

I.S.T.O.M.

Institut d'Agro-Développement International

32, Boulevard du Port 95094 Cergy-Pontoise cedex

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

**Reconstruction paléoclimatologique
du climat de la région de Potosi
en Bolivie de 1825 à 1942**

Soutenu devant le Jury composé de :

- M. RIBSTEIN Pierre (chercheur à l'IRD)
- M. BARAKAT Bassam, professeur à l'ISTOM

Julien GAVIGNET
88^{ème} Promotion

Stage effectué à l'I.R.D.
(Institut de Recherche pour le développement)
Sucre, Bolivie
Du 15/07/2000 au 15/12/2000

Résumé

Depuis quelques années, la communauté scientifique étudie le phénomène ENSO (El Nino Southern Oscillation) en reconstituant le climat du passé; c'est la paléoclimatologie. L'Institut de Recherche pour le Développement (IRD) et l'UNESCO sont associés depuis 1995 dans un projet de paléoclimatologie historique (reconstitution du climat à partir d'archives) visant à reconstituer le climat de la Bolivie.

La présente étude traite la période 1825-1942 dans la région de Potosi, située à 4000m d'altitude dans les Andes Boliviennes. Après avoir rappelé les principes de la paléoclimatologie historique ainsi que l'état des connaissances dans la région andine, des exemples concrets d'analyses de documents et les méthodes de traitements sont exposés.

L'interprétation des résultats, met en évidence les épisodes secs et humides afin de voir s'il existe une corrélation entre ces épisodes et les événements El Niño.

Mots clefs : paléoclimatologie historique, El Nino, Andes, sécheresse, précipitations.

Abstract

During the past few years, the scientific community has been studying the ENSO (El Niño Southern Oscillation) phenomena by reconstructing the climate of the past. A french Research Institut (IRD) and the UNESCO have been cooperating since 1995 on a historical paleoclimatology project (reconstruction of the climate using archival data) which aims at reconstructing the past climate in Bolivia.

This case study covers the period from 1825-1942 in the Potosi region, located at an altitude of 4000m in the Bolivian Andes. First the principles and aims of historical paleoclimatology are explained as well as the state of advancement of the research domain in the Andean region. Then typical examples of document analysis are shown. The results are interpreted in terms of droughts and excessive rain, and compared with ENSO occurrences over the same period.

Key Words : paleoclimatology, El Niño, the Andes, drought, precipitations.

Resumen

Desde varios años, la comunidad científica esta estudiando el fenomeno ENSO (El Nino Southern Oscillation) reconstituyendo el clima del pasado, es la paleoclimatologia.. La IRD (Instituto de investigacion para el Desarrollo) conjuntamente a la UNESCO iniciaron un proyecto de paleoclimatologia historica (reconstitucion del clima a partir de archivos) en 1995 para reconstituir el clima de Bolivia.

Este estudio trata del periodo 1825-1942 en la region de Potosi que queda a 4000m de altitud en la cordillera boliviana. Despues de haber recordado las técnicas de la paleoclimatologia historica y el estado de los conocimientos en la region andina, ejemplos concretos de analisis de documentos y métodos de tratamiento estan expuestos. La interpretacion de los resultados, pone en evidencia los episodios secos y humedos para ver si existe una correlacion entre esos episodios y los eventos El Niño.

Palabras claves : paleoclimatologia, El Nino, los Andes, sequia, precipitaciones.

Remerciements

Si j'ai pu faire ce travail, c'est grâce à tous ceux qui m'ont amené à ce point dans la vie : ma famille, mes amis et l'ISTOM.

Mais je tiens à remercier tout particulièrement, Alain Gioda, de l'Institut de Recherche pour le Développement, qui m'a fait connaître l'enthousiasme du chercheur ainsi que sa passion pour la Bolivie et son histoire.

De même, je remercie tous ses collaborateurs boliviens qui m'ont beaucoup aidé dans mon travail : Ana Forenza, Guillermo Calvo, Juanito et les autres.

SOMMAIRE

INTRODUCTION.....	5
1. LES PROJETS D'ETUDES CLIMATIQUES EN BOLIVIE	6
1.1. LA BOLIVIE	6
1.1.1. <i>Situation générale</i>	6
1.1.2. <i>Contexte climatique</i>	7
1.2. L'INSTITUT DE RECHERCHE POUR LE DÉVELOPPEMENT (I.R.D.).....	8
1.2.1. <i>L'IRD dans le monde</i>	8
1.2.2. <i>La mission du centre I.R.D. en Bolivie</i>	8
1.3. LE PROJET UNESCO ARCHISS	9
2. LA PALEOCLIMATOLOGIE	11
2.1. IMPORTANCE DES PALÉO-SCIENCES DANS LA COMPRÉHENSION DES DYNAMIQUES CLIMATIQUES I I	
2.2. LES DIFFÉRENTES TECHNIQUES PALÉOCLIMATOLOGIQUES ET LEURS LIMITES	11
2.2.1. <i>L'étude des glaces</i>	11
2.2.2. <i>Les indicateurs fossiles</i>	12
2.2.3. <i>L'étude des coraux</i>	12
2.2.4. <i>La dendrochronologie</i>	13
2.3. LA PALÉOCLIMATOLOGIE HISTORIQUE	13
2.3.1. <i>Généralités</i>	13
2.3.2. <i>Les sources disponibles</i>	14
3. ETUDE DU CLIMAT DE LA REGION DE POTOSI DE 1825 A 1942	15
3.1. EXTRACTION DES DONNÉES CLIMATIQUES À PARTIR DES ARCHIVES	15
3.1.1. <i>Contexte climatique de Potosi</i>	15
3.1.2. <i>Les archives disponibles</i>	16
3.1.3. <i>Etat des connaissances</i>	18
3.1.4. <i>Méthodologie pour le recueil des données</i>	22
3.1.5. <i>Problèmes rencontrés</i>	28
3.1.6. <i>Traitement de l'information</i>	28
3.1.7. <i>Construction de séries</i>	31
3.1.8. <i>Méthodologie pour l'analyse : la logique floue</i>	32
3.2. RÉSULTATS ET INTERPRÉTATIONS	39
3.2.1. <i>Identification des variations climatiques à Potosi</i>	39
3.2.2. <i>Relation entre les phénomènes ENSO et les sécheresses</i>	40

CONCLUSION.....	43
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	44
TABLE DES ILLUSTRATIONS.....	48
TABLE DES ANNEXES.....	49

INTRODUCTION

Depuis quelques dizaines d'années, la société interroge les scientifiques sur les changements climatiques observés: l'activité humaine a-t-elle une influence sur le climat? Ceci amène donc à différencier les évolutions «naturelles» de celles qui seraient induites par l'homme.

Les pêcheurs des côtes péruviennes et équatoriennes ont toujours mentionné l'existence d'un courant chaud qui revient régulièrement vers Noël ; ils l'ont nommé «El Niño». Depuis les années 80, ce phénomène a fait l'objet d'études systématiques à l'aide des techniques paléoclimatologiques afin de mieux comprendre la dynamique climatique mondiale et éventuellement prévenir certaines catastrophes naturelles.

Le présent travail, réalisé en parallèle a un projet d'étude du comportement des glaciers andins mené par l'IRD, a consisté à reconstituer le climat de la région de Potosi de l'Indépendance de la Bolivie (1825) à nos jours et a été réalisé par l'utilisation d'une des techniques de la paléoclimatologie. Ce travail s'insère donc dans un projet plus vaste ayant pour but la compréhension du climat mondial et plus particulièrement de déterminer si les événements El Niño ont évolué dans le temps et si ils sont corrélés aux conditions climatiques extrêmes (sécheresses, pluies excessives, etc.).

La paléoclimatologie est une science relativement récente. Elle étudie le climat du passé avec comme objectif l'identification et l'étude des principales caractéristiques climatiques dans une zone déterminée et son évolution temporelle.

Une des techniques fait appel à des sources historiques; elle est la seule qui permette de dater précisément un épisode climatique ancien et de témoigner de son caractère marquant grâce aux observations et aux annotations de ses contemporains. Elle est par conséquent idéale pour caler dans le temps des reconstitutions faites par d'autres techniques telles que l'étude des glaces.

La région de Potosi (Bolivie) située à 4000m d'altitude se prête parfaitement à ce type d'étude puisque dès 1545, le développement spectaculaire des mines d'argent, amena une population qui s'élèvera à 160 000 habitants dès 1610.

1. LES PROJETS D'ETUDES CLIMATIQUES EN BOLIVIE

1.1. La Bolivie

1.1.1. Situation générale

La Bolivie est un pays continental situé au cœur de l'Amérique du Sud. Indépendant depuis 1825, sa superficie est aujourd'hui de 1 100 000 km², soit deux fois la France (Figure 1). La population totale est de 8 000 000 d'habitants, soit moins de 7 habitants par km².

C'est un pays de contrastes, avec des plaines tropicales à basse altitude (70% de la surface du pays, et 20% de la population) et une importante surface de hauts plateaux situés entre 3 500 et 4 000 m d'altitude. Le point culminant des Andes Boliviennes est le mont Sajama à 6542 m.

La population bolivienne est un mélange de cultures indiennes et hispanique. Les principales langues sont, outre l'espagnol: le quechua et l'aymara. Avec un PIB/hab de moins de 1000\$ la Bolivie est toujours l'un des pays les plus pauvres de l'Amérique latine (figure 2), en 1999 on estimait à 70% la part de la population vivant en dessous du seuil de pauvreté (source : Central Intelligence Agency, site : www.cia.gov). D'après les estimations du gouvernement réalisées en 1998, le PIB se compose de l'agriculture à 16,6%, le secteur de l'industrie à 35,5% et celui des services à 49,7% ⁽¹⁾. L'agriculture faisant vivre 43% de la population en l'an 2000 (source: The Food and Agriculture Organisation, site: www.fao.org), et ne représentant que 16,6% du PIB, les agriculteurs sont par conséquent très pauvres. Les cultures principales sont : bananes, agrumes, coca, café et canne à sucre pour les régions tropicales, pâturages, céréales, tubercules, fruits et légumes verts dans les zones tempérées. L'industrie est essentiellement composée de l'exploitation des minerais et du pétrole.

De plus les infrastructures sont peu nombreuses puisqu'il n'existe que 3691km de chemins de fers (à une seule voie) et seulement 5% des routes sont goudronnées d'après les estimations de la CIA. Comme le pays est continental il ne possède aucun port mais dispose d'un accès gratuit à certains ports maritimes en Argentine, au Brésil, au Chili.

Rang selon l'IDH	Pays	IDH (Indice de dev. Humain)	Espérance de vie à la naissance (années, 1995)	Taux de mortalité infantile (pour 1000 naissances, 1995)	Taux d'analphabétisme (en %, en 1995)	PIB/hab (US\$, 1995)
30	Chili	0,891	75,1	14	4,8	4736
36	Argentine	0,884	72,4	24	3,8	8055
37	Uruguay	0,883	72,6	20	2,7	5602
47	Vénézuela	0,861	72,1	23	8,9	3496
51	Colombie	0,848	70,1	28	8,7	2215
68	Brésil	0,783	66,4	47	16,7	4510
72	Equateur	0,775	69,3	50	9,9	1565
89	Pérou	0,717	67,4	55	11,3	2497
94	Paraguay	0,706	68,8	43	7,9	1860
113	Bolivie	0,589	60,1	75	16,9	909

Figure 2 : Tableau comparatif du degré de développement de certains pays d'Amérique latine en 1995 (Sources : Les Nations Unies, site : www.un.org)

1.1.2. Contexte climatique

Le pays étant agricole, pauvre et relativement isolé de part son manque d'infrastructures, les variations climatiques sont la première préoccupation des habitants. Des pluies trop faibles dans l'Altiplano ruinent souvent les récoltes et des précipitations excessives (pluie et grêle) détruisent aussi bien les cultures que les voies de communication. Aujourd'hui, les hauts plateaux souffrent de sécheresses qui semblent de plus en plus fréquentes et prononcées. Il est certain

que les pays andins ont un climat difficile, oscillant entre des pluies venues des tropiques et des sécheresses endémiques mais ce problème semble s'amplifier depuis une vingtaine d'années (Voir Annexe 1).

1.2. L'Institut de Recherche pour le Développement (I.R.D.)

1.2.1. L'IRD dans le monde

L'IRD est un établissement publique à caractère scientifique et technologique, sous tutelle du Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche et du ministère de la Coopération.

Le budget annuel de l'IRD est d'environ 1,1 milliard de francs. L'institut emploie 1600 personnes, dont plus de 40% sont expatriées.

L'institut met en œuvre des programmes de recherche scientifique dont la finalité est de contribuer au développement durable dans les pays du Sud par :

- une recherche apportant des réponses accessibles et utiles aux différents acteurs du développement des pays du sud.
- une analyse approfondie du processus de développement.
- le renforcement des compétences scientifiques des pays partenaires.

Pour plus d'informations, le site Internet de l'IRD est www.ird.fr.

1.2.2. La mission du centre I.R.D. en Bolivie

Initié en 1991, le programme NGT (Neige et Glaciers Tropicaux), a progressivement équipé de balises et de capteurs plusieurs glaciers en Bolivie (glaciers Zongo et Chacaltaya en Cordillère royale), au Pérou (glaciers Artesonjaru et Yanamarey en Cordillère blanche) et en Équateur (volcans Antisana et Cotopaxi). Les données relevées ont alimenté l'élaboration d'un modèle physique du fonctionnement des glaciers^{2,3}.

L'institut, en cohérence avec l'un des axes forts de l'unité de recherche "Variabilité Climatique", s'occupe plus particulièrement de la caractérisation des événements ENSO (El Niño Southern Oscillation) survenus depuis le petit âge glaciaire. Les études historiques des archives de Potosi et Sucre entreprises en 1995 ont fourni les premiers résultats sur l'évolution des conditions climatiques depuis la conquête espagnole, notamment sur l'historique des conséquences des phénomènes ENSO sur l'Altiplano, les cordillères et les vallées inter-andines^{4,5,6}. Des résultats de cet ordre existaient déjà sur la côte Pacifique péruvienne et nord-chilienne, ce qui devrait permettre d'intéressantes comparaisons^{7,8,9}.

1.3. Le projet UNESCO ARCHISS

Le projet ARCHISS (Archival Climate History Survey), a été entrepris en 1988 par l'OMM (Office Mondial de la Météorologie), le Conseil International des Archives ainsi que l'UNESCO qui en finance la plus grande partie. Ce projet a pour but de recueillir des données climatiques et hydrologiques dans les Archives publiques d'un grand nombre de pays.

Le projet existe depuis 1995 en Bolivie et est mené par Alain Gioda, chercheur à l'IRD conjointement au travail d'archivistes boliviens ainsi qu'à la collaboration du SENAMHI (Service National de Météorologie et d'Hydrologie Bolivien).

Une première reconstitution des saisons des pluies de 1581 à nos jours est presque achevée⁶ et l'étude se concentrera à l'avenir sur la reconstitution de températures.

En Argentine, Maria del Rosario Prieto (de l'institut de Nivologie et Glaciologie d'Argentine), basée à Mendoza reconstruit l'histoire du climat dans le bassin de « La Plata »¹⁰. Elle effectue également des recherches à l'« Archive Générale des Indes » à Seville (Espagne) et elle a étendu sa recherche au Chili et à la côte nord péruvienne où le phénomène El Niño est bien connu.

Au Pérou, Carlos Carcelen Reluz de l'Université San Marco à Lima a reconstruit l'histoire du climat de Lima au 18^{ème} siècle.

Des recherches menées dans les Archives nationales mexicaines et cubaines en 1996 et 1997 ont déjà permis de recueillir de nombreuses données, notamment des mesures enregistrées qui datent parfois de la fin du 18^{ème} siècle. Depuis Mars 2001, Gustavo Garza, un jeune historien mexicain étudie le climat au Mexique à partir d'archives ecclésiastiques et plus précisément à partir de rogations religieuses.

Récemment il a également été entrepris, dans le cadre du projet ARCHISS le dépouillement de données météorologiques contenus dans les carnets de bords de certains grands navigateurs.

2. LA PALEOCLIMATOLOGIE

2.1. Importance des paléo-sciences dans la compréhension des dynamiques climatiques

On appelle climat l'ensemble des phénomènes météorologiques qui caractérisent pendant une longue période l'état moyen de l'atmosphère et son évolution en un lieu donné. On sait que les climats ont beaucoup évolués dans le temps (périodes glaciaires, désertification, etc.), et connaissent des fluctuations importantes sur des périodes relativement courtes. Pour reconstruire ces fluctuations, il faut faire appel aux paléo-sciences qui utilisent des données anciennes (dites paleo-données) pour la compréhension de la dynamique présente et future des océans, des glaces, de la biosphère ou encore de phénomènes tels que les variations climatiques ¹¹.

Aujourd'hui, les longues séries de données paléo-environnementales et paléoclimatologiques sont utilisées pour :

- Une meilleure compréhension des mécanismes, des intensités ainsi que des causes de la variabilité climatique.
- L'identification d'éventuels comportements anormaux d'un système climatique ainsi que l'étude des dynamiques qui régissent ces anomalies.
- Fournir un cadre d'étude pour tester des modèles prévisionnels.
- L'obtention de séries d'observations suffisamment longues pour distinguer les variations climatiques naturelles de celles induites par l'activité humaine.

2.2. Les différentes techniques paléoclimatologiques et leurs limites

2.2.1. L'étude des glaces

En observant des carottes de glace (Figure 3 et 4), on peut reconstituer l'histoire des événements climatiques, car ceux-ci laissent des traces dans la glace, année après année. Une technique puissante consiste à analyser les isotopes de l'oxygène et du deutérium piégés dans la glace ².



Figure 3 : Deux Foreuses placés sur le glacier Chimborazo (Equateur)



Figure 4 : Un échantillon de carotte de glace

Une chronologie du climat des 25000 dernières années en Bolivie vient d'être établie par l'IRD et ses partenaires grâce à des prélèvements effectués sur plusieurs glaciers boliviens et le Chimborazo en Equateur. Le principe de ces prélèvements est de faire deux forages sur toute l'épaisseur de la calotte glacière (Figure 3) qui seront conservés à basse température et envoyés aux centres d'analyses européens afin de faire des analyses isotopiques et chimique de celles-ci. Cette technique présente des limites sur le plan temporel, mais des accidents climatiques, comme les poussières volcaniques provenant d'une éruption lointaine, bien datée dans l'histoire et incluses dans les glaces, permettront peut être d'affiner cette approche ^{2,3}.

2.2.2. Les indicateurs fossiles

Des reconstitutions paléo-environnementales ont aussi été réalisées à partir d'indicateurs fossiles comme les pollens et les diatomées conservés dans les sédiments lacustres prélevés par carottage. Les assemblages de pollens et diatomées correspondent à un mélange d'espèces ayant vécu durant une période plus ou moins longue (5-10ans dans le meilleur des cas). La profondeur des échantillons est convertie en échelle de temps, en s'appuyant sur les datations par le carbone 14. Deux échantillons proches peuvent être séparés par vingt à cinquante années. Mais les sédiments lacustres ne présentent pas de variations annuelles ou saisonnières, à quelques exceptions près ; ceci est particulièrement gênant pour les études en milieu tropical ⁶.

2.2.3. L'étude des coraux

On utilise les stries de croissance des coraux dont la variation est notable même à l'échelle d'une saison. La composition chimique ou isotopique des squelettes calcaires dépend de la température de la mer, des précipitations et des teneurs en nutriments, et donc de l'intensité des Upwellings qui sont un phénomène d'entraînement des eaux superficielles vers le large par les alizés provoquant leur remplacement par des eaux sous-jacentes, plus fraîches. Cette remontée permanente est appelée Upwelling et est à l'origine des courants froids au

dessus desquels l'air se refroidit et se stabilise , ce qui empêche les précipitations .

Les Galapagos, où l'étude des stries de croissance ont été utilisée pour reconstruire les températures des eaux de surface depuis la fin du XVIème siècle, sont le milieu le plus proche des Andes dont le climat ait été étudié par cette méthode ¹².

2.2.4. La dendrochronologie

C'est la science de l'observation des motifs séquentiels créés par les anneaux de croissance des arbres. L'observateur peut déceler des séquences d'anneaux se différenciant par leur couleur ou leur épaisseur. Sur un arbre vivant, et par comparaison avec les événements météorologiques connus, on peut associer ces caractéristiques à certains phénomènes (sécheresse, froid, etc.).

Une fois cette corrélation établie, il est possible de reconstituer le climat avec des arbres morts, qu'on peut dater par Carbone 14 par exemple.

Mais cette technique est difficile à mettre en oeuvre dans les milieux tropicaux où les arbres ne présentent généralement pas d'anneaux de croissance et à fortiori annuels. Déboisées depuis des millénaires, les montagnes Andines sèches sont, de plus, caractérisées par la très lente croissance de leurs arbres endémiques ¹³.

