

La spatialisation des précipitations sur les deux versants de la Sierra Madre occidentale

Luc Descroix
géographe-hydrologue

Jean-François Nouvelot
hydrologue

Juan Estrada
hydrologue

Alfonso Gutierrez
hydrologue

On a vu comment l'aridité pouvait être une contrainte au développement, au Nord-Mexique comme dans d'autres régions. La connaissance de la répartition des précipitations est rendue difficile dans ces régions peu peuplées et de fait équipées d'un réseau de mesure d'autant plus lâche que de nombreuses stations ont été arrêtées ces dernières années.

La répartition des précipitations annuelles sur la partie centrale de la Sierra Madre occidentale (correspondant aux régions hydrologiques n° 36 et 10) telle qu'on peut l'apprécier sur la figure 21 montre :

- une nette opposition entre les versants ouest et est de la sierra, le versant ouest étant bien plus arrosé mais présentant une bien plus forte variabilité spatiale, fruit d'un relief extrêmement escarpé (NOUVELOT et DESCROIX, 1996 ; DESCROIX *et al.*, 1997 ; DESCROIX *et al.*, 2001) ;
- une diminution régulière des précipitations de la ligne de crête (où elles sont de l'ordre de 800 à 1 000 mm) vers la Laguna et l'est du bassin Nazas Aguanaval (où elles sont localement inférieures à 200 mm par an) ;
- une diagonale de très fortes précipitations, qui se sépare du littoral pour se rapprocher de la ligne de crête, du sud vers le nord ; on atteint des valeurs de plus de 1 500 mm par an à moins de 80 km du littoral au sud, alors que les maxima, proches de 1 200 mm, sont à plus de 150 km de la côte au nord ;
- l'apparition d'une zone littorale aride au nord, où l'on se rapproche des déserts côtiers du Sonora et de Basse-Californie (moins de 300 mm à Topolobampo).

La figure 22 donne les valeurs du coefficient de variation des précipitations interannuelles moyennes pour le bassin Nazas Aguanaval et une grande partie du versant ouest de la sierra. Plus ce coefficient est élevé, plus l'irrégularité interannuelle de la précipitation est forte. On constate

Introduction

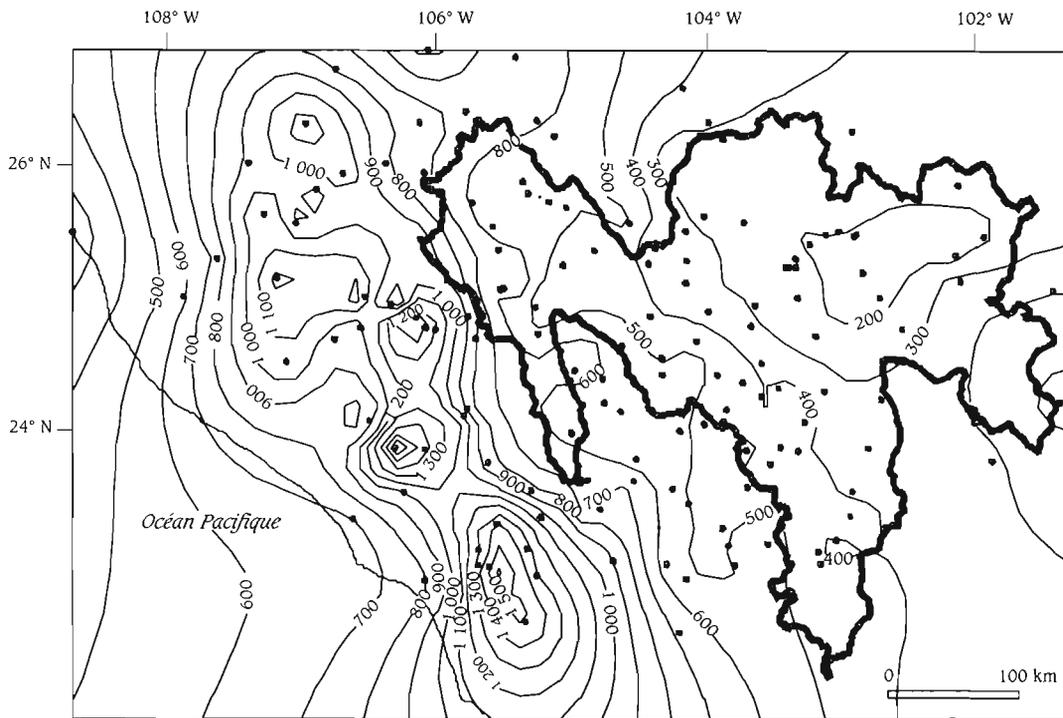


Fig. 21 – Isohyètes interannuelles et localisation des postes pluviométriques dans le bassin Nazas-Aguanaval et ses environs.

