



## **Climatologie IPSL-GIEC : plan à moyen et long terme, expression des besoins – Aide à la décision**

Pôle de modélisation du climat – 14 mai 2008

### **Résumé :**

**La réalisation des simulations de changement climatique pour la préparation des rapports du GIEC est un projet sur 6 ans, de la mise au point des modèles à la réalisation des simulations. Vu la difficulté de mise en oeuvre de ces modèles, ce projet nécessite une continuité dans les moyens informatiques. En 2005, lors de la prospective Océan-Atmosphère INSU, les objectifs et les moyens de calculs nécessaires étaient clairement affichés. La puissance vectorielle disponible aujourd'hui est la moitié de la puissance escomptée. À moins d'un an de la réalisation de ces simulations, nous devons décider dès maintenant des modèles que nous utiliserons, et ce choix dépend des ressources disponibles. La réalisation de nos objectifs nécessite l'extension vectorielle de 3 (ou 2) noeuds NEC SX-9, et nous avons donc besoin de savoir si et quand une telle opération sera menée. Le document précise en détail l'argumentaire et différentes options.**

La modélisation du climat s'attache à comprendre les mécanismes du climat terrestre. Elle nécessite l'utilisation de différents modèles simulant les comportements des différents compartiments du système climatique (atmosphère, océan, glace de mer, surfaces continentales, biogéochimie, chimie atmosphérique, calotte) et leurs interactions. Il s'agit de comprendre les processus en jeu, de les modéliser, de les quantifier. Il s'agit également d'appréhender la variabilité naturelle du climat, son évolution au cours du temps passé (lointain ou proche) et d'aborder le changement climatique anthropique (détection dans le passé proche et projection pour le futur). Ce travail est au cœur de la thématique des cinq laboratoires composant l'Institut Pierre Simon Laplace. Il est coordonné au niveau du pôle de modélisation du climat qui concerne environ 80 personnes. Les résultats de la modélisation du climat menée à l'IPSL, ainsi que la forte contribution aux projections climatiques futures ayant servi de référence pour établir les conclusions du GIEC - Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat ou IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) - (2007) font de l'IPSL l'un des plus grands groupes d'experts sur le climat au niveau international (avec Météo-France, le Hadley Center (UK), le MPI-Met (G), le NCAR (USA), la NASA - GISS et GFDL-USA), ...).

Ce document rappelle les besoins en calcul intensif pour la communauté climat de l'IPSL. Il établit que les travaux que nous menons sur le changement climatique et la participation à l'exercice coordonné par le GIEC ne pourront rester au meilleur niveau international que si un accroissement de la puissance en calcul vectoriel est réalisé d'ici le démarrage des prochaines simulations du GIEC en 2009, suivant les différentes prospectives établies ces dernières années. (Voir par exemple la prospective INSU Océan-Atmosphère 2006-2011<sup>1</sup>). Il fait écho au

---

<sup>1</sup> Prospective INSU Océan-Atmosphère : <http://www.insu.cnrs.fr/a2171,prospective-ocean-atmosphere-2005.html>

document de mars 2007<sup>2</sup> détaillant notre stratégie calcul, les besoins associés et les efforts menés pour rendre nos applications performantes sur tous les types de calculateurs. La contrainte principale est liée à la réalisation des prochaines simulations du GIEC dès 2009, qui demande une continuité des moyens de calcul pour les quatre prochaines années. Il reprend les éléments quantitatifs du document de 2007, esquisse quelques scénarios d'évolution des moyens de calcul nationaux et européens et décrit leur impact sur nos recherches à moyen et long terme.

## 1 Les enjeux

### 1.1 Les scénarios du GIEC

Nous avons choisi de focaliser ce document sur les scénarios du GIEC qui ont un retentissement bien au-delà de la communauté climatique. Les simulations GIEC représentent un ensemble de simulations du climat sur le XX<sup>ème</sup> (pour se comparer aux observations) et sur le XXI<sup>ème</sup> siècle en se projetant suivant différents scénarios d'évolution de la société. La somme de ces simulations se chiffre en dizaines de milliers d'années à simuler qui nécessitent des ressources calcul qui se mesurent en dizaine de processeurs utilisés pendant une année entière. L'unité utilisée dans ce document est le processeur NEC SX-8, autrement dit une année entière de calcul sur un processeur NEC SX-8 (comme nos modèles sont parallèles, c'est la même chose que 3 mois sur 4 processeurs).

Ces simulations sont des références internationales à partir desquelles se déclinent de nombreuses études d'impact du changement climatique et des prises de décision au niveau international. Le dernier rapport du GIEC s'est appuyé sur plus de 390 articles (et 1193 sous-projets d'analyses recensés) analysant l'ensemble des résultats des modèles, dont celui de l'IPSL, accessibles sur la base de données du PCMDI (*Program for Climate Models Diagnosis and Intercomparisons - World Climate Research Programme's phase 3 of the Coupled Model Intercomparison Project Multi-Model Dataset Archive*). Il est reconnu qu'il est primordial de pouvoir considérer un ensemble multi-modèles, car la complexité du système climatique et sa nature chaotique demandent de réaliser des ensembles de simulations permettant de définir l'état le plus probable du système et de déterminer et comprendre les sources d'incertitudes. La participation active à cet exercice GIEC garantit une légitimité sur les questions du changement climatique et une expertise nationale indispensable dans les négociations au niveau européen et international.

De plus, les aspects scientifiques et techniques abordés pour préparer, réaliser et analyser ces simulations sont très représentatifs du travail quotidien en modélisation du climat. Cet exercice cumule des critères d'exigence scientifique (modèle de qualité), d'exigence technique (modèle performant) et d'exigence opérationnelle (simulations dans un délai limité sur un centre de calcul académique, production et diffusion des résultats).

