

# Étude de la situation explosive du 13 Octobre 2007 à Tunis

## Introduction

Une situation météorologique « critique » a intéressé principalement la capitale le 13 Octobre 2007. Cet épisode convectif présente la particularité d'être difficile à anticiper, en raison de sa complexité, de sa courte durée et de la rapidité de son déclenchement. Les fortes précipitations ont provoqué de fortes inondations dans le grand Tunis en plus de fortes incidences en terme de sécurité et sur la vie économique de la Tunisie.

Une approche fondée sur l'analyse synoptique du phénomène est envisagée pour mieux comprendre les différents mécanismes qui ont contribué à l'apparition de tels orages violents. L'installation d'une version Tunisienne du prototype AROME à 2.5 km sur le nord et le centre de la Tunisie, couplé avec le modèle opérationnel ALADIN-TUNISIE devra nous orienter vers de probables axes de développement pour améliorer notre prévision numérique dans un futur proche.

Par ailleurs, cette étude vise aussi à montrer aux autorités publiques notre implication et nos efforts pour améliorer la prévision de ces épisodes « sensibles ». Cette étude repose sur une forte collaboration entre l'INM et Météo-France dans le domaine de la prévision numérique du temps et de la prévision opérationnelle.

En résumé, l'étude repose principalement sur deux axes:

- Une analyse de la situation météorologique réalisée à posteriori et fondée sur les observations et les sorties du modèle opérationnel ARPEGE
- Une analyse d'une simulation AROME-TUNISIE

## Analyse de la situation météorologique

La circulation synoptique est assez bien cadrée par le modèle global ARPEGE pour le réseau 0 heure du 13 Octobre (cf. fig 1) .

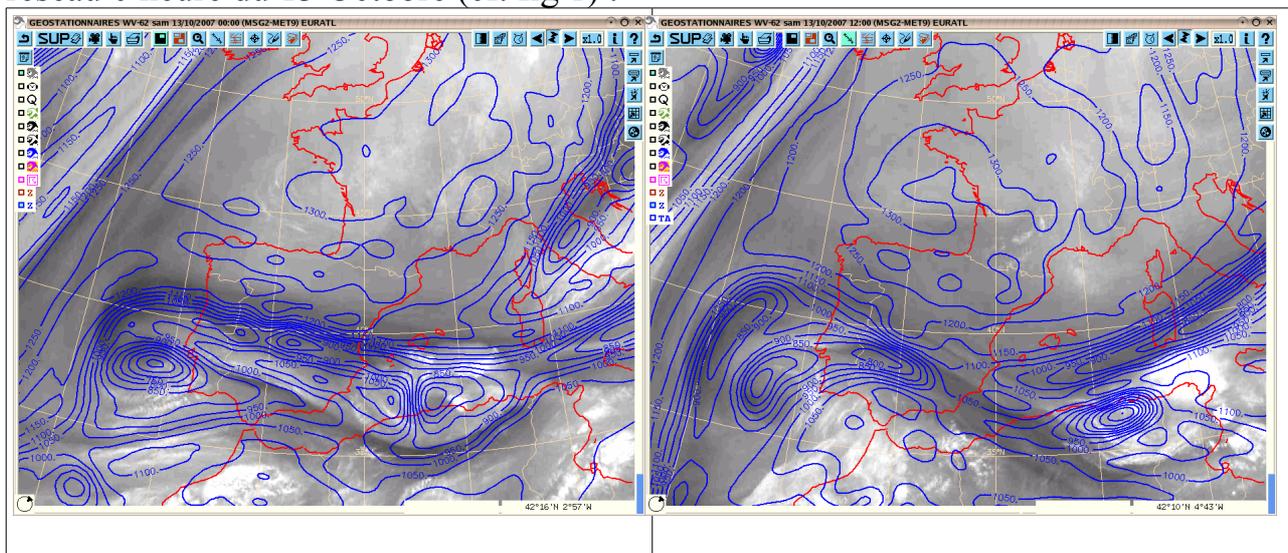


Figure 1 : Superposition de la vapeur d'eau et de l'anomalie de la tropopause dynamique (altitude de la 1.5 PVU). analyse+prévision à l'échéance 12 heures.

La superposition du tourbillon potentiel à 1.5 PVU (anomalie de la tropopause) avec les images observées de la vapeur d'eau montre une assez bonne correspondance à échelle synoptique de la prévision ARPEGE pour toute la journée du 13 octobre. En effet, les zones sèches et froides montrent un forçage subsident venant le 11 et 12 du Portugal et de l'Espagne, continue sa trajectoire vers l'Algérie et la Tunisie. La vapeur d'eau, traceur de la dynamique d'altitude, montre bien (dans les zones sombre (sèches et froides) ) que le modèle a bien marqué cette dynamique par l'enfoncement de la tropopause. Les soulèvements à l'ouest de la Tunisie au niveau de l'Algérie, se situent dans une zone favorable aux développements verticaux, en sortie gauche du JET d'altitude.