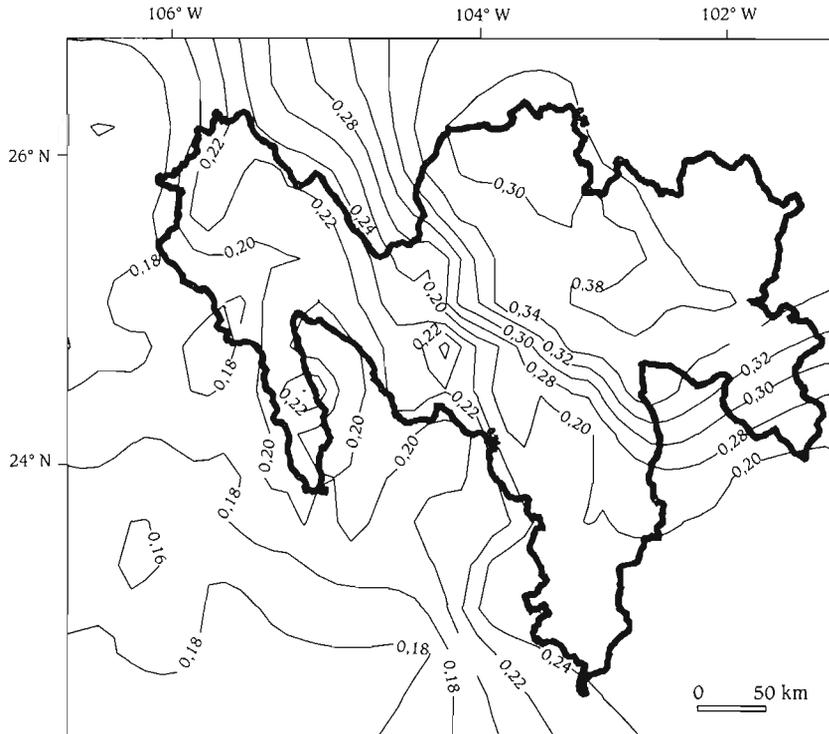


Fig. 22 – Coefficient de variation interannuelle des précipitations.

que l'irrégularité croît très nettement de la côte vers l'intérieur des terres. Ici, les zones où le Cv est le plus faible correspond aux zones les plus pluvieuses du versant ouest de la sierra ; les plus forts Cv se rencontrent dans les zones arides du sud du désert de Chihuahua, c'est-à-dire dans les dépressions endoréiques du Bolsón de Mapimí.

Dans les secteurs peu instrumentés, comme l'est en général le nord du Mexique, il apparaît un jour ou l'autre un besoin de connaître plus ou moins précisément les hauteurs de précipitation en vue de dimensionner des ouvrages (barrages, canaux, ponts, etc.) ou de faire des prévisions de pluies extrêmes et donc de risques naturels (crues, inondations, etc.). Aussi, comme le réseau est lâche, on cherchera à déterminer deux types d'informations complémentaires à celles fournies par le réseau, et qui permettent d'interpoler spatialement la validité de l'information acquise, afin de pallier l'existence de zones sans données :

- la première est la définition de zones homogènes en fonction de l'information pluviométrique recueillie sur le réseau existant ;
- la seconde est la distance de corrélation des données acquises.

