

Partie II. *Un paradoxe hydraulique*

Mettons nous pour un instant à la place des autorités publiques qui décident d'ouvrir la gestion des services publics à la participation des entreprises privés. Comment s'y prendre ? Les autorités doivent aussi construire une architecture de « quasi-marché¹ » où l'État se chargeait de la desserte de ces services ; en d'autres termes, « le marché doit être construit² ».

De combien de possibilités dispose-t-on pour garantir l'efficacité technique et commerciale du service, tout en assurant l'équité et la cohésion sociale ? Comment faire pour éviter des résultats négatifs lors de la participation des entreprises privées comme ce fut le cas à Caracas, où l'appel d'offres pour la privatisation est resté infructueux³ ? Ou, comme à Cochabamba, où les conditions de la privatisation ont déclenché des troubles que les acteurs locaux ont qualifié de véritable « guerre de l'eau⁴ » ? Il semblait qu'au début, les entreprises privées ne pouvaient participer à la gestion des services urbains que dans des schémas envisageant une privatisation complète. Pourtant, les options sont multiples.

¹ LORRAIN (Dominique), L'internationalisation des la gestion des réseaux urbains : retours d'expériences in *Annales de mines*, Paris, N°. Spécial, août 1999, pages 52 – 59.

² LORRAIN (Dominique), *Gestions urbaines de l'eau*, Paris, Economica, 1995. 263 p. Page 4.

³ COING (Henri), Changer les règles du jeu. Caracas, *chronique d'un privatisation manqué*, Pages 99 – 115 in LORRAIN (Dominique), *Gestions urbaines de l'eau*, Paris, Economica, 1995. 263 p.

⁴ GOUVELLO (Bernard), Les services d'eau potable et d'assainissement de Cochabamba : de la concession à la « guerre de l'eau, 16 pages in LORRAIN (Dominique) (Dir.), *Retour d'expériences ; 7 cas de gestion déléguée à l'étranger*, Paris, ISTED Groupe Services urbains et développement durable, janvier 2001.

Lorsque les autorités publiques mexicaines ont décidé de faire appel aux firmes intéressées, la tendance était de choisir des contrats de concession comme à Buenos Aires où les autorités signaient un contrat avec une seule firme privée pour la gestion déléguée du service d'eau de la ville. Cependant, leur choix a été de travailler par étapes. *Pourquoi avoir fait ce choix ? Comment étaient organisées ces étapes ? Quels instruments et indicateurs ont été prévus pour évaluer leurs résultats ?*

On appelle monopole naturel un secteur économique dont les caractéristiques technologiques sont telles que l'optimum de production consiste à laisser une entreprise unique produire en position de monopole dans ce secteur⁵. L'avantage principal du monopole est qu'il peut produire, avec un coût bas, les biens et produits pour le développement économique et la satisfaction des besoins de la population. L'option des autorités publiques lorsqu'elles ont décidé de permettre la participation du secteur privé dans la gestion des services publics a été de garder ce monopole afin d'obtenir des avantages sur l'efficacité de production. Cependant, le choix des autorités mexicaines a été de diviser le réseau de distribution d'eau potable entre quatre firmes et de travailler par étapes. *Pourquoi avoir choisi cette forme de contrats qui supposait de perdre l'avantage de l'efficacité de production du monopole ?*

Par ailleurs, l'étude des problèmes du District Fédéral nous a montré le besoin d'examiner l'histoire du service de l'eau de la ville. Avec cet examen, nous avons trouvé que le service a trois temps différents. Le temps long, celui de l'évolution de la ville et de son service d'eau. Le temps moyen, celui de la construction des institutions de l'État providence mexicain en charge de la gestion du service et qui s'est opposé, doucement mais fermement, à la participation de firmes privées dans la gestion. Le temps court, celui dans lequel les autorités publiques voulaient appliquer les modifications pour améliorer le fonctionnement du service du DF. Ce service a été marqué par la construction des ouvrages que la Banque Mondiale a qualifié d'« héroïques », surtout au regard des composantes de son système technique⁶.

⁵ COMBES (Pierre-P.) et al, La réglementation des monopoles naturels, pp. 9 – 29 in PERROT (Anne) (Ed.), *Réglementation et Concurrence*, Paris, Economica, 1997. 171 p.

⁶ Nous gardons ici le terme utilisé par les acteurs locaux pour décrire l'ensemble des infrastructures et équipements du service d'eau de la ville, ce qui exclut l'organisation commerciale du service.

3 Histoire d'un paradoxe hydraulique

Cherchant à comprendre les problèmes actuels en eau de la ville, nous nous sommes rendus compte qu'il existe une interaction entre l'exploitation des sources en eau par la ville et, réciproquement, les changements des réserves naturelles d'eau affectent les infrastructures de la ville (surtout leur diminution).

Nous avons trouvé que, pour le cas particulier de Mexico, A. Musset⁷ affirme que «dans cette région, l'eau a été l'enjeu d'un affrontement pluriséculaire entre deux civilisations que tout opposait, celle des Espagnols et celle des Indiens. Les uns avaient du mettre en place des systèmes hydrauliques qui permettaient l'utilisation rationnelle du milieu en maintenant l'équilibre des lacs. Les autres, au lieu de s'adapter à un environnement qui leur était étranger, essayèrent par tous les moyens de le détruire ». Une analyse de l'évolution du service s'est alors avéré nécessaire pour comprendre les difficultés actuelles de la ville en ce qui concerne son approvisionnement en eau et le rejet des eaux usées.

Une analyse de l'évolution du service s'est alors avéré nécessaire pour comprendre les difficultés actuelles de la ville en ce qui concerne son approvisionnement en eau et le rejet des eaux usées.

Ayant des ressources en eau limitées par rapport à la croissance démographique, la ville a toujours cherché l'eau de plus en plus loin. Cependant, il n'existe pas une bibliographie abondante sur ce thème, très riche historiquement. Les publications locales les plus adéquates pour notre recherche ont été des publications suite à des colloques ou conférences organisés pour trouver des solutions pour l'approvisionnement en eau de la ville.

Nous avons trouvé que, pour expliquer les problèmes actuels en eau de la ville, il fallait approfondir l'étude historique de l'évolution du service. Un constat nous a paru essentiel pour adopter cette démarche : certains des professionnels –surtout étrangers – n'avaient pas entièrement compris les problèmes du tassement de la ville, ou pourquoi une partie importante de l'approvisionnement en eau de la ville provient des bassins externes.

⁷ MUSSET (Alain), *Le Mexique*, Paris, Masson & Armand Colin Éditeurs, 1989, 1996, 274 p. Page 11.

Ainsi, nous avons découvert que le service en eau de la ville avait une histoire à trois temps. Un temps long, période auquel correspond la construction des infrastructures, tant pour le rejet des eaux usées que pour l'approvisionnement en eau potable. Il correspond à ce chapitre d'examiner l'évolution historique du service.

3.1 *Le paradoxe de l'eau de Mexico*

Comme la plupart des civilisations humaines, les Aztèques (ou Mexicas) se sont installés près d'une source d'eau potable, plus précisément, au milieu d'un lac. Ils ont fondé, en 1321, la capitale de ce qui deviendra un empire au centre d'un système de lacs : *Mexico*, *Zumpango*, *Chalco*, *Xochimilco* et *Texcoco*, tous les six situés à 2.200 mètres au-dessus du niveau de la mer. Déjà, à cette époque, la civilisation aztèque avait des problèmes avec les lacs. Celui de *Texcoco*, étant plus haut et plus salé, débordait sur celui de Mexico ce qui a entraîné la construction des premiers ouvrages hydrauliques de la ville.

En 1450, le roi de *Texcoco*, *Netzahualcoyotl*, sur ordre de l'empereur aztèque *Moctezuma Ilhuicamina*, conçoit et dirige la construction d'une grande digue de 12 kilomètres de long et de 4 mètres de large pour protéger la « Gran Tenochtitlán » des inondations. Cette digue sépare le lac de *Texcoco* de celui qui s'appelle désormais le lac de Mexico. Cet ouvrage contribue à diminuer la salinité de l'eau du lac, favorisant la culture agricole qui, à son tour, a entraîné la croissance démographique de l'empire aztèque⁸.



⁸ DDF-DGCOH, *El drenaje profundo*, México, DDF-DGCOH, 1990. Brochure, 20 pages.

Figure 3.1 : Illustration de la « *Grand Tenochtitlan* » à l'arrivée des *Conquistadores*.
Peinture mural de Luis Covarrubias exposée dans le musée d'Anthropologie et Histoire du Mexique.
Source : GDF, *Sinopsis de la piezometría del valle de México*, México, GDF, 2000. Archive : Michel Zabé.

Avant l'arrivée des Conquistadores espagnols, la ville disposait déjà d'un bon système de contrôle hydraulique et de méthodes sophistiquées de construction pour les bâtiments (places, pyramides, ponts et chaussées) situés dans le lit des lacs. Au fil des années, les Aztèques avaient réussi à construire un système d'ouvrages pour harmoniser leur vie avec celle des lacs dans des conditions difficiles, étant donné la faible résistance des sols des fonds des lacs. Ainsi, ils ont construit des canaux, des digues pour contenir les inondations et débordements du lac salé (*Texcoco*) vers les lacs d'eau douce, des ponts sur ces digues pour circuler à pied. Ils ont instauré un système de production agricole par *chinampas*⁹, des aqueducs pour amener de l'eau potable à partir de sources situées hors de la ville, etc.¹⁰ Ils ont édifié leurs pyramides et leurs temples sur des pilotis.

La figure 3.2 montre les digues préhispaniques de construits par les aztèques afin de contrôler les lacs de la régions et les inondations de la ville.

⁹ Ile flottante formée de boue et de branches d'arbres.

¹⁰ Ouvrages que les ingénieurs mexicains mettent en exergue dans les articles modernes concernant les problèmes de la ville.

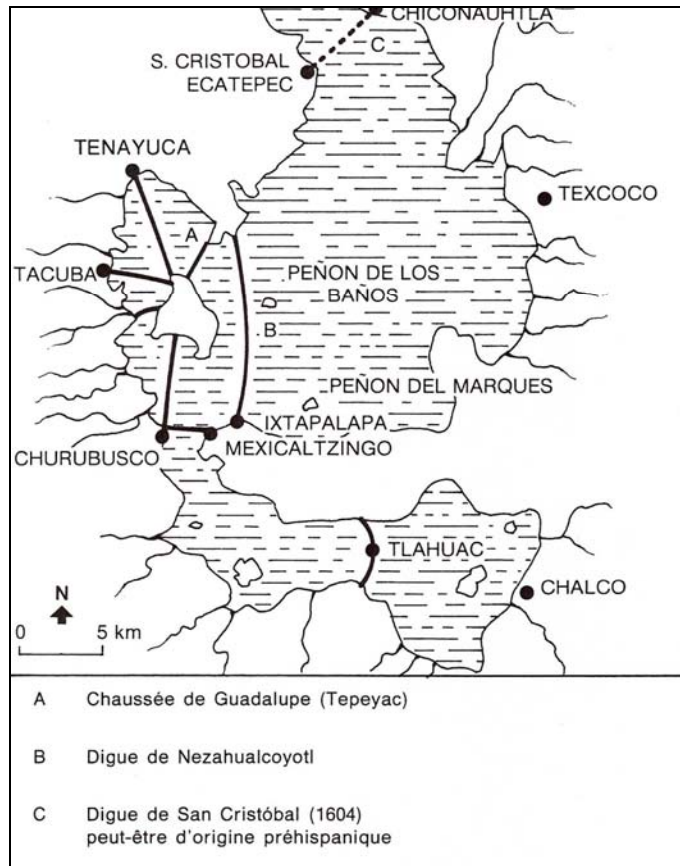


Figure 3.2 Les digues préhispaniques.

Source : MUSSET (Alain), De l'eau vive à l'eau morte. Enjeux techniques et culturels dans la vallée de Mexico (XVIe – XIXe siècles), Paris, Editions Recherche sur les civilisations, 1991, 443p. Page 234.

Après la *Conquista*¹¹, les espagnols ont décidé de garder cette ville comme capitale pour profiter du pouvoir politique que les Aztèques détenaient déjà sur la région dénommée Méso-Amérique, sans savoir qu'elle deviendrait une des villes les plus peuplées du monde moderne.

Les problèmes d'approvisionnement en eau de la ville de Mexico actuelle proviennent de cette décision politique. L'équilibre écologique dans lequel vivaient les Aztèques a été bouleversé par l'application des principes d'hygiène que les espagnols ont apporté dès 1521¹² et par des siècles de colonisation. Un des problèmes pour lesquels le dispositif institutionnel, objet d'étude de cette recherche, a été mis en œuvre, était le tassement de la ville. L'autre était la surexploitation des nappes phréatiques tant de l'intérieur de la ville que des aquifères de la vallée de Mexico. Or, le phénomène du tassement et celui de la surexploitation, étroitement associés à l'assèchement des lacs, ont commencé il y a longtemps. C'est pourquoi

¹¹ Le siège de la capitale aztèque a entraîné la destruction de nombreux ouvrages que ceux-ci avaient construit pour leur survie dans l'ensemble de lacs.

¹² MUSSET (Alain), De l'eau vive à l'eau morte. Enjeux techniques et culturels dans la vallée de Mexico (XVIe – XIXe siècles), Paris, Editions Recherche sur les civilisations, 1991, 443p.

nous avons décidé d'analyser ces processus pour mieux comprendre la problématique et la réalité des difficultés de l'exploitation du système hydraulique auxquelles ce dispositif institutionnel a dû faire face.

3.1.1 Premier sens du paradoxe... trop d'eau

L'assèchement des lacs de la vallée de Mexico

Dès la fondation de la ville coloniale espagnole, le drainage des eaux usées et de la pluie a représenté un problème important pour les habitants de Mexico. Il faut rappeler qu'en raison des conditions naturelles du bassin (endoréique) et de fortes pluies¹³, un système de lacs s'est formé. Ce régime de pluies, l'altitude des montagnes, les grandes extensions planes des parties basses de la ville rendent toujours difficile le contrôle des eaux pluviales dans la vallée. Dès sa fondation, tous les gouvernements de la ville ont toujours eu du mal à résoudre ce problème car il s'agit d'un bassin fermé, sans sortie naturelle pour les eaux usées et la pluie (§ chapitre 1). Le premier réflexe des gouvernements a été d'emmener les eaux usées et les eaux de pluie le plus loin possible de la ville, sans penser aucunement à leur utilisation. Avec cette idée fixe¹⁴, les autorités de la ville ont toujours favorisé la construction progressive d'ouvrages nécessaires à un système d'évacuation prenant en considération les difficultés posées par les montagnes qui entourent le bassin.