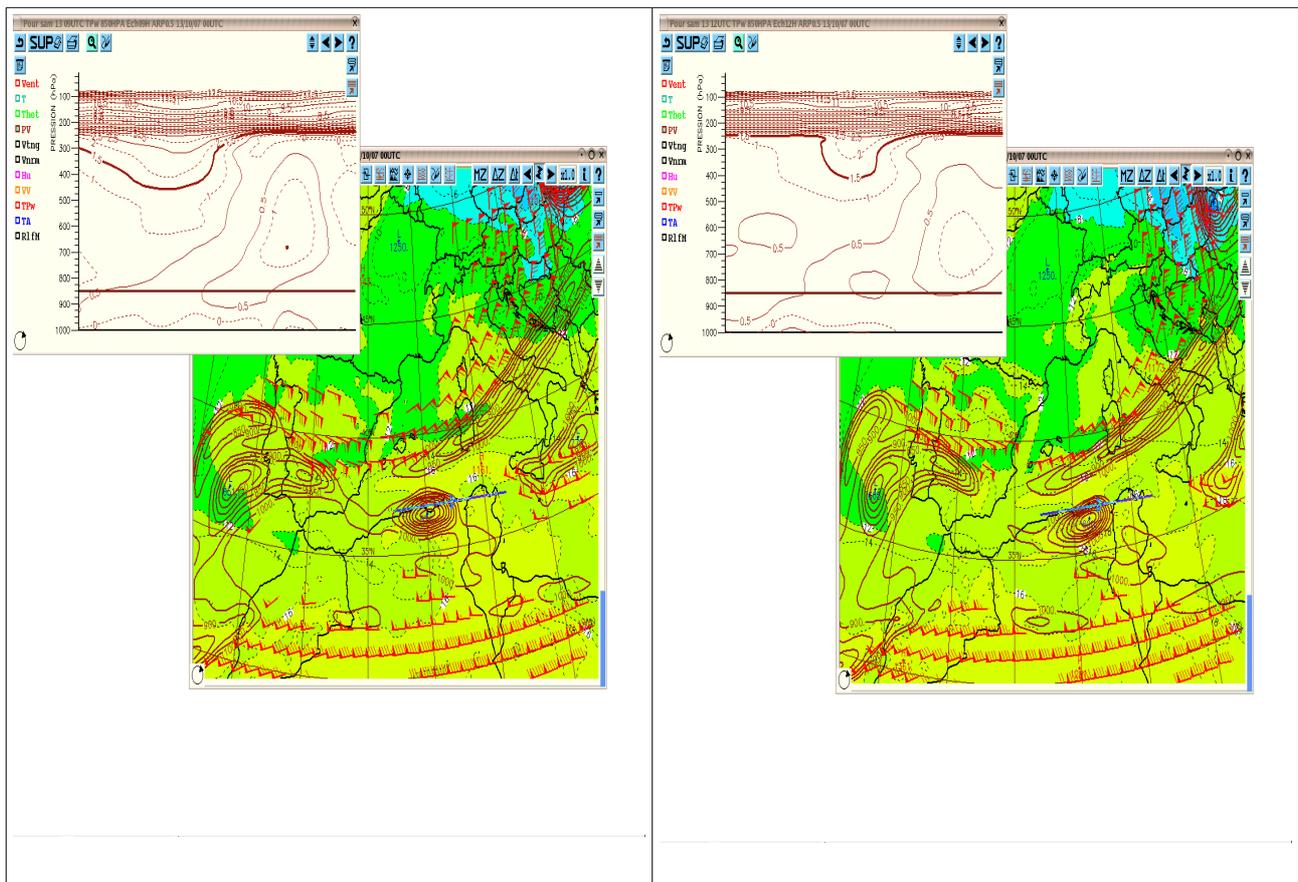


Figure 2 : Coupe verticale de l'anomalie de la tropopause superposés au JET d'altitude et à TETA'W au niveau 850 hPa pour ( a). 09 heure et b). 12 heure ).

L'abaissement de la tropopause indique le caractère marqué et dynamique de la situation en altitude (coupe selon un axe sud-ouest, nord-est au Nord de la Tunisie, montrant l'anomalie à 9h et à 12h, et son décalage). L'étude des basses couches montre l'advection d'air chaud et humide (instable) avec de fortes valeurs de Teta'w (voisines de 18°C sur Tunis vers 12h d'après les prévisions ARPEGE).

Il est à remarquer que les valeurs de Téta'w supérieures à 16°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 sont des valeurs subjectives qui dépendent essentiellement de l'expérience des prévisionnistes et des effets locaux de la région considérée.

Ces éléments mettent en évidence un contexte synoptique fort, favorable à de la convection profonde organisée et durable.

La comparaison des radiosondages observé et prévu (pour l'échéance 12h TU) montre une certaine correspondance. Ils indiquent une structure convective instable avec de fortes valeurs de CAPE (de l'ordre de 3000 J/kg). Ils indiquent de plus un cisaillement de vent favorable à des orages multicellulaire voire supercellulaires. De telles cellules étaient d'ailleurs visibles depuis le matin au Nord de l'Algérie et de la Tunisie sur les images satellites. La coupe verticale et l'hodographe de la figure 3 montrent les vents d'ouest d'altitude qui alimentent les courants subsidents et évacuent les courants ascendants.