C'est pour parvenir à la définition de régions homogènes que l'on a fait appel une nouvelle fois (cf. « Le climat et l'aléa pluviométrique au Nord-Mexique », p. 129) à la Méthode du vecteur régional (MVR). Cette technique, proposée par Hiez (1986), est basée sur la notion de pseudo-proportionnalité des totaux pluviométriques entre stations voisines dont l'ensemble des données permet ainsi l'élaboration d'un vecteur représentatif de la région couverte. Cette élaboration s'appuie sur un principe de maximum de vraisemblance qui part du postulat que l'information la plus vraisemblable est celle qui se répète le plus fréquemment.

Mais alors que précédemment, on a utilisé cette méthode pour vérifier la validité des données et repérer d'éventuelles erreurs dans les séries, on s'en sert ici pour la détermination par défaut de zones « pluviométriquement » homogènes. C'est-à-dire que l'on considère que si un vecteur est constitué par un ensemble de stations au comportement « proportionnellement » semblable, il définit une région homogène en terme de comportement pluviométrique.

L'analyse de toutes les données disponibles sur le réseau existant a permis de constituer sept « régions pluviométriques », cinq pour le bassin du Nazas Aguanaval (RH36) et deux pour le versant Pacifique de la sierra (RH10) (GUTIÉRREZ, 2003), constitué de nombreux bassins versants dont les eaux s'écoulent directement vers le Pacifique (fig. 23).

La spatialisation des précipitations

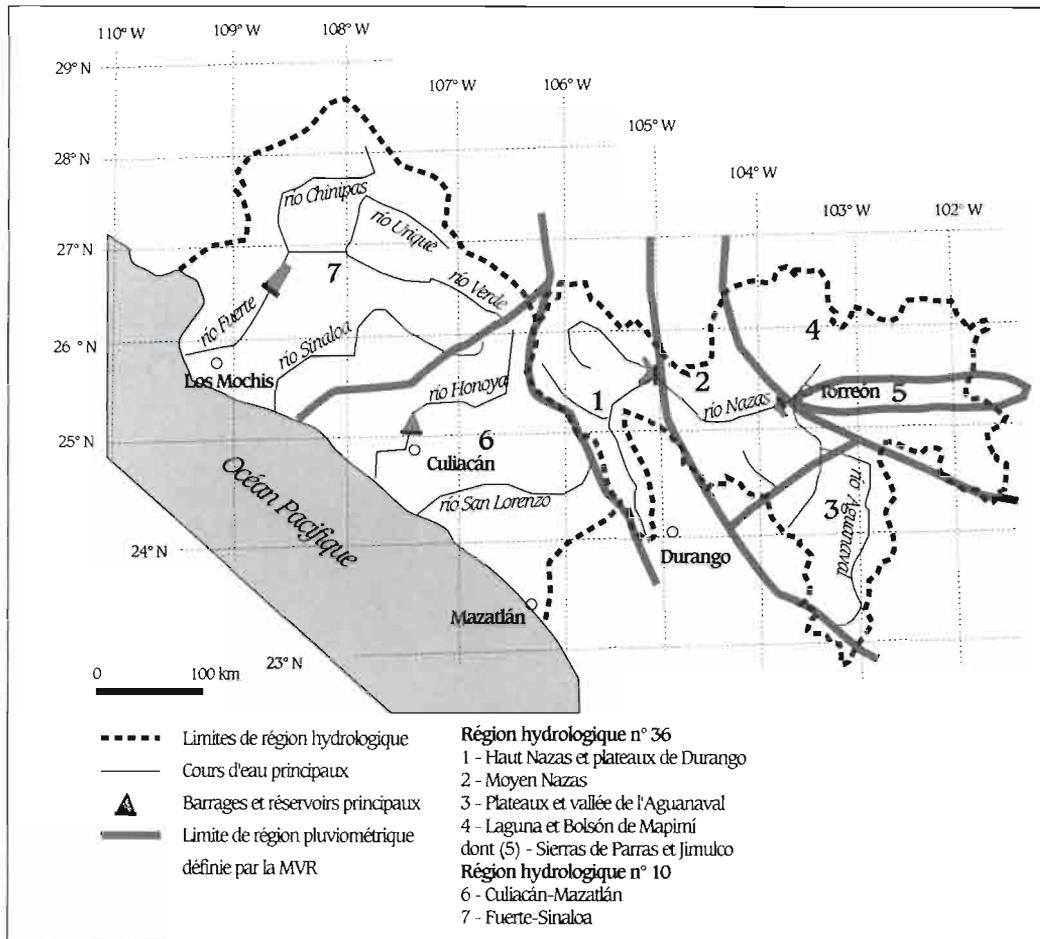


Fig. 23 – Spatialisation déterminée par la Méthode du vecteur régional.

