



**HAL**  
open science

## Les types de climats annuels au Brésil : une application de la classification de Köppen de 1961 à 2015

Vincent Dubreuil, Karime Pechutti fante, Olivier Planchon, João Lima  
Sant'Anna Neto

### ► To cite this version:

Vincent Dubreuil, Karime Pechutti fante, Olivier Planchon, João Lima Sant'Anna Neto. Les types de climats annuels au Brésil : une application de la classification de Köppen de 1961 à 2015. *EchoGéo*, 2017, 41, 10.4000/echogeo.15017. halshs-01609758

**HAL Id: halshs-01609758**

**<https://shs.hal.science/halshs-01609758v1>**

Submitted on 31 May 2022

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License

## Les types de climats annuels au Brésil : une application de la classification de Köppen de 1961 à 2015

Vincent Dubreuil, Karime Pechutti Fante, Olivier Planchon and João Lima Sant'anna Neto

---

**Electronic version**

URL: <https://journals.openedition.org/echogeo/15017>

DOI: 10.4000/echogeo.15017

ISSN: 1963-1197

**Publisher**

Pôle de recherche pour l'organisation et la diffusion de l'information géographique (CNRS UMR 8586)

Brought to you by Université Le Havre Normandie

**Electronic reference**

Vincent Dubreuil, Karime Pechutti Fante, Olivier Planchon and João Lima Sant'anna Neto, "Les types de climats annuels au Brésil : une application de la classification de Köppen de 1961 à 2015", *EchoGéo* [Online], 41 | 2017, Online since 28 September 2017, connection on 30 May 2022. URL: <http://journals.openedition.org/echogeo/15017> ; DOI: <https://doi.org/10.4000/echogeo.15017>

---

This text was automatically generated on 31 July 2021.

EchoGéo est mis à disposition selon les termes de la licence Creative Commons Attribution - Pas d'Utilisation Commerciale - Pas de Modification 4.0 International (CC BY-NC-ND)

---

# Les types de climats annuels au Brésil : une application de la classification de Köppen de 1961 à 2015

Vincent Dubreuil, Karime Pechutti Fante, Olivier Planchon and João Lima Sant'anna Neto

---

## Introduction

- 1 La classification des climats a fait l'objet de très nombreuses études depuis la fin du XIX<sup>e</sup> siècle. On distingue, classiquement, les classifications de type statistique (Köppen, 1900 et 1901 ; De Martonne, 1942 ; Viers, 1968 ; ...) des classifications génétiques (Flöhn, 1969 ; Alissow, 1954 ; Pédelaborde, 1957 ; ...). Les premières s'appuient généralement sur des données moyennes sur 30 ans de températures et de précipitations et définissent des seuils correspondant dans l'espace à de grands domaines biogéographiques et bioclimatiques ; pour cette raison, elles sont aussi souvent qualifiées de physiologiques. Les secondes, plus récentes, définissent les climats par la succession des types de temps habituels, c'est-à-dire les caractères dynamiques du climat résultant des combinaisons entre les différents paramètres météorologiques. On reproche aux premières une vision trop réductrice du climat, la moyenne étant, par définition « la valeur qui ne se produit jamais », et aux secondes une présentation un peu abstraite ou complexe du climat comme autant d'états instantanés de l'atmosphère en un lieu donné (Péguy, 1970 ; Lamb, 1977 ; Sanderson, 1999).
- 2 Parmi les classifications des climats, celle de W.P. Köppen, est une des plus célèbres et une des plus utilisées dans le monde. Elle a été mise au point en 1900 à partir des cartes mondiales de la végétation disponibles à l'époque, l'auteur cherchant à faire correspondre les données climatiques avec les limites des grands domaines végétaux. Elle est souvent considérée comme la première tentative de classification climatique

quantitative du climat (Thornthwaite, 1933 ; Trewartha, 1937). Partant d'une combinaison simple des données de températures et précipitations moyennes mensuelles, elle est applicable et généralisable rapidement. Plusieurs auteurs (Hantel, 1989 ; Essenwanger, 2001) ont proposé des adaptations des seuils et limites proposés par W. Köppen et, plus récemment, de nombreuses études ont repris cette manière d'aborder le climat pour illustrer son évolution actuelle et future (Kottek *et al.*, 2006 ; Rubel et Kottek, 2010). Reprenant les seuils et limites proposées par Köppen et ses successeurs, plusieurs auteurs ont également essayé de corriger l'aspect statique de cette classification en l'appliquant non pas sur des normales climatiques mais pour chaque année. L'expression « Type de Climat Annuel » (TCA) a ainsi été employée pour définir l'ambiance climatique d'une année donnée (Brisse *et al.*, 1982). La classification de W. Köppen a ainsi déjà été appliquée par quelques auteurs pour définir ces TCA sur le Nord-Ouest Argentin (Planchon et Rosier, 2005) ou sur la France (Quénol *et al.*, 2008 ; Eveno *et al.*, 2016).

- 3 Au Brésil, de nombreux travaux ont également utilisé cette classification de Köppen (parmi d'autres) même si, dans ce pays comme ailleurs, son caractère statique a été critiqué par plusieurs auteurs (Monteiro, 1971). Son utilisation à l'échelle de ce pays-continent permet pourtant d'envisager une étude fine des transitions entre les types de climats tropicaux et ceux du sud, subtropicaux et tempérés. La côte nord-orientale du Brésil permet aussi une grande extension des climats tropicaux à été sec, alors que l'aridité se développe dans l'intérieur du Nordeste. Aucun travail, à notre connaissance, n'a jusqu'à maintenant envisagé une approche globale des TCA à l'échelle de l'ensemble du Brésil et c'est donc l'objectif de cet article à partir des données de plus de 200 stations météorologiques couvrant la période 1961-2015.

## Données et méthodes

### La classification de Köppen au Brésil

- 4 De nombreuses études sur les types de climats ont été publiées au Brésil depuis la deuxième moitié du XIX<sup>e</sup> siècle, à partir du moment où les séries d'observation ont pu être suffisamment longues pour pouvoir quantifier celui-ci (Sant'Anna Neto, 2013). Morize (1889) puis Draenert (1896), Mattos (1905) et Peixoto (1907) ont proposé diverses approches de régionalisation des climats du Brésil ou de l'État de São Paulo. Une synthèse remarquable est ensuite produite par Delgado de Carvalho en 1916, mais il faut attendre la seconde classification de Morize (1922) pour voir l'utilisation de la méthode de Köppen. Par la suite, l'influence de l'école norvégienne, ainsi que les travaux de M. Sorre (1951) et A.N. Strahler (1951) ont détourné les auteurs brésiliens de cette approche des climats et, à partir des années 1970, les climatologues lui ont préféré l'approche rythmique sur la genèse et la succession des types de temps proposée par Monteiro (1968, 1971) ou des approches synoptiques (Nimer, 1989 ; Zavatini, 1990) ou géographiques (IBGE, 2002 ; Bernardes, 1980 ; Mendonça *et al.*, 2007).
- 5 Cependant, la simplicité de mise en œuvre et l'intérêt pédagogique évidents de la classification de Köppen ont fait que son utilisation ne s'est pas cantonnée à la climatologie. Ainsi, au Brésil, elle a pu être utilisée aussi bien pour la définition des régions agro-climatiques (Rolim *et al.*, 2007) que pour la cartographie des grandes divisions forestières (Araujo *et al.*, 2012) ou floristiques (Torres *et al.*, 1997). Plus

récemment, Sa'Junior *et al.* (2012) puis Alvares *et al.* (2013) ont utilisé cette classification pour une cartographie détaillée des types de climats du Minas Gerais et du Brésil : à partir des données de près de 3000 stations pour la période 1950-1990, l'utilisation des SIG, de diverses méthodes d'interpolation et d'un Modèle Numérique de Terrain à une résolution spatiale de 100 mètres a permis une approche fine de la répartition des climats. Leur étude estime ainsi que les climats de type A (tropicaux) représentent 81,4 % du territoire, ceux de type B (semi-arides), 4,9 % et 13,7 % pour ceux de type C (tempérés). Dans toutes ces études, cependant, l'approche est restée basée sur l'utilisation de données moyennées sur une période, sans tenir compte de la variabilité interannuelle du climat.

## Utilisation de la classification de Köppen pour l'identification des Types de Climats Annuels

- 6 Dans cette étude, il s'agit d'appliquer la méthode de Köppen non pas aux moyennes calculées sur une longue période mais pour chaque année prise indépendamment, définissant ainsi un « Type de Climat Annuel » (TCA) pour chaque année considérée. Dans un deuxième temps, une approche fréquentielle permet de préciser pour chaque station la proportion de TCA et sa correspondance (ou non) avec le type de Köppen. Avant de détailler la méthode, rappelons que si l'essentiel du Brésil se trouve dans l'hémisphère Sud, une petite partie (7 %) se trouve également dans l'hémisphère nord avec opposition des saisons d'été (Décembre, Janvier, Février, DJF dans l'hémisphère sud) et d'hiver (Juin, Juillet, Août, JJA dans l'hémisphère sud). Pour les stations proches de l'équateur, les notions de saisonnalité des précipitations devront être abordées de manière très relative. Par convention également, l'été (hémisphère sud) correspond aux mois de janvier et février de l'année  $n$  et du mois de décembre de l'année  $n-1$ , afin de tenir compte de la saisonnalité climatique.
- 7 Les seuils définis pour les TCA sont les mêmes que ceux proposés originellement dans la classification de Köppen et reposent sur les données de températures et précipitations observées pour chaque mois et chaque année (illustration 1). L'approche classique distingue les climats en fonction de leurs régimes thermiques (A, C, D, E et sous types a, b, c, d, h et d) et pluviométriques (BW, BS et sous types f, m, s et w).

Illustration 1 - Synthèse de la classification de Köppen

		Précipitations					
		Réparties sur toute l'année	Maximum d'été (DJF, Hémisphère Sud)	Maximum d'hiver (JJA, Hémisphère Sud)	Insuffisantes toute l'année		
Régimes Thermiques	$T > 18^{\circ}\text{C}$	Af	Aw / Am	As			
	$T > 10^{\circ}\text{C}$	Cf	Cw	Cs	BW	BS	
	$-3 < T < 18^{\circ}\text{C}$	Cfa: $T > 22^{\circ}\text{C}$	Cwa: $T > 22^{\circ}\text{C}$	Csa: $T > 22^{\circ}\text{C}$	BWh: $T_m > 18^{\circ}\text{C}$	BSh: $T_m > 18^{\circ}\text{C}$	
	$T < 18^{\circ}\text{C}$	Cfb: $T < 22^{\circ}\text{C}$	Cwb: $T < 22^{\circ}\text{C}$	Csb: $T < 22^{\circ}\text{C}$	BWk: $T_m < 18^{\circ}\text{C}$	BSk: $T_m < 18^{\circ}\text{C}$	

T+>10°C T-<-3°C	Df	Dw	Ds		
0<T+<10°C	ET				
T+<0°C	EF				

En gras, les types correspondant aux TCA observés au Brésil. T+, température moyenne du mois le plus chaud ; T-, température moyenne du mois le plus froid ; Tm, température moyenne annuelle.

**GRANDS TYPES DE CLIMATS DE KÖPPEN** : **AF**, climat chaud sans saison sèche ; **AM**, climat chaud de mousson ; **AS**, climat chaud à pluie d'hiver ; **AW**, climat chaud à pluie d'été ; **BWH**, climat aride et chaud ; **BSH**, climat semi-aride et chaud ; **CFA**, climat tempéré sans saison sèche et à été chaud ; **CFB**, climat tempéré sans saison sèche et à été frais ; **CWA**, climat tempéré à été chaud et humide ; **CWB**, climat tempéré à été frais et humide ; **CSA**, climat tempéré à été sec et chaud ; **CSB**, climat tempéré à été sec et frais.

