

ANALYSE STATISTIQUE DES CHAMPS DE PRECIPITATIONS PENDANT 30 ANS SUR LE VERSANT ADRIATIQUE DE LA REGION MOLISE (ITALIE CENTRALE). PREMIERS RESULTATS

ANTONIO CARDILLO*, SERGIO DIPILLA*, MASSIMILIANO FAZZINI**

* Regione Molise – Servizio per la Protezione Civile – Centro Funzionale del Molise – c/o Vivaio Selva del Campo – 86020 Campochiaro

**Università di Ferrara – Dipartimento di Scienze della terra – Via Saragat, 1 44100 Ferrara

Résumé:

But de la recherche est de réaliser une première étude sur la climatologie des précipitations dans le territoire de la Région Molise, qui présente quelques caractéristiques climatiques et hydrologiques très particulières. On passe, en quelques dizaines de kilomètres, de 400 mm des Iles Tremiti à plus de 2000 mm dans le massif de Matese, sans que le territoire présente une orographie particulièrement accidentée et complexe. On a caractérisé, grâce aux données de précipitations totales - pour la période 1976-2005 - la distribution spatiale, altitudinale et on a calculé les régimes pluviométriques dans la partie du territoire (plus de 75%) qui appartient au versant adriatique. Enfin, l'application d'une analyse en régression multiple a permis de rechercher une relation entre paramètres morphologiques et géographiques à différentes échelles spatiales et pour différents cumuls annuels.

Abstract :

Aim of the research was to achieve a preliminary study on the climatology of precipitation in the region of Molise. This sector presents very special hydrological and climatic features. In fact it comes in a few tens of kilometres, from average annual rainfall of about 400 mm in the Tremiti island and about 2000 mm of the Matese mountains, in mountain range that despite the difficult terrain is not particularly complex. Spatial, altitudinal and seasonal distribution of total precipitation for the period 1976-2005, along the Adriatic sector of the Molise territory has been characterised. Finally, by applying a multi regressive analysis a relationship between morphological parameters at different spatial scales and overlapping annual precipitation was search.

Mot clés: Molise, précipitations ; régime méditerranéen; orographie, régression multiple

Keywords: Molise, precipitations; mediterranea régime orography, multi régression analisys

Introduction

La région Molise, ayant été créée récemment (1963), s'étend sur presque 4500 km² et appartient pour la plupart de son territoire au versant moyen adriatique de la péninsule italienne. L'orographie générale est assez complexe ; le cadre physique est surtout collinaire (43%) et de moyenne montagne apenninique (35%). Les altitudes s'accroissent d'une manière absolument irrégulière de la côte – qui s'étend sur moins de 40 kilomètres au nord-ouest du promontoire du Gargano (Apulie) et qui comprend aussi le petit archipel des îles Tremiti – jusqu'au massif calcaire du Matese, le plus important « château d'eau » de l'Italie centrale et méridionale – qui dépasse légèrement 2000 m (fig. 1 et 2). La climatologie régionale a été actuellement encore peu étudiée, bien qu'elle présente des caractères très intéressants, de transition entre le domaine méditerranéen ss et celui plus continental des Apennins. Selon la classification de Köppen, modifiée par Pinna, le territoire analysé appartient au domaine climatique du moyen Adriatique, avec des hivers modérément froids et pluvieux sur la côte qui deviennent très rigoureux à l'intérieur ; des été assez chauds et plutôt secs sur le secteur côtier et collinaire et agréables sur les reliefs et des saisons intermédiaires humides. En janvier, les températures moyennes varient de 7°C à Termoli à 4°C à Campobasso – chef-lieu régional – et -1°C à 1500 mètres d'altitude. Au point de vue pluviométrique, les variations spatiales sont très importantes ; sur la côte et les collines les plus voisines à la mer Adriatique, les cumuls annuels ne dépassent les 700 mm et atteignent 1100 mm dans les Monti Frentani et l'alto Molise. Seulement en proximité des grands massifs du Matese et de la Meta (bassin du fleuve Volturno – versant Tyrrhénien), le gradient pluviométrique s'élève rapidement et on y dépasse les 1500 mm pour atteindre localement les 2000 mm. Donc, le climat varie entre le type Cfa du secteur côtier et collinaire jusqu'à Cfb dans la moyenne et haute montagne.

