

# Prévision du brouillard sur l'aéroport d'Alger par le modèle COBEL couplé au modèle AROME et forcé par les observations AMDAR

Zakaria BENGHABRIT <sup>1\*</sup> Abdelhalim Ramzi SMAHI <sup>2</sup>

## Abstract

Cette étude a pour objectif l'évaluation de la prévisibilité du brouillard du modèle COBEL (Code de Brouillard à l'Échelle Locale) taillé spécialement pour cette tâche, grâce à sa qualité en tant que modèle unidimensionnel à échelle fine. Pour ce faire, deux situations météorologiques de brouillard, survenues au dessous de l'aérodrome d'Alger, ont été simulées en utilisant ce modèle. COBEL a été forcé à la fois par les prévisions AROME (Application à la Recherche Opérationnel à Mésoséchelle) et les observations Aircraft Meteorological Data Relay (AMDAR). Les résultats obtenus dévoilent l'intérêt de l'utilisation de ce modèle conjointement avec les produits disponibles au niveau de la chaîne de prévision pour l'amélioration de la prévision du brouillard.

## Keywords

COBEL, AROME-ISBA, AMDAR, Brouillard

<sup>1</sup> Office national de la météorologie, Dar El Beida, Alger

<sup>2</sup> Institut Hydrométéorologique de Formation et de Recherches (IHFR), Oran

\*Correspondant: benghabritzak@gmail.com

## Contents

<b>1</b>	<b>Introduction:</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Méthodologie</b>	<b>2</b>
2.1	Le modèle COBEL-ISBA	2
2.2	Le modèle AROME	2
2.3	Données utilisées	2
	Observations d'aéronefs AMDAR • Sorties du modèle AROME	
<b>3</b>	<b>Résultats</b>	<b>4</b>
3.1	1 <sup>er</sup> cas: la nuit du 23 au 24 mars 2019	4
3.2	2 <sup>e</sup> cas: la nuit du 27 au 28 décembre 2019	4
<b>4</b>	<b>Conclusion</b>	<b>4</b>
	<b>References</b>	<b>7</b>

## 1. Introduction:

Le brouillard constitue l'un des phénomènes météorologiques les plus importants dans le domaine de l'aéronautique et les plus complexes à prévoir, même à très courte échéance. Il a un impact sur la sécurité des personnes et des biens ainsi que sur diverses activités économiques et peut mettre en risque la vie de l'être humain. En effet, quand les conditions de faible visibilité règnent sur une région donnée, 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.

Du point de vue de la prévision opérationnelle, le brouillard reste un défi car il met en œuvre des processus de

petite échelle, à la fois horizontale et verticale, et particulièrement des interactions complexes entre les processus dynamiques, turbulents, microphysiques et radiatifs. Ces processus de très petite échelle sont encore mal représentés dans les modèles numériques opérationnels, ce qui impose que ce phénomène est difficile à prévoir, même à très courte échéance.

Plusieurs modèles de prévision du brouillard existent actuellement et sont même utilisés en opérationnel. Certains modèles sont unidimensionnels (1D) et d'autres sont couplés directement aux modèles atmosphériques 3D. On peut citer à titre d'exemple les version 1D des modèles HIRLAM-INM (INM, Espagne) (Terradellas et Cano 2006), HIRLAM-DMI (DMI, Danemark) (N. W. Nielsen et al. 2002), ainsi que la version 1D du modèle Unified Model (Met office, Royaume-Uni) (Clark et Hopwood, 2001).

Dans cet article on s'intéresse au modèle unidimensionnel COBEL-ISBA (COde de Brouillard à l'Échelle Locale - Interactions Soil Biosphere Atmosphere) (Bergot et al. 2005, Noilhan and Planton, 1989). COBEL possède une résolution verticale très fine, ce qui lui permet de gérer les interactions complexes conduisant à la formation ou non du brouillard. Ce modèle pourra être forcé par des données d'observation ou par des données des modèles méso-échelle ou bien combiné à la fois les deux jeux de données, observations et modèles, comme dans notre cas.

Dans une première partie, nous allons présenter une brève description des outils numériques utilisés COBEL-ISBA et AROME (Piet et al. 2018), ainsi que les données utilisées pour l'étude.

En seconde partie, nous allons analyser les résultats des simulations et les comparer avec les observations pour évaluer la qualité de la prévision. Enfin, nous terminerons

par une conclusion générale.

