

Comité de Thèse - 1ère année

Résumé et prospectives

Mickaël LALANDE

Septembre 2020

Table des matières

1 Résumé des travaux et formations effectués	1
1.1 Formations, bibliographie et prise en main de l'espace de travail	1
1.2 Analyse des biais dans le modèle IPSL_CM6	1
1.3 Simulation avec un nouveau fichier de relief	3
2 Prospectives et planning prévisionnel de la thèse	4
2.1 Analyse multi-modèle CMIP6 sur la région HMA	4
2.2 Développement d'une paramétrisation sous-maille de la topographie	4
2.3 Lancement d'une simulation zoomée à haute résolution	6
2.4 Analyse dynamique / thermodynamique des changements en HMA	6

1 Résumé des travaux et formations effectués

1.1 Formations, bibliographie et prise en main de l'espace de travail

Les premiers mois de thèse ont principalement été consacrés à la formation et à la prise en main des outils (exemple : environnement CICLAD pour l'analyse des données, Jean-Zay pour lancer le modèle LMDZ, formations sur les modèles, etc.), tout en faisant de la bibliographie en parallèle.

Les formations ont principalement été suivies dans le but de prendre en main les modèles atmosphérique ([LMDZ](#)) et de surface ([ORCHIDEE](#)) de l'Institut Pierre Simon Laplace ([IPSL](#)). Voici la liste des principales formations :

- Fortran Base IDRIS, Orsay (24 heures)
- Fortran Avancé IDRIS, Orsay (32 heures)
- LMDZ training course LMD, Paris (21 heures)
- ORCHIDEE training course IDRIS, Orsay (14 heures)
- Training courses in IPSL modeling tools and environment IDRIS, Orsay (12 heures)

En parallèle, une large bibliographie a été abordée, en particulier sur la région des Hautes Montagnes d'Asie (HMA) pour comprendre à quel climat est soumis cette région et où en est l'état de l'art des connaissances (modélisation, observations, physique, etc.). Un travail de bibliographie a également été fait vis-à-vis de la modélisation de manière plus générale sur les expériences de Projet d'Intercomparaison des Modèles Couplés (CMIP) ou plus spécifiquement sur comment est modélisé la neige dans les modèles de climats par exemple. Finalement, des papiers plus spécifiques aux modèles LMDZ/Orchidée ont été aussi abordées ; modèles avec lesquels nous allons travailler tout au long de cette thèse.

1.2 Analyse des biais dans le modèle IPSL_CM6

Au niveau du travail effectif je me suis principalement focalisé sur l'analyse des biais dans les sorties des expériences CMIP6 pour le modèle de l'IPSL. Un nouveau schéma de neige a été implémenté dans Orchidée depuis les expériences CMIP5, passant d'un modèle simplifié à une couche avec une densité moyenne

constante fixée à 330 kg m^{-3} à un modèle plus réaliste à 3 couches inspiré de ISBA-ES (Interaction between Soil, Biosphere and Atmosphere-Explicit Snow) (Boone and Etchevers, 2001) prenant en compte le tassement de la neige, la percolation de l'eau et de la recongélation (Wang et al., 2013). Ceci a permis de corriger une sous-estimation du couvert neigeux dans la majeure partie de l'Hémisphère Nord, mais a par contre fait émerger un biais plus important dans la région des HMA.

J'ai donc regardé plusieurs variables : la couverture de neige, la température, les précipitations, et les vents zonaux dans les expériences CMIP6. Cependant, le manque d'observations dans cette région rend ces analyses délicates à interpréter (en particulier pour les précipitations). La variable dans laquelle nous pouvons avoir le plus confiance est la couverture de neige dont les observations satellites sont relativement fiables. Ces analyses ont été effectuées pour plusieurs expériences CMIP6 afin de détecter l'influence du couplage entre l'atmosphère et la surface ainsi que l'impact de la résolution :

- historical (modèle couplé avec l'océan),
- AMIP (modèle forcé par l'océan),
- land-hist (modèle de surface seul forcée par une réanalyse atmosphérique),
- HighResMIP (similaire à l'expérience historical mais à plus haute résolution).

