



CONSORTIUM SUR LA CLIMATOLOGIE RÉGIONALE
ET L'ADAPTATION AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES

www.ouranos.ca

Rapport final du projet
Adaptation et intercomparaison d'outils québécois et
bavarois de gestion intégrée de l'eau des bassins
versants dans un contexte de changements climatiques
(AQAGI, phase 2)

Numéro de dossier : 206

Date de présentation : 7 janvier 2011

Nom de la responsable du projet : Diane Chaumont

Collaborateurs : André Musy, Richard Turcotte, René Roy

Table des matières

1. Contexte et réalisation des objectifs du projet	1
2. Structure du projet et partage des responsabilités	2
A. Scénarios climatiques	3
B. Simulations hydrologiques	4
C. Analyses d'impacts des changements climatiques	5
D. Adaptation des ouvrages de gestion de l'eau	6
3. Missions de travail	7
4. Formation	7
5. Diffusion des résultats de la recherche et transfert des connaissances	7
Articles dans une publication avec comité de lecture	8
Exposés à l'occasion de conférence ou affiches	8
Autres (mémoires de maîtrise et séminaires)	8

Liste des figures

Figure 1 Schéma de la structure du projet et du partage des données entre les groupes de travail.	2
Figure 2 Évapotranspiration annuelle moyenne actuelle [1971-2000] (à gauche) et future [2041-2070] (à droite) simulée sur le bassin du Haut-Saint-François par les modèles hydrologiques Promet (en haut) et HSAMI (en bas)	5
Figure 3 Résultats de l'analyse d'impact des changements climatiques sur le Haut-Saint-François pour les indicateurs hydrologiques sélectionnés	6

Liste des tableaux

Tableau 1 Responsabilités des groupes de travail	2
Tableau 2 Échéancier de réalisation	3
Tableau 3 Mise en place des modèles hydrologiques par bassin versant	4
Tableau 4 Définition des indicateurs présentés sur la figure 3	6
Tableau 5 Stages effectués dans le cadre du projet	7
Tableau 6 Nombre de publications et conférences	7

1. Contexte et réalisation des objectifs du projet

Deux principaux objectifs ont été fixés dans le cadre du projet *Adaptation et intercomparaison d'outils québécois et bavarois de gestion intégrée de l'eau des bassins versants dans un contexte de changements climatiques (AQAGI, phase 2)*:

1. Renforcer la collaboration de recherche Québec/Bavière en changements climatiques appliquée à la gestion intégrée et multi-usage de l'eau par bassin versant.

L'équipe de chercheurs québécois a déployé sur les bassins bavarois les modèles hydrologiques couramment utilisés au Québec alors que l'équipe bavaroise a mis en place un modèle hydrologique hautement complexe sur un bassin-versant québécois. De plus, alors que l'équipe québécoise est responsable de la sélection et de la livraison des données climatiques futures, les universitaires bavarois contribuent un outil de mise à l'échelle statistique des données climatiques pour des applications hydrologiques.

Des échanges d'étudiants entre le Québec et la Bavière favorisent le transfert de connaissances et le partage d'expertise. Ainsi, nous avons accueilli quatre stagiaires / étudiants à la maîtrise ou au doctorat en provenance de l'équipe de recherche du partenaire de Munich au cours de la dernière année. En contrepartie, deux stagiaires des universités québécoises ont profité de stages offerts à Ludwig Maximilian University.

La collaboration a aussi permis de démarrer un projet de recherche (financé par le CRSNG et Ouranos sous la responsabilité de l'Université Laval et en partenariat avec LMU, CEHQ, HQ, Ouranos et le CEMAGREF en France) ciblé sur la sélection des modèles hydrologiques en fonction de la complexité requise pour bien représenter l'hydrologie d'un bassin versant en tenant compte d'un climat non stationnaire.

2. Étudier les options d'adaptation de la gestion de l'eau à l'échelle des bassins versants face aux changements climatiques.

