

Base de données des simulations de changement
climatique à l'usage des études d'impact.
Rapport final.

Jan Polcher, Viviane Leboucher, Serge Planton, Sophie Valcke

16 décembre 2003

Table des matières

1	Introduction	2
2	Résumé étendu	2
3	Méthodologie	3
3.1	Échange avec les utilisateurs	3
3.2	Construction de la base de données	4
3.2.1	Le choix des descriptifs des simulations	4
3.2.2	Choix des simulations	7
3.2.3	Choix des variables	9
3.3	Distribution de données	9
4	Résultats	15
4.1	Projet ICCARE : Impact des changements climatiques sur la phénologie et l'évolution des aires de répartition d'espèces végétales ligneuses et herbacées. .	15
4.2	GICC-Seine	17
4.3	Applications des simulations climatiques dans le cadre du programme GICC AQUABIO	20
4.4	Relation climat-phénologie et teneur en sucre des cépages Grenache et Syrah en France Méditerranéenne	23
4.5	Impact du changement climatique sur la mousson en Afrique de l'Ouest	24
5	Conclusion	26
6	Publications	27

1 Introduction

Les données utilisées pour l'étude de l'impact du changement climatique sur notre environnement et notre société proviennent de modèles de climat (MCG) et sont affectées d'une incertitude. Tous les modèles qui sont utilisés dans la chaîne qui va de la constatation de l'augmentation des gaz à effet de serre aux décisions politiques qui sont à prendre ont des barres d'erreur. Afin de pouvoir s'assurer que les décisions sont prises dans les meilleures conditions, il est indispensable de connaître ces erreurs et de savoir comment elles se propagent d'un modèle à l'autre. Dans ce projet, nous avons mis à la disposition des participants du programme GICC une première base de données constituée à partir des simulations de changement climatique faites les deux MCGs français. Ainsi, les résultats des deux groupes peuvent être proposés dans un même format aux équipes qui appliquent les modèles d'impact et qui en conséquence ont pu avec un effort minimal tenir compte de ces incertitudes dans leurs projections. Cette base de données a permis d'assurer une discussion autour des scénarios proposés par les modèles climatiques et autour de l'interprétation des résultats. En effet, la focalisation sur une simulation plutôt qu'une autre ou l'utilisation d'un ensemble de simulations dans une étude d'impact est passée par une réflexion et un choix conscient, donc par une discussion avec la communauté des atmosphériciens.

La plupart des variables calculées par le modèle de climat près de la surface ne sont pas directement observables. Ceci est lié à la faible résolution des modèles et à la forte variabilité spatiale à la surface, ainsi qu'aux concepts qui sont utilisés dans la formulation mathématique des processus. Il a donc été important de mener une discussion avec les équipes qui appliquent les changements climatiques aux systèmes desquels dépendent notre société, tels que l'hydrologie, l'agronomie et l'économie afin d'assurer une bonne exploitation des sorties de MCGs. Ceci en contrepartie nous a permis d'inclure dans nos modèles des diagnostics plus pertinents qui seront disponibles pour les équipes des impacts pour les prochaines simulations de scénario.

2 Résumé étendu

Le projet "Base de données des simulations de changement climatique à l'usage des études d'impact" n'a pas seulement permis de rassembler et de mettre au même format un certain nombre de simulations du changement climatique disponibles en France, mais il a aussi permis d'intensifier les échanges entre la communauté des climatologues et celle des études d'impacts.

Une de nos premières activités a été le conseil aux utilisateurs de la base de données. Les questions qui nous ont été le plus souvent posées étaient :

- Le lien entre les observations et les sorties des modèles ou plus généralement le sens ainsi que les limitations de ces données,
- L'échantillonnage temporel et spatial des champs simulés,
- Les variables produites par les modèles, et
- Le format qui serait utilisé pour échanger les données.

Pour chacun de ces points, les besoins étaient différents pour chaque utilisateur. Nous avons donc du adapter à chaque requête l'échantillonnage des données, la sélection des variables et le format d'échange.

Afin de nous permettre de gérer facilement le grand ensemble de sorties de modèles que nous avons récupéré et de les documenter nous avons construit une base de données. La fenêtre vers l'extérieur de cette base est accessible à : <http://gicc.ipsl.jussieu.fr/>. Sur cette page web sont documentées les simulations et les variables disponibles. En interne, nous

avons mis toutes les données au même format, avec les mêmes conventions d'unités et de signes afin de simplifier la gestion et de réduire le potentiel d'erreurs lors de la distribution.

Pour satisfaire la diversité des formats demandés par les utilisateurs, nous avons été contraint de développer un certain nombre de filtres afin d'opérer les transformations. Ceci a été un travail important car il facilitait grandement l'utilisation des données par les utilisateurs et leur permettait de se concentrer sur l'interprétation.

Nous avons conclu de cette expérience de deux ans qu'une telle base de données et les conseils individualisés qu'elle peut apporter aux études d'impact est un environnement indispensable que le GICC devrait essayer de pérenniser. La charge de travail associée n'est pas très importante mais requiert des personnes impliquées une grande disponibilité et une volonté de servir la communauté des impacts. Dans la communauté des atmosphériciens, ce sont sans doute les personnes impliquées dans la représentation des processus de surface qui seront le mieux à même de rendre ce service, vu que dans leur activité de recherche, ils côtoient déjà les communautés des agronomes, hydrologues et écologues.

3 Méthodologie

3.1 Échange avec les utilisateurs

Dans la proposition de projet, nous avons prévu une série de séminaires pour conseiller les différents projets du GICC dans l'utilisation des sorties des modèles de circulation générale (MCGs). Cette approche avait été choisie en prévision d'une forte demande de conseils de la part des utilisateurs. Nous comptons privilégier la transformation des données dans les formats les mieux adaptés aux besoins des utilisateurs et pensions que des séminaires seraient suffisants pour discuter de la meilleure utilisation des sorties des MCGs.

Faut-il le rappeler, les sorties de MCGs sont des données très particulières surtout près de la surface. Les modèles représentent une variable que l'on mesure en un point typique par la moyenne sur une grande région. Toute la diversité de la surface et les hétérogénéités atmosphériques induites sont insuffisamment représentées. Donc la comparaison d'une variable simulée avec son correspondant accessible par l'observation in-situ est un problème complexe. De plus, les modèles sont affectés par des biais systématiques. Il est impossible de savoir si ces problèmes n'affectent que le climat moyen simulé ou si ils ont aussi des conséquences sur la sensibilité du modèle. Donc, par conséquence, il est impossible de savoir si on peut se satisfaire de l'utilisation des anomalies (différences entre le climat modifié et le climat actuel) ou si des méthodes plus complexes de correction de biais doivent être utilisées.

Vu que la demande de données de la part des autres projets GICC n'était pas aussi importante qu'initialement prévue, nous avons assez rapidement privilégié l'échange direct avec les utilisateurs. Nous avons essayé de provoquer une rencontre et d'entamer une discussion sur les besoins de l'étude d'impact et les possibilités des sorties de MCGs.

Les discussions ont toujours couverts les sujets suivants :

- Le lien entre les observations utilisées par l'étude d'impact et les données que peuvent proposer les modèles. Les aspects abordés ont été le choix de la maille du MCG à utiliser pour les études à petite échelle ou l'interpolation pour les études à grande échelle.
- L'échantillonnage temporel a aussi suscité beaucoup de discussions. La première demande des utilisateurs a souvent été pour des valeurs en moyennes mensuelles mais ils étaient intéressés par des valeurs journalières si elles avaient été disponibles. Le message qui est à faire passer aux modélisateurs est de sauvegarder des moyennes journalières

dans les simulations de changement climatique.

- La liste des variables que nous avons proposée aux utilisateurs était toujours plus fournie que ce dont ils avaient besoin. Ceci est surtout lié au fait que la plupart des modèles d'impact ont été développés avec des forçages météorologiques standards. Nous avons souvent eu à expliquer que certaines de ces variables (température à 2 mètres par exemple) n'étaient pas directement simulées par le MCGs mais était le résultat d'interpolations. Ceci a amené la discussion sur les autres variables produites par les modèles qui contiennent aussi l'information requise mais qui sont plus directement liées aux processus simulés. Leurs incertitudes peuvent donc être supposées plus faibles.
- Dans les discussions, le format des données était plutôt une question que nous avons posée aux utilisateurs car nous nous sommes adaptés à leurs besoins. Par contre, nous avons rencontré des cas pour lesquels le format des données n'était pas adapté au volume des données à échanger. Mais même dans ce cas, nous avons essayé de trouver une solution pour les utilisateurs en proposant un média adapté. L'utilisation de données issues de MCG est déjà suffisamment compliquée pour la communauté des impacts, il a fallu essayer de réduire autant que possible les difficultés techniques.

Aucune de ces discussions n'a changé la façon de faire des études d'impact. Mais ceci n'était pas l'objectif et n'était surtout pas souhaitable car en tant que modélisateur du climat nous ne pouvons pas prétendre connaître les besoins des études d'impact. Par contre, les discussions ont fait naître des idées, des deux cotés, qui seront sans doute réalisées dans des projets futurs. Nous n'avons fait qu'amorcer un processus d'éducation dans les deux communautés.

Dans le cadre d'un projet GICC, il n'était pas possible pour les impacteurs de reformuler leurs modèles pour mieux tenir compte des limites et des caractéristiques des sorties des MCGs ou pour les climatologues de refaire tourner les simulations de changement climatique. Donc, les échanges que nous avons eu n'ont pas pu être concrétisés mais ils porteront certainement des fruits lors de prochains appels d'offre.

