

Prévisibilité de l'épisode BELAL (2024) à l'approche et lors de son passage sur l'île de La Réunion

Olivier NUISSIER¹, Hélène VÉRÈMES² et Sébastien LANGLADE³

¹*DESR/CNRM/GMAP/PREV*

²*Laboratoire de l'Atmosphère et des Cyclones, La Réunion*

³*DIROI/PREVI, CMRS Cyclone Sud-Ouest Océan Indien*

Toulouse, 18 mars 2026

Quelques éléments de contexte

Le **cyclone tropical (CT) BELAL** a concerné La Réunion du 13 au 16 janvier 2024 (mais aussi l'île Maurice). La **trajectoire** à l'approche de l'île et surtout la **prévision d'intensité** se sont révélées particulièrement **délicate** :

- ⇒ Objectif de cette étude : Identifier *a posteriori* des **éléments de compréhension** quant au comportement de BELAL à son approche sur La Réunion, à partir des **modèles de prévisions** et différentes sources d'**observations**.



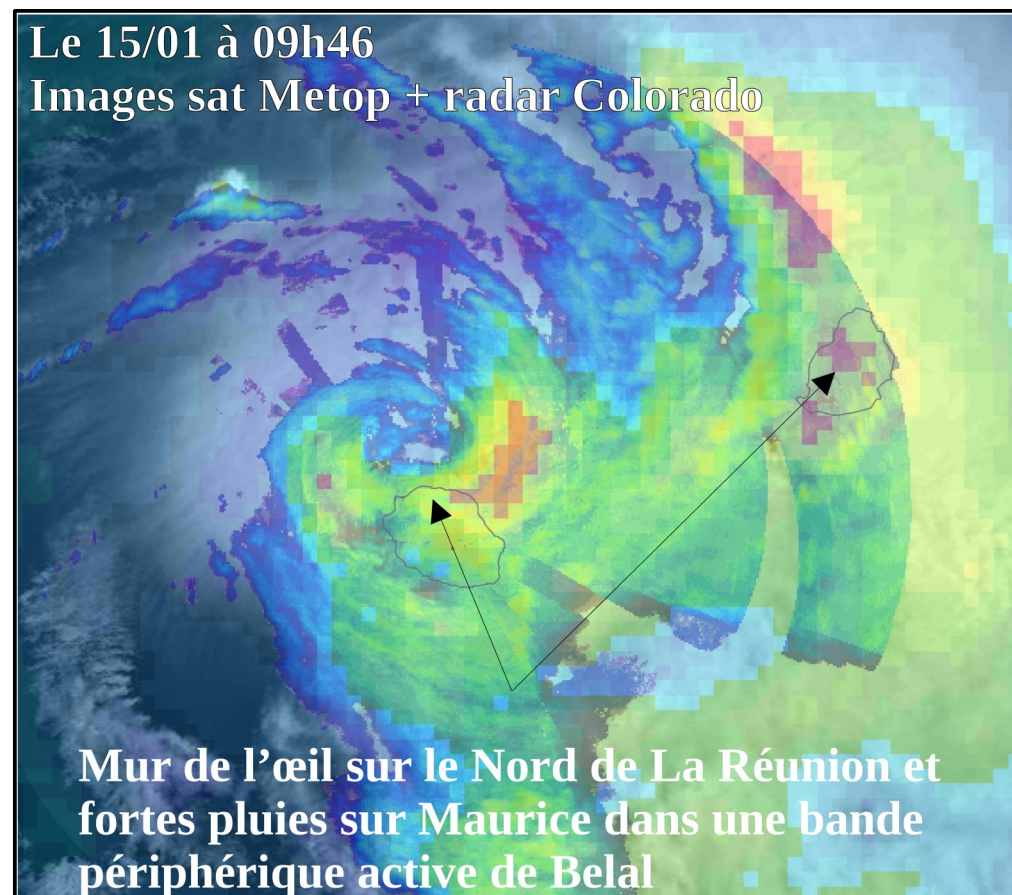
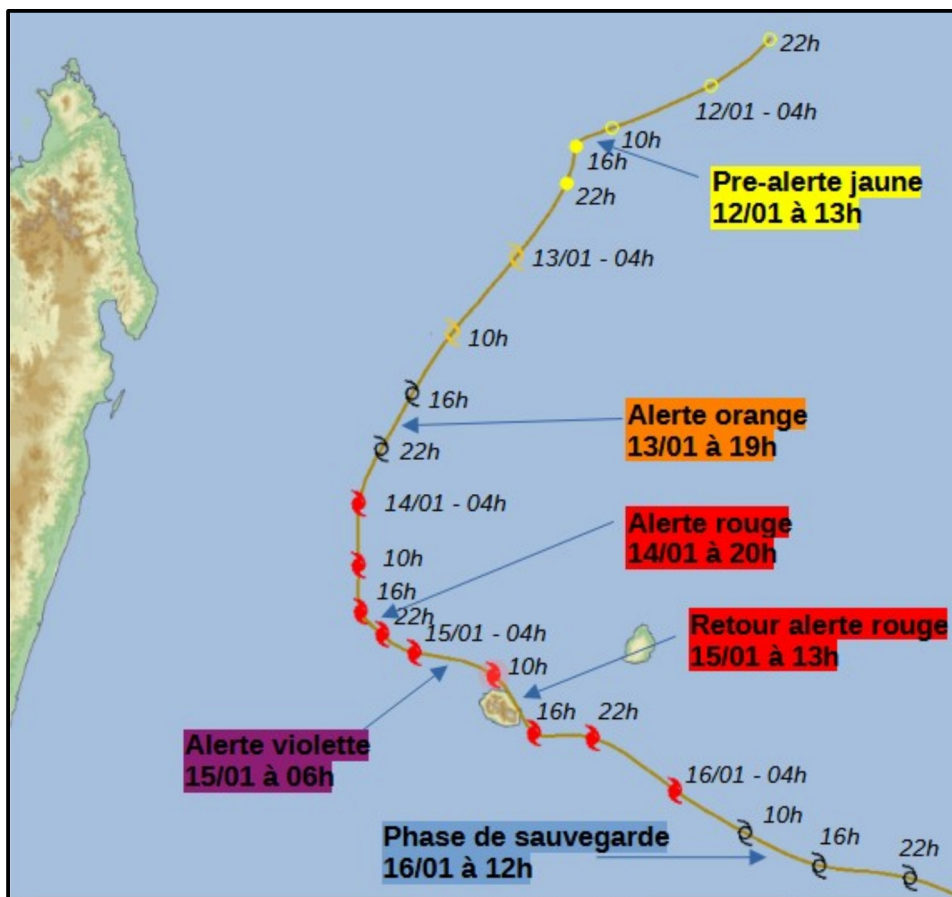
Image de l'atterrissage du **mur de l'œil** du cyclone BELAL, avec des vents de **+200 km/h** loc, sur **La Réunion** dans la matinée du 15 janvier 2024.



Personnes bloquées et voitures submergées au milieu des **inondations** causées par le cyclone BELAL sur **Maurice**

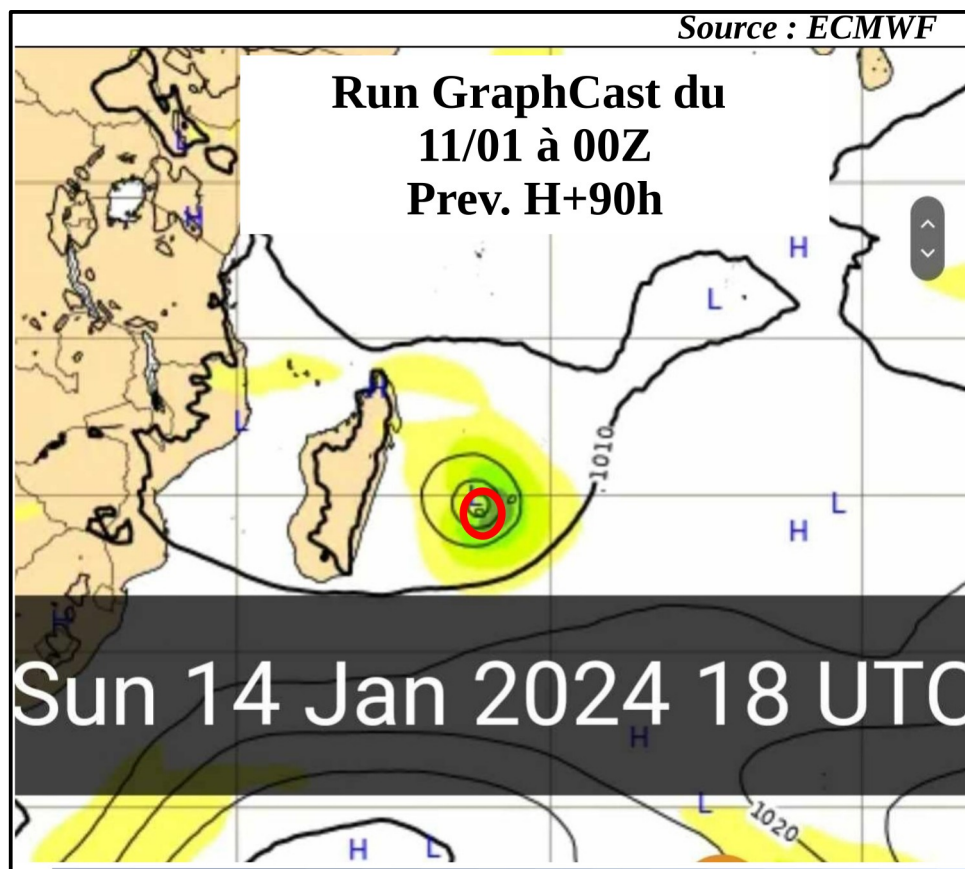
La saison 2023-2024 : le cyclone tropical BELAL

- Impacts significatifs sur La Réunion : **conditions cycloniques** sur l'île (raf **+150 km/h** sur une grande partie de l'île – loc **+200 km/h** sur hauts du nord) mais non durables.
- **Pluies meurtrières** à Maurice : en matinée du 15 dans une bande périphérique active.