2.3. La paléoclimatologie historique

2.3.1. Généralités

Les sources historiques sont les seules qui permettent de dater, au jour près dans le meilleur des cas, un épisode climatique, noté par ses contemporains, le plus souvent à cause de son caractère désastreux. Cette approche a été proposée par E. Le Roy Ladurie ^{14,15,16} . Quelle que soit la dimension d'une étude (régionale ou plus large) les recherches paléoclimatologiques utilisent des

séries de données les plus longues possible afin d'observer des comportements climatiques déterminés à différents moments et intensités ¹⁶.

2.3.2. Les sources disponibles

Les écrits constituent bien évidemment les sources de données historiques. Tout document, qu'il soit manuscrit ou imprimé, officiel ou personnel entre dans les champs des sources potentielles. On peut classer ces sources en deux catégories principales : les sources directes et les sources indirectes.

Les sources directes sont celles qui ont été écrites au moment de l'événement décrit. Les sources indirectes sont des transcriptions et des copies ; elles présentent de nombreuses complications pour les climatologues, car peu précises quant aux dates et lieux mentionnés. Or le principe de la paléoclimatologie historique est justement cette précision que l'on peut avoir par rapport aux autres paléo-sciences. De plus, on peut craindre des interprétations faites par les rédacteurs des sources indirectes.

De ce fait, les paléoclimatologues, et c'est le cas de la présente étude, privilégient les sources directes.

Les sources directes peuvent être de types très variés, chacune ayant son utilité.

Voici une classification très générale des sources possibles¹⁷ :

- Les chroniques, annales et....
- Les actes municipaux et autres documents officiels
- Livres de comptabilité d'exploitations agricoles de particuliers
- Documents personnels avec observations sporadiques ou intermittentes (lettres, journaux intimes, notes, etc...)
- Revues météorologiques et journaux de mesures
- Journaux et revues
- Archives ecclésiastiques

3. ETUDE DU CLIMAT DE LA REGION DE POTOSI DE 1825 A 1942

3.1. Extraction des données climatiques à partir des Archives

3.1.1. Contexte climatique de Potosi

Potosi (Figure 5) présente l'intérêt majeur en glaciologie d'être située à très haute altitude (4000m). Elle a été longtemps la plus haute ville du Monde (avec Cerro de Pasqua au Pérou). Fondée en 1545 par les conquistadors espagnols, elle a acquis très rapidement une importance économique liée à la ruée vers l'argent qui fit la fortune de l'Europe jusqu'à l'indépendance de la Bolivie en 1825. Il y a eu une succession de booms et de dépressions de l'industrie minière qui tournait autour des minéraux suivants : l'argent (1545-1895), puis l'étain (1896-1985), et enfin le zinc (depuis 1986). Néanmoins, la production de documents a toujours été élevée.

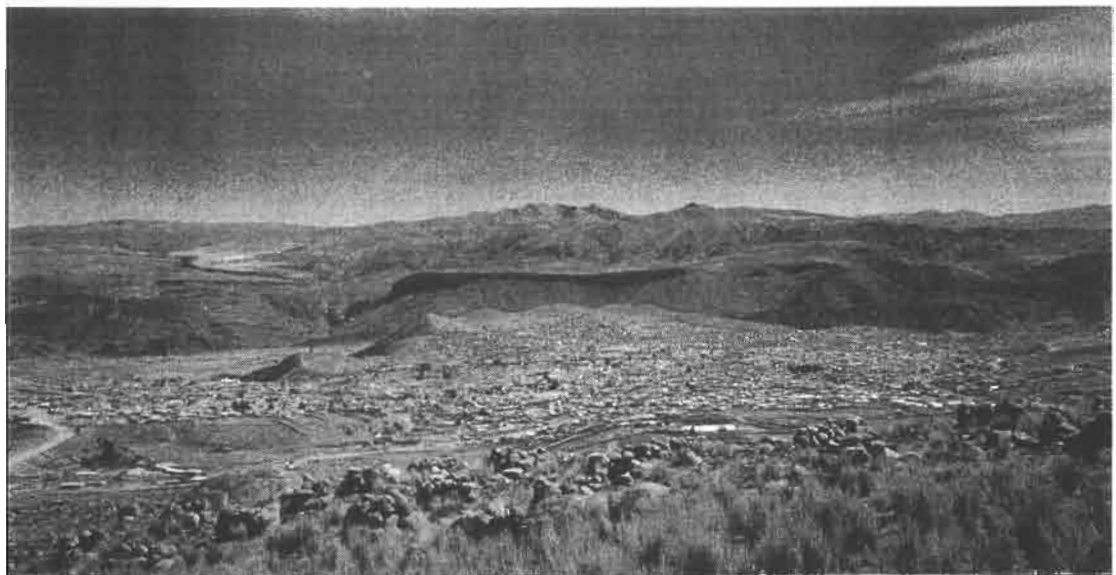


Figure 5: Vue de Potosi et de l'altiplano

Il y a d'abondants documents à propos de l'histoire de la ville, son industrie et ses habitants. Située dans un milieu semi-aride (environ 400 mm/an de pluie au XX^{ème} siècle), Potosi était très dépendante des ressources en eau dès 1572, la première année où l'énergie hydraulique a été employée de façon intensive dans la métallurgie de l'argent.

Les Espagnols avaient construits des retenues en amont de la ville appelées « lagunas » qui avaient pour fonction de retenir l'eau tombée pendant la saison des pluies afin de disposer d'importantes quantités d'eau tout au long de l'année, même pendant la longue saison sèche. C'est aussi cette situation unique qui fait qu'à Potosi on parlait sans cesse des lagunes, de leur niveau de remplissage et des phénomènes météorologiques indispensables au remplissage de celles-ci, chaque été. Sans ces lagunes, la présente étude n'aurait pas été possible car aucun grand cours d'eau ne traverse la ville étant donnée l'altitude. Contrairement à ce que l'on pourrait penser étant donnée l'altitude élevée de cette région, il ne neige que rarement à Potosi (quelques centimètres en général). C'est la grêle qui tombe en hiver et au printemps, souvent avec des conséquences dévastatrices pour l'agriculture.

L'abondance d'archives et de textes imprimés à propos de Potosi permet de disposer de très nombreuses données dites « pré-instrumentales (ou proxy en anglais) ». Les plus anciennes données météorologiques dites « instrumentales », avec observations continues, ne remontent par contre qu'à 1942.

3.1.2. Les archives disponibles

Les principales sources documentaires sont soit privées, soit administratives soit ecclésiastiques. En pratique, il est difficile d'accéder aux archives privées de manière méthodique. Les recherches sont donc concentrées sur l'analyse des archives publiques. Bien entendu, une rencontre fortuite peut amener le chercheur à consulter des archives privées et enrichir ainsi son travail.

En ce qui concerne la région de Potosi il existe trois sources publiques d'informations contenant chacune des données très précieuses pour la reconstitution du climat de cette région. Etant donnée l'importance de cette région pendant plusieurs siècles on peut aussi trouver des informations dans les archives d'autres villes du pays mais celles-ci sont alors indirectes et donc difficilement exploitables.

- La Casa de la Moneda (Maison de la Monnaie)

La Maison de la Monnaie, est un haut lieu de l'époque de la ruée vers l'argent de Potosi. On y battait monnaie, c'est à dire qu'on fabriquait les pièces d'argent utilisées pour le commerce espagnol. Aujourd'hui la Casa de la Moneda abrite les archives municipales de Potosi. De plus certains journaux et revues de Potosi y sont conservés. C'est un établissement public ouvert à tous, situé au cœur de Potosi.

- Les Archives Nationales de Bolivie (ANB)

Situées dans la Bibliothèque Nationale de Bolivie (BNB), c'est le plus grand centre d'archives de Bolivie; la diversité des documents y est la plus grande, on y trouve tous les types de documents à l'exception des documents ecclésiastiques. L'ANB et la Casa de Moneda se complètent assez bien car on y trouve le même type de documents.

- Les archives ecclésiastiques

Situées dans la cathédrale de Sucre, on y trouve toutes les archives de l'église de la région de Sucre et Potosi, c'est à dire les correspondances des ecclésiastiques depuis leur arrivée, ainsi que des comptes rendus sur des épidémies survenues. Elles apportent de nombreuses informations directes qui ne sont pas toujours mentionnées dans les journaux ou gazettes notamment lors de périodes de crises politiques pendant lesquelles les journaux ont tendance à ne relater que des faits ou des idées politiques. Ces archives ne sont pas

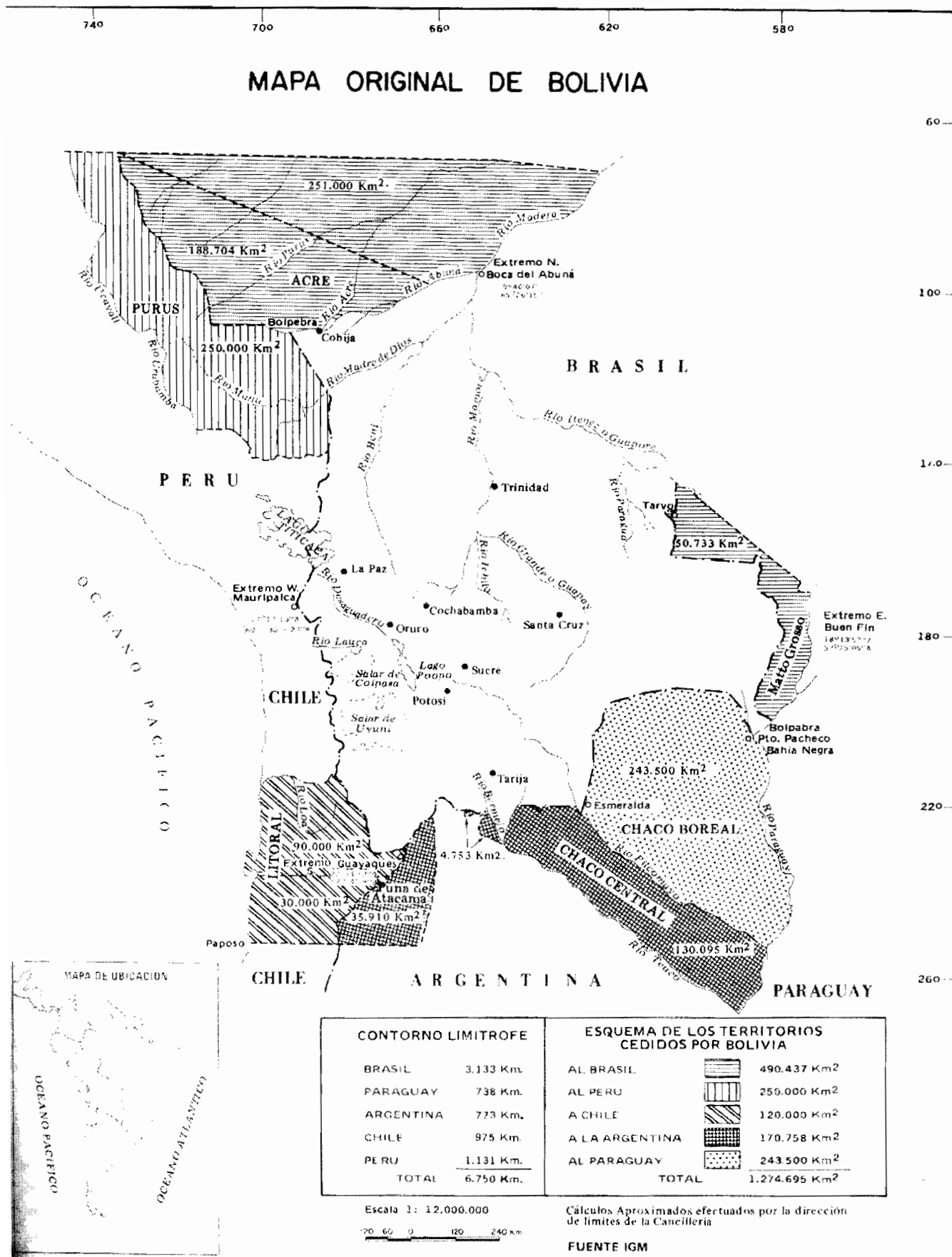


Figure 6: carte de Bolivie en 1825

publiques mais accessibles à toute personne ayant pu démontrer l'intérêt de sa recherche à son directeur.

Ces archives sont très précieuses au sens paléoclimatique car les prêtres, très proches de la population, étaient précis dans les descriptions très vivantes que l'on trouve dans leurs correspondances.

Ces trois sources de données donnent donc des éclairages complémentaires sur les événements marquants ; l'administration donne une idée technique des problèmes, les journaux reflètent les préoccupations des différentes communautés alors que les correspondances des ecclésiastiques relatent les faits au niveau de l'individu.

3.1.3. Etat des connaissances

La recherche méthodique des données historiques a été lancée en Bolivie il y a cinq ans, dans le cadre de la coopération IRD-UNESCO et a donné lieu à de nombreuses publications^{2,4,5,6}. Une banque de données, commençant dès le XVI^{ème} siècle a déjà été constituée (A. Gioda)⁶ pour les différentes régions de Bolivie (Figure 6: Carte de la Bolivie en 1825) :

- Région de Potosi
- L'Altiplano septentrional avec La Paz et le Lac Titicaca
- Cochabamba
- Tarija dite *Cordillera Chiriguana*
- Nord chilien (Calama)
- Nord-Ouest argentin

Les données ont été classées⁶ selon trois grandes périodes caractéristiques de l'histoire de Potosi. Ces trois périodes ne sont pas encore homogénéisées entre elles, les deux premières périodes étant qualifiées de pré-instrumentales et la dernière d'instrumentale :

- la période coloniale (1581/82 – 1816/17)

C'est la période allant de la construction des lagunes par les espagnols au début de la période d'instabilité politique ayant mené le pays à son indépendance qu'il gagnera définitivement le 6 Août 1825.

Elle peut être considérée dans sa reconstruction comme quasi achevée⁶. Il manque encore quelques données mais l'homogénéisation et la calibration des données sont définitives.

Pour cette période les données sont assez homogènes car elles sont essentiellement constituées de documents manuscrits de divers types :

- comptes rendus pour la cour d'Espagne ou ses représentants
- correspondances
- récits d'explorateurs
- documents des archives ecclésiastiques

- la période républicaine (1817/18-1940/41)

Elle commence dès les premières instabilités politiques visant à chasser les espagnols et s'étend jusqu'à la mise en place du centre de météorologie en 1942. Cette période est donc liée à l'histoire du pays mais aussi à l'histoire de la météorologie dans cette région ; c'est aussi pendant cette période que la presse est apparue ce qui offre une richesse d'information qui n'existe pas pour la période coloniale.

Le présent travail est une contribution à la collecte de données et à l'analyse de cette période à partir de périodiques et des archives des paroisses de la région de Potosi de 1825 à 1942. Il y a abondance de documents, la presse ayant compté jusqu'à 300 titres périodiques à Potosi et ses environs (voir la liste complète des journaux en Annexe 2) et les archives ecclésiastiques ayant conservé toutes les correspondances des curés de village entre eux et surtout avec l'Archevêché.

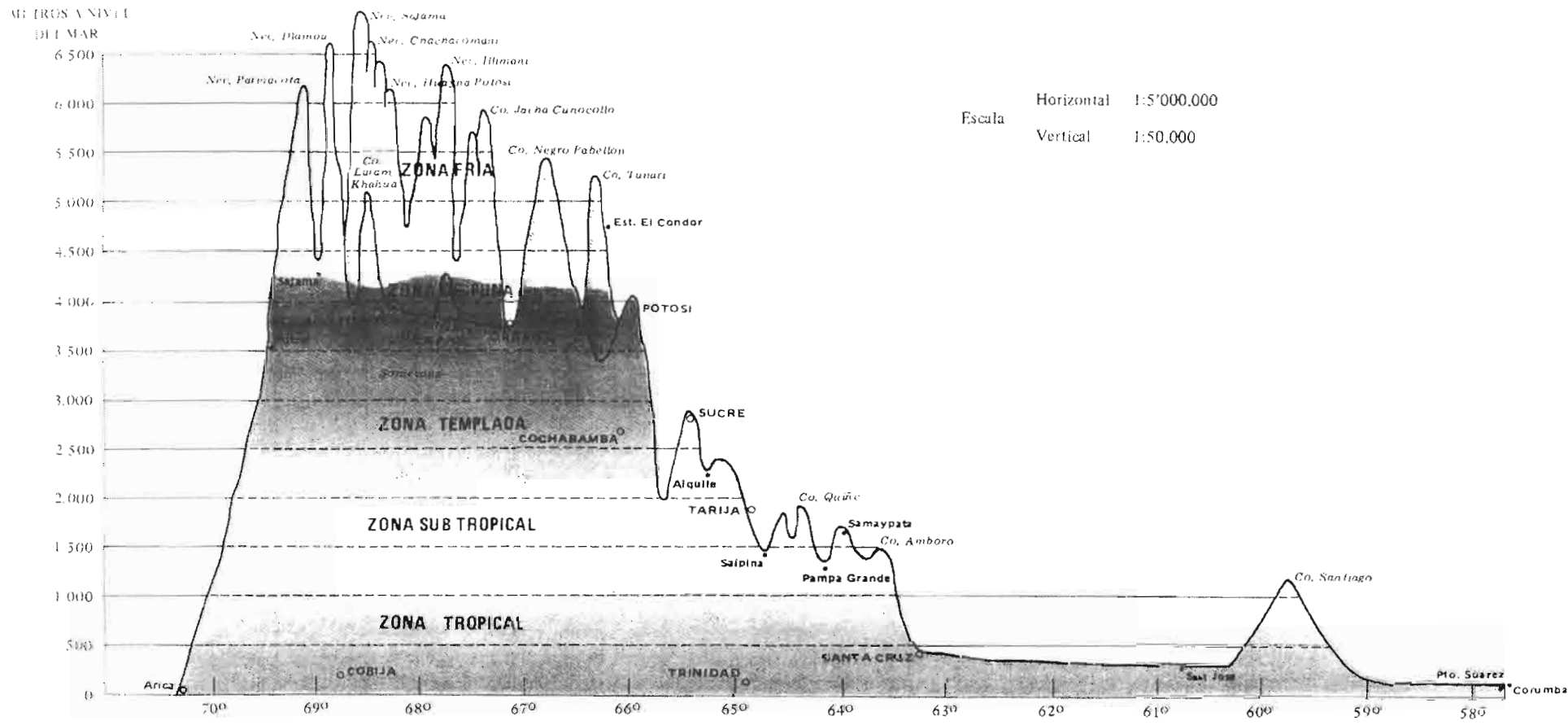
Il faut noter aussi les difficultés rencontrés pour reconstituer les années 1817 à 1825 étant donné les débats de l'époque qui était surtout centrés sur la guerre contre les espagnols et non la vie de tous les jours. C'est pour cette raison que ce travail ne se place pas sur la totalité de la période républicaine.

La période républicaine vient d'être reconstruite quant aux saisons des pluies. La difficulté par rapport à la période coloniale (1581-1817) réside dans l'hétérogénéité des sources :

- informations qualitatives issues de la presse (les plus nombreuses)
- informations qualitatives issues des archives ecclésiastiques,
- informations qualitatives issues des journaux des naturalistes-voyageurs (Alcide d'Orbigny, Joseph Berclay Pentland, etc.) ;
- données quantitatives de la production d'entreprises viticoles proches de Potosi (Camargo) ;
- données météorologiques de Sucre (donc quantitatives) qui existent depuis 1882

Les principaux journaux riches en informations météorologiques ont été *El Celage* (1849-57), *El Tiempo* (1885-1918) et *Alas* (1932-46) car ce sont ceux qui ont duré sur les plus grandes périodes et offrent donc des informations plus homogènes et plus faciles à interpréter. En effet, la plupart des journaux ne durent que quelques mois, parfois même quelques semaines ou un seul numéro dans le pire des cas. Certains périodiques paraissent au gré des moyens financiers de son directeur, il faut rappeler que cette époque est le début du journalisme et le contenu des périodiques, est bien différent des journaux d'aujourd'hui : ce sont généralement des 2 ou 4 pages qui traite de politique.

Les localités référencées dans les journaux sont Potosi même, mais aussi les villes voisines (Chichas, Chayanta, Porco et Lipez (voir Figure 7: carte du département de Potosi). Néanmoins, il y a un manque d'information archivée pendant la période d'instabilité politique (1817-1825) liée à la révolution.



FUENTE MAPA DE BOLIVIA 1:1'000.000 - I.G.M.

ESFERIDAD DE LA TIERRA EN EL CORTE TRANSVERSAL AL OESTE DE GREENWICH

Figure 8 : Les Différents étages écologiques en Bolivie

Les archives ecclésiastiques sont riches en informations relatant de problèmes rencontrés par les curés et leur fidèles et parfois des problèmes liés aux intempéries ce qui est ce qui nous intéresse. Les paroisses riches en informations sont généralement celles qui comptent le plus d'habitants du fait de l'importance du nombre de correspondances puisque ces paroisses servent souvent de relais aux paroisses plus petites. Pour une liste complète des paroisses dont les archives ont été dépouillées (voir l'annexe 2).