Ayant pris la décision de conserver la « *Gran Tenochtitlán* » comme capitale de la Nouvelle Espagne, la première préoccupation des Espagnols a été d'adapter la région aux conditions de vie qu'ils connaissaient et auxquelles ils étaient habitués¹⁵. C'est donc à partir de l'arrivée des Espagnols que commence le processus d'assèchement des cinq lacs situés dans la vallée de Mexico : *Chalco, Xochimilco, Xaltocan, Zumpango et Texcoco*.

En raison des inondations de la ville de 1604 et de 1607, le premier ouvrage pour le drainage des lacs a été proposé par le cosmographe allemand Enrico Martinez¹⁶ : construire un canal permettant de faire sortir les eaux du lac de *Texcoco*, le lac le plus haut et celui qui a la salinité la plus élevée, afin de le connecter avec la rivière *Tula*, puis avec les rivières *Moctezuma* et *Pánuco* pour déverser les eaux à la mer. La construction de ce canal étant trop

¹³ Ainsi, par exemple, pendant l'été, il peut tomber entre 7 et 10 % des précipitations annuelles accumulées. Sur ce total, il peut plus de la moitié peut tomber seulement en 30 minutes. DGCOH, Plan Maestro, México, DDF-DGCOH, 1997. Page 1-4.

¹⁴ Celle des Espagnols d'assécher les lacs pour vivre dans les mêmes conditions que dans leur pays d'origine.

¹⁵ Par exemple, le transport par rue et par chevaux par exemple, ce qui a abouti à l'assèchement des lacs et à la construction de chemins de terre aussi qu'à la disparition, à long terme, des canaux comme moyen de transport.

¹⁶ LEGORRETA (Jorge), Agua y más agua para la ciudad, México, *La Jornada ecológica*, lundi 28 juin 1997.

coûteuse pour les ressources économiques de la ville, il fut décidé de drainer le lac de *Zumpango*, le plus élevé mais aussi le plus proche de la sortie du bassin. Il s'agissait de dévier la rivière *Cuautitlán*, qui apportait son débit à ce lac.

La figure 3.3 présente les lacs du bassin de Mexico dans le XVI^e siècle.

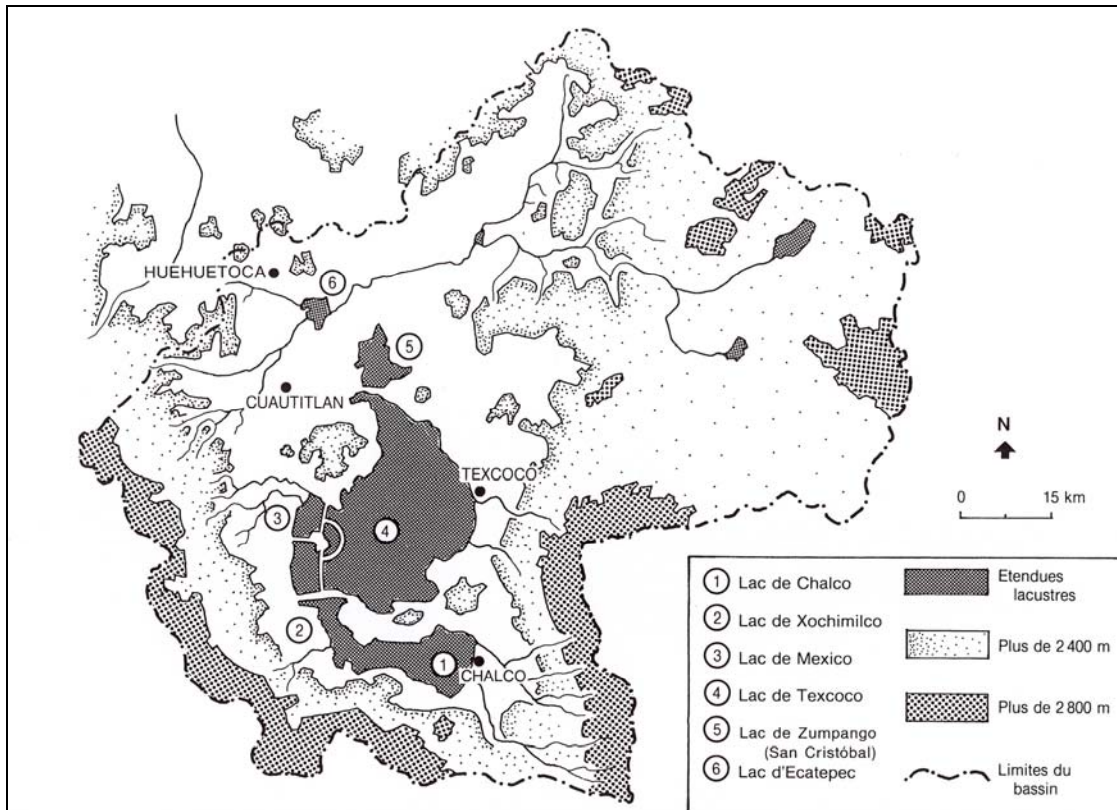


Figure 3.3 Les lacs du bassin de Mexico dans le XVI^e siècle.

Source : MUSSET (Alain), *De l'eau vive à l'eau morte. Enjeux techniques et culturels dans la vallée de Mexico (XVI^e – XIX^e siècles)*, Paris, Editions Recherche sur les civilisations, 1991, 443p. Page 90.

Selon Legorreta¹⁷, les travaux pour construire un tunnel (pour traverser les montagnes au nord de la vallée), appelé « *de Huehuetoca* », de 7 kilomètres¹⁸ de long et de 50 mètres de profondeur commencent en 1607 et durent onze mois. De cette manière, le bassin de Mexico n'est désormais plus un bassin fermé et devient un bassin qui déverse dans la mer¹⁹. Dans son dernier tronçon, ce tunnel est connecté à un ravin artificiel appelé *Nochistongo* qui servait à amener les eaux du fleuve *Cuautitlán*, affluent de ce lac. Le manque de revêtement et

¹⁷ *Ibid.*

¹⁸ 6,400 mètres selon Martínez et 6,600 selon Perló.

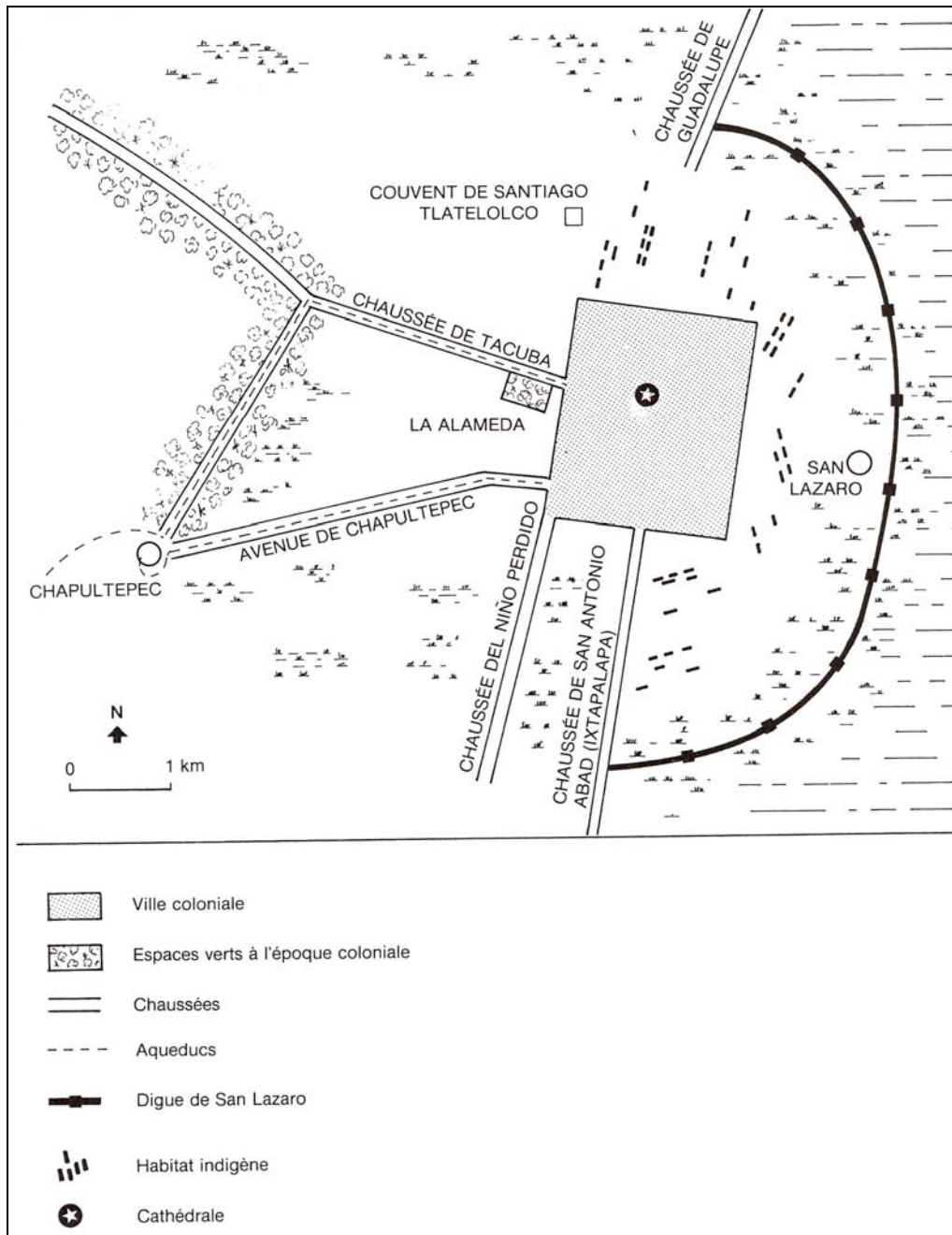
MARTÍNEZ (Alfonso), *Evolución del sistema hidráulico de la Ciudad de México y su Administración*, México, CADF, 1995. Mimeo. 43 pages plus annexes.

PERLO COHEN (Manuel), *El paradigma porfiriano. Historia del Desagüe del Valle de México*, México, PUEC-IIS-UNAM-Porrúa, 1999. p. 43.

¹⁹ Ce qui commence à dessiner le « *paradoxe de l'eau* » de Mexico.

d'entretien provoque très vite des écroulements et des éboulements des murs du canal, et dès 1629, l'ouvrage ne sert plus.

Des nouvelles inondations ont lieu et, avec elles, la peste apparaît à Mexico en 1629²⁰. Le Vice-roi de l'époque ordonne la reconstruction du canal déversoir. Cette reconstruction commence le 20 août 1637 et elle dure plus de 160 ans²¹. Un autre ouvrage pour protéger la ville des inondations du lac de Texcoco est la digue de San Lázaro. La figure 3.4 montre la localisation de cette digue.



²⁰ MARTINEZ, *Opus cit.*

²¹ *Ibidem.*

Figure 3.4 Chaussées et espace urbain à Mexico (XVIIe siècle) montrant la digue de San Lázaro.

Source : MUSSET (Alain), *De l'eau vive à l'eau morte. Enjeux techniques et culturels dans la vallée de Mexico (XVIe – XIXe siècles)*, Paris, Editions Recherche sur les civilisations, 1991, 443p. Page 295.

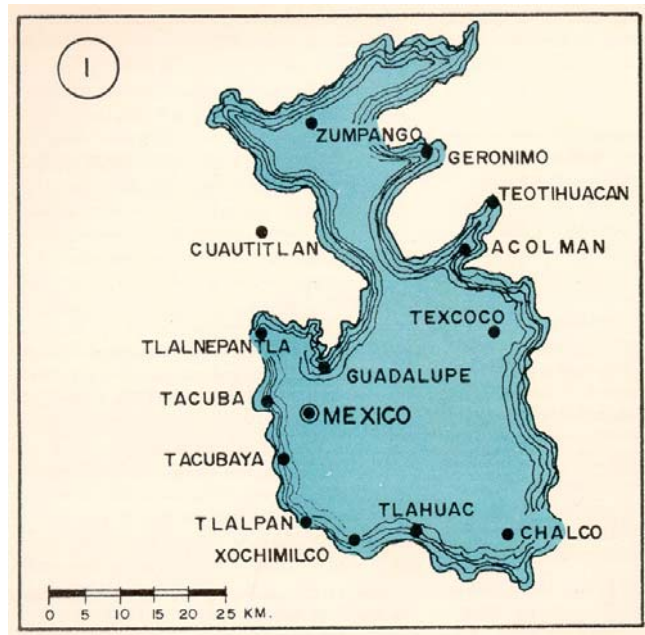
Les inondations dues aux des débordements des lacs dans la vallée sont récurrentes aux XVIII^e et XIX^e siècles : 1732, 1747, 1795, 1819, 1851 et une situation d'extrême urgence en 1865. Au fur et à mesure que la ville subit des inondations et donc des mauvaises conditions de vie (odeurs désagréables, maladies, difficultés pour le transport des personnes et des marchandises, famine, etc.), l'idée d'assécher définitivement les lacs progresse. Après les pluies torrentielles de 1865, les autorités publiques de l'époque décident de lancer un appel à la population afin de recevoir des projets pour la construction d'un grand canal dont l'objectif serait d'assécher les lacs. C'est le projet de l'ingénieur Francisco de Garay qui est choisi. Malgré les efforts des autorités publiques, le projet n'aboutit pas pour des raisons politiques, financières et organisationnelles²².

La construction définitive du « *Gran Canal del Desagüe* » est finalement entamée en 1888, sous le deuxième mandat présidentiel du général Porfirio Diaz, après avoir résolu maintes difficultés, principalement de financement. Les travaux nécessaires pour la construction des ouvrages (y compris celle d'un nouvel tunnel, celui de *Tequixquiac*, de onze kilomètres de long et 4 mètres de diamètre) prennent douze années, marquées par des incidents et des contretemps financiers. L'inauguration par le dictateur Diaz a finalement eu lieu en 1900²³.

La figure 3.5 présente le processus d'assèchement des lacs de la vallée de Mexico.

²² PERLO, *Opus cit*, pp 48-58.