1. Méthode de travail

Pour chercher à tracer les caractères généraux des précipitations, on a analysé les données mensuelles, saisonnières et annuelles de 47 stations qui présentent des séries historiques complètes pour la période 1976-2005. Les postes de relief sont bien distribués, à des altitudes comprises entre 2 et 1455 mètres dans la partie de la région drainée vers la mer Adriatique et comprenant le bassin des fleuves Trigno, Biferno et Fortore (fig.1)

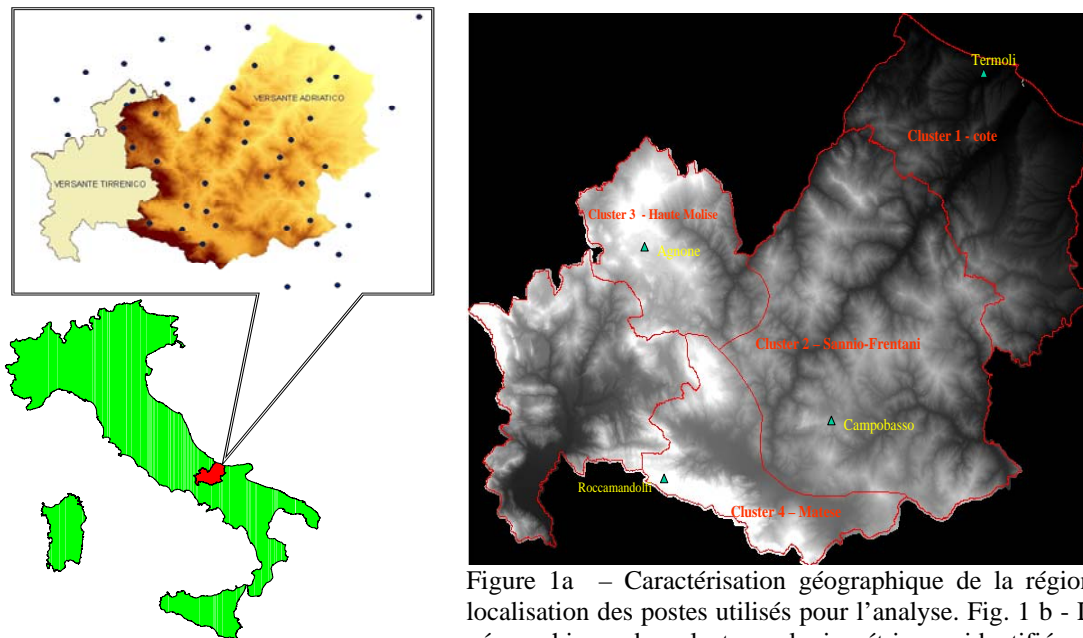


Figure 1a – Caractérisation géographique de la région Molise et localisation des postes utilisés pour l'analyse. Fig. 1 b - Délimitation géographique des clusters pluviométriques identifiées dans l'aire d'étude

On a cherché à comprendre la distribution spatiale et altitudinale des précipitations totales dans un territoire qui est intéressé surtout par des flux perturbés provenant du premier et du deuxième quadrant. Les précipitations les plus abondantes et étendues dérivent du passage de fronts chauds ou d'occlusions chaudes liées au déroulement des talwegs méditerranéen vers l'est. Cette situation est plus fréquente entre la fin de l'automne et le début de l'hiver. Durant le trimestre janvier-mars, on observe assez fréquemment des advections d'air très froid et relativement instable qui arrive de l'anticyclone thermique situé sur les Balkans ou sur la Mer Noire. Elles apportent des précipitations plus irrégulières et intermittentes, à caractère orageux, neigeuses aussi à altitudes modestes et parfois sur la côte (Fazzini et al 2001). Dans les deux cas, l'épaisseur de la masse d'air perturbée est limitée et donc il est très important de comprendre la relation entre l'orographie et les cumuls pluviométriques. Tout d'abord on a cherché de diviser le territoire analysé en quelques aires où les précipitations sont homogènes.

On a ensuite analysé le signal pluviométrique saisonnier et annuel des derniers trente ans. Enfin, à travers l'application de l'analyse en régression mutiple, on a recherché une relation satisfaisante entre les paramètres géographiques et morpho métriques à différentes échelles et les précipitations annuelles.