Le prochain rapport du GIEC AR5 (*Assessment Report #5*) est prévu pour 2013, ce qui demande d'avoir achevé les simulations coordonnées en 2010, pour que les analyses et les simulations régionales qui vont nourrir le groupe de travail 1 du GIEC et les nombreuses études en aval (impacts, adaptation, régulation) qui vont nourrir les groupes de travail 2 et 3 du GIEC puissent être réalisées en 2011, avant les réunions de synthèses des groupes de travail du GIEC. Pour progresser dans la compréhension du changement climatique, des principales rétroactions et des facteurs de risques, une attention particulière sera donnée dans cet exercice

---

<sup>2</sup> Stratégie calcul en modélisation du climat, IPSL, mars 2007 :

Document de synthèse : [http://igcmg.ipsl.jussieu.fr/Doc/Notes/Note\\_CalculClimat\\_mars2007\\_Synthese.pdf](http://igcmg.ipsl.jussieu.fr/Doc/Notes/Note_CalculClimat_mars2007_Synthese.pdf)

et document détaillé : [http://igcmg.ipsl.jussieu.fr/Doc/Notes/Note\\_CalculClimat\\_mars2007\\_docTechnique.pdf](http://igcmg.ipsl.jussieu.fr/Doc/Notes/Note_CalculClimat_mars2007_docTechnique.pdf)

au cycle du carbone et au cycle hydrologique. Les simulations seront réalisées avec des modèles couplant climat et cycle biogéochimiques (principalement carbone et aérosols) et des modèles à plus haute résolution incorporant de nouvelles représentations des nuages, du cycle diurne et des interactions entre l'océan et l'atmosphère. Les simulations à réaliser pour l'AR5 comprendront des simulations du climat pré-industriel, des simulations du 20<sup>ème</sup> siècle et des simulations suivant 4 possibilités d'émission de gaz à effet de serre et d'utilisation des sols pour les 100 prochaines années, suivies de périodes de stabilisation. (Voir annexe 2 : les prochains scénarios du GIEC).

## 1.2 Plan de route et moyens nécessaires

Les simulations pour le GIEC impliquent de réaliser des ensembles de simulations avec 4 configurations différentes du modèle de l'IPSL comme cela est schématisé dans notre plan de route figure 1 :

- Couplé océan-atmosphère-glace ;
- Couplé climat-cycle (Couplé océan-atmosphère-glace-carbone) ;
- Couplé climat-aérosols (Couplé océan-atmosphère-glace-chimie) ;
- Couplé climat-utilisation des sols (Couplé océan-atmosphère-glace-végétation).

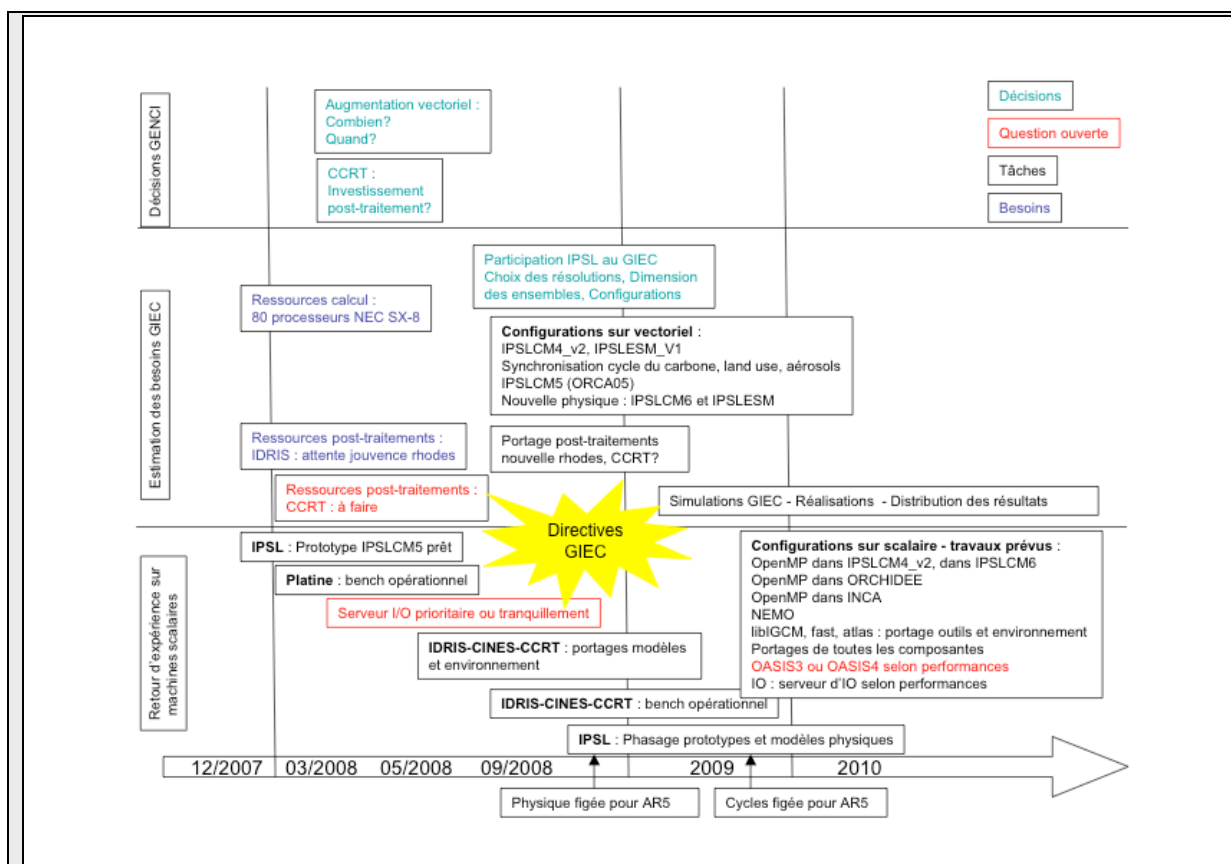


Figure 1. Plan de route pour réaliser les scénarios prévus pour le 5<sup>ème</sup> rapport du GIEC et préparer la génération suivante du modèle de climat de l'IPSL.

