



**HAL**  
open science

# Rapport de synthèse sur la simulation à haute résolution du cyclone tropical Bejisa (2014)

Christelle Barthe, Soline Bielli

## ► To cite this version:

Christelle Barthe, Soline Bielli. Rapport de synthèse sur la simulation à haute résolution du cyclone tropical Bejisa (2014). [Rapport de recherche] LACY; Région Réunion; Union Européenne; INTERREG-V océan Indien. 2018. hal-02923663

**HAL Id: hal-02923663**

<https://hal.univ-reunion.fr/hal-02923663v1>

Submitted on 27 Aug 2020

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# RENOVRISK-CYCLONES (C3)

ACTION 2

SOUS-ACTION 2.3

---

## Rapport de synthèse sur la simulation à haute résolution du cyclone tropical Bejisa (2014)

---

Christelle BARTHE et Soline BIELLI

Laboratoire de l'Atmosphère et des Cyclones  
(UMR 8105 CNRS/Météo-France/Université de La Réunion)

Septembre 2018



# Sommaire

<b>1</b>	<b>Contexte</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Cas d'étude</b>	<b>2</b>
2.1	Le cyclone tropical Bejisa . . . . .	2
2.1.1	Cycle de vie de Bejisa . . . . .	2
2.1.2	Impact sur La Réunion . . . . .	3
2.2	Cadre numérique des simulations . . . . .	3
2.2.1	Simulation S1 . . . . .	4
2.2.2	Simulation S2 . . . . .	7
<b>3</b>	<b>Resultats</b>	<b>7</b>
3.1	Trajectoire - Intensité . . . . .	7
3.2	Pluie, vent et houle sur La Réunion . . . . .	8
3.2.1	Houle . . . . .	8
3.2.2	Pluie . . . . .	10
3.2.3	Vent à 10 m . . . . .	11
<b>4</b>	<b>Mise à disposition des données</b>	<b>13</b>
<b>5</b>	<b>Conclusion</b>	<b>14</b>
<b>A</b>	<b>Namelists de la simulation S2</b>	<b>15</b>
A.1	PRE_PGD1.nam . . . . .	15
A.2	SPAWN1.nam . . . . .	16
A.3	PRE_REAL1.nam . . . . .	17
A.4	EXSEG1.nam . . . . .	19

## 1 Contexte

Ce rapport synthétise les résultats de la simulation couplée océan-vagues-atmosphère à haute résolution du cyclone tropical Bejisa. Ces simulations ont été réalisées dans le cadre de l'Action 2 - Sous-action 2.3 "Simulations numériques" du programme ReNovRisk-Cyclones.

Après une présentation du cyclone tropical Bejisa, le cadre numérique des simulations est décrit, et les résultats sont détaillés.

## 2 Cas d'étude

### 2.1 Le cyclone tropical Bejisa

#### 2.1.1 Cycle de vie de Bejisa

Bejisa a été le quatrième cyclone de la saison 2013-2014 dans le sud-ouest de l'océan Indien. Il a affecté les îles de La Réunion et de Maurice en janvier 2014.

Le 27 décembre 2013, une zone de basses pressions se développe au nord-est de Madagascar, au voisinage des îles Farquhar, ce qui est inhabituel comme région de cyclogénèse. La convection commence à s'organiser autour de cette zone de basses pressions. Une diminution dans le cisaillement vertical de vent et une divergence en altitude favorable permettent à ce système d'être classé comme Tempête Tropical Modérée dans la nuit du 29 décembre. La disparition du cisaillement vertical de vent permet à la convection de s'intensifier. Le 29 décembre à 12 UTC, une phase d'intensification rapide débute et durera 24 heures. Cette phase d'intensification rapide est favorisée par la petite taille de l'œil du cyclone (diamètre de l'ordre de 10 km). Elle est caractérisée par une baisse de la pression minimale de 47 hPa en 24 h et une augmentation du vent à 10 m de  $32.5 \text{ m s}^{-1}$ . Ainsi, le 30 décembre à 12 UTC, Bejisa est classé comme Cyclone Tropical Intense. Le 31 décembre, alors que le diamètre de l'œil atteint 25 km, le cisaillement vertical de vent commence à augmenter et une large bande externe s'enroule autour du cœur du système. Ce cycle de remplacement du mur de l'œil est complété durant la nuit. Le 1<sup>er</sup> janvier, le cyclone est localisé à 500 km au nord-nord-ouest de La Réunion et se propage vers le sud à une vitesse de  $5.5 \text{ m s}^{-1}$ . Au cours des 24 heures suivantes, Bejisa accélère sous l'influence d'une dorsale de moyenne altitude située à l'est. Alors que la dorsale s'affaiblit, la trajectoire de Bejisa s'incurve vers le sud-est. Le 2 janvier, une faiblesse persistante sur le quadrant nord-est du mur de l'œil apparaît sur les images radar. Ces mêmes images montrent une forte instabilité du mur de l'œil alors que Bejisa transite près de la côte ouest de La Réunion l'après-midi du 2 janvier. Au plus proche, le mur de l'œil de Bejisa est passé à une dizaine de kilomètres de l'île. Après son passage près de l'île, le mur de l'œil de Bejisa est détruit dans sa partie nord-nord-ouest en raison de forts vents de nord-ouest en altitude. A 170 km au sud de La Réunion, Bejisa est déclassé en Forte Tempête Tropicale et disparaît rapidement sous l'influence d'une cellule de hautes pressions subtropicale au sud du système.

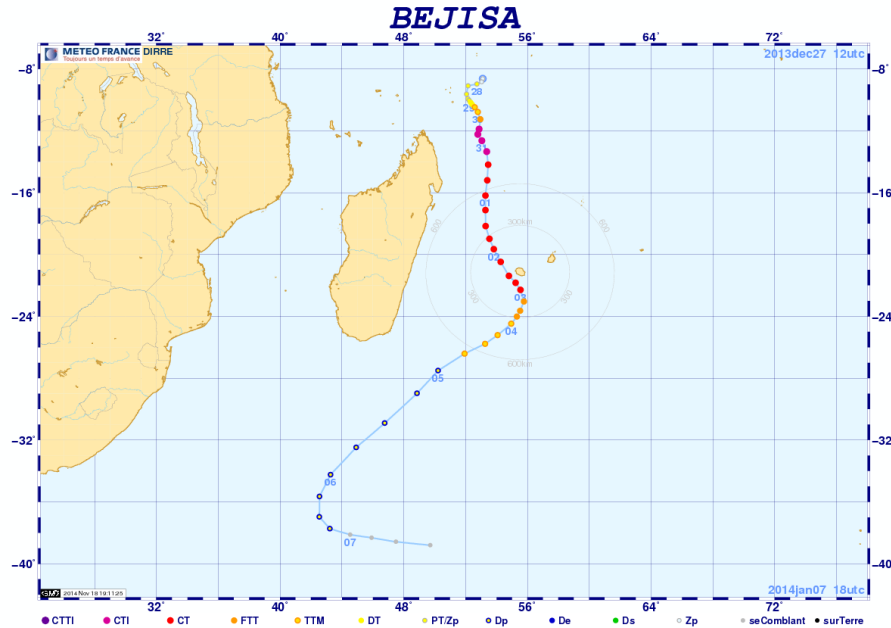


Figure 1: Trajectoire de Bejisa. Chaque point correspond à la position du système toutes les 6 heures. La couleur des points correspond à l'intensité du système, est explicité en bas de la figure. Source : Météo-France.

### 2.1.2 Impact sur La Réunion

La durée de l'épisode pluvieux lié à Bejisa a été relativement courte mais des précipitations intenses ont affecté certaines régions de l'île. Plus de 600 mm en 24 heures ont été relevés au centre de l'île, et jusqu'à 1025 mm à Cilaos (Figure 2).

