



Rapport

Formation-action sur le modèle MOLOCH et son environnement de travail

Rapporteurs:

- Monsieur Ismael Moussa Ouattara
- Monsieur Oumarou Hama Yacouba

Période : Du 18 au 22 Mai 2026

Lieu : Salle de réunion de la Direction Nationale de la Météorologie, Niamey – Niger

Juin, 2026

1. Contexte

Dans le cadre du projet SLAPIS Sahel, des échanges techniques organisés en avril 2025 à Niamey et Ouagadougou ont permis de présenter les premiers résultats de validation du modèle WRF ainsi que les perspectives d'amélioration des outils de prévision numérique utilisés dans la région. À l'issue de ces discussions, les services météorologiques du Niger et du Burkina Faso ont manifesté un intérêt particulier pour le modèle opérationnel MOLOCH développé en Italie.

Afin d'accompagner le transfert de cette technologie vers la Direction Nationale de la Météorologie (DNM), une formation-action a été organisée du 18 au 22 mai 2026 à Niamey. Cette activité visait à renforcer les capacités des informaticiens, prévisionnistes et climatologues de la DNM sur l'installation, la configuration, l'exploitation et l'évaluation du modèle MOLOCH dans un environnement opérationnel.

2. Objectifs de la formation-action

La formation-action a pour principaux objectifs de :

- Former le personnel de la DNM sur le fonctionnement du modèle MOLOCH et ses produits ;
- Renforcer les capacités techniques pour l'opérationnalisation du modèle ;
- Effectuer l'installation et la paramétrisation du modèle dans un environnement Linux et cluster ;
- Initier les participants aux procédures de prévision, de post-traitement et d'évaluation des prévisions ;
- Améliorer l'exploitation opérationnelle des produits issus du modèle MOLOCH dans les activités de prévision météorologique au Niger.

3. Participants

La formation a réuni les agents de la DNM, notamment les informaticiens, administrateurs systèmes, modélisateurs, prévisionnistes et climatologues, ainsi que des formateurs et experts provenant de plusieurs institutions partenaires :

- Direction Nationale de la Météorologie du Niger;
- Laboratoire de surveillance et de modélisation environnementale (Consortium LAMMA);
- Agence Nationale de la Météorologie du Burkina-Faso.

Les sessions ont été animées principalement par :

- Vieri Tarchiani, Expert CNR-IBE, Directeur Scientifique du Projet SLAPIS Sahel;
- Valerio Capecci: expert du Consortium LaMMA;
- Francesco Pasi, Expert du CNR-IBE
- Younoussa Adamou Sayri, formateur DNM;
- Thomas R. Béré, formateur ANAM Burkina Faso.

4. Déroulement général de la formation

Session 1 : Le modèle MOLOCH (Jours 1 et 2)

Jour 1 : Introduction et environnement de travail

La première journée a été consacrée à l'ouverture officielle de la formation ainsi qu'à la présentation générale du modèle MOLOCH et de son environnement de travail. Les activités réalisées ont porté sur La présentation des objectifs du projet SLAPIS Sahel a été assurée par Monsieur Ousmane Baoua, qui a mis en lumière les principales actions du projet en matière de renforcement des capacités en prévision météorologique.

Ensuite, Monsieur Vieri a pris la parole pour rappeler que l'un des objectifs majeurs du projet est de rendre opérationnels les modèles MOLOCH et WRF au sein des services météorologiques nationaux, tout en les adaptant aux réalités climatiques et aux besoins opérationnels de la région. N'ayant pas pu effectuer le déplacement au Niger, il a souligné que la formation a été conduite à Niamey par les formateurs Messieurs Younoussa et Thomas. Il en a profité pour remercier la Directrice de la Direction Nationale de la Météorologie, Monsieur Ousmane Baoua ainsi que l'ANAM du Burkina Faso pour avoir facilité la participation de Monsieur Thomas à cette session.

