

Apport du modèle AROME dans la prévision de pluies convectives : « Retour d'expérience »

F. ABANE¹, Hakim ABANE^{1*}, Abdenour AMBAR²

Résumé

Du 18 au 19 octobre 2007, suite à l'épisode de pluies diluviennes qui a affecté le sud-ouest algérien, il a été enregistré 98,1 mm de pluie à la station de Ain-Sefra ; une valeur qui dépasse la normale mensuelle. L'analyse des conditions météorologiques à l'origine de ce temps sévère par le biais du modèle global ARPEGE et le modèle à aire limitée ALADIN-Algérie, montre que les conditions propices au développement d'orages étaient partiellement réunies durant la période mais les deux modèles sous-estiment fortement les quantités de pluies observées. Une simulation avec le prototype AROME-Algérie a montré la capacité de ce dernier à estimer les pluies convectives.

Mots Clés:

ARPEGE — ALADIN Algérie — Prototype AROME Algérie — Pluies convectives

¹ Institut Hydrométéorologique de Formation et de Recherches (IHFR), Oran, Algérie

² Office national de météorologie (CNPM-ONM), Dar El Beida, Alger

*Correspondant: hakim73_a@yahoo.fr

1. Contexte synoptique

Du 2017-10-18 au 2017-10-19, une configuration classique appelée situation en Ω (succession d'Ouest en Est, de type dépression-anticyclone-dépression, les isolignes forment schématiquement un Ω) s'étend entre $30^{\circ}W$ et $30^{\circ}E$ (figures 1-2).

A $500hPa$, un profond thalweg s'étendant du nord de l'Italie vers le sud du Maroc, génère un flux chaud de sud-ouest s'étendant de la région de Tindouf jusqu'aux régions côtières du pays. Cette configuration se retrouve également au niveau $850hPa$, engendrant ainsi une très forte advection d'air chaud sur ces régions. Le système a évolué d'ouest en est tout en s'enfonçant vers le nord de la Mauritanie, ce qui a favorisé l'advection d'air froid relatif vers le Bécharois et l'Atlas Saharien. En surface, un marais barométrique s'étend de la région de Naâma jusqu'au sud de l'Italie.

Ceci, dénote que le forçage dû au relief a joué un grand rôle dans l'amorçage de l'instabilité latente qui est relativement forte (-10) (figure 6). De plus, l'advection d'humidité dans les bas niveaux de la couche $1000hPa - 850hPa$, qui était déjà proche de la saturation (figure 3), a d'une part permis le renforcement de l'instabilité latente et a d'autre part permis à la particule d'atteindre son niveau de convection libre. Ces deux effets conjugués ont permis le maintien du flux d'humidité, dans les basses couches, et donc le renforcement des précipitations dues aux cellules orageuses en renouvellement.

Ce type de circulation atmosphérique de grande échelle en Ω est bien connu pour sa stabilité dans le temps (sa durée de vie est de plusieurs jours). Les éléments sont ainsi réunis pour la mise en place d'une situation très favorable à un épisode perturbé [Ducrocq et al. \(2003\)](#).

En surface, le 2017-10-18-00:00 la situation est caractérisée par une sorte de marais barométrique, s'étendant du sud de l'Italie au Maroc voir l'ensemble de la méditerranée occidentale.

L'évolution de la situation en surface ne marque pas de changements importants, le marais barométrique a

constitué la signature des conditions en surface (figure 2).

La vitesse verticale

Au niveau $850hPa$, l'analyse du champ des vitesses verticales synoptiques du 2007-10-18-00:00 (figure 4) montre plusieurs noyaux d'ascendance correspondant au soulèvement en bloc de l'air chaud dans le système orageux, le premier est situé sur le sud-est du Maroc et le sud-ouest de l'Algérie, le second sur le nord du Sahara, et le troisième sur le nord de la Libye, avec un maximum de $-0,4Pa/s$ observé sur le sud-est de l'Algérie. Le 2007-10-18-06:00 les noyaux situés sur la Libye et le sud de l'Algérie se sont renforcés en passant à $-0,8Pa/s$ et ont pris par la suite une extension plus importante en gagnant des régions plus au nord algérien. Les différents noyaux sont séparés par de zones de coupure correspondant à des zones de subsidence sur ces régions.

Au niveau $500hPa$ on retrouve également un certain nombre de noyaux d'ascendance mais ne sont pas tout à fait sur la même zone géographique, le plus marquant c'est celui développé sur le sud du Maroc qui se renforce avec le temps en même temps qu'un autre noyau apparaît sur l'est du pays le 2007-10-18-06:00, l'évolution montre la disparition complète de ces noyaux pour les échéances qui ont suivies jusqu'au 2007-10-19-00:00 où un noyau d'ascendance se forme sur les régions intérieures de l'Algérie en s'intensifiant et se dirigeant plus au nord (figure 5) et se décalant vers l'est.

Instabilité latente et potentielle

Le paramètre INLAT constitue un indice d'instabilité latente utilisant la température potentielle équivalente saturée comme base de calcul. Les valeurs fortement négatives dénotent une instabilité très forte.