## 2. Méthodologie

### 2.1 Le modèle COBEL-ISBA

Le modèle COBEL (Bergot et al. 2005)[1] a été développé au laboratoire d'aérodynamique de l'Université Paul Sabatier, Toulouse, France. Comme à l'origine, il a été conçu pour décrire localement les processus de couche limite nocturne stable. Il possède une paramétrisation du mélange turbulent adaptée pour les stratifications très stables, un schéma de radiations infrarouges de haute résolution spectrale (232 bandes spectrales), une paramétrisation des processus microphysiques (condensation/évaporation, sédimentation gravitationnelle des gouttelettes, précipitation) et un couplage avec un module de surface ISBA (Noilhan and Planton, 1989) pour les échanges de chaleur surface-atmosphère et pour les processus de gelée et de rosée.

Afin de pouvoir représenter correctement le refroidissement nocturne des couches atmosphériques proches de la surface, et donc l'évolution d'une couche de brouillard, il est nécessaire d'avoir une discrétisation très fine de l'atmosphère près du sol (la hauteur de l'inversion nocturne est typiquement de quelques dizaines de mètres). Ainsi, la grille COBEL comporte 30 niveaux entre 50 cm et 1363 mètres, dont 20 dans les 200 premiers mètres de l'atmosphère. Ces niveaux sont les suivants :

Table 1. grille du modèle COBEL

Rang	Hauteur (m)	Rang	Hauteur (m)	Rang	Hauteur (m)
1	0.5	11	31.9	21	242.17
2	1.65	12	39.63	22	293.94
3	3.05	13	48.98	23	356.54
4	4.74	14	60.29	24	432.27
5	6.78	15	73.97	25	523.85
6	9.25	16	90.51	26	634.61
7	12.24	17	110.52	27	768.54
8	15.85	18	134.71	28	930.58
9	20.22	19	163.97	29	1126.52
10	25.51	20	199.36	30	1363.5

Le modèle de surface ISBA (Noilhan and Planton, 1989) a été développé au Centre National de Recherche Météorologique (CNRM) pour caractériser les échanges sol-végétation-atmosphère. Les nombreux coefficients intervenant dans la diffusion de la chaleur et de l'eau sont déterminés à partir des caractéristiques du sol (texture du sol, type de végétation, profondeur racinaire...)[2].

Plusieurs versions du modèle ISBA ont été développées afin de couvrir les différents besoins. Cependant, c'est la version multicouche d'ISBA qui est couplée à COBEL. Cette dernière version utilise un schéma de résolution multicouche des transferts de chaleur et de masse dans un milieu poreux. ISBA calcule le bilan de d'énergie dans le sol

afin de transmettre des flux de chaleurs sensible et latente au module atmosphérique COBEL.

Table 2. grille du modèle ISBA

Couches	1	2	3	4	5	6	7
Profondeur (cm)	-0.5	-2.5	-8.5	-20.5	-44.5	-94.5	-116

Le modèle COBEL-ISBA intègre également des forçages de méso-échelle provenant d'un modèle de prévision de méso-échelle afin d'inclure l'influence de l'échelle régionale sur l'échelle de prévision locale en tenant compte des advections horizontales de température et d'humidité, du vent géostrophique et de la couverture nuageuse. Ces forçages sont obtenus en couplant COBEL avec un modèle de méso-échelle, en l'occurrence ici AROME (Piet et al., 2018)[3].

### 2.2 Le modèle AROME

AROME (Seity et al. 2011), est le modèle de prévision numérique du temps à maille fine non hydrostatique. Il a été conçu pour améliorer la prévision de phénomènes extrêmes et dangereux de petite échelle tels que les orages, les précipitations intenses, le brouillard ou les îlots de chaleur urbains en période de canicule. AROME est développé conjointement par Météo-France et les services météorologiques des pays européens et nord-africains du consortium ALADIN. L'hypothèse hydrostatique généralement utilisée dans les modèles à plus grande échelle n'est pas utilisée dans AROME. En effet, AROME utilise le système d'équations non-hydrostatiques pleinement compressibles d'Euler (nécessaires à la représentation explicite des processus convectifs par exemple). Cela signifie que les vitesses verticales sont notamment calculées de manière pronostique dans le modèle.

Le tableau ci-dessous résume les caractéristiques opérationnelles de la version export du cycle 43 du modèle AROME, celle dont les données ont été utilisées pour notre étude [4].