Les allocutions d'ouverture ont été prononcées par la Directrice de la Direction Nationale de la Météorologie (DNM), qui a exprimé sa reconnaissance envers les experts italiens, notamment Messieurs Vieri et Francesco, ainsi qu'envers les formateurs Younoussa et Thomas pour leur engagement et la qualité de leur accompagnement tout au long de la formation.

Elle a également salué la coopération italienne pour son appui constant au développement des capacités techniques de la météorologie nationale, notamment à travers la convention signée pour le transfert des modèles AMMA. Enfin, elle a souligné l'importance des modèles à fine échelle tels que MOLOCH et WRF, qui contribueront à améliorer la qualité des prévisions météorologiques, le suivi des phénomènes extrêmes et la diffusion des informations au bénéfice des utilisateurs et des populations. Les allocutions d'ouverture de la Directrice de la DNM et des responsables scientifiques ;

- ❖ **La présentation des caractéristiques, de la structure et des fonctionnalités du modèle :**
 - MOLOCH MICROPHYSIC: 1 or 2 moments;
 - CUMULUS SCHEME: KAIN FRITSCH;
 - SURFACE: 6 levels DROPA scheme;
 - RADIATION: ECMWF scheme - updated 2024.

MOLOCH WEATHER MODEL : CONFIGURATION DU CŒUR DU MODÈLE (moloch.inp)

1. PARAMÈTRES TEMPORELS ET D'INTÉGRATION

- dtstep** (Pas de Temps)
Integration time step (sec).
Conseil : Environ 10 à 20 x résolution (km).
▲ Ex: 9km → ~100s, 3km → ~40s
- hrun** (Durée Simulation)
Forecast duration (hours).
À modifier selon vos besoins.
- hbound** (Conditions Limites)
Boundary conditions interval (hours).
Conseil : '3' pour GRIB2 toutes les 3h.

2. CONFIGURATION DE LA PHYSIQUE ET DES SORTIES

- SCHÉMA DE RADIATION (nradm)**
 - Flag = 0 : No radiation
 - Flag = 1 : Geleyn only (every east seconds) Conseil : '2' pour les meilleures performances.
 - Flag = 2 : Geleyn & ECMWF combined
- CONVECTION** (nlconv) : Parameterization ON (nlconv) / False (x) : Parameterization OFF
- SAUVEGARDE ÉTAT INITIAL (nlana)**
Initial condition saved in output (mhf).
Flag = '.true.' pour inclure l'état initial.
- SORTIES MODÈLE (mhf)**
hist : Intervalle d'écriture (heures)
mhfr : 1 (Full res) ou 2 (Half res)
- SOL (nlord, nlmic2)**
nlord : Orographic drag (.true.)
nlmic2 : 2-moment microphysics (.true.)

MOLOCH CHAIN : PROCÉDURE DE RECOMPILATION

Procédure suite à la modification de 'dimensions.inc'

1. LIAISON SYMBOLIQUE (Domain Change)

Ex: Sahel → v25.2.1/moloch dimensions.inc

```
cd /home/slapis/moloch/src/v25.2.1/moloch
ln -sf ../../domain/sahel_d01/dimensions.inc
```

2. CONFIGURATION MAKEFILE (Edit Options)

Activer les options requises et désactiver les inutilisées.

- BOLAM = NO
- MOLOCH = YES
- GLOBO = NO
- GRAPHICS_PLGRIBFA = NO

3. NETTOYAGE ET COMPILATION (Build Sequence)

Séquence finale de génération.

```
cd /home/slapis/moloch/src/v25.2.1
make clean
make
executable_premodel
...
executables...
```

1. liboac

Priorité haute: Transforme le code C++ en outils mathématiques rapides pour la décompression GRIB2.

2. ecCodes

Compilé avec support CURL, AEC et NetCDF. Permet au modèle de "voir" les données GFS/IFS mondiales.

3. geo_dataset

Données statistiques (orographie, sol). Définit l'identité géographique du domaine (ex: Sahel).

