

Arguments en faveur d'une mousson en Amazonie

Par ANAIK VULQUIN, *CNRS 94 Saint-Maurice, France*

(Manuscript received July 21, 1970)

RESUME

En été de l'hémisphère Sud, en Amérique du Sud, se renouvelle fréquemment un certain type de temps, la déclivité transéquatoriale (ou drift), que l'on peut assimiler à une situation de mousson. On a cherché à prouver qu'à ce type de temps correspond le passage de l'alizé de l'hémisphère Nord dans l'hémisphère Sud à travers l'Amazonie et dans la basse troposphère. Les arguments invoqués successivement sont les pointages de vent à 900 m, les isothermes du thermomètre mouillé ou du point de rosée la configuration de la convergence Intertropicale ou la direction des lignes de Cumulonimbus. Mais la statistique reste à faire de ce temps de mousson qui n'existe qu'à l'échelle synoptique et que l'on ne retrouve pas avec stabilité à l'échelle de la saison.

ABSTRACT

During the summer of the southern hemisphere in South America, a certain type of synoptic situation known as "drift" often recurs. It can be likened to a monsoon situation. The attempt has been made to demonstrate that in this type the winds of the trades in the lower troposphere pass from the northern to the southern hemisphere over the Amazon Basin. Data presented in evidence are the plotted winds at 900 m, the isotherms of wetbulb and dew-point temperature, the configuration of the Intertropical Convergence and the direction of the lines of cumulonimbus cloud. But the frequency of this type of Monsoon weather, which exists only on the timescale of synoptic types and is not regularly found on the seasonal timescale, remains to be determined.

Introduction

Le terme de mousson peut prendre plusieurs significations, exposées par P. Pédelaborde (1955) et F. Durand-Dastès (1969). On peut en retenir deux aspects principaux, limités à la basse troposphère :

1. L'alternance et le renversement des courants : « au sens strict, les « moussons » sont les vents de Nord-Est en hiver et de Sud-Ouest en été qui alternent sur l'Océan Indien ». (F. Durand-Dastès, *ouv. cité*, p. 45.)

2. Une particularité d'un de ces courants, celui d'été : « the monsoon is considerably strengthened by the annual migration of air from the winter to the summer hemisphere ». (Ph. D. Sverre Pettersen (1958), *ouv. cité*, p. 187.)

L'existence d'une mousson en Amérique Latine peut se poser dans les mêmes termes :

1. Existe-t-il, au niveau du Venezuela et de l'Amazonie, un renversement du vent et une alternance de masses d'air?

2. Y a-t-il, en été de l'hémisphère Sud, un transfert d'un hémisphère à l'autre?

La première de ces questions est en cours d'étude dans le cadre de l'équipe de climatologie tropicale, et les premiers résultats obtenus par P. Pagney (Faculté des Lettres de Dijon) sont loin de contredire un renversement de direction.

C'est à la seconde question, et à elle seule, que la présente étude cherche à répondre.

Conditions géographiques favorables

L'Amérique Latine, aux latitudes équatoriales, entre 10° Nord et 10° Sud, s'étale sur 45° de longitude. A ces mêmes longitudes, au large des Guyanes et du Venezuela, et jusqu'au domaine subtropical, l'hémisphère Nord est maritime. Sans que cette dissymétrie méridienne soit aussi importante que celle du fuseau asiatique, les conditions géographiques sont cependant réunies pour que l'alizé de l'hémisphère Nord passe l'Equateur et pénètre dans l'hémisphère Sud, à travers l'Amazonie.

Les progrès météorologiques des dix dernières années permettent-ils de confirmer l'existence de ce courant de mousson?