Sources : d'après C.P. Péguy, 1970 et G. Viers, 1968.

- 8 Le type BW correspond aux stations pour lesquelles les précipitations annuelles moyennes (en mm) sont inférieures à  $10 \times (\text{température annuelle moyenne} + 100)$  et le type BS aux stations pour lesquelles les précipitations annuelles moyennes (en mm) sont inférieures à  $20 \times (\text{température annuelle moyenne} + 200)$ .
- 9 Pour les régimes pluviométriques des climats A, le type f (aucun mois sec) est défini lorsque le mois le moins arrosé reçoit au moins 60 mm. Le type w correspond aux années durant lesquelles les précipitations du mois le plus sec sont comprises entre 60 mm et  $[100 - (\text{précipitations annuelles moyennes})/25]$ . Le type s (saison sèche d'été) est affecté aux années où le mois le moins arrosé d'été reçoit moins de 1/3 des précipitations du mois le plus arrosé d'hiver. Le type m (dit de mousson) s'applique aux années où les précipitations du mois le plus sec sont inférieures à 60 mm et inférieures à  $[100 - (\text{précipitations annuelles moyennes})/25]$ .
- 10 Pour les climats C, la définition du type s est la même que pour les climats A. Certains auteurs (Planchon *et al.*, 2014 ; Eveno *et al.*, 2016) ont préféré définir le type s en utilisant les seuils des mois secs de Gaussen mais, pour rester au plus proche des travaux de Köppen, c'est bien la méthode originelle qui a été utilisée ici. Pour les types w, il s'agit des années où le mois le moins arrosé d'hiver reçoit moins de 1/10 des précipitations du mois le plus arrosé d'été. Enfin, le type f est affecté aux années n'étant classées ni en s ni en w. Concernant les sous-types a et b, s'appliquant aussi bien aux types Cs, Cw ou Cf, ils permettent de différencier les climats aux étés chauds (température moyenne du mois le plus chaud supérieure à 22°C pour le type a) et ceux aux étés frais (température moyenne du mois le plus chaud inférieure à 22°C pour le type b).

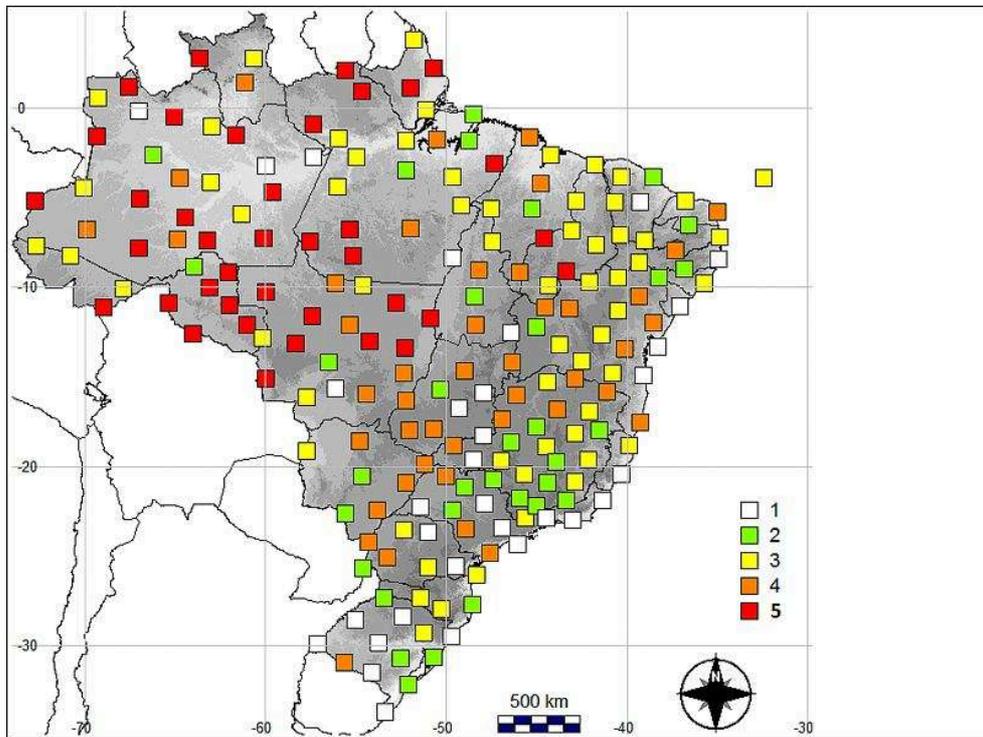
## Données climatiques utilisées

- 11 Pour cette étude, les données de températures et de précipitations moyennes mensuelles ont été analysées pour l'ensemble des années couvrant la période allant de 1961 à 2015, soit 55 années complètes. Le choix de la plus longue période possible résulte de la disponibilité des données pour un nombre suffisant de stations couvrant l'ensemble du territoire brésilien, mais aussi de la volonté de prendre en compte l'ensemble des TCA possibles, une période plus courte (typiquement 30 années)

pouvant exclure certaines années particulières (par exemple les grandes sécheresses du Nordeste du début des années 1960). L'ensemble des données utilisées ont été compilées à partir de différentes sources : les séries principales proviennent de la banque de données BDMEP (*Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa*) de l'INMET (*Instituto Nacional de Meteorologia*) du Brésil, disponibles en ligne. Des données manquantes dans cette base de données ont été obtenues (en ligne également), auprès du service hydrologique (*Hidroweb*) de l'ANA (*Agência Nacional de Águas*) du Brésil. Ces données concernent principalement les précipitations où les recherches par stations voisines de la même commune ont permis de combler la plupart des lacunes : les 2 % de lacunes restantes ont été remplacées par les valeurs moyennes. Enfin, certaines données complémentaires ont été acquises à partir des bases de données internationales du GHCN (*Global Historical Climatology Network*) et du NCDC (*National Climatic Data Center*) de la NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*).

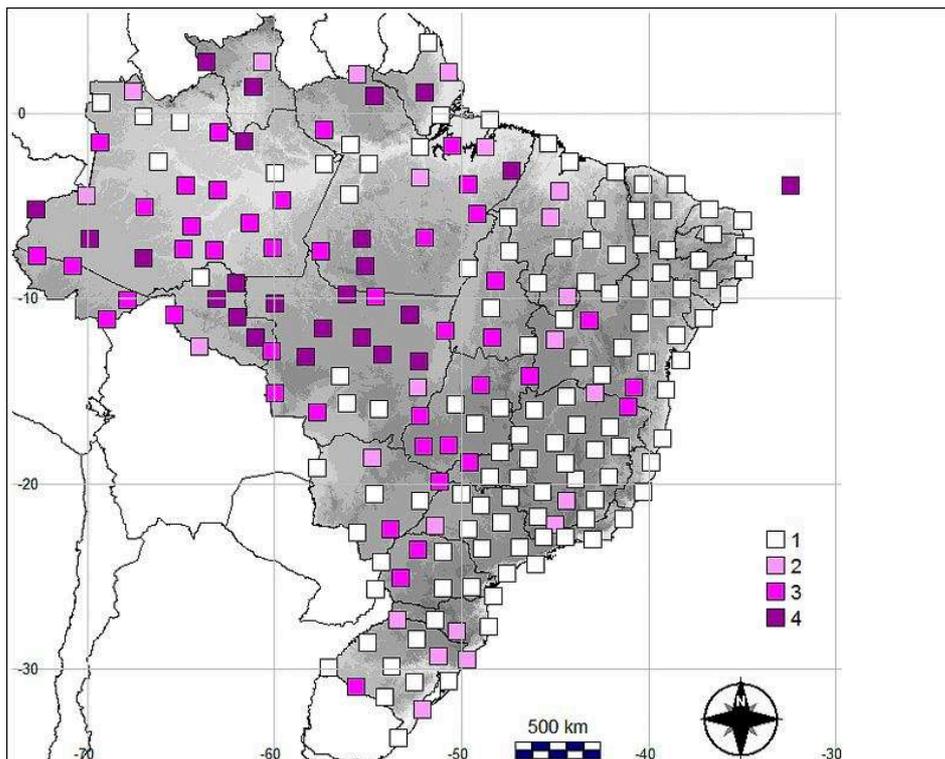
- 12 Près de 350 séries ont ainsi été récoltées couvrant partiellement ou totalement la période considérée. Pour chacune, le calcul des températures moyennes a été réalisé à partir de la moyenne des températures minimales ( $T_n$ ) et maximales ( $T_x$ ), une méthode différente de celle utilisée par l'INMET qui calcule cette moyenne à partir des  $T_n$ ,  $T_x$  et des températures observées à 0h et 12h. La méthode retenue ici donne généralement des valeurs de températures moyennes légèrement supérieures de 1 à 2°C. Plusieurs séries ont été éliminées en raison de lacunes trop importantes (plus de 20 %) (ou de discontinuités majeures détectées suite à des tests d'homogénéités statistiques de ruptures des séries, test de Pettitt). Enfin, signalons que certaines séries (Centre-Ouest, Pará) ne couvrent que la période récente, postérieure à la période de mise en valeur de ces régions au début des années 1970 (Dubreuil *et al.*, 2004 ; Delahaye *et al.*, 2015).
- 13 Au final, ce sont 208 stations qui ont été retenues avec un choix délibéré de privilégier une couverture homogène du territoire brésilien afin de compenser la sous-représentation en données de l'ouest et du nord du pays (illustrations 2a et 2b). En outre, dans les régions tropicales où la température moyenne mensuelle ne descend jamais en dessous de 18°C (type A de Köppen), des stations avec uniquement des séries pluviométriques ont été sélectionnées. Malgré cette vigilance, la densité de stations reste plus faible dans le nord, notamment l'État d'Amazonas avec 23 stations pour 1 571 millions de km<sup>2</sup>, que dans le Sudeste ou le sud : 13 stations pour 282 000 km<sup>2</sup> dans le Rio Grande do Sul, par exemple (illustration 3). Certaines régions restent sous-échantillonnées, faute d'information de qualité suffisante ou faute d'information tout court, comme dans le sud-est du Pará ou l'ouest du Mato Grosso do Sul.

Illustration 2a - Localisation des stations et % des données manquantes pour les températures



Légende : 1, moins de 5 % de données manquantes ; 2, de 5 à 10 % ; 3, de 10 à 25 % ; 4, de 25 à 50 % ; 5, plus de 50 % de données manquantes.

Illustration 2b - Localisation des stations et % des données manquantes pour les précipitations



Légende : 1, moins de 5 % de données manquantes ; 2, de 5 à 10 % ; 3, de 10 à 25 % ; 4, de 25 à 50 % ; 5, plus de 50 % de données manquantes.