Le 2007-10-18-00:00 (figure 6), l'examen du champ de l'INLAT de la couche $1000hPa - 850hPa$ montre une instabilité latente assez forte sur tout le bassin méditerranéen où on observe des valeurs qui varient entre 0 et -5 dénotant ainsi la présence d'une forte instabilité latente dans les bas niveaux.

Cette situation a évolué d'une façon importante à partir du 2007-10-18-06:00, des noyaux présentant des valeurs de l'INLAT de -10 apparaissent sur les régions ouest et est du pays, cette zone d'instabilité a concerné également certaines régions de l'intérieur y compris les régions du sud-ouest algérien. Par la suite, la situation n'a pas beaucoup évolué du point de vue instabilité à part un léger renforcement entre le 2007-10-18-12:00 et 2007-10-18-18:00, on retrouve toujours les noyaux d'instabilité latente mais avec une zone de couverture assez étendue, ceci est à relier à la forte humidité observée à $1000hPa$ et à $850hPa$ où elle a bien dépassé 90%, une des causes de l'augmentation de l'instabilité latente.

L'instabilité présente aux bas niveaux ne s'observe pas avec la même ampleur et elle n'est pas centrée sur les mêmes régions dans les couches moyennes.

Analyse du champ de la θ'_w

La valeur de ce paramètre informe sur le caractère chaud et humide de la particule d'air. La valeur est donc d'autant plus élevée que la particule est chaude ou humide [Bergaoui \(2007\)](#).

L'analyse des cartes de la θ'_w à $1000hPa$ montre des valeurs relativement importantes sur toutes les régions du bassin méditerranéen avec un maximum sur le nord de la Libye, le sud de la Tunisie et le sud-est de l'Algérie. Les noyaux de fortes valeurs continuent à s'advecter vers l'ouest pour atteindre le sud-ouest algérien le 2007-10-18-18:00, elles sont de l'ordre de $16^\circ C$ voir plus sur Béchar montrant ainsi l'advection d'air chaud et humide (instable) d'après les prévisions ALADIN.

Il est à remarquer que les valeurs de θ'_w supérieures à $16^\circ C$ sont considérées par les prévisionnistes de Météo-France, comme un seuil de mise en vigilance quant à l'évolution d'une situation orageuse. Mais il faut préciser que ces seuils ont des valeurs subjectives qui dépendent essentiellement de l'expérience des prévisionnistes et des effets locaux de la région considérée [Bergaoui \(2007\)](#).

En considérant le champ de la θ'_w de la couche à la $700hPa$ et celui de la $500hPa$ (non montrés), on remarque que les valeurs de la θ'_w sont restées au delà de $14^\circ C$, ceci est particulièrement vrai entre 2007-10-18-12:00 et 2007-10-18-12:00.

Pour aller plus loin que les conditions thermiques de basses couches, on a analysé le radiosondage de la même situation (figure 8).

L'examen du radiosondage prévu par ARPEGE (pour l'échéance +12h) montre une structure instable avec un cisaillement vertical en basse couche de l'ordre de $10m/s$ devenant plus important en altitude. Ce type de configuration est favorable à une structure multicellulaire d'un système orageux. Les valeurs de cisaillement requises pour la formation d'un tel système sont de l'ordre de $10-20m/s$ sur la couche $0m-3000m$. Ainsi, les ascendances vont pouvoir se maintenir plus longtemps [Calas \(2013\)](#).

Analyse des précipitations

Concernant le cumul de précipitations estimé par le modèle ALADIN. Le modèle indique une vaste zone de précipitations faibles et dispersées, affectant le domaine d'intérêt sans être localisée sur la région du sud-ouest algérien.

Les champs de précipitations proposés donc par le modèle à l'échelle synoptique ne reflètent pas une image de la quantité de précipitations observée, ce qui peut laisser penser à une origine de petite échelle des cumuls observés. Le modèle ALADIN arrive à développer des orages violents l'après-midi mais sous-estime les valeurs de pluies. D'où le rôle décisif d'un modèle tel que AROME qui décrit beaucoup mieux les reliefs [Audard-Vincendon \(2010\)](#).

Analyse du champ de la CAPE

La CAPE représente l'énergie potentielle susceptible d'être transformée en énergie cinétique pour les ascendances. L'accélération verticale de la particule est d'autant plus importante que la CAPE est élevée. Notons que les ascendances d'échelle synoptique contribuent à augmenter la valeur de la CAPE [Calas \(2013\)](#).

L'analyse du champ de la CAPE (figure 10) montre des faibles valeurs prévues sur la zone d'intérêt n'excédant pas les $900W/m^2$ à Ain-Sefra alors que les valeurs sont beaucoup plus importantes sur Béchar de l'ordre de $1500W/m^2$. La CAPE a diminué fortement au cours des échéances qui ont suivi.

2. Simulation à haute résolution de l'événement

Simulation AROME

La mise en opérationnel du système de prévision numérique AROME nous a donné l'occasion d'évaluer un tel système de prévision à haute résolution pour la prévision des phénomènes de petites échelles.

