



# **Les risques liés au temps et au climat**



**Actes du colloque d'Épernay**

**Maison Moët & Chandon**

**6–9 septembre 2006**

**Editeurs scientifiques**

**Gérard Beltrando, Malika Madelin et Hervé Quénol**

Colloque de l'AIC organisé par l'Université Denis Diderot, l'UMR 8586 (PRODIG), le CNRS, Météo-France et avec le soutien de la commission de climatologie de l'UGI, du Conseil Régional de Champagne-Ardennes, du CIVC, des maisons Moët & Chandon et Perrier Jouët.

## Caractéristiques des précipitations dans les îles de la Macaronesia (Açores, Madère, Canaries et Cap Vert)

M<sup>a</sup>V. Marzol<sup>1</sup>, A. Yanes<sup>1</sup>, C. Romero<sup>1</sup>, E. Brito de Azevedo<sup>2</sup>, S. Prada<sup>3</sup>, A. Martins<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Université de La Laguna, Iles Canaries  
mmarzol@ull.es ; ayanes@ull.es ; mcromeroruiz@hotmail.com

<sup>2</sup> CMMG - Université des Açores  
edubrito@mail.angra.uac.pt

<sup>3</sup> Université de Madère  
susana@uma.pt

<sup>4</sup> Institut National de Météorologie du Cap Vert  
malememar@hotmail.com

**Résumé :** L'étude détaillée des précipitations, surtout celles de nature torrentielle, est essentielle pour comprendre l'activité sporadique des cours d'eau qui sillonnent les archipels de la Macaronesia, ainsi que leurs répercussions territoriales. Cet article analyse les précipitations à l'échelle journalière de quatre îles : Terceira (Les Açores), Madère (Madère), Tenerife (Les Canaries) et Santiago (Le Cap Vert), de 1980 à 2004. Les résultats montrent que la latitude, à l'échelle régionale, ainsi que l'orientation et l'altitude, à l'échelle locale, sont les facteurs géographiques expliquant les différences spatiales et d'intensité des pluies dans chacune des îles, alors que la circulation atmosphérique justifie leur importante variation de volume et leur distribution temporaire d'une île à l'autre.

**Mots-clés :** Précipitations journalières, averses, risque, îles atlantiques

**Abstract:** The detailed study of the rainfalls, especially of the torrential ones, is essential to understand the sporadic activity of the water courses that furrow the archipelagoes of the Macaronesia and its territorial repercussions. In this article the rain of four islands is analyzed to daily scale: Terceira (Azores), Madeira (Madeira), Tenerife (Canaries) and Santiago (Cape Verde), from 1980 to 2004. The results show clearly that the latitude, to regional scale, and the orientation and altitude of the relief, to local scale, are the geographical factors that explain the spatial differences and of intensity of the rains in each of the islands, whereas the atmospheric movements justifies that the volumes and the temporary distribution of rainfall varies notably from one islands to other.

**Key Words:** Daily rainfall, storm, risk, Atlantic islands.

### Introduction

La probabilité de subir des phénomènes météorologiques aux effets catastrophiques, tels que les précipitations intenses, inquiète les territoires volcaniques des archipels atlantiques, constitués d'îles à surface réduite, avec de forts dénivelés, et dont certaines ont très peu de couverture végétale pouvant amortir le caractère torrentiel des pluies. Les effets des pluies sur les îles, sillonnées de nombreux ravins qui déversent très rapidement les eaux vers la mer, ne sont pas comparables à ceux des milieux continentaux. Ces effets se concentrent principalement sur les aires basses et les embouchures, où se trouvent les plus grands centres de population (par exemple, plus de 50 % de la population et 95 % du tourisme à Tenerife ; 95 % de la population de Terceira se trouvent en dessous de 200 m d'altitude). C'est pour cette raison que la connaissance du régime de la pluviosité, de la distribution spatiale et temporaire et de l'intensité de la pluie s'avère indispensable pour la planification territoriale et pour la prévision de ses conséquences sur le territoire et sur la population. Dans ce travail, les comportements des précipitations des archipels de la Macaronesia, situés de 15° à 39° de latitude Nord, sont comparés, dans des espaces climatiques englobant zones tempérées et tropicales. La circulation atmosphérique d'ouest y prédomine, côtoyant celle de nature anticyclonique de nord-est et celle dépressionnaire de sud-ouest associée à la ZCIT.

