

Synthèse de la contribution française à CMIP6

Thématiques scientifiques et calendrier

Le projet d'intercomparaison de modèles couplés (CMIP) s'est développé sous l'égide du Programme mondial de recherche sur le climat (PMRC ou WCRP en anglais) et son groupe de travail WGCM dédié à la modélisation couplée. Les résultats des simulations alimentent de nombreux projets scientifiques, des études d'impacts multidisciplinaires et servent de référence pour les rapports du GIEC. Ils alimentent également les services climatiques en émergence.

La phase actuelle, CMIP6, a démarré à l'issu de la publication du 5ème rapport du GIEC en 2014 (IPCC, 2014). Elle s'organise autour de 3 grandes questions scientifiques :

- Comment le système climatique répond-il aux différentes perturbations externes ?
- Quelles sont les origines et les conséquences des biais systématiques des modèles ?
- Comment peut-on avoir une meilleure estimation du changement climatique tenant compte de la variabilité intrinsèque, de la prévisibilité du système et des incertitudes sur les scénarios ?

Comme les phases précédentes, la définition des expériences coordonnées est issue de la communauté scientifique et est guidée par des questions scientifiques permettant d'affiner au fil du temps la compréhension du fonctionnement du climat et de ses changements. Cette phase CMIP6 s'appuie sur 21 projets d'intercomparaison (MIP) contribuant aux 7 grands défis de WCRP (http://www.geosci-model-dev.net/special_issue590.html, **Tableau 1**) : Nuages, circulation et sensibilité climatique ; Changements affectant la cryosphère ; Extrêmes climatiques ; Disponibilité en eau ; Montée de la mer à l'échelle régionale ; Prévision décennale et forçages biogéochimiques et rétroactions.

Les équipes françaises sont fortement mobilisées (**Tableau 1**). La contribution s'appuie sur les groupes de modélisation du CNRM-CERFACS et de l'IPSL et les chercheurs des différents laboratoires impliqués dans les analyses multi-modèles. Elle reflète les priorités scientifiques et complémentarités entre les équipes.

La mise en place de l'exercice, le développement des modèles utilisés, la réalisation des simulations et leur exploitation scientifique sont soumis à un calendrier strict pour que les articles scientifiques puissent être considérés par les auteurs du 6ème rapport du GIEC. La parution du volume traitant des bases scientifiques (groupe 1 du GIEC) est prévue en 2021. Ce calendrier impose de pouvoir démarrer les analyses multi-modèles début 2018 dès que les premières simulations permettant l'évaluation des modèles seront disponibles (**Figure 1**).

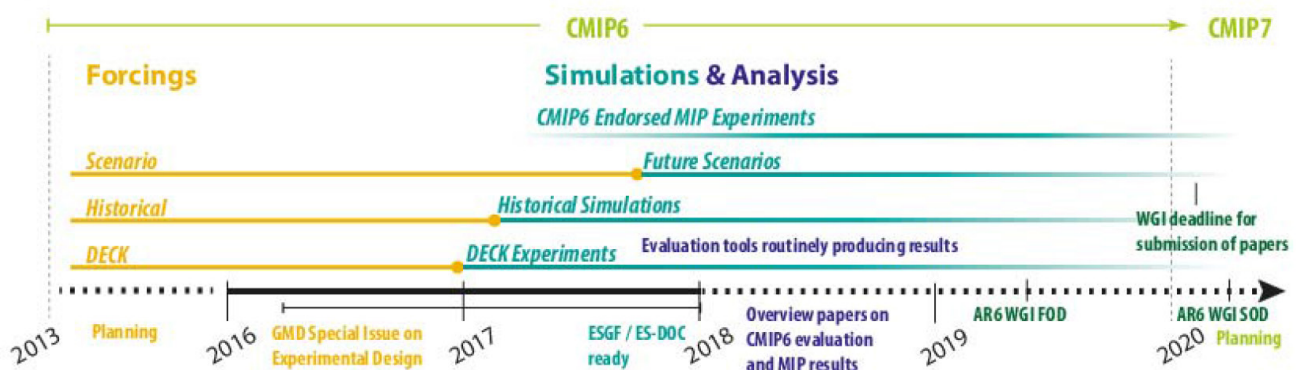


Figure 1. Calendrier faisant ressortir les étapes clés pour la réalisation des simulations et leur analyse scientifique. Pour pouvoir être considérées par les auteurs du 6ème rapport du GIEC, les publications devront être soumises dans les journaux à comité de lecture au plus tard début 2020, en amont de la préparation de la 2ème version du rapport du groupe 1, et acceptées au moment de la dernière relecture par les gouvernements.