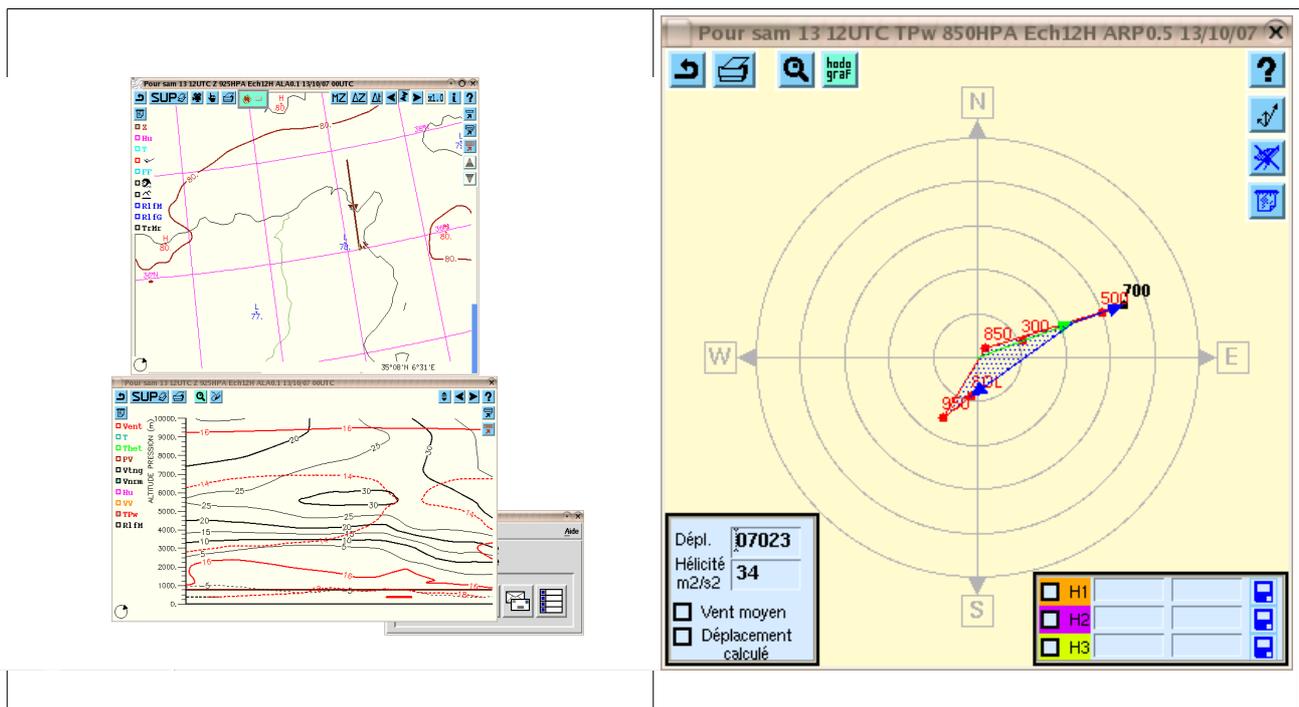


Figure 3 : a). coupe verticale de la vitesse du vent et de la Teta'w b). Hodographe prévu à 12 heures TU par ARPEGE (réseau 00 heures).

