

Prévision de quelques situations du brouillard avec AROME sur le
MAROC

Siham SBII¹ & Gwenaëlle HELLO²

Toulouse du 19/06/2006 au 30/07/2006

1: Service Prévision Numérique, Centre National des Recherches Météorologiques, Direction de la Météorologie Nationale. MAROC
2: Groupe de Modélisation pour l'Assimilation et la Prévision, Centre National des Recherches Météorologiques. Météo-France.

I. INTRODUCTION:

Le brouillard constitue l'un des phénomènes météorologiques les plus importants et les plus complexes à prévoir, il peut mettre en péril la vie de l'être humain. En effet, quand la visibilité baisse, toute circulation (routière, maritime ou aérienne) peut devenir dangereuse, et des précautions sont à prendre. Seulement ces précautions sont parfois très coûteuses (retards d'avions, changement d'aéroport d'atterrissage... etc). De ce fait, la prévision du brouillard, de l'heure de sa formation et de sa dissipation s'avèrent d'une grande importance humaine et économique.

Par ailleurs, du point de vue météorologique, le brouillard est un nuage très bas atteignant le sol, constitué de fines gouttelettes d'eau en suspension dans l'atmosphère, parfois il n'est pas classé en tant que nuage, car sa base est au sol, il est défini dans ce cas comme étant un ensemble de gouttelettes d'eau en suspension dans l'atmosphère. Sa formation peut être d'origine thermique suite au rayonnement de la terre, ou peut provenir de la turbulence dans les basses couches, ou encore des échanges avec la surface.

Une fois la couche du brouillard formée, elle agit sur son environnement par le refroidissement radiatif au sommet de la nappe du brouillard, par la diffusion turbulente et par la sédimentation des gouttelettes d'eau condensées.

La dissipation du brouillard est le résultat de l'interruption du refroidissement au sommet du brouillard, ou du réchauffement de la base du brouillard.

La complexité de ce phénomène et son forte interaction avec l'environnement de la nappe du brouillard fait que la prévision de sa formation et de sa dissipation par les modèles opérationnels reste encore à étudier.

Dans cet objectif, quelques études de prévisibilité du brouillard ont été effectuées au centre national des recherches météorologiques de Météo-France. Elles se sont basées sur différents modèles (des modèles 1D et/ou 3D). La présente étude a pour objectif de tester la prévisibilité du brouillard par le modèle AROME sur quelques situations de brouillard qu'a connu l'aéroport de CASABLANCA. Cet aéroport est le premier au Maroc et est sujet à des brouillards très fréquents. Ainsi, le Maroc est aussi amené à s'investir dans l'amélioration de la prévision de ce phénomène.

Le présent rapport trace ainsi l'évolution d'un des stages de coopération entre MAROC-METEO et METEO-France dans l'un des domaines de la prévision numérique du temps, en commençant par dresser les objectifs du stage, les cas d'étude, et en terminant par une analyse des résultats de quelques expériences du changement de résolution verticale.

II. Le phénomène « brouillard »:

Le brouillard, est défini comme étant une nappe d'hydrométéore constituée de gouttelettes d'eau en suspension dans l'atmosphère, il est parfois considéré comme un nuage très bas dont la base atteint le sol. On distingue quatre types de brouillard: le brouillard de rayonnement, le brouillard d'advection, le brouillard d'évaporation et le brouillard de mélange.

- Le brouillard de rayonnement est d'origine thermique: en présence de vent faible, et suite au rayonnement thermique de la terre, les plus basses couches de l'atmosphère se refroidissent et par conséquent la pression saturante de l'air diminue ce qui donne naissance aux gouttelettes d'eau. Ce type de brouillard se forme souvent au dessus des surfaces continentales et se dissipe au cours de la journée, lorsque l'air se réchauffe.
- Le brouillard d'advection: il se forme lorsque l'air relativement chaud et humide arrive sur une surface froide, ce dernier se refroidit par la base et provoque une condensation partielle de la vapeur d'eau présente dans l'atmosphère. Ce brouillard se forme surtout sur mer.
- Le brouillard d'évaporation apparaît quand une masse d'air froid surmonte une surface chaude (un étang ou un cours d'eau), l'air s'enrichit en humidité jusqu'à saturation, et le

supplément d'eau se condense pour donner naissance aux gouttelettes d'eau formant le brouillard.

- Le dernier type de brouillard est le brouillard de mélange qui est le résultat de deux masses d'air contrastées en température et en humidité, proches de la saturation, une fois brassées conduisent un air saturé.

Par ailleurs, le phénomène du brouillard passe par 3 phases: après sa formation, vient sa maturation et sa dissipation. Lors de la phase maturation, la nappe du brouillard interagit avec son environnement par:

- Le refroidissement radiatif au sommet du « brouillard »,
- La diffusion turbulente,
- La sédimentation des gouttelettes d'eau condensées.

Quant à la dissipation, elle apparaît en général quand le refroidissement au sommet du nuage est interrompu par lever du soleil par exemple, ou quand il y a réchauffement du sol dû à la pénétration du rayonnement solaire qui provoque la dissipation par le bas du nuage.

Tout ceci, montre la complexité du phénomène ainsi que sa forte interaction avec son environnement, ce qui rend sa prévision difficile vu les mécanismes mis en jeu ainsi que les paramètres à prendre en compte dans la formation du brouillard, car en outre l'humidité et la température de l'air il y a encore deux autres paramètres à prendre en compte dans la formation du brouillard: les noyaux de condensation qui jouent le rôle de catalyseurs de la condensation et le brassage de l'air dû au vent qui crée une agitation permettant la condensation de la vapeur d'eau, sans oublier que, inversement, un vent fort favoriserait plutôt la dissipation du brouillard.

III. Contexte et Objectifs du travail:

Le présent travail s'inscrit dans le cadre d'une coopération bilatérale entre le service Prévision Numérique de la Direction de la Météorologie Nationale Marocaine, et le Groupe de la Modélisation pour l'Assimilation et la Prévision de Météo-France. Il a pour objectif d'étudier la prévisibilité du brouillard par le modèle à haute résolution AROME. Les situations choisies intéressent une zone autour de l'aéroport MOHAMMED V (de Casablanca) où on observe très fréquemment ce phénomène.

