (en circuit ouvert)		Interdit	Interdit	Interdit	Interdit
Lavage des rues et des trottoirs		Interdit (sauf en cas de travaux)	Interdit (sauf en cas de travaux)	Interdit	Interdit

Usage	Vigilance	DOE	Alerte	Alerte renforcée	Crise
Rinçage du réseau d'aqueduc		Interdit	Interdit	Interdit	Interdit
Remplissage des piscines publiques		Interdit de 8h à 20h	Interdit de 8h à 20h	Interdit	Interdit
Remplissage des pataugeoires		4 fois par semaine	2 fois par semaine	Interdit	Interdit
Aréna		X arrosages de la glace par semaine	X arrosages de la glace par semaine	Interdit	Interdit

Usage	Vigilance	DOE	Alerte	Alerte renforcée	Crise
UTILISATIONS INDUSTRIELLES	Sensibilisation (communiqué)				
Surveillance		Renforcer le contrôle du respect des autorisations de prélèvement	Renforcer le contrôle du respect des autorisations de prélèvement	Renforcer le contrôle du respect des autorisations de prélèvement	Renforcer le contrôle du respect des autorisations de prélèvement
Diminution		Diminution de 10 % au compteur	Diminution de 15 % au compteur	Diminution de 20 % au compteur	Incitation à une restriction de la production
UTILISATIONS AGRICOLES	Sensibilisation (communiqué)				
Surveillance		Renforcer le contrôle du respect des autorisations de prélèvement	Renforcer le contrôle du respect des autorisations de prélèvement	Renforcer le contrôle du respect des autorisations de prélèvement	Renforcer le contrôle du respect des autorisations de prélèvement
Grandes cultures :					
- Prélèvement dans les cours d'eau et dans leurs nappes d'accompagnement		Mise en place de tours d'eau (1 journée sur 2)	Mise en place de tours d'eau (1 journée sur 2) et interdiction de 8h à 20h	Mise en place de tours d'eau (1 journée sur 3) et interdiction de 8h à 20h	Interdit
- Prélèvement dans les nappes souterraines		Limitation de 15 %	Limitation de 30 %	Limitation de 50 %	Interdit
Irrigation par submersion		Interdit	Interdit	Interdit	Interdit
Cultures légumières et maraîchères en plein champ			Interdit de 10h à 17h	Interdit de 10h à 17h	Interdit de 8h à 20h
Cultures sous serres			Interdit de 10h à 17h	Interdit de 10h à 17h	Interdit de 8h à 20h
Cultures spécialisées			Interdit de 10h à 17h	Interdit de 10h à 17h	Interdit de 8h à 20h
Bassinage des semis			Interdit de 10h à 17h	Interdit de 10h à 17h	Interdit de 8h à 20h
Abreuvement des animaux		Accès interdit directement dans le lit des cours d'eau	Accès interdit directement dans le lit des cours d'eau	Accès interdit directement dans le lit des cours d'eau	Accès interdit directement dans le lit des cours d'eau
Réserves artificielles		Utiliser, si possible, de l'eau provenant de réserves artificielles			

Usage	Vigilance	DOE	Alerte	Alerte renforcée	Crise
UTILISATIONS DIVERSES					
Travaux en rivière				Interdiction de construction de batardeaux	Interdiction de construction de batardeaux
Stations d'épuration		Surveillance accrue des rejets	Surveillance accrue des rejets	Surveillance accrue des rejets	Surveillance accrue des rejets
Activités récréatives		Inciter les acteurs à avoir des pratiques respectueuses vis à vis du milieu aquatique particulièrement vulnérable.		Interdiction : Parcourir le lit des cours d'eau à pied, à cheval ou en véhicule à moteur	Interdiction : Parcourir le lit des cours d'eau à pied, à cheval ou en véhicule à moteur
Navigation				Arrêt de la navigation	Arrêt de la navigation
Protection contre les risques d'incendie				Interdiction de mises à feu d'herbes, de broussailles, de talus, d'ordures, etc.	Interdiction de mises à feu d'herbes, de broussailles, de talus, d'ordures, etc.