## I. Site d'étude et sources utilisées

Avec une différence latitudinale de 24°, les archipels de la Macaronesia sont formés de 29 îles et de nombreux îlots, dont l'insularité est conditionnée par la taille de chaque île et la distance par rapport aux continents européen et africain. Les Açores, l'archipel le plus septentrional, est à 1 400 km<sup>7</sup> de la côte, Madère à 680 km, Les Canaries à 300 km et Le Cap Vert, le plus méridional, à 800 km. On peut ajouter à cette caractéristique, la distribution de versants exposés ou abrités, avec des ambiances climatiques différentes, imposées par la latitude et l'orientation du relief vis-à-vis des vents humides. Dans le but de fixer les similitudes et les différences de pluviosité dans ces archipels, l'étude porte sur les îles de Terceira (Les Açores), Madère (Madère), Tenerife (Les Canaries) et Santiago (Le Cap Vert), ce choix obéissant à la combinaison d'altitudes ainsi qu'à la dimension, la forme et la disposition du relief.

Le régime de pluviosité, le nombre de jours de pluie et les différences spatiales de chacune des îles sont déterminés par l'analyse statistique des précipitations journalières de 25 stations pluviométriques (tableau 1). Afin de connaître l'efficacité de la pluie et ses effets sur le territoire, ainsi que les aires possédant un plus grand risque de pluies torrentielles, le nombre de séquences pluvieuses en fonction de leur durée (de 1 à 7 jours, puis au-delà d'une semaine) et la hauteur d'eau sont analysés. L'étude porte sur la période 1980-2004, les données provenant des Instituts Nationaux de Météorologie de l'Espagne, du Portugal et du Cap Vert.

Îles	Stations	H (en m)	L	J <sub>i</sub> (jours)	P mm	J <sub>p</sub> (%)	C.V. (%)
<b>Terceira</b> 38° N	Santa Bárbara	197	SW	9,132	1235,3	42	19
	Altares	166	NW	9,091	1260,0	46	28
	Sao Sebastiao	154	SE	9,132	1233,3	49	22
	Sao Bartolomeu	153	SW	9,132	1218,7	46	26
	Aqualva	140	NNE	9,116	1633,3	37	19
<b>Madère</b> 32° N	Bica de Cana	1,584	sommet	8,981	2761,5	44	32
	Santo da Serra	688	SE	9,101	2040,9	46	32
	Santana	414	NE	8,887	1338,7	42	26
	Funchal	66	S	9,132	613,2	24	28
<b>Tenerife</b> 28° N	Izaña	2,364	sommet	9,132	461,7	11	49
	Cañadas-El Portillo	2,118	sommet	8,949	378,8	4	45
	Vilaflor	1,378	SE	9,132	418,4	6	49
	La Laguna	616	intérieur	9,132	592,6	26	29
	San Miguel de Abona	590	SE	9,132	194,8	4	46
	Puerto de la Cruz	120	N	8,219	346,8	12	28
	Reina Sofia	64	SE	8,766	126,1	6	56
	Santa Cruz de Tenerife	60	SE	9,132	244,0	16	39
San Juan de la Rambla	47	N	9,040	281,7	14	27	
<b>Santiago</b> 15° N	Currallinho	818	SW	9,132	431,8	5	41
	Serra Malagueta	765	sommet	8,766	575,7	6	35
	Assomada Portaozinho	550	intérieur	8,036	374,2	6	35
	Achada Moerao	288	N	7,671	322,2	3	56
	Montanha Banana	215	intérieur	7,578	222,1	4	67
	Sao Francisco	89	SE	9,132	202,2	5	54
	Chao Bom	16	NW	7,305	235,8	4	67

H : Altitude, L : Localisation, J<sub>i</sub> : Jours avec information, P : Précipitations annuelles moyennes, J<sub>p</sub> : % jours de pluie, C. V. : coefficient de variation

Tableau I – Régimes pluviométriques des îles Terceira (Les Açores), Madère (Madère), Tenerife (Les Canaries) et Santiago (Cap Vert) ; calculés sur la période 1980-2004

<sup>7</sup> Distances par rapport aux îles de chaque archipel, utilisées dans cette étude.