Depuis l'été 2007, la version de référence du modèle climat (IPSLCM4\_v2) est parallèle. Nous travaillons à la finalisation de cette version (réglage de la physique, sensibilité, équilibrage, ...). Elle doit être figée d'ici le début 2009. Ensuite, nous assurerons son phasage avec d'autres versions utilisées pour des études spécifiques : aérosols, cycle du carbone, utilisation des sols. Dans le même temps, nous travaillons à inclure la toute dernière version du modèle d'océan (NEMO v2\_3) dans le modèle pour produire la version IPSLCM5. Celle-ci permettra le passage à la résolution 1/2° de l'océan. C'est cette version qui sera portée sur tous les calculateurs scalaires parallèles disponibles pour, dans un

premier temps, en évaluer les performances brutes. Nous poursuivons également le développement de la physique du modèle d'atmosphère LMDZ (convection, cycle diurne) pour aboutir à la version IPSLCM6 du modèle climat. Ce travail aboutira aux simulations de production du GIEC qui seront réalisées en 2009 et 2010 et à la production des versions suivantes du modèle climat.

La préparation des protocoles de simulations par le GIEC pour l'AR5 est en cours (choix des scénarios d'émissions, choix des standards de résultats, ...). Voir dans l'annexe 2 la liste des scénarios en cours de validation discutée lors de la 28<sup>ème</sup> assemblée plénière du GIEC les 9-10 avril 2008. De notre côté, cela signifie qu'il faut avoir à notre disposition un modèle en état de marche à tout moment.

Dès la définition du protocole pour l'AR5 connu, il s'agira pour les groupes de modélisation d'arrêter :

- le choix des configurations cohérentes : physique, aérosols, land use, cycle du carbone, cycles, ...
- le choix de la résolution verticale et de la résolution horizontale ;
- le dimensionnement des ensembles (nombre et durée).

Nous travaillons en ce moment même à la mise au point des différentes configurations à différentes résolutions pour avoir le maximum d'informations avant ces choix définitifs.

Les simulations projetées par l'IPSL pour le GIEC sont détaillées dans le document 2007 (Voir Note <sup>2</sup>), les ressources calcul nécessaires y ont été quantifiées. Le résumé des simulations à faire est rappelé dans l'annexe 1.

**Les besoins estimés par l'IPSL pour la réalisation des simulations GIEC sont de 80 processeurs équivalents NEC SX-8 en 2009 et en 2010.**

Il est important de rappeler que la réalisation des simulations du GIEC doit se faire en permettant au reste de la communauté de travailler et en préparant la génération suivante des modèles qui représentera l'état de l'art lors de l'exercice suivant. Ce processus d'évolution est caractéristique de ce domaine de recherches.

Les ressources calcul doivent donc nous permettre simultanément :

- De participer au prochain exercice GIEC ;
- De mener nos propres expériences scientifiques ;
- De préparer l'avenir en développant les versions successives des modèles.

**L'activité de modélisation concernée par la réalisation des simulations GIEC représente la moitié des besoins en calcul pour le climat.**

C'est sur cette base et sur la base de l'utilisation actuelle des calculateurs de l'IDRIS et du CCRT par la communauté climat que nous basons nos estimations et les différents scénarios d'évolution dans la suite de ce document.

**Les ressources nécessaires pour le climat s'élèvent à 160 processeurs équivalents NEC SX8 en 2009 et en 2010.**

### 1.3 Les programmes scientifiques

De nombreux programmes scientifiques soutiennent nos activités.

Dans le domaine de la modélisation du climat, la communauté est organisée au niveau international autour des programmes mondiaux (WCRP - *World Climate Research Program*, IGBP *International Geosphere-Biosphere Program* du WMO - *World Meteorological Organization*) et participe régulièrement à des exercices d'intercomparaison des modèles et de leurs résultats. Ceux-ci permettent de connaître l'état de l'art selon les questionnements scientifiques, d'évaluer les modèles par rapport aux standards mondiaux et de bénéficier régulièrement de points de rendez-vous collectifs. On citera les projets AMIP (*Atmospheric Model Intercomparison Project*), CMIP (*Coupled Model Intercomparison Project*), PMIP (*Paleoclimate Model Intercomparison Project*), C4MIP (*Carbon Cycle Coupled Model Intercomparison Project*), OCMIP (*Ocean Carbon Model Intercomparison Project*), LUCID (*Land Use Change Impacts and Dynamics*), CFMIP (*Cloud FeedBack Model Intercomparison Project*) ou AEROCOM (*Aerosol Comparisons between Observations and Models*). Plusieurs de ces programmes sont coordonnés par des chercheurs de l'IPSL (PMIP, C4MIP, LUCID, CFMIP, AEROCOM). Dans ce panorama, les exercices initiés par le GIEC sont particuliers, puisqu'il s'agit de produire dans un délai limité les résultats de simulations du climat des XX<sup>ème</sup>, XXI<sup>ème</sup> siècle et au-delà, de les mettre à disposition de la communauté pour analyses dans les temps impartis et de participer à l'expertise associée.

Nous participons aux exercices du GIEC et aux différents exercices d'intercomparaisons issus des programmes mondiaux (WCRP, IGBP) dans lesquels sont impliqués les représentants Français. Les travaux sont soutenus par plusieurs projets européens et nationaux dont ENSEMBLES, METAFOR, (en cours d'évaluation : isENES, COMBINE) et nationaux (INSU : MissTerre, ANR : INLOES, CICLE). La coordination de l'activité autour des scénarios du GIEC est assurée au niveau national par le groupe ESCRIME (Etude des Simulations Climatiques Réalisées par l'IPSL et Météo-France) qui rassemble les chercheurs des principaux groupes de modélisation française (Météo-France, IPSL, ...).

### 1.4 Contraintes et performances de nos applications sur différents calculateurs

#### 1.4.a) Contraintes de développement

Comme cela a déjà été souligné, nous devons travailler simultanément sur des échelles de temps différentes, d'une part, pour être prêt à réaliser le prochain exercice GIEC dans les temps (2009-2010), et, d'autre part, pour poursuivre le développement de notre modèle climat en incorporant les développements scientifiques et techniques afin de maintenir notre excellence dans le domaine. Nous nous tenons prêts à utiliser toutes les machines disponibles dans la communauté académique française (voir plan de route figure 1) et envisageons le portage raisonnable d'une partie de nos études dessus. Les contraintes de la modélisation du climat (durée des simulations, production de données) doivent être prises en compte dans l'évolution des environnements de calculs.

