

# Impact de l'assimilation des données sur un modèle de prévision atmosphérique : cas des inondations de Casablanca le 29-30 Novembre 2010

Z. SAHLAOUI<sup>1,2</sup>, S. MORDANE<sup>2</sup>

1. CNRMSI, Direction de la Météorologie Nationale B.P. 8106 Casablanca – Maroc sahlaoui\_zahra@yahoo.fr

2. LPPPC, Faculté des Sciences Ben M'sik, Université Hassan II Casablanca – Maroc mordanesoumia@yahoo.fr

## Résumé :

La prévision numérique du temps est une discipline dont l'évolution est étroitement liée à deux composantes principales ; les puissantes machines du calcul numérique (super calculateurs) et les réseaux d'observations météorologiques. L'assimilation des données variationnelle tridimensionnelle (3DVAR) permet de créer un état du fluide atmosphérique qui soit le plus proche de la réalité en tenant compte des observations météorologiques. Ce qui constitue le meilleur état initial à partir duquel on peut lancer des prévisions. Dans ce travail, la sensibilité des prévisions par rapport à l'état initial a été évaluée dans le modèle ALADIN-MAROC<sup>1</sup> lors d'un événement caractérisé par de fortes pluies. Le cas étudié est celui des inondations de Casablanca le 29-30 Novembre 2010 avec un cumul de pluie de 178 mm. L'utilisation d'un état initial produit par la procédure 3DVAR a permis l'amélioration de la simulation des champs physiques par le modèle numérique. En conséquence la prévision des cumuls de pluies est passé de 80 mm dans l'expérience de référence à 160 mm dans l'expérience modifiée.

**Mots clés :** ALADIN-MAROC, Fluide atmosphérique, Assimilation des données, État initial.

## 1 Introduction

Le défis de la prévision numérique du temps est de simuler, sur un ordinateur, l'évolution de l'atmosphère de façon réaliste et à une vitesse plus grande qu'en réalité. Les avancées réalisées dans ce domaine sont dues essentiellement à une meilleure compréhension des phénomènes atmosphériques, au développement des méthodes d'analyse numérique et à la précision accrue de l'état initial.

Ce travail est l'occasion d'évaluer l'impact de l'état initial, quand il résulte d'une procédure d'assimilation de données, sur la qualité des simulations d'un modèle de prévision numérique. Une étude d'impact a été réalisée avec le modèle ALADIN-MAROC sur la situation du 29-30 Novembre 2010 caractérisée par des inondations sur Casablanca.

## 2 Méthodologie

### 2.1 Modélisation du fluide atmosphérique

Le principe des modèles de prévision numérique du temps est de résoudre, par des méthodes numériques, les équations traduisant les lois physiques qui gouvernent l'évolution du fluide atmosphérique[1]. Dans ce travail, c'est le modèle ALADIN-MAROC qui est utilisé. Il s'agit d'une version locale du modèle hydrostatique ALADIN qui couvre la Maroc. Les équations de base sont les suivantes[2] :

► L'équation de continuité :

$$\frac{d(\frac{\partial P}{\partial \eta})}{dt} = -\frac{\partial P}{\partial \eta}(\text{div}(\vec{V}) + \frac{\partial \eta}{\partial \eta}) \quad (1)$$

avec  $P$  la pression hydrostatique,  $\vec{V}$  est la composante horizontale du vecteur vent,  $\eta$  la coordonnées verticale hybride.

► L'équation du mouvement sur le plan horizontal :

$$\frac{d(\vec{V})}{dt} = -2\vec{\Omega} \wedge \vec{V} - \vec{\nabla} \Phi - RT\vec{\nabla} \log(P) + \vec{F}_{\vec{V}} \quad (2)$$

avec  $\Phi$  le géopotential,  $\vec{\Omega}$  la vitesse angulaire de la rotation de la terre,  $T$  la température,  $R$  la constante des gaz parfaits et  $\vec{F}_{\vec{V}}$  correspond à l'effet de la partie physique (non résolue) sur le vent (incluant le frottement).

► L'équation hydrostatique :

$$\frac{\partial P}{\partial z} = -\rho g \quad (3)$$

$\rho$  correspond à la masse volumique de l'air.

► L'équation de température :

$$\frac{dT}{dt} = \frac{RT}{C_P} \frac{\omega}{P} + F_T \quad (4)$$

$\omega = \frac{dP}{dt}$  est la dérivée totale de la pression hydrostatique et  $F_T$  est la contribution de la partie physique à la température (incluant le rayonnement, la convection...etc).

1. Aire Limitée Adaptation Dynamique développement International

► L'équation de l'humidité spécifique :

$$\frac{dq}{dt} = F_q \quad (5)$$

$q$  étant l'humidité et  $F_q$  est la contribution de la partie physique à l'humidité. Les termes  $\vec{F}_V$ ,  $F_T$  et  $F_q$  correspondent aux processus physiques non traités par la dynamique qui modélise une atmosphère adiabatique et sans frottement.

