

## MODELISATION DE LA DISTRIBUTION DE L'EAU PRECIPITABLE AUX LATITUDES MOYENNES

### PARAMETRIZATION OF MIDLATITUDE PRECIPITABLE WATER DISTRIBUTION

A. Iassamen<sup>1</sup>., A. Soltane<sup>1</sup> & H. Sauvageot<sup>2</sup>

<sup>1</sup>.Laboratoire d'Analyse et de Modélisation de Phénomènes Aléatoires,  
Université Mouloud Mammeri, Tizi-Ouzou, Algérie. [ioalia@yahoo.fr](mailto:ioalia@yahoo.fr),  
[ameursoltane@yahoo.com](mailto:ameursoltane@yahoo.com)

<sup>2</sup>.Laboratoire d'Aérodynamique, Observatoire Midi-Pyrénées, Université Paul  
Sabatier, 14 avenue Edouard Belin, 31400 Toulouse,  
France. [sauh@aero.obs-mip.fr](mailto:sauh@aero.obs-mip.fr),

#### **RESUME**

Ce travail porte sur l'étude de la distribution statistique de l'eau précipitable ou vapeur d'eau intégrée aux latitudes moyennes. Les données utilisées ont été collectées dans trois régions différentes sur une période de 264 jours avec un radiomètre profileur micro-onde multifréquences. Les résultats obtenus nous ont permis de montrer que la distribution statistique de l'eau précipitable pour le cas air clair suit une loi Log-normale, alors qu'en atmosphère nuageuse elle est décrite par une distribution de type Weibull. Les variations diurnes et saisonnières de ces distributions ont aussi été examinées.

**Mots clés** : Eau précipitable, distribution de Weibull, distribution Lognormale.

#### **ABSTRACT:**

A good representation of precipitable water distribution is critical to the development of more accurate predictions of water distribution and availability. Therefore microwave radiometric data gathered in various midlatitude sites over 264 days are used to analyse the statistical distribution of precipitable water in clear and cloudy conditions. The distribution of precipitable water in clear air is found to be well fitted by a lognormal distribution, when in cloudy conditions the precipitable water is Weibull distributed. Diurnal and seasonal variations of these distributions were also analyzed.

**Key words:** Precipitable Water, Weibull distribution, Lognormal distribution.

## **INTRODUCTION**

Une incertitude majeure sur le cycle hydrologique, utile à l'estimation des ressources en eau, est liée à la mauvaise connaissance de la distribution de l'eau précipitable. En effet, l'eau précipitable ou contenu intégré en vapeur d'eau atmosphérique (IWV) est essentiellement contrôlée par la température et varie en fonction de la couverture nuageuse (Burova, 1988 ; Gaffen et al, 1993). En conséquence, les modèles de calcul du cycle hydrologique, nécessitent l'introduction d'une paramétrisation efficace de la distribution de l'eau précipitable ainsi que la différenciation des cas air clair et air nuageux.

La distribution de probabilité de l'humidité relative et de l'humidité spécifique a été discutée par de nombreux auteurs (Soden et al, 1993 ; Yang et al, 1994 ; Zhang et al, 2003 ; Foster et al, 2006 ; parmi d'autres). Cependant leurs résultats restent qualitatifs et ne nous renseignent ni sur la distribution de probabilité de la vapeur d'eau intégrée, ni sur l'influence de la présence d'une couverture nuageuse. L'étude et la paramétrisation de la distribution de la vapeur d'eau intégrée, nécessitent de longues séries de mesures précises ainsi qu'une discrimination entre profils clair et nuageux. Les mesures doivent être continues et homogènes, et leur résolution temporelle et spatiale suffisamment fine.