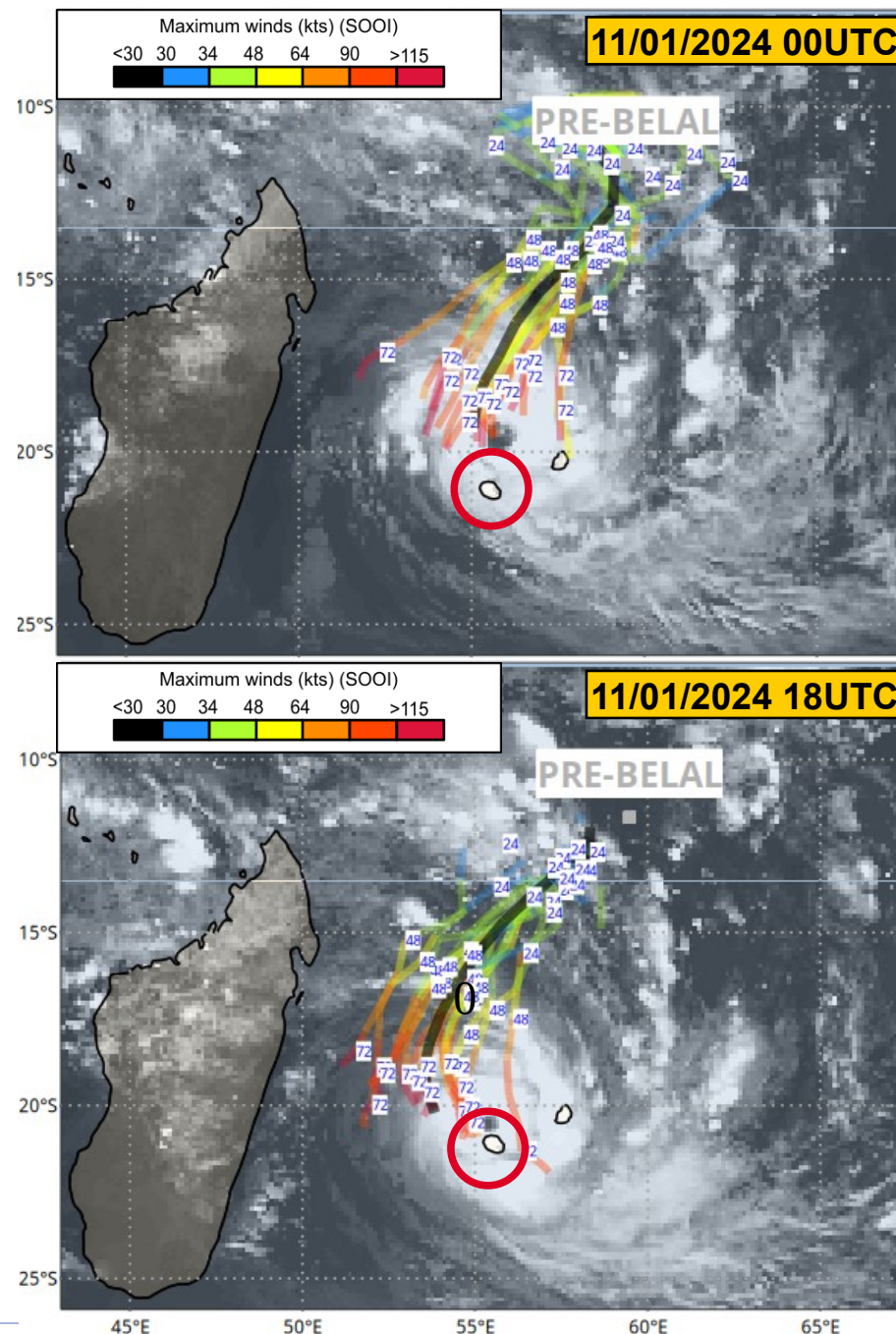
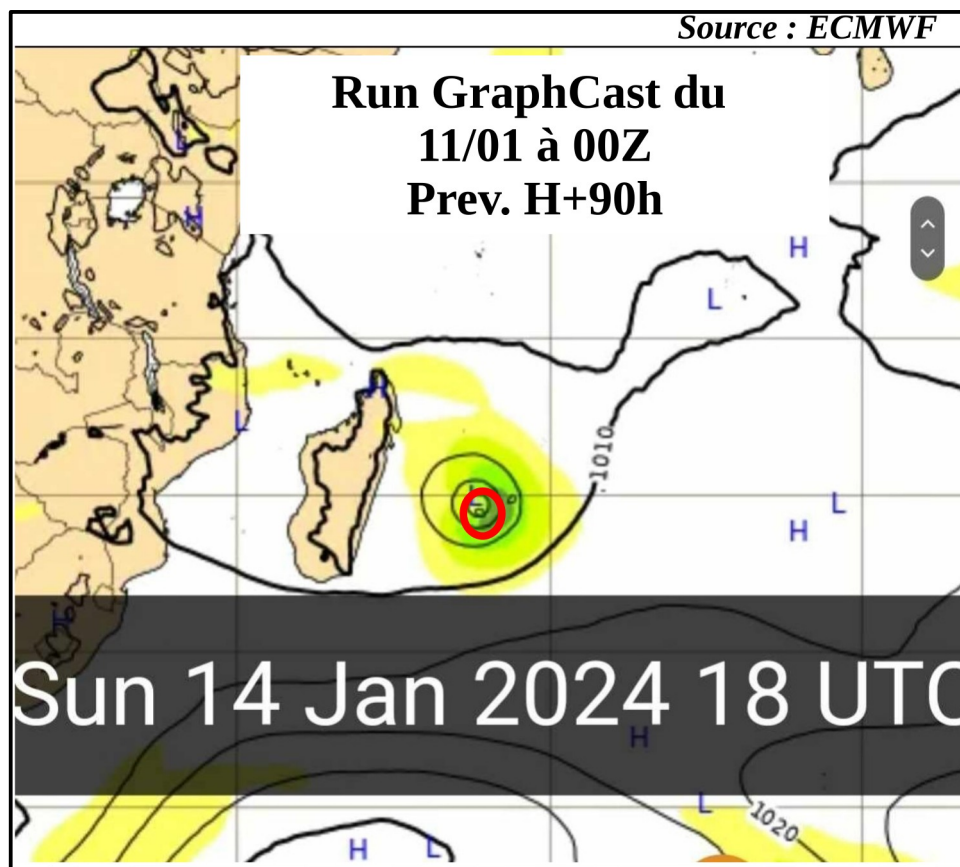
BELAL une menace entrevue plusieurs jours avant son arrivée...

- Les **modèles d'IA** ont été les premiers à cibler la Réunion avec un potentiel **phénomène cyclonique dans 4-5 jours** au voisinage des Mascareignes...



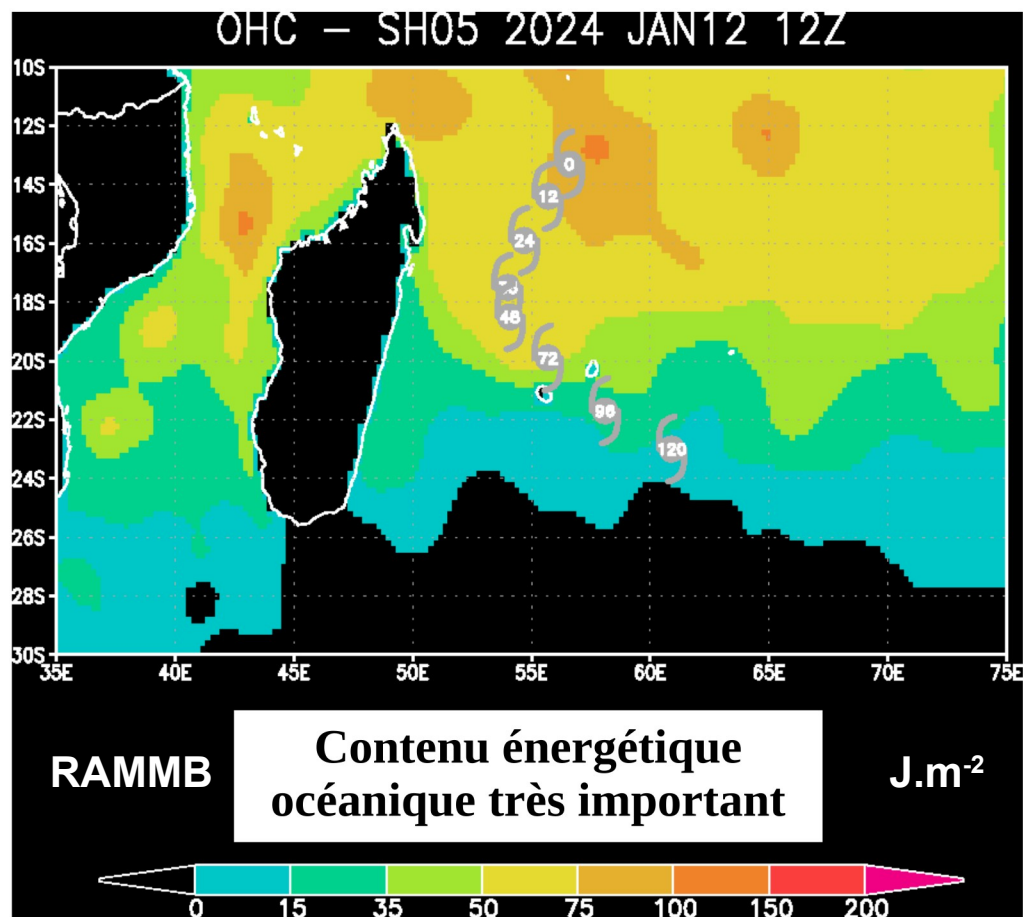
BELAL une menace entrevue plusieurs jours avant son arrivée...

- Les **modèles d'IA** ont été les premiers à cibler la Réunion avec un potentiel **phénomène cyclonique dans 4-5 jours** au voisinage des Mascareignes...
- La **PEARO** projetait quant à elle un **CTI** juste au nord-ouest à échéance **+78h**.