Le modèle climat de l'IPSL représente sept composantes qui dialoguent par passages de paramètres ou par l'intermédiaire du coupleur OASIS. Par nature, il ne peut tourner sur une nouvelle machine qu'une fois toutes les composantes elles-mêmes portées et vérifiées. De même, son fonctionnement atypique entraîne la plupart du temps des réglages supplémentaires du système d'exploitation. Il est donc plus facilement envisageable de porter sur une nouvelle architecture un modèle particulier que le modèle couplé.

Les différents codes que nous utilisons ont une durée de vie de dix à vingt ans avec des réécritures informatiques nombreuses (Fortran 90, MPI, OpenMP, ...). L'ensemble des développements doit être pérenne et le tout être en bon état de marche permanent. Une bonne part de l'activité de modélisation concerne le développement des paramétrisations physiques et des interactions entre elles. Cette physique des modèles est en constante évolution, alors que la dynamique et les méthodes numériques évoluent par étapes plus discontinues. Ces deux directions d'évolution sont en constante concurrence, car il faut intégrer ces développements dans les versions de référence : cela implique un important travail de vérification de cohérence et de validation.

Lorsque les calculateurs Cray ont été abandonnés en France au profit des calculateurs NEC et Fujitsu, nous avons dû faire le choix d'abandonner l'ancien modèle couplé de l'IPSL pour nous concentrer sur le portage et le développement de la nouvelle version du modèle. Ce choix volontaire a eu de lourdes répercussions sur l'activité scientifique, sachant que nous n'avons pas pu faire tourner d'applications couplées pendant deux ans. Cette perte de productivité s'est traduite par un faible taux de publication et un retard sur l'intégration des résultats du modèle de l'IPSL au meilleur niveau international. Actuellement l'activité autour du changement climatique a atteint un niveau de maturité à l'IPSL et **il serait très dommageable de devoir mettre tous nos efforts sur le portage de nos codes sur différents types d'architectures informatiques au détriment de l'amélioration des modèles, de la réalisation de simulation et d'avancées scientifiques.**

#### 1.4.b) Parallélisation et possibilité de portages sur différentes architectures

Un effort de parallélisation de nos codes et du modèle couplé a été entrepris ces dernières années. Le document <sup>2</sup> rappelle qu'actuellement l'ensemble des composantes du modèle climat tourne en parallèle aux résolutions actuellement utilisées sur une dizaine de processeurs vectoriels ou sur une centaine de processeurs scalaires (la différence provient de la taille des sous-domaines à maintenir importante pour rester efficace en vectoriel). Les performances obtenues (voir figures 2 et 3) montrent que le niveau de parallélisation obtenu est respectable et que le rapport de performance représente une accélération effective. Elles montrent également l'intérêt indiscutable de disposer de processeurs les plus rapides, NEC SX-8R dans l'environnement actuel.

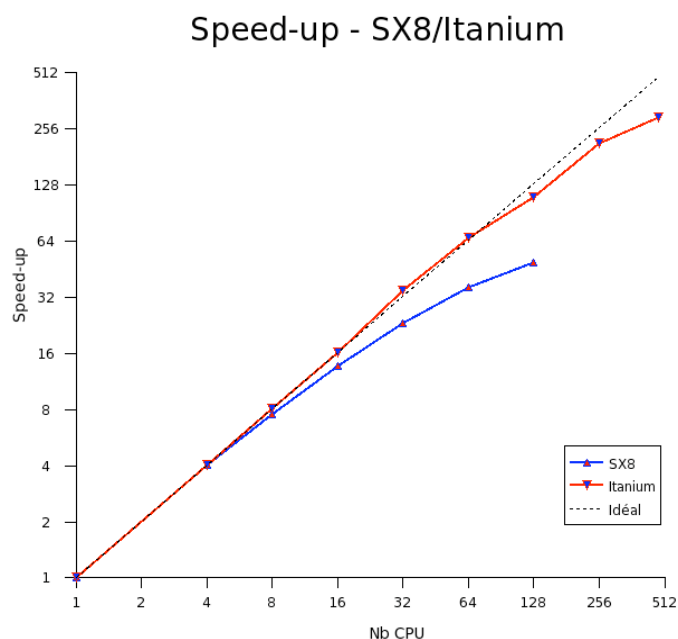


Figure 2 : Facteur d'accélération (speed-up) en fonction du nombre de processeurs pour le modèle LMDZ  $1^\circ \times 1^\circ \times 50$  niveaux ( $360 \times 180 \times 50$ ). En bleu sur le calculateur vectoriel NEC SX-8R. En rouge, sur une machine scalaire Bull à base de processeurs Itanium double cœur. Sur NEC SX-8R, la scalabilité se maintient jusque vers 64 processeurs. Au-delà, les vecteurs deviennent trop courts pour tirer l'optimum du processeur. Lorsque la résolution augmente, cette limite de scalabilité augmente avec la longueur des vecteurs. Sur le calculateur Bull, la scalabilité est excellente. A la résolution présentée, le découpage de domaine utilisé pour paralléliser limite à 480 le nombre maximum de processeurs utilisables.