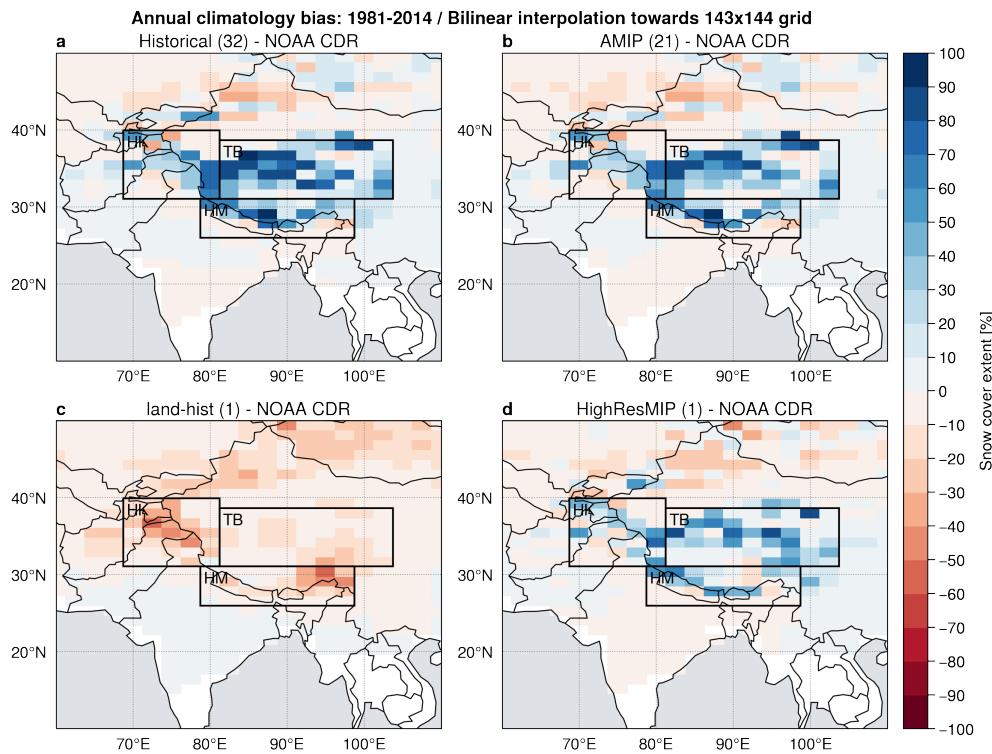


FIGURE 1 – Biais de la climatologie annuelle (1981-2014) de couverture de neige pour les différentes expériences : (a) historical, (b) AMIP, (c) land-hist et (d) HighResMIP pour le modèle de l'IPSL de CMIP6. Observation : NOAA Climate Data Record (CDR) of Northern Hemisphere (NH) Snow Cover Extent (SCE), Version 1 (<https://data.nodc.noaa.gov/cgi-bin/iso?id=gov.noaa.ncdc:C00756>). Les rectangles noirs représentent des zones pour lesquelles nous avons effectué des analyses plus spécifiques, comme par exemple des cycles annuels, tendances, etc. (non montrés dans ce résumé).

Ces analyses (Figure 1) ont permis de mettre en évidence le rôle du couplage entre la surface et l'atmosphère dans l'émergence du biais de couverture neige, puisque le biais est présent dans les simulations couplées avec l'atmosphère alors qu'il est quasiment nul dans la simulation land-hist avec le modèle de surface seul. La haute résolution (HighResMIP) permet de réduire légèrement le biais mais il reste tout de même présent.