L'analyse pour le traitement des données pour cette période doit donc être une « analyse de contenu » réalisée par croisements selon l'occurrence des citations, des exemples concrets sont donnés dans la partie suivante.

- la période dite instrumentale (1942 à nos jours)

C'est la période où les relevés météorologiques ont été systématisés, grâce à la construction d'une station météorologique à Potosi.

Elle débute le 1^{er} janvier 1942, à l'exception de brèves tentatives de météorologues amateurs, comme celles de l'anglais Edmund Temple en 1826 et du bolivien Belizario Oropeza en 1916.

Les originaux des relevés depuis 1942 ont été retrouvés récemment. La validation des données météorologiques a été faite afin de détecter d'éventuelles erreurs accidentelles ou systématiques et aujourd'hui, la série ne présente aucune lacune entre 1942 et 2000. Pour les données pluviométriques, les chercheurs de l'IRD, en accord avec l'OMM (Organisation Mondiale de Météorologie) ont fait le calcul de la somme des totaux mensuels de décembre à mars qui sont les 4 mois représentatifs de la saison des pluies. On pourrait essayer de corrélérer les informations recueillies à Potosi avec celles de Sucre, les villes n'étant distantes que de 100 km à vol d'oiseau, mais elles appartiennent à deux étages écologiques distincts : la *puna* ou la steppe pour Potosi (4000 m) ; les vallées andines sèches pour Sucre (2850 m). Par conséquent, leurs relations climatiques ne peuvent pas être très étroites (Voir Figure 8: Les différents étages écologiques).

3.1.4. Méthodologie pour le recueil des données

3.1.4.1. Critères de sélection de l'information

Etant donnée la quantité d'informations susceptibles d'apporter de information intéressante il faut effectuer une sélection qui peut s'effectuer à plusieurs niveaux tels que le type de source, la forme, le contenu ou l'information météorologique. Toutefois si cette sélection est trop stricte, on peut perdre des informations utiles.

Des critères de sélection très simples mais à la fois très exigeants ont été proposé par E. Le Roy Ladurie. Selon lui, les documents sélectionnés contenant des éléments météorologiques doivent être : ¹⁶

- continues
- annuelles
- homogènes
- quantitatives

Lors de l'analyse des sources documentaires suivant ces quatre critères on sélectionne donc d'abord les séries les plus longues.

Dans le cas de la région de Potosi, durant la période républicaine, les sources qui conviennent le mieux pour respecter ces critères sont les journaux, les correspondances de l'archevêché, ainsi que actes de la municipalité de Potosi. Toutefois ces informations peuvent être complétées par des journaux intimes, carnets de voyageurs, qui sont moins liés aux institutions et parfois avec un niveau culturel différent ¹⁸.

3.1.4.2. Types d'informations trouvées

L'information que l'on peut trouver dans la documentation historique peut être classée selon les effets climatiques. Une classification proposée récemment a été utilisée pour le présent travail. ¹¹

Celle-ci est basée sur trois critères :

- événement météorologique
- événement hydrodépendant
- événement phénologique

Evénements météorologiques :

Ce sont des descriptions directes de phénomènes météorologiques :

- Relevés pré-instrumentaux de températures, humidité, etc....
- Informations sur la nature et l'intensité des précipitations

L'intérêt de ce type d'informations est évident dans le cadre de cette étude ; ce sont les données les plus faciles à interpréter puisque elles relatent des événements climatiques tels qu'ils ont pu être observés. Les phénomènes décrits sont souvent datés avec précision, au jour près, voir même à l'heure près.

Exemple :

Extrait du journal « El Tiempo » daté du 3 juillet 1907 :

El temporal y las indicaciones del termómetro

Desde el 21 del pasado en que nuestro Almanaque indica el ingreso al invierno, la temperatura ha estado bajando alternativamente y hemos tenido días de verdadero temporal; viento frío, aunque no tempestuoso ha reinado día y noche. He aquí los grados señalados por el termómetro:

Días	Temperatura
23 E. 8 a. m.	bajo 7° 3 p. m. sobre 6° 8 p. m. bajo 5°
24 h. 8 a. m.	10° 3 p. m. 9° 8 p. m. 4°
25 h. 8 a. m.	8° 3 p. m. 9° 8 p. m. 7°
26 h. 8 a. m.	7° 3 p. m. 4° 8 p. m. 1°
27 h. 8 a. m.	2° 3 p. m. 8° 8 p. m. 0°
28 h. 8 a. m.	3° 3 p. m. 9° 8 p. m. 5°
29 h. 8 a. m.	0° 3 p. m. 7° 8 p. m. 6°
30 h. 8 a. m.	5° 3 p. m. 8° 8 p. m. 4°

Julio 1°
1° h. 8 a. m. 8° p. m. 9° 8 p. m.

Traduction

LE TEMPS ET LES INDICATIONS DU THERMOMETRE

Depuis le 21 juin, notre calendrier indiquait l'arrivée de l'hiver, la température a baissé progressivement et nous avons eu des jours de vraie saison ; vents froids, mais pas forts, ont soufflé jour et nuit.

Voici les températures indiquées par le thermomètre.

Intérêt de ce document :

Il indique que l'hiver est arrivé normalement, par contre les indications de température sont difficilement exploitables : on connaît l'heure du relevé de température, la position du thermomètre n'est pas connue (or la température est une donnée micro-climatique). De plus il est rare que des relevés de ce type soient publiés quotidiennement puisque ce n'est que vers la fin du 19^{ème} siècle que l'intérêt de relevés météorologiques a été démontré par la communauté scientifique avec l'arrivée des statistiques comme outils d'interprétation de ces données.

Evénements hydrodépendants :

Ce sont toutes les descriptions de situations directement liées aux précipitations :

- Problèmes de transports dus aux crues des rivières (courrier en retard, problèmes d'approvisionnement en denrées alimentaire, annulation de la venue d'une personnalité, etc.)
- Etat des cours d'eau, lacs, et autres formation d'eau (débordements de rivière, accidents éventuels, sécheresses, etc...)
- Dommages sur les habitations (toitures détruites par la grêle ou les pluies excessives, villes inondées, etc.)
- Sécheresses
- Informations sur l'agriculture
- Rogations faites par l'église
- Prix des denrées
- Evénements gâchées par le mauvais temps ou ensoleillés

Ce sont les données les plus nombreuses et elles sont de styles très variés. Leur intérêt est justement cette variété, même si le classement et la caractérisation de ces données est plus difficile que les informations directes. De plus les événements hydrodépendants ont des conséquences qui sont mesurables encore aujourd'hui.

Exemple

Paroisse de Vitichi, Potosi le 29 mars 1897.

"...Hice rogativas públicas tres dias consecutivos, y felizmente, el tercer día Domingo, por la noche, tuvimos una copioso aguacero, ablandándose el tiempo, desde entonces benignamente y teniendo lluvias continuadas"

Traduction : « Je fis des rogations trois jours consécutifs, et heureusement, le troisième jour, Dimanche, pendant la nuit, nous eûmes une averse copieuse, le temps se calmant, nous avons depuis, grâce à dieu, des pluies continues.»

Intérêt de cette citation :

C'est une information de bonne qualité, typique de celles que l'on peut trouver aux archives ecclésiastiques. Le curé de Vitichi (voir Figure 7 : carte de Potosi) explique à son supérieur, l'archevêque comment il a réussi quelques jours auparavant à faire venir la pluie dans son village; le jour exact de l'arrivée de la pluie n'est pas donné mais on peut supposer qu'elle est arrivée une semaine avant la date d'écriture de la lettre puisque cet événement semble récent d'après le ton de la lettre. On sait donc que la saison des pluies a été très tardive dans ce village.

Evénements phénologiques :

Toutes les descriptions de phénomènes phénologiques (biologiques) induits ou influencés par des variations par rapport au climat normal :

- Etat des récoltes ou des bêtes
- Epidémies (peuvent être liés au froid, l'humidité, etc.)

Les événements phénologiques sont les conséquences de phénomènes météorologiques anormaux.

Ce sont les données les moins nombreuses mais elles apportent souvent des informations sur des événements qui concernent des zones très étendues.

Exemple

Extrait (ci-dessous) du journal « El Tiempo » daté du 16 mars 1906 :

Traduction**ANNEE AGRICOLE**

On nous communique depuis Sucre et Tarija que l'année agricole ne pourrait être meilleure. Les prix Le prix des articles de premières nécessités baisse

de jour en jour. Dieu le veuille ! que nous puissions en dire autant. Malheureusement le Dieu des eaux n'a pas prodigué ses pluies à Potosi cette fois. Hormis quelques tourmentes dont une averse, il n'a pas plu. Ainsi ici, contrairement à ces villes privilégiées, on sent déjà la sécheresse et la rareté de certains articles [...] comme les pommes de terres, le pain et d'autres aliments.

Le froid s'annonce déjà avec une certaine intensité.

L'hiver apparaît précoce et rude en cette altitude si élevée.

Heureusement l'année minière promet de pouvoir faire face aux calamités de l'année agricole. [...]

Año agrícola

De Sucre y Tarija nos comunican que el año agrícola es inmejorable. Los precios de todos los artículos de primera necesidad cada día son más bajos. Ojalá que por acá pudiéramos decir lo mismo. Por desgracia el dios de las aguas no ha estado prodigo con Potosí en esta vez. Fuera de algunas tormentas y uno que otro chaparrón, no ha habido más. De modo que aquí ya está ocurriendo al revés de aquellas ciudades privilegiadas, haciéndose ya notar la escasez y carestía de algunos artículos necesarios para el sustento del pueblo, como la papa, el pan y otros comestibles.

Las heladas ya se han anunciado con alguna intensidad.

El invierno se presenta prematuro y crudo en esta colosal altura.

Elizmente el año minero promete hacer frente a las calamidades del año agrícola.

El wolfram y el antimonio se explotan cada día con mayor abundancia.

Intérêt de cet article :

Dans cette article les informations sont en réalité nombreuses et très diverses, on peut en distinguer au moins quatre :

A partir d'un commentaire phénologique (les récoltes à Sucre et Tarija) qui ne traite pas exactement de la région étudiée, l'auteur exprime clairement la situation difficile mais pas encore désastreuse de l'agriculture de la région de Potosi.

La sécheresse n'a pas été totale mais presque puisque certaines denrées alimentaires de base sont rares.

Ensuite l'article évoque la précocité et l'intensité avec laquelle semble s'annoncer l'hiver.

Une dernière information évoque la situation prometteuse de l'industrie minière : il ne manque donc pas d'eau dans les lagunes. On peut donc penser que l'année précédente a été humide voir très humide puisque les lagunes ne sont pas vides malgré la sécheresse de la dernière saison des pluies.

3.1.5. Problèmes rencontrés

Le dépouillement des archives de Sucre n'a pas présenté de problèmes techniques particuliers. Les documents sont bien conservés, et accessibles même s'il y a des restrictions horaires à l'archevêché de Sucre.

Les difficultés viennent de l'exploitation au cas par cas des informations trouvées. Personne n'a à la fois la connaissance et l'expérience du travail d'archives et de la météorologie. Il faut donc rechercher la coopération étroite entre des spécialistes des archives et des météorologues.

De plus il faut faire des jugements sur la valeur des informations :

- confiance dans les sources ?
- évidence du caractère direct ou indirect de l'information ?
- comment comprendre des documents qui contiennent une multitude d'informations pas toujours corrélées ou développées ? (ex : article « année agricole »)
- connaissance des noms des lieux dits (ils ont changé de nom au fil du temps).

3.1.6. Traitement de l'information

C'est l'étape la plus importante puisque c'est le moment où les informations strictement historiques sont interprétées en informations météorologico-climatiques. Chaque information sélectionnée est incluse dans une base de données qui permettra de traiter l'ensemble des informations. Un formulaire, élaboré par A. Gioda et A. Forenza (historienne-archiviste) a été mis au point pour le classement de ces informations pour la période républicaine (voir Figure 9). Chaque événement doit être noté comme montré ci-dessous tout complément d'information pouvant être rajouté ultérieurement si un autre document apporte des éléments complémentaires au sujet de cet événement.

Pour chaque document jugé intéressant et valable, on note, dans un formulaire de ce type, la nature du phénomène, la région où il est survenu. Il évalue ensuite l'intensité du phénomène selon les classes suivantes:

- Très fort
- Fort
- Normal
- Faible
- Très faible
- Non mentionné

De même, on note la fréquence du phénomène si indiqué:

- Très rare
- Rare
- Normal
- Fréquent
- Très fréquent

Le classement en seulement 5 classes pour chaque estimation permet de réduire la variabilité de l'interprétation d'un événement d'un chercheur à un autre.

Chaque événement climatique doit être répertorié à l'aide d'un de ces formulaires afin qu'à tout moment de l'analyse des données, on puisse retrouver les informations telles qu'elles ont été relevées dans les archives.

Voici un formulaire qui a été fait à partir des informations contenu dans l'article du journal « El Celage » en vis à vis.

REPUBLICA BOLIVIANA.

Prefectura del Departamento i Superintendencia de las oficinas de Hacienda i Minas—Casa de Gobierno en la Capital—Potosi, Abril 4 de 1851—42 de la Independencia i 3.º de la Libertad.
Número 4.

Al Comisario mayor de Policia.

Ha pasado la estacion lluviosa sin que las lagunas hayan recibido el agua que es necesaria para proveer al consumo de la poblacion i al movimiento de los ingenios de esta ribera. I siendo prudente tomar con oportunidad las medidas convenientes á evitar la absoluta falta de un elemento tan indispensable para la vida, como tambien prevenir las pérdidas que sufririan los mineros si en el trascurso del año llegaran á suspender el beneficio de sus metales, he tenido á bien disponer con previo acuerdo del Concejo Municipal.

1.º Que desde 4.º de Mayo próximo se corte el agua de la ribera desde las 7 de la noche hasta las 6 de la mañana siguiente; debiendo practicarse esta operacion por los ~~comisarios~~ todos los dias i en la compuerta de la laguna distributiva á fin de que no haya despericio alguno. En los dias de ambos preceptos no se dará agua á la ribera.

2.º Que hasta el citado 4.º de Mayo continúe cortándose el agua de las pilas, como está mandado por esta Prefectura, desde las 12 del dia hasta las seis de la mañana siguiente. Vencido el mes de Abril las pilas serán surtidas por las mismas 43 horas que la ribera.

3.º Que para evitar la mayor evaporation de agua i su consiguiente disminucion por este medio, se reuna toda la que existe depositada en diversas lagunas las mas próximas á la Ciudad i que ven de proveedoras, cuidando los Laguneros de embarazar en estas toda filtracion i especialmente la que no se dirija á la sequia de la ribera.

4.º Los laguneros serán responsables de cualquier desperdicio que se advierta en el agua i del fiel i exacto cumplimiento de esta orden.

La que comunico á Usted para su conocimiento, encargándole cuide de su puntual observancia i vijile la conducta de dichos Laguneros, dándose parte de cualquier falta que notare.

Si en el invierno próximo hubiere nevada i ellas fueren suficientes á remediar el mal que se teme, se suspenderá el uso de la presente disposicion i se distribuirá de otro modo el agua consultando sobre las necesidades de la poblacion i las presas de la mineria.

Dios guarde á Usted.—José Maria Vélaz

Traduction

REPUBLIQUE BOLIVIENNE

Prefecture du Département et Superintendance des bureau du Travail et des Mines – Maison du gouvernement dans la capitale – Potosi ,

4 Avril 1851 – 42 de 3º de la liberté.

Au Commissariat principal de police.

La saison des pluies est passée sans que les lagunes aient reçu l'eau qui est nécessaire pour la consommation de la population et au mouvements des machines de la « ribera ». Il serait prudent de prendre des mesures afin d'éviter le manque absolu d'un élément si indispensable à la vie, ainsi que de prévenir les pertes dont souffriraient les mineurs[...].

1º A compter du 1º mai prochain l'eau de la ribera sera coupé de 19h à 6h du matin suivant, cette opération devant être assurée par les laguniers tous les jours au niveau de la vanne de la lagune distributrice afin qu'il n'y ait aucunes pertes.[...]

2º Jusqu'au 1º mai l'eau courante sera coupée, comme décrété précédemment, de midi à 6h du matin suivant. Au mois d'avril l'eau courante sera sujette aux mêmes 13 heures que la ribera.

3º Pour éviter l'importante évaporation d'eau [...], l'eau des diverses lagunes sera réunie dans les lagunes les plus proches de la ville [...].

4º Les laguniers seront responsables de toutes les pertes occasionnées et de la fidélité et l'exacte exécution de cette ordre.

Par cette présente lettre je vous met donc en charge de surveiller la conduite des laguniers.

Si l'hiver prochain il y avait des chutes de neiges et si elles étaient suffisantes pour remédier aux mal-heurs que nous redoutons, la présente disposition sera suspendue et l'eau sera distribuée différemment selon les nécessités de la population et de l'industrie minière.

Dieu vous garde, - José Maria

FORMULARIO SINTÉTICO. CLIMA DE POTOSI 1825-1950
 Prensas de Potosi

País: BOLIVIA - Departamento: POTOSI

Compilador: Julien Gavignet; Fecha de la compilación:

Información meteorológica o hidrológica

Lugar donde ocurrió el fenómeno: Ciudad Lagunas Todo el Departamento
 Otra localidad; su(s) nombre(s):
 Otra provincia; su(s) nombre(s):
 Fecha del fenómeno: 04/04/1851

<u>Clase de fenómeno:</u>		<u>Magnitud del fenómeno:</u>
<input type="checkbox"/> HELADA	<input type="checkbox"/> LLUVIA tipo TORMENTA	<input checked="" type="checkbox"/> Muy fuerte
<input type="checkbox"/> HIELO	<input type="checkbox"/> LLUVIA CONTÍNUA	<input type="checkbox"/> Fuerte
<input type="checkbox"/> FRÍO	<input type="checkbox"/> ROCÍO	<input type="checkbox"/> Normal
<input type="checkbox"/> NIEVA	<input type="checkbox"/> ESCARCHA	<input type="checkbox"/> Débil
<input type="checkbox"/> CALOR	<input type="checkbox"/> GRANIZADA	<input type="checkbox"/> Muy débil
<input checked="" type="checkbox"/> SEQUÍA	<input type="checkbox"/> MEZCLA DE NIEVE Y LLUVIA	<input type="checkbox"/> Sin información
<input type="checkbox"/> NIEBLA	<input type="checkbox"/> MEZCLA DE LLUVIA Y DE GRANIZO
<input type="checkbox"/> NEBLINA	<input type="checkbox"/> CRECIDA DEL CANAL DE LA RIBERA	<input type="checkbox"/> AGOTAMIENTO
<input type="checkbox"/> VIENTO	<input type="checkbox"/> CRECIDA DE RÍO	<input type="checkbox"/> AGOTAMIENTO
<input type="checkbox"/> TEMPESTAD (de viento)	<input type="checkbox"/> CRECIDA DE FUENTE	<input type="checkbox"/> AGOTAMIENTO
	<input type="checkbox"/> CRECIDA DE LAGUNA	<input type="checkbox"/> AGOTAMIENTO
	<input type="checkbox"/> CRECIDA DE POZO	<input type="checkbox"/> AGOTAMIENTO
<input type="checkbox"/> OTRA CLASE DE FENÓMENO. SU DESCRIPCIÓN:		

Mediciones: (espesor de la nieve, del hielo, nivel del agua, etc.)
 Ha pasado la estación lluviosa sin que las lagunas hayan recibido el agua que es necesaria....

Consecuencia(s) del fenómeno:
 Riesgos de falta absoluta de agua para proveer a la ribera y a la población

Sentimiento de la gente en la época del fenómeno sobre su frecuencia (si está anotado):
 Muy raro Raro Normal Frecuente Muy frecuente

Fecha del último fenómeno de esta clase (si está anotado):

Datos de archivo - Fecha de la noticia: 06/04/1851

Periódico: El Galage f.: Lugar de conservación: ABNB, Sucre

Figure 9 : Formulaire de classification des informations

L'objectif des traitements est de déterminer, à l'aide de toute les informations recueillies, quels ont été les événements climatiques dominants, et de qualifier leur intensité et leur normalité. L'information météorologique, une fois

codifiée selon les typologies décrites précédemment, est prête pour son analyse quantitative.

Un principe à respecter est que la simplicité des informations obtenues préconise l'utilisation de méthodes quantitatives simples.¹⁹

Ainsi, pour savoir si une année donnée a été très sèche, sèche, normale, humide ou très humide, on utilise tous les formulaires correspondant à cette année hydrologique.

Ou encore (et en même temps) on peut décider, en analysant la date des phénomènes, si la saison des pluies a été précoce, normale, ou tardive. On peut aussi rechercher l'intensité des températures (mais ceci est plus difficile du fait du caractère microclimatique de la température).