- PBL: E-L Kinetic Energy, order 1.5

❖ La présentation du guide utilisateur et du kit d'installation

MOLOCH CHAIN : VÉRIFICATION ET INSTALLATION DES OUTILS

1. VÉRIFICATION (Outil/Version)

- gfortran → Outil Présent (✓)
- ifort → Outil Présent (✓)
- MPI (openmpi)
- mpi90 → Outil Présent (✓)
- CMake → Outil Présent (✓)
- cmake → Outil Présent (✓)
- Make → Outil Présent (✓)
- pip3 → Outil Présent (✓)

3. INSTALLATION (sudo apt...)

```
sudo apt install python3-pip
sudo apt install make
sudo apt install cmake
sudo apt install mpi90
sudo apt install libopenmpi-dev
sudo apt install ifort
sudo apt install gfortran
```

MOLOCH CHAIN : ENVIRONNEMENT ET SOURCES

1. ARBORESCENCE ET RÉPERTOIRES

```
home/Models
src/
bin/
domain/sahel_d01/
```

2. COMPOSANTS CRITIQUES À TÉLÉCHARGER

- liboac & ecCodes
- geo_dataset
- Radiation Data
- MOLOCH Model

3. VALIDATION DE L'ENVIRONNEMENT

- Sources liboac présentes
- Sources ecCodes présentes
- Sources geo_dataset présentes
- Sources Radiation Data présentes
- Sources MOLOCH présentes
- Dépendances système validées (gfortran, mpi90...)

Les formateurs ont présenté en détail le guide d'installation du modèle MOLOCH ainsi que les différentes étapes nécessaires à sa mise en œuvre.

sudo apt update && sudo apt install libcurl4-openssl-dev

NB : Installer le cmake s'il n'est pas installé : Pour la compilation d'ecCodes on a besoin de cmake. Pour la compilation de rad_ecmwf on a besoin de make. On a aussi besoin de la librairie netCDF (versions 3 or 4) et éventuellement HDF5. Structure du Répertoire du Domaine dans votre dossier de domaine (ex: ~/moloch/domain/sahel_d01), vous devez impérativement retrouver les fichiers suivants pour assurer le bon fonctionnement des pré-traitements et de la simulation : dimensions.inc, premoloch.inp, moloch.inp : postmoloch.inp, grib_sample.inp.

La première étape de l'installation du modèle prérequis est de vérifier que les compilateurs et outils sont installés figure 1. Configuration du Domaine (inc & inp) figure 4, 5 et 6, ensuite procédez au lancement de pré moloch figure 7 et enfin la configuration géographique (moloch.inp et postmoloch.inc)

MOLOCH WEATHER MODEL : LANCEMENT ET EXÉCUTION

1. PRÉPARATION DU RÉPERTOIRE 'RUN'

`cd run_sahel` `ln -sif`

a. DONNÉES STATIQUES
Liaison vers les datasets géographiques.

b. DONNÉES INPUT (Ex: GFS)
Liaison séquentielle de fichiers GRIB2.

c. PARAMÈTRES DU DOMAINE
Liaison des fichiers de configuration.

d. EXÉCUTABLES COMPILÉS
Liaison vers les binaires finaux.

2. EXÉCUTION DE LA CHAÎNE

A. PRÉMOLOCH (Initialisation)
Lit les fichiers CRIB et prépare le lancement du modèle.

```
mpirun -np 1 ./premoloch
```

B. MOLOCH (Cœur du modèle)
Lancement parallèle du modèle modèle principal.

```
mpirun -np 120 ./moloch
```

NOTE NPC Si erreur : module avail openmpi / module load [nom_module]

1. PARAMÈTRES DE CONFIGURATION

gnlon, gnlat (Points de Grille)
Nombre total de points (Longitude / Latitude).
Ex: 102 x 102.

nprocsx, nprocsy (Cœurs de Calcul)
Distribution parallèle.
Ex: 10 x 12 pour 120 processeurs.

nlev (Niveaux Atmosphériques)
Points verticaux (ex: 50).
Résolution d'altitude.

nlevg (Niveaux du Sol)
Points souterrains (ex: 7).
Physique du terrain.