I. Une réalité: la déclivité transéquatoriale

Conditions synoptiques favorables

1 Les sources

On dispose d'une collection satisfaisante de cartes synoptiques dans ces régions : cartes quotidiennes du Venezuela; carte du service de météorologie du ministère de l'Agriculture du Brésil; cartes du ministère de l'Aéronautique du Brésil, non éditées. Ce sont ces dernières surtout qui sont retenues. Le domaine qu'elles couvrent est très vaste, de la Floride à la Terre de Feu, de la côte Pacifique à l'Afrique Occidentale. Elles sont récentes, l'année utilisée ici est 1966. Malheureusement, les renseignements concernant l'Amazonie en altitude sont très rares. Pour l'ensemble du réseau, les données ne sont pas suivies, les lacunes sont nombreuses. Ces documents n'en sont pas moins une source intéressante à exploiter.

2. Le type de temps du 10 Février 1966

Situation dans l'hémisphère Sud. Du 7 au 9 Février, la masse d'air froid d'un anticyclone

migrateur, originaire des latitudes tempérées, envahit l'Argentine et se dirige vers le Nord du continent. Cette masse d'air est limitée par un front qui la précède dans un lit de basses pressions assez creusées : 1 000 mb sur l'Argentine.

Cette dépression frontale renforce pendant quelques jours la dépression d'origine thermique qui occupe le centre du continent à cette saison. On la voit sur la carte au sol du 10 Février, 18 H T.U., où, sur une vaste région, la pression est de 1 004 mb (Fig. 1).

Situation dans l'hémisphère Nord. Dans l'hémisphère Nord, à la même longitude, se produit un mouvement symétrique : du 5 au 7, un front s'est déplacé du Nord-Ouest vers le Sud-Est, il s'approche de la côte vénézuélienne.

Mais ici, la dépression frontale ne s'ajoute à aucune dépression thermique, puisqu'elle voyage sur mer, et en hémisphère d'hiver. D'autre part, l'anticyclone de type hivernal, qui suit

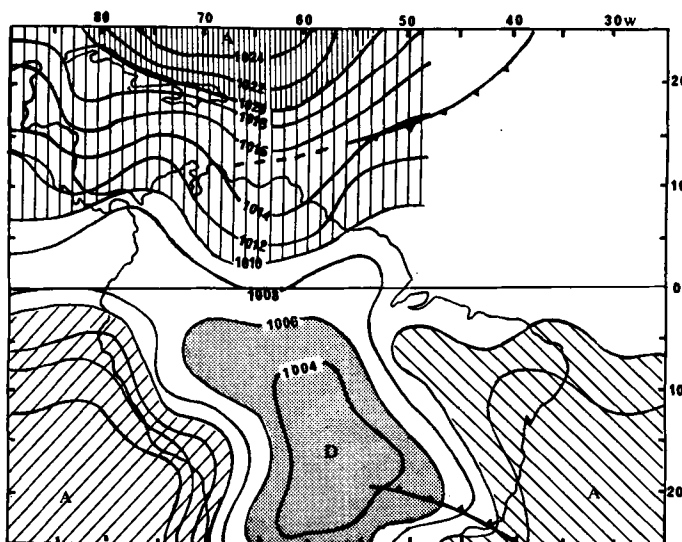


Fig. 1

	Pression au sol supérieure à 1 020 mb	} Anticyclone des Bermudes
	Pression au sol supérieure à 1 010 mb	
////	Pression au sol supérieure à 1 012 mb	Anticyclone du Pacifique Sud
\\\\	Pression au sol supérieure à 1 010 mb	Anticyclone de Sainte Hélène
▨▨▨	Pression au sol inférieure à 1 006 mb	Dépression thermique continentale
—▲—	Front froid	

Echelle : 1/50 000 000° à la latitude de 22,5°.

le front, est très puissant et renforce la cellule subtropicale des Bermudes (Fig. 1).

Symétrie des mouvements, opposition des situations. Dans les deux hémisphères, le même diptyque dépression frontale — anticyclone froid se déplace dans le même mouvement symétrique. Mais, dans l'hémisphère Sud, estival et continental, c'est le terme dépression qui se développe pendant plusieurs jours; alors que dans l'hémisphère Nord, hivernal et maritime, c'est le second terme, l'anticyclone, qui s'épanouit dans le même temps.