3.2 Construction de la base de données

3.2.1 Le choix des descriptifs des simulations

Les Directory Interchange Format (DIF) : Dans un premier temps, l'effort s'est porté sur la constitution de la base de métadonnées, c'est à dire d'une banque de fichiers qui décrivent les simulations des modèles numériques. Pour chaque expérience, un fichier comprend des rubriques, telles que, entre autres, les paramètres simulés, la couverture temporelle, la résolution spatiale et temporelle, le centre distributeur des données, le mode de distribution et quelques lignes de résumé. Ces fichiers ont une double utilité. D'une part, puisqu'ils décrivent spécifiquement un jeu de données, ils permettent aux utilisateurs de mieux comprendre son contenu. D'autre part, leur écriture dans un format adéquat permet leur intégration au sein d'un métacatalogue de données afin d'effectuer des requêtes. Nous avons choisi d'intégrer ces fichiers au sein du métacatalogue de données de l'IPSL dont la mise en place en terme d'accès centralisé et d'interrogation thématique s'est achevée en septembre 2003. Le format choisi est celui du Directory Interchange Format (DIF) utilisé par la NASA pour décrire les données des sciences de la terre (pour davantage d'information sur ce format : <http://gcmd.gsfc.nasa.gov/User/difguide/difman.html>). L'élaboration de ce DIF au sein de la NASA est née du besoin d'échanger des informations à propos des jeux de données scientifiques vers la fin des années 1980. C'est un produit flexible qui peut évoluer pour intégrer davantage de métadonnées. Ce format est compatible avec la norme du Federal Geographic

Data Committee (FGDC) qui est un autre standard répandu.

Ces métadonnées sont stockées sous forme de fichiers XML (Extensible Markup Language : <http://www.w3.org/TR/1998/REC-xml-19980210>). En plus de structurer l'information qui est préservée dans la base ces fichiers, ceci permet aussi la génération automatique de pages Web. Nous nous en sommes servi pour construire le site web de la base de données GICC.

Introduction du champ "Expérience numérique" : Les DIFs proposés par la NASA fonctionnent très bien pour les observations où chaque donnée est unique dans le temps et l'espace. Si deux observations sont disponibles au même moment au même point c'est qu'il y a du avoir deux instruments et cela peut être documenté dans le DIF. Par contre, pour des sorties de modèles numériques, nous pouvons avoir deux données au même moment et au même endroit avec le même modèle. Il ne suffit pas de décrire le modèle, il faut aussi le documenter dans le DIF. Ceci n'était pas possible jusqu'à présent et donc nous avons du intervenir.

Afin de distinguer différentes simulations issues d'un même modèle et pour permettre une recherche plus précise de nos données issues de modèles, outre l'ajout de mots-clés, nous avons inséré un champ supplémentaire à ce DIF qui décrit spécifiquement une expérience numérique. Nous avons impliqué dans cette réflexion le PCMDI (<http://www-pcmdi.llnl.gov/>) qui a une certaine expérience dans la gestion de base de données de sorties de modèles. Cet ajout a nécessité une homogénéisation du format en relation d'une part avec l'IPSL, qui l'a intégré au niveau de ses descriptifs et de son interface de requêtes, d'autre part avec la NASA. La discussion pour l'introduction de ce nouveau champ au sein des descriptifs de la NASA est toujours en cours.

Nous avons inséré ci-dessous l'état actuel de notre nouveau champ, des exemples étant disponibles à l'adresse <http://gicc.ipsl.jussieu.fr/Reflexion.htm> :

Proposed DIF Syntax :

```
Group :      Numerical_Experiment
             Model_Name :
             Model_Version :
             Model_URL :
             Model_Configuration :
             Model_Resolution :
             Model_Calendar :
             Group :                               Model_Integration_Period
                                                    Start_Date :
                                                    Stop_Date :

             End_Group
             Simulation_Name :
             Initial_Conditions :
             Perturbation :
             Imposed_Boundary_Conditions :

             End_Group
```

Specifications :

- *The Numerical_Experiment field is optional.*
- *This field should be repeated as often as there are simulations.*
- *The subfields are text lines, up to 160 characters of the printable ASCII.*

- If the group is included in the DIF, `Simulation_Name`, `Initial_Conditions`, `Perturbation`, `Imposed_Boundary_Conditions`, `Model_Name` and `Model_Version` are required.
- The subfields `Model_Resolution`, `Model_Calendar`, `Model_URL`, `Model_Integration_Period` and `Model_Configuration` are optional subfields within the group.

Detail of definitions :

Model_Name, Model_Version and Model_URL : These fields should describe the model which produced the data and allow the user to go back to the numerical model if needed or get in touch with its developers.

Model_Configuration : This field allows to specify which configuration options were chosen for the model. It is often so that models include a variety of options which allow the use more or less complex representation of certain processes and these need to be described. For instance, if the model has different parameterizations of convection, it should be indicated here which one was chosen. This is not always apparent from the model version used and thus need to be specified separately.

Model_Resolution and Model_Integration_Period : These fields are especially useful when they are different from the *Data Resolution* and the *Temporal Coverage*. With this information the data user should be able to see if the data has been interpolated or re-sampled.

Model_Calendar : Some models will use a simplified calendar to avoid the difficulties of the Gregorian one. It is important for the data user to know which one was used so that the methods for computing monthly means can be adapted.

Simulation_Name : This field allows us to differentiate between the various simulations included in an experiment and to find the corresponding files. As a consequence, one would expect this name to be also present in the file names or descriptors.

Initial_Conditions : This field should describe briefly which initial conditions were used. In the simplest case of a forecast for instance, it will be the date of the analysis used to initialize the model. In the case of a climate simulation, one could for instance say that the initial condition is a state from an equilibrium run of the model. With ensemble of simulations the perturbation to the initial conditions should be described.

Perturbation : In numerical experiments the control simulation is always perturbed in one way or another, it is the nature of numerical experiments. This needs to be well described else the usefulness of the data can not be assessed by a potential user. The perturbations can be none, this would be the control experiment and then all sorts of perturbations can be imagined. It is important to provide in this field all the differences which exist with the control simulation.

Imposed_Boundary_Conditions : This field allows to describe which external conditions were prescribed to the model. For instance, in an AGCM experiment, only the source of the sea surface temperature field used would be given. For a more complete simulation of the climate of the last century, one could describe the assumptions which were used for the evolution of the aerosols, the atmospheric CO_2 or the solar constant. Model results may respond strongly to variations of these imposed boundary conditions and thus a proper description is needed.

Recommendations :

- The `Numerical_Experiment` field is only needed if the results described by this DIF are part of a numerical experiment.

- *In the simplest case (a transient run which tried to reproduce the current climate for instance) there would only be one such field but on the contrary if the experiment is a result of an ensemble run (ensemble seasonal prediction for instance) then there should be as many fields as there are simulations. A typical sensitivity experiment would have one field for the control simulation and another one for the perturbed simulation.*

Discussion :

It is proposed that the addition of a new Numerical Experiment field be made to the DIF. This addition "Numerical Experiment" is designed to precise describing and searching of model simulations for the model community. This field is needed as we need to know quickly if the data is composed of two or more experiments, and thus we have more than one value for each point in time and space. Also it needs to be obvious from the start for the user that these are not true observation but only the results of a numerical model which was run under very specific conditions.

3.2.2 Choix des simulations

Nous avons rassemblé dans notre base de données deux simulations issues des modèles couplés océan/atmosphère actuels de l'IPSL et de Météo France/CERFACS/IPSL qui prennent en compte l'augmentation progressive de la teneur en gaz à effet de serre, ainsi que quatre simulations plus courtes issues des modèles atmosphériques du LMD et du CNRM qui font un arrêt sur image sur la situation de doublement du CO_2 . Ces deux types de simulations permettent d'avoir d'une part l'évolution sur le long terme du climat mais à faible résolution spatiale et avec un échantillonnage de modèles réduits et d'autre part, un grand nombre de simulations plus courtes (10 à 20 ans) avec des sorties à plus haute fréquence et sur un maillage plus fin.

Les DIFs correspondants, qui décrivent précisément chacune des simulations, sont accessibles à l'adresse suivante : <http://gicc.ipsl.jussieu.fr/Descriptifs.htm>. Ils sont en anglais, par souci d'intégration dans le métacatalogue de l'IPSL.

Simulation transitoire de l'IPSL : Le taux d'augmentation du CO_2 dans l'atmosphère dépend des émissions anthropiques et de la capacité des océans et de la biosphère terrestre à absorber le CO_2 anthropique. Des études récentes ont montré que le changement climatique résultant de l'accroissement du CO_2 pourrait réduire de façon significative l'efficacité des puits de CO_2 . L'étude du couplage Climat-Carbone à l'échelle globale a fait l'objet d'un travail original à l'aide du modèle couplé atmosphère-océan IPSL-CM2 développé à l'Institut Pierre-Simon Laplace (Paris). Ce modèle tridimensionnel est composé d'un modèle de circulation générale atmosphérique, d'un modèle de circulation générale océanique, d'un modèle de glace de mer et d'un modèle permettant de calculer les échanges de chaleur et d'eau entre l'atmosphère et les surfaces continentales. Afin de prendre en compte les interactions climat/carbone, à ce modèle couplé a été adjoint des modèles du cycle de carbone océanique et biosphérique. Le modèle ainsi développé est forcé par les émissions, et le taux de croissance du CO_2 atmosphérique est calculé comme la différence entre les émissions anthropiques et les absorptions biosphériques et océaniques calculées. Deux simulations ont été réalisées : une simulation de contrôle sans émission anthropique et une simulation avec des émissions issues de l'IPCC, observées pour la période 1850-1995 et selon le scénario IPCC SRES98 A2 pour la période 1996-2100. Pour la période 1860-2000, le modèle reproduit les changements observés pour la température globale moyenne et pour le taux de croissance du CO_2 atmosphérique. Pour le futur, les résultats montrent que l'augmentation de CO_2 réduit l'absorption biosphérique. A l'horizon 2100, le

CO_2 atmosphérique serait de 18% supérieur en raison de l'impact du changement climatique sur le cycle du carbone.