Le travail a ainsi plusieurs buts:

1. Apprendre à mettre en « marche » le modèle AROME avec toutes ses étapes: création des fichiers climatologiques, production des fichiers coupleurs pour la surface et l'atmosphère, lancer des prévisions...etc
2. Acquérir une expérience dans la partie micro-physique utilisée dans la physique d'AROME.
3. Introduire quelques modifications de la sédimentation des gouttelettes d'eau dans le schéma ICE3 de la microphysique et les tester dans AROME sur les cas d'étude sélectionnés.
4. Tester la sensibilité de la prévision du brouillard au changement de la résolution verticale du modèle.

Le premier objectif a été atteint par la mise en place d'un domaine pour AROME/MAROC, couvrant la zone d'intérêt et s'étendant de 31.41° à 36.53° sur la latitude et de -10.57° à -5.47° sur la longitude. Les fichiers climatologiques ont été créés pour ce domaine là, et les conditions aux frontières ont été construites à partir du modèle global ARPEGE. Les fichiers coupleurs de la surface ont été également construits. Et ce pour les différents cas d'étude.

Une fois cet environnement construit, on a lancé quelques prévisions avec le cycle 31t1. On a ensuite commencé à introduire quelques modifications dans le schéma ICE3 en simulant la sédimentation des gouttelettes d'eau nuageuse, ces modifications ont été testées dans Mésoscale-NH et ont

montré un apport à la qualité de la prévision du brouillard. Ce qui m'a permis de toucher de près le code de la micro-physique utilisé dans AROME et d'atteindre par conséquent le deuxième objectif de mon stage. Cependant, ce code une fois introduit dans AROME générant des problèmes qu'on n'est pas arrivé à résoudre faute de temps.

Par ailleurs, sur les différents cas de brouillard que nous avons regroupés, on a effectué un test de sensibilité du changement de la résolution verticale sur la prévision du brouillard.

IV. Présentation du domaine d'étude:

Le domaine choisi pour l'étude du brouillard s'étend 31.41° à 36.53° sur la latitude et de -10.57° à -5.47° sur la longitude, il couvre une partie du littoral atlantique. La station CASABLANCA NOUASSEUR (où se situe l'aéroport Mohammed V) se trouve à $\sim 40\text{km}$ de l'océan atlantique, et à proximité de la forêt BOUSKKOURA, elle est à une altitude d'environ 200m par rapport au niveau de la mer. On y observe très fréquemment des situations de brouillard. Une étude climatologique récente (*BARI.D BERGOT.T, September 2005, How to improve the Fog and Low clouds forecasting at CASABLANCA NOUASSEUR*) prenant en considération les observations de brouillard correspondantes à 6ans (2000 à 2005) a montré qu'on observe un brouillard de rayonnement avec la plus haute fréquence.

La figure suivante montre l'étendue du domaine d'étude,

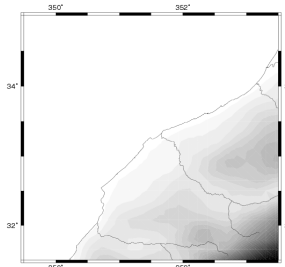


Figure : Domaine d'AROME/MAROC

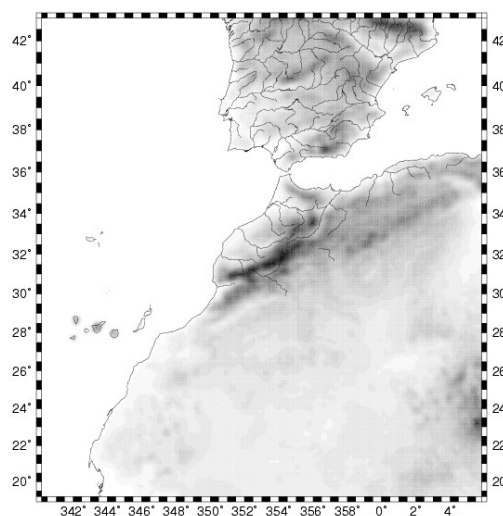


Figure :2 le domaine d'ALADIN/MAROC

V. Présentation des situations choisies pour l'étude:

Les situations de brouillard choisies pour cette étude sont regroupées dans le tableau suivant, leur classification émane de l'étude climatologique précitée sur le brouillard à la station de NOUASSEUR qui classe le brouillard comme suit:

Un brouillard est classé de rayonnement si :

- on constate un refroidissement de la température à 2m au cours des trois dernières heures
- la vitesse du vent moyen ne dépasse pas 2.5 m/s au cours de l'heure précédente
- ciel clair au cours de l'heure précédente ou amélioration du plafond au cours des trois dernières heures avec une nébulosité totale inférieure strictement à 3 octas.

Il est classé comme étant un « affaissement de stratus » si:

- La réduction de la visibilité en dessous de 1 Km est observée après une décroissance graduelle du plafond au cours des six dernières heures.
- Le plafond doit être inférieur à 700 m au cours de la même période.
- La nébulosité du nuage le plus bas doit être supérieure ou égale à 4 octas au cours de la même période.

Il est classé d'advection si :

- Le vent a soufflé du secteur Ouest à Nord (en provenance de l'océan atlantique) avec une vitesse supérieure à 3 m/s au cours des cinq dernières heures et s'affaiblissant durant les deux dernières heures avant la formation du brouillard.

Début		Fin		classement
Jour	Heure	Jour	Heure	
01/01/2005	23H54	02/01/2005	00H05	Affaissement de stratus
02/01/2005	23H40	03/01/2005	05H10	Rayonnement
03/01/2005	06H15	03/01/2005	10H35	Affaissement de stratus
04/01/2005	21H30	05/01/2005	04H20	Rayonnement
05/01/2005	07H02	05/01/2005	09H35	Affaissement de stratus
05/01/2005	21H05	06/01/2005	05H35	Rayonnement
06/01/2005	06H02	06/01/2005	07H35	Affaissement de stratus
06/01/2005	18H40	07/01/2005	06H01	Indéterminé
07/01/2005	23H10	08/01/2005	03H35	Affaissement de stratus

Tableau 1 : Classification des situations du brouillard

VI. Tests de sensibilité du brouillard à la résolution verticale :

Parmi les objectifs du travail, était de tester la sensibilité de la prévisibilité du brouillard à la résolution verticale. Ainsi, pour quelques situations enregistrées durant le mois de Janvier 2005, on a lancé des prévisions avec AROME avec 41 et 46 niveaux verticaux.

