



Les Cahiers d'Outre-Mer

Revue de géographie de Bordeaux

223 | Juillet-Septembre 2003

Pression anthropique et environnement en Amérique latine

Transition entre climats tropicaux et tempérés en Amérique du sud : essai de régionalisation climatique

Olivier Planchon



Édition électronique

URL : <http://journals.openedition.org/com/772>

DOI : 10.4000/com.772

ISSN : 1961-8603

Éditeur

Presses universitaires de Bordeaux

Édition imprimée

Date de publication : 1 juillet 2003

Pagination : 259-280

ISSN : 0373-5834

Référence électronique

Olivier Planchon, « Transition entre climats tropicaux et tempérés en Amérique du sud : essai de régionalisation climatique », *Les Cahiers d'Outre-Mer* [En ligne], 223 | Juillet-Septembre 2003, mis en ligne le 13 février 2008, consulté le 19 avril 2019. URL : <http://journals.openedition.org/com/772> ; DOI : 10.4000/com.772

Ce document a été généré automatiquement le 19 avril 2019.

© Tous droits réservés

Transition entre climats tropicaux et tempérés en Amérique du sud : essai de régionalisation climatique

Olivier Planchon

- 1 L'Amérique du Sud s'étend sur 7 000 km du nord au sud, de 12°30'N à 56°S. 84 % de sa surface est intertropicale, mais son extension loin vers les hautes latitudes australes est originale dans l'hémisphère sud. La disposition du relief favorise les échanges atmosphériques méridiens : la cordillère des Andes s'étend de façon continue le long de la bordure pacifique, alors que plus à l'est alternent plateaux et bassins. Ainsi, le relief de l'Amérique du Sud n'impose aucun obstacle aux circulations atmosphériques méridiennes. Les répercussions sont importantes sur les marges australes de la zone chaude : les brusques irruptions d'air froid sont parfois dévastatrices pour les cultures tropicales et subtropicales implantées dans le sud du Brésil (café) ou dans le nord du Chaco (canne à sucre, agrumes¹). La prédominance des échanges méridiens s'ajoute aux effets de bordure maritime (souvent montagneuse) pour mettre en place, à l'est des Andes, sur les confins tempérés et tropicaux du continent, une trame climatique originale, malheureusement assimilée trop souvent par habitude à celle des continents de l'hémisphère nord (Amérique du Nord et Asie). Les principaux gradients climatiques caractéristiques du centre et de l'est de l'Amérique du Sud ont été mis en évidence, et différentes méthodes de classification usuelles ont été confrontées de façon à dégager une régionalisation climatique de l'espace étudié. Cette étude insiste notamment sur le choix des éléments pris en compte pour mettre en évidence des limites climatiques à travers cet espace si particulier.
- 2 L'espace étudié s'étend entre 15 et 35°S, donc de part et d'autre du tropique du Capricorne (fig. 1), de façon à prendre en compte à la fois les marges de la zone chaude et celles de la zone tempérée. Le versant pacifique de la cordillère des Andes, aride et frais pour la plus grande partie à ces latitudes, n'a pas été étudié. La quasi-totalité de l'espace est incluse dans le bassin hydrographique du Paraná - Río de la Plata, qui couvre plus de 3

millions de km². Le centre du bassin comprend une vaste plaine de disposition méridienne et drainée principalement par le Paraná, le Paraguay et l'Uruguay. Au nord, les plaines des *llanos* boliviens et les plateaux (*chapadas*) peu élevés (moins de 1 000 m) du Mato Grosso constituent la ligne de partage des eaux Plata / Amazone, entre les Andes et le plateau central brésilien. Le sud-est et le sud du Brésil présentent, avec la *Serra do Mar* (localement plus de 2 000 m), la bordure la plus montagneuse et abrupte de l'Amérique du Sud atlantique, avec la côte caraïbe. Les plaines côtières sont étroites et parfois inexistantes entre Rio de Janeiro (23°S) et le sud de l'État de Santa Catarina vers 28°S. Les *serras* et hauts plateaux du sud-est brésilien s'abaissent progressivement vers l'intérieur des terres, vers le nord et vers le Sud. Les plaines ondulées du Rio Grande do Sul et d'Uruguay sont accidentées par des alignements de collines (*coxilha* au Brésil, *cuchilla* en Uruguay) qui atteignent 200 à 500 m. La plaine s'élève progressivement à l'ouest des Ríos Paraná et Paraguay, jusqu'au pied des massifs préandins (*Sierra de Córdoba*, de *San Luis*). Ces *Sierras Pampeanas*, orientées nord-sud, sont séparées par de vastes bassins fermés souvent occupés par des cuvettes salines. La cordillère des Andes porte les plus hauts sommets de la chaîne dans sa partie argentine-chilienne (Aconcagua, 6 960 m), et se déploie en largeur sur 500 à 600 km aux latitudes bolivienne et nord-argentine, enserrant l'*Altiplano* sur plus de 1 500 km du nord au sud (14° à 27°S).