Illustration 3 - Répartition des stations par grandes régions géographiques du Brésil

Région	Nombre de stations	% de stations	Superficie en %
Nord	66	31,7	45,3
Centre-Ouest	38	18,3	18,9
Nordeste	41	19,7	18,2
Sud- Est	39	18,8	10,9
Sud	24	11,5	6,7
TOTAL	208	100	100

Illustration 4 - Répartition des stations retenues par classe d'altitude

Classes d'altitudes (en m)	Nombre de stations	% de stations	Superficie en %
Moins de 50	39	18,8	7,7
De 50 à 100	26	12,5	12,9
De 100 à 250	46	22,1	28,8
De 250 à 500	41	19,7	28,9
De 500 à 1000	50	24,0	19,9
1000 et +	6	2,9	1,9
Total	208	100,0	100,0

- 14 La répartition des stations par classe d'altitude du pays montre une assez bonne distribution (illustration 4) : la surreprésentation de la classe 0-50 m est liée au nombre important de stations littorales de l'est du pays, historiquement le plus anciennement peuplé. La surreprésentation de la classe 500-100 m s'explique par les fortes densités des plateaux d'altitude des États du sud et Sudeste (Minas Gerais, São Paulo, Parana) où vit près du tiers de la population brésilienne. Cette surreprésentation se fait au détriment des classes moyennes (de 100 à 500 mètres d'altitude), les plus représentées à l'intérieur du pays. Remarquons la faiblesse des superficies de haute altitude, c'est-à-dire de plus de 1 000 m : seulement 2 % du territoire brésilien, ce « pays horizontal » (Théry, 2000), soit 6 (3 %) stations. La station la plus élevée de la base climatique est celle de Campos do Jordão (1 642 m) dans la Serra da Mantiqueira, au sud-est de l'État de São Paulo.
- 15 La base de données ainsi constituée représente près de 250 000 données mensuelles, permettant d'établir près de 10 500 TCA pour tout le territoire brésilien. L'ensemble de

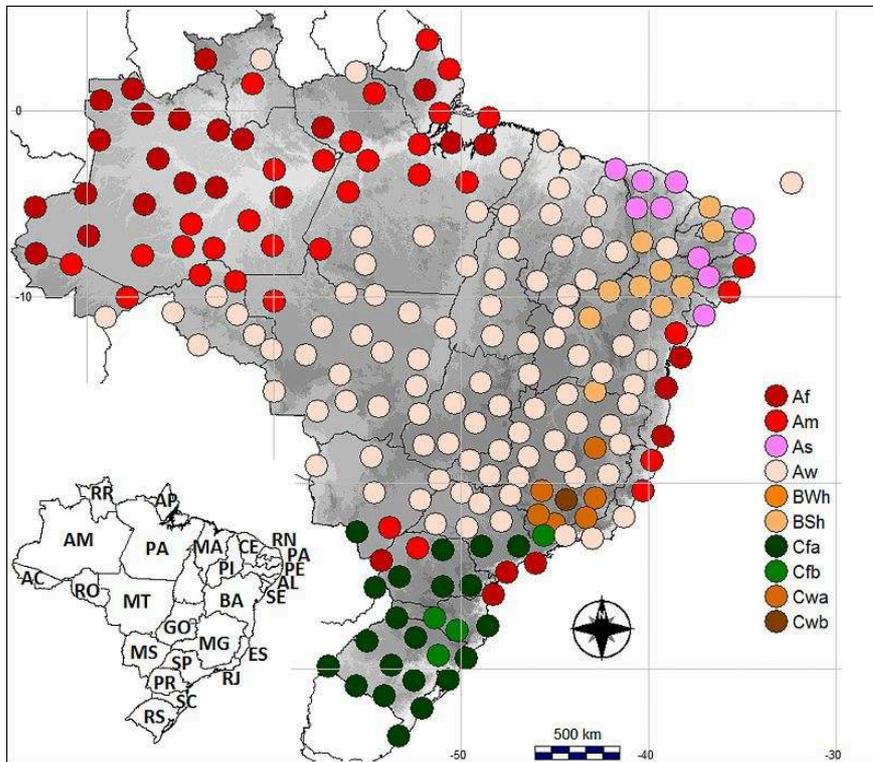
ces informations assure une assez bonne représentativité géographique et permet d'envisager une approche cartographique des TCA. Ainsi, pour chaque TCA, des cartes de distributions des fréquences sur la période ont été construites à partir des données des 208 stations. La méthode d'interpolation retenue est la plus simple, basée sur l'inverse de la distance au carré et construite sur une maille de 4x4 kilomètres. À cette échelle, aucun facteur géographique (altitude, distance à la mer, etc...) n'est donc retenu pour l'interpolation, la densité du réseau rendant difficile une approche aussi fine.

## Résultats

### Les climats moyens et leur représentativité

- 16 La première carte (illustration 5) propose une représentation du type de Köppen moyen, calculé sur l'ensemble de la période 1961-2015, pour les 208 stations. Certains types sont largement représentés, notamment le type Aw regroupant près de la moitié (95) des stations et formant un ensemble compact centré sur les plateaux et *cerrados* (savanes) de l'intérieur du Brésil. Si on devait retenir un type de climat brésilien, il s'agirait sans doute de celui-ci !

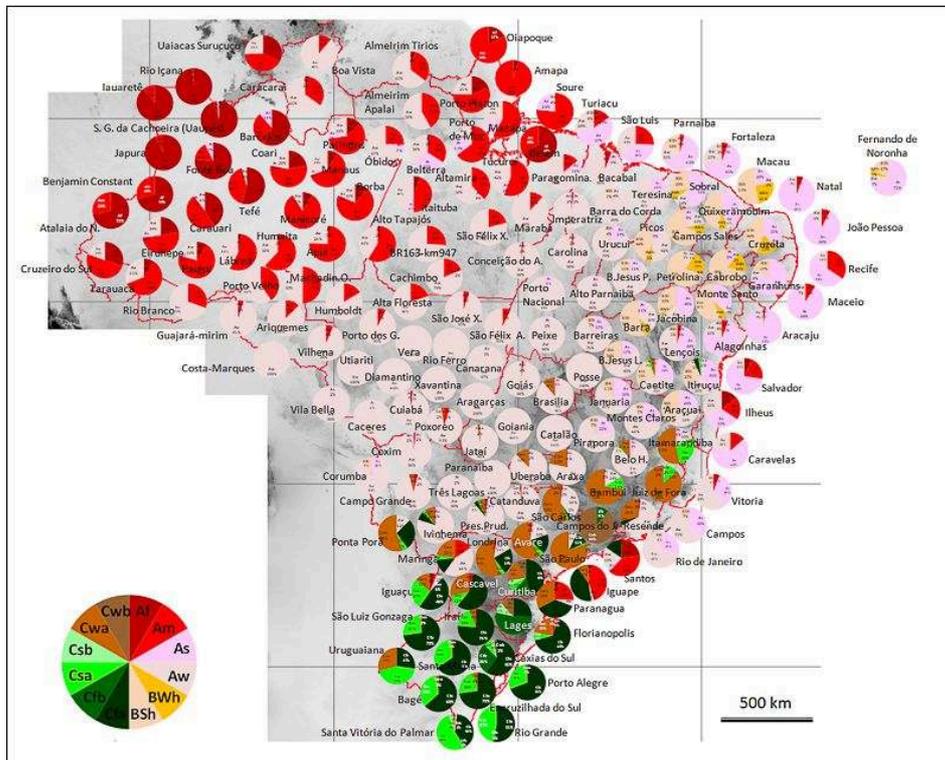
Illustration 5 - Types de climats de Köppen au Brésil pour les moyennes de la période 1961-2015 et liste et abréviations des noms des États brésiliens utilisés dans le texte.



États et initiales : AC : Acre ; AL : Alagoas ; AM : Amazonas ; AP : Amapá ; BA : Bahia ; CE : Ceará ; ES : Espírito Santo ; GO : Goiás ; MA : Maranhão ; MG : Minas Gerais ; MS : Mato Grosso do Sul ; MT : Mato Grosso ; PA : Pará ; PB : Paraíba ; PE : Pernambouc ; PI : Piauí ; PR : Paraná ; RJ : Rio de Janeiro ; RN : Rio Grande do Norte ; RO : Rondônia ; RR : Roraima ; RS : Rio Grande do Sul ; SC : Santa Catarina ; SE : Sergipe ; SP : São Paulo ; TO : Tocantins. Se reporter à l'illustration 1 pour les types de Köppen.

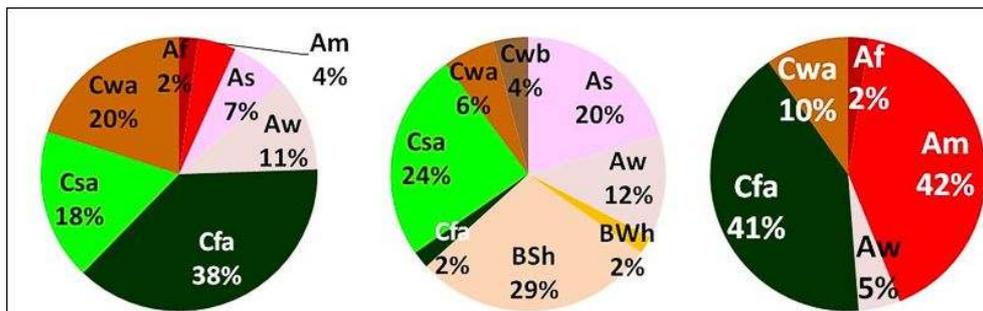
- 17 Trois autres grands types de climats se détachent ensuite. Le type Am arrive en second avec 33 stations réparties au sud et à l'est de l'Amazonie ainsi que sur le littoral oriental de Recife-PE à Vitória-ES. Plus au sud, deux stations s'y rattachent, de peu, Ivinhema-MS et Maringá-PR (respectivement 19,9 et 18,9°C de moyenne en juin). Le type Af, représenté par 28 stations, correspond aux climats chauds et pluvieux toute l'année de l'ouest de l'Amazonie, de la région de l'embouchure de l'Amazone, mais également, comme pour le type Am, de certaines stations de la côte est (Salvador-BA) et du Sudeste, là aussi à l'extrême limite méridionale des climats tropicaux : 19°C de moyenne en juin à Iguape-SP, 18,1°C à Guaíra-PR. Le dernier climat de type A concerne le littoral du Nordeste, célèbre pour sa nuance sèche estivale As : on le retrouve du littoral du Piauí jusqu'à Aracaju-SE pour seulement 10 stations. Vers l'intérieur, du Ceará au nord du Minas Gerais, le type semi-aride BSh concerne également 10 stations. Aucune des stations retenues ne correspond au type BWh, les stations les moins arrosées (Petrolina-PE et Paulo Afonso-BA) recevant chacune près de 500 mm annuels.
- 18 Au sud du Brésil, les climats de type C ne représentent que 32 stations, soit presque autant que le seul type Am, rappelant que le Brésil est bien majoritairement dans le monde tropical. Le type le plus représenté est le type Cfa (21 stations), du Rio Grande do Sul à São Paulo. En altitude, dans le Santa Catarina notamment ou à Campos do Jordão-SP, il cède sa place à la nuance fraîche du type Cfb (4 stations). Les climats de type Cwa regroupent 6 stations de l'intérieur méridional du Minas Gerais, une seule station (Barbacena) représentant la nuance d'altitude de type Cwb. Aucune station, même parmi les plus méridionales, n'a été rattachée aux types Csa ou Csb, montrant, qu'en moyenne, ces régions restent relativement bien arrosées l'été. L'approche fréquentielle va permettre de nuancer cette première analyse.
- 19 La carte de l'illustration 6 représente, pour une sélection d'environ 180 stations par souci de lisibilité, la fréquence des TCA sur l'ensemble de la période. Elle permet de mieux appréhender la variabilité interannuelle du climat sur le territoire brésilien, notamment en vérifiant si le type de climat annuel de Köppen correspond effectivement au type le plus fréquent, ce qui est loin d'être systématiquement vrai !
- 20 Les stations pour lesquelles le TCA le plus fréquent correspond au type de climat moyen de Köppen sont majoritaires puisque c'est le cas pour 169 d'entre elles, soit près de 76 % des cas ! Pour 13 d'entre elles (6,3 %) le climat de Köppen représente même 100 % des TCA, et à chaque fois le type Aw. Cependant, pour un nombre significatif de stations (24 % donc presque un quart), le TCA le plus fréquent ne correspond pas au climat de Köppen moyen : dans 32 cas (15 %), le climat moyen n'est que le deuxième TCA le plus fréquent et pour 10 cas (5 %), il n'arrive qu'en troisième position voire en quatrième (3 cas) ou cinquième position (2 cas, Iguape-SP et Paranaguá-PR, où le type Af ne représente respectivement que 2 % et 4 % des cas). Guaíra, dans le Paraná, détient une sorte de record avec 2 % de TCA en Af, soit en septième position ! Enfin, dans le registre des curiosités, signalons le cas de Caravelas-BA où le type Af n'a jamais été observé et Vitória da Conquista, dans la Bahia également, où pas moins de 8 types de TCA sont représentés (figure 4) !