Assurer la **cohérence** vivec

2. VÉRIFICATION DE LA VALIDITÉ

Formule de Vérification

Critères Obligatoires pour Calcul Valide

$(gnlon - 2) / nprocsx = \text{NOMBRE PAIR}$

$(gnlat - 2) / nprocsy = \text{NOMBRE PAIR}$

$(102 - 2) / 1 = 100 \text{ (PAIRS)}$ ✓

$(100 - 2) / 10 = 9.8 \text{ (NON PAIRS)}$ ✗

Assurer la **cohérence** votre capacité machine.

Le non-respect de ces règles peut invalider le calcul.

MOLOCH WEATHER MODEL : POST-TRAITEMENT & SCRIPTS

1. IDENTIFICATION DES SORTIES DU MODÈLE

.shf FILES (Surface 2D)
Contiennent uniquement les données de surface (2D)

.mhf FILES (Vertical 3D)
Contiennent les données verticales atmosphériques (3D) + Variables de surface

2. CONFIGURATION POST-TRAITEMENT

Ajuster avant exécution
1 = Actif (✓) / 0 = Inactif (x)

Logique Binaire : 1/0

Orography (0)

Temperature (1)

Humidity (1)

Wind (0)

Precipitation (1)

3. AUTOMATISATION VIA SCRIPTS

postmoloch.MHF
Dédié au traitement des Données 3D et surface

`> postmoloch.sh`

`postmoloch.inp`

`[nom_script_surface].sh`
Dédié au traitement des Données 2D surface

`[nom_script_surface].sh`

GRIB2/NetCDF final

INPUT FORMAT (GRIB2)

Utilisez GRIB2 pour les données d'entrée modernes.

DLOn, DLAT (Résolution réelle en degrés)
Exemple 9km (M 9):
 $9 / 110.54 \approx 0.082$

Exemple 3km (M 3):
 $3 / 110 = 0.027$

ALON0, ALATO (Coin inférieur gauche v du domaine)
Coordonnées géographiques vraies (ex: ALON0=-2, ALATO=3)

GRILLE ROTATIONNELLE VS VRAIE (Rotation Grids)

Définir X0, Y0 au centre de rotation (X0, Y0=0 pour grille vraie).

Si grille vraie, $DLOn=DLAT/COS(ALATO)$ (moyenne latitude).

NLEVG & SLT (Niveaux de Sol / Épaisseurs)

1 NLEVG(1) : Épaisseur des couches de sol (en m).

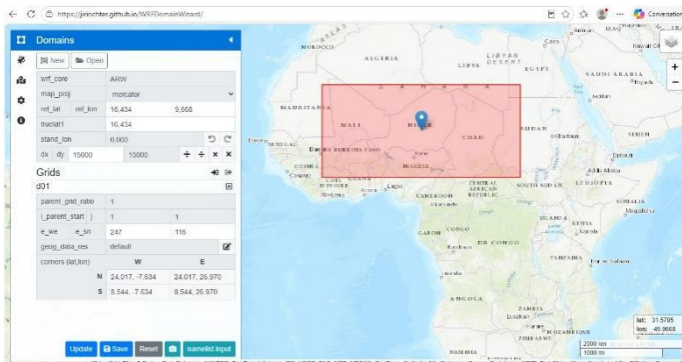
2 SLT(10) : Épaisseur des couches de sol (en m).

3 SLT(0), redéfinir NLEVG.

B0 (Coordonnée verticale hybride)
Coefficient B0 ($0.2 > B0 <= 1$)
Decra B0 deuo model layer.

❖ L'installation de l'environnement Linux via WSL et l'initiation aux commandes de base Linux

Les participants ont été initiés à quelques exercices pratiques de commandes sur l'environnement de base Linux afin de se familiariser sur Ubuntu.