A noter que dans ALADIN-MAROC le schéma de discrétisation spatial est spectral sur l'horizontal. La résolution est de 10 km. Par rapport à la vertical, un schéma en différences finies est utilisé pour les 60 niveaux du modèle. Le schéma temporelle utilisé est le schéma semi-implicite. Ainsi, Les ondes de propagation rapide (ondes de gravité) sont traitées de façon implicite alors que les autres termes (advection, Coriolis) sont traités explicitement.

## 2.2 Assimilation des données 3DVAR

Le rôle des observations météorologiques en prévision numérique est de renseigner l'état initial. Cependant, la construction de l'état initial à partir des observations est une tâche complexe. Il faut construire un état du fluide atmosphérique en chaque point de la grille modèle en se basant sur des observations météorologiques[3]. Ces observations sont très hétérogènes par leur nature et par leur distribution spatiale et fréquence temporelle. Des méthodes avancées d'assimilations de données sont utilisées en météorologie. L'objectif est de construire le "meilleur" état initial à partir de toutes les informations disponibles. Dans ce travail, c'est la méthode d'assimilation variationnelle tri-dimensionnelle (3DVAR) qui est utilisée [4]. Le principe se base sur la minimisation d'une fonction coût qui mesure la distance entre les différentes sources d'information qui sont :

- les observations : les paramètres météorologiques mesurés par des instruments installés dans des stations terrestres ou estimés à partir des observations par satellites.
  - l'ébauche : une prévision antérieure du modèle qui renseigne sur l'état de l'atmosphère au moment de l'analyse.
- La fonction coût s'écrit alors :

$$J(x) = \frac{1}{2}(x - x_b)^T B^{-1}(x - x_b) + \frac{1}{2}(y - H(x))^T R^{-1}(y - H(x)) \quad (6)$$

- $x$  : le vecteur d'état du modèle. C'est un vecteur qui contient le variables du modèle à chaque point de grille et à chaque niveau vertical.  $x_b$  est l'ébauche.

- $y$  : le vecteur de toutes les observations disponibles.
- $H$  : opérateur d'observation qui permet le calcul de l'équivalent modèle au point d'observation.
- $B$  et  $R$  sont respectivement la matrice des erreurs de l'ébauche et des observations. Ainsi la fonction coût fait appel à des pondérations liées à la précision de chacune des sources d'information.

## 3 Description des expériences

Afin d'évaluer l'impact de l'initialisation sur la qualité des prévisions, le modèle ALADIN-MAROC a été utilisé pour réaliser les expériences de prévision. Deux expériences ont été tournées pour la date du 29 Novembre 2010 à base de 00UTC. La situation météorologique du 29-30 Novembre 2010 a été caractérisée par deux systèmes actifs. Le premier est une dépression localisée au sud-ouest apportant de l'air tropical chaud et humide. Le deuxième est une dépression localisée au large de la péninsule ibérique et accompagnée d'air froid et humide. Cette configuration a donné de fortes précipitations sur Casablanca (222.6 mm entre le 29 et le 30 Novembre 2010) et les villes avoisinantes. Ces inondations ont provoqué des pertes humaines ainsi que des dégâts matériaux importants.

La première expérience notée AD se base sur l'adaptation dynamique. C'est à dire que l'état initial est une interpolation de l'état initial d'un modèle globale (ARPEGE<sup>2</sup> de Météo-France) qui a une résolution faible sur le Maroc (20km). La deuxième expérience notée 3DVAR se base sur un état initial qui a été construit par la procédure d'assimilation 3DVAR. Les observations utilisées par 3DVAR sont dans le tableau 1. La comparaison des champs météorologiques produits par les deux expériences avec la structure de la perturbation et avec les observations au sol a permis une évaluation objectif de chaque expérience.

Type d'observation	Nombre	Paramètres
Stations synoptiques	553	Vent, Température, Humidité, Pression
Bouées	31	Vent, Pression
Avions	140	Vent, Température
Bateaux	30	Vent, Température, Humidité, Pression
Radiosondages	14	Vent, Température, Humidité, Pression
Satellites	1062	Radiance

TABLE 1 – Les observations assimilées pour l'analyse du 29 Novembre 2010 à 00UTC.

## 4 Résultats

L'initialisation du modèle par un état produit par l'assimilation 3DVAR a permis une meilleure alimentation en humidité par le Sud-Ouest. Aussi, le signal de la limite frontale correspondant au gradient de la température potentielle est plus marqué dans l'expérience 3DVAR. Ce changement de structure a eu un net impact sur le champ des précipitations (figure 1). En effet l'expérience AD sous-estime largement les valeurs des précipitations (maximum 80 mm) et les décale vers le sud de la zone réellement touchée. L'expérience 3DVAR produit une bande de précipitations parfaitement localisée. En plus le cumul prévu par cette expérience dépasse 160 mm sur Casablanca sachant que le cumul observé pour la même période est de 178 mm.