## 2. La circulation atmosphérique régionale responsable des pluies

À l'échelle synoptique, la localisation et la puissance de l'anticyclone des Açores sont fondamentaux pour le régime de pluviosité de la Macaronesia (Ferreira, 1980 ; Leroux, 1983 ; Marzol, 1988 ; Dorta *et al.*, 1993 ; Correia, 1996 ; Prada, 2000 ; Azevedo, 2001). Ce dernier varie du type tempéré pluvieux, avec une distribution régulière de la pluie pendant l'année à cause du passage fréquent des bourrasques du Front Polaire, au type tropical sec, avec des précipitations très concentrées en quelques jours durant l'été, conséquence de la migration en latitude de la convergence intertropicale (ZCIT). Le premier type est représenté par l'archipel des Açores, alors que le deuxième est surtout observé au Cap Vert ; Madère et Les Canaries représentent une transition entre les deux types, avec des précipitations de nature tempérée, en automne et hiver, dues à la baisse latitudinale des dépressions atlantiques.

La position plus septentrionale des Açores, située dans une zone de transition et de confrontation de masses d'air tropical, tempéré et même polaire, détermine une circulation qui change plus facilement que celles des autres archipels. En été, la prédominance de l'anticyclone subtropical, allant parfois des Antilles aux côtes européennes, génère une diminution des précipitations, bien que le passage de fronts peu actifs explique les pluies estivales dans cet archipel ; par contre, la persistance de la circulation cyclonique des dépressions du Front Polaire, d'ouest et de nord-ouest, ne provoque que deux tiers des précipitations et des jours pluvieux comptabilisés en hiver (Azevedo, 2001). Dans les archipels plus méridionaux, les vents dominants, les alizés humides du NE provenant de l'anticyclone, sont les responsables de la différenciation, dans chaque île, d'un versant septentrional humide et d'un autre méridional sec, même si les pluies les plus intenses proviennent toutes du sud-ouest. Cette dissymétrie de versants n'existe pas dans les îles des Açores, parce que la circulation anticyclonique n'est que sporadique en été, en raison de son emplacement plus septentrional, et du fait que les pluies associées à la circulation d'ouest favorisent la plus grande humidité des flancs septentrionaux de cet archipel.

Les pluies à grande torrencialité aux Açores, à Madère et aux Canaries résultent de fronts froids actifs de cellules dépressionnaires migratoires, avec une nébulosité à développement vertical abondante qui décharge de fortes averses à mi-pente des versants, par l'effet du relief (Ferreira, 1980 ; Marzol, 1988). La position en latitude du centre de la bourrasque tempérée provoque des averses sur les façades NW, W ou SW des îles, ainsi que leur plus forte incidence, dans la mesure où la sécheresse moyenne de cette façade implique une plus faible couverture végétale. Par contre, au Cap Vert, les averses proviennent des dépressions thermiques de l'équateur météorologique qui atteignent 15° de latitude Nord en été, en générant une grande instabilité convective favorisée par le réchauffement des eaux océaniques. Ces pluies, intenses et concentrées dans le temps, représentent également un fort risque d'érosion du territoire capverdien lié aux pentes importantes et à la faible couverture végétale.

## 3. Résultats

### 3.1. La pluie moyenne annuelle et le nombre de jours de pluie

La pluie annuelle oscille entre 125 et 3000 mm. Il s'agit de moyennes si dissemblables, qu'elles ne sont expliquées que par la combinaison de la latitude, de l'altitude et de l'orientation du relief. Les valeurs maximales de la pluie correspondent aux secteurs culminants des îles septentrionales (Terceira et Madère), alors que les valeurs minimales sont enregistrées sur les côtes méridionales sous le vent (Tenerife et Santiago). Il existe, cependant des exceptions à l'interrelation entre altitude/orientation et volume d'eau : d'une part, les

sommets de Tenerife où, malgré l'altitude, il pleut six fois moins que sur ceux de Terceira et Madère, à cause de l'inversion thermique de subsidence qui change le développement vertical de la nébulosité ; d'autre part, les côtes méridionales de Santiago, où il pleut plus qu'à Tenerife, parce que les vents du SW associés à la ZCIT favorisent les averses violentes qui participent ainsi à l'augmentation de la moyenne annuelle.