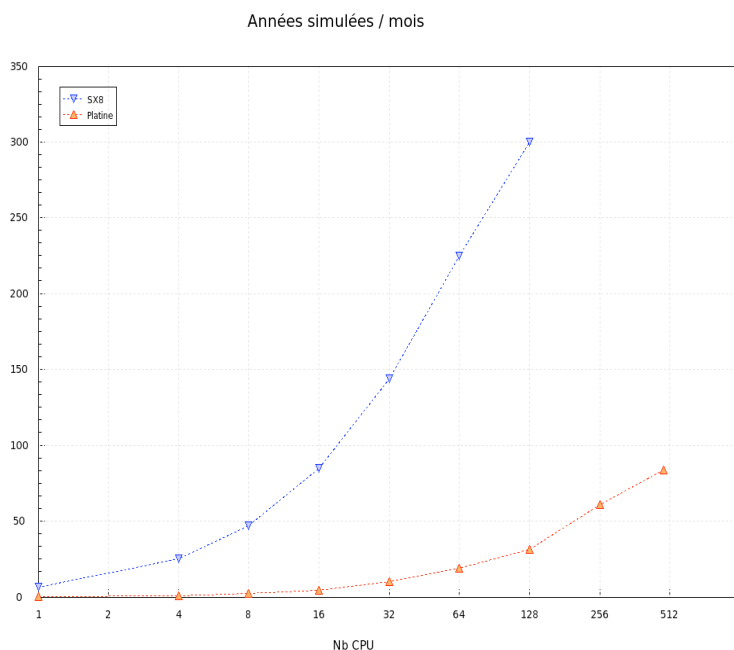


Figure 3 : Nombre d'années de simulations pour un mois de calcul à temps plein pour le modèle LMDZ  $1^{\circ} \times 1^{\circ} \times 50$  niveaux ( $360 \times 180 \times 50$ ). En bleu sur le calculateur vectoriel NEC SX-8R. En rouge, sur une machine parallèle à base de processeurs Itanium double cœur 1,6 GHz. Cette courbe montre bien l'intérêt de l'architecture vectorielle pour nos codes. A faible résolution, les vecteurs sont trop courts pour l'architecture vectorielle. Sur machine scalaire, les données tiennent dans le cache et la performance est excellente, à peine 4 fois moins rapide que la machine vectorielle. Lorsque la résolution augmente, on peut tirer le maximum du processeur vectoriel, alors que la machine scalaire est pénalisée par ses accès mémoire. Le processeur vectoriel est alors 8 fois plus rapide que le processeur scalaire. Cet écart en faveur du vectoriel se creuse lorsque l'augmentation de la résolution entraîne l'allongement des vecteurs.

Pour les machines à plus grand nombre de processeurs, nous savons déjà que nous rencontrons des points de blocage pour :

- Le coupleur (passage à OASIS 4) ;
- Les entrées/sorties (très dépendantes de la machine) ;
- La gestion des données (stockage, post-traitement).

Ces difficultés et les solutions à apporter sont identifiées et il faut compter 1 à 2 ans de travail pour pouvoir y répondre. Elles impliquent un travail coordonné entre l'IPSL, les centres de calcul, le CERFACS ( et les constructeurs.

### Vers l'utilisation des machines à $o(10000)$ processeurs

Les prochaines machines à  $o(10\ 000)$  processeurs seront utiles pour les simulations à très haute résolution et vraisemblablement sur des temps de simulations courts. Des premiers essais sur BlueGene pour les composantes seules sont en cours.

Pour ce qui concerne les modèles climat, le coupleur apparaît comme un futur goulet d'étranglement sur ce type de machine. En effet, la vingtaine de champs nécessaires à l'interface océan/atmosphère est transférée une fois par jour de simulation. Ce transfert s'accompagne de transformations (interpolations, changement de conventions) effectuées par le coupleur. Il est prévu pour simuler le cycle diurne d'augmenter la fréquence d'échange (3h). La nature du travail effectué par le coupleur s'approche (même si ce n'est pas réellement le cas) d'une barrière et constitue un point d'étranglement identifié. OASIS 4 est développé pour le résorber. Il est prévu de l'utiliser à moyen terme (projet ANR CICLE<sup>3</sup>).

Les autres difficultés prévisibles concernent les performances des entrées/sorties et le traitement des fichiers résultats. Une nouvelle librairie d'entrée/sortie est en cours de développement. L'ensemble du travail a été décrit dans les documents de mars 2007 et l'aide ingénieurs nécessaire chiffrée. (Voir page 4 de la Synthèse du document « stratégie calcul en modélisation du climat », mars 2007<sup>2</sup>).

<sup>3</sup> Calcul Intensif pour le CLimat et l'Environnement : <http://dods.ipsl.jussieu.fr/omance/CICLE>

## 2 Le climat et les ressources nationales

### 2.1 Le climat et les ressources vectorielles parallèles des centres de calcul nationaux

À l'IDRIS, les ressources vectorielles pour le climat allouées aux équipes de l'IPSL représentent environ 40% des ressources totales vectorielles. (Source P. Mascart, président du Comité thématique 1 - *Environnement : Modélisation de l'atmosphère, de l'océan et du climat. Modélisation des atmosphères planétaires. Analyse et assimilation des données. Physico-chimie atmosphérique. Biogéochimie océanique. Fonctionnement et évolution des écosystèmes terrestres. Hydrologie des sols*). Au CCRT, les ressources vectorielles pour le climat représentent également 40% des ressources vectorielles totales. ( Source L. Crouzet, Direction des Sciences de la Matière, CEA). Une part significative de cette machine est dédiée aux partenaires industriels du CCRT.

Les ressources vectorielles de l'IDRIS sont de 10 nœuds NEC SX-8 soit un total de 80 processeurs NEC SX-8. Les ressources vectorielles du CCRT sont de 8 nœuds NEC SX-8R soit un total de 64 processeurs NEC SX-8R. En première approximation, nous ne distinguerons pas les performances entre processeur NEC SX-8 et SX-8R qui ne diffèrent en pratique que de 10%.

**Le nombre total de processeurs NEC SX-8 disponibles est de 144.**

En se basant sur le doublement de nos besoins pour estimer les besoins de la communauté utilisatrice du vectoriel dans son ensemble, les besoins en calcul vectoriel pour 2009 et 2010 seraient donc :

Type d'Etudes	Ressources calcul
GIEC	80 procs NEC SX-8
Climat IPSL (y compris GIEC)	160 procs NEC SX-8
<i>Ensemble de la communauté (estimation)</i>	<i>320 procs NEC SX-8</i>

**Les besoins totaux estimés pour les ressources vectorielles sont de 320 équivalents processeurs NEC SX-8.**

### 2.2 Le climat et les ressources scalaires parallèles des centres de calcul nationaux

Les machines disponibles début 2009 en France seront nombreuses puisque des évolutions significatives sont en cours ou prévues à l'IDRIS, au CCRT et au CINES. Il n'est pas envisageable de les utiliser pour les simulations GIEC, mais une part de nos études complémentaires pourra en bénéficier. La taille de cette part dépendra des performances obtenues par nos applications (y compris le système couplé) et des qualités de leur environnement (capacités de



post-traitement et de stockage). Nous nous projetons également sur une machine européenne exceptionnelle sur laquelle nous ferons tourner des expériences de type *Grands Challenges*<sup>4</sup>.