3.1.7. Construction de séries

Afin de construire les séries climatiques relatives aux précipitations et d'appliquer les techniques d'analyses statistiques, les catégories qualitatives sont codifiées avec des valeurs décroissantes¹⁰ :

(+2) : année très pluvieuse

(+1) : année pluvieuse

(0) : année normale

(-1) : année sèche

(-2) : année très sèche

Ce que l'on appelle année est une année hydrologique c'est à dire de novembre à mars et non une année calendaire donc chaque année comprend en faite les deux derniers mois de l'année précédente.¹⁰

Une année est définie comme normale quand il existe des informations sur la vie sociale, économique et politique et qu'aucune donnée climatique directe ou indirecte, n'est relevée dans les documents.

Si en outre un commentateur mentionne que l'année est normale, ceci ajoute un degré de certitude puisque qu'on ne peut jamais être totalement sûr de la normalité d'une année lorsqu'aucune donnée n'est relevée.

Une fois rassemblés les données, il faut décider pour chaque année si elle a un caractère spécial ou non. Les données recueillies sont hétérogènes (date de la première précipitation, grêle, inondations, etc.). On a donc cherché à rationaliser la caractérisation des périodes à partir de données hétérogènes.

L. Duckstein, chercheur en mathématiques à l'ENGREF, a entrepris d'adapter les méthodes de la logique floue pour l'analyse de données paléoclimatiques.²⁰ Les résultats classés et caractérisés par saison hydrologique sont présentés en Annexes 3 et 4 dans deux tableaux récapitulatifs indiquant notamment le nombre de données, les indices de confiance ainsi que les sources principales qui ont permis de caractériser chaque année .

3.1.8. Méthodologie pour l'analyse : la logique floue

La logique floue, dont le concept initial est attribué à Lukasiewicz (1920) et fut développé par L. Zadeh de l'université de Berkeley en 1965, a connu un premier essor dans les années 1970 avec le développement de systèmes de contrôle (électroménager, transport, etc.).^{22,23} Depuis une petite dizaine d'années, elle est également utilisée pour l'analyse des données climatiques, et les méthodes développées dans ce domaine de recherche permettent de classer des données d'origines très diverses.²⁰

L'intérêt de la logique floue est qu'elle est capable de résoudre des problèmes dont les ensembles qui les composent n'ont pas de limites définies, tels que les phénomènes météorologiques ; c'est ce qu'on appelle le flou mathématique. On contourne la difficulté en introduisant la notion d'appartenance : les propositions peuvent être partiellement vraies, dans une proportion qui varie de 0 à 1 , au lieu de vrai ou faux dans la logique cartésienne. Grâce à ces degrés d'appartenance on peut introduire la notion du jugement humain dans des calculs mathématiques. Par exemple on pourra différencier une année plutôt sèche, une année sèche et une année très sèche en leur attribuant des degrés d'appartenance à l'ensemble flou « année sèche ».

Ainsi la logique floue permet de regrouper, de classer et d'analyser des données quantitatives (relevés de stations météorologiques par exemple) et qualitatives (commentaires des journaux, commentaires dans des lettres, etc.). Une fois classées, ces données peuvent être traitées informatiquement pour caractériser avec le plus de confiance possible une année donnée. Par exemple, on saura qu'une année a été extrêmement sèche par le rapprochement d'une multitude de relevés qualitatifs et quantitatifs en plusieurs endroits d'une région, et à différents moments de l'année. Pour plus d'informations sur les principes fondamentaux de la logique floue et ses applications, consulter les annexes 5 et 6.

Un pionnier de l'application de la logique floue à la climatologie est Lucien Duckstein et les concepts présentés ci-dessous sont issus de ses publications.²⁰

3.1.8.1. Ensembles flous en climatologie

Prenons quelques exemples de fonctions d'appartenance d'ensembles flous que l'on peut construire pour déterminer des événements climatologiques (Figures 10, 11, 12).

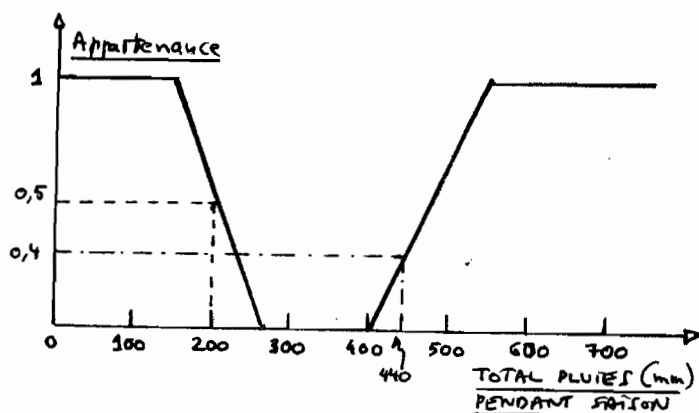


Figure 10 : Ensemble flou caractéristique de conditions extrêmes annihilant les récoltes

L'ensemble ci-dessus représente la fonction d'appartenance $u(x)$ de conditions extrêmes de précipitations avec x la quantité de pluie tombée pendant la saison des pluies. La valeur minimum d'appartenance étant 0 et la valeur maximale étant 1 c'est à dire 100%.

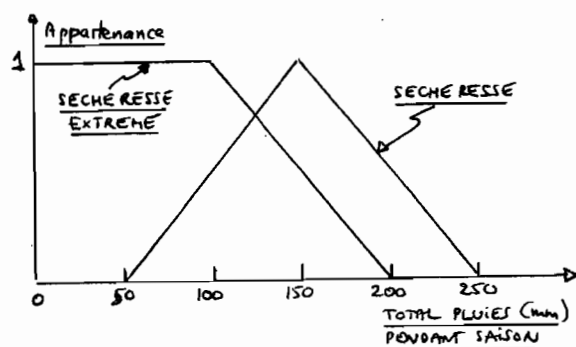


Figure 11 : Ensembles flous caractéristiques de conditions de sécheresse et de sécheresse extrême

De même que les ensembles caractéristiques de sécheresse et sécheresse extrême, on peut établir des ensembles caractéristiques de pluies excessives et extrêmes, comme schématisé ci-dessous dans la figure 12.

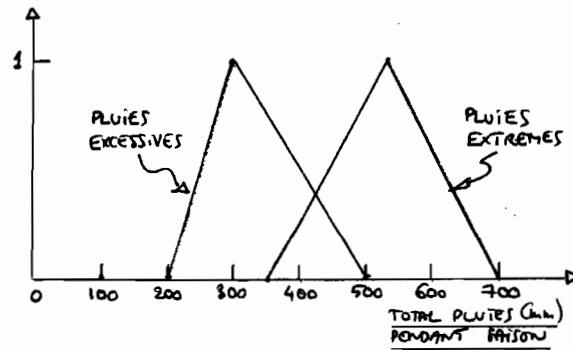


Figure 12 : Ensembles flous caractéristiques de conditions de pluies excessives et de pluies extrêmes

Les ensembles flous ci-dessus ont été déterminés à partir de données pluviométriques de la période instrumentale.

On peut aussi définir des ensembles flous à partir d'autres données ; par exemple les dates de début et de fin d'une saison pluvieuse.

Les précipitations sont aussi classées selon leur période d'apparition (voir Figures 12 et 13 ci-dessous) représentés comme des fonctions trapézoïdales, dites flous qui représentent une saison des pluies précoce (P), normale (N) ou tardive (T) en utilisant l'échelle de temps journalière. Dans la pratique il a été établie per A. Gioda, en accord avec les ingénieurs du SENAMHI qu'une saison des pluies est :

- **Précoce** lorsque les premières averses ont lieu entre Septembre et Novembre.
- **Normale** lorsque les premières averses ont lieu entre Décembre et Février ou bien lorsque aucune information significative a été rencontré pour cette année.
- **Tardive** lorsque une sécheresse a été mentionné avant l'arrivée de la pluie.

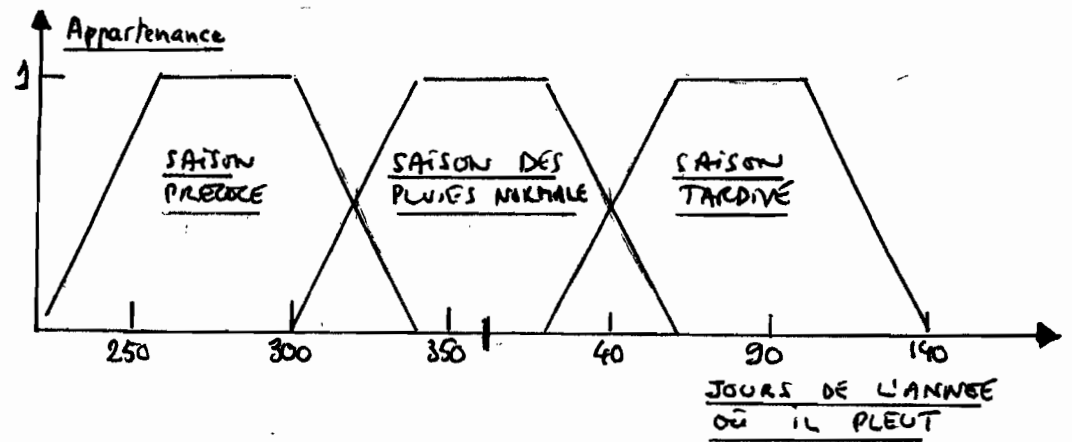


Figure 13 : Ensembles flous des nombres flous correspondant à l'arrivée de la saison des pluies.

Duckstein a démontré comment on pouvait relier des ensembles flous ainsi définis à des indicateurs qualitatifs issus de l'analyse des archives. Voici des indicateurs possibles :

Indicateurs de sécheresse :

- Récoltes moins bonnes que la normal pour cause de manque d'eau
- Augmentation du prix des denrées alimentaires
- Restrictions quant à l'utilisation de l'eau
- Rogations pour l'arrivée de la pluie

Indicateurs de sécheresse extrême :

- Récoltes très faibles
- Mort du bétail
- Pénurie de denrées alimentaires
- Coupure d'eau pendant certaines heures de la journées
- Nombreuses rogations après la saison des pluies

Indicateurs de pluies excessives :

- Destruction de toitures
- Destruction d'une partie des récoltes à cause des précipitations
- Longues périodes de pluie ininterrompue
- Personnes emportées par des rivières
- Dégradations inhabituels des routes

Indicateurs de pluies extrêmes

- Destruction d'habitations entières
- Destruction quasi totale des récoltes
- Certaines rivières sortent de leur lit et emporte des habitations
- Les lagunes menacent de déborder
- Tous les chemins sont impraticables
- Fortes chutes de pluie pendant de longues périodes
- Forte chutes de pluies pendant la saison sèche

Le tableau qui suit montre comment différents indicateurs sont associés à des ensembles flous. Les exemples donnés sont indicatifs, et non pas limitatifs.

Degré	Description Linguistique	Exemples d'effets phénologiques	Exemples d'effets hydrodépendants	Jour de l'année (n°)	Ensemble flou
Précoce (P)	Pluie avant la saison normale	Les semences ont pourri avant la germination	Les lagunes sont déjà pleines	230-320	(220,260,300,340) _{Tr}
Normale (N)	Pluies habituelle	Rien n'est mentionné	Nombreux éboulement sur la chaussée	321-45	(300,340,15,65) _{Tr}
Tardive (T)	La pluie arrive tard cette année	Mauvaise récoltes	Les lagunes tarde à se remplir	46-135	(15,65,105,140) _{Tr}

Figure 14 : Trois périodes d'arrivée de la saison des pluies et leur nombre flous correspondants

Une fois les indicateurs et leurs ensembles flous correspondants établies, on peut construire des algorithmes logiques tels que :

Si l'indice $x(1)$ de précipitation est bas ET l'indice $x(2)$ d'humidité est normal ET l'indice $x(3)$ des récoltes est faible, ALORS on peut qualifier cette période de sèche.

Plusieurs algorithmes de ce type devront donc être programmés par informatique étant donnée la quantité d'information à traiter afin de pouvoir obtenir les résultats définitifs sur toutes les régions concernés par l'étude et ainsi voir les corrélations éventuelles entre le climat des Andes centrales et les phénomènes ENSO.

Toutefois des premiers résultats, que nous verrons dans la partie suivante peuvent apparaître à ce stade de l'étude.

3.2. Résultats et interprétations

3.2.1. Identification des variations climatiques à Potosi

La pluviosité dans la région de Potosi de 1825 à nos jours peut être observée dans la Figure 15 ci-dessous qui a été réalisée avec les données interprétées dans l'annexe 4, elle permet de visualiser les périodes sèches et humides à l'aide de l'échelle décrite précédemment allant de (-2) à (+2). Bien que l'homogénéisation entre les données pré-instrumentales et instrumentales ne soit pas définitive les deux périodes ont été intégrées à ce graphique afin d'avoir une première idée des résultats sur une série plus longue.

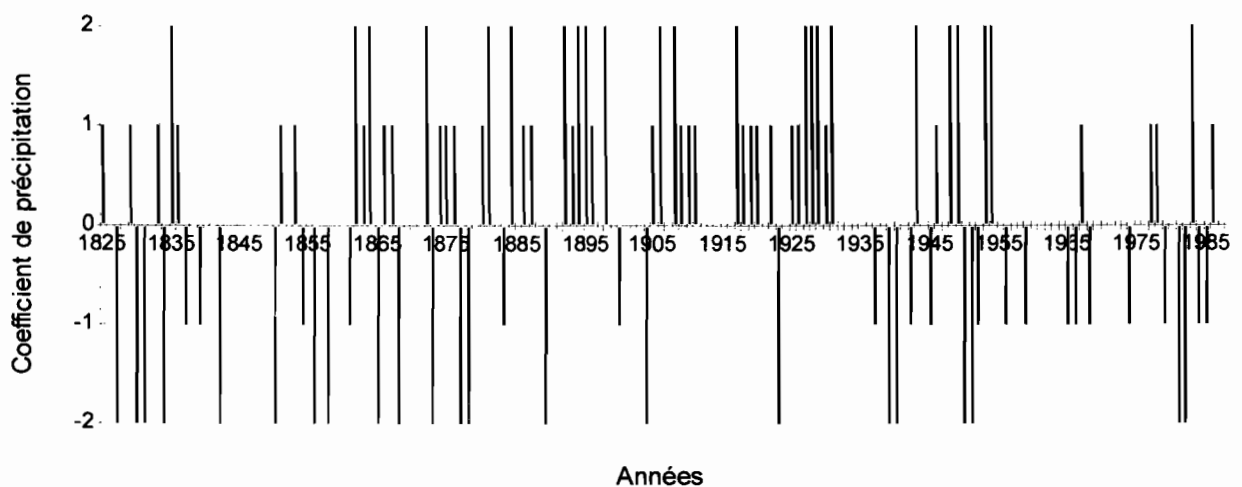


Figure 15 : Indices des précipitations dans la région de Potosi de 1825 à 1987

Aucun cycle météorologique évident n'est observable sur ce graphique. De plus, on voit qu'il y a en réalité assez peu d'années « normales » (coefficient zéro), ce qui pourrait nous amener à douter de la notion de normalité.

Toutefois on peut remarquer qu'une période d'environ 70 ans allant de 1863 à 1933 se caractérise par un nombre important d'années très humides avec assez peu d'années sèches et très sèches.

Ce graphique semble confirmer que le nombre d'années sèches a été important, voire en augmentation depuis une trentaine d'années mais une période semblable et même encore plus sèche a aussi existé de 1825 à 1862.

Il faut noter que ces observations ne peuvent avoir aucune valeur dans la mesure où d'autres analyses plus complètes devront être réalisées une fois le travail de récolte des données achevé. Une homogénéisation des données de toutes les périodes historiques par les méthodes de la logique floue ainsi qu'un recoupement des données de toutes les régions est essentiel afin d'obtenir une interprétation valable.

De plus une validation de ces informations doit être effectuée avec des séries obtenues par d'autres techniques paléoclimatologiques telles que l'étude des glaces menée par d'autres chercheurs de l'IRD.

3.2.2. Relation entre les phénomènes ENSO et les sécheresses

D'après Quinn (1987) qui a effectuée des recherches à partir de données historiques et des données instrumentales de SST (Sea Surface Temperatures) issues de stations situées le long des côtes péruviennes, cent vingt épisodes El Niño ont été identifiés depuis 1525 date à laquelle sont arrivés les espagnols dans cette région⁹. Neuf El Niño sont qualifiés de très forts, y compris celui de 1982-1983. Avec le dernier épisode de 1997-1998, on en compte alors 10. Sur la période allant de 1825 à nos jours (Figure 16) on trouve 5 événements très forts.

Selon Ortlieb (1998) qui utilise la même méthode que Quinn mais qui est plus circonspect dans l'attribution des anomalies climatiques à El Niño, le nombre d'épisodes El Niño est beaucoup plus faible.⁸

La figure 16 indique les épisodes El Niño depuis 1825 selon Quinn et al. (1987) ainsi que l'intensité de chaque événement.⁹

Les six catégories utilisées pour décrire l'intensité sont les suivantes :

- 0 : Neutre ou froid
- 1 : Faible modéré
- 2 : Modéré
- 3 : Modéré +
- 4 : Fort
- 5 : Fort +
- 6 : Très fort

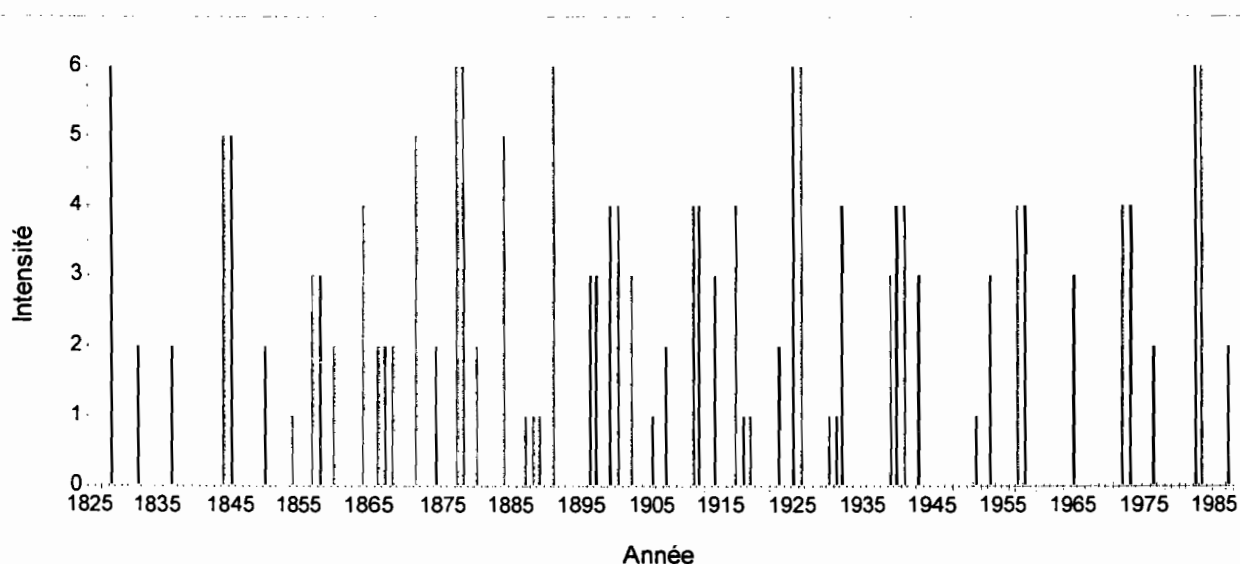


Figure 16 : Intensité des phénomènes ENSO de 1825 à 1987 selon Quinn et al. (1987)⁹

Sur la période 1825-1987 seul 36,6% des années de sécheresse à Potosi correspondent à des événements El Niño dont les grandes sécheresses de 1878-1879 et 1982-1983. De plus, 40,4% des années humides sont corrélés avec les événements de El Niño donc à l'échelle annuelle il n'y a pas de relations stables entre El Niño et la sécheresse ou les pluies torrentielles dans la région

de Potosi. La présence d'El Niño sur les côtes péruviennes et équatorienne ne cause donc pas forcément des sécheresses ou des pluies torrentielles dans les Andes Boliviennes l'absence de relation entre le phénomène El Niño et le cumul des précipitations annuelles se vérifie aussi à La Paz sur les observations effectuées depuis 1898 à l'observatoire météorologique de San Calixto (Ronchail et Gioda, 1999). Même sur les côtes du nord du Chili, pourtant sur la côte Pacifique, la conclusion a été la même après une étude des pluies depuis le 19^{ème} siècle réalisée par Ortlieb (1995).

CONCLUSION

Cette étude a permis d'apporter un élément dans la reconstitution du climat andin et sera intégrée aux projets menant à la compréhension des phénomènes ENSO. Les techniques paléoclimatologiques montrent que la connaissance des phénomènes climatiques progresse pas à pas, chaque technique s'appuyant sur des méthodes développées dans sa propre discipline mais aussi dans les autres disciplines.