1. Situation du 02/01/2005:

Lors de cette journée on a observé une nappe de brouillard de rayonnement qui débuta le 02/01/2005 à 23h40 et qui se dissipa le 03/01/2005 à 05h10. Les images satellitaires observées lors de cette même date sont les suivantes:

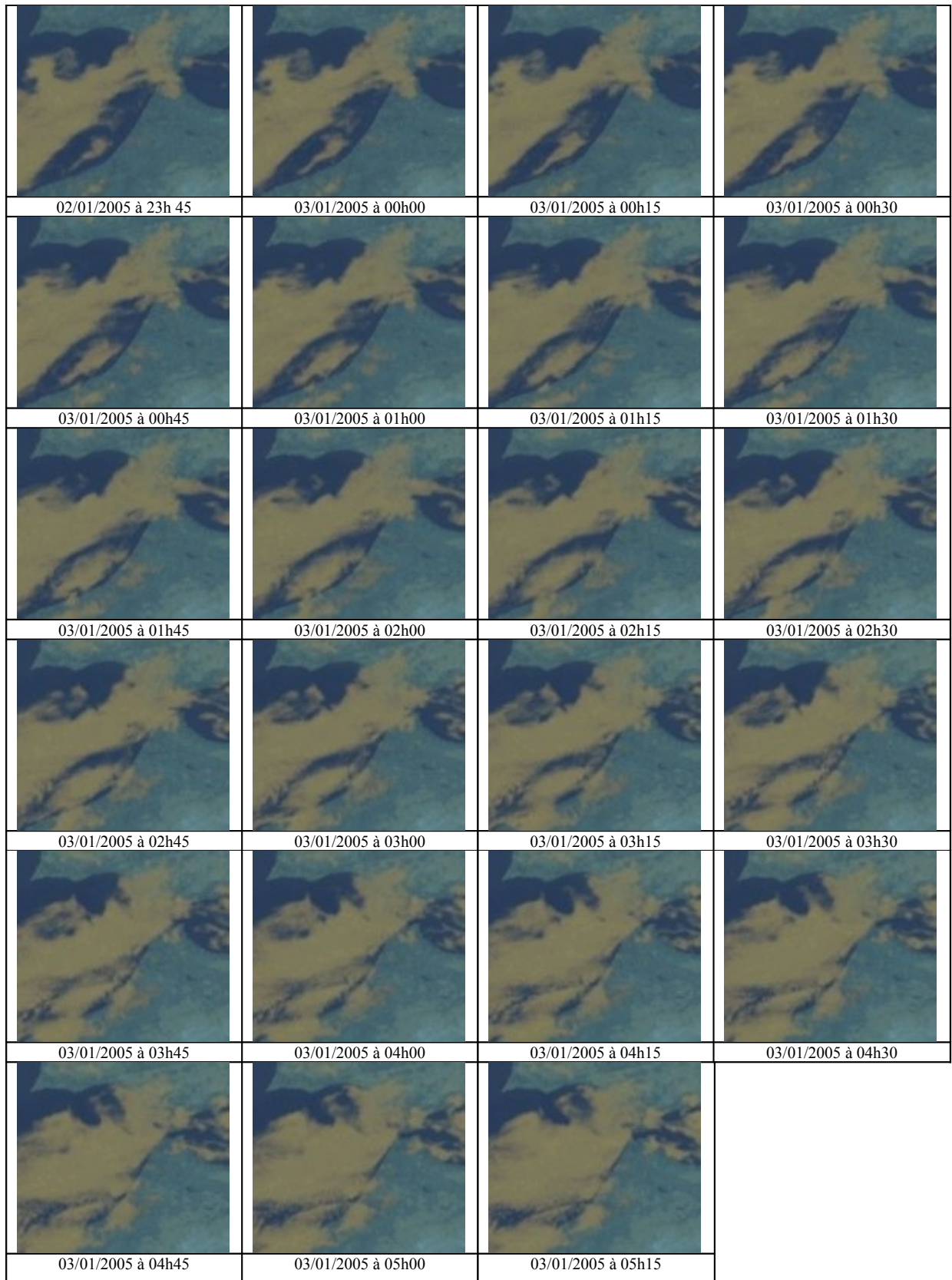


Figure 3 : Images composite (METEOSAT8) relatives à la situation du 03/01/2005

Pour cette date, on a lancé des prévisions avec AROME utilisant 41 et 46 niveaux verticaux. Les figures suivantes correspondent à la nébulosité totale prévue par les deux réseaux.

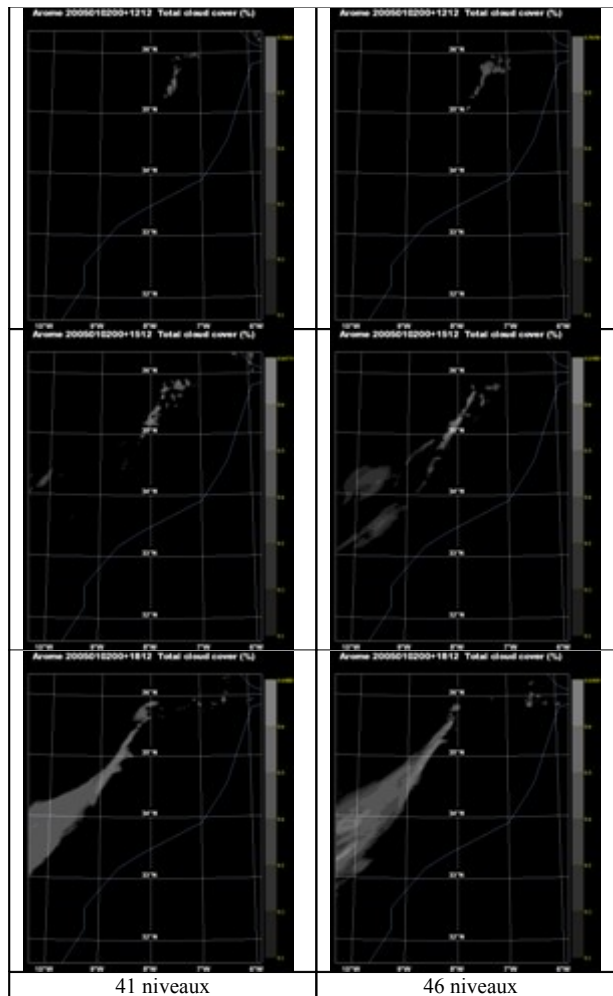


Figure 4 : Prévisions avec AROME (nébulosité totale)

On remarque que, en augmentant le nombre de niveaux verticaux, on améliore la prévision de la nébulosité.