Le résultat est l'opposition barométrique méridienne. Entre 50 et 70° de longitude Ouest s'établit un gradient de pression Nord-Sud, de 1 032, 9 mb aux Bermudes, à 1 003 mb à Foz do Iguaçu et à Ponta Pora, à la frontière du Brésil et du Paraguay.

Cette situation de plan incliné à travers l'Equateur a été étudiée par les météorologues de langue anglaise en Afrique (D. H. Johnson et H. T. Morth) sous le nom de « drift », et reprise par les météorologues de langue française (G. Bernet) sous le nom de *déclivité transéquatoriale*.

3. Description du modèle (d'après G. Bernet)

Si un anticyclone et une dépression se situent de part et d'autre de l'Equateur, la surface isobarique forme un plan incliné : la *déclivité*

transéquatoriale. Les lignes de flux associées à cette surface traversent, non seulement l'Equateur, mais également les isobares, on l'appellera « flux détourné ». La *déclivité transéquatoriale* est donc caractérisée d'une part par un gradient de pression méridien à l'Equateur, d'autre part par un flux fortement agéostrophique. Il y a divergence au Nord et convergence au Sud dans les vents à composante Ouest.

Ces effets peuvent être renforcés en altitude par un champ thermique adéquat. Si de fortes épaisseurs coïncident avec les hautes pressions d'un côté de l'Equateur (anticyclone chaud) et que de faibles épaisseurs correspondent à la dépression de l'autre côté (dépression froide), le vent thermique s'ajoute au flux détourné, et celui-ci est renforcé avec l'altitude. Toute alimentation des basses pressions en air froid aura donc pour conséquence « l'extension de la *déclivité* en altitude, donc l'accroissement en épaisseur de la zone de convergence du flux détourné » (G. Bernet).

La situation en Amazonie, le 10 Février 1966, correspond exactement à ce modèle de *déclivité transéquatoriale*, dont la partie déprimée vient d'être alimentée en air froid. On est donc tenté de se poser la question : existe-t-il un *flux détourné*? Et quels sont les moyens de le vérifier?

II. Probabilité d'un flux détourné

Premier argument : les lignes de flux à 900 m

L'existence d'un flux détourné serait immédiatement vérifiée si l'on pouvait tracer tous les jours les lignes de courant à 600 m et 900 m. Ceci est malheureusement impossible pour l'instant, parce que les sondages aérologiques sont trop rares sur la région considérée. Le 10 Février, par exemple, les seuls pointages intéressants sont ceux de Cayenne et Oiapoque, où souffle un vent de secteur Nord-Est. A la frontière, entre la Guyane et Suriname, un autre pointage indique que le vent devient de Nord-Nord-Est. Il est jusque là conforme à la direction du flux détourné, mais on ne peut le suivre davantage.

Certains jours, le réseau aérologique est plus serré. C'est le cas, par exemple, le 8 Mars 1966, alors que le type de temps est analogue,

mais situé beaucoup plus à l'Est, la *déclivité* se trouve à la limite de l'Amazonie orientale. Or, à cette longitude, entre le cinquantième et cinquante-cinquième méridien, le pointage des vents à 900 m *confirme tout à fait l'existence d'un flux détourné* (Fig. 2).

Mais si ces renseignements peuvent servir de démonstration, ils ne sont que des échantillons sans aucune valeur statistique. On peut donc essayer de confronter cette première indication avec des données qui peuvent faire l'objet de statistiques, les isothermes du thermomètre mouillé, par exemple.