L'analyse des moyennes zonales de température (Figure 2) a permis également de mettre en évidence

un biais froid dans la troposphère dans le modèle LMDZ et ce pas seulement sur la région des HMA mais également à l'échelle globale. La question s'est donc posée de savoir si le biais de surface était induit par ce biais dans la troposphère ou l'inverse. Pour le moment nous n'avons pas de réponse tranchée sur la question mais l'analyse d'une expérience “guidée”¹, c'est à dire en appliquant un terme de rappel pour les vents observés en hautes altitude dans le modèle LMDZ, permet de réduire largement le biais froid de température dans la troposphère mais n'a qu'un impact limité sur la couverture de neige. Ceci suggère qu'il y a tout de même un problème avec la représentation du couvert neigeux en surface dans le modèle.

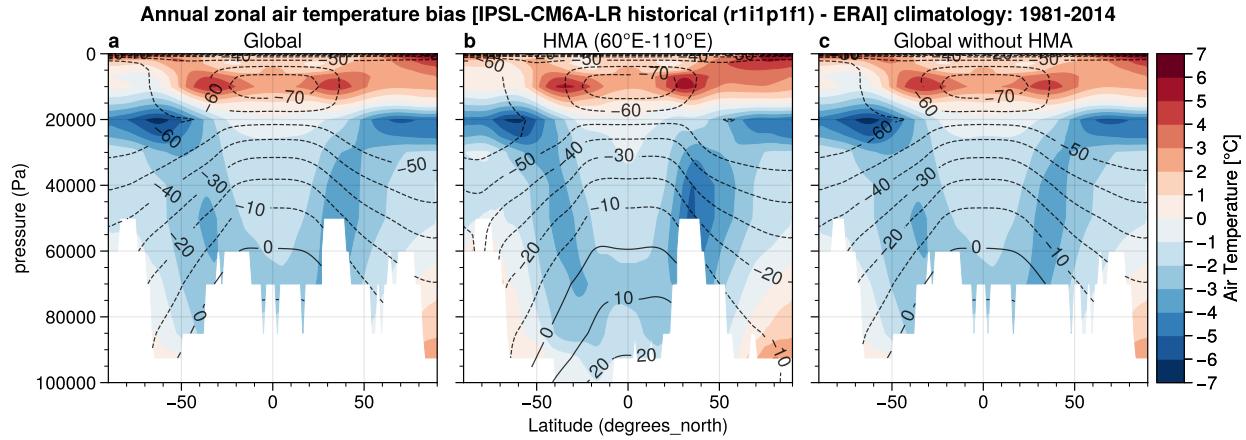


FIGURE 2 – Biais zonaux de la climatologie annuelle (1981-2014) de la température de l’air pour différentes zones : (a) global, (b) HMA et (c) global sans la zone HMA, pour l’expérience “historical” du modèle IPSL-CM6-LR. Référence : ERA-Interim avec une interpolation horizontale bilinéaire sur la grille modèle puis une interpolation linéaire verticale sur les niveaux standards du modèle. Les zones blanches ont été masquées avec la valeur minimale de la pression de surface sur la toute la période pour chaque latitude afin de masquer les zones de montagne. Les contours noirs représentent la climatologie du modèle.

Notre analyse s'est pour le moment focalisée sur des variables “simples” pour proposer un premier diagnostic, nous n'avons pas analysé par exemple le bilan d'énergie de surface ou l'impact des aérosols sur le couvert neigeux, qui peuvent bien-sûr être des paramètres pouvant avoir un impact important. Le problème de ce type d'analyse est que l'on risque de faire face à nouveau à un manque d'observations fiables dans cette région. Néanmoins, quelques études ont déjà exploré la question dans CMIP5, comme par exemple Chen et al. (2017), suggérant que des améliorations dans la paramétrisation de la zone de couverture de neige, ainsi que de la couche limite, et donc des flux turbulents de surface, peuvent aider à réduire le biais de froid sur la Plateau Tibétain dans les modèles. De notre côté nous envisageons de nous focaliser sur la première option dans le cadre de cette thèse en essayant de développer une paramétrisation sous-maille liée à topographie afin de mieux représenter la couverture neigeuse (voir [sous-section 2.2](#)).

