



HAL
open science

Un nouveau modèle de prévision à Météo-France : Aladin-Réunion

Ghislain Faure, Samuel Westrelin, Denis D.R. Roy

► **To cite this version:**

Ghislain Faure, Samuel Westrelin, Denis D.R. Roy. Un nouveau modèle de prévision à Météo-France : Aladin-Réunion. *La Météorologie*, 2008, 8 (60), pp.29-35. meteo-00311760

HAL Id: meteo-00311760

<https://meteofrance.hal.science/meteo-00311760>

Submitted on 21 Aug 2008

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.

Un nouveau modèle de prévision à Météo-France : Aladin-Réunion

Ghislain Faure*, Samuel Westrelin*, Denis Roy†

Paru dans La Météorologie de février 2008

Résumé

Le centre Météo-France de La Réunion, assurant un large éventail de prévisions météorologiques sur le sud-ouest de l'océan Indien, dispose depuis la fin de l'année 2006 d'un modèle opérationnel à haute résolution, Aladin-Réunion. Il couvre une grande partie de cette zone d'intérêt à la résolution de 10 km, ce qui représente un gain conséquent par rapport à celles des modèles disponibles jusqu'alors. Cet apport permet une représentation bien plus réaliste de la structure des cyclones, ainsi qu'une modélisation fine de l'écoulement atmosphérique autour du relief très marqué de l'île de La Réunion. Des évolutions de ce modèle sont prévues d'ici la prochaine saison cyclonique pour améliorer l'intensité et le positionnement, analysés comme prévus, des cyclones.

Des prévisions variées et exigeantes

Le centre Météo-France basé sur l'île de La Réunion assure un large éventail de prévisions sur l'ensemble du sud-ouest de l'océan Indien, allant de la prévision « classique » du temps sensible sur La Réunion à la prévision marine sur des zones aussi bien tropicales qu'australes, en n'oubliant pas la surveillance cyclonique de l'ensemble de ce bassin. Cette dernière est d'ailleurs une mission internationale de Météo-France, car il a été désigné Centre Météorologique Régional Spécialisé

*Météo-France – Laboratoire de l'Atmosphère et des Cyclones – Unité mixte de recherche CNRS - Météo-France - Université de La Réunion – B.P.4 - 97491 Sainte Clotilde Cedex

†Météo-France – Direction Régionale de La Réunion – B.P.4 - 97491 Sainte Clotilde Cedex

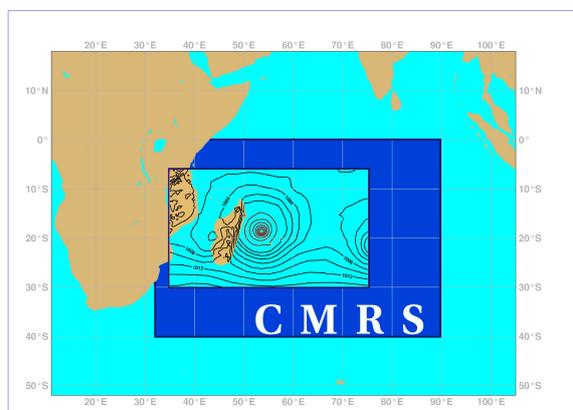


FIG. 1 – *Domaine de responsabilité du Centre Météorologique Régional Spécialisé Cyclones de La Réunion (bleu foncé) et domaine couvert par Aladin-Réunion (rectangle interne, figurant son analyse de pression mer du 26 février 2007 à 0h UTC)*

(CMRS) par l'Organisation Météorologique Mondiale dans le cadre du programme des Cyclones Tropicaux : cela en fait l'organisme en charge du suivi des systèmes tropicaux, de leur stade de formation le plus précoce jusqu'à leur fin de vie, sur l'ensemble du sud-ouest de l'océan Indien (cf. figure 1 pour les limites de la zone de responsabilité).

Météo-France fournit aussi des prévisions sur l'évolution de ces systèmes tropicaux : trajectoires, changements d'intensité et phénomènes associés comme l'état de la mer. Sur la période 1970-2000, l'activité cyclonique sur ce bassin est comparable à celle sur l'Atlantique Nord, avec une moyenne annuelle de 10 tempêtes tropicales, dont 4 qui atteignent le stade de cyclones. On peut se reporter

utilement à Roux et Viltard (1997) pour avoir un point complet sur les phénomènes cycloniques, sans toutefois trop s'attacher à la partie traitant de la modélisation des cyclones, ce domaine ayant fortement progressé au cours de ces dix dernières années,

La prévision du temps sensible sur La Réunion est également une activité très exigeante. Le croisement entre un relief accidenté, culminant à plus de 3000 m, et le régime des alizés procure une forte dissymétrie climatique et un grand nombre de micro-climats, le tout sur un territoire inscrit dans un cercle de seulement 25km de rayon. Ce relief important, lorsqu'il est conjugué à des conditions cycloniques, produit également des épisodes pluvieux de forte intensité sur de longues périodes. C'est ainsi que La Réunion détient les records du monde de précipitations pour les périodes comprises entre 12 heures et 15 jours.