Deuxième argument : les cartes des isothermes du thermomètre mouillé ou du point de rosée

Pour localiser et analyser les masses d'air qui interviennent sur le continent, les services

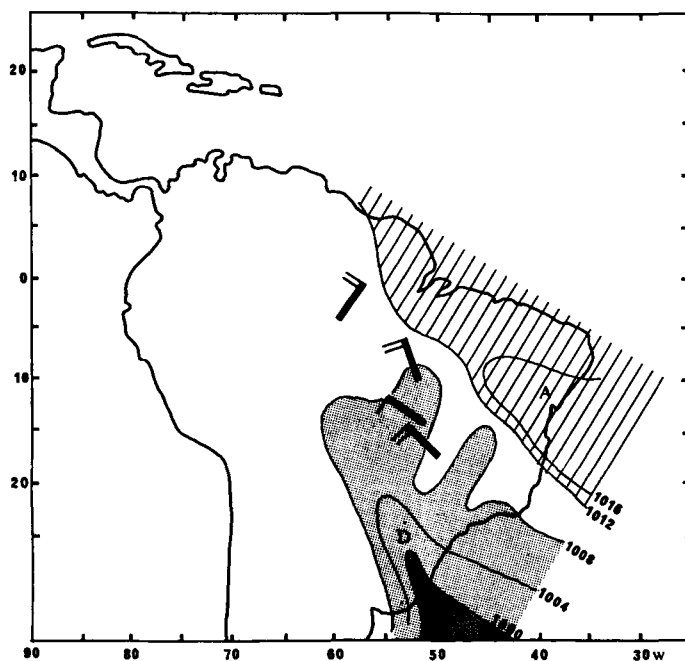


Fig. 2

- //// Pression au sol supérieure à 1 012 mb
- ▨ Pression au sol inférieure à 1 008 mb
- Pression au sol inférieure à 1 000 mb
- └ Force et direction du vent à 900 m d'altitude
- A Anticyclone
- D Dépression

Echelle : 1/50 000 000° à la latitude de 22,5°.

de météorologie de l'aéroport de Galeao-Rio dessinent quotidiennement les isothermes de la température du point de rosée. C'est ainsi qu'en été, toutes les fois qu'arrive un front froid, s'avance à sa rencontre une masse d'air chaud et humide, en provenance d'Amazonie. Elle a une température supérieure à 24°C et un rapport de mélange proche de 20 gr par Kg d'air, au sol.

La carte du 4 Septembre 1952 (Fig. 3) donne un exemple, dès le printemps, de cette situation. Elle représente les isothermes de $\theta'w$, ce qui élimine en partie les effets du relief. On distingue, au Sud, l'air d'une invasion froide alors que s'isole l'air sec du Nordeste. Lié à la marche de l'invasion froide, une masse d'air Equatorial s'avance de l'Amazonie et son sens de déplacement est conforme à la partie méridionale du flux détourné. Cette situation est

très fréquente en été, elle se renouvelle en moyenne 6 fois par mois, d'après une statistique calculée sur quatre ans, au niveau de Buenos Ayres.

Si cette masse d'air est bien dirigée par un flux détourné, elle devrait être limitée par la Convergence Intertropicale, que l'on devrait retrouver sur cette carte. Les météorologues d'Afrique Occidentale localisent le Front Intertropical, entre l'air de la mousson guinéenne et l'air saharien par le resserrement des isothermes du point de rosée (Forsdyke, 1960; Nevière, 1959). Au Brésil, on ne retrouve pas cet affrontement net. Il est vrai que l'air du Nordeste n'est pas aussi sec que l'air saharien, et qu'il affronte l'air Equatorial selon des dispositions méridiennes et non zonales.

Que devient alors la Convergence Intertropicale?

