

# AO INSU 2010

## Section « Océan-Atmosphère »

### *Dossier scientifique*

*Nota :*

- Ce dossier ne devra pas excéder 15 pages (a priori plus court dans le cas d'une Lettre d'Intention) et sera à télécharger via le formulaire informatique destiné à synthétiser le projet : <http://appeldoffres2010.insu.cnrs.fr>

- Le cadrage et le contenu de l'AO sont détaillés à partir du site <http://www.insu.cnrs.fr/a3105,appels-offres-insu-2010.html>, section Océan Atmosphère

**Référence du projet<sup>1</sup> :** AO2010- 496213 - MISSTERRE

**Nom du porteur du projet :** Pascale Braconnot (IPSL) et Serge Planton (Meteo-France)

**Titre du projet :** Modélisation Intégrée du Système Terre

#### **Intérêt scientifique et état de l'art**

*(Place du projet d'équipement dans le contexte régional, national, européen, international)*

Le projet MISSTERRE a été lancé en 2006 avec l'ambition de rassembler les différentes actions autour de la modélisation des changements climatiques réalisées en France. Il correspondait à un réel besoin pour la modélisation du climat qui est devenu incontournable pour de nombreuses études allant de la compréhension des interactions mises en jeu jusqu'aux études d'impact et l'aide à la décision. Le changement climatique est entré au cœur du débat de société. Les prochaines années doivent pouvoir fournir des informations pertinentes à l'échelle régionale et aux échelles décennales pour répondre aux questions liées aux impacts et à l'adaptation au changement climatique. Les interrogations majeures portent aussi sur les événements extrêmes à fort impact pour les écosystèmes, les ressources hydriques et la société. Répondre à ces questions demande en amont d'améliorer notre compréhension du système climatique, de se doter des moyens de réaliser les simulations servant de support au prochain rapport du GIEC et de faire progresser les modèles. Les pistes de recherche explorent à la fois des ensembles de simulations permettant d'étudier la réponse du climat de l'échelle globale à l'échelle régionale, des modèles de plus en plus complexes incluant le couplage entre le climat et les cycles biogéochimiques, des simulations longues pour étudier les fluctuations naturelles et mettre en perspective la perturbation anthropique, des simulations à l'échelle décennales contraintes par le choix des conditions initiales, et une représentation de plus en plus fine des processus de petite échelle permettant aussi d'aborder des simulations à haute résolution. Ces différents aspects demandent une constante évolution du contenu de modèles, de leur programmation et de l'environnement de travail associé. Il faut également être en mesure de les faire évoluer sur différents types d'ordinateurs et se préparer à aborder des problèmes nécessitant de la très haute résolution et des simulations frontières.

Dans ce contexte il paraît important que MISSTERRE continue à offrir un chapeau à différentes actions et garantisse une bonne répartition des efforts entre les différents acteurs

---

<sup>1</sup> cf formulaire informatique <http://appeldoffres.insu.cnrs.fr/>

français. Le projet ne prétend donc pas couvrir l'ensemble des thématiques abordées, dont certaines font aussi l'objet de projet plus spécifiques auprès de LEFE ou d'autres appels d'offre nationaux et européens. Ce projet assure la cohérence en permettant de développer la colonne vertébrale scientifique et technique indispensable à de nombreuses études, mais qu'il est souvent difficile de valoriser dans la plupart des appels d'offre. Il permet aussi de donner une visibilité aux actions de recherches menées pour assurer une contribution française aux travaux du GIEC (groupe I), en particulier via l'action ESCRIME (Etude des Scénarios Réalisés par l'IPSL et Météo-France), tant auprès de nos institutions que des autres communautés de recherche, en particulier celles concernées par les impacts du changement climatique..

Le projet s'intéresse aux modèles couplés utilisés pour les projections climatiques futures qui ont évolué ces dernières années, partant des modèles couplés océan-atmosphère-continent pour passer à des modèles incluant aussi de nouvelles composantes comme l'hydrologie continentale, les surfaces englacées et les cycles biogéochimiques. Le présent projet présente quelques évolutions par rapport au projet précédent. Les évolutions des composantes individuelles ne seront considérées que lors de leur intégration dans des simulations climatiques. Ainsi, le projet de physique commune entre les équipes de l'IPSL et de Météo-France est suffisamment avancé pour bénéficier d'un projet dédié au développement des nouvelles paramétrisations et à leur évaluation (projet DEPHY). D'autres initiatives seront aussi appelées à se coordonner via un projet dédié pour en développer les aspects spécifiques, en gardant des liens avec MISSTERRE pour la part qui concerne la réalisation et l'exploitation des simulations contribuant aux travaux du GIEC.

Nous avons décidé de proposer un projet pour 3 ans, ce qui permettra d'accompagner la préparation de l'AR5 (« Assessment Report 5 ») dont la voie est relativement bien tracée par l'expérience acquise au cours de l'exercice précédent. Néanmoins, nous souhaitons rester flexibles au niveau de l'organisation et sommes prêts à modifier notre stratégie en fonction des conclusions de l'exercice de prospective LEFE qui se tiendra cette année. Cela pourrait concerner en particulier la préparation de l'évolution des infrastructures de modélisation dont la réflexion peut être engagée dans le cadre de MISSTERRE mais qui impliquera peut-être de définir une action spécifique coordonnée au niveau national.

Les moyens demandés dans MISSTERRE viennent en complément de moyens obtenus dans différents projets européens dont l'activité de recherche relève pour tout ou partie de MISSTERRE. Pour les 3 prochaines années, le travail effectué dans MISSTERRE bénéficiera des projets européens COMBINE (accroissement de la complexité et travail sur l'initialisation des modèles climatiques pour les prévisions décennales), EUCLIPSE (évaluation et nuages), CIRCE (modélisation régionale), des projets de e-Infrastructure européen IS-ENES (stratégie de modélisation, développement des plateformes de modélisation et de diffusion des résultats, préfiguration de « service climatique ») et du projet d'infrastructure européen METAFOR (standardisation des métadonnées). Notons que le soutien aux actions coordonnées entre les partenaires du projet et figurant dans la présente proposition, n'est pas pris en charge dans ces projets.

## **Plan de recherche et calendrier de réalisation**

### **1 Introduction**

Le premier enjeu de MISSTERRE est de garantir une bonne participation des équipes française à la réalisation et l'exploitation scientifique des simulations prévues dans le projet

CMIP (CMIP5) qui alimentera le prochain rapport du GIEC (Assessment report 5, AR5). L'exercice international précédent ([http://www-pcmdi.llnl.gov/ipcc/about\\_ipcc.php](http://www-pcmdi.llnl.gov/ipcc/about_ipcc.php)), ayant servi de support à l'AR4 (2007), a été un succès puisqu'il a généré un nombre sans précédent d'articles scientifiques (plus de 500 répertoriées sur le site CMIP). Les équipes françaises se sont largement impliquées dans la réalisation, l'analyse et la diffusion des résultats. Ces exercices dépassent le cadre de recherches individuelles. Le projet MISSTERRE a permis de coordonner les différentes actions au niveau national. Il a aussi permis de financer l'action spécifique ESCRIME (Etude des Scénarios Climatique réalisés à l'IPSL et Météo-France) qui offre une véritable interface entre nos études scientifiques et les autres communautés (chercheurs, décideurs, industriels, grand public,...). Forts de cette expérience passée, nous proposons de continuer cette mise en commun des efforts pour l'exercice CMIP5. Les différents axes du projet sont ainsi conçus pour coordonner les simulations et les différents projets d'analyse.