Le système de fichiers est organisé en répertoires et fichiers :

- `pwd` affiche le répertoire courant ;
- `cd` permet de changer de répertoire ;
- `ls` liste le contenu d'un répertoire ;
- Les chemins peuvent être absolus ou relatifs ;

- Chemin absolu : Tout chemin qui commence par '/' est un chemin absolu (/home/alice/Documents/photo1.png);
- Chemin relatif a comme point de départ le répertoire courant (./Documents/monfichier.txt)
- mkdir crée un répertoire.
- touch crée un fichier vide ou modifie sa date.
- cp copie un fichier.
- mv déplace ou renomme.
- rm supprime un fichier ; rmdir supprime un répertoire vide.(La suppression avec rm est immédiate, vérifier la cible avant de valider).

Avant d'éditer, il faut savoir consulter un fichier.

- afficher tout ou partie d'un fichier à l'écran: **cat, head, tail**
- consulter et naviguer dans un fichier sans l'éditer : **more, less;**
- Les commandes de recherche dans **less** facilitent la lecture.

La commande vim ou vi permet de créer un fichier, écrire quelques lignes, enregistrer, quitter, puis afficher avec cat.

vi monfichier.txt

- i insertion
- Esc mode commande
- :w enregistrer
- :q quitter
- :x enregistrer et quitter
- :q! quitter sans enregistrer

Les droits lecture, écriture et exécution n'ont pas exactement le même sens pour fichiers et répertoires.

- r : lecture.
- w : écriture.
- x : exécution d'un fichier ; accès ou traversée d'un répertoire.
- Les droits sont lus par groupes de trois : utilisateur, groupe, autres.

chmod permet de modifier les droits d'un fichier ou d'un répertoire

- chmod u+x script.sh
- \$ chmod go-r fichier.txt
- \$ chmod a=rwx,go-w outil.sh
- \$ chmod 754 poisson.txt
754 = rwx r-x r—

Les activités ont également porté sur des exercices pratiques sur le cluster de calcul ainsi que sur les tests de téléchargement des données d'entrée du modèle.

Cette journée a permis aux participants d'acquérir les bases nécessaires à la compréhension de l'environnement de travail du modèle.

Jour 2 : Paramétrisation et exploitation technique

La deuxième journée a été consacrée aux aspects techniques liés à l'installation et à la configuration du modèle sur le cluster de calcul. Les participants ont travaillé sur :

- La suite des exercices de création et de modification du domaine ;
- La paramétrisation des fréquences de sortie et des variables météorologiques ;
- Le lancement du modèle sur le cluster ;
- Les premières opérations de post-processing et de création des images de sortie.

Certaines difficultés techniques liées aux incompatibilités de versions et aux configurations logicielles ont été rencontrées. Toutefois, les échanges entre formateurs et participants ont permis de proposer des solutions adaptées pour la poursuite des travaux.

Session 2 : Exploitation des outputs de MOLOCH (Jour 3)

La troisième journée a été consacrée à l'exploitation opérationnelle des produits générés par le modèle MOLOCH.

Les principaux thèmes abordés ont concerné :

- Les capacités et limites du modèle dans la prévision opérationnelle ;
- Les résolutions spatiales utilisées par le modèle ;
- Les différentes paramétrisations physiques ;
- Les variables météorologiques produites ;
- Les hydrométéores simulés par le modèle ;
- La visualisation et l'exploitation des outputs ;
- Les comparaisons entre les sorties MOLOCH, WRF et GFS ;
- Les exercices pratiques et échanges entre modélisateurs et prévisionnistes.