2. Analyse des données

2.1 Distribution spatiale et altitudinale des précipitations

La distribution spatiale des précipitation annuelles montre une évidente irrégularité, pas du tout corrélée avec la complexité orographique et hydrographique. En effet, dans la zone de collines et de basse montagne, les isohyètes ne suivent non plus la présence des reliefs, qui ne dépassent pas 1000-1200 mètres et qui se présentent plutôt isolés et pas organisés en plis ou en massifs. Seulement à proximité du massif du Matese, situé dans l'extrême portion méridionale de la région, un fort

rapprochement des isohyètes, avec un gradient pluviométrique très marqué (fig. 2 et 3) ressort nettement.

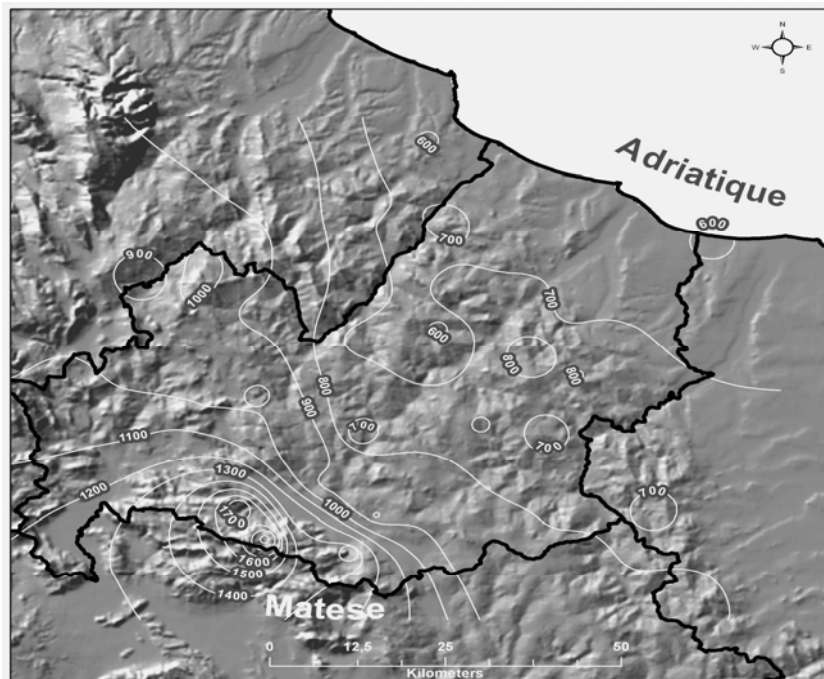


Figure 2 – Carte des isohyètes pour la période 1976-2005 – élaboration A.Cinnirella

Sur le graphique cartésien altitude-précipitation annuel suivant, il apparaît de façon tout-à-fait évidente qu'il y a une faible relation entre les deux variables, on y observe une variance élevée des valeurs aussi à la même altitude, surtout entre 400 et 800 mètres. Les « outliers » sont relatifs à des stations situées sur la pente du massif du Matese (Guardiaregia, Boiano, Roccamandolfi) exposées aux vents liés aux flux de Sirocco et à l'advection d'air continental provenant des Balkans. Cette évidence confirme encore une fois que, au versant adriatique centro-septentrionale de la péninsule italienne, l'aspect orographique est très important seulement en proximité des chaînes de montagne organisée (Fazzini; 1997 ; Bisci et al 2001. Le coefficient de détermination R^2 est de 0,31 (fig.3). La tendance moyenne montre aussi un léger « optimum pluviométrique » autour de 900 mètres. En réalité, cette indication est probable seulement pour le Matese, tandis que dans les autres reliefs du territoire (Frentani), les précipitations s'élèvent constamment jusqu'aux altitudes les plus élevées.