Alors que les rafales de vent n'ont pas dépassé  $33 \text{ m s}^{-1}$  dans le nord et l'est de l'île, des rafales à plus de  $41 \text{ m s}^{-1}$  ont été relevées dans l'ouest et dans les hauts.

Quant à la houle, des hauteurs de vagues de plus de 7 m ont été observées sur la côte nord-ouest de l'île, ce qui a produit une montée des eaux et d'importants dégâts sur la côte ouest et dans le lagon.

## 2.2 Cadre numérique des simulations

Afin de produire des cartes de vent, de pluie et de houle à haute résolution sur La Réunion, deux simulations ont été réalisées :

- une première simulation (S1) à une résolution horizontale de 2 km a tout d'abord été réalisée. Elle permet de décrire la phase d'approche du système ainsi que le champ de houle.
- afin de simuler plus précisément les champs de pluie et de vent sur l'île, une deuxième simulation à 500 m de résolution (S2) a été réalisée. En effet, l'orographie complexe

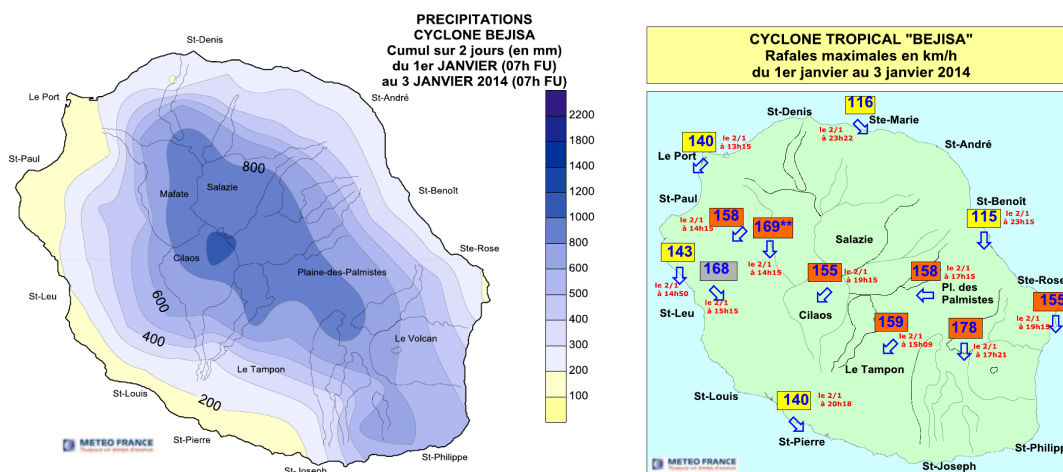


Figure 2: A gauche : cumul sur 2 jours des précipitations (mm) associées au cyclone tropical Bejisa du 1<sup>er</sup> janvier au 3 janvier 2014. A droite : Rafales maximales de vent ( $\text{km h}^{-1}$ ) relevées à La Réunion entre le 1<sup>er</sup> et le 3 janvier 2014. Source : Météo-France.

de La Réunion va conditionner largement la spatialisation des champs de pluie et de vent sur l'île. La figure 3 montre clairement qu'à 2 km de résolution, le sommet de l'île ne dépasse pas 2500 m, et que les cirques sont relativement mal définis. A 500 m de résolution, on note 3 sommets à plus de 2500 m, et les cirques et ravines sont beaucoup mieux dessinés ce qui permet de mieux reproduire les circulations locales.

### 2.2.1 Simulation S1

Dans un premier temps, une simulation couplée océan-vagues-atmosphère permettant de reproduire l'évolution du cyclone avant, pendant et après son passage au plus près de La Réunion est réalisée. Le couplage entre les modèles d'océan, d'atmosphère et de vagues est décrit en détail dans [Voldoire et al. \[2017\]](#) et [Pianezze et al. \[2018\]](#), et illustré sur la Figure 4. La configuration des 3 modèles utilisés est résumée ci-dessous.

**Modèle atmosphérique Meso-NH et modèle de surface SurfEX** Meso-NH est le modèle atmosphérique communautaire français <http://mesonh.aero.obs-mip.fr/> [[Lac et al., 2018](#)]. Il est utilisé ici dans sa version 5-3-0. Le domaine couvre une région de 1200 km  $\times$  1000 km avec une maille horizontale de 2 km. La grille verticale comprend 70 niveaux verticaux avec une résolution plus importante près du sol. Le pas de temps est de 3 s. La convection profonde est résolue alors que la convection peu profonde est paramétrée selon le schéma en flux de masse de [Bechtold et al. \[2001\]](#). La paramétrisation de la turbulence est basée sur une fermeture à l'ordre 1,5 [[Cuxart et al., 2000](#)] en faisant l'hypothèse de flux turbulents purement verticaux, et en utilisant la longueur de mélange de [Bougeault and Lacarrere \[1989\]](#). La microphysique est paramétrée selon le schéma à 1 moment de [Pinty](#)

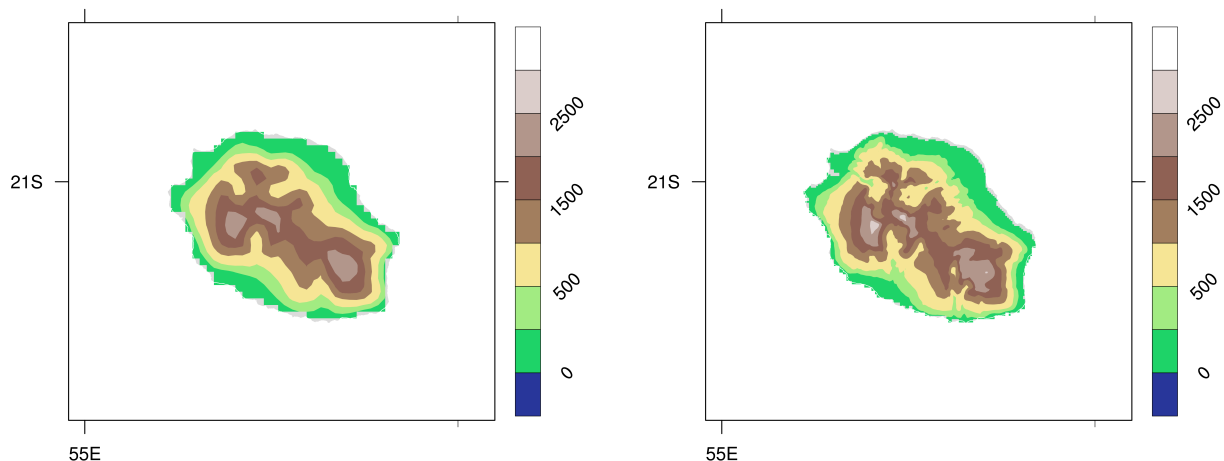


Figure 3: Orographie (m) de La Réunion vue par un modèle à une résolution horizontale de 2 km (gauche) et de 500 m (droite).