**Nous sommes actuellement prêts à passer sur toute machine scalaire parallèle, qui nous donnera des temps de restitutions au moins aussi bons que les NEC actuels (pour 100 ans de simulations climat, atlas et post-traitements inclus ) toute étude, hors simulations GIEC.**

### 3 Scénarios d'évolution des moyens de calcul pour le climat

Nous avons détaillé ici 2 types de scénarios.

- Le premier décrit les ressources vectorielles disponibles à ce jour et deux possibilités d'augmentation en 2008 ;
- Le second décrit les possibilités d'utilisation des machines scalaires parallèles disponibles en 2009 et s'il est possible ou non de les utiliser aisément pour les applications climat ;

Ce chapitre se conclut par une proposition réaliste.

#### 3.1 Scénarios envisageables pour la participation IPSL au GIEC

**GIEC-1 - Optimiste** : augmentation des ressources vectorielles pour arriver à un total équivalent à 400 processeurs NEC SX-8.

**GIEC-2 - Médian** : augmentation des ressources vectorielles pour arriver à un total équivalent à 240 ou 300 processeurs NEC SX-8.

**GIEC-3 - Pessimiste** : aucune évolution du vectoriel ni au CCRT ni à l'IDRIS en 2008-2010. Dans le cas du scénario pessimiste, il ne sera possible de réaliser les simulations du GIEC qu'à la condition de dédier **toutes** les ressources vectorielles à notre communauté. Faute de quoi, nous ne pourrons pas garantir la réalisation des simulations GIEC.

#### 3.2 Scénarios envisageables pour l'utilisation des ressources scalaires parallèles des centres de calcul nationaux par le climat

Il s'agit ici d'envisager des scénarios où l'activité climat, hors simulations GIEC peut migrer sur les machines scalaires parallèles nationales disponibles (à l'IDRIS, au CCRT et au CINES). Il est exclu d'envisager de migrer les simulations GIEC de par leurs contraintes temporelles (2009) et leur très haut standard de qualité. Il serait suicidaire de tenter de réaliser ces simulations sur les nouvelles machines disponibles d'ici 2009.

Le critère retenu pour ce scénario est la capacité de calcul dans de bonnes conditions sur les différentes machines prévues à court terme en France. Nos contraintes ont déjà été décrites : capacité de faire tourner le coupleur (lien avec le gestionnaire de *batch*), performances calcul des composantes individuelles, performance calcul du couplé, performances des entrées/sorties, environnement de post-traitement, capacités de stockage des fichiers.

**CLIM-1 - Optimiste** : les nouvelles machines nationales permettent de réaliser 10 ans de simulations climat, atlas et post-traitement intégrés, en prenant autant de temps que sur un nœud NEC (sur un nombre de processeurs à déterminer) et les ressources libérables sur ces machines pour le climat sont suffisantes. Ce scénario se traduit par l'utilisation aisée des ressources calculs disponibles par les différentes configurations des modèles climat après

<sup>4</sup> *European scientific case for high-end computing* :

<http://www.hpcineuropetaskforce.eu/files/Scientific%20case%20for%20European%20HPC%20infrastructure%20HET.pdf>

l'installation de tous les outils sur les nouvelles machines et leur vérification (performances comprises). Le calendrier d'installation des machines et la finalisation des portages et optimisations nous conduisent à mi-2009.

La moitié de la communauté climat peut migrer et seules les simulations GIEC restent sur les SX-8 (80 processeurs).

**CLIM-2 - Médian** : les nouvelles machines nationales permettent de réaliser 10 ans de simulations climat, atlas et post-traitement intégrés pour certaines configurations et résolutions à partir de mi-2009.

**CLIM-3 - Pessimiste** : les nouvelles machines nationales ne permettent pas de réaliser dans le même temps 10 ans de climat, quelles que soient la configuration et la résolution envisagée.

### 3.3 Analyse des risques

Le tableau 1 fait la synthèse des différents scénarios et qualifie les risques associés. L'exercice GIEC est réalisable si l'équivalent de l'ensemble des ressources vectorielles IDRIS et CCRT actuelles est allouable pour le climat. En l'absence d'extension des ressources vectorielles ceci ne peut se réaliser qu'en dédiant au climat les ressources vectorielles existantes du CCRT et de l'IDRIS. Nous sommes actuellement dans cette case rouge (scénario GIEC-3).

Nous avons colorié les différents scénarios présentés selon leur potentiel vis-à-vis de la réalisation de notre plan de route :

<b>Vert</b>	Risque minimal
<b>Jaune</b>	Risque maîtrisable avec une aide conséquente (à l'IPSL et dans les centres de calcul)
<b>Rouge</b>	Danger