Tout ceci créé, peut-être encore plus qu'ailleurs, une forte attente des prévisionnistes sur la qualité des modèles numériques de prévision. Les plus utilisés opérationnellement sont celui du Centre Européen de Prévision Numérique à Moyen Terme (CEPMMT) et celui de Météo-France dédié à l'outre-mer, Arpège Tropiques. Ces modèles globaux, couvrant donc l'ensemble de la planète, sont de très bonne qualité, mais leurs résolutions relativement limitées, de respectivement 25 et 55 km, les rendent incapables de simuler correctement certains comportements météorologiques. C'est le cas de l'intensité des cyclones, qui reste largement sous-estimée, mais également des importants effets orographiques créés par l'île de La Réunion, qui ne sont pas du tout représentés à 55 km et commencent tout juste à l'être à 25 km.

Ce constat amène naturellement à étudier la pertinence sur cette zone tropicale du modèle à aire limitée qu'utilise Météo-France sur la métropole, Aladin-France. Ce dernier délivre depuis de nombreuses années des prévisions à résolution d'environ 10 km, affinant considérablement celle du modèle global coupleur (Pailleux et al., 2000). Plusieurs expérimentations ont permis d'entrevoir que l'utilisation de ce modèle sur l'océan Indien permettrait d'améliorer le relief de La Réunion ainsi que la représentation des cyclones. Fort de ce constat, Météo-France a décidé d'utiliser ce nouveau modèle, baptisé Aladin-Réunion, de façon opérationnelle à compter du 23 octobre 2006. De-

puis cette date, utilisant les ressources du super-calculateur de Météo-France à Toulouse, il établit bi-quotidiennement des prévisions pour les deux prochains jours. Ces dernières sont envoyées au centre régional de Météo-France à La Réunion dès qu'elles sont disponibles pour y être exploitées par les équipes de prévisionnistes.

Cet article expose les principales caractéristiques d'Aladin-Réunion, puis dresse un premier bilan de ses performances concernant la prévision des cyclones et celle du temps sensible sur La Réunion. Enfin les différentes pistes suivies actuellement pour améliorer ce modèle sont évoquées.

Caractéristiques d'Aladin-Réunion

Domaine

A l'instar d'Aladin-France, Aladin-Réunion utilise une résolution de 9,5 km, ce qui représente un gain important par rapport à la résolution des modèles globaux existants. Cela a toutefois été une contrainte pour le choix du domaine : couvrir la totalité de la zone de responsabilité du CMRS s'est révélé trop coûteux pour la puissance de calcul disponible. La priorité a alors été de couvrir l'ensemble des surfaces habitées de cette zone, avec une extension géographique de 5 à 30°S, et de 35 à 75°E (cf. figure 1). Outre bien sûr sa latitude tropicale, son originalité est d'être un domaine maritime à 88%, ce qui n'est pas sans conséquence sur les types et la densité d'observations disponibles.

Analyse 3D-Var

Aladin-Réunion est également doté de son propre système d'assimilation, identique à celui d'Aladin-France décrit par Fischer et al. (2006). Cette assimilation variationnelle à 3 dimensions, ou analyse 3D-Var, implique qu'il n'a besoin des valeurs de son modèle coupleur, Arpège Tropiques en l'occurrence, qu'aux limites latérales de son domaine. Pour tous les points à l'intérieur il est autonome : avant chaque prévision, Aladin établit une image de l'état de l'atmosphère à ce moment précis. Cet état, appelé analyse, constitue le point de départ du modèle de prévision et doit donc être le plus réaliste possible. L'algorithme 3D-Var utilise d'une part toutes les observations disponibles autour de l'heure d'analyse et d'autre part sa dernière prévision à courte échéance qui est valide

à cet instant. L'analyse finale est un compromis entre ces deux contributions, à savoir d'un côté des échantillons de la réalité et de l'autre une ébauche vue par le modèle. Cette analyse 3D-Var n'est pas très coûteuse en temps de calcul, ce qui permet de la mettre en oeuvre à haute résolution (9,5 km comme pour les prévisions), aspect intéressant pour l'analyse des cyclones comme nous le verrons plus tard.

Adaptations tropicales

Aladin-Réunion est donc une version très proche de l'Aladin déployé sur la France métropolitaine, mais les latitudes tropicales du domaine nécessitent certaines adaptations spécifiques. C'est le cas tout d'abord des statistiques d'erreur du modèle, élément dont a besoin l'analyse 3D-Var. Elles ont dû être calculées spécifiquement pour le domaine d'Aladin-Réunion, car elles diffèrent nettement entre une zone tropicale et une zone tempérée (Montmerle et al., 2006). Un deuxième point est la prise en compte, dans la phase d'assimilation, de la variation du paramètre de Coriolis avec la latitude, grâce à l'utilisation d'un béta-plan. Ce gradient latitudinal est en effet plus marqué en zone tropicale qu'aux latitudes tempérées. Enfin une projection de Mercator a été choisie car plus adaptée aux latitudes couvertes par le domaine.