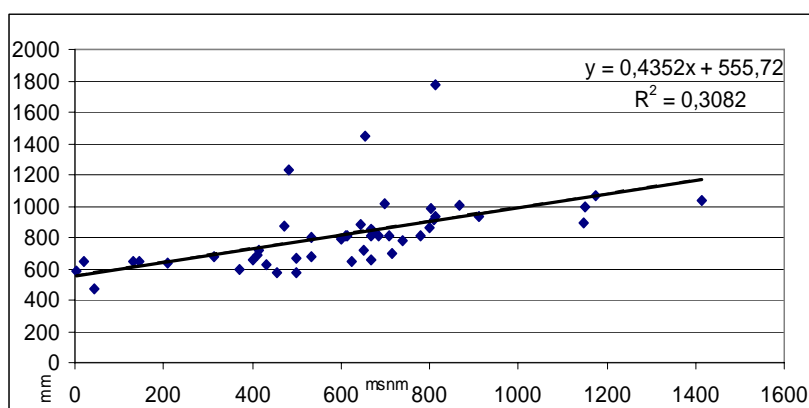


Figure.3 – Relation entre précipitations moyennes annuelles et altitude

Du point de vue de la distribution annuelle des précipitations, le territoire présente des caractéristiques méditerranéennes (fig.4); chacune des courbes représente la station la plus représentative des quatre aires individués médiane une cluster analyse de type k-means (fig.1). La

station de Termoli bien représente le cluster 1 qui comprend à la côte et à l'arrière-pays ; Campobasso représente le cluster 2 – de haute colline et de moyenne montagne (Sannio-Frentani) ; Agnone identifie le cluster 3 – moyenne montagne - haute Molise ; Roccamandolfi le cluster 4 – qui comprend la dépression tectonique de Boiano et la chaîne du Matese. Sans considérer les différences dans les cumuls de précipitations ; il faut souligner que ces quatre aires présentent le même signal ; avec un régime bimodal et un fort maximum principal à la fin de l'automne ; un très léger maximum secondaire durant le printemps ; un minimum modéré, en proportion plus évidente sur le Matese, durant les mois de juillet et août et une faible tendance à un minimum secondaire en mars.

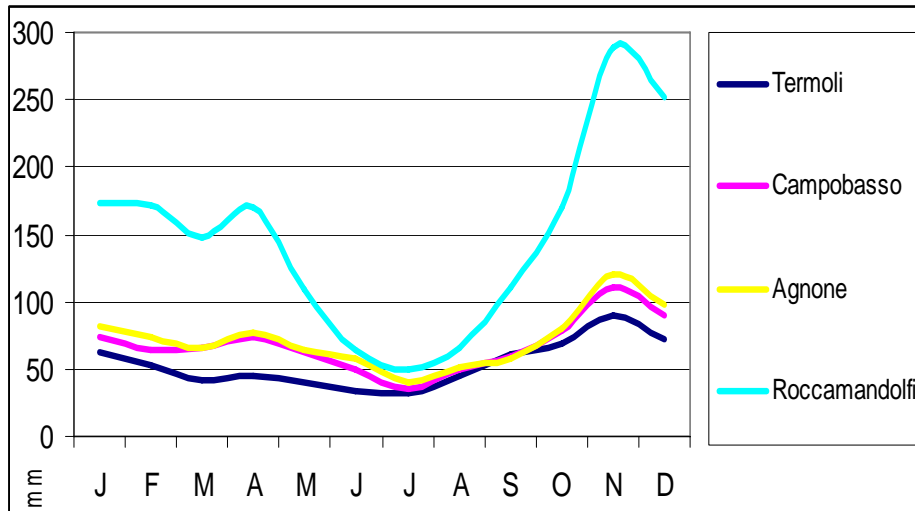


Figure 4 – Distribution moyenne mensuelle de quelques stations pluviométriques représentatives des quatre aires climatiques

Selon la classification des régimes pluviométriques de Fazzini et Giuffrida (2005), on passe d'un type subméditerranéen dans le cluster 1 (îles Tremiti comprises) au régime sublitoranéen adriatique dans le cluster 2 et dans l'aire de basse montagne du cluster 3 ; au subapenninique de la portion la plus élevée du cluster 3 (zone de Capracotta et Vastogirardi) à l'apenninique du cluster 4. Il faut brièvement rappeler qu'au-dessus de 1000 mètres, durant la période décembre-mars, une grande partie des précipitations tombe sous forme de neige. A ce propos, la moyenne saisonnière des cumuls neigeux, pour la période 1981-2000, atteint 403 cm à Capracotta (1395 m) ; dans cette station, on a observé une chute maximale de neige de 175 cm en 24 heures en janvier 1985

2.2 - Analyse par régression linéaire multiple

Après avoir calculé les régimes pluviométriques et les tendances climatiques, une relation entre précipitations et les principaux paramètres géographiques et morphologiques a été recherchée, en utilisant, tout d'abord, de simples fonctions linéaires, puis en cherchant aussi de calculer, à l'aide d'une analyse multi variée, des relations complexes avec des mesures morpho métriques à différentes échelles, qui décrivent bien l'environnement morphologique de chacune des 47 stations pluviométriques considérées. La distribution spatiale et altitudinale des postes est satisfaisante, sauf que au des sur des 1200 mètres. La densité des postes est de une station chaque 175 kmq.