Aux travaux techniques se sont ajoutées des activités d'échange et de collaborations entre les scientifiques et les gestionnaires de l'eau. Les quatre missions tenues dans le cadre du projet ont permis aux scientifiques et à des administrateurs (sous-ministres et directeurs généraux) de mettre en commun leur vision des enjeux liés à la gestion de l'eau face aux changements climatiques. Plusieurs grands enjeux liés aux changements climatiques et à la gestion de l'eau ont été abordés

Sur le plan technique, le deuxième volet a été affecté par la difficulté de valider les méthodes de mise à l'échelle. L'équipe de Bavière a développé un outil (SCALMET) pour interpoler/distribuer les données nécessaires mais sa validation sur les bassins québécois s'avère très limitée par la faible quantité de données disponibles. Cette contrainte demandera le développement de nouvelles méthodes pour valider les outils de mise à l'échelle pour les régions où les données d'observation sont peu nombreuses. Les deux équipes travaillent présentement à l'élaboration d'une méthodologie pour pallier le manque de données. Ce nouveau projet fera l'objet d'une nouvelle proposition de projet et de financement.

2. Structure du projet et partage des responsabilités

La **figure 1** présente la structure qui a été adoptée pour la réalisation du projet : quatre groupes de travail ont été formés, des chercheurs québécois et bavarois sont impliqués dans chacun des groupes qui ont la responsabilité de tâches spécifiques. Le partage des responsabilités entre les institutions participantes est présenté dans le **tableau 1**, l'échéancier de réalisation est donné dans le **tableau 2** selon des tâches plus détaillées qui sont expliquées subséquemment dans le texte.