La variabilité de la pluie annuelle augmente dans le sens inverse à la latitude. Ainsi, à Terceira et à Madère, les coefficients de variation sont de 25%, alors qu'à Santiago, ils dépassent 50% ; les valeurs sont supérieures sur les flancs méridionaux (orientation SE et SW) par rapport à leur équivalents septentrionaux où il est possible de noter une plus grande régularité pluviométrique (tableau 1). Il existe également une variation importante du nombre annuel de jours de pluie, avec un minimum de 9 jours (3 %) à Santiago jusqu'à un maximum de 180 jours (49%) à Terceira. Le coefficient de corrélation de Pearson entre le volume de pluie annuel et le nombre de jours est de 0,84 (figure 1) : cette valeur élevée démontre que sur les îles atlantiques, la quantité de pluie est corrélée au nombre d'occurrences pluviométriques.

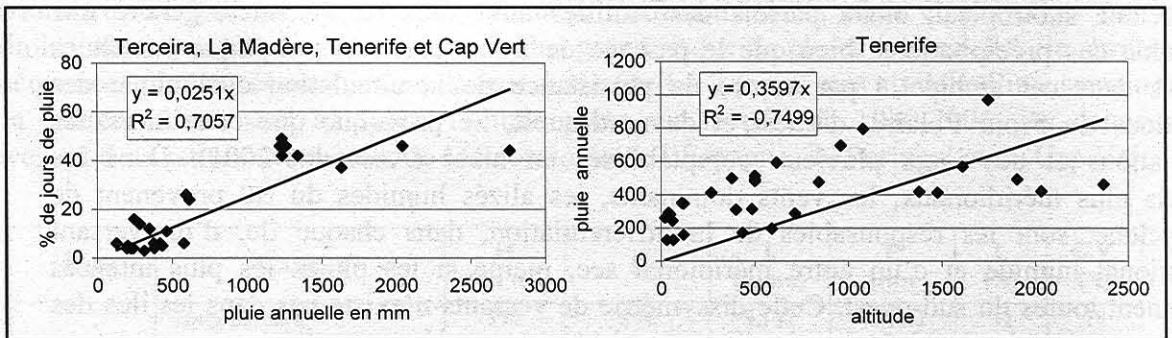


Figure 1 – Relation bivariable entre pluie annuelle et nombre de jours de pluie (à gauche), ainsi qu'entre altitude et totaux annuelles (à droite) aux Açores, à Madère, aux Canaries et au Cap Vert

### 3.2. La relation entre précipitation et altitude

Le rôle du relief insulaire dans la distribution des précipitations est incontestable (Marzol, 1993 ; Azevedo *et al.*, 1999 ; Prada, 2000). Pourtant, le gradient vertical de la pluie est différent en fonction des îles et des versants : il est plus important sur le versant méridional. Régionalement, la pluie atteint 250 mm tous les 100 mètres à Terceira, 130 mm/100 m à Madère et environ 350 mm/100 m à Santiago (Ferreira, 1980 ; Prada, 2000 ; Amaral, 1964). A Tenerife, il existe une bonne corrélation (figure 1), quoique due à l'altitude plus élevée, l'inversion thermique diminuant les précipitations (tableau 2).

NORD	En m	mm/100 m
S. Juan de la Rambla	47	--
La Guancha	500	51,2
Los Realejos	960	39,3
Piedra Pastores	1610	-19,6

SUD	En m	mm/100 m
Reina Sofia	64	--
Arona	435	12,3
S. Miguel de Abona	590	14,9
Vilaflor	1378	28,4
Cañadas – B. Tauce	2030	0,5

Tableau 2 – Les gradients pluviométriques sur les versants nord et sud de Tenerife (Canaries)

L'orographie explique, pour toutes les îles, la formation et la retenue des nuages ainsi que les brouillards sur les versants au vent qui fournissent une forte humidité environnementale entre 800 et 1000 mètres d'altitude (Azevedo *et al.*, 1998 ; Prada, 2000 ; Marzol, 2006).