Le deuxième enjeu du projet MISSTERRE est de garantir la diffusion des résultats des simulations, de renforcer les interfaces vers les autres communautés, ce qui demande à la fois de définir les différents services que nous devons assurer autour des simulations, de garantir la qualité des résultats et de standardiser les diagnostics pertinents pour différentes études d'impact. Ces aspects font déjà l'objet de réflexion dans différents projets et il faut maintenant renforcer la coordination des efforts au niveau national, en abordant conjointement les aspects concernant la grande échelle et l'échelle régionale à locale. Ils s'appuient aussi sur l'expertise acquise dans les différentes thématiques et les experts impliqués dans le projet.

Enfin, le troisième enjeu de MISSTERRE est d'offrir un forum de discussions pour le démarrage de nouvelles initiatives communes autour de thématiques scientifiques, de l'infrastructure de modélisation, de la préparation des modèles de la prochaine génération, du calcul intensif et de notre implication dans les grands projets internationaux. Les sujets à venir doivent couvrir l'avenir de nos modèles et leur évolution pour pouvoir aborder les nouvelles questions ou permettre la réalisation de simulations frontières en apparaissant comme des interlocuteurs privilégiés des grands projets de supercalculateur, au niveau national ou au niveau européen.

Pour répondre à ces objectifs, le projet s'articule autour de 3 parties regroupant respectivement les simulations et leur diffusion (section 2), les analyses, l'évaluation des modèles et l'utilisation des résultats (section 3), les modèles de la prochaine génération (section 4). Le tableau des participants joint en annexe indique les personnes concernées pour chaque partie.

## **2 Simulations et diffusion des résultats**

Le prochain rapport du groupe 1 du GIEC (GIEC AR5) est prévu pour 2013. Comme pour la précédente édition la communauté internationale se mobilise pour réaliser un ensemble coordonné de simulations. Ces simulations doivent être achevées fin 2010 pour permettre à la communauté scientifique de les analyser et de publier les résultats début 2011. Elles ont pour vocation d'être analysées par des chercheurs de tous horizons, ce qui donne d'énormes contraintes sur la gestion des données et la mise à disposition dans les bases de données.

Après avoir permis d'alerter sur les risques des changements climatiques, les simulations CMIP5 ([http://dods.ipsl.jussieu.fr/igcmg/AR5/Textes/Taylor\\_CMIP5\\_dec31.pdf](http://dods.ipsl.jussieu.fr/igcmg/AR5/Textes/Taylor_CMIP5_dec31.pdf)) doivent nous permettre de mieux évaluer la confiance que l'on peut accorder aux changements simulés, de mieux les décrire pour les éviter ou s'y adapter, de mieux évaluer l'évolution des événements extrêmes et de mieux prendre en compte les interactions entre le milieu naturel et les activités humaines. Les expériences ont été définies par les différents groupes de travail

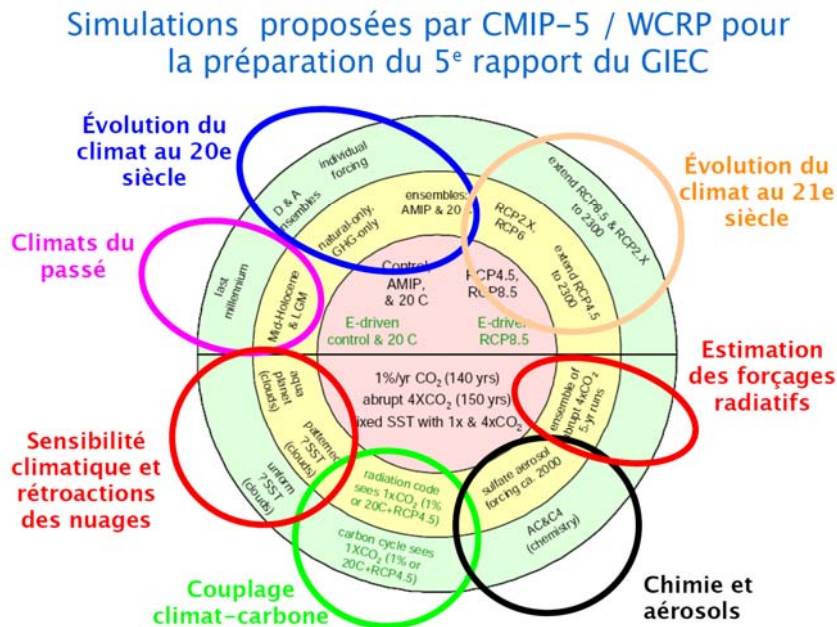
internationaux, incluant les projets C4MIP, CFMIP et PMIP dont les coordinateurs sont des chercheurs de l'IPSL. Elles comportent des simulations du climat aux échelles de temps centennales et d'autres aux échelles de temps décennales. Elles comportent également des simulations permettant de « régionaliser » les résultats des modèles globaux, en s'appuyant pour partie sur la nouvelle initiative internationale CORDEX.

## 2.1 Simulations long terme

46 participants

Les simulations à réaliser

La figure ci-dessous résume les simulations CMIP5 long terme en faisant ressortir les différentes thématiques concernées. Le cercle central (rose) comporte les simulations minimales qui doivent être réalisées par tous les modèles climatiques. Les deux cercles suivants contiennent les autres simulations à réaliser, avec un ordre de priorité décroissant.



Ces simulations seront réalisées par des modèles incluant ou non le cycle du carbone et forcés par les concentrations en gaz à effet de serre, de façon à pouvoir comparer le climat simulé par tous les types de modèle suivant une même perturbation. Les groupes bénéficiant d'un modèle incluant le cycle du carbone sont invités à produire les flux de carbone échangés entre les différents réservoirs ainsi que des simulations complémentaires pour déterminer les rétroactions entre le climat et le cycle du carbone. L'ensemble des simulations sera réalisé avec le modèle de l'IPSL pour répondre à la diversité des thématiques abordées à l'IPSL et à l'implication de nombreux chercheurs dans les projets internationaux. Côté CNRM, seule une partie des simulations sera réalisée comprenant l'ensemble des simulations minimales requises pour participer à CMIP5 (sans couplage avec le cycle du carbone), mais aussi des simulations complémentaires du climat du 20<sup>ème</sup> siècle, du dernier maximum glaciaire et en conditions idéalisées pour l'étude des rétroactions nuageuses.

### *Modèles utilisés*

Depuis les versions utilisées pour l'AR4, les modèles de climat du CNRM et de l'IPSL ont bénéficié de différentes améliorations (cf. fiche bilan).

Le pôle de modélisation de l'IPSL développe depuis plusieurs années un modèle intégré du système Terre qui permet d'aborder de façon cohérente les études du climat (précipitations, cycle hydrologique, événements météorologiques...), les études des cycles biogéochimiques (carbone, méthane, aérosols...) et leurs couplages. Ce modèle (IPSLCM5) arrive maintenant à maturité et sera notre outil de base pour les simulations à réaliser dans le cadre de CMIP5. Il couple via le coupleur OASIS3 développé au Cerfacs, la version 4 du modèle d'atmosphère LMDz avec la version NEMOv3 du modèle. La version 1.9.4 du modèle ORCHIDEE est couplée à l'atmosphère et la glace de mer LIM2 à l'océan. Pour les simulations avec cycle du carbone, le modèle PISCES de biogéochimie marine est activé, ainsi que le carbone dans ORCHIDEE. Les aérosols sont traités via le modèle INCA. Par ailleurs, nous avons également développé un modèle avec une nouvelle physique atmosphérique (cf bilan), que nous utiliserons pour réaliser un nombre limité de simulations (IPSLCM6). Au niveau de la résolution, l'ensemble des simulations sera réalisé avec un modèle de relativement basse résolution par rapport aux standards actuels (2°75 en longitude, 1,9 degrés en latitude et 39 niveaux verticaux) pour disposer assez rapidement d'un ensemble cohérent de simulations et diffuser à temps les résultats. Cette démarche permettra aussi de pouvoir réaliser des expériences de sensibilité pour mieux exploiter les résultats. Cette résolution -BR est représente néanmoins un net incrément par rapport à la résolution (3,75°x2,5° x19) utilisée pour l'AR4. Un sous-ensemble de simulations sera réalisé à plus haute résolution (-MR, 2,5°x1,3°x 39)

