

PROGRAMMATION

2014-2019

Simulations et analyses climatiques

«Appuyer les projets en produisant des données climatiques régionales de pointe pertinentes et en offrant l'expertise nécessaire afin d'utiliser ces données de façon adéquate»

Rédigé par Anne Frigon, responsable du programme
Simulations et analyses climatiques

Octobre 2014

Programme approuvé par le Conseil scientifique d'Ouranos, tel que mandaté par le Conseil d'administration et autorisé à être déployé en mars 2015.



PRÉAMBULE

Ce document de programme a été préparé dans le contexte du renouvellement de la programmation d'Ouranos pour la période 2014-2020.

Le dernier cycle de programmation (2009-2014) a vu une centaine de projets se réaliser, permettant des progrès notables, particulièrement concernant l'analyse du système climatique et la production de scénarios de CC adaptés aux outils et besoins existants, ainsi qu'à l'étude des impacts et des vulnérabilités face aux changements climatiques. Bien que les efforts dans ces domaines doivent se poursuivre, il convient d'accorder une attention accrue à l'étude des solutions concrètes d'adaptation à court, moyen et long termes comme le réclament les usagers. Le transfert des connaissances devient également une priorité dans le déploiement des programmes.

Ouranos procède maintenant à l'élaboration de son plan stratégique 2014-2020 et de son plan d'affaires couvrant la même période pour orienter le renouvellement des programmes thématiques. Les lignes directrices énoncées dans ces documents suggèrent un développement des programmes davantage axé vers l'adaptation aux CC (quelles connaissances et méthodes peuvent appuyer la mise en œuvre de l'adaptation aux changements climatiques) et qui aborde les enjeux de manière beaucoup plus intégrée. Enfin, les règles de gouvernance de l'organisation prévoient les mécanismes et les processus qui permettent d'opérationnaliser la programmation dans une perspective de transversalité entre les thématiques et au niveau organisationnel.

S'inscrivant dans ce contexte, le présent document décrit les activités de recherche et développement planifiées au cours des prochaines années pour le programme Simulations et analyses climatiques.

Bonne lecture!

TABLE DES MATIÈRES

Sigles et acronymes	1
Introduction	2
i. Historique du programme	
ii. Identification des grands enjeux de changements climatiques	
Objectifs du programme	5
i. Objectif général	
ii. Objectifs spécifiques	
Structure du programme	6
Approches et stratégies de réalisation	8
Partenaires, collaborateurs et usagers du programme	14
i. Comité de programme	
ii. Collaborations scientifiques et acteurs déjà impliqués / à impliquer	
Références	16

SIGLES ET ACRONYMES

Acronyme	Nom officiel
BCC	Bureau des changements climatiques
CanESM	Canadian Earth System Model
CCmaC	Centre canadien de modélisation et d'analyse climatique
CEN	Centre d'études nordiques
CLASS	Canadian LAnd Surface Scheme (développé par Environnement Canada)
CMI	Commission mixte internationale
CMIP	Coupled Model Intercomparison Project
CNRCWP	Canadian Network for Regional Climate and Weather Processes
CORDEX	COordinated Regional Downscaling EXperiment sur l'Amérique du Nord
CROQ	Climat Reconstituit d'Ouranos pour le Québec
CRSNG-RCCA	Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie - Recherche sur les changements climatiques et l'atmosphère
ESCER	Centre pour l'étude et la simulation du climat à l'échelle régionale
ETHZ	École polytechnique fédérale de Zurich
ETS	École de technologie supérieure
FAQ	Foire aux questions
FRSCO	Fonds de recherche en science du climat d'Ouranos
GFCs	Global Framework for Climate Services
GIEC	Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat
GLERL	Great Lakes Environmental Research Laboratory
INRS-ETE	Institut national de recherche scientifique - Centre Eau Terre Environnement
IREQ	Institut de recherche d'Hydro-Québec
MCG	Modèle de climat global
MDDELCC	Ministère du Développement Durable, de l'Environnement et de la Lutte aux changements climatiques
MDEIE	Ministère du développement économique, de l'innovation et de l'exportation
MESRST	Ministère de l'enseignement supérieur, de la recherche, la science et la technologie
MRC	Modèle régional de climat
MRCC	Modèle régional canadien du climat
MERN	Ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles
MFFP	Ministère de la Forêt, la Faune et les Parcs
NARCCAP	North American Regional Climate Change Assessment Program
NCDC	National Climatic Data Centre
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
PACC	Plan d'action sur les changements climatiques
RNCan	Ressources Naturelles Canada
RTA	Rio Tinto Alcan
SMHI	Swedish Meteorological and Hydrological Institute
UQAM	Université du Québec à Montréal
WCRP	World Climate Research Program
WGRC	Working Group on Regional Climate

INTRODUCTION

i. Historique du programme

Lors de la création du Consortium Ouranos en 2002, les membres fondateurs ont voulu se doter d'une source d'information fiable en climatologie régionale. À cette fin, le consortium a mis en place dès les premiers mois le groupe « Simulations climatiques », dont le mandat principal est de produire les projections climatiques régionales et fournir l'expertise nécessaire aux projets d'impact et d'adaptation, ainsi qu'aux membres et collaborateurs d'Ouranos. Parmi les réalisations importantes de la première décennie, mentionnons : 1) le développement d'un modèle régional de climat utile pour des études d'impacts 2) le développement d'un système de production massive automatisé de simulations régionales, unique dans le monde, permettant de mettre à disposition des usagers un ensemble considérable de simulations documentées; 3) la production de la première projection d'ensemble de projections régionales sur le territoire nord-américain (Plummer et al. 2006); 4) ce qui a permis également une première estimation de l'incertitude à partir de multiples projections régionales de CC (de Elia et al. 2008); ainsi que 5) la mise à disposition d'une banque de données exceptionnelle de simulations et de projections climatiques régionales à 45 km de résolution, incluant les seules longues projections de 1950 à 2100 en continu sur l'Amérique du Nord. Mentionnons que deux membres du groupe ont agi en tant qu'auteurs contributeurs pour le Groupe de Travail 1 sur les aspects scientifiques du système climatique et de l'évolution du climat dans le cadre du 5e Rapport d'Évaluation (AR5) du GIEC. Le Dr. de Elia a contribué au contenu du chapitre 9, qui porte sur l'évaluation des modèles de climat, et S. Biner au chapitre 14, sur les phénomènes climatiques et leur pertinence pour les changements climatiques régionaux futurs.

En plus de l'effort de production de simulations, nos récents travaux d'analyse axés sur l'utilisation des données climatiques ont permis de développer des approches novatrices, tenant en compte, par exemple, la variabilité climatique (interannuelle) dans l'évaluation des changements climatiques (de Elia et al. 2013), ou examinant les similitudes des changements climatiques sur l'Amérique du Nord, issus des nouvelles données globales de CMIP5 par rapport à celles de CMIP3 (Markovic et al. 2013), qui ont un fort potentiel d'utilisation dans de nombreux projets en Vulnérabilités, Impacts et Adaptation (VIA). Mentionnons également les efforts liés à la formation en modélisation climatique (initiée en 2008), qui a contribué à ce que nos membres et collaborateurs se familiarisent avec la science du climat et du changement climatique.

ii. Identification des grands enjeux de changements climatiques

Les changements climatiques représentent un des enjeux importants à considérer au Québec et dont il serait avantageux de tenir compte dans la planification et l'adaptation. Il est donc important qu'Ouranos conserve sa position d'expertise de haut niveau en modélisation régionale du climat afin de maintenir sa crédibilité scientifique. Ceci permettra la production et l'accès à de l'expertise et de l'information climatique régionale fiables, disponibles pour répondre adéquatement aux besoins des projets en VIA et à nos membres et collaborateurs.