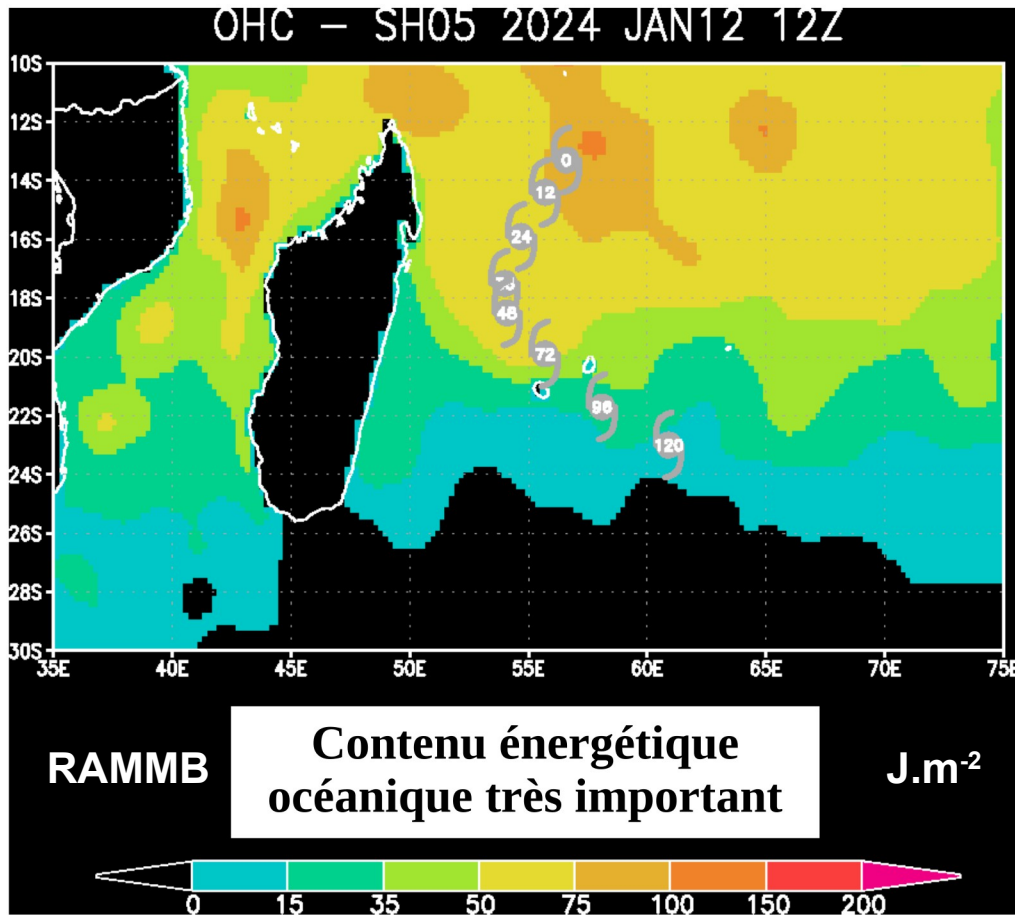
Les conditions semblaient très propices à son intensification...

- Des valeurs importantes de **contenu énergétique océanique** : $\sim 80\text{-}100 \text{ J.m}^{-2}$ capables de soutenir un **CTI**

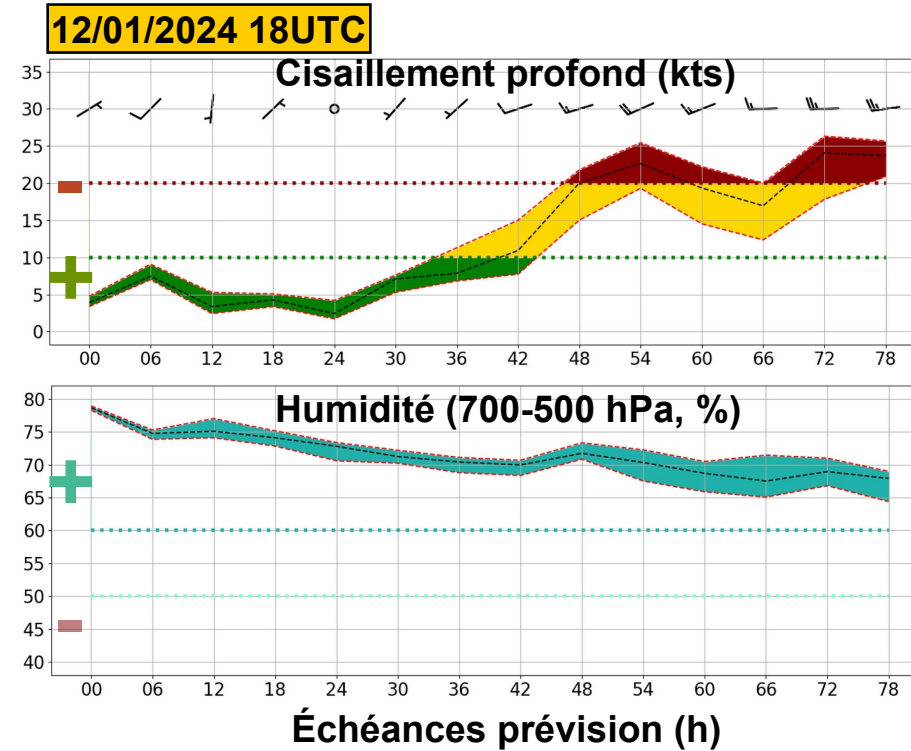


Les conditions semblaient très propices à son intensification...

- Des valeurs importantes de **contenu énergétique océanique** : $\sim 80-100 \text{ J.m}^{-2}$ capables de soutenir un **CTI**
- Des conditions **quasi-idéales** hormis un **contexte cisailé** apparaissant en fin d'échéance.

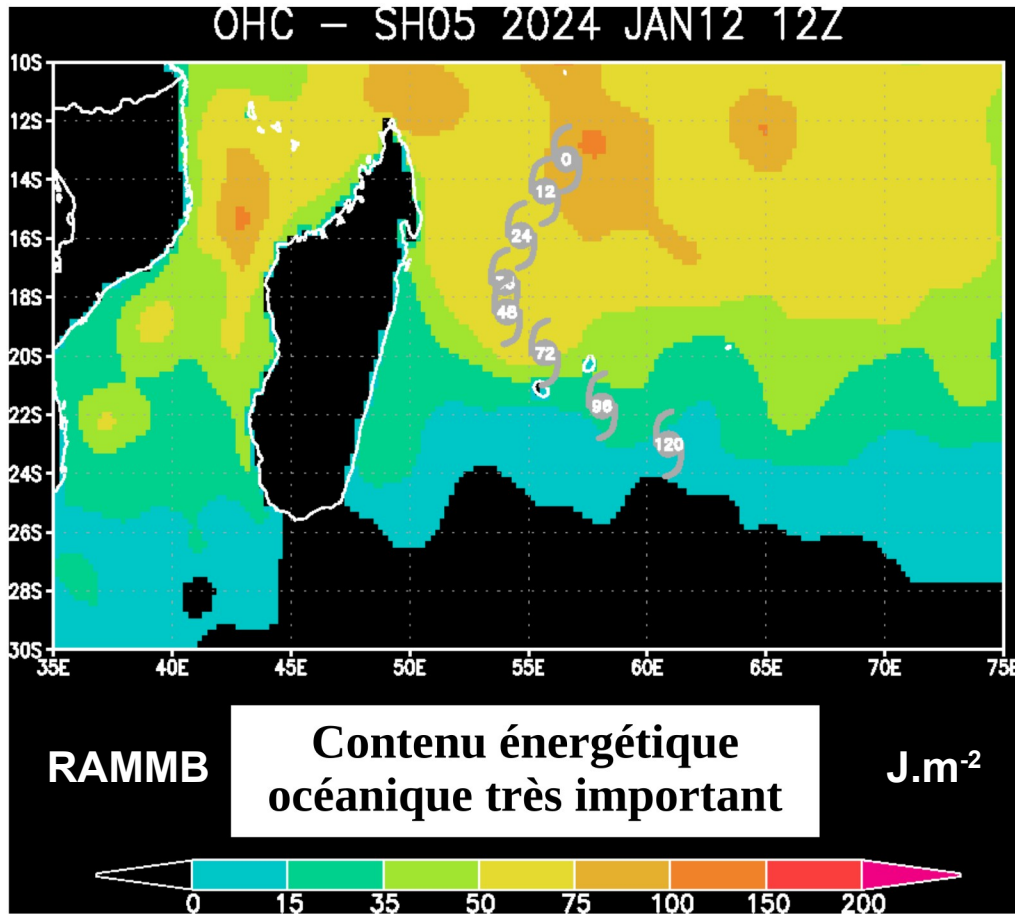


Diagnostics PEARO INDIEN

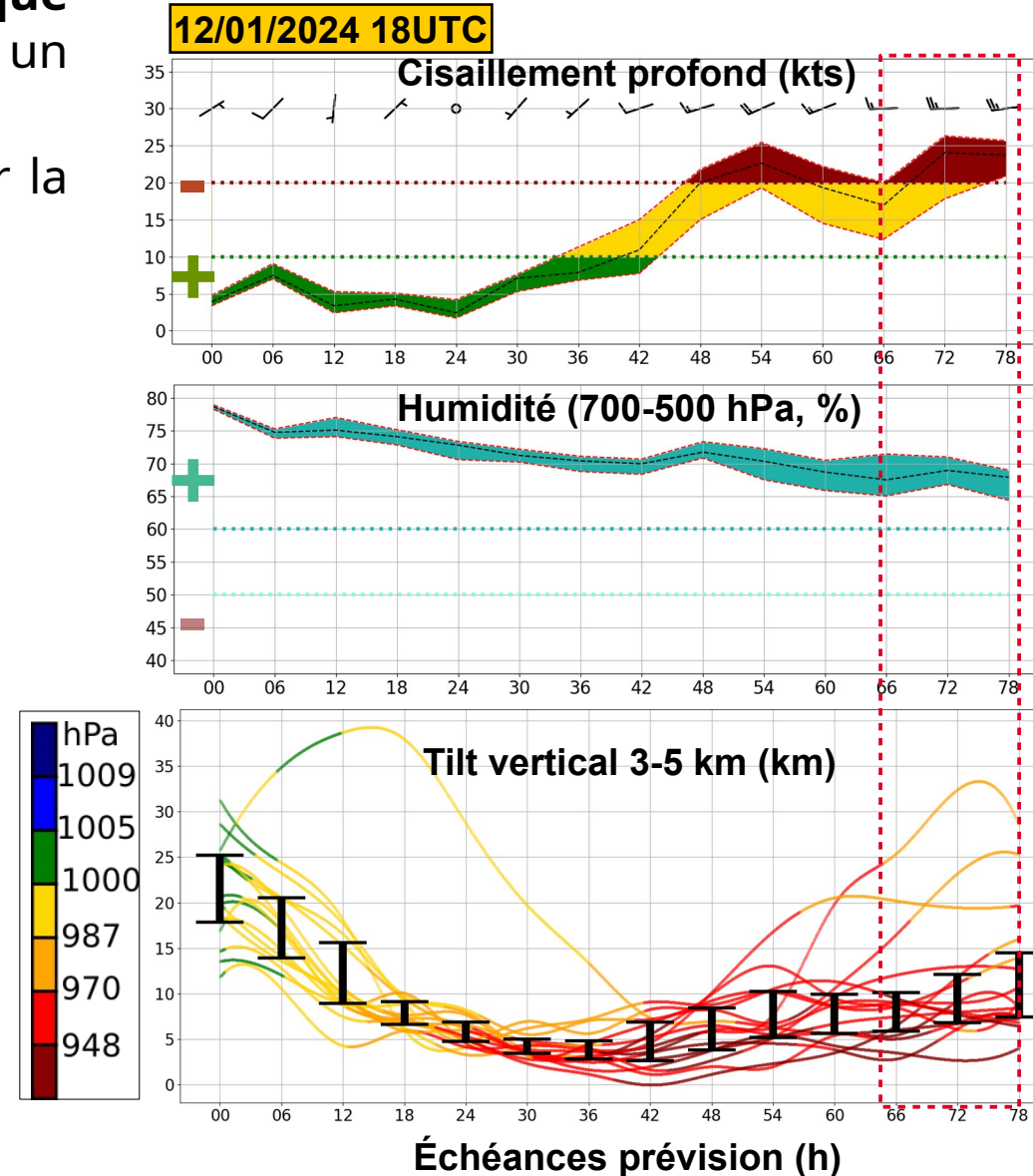


Les conditions semblaient très propices à son intensification...