Contribution des équipes françaises à CMIP6

	Acronyme	Thématique	CNRM-CERFACS		Contacts	IPSL		Contacts
1	AerChemMIP	Aérosols et Chimie atmosphérique			Martine Michou; David Saint-Martin; Pierre Nabat; Béatrice Josse; Virginie Marécal			Chimie strato : Slimane Bekki ; Marion Marchand Chimie tropo : D. hauglustaine Aérosols : Yves Balkanski, Olivier Boucher
2	C4MIP	Cycle du carbone			Roland Séférian			Patricia Cadule ; Laurent Boppe
3	CFMIP	Rétroactions nuageuses			Hervé Douville; Romain Roehrig			Sandrine Bony
4	DAMIP	Détection et attribution			Aurélien Ribes ; Laurent Terray			
5	DCPP	Précision climatique décennale			Christophe Cassou; Emilia Sanchez ; Rym Msadek			Juliette Mignot, Didier Swingedouw, eric Guylardi
6	FAFMIP	Flux radiatifs			David Salas y Mélia			Didier Swingedouw
7	GeoMIP	Geoingénierie			Roland Séférian ; Maxime Plazzotta			Olivier Boucher
8	GMMIP	Mousson			Hervé Douville; Romain Roehrig; Christophe Cassou			Laurent Li, Pascale Braconnot
9	HighResMIP	Modèles haute résolution			Laurent Terray ; Sophie Valcke; David Salas y Mélia; Matthieu Chevallier			Thomas Dubos
10	ISMIP6	Calottes		LGGE	David Salas y Mélia catherine.ritz@lgge.obs.ujf-grenoble.fr		LGGE	Sylvie Charbit; catherine.ritz@lgge.obs.ujf-grenoble.fr
11	LS3MIP	Surface continentale, neige et humidité		LGGE	Hervé Douville		LGGE	Gerhard Krinner; Frédérique Cheruy ; Agnes Ducharne
12	LUMIP	Utilisation des terres			Christine Delire			Nathalie de Noblet
13	OMIP	Modèles d'océan			Aurore Voldoire; Matthieu Chevallier ; Roland Séférian; Emilia Sanchez			Océan: Julie Deshayes géochimie marine : James Orr
14	PMIP	Palaeoclimat			David Salas y Mélia			Pascale Braconnot; Masa Kageyama; Myriam Khodri
15	RFMIP	Forçage radiatif			David Saint-Martin Hervé Douville Romain Roehrig			Jean-Louis Dufresne
16	ScenarioMIP	Scénario			Roland Séférian David Salas y Mélia			Jean-Louis Dufresne
17	VolMIP	Forçage d'origine volcanique			-			Myriam Khodri
18	CORDEX	Modélisation régionale et descente d'échelle		MedCor dex	Samuel Somot			R Vautard
19	DynVar	Dynamique et variabilité			-			
20	SISMIP	Glace de mer			David Salas y Mélia			Martin Vonnippenolle
21	VIAXS AB	VIA Advisory Board for CMIP6			-			

