

# *Le climat et l'aléa pluviométrique au Nord-Mexique*

**Jean-François Nouvelot**  
hydrologue

**Luc Descroix**  
géographe-hydrologue

**Juan Estrada**  
hydrologue

Alors que l'ensemble du territoire mexicain appartient au domaine tropical, caractérisé par l'alternance d'une saison des pluies correspondant aux mois les plus chauds et d'une saison sèche ou relativement sèche, marquée par les mois les plus froids, la majeure partie de la moitié septentrionale, plus précisément 60 % du pays, correspond à des zones arides ou semi-arides, qui reçoivent, en moyenne, moins de 500 mm de pluie par an. Cette vaste région, située entre le tropique du Cancer et le 32° de latitude Nord, est constituée d'un ensemble de hauts plateaux, dont l'altitude varie de 1 000 à 1 200 m, bordé à l'est comme à l'ouest par deux importantes chaînes montagneuses. Dans cet Altiplano, certains reliefs locaux peuvent atteindre 2 000 m d'altitude. Ce contexte géographique particulier explique le caractère de continentalité que reflètent non seulement les faibles précipitations mais aussi une évapotranspiration potentielle (ETP) qui représente cinq à dix fois les quantités de pluies tombées. Intervient, également et surtout, le rôle des circulations atmosphérique et océanique régnant sur, ou à proximité, de la zone. Les premières sont fortement dépendantes des hautes pressions subtropicales, alors que les secondes entraînent des remontées d'eaux froides le long des côtes de Basse-Californie (courant de Californie), deux facteurs peu favorables à la formation de précipitations abondantes.

On conçoit que dans de telles conditions, le problème de la disponibilité de la ressource en eau soit une préoccupation permanente, d'autant que les contraintes édaphiques, entre autres les faibles pentes, rendent les sols plus facilement exploitables ici que dans le sud du pays où les zones de relief escarpé sont prépondérantes. Si la moitié des terres cultivées de ces contrées sèches est irriguée, cela ne signifie nullement que

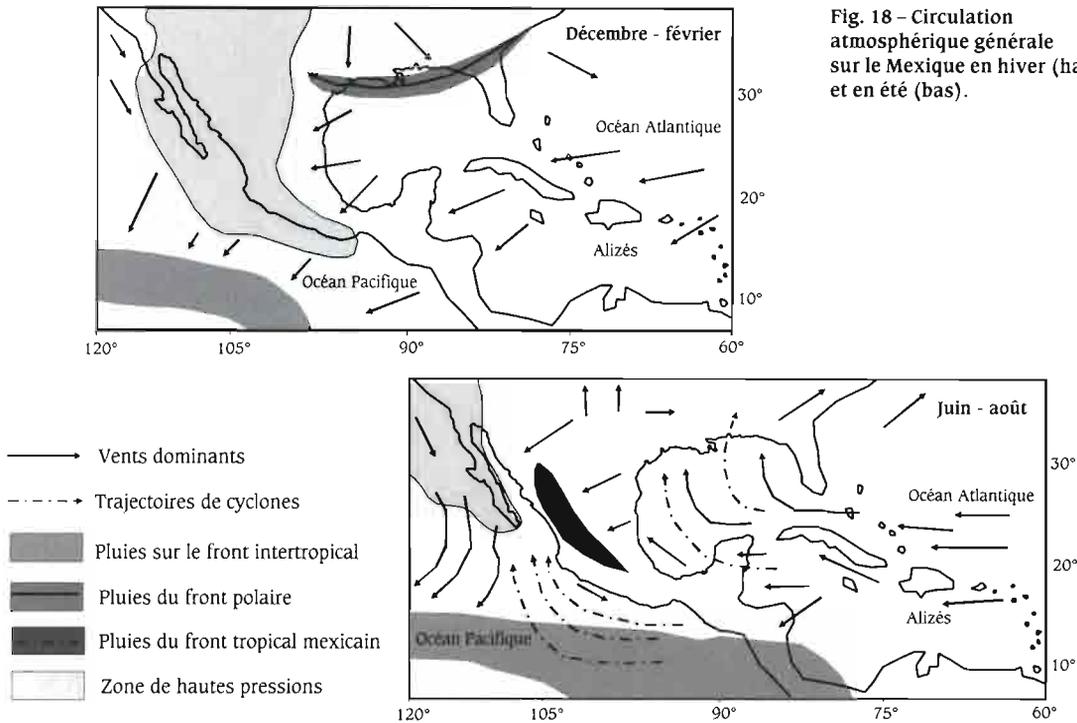
seules les cultures pluviales, majoritairement les productions alimentaires de base, soient soumises aux aléas climatiques. Les réserves en eaux superficielles, malgré la présence de grandes retenues peuvent s'avérer insuffisantes certaines années. Le recours, d'une manière massive, aux réserves souterraines profondes, dont la ré-alimentation, encore mal connue, est probablement limitée, serait dangereux et le reflet d'une politique de gestion à court terme hypothéquant l'avenir.