Illustration 6 - Fréquences des types de climats annuels au Brésil pour la période 1961-2015.



Se reporter à l'illustration 1 pour les types de Köppen.

Illustration 7 - Quelques exemples de fréquences de TCA pour 3 stations pour la période 1961-2015 : Guaíra-PR, Vitória da Conquista-BA, Iguape-SP



Se reporter à l'illustration 1 pour les types de Köppen.

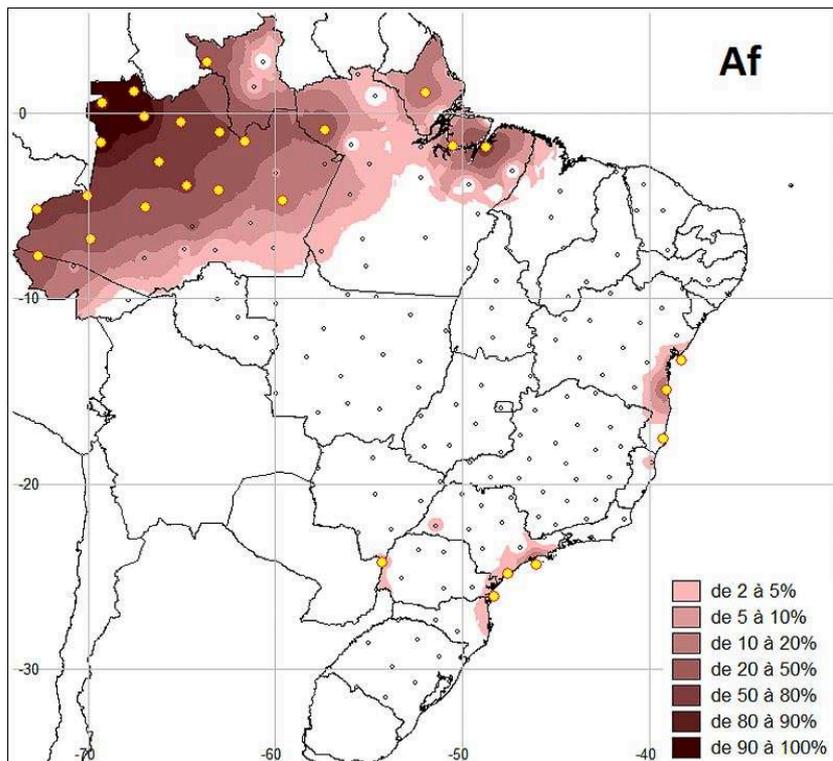
- 21 Au-delà de ces exemples « extrêmes », quelques configurations types méritent l'attention. En Amazonie méridionale, beaucoup de stations partagent leurs TCA entre le type Am et le type Af, marquant la transition entre les climats tropicaux humides et ceux à longue saison sèche. À l'intérieur du Nordeste, les types Aw, As et BSh, voire BWh marquent la forte variabilité interannuelle des précipitations (et leur provenance) dans cette région. Du Minas Gerais au Paraná, la proportion du type Aw décline progressivement au profit du type Cw, marquant la transition vers les climats tempérés mais avec un régime des pluies marqué par la tropicalité (saison sèche hivernale). Enfin, du Paraná au Rio Grande do Sul, le type tempéré sans saison sèche Cfa, cède peu à peu du terrain au type Csa montrant vers le sud la plus grande fréquence de la

sécheresse estivale, sans que l'on puisse trouver de type moyen méditerranéen, même si le TCA Csa est majoritaire à Santa Vitoria do Palmar-RS.

## Fréquences des TCA et limites climatiques

- 22 La représentation cartographique de la fréquence des TCA permet de préciser la régionalisation des climats du Brésil en distinguant les régions homogènes, dans lesquelles les mêmes TCA sont souvent représentées, des régions de transition où plusieurs TCA peuvent être observés. L'objectif de cette démarche est d'aboutir à une typologie rappelant celle mise au point sur la France par F. Durand-Dastès et L. Sanders (1984) et distinguant les « noyaux forts » des « aires de transitions ».
- 23 Les illustrations 8a à 8f présentent les fréquences annuelles des TCA A et B au Brésil de 1961 à 2015. Les illustrations 9a à 9c présentent les fréquences annuelles des TCA C au Brésil de 1961 à 2015. Les stations concernées par chacun des types sont indiquées par des symboles ponctuels jaunes.
- 24 Le type Af (illustration 8a) montre ainsi un important gradient en Amazonie nord-orientale et autour de l'île de Marajó-PA (bouches de l'Amazone). Ce climat équatorial connaît une discontinuité majeure dans le centre du Pará où plusieurs auteurs ont montré l'importance de ce « couloir sec amazonien ». Ainsi, schématiquement de Santarém-PA à Marabá-PA, les précipitations moyennes annuelles tombent en dessous de 2 000 mm, la proportion du type Af à moins de 50 % et les TCA, comme les régimes moyens, laissent la place au type Am (illustration 8b).

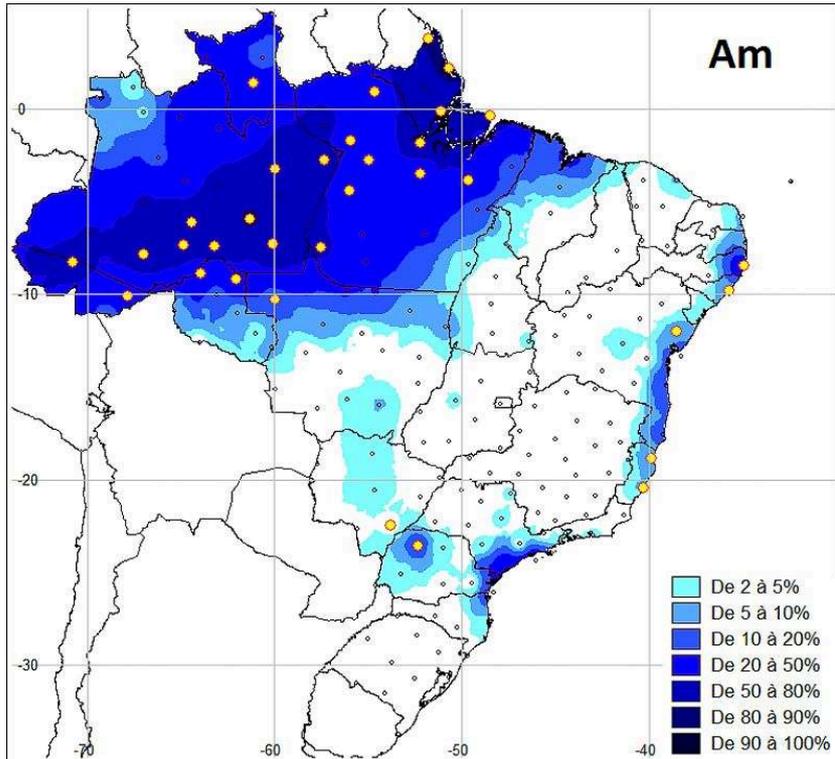
Illustration 8a – Type Af



- 25 Le climat de mousson Am (illustration 8b) domine ainsi de l'Acre au centre du Pará jusqu'à l'Amapá et le Roraima. Au nord du Rondônia et du Mato Grosso, au sud-est du

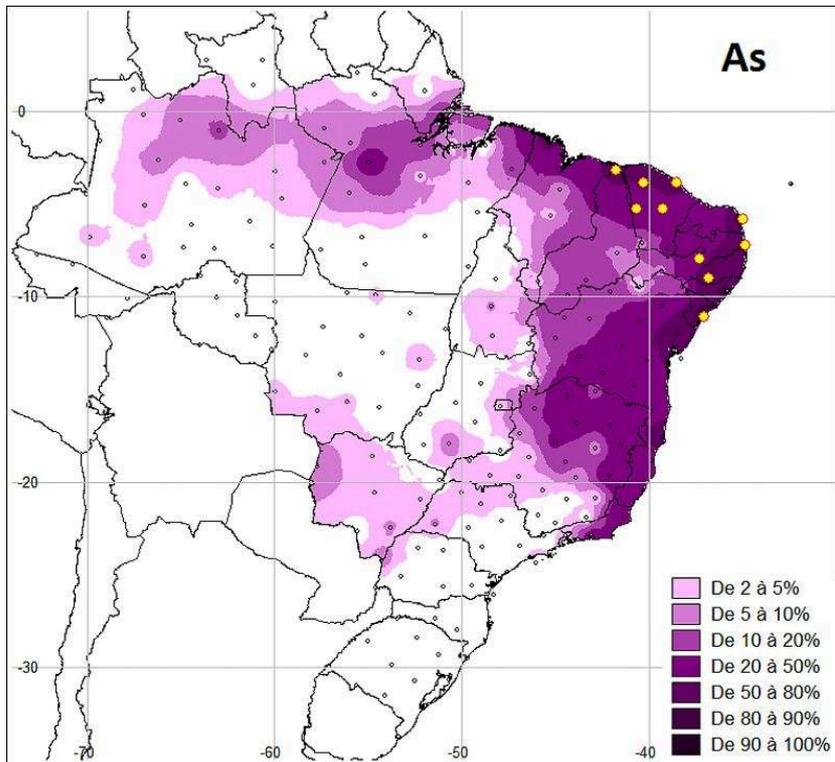
Pará et à l'ouest du Maranhão, sa proportion décline progressivement marquant le passage des climats tropicaux humides à courte saison sèche à ceux marqués par une saison sèche hivernale plus marquée (Sette, 2000 ; Arvor *et al.*, 2014 ; Debortoli *et al.*, 2015). Comme pour le type Af, les régions littorales de l'Atlantique connaissent une proportion non négligeable de ce TCA, au point d'y rattacher certaines stations à ce type moyen de Köppen.

Illustration 8b- Type Am



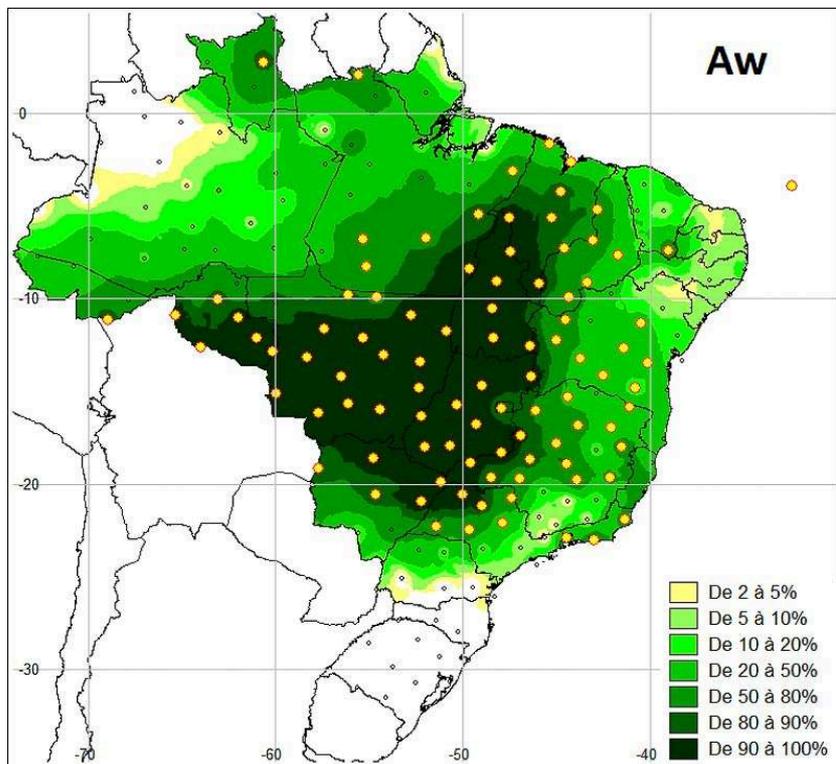
- 26 Le TCA As (illustration 8c) présente un gradient d'est en ouest à peu près inverse au type Af ; il n'est cependant majoritaire que sur les régions littorales et ne donne lieu qu'à un nombre limité de stations au type moyen de Köppen correspondant. En effet, vers l'intérieur du Nordeste, les types B ou Aw deviennent rapidement prédominants et vers le Pará, c'est le type Am qui prend le dessus. Il existe donc une grande différence entre la forte fréquence de ce TCA, observé de l'Amazonie au Paraná et de São Paulo à l'Amapá, et sa traduction en terme de régime moyen. En Amazonie, cette forte fréquence ne doit cependant pas trop faire illusion, elle est davantage liée au fait que certaines années, un seul mois d'été à faible pluviométrie (comme l'hiver pour le type Aw) suffit à classer ces années en As.