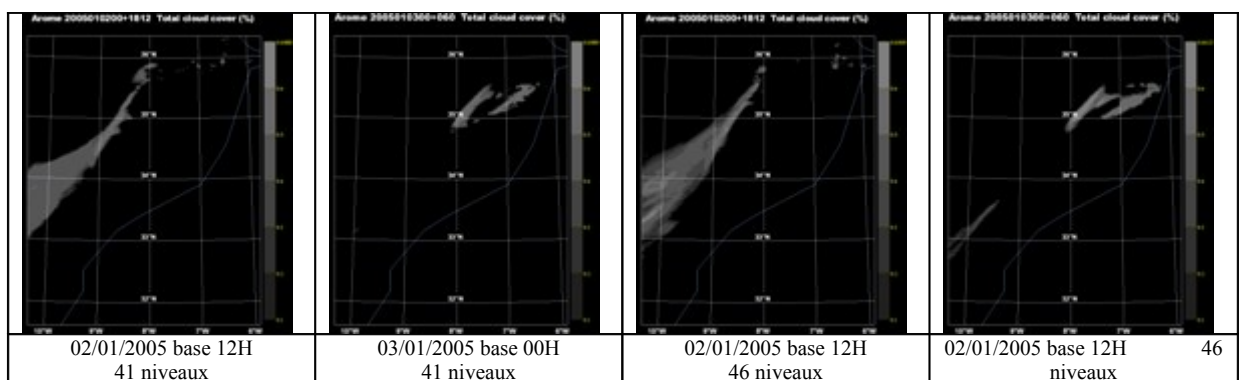


Figure 5 : Prévisions avec AROME (nébulosité totale)

Pour le 03/01/2005 à 06h, on a comparé les sorties des deux réseaux : le 02/01/2005 à 12h et celui du 03/01/2005 à 00h (figure 5). On remarque que les prévisions issues du réseau de la veille s'approchent plus de la réalité étant donné que la nébulosité y est plus importante.

Par ailleurs, sur les cartes du brouillard diagnostiqué comme étant la nébulosité maximale entre les deux derniers niveaux du modèle (figure 6), on remarque une ligne de brouillard dans la prévision à 46 niveaux complètement absente dans la prévision à 41 niveaux.

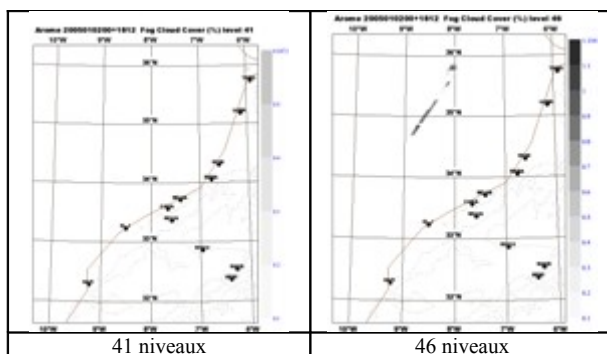


Figure 6 : Prévisions avec AROME (champ du brouillard)

2. Situation du 05/01/2005:

Le brouillard avait pris naissance à 07h00 du matin, pour se dissiper vers 9h30 du même jour, on avait observé un affaissement de stratus qui était à l'origine de cette nappe nuageuse au contact avec le sol. Les images satellitaires issues de METEOSAT8 correspondantes à cette situation sont listées dans les figures qui suivent:

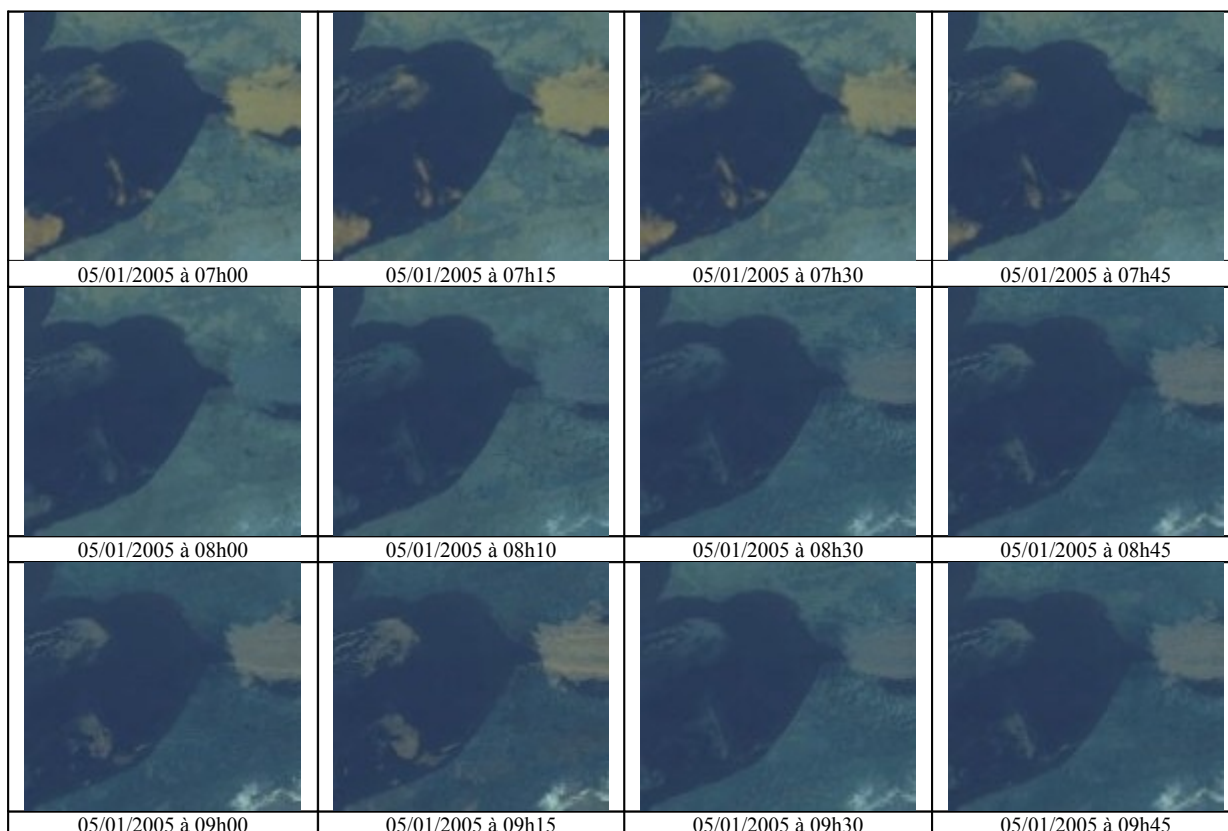
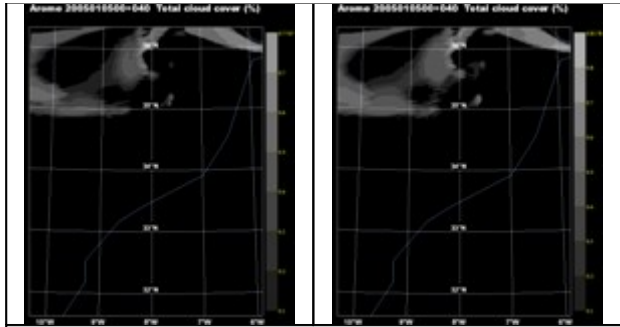
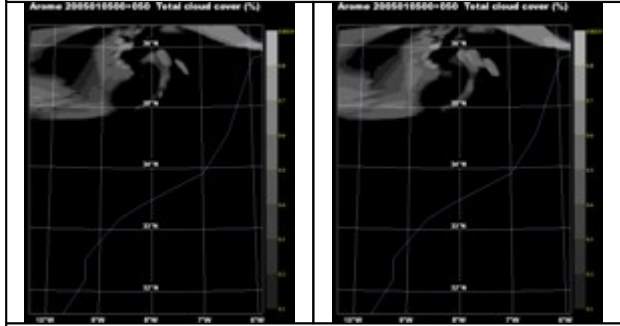