- 3 Des données de températures et précipitations mensuelles ont été extraites des fichiers GHCN (*Global Historical Climatology Network*), développés par le CDIAC/ORNL (*Carbon Dioxide Information Analysis Center / Oak Ridge National Laboratory*) et le NCDC (*National Climatic Data Center*) : <http://cdiac.esd.ornl.gov/ghcn/ghcn.html>.
- 4 Le fichier pluviométrique est, de loin, le mieux pourvu, avec un réseau inégalement dense d'un pays à l'autre et, à l'intérieur de chaque pays, d'une région à l'autre. Alors que les plaines du nord de l'Argentine bénéficient d'un réseau relativement dense et bien réparti sur tout l'espace, le Brésil oppose la très forte densité du réseau du nord du Minas Gerais à celle, très faible, des États du Sud où les stations météorologiques sont pourtant nombreuses. Le réseau de l'Uruguay (précipitations) a été complété avec deux stations extraites du fichier GHCN-v1 (séries de données jusqu'en 1990). Les données de stations chiliennes ont été ajoutées de façon à compléter l'étude des totaux pluviométriques annuels. Des données provenant d'autres sources² ont également été prises en compte, notamment pour aider à préciser la cartographie des espaces les moins bien pourvus en stations, aussi afin d'apporter des précisions se rapportant à des éléments non renseignés par les fichiers GHCN (températures minimales et maximales, amplitude thermique diurne).
- 5 Si l'unité de la zone tropicale est donnée par le niveau élevé des températures moyennes, ses délimitations posent parfois (et depuis longtemps) des problèmes aux climatologues³. Proposée par W. Köppen⁴ au début du XX^e siècle, l'isotherme 18°C pour le mois le plus frais est la plus communément admise pour délimiter la zone chaude. Dans sa *classification numérique des climats mondiaux*, J. Litynski⁵ a proposé l'isotherme annuelle 20°C. Les deux isothermes ne coïncident pas (fig. 2), mais présentent chacun un intérêt. L'isotherme annuelle 20°C coïncide approximativement avec la limite nord des pampas dans les plaines du nord de l'Argentine⁶, alors qu'il s'agit d'un résultat strictement statistique, ne prenant en compte aucun élément biogéographique. Les températures moyennes des pays des pampas sont comparables à celles du domaine méditerranéen européen. Le rythme thermique des régions environnant le Río de la Plata évoque bien davantage le sud du Portugal (Alentejo, Algarve) ou les plaines côtières catalanes que le sud-est des États-Unis

à des latitudes comparables dans l'hémisphère nord. L'isotherme annuelle 20°C marque donc bien la limite thermique supérieure des climats *tempérés chauds* (limite inférieure : 14°C). L'espace compris entre l'isotherme annuelle 20°C au sud et l'isotherme 18°C pour le mois le plus froid, au nord, est très étendu dans les plaines centrales (nord de l'Argentine, Paraguay : 500 à 800 km du sud au nord). Sur cet espace *subtropical* apparaissent, en direction du nord, des caractères thermiques marquant l'entrée progressive dans la zone chaude : la chaleur estivale est plus accusée (25 à 30°C pour les mois les plus chauds, janvier principalement), et surtout, l'amplitude thermique diurne devient plus accentuée que l'amplitude annuelle. La plus grande ampleur du rythme thermique diurne est caractéristique des climats de la zone intertropicale, si bien que la ligne d'égalité amplitude annuelle et diurne a parfois été choisie comme limite des climats tropicaux⁷. En Amérique du Sud, le basculement d'une amplitude prédominante à l'autre s'observe vers 28°S. Vers le nord, toutes les conditions thermiques propres aux climats tropicaux ne sont pourtant pas toutes réunies au passage de l'isotherme 18°C pour le mois le plus frais.

- 6 Le fait le plus remarquable est l'intrusion du gel à basse altitude en pleine zone chaude. L'isotherme 18°C pour le mois le plus frais coïncide à peu près avec la limite du gel possible en direction des basses latitudes : ceci est habituellement vrai sur l'ensemble des espaces continentaux, sauf en Amérique du Sud (fig. 2). Sur les hautes terres du sud-est du Brésil, l'effet de l'altitude fait coïncider les deux lignes ainsi que l'isotherme annuelle 20°C et permet ainsi d'individualiser, au-dessus de la bordure atlantique chaude, un climat tropical d'altitude. En revanche, plus à l'intérieur, du bassin supérieur du Paraná aux Andes boliviennes, la ou plutôt « les » limites septentrionales du gel débordent largement l'isotherme 18°C en direction de l'équateur. Des régions de plaine dont la température moyenne mensuelle la plus basse est comprise entre 20 et 22°C sont susceptibles de connaître le gel. Sur la limite nord du gel au Brésil, les auteurs ne semblent pas d'accord (fig. 2). En réalité, la limite proposée par E. Nimer⁸ inclut des espaces sans gel observé alors qu'au sud de celle définie par L.R. Ratisbona⁹, le gel est possible partout. Cette limite coïncide avec l'isoligne « 1 jour de gel par an » tracée par E. Nimer. Les deux limites cernent les hauts plateaux du sud-est du Brésil, où les minima absolus sont localement inférieurs à -4°C. Une cinquantaine de jours de gel par an est relevée vers 2 000 m dans la Serra da Mantiqueira. Le gel, même occasionnel et de faible intensité, est possible dans tout l'État de São Paulo, sauf le long du littoral. À Campinas, à 75 km au nord-ouest de São Paulo (alt. 660 m), le record de froid est de -1,5°C, en juin. Dans le nord de l'État voisin du Paraná, la ligne de 5 jours de gel annuels a limité le développement vers le sud de l'aire caféière¹⁰. L'implantation d'une culture tropicale dans de telles conditions était risquée : les grandes gelées de 1975 ont détruit des millions de pieds de caféiers, et contribué ainsi à accélérer l'extension de l'aire de production du soja, culture alors en plein essor.
- 7 Dans les plaines du bassin supérieur du Paraná-Paraguay, la position très septentrionale de la limite nord du gel est exceptionnelle dans des régions d'aussi basse altitude. C'est qu'aucun obstacle n'entrave la progression des coulées froides des *friagem*s vers les basses latitudes. Aux États-Unis, les eaux chaudes du golfe du Mexique empêchent les *cold waves* d'aller si loin vers l'équateur : toute la péninsule de Floride est exposée au gel¹¹, mais il ne gèle pas à Cuba, 200 km plus au sud et immédiatement au sud du tropique. Au Mato Grosso, il gèle probablement sur la Chapada dos Parecis vers 14°S¹², mais aucun poste de mesure ne permet de le vérifier. Par contre, il ne gèle pas sur la plaine marécageuse du Pantanal, plus au sud. En Bolivie, les *surazos* (homologues boliviens des *friagem*s) entrent