- Des valeurs importantes de **contenu énergétique océanique** : $\sim 80-100 \text{ J.m}^{-2}$ capables de soutenir un CTI
- Peu (ou pas) d'impact de ce contexte cisailé sur la **structure cyclonique**.



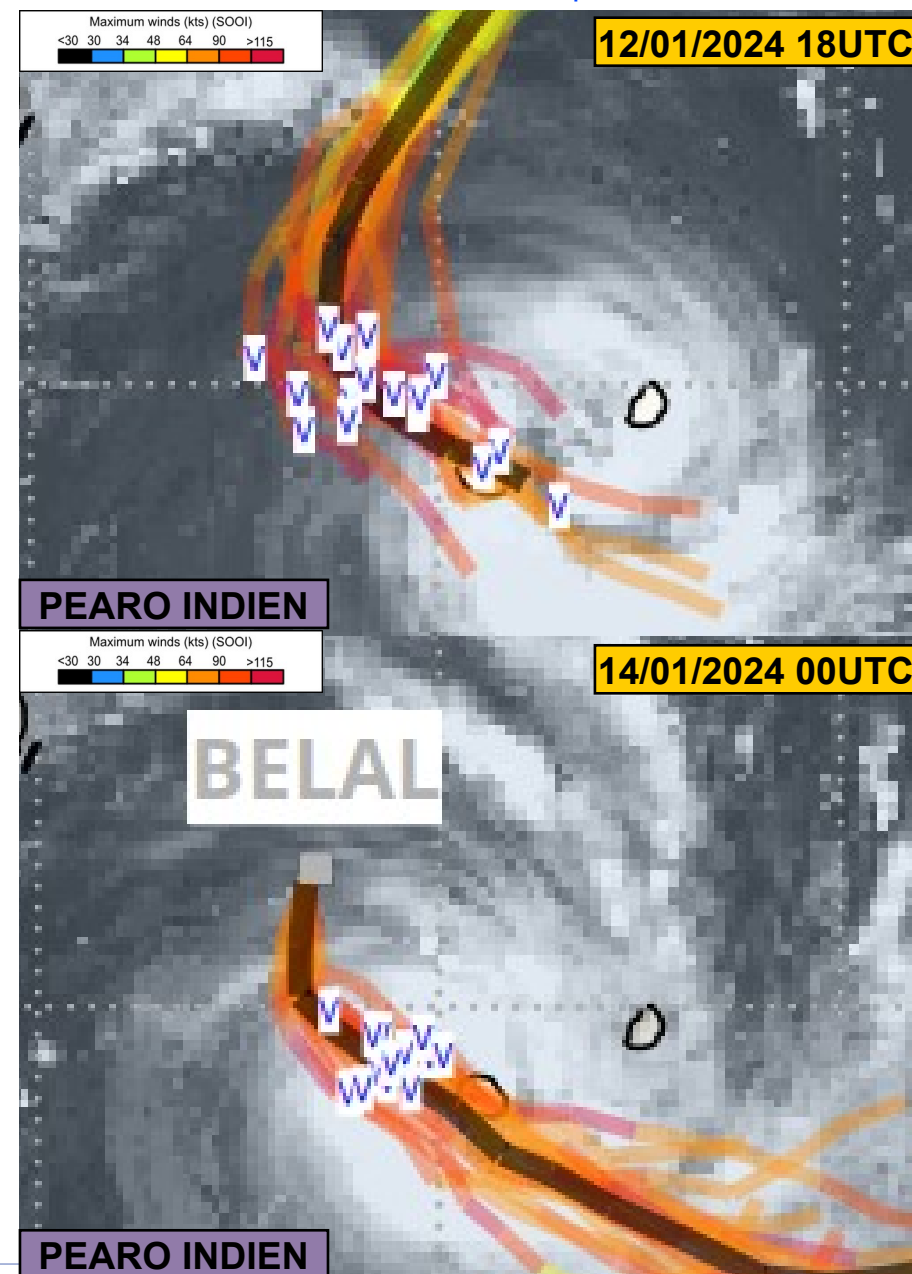
Diagnostics PEARO INDIEN



Le scénario du pire était même sérieusement envisagé...

Validité pour le 15/01/24 06UTC

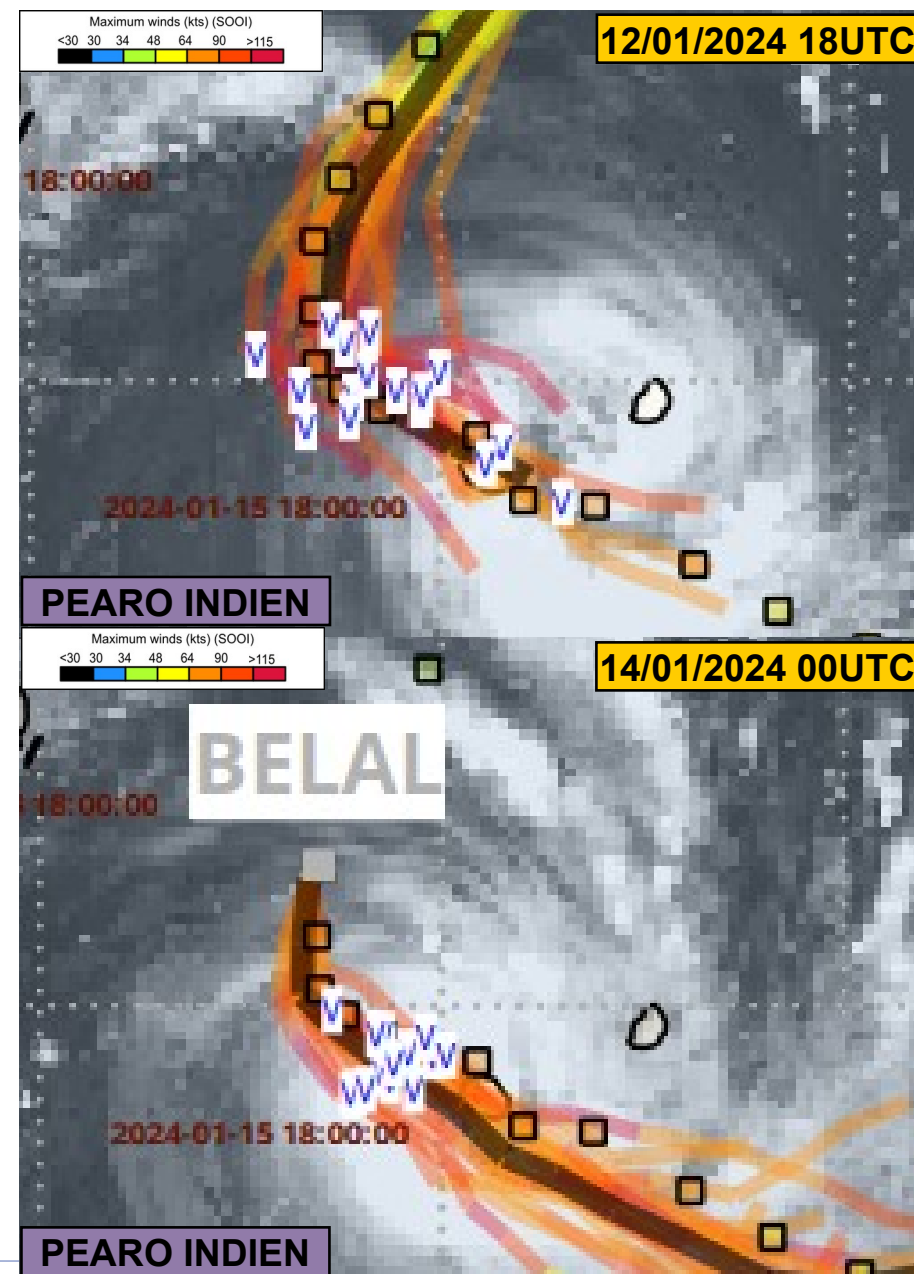
- Les dernières prévisions des ensembles fins (PEARO) font peser le **risque très important** d'un **CTI** sur ou à proximité immédiate de **La Réunion**.



Fort heureusement le scénario de CTI ne s'est en réalité pas produit...