En vue de réaliser les simulations de CMIP5, le CNRM a développé le nouveau modèle CNRM-CM5 en collaboration avec le CERFACS. La résolution horizontale de ce modèle, construit à partir du cœur couplé ARPEGE-Climat v5 (1,4°) – NEMO v3 (1°) a été doublée par rapport à celle du modèle utilisé pour l'AR4. Le nombre de niveaux verticaux passe cependant de 45 à 31. La stratosphère est donc maintenant moins bien résolue sur la verticale, mais il a été montré que cela n'est pas préjudiciable à la qualité des simulations. De plus, le gain associé en temps de calcul permet d'envisager de réaliser des ensembles de simulations du climat du 20<sup>ème</sup> siècle comportant 5 membres chacun. La nouveauté principale de ce nouveau système couplé réside dans l'externalisation du traitement des processus de surface (SURFEX) par rapport à ARPEGE-Climat. Cette opération a permis de prendre en compte de nombreuses améliorations récentes de ce traitement au sein de CNRM-CM5. Par ailleurs, la nouvelle physique d'ARPEGE-Climat, développée notamment en collaboration avec l'IPSL est actuellement en phase de test, et il semble envisageable de réaliser certaines simulations CMIP5 en l'utilisant.

Les simulations qui seront réalisées avec les différents modèles sont répertoriées dans le tableau 2.1.1. Les simulations IPSL bénéficient d'un ordinateur dédié (SX9 Genci installé au ccrt). Le groupe CNRM/CERFACS bénéficiera de près de la moitié du ordinateur SX8-R de Météo-France (environ 16 à 20 nœuds de calcul).

### *Traitement des différents forçages*

Les modèles de climat sont classiquement forcés par les concentrations en différents gaz à effet de serre, incluant l'ozone, et les aérosols. En amont des simulations des modèles de chimie atmosphérique et d'aérosols sont donc utilisés pour convertir les émissions en concentrations. L'exercice précédent ne considérait aussi que le forçage des aérosols sulfatés. Nos modèles incluent maintenant la représentation de différents types d'aérosols.

La stratégie adoptée par l'IPSL consiste à utiliser les modèles de chimie-aérosols développés à l'IPSL et couplés à la composante atmosphérique LMDZ pour fournir les distributions d'ozone et d'aérosols. Cette méthode a l'avantage de fournir des champs tri-dimensionnels en bonne adéquation avec la circulation générée par LMDZ. Ces champs seront comparés aux champs qui seront fournis au niveau international pour les groupes ne disposant pas de modèles de chimie-aérosols. Un sous-ensemble de simulations sera aussi réalisé avec les aérosols entièrement interactifs.

### Calendrier prévisionnel

Année 1 : Réalisation du cœur des simulations

Année 2 : Finalisation de l'exercice et réalisation de simulations complémentaires pour étudier les rétroactions

Année 3 : Simulations complémentaires pour étudier les rétroactions

Tableau récapitulatif des différentes simulations et nombre équivalent d'années simulées.

Type d'expérience	IPSL		CNRM	
	Simulations prévues (version modèle)	Nbr années	Simulations prévues (version modèle)	Nbr années
Simulation de contrôle pré-industriel	<ul style="list-style-type: none"> <li>• CO2 imposé (5-BR, 5-MR, 6-BR)</li> <li>• CO2 calculé (5-BR)</li> </ul>	3100	<ul style="list-style-type: none"> <li>• CO2 imposé</li> </ul>	1000
Historique (1850-2005)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Simulation forçage (5-BR)</li> <li>• Tous forçage (3 membres)* (5-BR, 5-MR, 6MR)</li> <li>• Chaque forçage (*3) (5-BR)</li> </ul>	3750	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Forc. anthro. (GES + aéro) x5</li> <li>• Forc. anthro (GES seuls) x 5</li> <li>• Forc. naturels + anthro. x 5</li> </ul>	2340
Climat futur	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Simulation forçages (5-BP)</li> <li>• Scénario RCP4.5 (*3) (5-BR, 5-MR, 6-MR)</li> <li>• Scénario RCP 8.5 (*3) (5-BR, 5-MR, 6-MR)</li> <li>• Scénario RCP2.X (*3) (5-BR, 5-MR)</li> <li>• Scénario RCP 6 (*3) (5-BR, 5-MR)</li> </ul>	3700	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Scén. RCP 4.5 (2005-2300)</li> <li>• Scén. RCP 8.5 (2005-2300)</li> <li>• Scén. RCP 2.x</li> <li>• Scén. RCP 4.5 (2005-2100) x 4</li> </ul>	1065
Paleoclimat	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Simulation Holocène (5-BR, 5-MR, 6-MR)</li> <li>• Simulation LGM (5-BR, 5-MR)</li> <li>• Simulation dernier millénaire (5-BR, 5-R)</li> </ul>	6000	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Simulation LGM</li> </ul>	500
Sensibilité climatique et étude des rétroactions	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1% CO2/an (5-BR, 5-MR)</li> <li>• RCP4.5 pour cycle du carbone (5-BR)</li> <li>• 1%/an jusqu'au quadruplement, 4CO2 brutal (5-BR, 5-MR, 6-MR)</li> </ul>	1200	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1% CO2 (-&gt; quadruplement)</li> <li>• 4 x CO2 brutal</li> </ul>	290

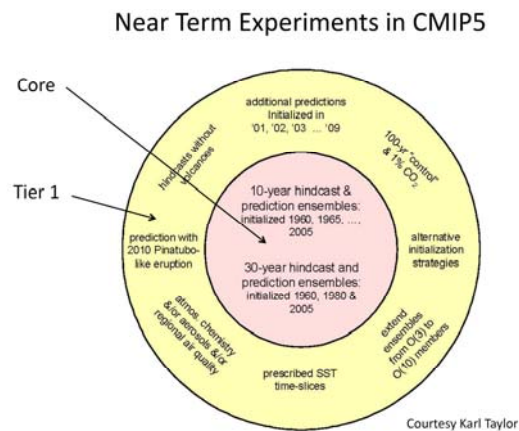
\* pour ces simulations les forçages sont le CO2 calculé ou non, naturels (solaire, volcans), GES, autres gaz, utilisation des sols (interactif ou non avec le cycle du carbone)

## 2.2 Simulations court terme

### 17 participants

La prévision décennale, thématique émergente de la recherche climatique s'attache à faire le lien entre les prévisions saisonnières à interannuelles, routinières pour ce qui est des régimes de temps sur la région nord-Atlantique – Europe (EUROSIP) ou du phénomène El Niño par exemple, et les prévisions à long terme de changement climatique. Prédire le climat 10 à 30 années en avance constitue un nouveau défi, vu notamment la pression des décideurs politiques et économiques pour mettre en place d'éventuelles mesures d'adaptation.

L'exercice CMIP5 prévoit une série d'expériences coordonnées pour l'échelle de temps décennale. Le CNRM/CERFACS et l'IPSL ont chacun décidé de participer à cet exercice.