dans l'est du pays par le Chaco et l'isotherme 0°C pour les minima absolus atteint Concepción à 16°S (alt. 490 m). Les llanos boliviens constituent un large seuil topographique de basse altitude entre les Andes et les contreforts du plateau brésilien. Les advections d'air froid extratropical, canalisées par la Cordillère, pénètrent ainsi dans le bassin amazonien supérieur sans rencontrer d'obstacle orographique. Les épisodes de *surazo* concernent 40 % des journées d'hiver dans les llanos et les contreforts andins¹³. L'air d'origine polaire océanique, issu de l'espace pacifique oriental, s'enroule par le sud autour des Andes, puis se dirige vers le nord. Il est précédé d'un front froid, et l'arrivée du vent de sud provoque des chutes de température brusques et intenses (15 à 20°C, voire davantage¹⁴) et des précipitations lorsque les conditions hygrométriques s'y prêtent, ce qui est le cas sur les marges amazoniennes. Les basses températures se maintiennent 3 à 5 jours, et des invasions froides exceptionnellement puissantes peuvent franchir l'équateur et atteindre l'espace guyanais¹⁵.

- 8 L'Amérique du Sud présente la particularité de ne pas avoir de domaine aride continental inséré entre la zone tempérée et la zone tropicale : les régions arides sont confinées à l'ouest du continent, de part et d'autre de la Cordillère des Andes. L'aridité quasi absolue est limitée à la frange côtière pacifique (Pérou et Chili). En revanche, à l'est du système orographique bordant la côte pacifique, les Amériques se distinguent par une grande extension en latitude des climats chauds à saison(s) pluvieuse(s). Les climats des Pampas présentent la particularité d'être directement en contact, au nord, avec un domaine tropical humide ou à saison des pluies bien marquée, même dans l'intérieur des terres (le Chaco reçoit 500 à 1 000 mm par an). Les climats « sudistes » des États-Unis et de Chine sont également en contact avec des domaines tropicaux humides, mais exclusivement océaniques, essentiellement insulaires et très émiétés (Caraïbe et Sud-Est asiatique).
- 9 Aux latitudes tropicales et subtropicales du continent sud-américain apparaît un gradient pluviométrique est-ouest (fig. 3a), de la bordure atlantique abondamment arrosée (entre 1 000 et 2 000 mm par an en moyenne) au littoral chilien quasiment sans pluie (moins de 10 mm par an au nord de 26°S). Ce gradient pluviométrique est lié à la continentalité, de l'Océan Atlantique aux Andes : les précipitations liées aux masses d'air d'origine atlantique s'amoinissent vers l'intérieur, de façon d'autant plus régulière que le relief est plat. Au-delà de la Cordillère, l'aggravation de l'aridité sur le versant chilien est liée aux effets cumulés des eaux de surface océaniques côtières froides (effet stabilisant) et de l'abri orographique de la Cordillère¹⁶. Ce gradient est surtout visible entre 18 et 30°S, donc de part et d'autre du tropique. Vers 30°S, l'aridité affecte également les deux versants des Andes, particularité déjà soulignée par E. de Martonne¹⁷. Plus au sud, l'augmentation rapide, en direction des latitudes tempérées moyennes, des précipitations annuelles au Chili central, due à l'intervention des systèmes perturbés d'ouest (pluies de saison froide), rompt brusquement la « progression vers l'aridité » de l'Atlantique au Pacifique. Le piémont andin argentin est alors en situation d'abri et périodiquement balayé par le *zonda*. Ce « föhn andin » est déjà sensible sur le piémont de Cuyo, à Mendoza (33°S), dont il aggrave alors l'aridité¹⁸.
- 10 Quelques particularités régionales sont remarquables car elles impliquent des discontinuités dans le champ pluviométrique. Dans le nord de l'État brésilien du Minas Gerais apparaissent, en direction du nord, les premières manifestations de l'effet d'abri qui caractérise l'intérieur semi-aride du nord-est du Brésil (moins de 1000 mm, alors que les stations côtières du sud de l'État de Bahia reçoivent 1 500 à 2 000 mm). A cette diminution des précipitations vers le nord-est correspond un net renforcement de la

variabilité interannuelle (figure 3b), trait caractéristique du climat du nord-est du Brésil¹⁹. Le Chaco médiocrement arrosé constitue également un « pôle » de forte variabilité pluviométrique interannuelle. De part et d'autre du tropique, les précipitations annuelles diminuent progressivement de la bordure atlantique vers l'intérieur et l'ouest du continent, atteignant, dans le Chaco, un minimum de 500 à 700 mm. Mais, plus à l'ouest, le rebord abrupt de la cordillère des Andes suscite, par ascendance orographique, des précipitations nettement plus abondantes sur le piémont et les premières pentes. Le contraste est brutal en Bolivie centrale (région de Cochabamba), de part et d'autre de la Cordillère Orientale (Sierra de Cochabamba : 5 200 m). Les *Yungas* (vallées) exposées aux influences pluvieuses venues d'Amazonie (flux de NNW : alizés déviés par les Andes) reçoivent en moyenne entre 2 500 et 5 000 mm, tandis que l'Altiplano abrité reçoit moins de 300 mm. Cette discontinuité climatique majeure a depuis longtemps attiré l'attention pour ses implications biogéographiques exceptionnelles : forêt dense tropicale au nord, steppe de haute altitude (*puna*) au sud, et étagements complexes sur les versants²⁰, le tout sur de courtes distances. Plus au sud, sur les contreforts des Andes exposés à l'est, les régions de Tarija (Bolivie), de Salta et de Tucumán (Argentine) reçoivent, dans une moindre mesure, des précipitations plus abondantes (au moins 1 000 mm) que dans les plaines du Chaco.