Figure 7 : Images composite (METEOSAT8) relatives à la situation du 05/01/2005

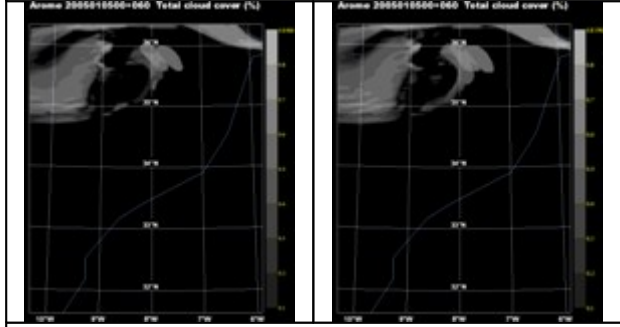
Les prévisions des nébulosités dans les deux cas de figure (41 et 46 niveaux) sont données par les graphiques suivants:



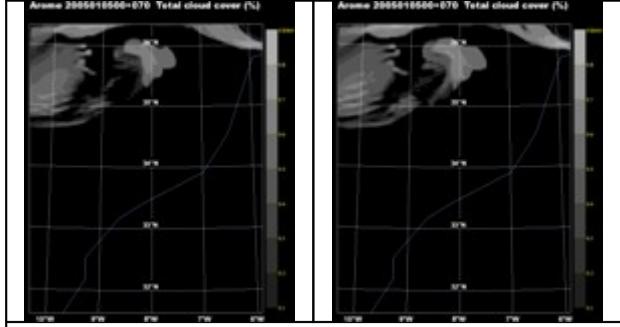
05/01/2005 ECH04h



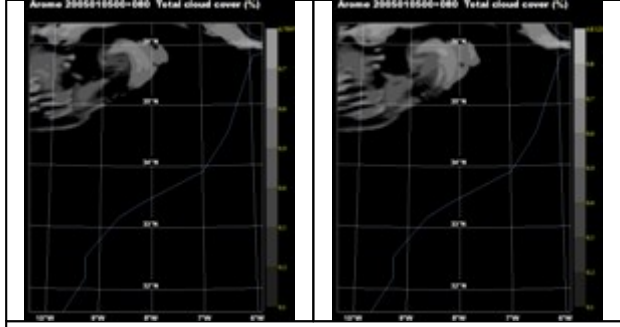
05/01/2005 ECH05h



05/01/2005 ECH06h



05/01/2005 ECH07h



05/01/2005 ECH08h

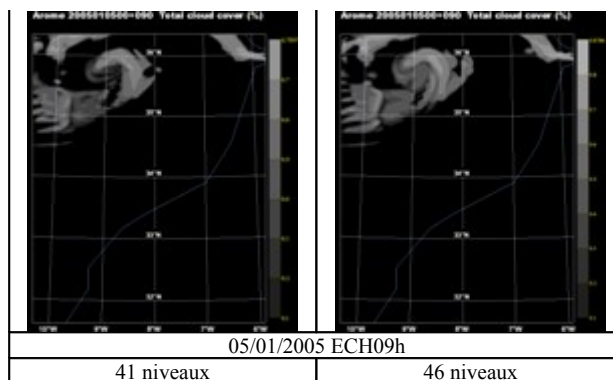


Figure 8 : Prévisions avec AROME (nébulosité totale)

La prévision utilisant 46 niveaux produit légèrement plus de nébulosité en général sur le domaine, sans pour autant prévoir du brouillard dans la région de Nouasseur.

Par contre, sur les cartes de brouillard (non montrées), aucune trace de brouillard n'est prévue par les deux expériences.