Simulation transitoire de Météo France/CERFACS/IPSL : Le refroidissement stratosphérique, qui a été moins étudié que le réchauffement troposphérique, est la conséquence directe de l'augmentation des gaz à effet de serre. La photochimie de l'ozone est sensible à la température et pourrait être affectée par le refroidissement stratosphérique attendu pour le prochain siècle. Afin d'étudier ce problème, plusieurs simulations transitoires, introduisant la possible réponse du climat et de l'ozone à l'augmentation des gaz à effet de serre pour le 21^{ème} siècle, ont été réalisées à Météo-France/CNRM. Le modèle comprend une version récente du modèle de circulation générale atmosphérique ARPEGE-Climat (MCG), couplé grâce au coupleur OASIS du CERFACS au modèle de circulation générale océanique OPA (MCGO) de l'IPSL/LODyC ainsi qu'au modèle dynamic-thermodynamique de glace de mer GELATO et au modèle de routage hydrologique TRIP. Un premier ensemble de deux jeux de données de 150 ans débutant en 1950, dans lequel les concentrations en gaz à effet de serre et en aérosols sulfatés sont soit fixés (simulation de contrôle), soit changés annuellement suivant les observations jusqu'à la fin du 20^{ème} siècle, et ensuite suivant le scénario de l'IPCC SRES98 A2 pour la période 2000-2100. Les résultats sont cohérents avec d'autres simulations existantes qui montrent une très lente récupération de l'ozone stratosphérique au cours de la deuxième moitié du 21^{ème} siècle par rapport aux valeurs précédant le trou d'ozone et une diminution plus importante de la glace de mer par rapport aux simulations de la même série réalisées avec le scénario IPCC SRES98 B2.

Simulations arrêt sur image : Les interactions entre surfaces continentales et l'atmosphère sont considérées comme l'une des principales incertitudes liée aux projections du climat (IPCC 2001). En 1996, le Commission Européenne a financé un projet, appelée "Land-surface processes and climate response", avec pour objectif de déterminer l'incertitude liée aux processus de surface dans les simulations du changement climatique (Crossley et al. (2000)).

Quatre modèles de circulation générale atmosphérique (MCGs) ont été utilisés pour explorer la fourchette des incertitudes. Quatre groupes en modélisation du climat ont été impliqués : le Centre de Hadley (HC), le Laboratoire de Météorologie Dynamique du C.N.R.S. (LMD), le Centre National de Recherches Météorologiques / Météo-France (CNRM) et l'Université de Reading (UR). Il a été décidé de réaliser pour tous les MCGs des expériences arrêt sur image d'au moins 10 ans en utilisant des simulations transitoires du changement climatique disponibles au Hadley Center (HadCM2). Ceci a été réalisé en appliquant les changements de température et de glace de mer (obtenus à l'aide de ces expériences couplées) aux températures climatologiques de surface de la mer utilisées par les MCGs. Chacun des participants a réalisé des expériences arrêt sur image pour le climat actuel $1 \times CO_2$ et pour le climat avec un doublement de concentration de CO_2 ou $2 \times CO_2$ avec leur schéma de surface standard et aussi avec un schéma de surface modifié.

Le modèle du CNRM : Le modèle du Centre National de Recherches Météorologiques / Météo-France a été couplé à deux schémas de surface : le schéma ISBA ((Noilhan and Planton, 1989) et un schéma plus simple pour lequel la conductance de surface a été réduite.

Le modèle du LMD : Le modèle du Laboratoire de Météorologie Dynamique a été couplé à deux schémas de surface : le schéma complexe de surface SECHIBA (de Rosnay and Polcher 1998) et à un schéma plus simple (Manabe 1969).

3.2.3 Choix des variables

Le choix des variables à mettre à disposition des utilisateurs a été un compromis entre ce qui était disponible et ce qui aurait été souhaitable de l'être.

Dès le départ, nous nous sommes focalisés sur le climat proche de la surface et les processus de surface eux-mêmes. C'est là que la plupart des impacts affectant nos sociétés se trouvent. Nous avons aussi gardé des informations sur le bilan d'énergie de l'atmosphère vu que c'est là que l'impact premier de l'augmentation des gaz à effet de serre peut être observé. Ces variables permettent donc de comparer l'effet de serre des différents modèles.

Pour la surface et ses échanges avec l'atmosphère, nous avons retenu toutes les variables pour lesquelles il existe des observations. Vu que la plupart des modèles d'impact sont construits avec des forçages observés, il semble logique de proposer ces variables simulées par les modèles. Évidemment, la comparaison entre l'observation et son correspondant issu du MCG n'est pas triviale à cause des différences dans les échelles spatiales représentées et le fait que pour le modèle, il s'agit souvent d'un diagnostique et non d'une variable primaire.

Nous avons aussi choisi de proposer aux utilisateurs des variables plus complexes car non-observables. Elles ne peuvent être observées car leur définition dépend des hypothèses mêmes du modèle qui les simule. Ceci est par exemple le cas pour la "Moisture Availability Function" ou l'humidité du sol (Polcher, 2003). Seules les anomalies de ces variables peuvent être comparées (souvent que qualitativement) entre les différents modèles dans la base de données. Toutefois, ces variables sont intéressantes pour l'évaluation des impacts vu qu'elles sont souvent aussi simulées par les modèles des utilisateurs. Ainsi, les différences de comportement de la surface dans le MCG et dans le modèle d'impact peuvent être étudiées.

Vu qu'un grand nombre de processus de surface sont déjà simulés dans les MCGs, il est important que la reconstitution qui en est faite lors de la simulation des impacts soit cohérente. Avec ces variables, nous donnons aux utilisateurs la possibilité de le faire.

Une version simplifiée de la liste des variables disponibles et de leurs définitions est donnée dans les tables 1 et 2 ci-dessous. La version complète de ces tables est disponible sur les pages Web de la base de données : <http://gicc.ipsl.jussieu.fr/Variables.htm>.

Toutes les variables choisies sont présentes dans au moins une des simulations de la base de données. Mais souvent, nous n'avons eu accès qu'à la moyenne mensuelle. Ceci est bien insatisfaisant pour l'étude des impacts. Nous avons donc transmis cette liste de variables aux développeurs de MCGs pour leur demander d'en introduire le diagnostique dans leurs modèles et de les archiver en moyenne journalière lors des prochaines simulations de changement climatique.

La disponibilité des variables et l'échantillonnage temporel sont donnés dans les tables 3 et 4.

3.3 Distribution de données

Pour gérer les données en interne, nous avons choisi le format netCDF (<http://www.unidata.ucar.edu/packages/netcdf/>). C'est un format qui est largement répandu dans la communauté des modélisateurs en géophysique et qui présente l'avantage de décrire complètement les données stockées dans le fichier. Pour chaque variable nous avons les coordonnées spatio-temporelles des valeurs, une brève description de la variable, de ses unités ainsi que toutes les autres précisions utiles, comme par exemple la valeur numérique utilisée pour les données manquantes.

Variable name	Definition	Units
Planetary Boundary Layer Height	The height of the atmospheric layer from the Earth's surface up to an altitude of about 1 kilometer in which wind speed and direction are affected by frictional interaction with objects on the Earth's surface.	m
Latent Heat Flux	The flux of energy, per unit area, which leaves the surface as water is transformed into vapor.	W/m^2
Sensible Heat Flux	The flux of energy, per unit area, associated to the diffusion of heat away from the surface.	W/m^2
Sea Level Pressure	The atmospheric pressure at mean sea level, either directly measured, or, most commonly, empirically determined from the observed station pressure.	<i>millibar</i>
Surface Pressure	In meteorology, the atmospheric pressure at a given location on the earth's surface.	<i>millibar</i>
Incident Surface SW	The amount of short wave radiation arriving at the surface. Most of the short wave energy is in the spectral band $0.2\mu m$ to $4\mu m$.	W/m^2
Reflected Surface SW	The amount of short wave radiation reflected by the surface.	W/m^2
Surface Incoming LW Radiation	The long wave flux emitted by the atmosphere and reaching the surface. The energy is concentrated at wavelength greater than $4\mu m$.	W/m^2
Surface Net Radiation	The net radiative energy absorbed at the surface. This comprises the net short wave as well as the net long wave flux at the surface.	W/m^2
Surface Net SW Radiation	Short wave radiative energy absorbed at the surface.	W/m^2
TOA Net LW Radiation	Long wave radiative energy lost to space by the Earth.	W/m^2
TOA Net SW Radiation	Net Short wave energy absorbed by the Earth system as seen from the top of the atmosphere.	W/m^2
Lowest Level Temperature	Temperature in the lowest layer of the soil model. This layer has a zero flux closure and thus only exchanges energy with the layer above.	K
Maximum Surface Air Temperature	Highest air temperature attained during a specific time interval, here 24 hours.	K
Minimum Surface Air Temperature	Lowest surface air temperature attained during a specific time interval, here 24 hours.	K
Surface Air Temperature	In meteorology, the temperature of the ambient air near the surface of the earth, almost invariably determined by a thermometer in an instrument shelter. In a model this is the result of an interpolation between the surface temperature and the temperature of the lowest atmospheric level.	K
Evapotranspiration	The sum of evaporation from bare soil, transpiration from plants and sublimation of snow covered areas.	$kg/(m^2s)$
Surface Air Humidity	The humidity of the air at about 2m above the ground. Again in a model this is an interpolation between saturated humidity at the surface and the value in the lowest layer of the atmospheric model.	Kg/Kg
Wind Stress	Energy lost to friction at the surface by the wind.	N/m^2