Les axes de recherche et développement du programme Simulations et analyses climatiques ont été définis à partir des besoins exprimés par les spécialistes du groupe Scénarios et services climatiques, par des utilisateurs de données simulées et par des collaborateurs. De plus, les besoins anticipés dans les projets VIA, à travers le développement des programmes VIA à Ouranos pour 2014-2019, et les développements attendus dans le domaine de la modélisation régionale ont également servis à définir certains de ces axes.

Sur l'échiquier international, Ouranos a axé sa stratégie de développement en climatologie régionale sur le traitement de l'incertitude et de la variabilité climatique, ainsi que sur le raffinement de la résolution spatiale et temporelle. Au cours des dernières années, de grands changements ont vu le jour dans notre domaine: une nouvelle génération de modèles régionaux de climat est déjà en service à l'échelle internationale, et de nouvelles données climatiques globales (CMIP5; Taylor et al. 2011) sont disponibles, suite aux efforts coordonnés de plusieurs institutions pour la sortie du 5e rapport du GIEC (2013-2014). Par conséquent, le Groupe doit entreprendre un nouveau cycle de production de données climatiques régionales simulées, afin de mieux répondre aux besoins des projets en VIA, et pour demeurer à la fine pointe dans le domaine. Ceci nécessite un investissement important de la part de nos spécialistes afin de se mettre à niveau pour connaître et maîtriser un nouveau modèle régional de climat, et développer l'expertise en haute résolution (de l'ordre de 15 km).

Ainsi, parmi les axes de R&D considérés dans notre programmation 2014-2019, mentionnons le raffinement de la résolution des projections climatiques régionales que nous produirons (plus fines au niveau temporel et spatial), ce qui nécessite le passage à la nouvelle génération de modèle régional de climat, l'évaluation du potentiel de variables et indicateurs moins utilisés issus des simulations régionales et pertinents pour les projets VIA (p.ex. humidité, vents, verglas), et de nouvelles approches d'analyse des projections climatiques afin de mieux interpréter les résultats pour aider à la prise de décision. Des travaux se poursuivront pour améliorer notre compréhension des processus qui se produisent près de la surface (qui affectent directement l'humain) et qui sont importants notamment en hydrologie, en foresterie et en agriculture, traitant entre autres de la formation de la neige, l'évapotranspiration et l'eau dans le sol.

Le tableau 1 dresse le portrait de la situation actuelle (colonne de gauche). La colonne de droite du tableau 1 décrit les axes à développer dans le cadre de notre programmation 2014-2019, touchant la recherche, le développement, la production et la valorisation et la communication. Les explications sur ces axes sont détaillées aux sections 3 et 5ii du présent document. Cette liste représente le portrait des développements planifiés dans le contexte actuel, et de nouveaux axes pourront s'ajouter d'ici 2019. Certains travaux pourront être développés à l'interne mais leur réalisation sera surtout possible grâce à de proches collaborations qui seront établies avec des chercheurs membres d'Ouranos, ainsi qu'à l'externe.

Tableau 1 : Portrait de la situation actuelle et de la planification pour 2014-2019.

<i>Situation Actuelle</i>	<i>Planification 2014-2019</i>
1) RECHERCHE	
La recherche des années passées nous a amenés à acquérir des connaissances approfondies du MRCC4 (validation, configuration, variabilité interne, incertitudes liées aux projections de CC, etc.), modèle qui est aujourd'hui périmé	Développer connaissances du comportement du nouveau MRC (validation, configuration, variabilité interne, analyses de sensibilité, etc.)
Travaux centrés surtout sur le comportement des variables de base (température, précipitation, écoulement, neige)	Continuer à acquérir des connaissances sur le comportement des variables de base (température, précipitation, écoulement, neige)
	Analyser le potentiel d'utilisation de nouvelles variables d'intérêt pour usagers (p.ex humidité, vents, verglas...)
Analysé les projections climatiques régionales sur l'Amérique du Nord de NARCCAP (température et précipitation), pour situer le MRCC4 parmi l'ensemble des modèles et évaluer les incertitudes sur les CC	Analyser les projections climatiques régionales de CORDEX sur l'Amérique du Nord (température, précipitation, neige, etc.)
Développé des connaissances des processus de surface (neige, eau dans le sol)	Poursuivre et approfondir le développement de connaissances des processus de surface (évapotranspiration, neige, eau dans le sol, hydrologie)
Débuté des travaux d'analyse sur la variabilité climatique et les CC (température)	Développer outils et méthodes d'analyses pour optimiser utilisation de l'information climatique (en tenant compte de la variabilité climatique)
Développé l'expertise et des analyses hydroclimatiques sur les Grands Lacs	Poursuivre le développement de l'expertise sur le bassin Grands Lacs/St-Laurent
Débuté les analyses à très haute résolution (15km) avec MRCC4	Développer expertise très haute résolution (15km) avec le nouveau MRC
	Développer une base de données historiques à 15km sur le Québec (CROQ) avec MRCC5
Expertise développée surtout en modélisation climatique régionale	Poursuivre le développement de l'expertise en modélisation climatique régionale et aussi sur les processus climatiques (rétroactions), la variabilité naturelle, les incertitudes, la valeur ajoutée et les extrêmes

	Vigie sur les progrès de la recherche en prévisions saisonnières et décennales visant à établir leur pertinence à Ouranos
	Acquérir expertise sur les incertitudes liées au cycle du carbone et ses effets cumulés sur le climat
2) DÉVELOPPEMENT	
Développé version MRCC4 et rendue opérationnelle. Plusieurs versions avec améliorations ont été rendues disponibles	Implémenter le nouveau MRC et le rendre opérationnel
Développé environnement de post-production et validation automatisé du MRCC4	Finaliser l'élaboration de l'environnement de post-production et validation du nouveau MRC, en adaptant les données aux nouvelles normes internationales
Implémenté CLASS 3.5 dans MRCC4	[Avec les rôles plus importants de l'UQAM et d'EC dans le développement de modèles régionaux, ce type d'activité ne sera plus effectué à l'interne]
Produit simulations d'essai du MRCC4 à 15km de résolution, et en production [projet CRSNG-RDC]	Opérationnaliser le nouveau MRC à 25km et à 15 km
3) PRODUCTION	
Produit un ensemble de projections du MRCC4 à 45km de résolution sur Amérique du Nord et sur le Québec	Produire un ensemble de projections climatiques avec le nouveau MRC à 25km de résolution sur Amérique du Nord en continu sur 1961-2100
Produit simulations MRCC4 pour analyses de sensibilité (pour projets en particulier et recherche fondamentale)	Produire des simulations avec le nouveau MRC pour analyses de sensibilité
Contribué à NARCCAP en produisant les simulations appropriées avec MRCC4	Contribuer à CORDEX Amérique du Nord en produisant les simulations appropriées avec le nouveau MRC
	Produire un très grand ensemble de projections climatiques régionales pour l'analyse de la variabilité climatique naturelle
	Produire simulations avec le nouveau MRC à 15 km
4) VALORISATION & COMMUNICATION	
	Valoriser nos travaux par des communications efficaces aux gens de VIA (transfert de connaissances)
Développé des FAQ en Science du climat	Poursuivre développement de FAQ
Développé et donné formations en modélisation et CC	Poursuivre formations en modélisation et CC
Commencé à donner entrevues aux médias	Poursuivre entrevues données aux médias
Publications et présentations scientif. dans conférences	Publications et présentations scientif. dans conférences

OBJECTIFS DU PROGRAMME

i. Objectif général

Le mandat principal du Programme Simulations et analyses climatiques est d'appuyer les projets en produisant des données climatiques régionales de pointe pertinentes et en fournissant l'expertise nécessaire afin d'utiliser ces données de façon adéquate. À cette fin, la programmation 2014-2019 du groupe est axée sur la production de projections climatiques régionales allant vers la plus fine résolution et utilisant les modèles globaux de la dernière génération (CMIP5) comme pilote. Des efforts seront investis dans le développement d'approches novatrices d'analyse des projections climatiques régionales afin de mieux servir dans la prise de décision.