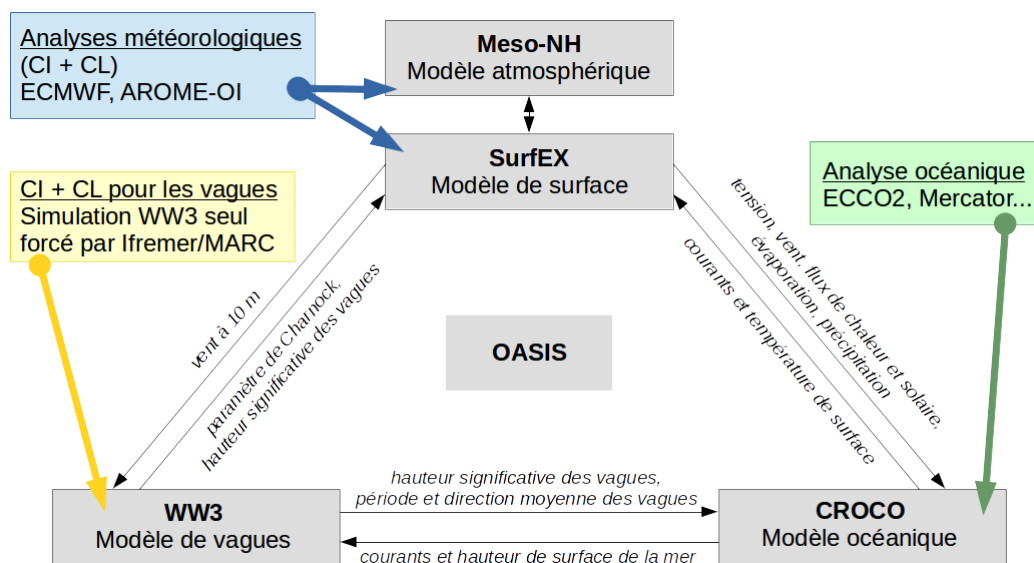


Figure 4: Schéma de principe du couplage océan-vagues-atmosphère. Les boîtes grises représentent les modèles atmosphérique, océanique, de vagues et le coupleur OASIS. Les boîtes colorées représentent les conditions initiales (CI) et aux limites (CL) pour les 3 modèles. Les échanges entre les différents modèles sont représentés par les flèches noires associées au texte en italique.

and Jabouille [1998] qui prend en compte 5 types de particules (eau nuageuse, pluie, glace primaire, neige, graupel). Le schéma radiatif est celui utilisé au CEPMMT [Gregory et al., 2000].

Les interactions surface-atmosphère sont regroupées dans la plateforme SurfEX<sup>1</sup> (<https://www.umr-cnrm.fr/surfex/>) [Masson et al., 2013, Voldoire et al., 2017]. Pour cette étude, sont utilisés le modèle de surface terrestre ISBA [Noilhan and Planton, 1989] et la paramétrisation COARE<sup>2</sup> [Fairall et al., 2003] pour les flux à l'interface océan-atmosphère. La simulation débute le 1<sup>er</sup> janvier à 00 UTC et se poursuit jusqu'au 2 janvier à 18 UTC. Meso-NH/SurfEX est initialisé le 1<sup>er</sup> janvier à 00 UTC avec les analyses AROME-OI, et est forcé aux limites latérales par les analyses du CEPMMT<sup>3</sup>.

**Modèle de vagues WW3** (<http://polar.ncep.noaa.gov/waves/wavewatch/>). La grille couverte par WW3 est la même que celle de Meso-NH avec  $692 \times 578$  points à une résolution de  $1/60^\circ$  ( $\sim 1,7$  km). Le pas de temps global est de 100 s. La discrétisation spectrale de WW3 est de 24 pour la direction et de 32 pour la fréquence. Le long de la trajectoire de Bejisa, la profondeur de l'océan est de l'ordre de 4000 m. Ainsi, l'utilisation d'une paramétrisation en eaux peu profondes n'est nécessaire que près des côtes. Afin de permettre la descente d'échelle depuis les analyses globales MARC<sup>4</sup> (<http://marc.ifremer.fr/>), une simulation de 3 jours avec le modèle de vagues seul est réalisée (du 28 décembre 2013 00 UTC au 1<sup>er</sup> janvier 2014).

**Modèle océanique CROCO** Le modèle CROCO<sup>5</sup> (<http://www.croco-ocean.org>) est un nouveau modèle construit à partir de ROMS-Agrif. Le domaine pour le modèle océanique est le même que pour les modèles d'atmosphère et de vagues. Il comprend  $692 \times 578$  points à une résolution horizontale de  $1/60^\circ$ . Le domaine comprend 32 niveaux verticaux avec une résolution accrue près de la surface. Le schéma temporel utilisé est un schéma "time-splitting" avec des pas de temps barocline et barotrope de 100 s et 2 s, respectivement. Le modèle est initialisé et forcé aux limites latérales avec les réanalyses ECCO2<sup>6</sup>.

Dans cette configuration, une simulation S1 est donc réalisée entre le 1<sup>er</sup> janvier à 00 UTC et le 2 janvier à 18 UTC. Cette simulation permet de reproduire l'évolution du système jusqu'à son passage à proximité de l'île. Afin d'affiner l'impact de Bejisa sur le territoire de La Réunion, une simulation à plus haute résolution est ensuite réalisée.

---

<sup>1</sup>Surface EXternalisée

<sup>2</sup>Coupled Ocean-Atmosphere Response Experiment

<sup>3</sup>Centre Européen pour les Prévisions Météorologiques à Moyen Terme, ou ECMWF

<sup>4</sup>Modélisation et Analyse pour la Recherche Côtière

<sup>5</sup>Coastal and Regional Ocean COmmunity model

<sup>6</sup>Estimating the Circulation and Climate of the Ocean: phase 2



### 2.2.2 Simulation S2

Dans un deuxième temps, une simulation atmosphérique forcée et couplée aux frontières latérales par la simulation couplée océan-vague-atmosphère S1 a été réalisée afin d’obtenir des cartes de vent et de pluie à plus haute résolution sur l’île La Réunion. Le modèle atmosphérique utilisé est le même que pour la simulation couplée et couvre une région de  $120 \text{ km} \times 120 \text{ km}$  centrée sur l’île de La Réunion (figure 3, image de droite) avec une maille horizontale de 500 m. La grille verticale comprenant 70 niveaux verticaux est identique à celle utilisée par le modèle couplé. Le pas de temps est de 0,75 s. La simulation est initialisée le 1<sup>er</sup> janvier 2014 pour une durée de 36 h de simulation.

## 3 Resultats

### 3.1 Trajectoire - Intensité

La figure 5 (panneau de gauche) montre la trajectoire issue de la *best-track* du CMRS<sup>7</sup> La Réunion et celle issue de la modélisation couplée. La simulation S1 (ligne rouge) reproduit correctement la trajectoire analysée jusqu’au 2 janvier à 00 UTC. Après cette date, le cyclone modélisé accélère en suivant une direction sud-sud-est alors que la *best-track* estime un déplacement plus lent vers le sud-est. En conséquence, le système simulé est localisé à environ 60-70 km au sud de la position estimée le 2 janvier entre 06 et 12 UTC. En fin de simulation, Bejisa décélère.

La pression minimale au niveau de la mer et le vent maximum soutenu à 10 mètres sont les deux marqueurs de l’intensité. Ils sont tracés sur la figure 5 (panneaux de droite) à la fois pour l’analyse du CMRS La Réunion (courbe noire) et pour la simulation S1 (courbe rouge). De façon générale, l’intensité du cyclone tropical simulé est plus faible que celle issue de la *best-track*. Au début de la simulation, le 1<sup>er</sup> janvier à 00 UTC, la pression minimale au niveau de la mer dans le modèle est de 976 hPa, proche de celle de l’analyse AROME-OI (975 hPa), alors que celle de la *best-track* est plus faible (972 hPa). Le 1<sup>er</sup> janvier, les tendances de la pression minimale et du vent maximum sont bien reproduites par le modèle. Le 2 janvier à 00 UTC, l’intensité dans la simulation S1 commence à diverger de celle analysée. L’intensité simulée décroît de 9 hPa ( $6 \text{ m s}^{-1}$ ) en 18 heures, alors que l’intensité issue de la *best-track* augmente de 7 hPa ( $5 \text{ m s}^{-1}$ ) pendant la même période. En dépit d’une sous-estimation de l’intensité probablement associée à une sous-estimation déjà présente dans l’état initial issu de l’analyse AROME-OI, la position de Bejisa et les variations temporelles de son intensité sont relativement bien reproduites par la simulation couplée.