²³ LEGORRETA, *Op. Cit.*



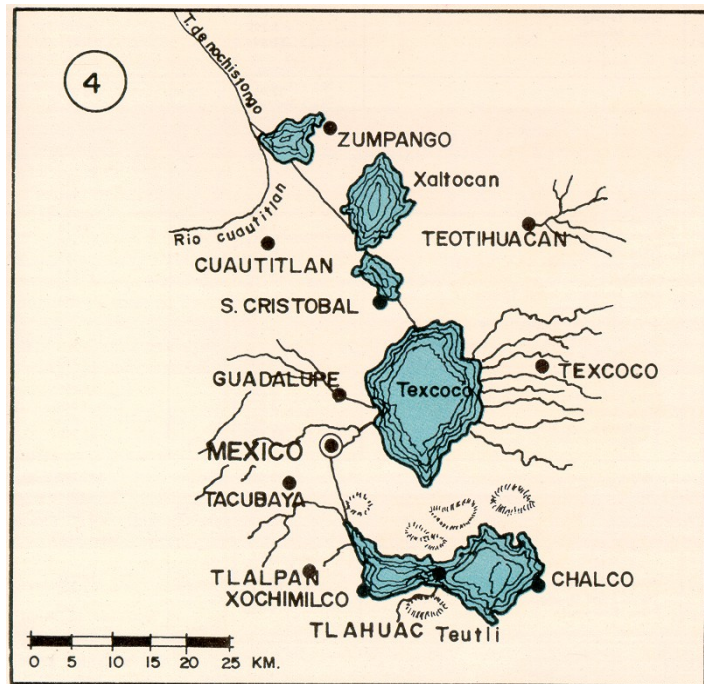
Le système de lacs de la vallée de Mexico pendant l'époque diluvienne.



Le système de lacs de la Vallée de Mexico au début du XVIème siècle.



Le système de lacs de la vallée de Mexico au début du XIXème siècle.



Le système de lacs de la vallée de Mexico en 1889.

Figure 3.5 Le processus d'assèchement des lacs de Mexico.

Source : CASTILLO (R.), "Ciudad de México" Memorias del Simposio *El subsuelo y la Ingeniería de cimentaciones en el área urbana del valle de México*, México, Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos, 1978. pp. 15 -50. Cité par JAIME (Alberto), *Problemática de la Ingeniería de cimentaciones en el valle de México*. I. Aspectos generales y condiciones del suelo, p. 119 in MAZARI (Marcos), KUMATE (Jesus), *Problemas de la cuenca de México*, México, Colegio Nacional, 1990. Archive : Elizabeth Schiling Kiel (1938).

XX^e siècle

Malgré la réussite de cet ouvrage, les inondations de la ville ne sont arrêtées que pour une période relativement courte. La contrepartie de cette politique suivie d'assèchement des lacs, a été l'arrivée de nombreuses personnes de la province mexicaine qui se sont installées dans les zones nouvellement asséchées. Entre 1926 et 1953, la ville a vu sa population s'accroître de 368%, passant de 950 000 habitants à 3,5 millions et de 46 kilomètres carrés de superficie urbaine à 240 km². Cette croissance accélérée et l'imperméabilisation des sols ont entraîné la saturation des anciens déversoirs qui recevaient les eaux pluviales. Ainsi, la ville a dû construire, entre 1939 et 1942 un nouveau tunnel similaire à celui de *Tequixquiac*, pour pouvoir déverser les volumes d'eau de pluie liés à l'extension de la ville²⁴.

En dépit des toutes les précautions prises, une autre grande inondation a eu lieu en 1951. Le centre-ville et les quartiers voisins sont inondés sous deux mètres d'eau pendant trois mois, retransformant la capitale en lac. Les pluies et le tassement du sol de la ville obligent à installer 29 pompes dans certains points spécifiques de la ville afin d'évacuer les eaux pluviales²⁵. Les dernières rivières (vieux vestiges de l'ancien lac de Mexico) qui restaient dans la ville sont canalisés dans des tuyaux : *Consulado*, *Mixcoac*, *la Piedad*, *Churubusco*, parce qu'elles conduisaient par canaux des eaux usées.

En 1960²⁶, deux nouvelles conduites sont construites à l'est de la ville pour évacuer les eaux pluviales : l'*Interceptor poniente* (intercepteur de l'ouest) et l'*Emisor poniente* (canalisation de l'ouest) dont l'objectif est d'intercepter en amont (à plus de 2.260 mètres d'altitude) les eaux des montagnes situées à l'ouest de la ville pour connecter l'*emisor aux* canaux de *Nochistongo* et l'*Interceptor* au *Gran sistema del drenaje profundo*²⁷ (Grand système drainage profond).

Le Système de drainage profond de la ville de Mexico (*Sistema de Drenaje profundo de la Ciudad de México*) est l'un des ouvrages les plus remarquables du génie civil en Amérique latine. Ce « *Sistema* » (système technique) fonctionne dans un cadre compliqué du point de vue géologique et hydrologique car la vallée de Mexico est un bassin dont les bords

²⁴ *Ibid.*

²⁵ Le régime des pluies dans la ville de Mexico est de type torrentiel : une forte pluie peut tomber dans une demi-heure.

²⁶ DDF, DGCOH, *El sistema de drenaje profundo de la ciudad de México*, México, DDF-DGCOH, 1990. 20 p.

²⁷ MARTINEZ, *Opus Cit*, p. 9.

et le fond de cuvette sont formés par des roches volcaniques²⁸ (Cf. 1.1). Cette cuvette s'est remplie au cours de siècles, de sédiments fluviaux et lacustres volcaniques d'origine très variée : sables (gros et fins) et argiles fines, avec un niveau d'eau très élevé. Ce système technique est composé de tunnels (de 110.7 kilomètres de longueur totale et de 3.10 à 5 mètres de diamètre) qui traversent tout le sous-sol de la ville à des profondeurs de 15 à 217 mètres. Toutes les eaux usées et les eaux de pluie sont conduites vers un tunnel central, l'*Emisor central*. Ce tunnel intercepteur, de 6,5 mètres de diamètre, traverse la ville du sud au nord, à une profondeur de plus de 200 mètres.

Les autorités responsables de la ville ont choisi un système de construction du tunnel profond en raison du tassement du sol. Faire un autre canal n'aurait pas servi longtemps²⁹. Les conditions du sous-sol de la ville rendent extrêmement difficile la réalisation de l'excavation d'un tel ouvrage en raison de sa taille et de sa profondeur. C'est pourquoi l'excavation a dû être faite avec un « bouclier » pressurisé, travaillant au début à 0,8 kilogrammes par centimètre carré et jusqu'à 2,7.

²⁸ Cf. *supra* Chapitre 4.1.

²⁹ DDF - DGCOH, *Opus Cit.*

La figure 3.7 montre les effets du tassement sur les infrastructures de la ville et sur les infrastructures pour l'évacuation des eaux usées pendant le XX^e siècle.

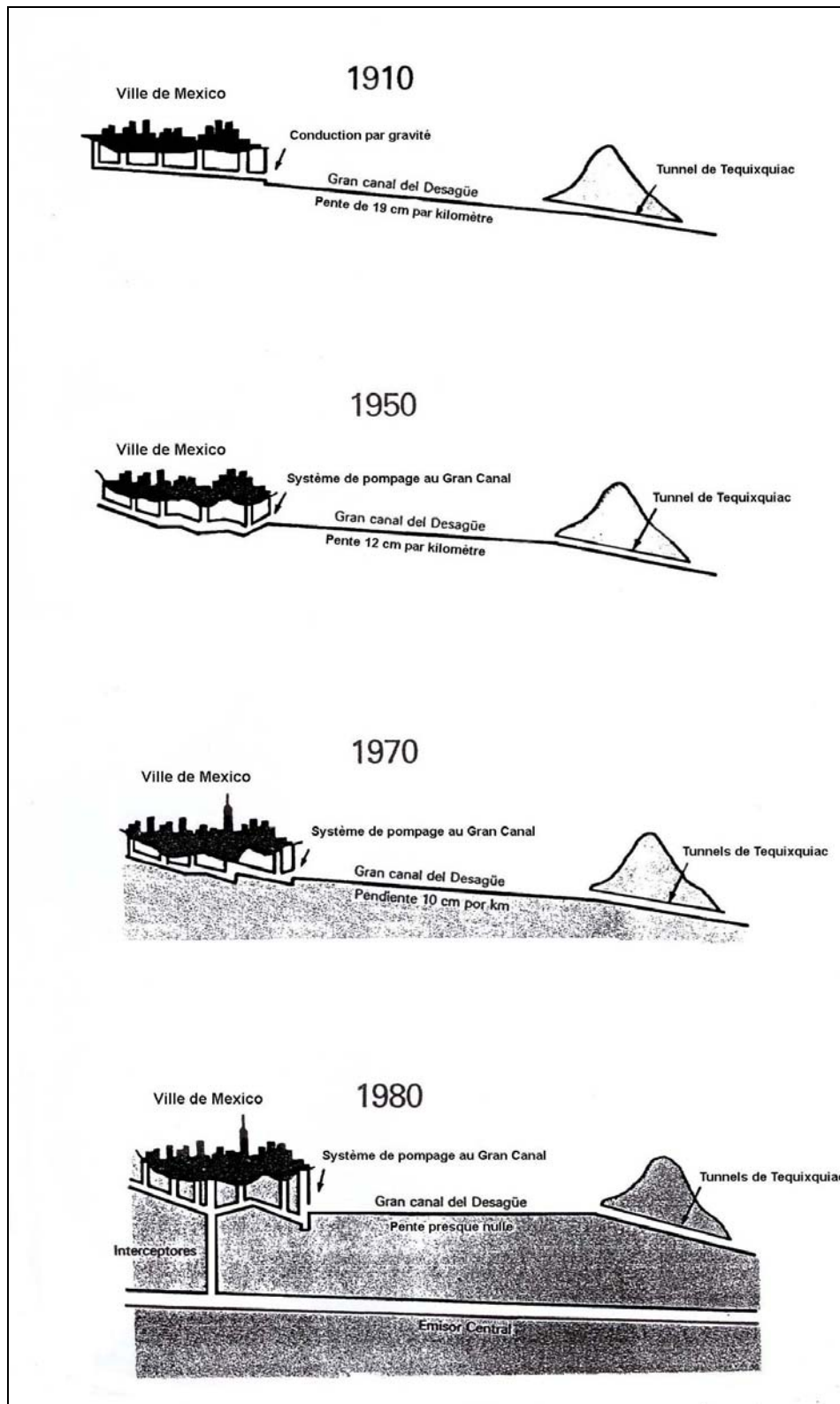


Figure 3.7 : Le profil de la ville et l'inversement de la pente du *Gran Canal* et le profil du *Drenaje profundo*. De la brochure du même nom.

Source : GUERRERO VILLALOBOS (Guillermo), MORENO FERNÁNDEZ (Andrés) y GARDUÑO VELASCO (Héctor) (Coord.), *Sistema hidráulico del Distrito Federal. Un servicio público en transición*, México, DDF-SOS-DGCOH, 1982. 529 p.

Le tableau 3.1 présente le détail des éléments du système technique du *Drenaje profundo*.

Ouvrage	Longueur Total (km)	Longueur Construit (km)	Longueur en opération (km)	Longueur à construire (km)	Diamètre ϕ (m)	Débit (m ³ /s)	Pente (m/km)	Profondeur (m)	
								Min	Max
Emisor Central	49.7	49.7	49.7	0.0	6.5	220	2.0	48	217
Interceptor central	22.4	16.2	16.2	6.2	5.0	90	0.5	22	41
Interceptor Oriente	28.1	28.1	28.1	0.0	5.0	85	0.5	37	55
Interceptor Oriente-Sur	13.7	13.7	13.7	0.0	5.0	N. A.	N. A.	N. A.	N. A.
Interceptor centro-centro	3.6	3.6	3.6	0.0	5.0	90	0.02	25	26
Interceptor centro-poniente	16.1	16.1	16.1	0.0	4.0	40	1.3	22	51
Interceptor Oriente - Oriente	7.2	3.3	0.0	3.9	N. A.	N. A.	N. A.	N. A.	N. A.
Interceptor Iztapalapa	5.3	5.3	5.3	0.0	3.2	20	0.0	11.5	15.5
Interceptor Obrero mundial	0.7	0.7	0.7	0.0	3.2	20	1.5	10	16
Interceptor Canal Nacional Canal Chalco	16.2	10.5	10.5	5.7	3.2 et 3.1	20	0.15	15	17
Interceptor Indios Verdes	2.8	0.0	0.0	2.8	3.1	N. A.	N. A.	N. A.	N. A.
Interceptor Ermita	6.6	0.0	0.0	6.6	3.1	N. A.	N. A.	N. A.	N. A.
Interceptor Cuauhtepac	1.8	0.0	0.0	1.8	3.1	N. A.	N. A.	N. A.	N. A.
Interceptor Gran Canal	1	0.0	0.0	1	3.1	N. A.	N. A.	N. A.	N. A.
Total	192	164	153	28	---	---	---	---	---

Tableau 3.1 Le système de *Drenaje Profundo*.

Sources : DDF, DGCOH, El sistema de drenaje profundo de la Ciudad de México, México, DDF-DGCOH, Mimeo. INEGI, *Estadísticas del Medio Ambiente del Distrito Federal y Zona metropolitana*, México, INEGI, 2001. Page 72.

La Figure 3.8 montre la distribution du système de drainage dans la ville. Ce système s'étend sur tout le territoire du District Fédéral et conduit les eaux usées et pluviales hors de son territoire.

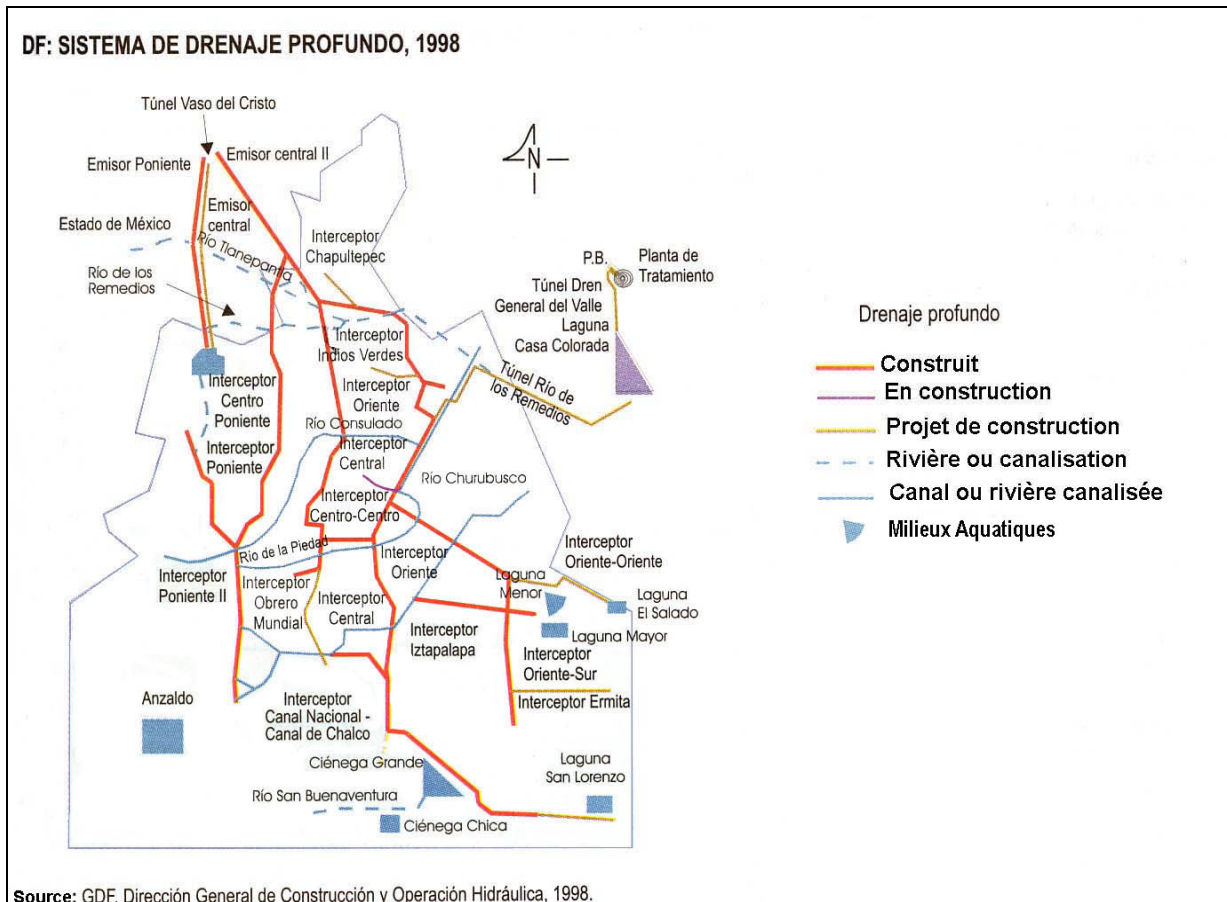


Figure 3.8 Le système de drainage profond De la ville de Mexico en 1988.