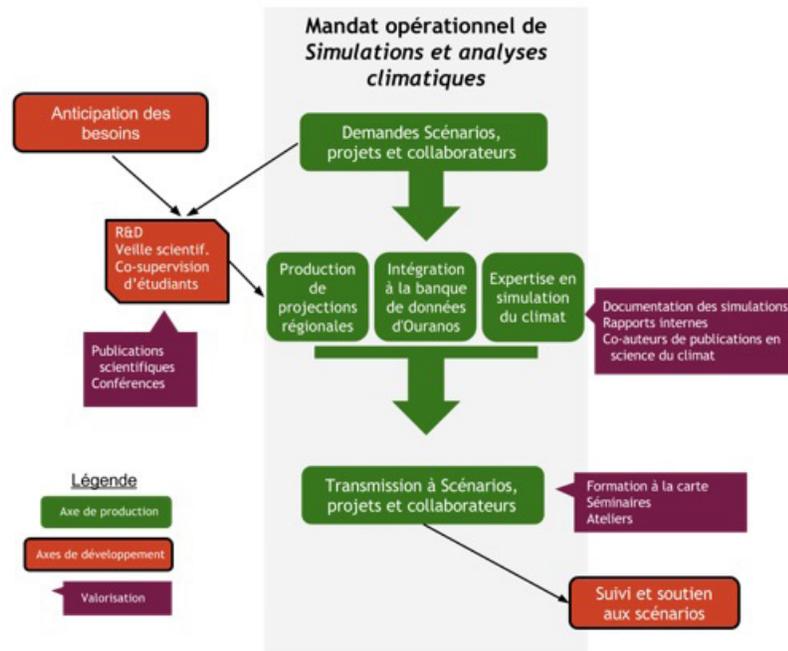
ii. Objectifs spécifiques

Les objectifs spécifiques du programme pour 2014–2019 sont de:

- 1) Produire un nouvel ensemble de projections climatiques régionales à haute résolution (25 km) sur l'Amérique du Nord, en continu jusqu'en 2100, utilisant une nouvelle version du modèle régional canadien, piloté par des modèles globaux du nouvel ensemble CMIP5 de même que
 - 1a) Produire des simulations sur mesure pour répondre à des besoins particuliers
 - 1b) Contribuer au projet CORDEX afin de conserver un niveau élevé d'expertise et une notoriété à l'échelle internationale.
- 2) Passer à la très haute résolution (15 km) et développer l'expertise à cette échelle afin de produire les simulations et projections climatiques pertinentes et
 - 2a) Développer une base de données des conditions météorologiques passées à très haute résolution à la grandeur du Québec ('projet CROQ').
- 3) Fournir l'expertise en processus climatiques et en simulation du climat au Groupe Scénarios et services climatiques, aux scientifiques en VIA, aux membres et aux collaborateurs par des collaborations dans des projets, des formations sur mesure et valoriser nos travaux par des communications efficaces dans le transfert de connaissances aux gens de VIA.
- 4) Développer des connaissances et des approches novatrices d'analyse de l'information climatique régionale qui en favorisent une utilisation adéquate et optimale, et faire progresser l'expertise en modélisation et en climatologie régionale par des activités de recherche menées de concert avec les universités/organisations membres et les experts internationaux dans le domaine.

STRUCTURE DU PROGRAMME

Les activités du Programme Simulations et analyses climatiques visent à répondre aux besoins des projets, membres et collaborateurs d'Ouranos, et s'intègrent dans trois axes liés à la production, à la recherche et au développement (R&D), ainsi qu'à la valorisation et le transfert; la structure et leurs liens sont résumés dans le schéma suivant:



De toutes ces activités, la production (en vert dans le schéma) prend une grande place et demeure prioritaire afin de contribuer à la banque de données climatiques régionales d'Ouranos et répondre à la demande du groupe Scénarios et services climatiques, des projets et des collaborateurs. La production ne serait pas complète sans une documentation détaillée de chacune des simulations, sans compter les rapports internes qui présentent certaines analyses et des atlas produits pour les usagers de nos simulations. Nous fournissons également notre expertise au Groupe Scénarios et services climatiques, aux projets et aux collaborateurs; cette activité a pris une place grandissante au fil des années. Initiée en 2013, la participation accrue des spécialistes de Science du climat aux comités de programme du groupe VIA d'Ouranos permettra de se rapprocher des membres et collaborateurs et de mieux comprendre leurs besoins.

Il est important d'investir dans le développement de l'expertise en modélisation et en climatologie régionale (en rouge dans le schéma). Cette expertise est essentielle pour répondre adéquatement aux besoins du groupe Scénarios, des projets et des membres et collaborateurs, et elle doit être maintenue à un niveau d'excellence internationale afin d'assurer la crédibilité scientifique d'Ouranos. Par notre veille scientifique, ainsi que nos interactions avec les spécialistes du groupe Scénarios et services climatiques et nos collaborateurs, notre implication dans des projets VIA, ainsi que les formations sur mesure que nous donnons, nous tentons d'anticiper les besoins des usagers. Ainsi, nous travaillons à développer des connaissances et des outils qui favorisent une utilisation adéquate et optimale de l'information climatique régionale, en plus de contribuer à des travaux de R&D plus fondamentale en modélisation régionale, par l'entremise de nos collaborations avec des chercheurs universitaires (et co-direction d'étudiants). Ces travaux de R&D mènent généralement à la publication d'articles (évalués par nos pairs), permettant ainsi d'assurer la qualité scientifique de nos travaux, ainsi que la visibilité et la respectabilité d'Ouranos.

La valorisation (en mauve dans le schéma) fait partie intégrante de nos activités et a pris plus d'importance au fil des années. En 2008, la formation sur mesure a été développée pour les membres afin qu'ils se familiarisent avec la science du climat et du changement climatique; ceci a permis d'assurer un niveau de connaissances de base et un vocabulaire commun. Nous avons également initié la rédaction de FAQ en Science du climat (Foire aux questions); rarement disponibles en français (et accessibles sur le Web d'Ouranos à <http://www.ouranos.ca/fr/faq/>), en plus des feuillets scientifiques de Science du climat,

associés à l'Infolettre d'Ouranos, qui résumait certaines activités de développement en Science du climat, le plus souvent reliées à une publication scientifique (<http://www.ouranos.ca/fr/programmation-scientifique/science-du-climat/>). Ces récentes activités ont eu des retombées positives, permettant d'améliorer la communication avec l'utilisateur, ainsi que son niveau de connaissances de base en science du climat. Finalement, nous avons poursuivi les activités de valorisation de nos travaux, en présentant dans des conférences scientifiques nationales et internationales, ainsi qu'à l'interne, en contribuant aux séminaires à Ouranos.

Ainsi, au fil des années, le spectre de nos activités s'est élargi afin de mieux répondre aux besoins des usagers. Toutefois, avec un effectif demeuré relativement constant depuis les débuts, nous avons dû diminuer nos efforts de développement du modèle régional, aujourd'hui développé presque exclusivement au centre ESCER de l'UQAM et à Environnement Canada.

APPROCHES ET STRATÉGIES DE RÉALISATION

Cette section reprend chacun des objectifs spécifiques du programme en développant l'approche et la stratégie de réalisation envisagée pour les atteindre avec, au besoin, une mise en contexte.