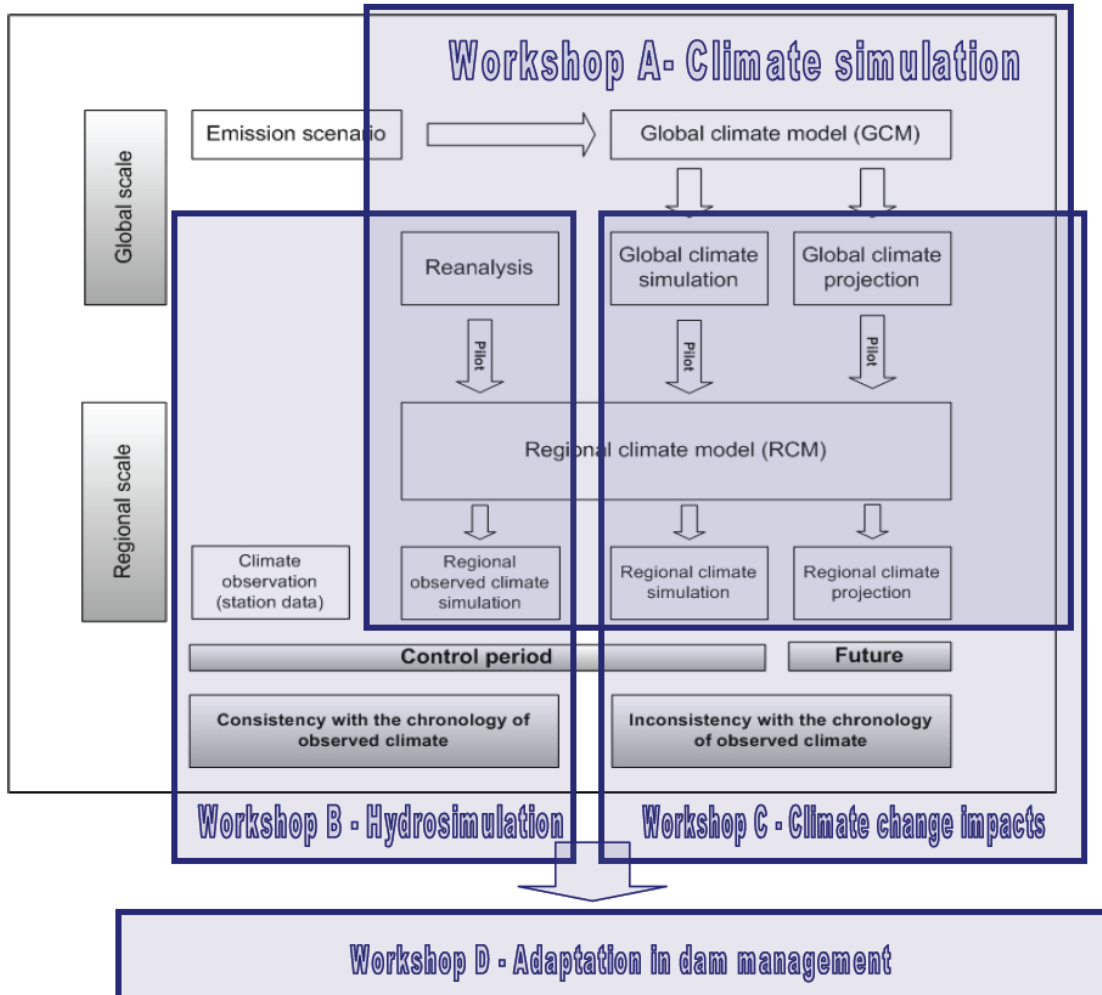


Figure 1 Schéma de la structure du projet et du partage des données entre les groupes de travail.

Tableau 1 Responsabilités des groupes de travail

	Ouranos	CEHQ	HQ	LMU	LFU
Scénarios climatiques (Groupe A)	X			X	
Simulations hydrologiques (Groupe B)		X	X	X	
Analyses d'impacts des changements climatiques (Groupe C)	X	X	X	X	X
Adaptation des ouvrages de gestion de l'eau (Groupe D)		X	X	X	

Tableau 2 Échéancier de réalisation

	Été 2009	Automne 2009	Hiver 2010	Printemps 2010	Été 2010	Automne 2010
A. Scénarios climatiques						
A.1 Analyse et sélection des simulations climatiques	X	X				
A.2 Post-traitement et livraison des données			X	X	X	
A.3 Mise à l'échelle statistique			X	X	X	X
B. Simulations hydrologiques						
B1. Calage et validation des modèles hydrologiques	X	X	X	X	X	
B2. Production des scénarios hydrologiques				X	X	X
B3. Définition des critères de comparaison			X	X		
C. Analyses d'impacts des changements climatiques						
C1. Conceptualisation du schéma d'analyse				X	X	
C2. Développement d'un outil commun				X	X	
C3. Analyse des résultats						X
D. Adaptation des ouvrages de gestion de l'eau						
D1. Partage des approches et de la vision de l'adaptation aux sCC		X		X		

Scénarios climatiques (Groupe A)

Les activités du Groupe de travail 1 concernent l'analyse des sorties de modèles climatiques disponibles sur les territoires québécois et bavarois, la sélection des simulations climatiques, le post-traitement des sorties de modèles afin de permettre leur utilisation par les modèles hydrologiques et la mise à l'échelle statistique avec l'outil SCALMET.

Les trois premières tâches ont été prises en charge par le personnel d'Ouranos appuyé par un étudiant-stagiaire bavarois qui a réalisé sa maîtrise dans le cadre du projet (Stroeder, 2010). Pour le Québec, les scénarios climatiques reposent sur les simulations produites à Ouranos avec le Modèle régional canadien de climat (MRCC), pour la Bavière, outre une simulation produite à l'aide du MRCC, nous avons mis à profit les données produites dans le cadre du projet européen ENSEMBLES. L'utilisation d'un total de douze simulations climatiques (comparativement à une dans la phase 1) permettra une analyse plus approfondie des incertitudes dans le signal de changement climatique et, par le fait même, les résultats de la phase actuelle pourront mieux appuyer la prise de décision dans le processus d'adaptation aux changements climatiques.

La mise à l'échelle statistique fut effectuée par un post-doctorant de LMU qui a aussi séjourné à Ouranos durant 3 mois. Alors que les premières étapes se sont déroulées normalement, la mise en œuvre de SCALMET a rencontré quelques problèmes notamment la difficulté de valider l'outil au Québec vue la rareté relative des stations d'observations. Afin de poursuivre vers la réalisation des objectifs, l'équipe du Québec a entrepris les étapes subséquentes avec les sorties de modèles climatiques régionaux sans mise à l'échelle statistique. D'autre part, les équipes bavaroises et québécoises travaillent présentement à l'élaboration d'une méthodologie pour l'application de SCALMET au Québec.