Table 3. Caractéristiques du modèle AROME

Modèle	AROME
Version	CY43T2bf.10
Modèle LBC	ALADIN
Fréquence de couplage	1h
Intervalles entre échéances	1h
Résolution horizontale	3km
Nombre de niveaux	41
Résolution temporelle	60 <sub>s</sub>
Latitude	28 °N - 40 °N
Longitude	03 °E - 0.9 °E
Nombre de points de grille	500*500
Réseaux	00h, 12h UTC
Durée de la prévision	48h

### 2.3 Données utilisées

Pour cette étude nous avons utilisé :

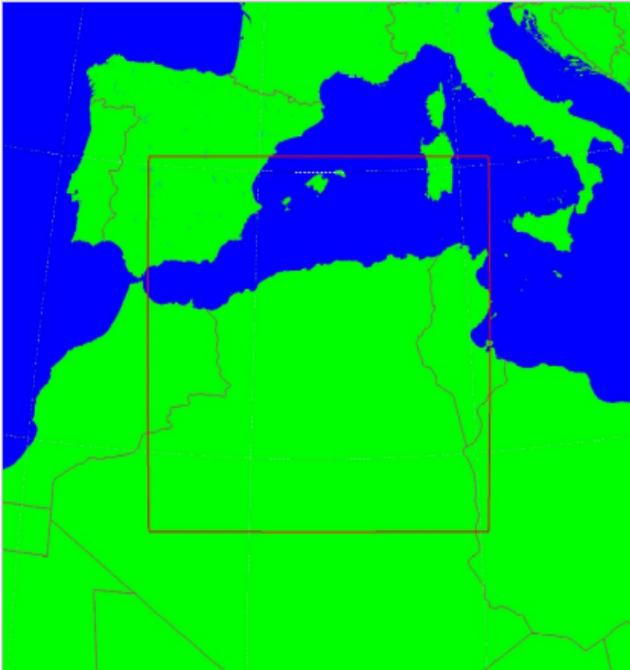


Figure 1. Domaine du modèle AROME Algérie

- Les observations issues des messages METAR pour la station « Aérodrome de Dar El Beida-DAAG » sont utilisées.
- Les observations du mât pour la température, l'humidité et le rayonnement : Ces données ne sont pas disponibles. Donc, elles sont compensées par les prévisions du modèle AROME, tandis que pour le vent, les données sont remplacées par les observations AMDAR.
- Les données dans le sol (température et humidité) : indisponibles également, ces données sont calculées par COBEL par la méthode offline. C'est-à-dire que les valeurs manquantes de l'observation au sol sont forcées par des observations et des prévisions disponibles.

### 2.3.1 Observations d'aéronefs AMDAR

AMDAR est un système d'observation météorologique par aéronefs. L'objectif d'AMDAR est la récupération et la valorisation des données aérologiques collectées par les avions de ligne. Les données prises pour cette étude sont la force du vent transformée en composantes zonale (u) et méridienne (v), ainsi que les altitudes correspondantes.

En effet, les mesures AMDAR et les autres observations provenant d'aéronefs utilisées dans le système d'assimilation des modèles de PNT augmentent la qualité de la prévision de ces derniers en diminuant l'erreur de 15 à 20 %.

En termes d'amélioration des prévisions, ces observations arrivent au deuxième rang, juste derrière les données satellitaires obtenues en grand volume.

Les données AMDAR sur le vent et la température présentent une qualité similaire (sur le plan de l'exactitude ou de

l'incertitude) aux observations effectuées par radiosondage. Les données sont recueillies à une fréquence ou un taux très élevé, ce qui affine énormément les profils verticaux.

Ces profils verticaux sont établis toutes les 3 heures ou moins, en raison de la fréquence de décollage et d'atterrissage des aéronefs à de nombreux aéroports.

Ces profils verticaux sont établis toutes les 3 heures ou moins, en raison de la fréquence de décollage et d'atterrissage des aéronefs à de nombreux aéroports.

Les données disponibles sur la base sont de 2009 à 2020 à l'échelle du globe téléchargeables sur le site de CEDA Archives après requête.

<https://catalogue.ceda.ac.uk/uuid/354d245bb70a44678d533b2ef586cf24> Le domaine extrait pour l'étude s'étale de 2.75°E et 3.75°E en longitudes et de 36°N et 38°N en latitudes, et verticalement du sol à 1363.5 m (sommet de la grille COBEL). Ce traitement a été fait grâce à un script du langage R.