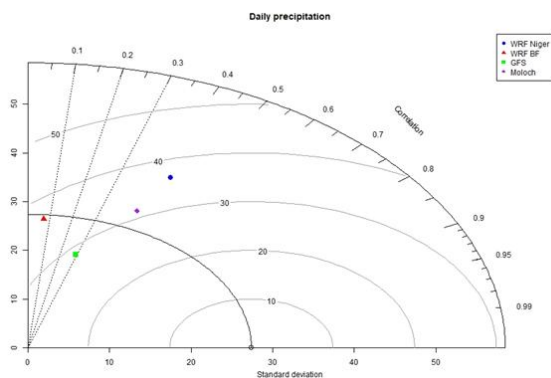
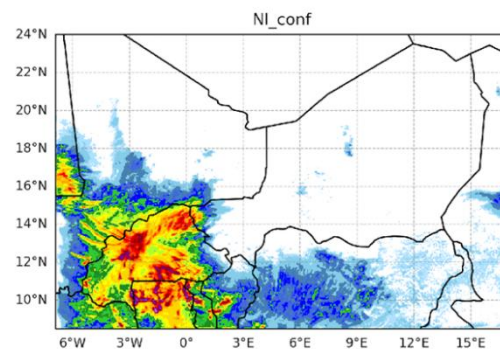
Des recommandations ont été faites dans le cadre de l'amélioration de l'interface du modèle.

Session 3 : Évaluation des prévisions de MOLOCH (Jours 4 et 5)

Les quatrième et cinquième journées ont été consacrées aux procédures d'évaluation et de vérification des prévisions météorologiques issues des modèles MOLOCH et WRF. Les activités réalisées ont porté sur :

- La présentation des méthodes d'évaluation des prévisions ;
- La lecture et la manipulation des fichiers GRIB avec Python et Eccodes ;
- Les exercices de vérification par stations d'observation et les exercices de vérification spatiale à partir des données satellitaires R et PYTHON (FSS, Diagram de TAILOR, Diagram de performance et Diagram d'intensité) ;
- Les échanges sur les besoins futurs en matière de formation et de renforcement des capacités.

Les figures de comparaison par la méthode de diagramme de performance des modèles



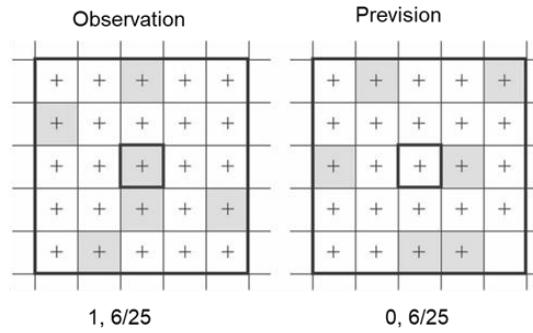
La méthode de vérification spatiale de fraction de skill score

Vérification spatiale

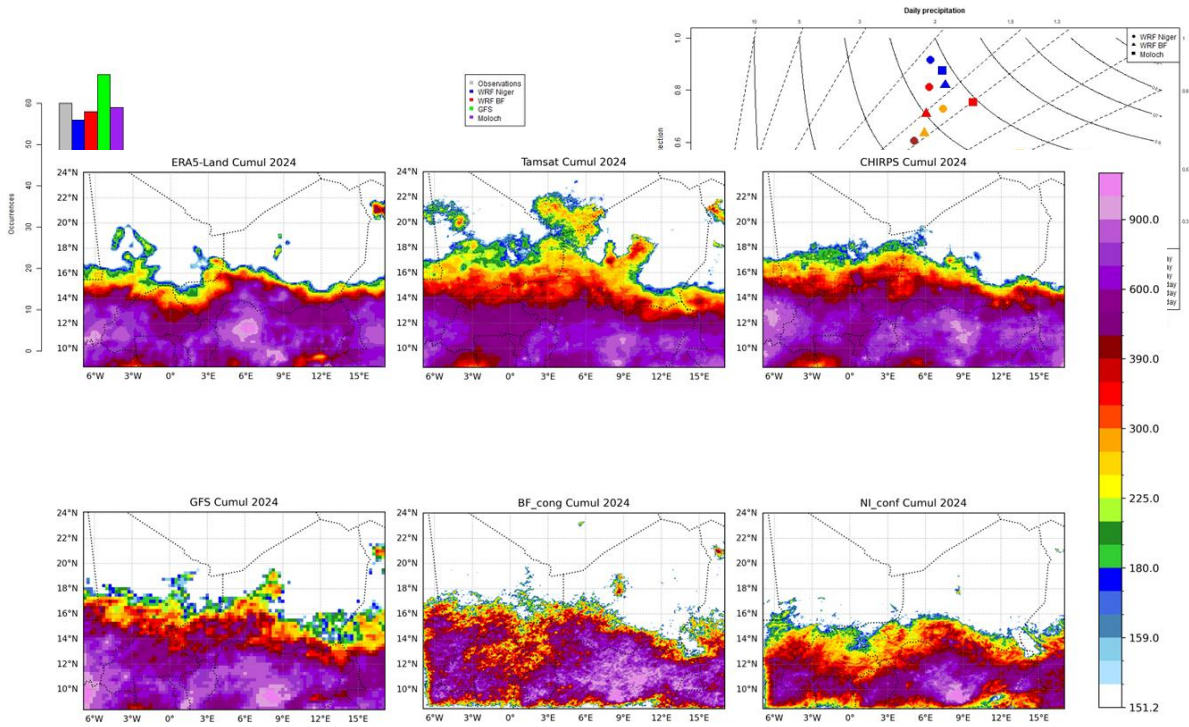
Fraction skill score:

- Prévisions et observations sont aux mêmes grilles

$$I_o = \begin{cases} 1 & O_r \geq q \\ 0 & O_r < q \end{cases}, I_m = \begin{cases} 1 & y_r \geq q \\ 0 & y_r < q \end{cases}$$

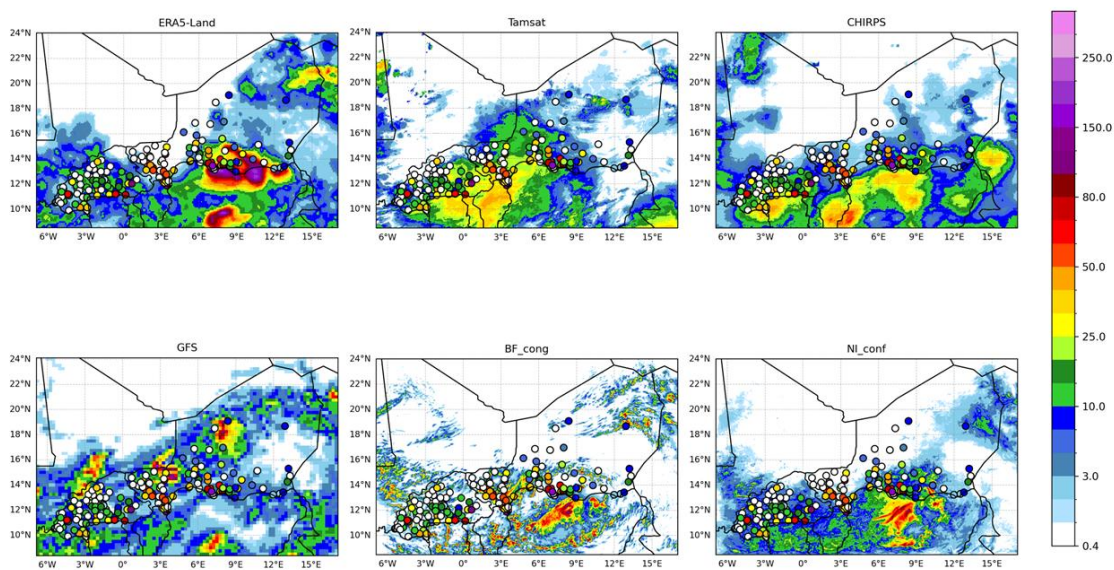


Roberts and Lean 2008



Résultats de comparaison des modèles

Comparaison des Précipitations du 30 Août 2024 (Simulations, Observations et Stations)



Les participants ont travaillé sur l'analyse de la cohérence spatiale des précipitations prévues par les modèles en comparaison avec les observations disponibles.