## Les facteurs du climat

Le climat qui caractérise l'ensemble du Nord-Mexique est régi essentiellement :

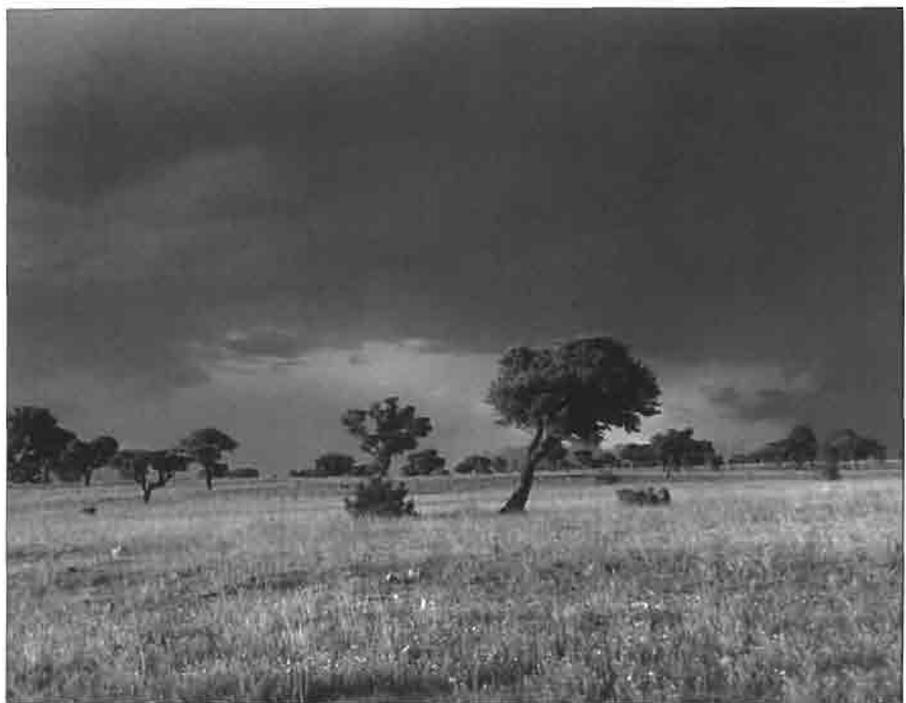
- par sa situation en latitude, au nord du tropique du Cancer, où la circulation zonale est sous la dominance des hautes pressions subtropicales ;
- par son relief qui fait obstacle à l'entrée des flux humides ;
- par les remontées d'eau froide du courant de Californie qui longe les côtes de la Basse-Californie.

Le bassin du Nazas qui se situe dans la partie méridionale de cette région (des latitudes 23° à 26°30' N) reste soumis, sensiblement, aux mêmes influences (fig. 18).



De décembre à mai, tous les hauts plateaux, de même que le littoral du Pacifique, sont sous le régime des hautes pressions subtropicales ; les vents d'est, dominants à ces latitudes, ne pénètrent alors que la zone côtière atlantique. De juin à novembre, les hautes pressions prennent une position plus septentrionale, en stationnant sur l'extrême nord-ouest du Mexique et la Californie américaine (désert côtier). Des flux d'air humide peuvent alors envahir l'Altiplano mexicain (SANTIBAÑEZ, 1992 ; CORNET, 1993 ; DELHOUME, 1995). Les masses d'air venu du golfe du Mexique, qui a tendance à s'assécher en franchissant la Sierra Madre orientale, peuvent tout de même créer une instabilité propice au déclenchement de pluies de convection. Ces masses d'air rencontrent celles venues du Pacifique à hauteur de la Sierra Madre occidentale, formant le Front tropical mexicain (CNA, 1975), situé à environ 10° plus au nord que le Front intertropical (FIT), avec une orientation générale NW-SE. Il se crée ainsi à l'ouest une instabilité favorable à la formation de précipitations, d'autant que l'effet orographique est ici important : si les sommets dépassent rarement 3 300 m, peu de cols se situent au-dessous de 2 500 m. Du côté oriental de cette barrière naturelle, les précipitations auront tendance à diminuer sensiblement, et ceci avec d'autant plus d'acuité que l'on s'éloigne du Pacifique.

Ciel d'orage sur les pâturages près de Tepehuanes.



À partir de la fin août, les queues de cyclones, formés principalement sur le Pacifique (ceux de l'Atlantique se dirigeant généralement vers le Texas et la côte nord du golfe du Mexique), peuvent franchir l'obstacle de la Sierra Madre occidentale. Des précipitations importantes peuvent alors être observées sur les crêtes et le versant oriental de la sierra, leur durée compensant leurs faibles intensités. Malgré tout, l'essentiel de ces précipitations se déverse généralement sur le littoral et les premiers reliefs. Les 13 et 14 octobre 1994, la queue d'une dépression tropicale a atteint la ville de Durango, située sur les hauts plateaux à une altitude peu inférieure à 2 000 m, où il s'est déversé 70 mm en 24 heures, puis la ville de Torreón, localisée à 200 km au nord-ouest, à 1 100 m d'altitude, où il a été enregistré 30 mm. Plus au nord, dans la Sierra Madre, il n'est tombé que 30 à 40 mm sur les villes de Santiago Papasquiaro et Guanaceví (haut bassin du Nazas), soulignant bien la trajectoire SW-NE de ce type de perturbations, avec parfois une certaine propension à s'infléchir progressivement vers l'est (NOUVELOT et DESCROIX, 1996).