### *Méthode d'initialisation de l'océan et simulations réalisées*

A ces échelles de temps, il semble acquis que la variabilité basse fréquence de l'océan joue un rôle important. Etant donné le manque d'observations de ce dernier notamment en subsurface, une des principales difficultés techniques de ces expériences réside dans la méthode d'initialisation du système en général et de l'océan en particulier. Plusieurs techniques sont envisagées : un rappel simple en surface vers les conditions observées (température et/ou vent), un rappel vers un état océanique ré analysé à partir d'observations disponibles ou calculé à partir d'un modèle océanique forcé, ou encore une assimilation directe des observations océaniques disponibles dans le modèle climatique couplé. Les premiers résultats de différents groupes internationaux ne permettent pas de dégager de façon évidente une méthode d'initialisation optimale. Le CNRM/CERFACS envisage de mettre à profit les études réalisées dans le cadre du projet européen ENSEMBLES puis des analyses du projet européen COMBINE, et privilégiera l'assimilation de données océaniques par des techniques variationnelles (en utilisant le système NEMOVAR développé avec le centre Européen). A l'IPSL, les études de prévision décennale se font en parallèle d'étude de prévision saisonnière à interannuelle focalisées sur les régions tropicales et pour lesquelles le rappel simple à des observations à la surface de l'océan est suffisant. Dans un second temps, des expériences plus coordonnées d'initialisation de l'océan à partir de champs océaniques à toutes les profondeurs seront exploitées pour déterminer comparer le comportement des deux modèles et les différentes techniques d'initialisation. Les simulations seront réalisées avec la version 5-MR du modèle, voire 6-MR.

Les questions scientifiques soulevées par cette thématique de la prévision climatique à l'échelle de temps décennale ne se limitent néanmoins pas seulement à la définition d'une technique d'initialisation océanique appropriée. Une fois les simulations réalisées, il s'agira d'analyser le signal climatique obtenu, de comprendre le rôle respectif des composantes atmosphériques et océaniques et d'estimer la prévisibilité éventuelle supplémentaire (en plus de celle associée aux émissions anthropiques passées et futures) liée à la mémoire associée aux modes de variabilité intrinsèque. Il faudra en particulier étudier la sensibilité de cette prévisibilité éventuelle aux échelles spatiales et temporelles considérées.. Les deux modèles utilisant des versions proches du même code océanique NEMO v3 (hors glace de mer), la communauté française dispose, comme pour les simulations à long terme, d'un ensemble d'outils adaptés pour aborder chacun de ces volets. Les diagnostics porteront d' une part sur

les questions de prévisibilité et des liens complexes entre cette dernière et les biais des modèles ou/et les erreurs sur les états initiaux. On analysera également l'impact de la technique d'initialisation sur l'état océanique mais aussi sur la réponse des modèles couplés et en particulier de leur composante atmosphérique ARPEGE-Climat et LMDZ aux échelles de temps saisonnières à décennales. La mise en œuvre de ces expériences et de ces analyses au sein de MISSTERRE est un cadre unique et indispensable pour mutualiser les efforts des deux groupes français dans cette nouvelle discipline, aussi bien pendant la phase de mise au point des simulations que pendant la phase d'analyse.

*Calendrier prévisionnel:*

mois 1-6: Mise au point des systèmes pour la prévision décennale (calendrier 365 jours,...), développement des techniques d'initialisation (nudging,...), méthodes ensemblistes

mois 6-20: Réalisation des simulations CMIP5 near term

mois 20-36: Analyse et réalisation de simulations complémentaires de sensibilité

### **2.3 Les simulations régionales**

#### **11 participants**

Le projet MISSTERRE terminé en 2009 a permis aux outils numériques de régionalisation disponibles au LMD (modèle LMDZ) et au CNRM (modèle ARPEGE-Climat zoomé et modèle à aire limitée ALADIN-Climat) d'atteindre un certain degré de maturité grâce à des développements techniques et de nombreuses études méthodologiques. Ce travail de base permet à nos deux laboratoires de participer dans de bonnes conditions à plusieurs projets européens et va leur permettre de prendre part au Chantier Méditerranée dans la partie modélisation ainsi qu'à l'exercice d'intercomparaison des modèles régionaux de climat appelé CORDEX et organisé par le WCRP dans le cadre du prochain rapport GIEC. CORDEX est le volet régional des simulations climatiques pour le futur rapport IPCC-AR5, tout comme CMIP5 pour le volet global.

Des simulations régionales en mode atmosphérique seul vont être réalisées dans un cadre déjà accepté par la communauté internationale avec des simulations hindcast (forçage par la réanalyse ERA-Interim et les SST observées sur la période 1989-2008), et des simulations scénarios (forçage par des GCMs de CMIP5 sous les scénarios RCP4.5 ou RCP8.5 sur la fin du 20<sup>ème</sup> siècle et le 21<sup>ème</sup> siècle). La résolution horizontale est de 50 km et un domaine minimal est fixé pour différentes régions du globe. CORDEX met aussi en avant la mise à disposition des données pour la communauté des impacts. Sans préjugé du nombre de zones que nous pourrions couvrir au final, il est clair que le LMD et le CNRM participeront à minima à l'exercice sur l'Afrique (zone prioritaire définie par le WCRP) et sur la Méditerranée (Med-CORDEX, initiative soutenue par MedCLIVAR et réalisée de manière coordonnée avec HYMEX). Les simulations réalisées par le LMD et le CNRM seront mises à disposition des potentiels utilisateurs.

Les simulations décrites ci-dessus constituent les « CORE runs ». Cependant d'autres simulations, variantes des premières sont envisagées : forçage par ERA40 en mode hindcast, augmentation de la résolution spatiale, couplage avec d'autres composantes du système climatique, évaluation des incertitudes liées au choix du scénario. A ce titre l'exercice Med-CORDEX est intéressant car il pourra s'appuyer sur les résultats méthodologiques de MISSTERRE (résolution, couplage, diagnostics et mise à disposition des données). Pour MedCORDEX (zone Méditerranée uniquement), en plus des simulations « CORE », nous planifions des simulations atmosphériques seules à plus fine résolution (10 km sur l'ensemble



de la zone Méditerranée) et des simulations introduisant le couplage interactif océan-atmosphère puis le couplage interactif océan-atmosphère-surface-hydrologie. On obtiendra alors un modèle du système terre régional représentant les différentes composantes du cycle de l'eau du bassin versant de la mer Méditerranée. Les différentes composantes seront représentées par les modèles suivants : LMDZ-Med, ARPEGE-Climat zoomé, ALADIN-Climat pour l'atmosphère ; NEMO-MED8 et NEMO-MED12 pour l'océan ; SURFEX-ISBA ou ORCHIDEE pour les surfaces continentales incluant l'hydrologie 1D et enfin TRIP pour le ruissellement des fleuves. Quelques simulations seront également réalisées avec le modèle WRF

Grâce à ces nouvelles simulations identifiées comme appartenant aux « TIER1 » et « TIER2 » de l'exercice MedCORDEX, nous pourrions analyser la valeur ajoutée de la très haute résolution climatique (10 km versus 50 km) pour un climat tel que le climat méditerranéen. Par ailleurs, la mise en place des systèmes terre régionaux nous permettra de mesurer la valeur ajoutée apportée par la prise en compte des interactions haute fréquence et haute résolution entre les différentes composantes du système terre entrant en jeu dans le cycle de l'eau régional. Cette valeur ajoutée sera mesurée sur la simulation à grande échelle du climat méditerranéen, les bilans énergétiques et thermiques du bassin et sur les extrêmes climatiques méditerranéen (dépressions, vents forts, pluies intenses, sécheresses, canicules) en accord avec les thématiques scientifiques d'HYMEX. Les études de valeur ajoutée tireront partie de l'approche multi-modèle (LMD, CNRM, les partenaires de MedCORDEX) permettant de trier entre les résultats modèle-dépendants et les résultats scientifiquement robustes. Notons que ces nouveaux modèles pourront également contribuer à d'autres programmes du Chantier Méditerranéen comme MERMEX et CHARMEX.