Utilisation d'une pseudo-observation

Une particularité de l'assimilation d'Aladin-Réunion est son utilisation forcée d'une « pseudo-observation » de la pression mer au centre des cyclones. La qualification de « pseudo » vient que cette observation n'est pas issue d'une mesure directe mais de l'estimation que font les prévisionnistes des caractéristiques d'un système tropical : à partir d'images satellitaires, l'analyse de Dvorak (Dvorak, 1984; Velden et al., 2006) leur permet d'estimer empiriquement certaines caractéristiques d'un système tropical, comme sa pression centrale et la valeur de son maximum de vent à 10m. Cette méthode, utilisée sur tous les bassins cycloniques du monde depuis les années 1970, permet d'appréhender l'intensité d'un système tropical malgré l'absence d'observations in situ (par des avions, bouées, etc.).

Contrairement à toutes les autres observations disponibles pour l'analyse 3D-Var, cette pseudo-observation est forcée, c'est à dire qu'elle sera uti-

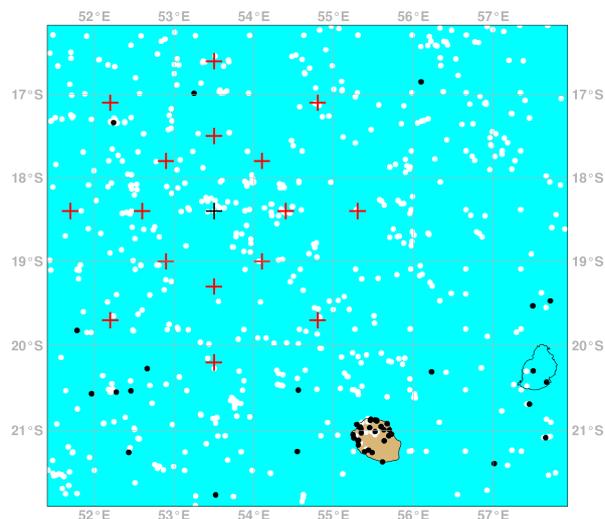


FIG. 2 – *Projection au sol des observations du 26 février 2007 à 00h UTC : les points blancs représentent toutes les observations disponibles ; les points noirs celles utilisées par Aladin-Réunion pour son analyse ; les croix situent les pseudo-observations supplémentaires (en noir la pression mer centrale, en rouge le vortex 3D de vent)*

lisée lors de l'analyse même si le contrôle qualité la rejette. Ce dernier cas est en effet assez fréquent car les valeurs extrêmes rencontrées dans les cyclones peuvent facilement paraître aberrantes à l'algorithme vérifiant la cohérence des données d'observation.

L'intérêt de fournir cette pseudo-observation à Aladin-Réunion prend tout son sens quand on examine les observations utilisées à proximité d'un cyclone (cf. figure 2, points noirs).

La grande majorité du domaine se situant sur l'océan loin de tout point de mesure conventionnel, seules des mesures satellitaires sont disponibles. Or ces dernières ne sont utilisées par le modèle que lorsqu'elles sont effectuées en ciel clair, c'est à dire sur une zone sans pluie et même sans nuage. Ainsi, avec ces seules observations, l'analyse d'Aladin dériverait par rapport à la réalité car elle ne disposerait pas de suffisamment d'informations pour recalibrer le cyclone (en position et en intensité), ce qui hypothéquerait les prévisions faites en aval. L'ajout d'une pseudo-observation (représentée par la croix noire sur la figure 2)

pallie en partie ce manque; c'est une méthode simpliste qui peut donner de bons résultats mais reste perfectible comme nous le verrons par la suite.

Apports d'Aladin-Réunion

Cyclones

L'un des apports indéniables d'Aladin-Réunion est sa capacité à simuler des cyclones ayant une structure réaliste. Tout d'abord, sa résolution lui permet de créer les gradients très marqués (de vent, pression, etc.) que l'on retrouve dans les systèmes tropicaux. Ensuite Aladin-Réunion est capable de simuler des cyclones ayant une intensité beaucoup plus proche de l'intensité réelle que celle établie par les modèles globaux. Ce dernier point est également lié à sa résolution plus fine, l'intensité des systèmes tropicaux étant gouvernée par une très large gamme d'échelles spatiales qu'appréhende mieux Aladin. Même dans les quelques occasions où les modèles globaux arrivent à intensifier de manière correcte des cyclones -les plus étendus-, leur structure est de toute façon beaucoup moins bien simulée que par Aladin. Ce fut le cas lors du passage de Gamède, vaste cyclone tropical, à quelques centaines de kilomètres au nord de La Réunion en février 2007 : la figure 3 montre sa structure verticale en température, simulée respectivement par les modèles Arpège Tropiques, CEPMMT et Aladin-Réunion. Chacun d'entre eux arrive à élaborer une structure plutôt conforme à la théorie, avec en altitude le coeur chaud caractéristique des cyclones tropicaux. Toutefois les deux modèles globaux représentent un coeur chaud très étalé, notamment sur la verticale, alors que celui proposé par Aladin, plus compact, correspond bien mieux à la structure typique d'un cyclone (Frank, 1977).