La formation s'est achevée par une séance de recommandations et la clôture officielle des travaux.

5. Résultats obtenus

À l'issue de la formation-action, plusieurs résultats importants ont été obtenus :

- Une meilleure compréhension du fonctionnement du modèle MOLOCH ;
- Une maîtrise initiale de la chaîne opérationnelle du modèle sur le cluster de la DNM ;
- Le renforcement des compétences techniques des modélisateurs, informaticiens, prévisionnistes et climatologues ;
- L'installation réussie de l'environnement Linux sur la majorité des ordinateurs ;
- L'acquisition de compétences sur Linux, le cluster et la manipulation des données météorologiques ;
- Une meilleure compréhension des produits du modèle et de leur utilisation opérationnelle ;
- Une initiation aux procédures de vérification des prévisions météorologiques ;
- Le renforcement de la collaboration entre modélisateurs, prévisionnistes et climatologues.

6. Difficultés rencontrées

Malgré le bon déroulement général de la formation, certaines difficultés ont été observées :

- Des problèmes d'installation de WSL sur certains ordinateurs ;
- Des incompatibilités de versions logicielles ;
- L'installation incomplète de certaines applications nécessaires ;
- Des contraintes techniques liées à la configuration du cluster ;
- Des difficultés lors du lancement complet du modèle,
- Problème de capacité pour certain ordinateur.

Ces difficultés ont toutefois constitué un cadre pratique d'apprentissage et ont permis d'identifier plusieurs pistes d'amélioration pour les prochaines sessions.

7. Recommandations

Les participants et les formateurs ont formulé plusieurs recommandations :

A l'endroit de la DNM:

- Mettre en place une équipe de recherche pour travail sur le modèle et aussi sur la visualisation du model MOLOCH et WRF,
- Mettre à la disposition des ordinateurs grande capacité aux acteurs,
- Mettre en place un dispositif électrique stable pour sécuriser les serveurs,
- Rehausser la connexion internet.

A l'endroit des formateurs:

- Mettre à jour régulièrement le guide d'installation conformément aux nouvelles versions ;
- Uniformiser les palettes de couleurs utilisées pour les sorties MOLOCH, WRF et GFS ;
- Intégrer davantage de paramètres météorologiques dans les interfaces d'évaluation ;
- Automatiser les procédures d'évaluation des prévisions ;
- Intégrer les flux de vent et le vent à 2 mètres dans les produits visualisés ;
- Renforcer les capacités sur le post-processing avancé et les procédures de vérification ;
- Organiser des sessions complémentaires de formation pratique ;
- Utiliser les sorties des modelés pour suivre la remontée des données au niveau du réseau d'observation météorologique;
- Evaluer les modèles par rapport aux zones climatiques,
- Mettre à disposition des utilisateurs le choix de téléchargé les fichiers sur plusieurs formats,
- Mettre les frontières régionales sur les cartes.

A l'endroit du Projet SLAPIS Sahel:

- Renforcer davantage les formations sur les modèles WRF et MOLOCH;

- Renforcer les capacités techniques de la DNM sur les langages de programmations et en administration réseau.

Conclusion générale

La formation-action sur le modèle MOLOCH a constitué une étape importante dans le processus de renforcement des capacités techniques et opérationnelles de la DNM dans le domaine de la modélisation numérique du temps.

Les différentes sessions théoriques et pratiques ont permis aux participants de mieux comprendre le fonctionnement du modèle MOLOCH, son environnement de travail, les procédures de paramétrisation, le post-processing ainsi que les méthodes d'évaluation des prévisions météorologiques.

Malgré certaines contraintes techniques rencontrées durant les travaux pratiques, les objectifs principaux de la formation ont été globalement atteints grâce à l'engagement des formateurs et à la participation active des apprenants.

Cette formation représente ainsi une base solide pour l'opérationnalisation future du modèle MOLOCH au sein de la DNM et pour l'amélioration des capacités nationales de prévision météorologique au Niger.