La principale différence par rapport aux modèles atmosphériques réside dans le fait qu'AROME est doté de son propre système d'assimilation à méso-échelle et dispose donc a priori de meilleures conditions initiales.

Outre l'aspect temps réel, il était donc aussi pertinent d'évaluer si nos conclusions sur l'évaluation des prévisions d'un modèle atmosphérique à la résolution de quelques kilomètres étaient confirmées [Audard-Vincendon \(2010\)](#) [Domingues Ramos \(2002\)](#).

Précipitations simulées

La figure 9 présente les cumuls des précipitations simulées par le modèle aux mêmes échéances que celle données par le modèle ALADIN, le modèle concorde très bien avec les observations : il indique une zone de précipitations plus au moins vaste avec un caractère dispersé affectant les régions ouest et centre essentiellement celles de l'intérieur, les pluies les plus importantes sont simulées entre 2007-10-18-18:00 et 2007-10-18-21:00 sur la région du sud-ouest avec un cumul dépassant les 60 mm.

Le cumul simulé à l'échéance +21h montre une couverture spatiale plus importante que celle simulée à +18h ce qui peut justifier les cumuls observés sur les régions voisines. La zone la plus active se situe sur la région du relief comme témoigne l'observation.

Le modèle réussit à reproduire l'organisation des précipitations avec une excellente localisation de celle-ci (figure 9).

Le modèle parvient à reproduire le caractère exceptionnel de l'événement, avec un maximum de précipitations simulées dépassant $100mm$ sur Ain-Sefra. Le cumul le

plus important enregistré par le réseau pluviométrique au cours de l'épisode était de 98.1mm à Ain-Sefra.

Par rapport aux valeurs prévues par les modèles opérationnels, la simulation AROME à haute résolution améliore significativement la prévision des précipitations. En comparant à la même échelle spatiale, la valeur maximale simulée par AROME dépasse largement la valeur maximale simulée par ALADIN.

On constate, d'une façon générale, qu'ils sont bien reproduits par la simulation.

En termes de chronologie, la simulation AROME prévoit des précipitations qui ne sont pas du tout détectées par ALADIN.

AROME simule des précipitations avec une structure spatiale qui ressemble beaucoup à celle observée.

Le modèle est capable de localiser les précipitations d'une façon plus réaliste.

La CAPE simulée

Les simulations donnent un bon ordre de grandeur. En outre, les résultats sont très satisfaisants en terme de dynamique : occurrence du pic de ce champ à partir du 18 à 00 heures ce qui apparaît très réaliste mais qui n'a pas duré dans le temps, il n'est observé que pour deux échéances.

Ces résultats démontrent que sur certaines situations, l'utilisation des prévisions AROME conduit à une prévision signalant le risque (figure 10).

On se place dans la configuration simulée, les valeurs données par le champ de la CAPE apparaissent translatées spatialement vers le sud. En utilisant le modèle AROME pour discuter le champ de la CAPE, nous avons certes obtenu une augmentation de la qualité de l'information mais un peu éloignée de l'observation.

La θ'_w simulée par AROME

Le champ de θ'_w à 850hPa simulé par AROME (figure 11) donne une vision assez vaste d'une région fortement instable, une instabilité qui na pas touché seulement les régions sud-ouest mais qui s'est étendue vers le Nord du Sahara.

Notre région d'intérêt observe des valeurs de θ'_w comprises entre 18°C et 20°C, dénotant donc un air fortement chaud et humide au niveau 850hPa, une condition nécessaire pour déclencher une manifestation orageuse.

3. Conclusion

A partir des sorties des modèles opérationnels, nous avons conduit une analyse des conditions météorologiques associées au système convectif. Comme nous allons le détailler, l'étude de cette situation montre que les conditions nécessaires au développement d'un système convectif et stationnaire étaient partiellement réunies dans le sud-ouest de l'Algérie pendant les journées du 18 et le 19 octobre 2007. Ces dernières peuvent être décrites comme suit :

Une circulation d'altitude adéquate : Le système ainsi étudié s'est présenté sous forme ondulatoire d'ouest en est avec une structure allongée qui a stagné sur le sud-ouest pendant plusieurs jours. De plus les ascendances sont renforcées là où on a bien remarqué une vitesse verticale qui croît avec l'altitude.

Une atmosphère faiblement instable : L'examen des champs de l'énergie potentielle convective disponible et de l'instabilité latente indique une atmosphère faiblement instable avec des valeurs de la CAPE pouvant atteindre 1500W/m² mais décalées temporellement, elles n'étaient observées qu'après l'enregistrement des fortes précipitations. et une valeur proche de -10 pour l'INLAT après le passage de l'événement pluvieux, ce qui permet de dire que le maximum d'instabilité a été observé par ALADIN en dehors de la périodes de précipitations importantes.

Une advection d'air chaud et humide en basses couches :

La présence d'air chaud et humide en basses couches, indiqué sur les cartes de géopotential superposées au champ d'humidité constitue un élément moteur qui favorise le déclenchement de l'instabilité convective. Cette zone de forte humidité dépassant dans la plupart des cas les 90% sur le sud - ouest algérien a fait de cette région le siège de formation et du développement de cellules convectives.