#### *Calendrier*

- Année 1 : Simulations CORDEX-CORE (Afrique, Méditerranée), période ERA-Interim (50km)
  - Mise en place des modèles à très haute résolution (10 km)
- Année 2 : Simulations CORDEX-CORE (Afrique, Méditerranée), scénarios du 21<sup>ème</sup> siècle, 50 km
  - Simulations MedCORDEX-TIER1 à très haute résolution
  - Mise en place des modèles du système terre régional
- Année 3 : Simulations MedCORDEX-TIER2 utilisant les modèles de système terre régional
  - Distribution des données de l'exercice CORDEX
  - Participation active au programme HYMEX et interactions avec les autres programmes du Chantier Méditerranéen

## **2.4 Diffusion dans la base de données distribuée CMIP5**

### **13 participants**

Le succès des analyses des simulations CMIP3 pour préparer le dernier rapport du GIEC est aussi dû à la centralisation des résultats dans la base de données du PCMDI (Livermore, USA) et la standardisation des formats utilisés. Le nouvel exercice est d'une plus grande ampleur et nous devons nous préparer à intégrer nos données dans une base de données distribuée. La mise en forme des données et leur diffusion a mobilisé énormément de ressources humaines lors du précédent exercice. A cause de l'augmentation de la résolution, de la complexité des modèles et les analyses prévues de plus en plus fines, le nombre de variable et le volume de données à stocker pour CMIP5 est encore plus colossal.

L'IPSL a pour objectif d'être un nœud de la base de données distribuée, ce qui ajoute des contraintes techniques et demande de travailler en forte interaction avec les centres de calcul où sont stockés les résultats. Les solutions techniques sont en cours de finalisation et de test au niveau international. Pour atteindre ces objectifs nous avons déjà lancé plusieurs actions, en particulier au travers du projet PRODIGUER soutenu par le Gis climat-Environnement, pour obtenir des moyens supplémentaires et être opérationnel à temps pour la diffusion des résultats. Le stockage des données brutes est estimé entre 600 et 1000 TB pour les simulations IPSL. Un sous-ensemble d'environ compris entre 250 et 500 TB sera distribué pour CMIP5. Les différentes actions s'appuient aussi sur les projets européens METAFOR pour la description des données et IS-ENES pour leur gestion et la diffusion. Le travail à effectuer concerne donc l'implémentation des serveurs et logiciel nécessaires pour être un nœud, les tests de mise en réseau de nos données, la transformation des résultats dans le format standard, la fourniture de diagnostics particuliers, les tests qualité des données et leur pérennisation.

Au moment de la rédaction de cette proposition, le mode de diffusion des résultats des simulations du CNRM dans la base de données distribuée n'est pas encore définitivement arrêté.

### *Calendrier*

Le calendrier est dicté par l'exercice CMIP5. Le système est en cours de test avec 7 sites pilotes dont 2 en Europe (BADC et MPI) qui serviront de relais aux groupes européens pour rassembler les variables les plus utilisées. Fin 2009 le système doit être déployé auprès de tous les groupes participants. Cette étape consiste à implémenter les ressources informatiques nécessaires et tester l'opérabilité avec les autres centres et résoudre les problèmes liés à la sécurité informatique. Les données doivent aussi pouvoir être traitées de façon automatique pour éviter les erreurs lors de leur manipulation. L'ensemble doit être opérationnel pour recevoir les résultats de modèles dès l'automne 2007. La diffusion doit rester opérationnelle pendant toute la phase d'exploitation qui s'échelonne jusqu'à la parution du prochain rapport du GIEC et certainement au-delà.

## **3 Evaluation, analyses et utilisation des résultats**

### **3.1 La poursuite d'ESCRIME**

#### **42 participants**

L'ampleur des analyses réalisées au niveau international et national à l'aide des simulations CMIP3 laisse présager d'une forte activité scientifique autour des résultats des simulations CMIP5. Une partie de ces recherches seront coordonnées par différents projets internationaux. Nous proposons de relayer à nouveau l'activité internationale par un appel à projets d'analyses des simulations françaises de façon à favoriser les échanges scientifiques au travers des différentes thématiques ESCRIME représentées par l'ensemble des participants au projet (scénarios globaux à long et court terme, sensibilité climatique, variabilité climatique, couplage climat-carbone, hydrologie, climat régional, détection/attribution des changements climatiques). Les simulations CMIP5 explorent une gamme encore plus large de sujets et au-delà des thématiques déjà abordées pour l'AR4, un éclairage sera donné sur l'analyse des forçages et de leurs incertitudes, le rôle de l'utilisation des sols, des différents types d'aérosols, et les questions de prévisibilité climatique pour les 30 prochaines années. Les simulations permettront d'aborder certains sujets comme la sensibilité climatique ou les modifications du cycle hydrologique à différentes échelles de temps, en mettant en commun des analyses des climats présent, passés et futurs. Les projets pourront également considérer

l'ensemble des modèles participant à l'exercice CMIP5, les approches multi-modèles s'avérant indispensables pour pouvoir établir si les résultats sont cohérents ou dépendent du modèle utilisé. Nous n'avons pas encore défini la forme que nous donnerons à la synthèse des résultats. Cet aspect sera traité lors d'une réunion dédiée aux analyses à mi-parcours du projet.

### *Calendrier*

Année 1 : Appel à sous projet et formation de petits groupes de travail

Année 2 : Réunion de mi-parcours pour faire le point sur les résultats obtenus

Année 2 : Publication d'articles de synthèse ou autre valorisation

## **3.2 L'évaluation des modèles**

### **47 participants**

L'évaluation des modèles et la compréhension des principaux biais des simulations climatiques et de la façon dont ils affectent les résultats est au cœur de nos préoccupations. L'évaluation est une étape importante pour déterminer les différentes sources d'incertitudes des simulations et pour mesurer les progrès entre différentes versions. Les biais reflètent l'état de notre compréhension du système climatique. En comprendre l'origine et les corriger participent à l'approfondissement de notre connaissance du climat et de ses variations. L'évaluation des modèles de climat nécessite de développer une méthodologie permettant de déterminer les éléments clefs susceptibles d'affecter les résultats des changements climatiques. Il faut être aussi en mesure de distinguer ce qui provient des composantes individuelles et la part liée aux couplages, ce qui nécessite en général de nombreuses simulations de sensibilité. L'objectif de MISSTERRE est de rassembler cette expertise, de synthétiser les différents résultats, de vérifier leur cohérence, et de proposer une mise à disposition d'un sous-ensemble de diagnostics clefs, qui sera alimenté au fur et à mesure.

Dans les différents groupes les principales actions autour de l'évaluation s'inscrivent dans la continuité et le renforcement des méthodologies développées pour les simulations AR5 ou la mise en place de nouveaux modèles (cf bilan). Le travail réalisé dans MISSTERRE débouchera sur :

- une comparaison des versions AR5 des modèles avec les versions utilisées pour AR4
- La mise au point de stratégies de validation incluant une réflexion sur les métriques et le développement de méthodologies (en particulier en liaison avec le nouveau projet LEFE-DEPHY)
- la poursuite des développements de diagnostics spécifiques permettant d'évaluer les processus et les rétroactions.
- L'organisation du retour d'expertise des projets d'analyses pour identifier les atouts et faiblesse des modèles et les diagnostics à pérenniser.