Le rôle des facteurs locaux et zonaux dans la distribution spatiale des précipitations

Il est toujours délicat de rechercher les facteurs locaux pouvant expliquer la répartition spatiale des précipitations. Néanmoins, le premier regard sur la carte des isohyètes (fig. 21) permet de comprendre le rôle primordial de l'altitude et de la distance à l'Océan. Ceci est d'ailleurs paradoxalement bien plus net pour le versant intérieur (oriental) de la Sierra Madre occidentale. On y voit nettement la pluviométrie diminuer en même temps que l'altitude (on passe de 900 mm vers 2 800 m à 200 mm vers 1 100 m), et inversement à la distance au Pacifique. Les deux évolutions sont logiques et se retrouvent sous pratiquement tous les climats. Simplement, on a ici, du fait que la sierra est parallèle au trait de côte (ce qui est dû à la tectonique régionale), une addition des deux phénomènes sur le versant interne.

Sur le versant Pacifique de la sierra, l'évolution est forcément plus complexe pour la simple raison que l'altitude augmente avec l'éloignement de la côte, ce qui fait que les deux facteurs se contrarient. Mais la complexité est accentuée par :

- le relief, très escarpé, du versant ouest de la chaîne ;
- un fort gradient latitudinal lié aux climats zonaux.

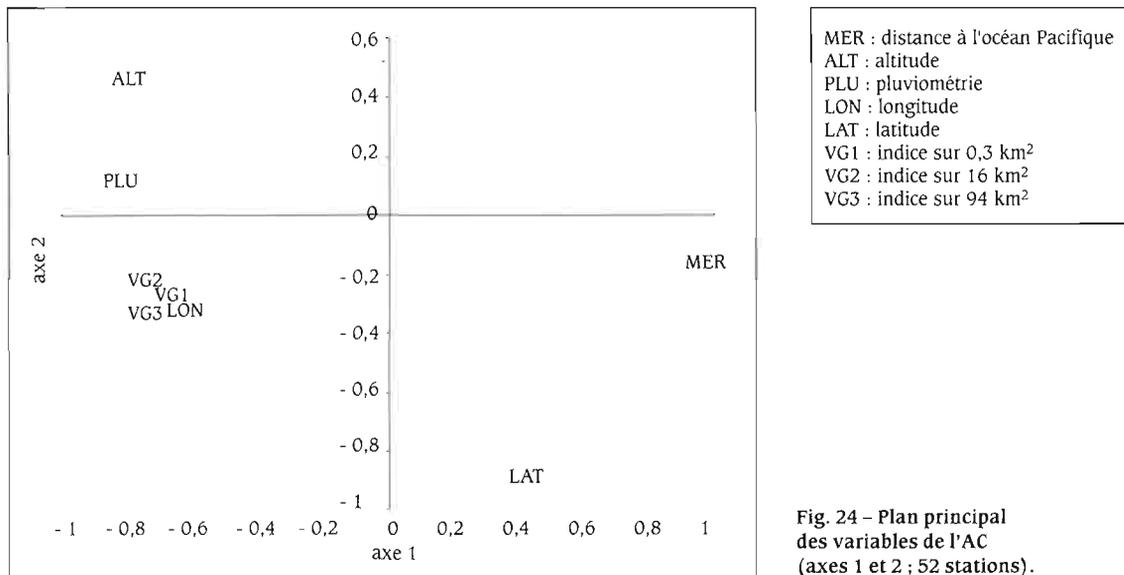
Le relief impose une très forte variabilité, spatiale et temporelle, des précipitations ; celle-ci serait encore plus marquée si la densité des postes était plus forte, car la variabilité est ici à l'échelle de ces vallées profondes et des lambeaux de plateaux qui les dominent parfois de plus de 1 500 m.