Illustration 8c – Type As



- 27 Le type Aw (illustration 8d), de loin le plus étendu spatialement, est aussi celui où on trouve la plus grande étendue de territoire avec une proportion écrasante (plus de 90 %, voire 100 %) des TCA, du Mato Grosso au Piauí en passant par le Goiás et le Tocantins. Son caractère hégémonique se marque aussi dans sa présence dans l'hémisphère nord, dans l'État du Roraima (régime tropical boréal). Il n'est absent qu'à l'extrême nord-ouest de l'Amazonas et à partir du sud du Paraná.

Illustration 8d – Type Aw



- 28 Le gradient lié au domaine aride et semi-aride du Nordeste est un phénomène bien connu (Guerra, 1955). La fréquence des TCA BSh (illustration 8e) et BWh (illustration 8f) permet de retrouver les noyaux de forte aridité de l'intérieur du Pernambuco, de la Bahia, de la Paraíba et du Rio Grande do Norte. Le TCA BSh s'étend assez loin vers le sud, jusqu'au nord du Minas Gerais et vers l'ouest jusqu'au Maranhão lors des années les plus déficitaires. Notons également que l'ouest du Mato Grosso do Sul n'est pas épargné (à peine 1 000 mm annuels à Corumbá-MS) mais la logique est différente : le déficit pluviométrique de cette région du Pantanal-MS (Tozato *et al.*, 2013) prolongeant vers le nord celle du Chaco argentin et paraguayen.

Illustration 8e – Type BSh

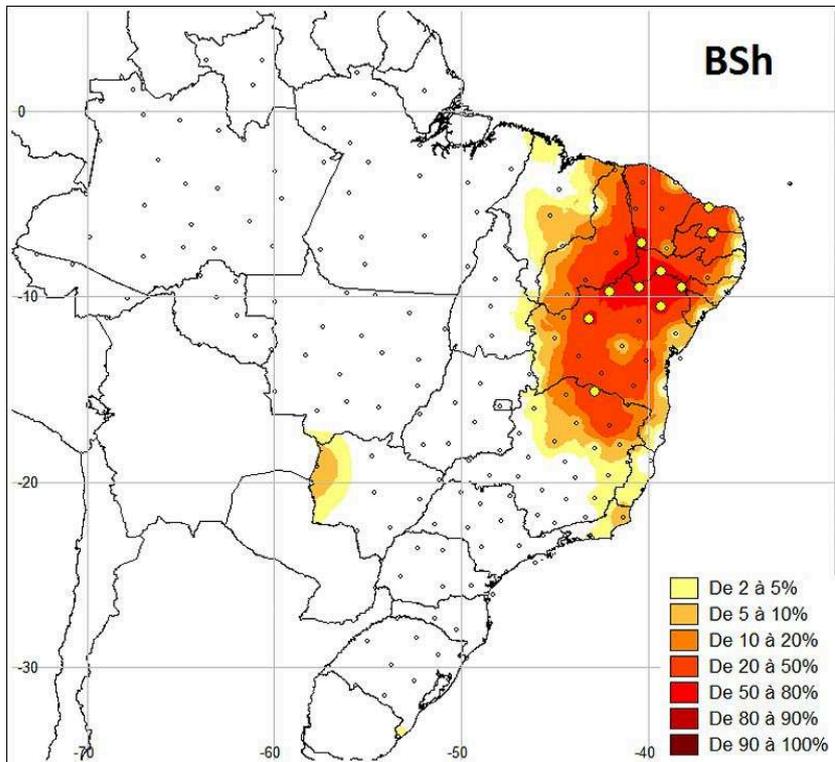
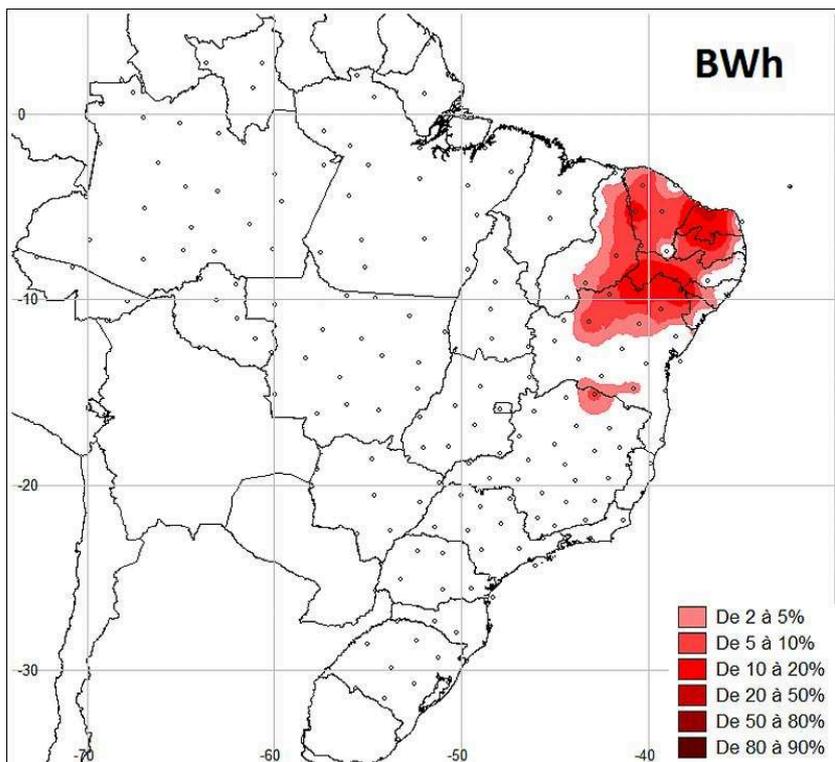


Illustration 8f – Type BWh



- 29 Les TCA de type C font leur apparition vers le sud autour du 20° parallèle. On les trouve cependant au nord de cette limite dans les régions d'altitude aussi bien au sud de la

Bahia (Vitória da Conquista ou Itiruçu à 13,4°S) que dans le Goiás (un cas à Jataí) ou le District Fédéral : ainsi, à Brasilia, à 15,8°S et 1 159 mètres d'altitude, la fréquence du TCA Cwa atteint 11 %. Dans le Mato Grosso do Sul, comme dans l'ouest de l'État de São Paulo, un gradient latitudinal est bien visible et les TCA tempérés disparaissent vers le nord et ne sont plus connus à Três Lagoas-MS ou Catanduva-SP (21°S) alors qu'ils représentent respectivement 7 et 21 % de cas à Presidente Prudente-SP et Ivinhema-MS (22°S).

- 30 Les types Cfa (illustration 9a) et Csa (illustration 9c) montrent le gradient en latitude le plus net : leur fréquence décline assez régulièrement de Porto Alegre-RS (respectivement 69 et 29 % des cas) à Londrina-PR (respectivement 24 et 4 % des observations). Le type Csa est cependant toujours minoritaire sauf à Uruguaiana et Santa Vitória (Rio Grande do Sul) sans pour autant permettre l'apparition d'un type Csa moyen. Une remarque similaire peut être faite au sujet de leur dégradation en altitude vers les types Cfb (illustration 9b) et Csb (illustration 9d) que l'on trouve sur les reliefs du Santa Catarina principalement. C'est toujours le type Cfb qui domine et alors que le type Csb est souvent autant représenté que le type Cwb (4 % dans les deux cas à Campos Novos-SC). L'altitude dans ce cas contribue autant à réduire la sécheresse estivale qu'à diminuer les températures et exclut la présence de tout type moyen Csb.