Simulations hydrologiques (Groupe B)

Le Groupe de travail B avait la responsabilité de la calibration et la validation des modèles hydrologiques sur les bassins versants du Québec et de la Bavière. Par la suite, les simulations hydrologiques ont été produites en utilisant les modèles hydrologiques forcés par les scénarios climatiques. Tel que présenté dans le **tableau 3**, les modèles hydrologiques des institutions québécoises (HSAMI et Hydrotel) et bavaroises (Promet et Wasim) ont été mis en place sur les bassins des deux provinces. Un ensemble de critères d'évaluation des modèles hydrologiques a été défini en accord entre les institutions impliquées; ces critères serviront de cadre d'analyse. Pour le Québec, l'accès à des simulations hydrologiques produites par un modèle hautement complexe tel Promet constitue une contribution scientifique importante de LMU, ceci permettant de couvrir une gamme plus variée de modèles hydrologiques et de vérifier ainsi les forces et les faiblesses des modèles hydrologiques utilisés dans les agences actives opérationnellement en gestion de l'eau au Québec.

L'échange de stagiaires entre les institutions a aidé à réaliser les travaux du Groupe de travail B tout en favorisant le partage d'expertises. Ainsi, 2 stagiaires de l'Université Ludwig Maximilian de Munich ont séjourné à Ouranos et au CEHQ durant 3 mois afin de mettre en place le modèle hydrologique Hydrotel sur le bassin de l'Isar, un de ces stages a fait l'objet d'une publication sous la forme d'un mémoire de maîtrise (Böcher, 2009). À l'inverse, LMU a accueilli une stagiaire du Québec pour travailler sur les simulations hydrologiques. Cette dernière est maintenant à l'emploi du CEHQ et contribue donc au transfert des connaissances acquises vers l'administration publique québécoise.

Tableau 3 Mise en place des modèles hydrologiques par bassin versant

Modèle hydrologique Bassins	Promet	Wasim	HSAMI	Hydrotel
Isar (Bavière)	X	X	X	X
Altmuehl (Bavière)	X	X	Non planifié	Non planifié
Gatineau (Québec)	X	Non planifié	X	X
Haut-St-François (Québec)	X	X	X	X

La **figure 2** présente un exemple de résultat sur la comparaison des modèles hydrologiques Promet et HSAMI en ce qui a trait à l'estimation des impacts des changements climatiques sur la moyenne annuelle de l'évapotranspiration dans le bassin de la Haut-Saint-François. Les simulations hydrologiques suggèrent toutes deux une hausse de l'évapotranspiration dans le futur, toutefois, une importante différence est obtenue dans la magnitude des valeurs simulées selon le modèle hydrologique.

Tel que mentionné précédemment, la collaboration a aussi permis de démarrer un projet de recherche (financé par le CRSNG et Ouranos sous la responsabilité de l'Université Laval et en partenariat avec LMU, CEHQ, HQ, Ouranos et le CEMAGREF en France) orienté vers la sélection des modèles hydrologiques en fonction de la complexité requise pour bien représenter l'hydrologie d'un bassin versant en tenant compte d'un climat non stationnaire. Ce projet se consacrera à quelques questions très ciblées soulevées lors de l'analyse des résultats d'AQAGI et une analyse plus approfondie sera possible.