Ce meilleur comportement s'agissant de la structure des cyclones n'a toutefois pas engendré de bénéfice sur leur position analysée, car Aladin-Réunion affiche une erreur moyenne de 130 km à l'échéance 0h (cf. figure 4). Elle est comparable à celle d'Arpège Tropiques, modèle global qui utilise aussi une pseudo-observation forcée de pression mer au centre du cyclone mais dispose d'une résolution spatiale moindre. Cette erreur, pénalisante quand les systèmes s'approchent des côtes car les phénomènes les plus dangereux se trouvent à proximité du centre du cyclone, peut

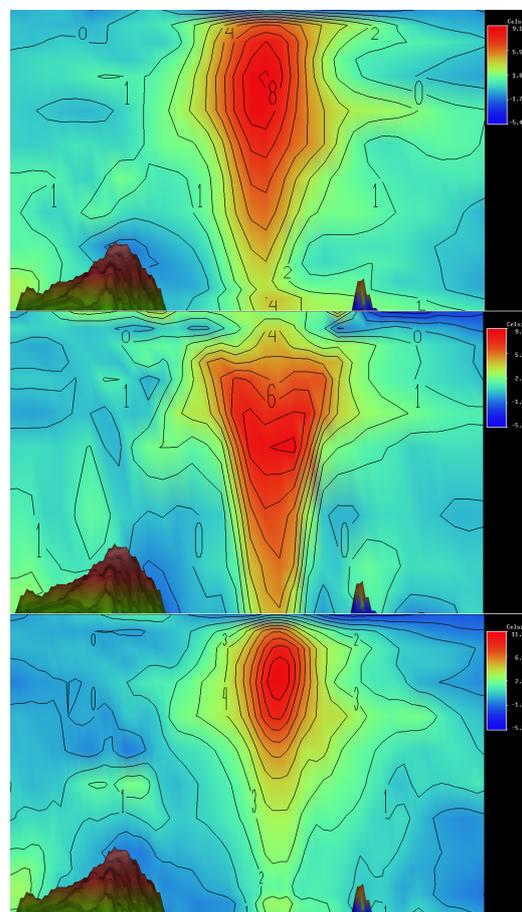


FIG. 3 – Coupes ouest-est d'anomalie de température, entre la surface et 100 hPa, du cyclone Gamède le 27 février à 0h, ayant alors une pression mer centrale estimée à 952 hPa. Pour chaque niveau vertical, l'anomalie de température en un point est calculée comme la différence entre la température en ce point et la température moyenne de ce niveau sur une zone de 2000 par 2500 km. Isolignes tous les 1°C, reliefs de Madagascar (à gauche) et de La Réunion (à droite). De haut en bas : Analyse d'Arpège Tropiques : pression mer = 950 hPa; Analyse du CEPMMT : pression mer = 957 hPa; Analyse d'Aladin-Réunion (version de développement) : pression mer = 949 hPa

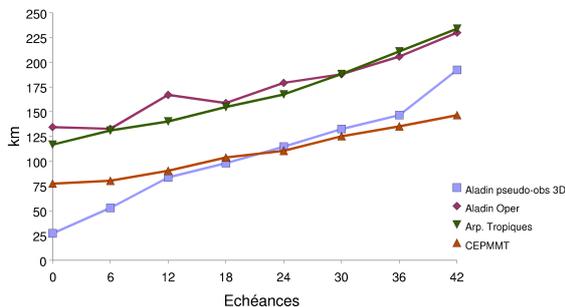


FIG. 4 – Erreurs de position du centre du système, en fonction des échéances, de quatre modèles pour les systèmes tropicaux de la période du 29 janvier (0h UTC) au 15 mars 2007 (12h UTC); échantillons homogènes entre les modèles et comprenant de 76 à 50 éléments selon les échéances.

être en grande partie corrigée en fournissant au modèle d'autres pseudo-observations. A partir des quelques caractéristiques (pression mer au centre, force et rayon du vent maximal en surface) d'un système tropical établies par les prévisionnistes, il est possible de restituer le champ de vent tri-dimensionnel en utilisant un modèle analytique (Holland, 1980). Ainsi des pseudo-observations de vent en trois dimensions peuvent être forcées lors de l'analyse 3D-Var d'Aladin, conjointement à la pseudo-observation de pression mer. La figure 2 montre un exemple de pseudo-observations de vent (croix rouges) qui, grâce à leur densité dans une zone sans autre observation, vont permettre à la fois de beaucoup mieux repositionner le système et d'assurer un meilleur étalonnage de son intensité qu'avec la seule pseudo-observation de pression.

Pour évaluer l'apport de cette nouvelle technique, des expériences ont été menées entre fin janvier et mi-mars 2007, un mois et demi pendant lequel l'activité cyclonique sur la zone couverte par Aladin ne s'est arrêtée que huit jours. La comparaison s'est faite entre les modèles CEPMMT, Arpège Tropiques, Aladin-Réunion opérationnel et Aladin-Réunion avec en plus les pseudo-observations de vent en 3D.