3. situation du 06/01/2005 à 06h00:

La situation était caractérisée par une apparition très rapide du brouillard classé comme « affaissement de stratus », qui se dissipa une heure et demi plus tard. Sur l'imagerie satellitaire on peut voir une faible bande nuageuse atteignant la zone d'intérêt

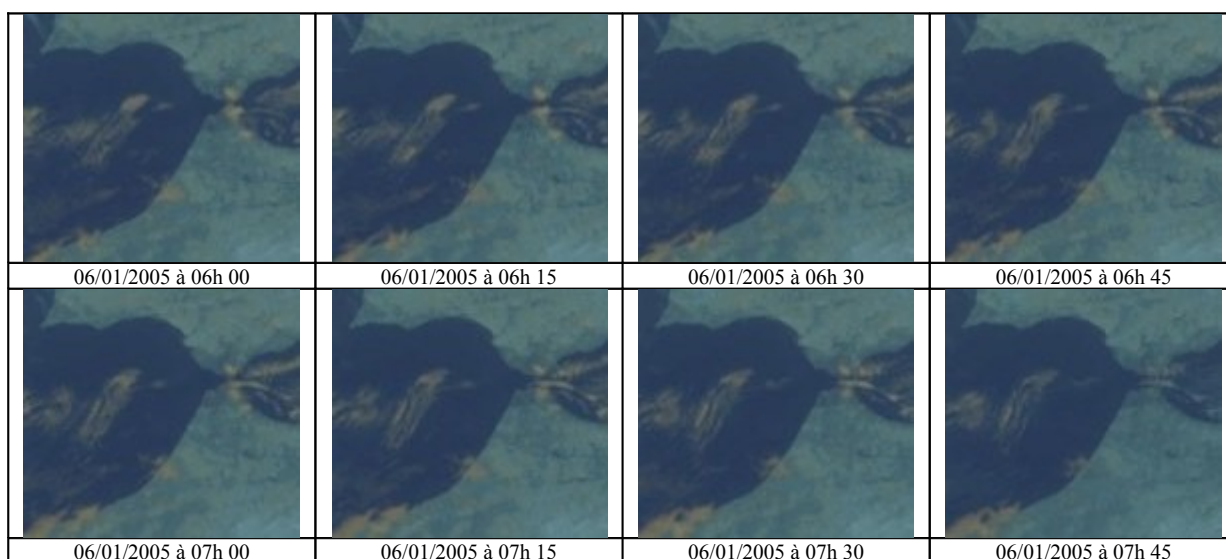


Figure 9 : Images composite (METEOSAT8) relatives à la situation du 06/01/2005

Les prévisions du modèle sont regroupées dans le tableau suivant,

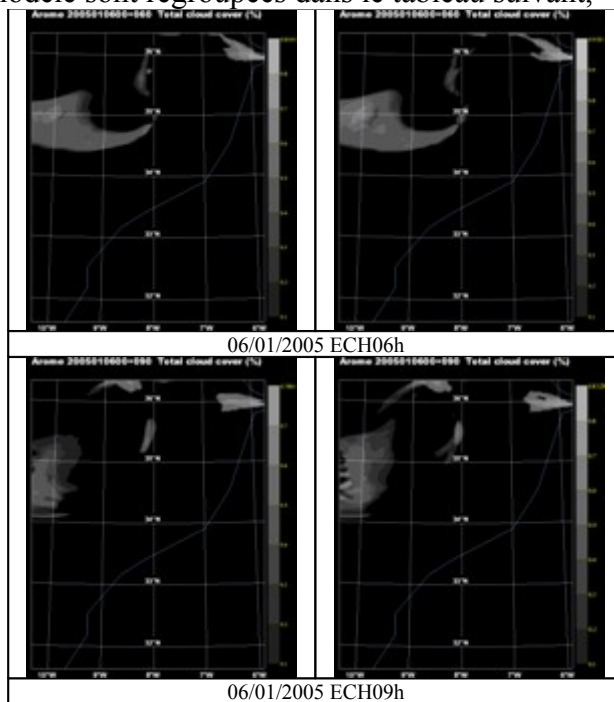


Figure 10 : Prévisions avec AROME (nébulosité totale)

Les deux versions du modèle (41niveaux et 46 niveaux) font échapper le phénomène, tout en mettant plus de nébulosité en général pour le modèle tournant avec 46 niveaux. Pour les cartes de brouillard, la même remarque se reproduit: aucune trace de brouillard n'est prévue par AROME.

4. situation du 06/01/2005 à 19h00:

Cette situation n'est pas classée par l'étude climatologique précitée, mais on y a observé une nappe de brouillard qui a duré toute la nuit du 06/01/2005 au 07/01/2005.