La mesure de l'humidité atmosphérique peut être obtenue par divers systèmes terrestres, aéroportés ou spatiaux : radiosondages, instruments de télédétection active tels radars ou lidars ou Global Positioning System (GPS); par des instruments de télédétection passive tels que les radiomètres micro-ondes. Parmi tous ces systèmes le radiomètre profileur micro-onde multifréquences est celui qui répond le mieux à notre problématique. En effet il restitue en mode continu, les séries temporelles vapeur d'eau intégrée. Il fournit aussi la température de la base des nuages qui permet la classification des profils en clair et nuageux. Sa résolution temporelle (1 min) est convenable, contrairement aux données issues de radiosondages et aux données satellitaires.

L'objet du présent article est d'analyser la distribution de la vapeur d'eau intégrée à partir d'un large échantillon d'observations collectées avec un radiomètre profileur micro-onde dans divers sites ouest-européens.

## **LES DONNEES**

Les séries temporelles de la vapeur d'eau intégrée IWV ont été obtenus avec par le radiomètre profileur micro-onde TP/WVP-3000 développé par Radiometrics Corporation. Cet instrument mesure la brillance

radiométrique au zénith dans des canaux de 300 MHz de largeur centrée sur 12 fréquences micro-ondes (Liljegren, 2004). 5 canaux sont situés sur le flanc du pic de résonance de la vapeur d'eau, entre 22 et 30 GHz et 7 canaux sont situés sur le flanc de la résonance de l'oxygène moléculaire entre 51 et 59 GHz. Le calcul est conduit par une méthode d'inversion utilisant un réseau neuronal. La température de la base des nuages, mesurée par un thermomètre infrarouges, permet de séparer les données en deux classes : air clair et air nuageux.

Les données ont été collectées dans quatre sites différents : Toulouse (43°56'N, 1°36'E), Lannemezan (43°13'N, 0°36'E), Aire-sur-l'Adour (43°70'N, 0°26'W) dans le sud ouest de la France, et Cabauw (51°58'N, 4°54'E) dans le sud-ouest des Pays-Bas. Situés dans la zone tempérée de l'hémisphère Nord à proximité de l'Océan Atlantique, ces sites bénéficient d'un climat tempéré océanique. Les coefficients de régression du réseau neuronal proviennent de dix années de radiosondages de la station météorologique Bordeaux-Mérignac (44°50'N, 0°42'W) située dans la même région climatique. L'échantillon de données comporte au total 222882 profils recueillis sur 264 jours répartis sur les 12 mois de l'année. 10.09% des profils ont été rejetés pour présence d'eau sur le radôme du radiomètre. Le reste a été classé en 27.73% (soit 61825) de profils air clair et 72.25% (soit 161057) de profils nuageux.

### **DISTRIBUTION DE PROBABILITE LA VAPEUR D'EAU INTEGREE**

La distribution de probabilité de la vapeur d'eau intégrée IWV à été ajustée aux lois de probabilité fréquemment utilisées pour décrire les variables atmosphériques en l'occurrence les lois log-normale et Weibull. Trois cas ont été considérés : totalité de l'échantillon de données, le cas air clair et le cas nuageux. Dans les cas total et nuageux, la fonction densité de probabilité qui s'ajuste le mieux à la distribution de IWV est la loi de Weibull. La loi de Weibull est utilisée dans le domaine de la durée de vie, grâce à sa flexibilité, elle peut reproduire le comportement d'autres lois de probabilités. Basée sur la théorie des valeurs extrêmes elle est à support borné à droite (présence d'un maximum). Dans notre cas ce maximum correspond à l'intégrale de la quantité de vapeur d'eau saturante le long de la colonne considéré. Dans le cas clair la vapeur d'eau intégrée est log-normalement distribuée puisqu'il n'existe pas de limite supérieure (fig. 1).

Pour une variable aléatoire  $x$ , la fonction densité de probabilité de Weibull de forme  $k$  et d'échelle  $\lambda$  s'écrit :

$$f(x; k, \lambda) = \frac{k}{\lambda} \left(\frac{x}{\lambda}\right)^{k-1} \exp\left[-\left(\frac{x}{\lambda}\right)^k\right] \quad (1)$$

La moyenne  $\mu_x$  et la variance  $\sigma_x^2$  sont définies comme suit:

$$\mu_x = \lambda \Gamma\left(1 + \frac{1}{k}\right), \quad (2)$$

et

$$\sigma_x^2 = \lambda^2 \Gamma\left(1 + \frac{2}{k}\right) - \mu_x^2. \quad (3)$$

$\Gamma$  Représente la fonction Gamma.