TAB. 1 – Liste des variables retenues pour la base de données

Variable name	Definition	Units
Cloud Amount/Frequency	The fraction of the skycover (reported in tenths of sky covered) that is attributed to a particular cloud type, or cloud layer ; often used synonymously with cloud cover.	%
LW Cloud Radiative Forcing	The change induced by clouds on the long wave energy budget at the top of the atmosphere.	W/m^2
SW Cloud Radiative Forcing	The impact of clouds on the short wave energy budget at the top of the atmosphere.	W/m^2
Precipitable Water	The vertically integrated content of water in the atmospheric column and in its three phases.	Kg/m^2
Precipitation Rate	The amount of precipitation that is collected over a specific time period ; usually measured in kg per squared meter and seconds. This unit is equivalent to millimeters per seconds.	$kg/(m^2s)$
Snow	A type of frozen precipitation composed of white or translucent ice crystals, chiefly in complex branch hexagonal form and often agglomerated into snow-flakes, especially at temperatures warmer than -5 C (23 F).	$kg/(m^2s)$
Temporal Precipitation Variance	The day to day variance of precipitation. Typically computed over a month.	$kg/(m^2s)$
Interception Loss	The evaporation of the water intercepted by the canopy.	$kg/(m^2s)$
Leaf Area Index	The area of all leafs divided by the surface on the ground covered by the plant.	–
Transpiration	Evaporation by the plants of water in the soil moisture reservoir.	$kg/(m^2s)$
Snow Water Equivalent	The mass of water in the snow cover.	Kg/m^2
Runoff	The excess water which can no infiltrate into the soils or which is lost because the soil moisture exceeds the holding capacity.	$kg/(m^2s)$
Moisture Availability Function	The ratio of actual over potential evaporation as simulated by the land-surface model.	–
Land Surface Temperature	The surface temperature resulting from the energy balance simulated at the surface. The exact definition of this variable is model specific as it depends on the assumptions made.	K
Soil Evaporation	Evaporation from the bare soil fraction.	$kg/(m^2s)$
Soil Heat Flux	The thermal flux from the surface into the soil.	W/m^2
Soil Moisture/Water Content	The amount of water in the soil as assumed by the land-surface model. This variable is also strongly dependent on the assumption made by the model on the soil characteristics.	Kg/m^2
Albedo	Albedo is the ratio of the radiation (radiant energy or luminous energy) reflected by a surface to that incident on it. Snow and cloud surfaces have a high albedo, because most of the energy of the visible solar spectrum is reflected. Vegetation and ocean surfaces have low albedo, because they absorb a large fraction of the energy. Clouds are the chief cause of variations in the Earth's albedo.	%

TAB. 2 – Suite de table 1

Long Name	Short Name	IPSL-CCM2	LSPCR-CNRM	LSPCR-LMD	CNRM-A2
Planetary Boundary Layer Height	HPBL	-	Monthly	Daily / Monthly	Monthly
Latent Heat Flux	FLUXLAT	-	Monthly	Monthly	Monthly
Sensible Heat Flux	FLUSENS	Monthly	Monthly	Daily / Monthly	Monthly
Sea Level Pressure	SLP	Monthly	Monthly	Daily / Monthly	Monthly
Surface Pressure	SPR	Monthly	Monthly	Daily / Monthly	Monthly
hline Incident Surface SW	SUNSOLIN	-	Monthly	Monthly	Monthly
Reflected Surface SW	SUNSOLUP	-	Monthly	Monthly	-
Surface Incoming LW Radiation	LWSOLIN	Monthly	Monthly	Daily / Monthly	Monthly
Surface Upwelling LW Radiation	LWSOLUP	Monthly	Monthly	Daily / Monthly	-
Surface Net Radiation	NETRAD	-	Monthly	Daily / Monthly	-
Surface Net SW Radiation	SUNSOL	Monthly	Monthly	Daily / Monthly	-
Surface Net LW Radiation	LWSOL	Monthly	Monthly	Daily / Monthly	Monthly
TOA Net SW Radiation	SUNTOP	Monthly	Monthly	Daily / Monthly	Monthly
TOA Net LW Radiation	LWTOP	Monthly	Monthly	Daily / Monthly	Monthly
Maximum Surface Air Temperature	TAIR_MAX	-	Monthly	Daily / Monthly	Monthly
Minimum Surface Air Temperature	TAIR_MIN	-	Monthly	Daily / Monthly	Monthly
Surface Air Temperature	TAIR	Monthly	Monthly	Daily / Monthly	Monthly
Evapotranspiration	EVAPN	Monthly	Monthly	Daily / Monthly	Monthly
Surface Air Humidity	QAIR	Monthly	Monthly	Daily / Monthly	Monthly
Northward Surface Stress	SSTRESS_V	Monthly	Monthly	Daily / Monthly	Monthly

TAB. 3 – Échantillonnage des variables disponibles dans la base de données

Long Name	Short Name	IPSL-CCM2	LSPCR-CNRM	LSPCR-LMD	CNRM-A2
Eastward Surface Stress	SSRESS_U	Monthly	Monthly	Daily / Monthly	Monthly
Northward Wind	NORTH_V	-	-	Daily / Monthly	-
Eastward Wind	EAST_U	-	-	Daily / Monthly	-
Cloud Fraction	CLD	Monthly	Monthly	Daily / Monthly	Monthly
SW Cloud Radiative Forcing	SWFOR	Monthly	Monthly	Daily / Monthly	-
LW Cloud Radiative Forcing	LWFOR	Monthly	Monthly	Daily / Monthly	-
Precipitable Water	PRECVAP	Monthly	Monthly	Daily / Monthly	Monthly
Precipitation Rate	PRECIP	Monthly	Monthly	Daily / Monthly	Monthly
Snow	SNOWFA	Monthly	Monthly	Daily / Monthly	Monthly
Temporal Precipitation Variance	PREC_VAR	-	Monthly	Daily / Monthly	-
Interception Loss	INTERC	-	Monthly	Daily / Monthly	-
Leaf Area Index	LAI	-	Monthly	Daily / Monthly	-
Transpiration	TRANSP	-	Monthly	Daily / Monthly	Monthly
Snow Water Equivalent	SNOWM	-	Monthly	Daily / Monthly	-
Snow Depth	SNOWDP	Monthly	-	-	Monthly
Total Runoff	ROFF	Monthly	Monthly	Daily / Monthly	Monthly
Moisture Availability Function	BETA	-	Monthly	Daily / Monthly	-
Land Surface Temperature	TSOL	Monthly	Monthly	Daily / Monthly	Monthly
Soil Evaporation	BAREVAP	-	Monthly	Daily / Monthly	-
Soil Heat Flux	FLUXGRD	-	Monthly	Daily / Monthly	Monthly
Soil Moisture / Water Content	QSB	Monthly	Monthly	Daily / Monthly	Monthly
Albedo	ALBEDO	-	Monthly	Daily / Monthly	-

TAB. 4 – Suite de la table 3.

Un certain nombre de standards ont été définis pour décrire ces méta-données qui accompagnent les valeurs brutes. Nous avons choisi de nous conformer à la norme CF (<http://www.cgd.ucar.edu/cms/eaton/cf-metadata/index.html>). Cette norme précise les méta-informations qui sont nécessaires, celles qui sont optionnelles et le format à utiliser (pour les dates par exemple). Elle donne aussi la priorité entre les différentes informations afin d'éviter toute ambiguïté.

Le format netCDF et la convention CF sont utilisés par un grand nombre de logiciels. Nous avons donc pu avoir recours à eux pour gérer la base de données et distribuer les fichiers aux utilisateurs.

Les sorties des MCGs qui sont entrées dans la base de données étaient déjà écrites dans le format netCDF ou alors ont été transformées par nos soins. Nous avons aussi fait une vérification de la qualité des données et des méta-informations. Nous avons dû pour beaucoup de fichiers corriger le signe des flux ou alors les mettre aux unités standards. Nous nous sommes aussi assurés que dans les fichiers les mêmes noms de variables étaient utilisés et que les fichiers étaient en accord avec la norme CF.

Nous avons écrit des outils qui permettent de convertir les données du format netCDF vers celui requis par l'utilisateur. Au cours de cette opération, nous avons aussi extrait le domaine spatial ou temporel demandé. Les formats qui nous ont été demandés et pour lesquels nous avons développé des outils sont :

ARCinfo : Ceci est le format d'un des Systèmes d'Information Géographique (SIG) les plus répandus. Nous n'avons pu faire ce travail qu'avec l'aide de l'équipe d'Agnes Ducharne car nous ne possédons pas de SIG ou d'expertise dans ce domaine au LMD. De plus, ce format de données n'est pas documenté par le constructeur et donc c'est par tâtonnement que nous nous sommes approchés de la solution.

ASCII : Ce format est tout simplement la transcription en caractères des données. Le problème que nous avons rencontré est que chaque utilisateur possède sa façon de ranger les données dans les fichiers et son choix de précision. Notre outil ne pouvait donc être général. Pour chaque demande nous avons dû modifier le convertisseur.

netCDF Dans ce cas, nous n'avons fait qu'extraire le domaine demandé avec un des outils de manipulation de fichiers netCDF qui est dans le domaine public.

Ce qui est important de préciser ici, c'est que pour les deux premiers formats aucune méta-information ne peut être mise dans les fichiers. Nous avons donc dû accompagner les fichiers d'un e-mail expliquant la structure des données, des unités et puis des coordonnées sur lesquelles les valeurs se positionnent. Ceci est une source d'erreurs et d'oublis qui retarde l'échange de données et génère une certaine frustration.

Mais c'est à la base de données de s'adapter aux formats des utilisateurs et non le contraire. Les sorties des MCGs sont trop exotiques pour conseiller aux utilisateurs de passer à des formats auto-descriptifs.

Comme les fichiers de base que nous avons collectés sont en netCDF, nous avons pu profiter des logiciels de distribution de données qui existent dans le domaine public. Pour cela, nous nous sommes servis d'un serveur OPeNDAP (<http://www.unidata.ucar.edu/packages/dods/index.html>). De cette façon, une partie des sorties des MCGs sont directement accessibles en ligne : <http://dods.ipsl.jussieu.fr/cgi-bin/nph-dods/gicc/data/>. Avec cette URL et des logiciels qui intègrent la librairie OPeNDAP, on peut travailler sur ces données comme si elles résidaient sur la machine locale de l'utilisateur. La localisation physique des données devient transparente pour l'utilisateur.

Cette méthode est à la pointe de la technologie, mais comme bien souvent elle n'intègre pas le facteur humain. Comme nous l'avons expliqué ci-dessus, les utilisateurs ont besoin de conseils sur la nature des sorties de MCGs et sur la meilleure façon de les utiliser. Ces conseils ne peuvent être apportés que si une personne de la communauté MCG prend le temps d'une discussion. Cette étape risque d'être court circuitée par une distribution complètement automatisée et l'utilisateur n'a plus de point de contact pour les questions qui pourraient surgir.

De plus, la distribution automatique ouvre tout le problème de la protection de la propriété intellectuelle des simulations.