On a alors appliqué la méthode de régression multiple linéaire du type «stepwise» (*Forward*) en utilisant les variables topographiques (tab.2) comme indépendantes et les précipitations n annuelles moyennes normalisées comme variable dépendante.

L'analyse des données a permis d'établir une régression linéaire multiple qui décrit la distribution des précipitations. Les signes qui précèdent les régresseurs indiquent la corrélation directe (signe +) ou inverse (signe -) avec la variable dépendante en relation avec la complexité de la zone étudiée.

Long	Longitude – mt
Lat	Latitude – mt
Quota	Altitude - mt
Sin esp	Sinus de l'exposition de la pente
Cos esp	Cosinus de l'exposition de la pente
Sin accl	Sinus de l'inclinaison de la pente
Cosacl	Cosinus de l' inclinaison de la pente
LV	Largueur de la vallée - mt
Hfv	Hauteur du fond de la vallée - mt
Hpe	Hauteur de la pente supérieure à la station - mt
Dsppr	Distance de la ligne de partage principale des eaux - mt
Dtv	Distance du débouché de la vallée - mt
Sinaztv	Sinus de l'azimut du débouché de la vallée
Cosaztv	Cosinus de l'azimut de la culée de la vallée
Sinsbv	Sinus de l'ouverture de la vallée dans la plaine ou sur la côte
Cossbv	Cosinus de l'ouverture de la vallée dans la plaine ou sur la côte
Sinav	Sinus de l'axe de la vallée près de la station
Cosav	Cosinus de l'axe de la vallée près de la station
Dmare	Distance de la mer Adriatique - mt

Tab.2 – Variables indépendantes utilisées dans l'analyse

Cette méthodologie a été appliquée sur quelques territoires des Alpes orientales et des régions voisines de la Marche et des Abruzzes soit pour les précipitations totales (Bisci et al. 2000; Fazzini et al., 2002; Fazzini, 2005), soit pour les températures (Bisci et al 2000) avec des résultats excellents. L'équation de régression multiple ci-dessous nous permet de calculer - avec une précision très remarquable - les valeurs de la variable dépendante dans tous les points du territoire, surtout en considérant la complexité orographique dans le territoire des Appenins.

$$Y (\text{Prec an}) = 27722,87 + 3,99 \text{ dmer} + 337,89 \text{ hsppr} + 0,49 \text{ alt} - 0,013 \text{ lat} + 6,49 \text{ dsppr}$$

Riepilogo Regressione Variabile Dipendente:prec an (base cluj sta)						
Var.dep.	Beta	Err.Std.	B	Err.Std.	t(34)	p-level
Intercetta			27722,87	10966,33	2,52800	0,016284
dmer	0,302962	0,234166	3,99	3,09	1,29379	0,204458
hsppr	0,438403	0,089228	337,89	68,77	4,91330	0,000022
alt	0,575552	0,133463	0,49	0,11	4,31246	0,000131
lat	-0,436930	0,172262	-0,01	0,00	-2,53642	0,015959
dsppr	0,399974	0,242898	6,49	3,94	1,64668	0,108838
var.dep.	Passo	Multiplo	R-quadro	F - per	p-level	Variabili
dmer	1	0,441643	0,441643	34,17565	0,000001	1
hsppr	2	0,685765	0,244122	30,82069	0,000002	2
alt	3	0,734138	0,048373	5,57708	0,022797	3
lat	4	0,784490	0,050352	6,63300	0,013621	4
dsppr	6	0,812229	0,036476	5,09707	0,029494	6

Tab.3 – Résultats de l'analyse par régression multiple de type stepwise.