## Répartition régionale et temporelle de l'aridité

À l'échelle des hauteurs annuelles, le gradient altitudinal et la distance à l'océan Pacifique expliquent bien (83 % de la variance) la répartition spatiale des précipitations. Ces deux facteurs ne sont pas indépendants, l'altitude baissant vers le centre du bassin endoréique à mesure que l'on s'éloigne de l'Océan. En effet, aucun apport n'est par ailleurs généré sur le continent, contrairement à ce qui est observé par exemple dans le Sahel africain, où la moitié des pluies n'est pas provoquée par des entrées océaniques. L'accroissement des précipitations, en fonction de l'altitude, serait voisin de 30-35 mm/100 m. En plus du rôle d'obstacle orographique, lié à la rugosité du relief, souvent accentué par une couverture arborée non négligeable, les zones montagneuses favorisent la condensation de la vapeur d'eau par un abaissement des températures, d'autant plus important que croît l'altitude (cf. « L'eau, agent économique et enjeu politique », p. 249).

La répartition mensuelle des précipitations, appelée régime pluviométrique par les climatologues, présente également une grande homogénéité. Le profil moyen mensuel a été défini à partir de soixante stations pluviométriques, réparties sur l'ensemble du bassin, en utilisant la méthode dite de la Classification ascendante hiérarchique (CAH). Afin de s'affranchir de l'effet d'abondance, pour qu'une station à fortes précipitations n'ait pas plus de poids qu'une station moins arrosée, les

douze valeurs moyennes mensuelles de chacune d'entre elles ont été ramenées en pourcentage du total annuel. À partir d'une partition initiale, où chaque station représente une classe dans un espace à douze dimensions (les valeurs mensuelles), des regroupements ont été effectués par agglomérations successives des classes les plus proches, caractérisées par leur centre de gravité. La distribution moyenne obtenue (tabl. VIII) montre une saison des pluies estivale bien marquée, qui s'étend de juin à septembre et représente 78 % du total annuel, avec un maximum en août. Les pluies d'hiver ne dépassent pas 8 % de ce même total. Une analyse un peu plus fine permet de distinguer une zone nord et nord-orientale qui, exposée davantage aux quelques rares entrées d'est : queues de cyclones atlantiques, et de nord-est : avancées hivernales du front polaire, se caractérise par une distribution des pluies d'été plus aplatie avec un total pour juin à septembre inférieur à 70 % du total annuel, les pluies d'hiver atteignant 12 % et les précipitations de mai et octobre étant également un peu plus abondantes (tabl. VIII).

**Tabl. VIII – Distribution mensuelle des précipitations dans le bassin du Nazas (en pourcentage du total annuel).**

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Zone : N-NE	3,9	2,2	1,1	2,6	6,0	13,5	17,2	19,7	18,1	8,0	3,3	4,4
Reste Nazas	3,0	1,1	0,7	1,6	3,5	12,9	22,3	24,1	18,4	6,9	2,4	3,2

L'homogénéité climatique rencontrée, tant au niveau régional que temporel, lorsque ne sont analysés que des valeurs ou indicateurs moyens, ne représente qu'un aspect, nécessairement incomplet, de situations beaucoup plus complexes et contrastées. Cette homogénéité incontestable n'est que le reflet de la **stationnarité** des phénomènes observés qui oscillent plus ou moins, suivant le type de climat, de part et d'autre d'une situation normale.

Une manière commode de définir quantitativement la variabilité d'un facteur mesuré est de calculer son coefficient de variation,  $C_v$ , qui est le rapport de l'écart-type,  $\sigma$ , à la moyenne,  $m$  :

$$C_v = \sigma / m.$$

L'écart-type ou la variance ( $\sigma^2$ ), qui mesure la dispersion des observations autour de la moyenne par, comme son nom l'indique, un simple calcul d'écarts, est lié directement aux valeurs des observations, c'est-à-dire qu'il risque d'être d'autant plus fort que ces valeurs sont elles-mêmes élevées. Il n'est donc pas possible de comparer entre eux des fac-

teurs, ou même des observations de même nature, qui se traduisent par des nombres très différents, par exemple des précipitations de zones désertiques avec des précipitations de zones humides. En divisant par la moyenne, l'effet d'abondance est gommé.

La variabilité des précipitations annuelles sur le bassin du Nazas, comme d'ailleurs sur l'ensemble du Nord-Mexique aride, se caractérise par une sensible décroissance lorsque la pluviosité augmente. Le coefficient de variation passe d'une valeur de 0,40-0,50 pour une précipitation annuelle de 200 mm, à seulement 0,15-0,30 pour 600 mm. Ces valeurs ne présentent pas un caractère d'exception. Elles sont très comparables à celles rencontrées en Afrique de l'Ouest et du Centre (Sahel), inférieures à celles du Nordeste brésilien et surtout très inférieures (de moitié environ) à celles caractérisant la zone côtière méridionale de l'Équateur (tabl. IX).