Source : INEGI, *Estadísticas del Medio Ambiente del Distrito Federal y Zona metropolitana*, México, INEGI, 2001.

3.2 *Second sens du paradoxe... manque d'eau*

3.2.1 *L'évolution du système technique d'approvisionnement en eau potable*

Actuellement la Zone métropolitaine de la ville de Mexico (ZMCM) est un « géant assoiffé » qui consomme entre 60 et 65 mètres cube d'eau potable par seconde (m^3/s). Afin de satisfaire cette demande, il a fallu construire, pendant des décennies, des ouvrages énormes tant à l'intérieur qu'à l'extérieur de la ville : infrastructures d'approvisionnement, d'adduction, de stockage et de distribution d'eau. Dans cette partie, nous analysons le déroulement de ces travaux en soulignant les différentes étapes de prise de décisions.

Il existe deux types de sources pour l'approvisionnement en eau potable de la ZMVM. Les sources (sur)exploitées à l'intérieur du bassin et celles qui proviennent de sources souterraines ou superficielles situées hors de la vallée³⁰. La question qui se pose, fondamentale quand on observe les plans des infrastructures et des équipements pour l'approvisionnement et d'adduction de l'eau potable de sources internes et externes de la vallée, est la suivante :

Pourquoi être allé à chaque fois plus loin pour trouver les sources satisfaisant la demande en eau de la ville ?

Les grands ouvrages montrent la volonté des pays de soumettre leurs économie et situation sociales à des processus de modernisation. La construction de nouvelles infrastructures est parfois économiquement plus rentable pour tous les acteurs qui y participent que l'entretien des installations existantes. Toutefois, il n'est pas moins vrai que ces décisions ne sont pas prises facilement et qu'il faut mettre en place des dispositifs institutionnels permettant de mutualiser risques et bénéfices de ces ouvrages. En ce qui concerne l'approvisionnement de la ville de Mexico, il semble que la tradition, dès l'époque de la colonisation espagnole, a été, d'un côté, d'assécher les lacs et de l'autre, d'amener, à chaque fois de plus loin l'eau nécessaire à toutes les activités de la vie quotidienne des habitants de la ville.

Nous abordons tout d'abord l'analyse de l'histoire de l'approvisionnement en eau potable provenant des sources internes à la vallée puis nous examinerons l'évolution des les sources externes au bassin de Mexico.

³⁰ Eviter le tassement du sol de la ville résultat de la surexploitation en eau de la nappe phréatique c'est la raison qui a servi pour justifier la construction de ces grandes travaux pour emmener l'eau de sources lointaines.

Développement des sources internes

Actuellement, il y a 2 746 puits en activité dans la vallée de Mexico qui servent à extraire autour de 45 m³/s d'eau potable. Ce débit correspond au double de la capacité de recharge de la nappe phréatique³¹. Du fait de cette surexploitation des sources souterraines la ville subit un processus de tassement graduel et différentiel. Un des exemples le plus remarquables est celui du centre de la ville qui a subi, à cause de ce phénomène, un tassement total de 7,5 mètres³² au cours du XX siècle. Les conséquences en ont été un tassement du sol de la ville à un coût extraordinairement élevé pour la construction et l'entretien des réseaux d'eau potable et d'assainissement de la ville : réparation des fuites d'eau, pompage des eaux usées vers les canaux de drainage de la vallée, dommages provoqués sur les fondations des bâtiments et les diverses infrastructures de gestion des services urbains de la ville.

Sources naturelles d'eau, puits et tassement de la ville

La civilisation aztèque n'utilisait pas l'eau du lac pour satisfaire tous ses besoins en eau potable parce que, parfois, elle se mélangeait aux eaux salées du lac de *Texcoco*³³. Elle s'approvisionnait en eau potable auprès de sources naturelles lointaines. Dans ce but, l'empereur *Moctezuma Ilhuicamina* avait fait construire un premier aqueduc de 3 kilomètres de longueur pour conduire l'eau potable de la zone de Chapultepec, région au sud ouest de la ville jusqu'à *Tenochtitlan* (1465-1466)³⁴.

Pendant la période coloniale, les Espagnols ont dû reconstruire cet aqueduc qu'ils avaient détruit au cours du siège de la capitale aztèque en 1521. En 1571, étant donné l'extension de la surface urbaine et l'accroissement de la population, la ville décide d'utiliser les sources de *Santa Fe*, village situé à l'ouest. Ces ouvrages sont terminés en 1576³⁵. Au fur et à mesure que la capitale s'étend, de nouvelles sources sont intégrées au système d'eau. D'abord, celles de *Coyoacan*, puis celles de *Cuajimalpa*, *Desierto de los Leones* et *Rio Hondo*, toutes situées au sud du bassin.

³¹ LEGORRETA (Jorge), *El abastecimiento y distribución del agua en la zona metropolitana de la ciudad de México*, México, Mimeo. Page 5.

³² INEGI, *Estadísticas del Medio Ambiente del Distrito Federal y Zona Metropolitana*, Aguascalientes, INEGI, 2001. Page 60. Ce chiffre est une moyenne car le tassement est différent selon le point de la ville.

³³ Pour celui-ci qui a été aussi construit, par le roi de Texcoco, Netzahualcōyotl, une digue de onze kilomètres pour séparer les eaux douces du lac de Mexico des autres lacs du système.

³⁴ LEGORRETA (Jorge), *Las utopías lacustres de la Megalópolis del siglo XXI*, México, 8 pages. Mimeo.

³⁵ *Ibid.*

En 1846³⁶, la découverte de l'eau souterraine par forage de puits artésiens, à une profondeur de 40 mètres, déclenche une forte vague de forages anarchiques de la part de la population. Plus tard, les sources naturelles de la ville de Mexico étant insuffisantes pour son approvisionnement en eau potable, le gouvernement décide de procéder au forage des puits pour l'exploitation des ses propres nappes phréatiques. De la sorte, on est passé de 200 puits en 1864 à 483 en 1877 et plus de mille cent en 1900³⁷. L'exploitation et l'utilisation de cette eau souterraine provoquent, dès 1861, un processus de tassement du sol au rythme de 5 cm par an en moyenne³⁸ (mesures effectués entre 1861 et 1895³⁹).

Dans le XX^e siècle, les problèmes d'approvisionnement en eau de la ville continuent de s'accroître. Un document de l'Académie de l'eau explique que :

« Un peu avant 1900, la capitale recevait en moyenne 480 litres [d'eau] par seconde amenés par 104 kilomètres de conduite, chaque prise ayant un débit de 1,15 litres par minute pour les bâtiments raccordés. En 1901 le réseau s'étend de quelques kilomètres supplémentaires ; il alimente 6.532 maisons avec un débit total de 570 litres par seconde à partir de 1.132 puits artésiens. L'eau de la source de « Chapultepec » est refoulée dans des réservoirs situés dans le secteur de Dolores, à l'ouest de la ville, d'où elle est distribuée au reste de la population ».⁴⁰

Selon Legorreta⁴¹ plus de 1 100 puits avaient un débit de 0,28 m³/s. A cela s'ajoutaient les eaux des aqueducs et des sources superficielles. Les débits de chaque source étaient : pour *Chapultepec*, 0,21 m³/s ; pour el Desierto de los Leones y Santa Fe, 0,15 m³/s et de Río Hondo 0,29 m³/s. Ce même auteur estime que le débit total de ces sources entre 1901 et 1902 était d'environ 0,93 m³/s. Cependant, cela ne paraissait pas suffisant pour les besoins futurs de la ville. Ainsi, des études de faisabilité pour amener l'eau de plus loin (de la zone de *Xochimilco* à l'intérieur du bassin) sont entreprises à partir de 1902. En 1909, de nouveaux travaux sont réalisés pour amener de l'eau de la zone de *Xochimilco*. Le débit total des sources de *La Noria*, *Nativitas* et *Santa Cruz* était de 1,7 m³/s. L'eau parcourait 26 kilomètres avant d'arriver aux bassins de stockage de la ville en *Molino del Rey*⁴². En 1912, sont

³⁶ Comité de Academias para el estudio de suministro de agua de la ciudad de México, *El suministro de agua de la ciudad de México. Mejorando la sustentabilidad*, Washington, National Academy Press, 1995. 107 páginas.

³⁷ LEGORRETA, *Opus cit.* Page 7.

³⁸ DDF-CADEF, *Memoria de Gestión del Periodo 1988 – 1994*, D.F., DDF, 1995. Page 3.

³⁹ LEGORRETA (Jorge), *Opus cit.* Page 7.

⁴⁰ Académie de l'eau, *Mexico : L'eau, la ville et l'urbanisme*, Paris, Académie de l'eau, 1996. Mimeo 48 p.

⁴¹ LEGORRETA (Jorge), *El abastecimiento y distribución del agua en la zona Metropolitana de la Ciudad de México*, México, Mimeo, 44 pages + Bibliographie. Page 7.

⁴² Legorreta, *Ibid.*

définitivement supprimées les sources de *Chapultepec*, *del Desierto de los Leones* et de *Rio Hondo* puisqu'elles présentent des traces de pollution⁴³.

Pendant les années de la Révolution mexicaine (du 20 novembre 1910 à 1924), le service de l'eau de la ville connaît une période difficile qui se traduit par la discontinuité du service. Afin de satisfaire la demande de cette époque, en 1927, les sources de *San Luis Tlaxiatemalco* commencent à fonctionner pour fournir de l'eau à la ville⁴⁴.

Cependant, l'exploitation intensive de l'aquifère ne commence qu'en 1936. Cette année-là, la population de la ville augmente tellement que le système n'est plus suffisant pour son approvisionnement en eau. Ainsi, 18 puits profonds (entre 100 et 200 mètres de profondeur) commencent à fonctionner, ce qui marque le début de l'exploitation intensive de l'aquifère. De 1936 à 1944, 93 puits sont creusés dans le centre de la ville et autant dans la périphérie. Le pompage d'eau produit un tassement dans son centre de 18 centimètres par an entre 1938 et 1948⁴⁵. Toutefois, la subsidence la plus forte de la ville se produit en 1951 lorsque le sol se tasse 46 centimètres⁴⁶.

En 1925, Roberto Gayol rapporte à la Société des ingénieurs et architectes que la ville de Mexico se tasse et que la cause est a un lien avec la construction et le fonctionnement du « *Gran canal del Desagüe* » et le tunnel de « *Nochistongo* ». L'explication de ce phénomène est donnée en 1947 par le docteur Nabor Carrillo qui est le premier à développer un modèle mathématique mettant en corrélation la subsidence de la ville et son hydrologie⁴⁷, l'extraction des puits étant calculée à 7,5 mètres cube par seconde⁴⁸. Ces recherches sont fondamentales pour que la ville arrête l'exploitation des puits situées en son centre.

Pour répondre à la demande on construit deux nouvelles canalisations pour amener plus d'eau. La première option consiste à amener davantage d'eau des sources de *Chalco* et *Xochimilco*. La deuxième, plus radicale, est de matérialiser un projet commencé en 1940 aboutissant à la construction des grands acheminements d'eau du bassin voisin, de la rivière Lerma.

Dans l'optique de diminuer l'exploitation des puits du centre-ville, les puits originaux de *Chalco* et *Xochimilco* sont supprimés (les sources naturelles sont épuisées) et à leur place

⁴³ Legorreta, *Ibid.*

⁴⁴ Legorreta, *Ibid.*

⁴⁵ Martínez, *Opus cit.*, Page 7.

⁴⁶ Legorreta, *Opus cit.*, page 8.

⁴⁷ Comité de Academias, *Opus cit.* Page 14.

⁴⁸ Legorreta, *Opus Cit.* Page 8.

de nouveaux puits profonds de 400 mètres, sont construits. Cette surexploitation, maintenant au sud de la ville, proche des zones de recharge provoque, au milieu du siècle, un tassement du sol également dans cette zone.

Même l'importation d'eau du bassin voisin de la *Lerma* (action entreprise dans les années 1950) et l'exploitation intensive de l'aquifère de *Chalco* et *Xochimilco* ne suffisent pas à satisfaire la demande de la ville qui connaît une explosion démographique. Ainsi, pour compléter le volume d'eau potable, la construction du système de puits de la zone de *Chiconautla*, situé cette fois dans la partie nord de la vallée est achevée en 1956. Ce système se compose de 40 puits, d'une profondeur de 150 mètres chacun, pour un apport en eau de 3 m³/s. La demande des habitants s'accroît et, parallèlement, le processus de construction de puits s'amplifie. Des systèmes de puits sont réalisés en 1958 dans le *Peñón de los Baños* (pour 1,0 mètre cube additionnel), entre 1958 et 1975⁴⁹. Commencent alors à fonctionner successivement les systèmes de puits de la vallée de Mexico tels les 50 puits de la zone de *Xochimilco*, *Tláhuac* et *Netzahualcóyotl* au sud du bassin et de celle de *Los Reyes* et *Teoloyucan* au nord⁵⁰. Ces systèmes de puits apportent 9,5 m³/s sur un total de 32 m³/s. Ce volume d'eau est consommé par une population de 11 millions d'habitants appartenant à l'agglomération, tant du District Fédéral que des municipalités de l'état de Mexico qui s'y trouvaient déjà.