Pour atteindre ces objectifs nous bénéficierons de la participation des différents chercheurs dans les projets d'intercomparaison (CFMIP, pour les nuages, C4MIP, pour le cycle du carbone, PMIP, pour les paléoclimats, AEROCOM, pour les aérosols, CCMval, pour la chimie, et LUCID pour l'utilisation des terres), ainsi que de l'initiative développée dans les projets FP7 IS-ENES pour faciliter l'accès à et la standardisation des diagnostics. Nous avons convenu lors des journées MISSTERRE de mai d'organiser un appel à diagnostic et évaluation dès que la production des simulations CMIP5 aura démarré. Pour cet exercice nous envisageons une série d'articles présentant les deux modèles français et leurs performances vis-à-vis de différentes thématiques. Cet ensemble d'articles pourra faire l'objet d'un numéro spécial d'une revue à comité de lecture.

Du côté de l'IPSL l'accent sera mis sur l'ajustement du système couple dans les différentes configurations, la sensibilité climatique et les nuages, la variabilité climatique et ENSO, le cycle du carbone et la comparaison aux stations de flux, la circulation thermohaline, les aérosols, l'utilisation des sols.

Côté CNRM, l'évaluation des modèles portera notamment sur le cycle hydrologique, la zone de convergence inter-tropicale, certains modes de variabilité interannuels ou intrasaisonniers, et certains événements climatiques extrêmes. Une attention particulière sera portée aux rétroactions nuageuses dans le cadre du projet européen EUCLIPSE.

L'essentiel de la contribution CERFACS portera sur les questions de prévisibilité décennale, les modes de variabilité climatique et leur interaction avec le forçage anthropique, et sur les modifications des connexions tropiques-extratropiques pour un large spectre d'échelle de temps (intra-saisonnier à décennal).

Lors du précédent exercice nous avons démarré un catalogue des résultats des modèles du CNRM et de l'IPSL à partir des différentes publications. L'organisation de la base de données ne permettait pas de savoir quels modèles entraient dans les différents articles répertoriés au PCMDI, ce qui a rendu l'exercice assez fastidieux et inachevé. La base de données CMIP5 devrait permettre de mieux suivre l'utilisation des modèles. Nous souhaitons donc reprendre cette action de façon à bénéficier de façon indirecte des diagnostics mis au point par d'autres et d'identifier des diagnostics pertinents à implémenter de façon standard dans nos propres catalogues de métriques et diagnostics.

#### *Calendrier*

Année 1 : Appel à publications présentant les modèles et les développements depuis l'AR4

Année 2 : Mise en forme de publication

Réunions en petits groupes sur la stratégie d'évaluation

Année 3 : Synthèse des atouts et faiblesses des modèles IPSL et CNRM à partir des différentes analyses CMIP5

### **3.3 Vers la mise en place d'un service de distribution et de pré-traitement des données au niveau national.**

#### **17 participants**

Les utilisateurs des résultats des simulations globales ou régionales deviennent de plus en plus nombreux que ce soit pour des études d'impact ou l'aide à la décision. Les sujets couverts sont très larges. Il devient urgent de rationaliser la diffusion des données vers les autres communautés et d'offrir un véritable service aux utilisateurs. Ce service doit permettre à la fois de faciliter l'accès aux données et de garantir la qualité des différentes études réalisées à partir de ces données. La troisième conférence mondiale sur le climat qui s'est tenue à Genève du 31 août au 4 septembre 2009 a lancé un appel fort au développement des "services climatiques". Notre proposition entre dans ce cadre et concerne l'une des briques de base de ce nouveau type d'édifice.

La réflexion est engagée en France via différents projets ou réunions entre les climatologues et les utilisateurs. Des actions concrètes commencent à émerger. C'est le cas du projet Drias du GICC (coordinateur : P. Dandin, Meteo-France, [http://www.gip-ecofor.org/publi/page.php?id=413&rang=0&domain=38&lang=fr\\_FR](http://www.gip-ecofor.org/publi/page.php?id=413&rang=0&domain=38&lang=fr_FR)) pour la diffusion des simulations régionalisées sur la France. Ce projet regroupe un sous-ensemble de modélisateurs impliqués dans MISSTERRE. Il doit faciliter l'accès aux simulations et le bon emploi des scénarios à des acteurs étrangers à la modélisation climatique (équipes de

recherche, services de l'Etat, bureaux d'études) et soulager les équipes de recherche des tâches de livraison et, dans la limite du possible et raisonnable, d'une partie de l'accompagnement. En revanche, il est indispensable que les équipes de recherche soient fortement impliquées au sein des cellules d'expertise qui doivent être associées en amont des questions techniques sur la fourniture des données. Les partenaires de MISSTERRE sont aussi engagés dans le projet d'infrastructure européen IS-ENES qui comporte une partie dédiée au bon usage des simulations pour les études d'impact à partir d'exemples et de la mise à disposition des données et du savoir-faire via internet.

Nous proposons d'engager une réflexion permettant d'assurer un véritable service de distribution au niveau national dont DRIAS serait l'une des briques et qui considérerait les simulations globales et régionales, les méthodes de régionalisation et la mise à disposition systématique de variables prétraitées comme les indices climatiques. Cette réflexion devrait se concrétiser par un dépôt de dossier de labellisation.

### *Calendrier*

Années 1 : Synthèse des actions menée dans les différents projets

Elaboration d'un document identifiant les besoins

Année 2 : Elargissement de la distribution des données CMIP5 vers les autres communautés

Proposition d'analyses spécifiques en lien avec les utilisateurs

Année 3 : Retour d'expertise des utilisateurs

Elaboration d'un cahier des charges pour déterminer la forme à donner à un service climatique et à l'articulation entre cette activité et nos activités de recherche amont.

## **4 Prochaines générations de modèles**

Nous avons regroupé dans cette partie les développements connus concernant les différents modèles et des éléments plus prospectifs. Plusieurs voies seront menées en parallèle pour faire progresser les modèles en fonction de nos questions scientifiques. Elles concernent le développement de paramétrisations, l'introduction de nouveaux couplages, la réflexion autour de nouvelles plates formes de modélisation qui permettent d'utiliser des milliers de processeurs et la préparation de configurations de très haute résolution. La question de l'avenir de nos modèles et la façon dont les différents développements s'articuleront entre Meteo-France, le CERFACS et l'IPSL est également posée. Un travail prospectif commun est prévu et MISSTERRE servira de cadre de travail.

### **4.1 Introduction de nouvelles paramétrisations physiques et de nouveaux couplages.**

#### **47 participants**

Nos modèles sont en constante évolution. Plusieurs développements en cours dans les composantes individuelles seront petits à petit introduites dans les versions standards et les versions couplées des modèles. Pour la composante atmosphérique, le travail se fera en interaction avec le projet DEPHY et l'accent sera mis sur l'apport des nouvelles paramétrisations physiques dans le système couplé. La complexité des systèmes est aussi en croissance avec l'ajout de nouveaux cycles biogéochimiques ou le couplage avec la calotte de glace. Ces derniers développements seront considérés dans le projet européen COMBINE. MISSTERRE favorisera le dialogue entre les équipes françaises.