Le phénomène El Niño-Southern Oscillation (ENSO), qui représente un système couplé, circulation océanique-circulation atmosphérique, se traduisant, entre autres, par une élévation significative des températures de surface océanique du Pacifique tropical central et oriental, est la cause de cette exceptionnelle irrégularité. Lorsqu'elles sont soumises aux effets de ce phénomène complexe et encore mal connu, certaines régions désertiques (Équateur, Pérou) peuvent bénéficier de précipitations observées généralement en climat tropical humide. Par contre, dans le couloir interandin, proche de ces mêmes régions, sous les mêmes latitudes mais à des altitudes variant entre 2 200 et 3 000 m, avec des pluies annuelles se situant entre 400 et 600 mm, le coefficient de variation (Cv) est sensiblement comparable à celui observé dans le Nord-Mexique.

Il faut savoir que pour un coefficient de variation supérieur à 0,20, la distribution statistique des observations n'est plus gaussienne (aussi appelée « distribution en cloche », celle-ci caractérise les populations statistiques dont les effectifs se regroupent autour des valeurs centrales)

P. annuelle (mm)	Nord-Mexique	Sahel Afrique	Nordeste Brésil	Équateur Côte	Équateur Andes
200	0,40 - 0,50	0,30 - 0,45		0,75 - 1,00	
300	0,35 - 0,45	0,25 - 0,40		0,60 - 0,80	
400	0,25 - 0,40	0,25 - 0,35	0,35 - 0,45	0,45 - 0,65	0,20 - 0,30
500	0,20 - 0,30	0,20 - 0,30	0,35 - 0,45	0,40 - 0,60	0,15 - 0,30
600	0,15 - 0,30	0,20 - 0,30	0,30 - 0,40	0,40 - 0,55	0,15 - 0,25

**Tabl IX - Coefficient de variation des précipitations annuelles de différentes régions semi-arides.**

et présente donc une certaine asymétrie (généralement positive pour les précipitations), d'autant plus marquée que le Cv et par conséquent la variabilité sont forts.

Pour faciliter les comparaisons avec d'autres régions, il est usuel de déterminer les précipitations dont la fréquence d'apparition est assez rare, la fréquence décennale ( $F = 0,10$ ) représentant généralement une référence satisfaisante. Un événement correspondant à  $F = 0,10$  ou à son inverse  $T = 1/F$ , appelé temps ou période de retour, exprimé en années, est observé, en moyenne, une année sur dix, sans que cela signifie, bien évidemment qu'il se répète tous les dix ans. Ainsi, la probabilité d'observer une pluie de fréquence décennale dans une chronique de dix ans n'est que de 39 %, par contre, il existe 19 chances sur 100 d'en observer deux et même 1,5 chance sur 1 000 d'en observer cinq.

Sous l'isohyète annuelle 400 mm, la pluie journalière de fréquence décennale est de 45 à 70 mm dans le Nord-Mexique, 80 à 100 mm dans le Sahel africain, 90 à 115 mm dans le Nordeste brésilien et 75 à 100 mm dans la zone côtière équatorienne, seule la zone interandine se caractérise par des valeurs plus faibles : 20 à 40 mm (tabl. X).

Il semble donc incontestable que, dans ce domaine, l'altitude joue un rôle fondamental. La tendance reste sensiblement la même si on considère les hauteurs de pluie tombées durant des intervalles de temps plus courts. En comparant les intensités de fréquence décennale observées en 30 minutes, pour une précipitation annuelle de 400 mm environ, on relève (tabl. XI) : pour le Nord-Mexique, 65 mm/h ; pour le Sahel et le Nordeste, 80 mm/h ; pour la côte méridionale de l'Équateur, 75 mm/h et pour la zone andine 30 à 45 mm/h. Les averses orageuses du Nord-Mexique sont donc non seulement moins abondantes que celles observées dans certaines autres régions de la planète, appartenant au même domaine climatique, mais elles sont également moins intenses. Néanmoins, si ces pluies se caractérisent par une moindre agressivité, il

**Tabl. X – Pluies journalières de fréquence décennale de différentes régions arides.**

P. annuelle (mm)	Nord-Mexique	Sahel Afrique	Nordeste Brésil	Équateur Côte	Équateur Andes
200	40 - 60	55 - 75		65 - 75	
300	40 - 65	70 - 90		70 - 85	
400	45 - 70	80 - 100	90 - 115	75 - 100	20 - 40
500	45 - 72	90 - 105	95 - 120	80 - 110	25 - 45
600	47 - 75	95 - 110	100 - 120	90 - 120	30 - 50

Durée minutes	Nord-Mexique	Sahel Afrique	Nordeste Brésil	Équateur Côte	Équateur Andes
10	115	140	125	115	55 - 80
30	65	80	80	75	30 - 45
60	40	60	65	50	20

**Tabl. XI - Intensités des pluies de fréquence décennale de différentes régions arides pour environ 400 mm de précipitations annuelles (en mm/h).**

faut souligner que d'autres facteurs interviennent dans les phénomènes de ruissellement, d'infiltration et d'érosion. En effet, si les précipitations représentent effectivement un facteur déterminant pour expliquer le caractère de plus ou moins grande aridité des différents milieux rencontrés, il est important de considérer également le devenir de l'eau lorsqu'elle atteint le sol.