Mentionnons qu'au printemps 2013, les spécialistes du groupe avaient été invités à faire le bilan des activités des dernières années afin d'en tirer les leçons apprises. Ils ont décidé d'aller plus loin dans leur réflexion en produisant un document dans lequel ils proposent des pistes d'activités pour le renouvellement de la programmation. Cette réflexion a ainsi contribué à bonifier le présent document de programme.

1) Produire un nouvel ensemble de projections climatiques régionales à haute résolution (25 km) sur l'Amérique du nord

L'objectif ici est de produire des projections climatiques régionales à haute résolution (25 km) sur l'Amérique du Nord, en continu jusqu'en 2100, utilisant une nouvelle version du modèle régional canadien, piloté par des modèles globaux du nouvel ensemble CMIP5. Le défi principal est d'effectuer la transition vers un nouveau modèle régional de climat. Le MRCC5 (Martynov et al. 2013; Separovic et al. 2013) du centre ESCER de l'UQAM et le CanRCM4 d'Environnement Canada (CCmaC) sont envisagés comme successeurs au MRCC4. Ces deux Modèles régionaux de climat (MRC) ont d'importantes similarités, car ils sont basés sur le même cœur dynamique du modèle de prévision météorologique d'Environnement Canada (GEM). Toutefois, ils fonctionnent dans différents environnements de travail et plusieurs composantes de leurs paramétrisations physiques diffèrent. Une entente conclue avec ces deux centres nous donne accès au code de ces deux modèles et au soutien technique de leurs développeurs. Au cours de la prochaine année, l'un de ces modèles sera sélectionné comme modèle principal pour passer en mode opérationnel à Ouranos et bâtir l'ensemble de simulations régionales. Le choix du nouveau modèle sera effectué sur la base des exigences des projets VIA: sa capacité pour la très haute résolution (15 km), en lien avec l'habileté du module physique à représenter les phénomènes et les processus à haute résolution (p.ex. convection, schéma de surface, lacs sous-maille, Grands Lacs), ainsi que dans sa flexibilité d'adaptation à de nouvelles données pilote (réanalyses et MCG). Un investissement important est nécessaire de la part des spécialistes du Groupe afin qu'ils acquièrent les connaissances requises, tant scientifiques que techniques, pour travailler avec le nouveau MRC et avec les nouveaux outils d'analyse. Ce nouveau modèle est très différent du MRCC4 avec lequel nous travaillons depuis dix ans. Nous nous appuyerons donc sur les chercheurs/développeurs du modèle chez nos membres qui seront en mesure de nous guider dans notre apprentissage. Il est essentiel que la pérennité des ressources de base nécessaires pour maintenir la librairie du code du nouveau MRC en évolution soit assurée.

Le changement de modèle implique un changement du format d'archivage des sorties du modèle et nécessite une refonte du système de production et post-production massive (suivi des simulations, formattage/conversion des fichiers de sortie, calculs statistiques et analyses, validation avec les observations, archivage dans notre banque de données). Cette refonte exige un temps considérable en termes de programmation ainsi qu'en formation du personnel, les outils de traitement et d'analyse ayant évolué depuis la mise en place du système précédent. Ces travaux de développement opérationnel ont déjà débuté et le système devrait être fonctionnel au début de 2014; ce travail se poursuivra afin d'améliorer l'efficacité du système et de bonifier les analyses d'évaluation des simulations (p.ex. nouvelles variables, analyses de distributions et d'extrêmes). Nous avons axé notre nouvelle stratégie de la banque de données sur la portabilité en nous conformant aux nouveaux standards du milieu de la modélisation climatique (format NetCDF); ceci permettra d'appliquer aisément ce logiciel à d'autres MRC et aux modèles globaux; il devient dès lors possible de développer une base commune de programmes de traitement et d'analyse de données climatiques avec le groupe Scénarios et services climatiques. À cet effet, un comité visant l'intégration et l'harmonisation des outils au sein d'Ouranos, le Comité Logiciel de Science du climat (CLSC) a été créé en 2009. Des spécialistes des deux équipes de Science du climat participent à ce comité.

La capacité de produire des simulations régionales à l'interne représente un élément clé du programme Science du climat et une importante contribution au programme VIA. De fait, le passage à un nouveau modèle nécessite un changement de machine. Cet aspect critique des ressources informatiques haute puissance est abordé plus en détails aux sections 6i et 6iii. La quantité de simulations produites dépendra de la capacité de calcul à notre disposition.

Parmi les incertitudes ayant une influence sur les projections climatiques, la principale est liée au MCG pilote (du moins lorsqu'on s'intéresse à l'horizon 2050, car au-delà de cet horizon, les scénarios futurs de GES prennent généralement

plus d'importance). Il est donc important de constituer un ensemble de simulations régionales pilotées par plus d'un MCG. L'adaptation du modèle régional à un nouveau modèle pilote exige un travail considérable mais est essentiel à la constitution d'un ensemble de simulations représentatif. Le choix des MCG à utiliser pourra être guidé notamment en se documentant sur leur capacité à simuler les processus importants sur le territoire d'intérêt (p.ex. la glace de mer en Arctique) et à représenter le climat historique. Nous avons à Ouranos l'expertise nécessaire pour faire un choix éclairé à ce sujet. De plus, mentionnons que les données d'océans des modèles globaux (température de surface de mer et glace de mer) sont prescrites directement aux MRC, la plupart de ceux-ci n'ayant pas encore de modèle océanique. Ainsi, il sera intéressant de suivre de près les travaux en cours à l'UQAM qui visent à développer une méthodologie avec le nouveau MRC afin de débiaiser les océans des modèles globaux. Nous pourrons ensuite évaluer la faisabilité d'implanter cette nouvelle approche dans notre production de projections climatiques régionales.

Dans ce nouveau cycle, la planification de l'ensemble de projections climatiques régionales d'Ouranos sera effectuée afin de couvrir les besoins des divers projets des programmes VIA, en tenant compte des grands ensembles internationaux de simulation, tel que CORDEX-NA sur l'Amérique du Nord (l'idéal étant de produire des projections à l'interne qui soient complémentaires à celles de CORDEX-NA). Nous suivrons le nouveau standard en modélisation régionale en archivant les données à une fréquence de 3 heures (au lieu de 6 heures auparavant), ce qui permettra de mieux définir le cycle diurne et sera plus utile pour certains modèles d'impact. Les projets pourront graduellement migrer vers les nouvelles données climatiques régionales à partir de 2015 car, à ce moment, le rythme de production massive devrait être atteint. Ceci devrait arriver à temps pour des projets de la nouvelle vague reliés au PACC-2020.

Notre planification des projections demeure axée pour répondre à des besoins en VIA sur le long terme (vers 2050, 2100). Néanmoins, l'intérêt demeure pour l'horizon temporel plus court (d'ici 20-30 années), où deux approches sont possibles: i) des 'projections' de nature stochastique qui visent à extraire le signal de CC du 'bruit' produit par la variabilité naturelle, et ii) ce qui est appelé la 'prévision décennale' déterministe qui dépend des conditions initiales où, au lieu de considérer la variabilité naturelle comme du bruit, on tente de la prévoir (Meehl et al. 2009). Pour la deuxième approche, l'expertise en est encore à ses débuts et il reste à prouver le réel potentiel de prédictabilité de ce type d'approche. Sachant que les prévisions décennales (et même saisonnières) sont d'intérêt pour certains membres, nous nous assurerons de maintenir un contact avec les experts d'Environnement Canada afin de nous tenir à jour de façon continue; il est envisagé de les inviter afin qu'ils présentent les résultats de leurs travaux et nous aident à statuer sur l'habileté de ce type de produits pour certains membres. Pour la première approche, l'aspect probabiliste des 'projections' climatiques pour un horizon court est déjà en exploration par le groupe Scénarios et services climatiques (avec la proche collaboration du chercheur sénior de notre groupe), et des utilisations sont prévues aussitôt que la méthodologie sera évaluée par des pairs.