Un deuxième projet d'importation d'eau des bassins externes à la ville est entrepris pendant les années 1980. Ce projet, qui exploite maintenant la rivière *Cutzamala*, a pour objet d'arrêter un peu le processus de tassement de la ville. La consommation en eau passe néanmoins, de 35 à 60 m³/s. Ces quantités en débit d'eau correspondent à une dotation par habitant de 337 litres par habitant et par jour en 1994 et de 324 en 1996⁵¹, malgré les programmes et les efforts de réduction de la consommation en eau⁵². Legorreta⁵³ rapporte que les dotations de certaines parties de la ville où s'observent des formes d'urbanisation illégales, sont de 28 litres par habitant par jour, tandis que la consommation moyenne peut varier de 275 à 410 litres par habitant et par jour. Dans les zones où vivent des populations à revenus élevés, la consommation atteint les 800 et 1.000 litres par habitant et par jour. A ce propos,

⁴⁹ Même si de 1958 à 1965 les débits des puits internes à la vallée n'ont pas augmenté sa production, les autorités se sont vues obligés à importer encore plus d'eau de la vallée du Lerma.

⁵⁰ Legorreta, *Opus cit*, page 9.

⁵¹ Legorreta, *Opus cit*, page 10.

⁵² Il faut prendre en considération que lorsqu'on parle de la dotation, il s'agit d'un chiffre qui représente la moyenne dans la ville.

⁵³ Legorreta, *Opus cit*. Page 11.

Schteingart⁵⁴ reporte des consommations (Cf. tableau 3.3) qui varient entre 238 et 372 l/hab/j dont la moyenne reste toujours autour de 309,5 l/hab/j, de façon similaire aux données rapportées par Legorreta : 291,2 l/hab/jour .

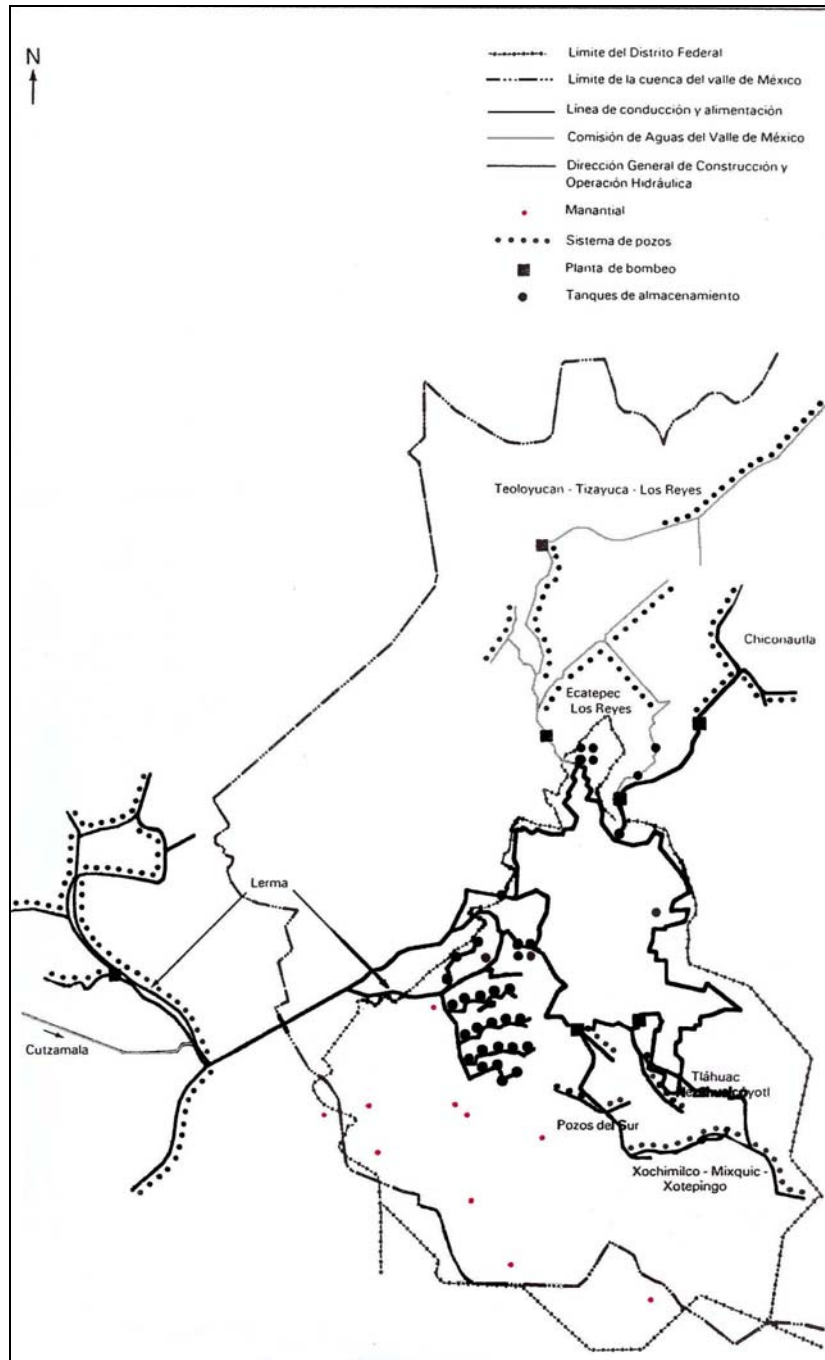


Figure 3.9 Sources internes et externes d'approvisionnement en eau du DF.

Source : GUERRERO VILLALOBOS (Guillermo), et al (Coord.), *Sistema hidráulico del Distrito Federal. Un servicio público en transición*, México, DDF-SOS-DGCOH, 1982. 529 p.

⁵⁴ SCHEINGART (Martha) et TORRES (María), Políticas de agua y drenaje en la Ciudad de México y su aplicación en las colonias estudiadas, pp. 129-188, in SCHEINGART (Martha) et DUHAU (Emilio), *Pobreza, Condiciones de vida y Salud en la Ciudad de México*, México, 1997, El Colegio de México.

Le tableau 3.2 présente l'évolution de l'offre en eau de Mexico pendant le XX^e siècle.

Année	Débit (m ³ /s)	Population (habitants)	Dotation (litres/hab/jour)
1900-1902	1.2	500.000	207
1913	2.6	541.516	415
1940	4.3	1.757.530	211
1952	13.1	3.460.000	327
1964	22.2	5.800.000	331
1975	32.0	11.000.000	251
1981	35.0	13.889.900	218
1994	60.3	15.456.700	337
1996	67.5	18.000.000	324

Tableau 3.2 Evolution de l'offre en eau, les dotations en eau en la Zone Métropolitaine de la Ville de Mexico au cours du XX^{ème} Siècle.

Source : Legorreta (1997), El abastecimiento y distribución del agua en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, Opus cit.

Le tableau 3.3 présente l'évolution des dotations selon Schteingart.

Année	Population			Débit apporté			Dotation moyenne		
	Miles hab.	TCA*	Δ %	M ³ /s	TCA	Δ %	l/hab/j	TCA	Δ %
1900	345	---	---	1,1	---	---	263,7	---	---
1910	471	3,1	36,5	1,7	4,7	54,5	311,8	1,7	18,2
1920	661	3,1	40,3	2,2	2,3	29,4	287,6	-0,7	-7,8
1930	1 049	5,0	58,7	3,1	3,8	40,9	260,3	-1,1	-9,5
1940	1 560	3,9	48,7	4,3	3,2	38,7	238,2	-0,9	-8,5
1950	2 872	5,9	84,1	10,8	8,6	151,2	324,9	3,1	36,4
1960	4 910	5,2	71,0	21,0	6,4	94,4	369,5	1,3	13,7
1970	8 355	5,2	70,2	36,0	5,3	71,4	372,3	0,1	0,7
1980	13 879	5,0	66,1	40,0	1,1	11,1	312,0	-1,8	-16,2
1990	14 987	0,8	8,0	57,1	3,5	42,8	332,0	0,6	6,4
1993	16 016	2,1	6,9	62,1	2,8	8,8	332,0	0,0	0,0

Tableau 3.3 Evolution de la dotation moyenne en eau par habitant de la Zone métropolitaine de la ville de Mexico, (ZMVM).

TCA : Taux de croissance annuel en %.

Δ % : Accroissement en pourcentage.

Source : Schteingart (Martha) et Torres (María), Políticas de agua y drenaje en la ciudad de México y su aplicación en las colonias estudiadas in SCHTEINGART (Martha) et DUHAU (Emilio), *Pobreza, Condiciones de Vida y Salud en la Ciudad de México*, México, Colmex, 1997. Page 141.

Un des résultats de la surexploitation des aquifères : le tassement croissant de la ville

Les conséquences de l'exploitation par les systèmes de puits de l'aquifère de la vallée de Mexico, ont été diverses. La plus importante consiste en un préoccupant processus de tassement, en particulier dans la zone située sur l'ancien lac de Mexico. Cela provoque des problèmes de stabilité des structures urbaines tels les trottoirs, les rues, les voies rapides, les monuments mais aussi des coûts importants, des infrastructures et des fondations de tous les bâtiments.

Le niveau de la nappe phréatique descend entre 6 et 10 mètres par an⁵⁵, ce qui explique l'augmentation du taux de sels minéraux de l'eau de la nappe phréatique et donc sa baisse de qualité. De 1983 à 1992, la ville enregistre une subsidence de 15 à 25 centimètres par an aux environs de l'aéroport international de l'agglomération, de 10 centimètres dans le Centre historique, de 10 et 15 centimètres à *Xochimilco* et *Tláhuac* respectivement. Jusqu'en 1997 ces subsidences ne changent guère car les tassements annuels enregistrés dans le Centre historique sont de 10 centimètres, de 15 centimètres à *Xochimilco* et de 20 à 25 centimètres dans la zone de l'aéroport. Les tassements ne sont pas aussi importants dans les zones situées à l'extérieur des anciens lacs. Par exemple, la *Delegacion Azcapotzalco* dans le nord s'affaisse d'environ 2 à 5 centimètres par an⁵⁶. Selon Legorreta⁵⁷, le tassement le plus fort correspond à la zone de *Nezahualcóyotl* avec 30 centimètres par an. La période la plus critique du tassement du sol de la ville a été celle qui correspond à l'exploitation la plus forte des nappes phréatiques de la ville, pendant les années 1950. A partir de la mise en route des infrastructures pour amener de l'eau des bassins externes à la ville, ce processus de tassement a diminué considérablement. Cependant, les études montrent que les tassements totaux du sol de la ville sont en moyenne d'entre 8 et 10 mètres pendant les 100 dernières années. Ainsi, la Cathédrale de Mexico, un des bâtiments qui existent dès sa fondation, s'est affaissé de 12.5 mètres dont 7.5 au cours du XX^e siècle⁵⁸. La figure 3.10 montre les tassements des principales structures et monuments de la ville.

⁵⁵ INEGI, *Estadísticas del Medio Ambiente del Distrito Federal y Zona Metropolitana*, México, INEGI, 2001. Page 60.

⁵⁶ INEGI, *Ibidem*.

⁵⁷ Legorreta, *Ibid*. Page 11.

⁵⁸ DDF-DGCOH, *Plan Maestro de Agua potable 1997-2010*, México, DDF-DGCOH, 1997.

Le tableau 3.4 présente les tassements de la ville ainsi que la vitesse moyenne de ces tassements.

Période	Tassement moyen de la ville (cm)	Vitesse moyenne (cm/an)
1891 – 1938	212	4.5
1938 – 1948	76	7.6
1948 – 1950	88	44.0
1950 – 1951	46	46.0
1951 – 1952	15	15.0
1952 – 1953	26	26.0
1953 – 1957	68	17.0
1957 – 1959	24	12.0
1959 – 1963	22	5.5
1963 – 1966	21	7.0
1966 – 1970	28	7.0

Tableau 3.4 L'évolution historique des tassements de la ville de Mexico.

Source : JAIME (Alberto), Problemática de la Ingeniería de cimentaciones en el Valle de México. I. Aspectos generales y condiciones del suelo, pages 115 – 144 IN, KUMATE (Jesús) MAZARI (Marcos), *Problemas de la cuenca de México*, México, El Colegio Nacional, 1990.

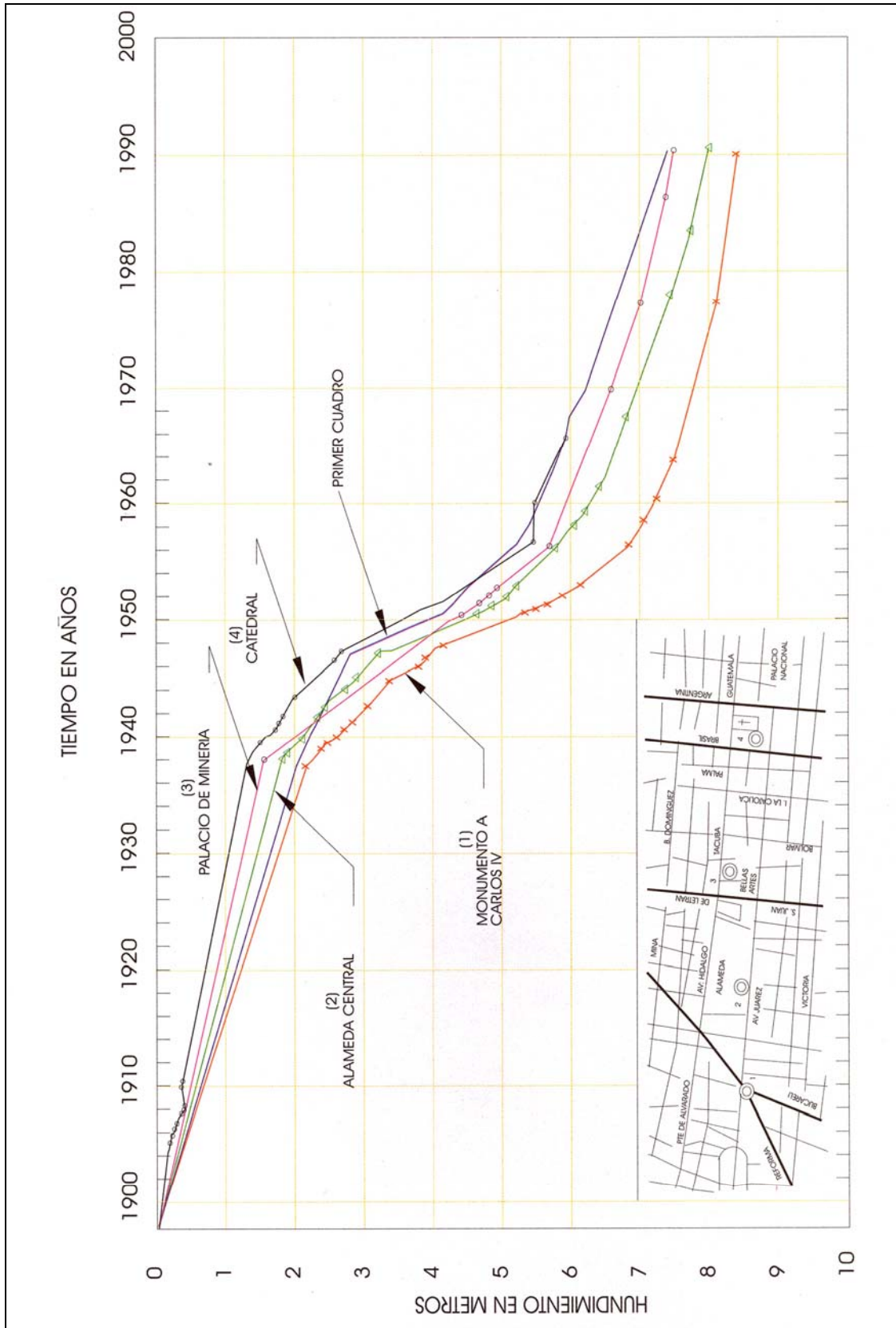


Figure 3.10 Tassements des points particuliers de la ville.