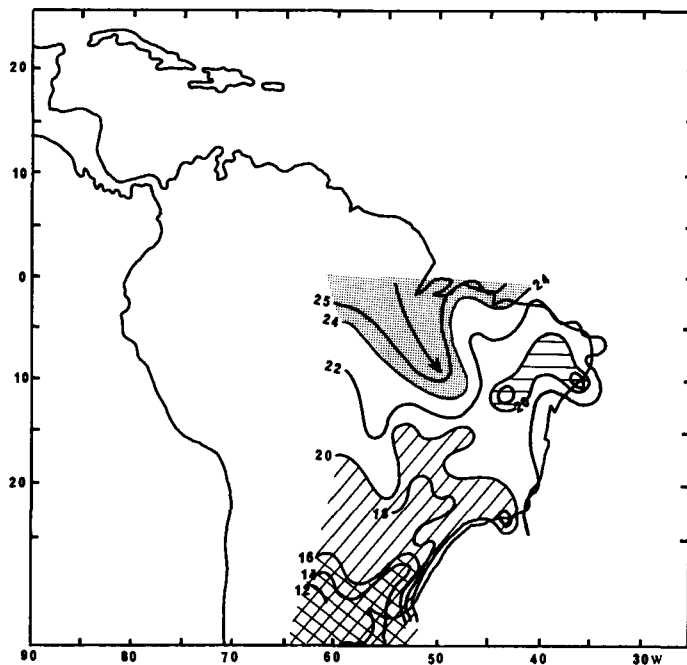


Fig. 3

- $\theta'w$ supérieure à 24° (air Equatorial)
 === $\theta'w$ inférieure à 20° , par déficit d'humidité (air du Nordeste)
 //// $\theta'w$ inférieure à 20° , par refroidissement
 XXX $\theta'w$ inférieure à 16° , par refroidissement } (invasion froide)
 → sens de déplacement de l'air Equatorial
 Echelle : 1/50 000 000° à la latitude de $22,5^\circ$.

Troisième argument : les nephanalyses du satellite artificiel (Essa I)

La Convergence Intertropicale

Il est très facile, à partir des nephanalyses des satellites artificiels de localiser avec précision la Convergence Intertropicale sur l'Océan Atlantique. La carte du 7 Avril 1966 en montre un exemple (Fig. 4). Elle est située sur l'Océan, entre 5 et 10° de latitude Nord, au large des côtes de Guinée; elle est continue jusqu'au continent américain. La nébulosité résiduelle des fronts polaires de l'hémisphère Nord la rejoignent sur son flanc Nord. Dans l'hémisphère Sud, un front polaire achève aussi sa course très près de l'Equateur. Et il y a un lien direct entre la présence de ce front polaire Sud et l'orientation que prend, dans sa partie occidentale, la Convergence Intertropicale en

s'inclinant du Nord-Est vers le Sud-Ouest sur l'embouchure de l'Amazonie. Ce mouvement de la Convergence Intertropicale en fonction du Front Polaire Sud est d'ailleurs connu depuis longtemps des services du bulletin quotidien du Brésil (A. Serra, 1955).

Cette position de la Convergence Intertropicale amène deux constatations :

1. L'orientation de la Convergence Intertropicale, à l'Ouest, est tout à fait conforme à la pénétration d'air de l'hémisphère Nord vers l'hémisphère Sud.

2. La Convergence Intertropicale ne se prolonge pas sur le continent. Sous sa forme maritime, elle s'arrête à l'embouchure de l'Amazonie. Pour confirmer un flux transéquatorial sur le continent, il faut donc chercher sur les nephanalyses d'autres renseignements, en particulier la direction des nuages.