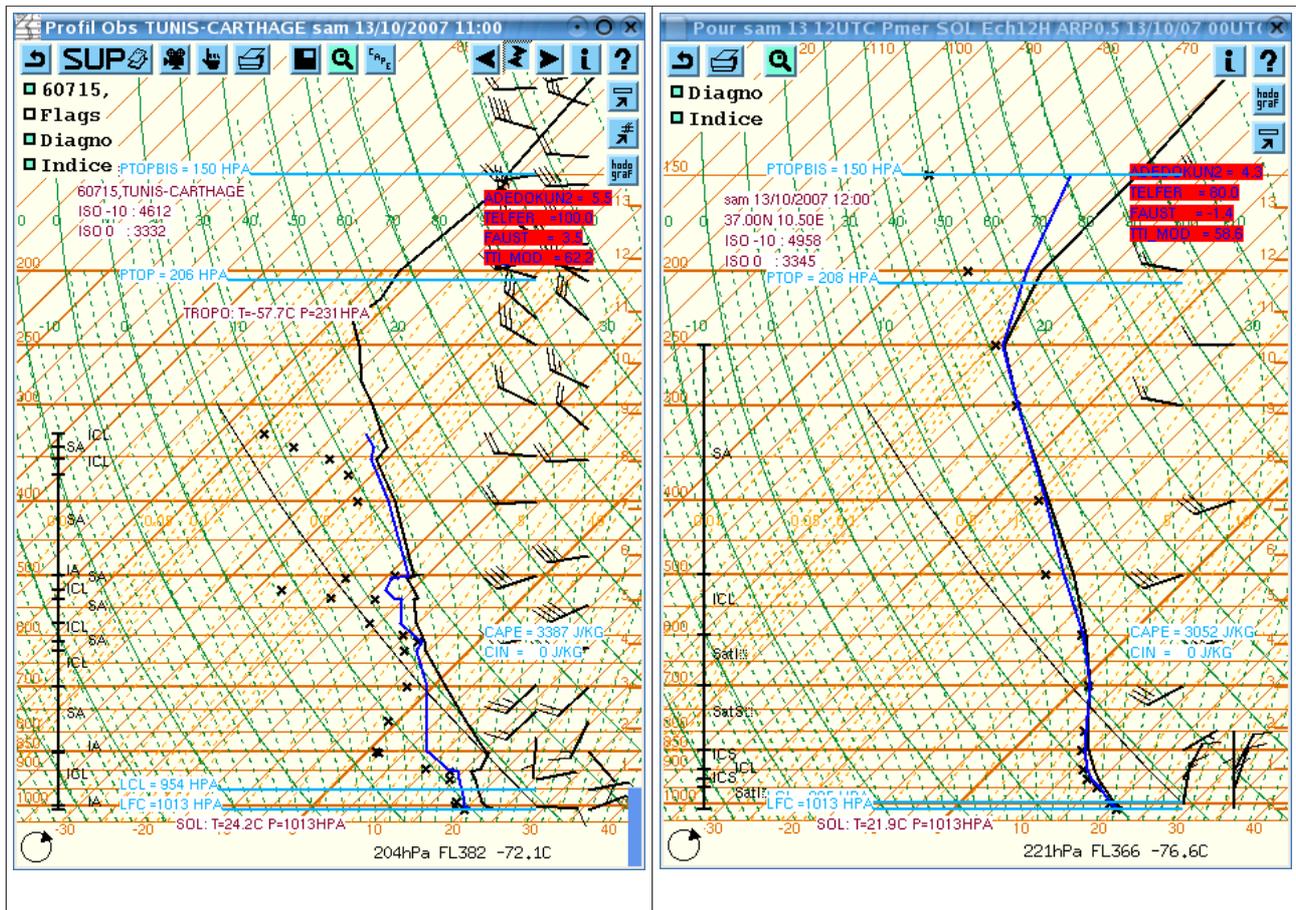


Figure 4 : a). Radiosondage observé de Tunis Carthage à 12h TU le 13 Octobre 2007 b). Radiosondage prévu par ARPEGE pour la même heure.

Dans la couche limite, le flux est de tendance Est à Nord-Est faible. Il s'accompagne de l'air doux et humide de  $18^{\circ}\text{C}$  en Téta'w. Il existe également un fort contraste thermique de l'ordre de  $3^{\circ}$  entre la température de la mer et celle de la terre. Ces advections de la température permettent d'identifier les alimentations chaudes et humides de basses couches. La forte hélicité et le cisaillement vertical du vent ont contribué à alimenter le système par de l'énergie nécessaire pour favoriser la formation d'orages violents (cf. fig 3).

Il est à noter que l'incertitude était telle, qu'une localisation exacte de la convection était impossible. Dans le cadre de l'élaboration d'une « carte de vigilance » telle qu'elle peut être réalisée à Météo-France, tout le nord de la Tunisie aurait été placé en niveau d'alerte orange (niveau 3 sur une échelle de 4).

En revanche, les champs de précipitations des modèles synoptiques ne proposent pas de cumuls importants étant donnée la petite échelle des phénomènes attendus. Les modèles (ARPEGE et ALADIN) sont en accord pour développer des orages violents l'après-midi mais proposent de faibles valeurs de pluies. D'où le rôle décisif d'un modèle tel que AROME (Action de Recherche à l'Opérationnel pour la Mésos-Echelle) qui décrit beaucoup mieux les reliefs et même les villes à l'aide du schéma TEB (Town Energie Budget).

En résumé de l'analyse synoptique, on retiendra que cette situation se caractérise par

le développement explosif, sur Tunis, entre 12 TU et 15 TU (cf. fig 5). Le phénomène est très rapide (comme le montre en annexe les images visible de meteosat) et est déclenché par une anomalie de basse tropopause en altitude associée à une advection chaude de basses couches.

La forte hélicité (ou le cisaillement du vent, qui passe de Nord-Est en basse couche à Ouest en altitude) permettra la stationnarité des orages pendant quelques heures sur Tunis. Ces orages sont donc des orages de chaleur qui ont été renforcés par la circulation d'altitude et qui ont formé un système cyclonique sur le Nord de la Tunisie. La conjonction de ces orages de chaleur et de la circulation d'altitude a certes donné des phénomènes très violents, mais on ne peut pas les qualifier d'exceptionnels. C'est la localisation de ces orages (sur la capitale) et l'impact qu'ils ont eu qui fait qu'ils ont été largement médiatisés. Un aspect important de la situation est à souligner : il s'agit du développement d'un système de large échelle, avec en son sein de nombreuses cellules orageuses de très petites échelle, piloté par la circulation d'altitude.