L'objet de cette observation est de créer un profil de vent vertical observé pour des décollages ou atterrissages et montrer son importance à alimenter les modèles numériques pour la prévision du brouillard, qui se base sur le comportement des différents paramètres météorologiques sur la verticale.

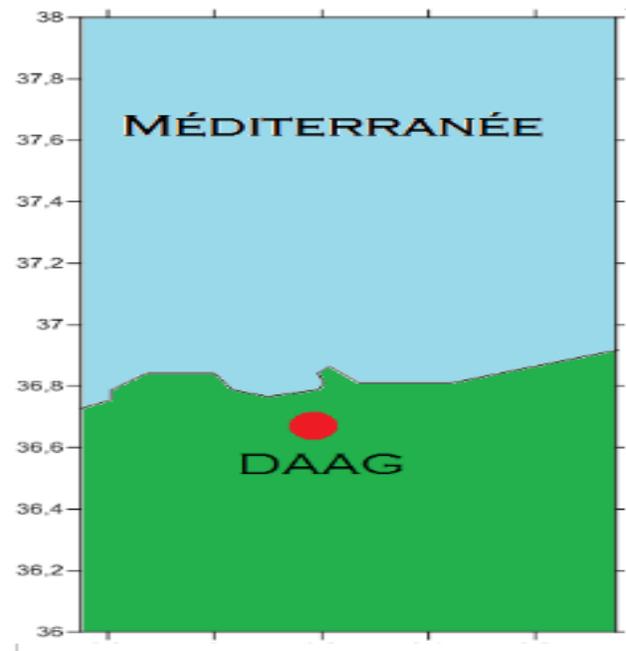


Figure 2. Domaine des observations AMDAR

### 2.3.2 Sorties du modèle AROME

Pour le forçage de méso-échelle, COBEL fait appel à des prévisions d'un modèle 3D (ici on a choisi AROME) sur 36h pour le réseau de 00h du 23/03 et du 27/12 pour les paramètres suivants : La pression réduite au niveau de la mer, la température, le rapport de mélange, la température potentielle, les 2 composantes du vent réel, les 2 com-

posantes du vent géostrophique, l'advection de la température, la température potentielle et les 2 composantes du vent réel, calculées sur un rayon de 6km.

Ces données sont fournies au modèle sur les niveaux altitudes suivants :

20, 50, 100, 250, 500, 700, 1000, 1250, 1500, 2000, 2500, 3000, 4000, 5000, 6000m.

Comme les données AROME fournies par l'Office National de Météorologie (ONM) sont sur des niveaux de pression, il a été nécessaire, à partir des prévisions de géopotential, de faire une interpolation linéaire avec le langage R.

COBEL a aussi besoin de données de rayonnement et de nébulosité issues d'AROME, mais comme COBEL lit les 2 en même temps, on a dû se passer des données de nébulosité en raison de non disponibilité de celles du rayonnement.

### 3. Résultats

Le modèle COBEL a été testé sur deux situations de brouillard, l'une en hiver survenue la nuit de 23 au 24 Mars 2019 et l'autre produite au printemps dans la nuit de 27 au 28 Décembre 2019.

Les résultats des simulations sont présentés ci-dessous. Les courbes en rouge présentent l'évolution semi-horaire de différents paramètres prévus par COBEL, tandis que les courbes en bleu présentent l'évolution de ces mêmes paramètres observés.

#### 3.1 1<sup>er</sup> cas: la nuit du 23 au 24 mars 2019

Pour ce premier cas, le brouillard s'est formé très tôt la nuit (23h00) en raison de la réunion de conditions favorables au sol et dans les premiers mètres de la couche atmosphérique : refroidissement, vent faible ainsi qu'une humidité relative très élevée (>90%). Sa dissipation a commencé à 4h00 du matin où il a laissé place à une brume à cause d'un réchauffement qui a conduit à une évaporation des gouttelettes constituant le brouillard.