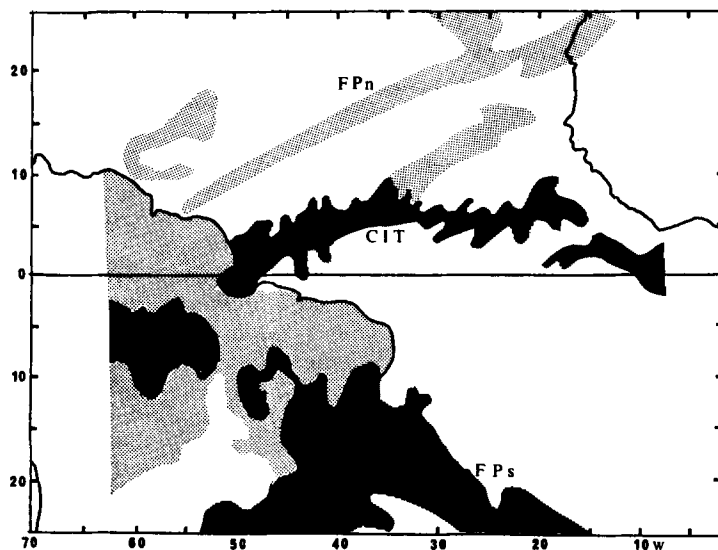


Fig. 4

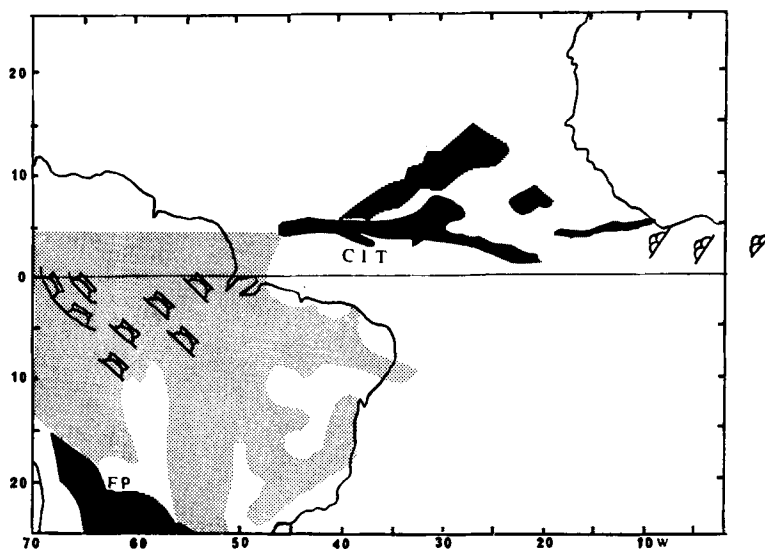


Fig. 5

-  ciel entièrement couvert, par une nébulosité d'origine extratropicale
-  ciel entièrement couvert, par la nébulosité de la Convergence Intertropicale
-  ciel très couvert, mais pas entièrement
-  Cumulus Congestus
-  Cumulo Nimbus
- C I T Convergence Intertropicale
- F P n Front Polaire Nord
- F P s Front Polaire Sud
- Echelle : 1/50 000 000° à la latitude de 22,5°.

La direction des nuages

Outre les grandes masses de nébulosité, les néphanalyses indiquent les alignements de nuages, quand ils existent. Beaucoup plus clairs et plus constants sur mer, on les trouve quelquefois sur le continent, c'est le cas du 18 Février 1966, où des lignes du cumulo-nimbus sont disposées en arc de cercle en Amazonie, à travers l'Equateur. Quelle interprétation donner à cette disposition? (Fig. 5.)

Elle doit être très prudente. Certes on a souvent signalé des alignements de nuages parallèles à la direction d'un vent assez fort, c'est même le cas, conclut D. C. Gaby (1967), pour la « très grande majorité des lignes de cumulus aux latitudes équatoriales ». Toutefois, l'étude systématique de V. G. Plank, faite en Floride (Tellus, 1966) montre que le lien n'est pas absolu. Les deux auteurs s'accordent sur l'existence d'un angle, variable, que forment les rues de nuages avec la direction du vent.

Ces réserves étant faites, on peut remarquer, avec D. C. Gaby la fréquence, au large des côtes de Guinée, de rues de cumulus alignées dans le sens du flux de mousson. On les voit, d'ailleurs sur cette néphanalyse du 18 Février. Par comparaison, on souligne donc l'analogie qu'il y aurait entre un flux détourné et, plus ou moins parallèle à ce flux, les rues courbes de cumulo-nimbus sur l'Amazonie.