Du côté IPSL l'accent sera mis sur la nouvelle physique atmosphérique et son utilisation pour un sous-ensemble des simulations CMIP5. Plusieurs tests de sensibilité seront réalisés pour mettre au point le modèle et comprendre les résultats. La version du modèle d'océan NEMO

utilisée pour l'AR5 comporte de nombreuses améliorations des paramétrisations physiques de l'océan. La nouvelle version du modèle de glace LIM3 est disponible, mais n'a pas encore été testée dans le couplage avec l'océan. Cette étape sera réalisée l'an prochain. Le couplage complet entre le climat, le cycle du carbone et les aérosols est également prévu à échéance de 2 ans. Les cycles seront ensuite complétés par l'ajout du cycle du méthane, incluant les zones inondées, et de l'azote. Enfin, une étape importante concerne le couplage entre les calottes de Glace développées au LGGE à Grenoble (C. Ritz) et le modèle de l'IPSL en se basant sur l'expertise acquise pour le couplage entre cette calotte et des modèles de complexité intermédiaires.

Année 1 : simulations IPSL avec nouvelle physique atmosphérique

Simulations avec aérosols interactifs

Année 2 : simulations IPSL avec nouvelle version du modèle de glace de mer

Simulations IPSL couplées climat-carbone-aérosols

Simulations préliminaires avec le modèle de calotte

Années 3. Simulations IPSL incluant le modèle de calotte.

Poursuite de l'insertion de nouvelles paramétrisations physiques permettant de mieux représenter les phénomènes météorologiques

## **4.2 Vers de nouvelles plate-formes de modélisation**

### **19 participants**

L'augmentation de la puissance de calcul et la diversité des ordinateurs nous obligent aussi à revoir constamment les performances informatiques des modèles, leur portage sur des supports variés et l'adéquation entre les modèles et leur environnement de calcul et de post-traitement. L'enjeu est aussi que les différentes composantes du modèle de climat puissent évoluer pour leurs propres applications et que, suivant les sujets abordés, les modèles tournent sur des ordinateurs de bureau ou sur les futurs supers calculateurs de classe européenne (projet PRACE), et puissent couvrir une large gamme de résolutions.

Les projets d'évolution de la plate-forme de modélisation de l'IPSL visent à remplir ces différentes contraintes. L'effort de parallélisation et le déploiement de versions parallèles sera poursuivi. Nous utilisons 4 niveaux de parallélisme : couplage multi-code, parallélisation en mémoire partagé (MPI), parallélisation en mémoire distribuée (OpenMP) et vectorisation. Cela permet la performance, mais rend les portages complexes. Le développement de la bibliothèque d'entrées/sorties parallèles sera poursuivi, en lien avec le projet IsENES (FP7). Un accent particulier sera porté à l'augmentation de la fiabilité et de la qualité de notre chaîne de modélisation. Cela passera par l'évolution de l'infrastructure de pré et post-traitement (atlas, monitoring des simulations, indicateurs et métriques, etc ...). Enfin, le lien avec les données, et leur distribution sera renforcé, en lien avec le projet PRODIGUER, et en collaboration avec EPOCA (FP7).

Au-delà de ces étapes connues, nous allons nous préparer à l'utilisation des machines pétaflopiques (10<sup>15</sup> opérations flottantes par secondes), ce qui passe par le développement et l'implémentation de nouveaux cœurs dynamiques des modèles d'atmosphère et d'océan, adaptés au calcul massivement parallèle. L'objectif est de garder la modularité des codes pour préserver l'indépendance des parties dynamique et physique et garder des possibilités d'évolution différenciées entre ces deux aspects. Du côté de l'IPSL, un premier développement consiste à implémenter un cœur dynamique basé sur un maillage icosaédrique qui permet de s'affranchir des singularités aux pôles et d'envisager une parallélisation massive. En parallèle une étude des différents cœurs dynamiques disponibles dans les autres équipes sera menée pour les codes de circulation atmosphérique et océanique, de façon à déterminer leurs qualités dynamiques et numériques et leurs performances informatiques.

Nous explorerons aussi la possibilité et l'intérêt que l'océan et l'atmosphère partagent le même noyau dynamique.

Il devient également opportun d'envisager de partager un même cœur dynamique entre les modèles de l'IPSL et du CNRM. Les discussions sont engagées pour bien comprendre les contraintes propres à chaque groupe et discuter les différentes possibilités. Le projet MISSTERRE permettra de mettre en place les réunions nécessaires et de démarrer les tests prospectifs. Cette réflexion sera aussi menée en liaison avec l'exercice de prospective du LEFE.

#### *Calendrier*

Année 1 : Poursuite de la parallélisation et du déploiement des versions parallèles du modèle de l'IPSL

Bibliothèque parallèle pour les entrées/sorties

Réunion sur l'avenir des modèles

Année 2 : Retour d'expérience de l'implémentation des différents modèles sur différents types d'ordinateurs

Premier bilan sur les cœurs dynamique et mise en place d'un plan de marche pour la suite

Année 3 : Tests de nouvelles dynamiques

### **4.3 Simulations « frontières »**

#### **15 participants**

Le calcul pétaflopique va également ouvrir des possibilités d'exploration du système climatique. Plusieurs documents ont déjà présenté les sauts attendus en fonction des nouvelles possibilités de calcul. Il est donc important de se préparer à lancer des simulations à forte retombées scientifiques et éventuellement de se partager le travail entre les différents groupes de modélisation. Ces simulations demandent de préparer dès maintenant les configurations de modèles que nous utiliserons.

Dans la suite des expériences menées au Japon autour des simulations couplées océan atmosphère il est envisagé de développer un couplage haute résolution avec l'océan NEMO ORCA025 (ou ORCA12). Ce couplage sera réalisé tout d'abord avec le modèle allemand ECHAM T319. Dans un deuxième temps, le couplage avec les modèles d'atmosphère LMDz ou Arpège sera envisagé. Ce projet fait l'objet d'une collaboration entre IPSL et CERFACS dans le cadre d'IS ENES. Il permettra de tester la faisabilité sur les futurs calculateurs européens.

Pour aller à des résolutions bien supérieures, un couplage entre NEMO et le modèle régional d'atmosphère WRF est prévu sur l'océan indien. Ces configurations s'avèrent particulièrement prometteuses pour étudier le développement des cyclones tropicaux. D'autres possibilités ont également été évoquées pour étudier finement la mousson africaine dans le cadre du projet AMMA.

D'autres projets verront certainement le jour dans les 3 années qui viennent. Afin de ne pas dupliquer les efforts, nous utiliserons le projet MISSTERRE comme catalyseur d'idées, via des forums de discussions et le lancement d'études préparatoires regroupant des personnes des différents laboratoires impliqués.

#### *Calendrier prévisionnel*

Année 1 : Préparation version haute résolution du modèle de l'IPSL

Année 2 : Identification de simulations « frontières »

Année 3 : Préparation des configurations de modèles requises pour les différentes applications.

### Résultats attendus

- Réalisation des simulations CMIP5
- Synthèse des principaux résultats des projets d'analyse
- Evaluation scientifique des modèles couvrant une large gamme de phénomènes
- Analyse des rétroactions physiques et entre le climat et les cycles biogéochimiques
- Analyse des modèles français dans l'exercice de simulation CMIP5
- Evaluation de prévisibilité à l'échelle décennale
- Publications scientifiques en particulier associant des co-auteurs des différents laboratoires partenaires
- Large diffusion des sorties des simulations et identification des services s'y rattachant
- Plan de route pour le développement des futures générations de modèles

### Moyens nécessaires à la réalisation du projet

- ♦ *Equipements disponibles ou nécessaires à la réalisation du projet*

La réalisation de ce projet s'appuie sur les moyens de calcul nationaux, les équipements informatiques des différents laboratoires et les réseaux. L'équipement informatique doit être renouvelé régulièrement pour bénéficier des avancées technologiques. Les ressources de stockage et le matériel nécessaire pour faire fonctionner les bases de données des résultats sont aussi les principaux postes de la demande.