Par ailleurs, on est ici à des latitudes subtropicales ; on passe de fait, de climats tropicaux, au sud à des climats subtropicaux, au nord, caractérisés par un désert côtier sur le littoral (désert du Sonora) et des secteurs arides continentaux sur l'altiplano nord-central mexicain (désert de Chihuahua). De ce fait, il y a une configuration régionale de la pluviométrie, les secteurs littoraux ou leur immédiat arrière-pays étant les plus arrosés en zone tropicale. Mais 500 km plus au nord, les littoraux sont concernés zonalement par l'aridité côtière des façades ouest de continent aux latitudes subtropicales.

Du fait de cette complexité, on s'est intéressé ici uniquement au versant interne de la sierra ; on a voulu déterminer les facteurs locaux de la pluviométrie. Pour ce faire, on a réalisé deux analyses statistiques : une Analyse en composantes principales (ACP) et une Analyse factorielle des correspondances (AFC). Ces analyses permettent de classer et hiérarchiser les variables explicatives d'un phénomène (qui joue ici le rôle de variable dépendante vis-à-vis des autres, considérées comme indépendantes). L'ACP permet aussi d'en supprimer quelques-unes en mettant en évidence la redondance des variables. Ces analyses ont été faites à partir des données de précipitation annuelle des 52 stations les plus documentées de la Région hydrologique 36 (bassin du Nazas-Aguanaval).

L'ACP a été menée avec comme variable dépendante la pluviométrie, comme variables indépendantes l'altitude, la distance à l'océan Pacifique, la latitude, la longitude et la densité de la végétation sur trois aires (0,3, 16 et 94 km²) autour du poste pluviométrique. La figure 24 montre l'espace des variables basé sur les deux premières composantes de l'ACP, qui représentent 75 % de la variance expliquée.

On remarque que la pluviométrie est le plus corrélée avec l'altitude (positivement) et avec la distance à l'Océan (MER) négativement. La végétation et la longitude (ouest, donc valeurs croissantes vers l'ouest)



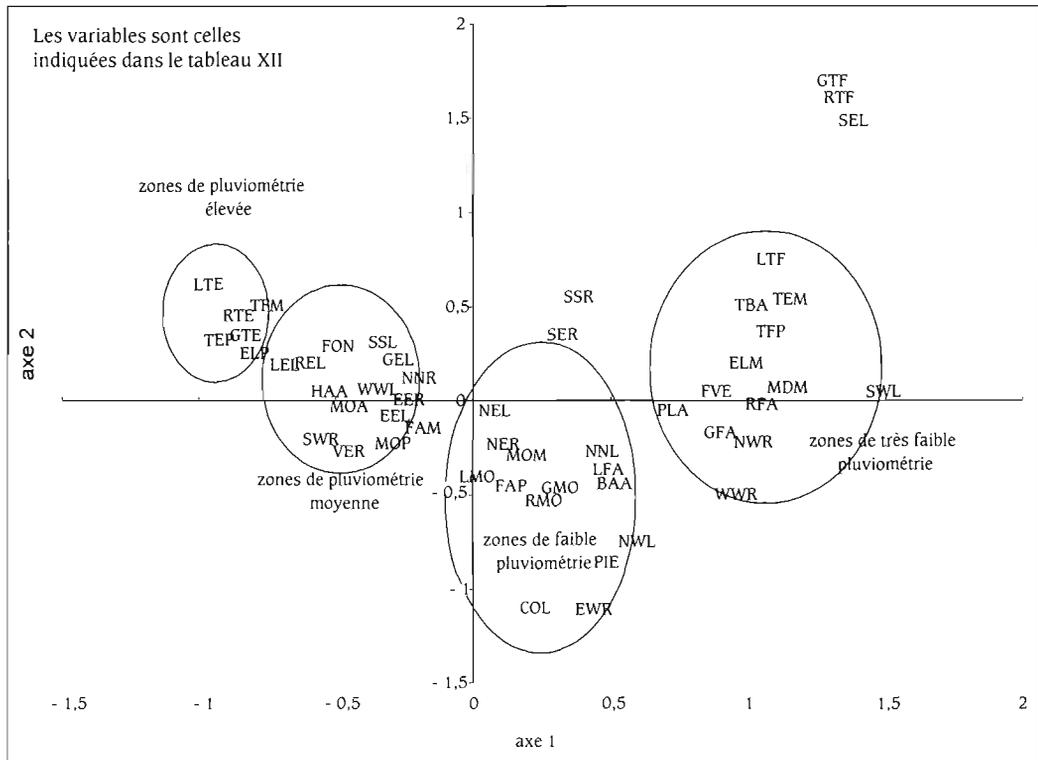
sont également corrélées positivement, mais à un moindre degré. Ceci, de même que le fait que ces dernières variables sont bien corrélées entre elles, s'expliquent aisément parce que les régions les plus hautes et les plus pluvieuses correspondent aux secteurs les plus proches de la ligne de partage des eaux avec les cours d'eau se jetant dans le Pacifique, c'est-à-dire les plus occidentales.