4 Résultats

Etant donné que ce projet n'a pas de résultats scientifiques à montrer, nous avons choisi de proposer aux utilisateurs de présenter brièvement leurs applications des simulations que nous avons distribuées. Nous leurs avons demandé de rendre compte en moins de 2 pages des résultats qu'ils ont pu obtenir grâce à cette diversité de simulations et de commenter l'utilité qu'ils ont trouvé à la base de données.

Nous avons reçu trois demandes de projet GICC dont deux seulement de la même tranche que le projet base de données. Au vue de la faible demande, nous avons accepté d'autres demandes. Annick Douguedroit, de l'Université Aix-Marseille I, désirait qu'une de ses étudiantes en thèse utilise les scénarii de changement climatique pour évaluer l'impact sur la vigne dans la région Méditerranéenne. Vu que le sujet correspondait aux objectifs du GICC, nous avons accepté et nous leurs avons fourni le même service qu'aux autres groupes.

Avec la mobilisation grandissante autour de la mousson Africaine, nous avons décidé de profiter de la base de données pour évaluer les incertitudes dans le changement climatique prédit pour cette région. Cette étude a été proposée à un étudiant en DEA qui continue aujourd'hui par une thèse. Il ne s'agit pas d'une étude d'impact mais le contexte d'un néophyte utilisant des sorties de MCGs avec l'aide de tout l'environnement autour de la base de données est le même.

4.1 **Projet ICCARE : Impact des changements climatiques sur la phénologie et l'évolution des aires de répartition d'espèces végétales ligneuses et herbacées.**

I. Chuine et J. Roy
CEFE-CNRS 34293 Montpellier

Notre projet comporte un volet modélisation qui s'appuie sur un volet expérimentation et sur des données et résultats acquis lors de précédents projets. Ce volet modélisation a pour but de prédire quelle sera l'évolution des aires de répartition de différentes espèces, notamment celles étudiées dans le volet expérimentation du projet en fonction de différents scénarios IPCC et déterminer ainsi comment le réchauffement global pourra affecter la biodiversité. Différents MCGs sont utilisés dans notre projet dont celui du LMD, mais également celui de Meteo France (ARPEGE) et du Centre Hadley (HadCM3). Un premier travail a consisté à réaliser une analyse de sensibilité de notre modèle de biogéographie (PHENOFIT) aux données climatiques d'entrée, et d'estimer les biais liés au type de données utilisées (résolution spatiale et temporelle, données observées, extrapolées ou modélisées).

Les besoins urgents d'estimation des impacts des changements climatiques sur les espèces et les écosystèmes contraignent les modélisateurs à utiliser différents types de données climatiques sans pouvoir prendre le temps d'estimer les erreurs de prédictions liées à ces données. Si les erreurs intrinsèques aux MCGs peuvent être prises en compte en utilisant leurs anomalies spécifiques, l'inadéquation entre variables climatiques disponibles et processus biologiques modélisés est plus difficile à prendre en compte. Un nombre croissant de modèles de biogéographie et de fonctionnement de la végétation, en particulier les modèles de type mécaniste, utilise des données journalières, car nombre de processus biologiques ne peuvent être pris en compte de façon adéquate qu'à cette échelle de temps. Cependant les données climatiques sont rarement disponibles à l'échelle journalière surtout pour de grandes étendues (à l'échelle continentale notamment) et à de fines résolutions spatiales; et elles ne sont que depuis peu disponibles pour les MCGs. Les utilisateurs avaient donc jusqu'à présent deux stratégies : (i) utiliser des moyennes mensuelles et générer de la variabilité journalière ou (ii) travailler avec le modèle biologique sur un pas de temps mensuel.

Nous avons ici cherché à (i) déterminer l'impact de la résolution et de la qualité des données climatiques sur les prédictions de notre modèle, (ii) identifier les zones géographiques où les données climatiques (y compris les prédictions des MCGs) montrent des faiblesses, et (iii) identifier le type de donnée climatique le plus pertinent à l'échelle globale pour simuler la distribution des espèces. Le modèle de biogéographie que nous avons utilisé est le modèle PHENOFIT. Il s'agit d'un modèle mécaniste permettant de simuler l'aire de répartition d'une espèce végétale uniquement à partir de données climatiques. Il fonctionne sur un pas de temps journalier et simule la probabilité de présence de l'espèce en estimant ses probabilités de survie et de succès reproducteur sur plusieurs décennies. Ce modèle a été validé jusqu'à présent pour deux espèces d'Amérique du Nord, l'une à large aire de répartition (*Populus tremuloides*) et l'autre à aire plus restreinte (*Acer saccharum*).

Nous avons utilisé différent type de données climatiques (uniquement températures et précipitations) pour l'Amérique du Nord dont des données journalières et mensuelles de stations, des données mensuelles extrapolées (base CRU), des données journalières générées à partir de valeurs mensuelles, ainsi que des données journalières de trois MCGs : HadCM3, ARPEGE et LMD pour la période historique. Pour les MCGs, nous avons désagrégé les températures à une résolution plus fine que celle fournie par les modèles ($0.5^\circ \times 0.5^\circ$) par correction altimétrique. Différentes simulations des aires de répartition des deux espèces ont été réalisées avec ces données afin de quantifier plusieurs effets liés à la nature et la résolution des données climatiques utilisées. La quantification précise de ces effets est rendue possible grâce à la comparaison par paire de simulations différant sur un seul point et au fait que nous connaissons très précisément l'erreur intrinsèque du modèle de biogéographie PHENOFIT par comparaison directe avec les aires de répartition observées qui ne sont pas utilisées dans l'ajustement du modèle.

Résultats

Si l'on classe tous les effets testés par ordre décroissant d'importance en terme d'erreur (diminution du pourcentage de variance expliquée) on obtient (1) températures journalières modélisées par MCG versus observées (86%), (2) température moyenne mensuelles versus journalières (29.5%), (3) température journalière générées (à partir de moyennes mensuelles) versus observées (19.3%), (4) températures moyennes mensuelles extrapolées versus observées (6.2%), (5) ETP et balance hydrique mensuelles versus journalières (1%). Il apparaît donc que (1) l'influence du régime hydrique sur la répartition géographique des espèces tempérées est

beaucoup plus faible que celui des températures ; (2) les données de températures extrapolées à partir de données de stations (type CRU) sont peu biaisées ; (3) l'utilisation de données de températures journalières est nettement préférable à la génération de températures journalières à partir de valeurs mensuelles ; (4) la variabilité journalière des températures est très importantes dans les processus biologiques qui déterminent l'aire de répartition des espèces ; (5) les erreurs et/ou biais des MCGs est supérieur à tout autre source d'erreur et il est impératif de travailler en anomalies. S'il est donc possible de se passer de données journalières d'ETP et de pluie, il n'en va pas de même pour les températures. Pour aller plus loin, l'utilisation de pluie et ETP mensuelles et de températures journalières générées à partir de valeurs mensuelles, ce qui est la solution la plus simple actuellement pour des prévisions sur l'actuel pour de grandes zones géographiques, ne réduirait que de 10% la variance expliquées pour des espèces de la zone tempérées, mais d'au moins 25% pour les espèces occupant les hautes latitudes ou altitudes, et davantage pour les espèces strictement boréales ou alpines.

La comparaison des différents MCGs révèle plusieurs effets. En zone tempérée (simulation pour *Acer saccharum*) les trois MCGs donnent des résultats similaires. En revanche aux hautes latitudes ou altitudes (simulation pour *Populus tremuloïdes*) les différences entre les trois MCGs sont plus nettes, les meilleures prédictions étant obtenues avec HadCM3 puis ARPEGE puis LMD. Ce classement pour les hautes latitudes est sans doute lié à deux raisons. Premièrement le nombre d'années de données disponibles pour les simulations (10 ans pour le LMD, 20 ans pour ARPEGE et 50 ans pour HadCM3) influe sans doute sur la représentativité des variations de températures aux hautes latitudes car c'est une zone qui montre de forts écarts de température et il est nécessaire pour les modèles biologiques d'avoir une longue période de données pour échantillonner tout le domaine du possible en terme de température. Deuxièmement il est possible que la résolution spatiale des MCGs joue également sur la justesse des prédictions du modèle de biogéographie, celle du LMD étant plus faible que celle de ARPEGE (1230 points contre 1740 soit -30%) car les simulations sont faites à la résolution $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ qui est la résolution minimale avec il est possible de travailler pour les processus étudiés. En revanche, il apparaît que les erreurs introduites par les données LMD sont assez homogènes sur la zone étudiée, en particulier on n'observe pas de différences notables entre hautes et basses latitudes comme cela est le cas avec le modèle HadCm3.

Perspectives

Les prochaines étapes de ce travail sont de

1. fournir pour les deux espèces nord Américaines utilisées pour ce travail des simulations de leur aire de répartition (en tenant compte de leur potentiel de migration) pour les scénarios A2a et B2a simulés par les modèles LMD, ARPEGE et HadCM3 ; en utilisant les anomalies journalières de températures et de précipitations et ainsi obtenir des prédictions les moins biaisées possibles ;
2. étendre les résultats à d'autres espèces du continent européen, ligneuses et herbacées, ce qui nécessite au préalable un travail de mise au point du modèle de biogéographie pour ces nouvelles espèces à partir entre autre des résultats expérimentaux.

4.2 GICC-Seine

Agnès Ducharne
UMR Sisyphe

Le projet GICC-Seine cherche à évaluer l'influence du changement climatique sur la ressource en eau dans le bassin de la Seine, sous son double aspect de l'hydrologie et de la qualité biogéochimique (nutriments, carbone, oxygène). Ce projet ne se limite pas aux impacts directs du changement climatique, mais il vise à les intégrer dans le cadre d'une réflexion plus large, prenant en compte les facteurs de changement induits par l'activité humaine dans le bassin, avec une attention toute particulière à l'agriculture.

Nous détaillons ci-dessous le travail qui a été effectué en lien avec le projet GICC "Base de données des simulations du changement climatique à l'usage des études d'impact", coordonné par J. Polcher (Laboratoire de Météorologie Dynamique).