La capacité de ruissellement ou d'absorption, puis de rétention, du milieu récepteur, joue un rôle de première importance. Ainsi, lorsque les sols présentent des caractéristiques qui tendent à réduire leur capacité potentielle d'emmagasinement de l'eau, l'aridité édaphique (DELHOUME, 1995) vient s'ajouter à l'aridité climatique. Ce phénomène est très fréquent dans les zones sèches, à l'échelle du globe, dès que le pourcentage de couverture végétale est inférieur à 30 ou 40 %. Dans ce cas, la proportion d'espaces dénudés, appelés localement *peladeros*, est telle que les gouttes de pluie arrivant directement sur le sol provoquent par **battance** la formation de croûtes superficielles imperméables qui empêchent l'eau de s'infiltrer. Les faibles quantités d'eau qui franchissent tout de même cette barrière hydraulique sont très rapidement évaporées (cf. « Un encroûtement des sols limitant l'infiltration », p. 155).

## Les sécheresses

Définir sur des critères objectifs les caractéristiques d'une période de sécheresse : intensité, durée, extension spatiale, etc., représente un exercice peu aisé. Par commodité, nous appellerons année sèche, une année dont le total pluviométrique annuel est inférieur à la moyenne, calculée sur une période suffisamment longue pour être statistiquement significative. Une période de sécheresse correspondra donc à une succession d'années sèches. Dans le langage courant, il est rare (années exceptionnellement déficitaires) que le mot sécheresse ne s'applique qu'à un seul cycle annuel, car l'effet sur les différents milieux est alors rarement catastrophique. C'est le cumul d'années sèches qui rend perceptibles les modifications

intervenues sur les écosystèmes et agro-systèmes, preuve pour certains d'un véritable changement climatique à plus ou moins long terme.

Bovin (1995) signale qu'un certain nombre de sécheresses remarquables auraient sévi au cœur de l'empire aztèque, avant l'arrivée des conquistadores, et cite, plus particulièrement, la période 1450-1454 durant laquelle aucune pluie n'aurait été observée, assertion probablement exagérée mais qui a le mérite de souligner l'importance du fléau, avec toutes les conséquences sociales et économiques qui l'ont accompagné. Pendant les trois cents ans de la période coloniale (1521-1810), il y aurait eu, toujours d'après le même auteur, quatre-vingt-huit sécheresses, dont beaucoup ont concerné avec plus ou moins d'acuité le Nord aride, soit une moyenne d'une sécheresse tous les trois ou quatre ans. Le XIX<sup>e</sup> siècle n'est pas épargné avec un épisode remarquable entre 1850 et 1852 ; de 1875 à 1910, Bovin dénombre vingt-neuf épisodes secs dont quinze localisés dans le Nord du pays, c'est-à-dire une sécheresse tous les deux ans. Ceci laisse à penser que sont qualifiées de sèches toutes les années inférieures à la normale, critère qui rejoint la définition déjà proposée, sans que toutefois, ne soit considérée, semble-t-il, la notion de période sèche regroupant plusieurs années. Quatre années déficitaires, séparées chacune par une ou plusieurs années, plus ou moins humides, n'auront évidemment pas le même caractère de gravité et d'exception que quatre années sèches successives. Un exemple intéressant est donné par la période 1948-1962 durant laquelle n'a été observée dans le bassin du Nazas, et probablement sur une grande partie du Mexique septentrional, qu'une seule année significativement excédentaire : 1958 (année, il faut le préciser, caractérisée par un ENSO). On peut, dans ce cas, définir une seule sécheresse ou éventuellement deux épisodes séparés par l'année 1958, mais décompter dix ou treize sécheresses, suivant que l'on écarte ou non les années proches de la moyenne, serait dénué de sens et surtout occulterait le caractère exceptionnel de cet épisode.

Pour essayer de décrire puis analyser le plus objectivement possible les phénomènes mis en jeu, le recours à l'information climatologique est donc indispensable. Il s'agit essentiellement des données pluviométriques observées dans les stations les plus anciennes. Les chroniques obtenues, dont les plus longues remontent au début des années 1920, ont fait l'objet d'une analyse critique afin de s'assurer de leur cohérence au niveau régional. Il a pour cela été fait appel à la méthode dite du vecteur régional, MVR (DESCROIX *et al.* 2002). 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