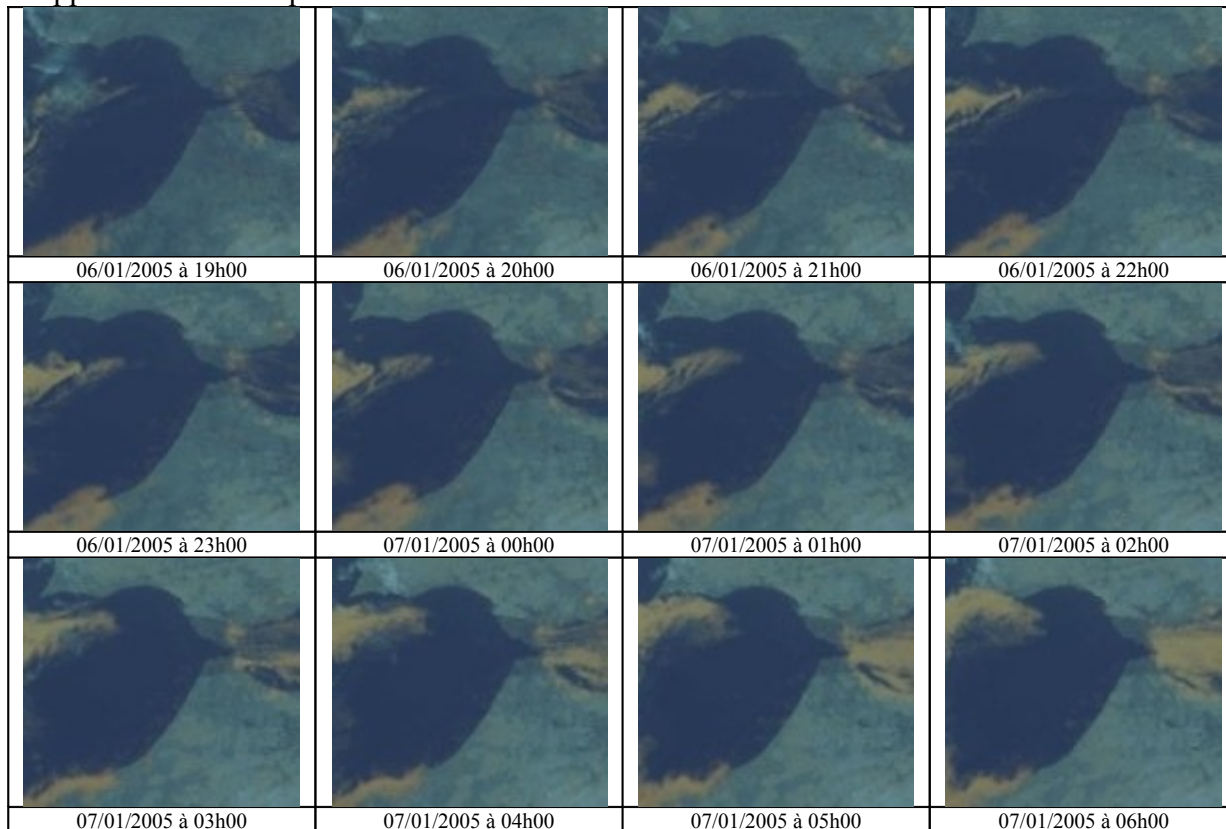
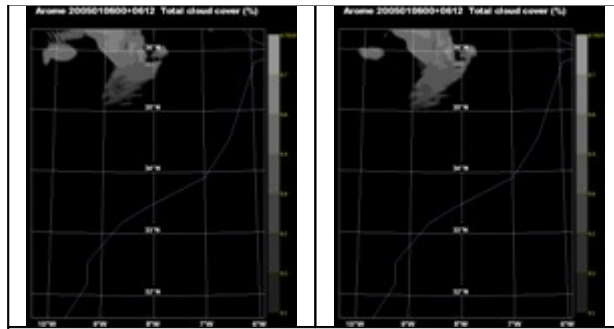
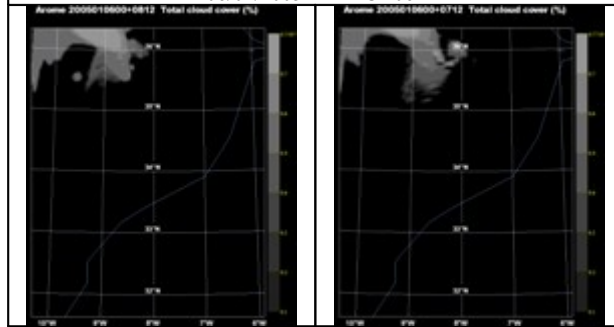


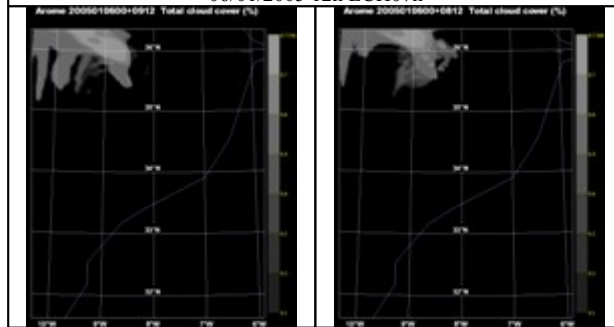
Figure 11 : Images composite (METEOSAT8) relatives à la situation du 06/01/2005 à 19h.