Ainsi la paléoclimatologie historique s'appuie sur deux sciences qui sont en apparence radicalement opposées ; l'histoire, science humaine et la météorologie, généralement associée aux modèles mathématiques. La connaissance du climat du passé est essentielle à la compréhension du présent et il serait absurde de négliger la mémoire du climat transcrite par nos ancêtres.

Le retour sur le passé permet de prendre du recul par rapport aux catastrophes climatiques telles que celles survenues depuis ces vingt dernières années qui ont été perçues comme étant d'une rare violence. Toute conclusion sur une causalité proche doit être considérée avec beaucoup de précautions car l'important est de comprendre ces phénomènes dans toutes leurs dimensions.

De plus, l'interprétation des résultats ne peut être valable que par le croisement de différentes techniques statistiques classiques ou plus récentes telles que la logique floue.

Références Bibliographiques

Documents d'archives

- ABNB: *Archivo y Biblioteca Nacional de Bolivia*, Sucre.
- ABAS: *Archivos y Biblioteca Arzobispal de Sucre*
- AACP: *Actas de los Acuerdos del Cabildo de Potosí*.
- AHP: *Archivo Histórico de Potosí*, Potosí.

Bibliographie

1. L'état du Monde - Annuaire économique et géopolitique mondial - Editions La Découverte, 1998. – 704p.
2. B. Francou. - Des glaciers voués à la disparition. - Pour la science, n°281, 2001. - 21p.
3. Thompson et al. - A 25 000-year tropical climate history from Bolivian ice cores. - Science, n° 282, 1998 .
4. Gioda A. et Serrano C. - L'argent de l'ancien Pérou. - Pour la Science n° 259, p.42-47, 1998. – 6p.
5. Gioda A. et Dory D. - El Niño, Bartolomé Azans y Francisco de Viedma. - Los Tiempos Cochabamba et El Correo del Sur, Sucre, 8 marzo, 1998. – p.8-9.
6. Gioda A. et Prieto M. - Histoire des sécheresses andines. - La Météorologie 8^e série, n°27, 1999. - p.33-42.

7. Ortlieb L. – Eventos El Niño y episodios lluviosos en el desierto de Atacama : el registro de los últimos siglos. – Bull. Inst. Fr. études andines, 24, 519-939, 1995. – 20p.
8. Ortlieb L. - Historical reconstructions of Enso events from documentary sources from Chile, Peru, Brazil, and Mexico. - Pole-Equator-Pole paleoclimate for the Americas, Science meeting, Merida, March 1998. - 6p.
9. Quinn W.H., V.T. Neal, and S.E. Antunez de Mayolo. – El Niño occurrences over the past four and a half centuries. – J. Geophys. Res., 92, 14449-14461, 1987 – 12p.
10. Prieto M. et al. - Clima y disponibilidad hídrica en el Sur de Bolivia y Noroeste Argentino entre 1560 y 1710. - Actas del 3 Simp. Sudamer. : Paleoecología, desarrollo del paisaje y del clima de la diagonal árida sudamericana en el Cuaternario superior, Bamberg, sous presse, 1999. – 9p.
11. Bradley, R.S. and Jones P.D. (eds). - Climate since A.D. 1500. - Routledge, London, 1992.
12. Dunbar et al. - Eastern Pacific sea surface temperature since 1600 A.D. ; the ¹⁸O record of climate variability in galapagos corals. - Paleoceanography, n°9. 1994 . - p. 291-315.
13. Cook E.R. - Using tree rings to study past El Niño/Southern Oscillation influences on climate. - Cambridge University Press, New York, 1992. - p.203-214.
14. Le Roy Ladurie. E. - Histoire et climat. - Annales ESC, p.3-34, 1959.
15. Le Roy Ladurie. E. - La conférence d'Aspen. - Annales ESC, 764-766, 1963.

16. Le Roy Ladurie. E - Histoire du climat depuis l'an mil. - Flammarion, 2^{ème} ed.1983. 1967.
17. Pfister Ch. - Klimageschichte der Schweiz 1525-1860. - Paul Haupt, Bern. 1988.
18. Barriendos Vallvé M. - El clima historico de Catalunya (siglos XIV-XIX), métodos y primer resultados. - Revista de Geografia vol.XXX-XXXI, 1997. - p.69-96.
19. Alexandre P. – Le climat en Europe au Moyen Age. – Ecole des Hautes études en sciences sociales. –Paris, 1987
20. Duckstein L. - Use of fuzzy Logic to encode archival climate research uncertainty. - UNESCO, IHP-V, TD n °17, Paris, 1998. - 47 p. + 4 annexes.
21. Ronchail J. – Variabilité pluviométrique lors des phases extrêmes de l'Oscillation Australe du Pacifique en Bolivie (1950-1999). – Bull. Inst. Fr. études andines, 27, sous presse. - 1999
22. Kosko B. et Isaka S. - La logique floue. - Pour la science n°191, p.62-68, 1993. - 7p.
23. Bouchon-Meunier B. - La logique floue. - Presses universitaires de France, série « Que sais-je ? », 1993. - 128p.
24. Instituto Nacional de Estadística Boliviano. - Atlas geográfico de Bolivia. - 1982. - 258 p.
25. U.S National Report to IUGG. - The Role of the Paleo-Sciences in understanding climate system dynamics. - Rev. Geophysics Vol 33 Suppl., 1994 .

Sites internet :

<http://www.ird.fr>

Site de l'I.R.D. (Institut de Recherche pour le Développement)

<http://www.noaa.gov>

Site de la N.O.A.A. (National Oceanic and Atmospheric Administration)

<http://www.un.org>

<http://www.un.org>

Site des Nations Unies, Section cartographie

<http://www.fao.org>

Site de la F.A.O. (Food and Agriculture Organisation)

<http://www.cia.gov>

Site de la C.I.A. (Central Intelligence Agency)

TABLE DES ILLUSTRATIONS

FIGURE 1 : CARTE DE BOLIVIE.....	6
FIGURE 2 : TABLEAU COMPARATIF DU DEGRÉ DE DÉVELOPPEMENT DE CERTAINS PAYS D'AMÉRIQUE LATINE EN 1995	7
FIGURE 3: DEUX FOREUSES PLACEES SUR UN GLACIER.....	12
FIGURE 4: UN ECHANTILLON DE CAROTTE DE GLACE.....	12
FIGURE 5: VUE DE POTOSI ET DE L'ALTIPLANO.....	15
FIGURE 6 : CARTE DE BOLIVIE EN 1825	18
FIGURE 7 : CARTE DU DEPARTEMENT DE POTOSI	20
FIGURE 8 : LES DIFFERENTS ETAGES ECOLOGIQUES EN BOLIVIE	21
FIGURE 9 : FORMULAIRE DE CLASSIFICATION DES INFORMATIONS	30
FIGURE 10 : ENSEMBLE FLOU CARACTÉRISTIQUE DE CONDITIONS EXTRÊMES ANNIHILANT LES RÉCOLTES	34
FIGURE 11 : ENSEMBLES FLOUS CARACTÉRISTIQUES DE CONDITIONS DE SÉCHERESSE ET DE SÉCHERESSE EXTRÊME	34
FIGURE 12 : ENSEMBLES FLOUS CARACTÉRISTIQUES DE CONDITIONS DE PLUIES EXCESSIVES ET DE PLUIES EXTRÊMES	35
FIGURE 13 : ENSEMBLES FLOUS DES NOMBRES FLOUS CORRESPONDANT À L'ARRIVÉE DE LA SAISON DES PLUIES.	36
FIGURE 14 : TROIS PÉRIODES D'ARRIVÉE DE LA SAISON DES PLUIES ET LEUR NOMBRE FLOUS CORRESPONDANTS	37
FIGURE 15 : INDICES DES PRÉCIPITATIONS DANS LA RÉGION DE POTOSI DE 1825 À 1987	39
FIGURE 16 : INTENSITÉ DES PHÉNOMÈNES ENSO DE 1825 À 1987 SELON QUINN ET AL. (1987)	41

TABLE DES ANNEXES

Annexe 1 : Synthèse sur les principes de La Logique Floue

Annexe 2 : Article publié dans «The Economist» daté du 30 Sept 2000 intitulé « In praise of Bayes ».

Annexe 3 : Article publié dans le journal Facetas daté du 27 Avril 1997 intitulé : « Por que este diluvio desde Octubre ? » (B. Francou et A. Gioda)

Annexe 4 : Extrait (1875-1880) Tableau récapitulatif des données utilisées pour la caractérisation des années.

Annexe 5 : Etat de la reconstruction du climat de Potosi de 1825 à 1999.

Annexe 6 : Liste complète des archives paroissiales et journaux lus par J. Gavignet.

**Annexe 1 : Article publié dans le journal Facetas daté du 27 Avril 1997
intitulé : « Por que este diluvio desde Octubre ? »
(B. Francou et A. Gioda)**

El verano, 1996-97, se caracteriza por lluvias torrenciales en los departamentos de Beni, Pando y Santa Cruz. Precipitaciones intensas en los Andes de Bolivia. Una temporada de lluvias que empezó en octubre y se manifestó en enero, febrero y marzo con lluvias continuas y fuertes que no parecen terminadas en este mes de abril. En todas las regiones del país, los daños son importantes. En el Oriente, el sector de la agricultura sufre excesos de agua, las viviendas, los caminos y los gasoductos son seriamente deteriorados. En las ciudades como La Paz y Potosí, los perjuicios se evalúan en miles de dólares debidos a las crecidas de los ríos y a los derrumbes.

CRISIS CLIMATICA

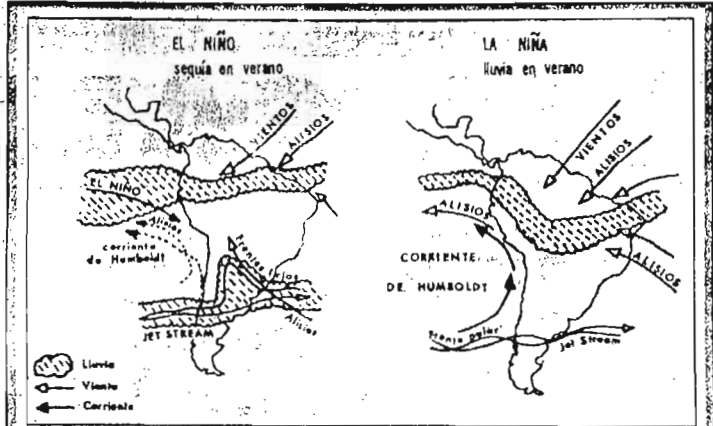
Estos acontecimientos no son nuevos. Ya en 1983, el país había sufrido una crisis climática. Por ejemplo, el Chapare y la región de Santa Cruz conocieron inundaciones catastróficas, puentes arrastrados por ríos enfurecidos, poblaciones completamente borradas del mapa, fue el caso de Todos Santos, puerto del Chapare cuyas ruinas han desaparecido pocos años después invadidas por la selva. En 1986, cayeron tantas lluvias en el Altiplano y la Cordillera Real que el nivel del Titicaca subió de más de 1 metro 50 centímetros, destruyendo parcialmente el puerto de Guaqui y provocando perjuicios importantes en la agricultura de las orillas del lago.

Sin embargo, los años malos con sequías graves se cuentan por decenas. En 1983, mientras que el Oriente registraba lluvias torrenciales, el Altiplano y la Cordillera Real sufrían una sequía excepcional, una de las peores del siglo: el Titicaca perdió más de un metro de agua, el Altiplano se volvió color gris, quemado por el sol y por falta de pasto y agua. Las comunidades campesinas tuvieron que matar miles de ovejas y llamas. El Lago Poopó se transformó en un charco, casi un salar. En la ciudad de Potosí, se agotaron peligrosamente las reservas de agua de las lagunas. Los glaciares de la Cordillera Real sufrieron un derretimiento acelerado. Esos ejemplos se han reproducido, aunque menos acentuados, en 1987 y 1991. Desde esa última fecha, con excepción de 1993, el Altiplano ha permanecido con una tendencia a la sequía, la cual también se ha extendido a varios departamentos del Oriente, como Beni en 1996.

Una región que padece más que cualquier otra de esta falta de agua recurrente, es el valle de Cochabamba. Ese problema es tan serio que podría dificultar el desarrollo económico de la capital del valle.

DE LOS RIESGOS NATURALES A LOS CAPRICHOS DEL CLIMA

Sin contestación posible para el hombre, los riesgos naturales mayores en Bolivia son relacionados a los caprichos del



CLIMA
¿Por qué ese diluvio desde octubre?

clima. Y la pregunta que surge es: ¿Existe una explicación racional a tantas irregularidades climáticas? ¿O se tratan de acontecimientos sin ninguna relación entre ellos, solo una casualidad? A estas preguntas se puede contestar por la negativa, ya que, se sabe ahora que uno de los más importantes factores de variabilidad del clima para Bolivia y para toda la América del Sur, se ubica en el Pacífico y tiene un nombre: la Oscilación del Sur (o Southern Oscillation en inglés).

La Oscilación del Sur es un ciclo irregular con una frecuencia extrema de 3 a 7 años que provoca anomalías importantes en la distribución de las precipitaciones, las temperaturas y los vientos en América del Sur, y más allá hacia Europa, Asia y África. Esta oscilación influye sobre la temperatura del mar y su manifestación más conocida es la corriente marina "El Niño", llamada así porque muchas veces aparece durante los tiempos de Navidad. Ella trae aguas cálidas hacia las costas ecuatorianas y peruanas donde afectan profundamente el clima durante algunos meses y pueden provocar desastres naturales. Por eso se habla comúnmente de los eventos ENSO ("El Niño" - Southern Oscillation). A partir de un estado de equilibrio poco estable, la Oscilación Sur tiene dos situaciones extremas inversas: una llamada el ENSO negativo ("El Niño"); la otra llamada el ENSO positivo ("La Niña").

En la situación "normal" o de equilibrio, bastante rara, existe un campo de bajas presiones en la parte oeste del Pací-

fico tropical sobre Indonesia y un campo de altas presiones al lado este abarcando las costas del Perú. Esas altas presiones del Pacífico oriental son responsables de los alisios (vientos suaves tropicales del este) soplados del sur-este hacia el nordeste, que impulsan la corriente fría de Humboldt que bordea las costas chilenas y peruanas. Esas aguas frías se dirigen hacia el oeste pasando al sud del Ecuador donde se calientan poco a poco. La convergencia de los alisios del Pacífico boreal y austral se produce al norte de la línea ecuatorial, a nivel de América Central, una zona de convección con muchas precipitaciones. Del otro lado de los Andes, la convergencia de los alisios oscila según la temporada entre el sur del Caribe, durante el verano boreal, y una ubicación mucho más meridional que corresponde más o menos a una línea que pasa por el Beni y el centro del Brasil durante el verano austral. Los alisios del Atlántico tropical norte pasan entonces la línea ecuatorial y contribuyen a alimentar una fuerte convección en la cuenca amazónica, la cual trae lluvias en la mayor parte del territorio boliviano, particularmente sobre la fachada noroeste (Chapare y Pando).

Ahora, cuando aparece la fase negativa del ENSO ("El Niño"), los alisios del Pacífico disminuyen de intensidad, a consecuencia de un debilitamiento afectando las altas presiones cercanas de las costas peruanas. En el mismo tiempo, la presión atmosférica aumenta en el oeste del Pacífico, provocando una posibilidad seria de sequías en el norte de Australia. Como

consecuencia del debilitamiento de las altas presiones que el Pacífico orienta, una anomalía de las aguas cálidas se desarrolla en el Pacífico ecuatorial, la cual se desplaza hacia el este, tomando poco a poco la forma de una transferencia masiva de aguas cálidas del oeste al este, cerca de la línea ecuatorial. Esta potente corriente caliente toca las costas del sur del Ecuador; baja a lo largo de las costas peruanas, reemplazando las aguas frías de la corriente de Humboldt; es la famosa corriente marina "El Niño". Acompañando esas aguas cálidas, un centro de convección se desarrolla más al sur de lo "normal", que puede provocar aguaceros intensos en el desierto costero del Perú. Del otro lado de los Andes, una situación inversa se ha creado: la convección de los alisios del Atlántico se encuentra bloqueada al nivel de la línea ecuatorial y no puede penetrar profundamente en la cuenca amazónica, por la presencia de un campo de presión relativamente alto. En ausencia de una convección importante, el movimiento del aire húmedo generador de precipitaciones en dirección a los Andes de Bolivia y del Perú aparece debilitado. En Pando y una parte del Beni existe un cierto grado de déficit de lluvias que se agudiza en los valles interandinos y en el Altiplano. A este déficit se suma en los Andes el efecto de una temperatura más elevada que lo "normal", vientos de altura fuertes y secos viniendo del oeste que acentúa el proceso de evaporación y transpiración de las plantas y el derretimiento del hielo de los glaciares. Pero, la situación puede ser muy diferente en los llanos del sur de Bolivia. El calentamiento del Pacífico tropical ha provocado una activación del frente polar austral y una aceleración del Jet Stream subtropical (vientos fuertes viniendo del oeste, ubicados a 10 km. de altura). Esta situación favorece la creación de frentes fríos que suben a los llanos meridionales de Bolivia y del Brasil (los surazos), particularmente activos durante el invierno que sigue "El Niño". Como permanecen presiones relativamente altas en la Amazonia, los frentes fríos no pueden subir hacia el norte, y este bloqueo del aire cálido levantado por el aire frío provoca lluvias intensas y durables sobre toda la cuenca del Río Paraná. Así que, mientras que el Altiplano padece de una tendencia a la sequía, casi al mismo tiempo, el Chaco, la región de Santa Cruz o la Chiquitania pueden registrar lluvias torrenciales.

En la fase positiva del ENSO ("La Niña"), la situación descrita como "normal" se acentúa. El Pacífico tropical en frente del Perú se vuelve muy frío, muy seco, los alisios son fuertes y la corriente de Humboldt particularmente fuerte. Del otro lado del Atlántico, sale un flujo intenso de aire húmedo relativamente cálido y muy inestable hacia la cuenca amazónica que mantiene una convección vigorosa contra los Andes. En toda Bolivia, las lluvias son más intensas y la temporada húmeda de más

larga duración que lo "normal".

¿COMO FUE EN ESTE VERANO?

Los acontecimientos descritos anteriormente pueden ofrecer una explicación de lo que ha ocurrido estos últimos meses, es decir, una temporada de verano muy húmedo que ha afectado seriamente la economía del país. Afortunadamente existe un indicador que permite conocer cuál es la situación en el Pacífico tropical. La Oscilación del Sur se evalúa comparando los valores de presión atmosférica a nivel del mar de dos estaciones meteorológicas. La primera es ubicada en el centro-este del Pacífico: Tahiti, una isla de Polinesia. La segunda es la de Darwin mucho más en el oeste del continente australiano. Esto proporciona un índice, el Índice de Oscilación Sur (IOS), que es actualmente el mejor indicador existente de esas anomalías climáticas conocidas como fases positivas o fases negativas del ENSO.

Así podemos decir que desde 1991, estábamos en una fase negativa, que duró excepcionalmente más de 5 años, lo que es un récord de duración para este siglo. Hubo "El Niño" de 1991-92 (sequía en los Andes, lluvias intensas en los llanos de Santa Cruz), y una situación de OIS negativo (pero sin "Niño" verdadero) que mantuvo un cierto grado de déficit de lluvias y un calor anormal en los Andes de 1992, hasta los primeros meses de 1996. Los estudios de los glaciares en Bolivia, Perú y Ecuador muestran que esta situación ha sido asociada a un retroceso acelerado de los glaciares de la Cordillera Real. Así el glaciar de Chacaltaya (La Paz) ha perdido en 5 años por fusión y evaporación el equivalente de una capa de agua de más de 5 metros de espesor, y su longitud ha retrocedido de unos 56 metros. Otros estudios han mostrado que casi la totalidad de las fases negativas del ENSO en los Andes de Bolivia y del sur del Perú presenta un anomalía positiva de temperatura y un anomalía negativa de precipitaciones: 1973, 1977, 1987, fueron otros eventos ENSO y fueron secos. Pero el récord fue del evento de 1983, que resultó sumamente seco en la Cordillera Real y en el Altiplano. El provocó lluvias torrenciales en los llanos con graves inundaciones del Chapare. Al revés, "Las Niñas" (fases positivas del ENSO) fueron húmedas sobre casi todas las regiones de Bolivia: 1971, 1974, 1976, 1986 con las inundaciones del lago Titicaca y por fin 1989.

¿Es decir que, estamos actualmente embarcados en una "Niña"? Para esto, hay que verificar cómo se han orientado el Índice de Oscilación Sur (IOS) y las temperaturas de las aguas del Pacífico. Estas son actualmente más frías que lo normal y el Índice de Oscilación Sur se volvió ser positivo el año pasado. Así que se verifica que hemos entrado en la fase positiva del ENSO: "La Niña".

Annexe 2 : Liste complète des paroisses et journaux lus par J. Gavignet.