Discussion

Les résultats de l'analyse montrent des pourcentages de variance expliquée bien élevés de 82,1% - avec un p-level < 0,05 et en considérant seulement les contributions des singles régresseurs > de 3%. Même si on considère de nombreux paramètres à l'«échelle fine»,

l'explication statistique de la distribution des précipitations dépend évidemment des paramètres à méso-échelle : la distance de la mer (directement corrélée) qui apparaît comme le paramètre dominant expliquent 44% ; l'altitude ; (directement corrélée) et la latitude (inversement corrélée) expliquent chacune 5% . Les seules mesures remarquables à l' échelle fine se rapportent à la ligne de partage des eaux (altitude locale et distance) toutes les deux directement corrélées, qui expliquent respectivement 24 % et 4% .

Ces résultats confirment ceux calculés pour la portion de territoire du versant adriatique centre septentrional, où la variable « distance à la mer » « ou, aux Abruzzes du nord, la variable « distance de la ligne de partage des eaux » qui représentent le facteur le plus significatif pour expliquer la distributions des pluies. Des résidus positifs apparaissent au pied de la chaîne du Matese, où le soulèvement forcé des masses d'air provenant de la mer Adriatique est le plus intense. Les résidus négatifs à proximité des collines aux confins de l'Apulie, à une distance de la mer de près de 15 kilomètres.

Conclusion

L'analyse des données a montré, dans le territoire analysé, un panorama pluviométrique très complexe, surtout au point de vue de la distribution spatiale et altitudinale des cumuls pluviométriques, tandis que - au point de vue de la répartition saisonnière - le territoire montre une évidente homogénéité, en présentant des caractères évidemment méditerranéens . Les cumuls annuels sont compris entre 400 mm des Iles Tremiti jusqu'à 1900 mm sur le massif du Matese. Le maximum principal tombe à la fin de l'automne tandis qu' une sécheresse faible ou modérée apparaît durant l'été. Par conséquent, on observe des ambiances physiques qui varient, en quelques dizaine de kilomètres, entre le steppique de la côte et l'hyperhumide des reliefs les plus organisés et élevés. La distribution spatiale des précipitations on ne présente pas de relations remarquables entre précipitations et altitude, mais plutôt une relation évidente avec la distance de la côte adriatique. L'analyse de régression multiple confirme que les précipitations augmentent en s'éloignant de la côte adriatique et seulement à proximité des chaînes de montagne les plus organisées, en fonction des altitudes.

Bibliographie:

Bisci C, Dramis F. Fazzini M. & Gaddo M. 2000: Definition of geographical parameters describing the spatial distribution of temperature and rainfall in three sectors of the Italian Eastern Alps " ICAM 2000 - *Actes 26th International Conference on the Alpine Meteorology* – Innsbruck – 11-15 september 2000 (CD ROM – session 5 - 12 pp.)

Bisci C., Dramis F.& Fazzini M, 2001: "Topo geographic parameters and Spatial Distribution of precipitation : First Results in Northeaster Italy" Fifth international Conference on Geomorphology 24-26 august 2001 Tokio – Special Publication in *DEM's and Geomorphology* – GISA 2001, **66-71**

Fazzini M.,Bisci C, Dramis F. & Pambianchi G., 2002: Paramétrisation topo-géographique et situations météorologiques locales dans les Alpes orientales italiennes Applications de la climatologie aux échelles fines, *Actes XV colloque de l'AIC – Besançon*, **25-29**

Fazzini M. & Giuffrida A., 2005 : "Une nouvelle proposition quantitative des regimes pluviometriques dans le territoire de l' Italie : premiers resultats » in « Climat Urbain, Ville et Architecture » *Actes XVIII Colloque Internationale de Climatologie* – Genes – **361-364**.

Rossetti R, Bisci C., Dramis F., Fazzini M.,& Speranza A., 1997 : "Etude de la distribution des précipitations en fonction des caractères géographiques et morpho métriques de la région Marche (Italie centrale, cote adriatique) – *Ext. Abs. Colloque Assoc. Intern. de Climatologie*, Quebec (Canada).**87-88**.

Giorgio Tecilla, Massimiliano Fazzini con la collaborazione di Mirko Sebastiani 2006 : « Monitoraggio dei parametri nivologici : *Documento di analisi sull'attuale quadro di settore con riferimento alla rete dei centri funzionali* » Dipartimento Nazionale della Protezione Civile-Aineva ed. **121** pp.