### 3.3. Le régime pluviométrique

La concentration de la pluviométrie annuelle sur un faible nombre de mois augmente inversement à la latitude, de sorte que 90% de la pluie annuelle sont enregistrés uniquement en trois mois à Santiago, jusqu'à six mois à Tenerife, sept à Madère et plus de dix à Terceira (figure 2).

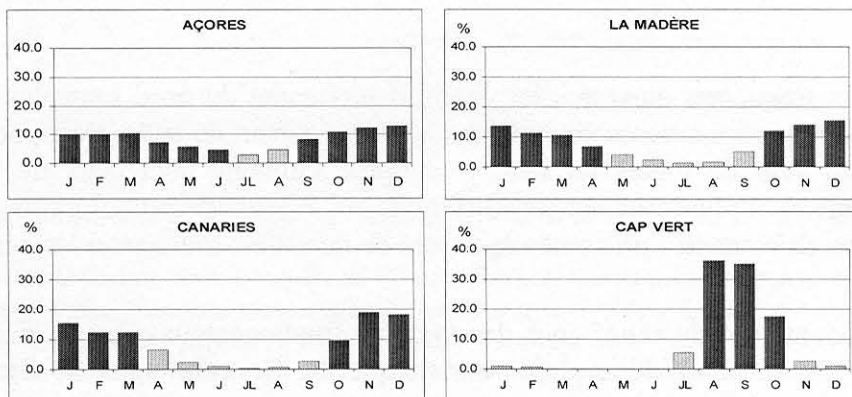


Figure 2 – Pourcentage de pluie mensuelle par rapport au total annuel (les mois signalés en noir représentent au moins 90% de la pluie annuelle)

Le rythme saisonnier de ces pluies varie également d'un domaine insulaire à l'autre. À la courte saison des pluies estivales de Santiago, *'le temps des eaux'*, d'août à octobre, s'oppose une longue période sèche hivernale, *'le temps des brises'* ; à Terceira, la plus faible influence de l'anticyclone atlantique et la plus grande fréquence des fronts nuageux favorisent le partage régulier des précipitations de septembre à juin, avec aussi des épisodes estivaux (7,5 % du total annuel). À Madère et à Tenerife, le rythme dépend de la position de l'anticyclone des Açores.

### 3.4. Caractéristiques des épisodes pluvieux

La durée des séquences pluvieuses les plus fréquentes, sur les quatre archipels, est d'une journée (60 % des épisodes) pendant laquelle il chute au moins 5 mm. Les séquences de plus de sept jours consécutifs de pluie représentent 7 % à Madère, 3 % à Terceira et Tenerife, et sont absentes des enregistrements de Santiago.

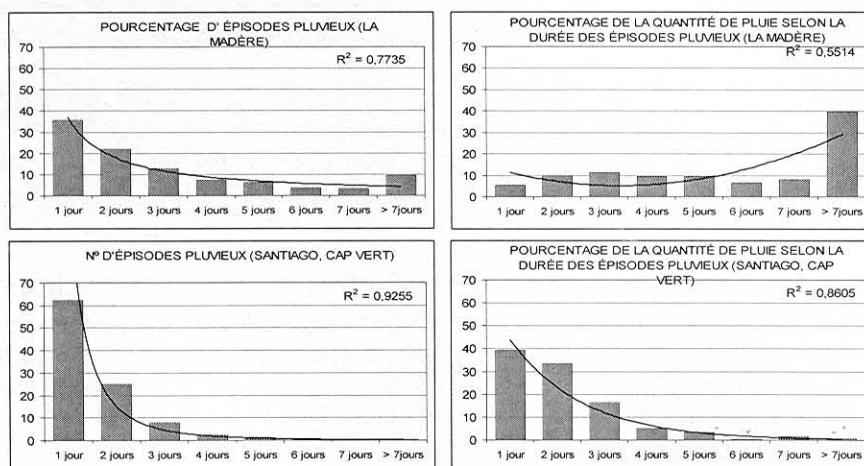


Figure 3 – Relation entre la durée des épisodes pluvieux et la quantité de pluie (en %) à Madère et au Cap Vert

La figure 3 montre les deux modèles d'épisodes de pluie : 1) celui des îles septentrionales, représentées par Madère, où cohabitent de nombreux jours isolés enregistrant une faible quantité d'eau et quelques épisodes de longue durée (jusqu'à 15 jours consécutifs) concentrant un tiers du total annuel ; 2) celui des îles méridionales, dont l'exemple type est la station de Santiago, où habituellement plus de 30% des pluies annuelles sont limitées à une seule et violente averse.