Une advection d'air sec en altitude : Une simple comparaison entre le champ d'humidité à 850 hPa et à 700 hPa avec le champ d'humidité à 500hPa montre clairement une diminution nette du taux d'humidité entre les basses couches et les couches moyennes, ceci confirme la présence d'air sec en moyenne troposphère. On peut également détecter la présence d'air sec par la diminution de la theta prime w entre les couches 1000hPa -700hPa et 700hPa - 500hPa.

Une topographie favorable de la région : A toutes ces conditions conjuguées, il faut ajouter la géographie locale et plus précisément le relief. Le relief influe d'une manière importante sur les conditions météorologiques locales. Un des effets les plus marquants de cette influence est le forçage qui déclenche l'ascendance, la distribution spatiale et le renforcement des précipitations.

La simulation AROME : La simulation AROME a montré sa capacité à générer des champs qui reproduisent bien les pluies convectives.

On peut retenir de l'analyse de la situation que les conditions météorologiques régnant au cours de cette période donnent au phénomène un caractère lent et est formé dans une région où l'air chaud et humide de basses couches a rencontré un environnement local favorable constitué par le relief. Le cisaillement du vent observé était suffisant pour permettre la stationnarité des multicellules pendant quelques heures sur la région. Pour ce type d'orage, c'est essentiellement le chauffage des basses couches qui va permettre à l'instabilité convective de se développer. Ce type d'orages s'observe principalement sur le relief dans l'après-midi, s'estompant rapidement au coucher du soleil. Déclenchement dû essentiellement aux convergences créées par les brises de pente et/ou suite à la déviation des vents par le relief.

L'analyse du paramètre θ'_w et des profils verticaux de vent, nous amène à conclure que les conditions perturbées ont été reconnues par les modèles ARPEGE et ALADIN-Algérie sans atteindre l'estimation de l'ampleur de cette manifestation météorologique alors qu'AROME a apporté un plus dans l'estimation des précipitations. De ce fait, l'utilisation conjointe des trois modèles améliore significativement la prévision des pluies.

Références

Audard-Vincendon, B. (2010). *Apport des modèles météorologiques de résolution kilométrique pour la prévision des crues rapides méditerranéennes : vers une prévision d'ensemble des débits en région Cévennes-Vivarais*. PhD thesis, Université de Toulouse, Université Toulouse III-Paul Sabatier.

Bergaoui, K. (2007). Etude de la situation explosive du 13 octobre 2007 et apport du modèle arome.

Calas, C. (2013). *Concepts et méthodes pour le météoro-*

logiste : Les savoirs : modèles conceptuels et données disponibles. Météo-France.

Domingues Ramos, M. H. (2002). *Analyse de la pluviométrie sous des systèmes nuageux convectifs : étude de cas sur des données de la ville de Marseille et de la méthode ISIS de Météo-France*. PhD thesis, Grenoble 1.

Ducrocq, V., Aullo, G., and Santurette, P. (2003). Les précipitations intenses et les inondations des 12 et 13 novembre 1999 sur le sud de la France.

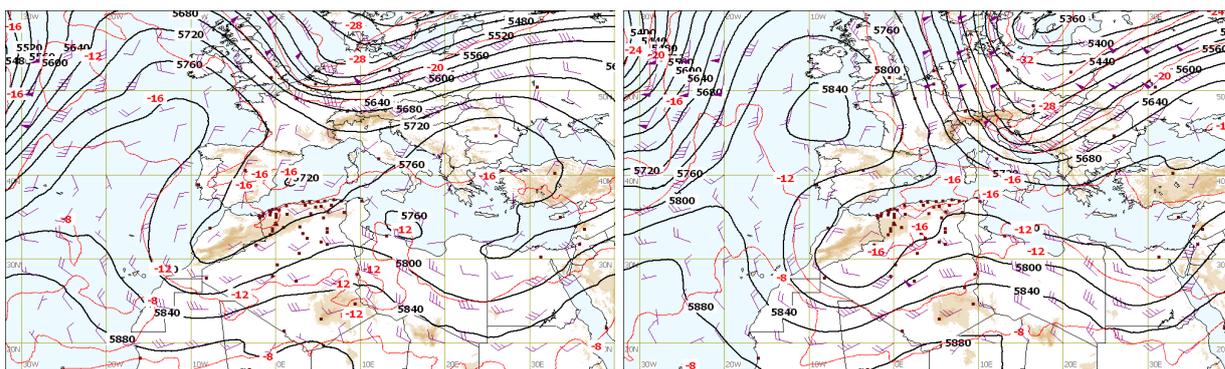


Figure 1. Champ de géopotentiel à 500 hPa : 2007 – 10 – 18 et 2007 – 10 – 19 à 00 UTC