Rôle dans le projet

	contribution aux protocoles
	membre bureau
	coordination

Participation

	minimale
	forte

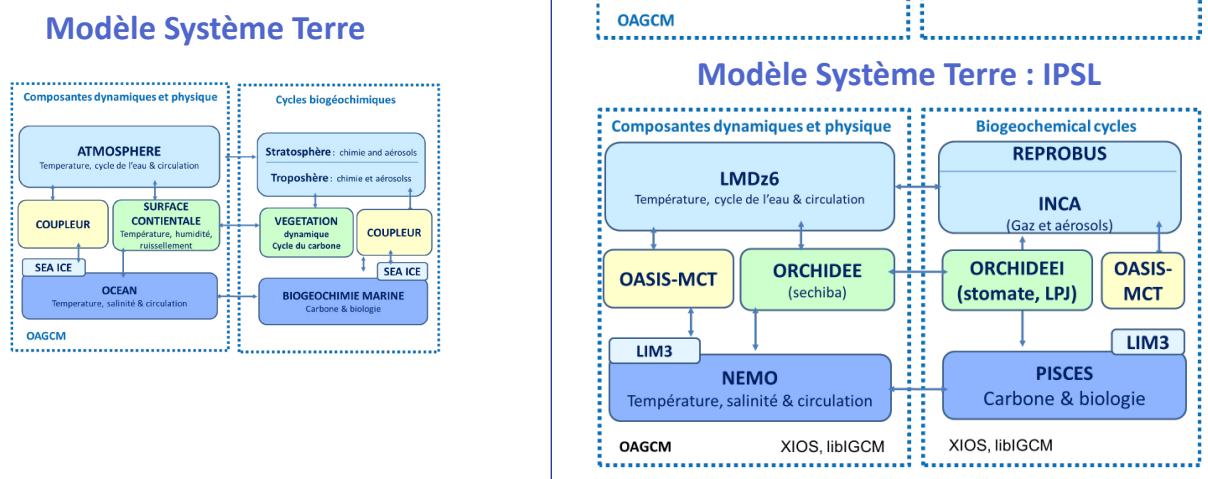
Tableau 1. Synthèse de l'implication des équipes françaises dans l'exercice CMIP6 (Eyring et al. 2016) faisant ressortir les simulations et thématiques prioritaires et l'implication dans la coordination des MIPs. Les points de contact pour chaque thématique et groupe sont également répertoriés. Les simulations permettent d'étudier non seulement les grandes tendances climatiques, mais aussi les modulations ou changements de la variabilité intra-saisonnière à multi-décennale, la prévisibilité à l'échelle de quelques années, les paléoclimats, l'identification de seuils et de changements irréversibles et l'implication de ces changements situations climatiques extrêmes.

Modèles, moyens de calcul et de stockage pour réaliser les simulations

Les simulations seront réalisées par 32 groupes au niveau international, mobilisant 50 modèles. A cette nouvelle phase du projet CMIP sont associées de nouvelles versions des modèles du CNRM et de l'IPSL. Il s'agit de modèles couplés globaux représentant l'atmosphère, les surfaces continentales l'océan, la glace de mer et les calottes de glace et le couplage de ces composantes via la quantité de mouvement, les flux de chaleur et d'eau et les cycles biogéochimiques (**Figure 2**).

Dans chaque groupe, les thèmes de recherches dont les priorités scientifiques justifient l'implication dans les différents MIPs servent de guide au développement des versions de modèles de référence pour réaliser CMIP6 (**Tableau 1**). Pour le modèle du CNRM-CERFACS, ils favorisent une version couplant l'océan et l'atmosphère à haute résolution pour les questions de variabilité et une version intégrant les couplages avec les cycles biogéochimiques pour aborder les questions liées au cycle du carbone ou à la chimie atmosphérique ; les aérosols ou l'utilisation des terres (**Figure 2**). Deux résolutions et deux versions de modèles, incluant ou non les cycles biogéochimiques, sont déclinées pour l'exercice CMIP6.

Figure 2. Représentations schématiques des modèles de climat Système Terre développés au CNRM-CERFACS et à l'IPSL. Les schémas présentant les deux modèles de climat précisent les noms et versions des différents modèles utilisés respectivement comme composantes physiques ou biogéochimiques pour l'atmosphère, l'océan, les surfaces continentales et la glace de mer.



Pour le modèle de l'IPSL, les choix mettent la priorité sur une version de modèle intégrant l'ensemble des couplages entre les différents processus, une représentation plus réaliste des perturbations régionales des gaz à effet de serre, des aérosols et de l'utilisation des terres et permettant de réaliser de longues et nombreuses simulations. Une seconde version du modèle permettra de mieux répondre aux questions liées à l'océan ou aux climats régionaux à plus haute résolution.

La participation des groupes de modélisation à l'effort international CMIP6 dépend directement des ressources informatiques pouvant être mobilisées. Les dossiers calcul ont été traités respectivement avec les services compétents de Météo-France pour le CNRM et avec l'infrastructure de calcul GENCI pour l'IPSL. Ils concernent le calcul lui-même ainsi que le stockage nécessaire. La réalisation des simulations CMIP6 prévue par les groupes français correspond pour chaque groupe à un équivalent d'environ 40 000 ans de simulations.

Un total d'environ 100 millions d'heures de calcul est prévu pour CMIP6 sur les calculateurs de type Bull de Météo-France. Pour ces simulations, le stockage a été estimé à 10 Po et les simulations seront publiées sur ESGF.