Le CEPMMT a obtenu un bon résultat en suivi de trajectoire (cf. figure 4), alors que la mauvaise initialisation d'Aladin opérationnel ressort. L'ajout des pseudo-observations de vent diminue considérablement l'erreur de position pour ce

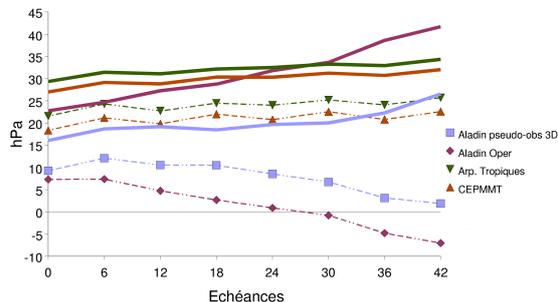


FIG. 5 – Erreurs d'intensité (vue par la pression mer au centre du système) : racine carrée des erreurs quadratiques moyennes (lignes pleines) et biais (lignes pointillées avec symboles), de quatre modèles pour les systèmes tropicaux de la période du 29 janvier (0h UTC) au 15 mars 2007 (12h UTC); échantillons homogènes entre les modèles et comprenant de 76 à 50 éléments selon les échéances.

modèle : le repositionnement à l'analyse (échéance 0 sur les graphiques) devient excellent avec 30 km d'erreur moyenne et, même si la croissance d'erreur est un peu plus forte que dans la version opérationnelle, l'erreur de position à 30h d'échéance reste en-dessous de l'erreur initiale d'Aladin opérationnel.

Les analyses et prévisions d'intensité, vue par la pression mer au centre des systèmes tropicaux, donnent un classement différent des modèles comme le montre la figure 5, qui synthétise les erreurs moyennes globales ainsi que le biais des modèles à différentes échéances. La haute résolution de l'assimilation d'Aladin lui permet d'analyser les intensités avec moins de biais (lignes avec tirets et symboles) que les modèles globaux. Au fil des échéances, les résultats sont plus mitigés : le biais des modèles globaux évolue peu au fil des échéances et reste de l'ordre de 30 hPa. En revanche Aladin-Réunion opérationnel montre une tendance à trop intensifier les systèmes dès les échéances 24-30h, ce comportement étant fortement atténué avec l'ajout des pseudo-observations de vent. Enfin, en s'attachant à l'erreur globale des modèles en terme d'intensité (traits pleins), Aladin-Réunion avec l'ensemble des pseudo-observations sort très nettement du lot à toutes les échéances avec une erreur inférieure à 20 hPa jusqu'à 30h d'échéance, alors que la version actuellement opérationnelle est

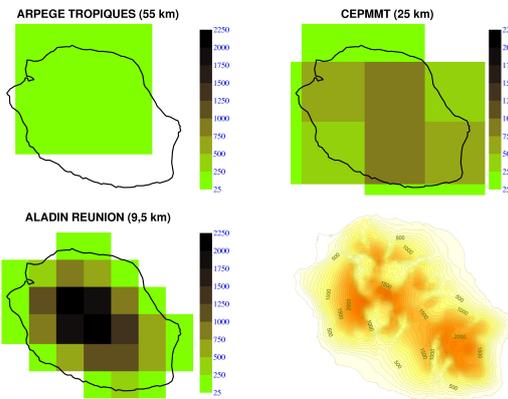


FIG. 6 – relief de La Réunion tel qu'il est vu par 3 modèles, et pour comparaison topographie à 500m de résolution du relief réel

pénalisée par ses écarts qui peuvent être importants au delà de 24h.

Au final, l'utilisation forcée des pseudo-observations de vent en 3D conjointement à celle de pression mer améliore très nettement les prévisions de trajectoire et d'intensité des cyclones, c'est pourquoi cette méthode sera utilisée par la version opérationnelle d'Aladin-Réunion dès la saison cyclonique 2007-2008.

Vent sur La Réunion

Aladin-Réunion constitue une avancée importante pour la prévision du temps sensible sur l'île de La Réunion, en particulier pour le vent. Cela vient de sa capacité à bien mieux appréhender le relief important de cette île par rapport aux autres modèles (cf. figure 6), avec par exemple une altitude maximale de 2200m qui apparaît réaliste par rapport aux 3070m du point culminant de l'île, le Piton des Neiges. Sa résolution reste cependant trop faible pour décrire avec réalisme le relief accidenté à l'intérieur de l'île : il agrège le massif montagneux central du Piton des Neiges avec celui, situé au sud-est, du Piton de la Fournaise ; il ne représente pas non plus les 3 cirques présents autour du Piton des Neiges. C'est donc principalement au niveau du littoral qu'Aladin-Réunion apporte le plus d'informations nouvelles en vent.