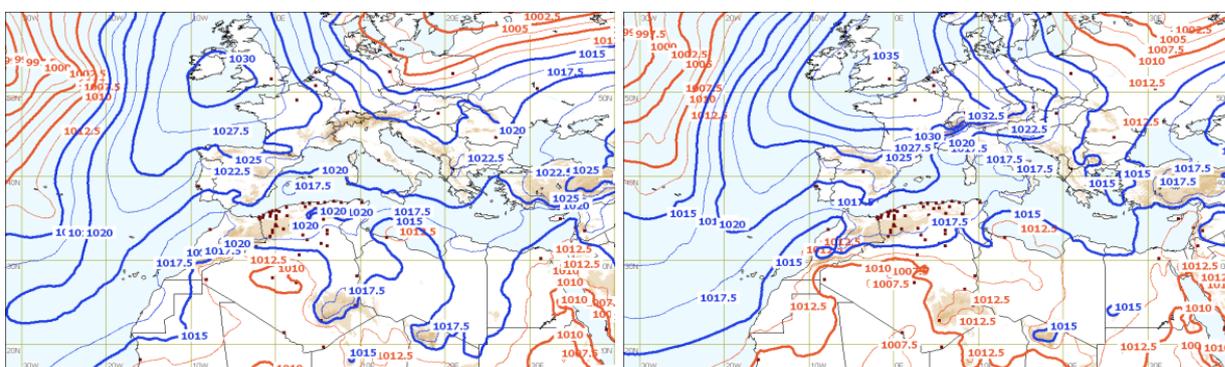


Figure 2. Pression au niveau de la mer (isobares tous les 5hPa du 18 au 19-10-2007