Validité pour le 15/01/24 06UTC

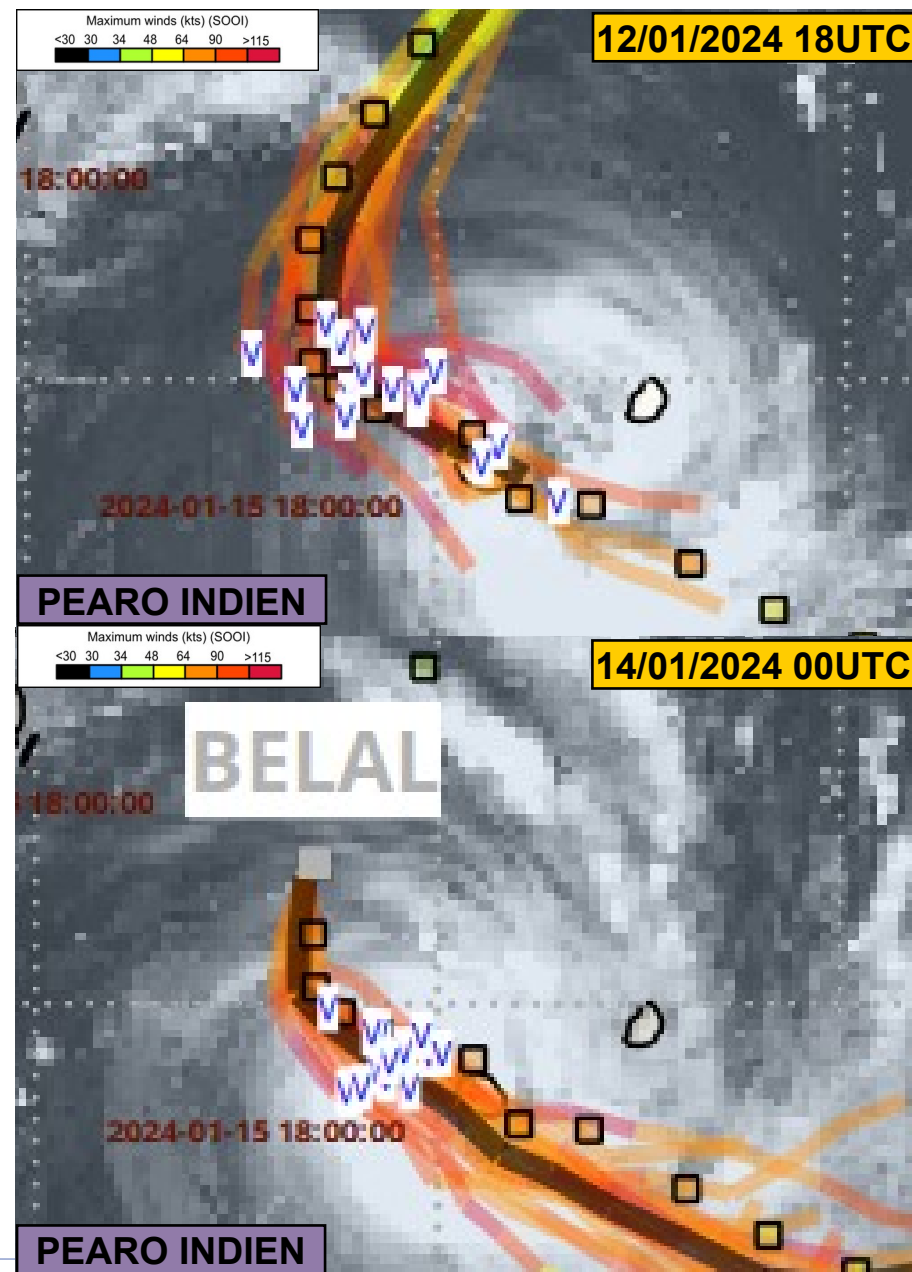
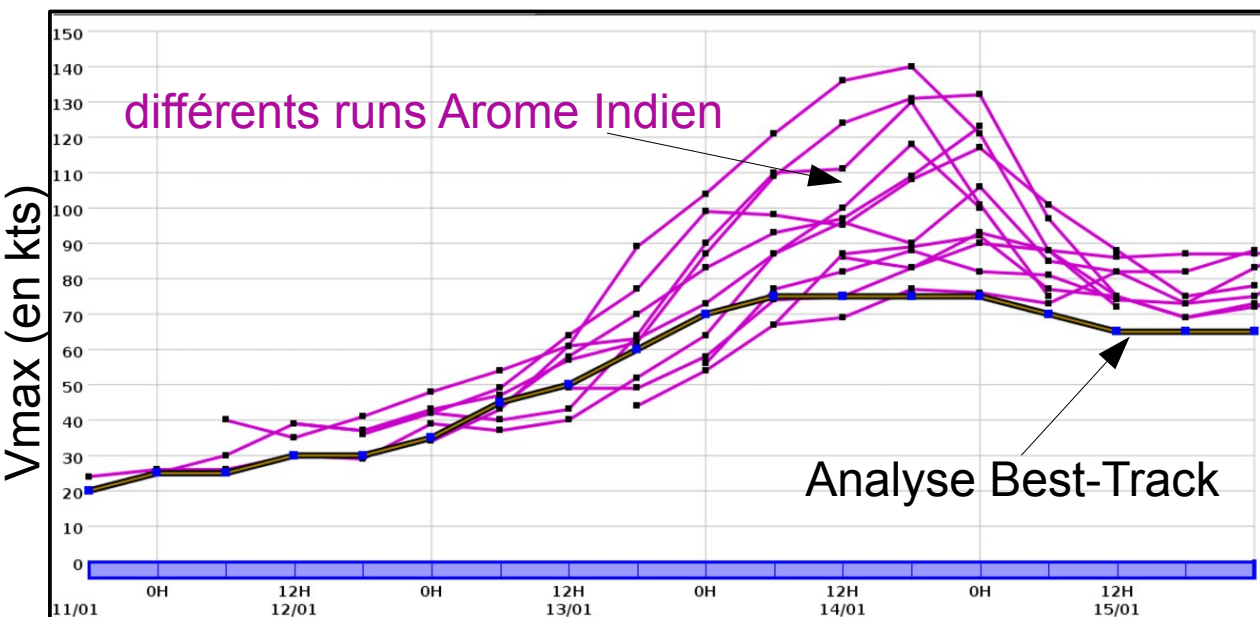
- Les dernières prévisions des ensembles fins (PEARO) font peser le **risque très important** d'un **CTI** sur ou à proximité immédiate de **La Réunion**.
- Si la **trajectoire** s'est globalement avérée **exacte**, l'intensité de BELAL a été bien moindre qu'anticipée.



Fort heureusement le scénario de CTI ne s'est en réalité pas produit...

Validité pour le 15/01/24 06UTC

- Les dernières prévisions des ensembles fins (PEARO) font peser le **risque très important** d'un **CTI** sur ou à proximité immédiate de **La Réunion**.
- Si la **trajectoire** s'est globalement avérée **exacte**, l'intensité de BELAL a été bien moindre qu'anticipée.
- Les prévisions **AROME déterministe** ont été les plus (**trop**) **pessimistes**.



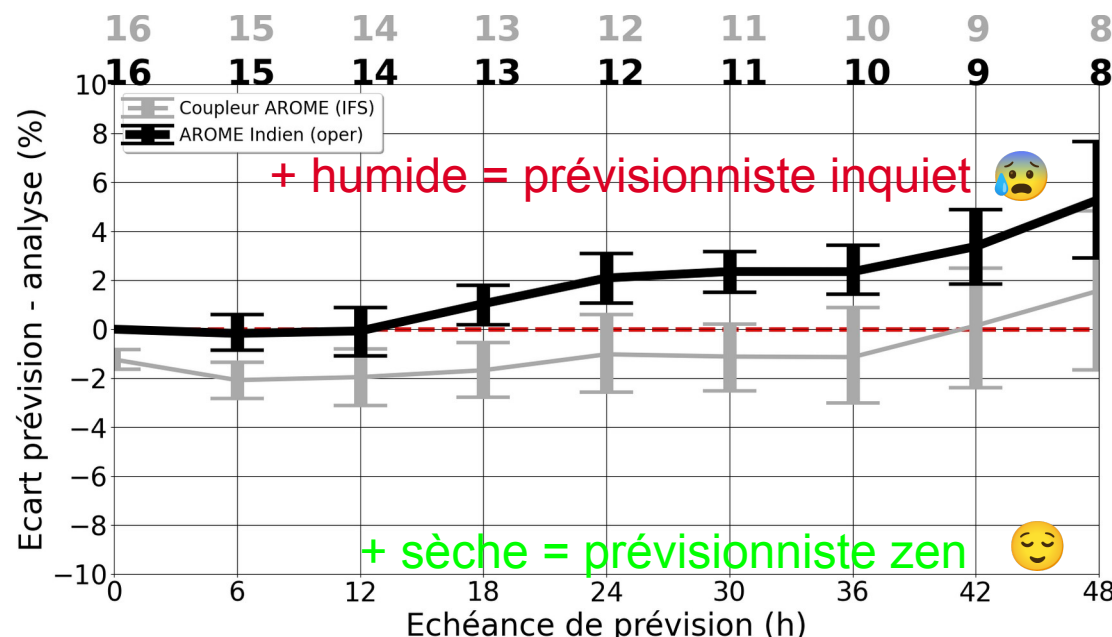
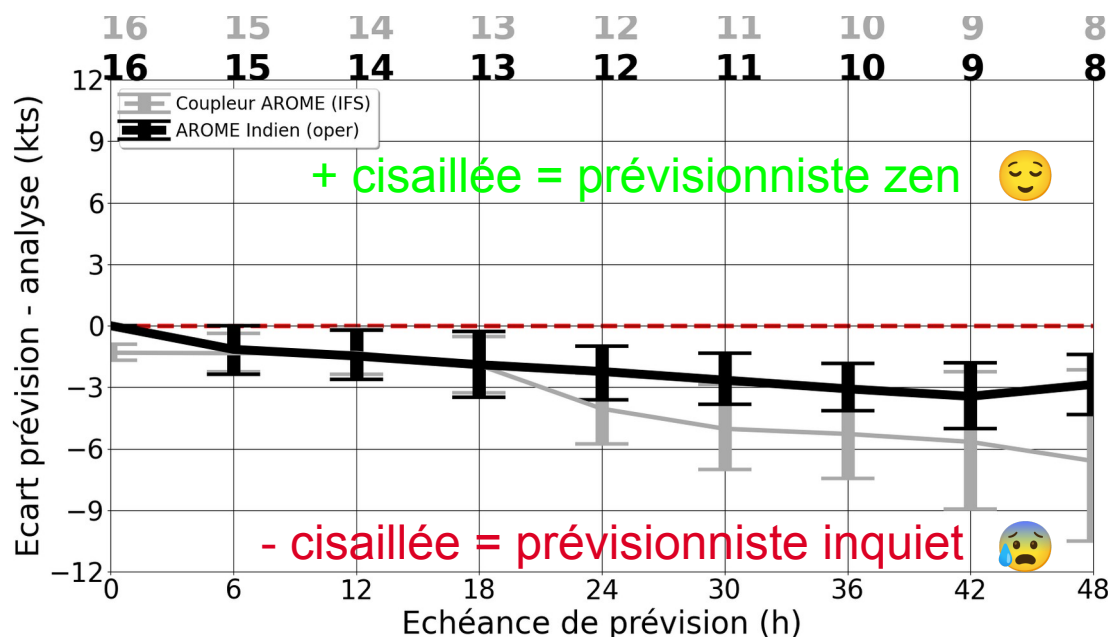
Quelles ont été en réalité les contraintes sur la structuration de BELAL (phase de gènèse) ?