- 11 L'existence d'une saison pluvieuse d'été plus ou moins longue et abondante est un trait discriminant des climats tropicaux humides, les régimes à pluies d'été occupent ainsi l'espace le plus étendu sur l'ensemble du continent sud-américain²¹. Dans le centre et l'est de l'Amérique du Sud, le gradient est-ouest observé avec les totaux pluviométriques annuels est bien visible également avec les précipitations estivales (décembre, janvier, février : au moins 300 mm dans le sud-est et le sud du Brésil ; moins de 100 mm dans les Andes argentines et boliviennes (fig. 4a). Sur la plus grande partie de l'espace étudié, l'été reçoit l'essentiel des précipitations annuelles et les totaux pluviométriques annuels sont donc directement liés à l'abondance des pluies d'été austral, surtout dans les climats marqués par l'aridité. Ainsi, la station de La Quiaca sur l'Altiplano (lat. 22°S ; alt. 3 460 m) reçoit 68 % de ses 325 mm annuels de décembre à février. Les aires pluvieuses préandines boliviennes et argentines sont bien visibles et se distinguent aussi par leur variabilité pluviométrique moindre (fig. 4b) que dans les régions qui les encadrent à l'est (Chaco) et à l'ouest (Altiplano), ce qui montre l'importance des faits circulatoires estivaux dans l'existence de ces climats régionaux abondamment arrosés (advections d'air tropical humide dirigé par des flux de nord-est)²². La convection est accentuée par les ascendances orographiques. Les pluies d'été se combinent à la chaleur estivale (25°C en janvier) pour faire de la Province de Tucumán le « *Jardin de la République* » argentine : canne à sucre, agrumes, soja et tabac²³. Ainsi, en renforçant les contrastes saisonniers, l'aridité (surtout hivernale) des plaines et l'abondance pluviométrique estivale subandine « tropicalisent » le Nord-Ouest argentin.
- 12 Au gradient pluviométrique est-ouest se superpose un gradient nord-sud, qui se traduit, de la Bolivie et du plateau brésilien aux pampas, par une diminution de l'abondance pluviométrique estivale. Des llanos boliviens au plateau brésilien, les pluies d'été sont fonction des advections d'air amazonien humide vers le sud-est²⁴. La bordure atlantique tropicale du Brésil, à l'abri des influences pluvieuses amazoniennes, est donc sensiblement moins arrosée que le plateau brésilien, mis à part certains fronts orographiques côtiers exposés aux alizés océaniques (au sud-ouest de Rio). Rio de Janeiro, par exemple, reçoit des précipitations deux fois moins abondantes en été que Belo

Horizonte sur le plateau à 900 m d'altitude (Minas Gerais). Les cyclones tropicaux étant inconnus sur l'Océan Atlantique austral, le Brésil tropical maritime n'a pas l'abondance pluviométrique estivale des bordures continentales (ou insulaires) exposées aux cyclones et autres perturbations tropicales, tels que les archipels et bordures atlantiques méso- et nord-américains²⁵, même à des latitudes extratropicales (sud et sud-est des Etats-Unis). En revanche, la bordure sud-est du Brésil est exposée toute l'année aux systèmes perturbés d'origine extratropicale qui longent la côte atlantique et frappent les versants orientaux du plateau brésilien²⁶. En hiver, l'arrivée d'une perturbation tempérée à Rio se traduit par des temps frais, à pluie fine (bruine) ou à forte nébulosité non précipitante, associés à des nappes de stratocumulus. En été, l'irruption de systèmes perturbés tempérés a pour répercussion des effets de convergence dans les couches moyennes de l'alizé, ce qui peut provoquer de fortes averses. Cependant, les dominantes atmosphériques tropicales l'emportent. Le sud-est maritime du Brésil, à maximum pluviométrique d'été austral, a bien un régime tropical. Sur le plateau soumis aux interventions pluvieuses d'origine amazonienne, l'interaction entre les systèmes pluviogènes tropicaux et extratropicaux est génératrice d'excès pluviométriques et hydrologiques, y compris aux saisons intermédiaires favorables aux échanges atmosphériques méridiens. En mai 1992, de fortes précipitations sur le bassin supérieur du Paraná ont ainsi provoqué de graves inondations²⁷. Dans la Pampa humide, entre l'Océan Atlantique et le fleuve Paraná, les pluies convectives estivales d'origine tropicale alternent avec l'influence stabilisante de l'océan Atlantique²⁸, d'où, en été austral, des précipitations moins abondantes que plus au nord et une forte variabilité interannuelle, en Uruguay notamment (fig. 4b). Vers l'ouest, dans la Pampa sèche, l'été reste arrosé grâce à la prédominance d'averses orageuses liées à l'instabilité produite par le réchauffement plus intense du continent au pas de temps saisonnier et diurne, en connexion avec les advections d'air tropical humide. Plus près des Andes, les climats du centre-ouest argentin marqués par l'aridité reçoivent aussi leurs faibles pluies irrégulières principalement en été (47 % du total annuel à Mendoza).