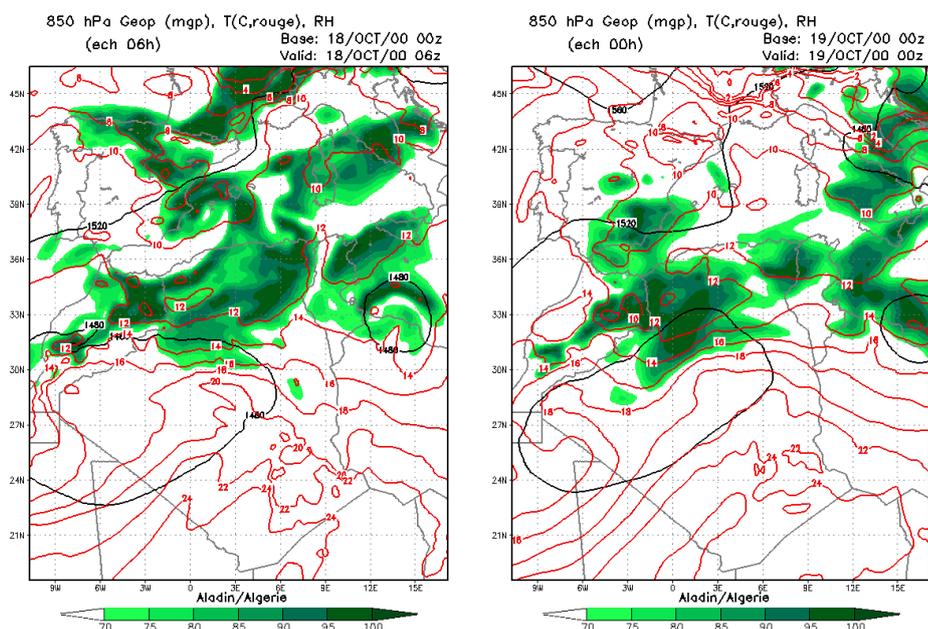


Figure 3. Champ d'humidité, géopotentiel et température à 850hPa

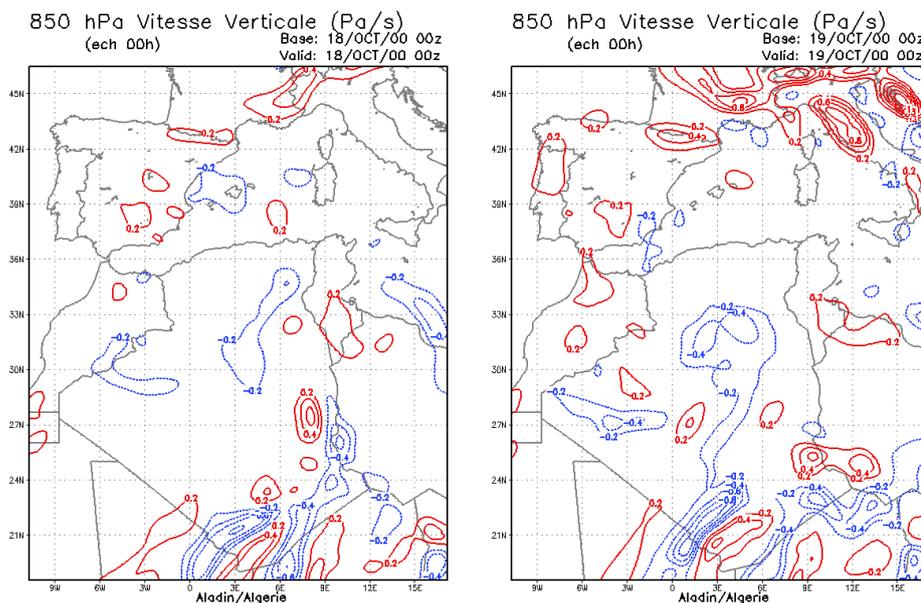


Figure 4. Champ de vitesse verticale à 850 hPa

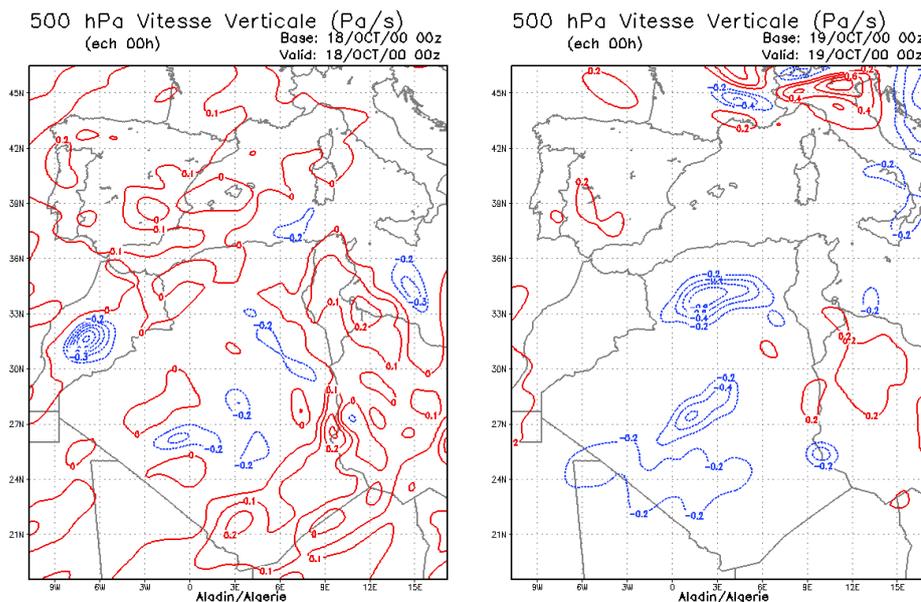


Figure 5. Champ de vitesse verticale au niveau 500hPa

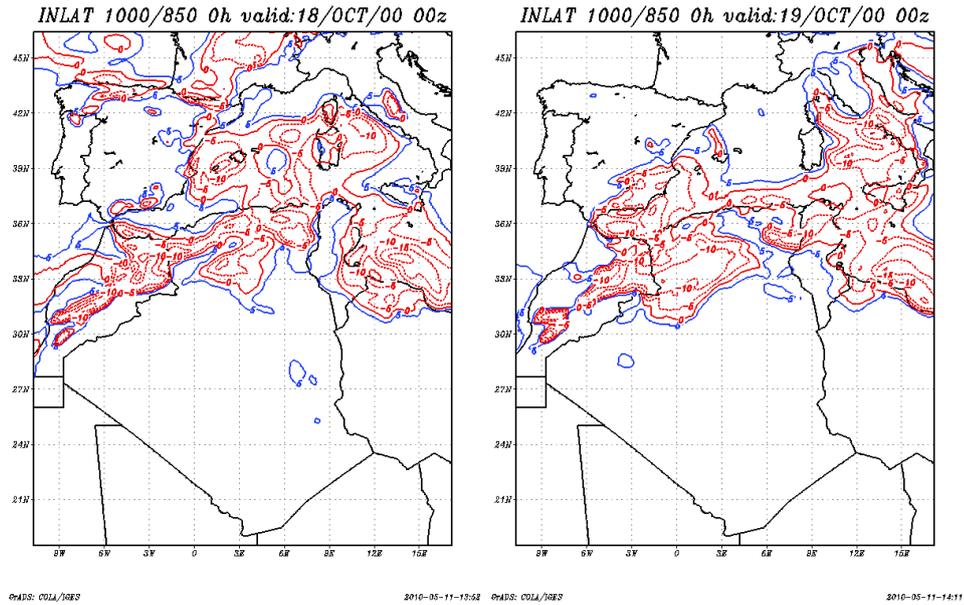


Figure 6. Champ de l'indice d'instabilité latente (INLAT)