- ♦ *Instruments, équipements ou services d'observation nationaux sollicités*

NEMO : modèle d'océan

GENCI pour le calcul scientifique : les simulations CMIP5 vont mobiliser le SX9 pendant une année pour l'IPSL

Centre de calcul de Météo-France : XXX heures vont être dédiées à CMIP5

- ♦ *Fonctionnement<sup>2</sup>*

#### IPSL

Publications (rapports ou articles) : 3\*3000=9000€

Rémunération de stage (M1 ou M2), 3 par an : 3\*4500=13500€

#### CNRM

Publications : 6000€

Stagiaires M1 ou M2 (1 par an) : 3\*2500=7500€

#### CERFACS

Publications (2 par an) : 9000€

Stagiaires M1 ou M2 (1 par an) : 3\*2500=7500€

année 1	année 2	année 3	TOTAL
---------	---------	---------	-------

---

<sup>2</sup> A détailler et justifier poste par poste<sup>2</sup> pour toute la durée du projet. Ceci inclus notamment fournitures, publications, petit équipement, ...



Coordination	0	0	0	0
IPSL	7500	7500	7500	22500
CNRM	4500	4500	4500	13500
CERFACS	5500	5500	5500	16500
Total	17500	17500	17500	52500

♦ *Missions*<sup>3</sup>

Plusieurs types de missions sont considérés dans le budget. Au niveau de la coordination du projet nous avons rassemblé les réunions du projet concernant l'ensemble des participants.

Les réunions faisant intervenir un nombre réduit de personne pour un thème particulier ou les participations aux conférences ou groupes de travail internationaux font l'objet de demandes séparées dans chacun des groupes.

Les frais de coordination seront gérés par l'IPSL. De même, le projet demande de fortes interactions avec nos collègues de Louvain la Neuve (Belgique) et de Grenoble. Ces missions son également considérées dans le budget de l'IPSL.

La répartition est la suivante :

IPSL

Coordination

Réunions du projet (environ 60 participants ) :  $2 \times 4200 = 8400 \text{€}$

- salle, les pauses café et les repas pour 2 jours ainsi que quelques voyages

Réunion pour préparer les publications de synthèse :  $2 \times 1440 = 2880 \text{€}$

Réunion avec les utilisateurs :  $1 \times 2400$

-Frais 1 journée pour 60 participants incluant quelques voyages pour invités extérieurs

Autres

Réunions sur des thématiques spécifiques (3 personnes) :  $6 \times 1080 = 6400 \text{€}$

Frais de déplacement de nos collègues de Louvain-la-Neuve :  $9 \times 260 = 2340 \text{€}$

Frais de déplacement de nos collègues de Grenoble :  $12 \times 260 = 3120 \text{€}$

Participation à l'EGU pour 4 personnes par an :  $12 \times 1500 = 18000 \text{€}$

Participation aux colloques ou atelier internationaux pour 3 personnes par an :  $9 \times 2000 = 18000 \text{€}$

CNRM

Réunions sur thématiques spécifiques :  $2 \times 1080 = 2160 \text{€}$

Participation EGU :  $6 \times 1500 = 9000 \text{€}$

Participation colloques ou ateliers internationaux :  $4 \times 2000 = 8000 \text{€}$

CERFACS

Participation EGU :  $6 \times 1500 = 9000 \text{€}$

Participation colloques ou ateliers internationaux :  $3 \times 2000 = 6000 \text{€}$

	année 1	année 2	année 3	TOTAL
Coordination	1440,00	8040,00	4200,00	13680,00

<sup>3</sup> A détailler et justifier poste par poste pour toute la durée du projet

IPSL	15980,00	15980,00	15980,00	47940,00
CNRM	6386,67	6386,67	6386,67	19160,00
CERFACS	5000,00	5000,00	5000,00	15000,00
Total	28806,67			28806,67

♦ *Petit équipement<sup>4</sup>*

Les principales demandes concernent la jouvence des postes de travail des personnes impliquées dans le projet. On compte un renouvellement par personne en moyenne tous les 3 ans. Le matériel informatique nécessaire au stockage des données et à la diffusion des résultats fait aussi parti de la demande.

La répartition est la suivante

IPSL

Petit matériel informatique pour la distribution des données =3\*200=6000€

Jouvence station de travail pour 3 personnes/an= 9\*1500=13500€

Augmentation de la capacité de stockage =3\*3000=9000€

CNRM

Serveur de fichier et une baie de 7,5To=13000€(TTC)

Jouvence PC : 6\*1300=7800€

CERFACS

Jouvence Poste Linux : 6000€

	année 1	année 2	année 3	TOTAL
Coordination	0,00	0,00	0,00	0,00
IPSL	9500,00	9500,00	9500,00	28500,00
CNRM	6933,33	6933,33	6933,33	20800,00
CERFACS	2000,00	2000,00	2000,00	6000,00
Total	18433,33	18433,33	18433,33	55300,00

♦ *Demandes de label pour moyens complémentaires*

*xPersonnel temporaire<sup>5</sup> (doc, post-docs, cdd,...) 1 CDD valorisation pour IPSL et 1 pour météo-France*

*xTemps calcul<sup>6</sup>*

**Co-financements acquis ou soumis (hors INSU)**

Plusieurs projets soutiendront l'activité de modélisation pour les 3 prochaines années

Au niveau européen

Projet FP7 COMBINE (coord. M. Giorgetta, MPI, Allemagne) (IPSL environ 200 k€ €/an, 2,3CDD/an contribuant aux nouveaux couplages, cycle du carbone et aérosols ; CERFACS,

<sup>4</sup> Inférieur à 10-15k€

<sup>5</sup> AO spécifiques des organismes. Préciser : sujet, organisme(s) sollicité(s), durée, demandeur, références Labintel (si CNRS)

<sup>6</sup> AO IDRIS, CINES, GRILLES ...

un total de 257 k€ pour les 4 ans, contribuant au travail sur la réalisation des simulations décennales et sur l'assimilation de données océaniques pour les états initiaux)

Projet e-infrastructure FP7 IS-ENES (coord. S. Joussaume)

IPSL : environ 412 k€/an, 3 CCD/an sur le projet, contribuant partiellement à MISSTERRE ; CERFACS: 660 KEuros de 03/2009 à 02/2013, environ 4 CDD de 18mois sur le projet contribuant partiellement à MISSTERRE

Projet infrastructure FP7 METAFOR (coord. E. Guilyardi)

IPSL environ 105 k€/an ; CERFACS: 172 KEuros sur 3 ans de 03/2008 à 02/2011, 1 post-doc de 24 mois sur le projet contribuant partiellement à MISSTERRE

Projet FP7 EUCLIPSE (Coord. (Coord. P. Siebesma, KNMI) (IPSL: 450 keuros et Meteo-France: 289 keuros sur 4 ans - chiffres non encore confirmés, en attente de l'Europe)

Projet FP6-CIRCE (coord. A. Navarra, Italie, financement IPSL, 300 k€)

Projet FP7 THOR (coord. D. Quadfasel).

### **Valorisation des travaux antérieurs**

#### *Références bibliographiques*

Cf liste données en annexe

*Liste des contrats obtenus au cours des quatre dernières années :*  
cf rendu LEFE du projet MISSTERRE

Le projet européen ENSEMBLES, les ANR calcul intensif CICLE et INLOES ont été les principaux projets associés à MISSTERRE ces 3 dernières années. Les différentes personnes rattachées à MISSTERRE bénéficient aussi d'autres contrats à titre individuels que nous n'avons pas pris en compte.