- 13 Les régimes pluviométriques de l'espace étudié en Amérique du Sud ont été préalablement définis d'après la classification de W. Köppen, en raison de l'intérêt de cette classification pour la définition des seuils de sécheresse et d'aridité. W. Köppen a, en effet, borné l'aridité par comparaison entre précipitations et température, en introduisant des nuances selon les régimes pluviométriques et thermiques. Le détail des tables permettant de calculer les seuils limites de sécheresse (pas de temps mensuel), de semi-aridité et d'aridité (pas de temps annuel) est donné, par exemple, par W. Lauer²⁹. La carte de synthèse présente les régimes pluviométriques pour l'ensemble de l'espace sud-américain étudié (fig. 5). Un régime est dit « à période sèche » lorsqu'au moins un mois dans l'année est considéré comme sec. Des précisions ont été apportées à l'intérieur du vaste espace sans période sèche, où existent plusieurs types de régimes pluviométriques. Cet espace a donc été divisé en fonction de la saison la plus arrosée. Le double gradient déjà observé est bien visible. Vers 30 à 33°S, à travers les pampas, se succèdent d'est en ouest des régimes (sans période sèche) à maximum hivernal, à maxima de saisons intermédiaires, à maximum estival, puis à période sèche hivernale, semi-aride à pluies d'été, et enfin aride. On observe la même succession du Sud au Nord vers 51-55°W (de l'est de l'Uruguay au Mato Grosso), sans aller jusqu'à la semi-aridité. On passe à des climats à période sèche d'hiver austral vers 23°S. On retrouve ces gradients et cette trame climatique à transitions détaillées, fondée sur les rythmes saisonniers incluant la durée et l'intensité de la sécheresse, avec la classification de N. Creutzburg (1950) décrite et

commentée par J. Blüthgen³⁰, puis celle de C. Troll et K.H. Paffen (1964) et celle de W. Lauer et P. Frankenberg (1992), décrites et commentées par W. Lauer³¹. Plus au nord, les régimes à saison sèche sont largement prédominants de l'océan Atlantique aux Andes, à l'exception de la bordure maritime du sud de l'État de Bahia et des Yungas de Bolivie. Il s'agit bien ici de climats tropicaux : la limite sud de l'espace à saison sèche coïncide approximativement avec l'isotherme 18°C pour le mois le plus frais, à l'exception des plateaux du sud-est brésilien. Cependant, les régimes pluviométriques contrastés du sud du Minas Gerais sont bien tropicaux : Belo Horizonte reçoit 54 % de ses 1 534 mm annuels de décembre à février.

- 14 Dans le vaste espace sud-américain étudié où dominent les régimes à pluies d'été, les pays de la Pampa humide (Uruguay et Rio Grande do Sul essentiellement) se distinguent par leurs rythmes pondérés. Abondamment arrosé en toutes saisons, ce climat océanique présente deux variantes régionales dont la plus originale est *maritime*³². La bordure atlantique de l'Uruguay et du Rio Grande do Sul présente en effet un rythme à maximum hivernal, tandis que le rythme plus confus des régions intérieures a une allure habituellement bimodale (maxima de saisons intermédiaires). L'abondance pluviométrique hivernale des régions maritimes est liée aux fréquentes invasions d'air d'origine polaire océanique dirigé par des flux de sud-est (*sudestadas*), au passage des systèmes perturbés extratropicaux. Ces régions, rappelons-le, ne connaissent pas les pluies cycloniques estivales de Géorgie et des Carolines, à latitudes équivalentes en Amérique du Nord, ce qui contribue aussi à renforcer la part des précipitations hivernales dans le total annuel. Les conséquences hydrologiques de ces régimes pluviométriques complexes à forte variabilité interannuelle ont déjà été évoquées par M. Pardé³³ : aucune saison n'est à l'abri de crues brutales et sérieuses, au Rio Grande do Sul comme en Uruguay, les saisons intermédiaires étant les plus exposées. En direction du nord, le long de la bordure atlantique, on passe rapidement, en entrant dans l'État de Santa Catarina (vers 29°S), à un régime à maximum estival traduisant une ambiance climatique subtropicale.
- 15 La combinaison des éléments à l'aide desquels ont été étudiées les traits climatiques du centre et de l'est de l'Amérique du Sud permet de proposer des divisions climatiques à plusieurs niveaux de méso-échelles (domaniales, régionales) à l'intérieur de l'espace étudié (fig. 6). Les isothermes définissent une trame thermique permettant de recouper les effets « zonaux » avec ceux de l'altitude, tandis que les régimes pluviométriques divisent cette trame thermique de fond en nuances d'échelles plus fines. La zonation thermique est définie d'une part par l'isotherme annuelle 20°C, retenue pour délimiter les climats tempérés chauds et les climats subtropicaux, d'autre part par l'isotherme 18°C pour le mois le moins chaud, retenue pour délimiter les climats subtropicaux et les climats tropicaux. A l'intérieur de la zone chaude, la limite nord du gel permet de délimiter le climat « tropical à vagues de froid » si particulier. A chaque zone thermique correspond une trame climatique particulière qui traduit l'existence de gradients et transitions souvent originaux. Sur ce vaste territoire où « *les transitions règlent les*

caractères des espaces »³⁴, des limites pertinentes sont parfois difficiles à tracer, notamment dans les régions montagneuses.