Il est envisagé de produire un très grand ensemble de projections climatiques régionales, pilotées par de nombreux membres (20-30) d'un modèle global, afin de créer une banque de données régionales originale; ceci s'inscrit dans les tous derniers développements afin d'aider à la prise de décision (Deser et al. 2013). Sur ce point, la contribution d'Environnement Canada pourrait être intéressante si le CCmaC pouvait produire des simulations du modèle global CanESM en conservant les données atmosphériques aux 6 heures nécessaires pour piloter notre MRC. Nous pourrons aussi nous servir d'un ensemble présentement en production à NCAR (National Center for Atmospheric Research) et dont l'objectif est de générer des données pour piloter des MRC (Clara Deser, communication personnelle décembre 2013, 30 membres 1990-1999, 2025-2034, 2071-2080 avec CESM1/CAM5). Ce type d'ensemble sera utile à l'exploration de la variabilité naturelle, qui est fondamentale pour la prise de décision en adaptation au CC, et sera particulièrement utile pour les extrêmes qui sont souvent mal représentés à cause du petit nombre de simulations régionales normalement disponible. De plus, sachant que la valeur ajoutée des MRC réside dans les extrêmes (IPCC 2013, chap 9), ce type d'ensemble sera d'un grand intérêt pour nos membres. La réalisation de cet ensemble repose sur l'obtention d'une subvention présentement en développement en Allemagne, qui permettrait l'accès à une grappe de calcul super puissante et à une personne dédiée. Toutefois, si ce projet n'est pas financé, nous tenterons de définir l'ensemble qui répondrait minimalement aux besoins des chercheurs et collaborateurs et verront ce qu'il est possible de produire en fonction de la capacité de calcul à notre disposition et de l'ensemble des simulations et projections climatiques planifié dans notre production; des délais pourraient aussi s'ajouter.

1a) Produire des simulations sur mesure

Nous poursuivons aussi la production de simulations sur mesure pour répondre à des besoins particuliers de projets ou de chercheurs/collaborateurs, que ce soit pour la livraison (archivage) de nouvelles variables, d'archivages plus fréquents (p.ex. toutes les heures pour des variables spécifiques), d'expériences de sensibilité (p.ex. en changeant la valeur d'un paramètre physique, la nature du sol, ou le scénario futur de gaz à effet de serre), d'études de processus ou de fenêtres

temporelles différentes. Cette production spécifique sera probablement plus active qu'auparavant, car l'existence d'une banque de données climatiques régionales standard sur l'Amérique du Nord nous libèrera pour mieux servir les besoins particuliers d'usagers qui veulent explorer plus en détails certains aspects du modèle. Les demandes traitées (en nombre et en taille) seront contraintes par la capacité de calcul à notre disposition.

1b) Contribuer au projet CORDEX

CORDEX (Giorgi et al. 2009) est un projet international de modélisation régionale portant sur tous les continents, faisant partie du WGRC (Working Group on Regional Climate), lequel est sous l'égide du WCRP (World Climate Research Program). Le WGRC regroupe les principaux centres de modélisation régionale dans le monde et a pour mission de coordonner la recherche en climat régional et de servir de courroie de transmission pour l'échange d'information bilatérale entre le WCRP et les diverses institutions qui fournissent des services climatiques, incluant le GFCS (Global Framework for Climate Services). Il est crucial pour asseoir la notoriété d'Ouranos de participer à ce projet. De nombreuses publications découlent typiquement de ces intercomparaisons de modèles, assurant une visibilité internationale considérable. La participation à CORDEX exige des efforts supplémentaires, mais offre un accès direct aux simulations et des contacts privilégiés avec les experts des autres groupes de simulations. Dans un premier temps, notre participation sera centrée sur le domaine de l'Amérique du Nord afin de répondre aux besoins des membres. Par la suite, si les ressources le permettent, nous pourrions étendre les simulations aux autres régions de CORDEX (p.ex. sur l'Arctique, l'Europe), ou établir une collaboration avec nos membres afin de partager l'effort; ce type d'expérience permet de valider le comportement du modèle dans des régions climatiques différentes permettant ainsi d'augmenter la confiance dans son climat simulé. Mentionnons que notre participation au projet NARCCAP a été très profitable pour Ouranos en termes de la valeur scientifique ajoutée par le feedback des usagers, et par l'accès à la base de données, ainsi que la collaboration avec des chercheurs de haut niveau dans des publications conjointes (Mearns et al. 2013, 2012; Gutowski et al. 2010). De plus, ceci a permis de positionner le MRCC4 par rapport aux autres modèles régionaux, et Ouranos a profité de la visibilité en tant qu'institution clef dans la modélisation régionale en Amérique du Nord.

En plus de contribuer à CORDEX, nous effectuerons l'analyse de l'ensemble des données du projet sur l'Amérique du Nord afin d'en évaluer l'habileté à reproduire le climat historique, examiner le CC de l'ensemble, ainsi que les incertitudes associées, en plus de positionner le nouveau MRC. Ce type de travaux a été effectué avec les données NARCCAP et nous a permis de développer une expertise en ce qui a trait au comportement des modèles pour des aspects particuliers (p.ex. température, Grands Lacs, neige, précipitation).

2) Passer à la très haute résolution (15 km) et développer l'expertise nécessaire

L'ensemble de projections dont la production est planifiée à la résolution de 25 km sera en mesure de satisfaire aux besoins de nombreux projets. Toutefois, il sera nécessaire de raffiner la résolution spatiale pour aller vers les 15 km afin de mieux simuler certains effets locaux (p.ex. côtes, lacs, réservoirs, vallée du St-Laurent, topographie). Ouranos se positionne avec le nouveau modèle pour effectuer cette transition. L'expertise en haute résolution devra être développée, tant du point de vue de l'utilisation du modèle, par le choix de la meilleure configuration à utiliser (paramètres physiques, pilotage direct, cascade simple ou cascades multiples), que de son évaluation, en se familiarisant avec de nouvelles données de validation à la résolution requise. Il faudra investir pour développer de nouvelles approches dans l'analyse de telles simulations afin de pouvoir mieux définir les applications particulières pour lesquelles la très haute résolution apporte une valeur ajoutée¹ sur notre territoire. D'après le 5e rapport du GIEC, «il y a un haut niveau de confiance que la mise à l'échelle dynamique [(utilisation d'un MRC)] ajoute de la valeur à la simulation du climat par des détails plus riches à l'échelle spatiale, particulièrement dans les régions de topographie complexe et des côtes, et pour les phénomènes à la mésoéchelle [(de 5 à quelques centaines de km)], ainsi que les extrêmes (IPCC 2013, chap 9; traduction libre); il y a aussi plus de valeur du point de vue temporel (sur de plus courtes durées, p.ex. 3 heures VS 16 heures; Di Luca et al. 2011). Nous travaillerons de concert avec les chercheurs de l'ESCCER qui ont déjà acquis de l'expertise sur cet aspect de la modélisation. Le projet 'CROQ', présenté ci-après (partie 2a qui suit) servira de banc d'essai pour développer notre expertise à très haute résolution. Par la suite, nous serons en mesure de produire des projections climatiques à cette résolution.

De plus, mentionnons que ce passage à 15 km exigera une planification méthodique des variables de sorties afin d'optimiser l'utilisation de l'architecture d'archivage. Vu les contraintes additionnelles imposées par la très haute résolution

¹ En résumé, la valeur ajoutée est une mesure de l'étendue à laquelle le climat produit par le MRC s'approche plus des observations que le climat du modèle qui l'a piloté (IPCC 2013, chap 9).