1.3 Simulation avec un nouveau fichier de relief

Une autre piste que l'on a suivie, a été de comparer l'altitude utilisée dans le modèle LMDZ par rapport à des produits plus récent, comme le GLOBE à 1km (<https://www.ngdc.noaa.gov/mgg/topo/globe.html>) ou encore le GMTED2010 (<http://www.temis.nl/data/gmted2010/>) qui intègre le GLOBE et d'autres GMT à des résolutions plus faciles à exploiter. Cette comparaison ([Figure 3](#)) nous a permis de mettre en évidence un écart assez important de la topographie dans certaines zones (jusqu'à plus de 500 mètres). Ceci nous a donc poussé à mettre en place deux expériences : une avec le fichier de topographie original et une autre avec un nouveau fichier de topographie calculé à partir du produit GMTED2010 (à 0.0625°). Ces deux expériences ont permis de mettre en évidence des écarts de température assez importants (jusqu'à 5 °C localement) dans les zones où la topographie est très différente. Néanmoins, ces différences sont principalement localisées dans

1. mise à disposition par Frédérique Cheruy

des zones où le biais de couverture neigeuse est faible, il n'y a donc finalement pas un impact très important sur ce biais.

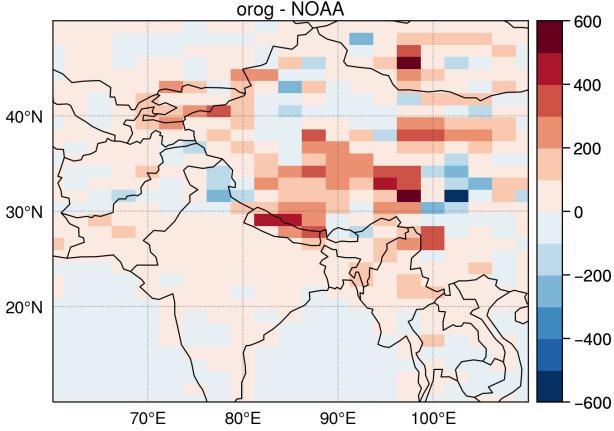


FIGURE 3 – Différence d’altitude (en mètres) entre le fichier original de LMDZ et le produit GMTED2010 (sur la grille IPSL-CM6-LR soit 144x143 points en longitude et latitude correspondant à peu près à $2.5^\circ \times 1.3^\circ$).

Ces deux premières expériences m’ont permis de me familiariser avec le modèle et l’environnement de calcul sur Jean-Zay, ce qui me permettra d’être plus à l’aise dans les futurs développements envisagés et pour effectuer de futures simulations zoomées.

2 Prospectives et planning prévisionnel de la thèse

Pour les prospectives, les points abordés ci-dessous sont classés par ordre de priorité et seront pas forcément tous abordés en fonction de l’avancement des précédents. Les deux premiers points (analyse multi-modèle et développement d’une paramétrisation sous-maille) sont envisagés pour la deuxième année et seront abordés en parallèle. Le second point n’ayant pas de garantie de réussite, nous conservons les derniers points (lancement d’une simulation zoomée et analyse dynamique / thermodynamiques des changements atmosphériques en HMA) comme des points de back-up au cas où le second point n’aboutirait pas. D’autres possibilités non listées ici sont bien-sûr envisageables, comme par exemple la production de simulations sur des périodes longues (1850-2100) en configuration zoomée ou encore étudier les expériences DAMIP pour étudier l’impact des forçages.