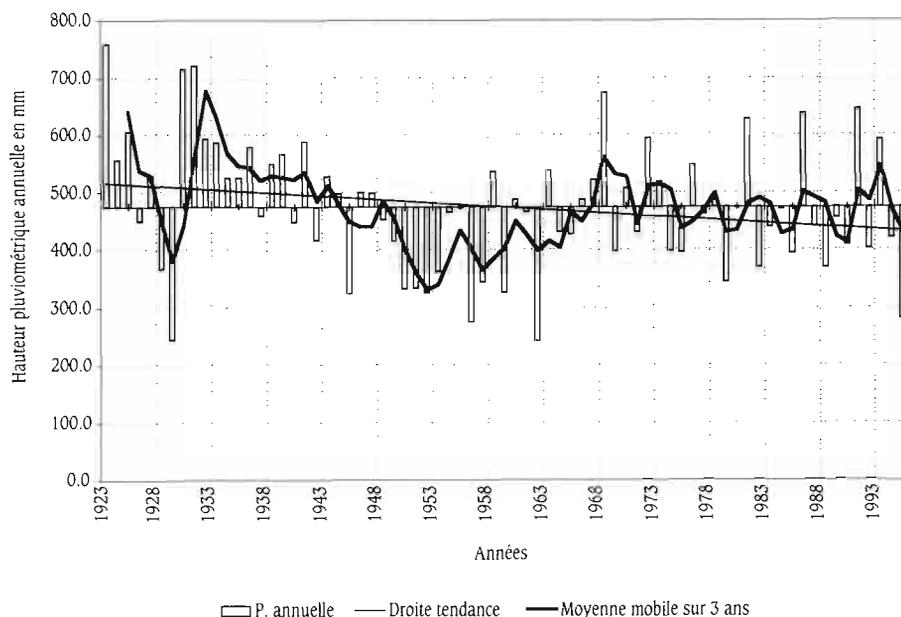
couverte. Cette élaboration s'appuie sur un principe du maximum de vraisemblance qui part du postulat que l'information la plus vraisemblable est celle qui se répète le plus fréquemment. Toute l'information apportée par chacune des stations d'observation doit contribuer à l'élaboration du vecteur régional, sans que les données erronées puissent avoir une influence sensible sur le résultat. En corollaire, l'information fournie par ce vecteur permet d'appréhender les fluctuations temporelles des précipitations d'une manière plus fiable, au sens de la représentativité spatiale, que l'information, nécessairement partielle, apportée par chacune des stations prises individuellement. Ceci suppose qu'un nombre suffisant de stations (trois au minimum) aient fonctionné de manière simultanée, ce qui malheureusement n'a pas été le cas lors de la mise en place, nécessairement progressive, des réseaux d'observations. Les chroniques les plus longues utilisées correspondront donc à des données ponctuelles et non à des informations régionales. Malgré tout, l'emploi du vecteur aura servi à débarrasser les données des erreurs systématiques qui risquaient d'altérer l'analyse des séries chronologiques. D'une manière générale, de telles séries peuvent présenter différentes caractéristiques qu'il est important de définir, même si dans la pratique leur mise en évidence n'est pas toujours aisée, la durée des chroniques disponibles étant, comme il a été souligné, nécessairement limitée.

Les variables appartenant à une série chronologique sont dites stationnaires quand leurs caractéristiques statistiques (moyenne, autocovariance) ne changent pas au cours du temps. Dans le cas contraire, un effet de tendance est à mettre en cause.

La figure 19 montre la série chronologique complète des observations pluviométriques annuelles de la station de Tepehuanes, située à une altitude de 1 800 m et caractérisée par une hauteur pluviométrique interannuelle moyenne de 472 mm, calculée sur soixante-treize ans (plus longue chronique disponible). Bien que la droite de tendance marque une légère décroissance, il serait hasardeux d'en déduire que depuis 1923 la pluviosité diminue, le pourcentage de la variance des précipitations expliqué par la chronologie des années n'étant que de 4,9 %, c'est-à-dire très loin du seuil de signification.

À l'examen de la série, quelques grandes variations pluriannuelles peuvent être décrites. Le début de la chronique se caractérise par une succession d'années excédentaires de 1923 à 1927, avec cependant une nette tendance à la baisse qui se poursuit au cours des années 1928 et 1929, marquées par un très fort déficit. À partir de 1930, commence

Fig. 19 – Pluviométrie annuelle à Tepehuanes depuis 1923.



une période pluvieuse qui s'étend jusqu'au début des années quarante : les deux premières années (1930 et 1931) sont, après 1923, les deux plus fortes observées en soixante-treize ans (elles ont toutes deux dépassé 700 mm). À partir de 1932, la tendance générale est, de nouveau, à la baisse des précipitations, celles-ci restant tout de même dans l'ensemble excédentaires, exceptée l'année 1945 qui semble annoncer la période 1948-1962 au cours de laquelle seule l'année 1958 dépasse sensiblement la moyenne. La fin de la série noire correspond à l'année 1962, la plus faible jamais enregistrée : 241 mm. On constate donc une nette décroissance des précipitations de 1930 à 1962, avec, en simplifiant, une première moitié plutôt excédentaire, la seconde partie étant au contraire marquée par un net déficit. À partir de 1963, la distribution des précipitations en fonction des années devient beaucoup plus aléatoire, avec des alternances d'années excédentaires et d'années déficitaires dont les pics et les creux sont séparés par des intervalles de deux à cinq ans.

Il faut souligner que des distributions chronologiques assez proches ont été observées sur le pourtour du Pacifique oriental, entre autres en Amérique du Sud dans la région côtière méridionale de l'Équateur, pourtant exposée directement à l'influence de l'ENSO qui tend à accuser l'amplitude des variations (fig. 20).

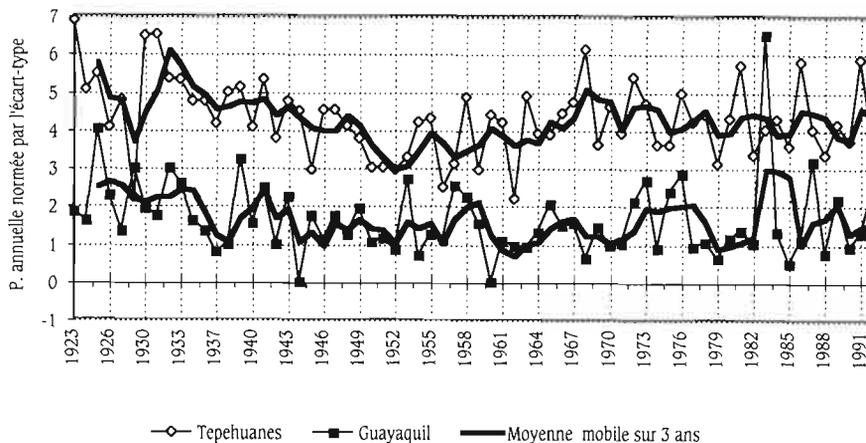


Fig. 20 - Évolution comparée de la pluviométrie à Tepehuanes (Mexique) et à Guayaquil (Équateur).