Source : DDF-DGCOH, *Plan maestro de agua potable, México*, DGCOH, 1997.

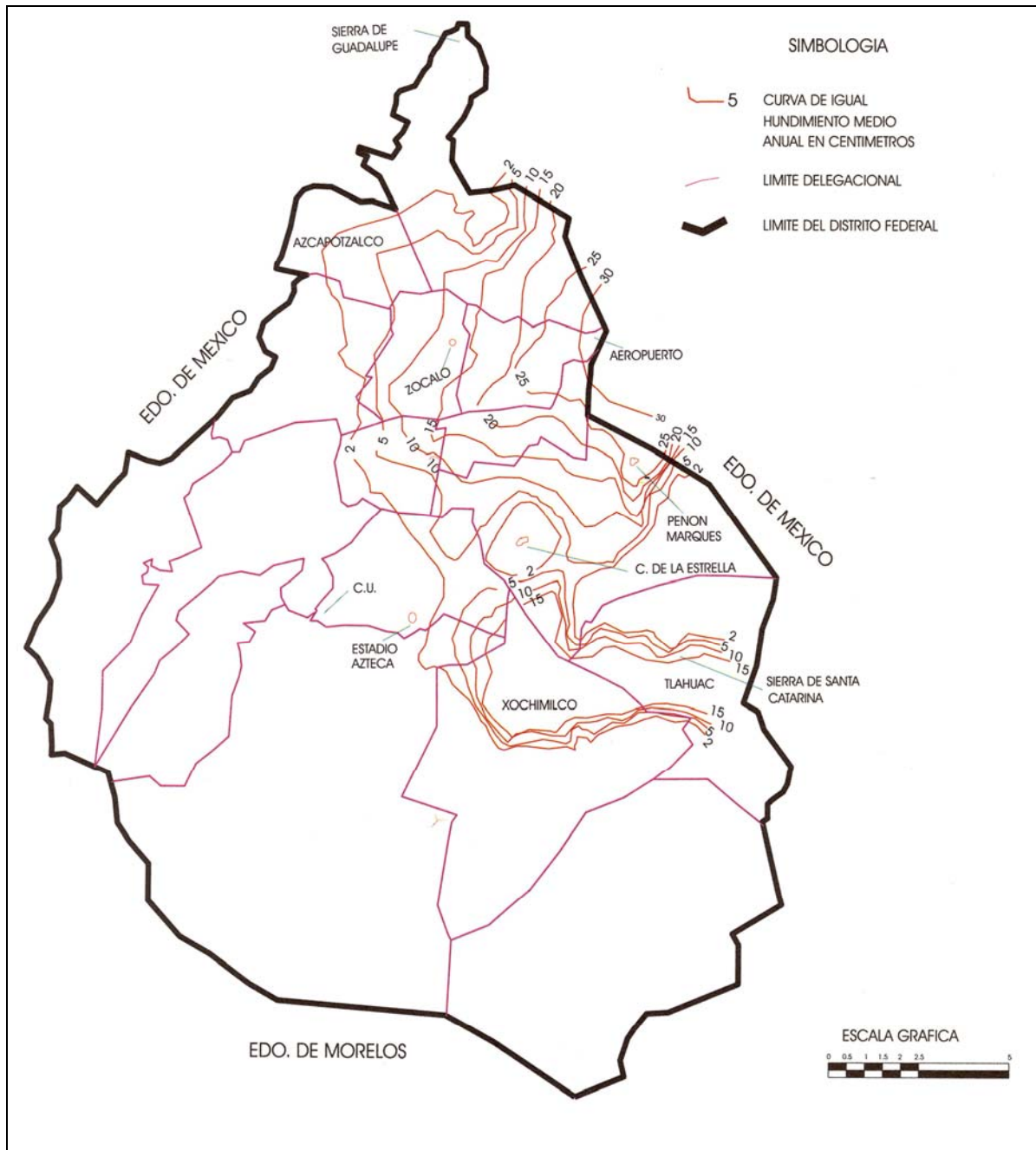


Figure 3.11 Les tassements différentiels de la ville. Courbes d'égal tassement.
 Source DDF-DGCOH, *Plan maestro de agua potable, México*, DGCOH, 1997.

Modèle mécanique du tassement du sol

Le tassement des structures de la ville a pour origine le phénomène de la consolidation des sols. Lorsqu'on applique une charge quelconque, qui reste constante, à un sol fin saturé – comme celui de l'ancien lac de la ville de Mexico – le sol a tendance à subir des variations de volume. Mais le sol étant saturé – puisqu'il s'agit d'un ancien lac –, l'eau ne peut s'évacuer à cause de la faible perméabilité ; les variations de volume n'ont donc pas lieu et se traduisent par des suppressions $[\Delta u]$ de l'eau interstitielle au voisinage des points d'application des charges. Il se développe ainsi dans le sol, au début de l'application des charges, des gradients hydrauliques sous l'action desquels l'eau s'écoule des zones de fortes suppressions vers des zones de suppression nulle. Cet écoulement, appelé « drainage » entraîne un transfert des efforts ou contraintes de la masse d'eau vers le squelette solide qui subit, à son tour, des déformations et des tassements. L'écoulement s'arrête lorsque la suppression Δu est annulée en tout point. L'ensemble de ce phénomène est appelé consolidation.

Nous faisons appel à une analogie mécanique pour mieux comprendre la consolidation des sols. Représentons le sol saturé par un piston situé à l'intérieur d'un cylindre rempli d'eau muni d'un robinet pour vider l'eau. La raideur du squelette solide du sol est représentée par la raideur du ressort et l'eau interstitielle du sol par l'eau. Lorsqu'une charge W est appliquée (en $t = 0$), le robinet fermé, c'est l'eau qui supporte tout le poids W et le piston ne bouge pas. Une fois le robinet ouvert, on se rend compte de la pression. L'eau commence à s'écouler à cause du drainage et le piston commence à prendre la charge et à se déplacer. Le déplacement s'arrête lorsque la raideur du ressort est égale à W , c'est-à-dire quand le piston supporte toute la charge W .

La figure 3.12 montre un schéma de cette analogie mécanique avec le sous-sol.

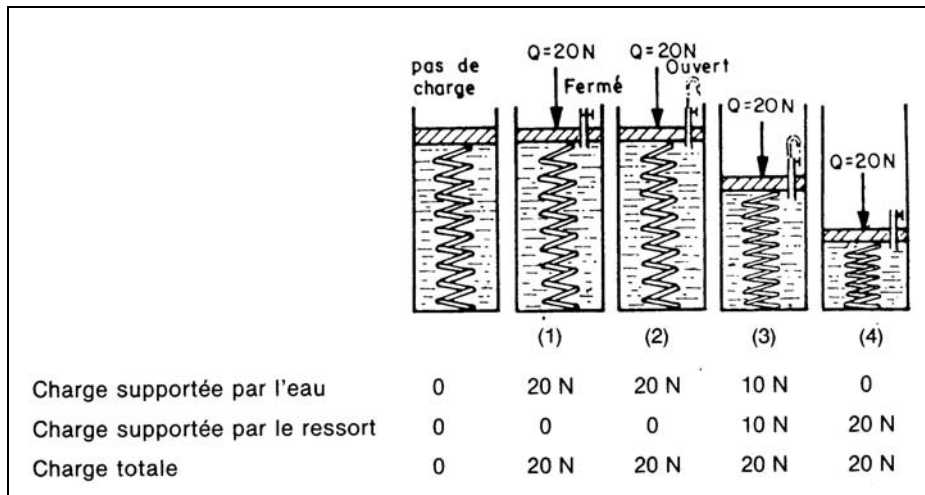


Figure 3.12 Analogie mécanique du sol de la zone du lac de Mexico.

Source : HOLTZ (Robert), KOVACS (William), *Introduction à la Géotechnique*, Paris, Editions de l'Ecole Polytechnique de Montréal, 1991. P 235.

Ce phénomène représente le concept de contrainte intergranulaire ou effective⁵⁹. Cette contrainte, la capacité de charge des particules solides du sol est par définition⁶⁰ :

$$\sigma = \sigma' + u$$

Où

σ = contrainte normale totale

σ' = contrainte intergranulaire ou effective.

u = pression interstitielle

La contrainte totale et la pression interstitielle peuvent être évaluées ou calculées à partir des masses volumiques, des épaisseurs des couches et de la position de la nappe phréatique. La contrainte effective ne peut pas être mesurée ; elle ne peut qu'être calculée.

Ce phénomène est le même pour la ville de Mexico. La ville a été construite sur un ancien lac et le sous-sol contient un fort pourcentage d'eau allant jusqu'à 500 % dans certaines zones⁶¹. A cause de la surexploitation du sous-sol, ce sont les particules solides des sols qui prennent le total des charges des bâtiments et des infrastructures de la ville. La

⁵⁹ En anglais « principle of effective stress » in BERRY (Peter) and REID (David), *An introduction to Soils mechanics*, McGraw-Hill, 1988. Page 103.

⁶⁰ HOLTZ (Robert), KOVACS (William), *Introduction à la Géotechnique*, Paris, Editions de l'Ecole Polytechnique de Montréal, 1991. P 235.

⁶¹ JAIME (Alberto), *Problemática de la Ingeniería de cimentaciones en el valle de México. I. Aspectos generales y condiciones del suelo*, Page 145 in KUMATE (Jesús.) et MAZARI (Marcos) (Coord.), *Problemas de la Cuenca de México*, México, El Colegio de México, 1990 1^a edición, 403p.

surexploitation de la nappe phréatique produit une diminution de la pression interstitielle, ce qui entraîne un accroissement dans les contraintes du sol pour résister à ces charges.

3.2.2 Développement des sources externes d'approvisionnement d'eau

La construction des infrastructures pour satisfaire les besoins en eau de la ville entreprise dans la deuxième moitié du XX^e siècle suit la tradition déjà appliquée à l'intérieur du bassin de Mexico. Il s'agit d'amener de l'eau des sources naturelles qui sont chaque fois plus éloignées, cette fois de bassins extérieurs à la vallée. Pour amener de l'eau potable il faudra construire des infrastructures énormes et onéreuses.

Par ailleurs, l'urbanisation accélérée que la ville connaît au cours du XX^e siècle, engendre un accroissement de la demande en eau potable. Toujours préoccupé de satisfaire cette demande, le gouvernement fédéral entame les travaux nécessaires d'adduction d'eau pour la métropole, en provenance de sources de plus en plus éloignées.

La figure 3.13 montre les bassins dont on peut considérer d'amener, au futur, de l'eau potable pour l'agglomération.

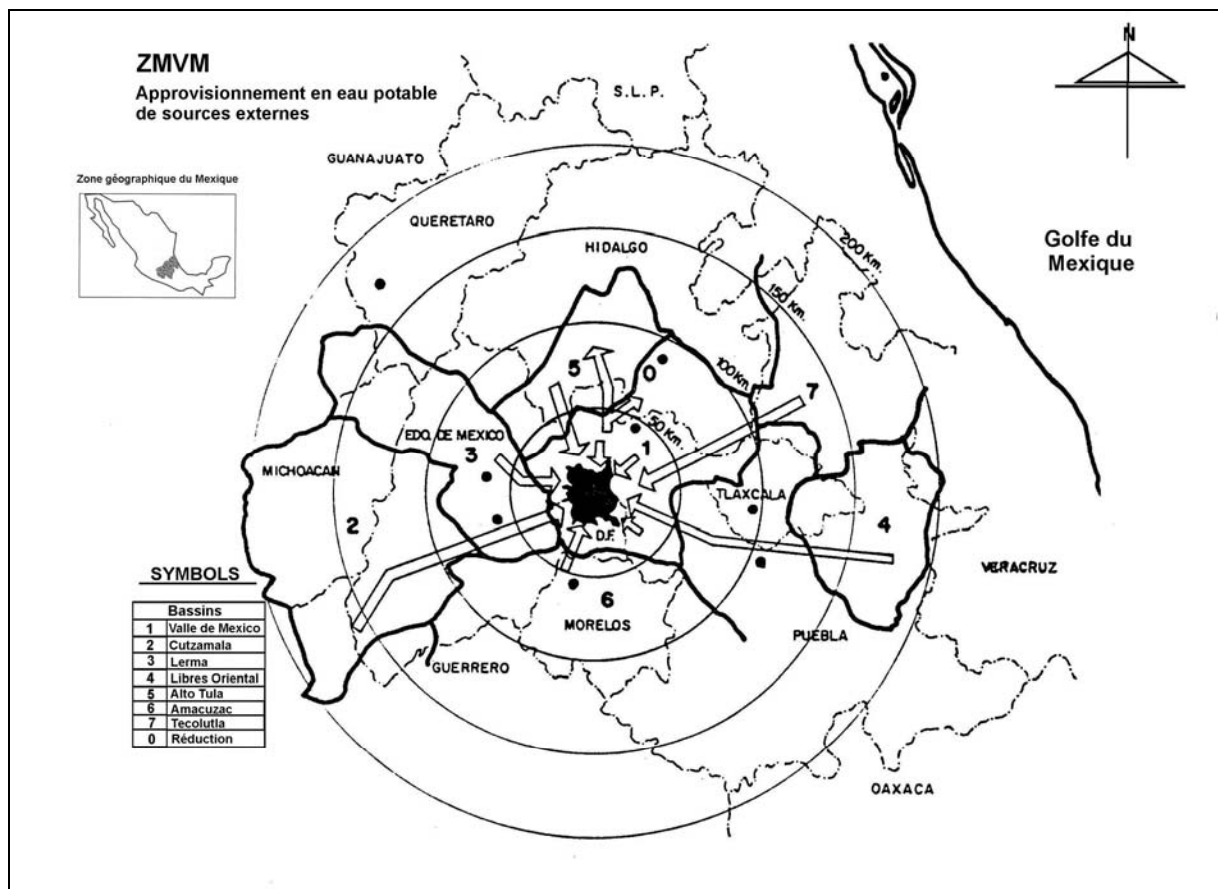


Figure 3.13 Les bassins voisins de la Vallée de Mexico.