2.1 Analyse multi-modèle CMIP6 sur la région HMA

J’ai commencé une analyse multi-modèle afin de situer le modèle IPSL-CM6-LR par rapport aux autres modèles du projet CMIP6, le but étant de pousser cette analyse de manière plus précise en comparant les différents modèles à l’aide de certaines métriques, etc. L’objectif est d’écrire un premier papier sur le sujet en utilisant l’infrastructure CICLAD qui permet l’accès aux données CMIP6. La température de surface, la couverture de neige et les précipitations simulées par les modèles CMIP6 seront comparées avec différents jeux de données, pour mettre en évidence les performances de ces modèles par rapport aux modèles de l’ancienne génération CMIP5, présentés dans de nombreux articles ([Su et al., 2013](#); [Duan et al., 2013](#); [Kapnick et al., 2014](#); [Terzago et al., 2014](#); [Chen et al., 2017](#); [Salunke et al., 2019](#); [You et al., 2020](#)). Nous analyserons également les projections futures.

2.2 Développement d’une paramétrisation sous-maille de la topographie

Cette partie constituera le cœur de la deuxième année de thèse. Plusieurs pistes sont envisagées, comme par exemple adapter le schéma de neige et/ou de développer une paramétrisation sous-maille liée à la topographie, celle-ci n’étant prise en compte uniquement dans la paramétrisation des ondes de gravité ([Lott](#)

and Miller, 1997). Or, la région HMA est caractéristique d'une forte variabilité de la topographie avec des zones où l'on retrouve des sommets enneigés à plus de 8000 m d'altitude, tandis que les vallées environnantes beaucoup plus basses sont souvent découvertes de neige, comme illustré sur la Figure 4, une hétérogénéité qui ne peut pas être représentée explicitement dans les modèles de climat avec des mailles de l'ordre de la centaine de kilomètres. Une représentation sous-maille de la topographie est susceptible d'affecter fortement le calcul du bilan d'énergie de surface.