–l'important volume de données produites–, les simulations à 15 km seront préparées sur demande pour répondre à des besoins précis (et permettront aussi d'avancer nos connaissances sur les applications pour lesquelles on trouve une valeur ajoutée). Cette approche 'sur demande' sera utilisée à court terme (peut-être pour les deux ou trois premières années) et, par la suite, selon les développements du modèle et de la capacité de calcul à notre disposition, il est possible que la production massive passe de 25 à 15 km. Des simulations à une résolution encore plus fine sont envisageables vers la fin de la période de cette programmation.

2a) Développer une base de données des conditions météorologiques passées sur le Québec à très haute résolution

Un projet particulièrement porteur consiste à développer une approche de simulation régionale à haute résolution spatiale (15 km) et temporelle (minimalement aux 3 heures mais pouvant être raffinée selon les besoins), fortement contrainte par les observations, et qui permettra de réaliser un portrait historique des conditions météorologiques passées à la grandeur du Québec; c'est le projet dénommé par 'CROQ' pour 'Climat Reconstitué d'Ouranos pour le Québec'. De cette façon, il serait possible de générer des séries de données sur tout le Québec, sans valeurs manquantes, et pour des variables météorologiques rarement disponibles dans les réseaux d'observations conventionnels. En plus, une estimation de l'incertitude de chaque variable serait effectuée et accompagnera les données. Ce type de données sera particulièrement utile aux projets qui s'intéressent au nord du Québec où l'absence de données d'observations est un problème important, et d'intérêt pour des domaines tels que la biodiversité, l'hydrologie, la foresterie, les ressources naturelles, l'agriculture, les infrastructures, le pergélisol, etc. De plus, ce projet nous permettra d'acquérir une expertise du climat historique du Québec. Nous miserons sur une étroite collaboration avec l'ESCCER, qui a acquis de l'expertise à très haute résolution. Le projet est structuré de façon à produire quelques versions de bases de données, au fil des développements du modèle et de sa configuration. Les experts dans des domaines tels que la foresterie, l'hydrologie et l'agriculture seront invités à explorer les données produites afin d'en évaluer le potentiel et identifier les problèmes pour aider au développement; jusqu'ici plusieurs membres ont démontré leur intérêt pour ce projet et seront intégrés dans l'analyse des données. Ce projet d'intérêt pour de nombreux Ministères pourrait gagner à être soutenu par un financement complémentaire PACCC.

3) Fournir l'expertise en processus climatiques et en simulation du climat, les formations sur mesure, et valoriser nos travaux par des communications efficaces de transfert de connaissances aux gens de VIA

L'expertise en processus climatiques et en simulation climatique est nécessaire à de nombreux projets et est assurée par la disponibilité des spécialistes du groupe Simulations et analyses climatiques au groupe Scénarios et services climatiques, aux membres d'Ouranos et aux collaborateurs. Cette expertise est fournie de diverses façons, soit en nous impliquant directement dans certains projets, en accompagnant les usagers dans l'interprétation physique des résultats, en révisant des propositions de projet ou des documents produits, ou encore en offrant des formations sur mesure, des séminaires ou des ateliers. Le personnel demeure disponible en tout temps pour répondre aux demandes d'expertise particulières, mais l'expérience montre qu'il est plus avantageux d'être impliqués dès les phases de conception des projets; nous pouvons alors contribuer à en définir les orientations et à ce que les bons choix stratégiques soient faits particulièrement lorsque ceux-ci sont déterminants et ne peuvent être changés en cours de projet. Dans le passé, l'implication directe des spécialistes du Groupe dans des projets VIA a également permis de mieux comprendre les besoins des usagers et l'utilisation qu'ils désirent faire des données climatiques que nous produisons. Certaines demandes d'expertise nécessitent d'acquérir de nouvelles connaissances et peuvent même aller jusqu'à nécessiter de modifier temporairement les priorités de nos activités.

La formation en modélisation climatique, initiée en 2008, a été donnée à de nombreux collaborateurs dans les projets d'Ouranos afin qu'ils se familiarisent avec la science du climat et du changement climatique et qu'ils puissent ainsi tirer le plein potentiel des données de modèles climatiques qu'ils utilisent. Cette formation a également permis d'assurer un bon niveau de connaissance de la part des usagers. Nous croyons profitable de continuer à l'offrir aux usagers de données climatiques, et surtout aux membres d'Ouranos, et nous tenterons de rejoindre plus de membres; cette formation devient d'autant plus pertinente avec la sortie du 5e rapport du GIEC et la disponibilité des nouvelles données de CMIP5 posant des défis supplémentaires d'interprétation (avec les nouveaux scénarios futurs des gaz à effet de serre, par exemple). La rédaction de nouvelles FAQ devrait se poursuivre afin de continuer à répondre aux questions de base qui nous sont posées par les usagers, couvrant les divers aspects de la science du climat, et contribuant à faire avancer les connaissances. De plus, afin de faire connaître les travaux faits en Science du climat, il est planifié de poursuivre la rédaction des feuillets scientifiques (de 2 à 3 pages) associés à l'Infolettre d'Ouranos.

Le programme *Simulations et analyses climatiques* profitera de la réflexion de la stratégie de communication, présentement en cours de révision à Ouranos. Ceci permettra de s'assurer que la communication et la valorisation de nos travaux et

activités soient intégrées et efficaces. Quoi qu'il en soit, il sera essentiel d'investir pour faire connaître nos travaux aux gens de VIA par un transfert de connaissances efficace. Ainsi, des efforts seront investis pour présenter nos travaux de façon pédagogique afin que les usagers puissent tirer profit de nos avancées dans l'utilisation optimale des données climatiques, et que les approches développées puissent être éventuellement intégrées dans leurs projets.

4) Développer des connaissances et des approches novatrices d'analyse des données climatiques régionales, et faire progresser notre expertise en modélisation et climatologie régionale

Suite à l'intégration du groupe Analyse climatique en 2012, un nouveau créneau s'est développé à l'intérieur du Programme. Ainsi, nous travaillons à développer des méthodes d'analyse et à valoriser l'information climatique produite par Ouranos, ceci dans le but de favoriser une utilisation adéquate et optimale de l'information climatique régionale. À titre d'exemple, une approche novatrice a été développée, mettant en perspective la tendance à long terme par rapport au climat d'année en année (variabilité interannuelle) que nous vivons, tentant d'évaluer le moment à partir duquel le CC sera perçu par rapport à la variabilité interannuelle (de Elia et al. 2013); ce type d'information aide à interpréter les données climatiques de façon plus utile pour les décideurs, allant au-delà de la simple analyse de l'évolution des tendances. Nous poursuivrons donc ce type de travaux afin d'aider à mieux interpréter les données climatiques pour aider à la prise de décision (p.ex. analyse des échelles de temps pour le climat et pour la vulnérabilité des infrastructures, de la variabilité naturelle pour mieux évaluer l'incertitude non réductible). L'incertitude demeure un aspect important à considérer dans l'analyse des données climatiques et nous poursuivrons nos travaux afin de mieux en comprendre les sources et continuerons à les intégrer à nos analyses. De plus, pour répondre à des besoins exprimés par les usagers, des travaux d'analyse seront faits pour explorer le potentiel de variables moins utilisées issues des simulations régionales, telles que l'humidité et les vents près de la surface (p.ex. pour humidex, pour les structures de transport d'électricité et normes de construction), le rayonnement solaire (p.ex. pour les modèles hydrologiques et le confort thermique), la proportion de précipitation sous forme de neige et de pluie (particulièrement à l'automne pour la gestion des réservoirs hydroélectriques), l'eau précipitable dans la colonne atmosphérique (p.ex. pour les précipitations extrêmes), la neige maximale au sol (pour la charge des bâtiments), et le verglas.