Pour l'IPSL, les simulations seront réalisées principalement sur le calculateur Curie de GENCI au CCRT et un sous ensemble à haute résolution sur ADA à l'IDRIS. Un montant de 300 millions d'heures équivalent Curie sur 4 ans (2015-2018) a été sécurisé, avec augmentation progressive en 2015-2016, puis une valeur de 100 millions d'heures par an en 2017 et 2018. Le stockage nécessaire a été estimé à 14 Po de données. Un ensemble de ressources (disques temporaires, processeurs, réseaux) permettent d'assurer le brassage, le traitement, la mise en forme, ainsi que la mise à disposition des résultats et le cycle de vie des données (pérennité, effacement, analyse, etc.)

Infrastructure de distribution de données, base de données et plateforme d'analyses multi-modèles

Comme pour CMIP5, la base de données sera basée sur la technologie déployée par ESGF (Earth System Grid Federation, <https://esgf.llnl.gov>). ESGF est une fédération de 25 nœuds de données, décentralisés, opérés par autant d'institutions différentes, fruit d'une collaboration internationale. Les actions autour de la base de données concernent également : la nomenclature des simulations, l'identification des très nombreuses variables devant être fournies dans la base de données pour les besoins d'analyse, les aspects informatiques permettant de faire communiquer les différents serveurs de données de façon sécurisée, ainsi que les logiciels et différents aspects liés à la documentation des modèles et des simulations (ESDOC).

Actuellement 5 nœuds ESGF de distribution de données sont opérationnels en France, sur les centres de calcul (TGCC, IDRIS, CINES), au CNRM et à l'IPSL. Ces nœuds donnent accès à 400 To de données mises à disposition, avec plus de 4Po de données téléchargées sur ces nœuds français depuis 2011. Le volume de données distribuées est estimé à 30 Po pour CMIP6, nécessitant un réplica de 3-4 Po pour les analyses multi-modèles.

La contribution française à la base de données internationale prend ainsi plusieurs formes :

- des nœuds opérationnels de mise à disposition des résultats des simulations CMIP réalisées avec les modèles du CNRM et de l'IPSL ;
- la mise à disposition d'une réplique partielle du jeu de données international pour les analyses multi-modèles ;
- un nœud opérationnel de mise à disposition d'une réplique partielle du jeu de données CMIP par ESGF ;
- le pilotage et la mise en œuvre du processus de collecte de ce qui est exigé d'ESGF et d'ESDOC ;
- une contribution aux développements des composantes logicielles permettant de faire évoluer ESGF et de développer l'écosystème logiciels permettant d'assembler de façon homogène la documentation des modèles et des simulations. L'accent est mis sur la gestion de données normalisées, sur des composantes logicielles interopérables, sur une disponibilité mondiale de la données et sur les politiques de distribution (licence).

Une fédération ESGF de tests est opérationnelle pour CMIP6 depuis mars 2017. Cinq groupes au monde dont l'IPSL participent à cette phase finale d'intégration qui préfigure ce que sera la plateforme ESGF pour CMIP6. Le calendrier prévoit le passage en opérationnel de cette version CMIP6 ESGF à l'automne 2017, ce qui marquera l'ouverture ESGF pour CMIP6.

Pour CMIP6, les équipes françaises bénéficieront de la mise en place d'une plateforme d'analyses multi-modèles en partenariat avec l'IDRIS. Cette plateforme permettra, de plus, de rationaliser l'espace de stockage multi-modèles nécessaire à différents utilisateurs pour accéder aux résultats, au calcul de proximité et aux observations nécessaires pour l'évaluation des performances des modèles, allant de diagnostics simples à des diagnostics identifiant les processus et les mécanismes mis en jeu dans les changements du climat. Cette plateforme sera déployée début 2018 et permettra de développer une interface nationale avec les différentes communautés d'utilisateurs des simulations CMIP6, au-delà des groupes de recherches directement impliqués dans leur réalisation. Le déploiement de cette plateforme et fortement sous-tendu au calendrier du prochain rapport du GIEC concernant les publications scientifiques.

De fortes interactions interviennent également entre les groupes français pour développer des logiciels d'analyse facilitant le déploiement d'atlas de validation et les diagnostics d'analyse. Les développements de CLIMAF, pilotés par le CNRM dans le cadre de l'ANR Convergence offrent un environnement d'analyse souple sur lequel seront basés des analyses communes des performances des modèles français et étrangers et les échanges de compétences sur différentes thématiques scientifiques