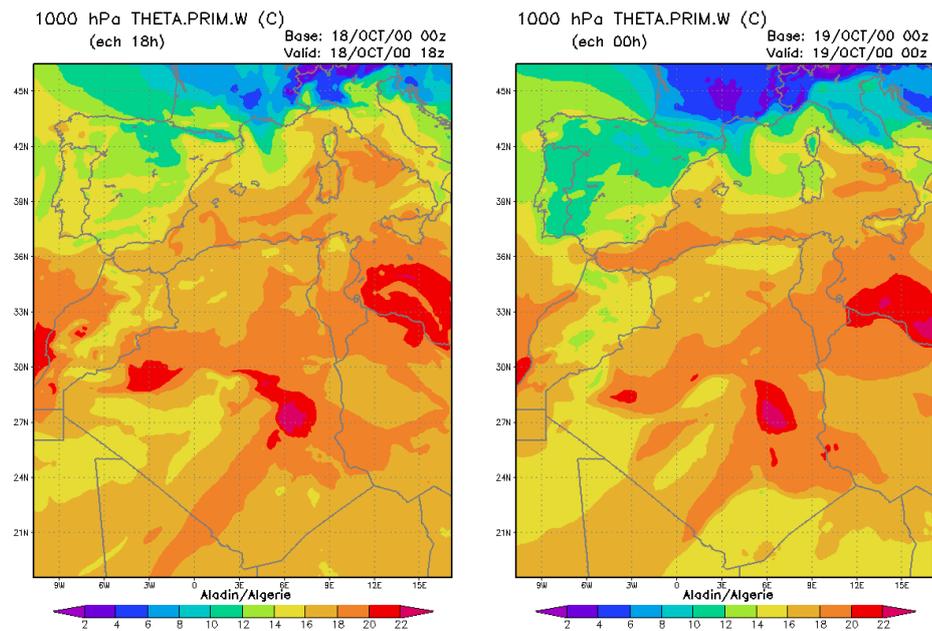


Figure 7. Champ de la θ'_w à 1000hPa.