Paroisses :

PANACACHI (1837-1917)
PITANTORA (1803-1917)
POCOATA (1855-1920)
POOPO (1757-1921)
PULACAYO (1865-1916)
RAVELO (1693-1924)
SACACA (1847-1916)
SALINAS DE YOCALLA (1783-1916)
SAN ANTONIO DE LIPEZ (1688-1873)
SAN CRISTOBAL DE LIPEZ (1681-1917)
SAN PABLO DE LIPEZ (1887-1916)
SAN PEDRO DE BUENA VISTA (1760-1917)
SURUMI (1855-1917)
TACOBAMBA (1828-1920)
TALINA (1844-1920)
TARAPAYA EL MOLINO (1809-1923)
TINGUIPAYA (1783-1917)
TOLAPAMPA (1840-1920)
TOMAVE (1787-1923)
TORACARI (1827-1917)
TOROPALCA (1842-1917)
TUPIZA (1785-1917)
UNCIA (1907-1916)
UYUNI
VITICHI (1838-1917)
YURA

Journaux :

10 DE NOVIEMBRE, EL (19/06/1895 al 02/04/1897)
10 DE NOVIEMBRE, EL (20/11/1887 al 21/04/1888)
22 DE OCTUBRE, EL (07/02/1873 al 28/02/1873)
ACTUALIDAD, LA (31/01/1869 al 23/12/1870)
ALCANCE AL N 5 DEL BOLETIN OFICIAL (22/05/1876)
AMIGO DEL PUEBLO (05/04/1871 al 08/11/1872)
AMIGO DEL PUEBLO (12/04/1861 al 12/09/1862)
AURORA ESTUDIANTIL, LA (del 15/07/1894)
AURORA SOCIAL, LA (01/05/1906 al 15/06/1906)
AURORA, LA (13/05/1862 al 23/08/1862)
BANDERA DEL PORVENIR, LA (05/09/1896 al 15/08/1897)
BOLETIN DE ACTUALIDAD (del 26/03/1910)
BOLETIN DE LA LIBERTAD (24/10/1870 al 07/04/1871)
BOLETIN DE LA OPINION (del 09/03/1899)
BOLETIN DEL EJERCITO n 2 y 4 (Febrero y Mayo de 1838)
BOLETIN DEL PUEBLO (del 02/12/1907)
BOLETIN DEMOCRATA (Diciembre 1891)
BOLETIN DEPARTAMENTAL (del 19/01/1875)
BOLETIN OFICIAL n 14
CAMPANA, LA (02/09/1934 al 23/12/1934)
CATOLICO, EL (16/01/1903 al 16/06/1904)
CAUSA DE DICIEMBRE, LA (30/08/1865 al 12/12/1865)
CELAGE, EL (06/08/1849 hasta 1857)
CENTENARIO, EL (del 15/03/1925)
CENTINELA DEL LIBRE SUFRAGIO, EL (20/04/1872 al 19/06/1872)
CENTINELA DEL ORDEN, EL (30/04/1858 al 11/04/1859)
CENTINELA, LA (del 17/11/1903)
CIUDADANO, EL (17/12/1872 al 16/01/1873)
CLARIN, EL (05/05/1872 y 06/05/1872)
CLUB LIBERAL (09/08/1875 al 13/10 1875)
CLUB PATRIOTICO (15/04/1879 al 10/06/1879)
CLUB, EL (20/12/1861 al 22/02/1862)
COMBATE, EL (del 13/10/1907)
CONCILIADOR, EL (30/05/1849 al 05/07/1849)
CONCORDIA, LA (12/03/1891 al 26/04/1892)
CONCORDIA, LA (28/12/1872 al 31/10/1873)
CONSTITUCION, LA (08/03/1902 al 27/05/1902)
CONSTITUCIONAL, EL (27/10 1886 al 23/06/1887)
CORREO DE TUPIZA, EL (22/11/1914 al 07/01/1915)
CORREO, EL (22/12/1872 al 19/01/1873)
CRONICA, LA (18/04/1859 al 27/06/1859)
CULTURA, LA (del 09/10/1938)
CURIOSO, EL (del 25/1/1871)
CHOROLQUE, EL (13/09/1908 al 12/07/1912)
CHOROLQUE, EL (28/04/1876 al 05/05/1876)
DEBER, EL (03/06/1911 al 11/06/1911)
DEBER, EL (13/12/1903 al 29/04/1904)
DEMOCRACIA, LA (21/04/1923 al 17/06/1923)
DEMOCRACIA, LA (21/10/1864 al 19/08/1865)
DEMOCRACIA, LA (22/06/1919 al 26/07/1919)
DEMOCRACIA, LA (del 06/02/1921)
DEMOCRATA, EL (15/03/1871 al 10/01/1873)
DISCUSION, LA (26/11/1857 al 02/02/1858)
DOCE DE JULIO, EL (04/12/1920 al 12/12 1920)
ECO DE BOLIVIA, EL (01/02/1909 al 03/10/1909)
ECO DE BOLIVIA, EL (03/01/1868 al 24/01/1868)
ECO DE LOS LIBRES, EL (del 29/02/1908)
ECO DE POTOSI, EL (15/09/1876 y 08/11/1876)
ECO DE POTOSI, EL (27/06/1845 al 16/06/1846)
ECO DEL PROTECTORADO, EL (del 27/04/1838)
ECO DEL PUEBLO, EL (31/07/1910 al 05/02/1911)
ECO DEL SUD, EL (del 29/08/1855)
ECO PURITANO, EL (17/01/1905 al 02/02/1905)
ECO, EL (06/11/1914 al 08/01/1915)
ECOS DEL SUD (10/07/1911 al 05/07/1912)
ECOS Y NOTAS (08/11/1908 al 22/11/1908)
EPOCA CONSTITUCIONAL, LA (del 22/05/1864)
ESTANDARTE CIVIL, EL (16/10/1874 al 12/12/1874)
ESTANDARTE DEL SUD, EL (25/05/1876 al 05/0/1876)
ESTANDARTE NACIONAL, EL (16/06/1876 al 16/08/1876)
ESTUDIANTE, EL (del 05/07/1900)
EVOLUCION, LA (27/04/1919 al 06/07/1919)
EVOLUCION, LA (del 04/04/1892)
FE CATOLICA, LA (15/02/1885 al 01/02/1886)
FE POLITICA, LA (26/08/1883 al 27/03/1884)
FE SOCIAL, LA (29/01/1890 al 29/03/1890)
FEDERAL, EL (22/01/1898 al 08/12/1898)
FENIX, EL (del 24/02/1894)
FERROCARRIL, EL (31/01/1873 al 14/02/1873)
FIN DE SIGLO (01/12/1896 al 04/07/1897)
FRONTERA, LA (23/10/1898 al 07/07/1901)
FUCION, LA (28/01/1873 al 05/02/1873)
FUSION, LA (01/04/1898 al 06/08/1898)
FUSION, LA (15/12/1875 al 11/09/1877)
GACETA DEL SUD, LA (24/02/1877 al 20/12/1877)
GACETA, LA (05/04/1915 al 11/06/1916)
HONOR POTOSINO, EL (del 30/04/1872)
IDEAL, EL (18/01/1911 al 15/03/1911)
INDEPENDIENTE, EL (15/12/1907 al 03/05/1908)
INDEPENDIENTE, EL (22/03/1871 al 22/10/1871)
INDUSTRIAL, EL (22/09/1890 al 01/01/1891)
INDUSTRIAL, EL (23/09/1908 al 02/05/1909)
KRUPP, EL (22/02/1873 al 14/03/1873)

LIBERAL, EL (del 13/04/1908)
 LIBERTAD, LA (06/03/1863 al 01/07/1863)
 LIBERTAD, LA (14/04/1920 al 17/06/1920)
 LINEA RECTA (20/07/1930 al 24/08/1930)
 LIRA, LA (21/03/1891 al 31/05/1891)
 LITERATO, EL (del 15/03/1872)
 LITORAL, EL (del 29/10/1902)
 LUCHA, LA (23/07/1921 al 02/10/1921)
 LUCHA, LA (del 16/10/1927)
 LUZ (del 19/06/1932)
 METRALLA, LA (14/03/1896 al 28/03/1896)
 MICROBIO, EL (del 01/02/1887 y del 04/03/1887)
 MINERAL, EL (11/10/1901 al 14/10/1904)
 MINERO, EL (25/08/1855 al 16/01/1856)
 MONTANA, LA (13/04/1924 al 11/05/1924)
 NACION, LA (01/06/1919 al 13/01/1924)
 NUEVA ERA DE BOLIVIA, LA (28/12/1848 al 28/05/1849)
 OPINION, LA (del 29/08/1856)
 ORDEN Y PROGRESO, EL (16/05/1853 al 12/06/1854)
 ORDEN Y PROGRESO, EL (del 10/08 1868)
 ORDEN, EL (14/03/1865 al 30/04/1865)
 ORDEN, EL (25/05/1902 al 17/12/1902)
 PAGINAS LIBRES (06/10/1910 al 19/03/1911)
 PAIS, EL (03/03/1881 al 20/07/1881)
 PALABRA, LA (14/07/1897 al 06/11/1898)
 PALABRA, LA (del 18/03/1908)
 PANTEON DEL ROJISMO, EL (del 08/12/1865)
 PESTE, LA (del 02/10/1898)
 PICHINCHA, EL (del 14/11/1920)
 PORCO EN CAMPAGNA (del 31/03/1879)
 POTOSI COMICO (del 01/05/1895)
 POTOSI DEPORTIVO (06/08/1927 y 06/05/1928)
 POTOSI, EL (22/03/1838 y 15/05/1838)
 POTOSI, EL (del 03/09/1881)
 POTOSINO, EL (del 30/05/1894 y 13/09/1894)
 PRENSA, LA (del 16/12/1923)
 PROGRESO, EL (30/05/1870 al 25/07/1870)
 PROGRESO, EL (del 16/11/1870)
 PROGRESSO, EL (16/08/1910 al 25/05/1911)
 PUEBLO, EL (01/06 y 20/06 de 1857)
 PUEBLO, EL (17/01/1873, alcance al numero 3)
 PURITANO, EL (02/12/1901 al 07/12/1901)
 RADICAL, EL (25/05/1897 al 21/05/1900)
 RAZON LIBRE, LA (07/05/1906 al 25/05/1906)
 RAZON, LA (06/09/1912 al 25/10/1914 y del 23/07/1916)
 RAZON, LA (20/01/1906 AL 27/01/1906)
 REGENERACION, LA (del 01/01/1901)
 REGISTRO MUNICIPAL (01/01/1871 al 30/10/1871)
 REGISTRO MUNICIPAL (01/02/1870 al 01/08/1870)
 RELAMPAGO, EL (04/01/1862)
 RELAMPAGO, EL (21/11/1901 al 10/12/1902)
 RELAMPAGO, EL (22/11/1903 al 30/12/1903)
 RENOVACION (del 29/08/1927)
 REORGANISACION, LA (del 27/04/1871)
 REPERTORIO DE NOTICIAS (del 05/05/1873)
 REPERTORIO OFICIAL (01/08/1867 al 16/11/1867)
 REPRODUCCION (del 24/03/1863)
 REPUBLICA, LA (19/11/1894 al 13/06/1895)
 REPUBLICA, LA (23/12/1872 al 19/02/1873)
 REPUBLICANO, EL (05/12/1909 al 10/07/1910)
 REPUBLICANO, EL (06/02/1921 al 01/01/1922)
 REPUBLICA, LA (25/05/1919 al 28/07/1919)
 REVISTA DE POTOSI (17/11/1859 al 27/11/1860)
 REVISTA DEL SUD (03/01/1878 al 03/09/1879)
 REVISTA MINERA (del 22/09/1902)
 REVISTA MINERA, LA (del 21/11/1895)
 REY QUE RABIO, EL (19/04/1904 y 08/05/1904)
 SACERDOTE, EL (08/03/1860 y 03/04/1860)
 SEIS DE AGOSTO, EL (del 06/02/1898)
 SIGLO, EL (Junio 1904)
 SITIADO, EL (9 ,10 y 11 de Junio 1889)
 SITUACION, LA (02/02/1861 al 02/03/1861)
 SOL, EL (03/07/1905 al 13/05 1911)
 SOL, EL (15/07/1920 al 30/07/1920)
 SOL, EL (27/01/1926 al 09/12/1926)
 SOL, EL (del 10/12/1925)
 SUD, EL (01/01/1926 al 25/05/1926)
 SUD, EL (12/01/1908 al 28/04/1908)
 TIEMPO, EL (10/01/1885 al 08/02/1918)
 TIEMPOS, LOS (del 10/11/1882)
 TIERRA CHICA (16/01/1927 al 03/02/1929)
 TRANSMISION LEGAL, LA (19/07/1884 al 25/09/1884)
 TRIBUNO DEL SUD, EL (24/12/1865 al 20/02/1867)
 ULTIMAS NOTICIAS, LAS (01/09/1910 al 15/09/1910)
 UNION, LA (18/09/1894 al 29/09/1894)
 VERDAD CATOLICA, LA (10/08/1897 al 28/08/1900)
 VERDAD CATOLICA, LA (29/01/1878 al 31/07/1878)
 VERDAD, LA (12/05/1871 al 15/06/1871)
 VERDAD, LA (15/11/1883 al 24/08/1886)
 VIBRACIONES (10/05/1927 al 27/05/1927)
 VIBRACIONES (19/06/1926 al 01/11/1926)
 VICUNA, LA (del 10/11/1909)
 VIDA ESCOLAR (del 10/04/1927)
 VIOLETA, LA (del 15/07/1898)
 VOX POPULI (del 27/08/1930)
 VOZ DE LOS LIBRES, LA (16/08/1866 al 10/10/1866)
 VOZ DEL SUD, LA (27/04/1924 al 21/09/1924)
 VOZ DEL SUD, LA (28/08/1921 al 27/10 1921)
 VOZ LIBERAL, LA (17/07/1901 al 08/01/1902) y 05/09/1897 al 29/10/1897)
 ZAMBA CANUTA (06/01/1901 al 20/03/1901)
 ZURRIAGO, EL (06/05/1862 al 14/08/1862)

Annexe 3 : Extrait(1875-1880) du tableau de données utilisées pour la caractérisation des années.

Année	Mes	Fuente	Categoría	Cita
1875	10 feb.	ABAS, AA, Tarapaya el Molino	HUMEDO	Tarapaya. “... con el pasado y laborioso trabajo de campo y en la fuerza de la estación de lluvias...”.
1875	29 nov.	ABAS, Devociones	MALO (SECO y CALOR)	Sucre. “La falta de lluvias, el rocío del invierno y el excesivo calor han tostado los pastos y los animales caen escuálidos porque no tienen con qué sustentarse. La siembra de granos está suspensa y los pocos sembradíos de maíz que se hicieron a merced de las primeras lluvias de octubre <i>que han secado</i> con la helada y las fuertes insolaciones. Estas calamidades producirán luego el hambre y la peste y el único medio de conjurarlas es implorar con humildad la Divina clemencia de Dios mediante rogativas públicas”.
1876	21 ene.	ABAS, AA, Acchilla, Potosí	HUMEDO	Carta del 18 junio 1876. “El 21 de enero se desplomó la iglesia de Acchilla por haberse dañado dos tijeras a causa de un rayo y hubo un diluvio de más de 20 días continuados”.
1877	Enero		MALO	Enero/Chichas. “A consecuencia del mal año, los negociantes que en esta época ya sabían regresar de la R. [Republica] Argentina con tropas de animales, recién están yendo a traerlas...”.
1877	1º mayo	La Gaceta del Sur	HUMEDO	Potosí. “La agricultura y la minería ofreciéndole en abundancia... pues que le año próximo anterior no hizo más que llevar las aguas a su cause anterior, lo que felizmente se ha conseguido”.
1877	Oct, nov., dic.	Pentimalli y Rodríguez (1988).	SECO	Depto. de Cochabamba. La “peste” [paludismo] comenzó a manifestarse [primero en Arque y Tapacarí] en octubre de 1877, en esa época principió una sistemática escasez de lluvias, que se hizo crónica en 1878, originando en el campo, una dramática sequía.
1877	13 nov.		SECO	Sucre. La falta de lluvias es motivo de gran preocupación. El arzobispo manda que en todas las misas de diferentes parroquias, comunidades, monasterios, etc. se dé la oración <i>ad petendam pluviam</i> hasta nueva orden.

1878	Abril	AHCM, PD 1217.	SECO	Chayanta. Re que “remate de diezmos y primicias del presente año... no llega a la cuarta parte de su base, en consideración a la escasa lluvia...”.
1877-1878	Estación de lluvias	Omiste, 4ª ed., t. 1: 152.	SECO	Potosí. “ Los conflictos más grandes para la Municipalidad de 1878, han provenidos de no poder atender esas necesidades, por la notable escasez de agua en nuestras lagunas, debida a las pocas lluvias del año que ha fenecido [1877-78]. Memorias correspondiente a 1878 destinada a lagunas y fuentes.
1878	Julio	AHCM, PD 1206.	SECO	Chichas. “... las harinas que extraordinariamente se importan del Exterior para el consumo, y a causa del mal año que ha ocasionado la carestía de víveres, no pagan derechos de importación...”.
1878	Sept.	AHCM, PD 1218ª.	MUY SECO	Chayanta. Re bajos sueldos de empleados de Colquechaca, "donde los víveres son caros y sumamente escarzas por consecuencia del año excepcional...”.
1878	Oct.	AHCM, PD 1191.	MUY SECO	Potosí. “La situación de esta Capital, con motivo de la escasez de víveres debida al mal año agrícola, ha llegado a ser sumamente aflictiva...”; se piden harinas de Chile.
1878	Oct.	AHCM, PD 1224.	MUY SECO	Cercado (?). “... todos los vecinos del punto de la hacienda del Molino, son arrieros y tenían sus recuas, pero mas hoy se han visto todos ellos sin un solo animal, motivo de una mortandad furiosa con el mal de piojera [consecuencia] de la escasez de forraje y pastos...”.
1878	Oct.	AHCM, PD 1227.	MUY SECO	Porco. Nadie quiere rematar diezmos y primicias: las autoridades del Estado deben asumir el cargo.
1878	Marzo, abr.	Pentimalli y Rodríguez (1988).	MUY SECO	Arani (Valle Alto de Cochabamba). Ya en marzo de 1878, es decir cuando los efectos del hambre recién se manifestaban... se denunciaron amenazas contra los propietarios. Abril. “El año es malo. La seca amenaza con el hambre y por tanto debemos apelar a los trojes de los ricos para tener que comer”.
1878	Inicios del año	Gioda y Prieto (1999).	MUY SECO	“Les habitants de la ville [Potosí] demandèrent du secours et de la farine aux Chiliens en octobre 1878, cinq mois avant la guerre qui allait les opposer à ces derniers”.

1878	Dic.	Pentimalli y Rodríguez (1988).	MUY SECO	La epidemia de paludismo... se incrementó en abril de 1878, alcanzó su cúspide en junio y tocó su punto más bajo en septiembre. En diciembre, nos encontramos con un brusco incremento de la mortalidad , debido..., sobre todo a la hambruna.
1878	Oct., nov., dic.	Querezaju 1994: 38.	MUY SECO	“Las lluvias que, como todos los años, debieron comenzar a regar los campos a partir de octubre de 1878, no llegaron ni ese mes ni los siguientes. Jamás se había sufrido un castigo semejante. La tragedia se ensañó contra las valles de Cochabamba, Chuquisaca y Tarija... una epidemia de paludismo, de características excepcionalmente fuertes, se extendió por las mismas zonas”.
1879	14 ene.	Revista del Sud	MUY SECO	Potosí. “El sombrío porvenir que nos aguarda con la falta de lluvias tanto y quizá mayor en el presente año: diciembre seco casi en su totalidad y más seco aún enero, nos dan sobrado motivo para creer que este año será peor que le anterior: circunstancia doblemente fatal para Potosí, pues la prolongada suspensión de la Ribera, trae la cesación del poco trabajo que aún queda...”
1879	Feb.	AHCM, PD 1264.	MUY SECO	Porco. Re “el modo breve de poner remedio al espantoso mal de hambre e que abate este pueblo [de Porco]; hambre que ya havia causado la muerte de dos niños y un anciano en estos últimos días”; se forma “Olla del Pobre”.
1879	Feb.	AHCM, PD 1301.	MUY SECO	Chicas. Re “la efervescencia de las masas ocasionada por la crisis de escasez y carestía que sufre el país, se ha dejado sentir algo, sin duda a consecuencia de la inmigración de muchos que vienen del interior faltos de recursos y de alimentación...”.
1879	Feb.	AHCM, PD 1352.	MUY SECO	Porco. Re solicitud de recluta originario de que se le den de baja, “para que se restituya a su casa, de donde acosados por el hambre, a causa del mal año pasado que no han tenido cosecha, se había visto obligado a buscar ocupación en el cerro para hacerse de recursos y mantener su familia...”.