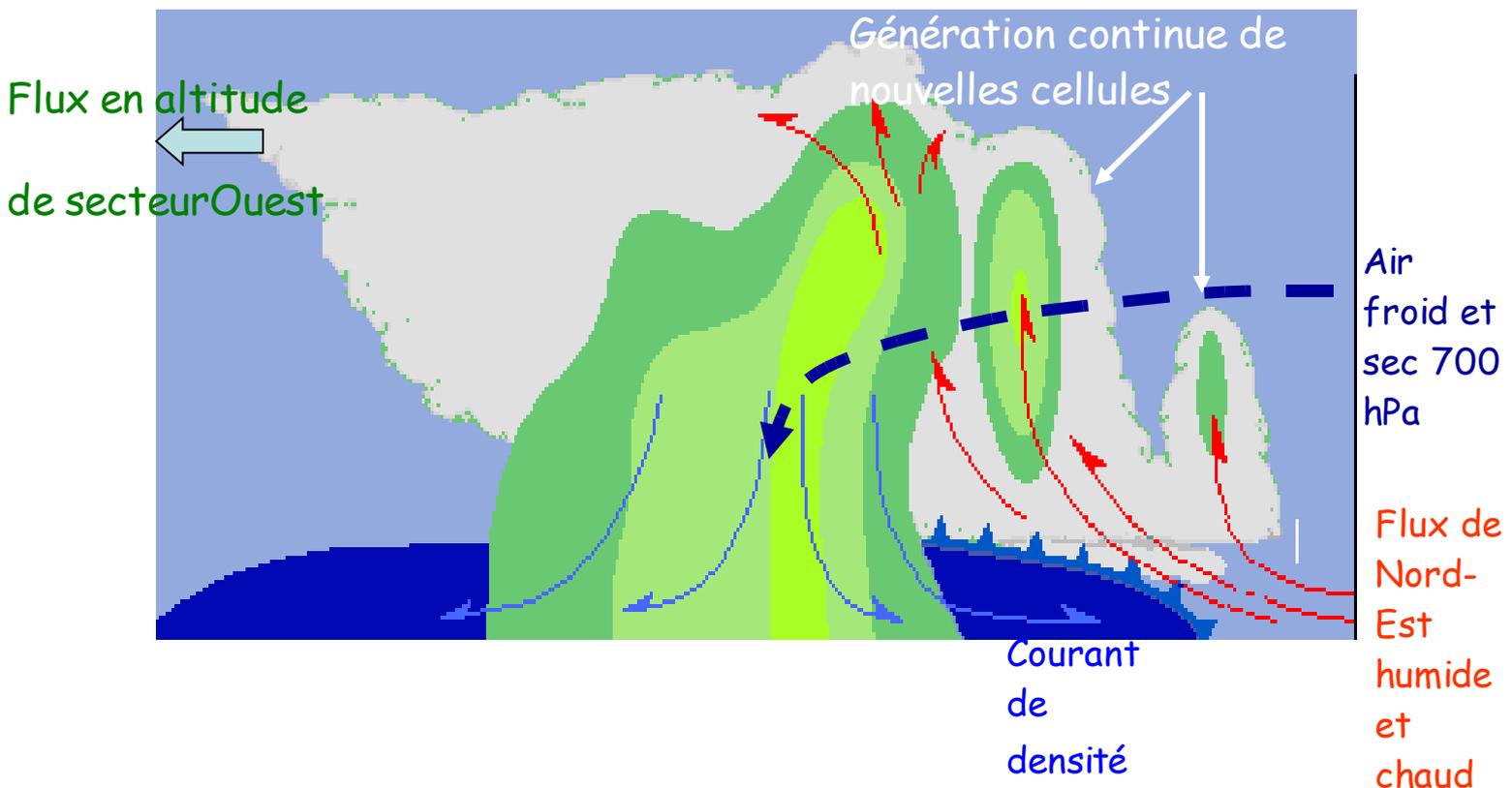


Figure 5 : Schématisation en 3D de la situation convective du 13 Octobre 2007 à Tunis (adaptation de la figure présentée par Veronique Ducroq pour un cas de Sud-Est de la France).

## Le prototype AROME

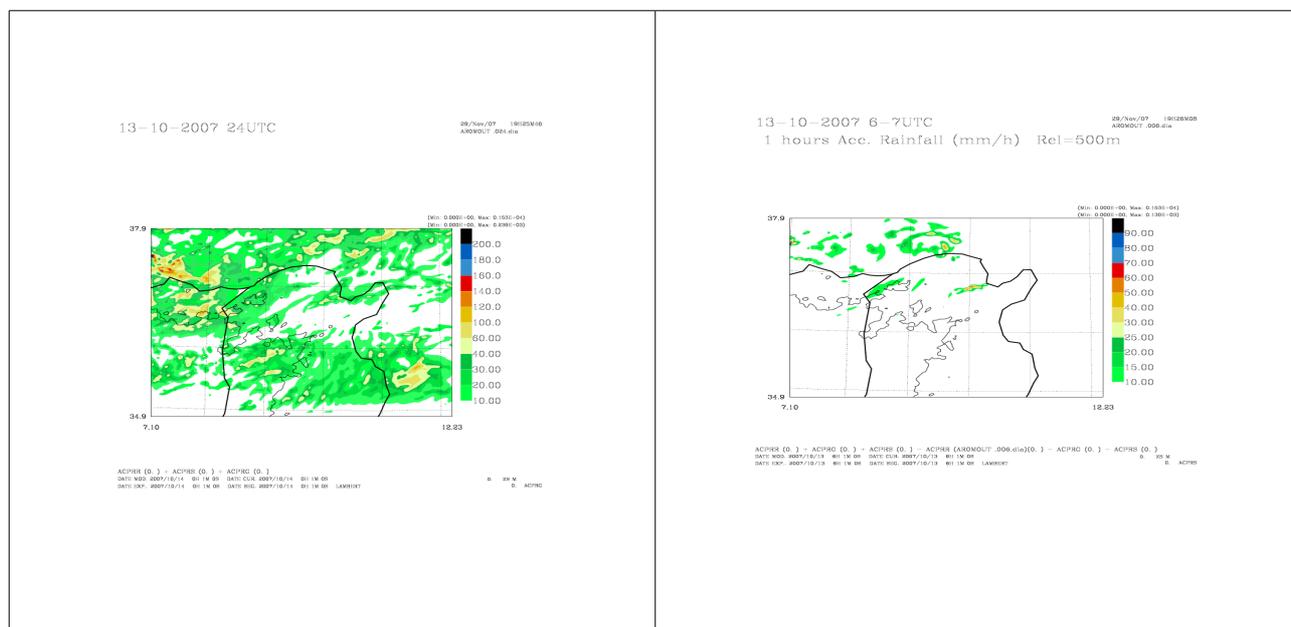
Le modèle AROME a été conçu pour améliorer la prévision à l'échelle régionale, échelle fine ou encore Méso-échelle. Il a pour objectif de mieux décrire des paramètres météorologiques de temps sensible comme le vent, la température, la couverture nuageuse, mais surtout d'améliorer de façon significative la prévision des pluies, qu'elles soient d'origine stratiforme ou d'origine convective.