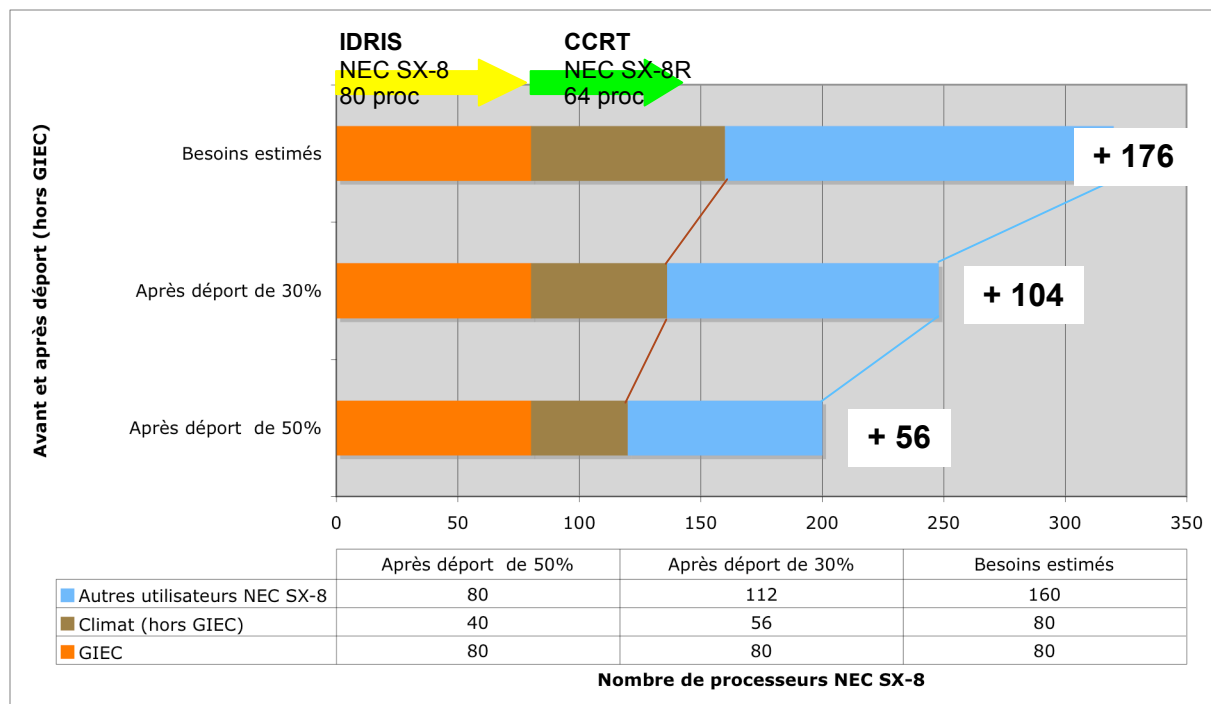
**Tableau 1 : Scénarios nationaux**

Participation IPSL au GIEC	GIEC-1			GIEC-2			GIEC-3		
	Développement national de la climatologie	CLIM-1	CLIM-2	CLIM-3	CLIM-1	CLIM-2	CLIM-3	CLIM-1	CLIM-2

### 3.4 Cas de figures envisageables

L'inconnu est la capacité de migration des autres utilisateurs des ressources vectorielles actuelles. 30% ou 50% des applications paraît envisageable. Ce sont les hypothèses utilisées dans la figure 4.

Figure 4 :



La figure 4 montre les besoins pour les simulations GIEC, pour la communauté climat et pour l'ensemble des utilisateurs actuels des ressources vectorielles IDRIS et CCRT. Ce dernier point est une estimation. Elle quantifie également les besoins d'extension initiaux et si 30% ou 50% des utilisations (hors GIEC) se reportent sur les autres calculateurs disponibles.

*En déportant 30% des études Climat (hors GIEC) et des autres utilisateurs de ressources vectorielles, le besoin supplémentaire en ressources vectorielles est de 104 équivalents processeurs NEC SX-8.*

*En déportant 50% des études, le besoin supplémentaire est de 56 équivalents processeurs NEC SX-8.*

## 4 Scénario d'utilisation des ressources européennes et internationales

Un troisième scénario décrit les possibilités d'utilisation des ressources européennes à l'horizon 2010. Cet horizon est bien trop lointain pour le prochain exercice GIEC qui demandent des simulations sur un environnement stable dès 2009. Comme cela a déjà été mentionné, nous projetons l'utilisation d'une machine européenne exceptionnelle pour les expériences

de type *Grands Challenges*<sup>5</sup>. Là encore, l'attrait de la machine dépendra de la prise en compte des contraintes de la modélisation du climat et son utilisation pour l'AR6 sera envisagée au moment opportun.

**EURO-1 - Optimiste** : PRACE<sup>6</sup> aboutit et permet d'installer une machine européenne de 10 Pflops. Les besoins exprimés par ENES<sup>7</sup> sont pris en compte. Réaliser des simulations climatiques de pointe sur la machine européenne est possible. La complémentarité avec les ressources nationales est idéale. Les accès aux résultats et la connexion à cette machine sont rapides. Les possibilités d'archivage et de post-traitement sont adaptées. Les outils (NetCDF, Oasis, svn, nco, cdo, ...) sont disponibles. L'accès aux ressources européennes se justifie aisément, le choix se fait par projets scientifiques et la machine européenne permet la réalisation d'expériences particulières de type grands challenges.

**EURO-2 - Médian** : PRACE aboutit à l'installation d'une machine généraliste, mais la guerre entre disciplines aboutit à une répartition inadéquate entre disciplines. Les outils nécessaires ne sont pas tous disponibles. La climatologie pourra utiliser cette machine pour la réalisation d'expériences particulières de type grands challenges en complément des ressources nationales en passant beaucoup de temps à s'adapter au cadre technique.

**EURO-3 - Pessimiste** : PRACE aboutit à l'installation d'une machine ultra pointue, à la limite du prototype, pour laquelle les applications doivent être entièrement réécrites. Dans ce cadre, le climat n'est pas un candidat naturel pour utiliser cette machine.

## Scénario européen

Scénario d'utilisation des ressources européennes	<b>EURO-1</b>	<b>EURO-2</b>	<b>EURO-3</b>
---	---------------	---------------	---------------

## 5 Le point de vue des acteurs

### 5.1 La demande de l'IPSL

Des expériences GIEC précédentes, nous pouvons tirer quelques enseignements :

TAR (*Third Assessment Report*) : En 2001, l'IPSL a choisi de réaliser des simulations qui n'étaient pas aux standards du GIEC. Nos études se sont concentrées sur le cycle du carbone et sur la paléoclimatologie, en incluant le couplage avec la végétation.

AR4 (*Assessment Report #4*) : En 2007, l'IPSL s'est engagée dans la réalisation de simulations répondant aux standards du GIEC (GIEC, C4MIP, PMIP), à la résolution possible avec les moyens calculs disponibles en 2005. Une lettre de commande de la MIES (*Mission interministérielle sur l'Effet de Serre*) a permis d'obtenir les ressources sur les moyens de calcul nationaux. L'impact a été une excellente reconnaissance de l'IPSL au niveau international. À l'occasion de cet exercice GIEC, les Japonais, qui ont utilisé le Earth Simulator, ont été courtisés par TOUS les projets internationaux.