- 16 L'espace *tempéré chaud* regroupe les climats des pampas. De l'Atlantique aux Andes, c'est un espace essentiellement plat. Parmi les trois grandes divisions thermiques, c'est donc celle qui présente les subdivisions les plus simples, avec, d'est en ouest :
- a - des climats sans saison sèche : *maritime* à maximum d'hiver (1a), *intérieur* (1b) à maxima de saisons intermédiaires ou, plus à l'ouest, d'été ;
 - b - des climats à période sèche hivernale (1c) ;
 - c - des climats marqués par l'aridité (1d : semi-arides et arides).
- 17 Les climats *subtropicaux* sont très variés et présentent des complications liées à leurs diverses nuances d'altitude. Ces climats sont tous exposés au gel à des degrés divers de fréquence et d'intensité, y compris sur la côte atlantique et dans les plaines. D'ouest en est, on distingue :
- 18 a - Trois types de climats sans saison sèche.
- Un climat *maritime* abondamment arrosé (maximum pluviométrique estival) sur la bordure montagneuse des États de Santa Catarina et Paraná (2a).
- Un climat d'altitude (2b), à caractères thermiques tempérés chauds, mais à précipitations générées par des processus atmosphériques alternativement tropicaux et extratropicaux (ou interaction des deux). Le maximum pluviométrique glisse des saisons intermédiaires à l'été du sud au nord.
- Le climat *intérieur* des plaines du Nord-Est argentin et du sud du Paraguay (2c). Le maximum pluviométrique glisse des saisons intermédiaires à l'été vers le nord-ouest. Vers le nord, l'apparition d'une période sèche d'hiver austral marque en même temps l'entrée dans la zone chaude (région d'Asunción au Paraguay, par exemple).
- 19 b - Quatre types de climats à sécheresse saisonnière, centrée sur l'hiver austral et plus ou moins accusée.
- Dans le Chaco, un climat périodiquement sec (2d) qui devient semi-aride (2e) sur ses marges tropicales (confins Argentine-Paraguay-Bolivie).
- Sur les contreforts des Andes (2f), l'altitude impose des caractères thermiques tempérés chauds de part et d'autre du tropique, alors que les régimes pluviométriques saisonnièrement contrastés sont subtropicaux, voire tropicaux (sécheresse d'hiver et été abondamment arrosé).
- Aux mêmes latitudes, mais plus haut en altitude (2g), l'Altiplano présente une ambiance thermique *tempérée* (d'après J. Litynski³⁵ : moyenne annuelle comprise entre 4,5 et 14°C) avec, comme dans les régions subandines, un régime à pluies tropicales d'été austral. Cependant, la position abritée du haut plateau impose la semi-aridité, voire l'aridité.
- 20 La trame climatique régionale de l'espace *tropical* s'organise de façon très différente des deux espaces précédents : le gradient est-ouest, du « pluvieux » à l'aride, disparaît vers le nord grâce à la proximité de la source d'humidité amazonienne et de la convection associée à la zone de convergence intertropicale. D'ouest en est se succèdent les types de climats suivants :
- a - Les climats *maritimes* de la bordure atlantique (3a) comprennent diverses nuances liées à l'exposition (orientation de la côte) et au relief. Très abondamment arrosés et sans saison sèche au sud-ouest de Rio dans le sud de l'État de Bahia, ils présentent partout un maximum pluviométrique estival sauf dans le sud de l'État de Bahia (maxima de saisons intermédiaires).

- b - L'intérieur immédiat est dominé par le climat d'altitude des plateaux du Minas Gerais (3b). Tempéré chaud par ses températures moyennes annuelles, ce climat est typiquement tropical par son régime pluviométrique à fort contraste saisonnier et à hiver sec. En limite avec les climats subtropicaux, le plateau de São Paulo pose quelques problèmes...
 - c - Sur les plateaux et plaines du nord du Minas Gerais aux llanos boliviens s'étend le vaste domaine *tropical continental* (3c), dont il faut distinguer la nuance méridionale exposée au gel (3d). Vers le sud-ouest (Paraguay), l'espace semi-aride du Chaco boréal (3e) marque la transition avec les plaines subtropicales du nord-ouest de l'Argentine. Vers le nord-ouest, la sécheresse hivernale disparaît sur le piémont andin (3f) directement exposé aux abondantes précipitations d'origine amazonienne. Mais, dans le Chaco comme au pied de la sierra de Cochabamba, les pluies tropicales d'été sont toujours prédominantes.
 - d - Au sud de la Cordillère Orientale et du seuil climatique spectaculaire associé à cette barrière montagneuse, l'Altiplano et ses contreforts orientaux présentent les caractères climatiques décrits pour ces mêmes régions avec les climats subtropicaux.
- 21 Si les plaines du Chaco boréal constituent une transition semi-aride entre les plaines subtropicales du nord de l'Argentine et celles, tropicales, des llanos boliviens, le passage des climats subtropicaux aux climats tropicaux est surtout compliqué dans les régions d'altitude. Les climats très particuliers de l'Altiplano et sa bordure orientale sont bien individualisés, par contraste avec les plaines chaudes avoisinantes (Chaco semi-aride à l'est, piémont bolivien aux précipitations surabondantes, au nord). En revanche, les transitions sont plus complexes sur les plateaux moins élevés et aux limites plus floues, mais très étendus, du sud et du sud-est du Brésil. Entre 29 et 18°S, la seule « limite » climatique qui puisse être tracée à travers les plateaux sépare les espaces sans saison sèche (au sud) et ceux avec saison sèche (au nord). Au nord de cette « limite », les plateaux du Minas Gerais sont franchement inclus dans un domaine tropical. Mais, plus au sud, le passage d'une ambiance climatique tropicale à une ambiance subtropicale est difficile à définir, car modulé par l'altitude. Sous le tropique, le plateau de São Paulo, par exemple, est difficile à classer : pas de période sèche hivernale selon la classification de W. Köppen, mais un fort contraste pluviométrique saisonnier, avec d'abondantes pluies d'été (678 mm, soit 46 % du total annuel). Les climats à période sèche hivernale apparaissent non loin au nord de la mégalopole brésilienne. La température moyenne annuelle est celle d'un climat tempéré chaud (19°C), mais avec une faible amplitude annuelle (< 7°C). Le gel est possible, mais rare et peu intense... Dangereux toutefois pour les cultures tropicales. C'est cette situation géographique à un contact climatique majeur (limite méridionale de la zone intertropicale), situation valable aussi pour le nord de l'État voisin du Paraná, qui a été préjudiciable à la culture du caféier. Le climat de São Paulo et de sa région résume finalement toute la complexité et la subtilité des gradients et seuils climatiques et est un bon indicateur des transitions complexes et subtiles entre climats tropicaux et tempérés en Amérique du Sud.
- 22 Une étude des principaux éléments climatiques et leur distribution spatiale, ainsi que leur variabilité, a permis de mettre en évidence des gradients et des seuils, qui, à l'aide de classifications climatiques usuelles, définissent la trame complexe des climats de l'Amérique du Sud à l'est des Andes, au contact entre la zone tempérée australe et la zone chaude. En effet, la prédominance des échanges méridiens s'ajoute aux effets de bordure maritime (souvent montagneuse) pour mettre en place, à l'est des Andes, sur les confins tempérés et tropicaux du continent, une trame climatique originale. Le gel est l'un des éléments les plus particuliers par son extension spatiale exceptionnelle en plaine à de si