COBEL a plutôt bien prévu l'ensemble des paramètres, avec une surestimation de la température ( et donc une sous-estimation de l'humidité) et du vent dans la deuxième moitié de la nuit, tandis que la visibilité (donc le brouillard) a été correctement prévue avec un retard d'1h pour l'apparition et une avance d'1h30 pour la dissipation

#### 3.2 2<sup>e</sup> cas: la nuit du 27 au 28 décembre 2019

Pour le deuxième cas, le brouillard s'est formé très tôt la nuit également (23h00) en raison de la réunion de conditions favorables au sol et dans les premiers mètres de la couche atmosphérique : refroidissement, vent faible ainsi qu'une humidité relative très élevée (>93%). Sa dissipation a commencé à 5h30 du matin où il a laissé place à une brume pendant que le reste des paramètres restent quasiment stables jusqu'à 8h00 où on observe un réchauffement sous l'effet du soleil qui a provoqué l'assèchement.

COBEL a très bien prévu l'ensemble des paramètres pour ce cas également, avec une légère surestimation de la température dans la première moitié de la nuit et une surestimation du vent dans la globalité, tandis que la visibilité (donc le brouillard) a été prévue avec un retard de 2h pour l'apparition. Par contre pour la dissipation, COBEL a maintenu la situation de visibilité basse au-delà de 9H.

Les résultats des deux simulations montrent que COBEL a l'air de surestimer les paramètres de température et du vent et de sous-estimer l'humidité. Ceci est dû aux conditions dans lesquelles les simulations ont été réalisées et les simplifications imposées. Nous pouvons mentionner le manque des données relatives au sol nécessaires pour le schéma ISBA, la résolution verticale du modèle AROME qui n'était pas suffisamment fine pour représenter le profil vertical, le manque des données du mat qui sont recommandés pour la modélisation des transferts radiatifs et hydriques dans les basses couches et enfin la qualité des données de rayonnement et de nébulosité issues du modèle AROME. En effet, c'est au niveau du sol que démarrent les processus de refroidissement radiatifs nocturnes et où s'effectuent les principaux transferts hydriques tel que l'évaporation et le dépôt de rosée.

L'occurrence du brouillard a été bien simulée par COBEL dans les deux cas d'étude mais avec une certaine insuffisance concernant le début et la dissipation du phénomène.

### 4. Conclusion

Cette étude avait pour objectif d'évaluer la prévisibilité du brouillard du modèle unidimensionnel COBEL. Les simulations réalisées ont pu mettre en évidence l'efficacité de ce dernier à prévoir le phénomène de brouillard en dépit du manque de données d'observation dans les basses couches. Nous pouvons donc conclure que COBEL, par sa qualité de modèle unidimensionnel à maille fine qui lui permet de simuler les phénomènes physiques qui entrent en jeu dans la formation, l'évolution et la dissipation du brouillard de manière précise, est un outil très efficace qui peut grandement contribuer à l'amélioration de la prévision locale et à courte échéance du brouillard notamment au niveau des zones où l'impact du brouillard est conséquent, en premier lieu les aéroports. Un autre point fort du modèle COBEL-ISBA est sa souplesse en termes de ressources de calcul. Il pourra être exécuté sur un simple ordinateur. Donc son utilisation en mode opérationnel est très recommandé.

Pendant, pour son utilisation efficace, il est recommandé de renforcer les données d'entrées par les paramètres de température, humidité et rayonnement issues du Mat ainsi que les données d'observation dans le sol (température et humidité) et valoriser les données AMDAR afin de mieux exploiter les profils verticaux du vent et de température.