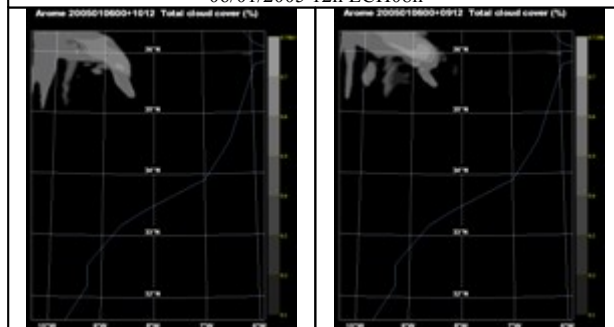
06/01/2005 12h ECH06h



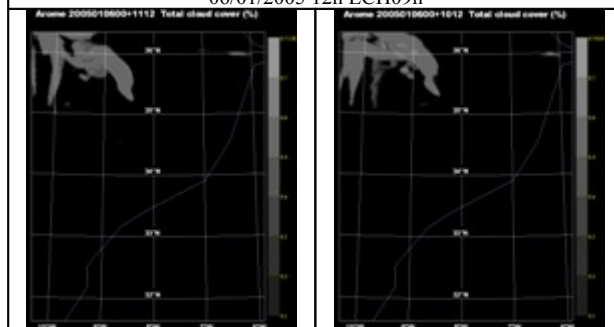
06/01/2005 12h ECH07h



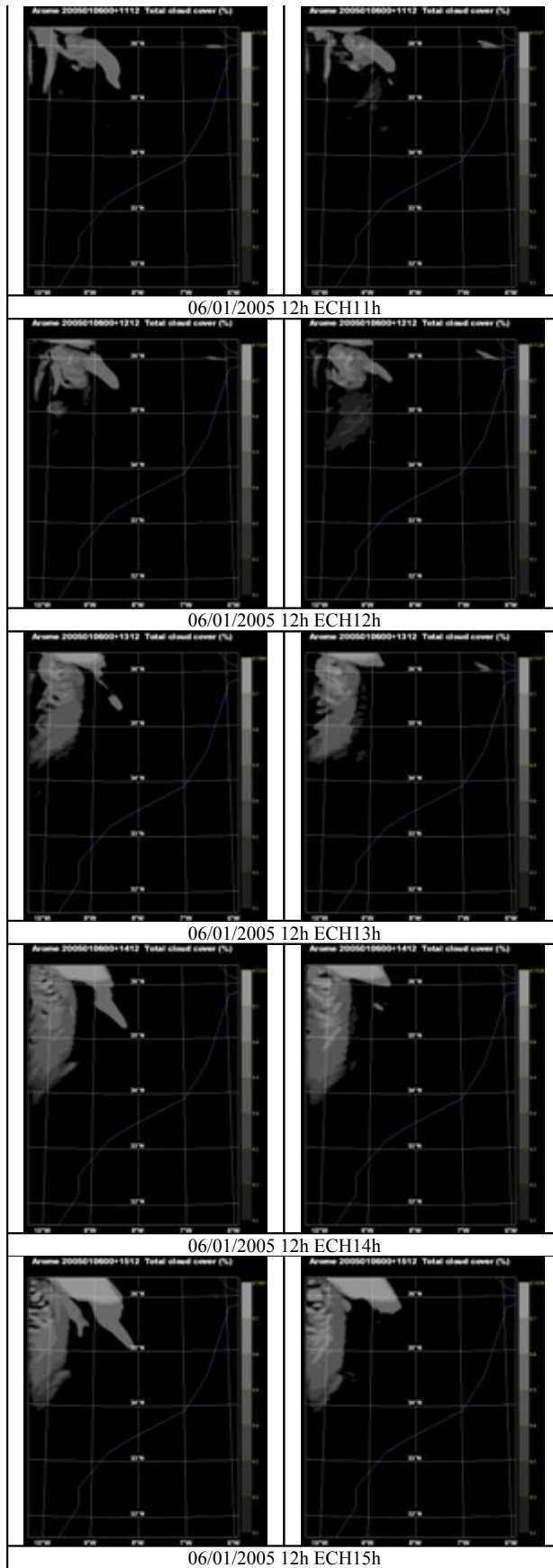
06/01/2005 12h ECH08h



06/01/2005 12h ECH09h



06/01/2005 12h ECH10h



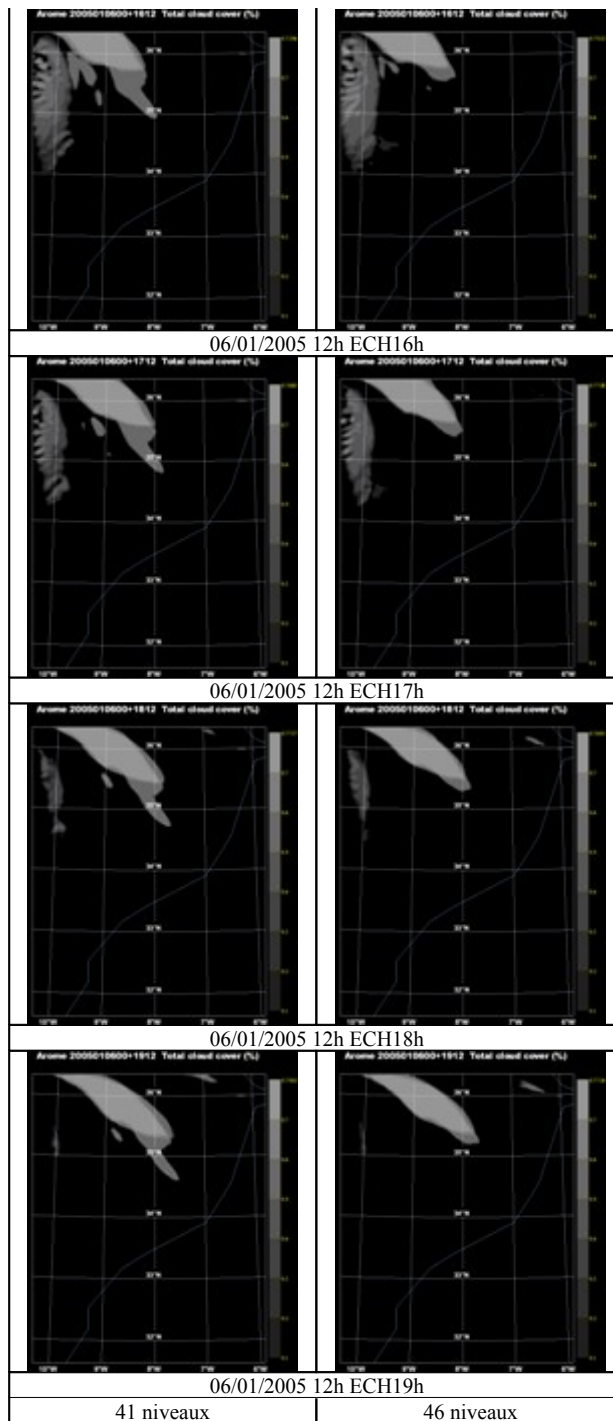


Figure 12 : Prévisions avec AROME (nébulosité totale)

En général, la même remarque est relevée sur les cartes de nébulosité totale avec absence du brouillard sur la zone d'intérêt quoi que la prévision utilisant 41 niveau produit moins de nébulosité que celle utilisant 46 niveaux verticaux.

VII. CONCLUSION:

La présente étude avait pour objectif de tester la prévisibilité du brouillard avec AROME sur quelques situations observée sur l'aéroport de NOUASSEUR, Cette étude a débuté par l'installation et la mise en marche d'AROME/MAROC et a terminé par des tests de sensibilité de la prévision du brouillard par AROME au changement de la résolution verticale.

Ces tests ont été effectués pour différents types de brouillard observés lors du mois de Janvier 2005 sur la station aéronautique CASABLANCA/ NOUASSEUR. Ainsi, des prévisions avec 41 et 46 niveaux ont été lancées pour les différentes situations sélectionnées. Sur les deux expériences, on a remarqué une absence totale de la nappe de brouillard durant les trois étapes de la formation, la maturation et la dissipation du brouillard. Par contre en terme de nébulosité, en général la prévision à 46 niveaux produit plus de nébulosité.

Par ailleurs, la prévision à très courte échéance (moins de 6h) s'avère moins bonne que celle démarrant 12h plus tôt en terme de nébulosité (situation du 02/01/2005).

Cette étude est l'une des études qui se sont intéressées à la prévision du brouillard par les modèles opérationnels et constitue un premier pas vers un chemin d'investigations multidisciplinaire qui intéresse la direction de la météorologie nationale.

VIII. BIBLIOGRAPHIE:

- REMY S.**, 2006, *Amélioration des paramétrisations microphysiques de MESO-NH et AROME pour le brouillard.*
- Bari D., Bergot T.**, Octobre 2005 : *How to improve the Fog and low clouds forecasting at Casablanca Nouasseur Airport*, Langen Proceedings COST 722 - Short range forecasting methods of fog, visibility and low clouds, **12 - 24.**
- MALARDEL S.** *Fondamentaux de la météorologie.*