Aussi, l'impact de l'initialisation par assimilation 3DVAR a été bénéfique pour réduire l'intensité de la cellule irréaliste que l'expérience AD a produit sur Essaouira.

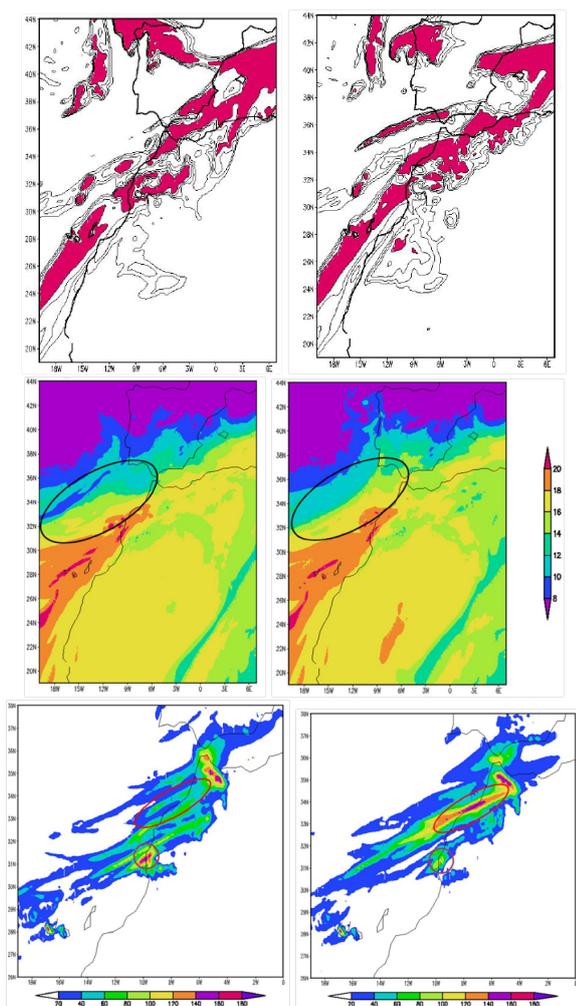


FIGURE 1 – L'humidité relative à 600 hPa prévu pour le 29 Novembre 2010 à 18UTC (en haut), la température potentielle à 850 hPa prévu pour le 30 Novembre 2010 à 00UTC (au milieu) et le cumul des précipitations prévues entre le 29 Novembre 06UTC et le 30 Novembre 06UTC (en bas). 3DVAR à droite et AD à gauche.

## 5 Conclusions et perspectives

Durant la situation étudiée lors de ce travail, l'utilisation d'un état initial produit par l'assimilation 3DVAR a eu un grand impact positif sur la prévision du modèle ALADIN-MAROC. En effet on, a pu constater une amélioration considérable des structures de la perturbation et par conséquent, une meilleure prévision des pluies.

Avec les progrès incessants en prévision numérique, les modèles non hydrostatiques sont largement utilisés dans les centres météorologiques internationaux. Le Maroc dispose récemment d'une version du modèle non hydrostatique AROME[5](Application de la Recherche à l'Opérationnel à Mésos-Echelle) couvrant tout le pays avec une résolution horizontale de 2.5 km. Ce modèle de fine échelle constitue une plate forme importante pour prévoir les épisodes de pluies intenses. Cependant, des études[6] ont montré que la haute résolution à elle seule n'était pas suffisante pour améliorer la prévision des pluies intenses. En effet, l'impact de l'état initial reste prépondérant surtout en assimilant les observations de haute densité relatives à l'humidité dans l'atmosphère. Dans ce contexte, l'assimilation des données issues des radars météorologiques offre un important potentiel d'information dont l'impact doit être évalué sur des situations d'orage convectives et de fortes précipitations sur le Maroc.

## Références

- [1] J. Coiffier, *Les bases de la prévision numérique du temps*, Société Météorologique de France, 2009.
- [2] K. Yessad, *Integration of the model equations and eulerian dynamics in the cycle 38 of ARPEGE/IFS*, Météo-France (2011).
- [3] A.C Lorenc, *Analysis methods for numerical weather prediction*. Quart. J. Roy. Meteor. Soc (1986), 112, 1177-1194.
- [4] P. Courtier et al, *The ECMWF implementation of three-dimensional variational assimilation (3D-Var). Part 1 : Formulation*, Quart. J. Roy. Meteor. Soc (1998), 124, 1783-1807.
- [5] Y. Seity et al, *The AROME-France convective scale operational model*. Mon Wea; Rev (2011) 139, 976-991.
- [6] V. Ducroq et al, *Storm-scale numerical rainfall prediction for five precipitating events over France : On the importance of the initial humidity field*, Weather and Forecasting (2002), 1236-1256.