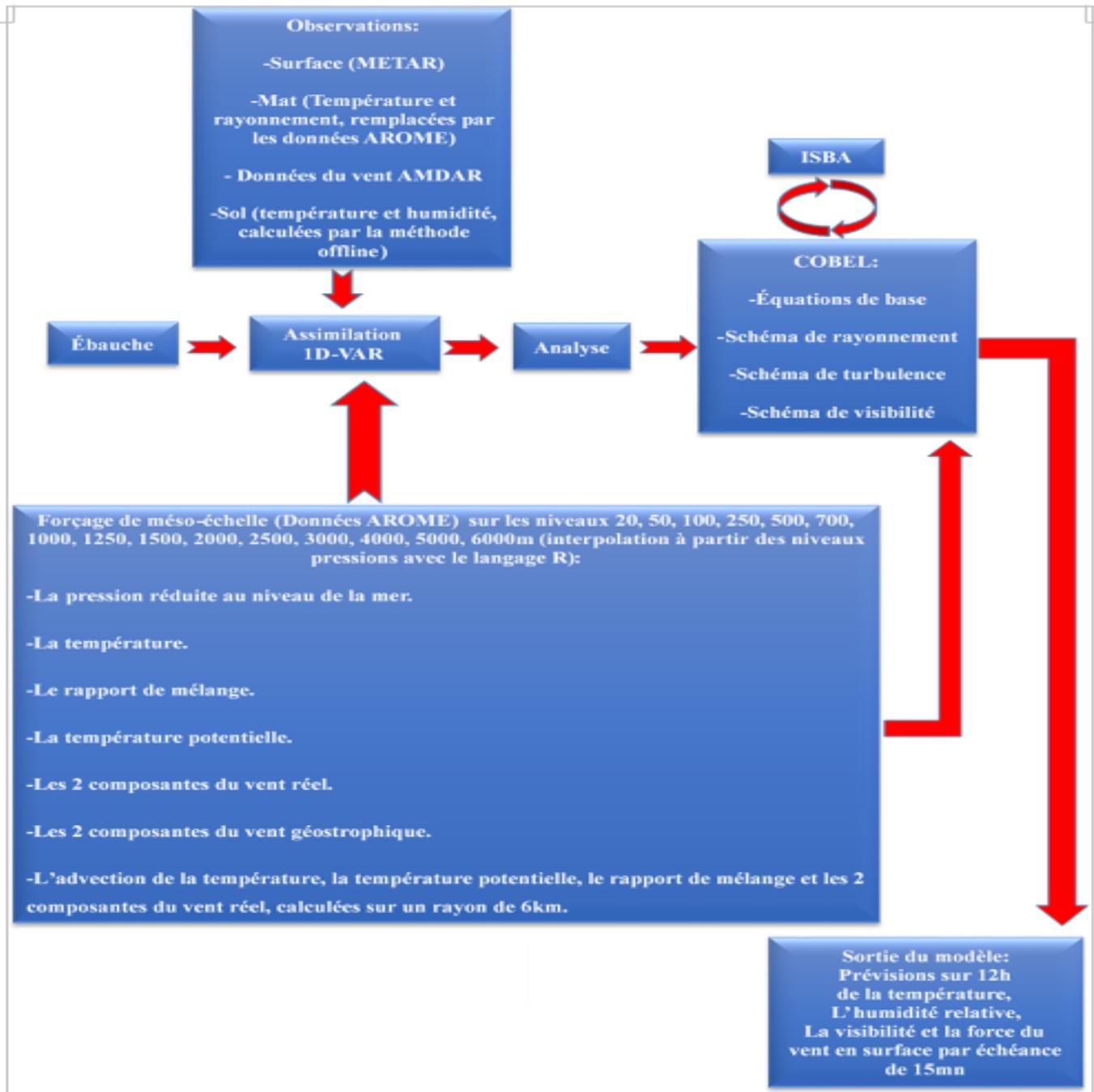


Figure 3. Schéma représentant le fonctionnement de COBEL

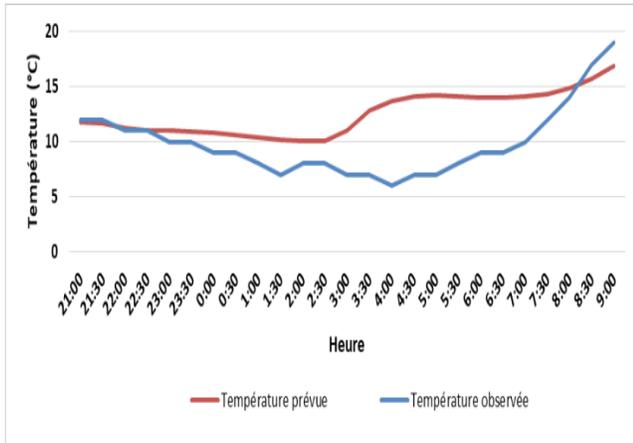


Figure 4. Comparaison entre les températures prévues et observées pour le 23-24 /03/2019