La Réunion constitue un obstacle important, émergeant au milieu de l'océan, à l'écoulement de

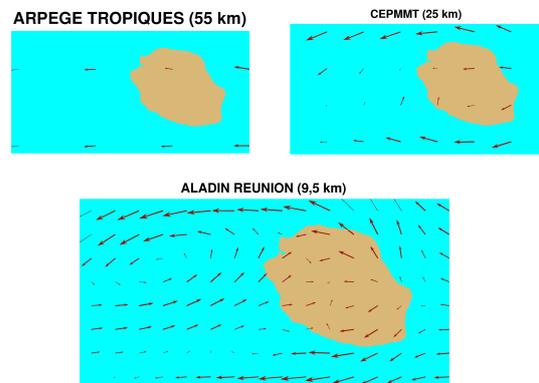


FIG. 7 – Prévisions du vent à 10m, à l'échéance 9h, par les modèles opérationnels du 7 mars 2007 à 0h UTC

l'atmosphère, ce qui génère en aval d'importantes turbulences dans le champ de vent. Alors que les modèles globaux ne font au mieux que les esquisser, Aladin-Réunion arrive à bien simuler ces effets (cf. figure 7), car ils sont directement liés à la bonne représentation du relief. Ils apparaissent réalistes et conformes à l'expérience des prévisionnistes : dévatement de la zone directement exposée au flux général, accélérations les plus fortes sur les côtes parallèles à ce flux, et présence en aval d'un « retour », vent qui concerne la côte sous le vent et dont le sens est globalement opposé à celui du flux général. De plus il a été constaté qu'Aladin simule bien le fait qu'une légère variation de la direction et/ou de la force du vent synoptique puisse faire varier considérablement le vent en aval de l'île. Au final on obtient donc avec ce modèle un champ de vent complexe, avec des différences de vitesse et de direction importantes sur des distances très courtes. Ces détails constituent une réelle avancée pour la prévision, car ils ne pouvaient auparavant qu'être déduits empiriquement à partir des modèles globaux.

Au delà de leur apparente pertinence, il faut s'assurer que toutes ces précisions du modèle soient bien réalistes en les confrontant aux observations. Le plus délicat est la validation des perturbations du champ de vent simulées dans l'environnement maritime proche, car il n'y a aucune mesure in situ. Des validations indirectes peuvent toutefois se faire assez fréquemment grâce aux formations nua-

geuses, liées à la déformation des lignes de flux, qui se développent en aval de l'île : une superposition entre les images satellitaires et le vent prévu par Aladin permet alors d'estimer la pertinence de ce dernier. Parmi ces situations, deux ont été exceptionnelles tant par leur durée que par la qualité de validation qu'elles ont procurée. La première est due à la présence d'un panache de nuages visible sur plusieurs images satellitaires consécutives. Il s'est formé en aval de l'île, sous l'influence d'un flux de sud-est. La figure 8 montre une de ces images satellitaires avec la prévision d'Aladin correspondante. Le modèle simule clairement un tel panache de nuages, réaliste tant dans sa forme que son extension, ce qui valide le bon comportement d'Aladin-Réunion pour cette date. La seconde situation, encore plus rare, fut provoquée par l'éruption du Piton de la Fournaise en avril 2007. D'importants dégagements de dioxyde de soufre (SO_2) ont eu lieu sur le site de l'éruption, au sud-est de l'île, provoquant pendant plusieurs jours une forte pollution des zones alentours mais également du littoral ouest. Cette situation, qui peut paraître incompréhensible avec un régime d'alizés d'est, prend tout son sens quand on examine la figure 9 : la circulation du SO_2 depuis le lieu de l'éruption jusqu'au littoral ouest est bien matérialisée sur l'image satellitaire (en bleuté) et apparaît très bien corrélée au retour de vent développé par Aladin en aval de l'île. Par ailleurs différentes petites structures présentes sur cette image semblent valider d'autres aspects de ce champ de vent Aladin ; c'est le cas de la bande nuageuse au nord-ouest de l'île (en blanc) qui coïncide parfaitement avec une confluence du vent prévu par le modèle.

Ces cas de validation indirecte sont très intéressants mais ils se ne se font pas à fréquence régulière. C'est pourquoi la confrontation systématique entre les paramètres prévus par Aladin-Réunion et les observations disponibles sur l'île est importante, ce qui fait l'objet de la partie ci-après. Pour le vent, les observations utilisées sont essentiellement celles mesurées sur le littoral, car les différences entre le relief réel et celui, forcément lissé, vu par le modèle rendent caduques les comparaisons de vent à l'intérieur de l'île.