Pour pouvoir prendre en compte des valeurs non numérisables, on a mené à bien une AFC, analyse statistique qui est le pendant de l'ACP mais permet d'introduire des valeurs non numériques. Il faut toutefois déterminer des classes pour chacune des variables prises en compte, afin de les hiérarchiser si nécessaire, et de toutes manières, de les distinguer les unes des autres. Il faut noter qu'en établissant des classes aussi pour les variables qui ont des valeurs numériques (déjà prises en compte par l'ACP), on peut aussi les analyser dans l'AFC.

Les variables étudiées ici sont rassemblées dans le tableau XII. Ce sont celles qui ont servi à réaliser l'ACP, exceptées la longitude et la latitude, mais on y a ajouté le type de site et deux types d'exposition, celle du site (échelle kilométrique) et celle, plus globale, de la région du site (échelle de la vingtaine de km).

Les résultats sont exposés figure 25 ; celle-ci représente le plan des variables telles que classées (d'après le tableau XII), sur les axes 1 et 2 de l'AFC, qui représentent 60 % de la variance expliquée des variables.

Fig 25 – Plan principal des variables de l’AFC (axes 1 et 2 ; 52 stations).



On peut constater que l’AFC permet de distinguer quatre « régions pluviométriques » différentes :

- une région de pluviométrie très faible (inférieure à 300 mm) ; elle est associée à un éloignement maximal de l’Océan, une altitude et des densités de végétation minimales, et à une situation en plaine ou de fond de vallée encaissée ; cette dernière configuration s’explique par la situation d’extrême abri de certains postes situés pourtant dans la Sierra Madre, mais dans des sites très protégés ;
- une région de faible pluviométrie (300 à 400 mm) associée à une distance à l’océan de 300 à 350 km, un indice de végétation normalisée NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) faible à moyen, une position de piedmont ou de col, une altitude comprise entre 1 200 et 1 600 m ;
- une région de pluviométrie moyenne, où l’on a une situation de versant ou de fond de vallée majoritaire, une pluviométrie de 400 à 550 mm, une altitude supérieure à 1 600 m, une distance à la mer comprise entre 250 et 300 km, un indice de végétation moyen à élevé ; cela correspond aux bas versants et aux fonds des deux grandes vallées du haut Nazas, dans la Sierra Madre (Sextin et Ramos) ;

Précipitations	Classes prédéterminées	Distance au Pacifique	Classes prédéterminées	Altitude	Classes prédéterminées
TFP	P < 300 mm	TFM	D < 250 km	TBA	A < 1 200 m
FAP	300-400 mm	FAM	250-300 km	BAA	1 200-1 600 m
MOP	400-500 mm	MOM	300-350 km	MOA	1 600-2 000 m
ELP	500-600 mm	MDM	350-400 km	HAA	A > 2 000 m
TEP	P > 600 mm	ELM	400-450 km		
		TEM	D > 450 km		
Vég. locale (30 ha)	Vég. éch. rég. 16 km ²	Vég. éch. rég. 94 km ²	Valeur NDVI (Classes prédéterminées)	Type de site	Classes prédéterminées
LTF	RTF	GTF	120-128	FON	fond de vallée
LFA	RFA	GFA	128-135	VER	versant
LMO	RMO	GMO	135-141	PLA	plaine
LEL	REL	GEL	141-146	FVE	vallée encaissée
LTE	RTE	GTE	146-154	COL	col
				PIE	piedmont
Exposition du site (XXL)	Expo. de la région (XXR)	Classes prédéterminées			
NNL	NNR	Nord			
NWL	NWR	Nord-Ouest			
WWL	WWR	Ouest			
EEL	EER	Est			
NEL	NER	Nord-Est			
SEL	SER	Sud-Est			
SWL	SWR	Sud-Ouest			
SSL	SSR	Sud			

Tabl. XII – Les variables de l'Analyse factorielle des correspondances.