Conclusions

L'étude des cartes au sol montre l'existence fréquente de déclivités transequatoriales aux longitudes du Venezuela et de l'Amazonie.

Un certain nombre d'indications, lignes de courant à 900 m, allure de la Convergence Intertropicale ou des isothermes de $\theta'w$, permettent de supposer qu'un flux détourné est associé à ce champ de pression. Il aurait alors un point commun avec la définition d'un des aspects de la mousson : le passage de l'alizé de l'hémisphère Nord dans l'hémisphère Sud.

Mais si ce courant existe, il est certainement original : il n'a ni le caractère saisonnier du courant asiatique, ni le caractère semi-permanent du courant guinéen. Il est strictement lié à un type de temps. Et si ce type de temps n'a guère de chances de se produire en dehors de l'été de l'hémisphère Sud, il n'occupe pas quotidiennement toute cette saison; il ne s'agit donc pas d'un courant de mousson, mais d'une suite de « situations de mousson », dont le rythme est lié au déplacement des fronts polaires et à leur activité.

Sources

- Boletín meteorológico diario, servicio de meteorología y comunicaciones, comandancia general de la aviación. Republica de Venezuela.
- Boletim diario, serviço de meteorologia, ministério da agricultura, E.U. do Brasil.
- Carta sinótica. America do Sul e oceano Atlantico. Ministerio da Aeronautica. Diretoria de rotas aereas. Serviço de meteorologia. Rio de Janeiro.
- Essa I Neph.

BIBLIOGRAPHIE

- Bernet, G. Recherche d'un mode de formation des lignes de grains en Afrique Centrale. *Publications de la Direction de l'exploitation météorologique*, n° 5. Dakar. 16 p.
- Durand-Dastès, F. 1969. *Géographie des airs*. Presses Universitaires de France, Paris. 274 p.
- Forsdyke, A. G. 1960. Synoptic models in the Tropics. Dans *Tropical meteorology in Africa* (ed. D. T. Bargman). East African meteorological Department. Publié par Munitalp Foundation. Nairobi. p. 14-24.
- Gaby, D. C. 1967. Cumulus cloud lines vs. surface wind in Equatorial latitudes. *Monthly weather review* 94, n° 4, p. 203-208.
- Johnson, D. H. & Mörth, H. T. 1961. Forecasting research in East Africa. *Memoirs*, vol. 3, n° 9, East African meteorology Department, Nairobi. 58 p.
- Nevière, E. 1959. Note sur la variation diurne du FIT en AEF. *Monographie de la Météorologie Nationale*, no 14. Paris.
- Pèdelaborde, P. 1958. *Les moussons*. A. Colin, Paris. 208 p.
- Petersen, Sverre 1958. *Introduction to meteorology*. McGraw-Hill, New York. 327 p.
- Plank, V. G. 1966. Wind conditions in situation of patternform and non patternform cumulus convection. *Tellus*, p. 1-12.
- Serra, A. 1955. *Meteorologia do Nordeste do Brasil*. Rio de Janeiro. 120 p.

АРГУМЕНТЫ В ПОЛЬЗУ СУЩЕСТВОВАНИЯ МУССОНА В БАССЕЙНЕ АМАЗОНКИ

В течение лета в южном полушарии в Южной Америке часто встречается определенный тип синоптической ситуации, известной как «дрейф». Это может быть связано с муссонной ситуацией. Сделана попытка показать, что при этом пассатные ветры в нижней тропосфере проходят из северного полушария в южное через бассейн Амазонки. В качестве подтверждающих данных представлены ветры

на уровне 900 м, изотермы точки росы и температуры смоченного термометра, конфигурация зоны междутропической конвергенции и направление линий кучевых облаков. Однако, остается неопределенной частота появления этого типа муссонной погоды, существующей только время порядка синоптического масштаба и не находимой регулярно в течение всего сезона.