1879	Ene., feb.	Querezaju 1994: 38.	MUY SECO	“Las lluvias que, como todos los años, debieron comenzar a regar los campos a partir de octubre de 1878, no llegaron ni ese mes ni los siguientes. Jamás se había sufrido un castigo semejante. La tragedia se ensañó contra los valles de Cochabamba, Chuquisaca y Tarija... una epidemia de paludismo, de características excepcionalmente fuertes, se extendió por las mismas zonas”.
1879	Ene, feb., marzo	Pentimalli y Rodríguez (1988).		Arani. 1878. “El año es malo. La seca amenaza con el hambre y por tanto debemos apelar a los trojes de los ricos para tener que comer”. La epidemia de paludismo... se incrementó en abril de 1878, alcanzó su cúspide en junio y tocó su punto más bajo en septiembre. En 1879 la tasa más elevada de muertes se registró en enero-marzo..., poniendo de manifiesto... la relación mortalidad-hambruna.
1879	Primeros meses	Los Tiempos, Facetas, 8 feb. 1998.	MUY SECO	En los primeros meses de este año, sólo en la ciudad de Cochabamba se recogieron 229 cadáveres [en las calles].
1879	Junio	AHCM, PD 1354.	MUY SECO	Porco. Re colección de grano, corderos y papas: “no se aviso el número que hay por que los indios se han ido a ayudar por maíz y están en el valle por que han tenido aquí mala cosecha...”.
1879	Ago.	AHCM, PD 1357.	MUY SECO	Chayanta. Moromoro: “los pobres indios se hallan esparcidos por los valles de Mizque y Aquile, buscando maíz, por que la abundancia de lluvias, no han tenidos en sus sembradíos, y sueltos de allí tienen que ocuparse en sus siembras de papa misca que es el único fruto de los terrenos que poseen y que les proporciona el pan del día”.
1879	Oct.	AHCM, PD 1321.	MUY SECO FRIO	Chichas. “... la re colectación de forrajes en esta Provincia es muy difícil conseguir, tanto por la mala época como por haber sido agotados completamente con motivo de las remisiones a San Cristóbal de Lipez. A esto se agrega que el alfalfa verde se encuentra en pésimas condiciones por la seca y los hielos frecuentes, sin esperanza de poder conseguir sino a fines de noviembre o principios de diciembre”.

1879	Sin mes	Gioda y Prieto (1999).	MUY SECO	“Une grande partie du département de Potosí fut sinistrée en 1878-79 (Chichas, Chayanta, Porco). Les habitants de la ville demandèrent du secours et de la farine aux Chiliens en octobre 1878, cinq mois avant la guerre qui allait les opposer à ces derniers”.
1879	12 nov.	ABAS, A.A., Parr. San Pedro.	NORMAL	Potosí. “... sus techos amenazan una próxima ruina si no se reparan antes que llueva más...”.
1880	Abril	AHCM, PD 1397.	NORMAL	1880/Abril/Porco. Re acopio de cebada: “Si hay alguna tardanza será por que recién están en cosechas. El precio hemos fijado a 3 \$ [bolivianos ?] qql. por que creí que el año era regular en productos”.
1880	10 nov.	ABAS, AA, Devociones	MUY SECO	Sucre. Ante la falta total de lluvias el prefecto de Chuquisaca escribe al arzobispo de La Plata pidiéndole ordene se hagan rogativas públicas.
1880	2 dic.	ABAS, AA, Devociones	MUY SECO	Sucre. “Se siente la necesidad de lluvias y hay amenaza de hambre y peste. El arzobispo ordena se hagan oraciones y rogativas solemnes... y que en las misas se diga la oración <i>ad petendam pluviam</i> mientras dure esta necesidad”.

Annexe 4 : Etat de la reconstruction du climat de Potosi de 1825 à 1999.

Years	RAINY SEASON	Quantity of data	Confidence rating	References and notes
1825-26	WET	1	3	Potosi
1826-27	NORMAL	2	3	Potosi (normal in Chayanta and Oruro)
1827-28	VERY DRY	0	2	Very dry in La Paz y Cochabamba
1828-29	NORMAL	0	1	Normal in La Paz
1829-30	LATE-WET	1	3	Potosi (wet in Chayanta and normal in La Paz)
1830-31	VERY DRY	2	3	Potosi (Very dry in Lipez, Chichas and La Paz)
1831-32	VERY DRY	3	3	Potosi (very late-normal?). Very dry in La Paz
1832-33	NORMAL	3	3	Potosi
1833-34	WET	3	3	Potosi (wet in Chayanta and Lipez)
1834-35	VERY DRY	3	3	Very dry in Porco and Chichas
1835-36	VERY WET	3	3	Very wet in Porco, Chayanta and Atacama
1836-37	WET	1	2	Wet in Chichas
1837-38	EARLY-DRY	2	3	Potosi (wet until Dec.)
1838-39	LATE-NORMAL	4	3	Potosi (data also from Porco and Chayanta)
1839-40	DRY	2	3	Potosi (very dry in Sucre)
1840-41	NORMAL	1	2	Chichas
1841-42	NORMAL	1	1	Wet in Dic. in Porco
1842-43	LATE-VERY DRY	3	2	Dry in Dic. Chichas, very wet from Feb. Chayanta
1843-44	LATE-NORMAL	2	2	Porco and Chayanta
1844-45	?			
1845-46	NORMAL	1	1	Chayanta
1846-47	?			
1847-48	NORMAL	1	2	Toropalca
1848-49	?			
1849-50	NORMAL	1	3	Potosi
1850-51	VERY DRY	5	3	Potosi
1851-52	LATE-WET	4	3	Potosi (wet in Chichas and Oruro)
1852-53	NORMAL	0	2	No news in the newspaper El Celage of Potosi
1853-54	WET	2	3	Potosi
1854-55	DRY	2	2	Chayanta and Corocoro?
1855-56	NORMAL	1	2	Machacamarca
1856-57	LATE-VERY DRY	1	3	Potosi
1857-58	?			
1858-59	VERY DRY	1	2	Very dry in Dic. Sucre
1859-60	?			
1860-61	?			
1861-62	DRY	7	3	Potosi
1862-63	LATE-VERY WET	8	3	Potosi (very wet in March Chuquisaca)

1863-64	<i>WET</i>	1	2	<i>Chuquisaca</i>
1864-65	VERY WET	2	3	Potosi (Tinquipaya, Tolapampa); normal Challapata (Oruro)
1865-66	EARLY-V.DRY	3	3	Potosi and Tomave
1866-67	<i>WET</i>	1	2	<i>Chayanta</i>
1867-68	WET	3	3	Potosi and in Condo-Condo (Oruro)
1868-69	VERY DRY	1	3	Potosi and Chichas
1869-70	NORMAL	2	3	Potosi
1870-71	?			
1871-72	<i>BAD</i>	1	2	<i>Porco</i>
1872-73	VERY WET	>10	3	Potosi (Chayanta, Porco, Chichas)
1873-74	<i>VERY DRY</i>	1	2	<i>Chichas</i>
1874-75	WET	3	3	Potosi (Tarapaya and Sacaca) and Chuquisaca
1875-76	EARLY-WET	4	3	Potosi, Chayanta, Chichas, Sucre
1876-77	WET	1	3	Potosi
1877-78	VERY DRY	>10	3	Potosi and depts of Sucre, Oruro, Cochabamba
1878-79	VERY DRY	>10	3	Potosi and depts of Sucre, Oruro, Cochabamba
1879-80	NORMAL	2	3	Potosi and Porco
1880-81	WET	1	3	Potosi
1881-82	VERY WET	5	3	Potosi (Tacobamba) and Sucre
1882-83	<i>NORMAL</i>	0	1	Normal in Sucre (-0.49) but close to dry
1883-84	DRY	1	3	Potosi; dry in Sucre (-0.71)
1884-85	VERY WET	6	3	Potosi, Cochabamba, Sucre and La Paz; normal in Sucre (+0.44)
1885-86	LATE-NORMAL	7	3	Potosi and Sucre; wet in Sucre (+0.56)
1886-87	LATE-WET	5	3	Potosi and Chichas; wet in Sucre (+1.08)
1887-88	WET	4	3	Potosi and Chayanta; normal in Sucre (-0.37)
1888-89	NORMAL	2	3	Potosi (very dry in Sucre); dry in Sucre (-0.80)
1889-90	VERY DRY	6	3	Potosi and Sucre; very dry in Sucre (-1.05)
1890-91	LATE-NORMAL	8	3	Potosi and Chayanta; wet in Sucre (+0.97)
1891-92	LATE-NORMAL	4	3	Potosi; wet in Chayanta; dry in Sucre and Cochabamba; very dry in Santa Cruz and Beni; normal in Sucre (-0.43)
1892-93	VERY WET	3	3	Potosi; wet in Sucre (+0.90)
1893-94	WET	6	3	Potosi, Chayanta, South of Oruro (Condo-Condo) and Lipez; normal in Sucre (+0.10)
1894-95	VERY WET	5	3	Potosi and Otuyo; wet in Sucre (+0.60)
1895-96	VERY WET	1	3	Potosi; normal in Sucre (-0.45)
1896-97	LATE-WET	>10	3	Potosi; normal in Sucre (-0.08)
1897-98	NORMAL	7	3	Potosi (dry in Dic. Sucre; wet in 1998 in Chicas and Cinti); dry in Sucre (-0.88)
1898-99	VERY WET	6	3	Potosi (wet in the whole Bolivia)
1899-1900	NORMAL	6	3	Potosi (dry in Cochabamba and Santa Cruz); very dry in Sucre (-1.56)

1900-01	DRY	3	3	Potosi (wet in La Paz and Beni; normal in Cochabamba); dry in Sucre (-0.91)
1901-02	EARLY-NORMAL	6	3	Potosi (normal in Cochabamba); normal in Sucre (-0.31)
1902-03	<i>NORMAL</i>	4	2	<i>Porco (late-wet in Cochabamba; wet in La Paz); normal in Sucre (-0.14)</i>
1903-04	NORMAL	7	3	Potosi (normal or wet in Chayanta, Cochabamba, Tarija, La Paz); very dry in Sucre (-1.11)
1904-05	VERY DRY	>10	3	Potosi; wet after March 15, 1905; (very dry in the whole Bolivia)
1905-06	LATE-WET	7	3	Potosi (wet in Sucre, Oruro, Cochabamba and La Paz; dry in Santa Cruz)
1906-07	EARLY-VERY WET	>10	3	Potosi and the whole Bolivia
1907-08	NORMAL	7	3	Potosi (drought in Feb. in Sucre and Cochabamba)
1908-09	LATE-VERY WET	4	3	Potosi, Porco and Chayanta
1909-10	WET	6	3	Potosi
1910-11	WET	>10	3	Potosi; normal in Sucre (+0.46)
1911-12	LATE-WET	>10	3	Potosi; normal in Sucre (+0.37); wet in La Paz and Oruro; dry in Cochabamba
1912-13	NORMAL	4	3	Potosi; normal in Sucre (-0.41)
1913-14	NORMAL	6	3	Potosi; very dry in Sucre (-1.20)
Years	RAINY SEASON	Quantity of data	Confidence rating	References and notes
1914-15	LATE-NORMAL	5	3	Potosi; very dry in Sucre (-1.30)
1915-16	NORMAL	7	3	Potosi (small drought in Jan.); normal in Sucre (+0.39)
1916-17	NORMAL	5	3	Potosi; normal in Sucre (+0.01)
1917-18	VERY WET	6	3	Potosi; normal in Sucre (+0.27); very wet in Cochabamba and Santa Cruz
1918-19	<i>WET</i>	0	2	Potosi by deduction; wet in Sucre (+0.60), in Cochabamba and Tarija
1919-20	LATE-WET	1	3	Potosi; wet in Sucre (+1.40) and in La Paz
1920-21	WET	2	3	Potosi; very wet in Sucre (+1.56)
1921-22	?	0	0	Very dry in Sucre (-1.05); normal in Cochabamba
1922-23	WET	3	3	Potosi; normal in Sucre (+0.44); wet in the Altiplano and Cochabamba
1923-24	VERY DRY		3	Potosi; very dry in Sucre (-1.71)
1924-25	?	0	0	Wet in Sucre (+0.57), dry in Tarija
1925-26	<i>WET</i>	0	1	Wet in Sucre (+0.50), late-wet in Cochabamba
1926-27	<i>WET</i>	0	2	Wet in Sucre (+0.80), wet in Tarija
1927-28	<i>VERY WET</i>	0	2	<i>Very wet in Oruro, wet in Cochabamba</i>
1928-29	VERY WET	>10	3	Potosi and the whole Bolivia

1929-30	VERY WET	9	3	Potosi Chichas and Cinti
1930-31	WET	3	3	Potosi and in Cochabamba
1931-32	VERY WET	4	3	Potosi
1932-33	<i>NORMAL?</i>	0	1	Potosi; bad weather in the whole Bolivia, very wet in the Titicaca zone
1933-34	LATE-NORMAL	1	3	Potosi
1934-35	<i>NORMAL</i>	0	1	Not data about this year
1935-36	<i>NORMAL</i>	1	3	Potosi; good weather in Sucre and Santa Cruz
1936-37	<i>NORMAL</i>	4	3	Potosi; late-normal in Sucre (3 first months of 1937: 396 mm); small drought in Cochabamba
1937-38	DRY	1	3	Potosi, Altiplano, Sucre and Cochabamba
1938-39	<i>NORMAL</i>	0	1	No data about this year
1939-40	VERY DRY	3	3	Potosi and Cochabamba (drought in Feb.)
1940-41	VERY DRY	>10	3	Potosi
1941-42	LATE-NORMAL	3	3	Potosi; normal in Sucre (3 first months of 1942: 382 mm)
1942-43	<i>DRY</i>	366	1	<i>Dic.-Mar.: 253 mm (-0.60)</i>
1943-44	<i>VERY WET</i>	365	2	<i>Dic.-Mar.: 599 mm (+2.68); very wet in Sucre (+1.76)</i>
1944-45	<i>NORMAL</i>	365	1	<i>Dic.-Mar.: 361 mm (+0.43); normal in Sucre (-0.21)</i>
1945-46	<i>DRY</i>	365	1	<i>Dic.-Mar.: 211 mm (-0.90); very dry in Sucre (-2.20)</i>
1946-47	<i>WET</i>	365	1	<i>Dic.-Mar.: 427 mm (+1.05); wet in Sucre (+0.71)</i>
1947-48	<i>NORMAL</i>	365	1	<i>Dic.-Mar.: 350 mm (+0.32); wet in Sucre (+0.88)</i>
1948-49	<i>VERY WET</i>	366	2	<i>Dic.-Mar.: 572 mm (+2.42); wet in Sucre (+1.14)</i>
1949-50	<i>VERY WET</i>	365	2	<i>Di365.-Mar.: 483 mm (+1.58); wet in Su365re (+1.28)</i>
1950-51	<i>VERY DRY</i>	365	1	<i>Dic.-Mar.: 210 mm (-1.01); very dry in Sucre (-1.29)</i>
1951-52	<i>VERY DRY</i>	365	1	<i>Dic.-Mar.: 181 mm (-1.28); normal in Sucre (-0.21)</i>
1952-53	<i>DRY</i>	366	1	<i>Dic.-Mar.: 231 mm (-0.80); very dry in Sucre (-1.36)</i>
1953-54	<i>VERY WET</i>	365	1	<i>Dic.-Mar.: 657 mm (+3.23); normal in Sucre (+0.48)</i>
1954-55	<i>VERY WET</i>	365	1	<i>Dic.-Mar.: 476 mm (+1.52); normal in Sucre (-0.01)</i>
1955-56	<i>NORMAL</i>	365	1	<i>Dic.-Mar.: 265 mm (-0.49); very dry in Sucre (-1.19)</i>
1956-57	<i>DRY</i>	366	1	<i>Dic.-Mar.: 245 mm (-0.67); normal in Sucre (+0.02)</i>
1957-58	<i>NORMAL</i>	365	3	<i>Dic.-Mar.: 357 mm (+0.39); dry in Sucre (-0.59)</i>

1958-59	NORMAL	365	3	Dic.-Mar.: 324 mm (+0.07); normal in Sucre (+0.07)
1959-60	DRY	365	3	Dic.-Mar.: 294 mm (-0.80); wet in Sucre (+1.37)
1960-61	NORMAL	366	3	Dic.-Mar.: 294 mm (-0.21); normal in Sucre (-0.35)
Years	RAINY SEASON	Quantity of data	Confidence rating	References and notes
1961-62	NORMAL	365	3	Dic.-Mar.: 276 mm (-0.38); dry in Sucre (-0.75)
1962-63	NORMAL	365	3	Dic.-Mar.: 368 mm (+0.49); normal in Sucre (+0.41)
1963-64	NORMAL	365	3	Dic.-Mar.: 312 mm (-0.04); normal in Sucre (-0.44)
1964-65	NORMAL	366	3	Dic.-Mar.: 276 mm (-0.38); normal in Sucre (0.43)
1965-66	DRY	365	3	Dic.-Mar.: 244 mm (-0.68); normal in Sucre (-0.47)
1966-67	DRY	365	3	Dic.-Mar.: 243 mm (-0.69); normal in Sucre (-0.46)
1967-68	WET	366	3	Dic.-Mar.: 467 mm (+1.40); normal in Sucre (+0.42)
1968-69	DRY	365	3	Dic.-Mar.: 227 mm (-0.84); dry in Sucre (-0.73)
1969-70	NORMAL	365	3	Dic.-Mar.: 314 mm (-0.02); normal in Sucre (+0.39)
1970-71	NORMAL	365	3	Dic.-Mar.: 277 mm (-0.37); normal in Sucre (-0.15)
1971-72	NORMAL	365	3	Dic.-Mar.: 307 mm (-0.08); normal in Sucre (+0.30)
1972-73	NORMAL	366	3	Dic.-Mar.: 265 mm (-0.48); wet in Sucre (+0.77)
1973-74	NORMAL	365	3	Dic.-Mar.: 302 mm (-0.13); very wet in Sucre (+2.46)
1974-75	DRY	365	3	Dic.-Mar.: 276 mm (-0.82); wet in Sucre (+1.42)
1975-76	NORMAL	365	3	Dic.-Mar.: 276 mm (-0.38); normal in Sucre (-0.09)
1976-77	NORMAL	366	3	Dic.-Mar.: 334 mm (+0.18); normal in Sucre (-0.46)
1977-78	WET	365	3	Dic.-Mar.: 373 mm (+0.54); very wet in Sucre (+2.13)
1978-79	WET	365	3	Dic.-Mar.: 398 mm (+0.78); very wet in Sucre (+1.79)
1979-80	DRY	365	3	Dic.-Mar.: 238 mm (-0.73); normal in Sucre (-0.37)
1980-81	NORMAL	366	3	Dic.-Mar.: 274 mm (-0.40); wet in Sucre (+0.85)
1981-82	VERY DRY	365	3	Dic.-Mar.: 210 mm (-1.01); wet in Sucre (+0.75)
1982-83	VERY DRY	365	3	Dic.-Mar.: 130 mm (-1.76); very dry in Sucre (-1.40)
1983-84	VERY WET	365	3	Dic.-Mar.: 523 mm (+1.96); very wet in Sucre (+3.29)

1984-85	DRY	366	3	Dic.-Mar.: 237 mm (-0.75); normal in Sucre (-0.31)
1985-86	DRY	365	3	Dic.-Mar.: 240 mm (-0.72); wet in Sucre (+0.76)
1986-87	WET	365	3	Dic.-Mar.: 422 mm (+1.00); normal in Sucre (-0.40)
1987-88	NORMAL	365	3	Dic.-Mar.: 325 mm (+0.09); wet in Sucre (+1.15)
1988-89	DRY	366	3	Dic.-Mar.: 244 mm (-0.68); very dry in Sucre (-1.08)
1989-90	NORMAL	365	3	Dic.-Mar.: 287 mm (-0.27); dry in Sucre (-0.88)
1990-91	WET	365	3	Dic.-Mar.: 396 mm (+0.76); very dry in Sucre (-1.23)
1991-92	DRY	365	3	Dic.-Mar.: 255 mm (-0.58); normal in Sucre (-0.41)
1992-93	NORMAL	366	3	Dic.-Mar.: 286 mm (-0.28); normal in Sucre (-0.22)
1993-94	DRY	365	3	Dic.-Mar.: 250 mm (-0.62); very dry in Sucre (-1.48)
1994-95	NORMAL	365	3	Dic.-Mar.: 309 mm (-0.07); normal in Sucre (-0.15)
1995-96	NORMAL	365	3	Dic.-Mar.: 268 mm (-0.45); dry in Sucre (-0.57)
1996-97	WET	366	3	Dic.-Mar.: 430 mm (+1.08); normal in Sucre (+0.23)
1997-98	DRY	365	3	Dic.-Mar.: 222 mm (-0.89); very dry in Sucre (-2.25)
1998-99	NORMAL	365	3	Dic.-Mar.: 286 mm (-0.28); normal or dry in Sucre (-1.00)
1999-2000	NORMAL	366	3	Dic.-Mar.: 269 mm (-0.44); normal in Sucre (>+0.10)

Annexe 5 : Synthèse sur les principes de La Logique Floue

Introduction

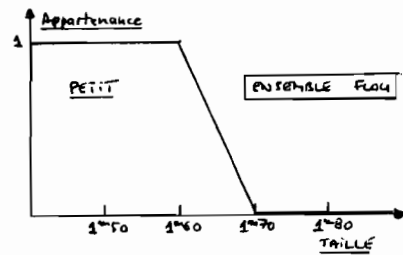
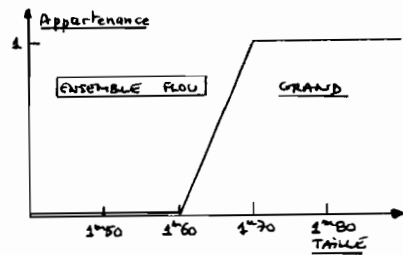
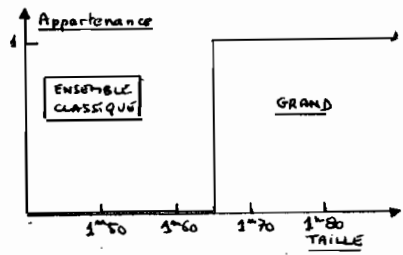
Le concept de **Logique Floue** a été proposé en 1965 par un chercheur de l'Université de Californie à Berkeley, Lofti Zadeh. A cette époque, on commençait à utiliser les ordinateurs pour la résolution de problèmes complexes, et il est apparu que la logique binaire était insuffisante pour automatiser des décisions telles que celles prises par un humain. La Logique Floue est ainsi un sous-ensemble des techniques dites « d'intelligence artificielle ».