Le développement de l'expertise sur les processus de surface avec le schéma CLASS, présent dans le nouveau MRC, est essentiel afin d'assurer une meilleure compréhension du comportement du modèle. Ces connaissances serviront à améliorer la représentation de processus reliés notamment à l'évapotranspiration, la neige et l'eau dans le sol, qui sont d'intérêt pour l'hydrologie, la foresterie et l'agriculture. De fait, les travaux en foresterie, faits dans le cadre d'un projet ICAR pour le Ministère des Ressources Naturelles (D.Houle), ont été porteurs de nouvelles connaissances et ont permis d'améliorer le modèle CLASS. Il est également important de poursuivre les travaux d'analyse de l'hydrologie du nouveau MRC (écoulement, précipitation, évapotranspiration, neige au sol), notamment sur les bassins du Québec. En collaboration avec des hydrologues d'expérience, il est envisagé de travailler à améliorer la simulation de l'hydrologie de CLASS. De plus, avec l'aide des chercheurs de l'UQAM, l'ajout d'un module de routage des rivières avec des lacs dans le nouveau MRC est envisagé afin d'acheminer l'écoulement à l'exutoire des bassins versants inclus dans le domaine de simulation régionale. Vu l'intérêt grandissant des gouvernements du Québec et du Canada sur le bassin versant Grands Lacs/St-Laurent, et avec la formation récente d'un groupe d'experts multi-institutionnel sur ce bassin, nous poursuivrons nos travaux afin de développer notre expertise. Des études des processus physiques (et des boucles de rétroaction) liés au changement climatique sont planifiées. Cette approche d'analyse permet de comprendre le comportement du modèle climatique et d'évaluer s'il a les bons résultats pour les bonnes raisons, donnant ainsi plus de confiance en son signal de CC. Des analyses de sensibilité produites avec le nouveau MRC pourront aider à comprendre ces processus. Il sera aussi important de poursuivre la collaboration avec l'Université Concordia qui travaille avec un modèle de complexité intermédiaire permettant d'étudier les incertitudes liées au cycle du carbone dans les projections climatiques et ses effets cumulés sur le climat. Ces travaux nous amènent à une meilleure compréhension des réactions des principaux réservoirs de carbone du système climatique (atmosphère, océans, terre/végétation). Ce type de modèle pourrait également être utilisé pour étudier des futurs climatiques loin des consensus des ensembles globaux (CMIP) du GIEC.

Certains de ces travaux seront faits à l'interne, alors que d'autres, nécessitant une nouvelle expertise, pourront se faire via des collaborations avec les membres du consortium ou des chercheurs du domaine; ce type de travaux mènent généralement à des publications scientifiques et/ou des rapports internes.

Le développement de notre expertise en modélisation et en climatologie régionale passera par des projets de recherche internes et des collaborations avec les chercheurs membres du consortium. Nos ressources ne pouvant se consacrer autant qu'avant au développement du nouveau MRC (comme ce fut le cas avec le MRCC4), nous allons miser sur de

proches collaborations avec les chercheurs/développeurs du nouveau MRC afin de rester au fait des développements (et d'y contribuer). Par exemple, dans le cadre du projet de développement du nouveau MRC (Projet CRSNG-RCCA de Sushama et al., mentionné à la section 5ii et détaillé à l'annexe A.1), en plus de notre implication en tant que co-investigateur et collaborateur, des spécialistes de notre groupe pourront agir en tant que co-directeurs pour les étudiants gradués travaillant sur des sujets d'intérêt pour Ouranos; nos implications sont identifiées à l'annexe A.1. Il sera également important de maintenir les collaborations déjà établies à travers les projets de recherche en place (p.ex. CRSNG) et via les nouveaux liens créés par les projets (p.ex. FRSCO); la section 5ii présente certaines de ces collaborations. De plus, nous visons à développer de nouveaux liens et de possibles collaborations, avec des chercheurs au Québec, au Canada et à l'international, afin de demeurer en contact avec les experts dans notre domaine et d'autres équipes qui auraient des mandats semblables au nôtre. Comme par le passé, ces liens pourront contribuer au développement de notre expertise, de valider nos méthodes et pourront résulter en des collaborations d'intérêt pour Ouranos (p.ex. par l'accès à des données pilote pour produire de nouvelles projections climatiques régionales). Nous tenterons également de nous impliquer dans des groupes de travail internationaux (p.ex. CORDEX-NA, CMI) et des chaires de recherche. Mentionnons que le Plan d'action 2013-2020 sur les changements climatiques du Gouvernement du Québec met l'accent sur le rayonnement du Québec au Canada et sur la scène internationale (PACC 2012; Priorité 9, p. 16).

Parmi tous ces développements, certains seront particulièrement d'intérêt pour Ouranos et pourront être intégrés à nos pratiques. Il faudra donc investir des efforts pour rendre ces nouveaux outils opérationnels.

Il est essentiel de poursuivre la veille des publications scientifiques afin de rester au fait des avancées dans notre domaine. Dans le passé, cette vigie a donné des idées de développement qui ont abouti à de nouvelles approches d'analyse des données climatiques régionales et de configuration des simulations.

PARTENAIRES / COLLABORATEURS

i. Comité de programme

Le comité de programme de Science du climat chapeaute les Programmes Simulations et analyses climatiques ainsi que Scénarios et services climatiques. Ce comité est constitué de huit membres qui couvrent le spectre des besoins et des partenaires d'Ouranos: Olivier Gagnon (Environnement Canada), René Laprise (ESCER/UQAM), Caroline Larrivée (Ouranos), Mickael Lemay (CEN/ArcticNet/ULaval), Alain Mailhot (INRS-ETE), Nathalie Martel (Ouranos/BCC/MDELCC), René Roy (IREQ/Hydro-Québec/Ouranos) et Robert Siron (Ouranos).

ii. Collaborations scientifiques et acteurs déjà impliqués / à impliquer

Le développement de notre expertise en modélisation et en climatologie régionale passe nécessairement par des collaborations avec d'autres institutions; cette approche nous donne la capacité d'accomplir notre mission principale qui est de répondre aux besoins de la programmation d'Ouranos. Ces collaborations nous permettent non seulement de concentrer nos efforts sur nos forces, mais nous amènent à réseauter avec des institutions reconnues. Dans de nombreux cas, des avantages mutuels ont été retirés des relations établies au cours des dernières années. Nous établirons donc une stratégie de mise en œuvre de collaborations spécifiques en fonction de nos besoins et des opportunités. De plus, mentionnons que la récente visite du professeur Gavin Schmidt (7-17 novembre 2013), un expert en modélisation climatique globale et en communication des changements climatiques de réputation internationale (il est un des cofondateurs de RealClimate à www.realclimate.org), a permis d'échanger des idées et de forger des liens pour le futur; la contribution du fond FRSCO a permis de défrayer les coûts de sa visite. Nous espérons pouvoir renouveler ce type d'invitation dans le futur afin de créer des liens avec les experts reconnus dans les domaines reliés à nos intérêts.

Tenant compte des besoins de développement envisagés présentement, certains axes de recherche déjà abordés par des collaborations devraient être poursuivis, autant que possible sous la forme de projets conjoints, notamment avec:

- ESCER/UQAM: développement du nouveau modèle MRCC5, projet CROQ, suivi d'étudiants gradués (sous forme de co-direction, co-tutorat ou en tant que collaborateur)
- Environnement Canada: développement du schéma de surface CLASS, expertise sur les Grands Lacs (particulièrement sur la gestion et le routage)
- Env. Can./Hydro-Québec/CEHQ/IML: groupe d'experts formé fin 2012 afin de développer une expertise intégrée du bassin Grands Lacs/St-Laurent
- McGill: analyses de tempêtes (échelle synoptique et patrons) et extrêmes
- McGill: analyse de glace de mer, arctique et changements climatiques
- Université Concordia: incertitudes liées au cycle du carbone dans les projections climatiques et ses effets cumulés sur le climat; possibilité d'explorer divers scénarios futurs de GES, non considérés dans CMIP5, et leur impact sur les projections de CC; ces travaux sont basés sur un modèle de complexité intermédiaire.
- Projet CRSNG-RCCA 2013-2018 «Canadian Network for Regional Climate and Weather Processes» pour développer notamment le nouveau MRC par le réseau ESCER/EC, etc. et dans lequel nous sommes impliqués en tant que co-investigateur et collaborateur
- MRN (Ministère des ressources naturelles): contribution au développement de CLASS grâce à des données d'observations forestières en surface et dans le sol.