La fonction densité de probabilité log-normale s'écrit :

$$f(x; \mu_y, \sigma_y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} x \sigma_y} \exp\left[-\frac{1}{2} \left(\frac{y - \mu_y}{\sigma_y}\right)^2\right] \quad (4)$$

où  $y = \ln x$ . Les deux paramètres de la distribution sont la moyenne  $\mu_y$  et la variance  $\sigma_y^2$  de la variable logarithmique  $y$ , sont définies comme suit :

$$\mu_y = \ln \left\{ \mu_x \left[ 1 + \left(\frac{\sigma_x}{\mu_x}\right)^2 \right]^{1/2} \right\} \quad (5)$$

et

$$\sigma_y^2 = \ln \left[ 1 + \left(\frac{\sigma_x}{\mu_x}\right)^2 \right] \quad (6)$$

Les paramètres d'ajustement des lois de probabilité ainsi que les coefficients de corrélation relatifs aux ajustements pour les trois cas considérés sont indiqués dans le Tableau 1.

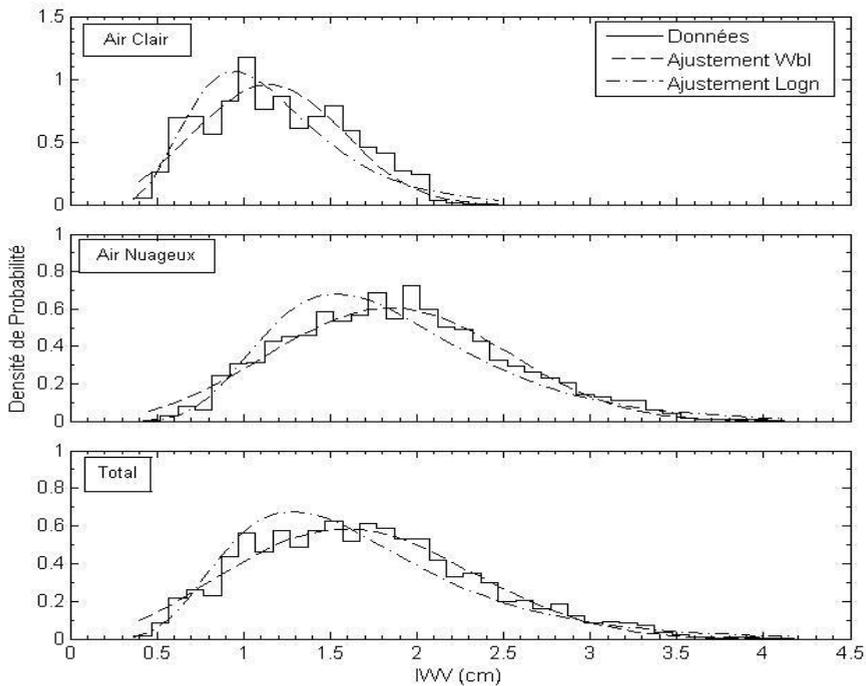


Fig. 1. Distributions de probabilité de IWV et leurs ajustements Weibull et log-normal

Tableau 1. Paramètres d'ajustement des courbes IWV de la Figure 1

	Log normale			Weibull		
	$\mu_y$	$\sigma_y$	R	$\lambda$	k	R
Air clair	0.426	0.420	0.958	1.292	3.185	0.915
Air nuageux	0.784	0.371	0.901	2.072	3.233	0.976
Total	0.558	0.357	0.960	1.871	2.757	0.974

## VARIATIONS DIURNE ET SAISONNIERE DES DISTRIBUTIONS

Pour une modélisation plus fine de la distribution de la vapeur d'eau intégrée les cas saisonnier et diurne ont été examinés (figures 2 et 3). Les paramètres d'ajustement des lois de probabilité ainsi que les coefficients de corrélation relatifs aux ajustements pour tous les cas considérés sont indiqués dans le Tableau 2.