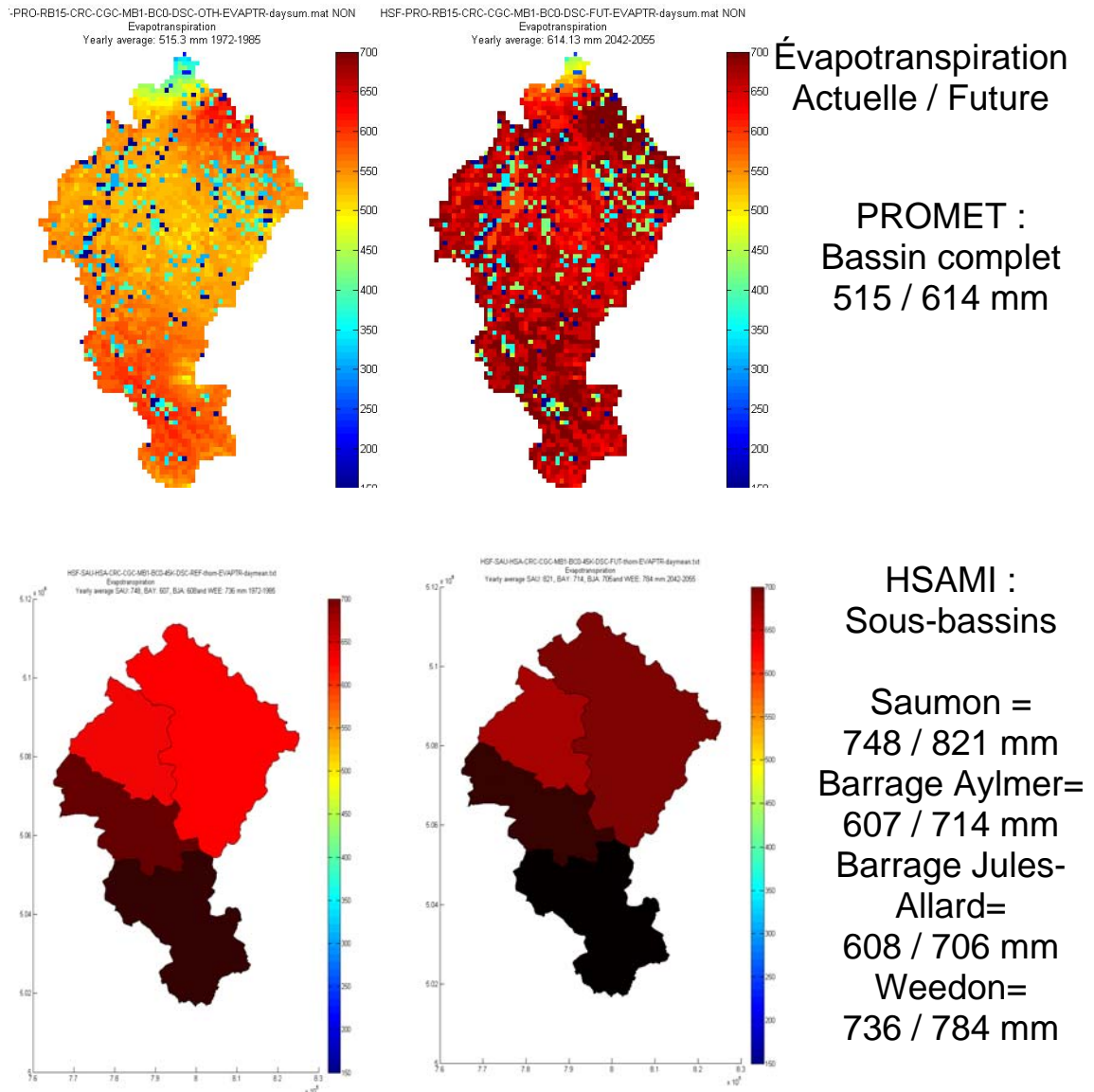


Figure 2 Évapotranspiration annuelle moyenne actuelle [1971-2000] (à gauche) et future [2041-2070] (à droite) simulée sur le bassin du Haut-Saint-François par les modèles hydrologiques Promet (en haut) et HSAMI (en bas).

Analyse d'impacts des changements climatiques (Groupe C)

Le Groupe de travail C est dédié au développement et à la réalisation du schéma d'analyse des impacts des changements climatiques sur les bassins versants d'intérêt. Une réalisation majeure de ce volet constitue l'outil informatique qui a été conceptualisé et développé par les institutions québécoises et bavaroises afin de permettre d'effectuer les analyses de façon similaire. Cette tâche a été facilitée par l'embauche d'un étudiant stagiaire en provenance du Québec qui a partagé son temps de travail entre le Québec (Ouranos) et la Bavière (LMU) sur un total de 4 mois. La **figure 3** présente un exemple de résultats obtenus par le Groupe de travail C. Pour les indicateurs hydrologiques retenus présentés en abscisse (voir la liste dans le **tableau 4**), nous notons une aggravation des étiages d'été (indicateur 2), le changement des crues de récurrence 2, 20 et 100 ans est plutôt incertain alors que les écoulements mensuels sont modifiés avec une hausse des débits hivernaux et une baisse des débits estivaux.