Méthode

Ce travail repose sur une démarche analytique, qui commence par découpler les différentes composantes du système, avant d'analyser leurs réponses croisées. Ainsi, l'évolution des forçages climatiques de l'hydrosystème est appréhendée grâce à des modèles de circulation générale (MCG), qui constituent le meilleur outil actuellement disponible pour envisager la réponse du climat à l'augmentation des concentrations en gaz à effet de serre.

Simulations MCG utilisées : Les simulations de changement climatique par les MCG sont cependant soumises à de nombreuses incertitudes, liées aux MCG eux-mêmes (paramétrisations physiques, résolution et régionalisation) et aux scénarios d'émissions en gaz à effet de serre au cours du XXI^{ème} siècle, par nature inconnues. Il semble donc fondamental de disposer de plusieurs simulations, dont les différences donnent une idée de la marge d'incertitude du changement climatique potentiel.

Pour ce faire nous avons rassemblé 12 simulations de changement climatique, chacune rassemblant deux périodes limitées (10 ou 30ans) : une intégration de référence représentant le climat actuel, et une intégration de changement climatique. Les sources pour ces données sont les suivantes :

Météo-France : Michel Déqué nous a fourni 3 paires de simulations réalisées avec le MCG ARPEGE, selon deux versions de ce modèle, et sous trois scénarios d'émission différents,

Data Distribution Center de l'IPCC : nous avons rapatrié les sorties mensuelles de 8 simulations de changement climatique, réalisées avec 5 MCG différents, sous scénarios d'émission SRES-A2, et parfois SRES-B2,

projet GICC : nous avons exploité une paire de simulations, réalisées avec le MCG LMD6 dans le cadre du projet européen LSPCR. Il s'agit des simulations LSPCR-LMD, réalisées avec le schéma de surface SECHIBA, à une résolution moyenne de $3.75^\circ \times 1.6^\circ$, en situation $1xCO_2$ (référence=1979-1988) et en situation $2xCO_2$.

Construction de scénarios de changement climatique : Les MCG présentent souvent des biais dans leur simulation du climat actuel, tout particulièrement sur les précipitations continentales, ce qui entraîne des biais, souvent importants, sur l'hydrologie simulée. Pour s'affranchir de ce problème, la stratégie la plus usitée est de construire des scénarios de changement climatique à partir de MCG, selon la méthode des perturbations. Elle consiste à perturber les données météorologiques "actuelles" (ici données météorologiques 1987-1988) par des perturbations représentant le changement climatique, et construites (par différence ou rapport selon les variables météorologiques) à partir de simulations MCG du changement

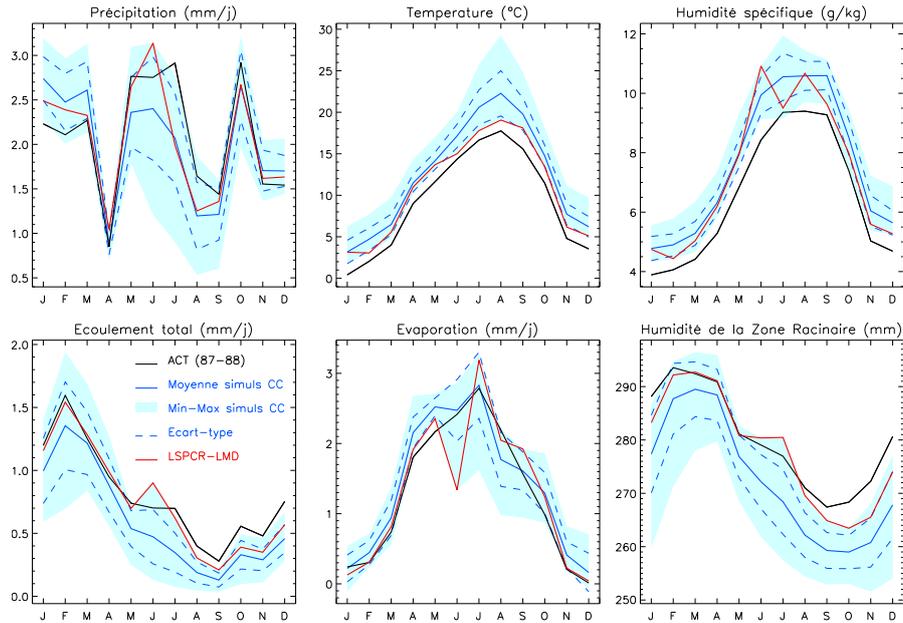


FIG. 1 – Scénarios de changement climatique et impact hydrologique associé dans le bassin de la Seine. L’enveloppe bleue est l’enveloppe des 12 scénarios, la courbe bleue est leur moyenne, et les courbes en tiretées bleus donnent leur écart-type autour de cette moyenne.

climatique (i.e. une intégration de référence actuelle et une intégration de changement climatique, comme ci-dessus). C’est cette stratégie, déjà adoptée par le projet GICC-Rhône, que nous avons retenue.

Résultats

La figure 1 récapitule les 12 scénarios climatiques construits (en terme de précipitation, température à 2m et humidité de l’air) et leur impact sur le fonctionnement hydrologique du bassin de la Seine simulé par le modèle hydrologique CaB (années de référence = 1987-1988).

Le scénario basé sur les simulations LSPCR-LMD est caractérisé par un faible réchauffement ($+1.65^{\circ}C$) qui est le plus faible des réchauffement analysés, et qui est associé à une augmentation modérée d’humidité de l’air. Les précipitations changent peu : légère augmentation en hiver et légère diminution en été (variations non significatives). En conséquence de ce changement climatique faible, l’impact hydrologique est faible également, mais cohérent avec celui simulé selon les autres scénarios. On trouve notamment une diminution estivale de l’humidité du sol (la plus faible parmi les 12 réponses) et des écoulements (la seconde plus faible, la plus faible étant associée à un scénario où les précipitation augmentent très fortement en hiver).

Intérêts du projet GICC

La simulation fournie par le projet GICC “Base de données des simulations du changement climatique à l’usage des études d’impact” (GICC-BD) nous a permis d’enrichir notre échantillon de scénarios et de mieux aborder la problématique des incertitudes du changement climatique simulé. Sa prise en compte a été d’autant plus intéressante que cette simulation correspond au plus faible changement climatique parmi les 12 que nous avons pu envisager. Le projet GICC-Seine n’étant pas encore terminé, nous espérons pouvoir discuter de cette

particularité avec Jan Polcher, et si cela s'avère encore possible, intégrer d'autres simulations proposées par le projet GICC-BD dans notre échantillon.

Notons enfin que nous avons fait partie des utilisateurs "cobaye" de cette base de données. Nous avons notamment essayé les plâtres, et apporté un support, au transfert des données au format ArcInfo, qui permet une intégration rapide sous Système d'Information Géographique. Ce contexte particulier explique sans doute aussi que les modalités de demande des données n'étaient pas encore très claires, résultant dans une certaine lenteur dans la mise à disposition des données.

4.3 Applications des simulations climatiques dans le cadre du programme GICC AQUABIO

Crane ROGERS

UCB Lyon1 / UMR 5023 CNRS

Objet du programme Aquabio

Le programme Aquabio ou Conséquences potentielles du changement climatique sur les biocénoses aquatiques et riveraines des cours d'eau français a principalement pour objectif d'évaluer les effets de changements thermiques et hydrologiques sur la distribution biogéographique des populations de poissons d'eau douce, de macro-invertébrés aquatiques, et de la végétation ripicole endémique et invasive en France.

Les travaux entrepris dans le cadre du programme ne se rattachent pas exclusivement à l'application aux modèles biologiques des anomalies environnementales issues des simulations climatiques. Seules deux actions du programme s'appuient sur les anomalies climatiques des simulations, le premier en rapport avec la thermie, le deuxième en rapport avec l'hydrologie.

Anomalies thermiques

Les données de 4 simulations G.I.C.C. (LMD Sechiba et Bucket ; CNRM Isba et Moses) ont été mises à disposition par le L.M.D. à Jussieu, tandis qu'une cinquième simulation à haute résolution a été récupérée directement auprès du CNRM. Les données ont été mises à disposition rapidement, et malgré les problèmes de format de fichiers liés au fait que dans nos disciplines respectives nous n'utilisons pas les mêmes plateformes informatiques, les difficultés rencontrées n'étaient pas insurmontables. Le fait que le LMD s'était équipé d'un outil d'édition de scripts AML (Arc Marco Language, langage ArcInfo permettant de générer des couvertures géoréférencées) a été d'un grand secours.

Le changement d'échelle entre la résolution de nos propres données actuelles et celles des simulations climatiques est énorme. Les deux maillages à basse résolution (LMD et CNRM) débordent largement de la France en 16 mailles de l'ordre de 200 à 300 km de côté, tandis que les chantiers régionaux Seine et Adour Garonne (actions 4 et 6) n'étaient recouverte que par entre 1 et 4 mailles. L'application des anomalies génère des effets de maille au niveau des simulations biologiques, i.e. : certaines régions apparaissant comme ayant des réponses biologiques nettement plus fortes que des régions voisines, alors qu'il s'agissait en fait du passage d'une maille à l'autre. Au finale, nous avons donc limité l'application des anomalies thermiques simulées à la seule action nationale (Action 3). Dans le cadre des chantiers régionaux Seine

et Adour Garonne, les simulations ont été effectués en appliquant des anomalies spatialement uniformes à intervalle régulier (0,5 ou 1°C).

La simulation Météo France à haute résolution (50 à 60 km sur la France), est fondée sur la même hypothèse que les autres simulations (SRES-A2), mais avec un modèle de forçage 2 C02 plus récent (GIEC au lieu de HadCM2). Compte tenu de la plus haute résolution et l'effectif de points, nous les avons interpolées par Splines régularisés (génère des surfaces tendus). Ce choix est peut-être très discutable du point de vue des climatologues, mais cela permettait de résoudre l'effet de maille visualisation des résultats. Rappelons toutefois ces anomalies correspondent en fait à une moyenne pondérée locale des anomalies sur un rayon de 60 km environ, et non pas des estimations réellement locales.