---

<sup>7</sup>Centre Météorologique Régional Spécialisé

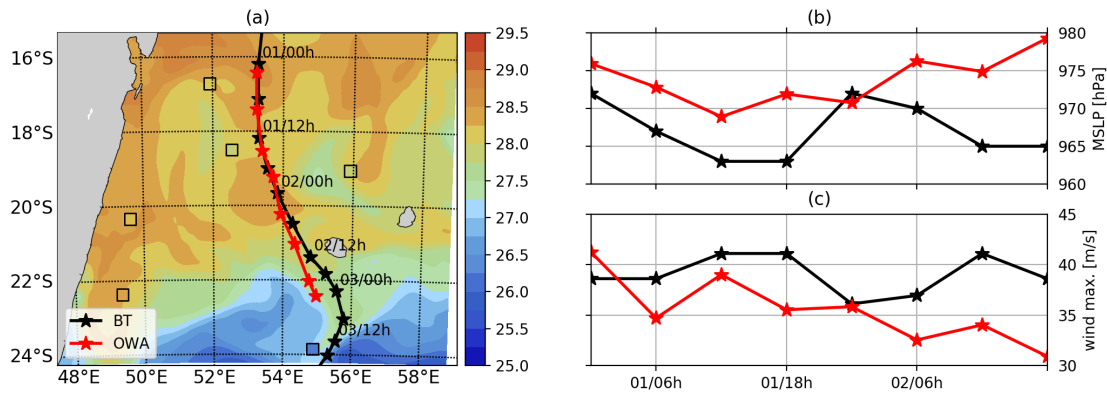


Figure 5: a) Température de surface de la mer ( $^{\circ}\text{C}$ , couleurs) issue de la simulation couplée et des bouées dérivantes (base de données de l’Organisation Météorologique Mondiale, carrés colorés) le 1<sup>er</sup> janvier à 00 UTC, et trajectoire de Bejisa (lignes avec des étoiles ; les étoiles correspondent à une donnée toutes les 6 heures). b) Evolution du minimum de pression au niveau de la mer (MSLP, hPa). c) Evolution du maximum de vent soutenu ( $\text{m s}^{-1}$ ). Les lignes noires et rouges correspondent respectivement aux données issues de la *best-track* et à la simulation couplée océan-vagues-atmosphère.

## 3.2 Pluie, vent et houle sur La Réunion

### 3.2.1 Houle

Le champ de houle est extrait de la simulation S1 à 2 km de maille horizontale. La figure 6 montre la hauteur significative des vagues<sup>8</sup> autour de La Réunion avant, au moment et après le passage de Bejisa à proximité de l’île. Les vagues les plus hautes sont localisées directement sous le mur de l’œil du cyclone. Le 1<sup>er</sup> janvier à 18 UTC (figure 6a), le principal paquet de vagues a une hauteur significative de vagues maximale qui dépasse 8 m à l’avant du système, et se déplace vers le sud. 12 heures avant que le cyclone ne touche l’île de La Réunion, des vagues avec une hauteur significative de 3-4 m touchent la côte nord de l’île. Lorsque Bejisa passe au plus près de la côte ouest de La Réunion (figure 6b), le maximum de hauteur significative de vagues est de l’ordre de 9 mètres. Alors que le système s’évacue vers le sud, la hauteur des vagues diminue. Cependant, étant donné que des vagues se propagent aussi vers le nord, le sud de l’île est à son tour impacté par des vagues après le passage du cyclone (figure 6c).

Ces champs de vagues simulés ont été comparés aux observations disponibles dans la région. A proximité de La Réunion, seules les données de 3 bouées étaient disponibles lors du passage de Bejisa (figure 7a). L’une est issue du réseau CANDHIS<sup>9</sup> (<http://candhis.>

<sup>8</sup>La hauteur significative des vagues est définie comme la moyenne de la hauteur du tiers des vagues les plus hautes.

<sup>9</sup>Centre d’Archivage National de Données de Houle In Situ

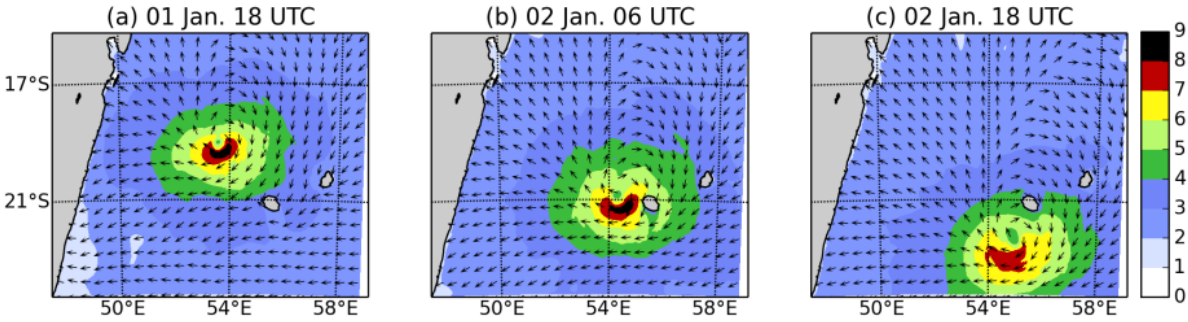


Figure 6: Hauteur significative des vagues (m, couleurs) (a) le 1<sup>er</sup> janvier à 18 UTC, (b) le 2 janvier à 06 UTC et (c) le 2 janvier à 18 UTC. Les flèches noires représentent la direction des vagues.

[cetmef.developpement-durable.gouv.fr/](http://cetmef.developpement-durable.gouv.fr/)) et les deux autres étaient temporairement installées au nord-ouest de l'île. Sur chaque site, on distingue 3 phases :

- le 1<sup>er</sup> janvier de 00 à 22 UTC, le système est localisé relativement loin au nord de l'île. La hauteur significative des vagues augmente peu à peu au nord de l'île. A 22 UTC, elle atteint environ 1 à 1,2 mètres dans la simulation et 0,8 à 1 mètre dans les observations. Elle augmente d'environ 2 mètres en 22 heures à la fois dans les observations et dans la simulation. On a un très bon accord entre la simulation et les observations.
- du 1<sup>er</sup> janvier 22 UTC au 2 janvier 06 UTC, Bejisa s'approche de La Réunion et la hauteur significative des vagues augmente significativement (entre 1,5 et 2 mètres en 8 heures). Dans la simulation, le maximum de hauteur significative de vagues est atteint à 06 UTC le 2 janvier pour les bouées NRL\_RN2 (5,8 m) et NRL\_RN4 (5,5 m), et à 08 UTC pour la bouée CANDHIS\_97403 (5,1 m). Les bouées NRL\_RN2 et CANDHIS\_97403 ont cessé de fonctionner pendant le cyclone et n'ont donc pas mesuré le pic des vagues. Pour la bouée restante, le modèle diffère des observations à la fois pour la date et la valeur du pic de hauteur significative de vagues. Le pic apparaît 5 heures plus tôt dans la simulation (le 2 janvier à 06 UTC) que dans les observations (le 2 janvier à 11 UTC), ce qui est en accord avec le système simulé plus rapide que celui observé (figure 5a). Le pic simulé (5,5 m) est plus faible que celui observé (7,6 m). Cette différence peut s'expliquer par la plus grande distance entre le centre de Bejisa dans la simulation ( $\sim 70$  km) par rapport à la *best-track* ( $\sim 50$  km). Ce biais peut aussi s'expliquer par la relativement faible résolution du modèle de vagues qui ne permet pas de résoudre les processus en eaux peu profondes au voisinage de la côte, et la proximité des bouées de la côte.
- après le 2 janvier 06 UTC, Bejisa s'éloigne de La Réunion et la côte nord est alors protégée de la houle cyclonique, ce qui conduit à une diminution rapide de la hauteur