Mais en fait les difficultés auxquelles s'adresse la Logique Floue avaient déjà été remarquées par Epiménide le Crétois, qui avait émis de propositions « logiques » aboutissant à des paradoxes : le Crétois qui déclare « tous les Crétois sont des menteurs » est-il ou non un menteur ? Impossible de classer cet homme dans une des catégories Menteur ou Non-menteur.

Le flou mathématique

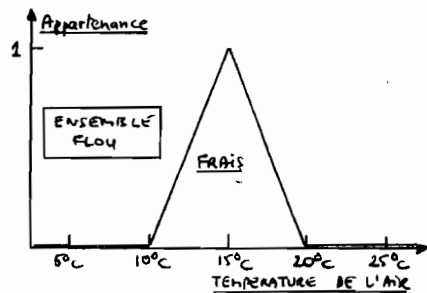
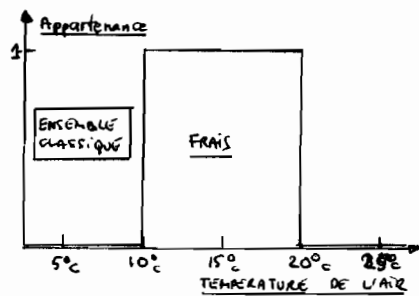
La Logique Floue contourne de telles difficultés en introduisant la notion d'appartenance : les propositions peuvent être partiellement vraies, dans une proportion qui varie entre 0 et 1.

Prenons un exemple concret. En logique classique, il faut décider d'une taille donnée pour classer les individus entre petits et grand : en dessous de 1m65 on est petit, au dessus on est grand. En logique floue, on peut décider d'appartenir à la fois à la classe des petits et à la classe des grands si on mesure 1m63, avec respectivement des degrés d'appartenance de 0,7 et de 0,3 par exemple (voir l'exemple page suivante).

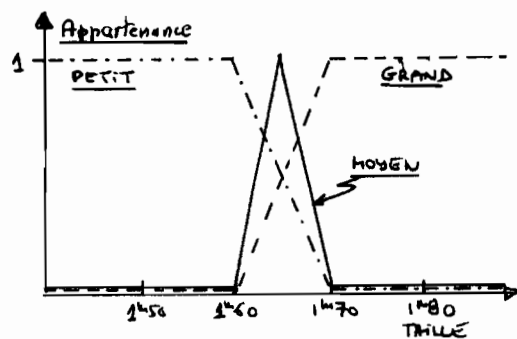


Cette courbe d'appartenance correspond bien au changement progressif de catégorie d'un adolescent qui grandit et passe au fil du temps de « petit » à grand.

Selon la question posée, la forme de la courbe d'appartenance diffère. Ainsi la notion « il fait frais » aboutit à un schéma rectangulaire en logique classique, et triangulaire ou trapézoïdal en logique floue.



A noter que les courbes d'appartenance « petit-grand » permettent également de construire une courbe « moyen » qui est triangulaire.

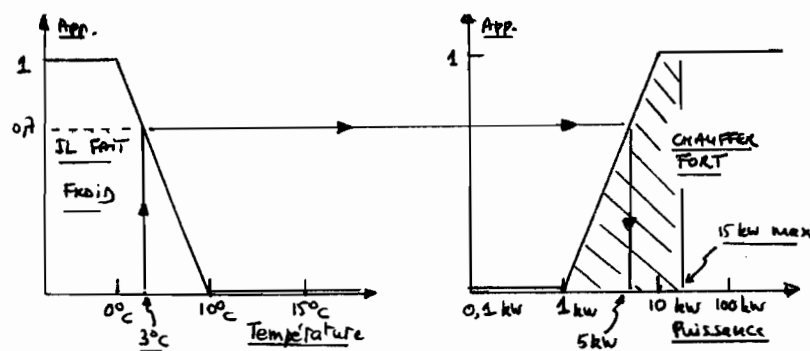


Les courbes d'appartenances en logiques classiques et floues définissent ainsi, pour une même notion (petit ou grand, frais ou chaud) des ensembles « classiques » ou « flous ». Avec les ensembles flous, il est possible de construire des algorithmes décisionnels qui se rapprochent de ceux qu'utilisent instinctivement les « experts » humains (du type « il fait plutôt frais et l'air est humide, donc je vais mettre un peu de chauffage »).

L'établissement des règles des systèmes flous

Une fois que les variables d'un problème ont été définies en logique floue, il faut établir des règles liant ces variables. Par exemple, il faut relier les variables d'entrée « fraîcheur de l'air » et « humidité de l'air » à une variable de sortie du type « température de l'eau du radiateur » et « vitesse de circulation de l'eau ».

Prenons un problème simple : si la température est basse, alors chauffer fort. Nous aurons défini au préalable deux courbes d'appartenance :



Il est alors possible de choisir une règle simple (illustrée sur le diagramme) faisant correspondre une puissance de chauffe à une température via la valeur d'appartenance. Ainsi si la température est de 3° (valeur d'appartenance) 0,7, on choisit de chauffer avec la valeur d'appartenance 0,7 – soit 9 kW.

Mais il est possible de construire mathématiquement une relation plus complexe.

Dans la pratique, les règles font appel à des conditions d'entrée plus complexes, mettant en oeuvre des conditions logiques du type « ou », « et » ou « non ». Prenons un exemple lié à la conduite automobile : « si le feu rouge est vert, et si ma vitesse est faible et si le feu est loin, alors je maintiens ma vitesse ». Pour que je maintienne ma vitesse, il faut que 3 conditions soient remplies, et là se pose un problème : pour un état donnée des entrées (vitesse, couleur du feu, distance), chaque condition va être remplie avec un certain degré d'appartenance. Comment faut-il composer ces différents degrés d'appartenance pour en attribuer un à la condition globale ?

Les chercheurs ont proposé plusieurs lois de composition, mais la plus couramment utilisée en pratique est la suivante :

quand les conditions sont liées par une logique « ou », on considère le degré d'appartenance maximum parmi les conditions d'entrée.

Quand les conditions sont liées par une logique « et », on considère le degré d'appartenance minimum parmi les conditions d'entrée.

En reprenant l'exemple du feu rouge, si le feu est bien rouge (appartenance 1), si la vitesse est considérée comme faible à 70%, et si le feu est jugé lointain à 30%, on attribue le degré d'appartenance 0,3 (minimum de valeurs 1, 0,7 et 0,3) à la condition globale.

Combinaison des règles liant les entrées aux sorties

Il reste un dernier problème à résoudre : pour un état donné des entrées d'un système, quelles consignes donner pour les sorties ? Il s'agit en fait d'appliquer le principe suivant : **plus la condition d'une règle sur les entrées est vraie, plus l'action préconisée pour les sorties doit être respectée.**

Là encore, les chercheurs ont proposé plusieurs solutions :

- *la technique du maximum*
- *la technique de la moyenne pondérée*
- *la technique du centre de gravité*

La **technique du maximum** est la plus simple : elle ne considère pour chaque sortie que la règle présentant le maximum d'appartenance.

La **technique de la moyenne pondérée** est plus évoluée. Elle considère, comme valeur de sortie, la moyenne des valeurs préconisées par chaque règle, pondérées par leur degré respectif d'appartenance.

Exemple : deux règles donnent des valeurs de consignes.

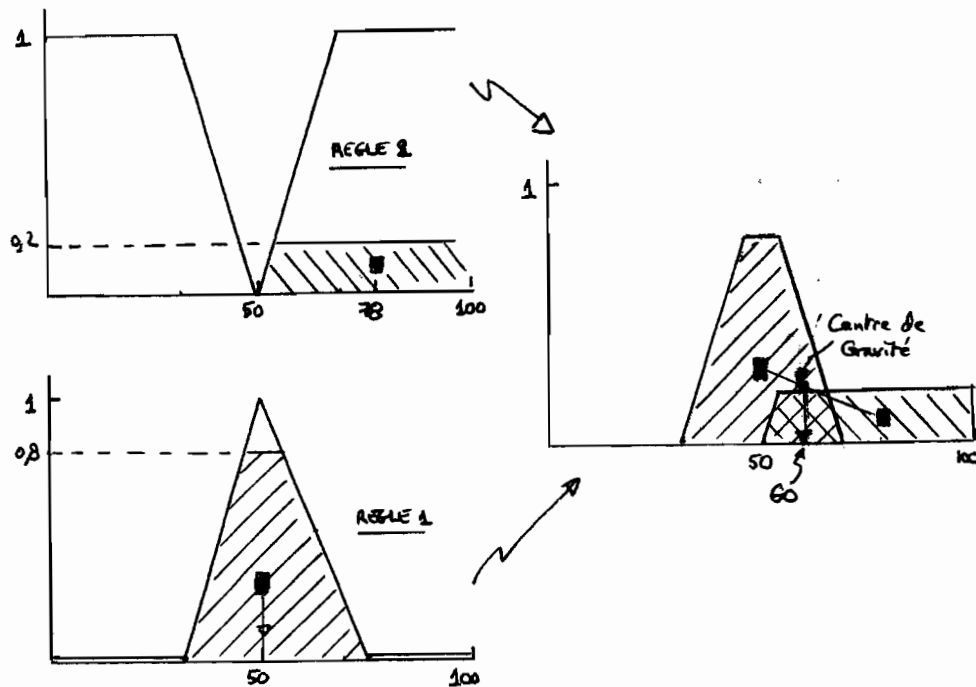
règle 1 : valeur intermédiaire 50 avec appartenance 0,8

règle 2 : valeur forte 78 avec appartenance 0,2

La valeur de sortie est alors : $[(50 \times 0,8) + (78 \times 0,2)] / (0,8 + 0,2) = 5$ Cette méthode est simple à mettre en oeuvre, mais présente parfois des ambiguïtés sur la valeur de sortie.

La **technique du centre de gravité** est considérée comme la plus performante : elle consiste à tracer, sur un même diagramme, les différentes zones trapézoïdales correspondant à chacune des règles, et à calculer le centre de gravité de la zone consolidée.

Reprenons l'exemple précédent sur un graphique : le calcul du centre de gravité donne un point de consigne de 60, contre 56 pour la technique de la moyenne pondérée. Dans les applications pratiques de la logique floue, la technique du centre de gravité est celle qui donne les meilleurs résultats, mais c'est aussi celle qui nécessite la plus grande puissance de calcul.



Lors des premiers développements concrets de la logique floue pour les systèmes de régulation (chauffage, air conditionné, cafetières électriques, sèche-linge, automatisation des métros, etc.), la puissance de calcul des microprocesseurs disponibles limitait la complexité des méthodes mises en oeuvre. Aujourd'hui, il existe des microprocesseurs dédiés à la logique floue qui ont affranchi les ingénieurs des limites liées à la puissance du traitement.

In praise of Bayes

Bayesianism is a controversial but increasingly popular approach to statistics that offers many benefits—although not everyone is persuaded of its validity

IT IS not often that a man born 300 years ago suddenly springs back to life. But that is what has happened to the Reverend Thomas Bayes, an 18th-century Presbyterian minister and mathematician—in spirit, at least, if not in body. Over the past decade the value of a statistical method outlined by Bayes in a paper first published in 1763 has become increasingly apparent and has resulted in a blossoming of “Bayesian” methods in scientific fields ranging from archaeology to computing. Bayes’s fans have restored his tomb and posted pictures of it on the Internet, and a celebratory bash is planned for next year to mark the 300th anniversary of his birth. There is even a Bayes songbook—though, since Bayesians are an academic bunch, it is available only in the obscure file formats that are used for scientific papers.

Proponents of the Bayesian approach argue that it has many advantages over traditional, “frequentist” statistical methods. Expressing scientific results in Bayesian terms, they suggest, makes them easier to understand and makes borderline or inconclusive results less prone to misinterpretation. Bayesians claim that their methods could make clinical trials of drugs faster and fairer, and computers easier to use. There are even suggestions that Bayes’s ideas could prompt a re-evaluation of fundamental scientific concepts of evidence and causality. Not bad for an old dead white male.

Previous convictions

The essence of the Bayesian approach is to provide a mathematical rule explaining how you should change your existing beliefs in the light of new evidence. In other words, it allows scientists to combine new data with their existing knowledge or expertise.

The canonical example is to imagine that a precocious newborn observes his first sunset, and wonders whether the sun will rise again or not. He assigns equal prior probabilities to both possible outcomes, and represents this by placing one white and one black marble into a bag. The following day, when the sun rises, the child places another white marble in the bag. The probability that a marble plucked randomly from the bag will be white (ie, the child’s degree of belief in future sunrises) has thus gone from a half to two-thirds. After sunrise the next day, the child adds another white marble, and the probability (and thus the degree of belief) goes from two-thirds to three-quarters. And so on. Gradually, the initial belief that the sun is just as likely as not to rise each morning

is modified to become a near-certainty that the sun will always rise.

In a Bayesian analysis, in other words, a set of observations should be seen as something that changes opinion, rather than as a means of determining ultimate truth. In the case of a drug trial, for example, it is possible to evaluate and compare the degree to which a sceptic and an enthusiast would be convinced by a particular set of results. Only if the sceptic can be convinced should a drug be licensed for use.

This is far more subtle than the traditional way of presenting results, in which an outcome is deemed statistically significant only if there is a better than 95% chance that it could not have occurred by chance. The problem, according to Robert Matthews, a mathematician at Aston University in Birmingham, is that medical researchers have failed to understand that subtlety. In a paper to be published shortly in the *Journal of Statistical Planning and Inference*, he sets out to demystify the Bayesian approach, and explains how to apply it after the event to existing data.

Patients in clinical trials will soon benefit. Bayesian methods offer the possibility of modifying a trial while it is being conducted, something that is impossible with traditional statistics. Andy Grieve and his colleagues at Pfizer, a drug firm, are intending to do just that.

Traditionally, dose-allocation trials—in which the aim is to establish the most effective dose of a new drug—involve giving different groups of patients different doses and evaluating the results once the trial has finished. This is fine from a statistical point of view, but unfair on those patients who turn out to have been given non-optimal doses. Rather than analysing the results at the end of a trial, Dr Grieve’s method will evaluate patients’ responses during it, and adjust the doses accordingly. The advantage of this over the traditional approach that it maximises the medical benefit to all participants. It also means that fewer people are needed to conduct a trial, because participants on non-optimal doses can have those doses changed to increase the amount of data collected near the optimal dose.

Pfizer is intending to con-



duct a trial using this new method, and the plan is to re-analyse the data once it is completed in ways that will satisfy both Bayesians and non-Bayesians. This kind of parallel approach is likely to become increasingly common, at least until Bayesianism has been more widely accepted.

Bayesian methods can also be used to decide between several competing hypotheses, by seeing which is most consistent with the available data. This idea was recently used to determine the date of construction of "Seahenge", an ancient timber circle found off the coast of Norfolk, in eastern England. Results from tree-ring dating were inconclusive, suggesting such divergent dates as 2019BC, 2050BC and 2454BC. So six samples from the monument's central stump were radiocarbon-dated, and the results were used to evaluate the three tree-ring possibilities via Bayesian analysis. The evidence was overwhelmingly in favour of 2050BC, and was inconsistent with either of the other two tree-ring dates.

Decision-making using Bayesian methods has many applications in software, as well. Perhaps the best-known example is Microsoft's Office Assistant, which appears as a somewhat irritating anthropomorphic paper-clip that tries to help the user. When a user calls up the assistant, Bayesian methods are used to analyse recent actions in order to try to work out what the user is attempting to do, with this calculation constantly being modified in the light of new actions. (Unfortunately, a non-Bayesian approach is used to decide when to make the paper-clip pop up on its own, adding to the annoyance of many users.) According to Eric Horvitz, a statistician in Microsoft's research division, future products will try to determine users' intentions more broadly, so as to speed things up. Having worked out which link on a web page a user is most likely to click on, for example, the computer could fetch the corresponding page in advance, so that it appears more quickly.

Bayes is still, however, the focus of much controversy. Larry Wasserman, a statistician at Carnegie Mellon University, in Pittsburgh, says that although Bayesianism is becoming more acceptable, it is no panacea, and when used indiscriminately it becomes "more a religion than a science". Perhaps the grandest claims made for Bayesian methods are those of Judea Pearl, a computer scientist at the University of California, Los Angeles. Dr Pearl has suggested that by analysing scientific data using a Bayesian approach it may be possible to distinguish between correlation (in which two phenomena, such as smoking and lung cancer, occur together) and causation (in which one actually causes the other). This kind of claim makes many scientists, including many Bayesians, throw up their hands in horror. Evidently there is life in the old reverend yet.

Résumé

Depuis quelques années, la communauté scientifique étudie le phénomène ENSO (El Niño Southern Oscillation) en reconstituant le climat du passé ; c'est la paléoclimatologie. L'Institut de Recherche pour le Développement (IRD) et l'UNESCO sont associés depuis 1995 dans un projet de paléoclimatologie historique (reconstitution du climat à partir d'archives) visant à reconstituer le climat de la Bolivie.

La présente étude traite la période 1825-1942 dans la région de Potosi, située à 4000m d'altitude dans les Andes Boliviennes. Après avoir rappelé les principes de la paléoclimatologie historique ainsi que l'état des connaissances dans la région andine, des exemples concrets d'analyses de documents et les méthodes de traitements sont exposés.

L'interprétation des résultats, met en évidence les épisodes secs et humides afin de voir s'il existe une corrélation entre ces épisodes et les événements El Niño.

Mots clefs : paléoclimatologie historique, El Niño, Andes, sécheresse, précipitations.

Abstract

During the past few years, the scientific community has been studying the ENSO (El Niño Southern Oscillation) phenomena by reconstructing the climate of the past. A french Research Institut (IRD) and the UNESCO have been cooperating since 1995 on a historical paleoclimatology project (reconstruction of the climate using archival data) which aims at reconstructing the past climate in Bolivia.

This case study covers the period from 1825-1942 in the Potosi region, located at an altitude of 4000m in the Bolivian Andes. First the principles and aims of historical paleoclimatology are explained as well as the state of advancement of the research domain in the Andean region. Then typical examples of document analysis are shown. The results are interpreted in terms of droughts and excessive rain, and compared with ENSO occurrences over the same period.

Key Words : paleoclimatology, El Niño, the Andes, drought, precipitations.

Resumen

Desde varios años, la comunidad científica esta estudiando el fenomeno ENSO (El Niño Southern Oscillation) reconstituyendo el clima del pasado, es la paleoclimatologia.. La IRD (Instituto de investigacion para el Desarrollo) conjuntamente a la UNESCO iniciaron un proyecto de paleoclimatologia historica (reconstitucion del clima a partir de archivos) en 1995 para reconstituir el clima de Bolivia.

Este estudio trata del periodo 1825-1942 en la region de Potosi que queda a 4000m de altitud en la cordillera boliviana. Despues de haber recordado las técnicas de la paleoclimatologia historica y el estado de los conocimientos en la region andina, ejemplos concretos de analisis de documentos y métodos de tratamiento estan exponados. La interpretacion de los resultados, pone en evidencia los episodios secos y humedos para ver si existe una correlacion entre esos episodios y los eventos El Niño.

Palabras claves : paleoclimatologia, El Niño, los Andes, sequia, precipitaciones.