Les simulations ont été effectuées en appliquant les anomalies aux modèles logistiques de probabilité d'occurrence par espèce, préalablement calibrées sur les données actuelles. L'anomalie biologique est exprimée en variation de la probabilité d'occurrence liée exclusivement aux modifications thermiques, indépendamment d'autres facteurs (impacts anthropiques, modifications hydrologiques, adaptations biologiques). En fait, au niveau national, cela revient à simuler l'évolution de la distribution de l'habitat potentiellement favorable pour les espèces considérées.

Anomalies hydrologiques

Les conditions hydrauliques (vitesses et hauteurs d'eau) sont des facteurs écologiques majeures pour les espèces aquatiques. En liaison avec le programme G.I.C.C. Rhône, nous avons pu disposer d'anomalies hydrologiques sur le bassin du Rhône, générées à partir des simulations CNRM et LMD à différentes résolutions. Pour plus de renseignements sur la l'utilisation des simulations et le calcul des anomalies hydrologiques, voir le rapport du G.I.C.C. Rhône.

Le couplage de modèles hydrologie - hydraulique a permis de calculer des anomalies hydrauliques au niveau des stations de la modélisation biologique, en utilisant un modèle d'habitat physique simplifié. Après contrôle préalable des sites, des modèles biologiques, et des simulations hydrologiques, une combinaison de 3 modèles biologiques, 2 modèles hydrologiques et 6 simulations climatiques ont été appliquées sur 100 stations. Compte tenu des divergences et incertitudes, tant au niveau biologique et hydrologique que pour les simulations climatiques, nous avons choisi de travailler sur des modèles agrégés selon plusieurs critères (moyennage temporel des anomalies, groupement spatial des stations).

Résultats des applications de simulations climatiques dans le cadre du programme Aquabio

Simulation des réponses aux changements thermiques : Les modèles de régression logistiques multiples ont été validés pour 22 espèces avec des variables thermiques optimisées (températures saisonnières sur 5 ans), puis modifiés en fonction des anomalies des 5 simulations climatiques LMD et CNRM. En moyenne sur les 5 scénarios, 5 espèces cryophiles présentent des réductions potentielles fortes de leurs occurrences (Truite, Chabot, Loche franche, Lamproie de Planer et la Perche soleil), avec des réductions d'occurrence nettes pour la Truite, la Lamproie et la Loche, au-delà des anomalies de 2°C. A l'inverse, de nombreuses espèces de cyprinidés sont affectées positivement, et de façon continu avec l'accroissement de l'anomalie : Chevaine, Ablette, Perche, Hotu, Barbeau commun et Barbeau méridional. L'épinochette montre également une réponse similaire. Les modifications potentielles d'occurrence pour toutes ces espèces apparaissent importantes, en particulier pour les scénarios présentant des anomalies

supérieures à 2°C.

Les modifications à attendre des aires de distribution sont fournies par bassin hydrographique et à l'aide de représentations cartographiques. L'approche montre que les réponses potentielles des espèces au changement climatique varient beaucoup d'une espèce à l'autre et démontre la nécessité de ne pas entreprendre des approches directement au niveau des peuplements. En résumé, le réchauffement climatique aurait des répercussions fortes sur les peuplements piscicoles avec une raréfaction des espèces actuellement caractéristiques des zones amont des réseaux et une extension des espèces de cyprinidés les plus rhéophiles vers ces zones amont. Pour de nombreuses espèces, les anomalies d'occurrence les plus faibles se situeraient dans les bassins côtiers de la Manche et en Bretagne. A l'inverse, l'occurrence de la truite serait gravement affectée sur le bassin de la Seine en raison de l'absence de zone d'altitude refuge.

Simulation des réponses aux changements hydrologiques : La première nouveauté de cet exercice est que nous sommes maintenant capables de réaliser des modélisations quantitatives d'impacts biologiques liées aux modifications de débits à large échelle. Rappelons toutefois que l'utilisation de couplages de modèles "agrégés" implique des niveaux d'incertitudes élevées et difficilement maîtrisables.

L'approche est centrée sur l'évaluation des impacts de l'évolution des étiages. Les différentes combinaisons de modèles hydrologiques et de scénarii climatiques aboutissent presque toutes à des variations relatives des débits d'étiage de l'ordre de -25 à -50%, mais selon les modèles et scénarii utilisées, les anomalies hydrologiques ne présentent pas les mêmes tendances spatiales. Une réduction plausible des débits mensuels secs sur le bassin de l'ordre de 30% à 40% aurait pour conséquence une réduction moyenne de la proportion des espèces d'eau courante de l'ordre de 20%. Elle pourrait concerner le nord-nord-est du bassin en particulier.

Sans être "catastrophique", cette évolution traduit une réponse sensible, sans oublier qu'il ne s'agit là que des effets hydrologiques directs du aux changements climatiques, indépendant d'une éventuelle augmentation des prélèvements, d'impacts thermiques, ou d'autres impacts anthropiques. Entre autres, la tendance observée pourrait renforcer la régression générale de certaines espèces en Europe (en particulier hotu, ombre commun, vandoise, barbeau), due à l'aménagement des cours d'eau.

Conclusions

De façon générale, nous avons cherché à décrire les modifications potentielles de la distribution biogéographique des espèces en lien avec différents scénarios climatiques, en terme de modifications soit thermiques, soit hydrologiques. Cela ne tient compte d'autres altérations des biocénoses liées aux pressions anthropiques ni de l'influence des processus biotiques (modes de dispersion, interactions trophiques). L'incertitude de nos propres modélisations, couplé à celle des simulations, incite à une interprétation prudente des résultats ; il s'agit d'un exercice de simulation fort intéressant, mais beaucoup d'aspects de la question ne sont pas maîtrisés.

Les résultats montrent néanmoins des tendances fortes en terme des réponses biologiques pour un niveau de modification moyenne (moyenne des simulations). Pour les 22 taxons de poissons modélisés, les réponses sont assez différentes selon les espèces, tandis que les végétaux montrent des réponses types par groupes d'espèces, vraisemblablement en raison du grand nombre de taxons.

Comme première expérience majeure en France de la simulation des impacts du changement climatique sur les biocénoses aquatiques et riveraines, ce programme a permis le ren-

contre de deux communautés scientifiques différentes, travaillant avec des outils différents, à des échelles différentes. Le principal problème soulevé est celui du changement d'échelle, ou l'exploitation de résultats de simulations globales au niveau de la seule France métropolitaine. Le développement de simulations à haute résolution (< 100 km) paraît nécessaire pour intégrer une meilleure prise en compte de la diversité régionale dans la simulation des impacts.

Enfin, les résultats actuels permettent d'ores et déjà de tirer certaines conclusions prudentes, et sont cohérentes par rapport aux conclusions de la littérature internationale. A notre sens, ce travail constitue une première étape d'une démarche à approfondir, tandis que les possibilités d'applications supplémentaires sur la France voir l'Europe sont à l'étude.

4.4 Relation climat-phénologie et teneur en sucre des cépages Grenache et Syrah en France Méditerranéenne

Sandrine Bellia

UMR 6012 Espace, Université Aix-Marseille I

La base de données GIIC a été utilisée dans le cadre de la thèse de Sandrine Bellia, qui s'effectue sous la direction Pr, Annick Douguedroit, avec la collaboration de Bernard Seguin (INRA, Avignon) à l'UMR 6012 Espace (Université Aix-Marseille I). Cette thèse porte sur la relation climat-phénologie et teneur en sucre des cépages Grenache et Syrah en France Méditerranéenne. Le but est de modéliser avec des méthodes statistiques l'impact du changement climatique qui est attendu pour le XXIème siècle sur la qualité des vins.

Données utilisées

Les données fournies par le Laboratoire de Météorologie Dynamique du CNRS sont les résultats, de 1961 à 1971, des expériences LSPCR suivantes : LMD-SECHIBA, LMD-Bucket, CNRM-ISBA et CNRM-ISBA-B. Pour chaque type de simulation, nous avons utilisé les données à différentes coordonnées : $0E43N$, $4E43N$, $4E46N$, $6E45N$ et $9E45N$ pour les simulations LSPCR du LMD, $2E43N$, $2E45N$, $2W43N$ et $7E46N$ pour celles du CNRM. Les variables climatiques prises en compte sont les températures minimales et maximales, les précipitations et le rayonnement solaire.

Objectif

Ces données nous permettent d'étudier la réaction de la vigne face à une modification climatique engendrée par un doublement de CO_2 .

Méthode d'utilisation des données

Suite à des problèmes personnels, nous avons seulement commencé à utiliser les données transmises ; nous ne sommes pas en mesure pour l'instant de vous envoyer des résultats.

Nous sélectionnons actuellement les points de grilles fournis par le LMD les plus proches de notre zone d'étude. Les données sélectionnées vont servir à définir des paramètres mensuels de changement climatique selon le différentiel $2xCO_2-1xCO_2$ pour les températures et le rayonnement selon le rapport $2xCO_2/1xCO_2$ pour les précipitations et la variabilité des températures. Un générateur climatique (LARS-WG) va nous permettre de créer, dans l'objectif d'identifier l'impact d'une modification de ces dernières variables sur la vigne, deux séries

climatiques journalières “virtuelles” à partir de ces paramètres : une série prenant en compte essentiellement les paramètres de variabilité relatifs aux températures une série dans laquelle seront ajoutés les changements de précipitation et du rayonnement. Ces deux séries seront intégrées dans les modèles de culture afin d’étudier la réaction de la vigne face au changement climatique.