## Conclusion

Les pluies faibles et fréquentes ainsi que les crachins provenant du nord sont plus efficaces sur le territoire étudié que les averses sporadiques et fortes venant du sud ; c'est pourquoi les versants exposés au vent de toutes les îles, y compris Santiago, sont ceux de la façade septentrionale. Même si la pluviosité est très différente selon les archipels, il existe des traits communs à tous, qui doivent être pris en compte lors de décisions touchant à l'aménagement du territoire :

1. L'altitude et l'orientation du relief sont des facteurs fondamentaux dans la distribution, l'intensité et la concentration de la pluie pour chaque île. Ce trait augmente dans le sens inverse à la latitude.
2. Les fortes irrégularités annuelles, mensuelles et journalières des précipitations augmentent dans le sens inverse à la latitude.
3. Il y a une plus grande intensité et concentration des pluies sur les versants sous le vent.
4. Les épisodes pluvieux de courte durée cumulant moins de 15% de la pluie annuelle, sont habituels à Terceira et Madère, alors qu'ils sont occasionnels à Tenerife et Santiago, même si ils représentent jusqu'à 50% des précipitations annuelles.

## Bibliographie

- AMARAL I., 1964 : *Santiago de Cabo Verde. A Terra e os Homens*. Academia das Ciências de Lisboa, T. I, 170 p.
- AZEVEDO DE E.B., PEREIRA L., ITIER B., 1998 : Modelling the local climate in islands environments: orographic clouds cover. *1<sup>st</sup> International on Fog and Fog collection*, 433-436.
- AZEVEDO DE E.B., PEREIRA L., ITIER B., 1999: Modeling the local Climate in island environments: Water Balance Applications. *Agricultural Water Management*, **40**, 393-403.
- AZEVEDO DE E.B., 2001 : Condicionantes Dinâmicas do Clima do Arquipélago dos Açores, Elementos Para o seu Estudo. *Açoreana. Boletim da Sociedade de Estudos Açoreanos "Afonso Chaves"* **9** (3): 309-317.
- CORREIA E., 1996 : Contribuições para o conhecimento do clima de Cabo Verde. *Garcia de Orta*, **15** (2), 81-107.
- DORTA P., MARZOL M<sup>o</sup>V. ET VALLADARES P. 1993 : Localisation et fréquence des cellules de pression dans l'Atlantique Nord, l'Europe Occidentale et le nord de l'Afrique (1983-1992). *Publications de l'A.I.C.*, **6**, 452-466.
- FERREIRA D.B., 1980 : *Contribution à l'étude des vents et de l'humidité dans les îles centrales de l'archipel des Açores*. Centro de Estudos Geográficos. Vol I (437 p), vol II (192 p).
- LEROUX M., 1983 : *Le climat de l'Afrique tropicale*. Campion, 630 p.
- MARZOL M<sup>o</sup>V., 1988 : *La lluvia un recurso natural para Canarias*. Santa Cruz de Tenerife. Caja de Ahorros, 220 p.
- MARZOL M<sup>o</sup>V., 1993 : Los factores atmosféricos y geográficos que definen el clima del archipiélago canario. *Aportaciones en Homenaje al profesor Luis M. Albentosa*. Diputació de Tarragona, 151-176.
- MARZOL M<sup>o</sup>V., SANCHEZ MEGÍA J. ET GARCÍA G., 2006 : Effects of fog on the climate of the subtropical mountain cloud forest in the Canary Islands. In: Juvik, J., Scatena, F., Bruijnzeel, S. (Eds) *Mountains in the mist: Science for Conserving and Managing Tropical Montane Cloud Forest*. Sous presse.
- PRADA S., 2000 : *Geologia y recursos hidricos subterrneos da ilha da Madeira*. Thèse de doctorat non publiée, Universidade da Madeira, 351 p.