Illustration9a – Type Cfa

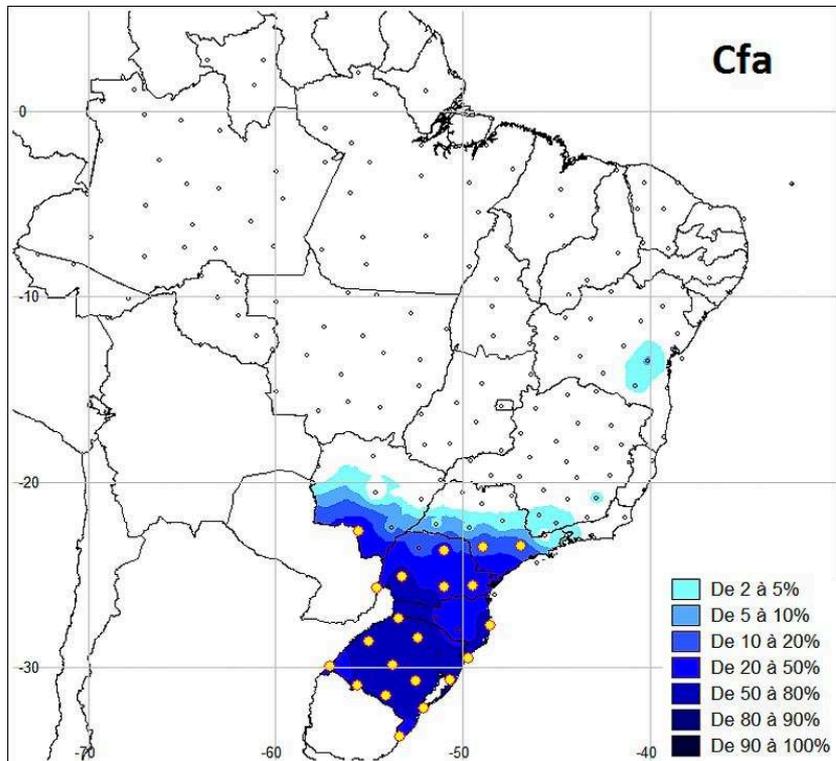


Illustration 9b – Type Cfb

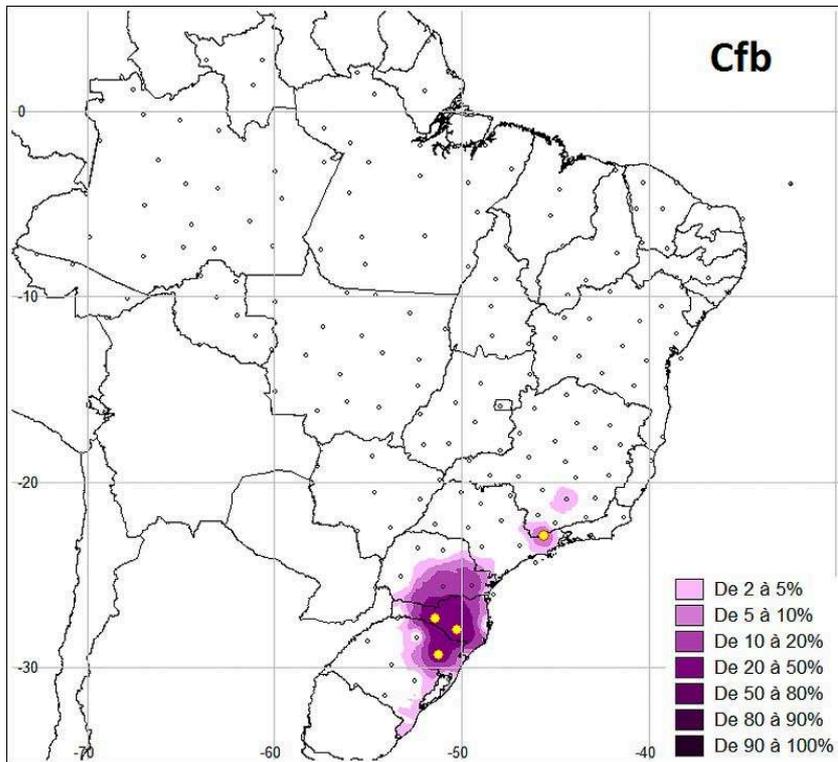


Illustration 9c – Type Csa

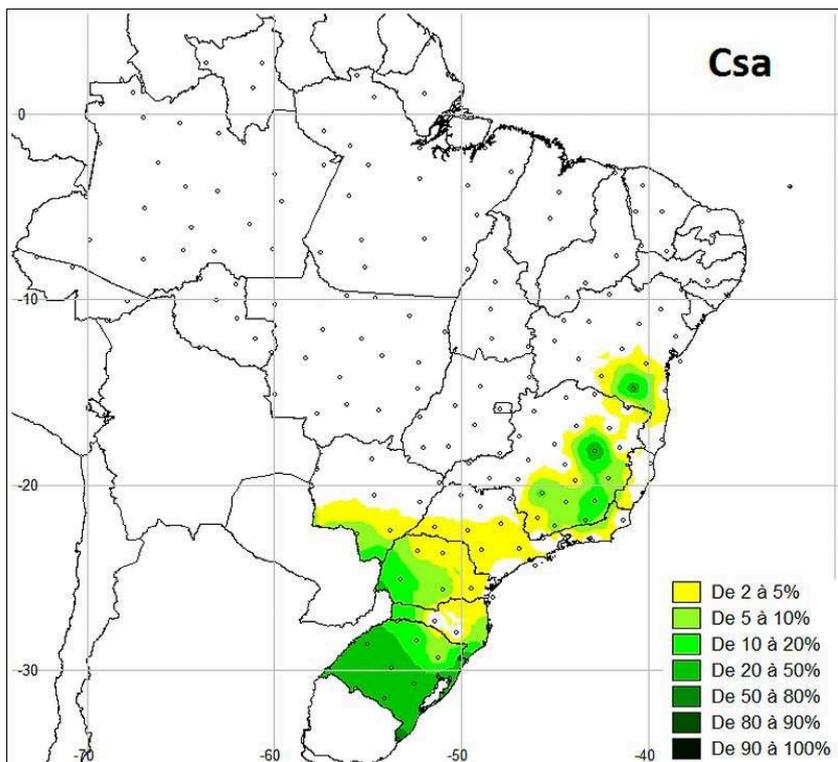
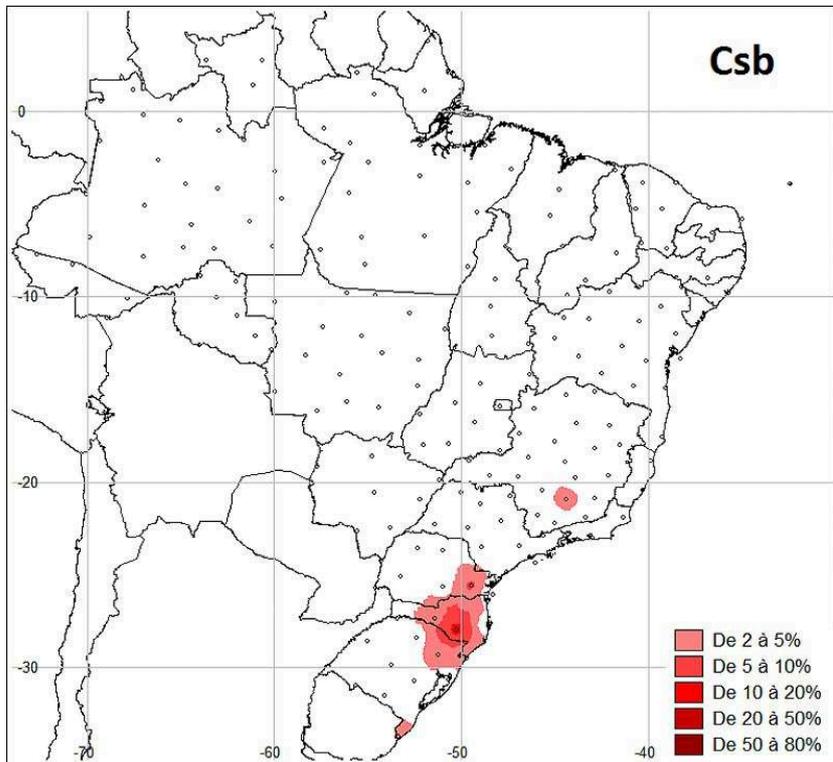


Illustration 9d – Type Csb



- 31 La dernière catégorie de TCA voit son centre de gravité se positionner à la frontière entre les États du Minas Gerais et de São Paulo. Le type Cwa, illustration 9e, (et Cwb, illustration 9f, en altitude au-delà de 1 100 m environ) est le TCA le plus représenté en superficie dans le Sudeste même s'il concerne un nombre limité de stations. En effet, vers le nord ou l'ouest, le TCA Aw devient rapidement plus fréquent, tandis que vers le sud, l'altitude favorise le type Cf au Paraná et qu'au Rio Grande do Sul, le régime pluviométrique à maximum estival cède rapidement du terrain aux régimes à maximum d'hiver. Comme pour le type Cs, il s'agit donc assez souvent d'un TCA secondaire ou, lorsqu'il est majoritaire, qui peine à s'exprimer dans le régime moyen. Ainsi, à São Paulo-SP comme à Londrina-PR, où respectivement 80 et 56 % des TCA sont de ce type Cwa, les deux stations connaissent un régime moyen de type Cfa.

Illustration 9e – Type Cwa

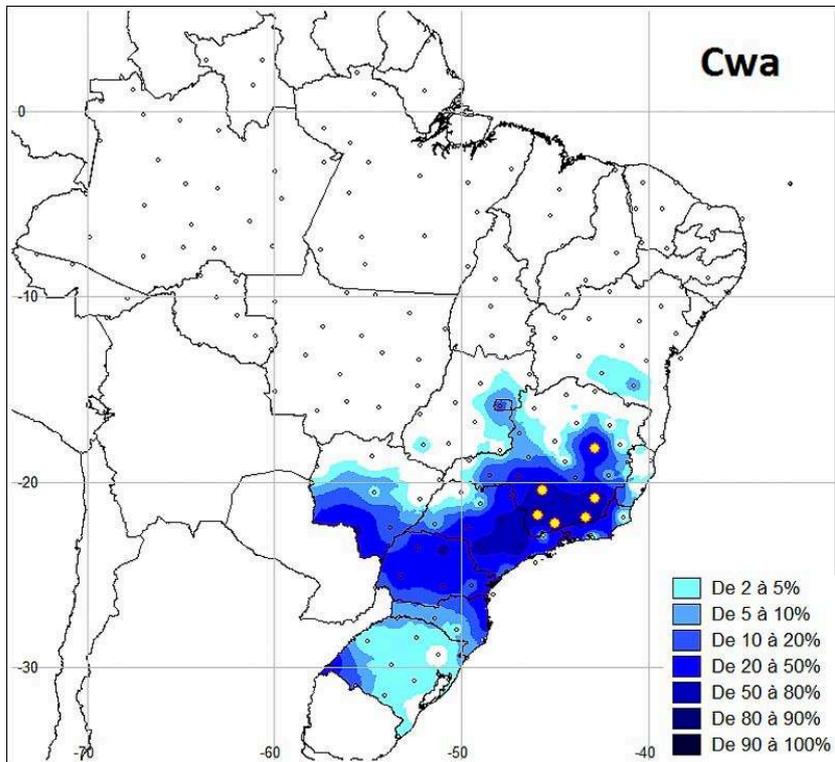
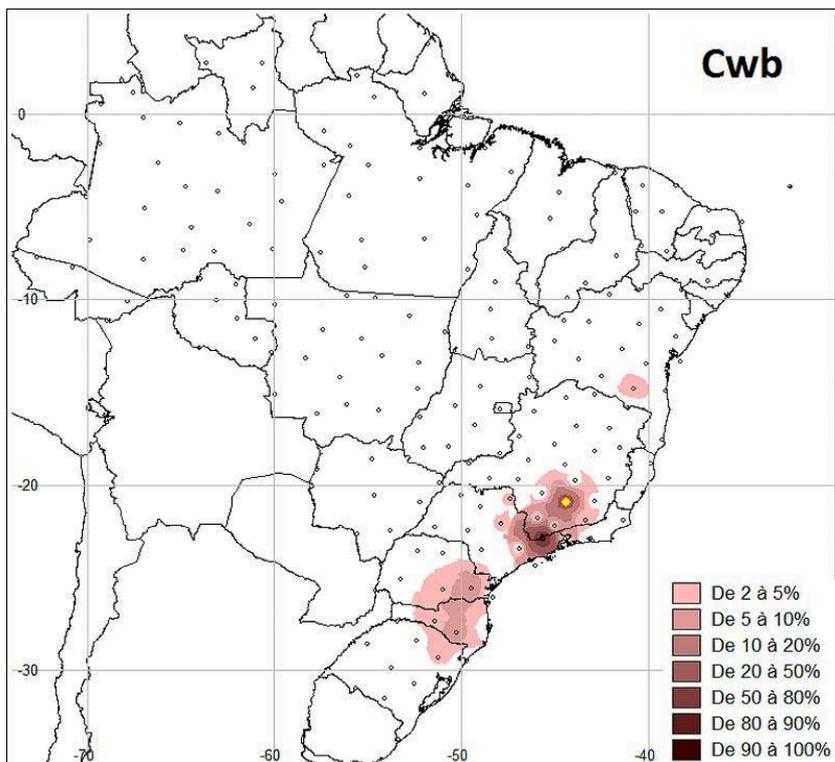