On s'attend dans les prochaines années à une nette amélioration des prévisions des orages forts et violents. Ceci permettra de prévenir en amont les conséquences de ces orages qui se traduisent souvent en régions méditerranéennes par des « crues éclairées ».

Le prototype, est en cours de validation à Météo-France. Il n'y a pas de version propre d'AROME sur la Tunisie, mon objectif durant cette mission était de créer une configuration d'AROME pour un domaine qui englobe le Nord et le Centre de la Tunisie et étudier l'épisode extrême qui s'est produit à partir d'une prévision AROME couplée avec ALADIN-TUNISIE du réseau 00 heure du 13 Octobre 2007.

## Prévision AROME-TUNISIE

Une simulation AROME-TUNISIE le 13 à 0h a été réalisée jusqu'à l'échéance 24h. Le modèle simule bien l'évolution spatiale des cellules convectives et prévoit des précipitations intenses sur la ville de Tunis de l'ordre de 40 mm/h soit plus de 80 mm pendant deux heures.



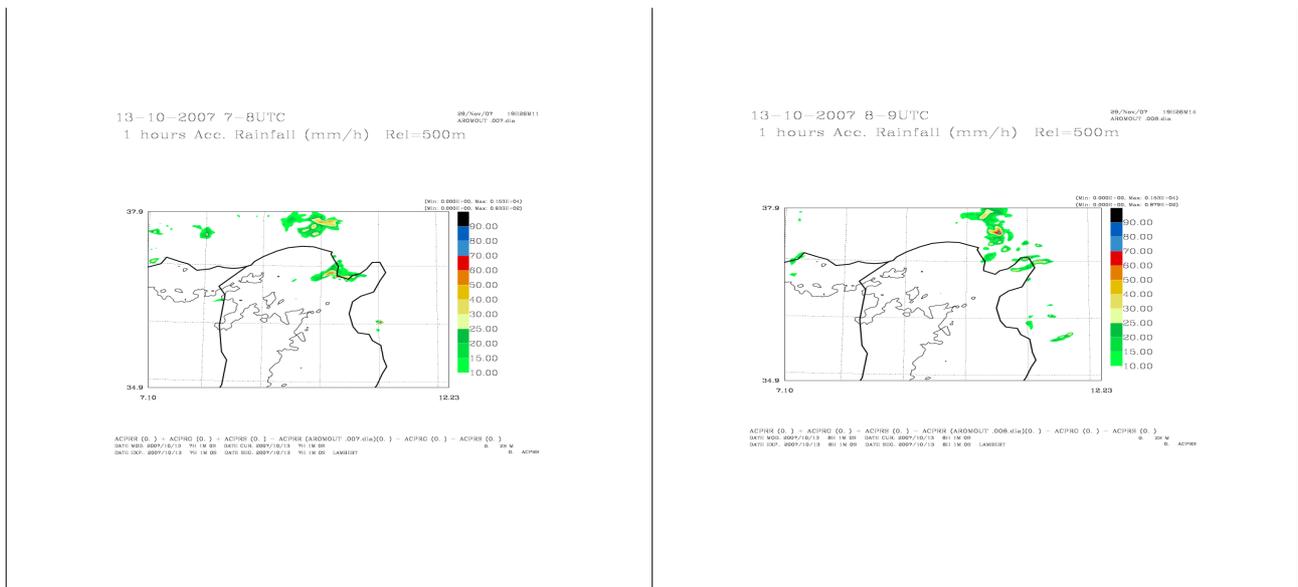


Figure 6 : a. Cumul 24 heure des précipitations. b. (resp. c. et d. ) cumul de 1h des précipitations de 6h à 7h (resp. de 7h à 8h, de 8h à 9h)

AROME prévoit l'épisode sur deux heures (de 6h à 8h TU) donc à peu près, 5 heures avant l'occurrence réelle des orages violents sur Tunis. Ce qui montre la nature très instable de la situation et sa complexité physique et dynamique. En effet, Le déclenchement de la convection est fortement sensible à de faibles variations des paramètres.

## Comparaison avec les sorties ALADIN-TUNISIE

Les précipitations engendrées par le modèle ALADIN-TUNISIE en sa version opérationnelle ne déclenchent pas du tout la convection au dessus de la ville de Tunis. Contrairement au modèle AROME comme le montre bien le cumul 24 heures des deux modèles (cf. fig 7).