Nous planifions établir de proches collaborations avec des hydrologues pour aider dans nos travaux de validation et d'amélioration du comportement hydrologique du nouveau MRC. Mentionnons l'ETS, l'INRS-ETE et l'Université Laval, où nous avons déjà établi des liens avec des chercheurs de renom en hydrologie. Nous sommes impliqués dans la préparation d'une demande CRSNG-RDC à l'Université Laval, qui touchera entre autres l'évapotranspiration, et à laquelle nous contribuerons par notre expertise (et co-direction d'un étudiant).

Cet élan vers de nouvelles collaborations va s'étendre au Canada et à l'international. Des efforts spécifiques seront investis pour se rapprocher des centres et des chercheurs qui ont une expertise pertinente et utile à Ouranos. En particulier, nous ciblerons le SMHI, l'ETHZ et le Climate Change Research Center (U of New South Wales, Australie; particulièrement les membres du New South Wales and Australian Capital Territory Regional Climate Model -NARClIM- project) avec qui nous avons déjà de bons contacts. Nous miserons également à renforcer un lien récemment établi avec un chercheur du NCDC (de la NOAA), qui a une expertise reconnue sur les aspects de variabilité climatique et des extrêmes de précipitation (particulièrement sur l'eau précipitable). De la même façon, nous nous rapprocherons de deux chercheurs du GLERL de la

NOAA, reconnus en tant qu'experts sur les Grands Lacs, ainsi que d'un chercheur du Georgia Tech University, qui pourra collaborer à notre recherche sur l'évapotranspiration.

Dans le cadre du projet CROQ, il sera essentiel d'établir des collaborations avec des utilisateurs intéressés qui exploreront les données produites, permettant ainsi d'identifier les problèmes et aider au développement; les membres envisagés et qui ont déjà montré de l'intérêt sont notamment Hydro-Québec, le CEN, le MDDELCC, le MERN, le CEHQ et RTA.

RÉFÉRENCES

CEHQ, 2013. Atlas hydroclimatique du Québec méridional. Impact des changements climatiques sur les régimes de crue, d'étiage et d'hydraulicité à l'horizon 2050. Québec, 2013. 51 p. Disponible à <http://www.cehq.gouv.qc.ca/hydrometrie/atlas/>.

de Elia, R., S. Biner and A. Frigon, 2013: Interannual variability and expected regional climate change over North America. *Climate Dynamics*. DOI: 10.1007/s00382-013-1717-9.

de Elia R., D. Caya, H. Côté, A. Frigon, S. Biner, M. Giguère, D. Paquin, R. Harvey and D. Plummer, 2008. Evaluation of uncertainties in the CRCM-simulated North American climate. *Climate Dynamics*, 30, 113-132. DOI 10.1007/s00382-007-0288-z.

Deser, C., A.S. Phillips, M.A. Alexander, B.V. Smoliak, 2013: Projections North American Climate over the Next 50 Years: Uncertainty due to Internal Variability. *Journal of Climate*, In Press. Disponible à <http://www.cgd.ucar.edu/staff/cdeser/>.

Di Luca, A., R. de Elía, and R. Laprise, 2011: Potential for added value in precipitation simulated by high-resolution nested Regional Climate Models and observations. *Clim. Dyn.*, 38, 1229–1247, DOI:10.1007/s00382-011-1068-3.

Giorgi, F., C. Jones, G.R. Asrar, 2009: Addressing climate information needs at the regional level: the CORDEX framework. *WMO Bulletin*, 58(3), July 2009, 175-183.

Gutowski, W.J., R.W. Arritt, S. Kawazoe, D.M. Flory, E.S. Tackle, S. Biner, D. Caya, R.G. Jones, R. Laprise, L.R. Leung, L.O. Mearns, W. Moufouma-Okia, A.M.B. Nunnès, Y. Qian, J.O. Roads, L.C. Sloan and M.A. Snyder, 2010: Regional Extreme Monthly Precipitation Simulated by NARCCAP RCMs. *J. of Hydrometeorology*, 11(6), 1373-1379. DOI: 10.1175/2010JHM1297.1

Markovic, M., R. de Elia, A. Frigon and H. D. Matthews, 2013: A Transition from CMIP3 to CMIP5 for climate information providers: the case of surface temperature over eastern North America. *Climatic Change*. DOI 10.1007/s10584-013-0782-8.

Martynov, A., R. Laprise, L. Sushama, K. Winger, L. Separovic, and B. Dugas, 2013: Reanalysis-driven climate simulation over CORDEX North America domain using the Canadian Regional Climate Model, version 5: model performance evaluation. *Climate Dynamics*, 41(11-12), 2973-3005. DOI:10.1007/s00382-013-1778-9.

Mearns, L. O., S. Sain, L. R. Leung , M. S. Bukovsky , S. A. McGinnis , S. Biner , D. Caya , R.W. Arritt , W. Gutowski, E. Takle , M. A. Snyder , R. G. Jones, A. M. B. Nunes, S. Tucker, D. Herzmann , L. McDaniel, L. Sloan, 2013 : Climate change projections of the North American Regional Climate Change Assessment Program (NARCCAP). *Climatic Change*. DOI 10.1007/s10584-013-0831-3.

Mearns, L. O., R. Arritt, S. Biner, M. S. Bukovsky, S. McGinnis, S. Sain, D. Caya, J. Correia Jr., D. Flory, W. Gutowski, E. S. Takle, R. Jones, R. Leung, W. Moufouma-Okia, L. McDaniel, A. M. B. Nunes, Y. Qian, J. Roads, L. Sloan and M. Snyder, 2012: The North American Regional Climate Change Assessment Program: Overview of Phase I Results. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 93, 1337–1362. doi: <http://dx.doi.org/10.1175/BAMS-D-11-00223.1>

Meehl and coauthors, 2009: Decadal prediction: Can it be skillful? *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 90, 1467–1485, DOI:10.1175/2009BAMS2778.1.

PACC, 2012: Plan d'action 2013-2020 sur les changements climatiques. Le Québec en action Vert 2020.

Plummer D. A., D. Caya, A. Frigon, H. Côté, M. Giguère, D. Paquin, S. Biner, R. Harvey, R. de Elia, 2006: Climate Change over North America as Simulated by the Canadian RCM. *Journal of Climate*. 19(13), 3112-3132.

Separovic, L., A. Alexandru, R. Laprise, A. Martynov, L. Sushama, K. Winger, K. Tete and M. Valin (2013). Present climate and climate change over North America as simulated by the fifth-generation Canadian regional climate model. *Climate Dynamics*, 41(11-12), 3167-3201. DOI:10.1007/s00382-013-1737-5.

Taylor K.E., R.J. Stouffer, G.A. Meehl, 2011: An overview of CMIP5 and the experiment design. *Bull. Amer. Meteor. Soc.* April 2012, 485-498. DOI:10.1175/BAMS-D-11-00094.1.

Wang, J., and R. L. Bras, 2011: A Model of Evapotranspiration Based on the Theory of Maximum Entropy Production, *Water Resour. Res.*, 47, W03521.