Les séries humides des années trente, comme les séries sèches des années cinquante, pourraient laisser penser que certains effets de persistance dominent la distribution temporelle observée, c'est-à-dire que la hauteur pluviométrique d'une année  $x$  donnée dépend de la hauteur de la ou des années précédentes. Dans ce cas, la répartition des précipitations ne serait pas purement aléatoire.

Dans une étude de la variabilité spatio-temporelle des cumuls pluviométriques annuels de la zone intertropicale, MORON (1996) définit, à l'échelle du globe, trois grandes bandes de fréquence : les périodicités décennales et supérieures, qui expliqueraient les vingt ans de sécheresse observés en Afrique sahélienne ou dans le nord de l'Amérique du Sud ; les périodicités comprises entre trois et huit ans, associées généralement à l'ENSO, avec un développement planétaire ; enfin, les périodicités quasi biennales, caractéristiques du sous-continent indien, de la région située autour du golfe de Guinée et de l'ouest de l'Australie. En toute logique, le Nord-Mexique et plus particulièrement le bassin du Nazas devraient se rattacher essentiellement au deuxième type. ROSSEL (1997) a montré que les précipitations annuelles excédentaires de la zone côtière du sud de l'Équateur sont très liées à l'ENSO mais que dans le nord du pays ses relations sont beaucoup plus faibles et deviennent très faibles, voire inexistantes, dans le couloir interandin et sur le flanc oriental amazonien de la cordillère des Andes, pourtant situés très près de la zone concernée. En se référant aux vecteurs pluviométriques régionaux (MVR) définis pour le bassin du Nazas, les liaisons ENSO-années excédentaires n'apparaissent pas significatives. L'ENSO est un phénomène d'une telle variabilité, non seulement dans le temps et l'espace, mais également dans son intensité,

que les différents spécialistes arrivent parfois à des conclusions opposées lorsqu'il s'agit de définir les années chaudes avec ENSO et les années froides sans ENSO. Toujours d'après Moron, les premières auraient été particulièrement bien marquées en 1952-1953 (déficitaire dans le Nord-Mexique), 1957-1958 (excédentaire en 1958), 1965-1966 (déficitaire), 1972-1973 (excédentaire), 1982-1983 (proche de la normale), 1986-1987 (excédentaire), et 1992 (déficitaire), les secondes en 1950 (déficitaire), 1954-1956 (très déficitaire), 1962 (fortement déficitaire), 1974-1975 (déficitaire), 1984-1985 (déficitaire). Il est particulièrement intéressant de noter que les années froides correspondent toutes à des années caractérisées par des précipitations déficitaires, la liaison avec les années chaudes n'étant pas, comme il a déjà été souligné, significative. L'exemple du Nord-Mexique semble montrer que les grandes causalités des phénomènes climatiques, et plus particulièrement pluviogènes, restent encore à préciser même si certaines grandes tendances commencent à être mises en évidence. Au niveau régional, l'appartenance à une structure déterminée est beaucoup moins franche. Les grands phénomènes mis en jeu : circulations atmosphériques et océaniques, ne sont pas figés. Leur intensité varie, tant dans le temps que dans l'espace, et il est fort probable que durant certaines périodes plus ou moins longues, en une zone déterminée, certaines influences prédominent pour, au contraire, devenir secondaires dans des phases postérieures. Pour le Nord-Mexique, il serait ainsi possible de rattacher la période allant de la moitié des années quarante à la moitié des années soixante à la classe, qualifiée par MORON (1996), de périodicités décennales, la phase postérieure à 1965 appartenant plutôt à la classe ENSO. La première période serait, toutefois, en phase opposée avec celle de l'Afrique sahélienne, puisqu'elle correspond ici à des années particulièrement déficitaires.

L'aridité est une caractéristique du Mexique septentrional qui correspond, néanmoins, en milieu naturel, à un certain équilibre, l'eau et plus particulièrement les précipitations transmettant aux écosystèmes récepteurs leur variabilité.

Les caractéristiques physiques de ces milieux, et en premier lieu les conditions édaphiques, interviennent également dans la redistribution des ressources hydriques à laquelle est liée la présence d'un couvert végétal plus ou moins fourni. Cet équilibre précaire et instable est menacé par deux contraintes de natures différentes dont les effets peuvent être catastrophiques.