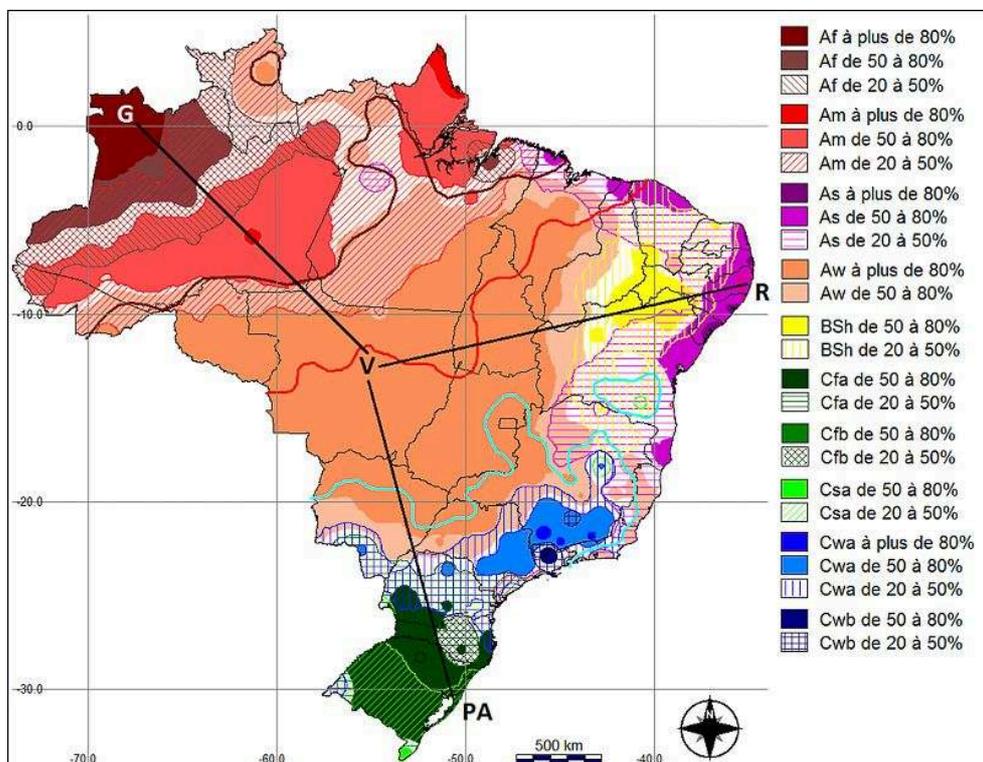
Illustration 9f – Type Cwb



## Essai de synthèse de la fréquence des TCA au Brésil

- 32 À partir de l'ensemble des remarques qui précèdent, on peut tenter une nouvelle esquisse régionale des climats du Brésil fondée sur la part relative des TCA. L'approche est présomptueuse car elle pourrait être perçue comme une nouvelle tentative de typologie des climats du Brésil. Pour autant, l'objectif n'est pas d'arriver à une division régionale simple, et encore moins définitive, mais plutôt de revisiter les limites relatives des grands types de climat que permet l'approche fréquentielle. La démarche s'appuie donc d'abord sur la définition de régions considérées comme homogènes, les noyaux forts, dans la mesure où ils se caractérisent par une forte fréquence des mêmes TCA (plus de 50 et 80 %, soit la médiane et le quintile supérieur). Les aires de transition, par opposition, seront les régions où aucun TCA ne domine mais où leurs combinaisons respectives peuvent générer une grande variété de nuances ou faciès régionaux. Dans cette étude, seuls les TCA dont la fréquence dépasse 20 % (quintile inférieur, soit une année sur cinq) sont retenus mais on inclue également les limites extrêmes vers le sud des TCA Af et Am et, vers le nord, des TCA C.

Illustration 10- Essai de synthèse des types de climat au Brésil à partir des fréquences des TCA



Ligne rouge foncé : limite méridionale du TCA Af ; ligne rouge : limite méridionale du TCA Am ; ligne bleue : limite septentrionale des TCA de type C. Transects : G = São Gabriel da Cachoeira ; V = Vera ; R = Recife ; PA = Porto Alegre. Se reporter au tableau 1 pour les types de Köppen.

- 33 Si l'on retient les régions couvertes majoritairement par un TCA à plus de 50 %, plus des trois-quarts du territoire brésilien (75,8 %) est concerné par ces noyaux forts et le chiffre reste significatif (31,7 %) si on fixe le seuil à plus de 80 % (illustration 11). Dans tous les cas, c'est le type Aw qui est le plus représenté avec 29 ou 47 % de la surface du pays, proche du nombre de stations rattachées à ce type moyen de Köppen. Bien sûr, l'importante surface occupée par ce type ne signifie nullement une homogénéité

climatique, le relief, rappelons-le, n'étant pas pris en compte dans l'interpolation. Le second noyau fort en terme de superficie (comme en nombre de stations) est le type Am avec 13,6 % du pays concerné. Le type Af est beaucoup moins représenté (5,8 %), une part importante des stations classées en moyenne dans ce type connaissant une forte fréquence du TCA Am. Ces trois noyaux forts représentent à eux seuls près des deux tiers du Brésil. Le second groupe occupe des superficies bien inférieures, de l'ordre de 2 à 3 % du pays. On y trouve, dans l'ordre décroissant, le type Cfa (3,9 %) dans le sud, le type As (2,7 %) sur le littoral du Nordeste, le type Cwa (2 %) dans le Sudeste et le type BSh (1,9 %) dans l'intérieur du Nordeste. Les types Cfb et Csa, qui ne concernaient que très peu de stations, n'occupent également qu'une infime part du territoire. Tous ces résultats diffèrent de ceux de Alvares *et al.* (2013, illustration 11) en valeur absolue mais l'ordre d'importance des types de climats est conservée. Rappelons que dans l'étude d'Alvares *et al.*, seules les valeurs moyennes étaient prises en compte et que l'ensemble du pays était couvert alors que dans notre étude seuls les noyaux forts sont pris en compte dans le tableau de l'illustration 11. Au-delà de ces noyaux forts, la situation des régions de transition (près d'un quart du pays) mérite donc attention.

Illustration 11 - Part (en %) du territoire couverte par les TCA en fonction de leur fréquence

	Af	Am	As	Aw	BSh	BWh	Cfa	Cfb	Csa	Csb	Cwa	Cwb	Total
Plus de 80 %	1,98	0,43	0,17	28,98	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,09	0,01	31,70
De 50 à 80 %	3,78	13,15	2,55	17,87	1,94	0,00	3,84	0,02	0,04	0,00	1,89	0,07	45,16
Plus de 50 %	5,76	13,58	2,71	46,85	1,94	0,00	3,87	0,02	0,04	0,00	1,98	0,08	76,85
<i>Alvares et al.</i>	22,6	27,5	5,5	25,8	4,9	0,0	6,5	2,6	0,0	0,0	2,5	2,1	100,0

La dernière ligne, en italique, correspond aux chiffres de l'étude d'Alvares *et al.* (2013). Se reporter au tableau 1 pour les types de Köppen.

- 34 Un exemple classique de gradient ou de transition climatique peut être illustré à partir du transect entre Vera-MT (V sur l'illustration 10), au sud, et São Gabriel da Cachoeira-AM, au nord (G sur l'illustration 10). Dans le centre du MT se trouve le noyau fort du climat de type Aw : plus de 80 % des TCA et même davantage car situé au sud de la limite du type Am (ligne rouge). Vers le nord, au-delà de 10° de latitude sud, on entre dans une région où le TCA Aw ne représente plus que 20 à 50 % des cas. Au sud de l'État d'Amazonas, on passe dans le domaine du TCA Am majoritaire puis quasi exclusif (en rouge) avec présence possible du typ Af (au nord de la ligne rouge foncé). Plus loin vers le nord, le transect traverse trois systèmes de hachures :
- Am majoritaire avec forte fréquence du TCA Af ;
  - fortes fréquences des TCA Af et Am sans domination de l'un ou de l'autre ;
  - Af majoritaire avec forte fréquence du TCA Am.
- 35 Tout au nord apparaît le « noyau fort » du type Af qui devient quasi exclusif (rouge foncé).
- 36 Un second exemple permet d'illustrer la transition vers l'aridité en partant toujours de Vera-MT vers Recife-PE (R sur l'illustration 10). En entrant dans le sud du Piauí et

l'ouest de la Bahia, on assiste à la diminution de la fréquence du TCA Aw, puis à l'augmentation du TCA BSh qui passe à plus de 50 puis plus de 80 %. Ensuite, à l'intérieur du Pernambuco, la proportion du TCA BSh diminue au fur et à mesure que la proportion du type As augmente en direction du littoral où ce dernier type devient majoritaire.

- 37 Un dernier exemple, en direction du sud et toujours en partant du Mato Grosso, montre la transition progressive du monde tropical vers la zone tempérée australe, et en confirme la complexité déjà soulignée par O. Planchon (2003). À partir de 20° de latitude sud, la présence du TCA C est possible (ligne bleue de l'illustration 10). Dans le Mato Grosso do Sul comme dans l'ouest de São Paulo, la proportion du TCA Aw décroît et laisse la place dans le Paraná à un mélange des types Cfa et Cwa, aucun d'eux n'étant majoritaire. C'est seulement dans le sud de cet État que le type Cfa l'emporte et il reste majoritaire dans le Rio Grande do Sul même si la fréquence du TCA Csa devient significative (29 %) dans la région de Porto Alegre (PA sur l'illustration 10).
- 38 La richesse de la carte de l'illustration 10 peut être développée en évoquant les configurations particulières de certaines régions : couloir sec amazonien où aucun type ne domine nettement, même si le type Am est le plus fréquent ; gradient de l'équatorial vers le tropical boréal à saisons alternées bien marqué également dans le Roraima ; région de Belém-PA ou littoral du Sudeste où les fréquences des TCA, et donc les influences climatiques, sont diverses. Enfin, contrairement à ce qui se passe dans l'intérieur du pays, la proportion des TCA de type C décroît très vite sur la côte et ne dépasse pas l'État de São Paulo. Les TCA C représentent ainsi 94 % des cas à Florianópolis-SC, 69 % à Paranaguá-PR, 51 % à Iguape-SP, 19 % à Santos-SP (24°S) et aucun cas à Rio de Janeiro (à 22,9°S).

## Conclusion

- 39 Plus d'un siècle après sa mise au point, la méthode de classification des climats de Köppen permet toujours d'analyser les limites climatiques de façon pertinente à condition de dépasser la version initiale établie sur des valeurs moyennes. L'approche par les Types de Climats Annuels (TCA) renouvelle la méthode en prenant en compte explicitement la variabilité interannuelle du climat : elle montre que le type de climat moyen de Köppen n'est pas toujours celui qui est réellement observé dans une station donnée. Ainsi, au Brésil, pour un quart des 208 stations étudiées ici, le type moyen n'est pas le plus fréquent.
- 40 L'approche en terme de fréquence permet également une nouvelle représentation cartographique des climats en distinguant les noyaux forts et les aires de transition. Les premiers désignent les régions où dominent très majoritairement un TCA, comme par exemple la vaste étendue du type Aw dans l'intérieur du pays (près de 30 % du territoire). Les aires de transition, en revanche, connaissent une diversité des influences climatiques et des TCA qui en résultent : aucun TCA n'étant majoritaire, elles illustrent parfaitement les gradients en latitude du tempéré vers le tropical ou du tropical vers l'équatorial, par exemple.
- 41 Cette approche implique de nouvelles perspectives à la fois sur le plan spatial et temporel. Sur le plan spatial, la faible densité du réseau de stations utilisées ici ne permet pas de prendre en compte de façon suffisamment précise le rôle du relief et donne une image sans doute trop uniforme des climats de l'intérieur du Brésil. Des

données satellitaires estimant les précipitations pourraient être incluses dans la démarche mais cela réduirait la période d'étude à celle de la disponibilité des séries satellitaires. Sur le plan temporel, en revanche, la longueur de la plupart des séries utilisées ici permet d'envisager une étude de l'évolution des TCA au cours du temps pour voir, par exemple, si dans un contexte de changement climatique, les fréquences respectives des types tropicaux et tempérés ont potentiellement significativement évolué.