Source : Benitez-Eslava (Edgardo) Perspectivas de la construcción de plantas de tratamiento de aguas residuales de la Ciudad de México, México, UNAM, 1992.

L'eau potable importée de la rivière Lerma

Les problèmes de tassement du sol observés dans la ville de Mexico, résultat de la surexploitation des sources naturelles situées à l'intérieur de la vallée, ont influencé la décision d'importer de l'eau des bassins voisins. Cette décision est envisagée dès 1929 par la « *Dirección de agua potable del Distrito Federal* » (Direction de l'eau potable du District Fédéral) récemment créée. Cependant, c'est en 1940, pendant le mandat du président Lázaro Cárdenas, que cette option est étudiée sérieusement. C'est sous le mandat présidentiel du Général Manuel Avila Camacho que les travaux commencent en 1942 avec le captage des sources de la rivière Lerma dans le bassin voisin de la Vallée de Toluca. Pourquoi un tel choix ? Parce que la captation de ces sources se situait à 300 mètres en dessus du niveau de la ville et, par conséquent, la conduction pouvait se faire par gravité sans pompage pour conduire l'eau⁶².

La première étape des travaux de construction de cette infrastructure de captation d'eau potable dure dix ans. Elle comprend la captation des eaux superficielles avec des galeries filtrantes et par puits forés à une profondeur comprise entre 50 et 300 mètres ; la construction de l'aqueduc de conduction à la ville de Mexico, reconnu comme apport du génie civil des ingénieurs mexicains, se compose d'un tunnel de 62 mètres de long et de 2,5 mètres de diamètre : il traverse la *Sierra de las Cruces*⁶³ par un tunnel de 14 kilomètres appelé Atarasquillo-Dos-Rios⁶⁴. De cette manière, la ville de Mexico reçoit, pour la première fois, de l'eau des bassins extérieurs en 1951. Cependant, l'inauguration des ouvrages n'a lieu qu'en 1952. Le sous-système technique de stockage et de distribution consiste en une grande salle de réception des eaux⁶⁵ et en quatre grands réservoirs de 100 mètres de diamètre et de 10 mètres de profondeur, dans les collines de Chapultepec⁶⁶. Cette eau est destinée principalement à la zone ouest de la ville.

Au début, la contribution des sources du Lerma permet quasiment de doubler la dotation en eau des habitants de la ville qui passe de 199 à 388 litres par personne et par jour,

⁶² Legorreta, *Opus cit.* Page 17.

⁶³ Chaîne de montagnes au sud-est de la ville.

⁶⁴ Legorreta, *Ibid.* Page 17.

⁶⁵ Décorée de fresques murales de Diego Rivera.

⁶⁶ Chapultepec est le point d'arrivée même de l'eau de sources extérieures à cause de deux raisons : d'un côté, il s'agit du point de stockage traditionnel de la ville, de l'autre, c'est le point d'où partent les réseaux de distribution d'une partie de la zone urbaine.

bien que la population soit passé de 1,4 à 2,2 millions d'habitants entre le début et la fin des travaux⁶⁷.

Une crise de l'eau au milieu des années 1960 oblige à prendre en considération l'augmentation de la demande en eau de la ville sans avoir recours aux nappes phréatiques. C'est pourquoi une deuxième étape de construction du système d'approvisionnement est envisagée pour capter encore davantage d'eau de la rivière Lerma. Les travaux requis pour cette deuxième étape sont réalisés entre 1965 et 1975, avec le forage de 230 puits dans une zone plus étendue que celle de la première étape. Ces puits ont permis d'apporter 14 m³/s supplémentaires à l'agglomération. Les graves dégâts écologiques produits dans la zone contraignent les autorités à baisser l'exploitation de l'aquifère à seulement 6 m³/s⁶⁸.

L'importation de l'eau potable du bassin de la rivière du Cutzamala

La population continue à s'accroître et la « tache urbaine » s'agrandit, ainsi que la demande en eau potable. Malgré les efforts des autorités publiques pour augmenter l'offre, celle-ci ne semblait pas satisfaire la demande⁶⁹. Etant donné ce déséquilibre, les conflits sociaux qu'avaient entraîné la surexploitation du Lerma et, surtout, le tassement continu de la ville, la construction d'un deuxième système d'approvisionnement pour acheminer de l'eau potable à partir de sources situées hors de la Vallée de Mexico s'avère nécessaire. Ce nouveau projet est envisagé pour capter de l'eau de la rivière *Cutzamala* dont une partie des sources se trouve dans un bassin voisin, à 127 kilomètres de distance du District Fédéral et à environ 1.100 mètres en dessous de la ville.

Les travaux commencent en 1976. Ce système se compose d'un ensemble de huit barrages qui étaient utilisés auparavant pour la production d'énergie électrique situés le long de la rivière *Cutzamala*. La principale difficulté réside dans le fait que la plupart de ces barrages sont situés en dessous du niveau moyen de la ville de Mexico, c'est la raison pour laquelle l'eau est entièrement élevée par pompage jusqu'à la Zone métropolitaine de la ville de México (ZMVM). Comme la qualité de l'eau n'est pas satisfaisante pour la consommation directe, ce système requiert la construction d'une station de production d'eau de capacité de 28 m³/s. Appelée *Berros*, elle est reliée au barrage par un canal de 12 kilomètres. Le processus de traitement de cette station consiste en une épuration chimique de matières

⁶⁷ Bribiesca Castrejón (José), *El agua potable en la República mexicana, 7^a parte*, in Ingeniería hidráulica en México, México, SARH, n° 1, volume XIV, enero-marzo de 1960. Cité par Legorreta, *Ibid.* Page 18.

⁶⁸ Legorreta, *Opus cit.* Page 18.

⁶⁹ Aussi parce que l'idée était de disposer d'une dotation très élevée.

solides décantables et de colloïdes. L'eau est transportée de la station à un bassin de stockage de 48.000 mètres cube.

Une fois épurée, l'eau est élevée de 175 mètres puis transportée à l'agglomération par un système de tunnels. Le premier, de 77 kilomètres de longueur et de 2.5 mètres de diamètre traverse le *Sierra de las Cruces*. Suivent deux autres tunnels respectivement de 3 et 16 kilomètres avant la zone de *Huixquilucan*. Cette première étape du système est inaugurée en 1982 et apporte 4 m³/s d'eau supplémentaires à la ville.

La deuxième et la troisième étape de ce système sont terminées en 1992. Ces étapes consistent en un ensemble de barrages (*Tuxpan, del Bosque, Ixtapan del Oro, Tilostoc, Valle de Bravo* –d'ailleurs la plus grande, 394 millions de mètres cube de capacité– et *Chilesdo*, connectés à celui qui se trouve dans le point le plus bas de l'ensemble : *Colorines*. De ce dernier, l'eau est élevée de 1.100 mètres pour arriver à la station de traitement *Berros* (Cf Tableau 3.5). L'autre partie du système consiste en un ensemble de tuyaux en acier et en béton de diamètres variables entre 1,80 et 3,30 mètres pour les premiers et 2,5 mètres pour les autres. Pour compléter le système, il faut ajouter six pompes de 60 kW pour élever l'eau, un bassin de régulation (*Donato Guerra*) de 300.000 mètres cube, une station d'énergie électrique autonome et un bassin de stockage de 200.000 mètres cube et, enfin, des tours d'oscillation et de coup bélier de 60 mètres. Le fonctionnement de tous ces éléments techniques et technologiques servent à assurer continuellement un débit en eau de 14 à 19 m³/s à Mexico. La distance parcourue par l'eau du système *Cutzamala* à son point d'entrée à la ville (*Huixquilucan*) est de 127 kilomètres.

Nom	Capacité en m ³ /s	
	Minimale	Maximale
Villa Victoria	186.3	214.3
Valle de Bravo	394.4	403.0
Colorines	1.5	1.6
Tuxpan	---	20.0
El Bosque	201.0	202.0
Ixtapan de Oro	---	0.5
Chilesdo	1.5	0.8
Tilostoc	---	---
Totale	790	840

Tableau 3.5 Capacité de stockage des barrages du système *Cutzamala*.
Source : Legorreta⁷⁰ avec des données de la Commission Nationale de l'eau.

⁷⁰ Legorreta, *Opus cit.* Page 27.

La figure 3.14 montre un schéma de l'évolution du système hydrologique associé au développement hydraulique du District Fédéral.

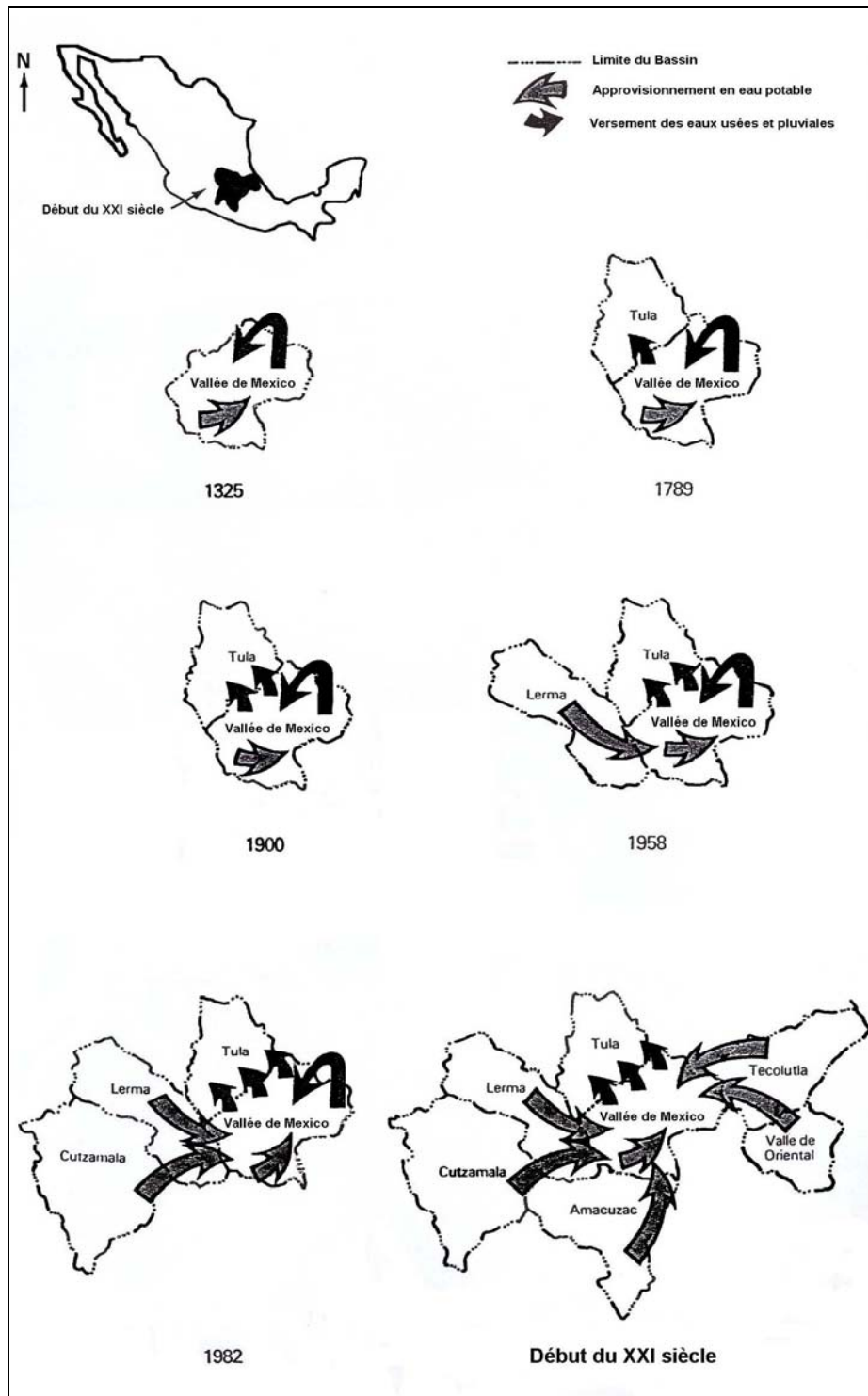


Figure 3.14 Evolution du système hydrologique associé au système hydraulique de Mexico.
 Source : GUERRERO VILLALOBOS (Guillermo), MORENO FERNÁNDEZ (Andrés) y GARDUÑO VELASCO (Héctor) (Coord.), *Sistema hidráulico del Distrito Federal. Un servicio público en transición*, México, DDF-SOS-DGCOH, 1982. 529 p.

Autres sources pour l'approvisionnement en eau

Il existe des projets pour construire des infrastructures pour amener encore plus d'eau des bassins, comme celui qui concerne la rivière *Temascaltepec*. Ce projet est aussi connu comme « Quatrième étape du *Cutzamala* ». Il permettrait d'apporter 5 m³/s à la ville en élevant de 450 mètres l'eau de cette rivière jusqu'au barrage de *Valle de Bravo*.

Malgré les efforts des autorités du District Fédéral et du gouvernement Fédéral, notamment de la Commission nationale de l'eau, cette option s'avère difficile étant donné, d'une part, les forts investissements requis pour la construction et l'équipement de telles infrastructures qui ne peuvent plus être financées par des emprunts publics ; de l'autre, l'opposition de plus en plus forte des populations locales au détournement des eaux, indispensables au développement économique et social (principalement pour l'agriculture), au profit des habitants de la vallée de Mexico. La participation des entreprises privées à la construction d'infrastructures destinées à augmenter l'approvisionnement en eau de la ville est une question qui demeure d'actualité dans les débats actuels. Les autorités publiques avaient prévu, depuis longtemps, de transférer de l'eau depuis d'autres bassins voisins. Cette possibilité s'avère aujourd'hui très difficile à réaliser.

Evolution du réseau de distribution d'eau potable

Dès l'époque préhispanique et pendant la Colonisation, l'aduction et la distribution de l'eau potable étaient réalisées grâce à des canalisations et aqueducs superficiels construits en pierre légère, le *tezontle*⁷¹. La ville conserve certains de ces vestiges dans les avenues *Chapultepec* et *Acueducto de Guadalupe*. Au cours du XX^e siècle, au fur et à mesure que l'urbanisation de la ville s'étend dans la vallée, les anciens aqueducs sont remplacés par des tuyaux souterrains en acier et en béton.