- Des **écarts** entre **prévision** et **analyse** sur les diagnostics d'environnement ont été calculés, du 13/01/2024 00 UTC au 16/01/2024 18 UTC.
- Les prévisions montrent des conditions **plus favorables** à l'intensification vs. l'analyse (environnement **peu cisailé** et **plus humide**).
- AROME** semble simuler un environnement plus **contraint par le cisaillement** → bénéfice des petites échelles lors de l'analyse incrémental (IAU) ?

Cisaillement profond (kts)

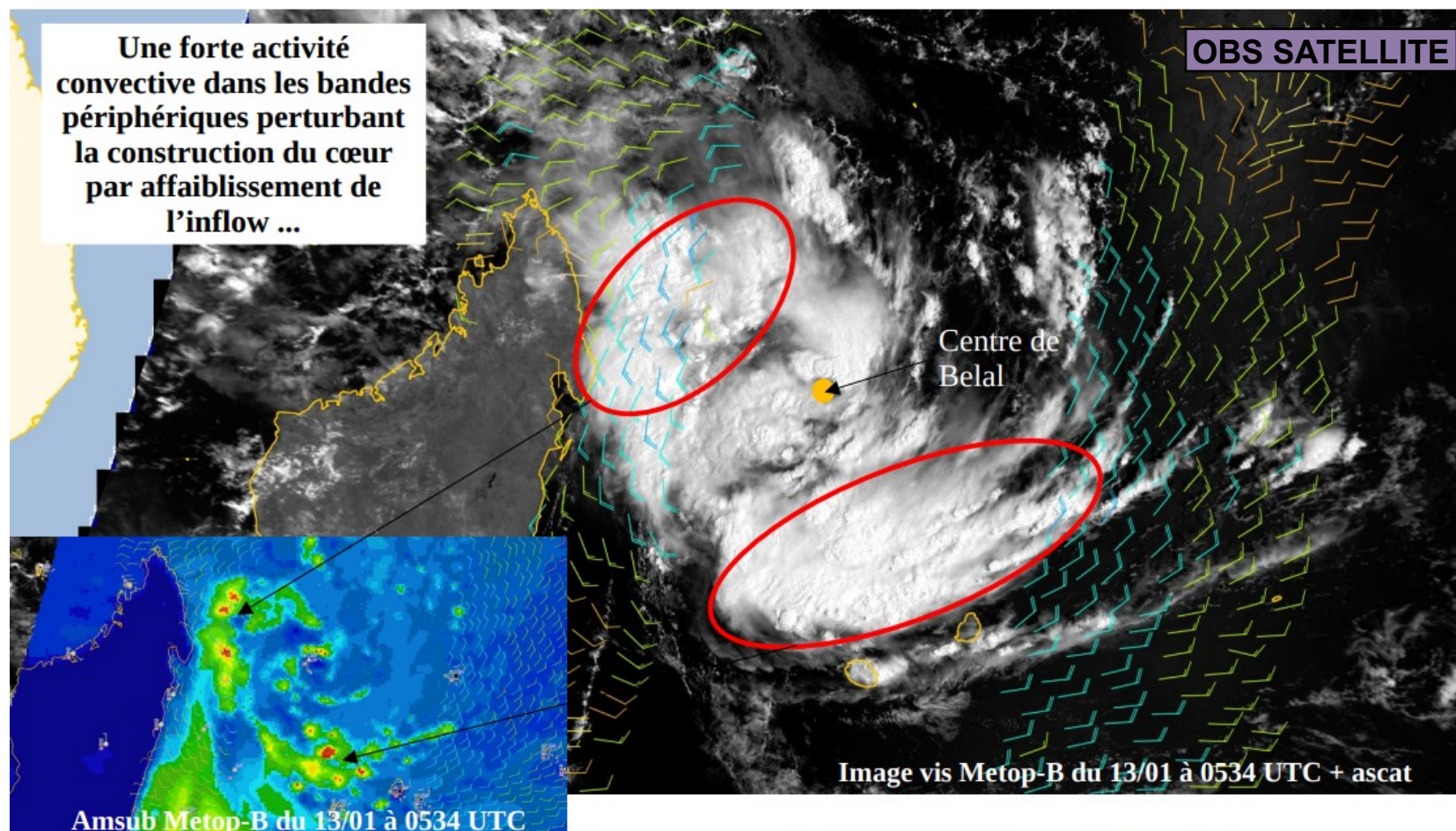
Prévisions Arome

Humidité environnement (700-500 hPa, %)



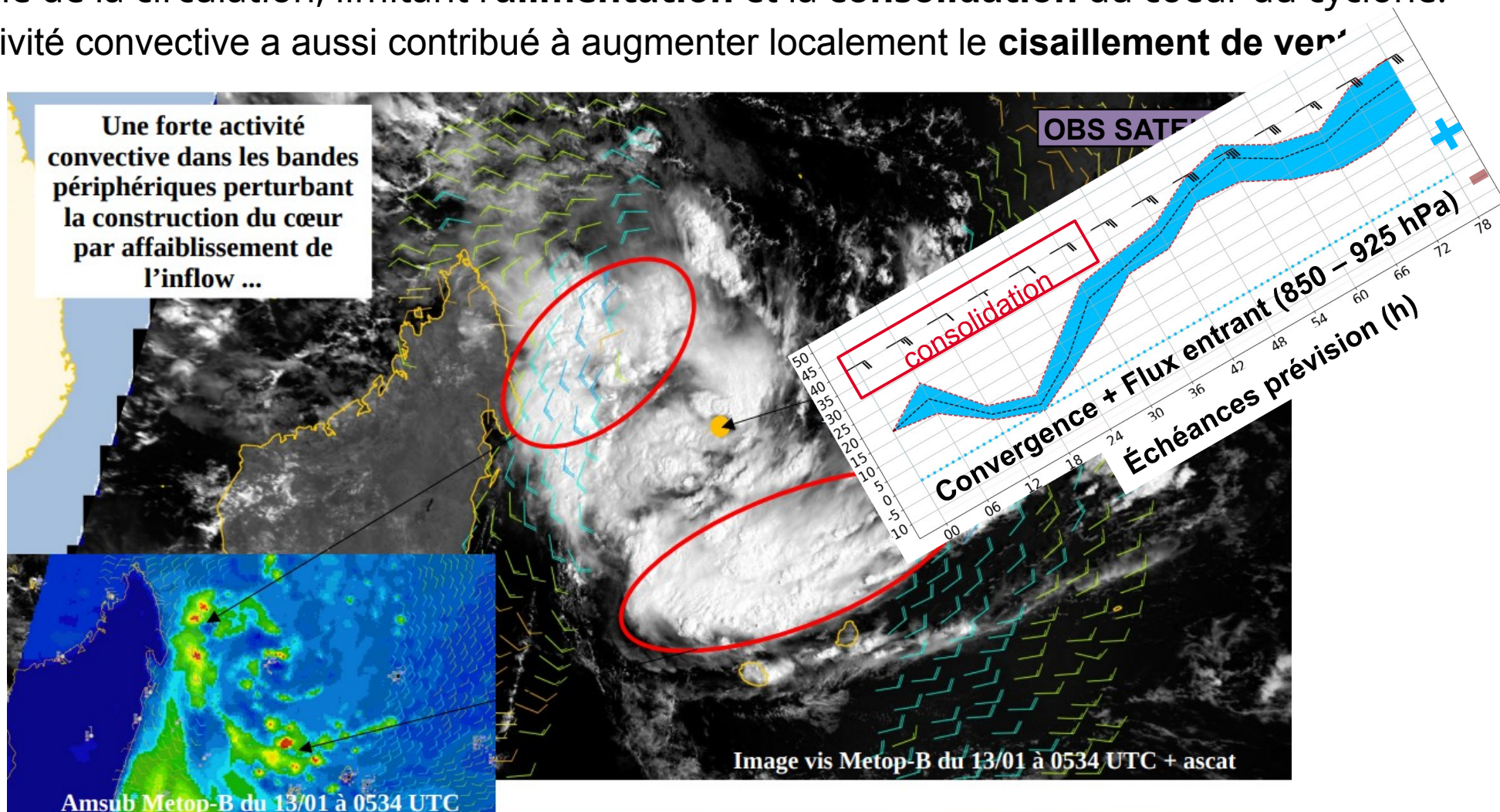
Quelles ont été en réalité les contraintes sur la structuration de BELAL (phase de génèse) ?

- La **phase de génèse** de BELAL a été perturbée par une **forte activité convective** en périphérie de la circulation, limitant l'**alimentation** et la **consolidation** du coeur du cyclone.
- Cette activité convective a aussi contribué à augmenter localement le **cisaillement de vent**.



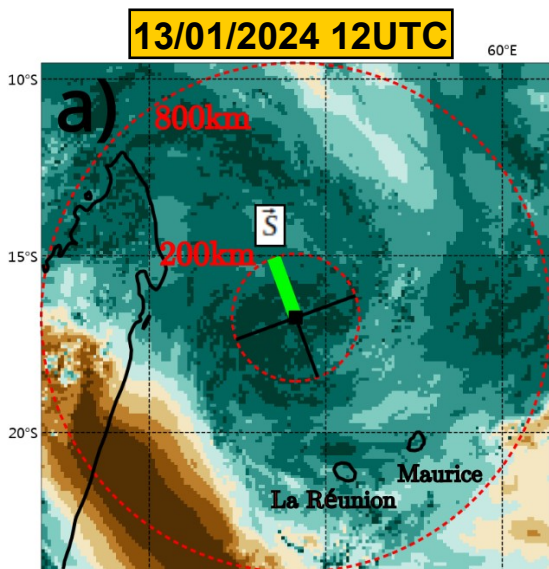
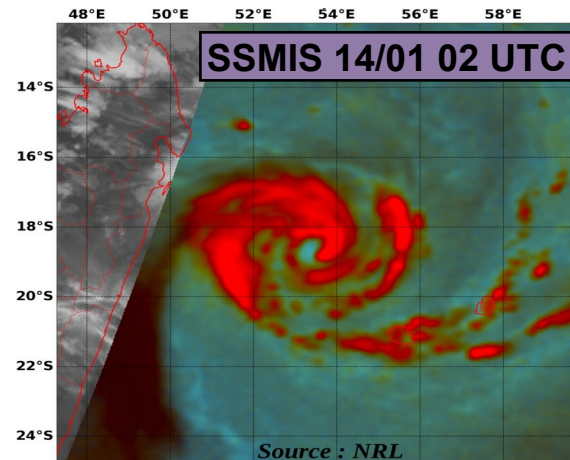
Quelles ont été en réalité les contraintes sur la structuration de BELAL (phase de génèse) ?