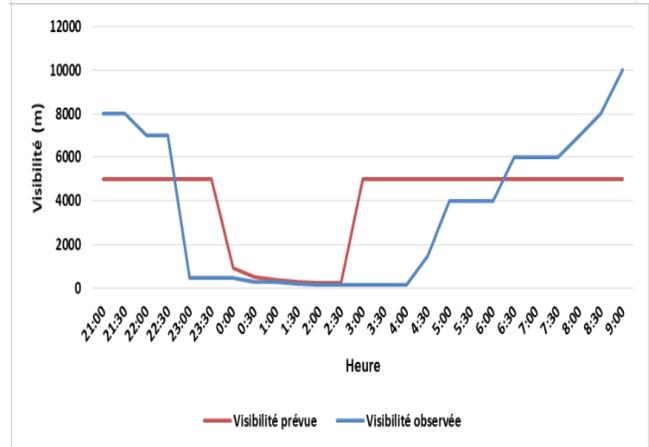


Figure 7. Comparaison entre les visibilités prévues et observées pour le 23-24/03/2019

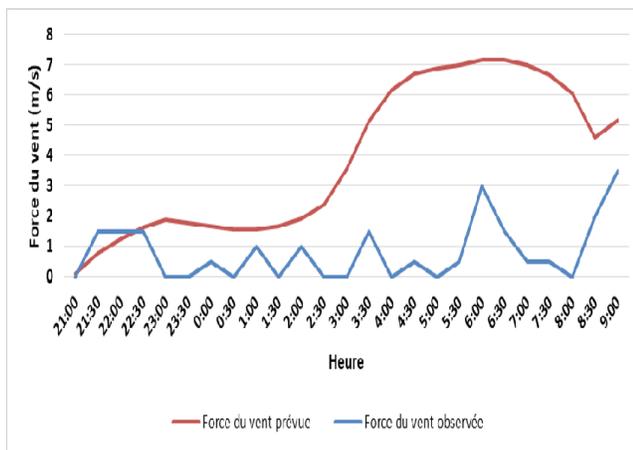


Figure 5. Comparaison entre les forces du vent prévues et observées pour le 23-24/03/2019

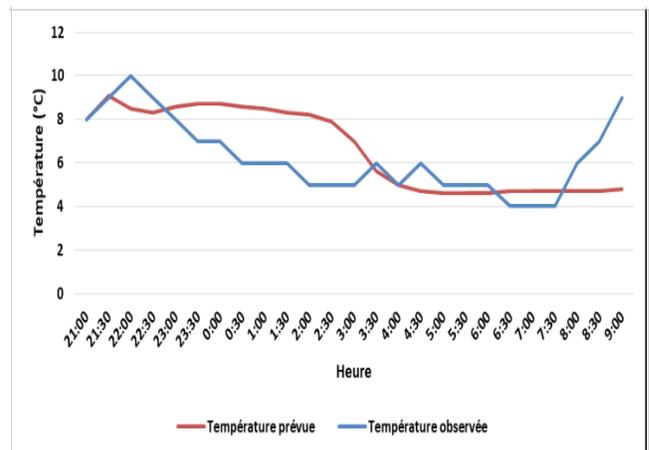


Figure 8. Comparaison entre les températures prévues et observées pour le 27-28/12/2019

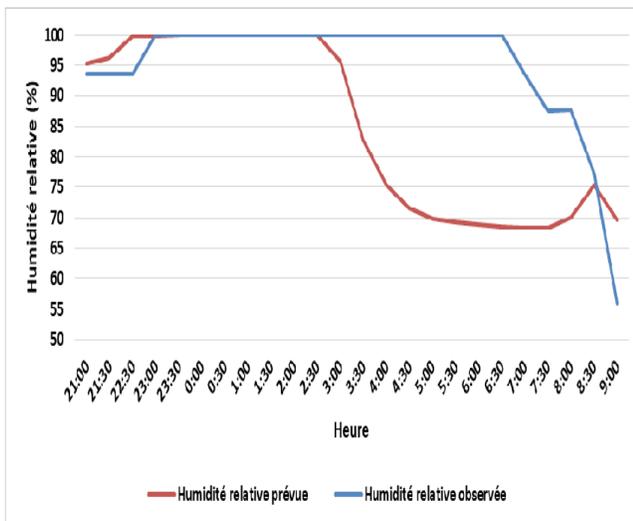


Figure 6. Comparaison entre les humidités relatives prévues et observées pour le 23-24/03/2019