En ce qui concerne la distribution de l'eau potable, la stratégie des autorités publiques de la ville a toujours été d'élever l'eau transportée depuis des sources naturelles à des grands bassins de stockage situés sur les points élevés de la ville, à partir desquels on la distribue aux usagers. Ainsi, pour les bassins de stockage de *Molino del Rey*, qui se trouvent aux environs de *Chapultepec*, l'eau provenant de *Xochimilco* est élevée par pompage de la station de *La Condesa* jusqu'à ces bassins pour être distribuée dans les quartiers centraux de la ville. Ces

⁷¹ Roche volcanique très poreuse de très basse densité et relativement résistante utilisée déjà par les Aztèques dans la construction de ses monuments et pyramides.

quartiers (*Roma*, *Cuauhtémoc* et *Condesa*) étaient un exemple de modernité à l'aube du XX^e siècle.

Les bassins de stockage d'eau situés dans la deuxième section de *Chapultepec* sont inaugurés en 1952. Profitant de la différence de niveaux, l'eau y est amenée par gravité jusqu'à la partie nord de la ville. Prévoyant une extension future vers le sud-ouest de la ville, une nouvelle conduite est construite dans le *Cerro del Judío*, dans la *Delegación Alvaro Obregón*, pour distribuer l'eau arrivant du Lerma. La construction de nouvelles stations de pompage et de nouveaux bassins de stockage était suivie, à chaque fois, par l'établissement dans les environs de zones d'usines et d'ateliers et donc par l'apparition de nouveaux quartiers (légaux et illégaux) d'immigrants venus des autres États fédérés en quête d'emplois et de meilleurs services publics.

« *Macrocircuito* » et « *Acuaférico* »

Vers la fin des années 1980, face à la baisse des débits provenant de la rivière Lerma (de 14 à 6 m³/s), les autorités fédérales décident de construire un système de distribution tout au long du périmètre de la ville d'une longueur totale de 120 kilomètres. L'objectif de cet ouvrage est de mieux distribuer les eaux provenant du système d'approvisionnement *Cutzamala*. Dans sa partie nord elle prend le nom de *Macrocircuito*.

La construction du *Macrocircuito* a commencé en 1980 à partir du point d'entrée de l'eau du tunnel *Annalco-San José*. Sa capacité d'aduction et son diamètre diminuent au fur et à mesure que la structure s'étend vers le nord : les premiers 12,5 kilomètres ont une capacité de 11 m³/s jusqu'à la zone de *Naucalpan* ; la deuxième partie, d'une longueur de 7 kilomètres, va jusqu'aux bassins de régulation de *Lomas verdes* ; les 11,5 kilomètres de la troisième partie servent à conduire un volume de 3 m³/s jusqu'aux bassins de *Atizapán de Zaragoza* ; la dernière partie actuelle se termine à *Coacalco* pour 13,5 kilomètres supplémentaires qui ont commencé à fonctionner en 1996. Pour le moment, sa longueur totale est de 63 kilomètres. Cependant pour fermer le périmètre autour de la ville, cette conduite devra être complétée de 110 kilomètres pour arriver à la colline du *Teuctli* où elle doit se connecter avec le *Acuaférico*. Le responsable de la réalisation de cet ouvrage est la Commission nationale de l'eau.

Les caractéristiques de l'*Acuaférico* sont différentes. En premier lieu, il s'agit d'un tunnel de 5 mètres de diamètre qui commence au point de réception des eaux du *Cutzamala* (à 2.500 mètres au-dessus du niveau de la mer), capable de conduire 25 m³/s d'eau potable provenant de cette rivière. D'autre part, ce tunnel traverse – à 100 mètres de profondeur – les

montagnes du sud de la ville, de la région de l'*Ajusco*, constituées de roches d'origine volcanique. Au début, la construction de ce tunnel a nécessité l'utilisation d'explosifs introduits dans des perforations pratiquées dans la roche pour, dans un deuxième temps, utiliser une sorte de « bouclier » qui perfore la roche jusqu'à 25 mètres par jour sans avoir besoin d'employer d'explosifs. La construction des 32 premiers kilomètres jusqu'à la *Delegación Xochimilco* a été terminée en 1996. L'idée est de continuer la construction de cette conduction jusqu'à la colline du *Teuctli*, lieu où elle sera connectée avec le *Macrocircuito* provenant du nord.

Écoulements superficiels de la vallée de Mexico.

Malgré l'énorme transformation écologique que la ville a subie pendant des siècles qui ont détruit à jamais son équilibre naturel, il y a encore deux éléments qui symbolisent l'espoir d'un changement dans la manière de gérer les ressources en eau de la ville. Il s'agit d'un ensemble de petites rivières dont les plus grandes sont *la Magdalena* et *la Tlalnepantla*. Ces sources naturelles apportent 2% supplémentaires de consommation en eau à la ville. La première se trouve dans le territoire du District Fédéral et la deuxième dans l'État de Mexico.

La rivière Magdalena

Originellement, cette rivière prenait sa source dans la *Sierra de las Cruces* et était affluent de la rivière *Churubusco*. Cette rivière ne coule plus que sur 21,6 kilomètres dans la zone connue comme les « *Dinamos* », car au sud-ouest de la ville, elle a été canalisée pour cause d'urbanisation de la *Delegación Magdalena Contreras*. Jadis, sa force hydraulique avait servi à produire l'électricité de l'industrie textile de cette partie de la ville. Elle a encore un débit de 170 à 200 litres par seconde dont une partie est traitée dans une station d'épuration. Cette eau est distribuée dans le sud de la ville. En dépit de sa bonne qualité, le reste de l'eau est jeté directement dans le réseau des égouts et se déverse ensuite dans un long chemin vers l'océan Atlantique⁷².

La rivière Tlalnepantla

Même si la rivière *Tlalnepantla* ne se trouve pas dans le territoire du District Fédéral, elle est intégrée néanmoins au système d'approvisionnement de l'agglomération, jouant un rôle important. Le barrage « *Madin* » a été construit pour réguler les eaux de la rivière *Tlalnepantla*. Sa capacité totale est de 24.700 millions de m³, dont 13 millions seulement sont

⁷² Legorreta, *Opus cit.*

stockés en prévision des débits majeurs pendant la saison des pluies. Une petite partie de son débit est traitée pour son utilisation (0,540 à 0,600 m³/s) et le reste est rejeté dans le réseau d'égouts municipal⁷³. La figure 3.15 montre les réseaux de distribution d'eau potable du District Fédéral.

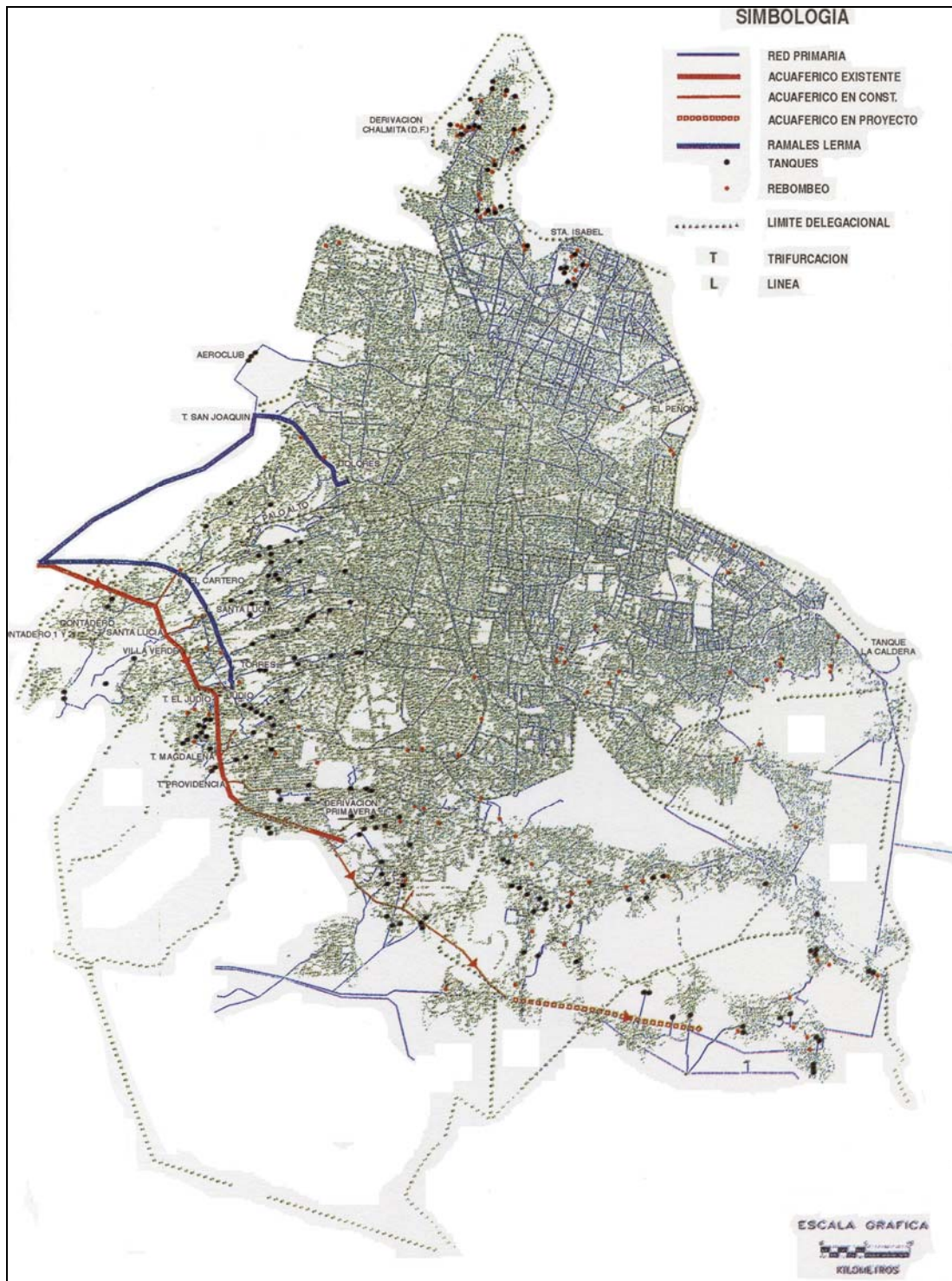


Figure 3.15 Les réseaux primaire et secondaire du service d'eau potable du DF.

Source : DDF-DGCOH, *Plan Maestro de Agua potable du DF, 1997*.

⁷³ *Ibid.*

Conclusions

Ce troisième chapitre nous a permis d'analyser un « premier temps » dans l'évolution du service d'eau de la ville, dont la durée est de presque cinq siècles. Il se caractérise par deux volets : d'une part, celui des problèmes provoqués par les lacs et leur assèchement ; de l'autre, celui de l'évolution des problèmes pour l'approvisionnement en eau potable dû à la surexploitation de la nappe phréatique de la ville.

Ce chapitre met en évidence que la réponse des autorités fédérales et locales et des responsables techniques du service de la ville a toujours été d'aller chercher l'eau potable, à chaque fois, de plus loin. Une fois que les sources en eau étaient déterminées, il fallait la transporter par des canaux aux points où la population pouvait s'en approvisionner. D'un côté, l'établissement des conditions de vie de la culture espagnole dans une zone lacustre comme celle de Mexico a entraîné la construction de grands ouvrages qui ont été considérés comme nécessaires pour l'assèchement des lacs de la capitale de l'empire aztèque. De l'autre, la croissance démographique démesurée de la ville pendant le XX^e siècle a entraîné la surexploitation de la nappe phréatique de la ville pour satisfaire la demande en eau. Cependant, la ville consomme quotidiennement de l'eau souterraine provenant de la nappe phréatique du sous-sol de la vallée en quantité supérieure à la capacité de recharge. Cette surexploitation provoque un fort tassement de la ville qui est très coûteux pour les infrastructures de tous les services urbains. Ainsi donc, l'eau est utilisée une seule fois par les différents types d'usagers de la ville puis elle est évacuée hors de la vallée en utilisant des infrastructures extrêmement chères pour les déverser dans la vallée voisine où une partie de ces eaux sont réutilisées pour l'agriculture, sans avoir reçu aucun traitement, avant de poursuivre leur chemin vers la mer. Ce paradoxe de l'utilisation de l'eau semblait justifier les forts investissements que le gouvernement fédéral avait toujours réalisés pour augmenter et assurer l'offre en eau potable de la ville.

L'utilisation de l'eau à Mexico est l'une des plus paradoxales au monde. Le paradoxe consiste à amener de l'eau de très loin, à épuiser la nappe souterraine de la vallée, et à la jeter, le plus loin possible, après une seule utilisation. La ville a créé un ensemble d'infrastructures et équipements qui sert à amener de l'eau des bassins de la côte Pacifique (à une distance de 127 kilomètres et 1.100 mètres en dessous de la ville pour les sources les plus éloignées, ce qui représente un coût considérable) pour les déverser dans les rivières *Tula* d'abord, puis *Moctezuma* et enfin *Pánuco* dans les eaux du Golfe du Mexique (à environ 350 kilomètres de distance). Outre l'eau de sources externes, la ville consomme quotidiennement de l'eau

souterraine provenant de la nappe phréatique du sous-sol de la vallée en quantité supérieure à la capacité de recharge. Cette surexploitation provoque un fort tassement de la ville, aussi coûteux pour les logements domestiques que pour les infrastructures urbaines. Ainsi donc, la plupart du temps, l'eau est utilisée une seule fois par les différents types d'usagers de la ville puis elle est évacuée hors de la vallée en utilisant des infrastructures extrêmement coûteuses pour les déverser après dans la vallée voisine où une partie de ces eaux sont réutilisées pour l'agriculture, sans avoir reçu aucun traitement, avant de poursuivre leur chemin vers la mer.

Ce paradoxe de l'utilisation de l'eau semblait justifier les forts investissements que le gouvernement fédéral avait toujours réalisés jusqu'en 1997 pour augmenter et assurer l'offre en eau potable de la ville, afin d'éviter des problèmes avec la population du siège politique, centre social et culturel ainsi que moteur économique le plus important du pays.

Quelle a été la réponse urbaine aux problèmes que le service d'eau imposait à la ville ? Quelles ont été les institutions – fédérales, régionales et locales – qui participaient à leur évolution et comment se sont organisées leurs structures pour satisfaire la demande en eau de la population ? Le quatrième chapitre nous permettra de répondre à ces questions à travers l'analyse des conditions de fonctionnement du service d'eau.