Nous devons faire un compromis entre les choix scientifiques, qui doivent être prioritaires, et l'évolution technique des outils en phase avec les moyens calculs. Et toujours garder à l'esprit

<sup>5</sup> *European scientific case for high-end computing* :

<http://www.hpcineuropetaskforce.eu/files/Scientific%20case%20for%20European%20HPC%20infrastructure%20HET.pdf>

<sup>6</sup> Partnership for Advanced Computing in Europe : <http://www.prace-project.eu/>

<sup>7</sup> European Network for Earth System Modelling : <http://www.enes.org/>

que la participation au GIEC est obligatoire pour garder actif un pôle de recherche climatique avec une reconnaissance internationale.

Nous sommes en train de suivre le plan de route détaillé dans les documents de mars 2007 (Voir Note <sup>2</sup> plus haut) en nous préparant conjointement à la réalisation des simulations GIEC en 2009-2010, au portage de l'environnement de production scientifique sur les nouvelles machines et à la diffusion au sein de la communauté de ce mode de fonctionnement.

Nous avons réitéré dans ce document notre demande incompressible de 80 processeurs NEC SX-8 pour la réalisation des simulations GIEC en 2009 et en 2010. Nous avons également chiffré les besoins de l'ensemble de la communauté climat IPSL (le double). Nous avons montré comment nous nous tenons prêts à utiliser l'ensemble des ressources disponibles. Enfin, nous nous engageons à commencer le portage raisonnable des études « hors GIEC » sur les machines scalaires parallèles disponibles.

**Notre demande, à très court terme, est d'étendre le vectoriel (au CCRT et/ou à l'IDRIS) dès fin 2008 en ajoutant 3 ou 2 noeuds NEC SX-9.**

*Le successeur du NEC SX-8, le NEC SX-9 a été annoncé en octobre 2007. En pratique, ce calculateur offrira une accélération d'un facteur 3 sans modification des codes. Si nous parvenons à utiliser efficacement le niveau de cache spécifique à cette machine, nous pouvons peut-être atteindre un facteur 4. Le NEC SX-9 offre un rapport de performance maximum de 5 avec le SX-8. En se basant sur 3 comme facteur d'accélération, N processeurs NEC SX-8 sont équivalents à N/3 processeurs NEC SX-9. Le NEC SX-9 comporte 16 processeurs par nœud. Ainsi 3 (respectivement 2) nœuds NEC SX-9 seraient équivalents à 144 (respectivement 96) processeurs NEC SX-8 supplémentaires.*

Rappelons aussi que Météo-France dispose actuellement de 2 fois 16 nœuds de 8 processeurs NEC SX-8R soit un total de 256 processeurs et qu'elle attend en 2009 un quadruplement de cette configuration sous forme de NEC SX-9. La moitié de ces ressources est dédiée à la prévision opérationnelle quotidienne. L'autre moitié est dédiée à la recherche (avec une contrainte de réquisition pour l'opérationnel en cas de panne) dont les recherches sur le climat.

## 6 Annexes

### 6.1 Annexe 1

**Tableau simplifié des simulations prévues en 2009 et 2010 pour le GIEC :**

Type de simulation	Résolution	Durée de simulations cumulée	Détail du calcul	Estimation du calcul	Nombre de processeurs pendant 1 an
<b>Cycle du carbone (LOOP)</b>	96x71x19/ ORCA2	6 000 ans	25 jours / 100 ans	1 500 jours	
<b>Chimie-climat (ESM)</b>	96x71x19/ ORCA2	3 000 ans	1 jour / 1 an	3 000 jours	
<b>Couplé physique</b>	144x142x50/ ORCA2	6 000 ans	36 jours / 10 ans	21 600 jours	
<b>Total intermédiaire</b>				26 100 jours	71 procs NEC SX-8
<b>Couplé à plus haute résolution</b>	360x180x50/ ORCA1/2°	Quelques simulations			
<b>Total</b>					<b>80 procs NEC SX-8</b>

6 000 ans de simulations peuvent se décomposer comme suit :

- contrôle de 200 ans 200 ans
- 5 scénarios de 200 ans de 4 simulations chacun 4 000 ans
- 2 scénarios de 3 simulations poussées au delà des 200 ans jusqu'à 500 ans. 1 800 ans

## 6.2 Annexe 2

9-10 avril 2008 : IPCC, Twenty-Eighth Session, Budapest, Hungary, 9-10 April 2008

Further work on scenarios, Report from the IPCC Expert meeting towards new scenarios.

Voir <http://www.ipcc.ch/meetings/session28/doc8.pdf>

### Box III.1: Criteria for consideration as an RCP candidate

- 1) Peer-reviewed and published: the pathway must be reported in the current peer-reviewed literature.
- 2) Types of RCPs: the pathway must correspond to one of the four RCP types that satisfy the desirable characteristics:
  - a) RCP8.5 (>8.5 W/m<sup>2</sup> in 2100, rising)
  - b) RCP6 (~6 W/m<sup>2</sup> at stabilization after 2100, stabilization without overshoot)
  - c) RCP4.5 (~4.5 W/m<sup>2</sup> at stabilization after 2100, stabilization without overshoot)
  - d) RCP3-PD (peak at ~3W/m<sup>2</sup> before 2100 and then decline)
- 3) Data requirements:
  - a) Variables: The IAM scenario must project pathways for all of the required variables through 2100—the full suite of GHGs, aerosols, chemically active gases, and land use/land cover (see Appendix 1).
  - b) Long-term/near-term resolution: the existing data and the modeling team must be amenable to finalizing the data as needed for the required resolution using the methods defined from the technical consultations between the IAM and CM communities. These include harmonization of output and base year data, downscaling, and extending published data to 2300 (see Appendix 1).
- 4) Modeling requirement: for reliability, radiative forcing results must have been generated with an IAM that contained carbon cycle and atmospheric chemistry representations.
- 5) Timeline: the modeling team must be able to deliver the data in a timely manner. Dates will be coordinated with the CM community with the expectation that:
  - a) Initial data will be available by the summer of 2008, including (i) a draft full resolution of the data, and (ii) a fully documented scenario.
  - b) Final data will be delivered to the CM community no later than the fall of 2008.

RCP : *Representative Concentration Pathways*

IAM : *Integrated Assessment Modeling or model*

GHGs : *GreenHouse Gases*

CM : *Climate Modeling or model.*