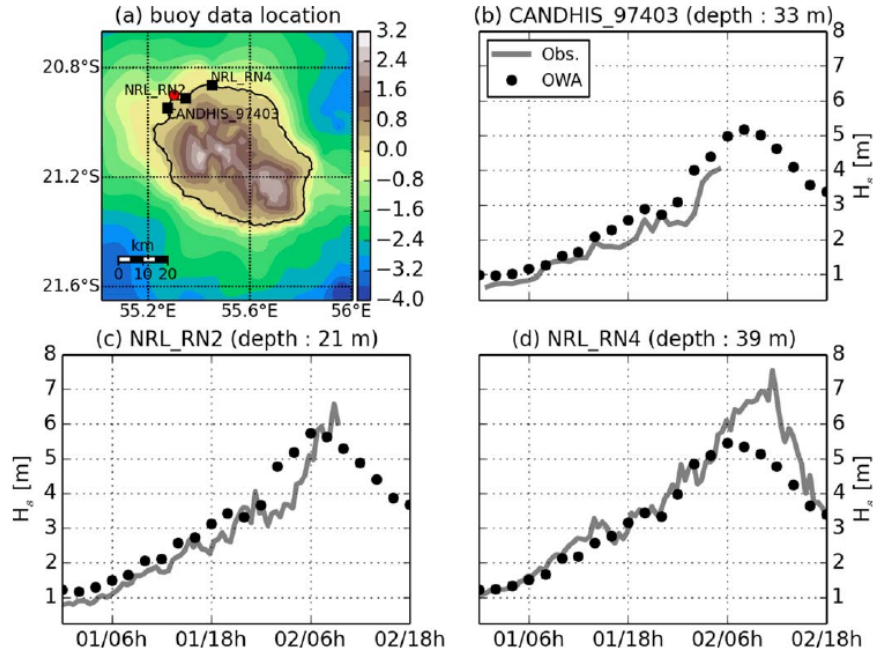


Figure 7: a) Position des trois bouées (carrés noirs) et bathymétrie/orographie (km, couleurs) autour de La Réunion. Le point rouge localise la Pointe des Galets. Evolution de la hauteur significative de vagues ( $H_s$ , m) pour les bouées b) CANDHIS\_97403, c) NRL\_RN2 et d) NRL\_RN4. Les lignes grises représentent les observations alors que les points noirs montrent les résultats de la simulation S1. Tiré de [Pianezze et al. \[2018\]](#).

significative des vagues.

On remarquera que la valeur maximale de la hauteur significative des vagues pour la bouée CANDHIS\_97403 est plus faible que pour les deux autres bouées qui sont pourtant à plus grande distance du centre du système cyclonique. En réalité, cette bouée a été relativement protégée par la Pointe des Galets, et le plateau à l'ouest de cette bouée a augmenté la friction, et en conséquence, diminué la hauteur des vagues.

Le champ de hauteur significative de vagues a aussi été comparé aux mesures altimétriques (Cryosat, Jason-2 et Altika Saral) dans l'environnement du cyclone [[Pianezze et al., 2018](#)]. On montre que, globalement, les hauteurs significatives de vagues simulées sont en très bon accord avec les valeurs observées avec un coefficient de corrélation proche de 1. Le biais est relativement faible, avec une sous-estimation d'environ 34 cm (moins de 10%) de la hauteur significative des vagues par le modèle par rapport aux altimètres.

### 3.2.2 Pluie

Les précipitations cumulées sur la durée de la simulation sont tracées sur la figure 8. Pour les observations, il s'agit d'une fusion des données des pluviomètres et des données radar.

Le cumul de précipitations simulé correspond à la simulation S2, à 500 m de résolution.

On note trois zones avec des pluies cumulées supérieures à 250 mm à la fois dans les observations et dans la simulation. La zone de fortes pluies au centre de l'île est relativement bien reproduite par le modèle, même si la simulation tend à donner des valeurs maximales plus fortes ( $\sim 500$  mm) que la fusion des données radars et pluviomètres ( $\sim 450$  mm). Dans la simulation, le maximum de précipitation est localisé sur le flanc sud-est du Piton de la Fournaise avec des valeurs supérieures à 700 mm, alors qu'elles atteignent à peine 400 mm dans le produit de fusion des données. Cette tendance des modèles à surestimer les pluies sur le flanc sud-est du volcan se retrouve sur d'autres simulations de cas de précipitations intenses. Il faut aussi noter que la densité des pluviomètres dans cette région est assez faible, et que cette zone est relativement masquée pour les radars. La troisième zone de forts cumuls de pluie, la plus au nord, est surestimée par le modèle. Si les précipitations cumulées sont relativement bien représentées par le modèle sur la côte ouest de l'île avec des valeurs entre 10 et 100 mm, en revanche, le modèle tend à sous-estimer le cumul de précipitations sur le nord-est et l'est. Ceci peut-être dû au passage du système modélisé trop à l'ouest comparé aux observations.

Si on compare les précipitations cumulées dans la simulation S1 et dans la simulation S2, on voit que dans les deux cas, les trois noyaux de précipitation sont représentés, et les pluies sur le littoral sont plus faibles que dans les Hauts. Par contre, on note une nette amélioration dans les gradients de cumuls de précipitations sur la côte ouest de l'île lorsqu'on diminue la taille de la maille. D'autre part, l'accroissement de la résolution tend à produire des valeurs maximales plus élevées sur les deux zones de forts cumuls de pluies les plus au sud. Même si la restitution des pluies n'est pas parfaite, et compte tenu des incertitudes dans la production d'un champ de pluie 2D observé (notamment dans les zones à faible couverture en observations comme le flanc sud-est du volcan), le passage à 500 m de résolution améliore significativement la distribution spatiale des pluies.

### 3.2.3 Vent à 10 m

Le vent à 10 m (intensité et direction) dans les simulations S1 et S2 est tracé sur la figure 9 pour le 2 janvier 2014 à 06 UTC, alors que le cyclone est quasiment au plus proche de l'île de la Réunion. La simulation S1 ne permet pas de reproduire des vents au delà de  $30 \text{ m s}^{-1}$  ( $\sim 110 \text{ km h}^{-1}$ ) alors qu'au passage de Bejisa, des vents supérieurs à  $140 \text{ km h}^{-1}$  ont été observés sur la partie ouest de l'île (figure 2 et ont atteint  $\sim 169 \text{ km h}^{-1}$  au Maïdo. Dans le cas du vent, une résolution horizontale de 500 m est indispensable pour reproduire des champs de vents proches des observations. Ceci est dû à la meilleure reproduction de l'orographie de l'île et donc des circulations locales. On peut noter en particulier que les plus grandes différences et donc améliorations liées à une meilleure résolution horizontale apparaissent sur le relief à des altitudes supérieures à 1000 m.