– et une région de pluviométrie élevée (+ de 550 mm), qui correspond aux plus forts indices de végétation, aux plus hautes altitudes, aux zones les plus proches de l'océan Pacifique. Ces stations sont celles situées sur les hauts versants ou sur la ligne de partage des eaux entre les deux versants (RH36 et RH10).

On constate par ailleurs que hormis la première zone où aucune exposition n'est remarquée (on est au fond du Bolsón de Mapimi essentiellement), les types d'exposition ne permettent pas de classer les régions ; on les trouve, tous, dans les trois autres zones.

La régionalisation telle que définie par l'analyse statistique n'est pas très différente de celle obtenue grâce à la Méthode du vecteur régional. Il lui manque les régions 6 et 7 du découpage MVR, qui sont absentes ici car on n'a pas considéré le versant Pacifique de la sierra. Par ailleurs, les régions 2 et 3 sont ici découpées presque de la même manière car les plateaux de l'Aguanaval (région 3 de la figure 23) sont à plus haute altitude que la vallée du Nazas (région 2), ce qui lui permet d'en être distinguée par l'AFC qui tient compte de l'altitude ; mais ces régions sont néanmoins *grosso modo* les mêmes.

Les régions homogènes restent les mêmes quelle que soit la méthode utilisée, montrant une certaine redondance de l'information (DESCROIX *et al.*, 2001). Les régions telles que définies, ainsi que les variogrammes destinés à connaître la distance de dé-corrélation (ou, à l'inverse, la distance maximale de validité du signal pluviométrique), semblent donc suffisamment robustes pour permettre une extension de l'information obtenue sur les quelques postes pour lesquels on a de longues séries d'observations, et qui fournissent pour l'essentiel une information de bonne qualité.

L'une ou l'autre et *a fortiori* l'ensemble de ces méthodes permettent de pallier la faible densité du réseau et d'obtenir une information spatialisée pour mieux prévoir les quantités précipitées sur les zones peu instrumentées, et régionaliser aussi les risques de crues et d'inondation et à l'inverse, de sécheresses et de pénurie.

Conclusion

Références

DESCROIX L., NOUVELOT J.-F., ESTRADA J., 1997 – Geografía de las lluvias en una cuenca del Norte de México : regionalización de las precipitaciones en la Región Hidrológica 36. *Foll. Cient.* n° 8, Orstom/Cenid-Raspa, Gómez Palacio.

DESCROIX L., NOUVELOT J.-F., ESTRADA J., 2001 – Complémentarités et convergences de méthodes de régionalisation des précipitations, application à

une région endoréique du Nord-Mexique. *Revue des Sciences de l'Eau*, 14 (3) : 281-305.

GUTIERREZ A., 2003 – *Modélisation stochastique des précipitations à l'échelle régionale pour la prévision des crues au Nord-Mexique*. Thèse de l'université Joseph Fourier-Grenoble 1, 150 p.

HIEZ G., 1986 – « Bases théoriques du vecteur régional (les premières applications et leur mise en œuvre

informatique) ». In : *Deuxièmes journées hydrologiques de l'Orstom à Montpellier*, 16-17 sept. 1986, coll. Colloques et séminaires : 1-36.