## Conclusion

La première de ces contraintes est d'origine naturelle puisqu'il s'agit des effets de la sécheresse qui, plus ou moins régulièrement et avec plus ou moins d'intensité, atteint ces régions. Les écosystèmes réagissent par un processus d'autoconservation qui se manifeste par une réduction du couvert végétal, l'espace laissé libre devenant alors stérile. Le développement extrême de cette évolution aboutirait à la formation d'un véritable désert minéral. Confronté à de telles conditions, l'homme a cherché, et souvent trouvé, des moyens de survie qui se sont affinés avec le temps et sont même devenus source d'inégalités. L'édification de grands et moyens barrages par la puissance publique, assurant une gestion inter-annuelle des réserves, la construction de plus petits réservoirs (*presones*) par les exploitants privés et parfois par les exploitations communautaires (*ejidos*), l'utilisation à plus ou moins grande échelle des ressources souterraines, parfois profondes et peu réalimentées, sont autant de moyens qui permettent aujourd'hui de lutter contre les aléas climatiques. Toutes ces infrastructures concernent essentiellement le monde agricole puisque dans ces régions l'irrigation représente, et de loin, la plus forte demande en eau. Dans le bassin du Nazas, cette consommation atteint 95 % de la ressource utilisée, malgré la présence de l'agglomération de Torreón, Gómez-Palacio et Lerdo qui totalisent plus d'un million d'habitants. Il faut préciser que l'agriculture et l'élevage intensifs expliquent la présence d'un périmètre irrigué dont la superficie oscille, suivant les années, entre 120 000 et 160 000 ha. Le système de El Palmito ne permet pas, malgré sa grande capacité, de supporter plus de deux années de sécheresse prononcée. Or l'étude des chroniques pluviométriques et hydrométriques montre que la probabilité d'obtenir des séries de quatre à cinq années sensiblement sèches est loin d'être faible. Dans de telles périodes, la tentation est grande de puiser dans les réserves souterraines, même si celles-ci sont peu ou pas renouvelées. En conséquence, à côté des contraintes naturelles auxquelles est soumis le milieu, le poids des influences anthropiques n'est pas négligeable et tend même à s'accroître. Le surpâturage sur de très grands espaces, depuis de nombreuses décennies (grandes haciendas de la deuxième moitié du XIX<sup>e</sup> siècle), accélère le phénomène de dégradation de la couverture végétale qui favorise le ruissellement superficiel et par conséquent l'érosion mécanique, et diminue l'infiltration.

Diverses hypothèses ont été proposées pour tenter d'expliquer l'origine des sécheresses : échanges d'énergie entre océans et atmosphère, dérèglement à certains moments des circulations et des températures de surface océaniques en liaison avec des anomalies de la circulation atmosphérique (ENSO), liaisons possibles avec le cycle des taches

solaires, rôle de l'albédo différentiel et de l'orographie sur la circulation atmosphérique, etc. Ces recherches ont incontestablement permis de faire des progrès significatifs dans la compréhension des mécanismes mis en jeu, mais il est encore impossible aujourd'hui de prévoir ce type de phénomènes et encore moins d'en évaluer l'ampleur. La solution, pour éviter que l'équilibre précaire des milieux arides nord-mexicains ne soit rompu, ne peut donc venir que d'un changement du comportement de l'homme dans l'exploitation des ressources naturelles dites renouvelables, qu'il s'agisse de l'eau, du sol ou de la végétation. Une attitude résolument « conservationniste » ou « patrimonialiste » semble actuellement la seule planche de salut pour que le point de non-retour, déjà atteint dans certaines régions, ne se généralise pas, et pour assurer un développement durable.

## Références

- BOVIN P., 1995 – Les sécheresses au Mexique. *Sécheresse*, 6 (1) : 53-58.
- Comisión Nacional del Agua (CNA), 1975 – Atlas del Agua, México.
- CORNET A., 1993 – « Principales caractéristiques climatiques ». In : *Estudio integrado de los recursos vegetación, suelo y agua en la reserva de Mapimí*. Instituto de Ecología, México, D.F. : 45-76.
- DELHOUME J.P., 1995 – *Fonctionnement hydro-pédologique d'une toposéquence de sols en milieu aride (Réserve de la biosphère de Mapimí, Nord-Mexique)*. Thèse doctorat, université de Poitiers, 300 p.
- DESCROIX L., NOUVELOT J.-F., ESTRADA J., LEBEL T., 2002 – 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.
- 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.
- MORON V., 1996 – Régionalisation et évolution des précipitations tropicales annuelles (1946-1992). *Sécheresse*, 7 (1) : 25-32.
- NOUVELOT J.-F., DESCROIX L., 1996 – Aridité et sécheresse du Nord-Mexique. *Trace*. Cemca, Mexico, n° 30 : 9-25.
- ROSSEL F., 1997 – *Influence du Niño sur les régimes pluviométriques de l'Équateur*. Thèse de l'université Montpellier 2, 265 p.
- SANTIBAÑEZ A., 1992 – *La Laguna*. Monographie publiée à compte d'auteur, Torreón, Mexique, 240 p.

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>	
<b>MILIEU NATUREL ET PEUPEMENT DANS LA SIERRA MADRE OCCIDENTALE</b>	
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>	
<b>LES SOLS ET L'EAU : PRÉCIPITATIONS ET RUISSELLEMENT DANS LA SIERRA</b>	
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>	
<b>PÂTURAGES ET FORÊTS SOUS PRESSION</b>	
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>	
<b>UNE EAU DISPUTÉE DANS UN ESPACE ENCORE LIBRE</b>	
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