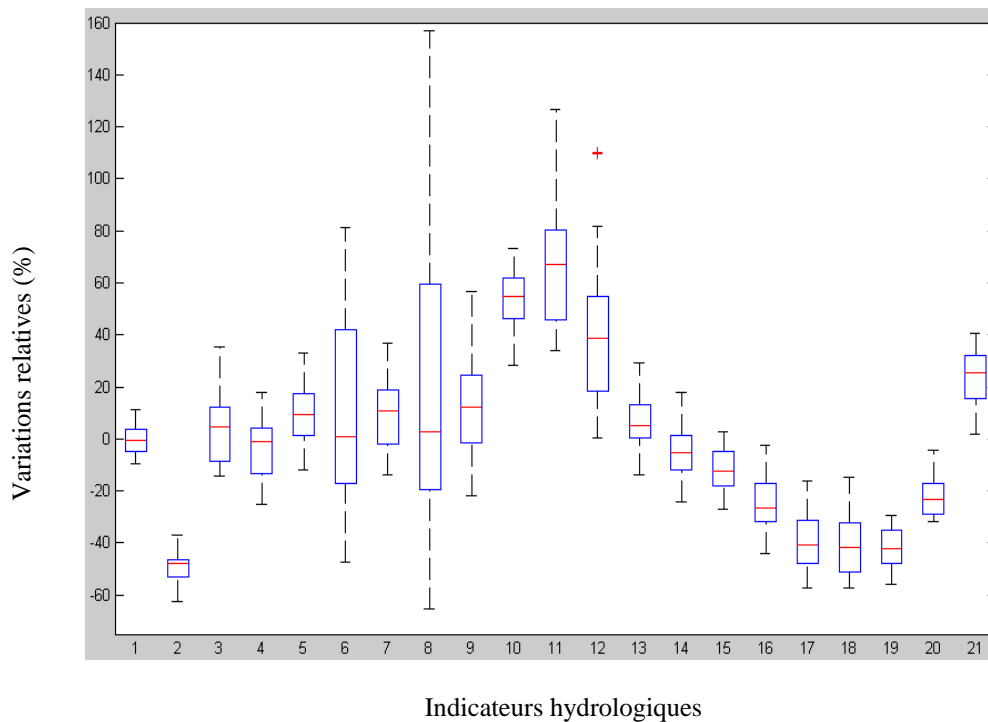


Figure 3 Résultats de l'analyse d'impact des changements climatiques sur le Haut-Saint-François pour les indicateurs hydrologiques sélectionnés.

Tableau 4 Définition des indicateurs présentés sur la figure 3

Numéro de l'indicateur	Définition
01	Écoulement annuel
02	Étiage consécutif de 7 jours de récurrence 2 ans (juin à novembre)
03	Étiage consécutif de 7 jours de récurrence 2 ans (décembre à mai)
04	Crue de récurrence 2 ans (juin à novembre)
05	Crue de récurrence 2 ans (décembre à mai)
06	Crue de récurrence 20 ans (juin à novembre)
07	Crue de récurrence 20 ans (décembre à mai)
08	Crue de récurrence 100 ans (juin à novembre)
09	Crue de récurrence 100 ans (décembre à mai)
10 à 21	Débits mensuels de janvier à décembre

Adaptation des ouvrages de gestion de l'eau (Groupe D)

Finalement, le Groupe de travail D était dédié à l'adaptation des ouvrages de gestion de l'eau. C'est dans le cadre des quatre missions de travail (2 en Bavière et 2 au Québec) que ces aspects ont été abordés. Les scientifiques et des administrateurs (sous-ministres et directeurs généraux) ont alors mis en commun leur vision des enjeux liés à la gestion de l'eau face aux changements climatiques.

3. Missions de travail

L'aide financière demandée au programme de soutien à la recherche, volet Soutien à des initiatives internationales de recherche et d'innovation a permis aux scientifiques québécois de séjourner à deux occasions en Allemagne sur des périodes de cinq jours pour chaque déplacement. En contrepartie, les partenaires bavarois ont été accueillis au Québec à deux reprises dans le cadre du projet AQAGI.