---

## BIBLIOGRAPHY

- Alissow B.P., 1954. *Die Klimate der Erde*. Berlin, Deutch, Ubers.
- Alvares C.A., Stape J.L., Sentelhas P.C., de Moraes Goncalves J.L., Sparovek G., 2013. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, Vol. 22, No. 6, p. 711-728, DOI 10.1127/0941-2948/2013/0507.
- ANA, 2016. *HidroWeb, Sistema de Informações Hidrológicas*. <http://hidroweb.ana.gov.br/>
- Araujo R.F., Matricardi E.A.T., Nappo M.E., 2012. Zoneamento ecologico de pequena escala para espécies florestais tradicionais no Distrito Federal. *Floresta* 42, p.421-430.
- Arvor D., Dubreuil V., Ronchail J., Simões M., Funatsu B. M., 2014. Spatial patterns of rainfall regimes related to levels of double cropping agriculture systems in Mato Grosso (Brazil). *Int. J. Climatol.*, 34, p. 2622-2633.
- Bernardes L., 1980. *Geografia*. Rio de Janeiro, Liceu.
- Brisse H., Grandjouan R., De Ruffray P., 1982. Les types de climats annuels, un mode d'expression des gradients climatiques intégrant les variations interannuelles. *La Météorologie*, VIe série, 31, p. 39-81.
- Carvalho C.D., 1916. *Climatologie du Brésil*. John Bale, Sons & Danielson, Londres.
- De Martonne E., 1942. Nouvelle carte mondiale de l'indice d'aridité. *Annales de Géographie*, 51 (288), p. 241-250.
- Debortoli N., Dubreuil V., Delahaye F., Henke C., Saito C., Fetter R., Rodrigues Filho S., 2015. Rainfall Patterns in the Southern Amazon: a chronological perspective (1970-2010). *Climatic Change*, p. 132-251, Doi:10.1007/s10584-015-1415-1.
- Delahaye F., Kirstetter P.E., Dubreuil V., Machado L.A., Vila D., 2015. A consistent gauge database for daily rainfall analysis over the Legal Brazilian Amazon. *Journal of hydrology*, 527, p. 292-304.
- Draenert F.M., 1896. *O clima do Brazil*. Typographia Carlos Schmidt, Rio de Janeiro.
- Dubreuil V., Jallet A., Ronchail J., Maitelli G., 2004. Estimation des précipitations par télédétection au Mato Grosso (Brésil). *Annales de l'AIC*, Vol. 1, p. 133-156.
- Durand-Dastès F., Sanders L., 1984. Les contrastes climatiques : noyaux et zones de transition. *In Theo Quant, Géoscopie de la France*, Paradigme, Paris, p. 91-101.

- Essenwanger O. M., 2001. Classification of Climates, World Survey of Climatology 1C, General Climatology. Elsevier, Amsterdam, 102 p.
- Eveno M., Planchon O., Oszwald J., Dubreuil V., Quenol H., 2016. Variabilité et changement climatique en France : analyses au moyen de la classification de Köppen et des « types de climats annuels ». *Climatologie* (13), p. 47-70.
- Flohn H. 1969. *Climate and Weather*. World Univ. Library, McGraw-Hill, New York.
- GHCN-M, 2016. Global Historical Climatology Network-Monthly, version 2 database : <ftp://ftp.ncdc.noaa.gov/pub/data/ghcn/v2/>.
- Guerra I.A.L.T., 1955. Tipos de clima do Nordeste. *Rev. Bras. Geogr.*, 17, p. 449-496.
- Hantel M., 1989. Climatology, Series Landolt-Börnstein, Numerical Data and Functional Relationships in Science and Technology. New Series Vol. 4C2, *The present global surface climate*, Springer, Berlin, p. 117-474.
- IBGE, 2002. *Mapa de clima do Brasil*. [ftp://geoftp.ibge.gov.br/informacoes\\_ambientais/climatologia/mapas/brasil/clima.pdf](ftp://geoftp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/climatologia/mapas/brasil/clima.pdf)
- INMET, 2016. Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa. Fonte: *Dados da Rede do INMET*. <http://www.inmet.gov.br/projetos/rede/pesquisa/inicio.php>.
- Köppen W., 1900. Versuch einer Klassifikation der Klimate, vorzugweise nach ihren Beziehungen zur Pflanzenwelt. *Geogr. Zeitschrift*, 6, p. 657-679.
- Köppen W., 1901. Versuch einer Klassifikation der Klimate, vorzugweise nach ihren Beziehungen zur Pflanzenwelt. *Meteorologische Zeitschrift*, 18, p. 106-120.
- Kottke M., Grieser J., Beck C., Rudolf B., Rubel F., 2006. World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorologische Zeitschrift*, 15, p. 259-263.
- Lamb H.H., 1977. *Climate: Present, Past, and Future*. Vol. 2 – Climatic history and the future. London, Methuen & Co Ltd, 835 p.
- Lauer W., 1993. *Klimatologie*. Das Geographische Seminar, Braunschweig, Westermann, 267 p.
- Mattos J.N.B., 1905. *Breve noticia sobre o clima de São Paulo*. Serviço de Meteorologia do Estado de São Paulo, São Paulo, 16 p.
- Mauelshagen F., 2010. *Klimageschichte der Neuzeit 1500-1900*. WBG (Wissenschaftliche Buchgesellschaft), 144 p.
- Mendonça F., Danni-Oliveira I. M., 2007. *Clima : Noções básicas e climas do Brasil*. São Paulo, Oficina de Textos.
- Monteiro C.A.F., 1968. Clima. In *Geografia do Brasil: A grande região Sul*. IBGE, p. 4
- Monteiro C.A.F., 1971. Análise rítmica em climatologia. *Climatologia* 1, USP/IG, São Paulo, p. 1-21.
- Morize H., 1889. *Esboço da climatologia do Brasil*. Observatorio Astronômico, Rio de Janeiro, 47 p.
- Morize H., 1922. *Contribuição ao estudo do clima do Brasil*. Ministério da Agricultura, Rio de Janeiro, 116 p.
- Nimer E., 1989. *Climatologia do Brasil*. IBGE, Rio de Janeiro, 421 p.
- Pédelaborde P., 1957. Le climat du bassin Parisien. Essai d'une méthode rationnelle de climatologie physique. Paris, Génin, 539 p.
- Péguy C. P., 1970. *Précis de climatologie*. Paris, Masson, 468 p.

- Peixoto A., 1907. *Clima e doenças no Brasil*. Imprensa Nacional, Rio de Janeiro, 36 p.
- Planchon O., 2003. Transitions entre climats tropicaux et tempérés en Amérique du Sud : essai de régionalisation climatique. *Cahiers d'Outre-Mer*, 223, p. 259-280.
- Planchon O., Rosier K., 2005. Climat et variabilité climatique dans le Nord-Ouest de l'Argentine : problèmes posés et analyse durant la deuxième moitié du vingtième siècle. *Annales de l'Association Internationale de Climatologie*, 2, p. 55-76.
- Quénol H., Planchon O., Wahl L., 2008. Méthodes d'identification des climats viticoles. *Bulletin de la Société Géographique de Liège*, 51, p. 127-137.
- Quénol H., Planchon O., Dubreuil V., 2014. Variabilité climatique et changement climatique à l'échelle des vignobles mondiaux. In Quénol, H. (dir.), *Changement climatique et terroirs viticoles*, Editions Lavoisier Tec&Doc, Chap. 3, p. 91-114.
- Rolim G.S., Camargo M.P.B., Lania D.G., Moraes J.F.L., 2007. Classificação climática de Köppen e de Thornthwaite e sua aplicabilidade na determinação de zonas agroclimáticas para o estado de São Paulo. *Bragantia* 4, p. 711-720.
- Rubel F., Kotteck M., 2010. Observed and projected climate shifts 1901-2100 depicted by world maps of the Köppen-Geiger climate classification. *Meteorol. Z.*, 19, p. 135-141.
- Sa'Junior A., Carvalho L.G., Silva F.F., Alves M.C., 2012. Application of the Köppen classification for climatic zoning in the state of Minas Gerais, Brazil. *Theor. Appl. Climatol.*, 108, p. 1-7.
- Sanderson M., 1999. The classification of climates from Pythagoras to Köppen. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 80, p. 669-673.
- Sant'anna Neto J.L., 2013. A climatologia geográfica no Brasil: origem e contexto histórico. In M. C. de Costa Trindade Amorim, J. L. Sant'Anna Neto, A. Monteiro. (Org.), *Climatologia Urbana e Regional: questões teóricas e estudos de caso*. 1ed. São Paulo, Outras Expressões, vol. 1, p. 11-73.
- Sette D.M., 2000. *O holoceno e as interações tropico-extretropico na gênese do clima e as paisagens do Mato Grosso*. Thèse de Doctorat de l'Université de Sao Paulo, 375 p.
- Sorre M., 1951. Les fondements biologiques de la géographie humaine. A. Colin, 3<sup>e</sup> ed., 448 p.
- Strahler A.N., 1951. *Introduction to Physical Geography*. John Wiley & Sons, New Jersey, 486 p.
- Théry H., 2000. *Le Brésil*. Paris, A. Colin, 4<sup>e</sup> éd., 288 p.
- Thornthwaite C.W., 1933. The climates of the earth. *Geogr. Rev.*, 23, p. 433-440.
- Torres R.B., Martins F.R., Kinoshita L.S., 1997. Climate, soil and tree flora relationships in forests in the state of São Paulo, southeastern Brazil. *Rev. Bras. Bot.* 20, p. 41-49.
- Tozato H, Dubreuil V, De Mello-Théry N.A., 2013. Tendências e rupturas climato-hidrológicas no sitio Ramsar PARNA Pantanal (MT, Brasil). *Revista brasileira de climatologia*, vol. 9, p. 164-184.
- Trewartha G.T., 1937. *An introduction to weather and climate*. McGraw-Hill Book Company, New York, 373 p.
- Viers G., 1968. *Éléments de climatologie*. Nathan, Paris, 224 p.
- Zavatini J.A., 1990. A dinâmica atmosférica e a distribuição das chuvas no Mato Grosso do Sul. Tese de doutorado, Universidade de São Paulo.

## ABSTRACTS

This article proposes to use the Köppen classification to define « *Annual Climate Types* » (ACT) for a set of 208 stations, representative of the climatic diversity of Brazil. The average monthly temperature and precipitation data for the period 1961-2015 allow to established the frequency of ACTs for each station. The statistical and cartographic treatment of this information makes it possible to define the limits of the climates of Brazil: here we apply the concepts of « strong nuclei », defined as the regions where the ACT are systematically or mostly the same, and « transition areas », i.e. regions where there is a great diversity of ACT. This approach allows us to propose a detailed study of the transitions between the tropical climates types (mainly Aw, Am and Af) and those of the south, subtropical and temperate (Cwa and Cfa in particular) and discuss these climatic limits.

Cet article propose d'utiliser la classification de Köppen pour définir des « Types de Climats Annuels » (TCA) pour un ensemble de 208 stations, représentatives de la diversité climatique du Brésil. Les données moyennes mensuelles de températures et de précipitations pour la période 1961-2015 ont permis d'établir la fréquence des TCA pour chacune des stations. Le traitement statistique et cartographique de ces informations précise les limites des climats du Brésil : on applique ici les concepts de « noyaux forts », définis comme les régions où les TCA sont systématiquement ou majoritairement les mêmes, et « d'aires de transition », c'est-à-dire les régions où on trouve une grande diversité des TCA. Cette approche permet d'envisager une étude fine des transitions entre les types de climats tropicaux (essentiellement Aw, Am et Af) et ceux du sud, subtropicaux et tempérés (Cwa et Cfa notamment) et de discuter ces limites climatiques.

## INDEX

**Keywords:** Climate classification, Köppen, Brazil, Annual Climate Type

**Mots-clés:** Classification climatique, Köppen, Brésil, Type de Climat Annuel

## AUTHORS

### VINCENT DUBREUIL

Vincent Dubreuil, vincent.dubreuil@univ-rennes2.fr, LETG-Rennes-COSTEL, UMR 6554 CNRS, Université Rennes 2.

### KARIME PECHUTTI FANTE

Karime Pechutti Fante, karimefante@hotmail.com, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Presidente Prudente, Brésil.

### OLIVIER PLANCHON

Olivier Planchon, olivier.planchon@univ-rennes2.fr, LETG-Rennes-COSTEL, UMR 6554 CNRS, Université Rennes 2.

### JOÃO LIMA SANT'ANNA NETO

João Lima Sant'anna Neto, joalima@fct.unesp.br, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Presidente Prudente, Brésil.