Contrôle par les prévisionnistes

Afin de quantifier l'apport d'Aladin-Réunion, les prévisionnistes de Météo-France à La Réunion ont

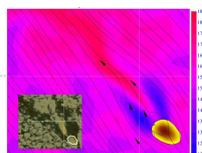


FIG. 8 – Flux à 10m (lignes noires) et Θ_{850} à 850 hPa (plages de couleurs sur l'océan) prévus à l'échéance 24h par Aladin-Réunion le 28 juin 2006 à 0h UTC (version pré-opérationnelle); en vignette composition colorée de nuit issue du satellite NOAA 18 du même jour à 22h48 UTC. (Θ_{850} : température pseudoadiabatique potentielle du thermomètre mouillé)

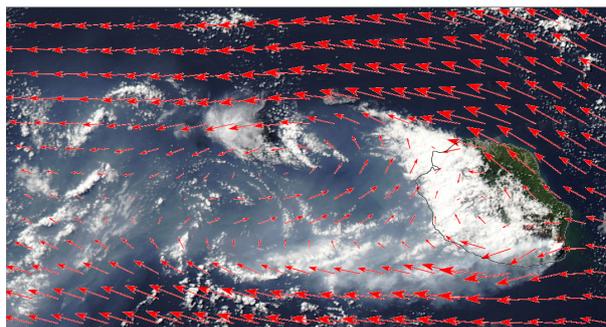


FIG. 9 – Vent à 500m prévu à l'échéance 9h par Aladin-Réunion le 5 avril 2007 à 0h UTC (flèches rouges), superposé avec une image visible, de résolution 250m, issue du satellite AQUA le même jour à 10h UTC

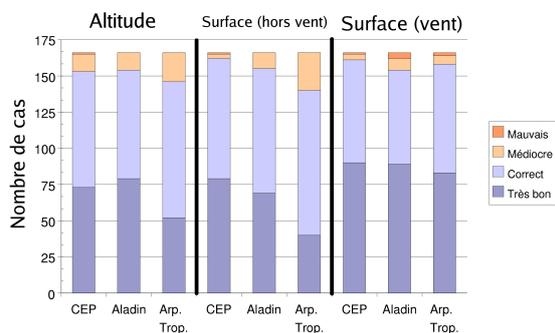


FIG. 10 – Résultats du contrôle, fait à grande échelle autour de La Réunion sur les 12 premières heures d'échéance, des modèles Aladin-Réunion, Arpège Tropiques et du modèle du CEPMMT; période de décembre 2006 à mai 2007.

effectué un contrôle systématique des échéances courtes -jusqu'à 12 heures- des modèles numériques dont ils disposent. Il consiste tout d'abord à classer ces modèles à l'aide de considérations de grande échelle, en altitude et en surface. Ensuite, si l'état de l'atmosphère décrit par Aladin est pertinent au niveau synoptique, les prévisionnistes évaluent son apport de fine échelle sur La Réunion. Ce contrôle, dont est présenté ici un bilan sur les 6 mois couvrant la période de décembre 2006 à mai 2007, a permis de formaliser de façon objective les qualités et défauts perçus d'Aladin-Réunion.

Le premier point de satisfaction vient de la très bonne cohérence entre l'analyse d'Aladin et la réalité à l'échelle synoptique, estimée par des images ou des mesures satellitaires (cf. figure 10). En effet, sur chacun des critères permettant de juger s'il représente bien les structures de grande échelle, Aladin-Réunion dépasse les 90% de « très bon » ou « correct », ce qui valide complètement la bonne qualité son analyse. On peut également noter que cette qualité perçue est proche de celle du modèle du CEPMMT, et qu'elle apparaît sensiblement meilleure que celle d'Arpège Tropiques.

Les résultats de l'évaluation des phénomènes de fine échelle que simule Aladin sont également satisfaisants (cf. figure 11). Le vent de surface au niveau de La Réunion est jugé comme fournissant une indication « très bonne » ou « réaliste » dans plus de 97% des cas, ce qui corrobore la pertinence, vue au paragraphe précédent, de ce pa-

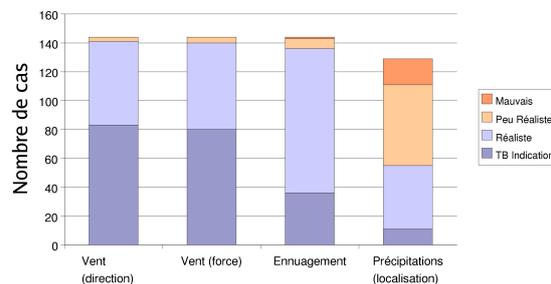


FIG. 11 – Résultats du contrôle d'Aladin-Réunion à petite échelle sur l'île de La Réunion, pour les 12 premières heures d'échéance; période de décembre 2006 à mai 2007.

ramètre. C'est d'ailleurs celui pour lequel l'apport d'Aladin est le plus net : il permet la délimitation des zones déventées et de celles soumises aux vents les plus forts, ainsi qu'une bonne estimation de la force de ces derniers. Les résultats sont également très bons quand il s'agit d'évaluer l'aide du modèle pour prévoir l'ennuage diurne sur l'île (94% de « très bon » ou « réaliste »). En revanche les scores concernant la localisation des précipitations marquent le pas, les avis « peu réaliste » et « mauvais » culminant alors à 57%. Les défauts d'Aladin ont été clairement identifiés puisque celui-ci sous-estime l'advection de précipitations sur le relief lors d'alizés humides et surestime les précipitations convectives sous le vent, problèmes spécifiques qui ne se manifestent pas en métropole et nécessitent donc un travail d'adaptation tropicale.