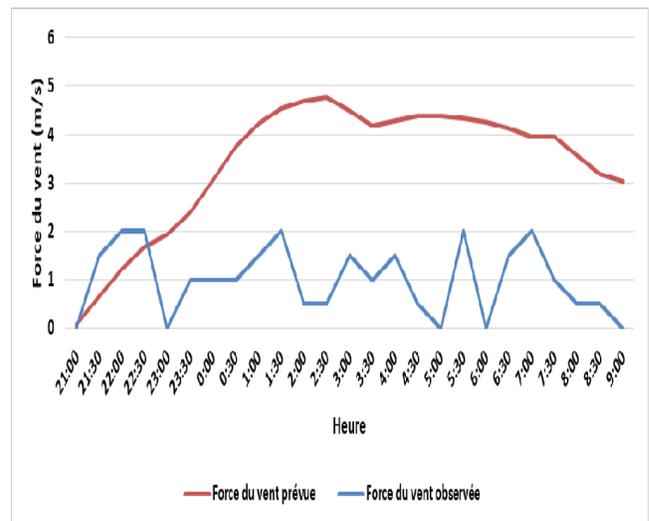


Figure 9. Comparaison entre les forces du vent prévues et observées pour le 27-28/12/2019

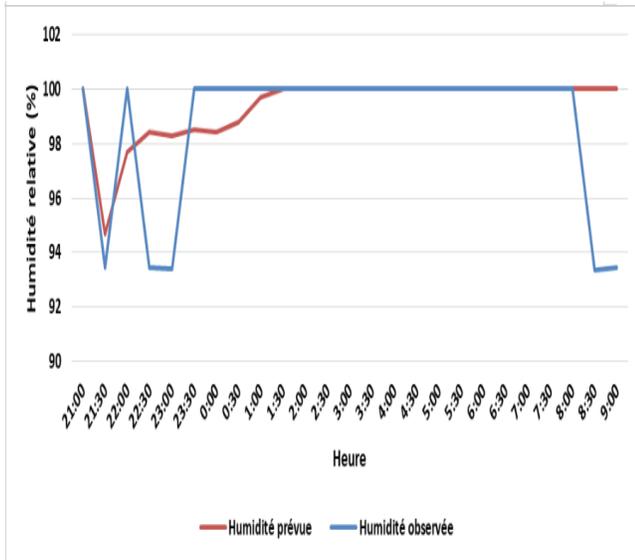


Figure 10. Comparaison entre les humidités prévues et observées pour le 27-28/12/2019

- [4] Piet Termonia, Claude Fischer, Eric Bazile, François Bouyssel, Radmila Brožková, Pierre Bénard, Bogdan Bochenek, Daan Degrauwe, Mariá Derková, Ryad El Khatib, et al. The aladin system and its canonical model configurations arome cy41t1 and alaro cy40t1. *Geoscientific Model Development*, 11(1):257–281, 2018.

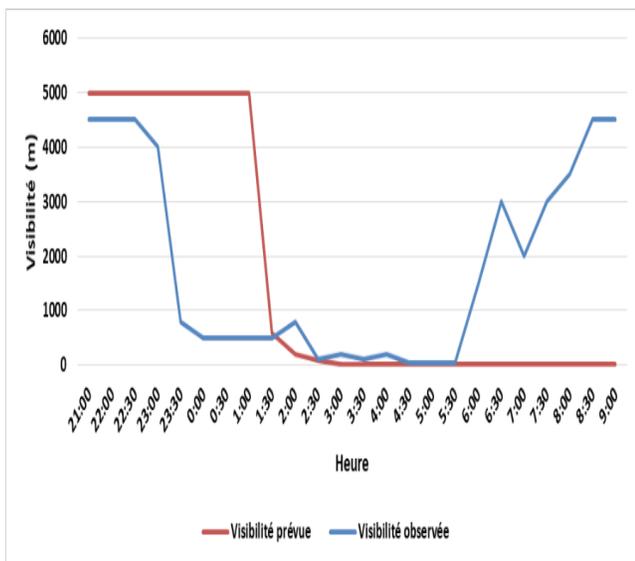


Figure 11. Comparaison entre les visibilités prévues et observées pour le 27-28/12/2019

## References

- [1] Thierry Bergot and Daniel Guedalia. Evaluation de la qualité de la prévision du brouillard par un modèle numérique. *La Météorologie*, 1996.
- [2] Stevie Roquelaure. *Prévision d'ensemble locale des brouillards et nuages bas à l'aéroport international de Roissy Charles de Gaulle*. PhD thesis, Université Paul Sabatier-Toulouse III, 2007.
- [3] D Bari. La chaîne cobel-isba, description succincte, implémentation et réalisation des simulations. *Advances in Meteorology*, 2018, 2018.