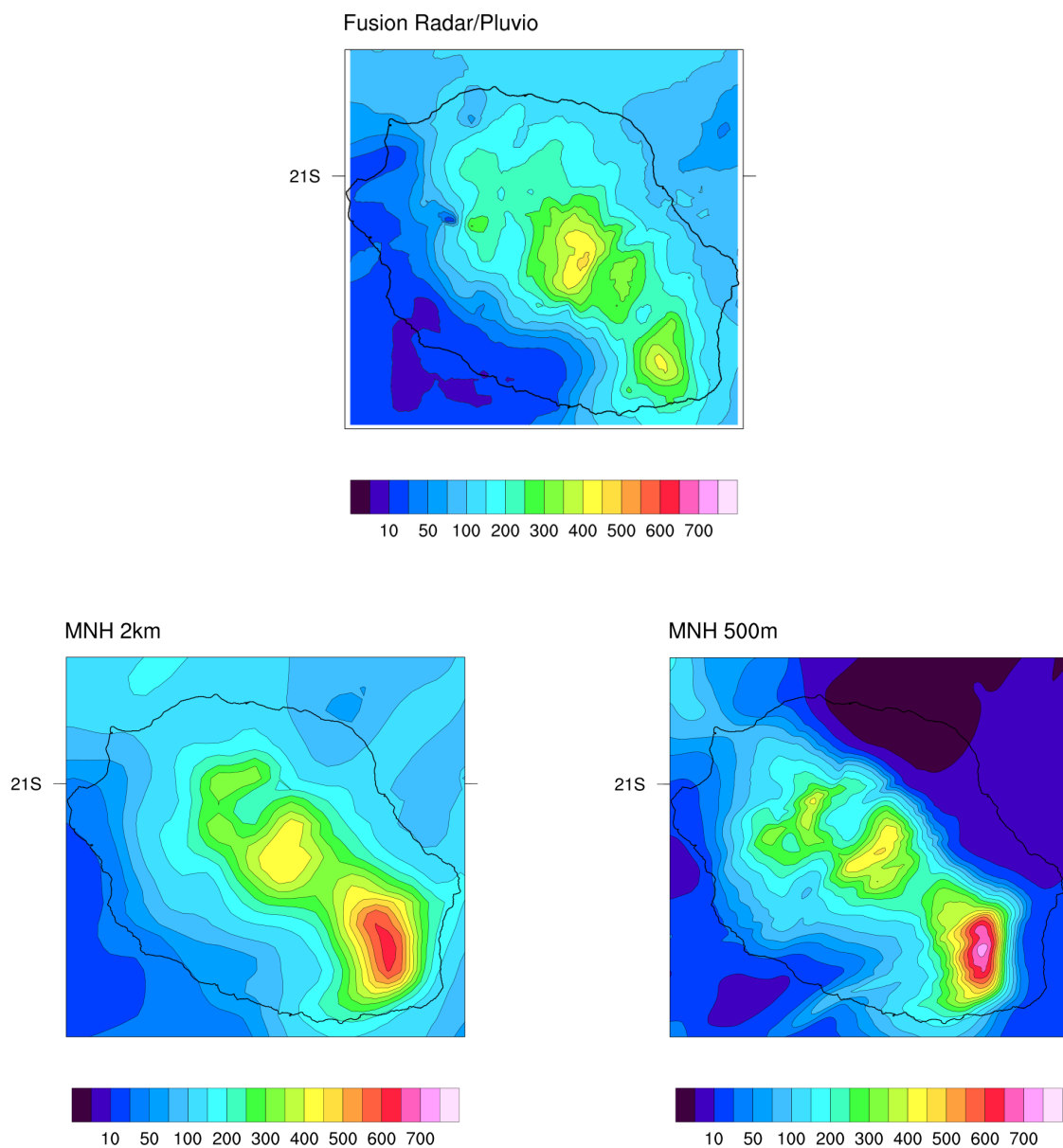


Figure 8: Pluie cumulée sur 24h pour la journée du 1<sup>er</sup> janvier 2014 (mm) vue par les observations (fusion des données radars et pluviomètres, en haut) et vue par le modèle à une résolution horizontale de 2 km (simulation S1, en bas à gauche) et de 500 m (simulation S2, en bas à droite).

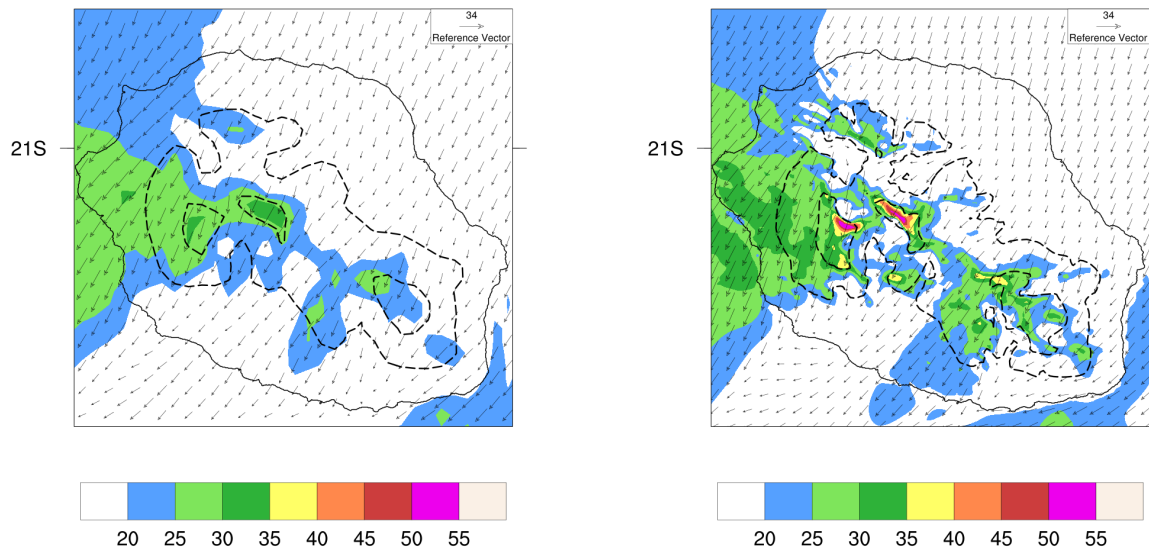


Figure 9: Vent à 10 m pour le 2 janvier 2014 à 06 UTC ( $\text{m s}^{-1}$ ) vu par le modèle à une résolution horizontale de 2 km (simulation S1, gauche) et vu par le modèle à une résolution horizontale de 500 m (simulation S2, droite). Le module du vent apparaît en couleurs et la direction avec les flèches noires. Les lignes pointillées représentent les lignes de niveaux d'altitude 1000 m et 2000 m.

## 4 Mise à disposition des données

Les données seront accessibles et téléchargeables sur le site <http://www.renovrisk.re/> au format netcdf à partir d'octobre. Seront disponibles :

- les données issues de la simulation S2 sur le domaine ( $[55.22:55.85, -20.8:-21.4]$ ) avec une sortie toutes les 15 minutes à 500 m de résolution.
  - Champs de pluie cumulée depuis le début de la simulation : BEJISA\_pcpcumul\_500m.nc
  - Champs de vent à 10 m (vent zonal et vent méridien) : BEJISA\_v10m\_500m.nc
- les données de houle issues de la simulation S1 à 2 km de résolution. Ces données ont été extraites sur le même domaine que les champs de pluie et de houle. Elles sont enregistrées dans le fichier BEJISA\_houle\_2km.nc. Les champs disponibles sont :
  - hs : hauteur significative des vagues
  - fp : fréquence
  - dir : direction des vagues

## 5 Conclusion

Deux simulations à 2 km et 500 m de résolution ont été réalisées au LACy. La simulation à 2 km de résolution est couplée océan-vagues-atmosphère et permet de reproduire de façon satisfaisante la trajectoire et l'intensité de Bejisa. On note toutefois un décalage dans la trajectoire qui passe 20 km plus à l'ouest de l'île dans la simulation, ce qui peut impacter la restitution des champs de pluie, vent et houle.

Si la représentation de la houle est assez satisfaisante à une résolution de 2 km, il est indispensable de diminuer la taille de la maille afin de reproduire des champs de pluie et de vent (valeurs maximales et spatialisation) en accord avec les observations. Les champs de houle à 2 km de résolution et les champs de pluie et vent à 500 m de résolution sont mis à la disposition de la communauté au format netcdf.

Les efforts de modélisation seront poursuivis afin d'améliorer la représentation des cyclones tropicaux. En particulier, dans le cadre de ReNovRisk, on travaille sur la représentation des flux océan-atmosphère et des interactions aérosols-nuages-rayonnement. L'apport de ces développements sera évalué sur plusieurs cyclones tropicaux (Bejisa, Fantala, Berguita...).

## Remerciements

Ce travail s'appuie sur des développements réalisés par Joris Pianezze dans le cadre du programme ANR DiMe. Les simulations ont été réalisées sur le supercalculateur Beaufix de Météo-France à Toulouse.