NOUVELOT J.-F., DESCROIX L., 1996 – Aridité et sécheresses du Nord-Mexique. *Trace*, revue du Centre français d'études mexicaines et centroaméricaines, n° 30 : 9-24.

latitudes 23

La Sierra Madre occidentale

Un château d'eau menacé

Éditeurs scientifiques

Luc Descroix, Juan Estrada,
José Luis Gonzalez Barrios, David Viramontes

IRD
Éditions

Sommaire

Avant-propos	11
Préambule	13
<i>Jean-François NOUVELOT</i>	
Introduction	15
<i>Luc DESCROIX</i>	
Encadré 1 : Géologie de la Sierra Madre occidentale. Constitution et origine	33
<i>Marc TARDY</i>	
MILIEU NATUREL ET PEUPEMENT DANS LA SIERRA MADRE OCCIDENTALE	
Les ressources en eau dans le centre-nord du Mexique. Perspective historique	49
<i>David VIRAMONTES</i>	
Encadré 2 : Propriété privée et publique, gestion collective. Quelle politique patrimoniale ?	59
<i>Luc DESCROIX</i>	
Une montagne en voie d'abandon ?	65
<i>Béatrice INARD-LOMBARD</i>	
Encadré 3 : Un contexte démographique et économique de transition. Démographie comparée de la Sierra Madre avec celle de deux autres régions agro-pastorales	83
<i>Luc DESCROIX</i>	
Le projet <i>Hervideros</i> . Un regard sur le passé préhispanique de la Sierra Madre occidentale du Durango, Mexique	93
<i>Marie-Areti HERS et Oscar J. POLACO</i>	
Encadré 4 : L'indianité et l'indigénisme au Mexique et dans la Sierra Madre occidentale	115
<i>Luc DESCROIX</i>	
LES SOLS ET L'EAU : PRÉCIPITATIONS ET RUISSELLEMENT DANS LA SIERRA	
Le climat et l'aléa pluviométrique au Nord-Mexique	129
<i>Jean-François NOUVELOT, Luc DESCROIX et Juan ESTRADA</i>	

La spatialisation des précipitations sur les deux versants de la Sierra Madre occidentale	145
<i>Luc DESCROIX, Jean-François NOUVELOT, Juan ESTRADA et Alfonso GUTIERREZ</i>	
Un encroûtement des sols limitant l'infiltration	155
<i>Jérôme POULENARD, José Luis GONZALEZ BARRIOS, David VIRAMONTES, Luc DESCROIX et Jean-Louis JANEAU</i>	
Des conditions favorisant une érosion et un ruissellement en nappe ..	171
<i>José Luis GONZALEZ BARRIOS, Luc DESCROIX, David VIRAMONTES, Jérôme POULENARD, Alain PLENECASSAGNE, Laura MACIAS, Christelle BOYER et Arnaud BOLLERY</i>	
PÂTURAGES ET FORÊTS SOUS PRESSION	
Trop de bétail et trop de bûcherons. Une économie minière	191
<i>David VIRAMONTES, Eva ANAYA, Coral GARCIA, Jérôme POULENARD, Henri BARRAL, Laura MACIAS et Maria Guadalupe RODRIGUEZ CAMARILLO</i>	
Encadré 5 : L'appréciation du surpâturage	201
<i>Eva ANAYA, Luc DESCROIX et Henri BARRAL</i>	
Une eau menacée par la dégradation des ressources végétales	207
<i>Luc DESCROIX, David VIRAMONTES, Eva ANAYA, Henri BARRAL, Alain PLENECASSAGNE, José Luis GONZALEZ BARRIOS, Jeffrey BACON et Laura MACIAS</i>	
Influence de la forêt sur la pluviométrie	221
<i>Luc DESCROIX, José Luis GONZALEZ BARRIOS et Raul SOLIS</i>	
UNE EAU DISPUTÉE DANS UN ESPACE ENCORE LIBRE	
L'eau, agent économique et enjeu politique	249
<i>Luc DESCROIX et Frédéric LASSERRE</i>	
L'écotourisme : une alternative à la déprise et à la surexploitation ? Des atouts pour développer une nouvelle activité	265
<i>Luc DESCROIX</i>	
Eau et espace à Valle de Bravo. La bataille pour l'eau	283
<i>Luc DESCROIX, Michel ESTEVES, David VIRAMONTES, Céline DUWIG et Jean-Marc LAPETITE</i>	
Conclusion : une région à construire, un territoire et des ressources à préserver	295
<i>Luc DESCROIX, David VIRAMONTES et José Luis GONZALEZ BARRIOS</i>	
Glossaire	303
Résumé	311
Summary	317
Resumen	323