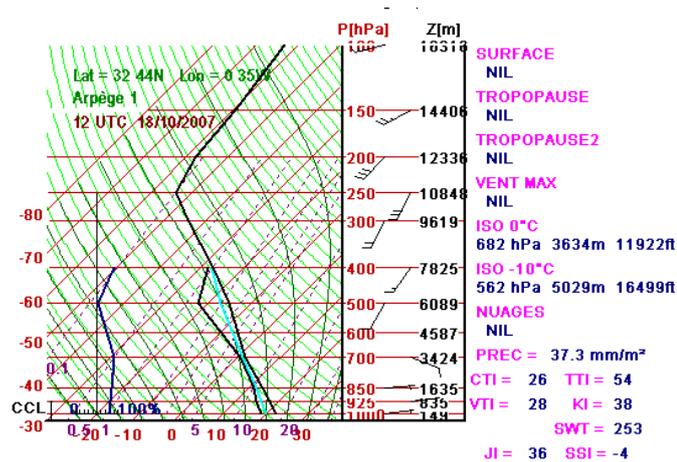


Figure 8. Radiosondage prévu par ARPEGE le 2017-10-18-12:00

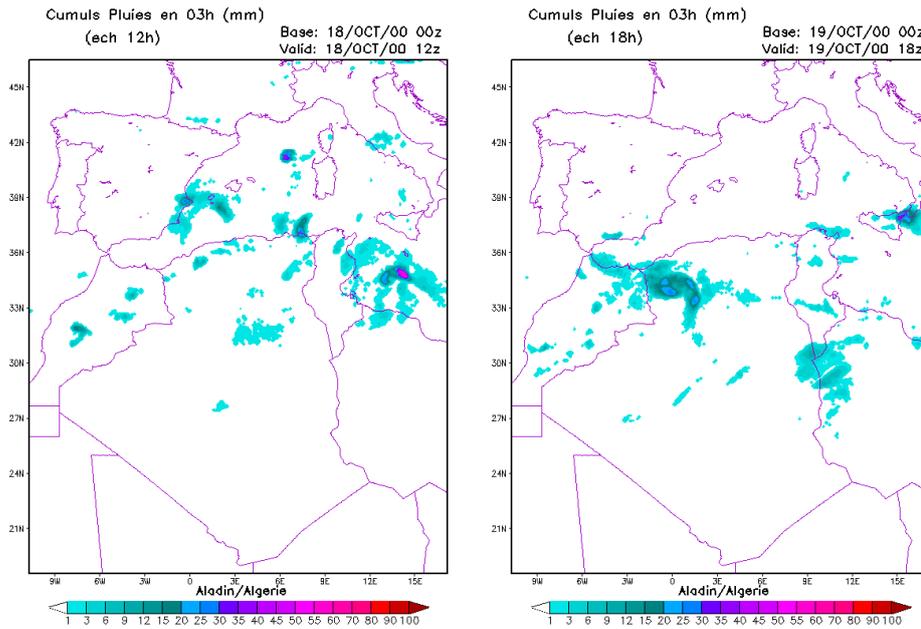


Figure 9. Champ de pluies

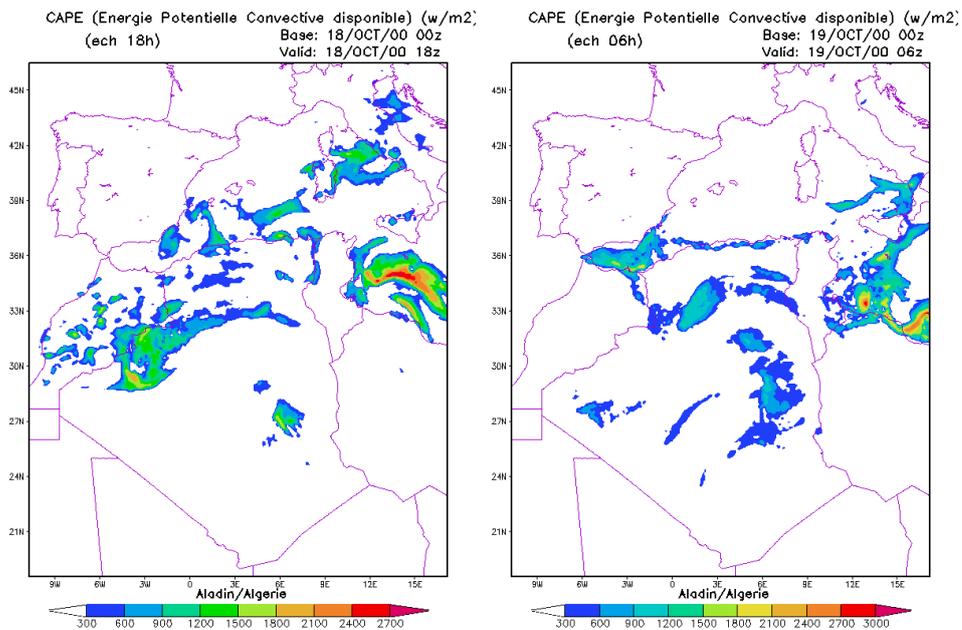


Figure 10. Champ de la CAPE

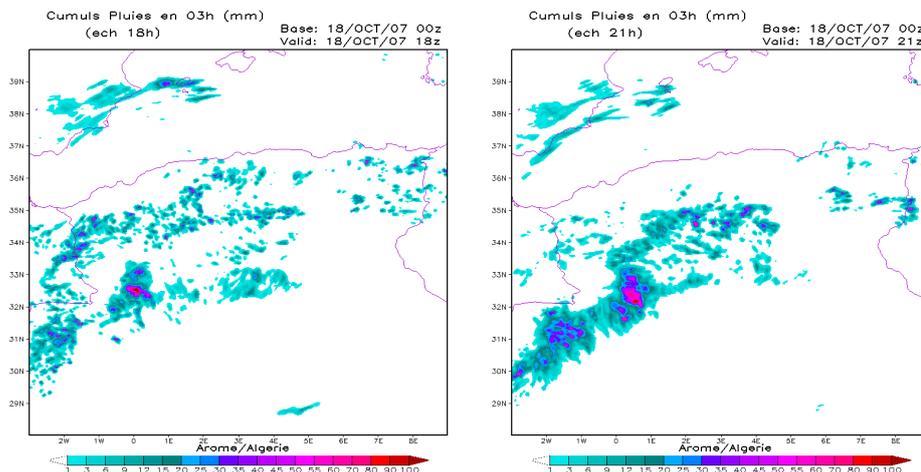


Figure 11. Champ de pluies simulé par AROME

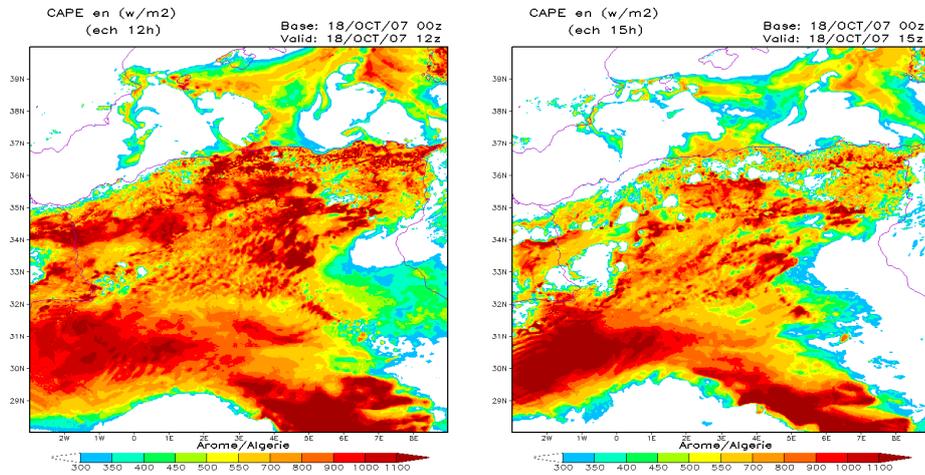


Figure 12. Champ de la CAPE simulé par AROME

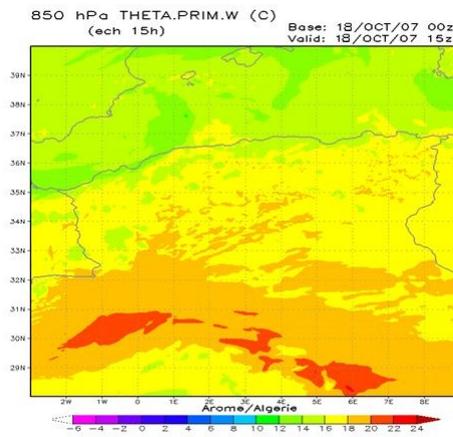


Figure 13. Champ de la θ'_w