## A Namelists de la simulation S2

### A.1 PRE\_PGDI1.nam

Préparation du fichier physiographique : zoom à partir du fichier physiographique à 2 km de maille horizontale.

```
&NAM_CONFIO LCDF5=T, LLFIOUT=T, LLFIREAD=F /
&NAM_CONF_PGDI
    ! JPHEXT = 3 , NHALO_MNH = 3
    /
&NAM_PGDIFILE CPGDIFILE='PGDI_Bejisa_500m' , NHALO=0 /
&NAM_PGDI_GRID YINIFILE='PGDI_Bejisa_2km' YINIFILETYPE='MESONH' /
&NAM_INIFILE_CONF_PROJ IXOR=398, IYOR=148,
                        IXSIZE=60, IYSIZE=60,
                        IDXRATIO=4, IDYRATIO=4 /
&NAM_COVER        YCOVER='ECOCLIMAP_v2.0', YCOVERFILETYPE='DIRECT' /
&NAM_ZS           YZS='srtm_48_17',      YZSFILETYPE='DIRECT' /
&NAM_ISBA         YCLAY='CLAY_HWSD_MOY', YCLAYFILETYPE='DIRECT' ,
                  YSAND='SAND_HWSD_MOY', YSANDFILETYPE='DIRECT' /
&NAM_DIAG_SURF_ATMn LFRAC=.TRUE.,
                    LDIAG_GRID=.TRUE. /
&NAM_DIAG_SURFfn N2M=2,
                  LSURF_BUDGET=.TRUE.,
                  LCOEF=.TRUE. /
&NAM_PGDI_SCHEMES CNATURE='ISBA',
                  CSEA='SEAFIX',
                  CTOWN='NONE',
                  CWATER='NONE',
                  LGARDEN=.FALSE. /
```

## A.2 SPAWN1.nam

Interpolation horizontale à partir des champs Meso-NH de la simulation S1 pour l'état initial.

```
&NAM_CONFIO  LCDF4=T, LLFIOUT=T, LLFIREAD=F /  
&NAM_LUNIT2_SPA  CINIFILE = "AROME_D1_20140101_00h",  
                  CINIFILEPGD="PGD_Bejisa_2km",  
                  YDOMAIN  = "PGD_Bejisa_500m",  
                  YSPANBR  = '04' /
```

Interpolation horizontale à partir des champs Meso-NH de la simulation S1 pour les fichiers de couplage.

```
&NAM_CONFIO  LCDF4=T, LLFIOUT=F, LLFIREAD=F /  
&NAM_LUNIT2_SPA  CINIFILE = "BEJIS.1.00-01.008",  
                  CINIFILEPGD="PGD_Bejisa_2km",  
                  YDOMAIN  = "PGD_Bejisa_500m",  
                  YSPANBR  = '04' /
```

### A.3 *PRE\_REAL1.nam*

Interpolation verticale à partir des champs Meso-NH de la simulation S1 pour l'état initial.

```
&NAM_CONFIO LCDF4=.TRUE. ,
             LLFIOUT=.FALSE. ,
             LLFIREAD=.FALSE. /

&NAM_REAL_CONF NVERB=5,
               CEQNSYS='DUR' ,
               CPRESOPT='CRESI' ,
               LRES=.FALSE. ,
               XRES=1.E-07 /

&NAM_FILE_NAMES HATMFILE='AROME_D1_20140101_00h.spa04' ,
                HATMFILETYPE='MESONH' ,
                HPGDFILE='PGD_Bejisa_500m' ,
                CINIFILE='BEJISA_CL_00' /

&NAM_PREP_SURF_ATM CFILE='AROME_D1_20140101_00h' ,
                   CFILETYPE='MESONH' ,
                   CFILEPGD = 'PGD_Bejisa_2km' ,
                   CFILEPGDTYPE = 'MESONH' ,
                   NHALO_PREP=16 /

&NAM_VER_GRID LTHINSHELL=.TRUE. ,
              NKMAX=70 ,
              YZGRID_TYPE='FUNCTN' ,
              ZDZGRD=40. ,
              ZDZTOP=600. ,
              ZZMAX_STRGRD=600. ,
              ZSTRGRD=7. ,
              ZSTRTOP=8. /
```

Interpolation verticale à partir des champs Meso-NH de la simulation S1 pour les fichiers de couplage.

```
&NAM_CONFIO LCDF4=.TRUE. ,
             LLFIOUT=.FALSE. ,
             LLFIREAD=.FALSE. /

&NAM_REAL_CONF NVERB=5,
               CEQNSYS='DUR' ,
```

```
CPRESOPT='CRESI',  
LRES=.FALSE.,  
XRES=1.E-07 /
```

```
&NAM_FILE_NAMES HATMFILE='BEJIS.1.00-01.001.spa04',  
HATMFILETYPE='MESONH',  
HPGDFILE='PGD_Bejisa_500m',  
CINIFILE='BEJISA_CL_00' /
```

```
&NAM_PREP_SURF_ATM CFILE='BEJIS.1.00-01.001',  
CFILETYPE='MESONH',  
CFILEPGD = 'PGD_Bejisa_2km',  
CFILEPGDTYPE = 'MESONH',  
NHALO_PREP=16 /
```

```
&NAM_VER_GRID LTHINSHELL=.TRUE.,  
NKMAX=70,  
YZGRID_TYPE='FUNCTN',  
ZDZGRD=40.,  
ZDZTOP=600.,  
ZZMAX_STRGRD=600.,  
ZSTRGRD=7.,  
ZSTRTOP=8. /
```

## A.4 EXSEG1.nam

Réalisation de la simulation par segments de 6 heures avec des sorties toutes les 15 minutes.

```

&NAM_CONFIO  LCDF4=T, LLFIOUT=F, LLFIREAD=F /

&NAM_LUNITn  CINIFILE = "BEJISA_CL_00",
              CINIFILEPGD = "PGD_Bejisa_500m" ,
              CCPLFILE(1) = "BEJISA_CL_06",
              CCPLFILE(2) = "BEJISA_CL_12"

/
&NAM_CONF  CCONF = "RESTA", NMODEL = 1,
           CEXP = "BEJIS", CSEG = "REF00",
           CEQNSYS = "DUR", NVERB = 5,
           CSPLIT = "BSPLITTING"/

&NAM_CONFn  LUSERV = T, NSV_USER = 0 /
&NAM_CONFZ  MPI_BUFFER_SIZE = 400, NZ_VERB = 5 /
&NAM_DYN  XSEGLen = 21600.,
          LCORIO = T,
          LNUMDIFU = T, LNUMDIFTH = F, LNUMDIFSV = F,
          XALKTOP = 0.005, XALZBOT = 22000. /

&NAM_DYNn  XTSTEP = 0.75,
           CPRESOPT = "ZRESI", LITRADJ=T,
           LHORELAX_UVWTH = T, LHORELAX_RV = F, LVE_RELAX = T,
           NRIMX = 5, NRIMY = 5, XRIMKMAX = 0.0083,
           XT4DIFU = 1800., XT4DIFTH = 1800. /

&NAM_ADVn  CUVW_ADV_SCHEME = "WENO_K",
           CMET_ADV_SCHEME = "PPM_01",
           CTEMP_SCHEME = "RK53" ,
           CSV_ADV_SCHEME = "PPM_01" /

&NAM_LBCn  CLBCX = 2*"OPEN", CLBCY = 2*"OPEN", XCPHASE = 20. /
&NAM_NUDGINGn  LNUDGING = .FALSE. /

&NAM_PARAMn  CTURB = "TKEL",
              CRAD = "ECMW",
              CLOUD = "ICE3",
              CDCONV = "NONE",
              CSCONV = "EDKF" /

&NAM_PARAM_RADn  XDTRAD = 1200., XDTRAD_CLONLY = 600.,
                 NRAD_COLNBR = 400 , CLW = 'RRTM', CAER = 'SURF' /
&NAM_PARAM_MFSSHALLn  CMF_UPDRAFT = 'EDKF', CMF_CLOUD = 'DIRE',
                      LMIXUV = T /

&NAM_PARAM_ICE /
&NAM_TURBn  CTURBLEN = "BL89", CTURBDIM = "1DIM",
            LSUBG_COND = F, CSUBG_AUCV = 'NONE',