Tableau 2. Paramètres d'ajustement des courbes IWV de la Figure 2 et 3

			Log-normal			Weibull		
			$\mu_y$	$\sigma_y$	R	$\lambda$	K	R
Saison Froide	Jour et nuit	clair	-0.0878	0.3528	0.8545	1.0897	3.0129	0.8481
		nuage	0.3544	0.3461	0.8822	1.6776	3.4991	0.9276
		total	0.2223	0.4027	0.9106	1.5145	2.9127	0.8900
	jour	clair	-0.0878	0.3468	0.8308	1.0866	3.0193	0.8289
		nuage	0.3498	0.3427	0.8578	1.6654	3.5974	0.9136
		total	0.2233	0.3971	0.9154	1.5110	2.9844	0.8955
	nuit	clair	-0.0879	0.3585	0.8545	1.0926	3.0064	0.8419
		nuage	0.3593	0.3496	0.8346	1.6906	3.4116	0.8644
		total	0.2211	0.4085	0.8786	1.5180	2.8450	0.8561
Saison chaude	Jour et nuit	clair	0.1567	0.3528	0.8193	1.3798	3.5246	0.9126
		nuage	0.6395	0.3278	0.9564	2.2172	3.5185	0.9689
		total	0.5114	0.3967	0.9601	2.0131	2.9530	0.9762
	jour	clair	0.1194	0.3430	0.8633	1.3235	3.6545	0.8031
		nuage	0.6434	0.3306	0.9230	2.2287	3.4826	0.9168
		total	0.5187	0.4014	0.9294	2.0323	2.9193	0.9496
	nuit	clair	0.1879	0.3579	0.8358	1.4256	3.5075	0.9166
		nuage	0.6352	0.3246	0.9292	2.2046	3.5638	0.9587
		total	0.5041	0.3918	0.9465	1.9934	2.9944	0.9569

Les distributions IWV pour les cas considérés sont dans le cas clair log-normale et Weibull en air nuageux ainsi que pour la totalité de l'échantillon de données.

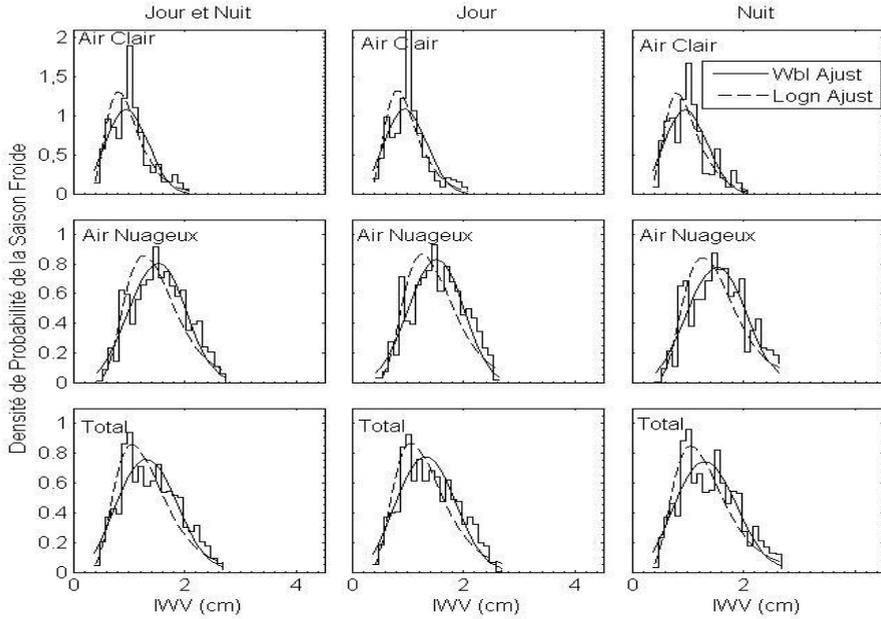


Fig. 2. Distributions de probabilité de IWV et leurs ajustements Weibull et log-normal : saison froide