Ce contrôle prouve qu'Aladin-Réunion apporte de l'information intéressante à l'échelle synoptique, ce qui lui vaut d'être souvent choisi comme modèle de référence par les prévisionnistes. De plus les détails de fine échelle qu'il est le seul modèle à offrir s'avèrent, au bémol près des précipitations, très pertinents et utiles aux prévisionnistes.

Perspectives

Après 8 mois d'existence opérationnelle, on peut dresser un premier bilan tout à fait honorable d'Aladin-Réunion. Son utilité dans la prévision du temps sensible sur l'île de La Réunion et sur les zones alentours a été largement éprouvée. Concernant les cyclones, Aladin témoigne d'une bonne capacité à représenter leur structure mais sans en tirer un réel bénéfice pour l'heure suite à une initialisa-

tion imparfaite. Une parade est cependant proposée et devrait considérablement améliorer ses performances en prévision cyclonique dès la prochaine saison humide.

Ce modèle va continuer à évoluer. Il va profiter d'améliorations communes à Aladin-France, dont une prochaine augmentation de résolution verticale, notamment en basses couches ce qui joue un rôle important dans la phase d'intensification des cyclones ; une nouvelle paramétrisation de la convection profonde viendra également perfectionner son comportement, avec une amélioration attendue des précipitations prévues sur l'ouest de l'île de La Réunion.

D'autres pistes, plus spécifiques à la prévision cyclonique, sont également suivies. Des travaux en cours, visant à assimiler des informations d'humidité issues de mesures satellitaires en milieu nuageux et pluvieux, devraient profiter à l'analyse et à la prévision des systèmes tropicaux en améliorant la description de leur environnement immédiat, dans lequel peu d'observations sont actuellement disponibles. Une autre amélioration envisagée est la création d'une analyse à haute résolution de la température de surface de la mer, qui utilise des données satellitaires micro-onde, lesquelles permettent des mesures à travers les nuages et donc appréhendent rapidement le refroidissement de l'océan dans le sillage des cyclones. Cette température, qui résume actuellement dans le modèle Aladin à elle seule le réservoir d'énergie disponible pour les systèmes tropicaux, bénéficiera alors de structures et de valeurs plus réalistes. L'objectif à plus long terme est de représenter au mieux cette réserve d'énergie que constituent, pour les cyclones, les premières dizaines de mètres de l'océan, en couplant Aladin-Réunion à un modèle simplifié d'océan.

Toutes ces évolutions sont nécessaires pour faire progresser la qualité des prévisions d'intensité des cyclones, laquelle stagne depuis plusieurs décennies alors que celle des prévisions de trajectoire a continuellement progressé dans le même laps de temps.

Remerciements

Les auteurs souhaitent remercier toutes les équipes de Météo-France sans l'aide desquelles Aladin-Réunion ne délivrerait pas ses prévisions

quotidiennes. Côté toulousain, nous nous sommes appuyé en particulier sur les équipes du GMAP du Centre National de Recherches Météorologiques, de COMPAS de la Direction de la Prévision ainsi que celles de la division OP de la Direction des Systèmes d'Information. Côté réunionnais nous avons pu compter sur l'investissement de tous nos collègues prévisionnistes et sur celui des membres actuels et passés de la Cellule Recherche Cyclone.

Bibliographie

Dvorak, V. F., 1984 : Tropical cyclone intensity analysis using satellite data (Technical report). National Oceanic and Atmospheric Administration.

Fischer, C., T. Montmerle, L. Auger, B. Lacroix, 2006 : L'assimilation opérationnelle de données régionales à Météo-France. *La Météorologie*, 54, 43-54.

Frank, W. M., 1977 : The structure and energetics of the tropical cyclone : I. Storm structure. *Month. Wea. Rev.*, 105 (Issue 9), 1119-1135.

Holland, G. J., 1980 : An analytic model of the wind and pressure profiles in hurricanes. *Month. Wea. Rev.*, 108, 1212-1218.

Montmerle, T., J.-P. Lafore, L. Berre, C. Fischer, 2006 : Limited-area model error statistics over Western Africa : comparisons with midlatitude results. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 132, 213-230.

Pailleux, J., J. Geleyn, E. Legrand, 2000 : La prévision numérique du temps avec les modèles Arpège et Aladin : Bilan et perspectives. *La Météorologie*, 30, 32-60.

Roux, F., N. Viltard, 1997 : Les cyclones tropicaux. *La Météorologie*, 18, 9-33.

Velden, C., B. Harper, F. Wells, J. Beven, R. Zehr, T. Olander, M. Mayfield, C. Guard, M. Lander, R. Edson, L. Avila, A. Burton, M. Turk, A. Kikuchi, A. Christian, P. Carroff, P. McCrone, 2006 : The Dvorak tropical cyclone intensity estimation technique : a satellite-based method that has endured for over 30 years. *B.A.M.S.*, 87, 1195-1210.