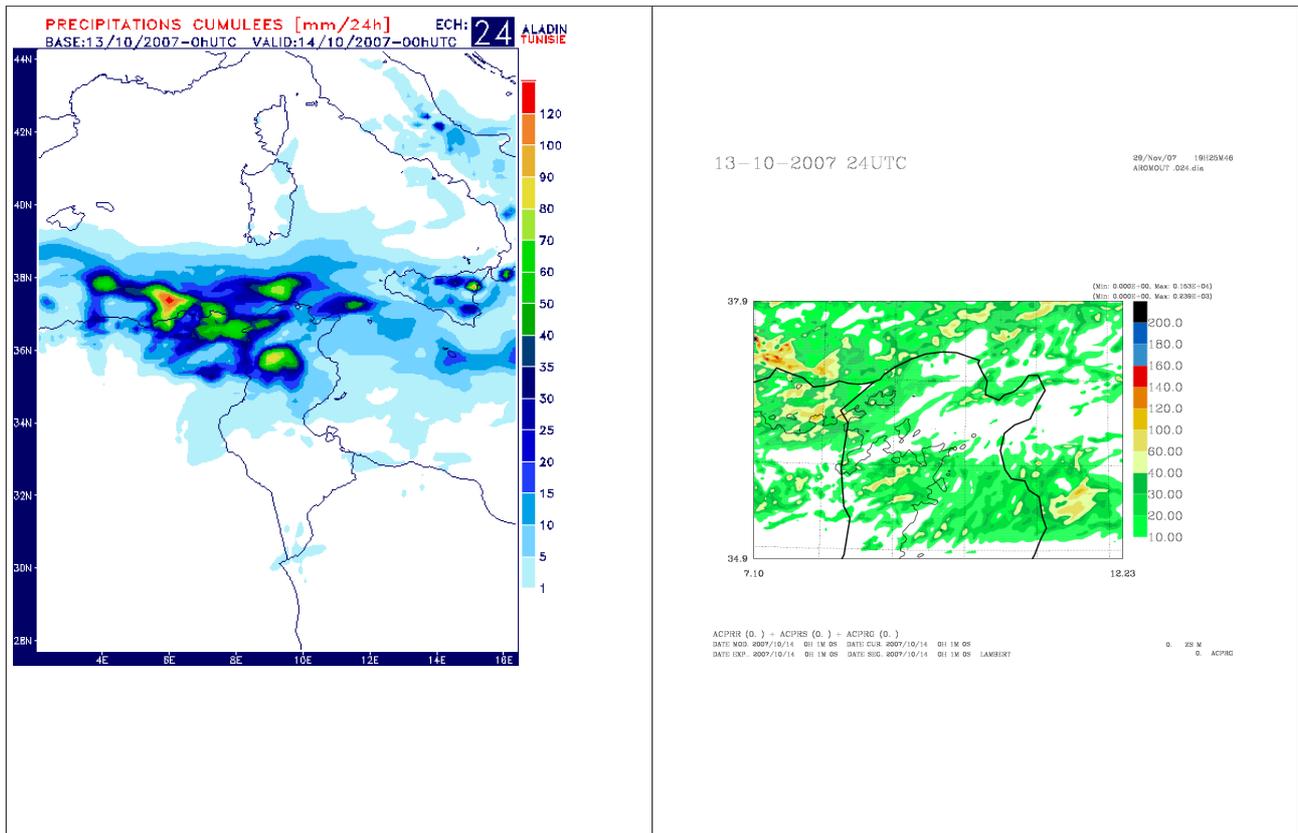


Figure 7 : Comparaison des cumuls de précipitations sur 24 heures a. Aladin-Tunisie opérationnel b. Arome-Tunisie.

## L'impact urbain sur les systèmes convectifs

De nombreuses études, pour la plupart américaines, ont été menées dans le domaine de la météorologie urbaine pour essayer d'évaluer l'impact urbain sur les précipitations ou plus généralement sur les phénomènes convectifs.

Plusieurs mécanismes sont avancés pour tenter d'expliquer comment une ville peut déclencher ou favoriser des systèmes précipitants; on peut citer les suivants:

- Une convergence renforcée due à l'augmentation de la rugosité de la surface : cette forte rugosité peut alors entraîner des ascendances;
- Une instabilité due à la perturbation thermique de la couche limite suite à la présence d'un îlot de chaleur urbain
- Des aérosols plus nombreux en milieu urbain qui représentent une source possible pour la formation de noyaux de condensation et donc la formation de précipitations

A l'heure actuelle on ne sait pas avec certitude lequel de ces mécanismes est prépondérant dans le déclenchement de ces précipitations ou même quel est le rôle relatif de chacun d'entre eux.

On a alors testé la désactivation du schéma de la ville TEB pour voir l'impact de la ville de Tunis sur la simulation, mais les résultats ont été comparables à la simulation avec un schéma de ville.