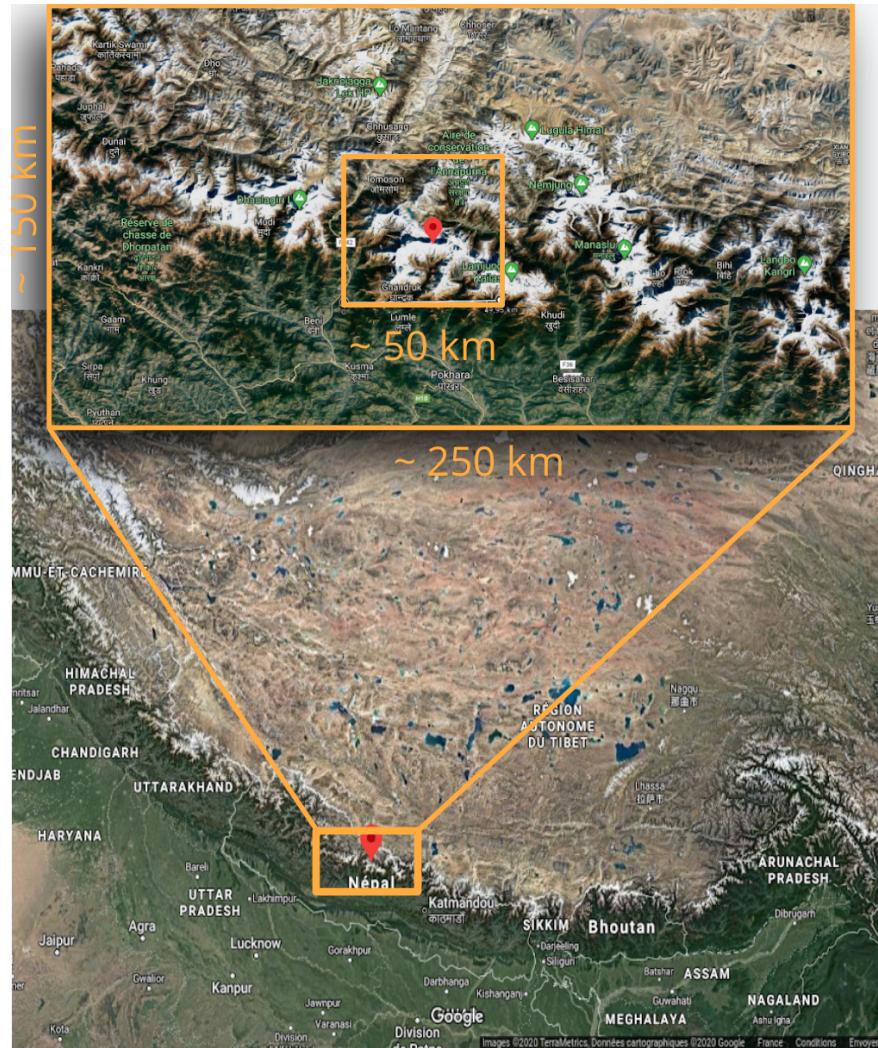


FIGURE 4 – Exemple montrant la taille d'une maille du modèle IPSL-CM6-LR (environ 150 km × 250 km) et sa version HighResMIP (environ 50 km × 50 km). Images prises de Google Map.

Une solution consisterait à séparer les mailles du modèle en une zone “d'accumulation” et une zone “d'ablation” qui seraient déterminées en fonction des courbes hypsométriques à l'intérieur de ces mailles. Un ajustement de la température et de l'humidité de surface serait alors appliqué avant de calculer le bilan d'énergie de surface pour ces deux zones de manière différenciée. Ce développement a déjà été testé dans le modèle global de climat de l'Université de Melbourne dans les années 1996 (Walland and Simmonds, 1996). Un ajustement de la phase des précipitations est également à envisager.

D'autres développements seront envisagés, en fonction des échanges avec l'équipe Orchidée/LMDZ afin de retenir des solutions faisables et cohérentes avec les développements communautaires du modèle.

2.3 Lancement d'une simulation zoomée à haute résolution

Le but final sera de lancer une simulation zoomée² sur la zone des HMA afin d'évaluer la capacité du modèle LMDZ à plus haute résolution sur cette région, dont plusieurs études ont déjà démontré l'intérêt (P Sabin et al., 2013; Krishnan et al., 2016, 2019). Dans un premier temps, la version HighResMIP nous a suffi pour un premier diagnostic de l'impact de la résolution, néanmoins il serait intéressant de tester des résolutions plus fines que 50 km avec le zoom.

La capacité de zoom nous permettra également de tester la paramétrisation développée précédemment à différentes résolutions et nous permettra aussi potentiellement d'aborder le point suivant ([sous-section 2.4](#)) avec une résolution plus fine. Si l'on applique également un guidage nous pourrons envisager une validation du modèle avec des observations GLACIOCLIM (<https://glacioclim.osug.fr/>) en certains points de grille, ce qui pourrait ensuite permettre l'extrapolation des données d'observations dans le passé pour les périodes sans observations disponibles ainsi que dans des projections.

2.4 Analyse dynamique / thermodynamique des changements en HMA

Ce dernier point est envisagé au cours de la thèse, il sera peut-être traité au niveau de l'équipe ou de mon côté en fonction de l'avancement de chacun. Le but serait d'utiliser une méthode analogue similaire à Deser et al. (2016) afin de détecter des changements dans la région des HMA et de les attribuer à des changements dynamiques ou thermodynamiques de l'atmosphère.

D'autres idées pourrons bien-sûr émerger tout au long de l'année qui vient et nous ajusterons le planning en fonction de l'avancement et/ou de nouvelles idées émergentes.