basses latitudes. Les principaux gradients climatiques caractéristiques du centre et de l'est de l'Amérique du Sud ont été identifiés, de façon à dégager une régionalisation climatique de l'espace étudié. Ainsi le Paraguay, seul pays enclavé d'Amérique du Sud avec la Bolivie, s'étend au cœur de cette trame climatique tout en nuances. En bordure de l'océan Atlantique, l'extension extratropicale du plus vaste « pays chaud » du monde, le Brésil, ne passe pas inaperçue. Les rythmes thermiques quasi « méditerranéens » et tempérés par l'altitude en direction du tropique, combinés à une remarquable pondération pluviométrique, masquent en réalité toute la virulence des circulations méridiennes et leurs conséquences parfois désastreuses...Nul climat n'est parfait !

BIBLIOGRAPHIE

BATAILLON C., DELER J.P. et THÉRY H., 1991 – Amérique Latine. In Géographie Universelle. Belin-RECLUS, Montpellier-Paris vol. 3, 480 p.

BIROT P., 1970 – Les régions naturelles du Globe. Masson, Paris, 380 p.

BLÜTHGEN J., 1964 – Allgemeine Klimageographie. Walter de Gruyter & Co., Berlin, 599 p.

CRY G.W., 1967 – Effects of tropical cyclone rainfall on the distribution of precipitation over the Eastern and Southern United States. U.S. Department of Commerce, Washington DC, 78 p.

DE FRANÇA V., BARIOU R., SOUZA FILHO E.E. et MOUNIER J., 2002 – Étude hydrologique du haut Rio Paraná et de sa plaine d'inondation par télédétection. In : Environnement et Télédétection au Brésil, Presses Universitaires de Rennes, p. 167-175.

EMSALEM R., 1988 – Les régimes pluviométriques de l'Amérique du Sud. In Climats et Climatologie. Université de Bourgogne, Dijon, p. 149-163.

ENDLICHER W., 1998 – Stadtklima und Lufthygiene argentinischer Andenrandstädte. Tübinger Geographische Studien, Heft 119, p. 325-352.

HUETZ DE LEMPS A., 1970 – La végétation de la terre. Masson, Paris, 133 p.

KÖPPEN W., 1936 – Das Geographische System der Klimate. In : Handbuch der Klimatologie, Berlin, Bd. 1, Teil C.

LAMARRE D., 1991 – Pluies et formations nuageuses sur l'Amérique isthmique. Essai de climatologie dynamique satellitaire. Université de Bourgogne, Dijon, 313 p. (Thèse de Doctorat d'État).

LAMARRE D., 2002 – Ambiguïtés tropicales. Bulletin de l'Association de Géographes Français, n°4, p. 450-461.

LAUER W., 1993 – Klimatologie. Westermann, Braunschweig, 267 p. (Das Geographische Seminar).

LITYNSKI J., 1984 – Classification numérique des climats mondiaux. Programme Mondial des Applications Météorologiques, OMM, 44 p.

MARTONNE E. de, 1935 – Problèmes des régions arides sud-américaines. Annales de Géographie, n°247, p. 1-27.