- La **phase de génèse** de BELAL a été perturbée par une **forte activité convective** en périphérie de la circulation, limitant l'**alimentation** et la **consolidation** du coeur du cyclone.
- Cette activité convective a aussi contribué à augmenter localement le **cisaillement de vent**

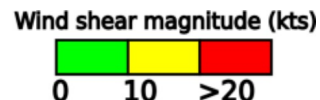
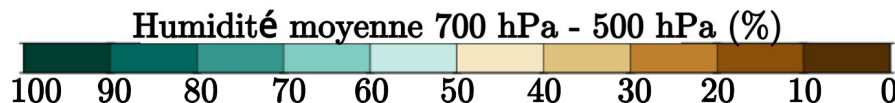


Une intrusion sèche par la suite dans le cœur de BELAL ?

- Une fois la phase de génèse et de consolidation passées, BELAL était sur le point de démarrer une **période d'intensification** (**symétrisation** de la convection, **mur de l'œil** partiel).

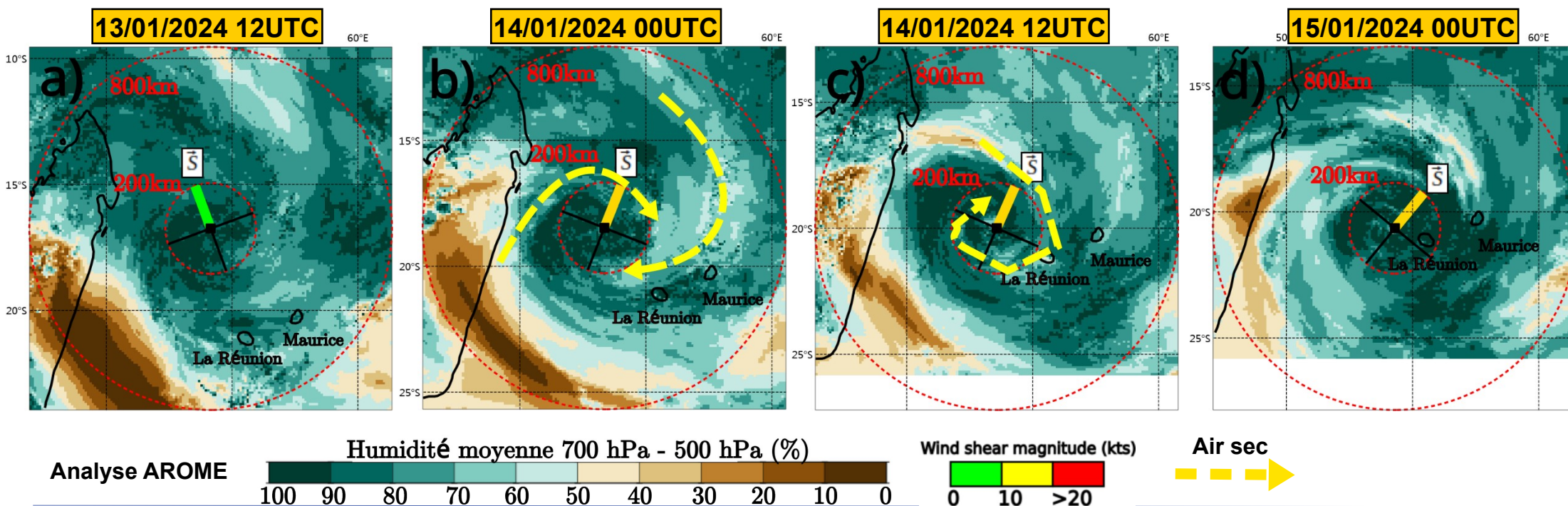
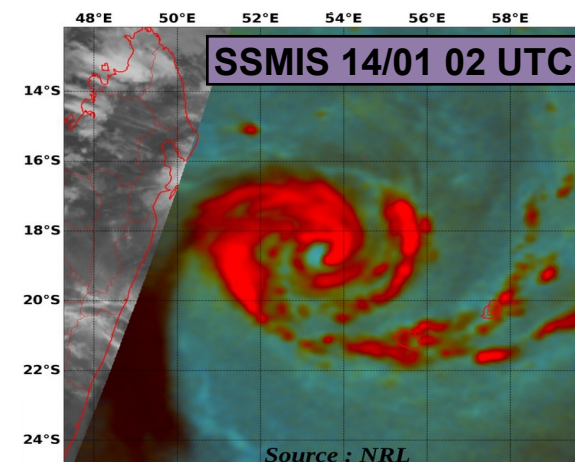


Analyse AROME



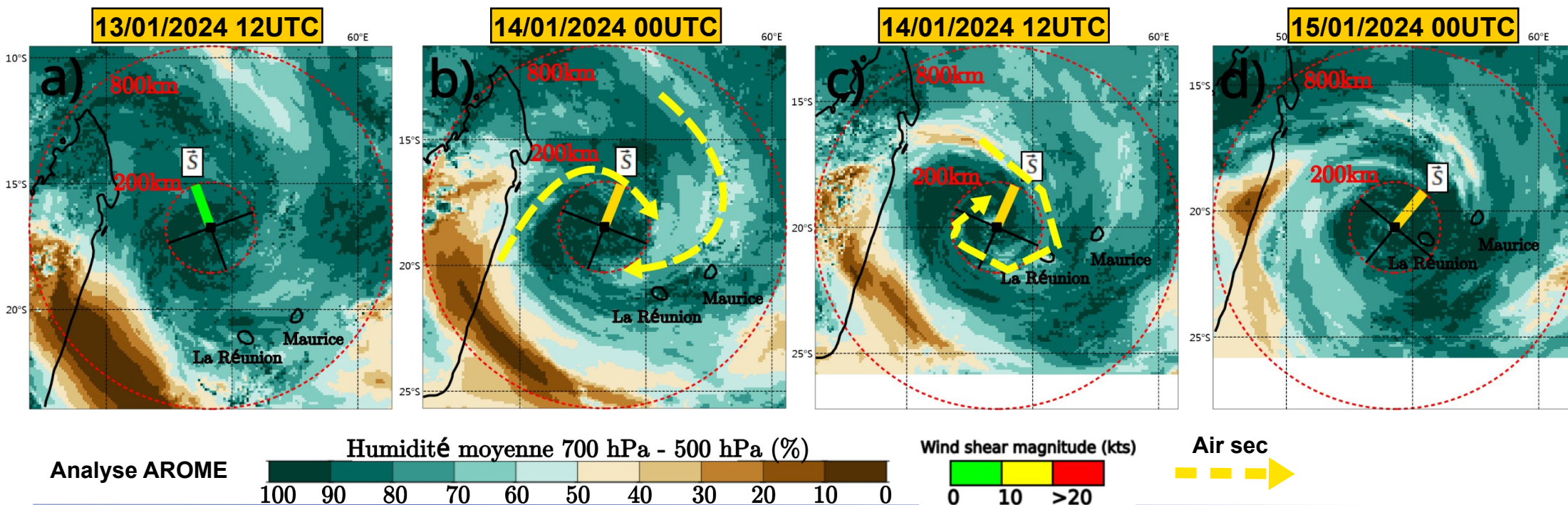
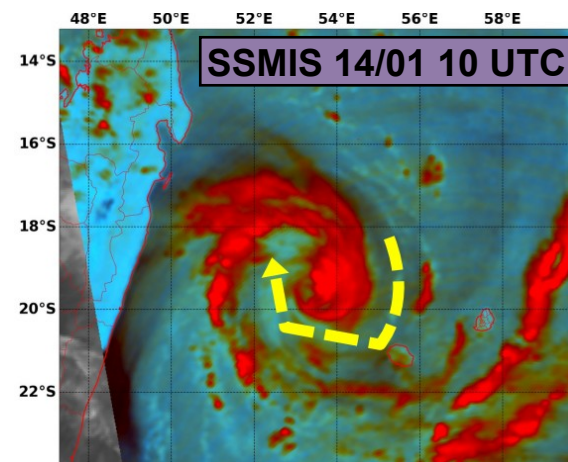
Une intrusion sèche par la suite dans le cœur de BELAL ?

- Une fois la phase de génèse et de consolidation passées, BELAL était sur le point de démarrer une **période d'intensification (symétrisation de la convection, mur de l'œil partiel)**.
- Présence d'une **bande d'air relativement sec** ($Hu < 50\%$), s'enroulant cycloniquement puis arrivant dans le cœur de BELAL.
- Mécanisme très similaire à la « **radial ventilation** » : **transport horizontal d'air d'environnement dans un contexte cisailé**.



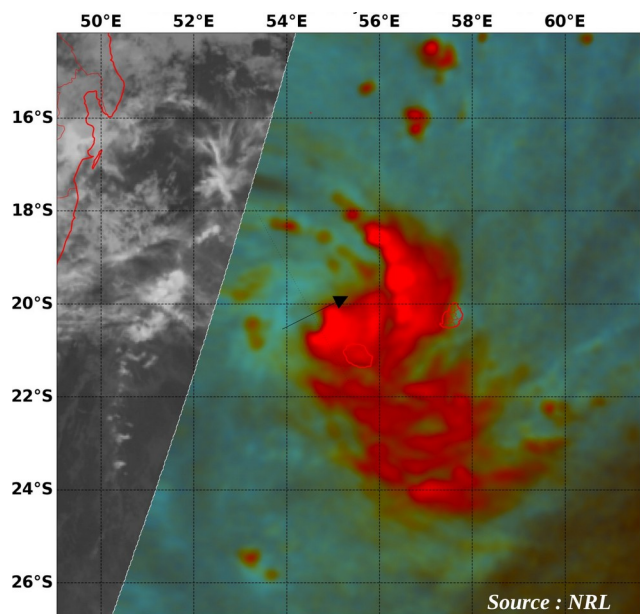
Une intrusion sèche par la suite dans le cœur de BELAL ?