- Mission 1 (Munich, printemps 2009): Mise en marche du projet, consolidation des contacts universitaires, visite de terrain, rencontre des praticiens de la gestion de l'eau en Bavière.
- Mission 2 (Montréal et Québec, automne 2009): Suivi du projet, rencontre par une délégation bavaroise des administrateurs québécois dont des gestionnaires de haut niveau hiérarchique impliqués dans l'adaptation des ouvrages de gestion de l'eau aux changements climatiques, visite de terrain.
- Mission 3 (Augsburg, printemps 2010): Suivi du projet, rencontre des administrateurs seniors bavarois impliqués dans l'adaptation des ouvrages de gestion de l'eau aux changements climatiques, visite de terrain, discussion sur la proposition de projet au CRSNG visant une analyse plus détaillée de la complexité requise dans les modèles hydrologiques utilisés dans un climat non-stationnaire.
- Mission 4 (Québec, automne 2010): Suivi du projet, présentation du projet CRSNG développé à l'Université Laval, visite de terrain, discussion sur la poursuite de la collaboration.

4. Formation

Tableau 5 Stages effectués dans le cadre du projet

Type de stagiaire (p. ex., maîtrise en science, doctorat)	Durée du stage	% du salaire provenant de la subvention
Stage de maîtrise (Anne Böcher)	3 mois	100
Stage de maîtrise (Franz Stroeder)	3 mois	100
Stage fin de baccalauréat Richard Arsenault	4 mois	50
Stage fin de baccalauréat (Felix Wiss)	3 mois	100
Stage fin de baccalauréat (Audrey Lavoie)	2 mois	Payé par LMU
Stage post-doctorant (Markus Muerth)	3 mois	Payé par LMU

5. Diffusion des résultats de la recherche et transfert des connaissances

Tableau 6 Nombre de publications et conférences

État	Nombre de publications, d'exposés...		
	Articles dans une publication avec comité de lecture	Exposés à l'occasion de conférence ou affiches	Autres (incluant les rapports techniques)
Accepté/Publié	1	6	2
En préparation	1		

Articles dans une publication avec comité de lecture :

Ludwig, R., I. May, R. Turcotte, L. Vescovi, M. Braun, J.-F. Cyr, L.-G. Fortin, D. Chaumont, S. Biner, I. Chartier, D. Caya and W. Mauser, (2009) The role of hydrological model complexity and uncertainty in climate change impact assessment, *Adv. Geosci.*, 21, 63-71.

Exposés à l'occasion de conférence, séminaires ou affiches* :

EGU 2010, Vienna, Austria (printemps 2010)

Q-BIC³ - A Québec-Bavarian international collaboration for adapting regional watershed management to climate change
Ralf Ludwig and the Q-BIC³ Team

Water Conference 2010, Québec (été 2010)

Adaptation of regional watershed management to climate change – The Québec-Bavarian collaborative project Q-BIC³
Ralf Ludwig, Richard Turcotte, Diane Chaumont, Wolfram Mauser and Markus Muerth

HydroPredict 2010, Prague, Czech Republic (automne 2010)

Adapting regional watershed management to climate change - The Quebec-Bavarian collaboration project Q-BIC³
Ralf Ludwig, Markus Muerth, Sacha Berger, Frank Ferber, Joseph Schmid, Wolfram Mauser & the team of Q-BIC³

Symposium Ouranos (automne 2010)*

QBIC³ Québec-Bavarian International Collaboration on Climate Change
Impact Analysis and Adaptation Strategies for Water Management – Focus on Bavarian Results
M. Muerth, S. Ricard, F. Wiss, S. Berger, D. Caya, D. Chaumont, B. Gauvin St-Denis, H. Komischke, R. Ludwig, M. Minville, S. Schmid, R. Turcotte

Séminaires Ouranos (automne 2010) :

Adapting regional watershed management to Climate Change
Ralf Ludwig, Diane Chaumont, Richard Turcotte and the Q-BIC³ Team

Analysis of bias correction & downscaling techniques applied on CRCM data as used in Q-BIC³
Markus Muerth

Autres (mémoires de maîtrise) :

Mémoires de maîtrise:

Böcher, A. (2009), Hydrological Modelling of the Upper Isar watershed – Comparison of Calibration Methods, 79 pp.

Stroeder, F. (2010), Analysis of climate model data for the hydrological modelling of climate change impacts in Bavaria and Québec, 97 pp.