- MOLION L.C.B., 1987 – On the dynamic climatology of the Amazon Basin and associated rain-producing mechanisms. In : Dickinson R.E. ed. - The geophysiology of Amazonia, . , Wiley, London, p. 391-401.
- MÜLLER M.J., 1983 – Handbuch ausgewählter Klimastationen der Erde, Trier.
- NIMER E., 1989 – Climatologia do Brasil. IBGE, Rio de Janeiro, 421 p.
- PAGNEY P., 1966 – Le climat des Antilles. Institut des Hautes Études de l'Amérique Latine, coll. Travaux et Mémoires, 2 vol., 377 p + atlas 428 p. (Thèse de Doctorat d'État).
- PAGNEY P., 1994 – Les climats de la Terre. Masson, Paris, 166 p.
- PARDÉ M., 1956 – Quelques aperçus relatifs à l'hydrologie brésilienne. La Houille Blanche, XVIIIe Congrès International de Géographie, Rio de Janeiro, 51 p.
- PLANCHON O., 1997 – Les climats maritimes dans le monde. Presses Universitaires du Septentrion, Villeneuve d'Ascq, 233 p. (Thèse de Doctorat).
- PROHASKA F., 1976 – The climate of Argentina, Paraguay and Uruguay. In : Climates of Central and South America, World Survey of Climatology. Elsevier Scientific Publishing Company, vol. 12, chap. 2, p. 13-112.
- RATISBONA L.R., 1976 – The climate of Brazil. In : Climates of Central and South America, World Survey of Climatology, Elsevier Scientific Publishing Company, vol. 12, chap. 5, p. 219-293.
- RONCHAIL J., 1988 – Advections polaires en Bolivie : mise en évidence et caractérisation des effets climatiques. Publications de l'Association Internationale de Climatologie, vol. 1, p. 103-111.
- THÉRY H., 2000 – Le Brésil. Armand Colin , Paris, 288 p.
- TREWARTHA G.T., 1966 – The Earth's Problem Climates. The University of Wisconsin Press, Methuen & Co. Ltd., London, 334 p.
- TROLL C., 1955 – Der jahreszeitliche Ablauf des Naturgeschehens in den verschiedenen Klimagürteln der Erde. Sonderabdruck aus « Studium Generale », 8 Jahrg., Heft 12, p. 713-733.
- TROLL C., 1962 – Die dreidimensionale Landschaftsgliederung der Erde. Sonderdruck aus der Hermann von Wissmann-Festschrift, Tübingen, pp 54-80.
- VULQUIN A., 1979 – Comparaison entre le climat de Buenos Aires et les climats de la façade orientale du Brésil. Université de Bourgogne, Dijon, vol. 2, 552 p. (Thèse de Doctorat d'État).
- WAYLEN P.R., 1988 – Statistical analysis of freezing temperatures in Central and Southern Florida. Journal of Climatology, vol. 8, n°6, p. 607-628.

NOTES

- 1.- Bataillon C., Deler J.P. et Théry H., 1991.
- 2.- World Survey of Climatology, 1976 ; Muller M.J., 1983 ; Nimer E., 1989
- 3.- Lamarre D., 2002
- 4.- Köppen W., 1936
- 5.- Litynski J., 1984
- 6.- Birot P., 1970 ; Huetz de Lemps A., 1970
- 7.- Troll C., 1955
- 8.- Nimer E., 1989
- 9.- Ratisbona L.R., 1976

- 10.- Théry H., 2000
 - 11.- Waylen P.R., 1988
 - 12.- Nimer E., 1989
 - 13.- Ronchail J., 1988
 - 14.- Molion L.C.B., 1987 ; Ronchail J., 1988
 - 15.- Ratisbona L.R., 1976
 - 16.- Pagney P., 1994
 - 17.- De Martonne E., 1935
 - 18.- Endlicher W., 1998
 - 19.- Trewartha G.T., 1966 ; Nimer E., 1989
 - 20.- Troll C., 1962
 - 21.- Emsalem R., 1988
 - 22.- Prohaska F., 1976
 - 23.- Endlicher W., 1998
 - 24.- Trewartha G.T., 1966
 - 25.- Pagney P., 1966 ; Cry G.W., 1967 ; Lamarre D., 1991
 - 26.- Ratisbona L.R., 1976 ; Vulquin A., 1979 ; Pagney P., 1994
 - 27.- De França V., Bariou R., Souza Filho E.E., Mounier J., 2002
 - 28.- Prohaska F., 1976
 - 29.- Lauer W., 1993
 - 30.- Blüthgen J., 1964
 - 31.- Lauer W., 1993
 - 32.- Planchon O., 1997
 - 33.- Pardé M., 1956
 - 34.- Bataillon C., Deler J.P., Théry H., 1991 - Litynski J., 1984
-

RÉSUMÉS

La distribution spatiale des principaux éléments climatiques (température, précipitations) a été analysée sur l'Amérique du Sud, à l'est de la Cordillère des Andes et sur les confins tempérés et tropicaux du continent. Cette étude a permis d'identifier des gradients et seuils climatiques et de cartographier, à l'aide de classifications usuelles, une trame climatique proposant des divisions et subdivisions à différents niveaux hiérarchisés de méso-échelles sur l'ensemble de l'espace étudié. L'analyse des données climatiques prend en compte les moyennes sur la période 1951-2000, mais tient compte aussi de la variabilité interannuelle et de certains phénomènes extrêmes, par exemple les circulations méridiennes responsables de vagues de froid et de gelées dans les plaines tropicales.

Climatic gradients and thresholds between the tropical zone and the temperate zone: the example of South America - The spatial organization of the main climatic elements (temperature, precipitation) was analysed in South America, east of the Andes cordillera and on the transitional areas between the temperate and tropical zones. This study allowed to identify the climatic gradients and thresholds and to draw maps using the usual climatic classifications. The results suggested a climatic classification of the studied area with divisions and subdivisions

at distinct hierarchical mesoscale levels. The average climatic data for the period 1951-2000 was used in the analysis, but the variability and some extreme events must be taken into account too. In fact, meridional circulations sometimes cause cold waves with frost in the tropical plains.

INDEX

Mots-clés : Amérique du Sud, classification, Gradient climatique et seuil climatique

Keywords : Climatic gradient, climatic threshold, South America

AUTEUR

OLIVIER PLANCHON

Chargé de recherche au CNRS (LETG/UMR 6554 CNRS), Université de Rennes 2