- Une fois la phase de génèse et de consolidation passées, BELAL était sur le point de démarrer une **période d'intensification (symétrisation de la convection, mur de l'œil partiel)**.
- Présence d'une **bande d'air relativement sec** ($Hu < 50\%$), s'enroulant cycloniquement puis arrivant dans le cœur de BELAL.
- Mécanisme très similaire à la « **radial ventilation** » : **transport horizontal d'air d'environnement dans un contexte cisailé**.

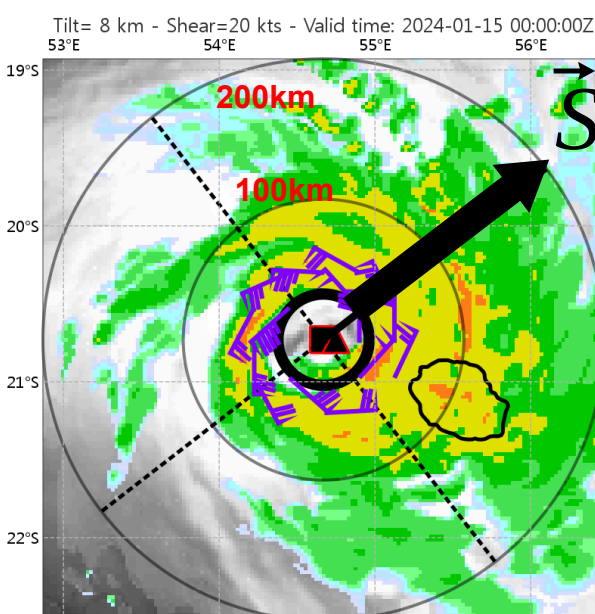


Une structure très asymétrique dans la phase d'approche vers La Réunion

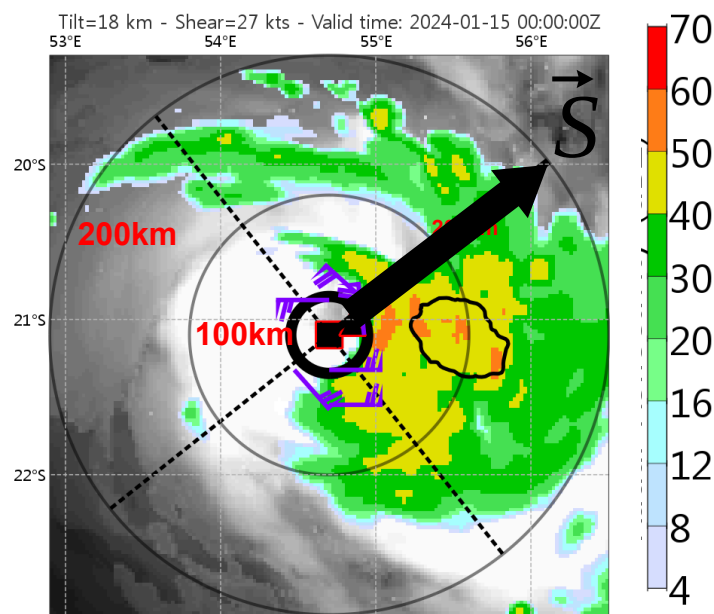
- Dans sa **phase d'approche** vers La Réunion, le cisaillement d'ouest à sud-ouest se renforce comme prévu et décale l'essentiel de l'**activité convective** dans le **quadrant sud-est** (vers La Réunion).
- Encore une fois les prévisions AROME déterministe avaient un cyclone trop intense, ne subissant pas assez les **contraintes du cisaillement de vent**. Les solutions **médiane-q75** des distributions d'**asymétries** de la PEARO apparaissent **plus réalistes**.



SSMIS 15/01 02 UTC



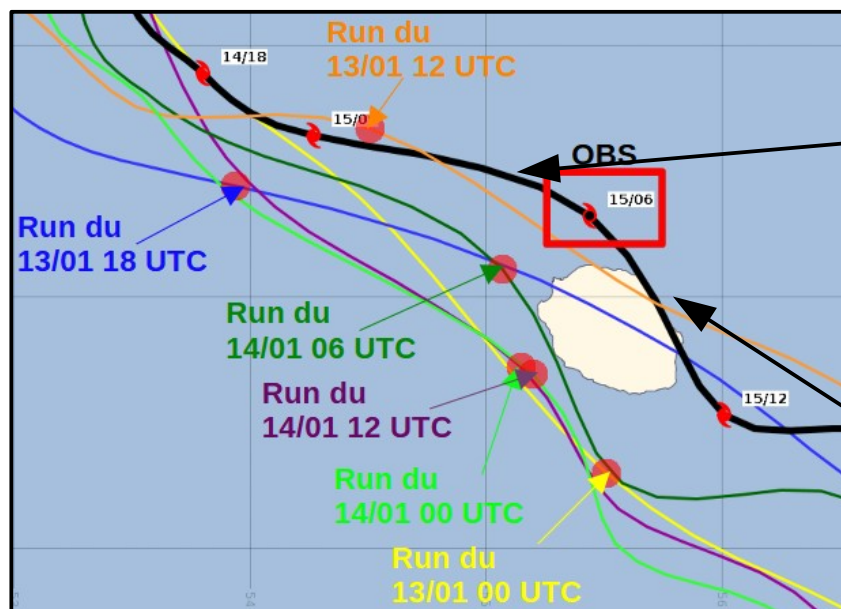
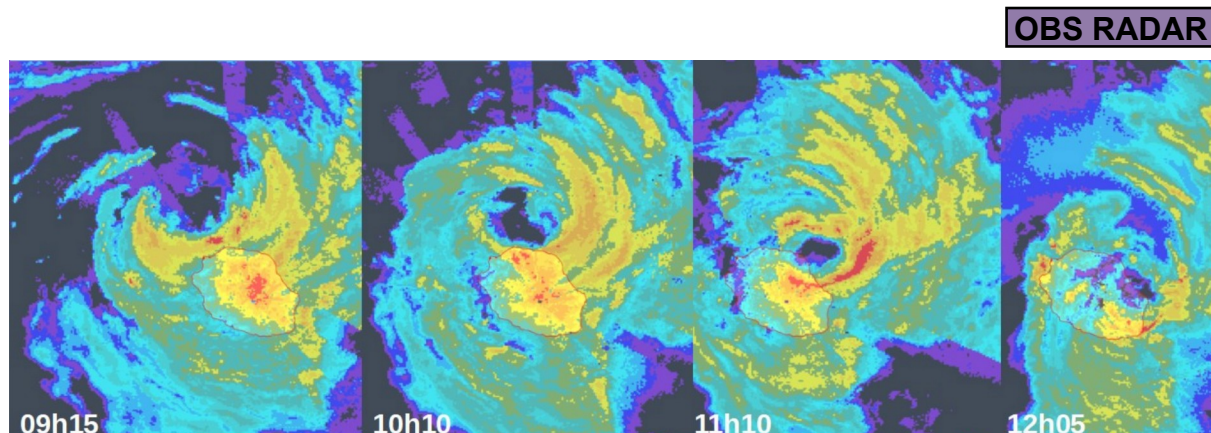
ARO déterministe



PEARO médiane-q75 asymétrie

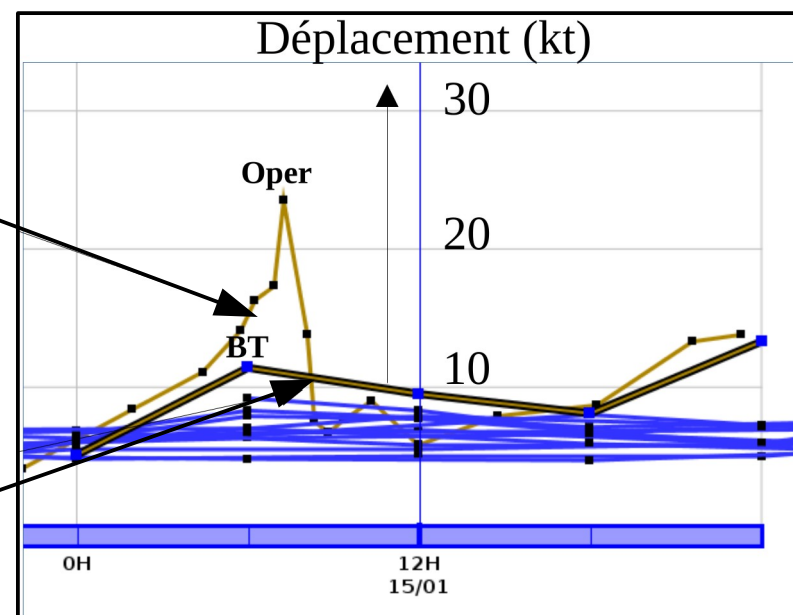
Trajectoire fine lors de l'atterrissage sur l'île de La Réunion

- La question de la trajectoire précise du système à l'approche et au passage potentiel sur l'île s'est révélée difficile à traiter → les **données radar** ont permis un suivi précis !
- Similaire au schéma conceptuel proposé par *Barbary et al (2019)* : **aspiration** du vortex avec **accélération** en amont de l'île, puis **ralentissement** et inflexion de la trajectoire sous le vent.
- Peu de prévisions AROME montraient le **bon angle d'approche...**



accélération

ralentissement



Conclusions et perspectives

- Grâce aux modèles, les prévisionnistes ont pu anticiper la prédominance d'un **scénario impactant pour La Réunion**.
- Cependant, la prévision de la trajectoire fine sur La Réunion a été **rendue difficile** en raison de la **forte variabilité** des prévisions (au nord ou au sud de l'île avec des impacts très différents).
- **Très peu de prévisions** AROME donnaient le bon scénario de trajectoire : **accélération** et **déviations** vers l'est, puis **ralentissement** sur le relief. D'autres éléments (structure **région œil - mur de l'œil**) auraient pu influencer la trajectoire et interagir avec le relief ?
- L'intensification du cyclone à l'approche de La Réunion a été assez fortement **surestimée**.
- Quels seraient les **coupables** ! ? → une **forte activité convective périphérique** lors de la génèse + une **possible intrusion d'air sec** dans le cœur cyclonique mal appréhendées par les modèles. On ne peut exclure un lien avec le modèle lui-même (physique) et/ou la représentation du couplage océan-atmosphère ?
- Des **travaux à venir** seront menés au LACy et au CNRM pour confirmer/infirmes ces hypothèses.