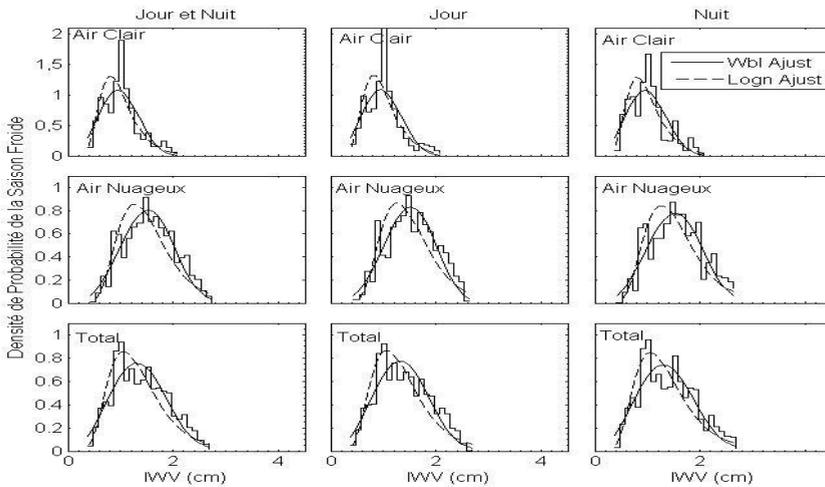


Fig. 3. Distributions de probabilité de IWV et leurs ajustements Weibull et log-normal dans le cas de la saison chaude

## **CONCLUSION**

La distribution statistique de l'eau précipitable appelée aussi la vapeur d'eau intégrée (IWV) a été étudiée en utilisant des données collectées dans trois régions différentes situées aux latitudes moyennes sur une période de 264 jours avec un radiomètre profileur micro-onde multifréquences. L'échantillon de données comprend des données de saison chaude, des données de saison froide, des données jour et des données nuit.

En général et surtout en atmosphère nuageuse, la distribution statistique de IWV est à support borné à droite à cause de la saturation et suit une loi de type Weibull. En atmosphère claire, elle suit une distribution de type log-normale.

## **REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

- Burova, L. P., 1988, Modern variations of integral water vapor content in the Arctic atmosphere. *Arctic Climate Monitoring*, Veskresensky, Ed., Gydrometeoizdat, 69-76
- Foster, J., M. Bevis., W. Raymond, 2006, Precipitable water and the lognormal distribution. *J. Geophys. Res.*, 111, D15102, doi: 10.1029/2005JD006731.
- Gaffen, D.J., W.P. Elliott, 1993, Column water vapor content in clear and cloudy skies. *J. Climate*, 6, 2278-2287.
- Liljegren, J.C., 2004, Improved retrievals of temperature and water vapor profiles with a twelve-channel radiometer. *Eighth Symposium on Integrated Observing and Assimilation Systems for Atmosphere, Oceans, and Land Surface (IOAS-AOLS)*, Seattle, WA, Amer. Meteor. Soc.
- Soden, B.J., F.P. Bretherton, 1993, Upper tropospheric relative humidity from the GOES 6.7  $\mu\text{m}$  channel: method and climatology for July 1987. *J. Geophys. Res.*, 98, D9, 16,669-16,688.
- Yang, H., R.T. Pierrehumbert, 1994 Production of dry air by isentropic mixing. *J. Atmos. Sci.*, 51, 3437-3454.
- Zhang, C., B. Mapes, B.J. Soden., 2003, Bimodality in tropical water vapor. *Q. J. R. Meteor. Soc.*, 129, 2847-2866.