```

```

          LTURB_FLX = F, LSIGMAS = T /
&NAM_FMOUT  XFMOUT(1,1) = 900.,
             XFMOUT(1,2) = 1800.,
             XFMOUT(1,3) = 2700.,
             XFMOUT(1,4) = 3600.,
             XFMOUT(1,5) = 4500.,
             XFMOUT(1,6) = 5400.,
             XFMOUT(1,7) = 6300.,
             XFMOUT(1,8) = 7200.,
             XFMOUT(1,9) = 8100.,
             XFMOUT(1,10) = 9000.,
             XFMOUT(1,11) = 9900.,
             XFMOUT(1,12) = 10800.,
             XFMOUT(1,13) = 11700.,
             XFMOUT(1,14) = 12600.,
             XFMOUT(1,15) = 13500.,
             XFMOUT(1,16) = 14400.,
             XFMOUT(1,17) = 15300.,
             XFMOUT(1,18) = 16200.,
             XFMOUT(1,19) = 17100.,
             XFMOUT(1,20) = 18000.,
             XFMOUT(1,21) = 18900.,
             XFMOUT(1,22) = 19800.,
             XFMOUT(1,23) = 20700.,
             XFMOUT(1,24) = 21600.

/
&NAM_SEAFLUXn  CSEA_FLUX = 'ECUME', CSEA_ALB = 'TA96',
               LPROGSST = F /
&NAM_DIAG_SURFm  N2M=2,
                 LSURF_BUDGET=.TRUE.,
                 LRAD_BUDGET=.FALSE.,
                 LCOEF=.FALSE. /

&NAM_DIAG_SURF_ATMn  LFRAC=.TRUE.,
                    LDIAG_GRID=.TRUE. /

```

## References

- P. Bechtold, E. Bazile, F. Guichard, P. Mascart, and E. Richard. A mass-flux convection scheme for regional and global models. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 127:869–886, 2001.
- P. Bougeault and P. Lacarrere. Parameterization of orography-induced turbulence in a

- meso-beta scale model. *Monthly Weather Review*, 117:1872–1890, 1989.
- J. Cuxart, P. Bougeault, and J.-L. Redelsperger. A turbulence scheme allowing for mesoscale and large-eddy simulations. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 126(562):1–30, 2000.
- C. W. Fairall, E. F. Bradley, J. E. Hare, A. A. Grachev, and J. B. Edson. Bulk parameterization of air–sea fluxes: Updates and verification for the coare algorithm. *Journal of Climate*, 16(4):571–591, 2003. doi: 10.1175/1520-0442(2003)016<0571:BPOASF>2.0.CO;2. URL [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2003\)016<0571:BPOASF>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2003)016<0571:BPOASF>2.0.CO;2).
- D. Gregory, J.-J. Morcrette, C. Jakob, A. M. Beljaars, and T. Stockdale. Revision of convection, radiation and cloud schemes in the ECMWF model. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 126:1685–1710, 2000.
- C. Lac, J.-P. Chaboureau, V. Masson, J.-P. Pinty, P. Tulet, J. Escobar, M. Leriche, C. Barthe, B. Aouizerats, C. Augros, P. Aumond, F. Auguste, P. Bechtold, S. Berthet, S. Bielli, F. Bosseur, O. Caumont, J.-M. Cohard, J. Colin, F. Couvreux, J. Cuxart, G. Delautier, T. Dauhut, V. Ducrocq, J.-B. Filippi, D. Gazen, O. Geoffroy, F. Gheusi, R. Honnert, J.-P. Lafore, C. Lebeaupin Brossier, Q. Libois, T. Lunet, C. Mari, T. Maric, P. Mascart, M. Mogé, G. Molinié, O. Nuissier, F. Pantillon, P. Peyrillé, J. Pergaud, E. Perraud, J. Pianezze, J.-L. Redelsperger, D. Ricard, E. Richard, S. Riette, Q. Rodier, R. Schoetter, L. Seyfried, J. Stein, K. Suhre, M. Taufour, O. Thouron, S. Turner, A. Verrelle, B. Vié, F. Visentin, V. Vionnet, and P. Wautelet. Overview of the meso-nh model version 5.4 and its applications. *Geoscientific Model Development*, 11(5):1929–1969, 2018. doi: 10.5194/gmd-11-1929-2018. URL <https://www.geosci-model-dev.net/11/1929/2018/>.
- J.-P. Lafore et al. The Meso-NH atmospheric simulation system. Part I: adiabatic formulation and control simulations. *Ann. Geophys.*, 16:90–109, 1998.
- V. Masson, P. Le Moigne, E. Martin, S. Faroux, A. Alias, R. Alkama, S. Belamari, A. Barbu, A. Boone, F. Bouyssel, P. Brousseau, E. Brun, J.-C. Calvet, D. Carrer, B. Decharme, C. Delire, S. Donier, K. Essaouini, A.-L. Gibelin, H. Giordani, F. Habets, M. Jidane, G. Kerdraon, E. Kourzeneva, M. Lafaysse, S. Lafont, C. Lebeaupin Brossier, A. Lemonsu, J.-F. Mahfouf, P. Marguinaud, M. Mokhtari, S. Morin, G. Pigeon, R. Salgado, Y. Seity, F. Taillefer, G. Tanguy, P. Tulet, B. Vincendon, V. Vionnet, and A. Voldoire. The surfexv7.2 land and ocean surface platform for coupled or offline simulation of earth surface variables and fluxes. *Geoscientific Model Development*, 6(4): 929–960, 2013. doi: 10.5194/gmd-6-929-2013. URL <https://www.geosci-model-dev.net/6/929/2013/>.
- J. Noilhan and S. Planton. A simple parameterization of land surface processes for meteorological models. *Monthly Weather Review*, 117(3):536–549, 1989. doi: 10.1175/1520-0493(1989)117<0536:ASPOLS>2.0.CO;2. URL [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1989\)117<0536:ASPOLS>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1989)117<0536:ASPOLS>2.0.CO;2).

- J. Pianezze, C. Barthe, S. Bielli, P. Tulet, S. Jullien, G. Cambon, O. Bousquet, M. Claeys, and E. Cordier. A new coupled ocean-waves-atmosphere model designed for tropical storm studies: Example of tropical cyclone Bejisa (2013–2014) in the south-west Indian Ocean. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 10(3):801–825, 2018. doi: 10.1002/2017MS001177.
- J.-P. Pinty and P. Jabouille. A mixed-phase cloud parameterization for use in mesoscale non hydrostatic model : simulations of a squall line and of orographic precipitations. paper presented at Conference of Cloud Physics, Everett, WA, USA, 1998.
- A. Voltaire, B. Decharme, J. Pianezze, C. Lebeaupin Brossier, F. Sevault, L. Seyfried, V. Garnier, S. Bielli, S. Valcke, A. Alias, M. Accensi, F. Ardhuin, M.-N. Bouin, V. Ducrocq, S. Faroux, H. Giordani, F. Léger, P. Marsaleix, R. Rainaud, J.-L. Redelsperger, E. Richard, and S. Riette. Surfex v8.0 interface with oasis3-mct to couple atmosphere with hydrology, ocean, waves and sea-ice models, from coastal to global scales. *Geoscientific Model Development*, 10(11):4207–4227, 2017. doi: 10.5194/gmd-10-4207-2017. URL <https://www.geosci-model-dev.net/10/4207/2017/>.