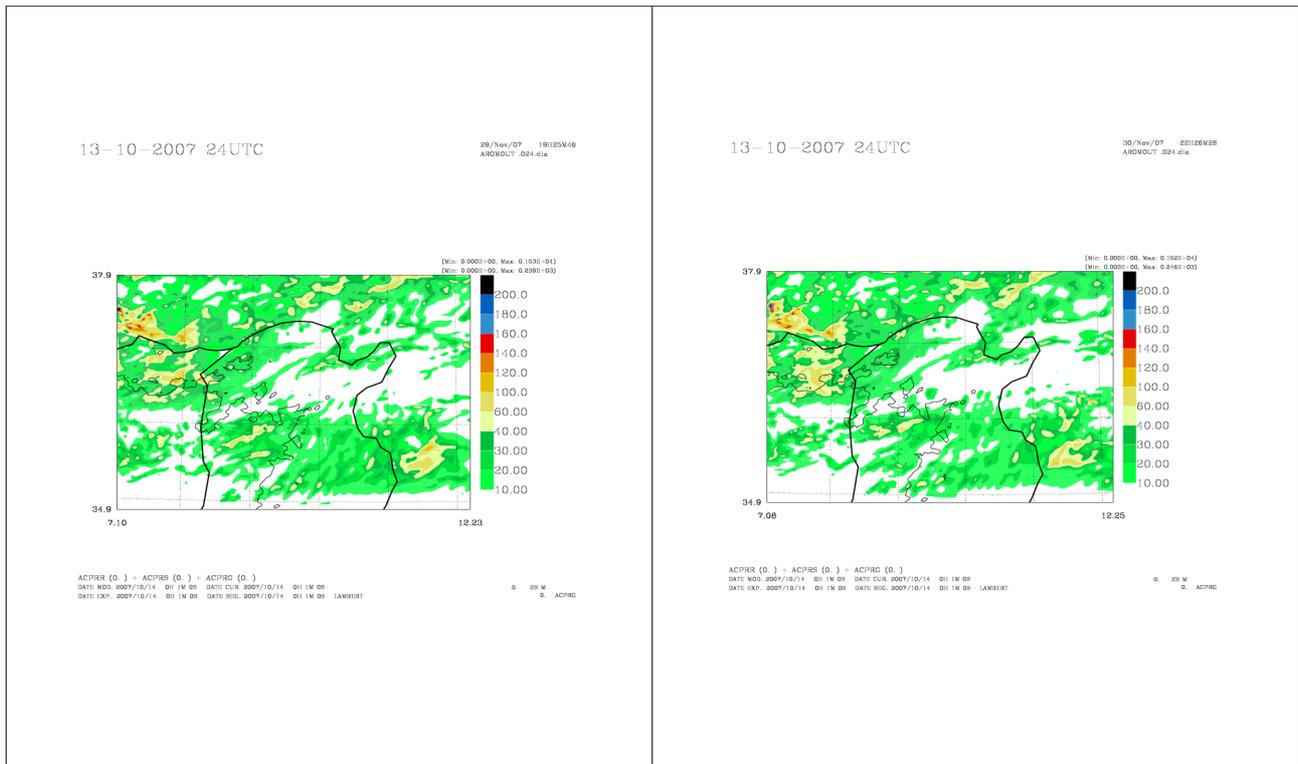


Figure 8 : Cumul sur 24 h des précipitation a. AROME avec le schéma de ville TEB b. AROME sans schéma de ville TEB.

En résumé le comportement du prototype AROME-TUNISIE qui n'est qu'en phase de recherche est meilleur que la simulation du modèle opérationnel ALADIN-TUNISIE. Il apporte un plus par sa physique non-hydrostatique, par sa maille très fine et donc une meilleure description du relief et enfin par son schéma explicite de la convection. Ce résultats est illustré par les cumuls 24h des deux modèles (cf. fig 7)

## Conclusions et Perspectives

Une situation convective sur le nord de la Tunisie a été étudiée de manière synoptique et plusieurs configurations de modèle de méso-échelles ont été lancées pour essayer de reproduire la situation.

Les principales constatations qui se dégagent de cette étude sont les suivantes:

1. Il s'agit du développement d'un système de grande taille, avec en son sein de nombreuses cellules orageuses de plus petites échelle. La situation synoptique est pilotée par l'anomalie de basse tropopause, qui circule le long de la bordure continentale de l'Algérie puis de la Tunisie. Cette anomalie de basse tropopause dynamique s'accompagne en basses couches d'un contexte chaud et humide.
2. Les modèles numériques opérationnels actuels (du réseau 0h du 13 octobre) n'ont pas déclenché la convection qui a été observée mais l'analyse d'autres paramètres de ces mêmes modèles (Téta'w, les profils verticaux de vent et de

température, la superposition de la vorticité et de l'image satellite de la vapeur d'eau) nous amène vers la conclusion suivante : le Nord de la Tunisie est soumis au risque fort d'orages violents qui se déclenchent durant la journée du 13 octobre 2007.

3. La précision temporelle et géographique de ces orages n'a pas  t e donnée par ce genre de modèles opérationnels (ARPEGE et ALADIN).
4. Le prototype AROME simule beaucoup mieux la situation et arrive à donner l'alerte sur la capitale grâce surtout à sa physique plus sophistiquée que celle du modèle ALADIN, mais il ne simule pas le temps exact de l'occurrence du phénomène. Il est à signaler qu'AROME actuellement en test deviendra opérationnel au cours de l'année 2008 à Météo-France.

  l'issue de cette étude, réalisée en étroite collaboration avec la Direction de la Production conjointement avec l'unité de contrôle et de monitoring COMPAS et enfin avec l'unité de recherche et de développement des modèles numériques GMAP   Météo-France, je propose les recommandations suivantes:

1. Miser sur une formation avancée de très haut niveau pour le développement et la maintenance des nouveaux modèles numériques (en particulier AROME)
2. Accentuer la formation des prévisionnistes par des stages à Météo-France et surtout par des ateliers de prévision organisés à l'INM et animés par des chef-prévisionnistes français (qui utilisent les même produits) afin d'avoir toujours un avis critique vis à vis des modèles numériques.
3. Acquérir un système de production pour faciliter aux prévisionnistes une analyse plus avancée des produits numériques. Un système de production tel que SYNERGIE n'est pas un simple outil de superposition et de coupe verticales des champs météorologiques mais surtout un outil qui englobe des procédures et des méthodes modernes de prévision.
4. Rajouter les champs de Tourbillon absolu et de Téta'w dans l'interface de sortie des produits ALADIN-TUNISIE.
5. La mise en place d'un système d'alerte (type « vigilance ») au niveau de la Tunisie.



République Tunisienne  
INSTITUT NATIONAL DE LA MÉTÉOROLOGIE

**Karim BERGAOUI**

Institut National de la Météorologie - Tunisie

**Mission à Météo France**  
**Étude de la situation**  
**explosive du 13 Octobre**  
**2007 et apport du modèle**  
**AROME**

**RAPPORT DE MISSION**