4.5 Impact du changement climatique sur la mousson en Afrique de l’Ouest

Tristan d’Orgeval
LMD/IPSL

Motivation de l’Etude

Depuis les 30 dernières années, le Sahel connaît une sécheresse particulièrement sévère, qui a un impact important sur les ressources en eau disponibles et sur la production agricole. Il n’est pas clairement établi si cette sécheresse est l’effet d’une variabilité multi-décennale ou bien si elle s’inscrit dans une tendance globale liée à l’augmentation de CO_2 dans l’atmosphère. Or un assèchement du Sahel sur le long terme aurait certainement pour effet une désertification progressive de la région rendant le territoire inhospitalier. Le rapport 2001 de l’IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) prévoit une faible augmentation des pluies en saison sèche et ne donne pas de signal cohérent pour l’évolution de la saison humide. Les cultures Sahéliennes sont pourtant dépendantes des pluies au cours de la mousson africaine. Dans ce contexte, il paraît utile d’étudier des simulations de changement climatique sur la région afin de voir quel consensus nous pouvons établir entre différents modèles. Nous pouvons ainsi dégager les processus dominants du changement climatique et mettre le doigt sur les incertitudes persistant à l’heure actuelle quant à l’évolution des précipitations. A partir de ces scénarios envisageables, on peut déterminer quelles régions risquent ou non de faire face à des problèmes d’accès à l’eau au cours de ce siècle.

Données utilisées

Les simulations de la base de données GICC utilisées ici proviennent du projet LSPCR (Land Surface Processes and Climate Response), dans lequel quatre modèles atmosphériques différents étaient utilisés : Les quatre modèles ont fourni chacun deux simulations de 10 ans forcées par les températures de mer : Une de contrôle et une correspondant à une augmentation des gaz à effet de serre équivalent à un doublement de CO_2 . Chacune de ces simulations a été effectuée avec le MCG du groupe et deux schémas de surface différents.

Résultats obtenus

Nous avons séparé la mousson en deux périodes : Mars-Avril-Mai (MAM) qui correspond à l’installation des pluies sur la côte guinéenne, et Juillet-Août-Septembre (JAS), période pendant laquelle les pluies remonte jusqu’au Sahel. Pour MAM, on montre que sous doublement de CO_2 , tous les modèles prédisent que la zone de pluies (ITCZ) se renforce au centre, mais se rétrécit, et se déplace vers le sud. Sur la figure 1, on observe en effet que les pluies augmentent en moyenne autour de la latitude 5S, tandis qu’elles diminuent nettement autour de la latitude

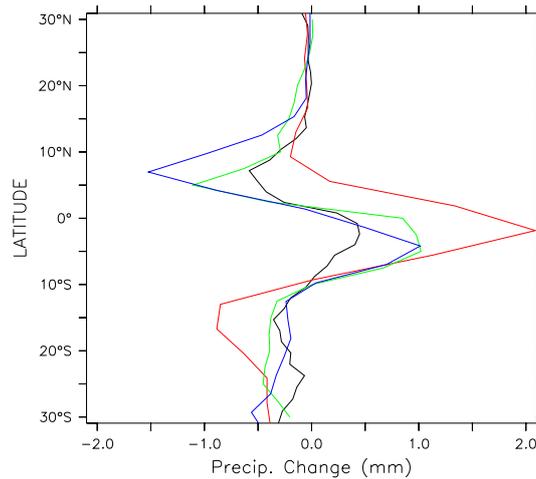


FIG. 2 – Changement de précipitations moyenné en latitude en MAM entre les simulations de contrôle et de doublement de CO_2 des quatre modèles

5N et de manière moins marquée entre les latitudes 30S et 10S. Figure 1 : Changement de précipitations moyenné en latitude en MAM entre les simulations de contrôle et de doublement de CO_2 des quatre modèles

Pour JAS, on montre que la zone de pluies se déplace sensiblement vers l'Est tandis que la fréquence des pluies change : La période caractéristique des précipitations augmente (en passant de 3-7 jours à 10 jours) et la nombre d'événements intenses sur la région augmente au dépend des événements de faibles intensités.

Utilisation de la base de données

Dans les études de changement climatique, l'utilisation comparée de plusieurs simulations semble essentielle pour séparer ce qui est dû aux imperfections du modèle de ce qui constitue le signal consistant du changement climatique. L'accès via internet à une base de données aussi large que possible est donc un énorme atout pour mener ce type d'étude.

Par ailleurs, la description bien détaillée des simulations et des variables disponibles et la bibliographie données sur le site sont également particulièrement appréciable : en effet, elles donnent à un utilisateur extérieur au groupe de recherche ayant effectué une simulation les bases pour utiliser celle-ci dans un travail d'étude d'impact. En particulier, dans les pays où il n'existe pas de groupe de recherche en modélisation du climat (c'est le cas de l'Afrique de l'Ouest dans son ensemble), il est difficile de mettre en valeur l'importance de prendre en compte le changement climatique, car toute étude d'impact est forcément limitée et discutable. L'accès à une telle base de données est alors une véritable opportunité, surtout lorsque l'introduction des simulations (<http://gicc.ipsl.jussieu.fr/> Présentation) insiste sur les précautions avec lesquelles toute étude d'impact doit être réalisée (relevant notamment les imperfections des modèles). Renforcer encore ces deux points en agrandissant la base de données (avec de nouvelles simulations ou bien des simulations provenant d'autres groupes de recherche), et en détaillant au maximum les informations sur le modèle employé et ses conditions d'utilisation pour chaque simulation me paraît donc capital.

5 Conclusion

Le projet “Base de données des simulations de changement climatique à usage des études d’impact” du programme GICC n’ayant pas des objectifs de recherche, il est difficile de présenter une conclusion sur des résultats obtenus. Ce que nous avons pu acquérir au cours des deux années est une certaine expérience.

Il nous semble que l’encadrement que nous avons pu fournir aux utilisateurs a été utile. Il est certainement plus facile d’apporter de l’aide à l’exploitation des sorties de MCGs dans une discussion directe avec l’utilisateur que dans le cadre d’un séminaire. Cette approche individualisée permet aussi une réponse plus rapide. Ceci est nécessaire car souvent les demandes arrivent en dernière minute. Les utilisateurs potentiels nous ont demandé les données au moment où ils en avaient besoin et non avec un ou deux mois d’avance. La discussion avec eux et la préparation des données a dû se faire dans l’urgence. Nous pensons donc qu’un tel service individualisé devrait être maintenu sur le long terme.

Seuls des chercheurs impliqués dans le développement des MCGs ont l’expertise pour conseiller les utilisateurs des simulations de changement climatique. On peut même aller plus loin et dire que c’est la communauté des processus de surface dans le MCGs qui est la plus proche de celle des impacteurs. En effet cette communauté dialogue déjà depuis des années avec les agronomes, hydrologues ou écologues.

Les échanges que nous avons eu avec les utilisateurs nous ont aussi permis de faire des recommandations pour les sorties à archiver dans les prochaines simulations de changement climatique. La liste de variables établie au cours de ce projet est largement suffisante pour les applications mais par contre la fréquence de sortie doit être au moins journalière.

La gestion en interne des données que nous avons mise en place nous a donné entière satisfaction. Par contre la transformation des données dans le format désiré par l’utilisateur doit être amélioré. Cette aspect est tout a fait essentiel comme nous avons pu le constater au cours de ce projet. Mais vu la diversité des formats utilisés dans la communauté des impacts, une méthode plus efficace doit être établie. Nous pourrions par exemple proposer un choix limité (5 par exemple) de formats pour lequel la base de données ferait les transformations. Probablement notre échantillon d’utilisateur n’est pas suffisant pour conclure sur ce point.

Il nous est apparu que la distribution automatisée des données n’est pas utile dans le cadre des études d’impact. Cela rompt le lien entre le “producteur” et l’utilisateur qui est pourtant vital vu les difficultés associées à l’utilisation des sorties de MCGs.

Après deux ans de fonctionnement nous pensons que pour maintenir une base de données à l’usage des études d’impact, il faut un encadrement par deux personnes : l’une avec l’expertise plutôt scientifique et l’autre plutôt technique. La charge de travail n’est pas très importante mais c’est la présence, et donc la rapidité de réaction qui compte.

Nous pensons qu’il faut prévoir par demande de données 2 à 3 jours de temps de travail pour le chercheur et 5 à 10 jours pour l’ingénieur. Le temps de travail pour l’ingénieur dépend du type de format demandé pour les données. Chaque demande engendre aussi une ou deux missions. En plus de ce travail ponctuel, le maintien de la base de données demande une charge de travail qui peut se chiffrer par an comme suit :

- 5-10 jours pour permettre au chercheur de faire l’animation autour du projet. Ceci couvre aussi bien les contacts avec les utilisateurs que suivre les simulations de changement climatique et donc les nouvelles données qui pourraient être intégrées dans la base.
- 3-4 mois pour le maintien de la base et des logiciels de transformation par l’ingénieur.

Il nous semble utile qu’une telle base de données soit maintenue par le GICC. Mais vu qu’elle doit s’étendre sur le long terme et qu’elle n’occupe pas le personnel à plein temps,

l'outil de financement "projet de recherche" est très mal adapté. La base de données devrait être montée en accord avec les tutelles qui emploient le personnel permanent des deux centres qui font les simulations de changement climatique en France. Le GICC pourrait alors se limiter à financer les frais de fonctionnement.

6 Publications

- La page Web de la base de données : gicc.ipsl.jussieu.fr
- La projet de distribution automatique des données :
<http://dods.ipsl.jussieu.fr/cgi-bin/nph-dods//gicc/data/>

Références

- Crossley, J., Polcher, J., Cox, P., Gedney, N., and Planton, S. (2000). Uncertainties linked to land-surface processes in climate change simulations. *Climate Dyn.*, 16 : 949-961.
- de Rosnay P. and Polcher, J. (1998). Improvements of the representation of the hydrological exchanges between the biosphere and the atmosphere in a GCM. *Hydrology and Earth System Sciences*, 2(2-3) :239–256.
- Manabe, S. (1969). Climate and the ocean circulation 1. the atmospheric circulation and the hydrology of the earth's surface. *Mon. Weather Rev.*, 97(11) :739–774.
- Noilhan, J. and Planton, S. (1989). A Simple Parameterization of the Land Surface Processes for Meterological Models *Mon. Weather Rev* 3 :536–549.
- Polcher, J. (2003). Les processus de surface à échelle globale et leurs interactions avec l'atmosphère. *Habilitation à diriger des recherches de l'Université Pierre et Marie Curie*, <http://www.lmd.jussieu.fr/~polcher/habil.pdf>.