Références

- Boone, A. and Etchevers, P. (2001). An Intercomparison of Three Snow Schemes of Varying Complexity Coupled to the Same Land Surface Model : Local-Scale Evaluation at an Alpine Site. *Journal of Hydro-meteorology*, 2(4) :374–394.
- Chen, X., Liu, Y., and Wu, G. (2017). Understanding the surface temperature cold bias in CMIP5 AGCMs over the Tibetan Plateau. *Advances in Atmospheric Sciences*, 34(12) :1447–1460.
- Deser, C., Terray, L., and Phillips, A. S. (2016). Forced and internal components of winter air temperature trends over North America during the past 50 years : Mechanisms and implications. *Journal of Climate*, 29(6) :2237–2258.
- Duan, A., Hu, J., and Xiao, Z. (2013). The Tibetan Plateau Summer Monsoon in the CMIP5 Simulations. *Journal of Climate*, 26(19) :7747–7766.
- Kapnick, S. B., Delworth, T. L., Ashfaq, M., Malyshev, S., and Milly, P. C. D. (2014). Snowfall less sensitive to warming in Karakoram than in Himalayas due to a unique seasonal cycle. *Nature Geoscience*, 7(11) :834–840.
- Krishnan, R., Sabin, T. P., Madhura, R. K., Vellore, R. K., Mujumdar, M., Sanjay, J., Nayak, S., and Rajeevan, M. (2019). Non-monsoonal precipitation response over the Western Himalayas to climate change. *Climate Dynamics*, 52(7-8) :4091–4109.
- Krishnan, R., Sabin, T. P., Vellore, R., Mujumdar, M., Sanjay, J., Goswami, B. N., Hourdin, F., Dufresne, J. L., and Terray, P. (2016). Deciphering the desiccation trend of the South Asian monsoon hydroclimate in a warming world. *Climate Dynamics*, 47(3-4) :1007–1027.
- Lott, F. and Miller, M. J. (1997). A new subgrid-scale orographic drag parametrization : Its formulation and testing. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 123(537) :101–127.

2. Le modèle LMDZ permet de réaliser des expériences avec une grille à résolution variable sur certaines régions en déformant sa grille, ayant des mailles plus grandes à l'extérieur du domaine du zoom et une résolution plus fine sur la zone du zoom. Ceci a l'avantage, par rapport aux modèles régionaux de climat, de ne pas avoir de problème de mise en place de conditions aux limites.

- P Sabin, T., Krishnan, R., Ghattas, J., Denvil, S., Dufresne, J.-L., Hourdin, F., and Pascal, T. (2013). High resolution simulation of the South Asian monsoon using a variable resolution global climate model. *Climate Dynamics*, 41(1) :173–194.
- Salunke, P., Jain, S., and Mishra, S. K. (2019). Performance of the CMIP5 models in the simulation of the Himalaya-Tibetan Plateau monsoon. *Theoretical and Applied Climatology*, 137(1-2) :909–928.
- Su, F., Duan, X., Chen, D., Hao, Z., and Cuo, L. (2013). Evaluation of the Global Climate Models in the CMIP5 over the Tibetan Plateau. *Journal of Climate*, 26(10) :3187–3208.
- Terzago, S., von Hardenberg, J., Palazzi, E., and Provenzale, A. (2014). Snowpack Changes in the Hindu Kush–Karakoram–Himalaya from CMIP5 Global Climate Models. *Journal of Hydrometeorology*, 15(6) :2293–2313.
- Walland, D. J. and Simmonds, I. (1996). Sub-Grid-Scale Topography and the Simulation of Northern Hemisphere Snow Cover. *International Journal of Climatology*, 16(9) :961–982.
- Wang, T., Ottlé, C., Boone, A., Ciais, P., Brun, E., Morin, S., Krinner, G., Piao, S., and Peng, S. (2013). Evaluation of an improved intermediate complexity snow scheme in the ORCHIDEE land surface model. *Journal of Geophysical Research : Atmospheres*, 118(12) :6064–6079.
- You, Q., Wu, F., Shen, L., Pepin, N., Jiang, Z., and Kang, S. (2020). Tibetan Plateau amplification of climate extremes under global warming of 1.5 °C, 2 °C and 3 °C. *Global and Planetary Change*, 192(December 2019) :103261.