

Peuple, l'eau n'est jamais sans rien faire.
Victor Hugo, La légende des siècles.

Le choix des autorités du District fédéral pour moderniser la gestion du service de l'eau s'est porté sur un contrat de partenariat public-privé car il implique des investissements qui peuvent s'avérer impossibles pour une entreprise privée. Face aux recommandations des bailleurs de fonds internationaux², plusieurs autorités publiques ont essayé de mettre en place des solutions adaptées aux principes économiques libéraux: soit par des formes complexes comme au Chili³ (marchés de l'eau), soit par la simple mise en œuvre de la concurrence en faisant participer des distributeurs d'eau à partir de bornes fontaines aux maisons.

Bien loin d'être desservi par bornes fontaines, le service d'eau du District Fédéral dispose d'un ensemble d'infrastructures qui couvrent presque toute la population (97%), d'une complexité d'opération très grande car elle impliquait la participation des autorités fédérales et locales tant pour l'approvisionnement en eau à partir de sources internes et externes au bassin hydrologique de la ville.

Contrairement à ce qu'on pourrait penser, le service n'est pas administré de la même manière pour toute la zone métropolitaine. Chaque entité fédérale gère ses propres réseaux et système administratif. Le District Fédéral se trouve sous une seule coordination. Par contre, les municipalités de l'État de Mexico gèrent leurs services d'eau selon l'organisation adoptée

² WORLD BANK, *Selecting an option for private sector participation*, Washington D. C., The World Bank, 1997. 39 p..

WORLD BANK, *Designing and implementing an option for private water participation*, Washington D. C., The World Bank, 1997. 43 p.

WORLD BANK, *What a private sector participation arrangement should cover*, Washington D. C., The World Bank, 1997. 53 p.

³ BAUER (Carl J.), *Against the current privatization. Water Markets and the State in Chile*, Norwell, Mass. Kluwer Academic Publishers, 1998. 157 pages..

par chacune⁴. Ce chapitre se penche sur la description des éléments constituant le système technique d'eau du District fédéral. Il s'agit de faire un état de lieux des infrastructures du service d'eau potable.

5.1 Bilan Hydrologique

5.1.1 De la Zone métropolitaine de la ville de Mexico

Le bilan hydrologique consiste à analyser les volumes d'eau qui entrent et sortent d'un bassin hydraulique : eau de pluie, évaporation, ruissellement, percolation et volumes d'eau retenus stockés dans les barrages. Dans cette section, nous analysons d'abord les conditions hydrologiques de la Zone métropolitaine de la ville de Mexico (ZMVM) pour nous s'intéresser ensuite à celles du District fédéral (DF).

Précipitation pluviale. La surface de la vallée de Mexico est de 9 600 kilomètres carrés (km²). La quantité de pluie moyenne qui tombe annuellement dans la vallée de la Ville de Mexico est de 700 mm, ce qui équivaut approximativement à un débit de 213 mètres cube par seconde (m³/s). Les précipitations sont plus fortes dans la région du sud-ouest, particulièrement dans les montagnes boisées. Cependant, en ce qui concerne les précipitations de courte durée, la situation est différente : elles ne sont pas localisées dans une zone particulière de la vallée.

La répartition des précipitations au cours d'une année n'est pas favorable à l'exploitation et à l'utilisation de l'eau de pluie, car on a affaire à de fortes et rares précipitations. Ainsi un seul orage peut concentrer entre 7 et 10% des précipitations moyennes de l'année, ce qui représente entre 470,7 et 672 millions de mètres cube (m³). Plus de 50 % de ce volume tombe en seulement 30 minutes, ce qui occasionne des débits de ruissellement très forts lors de périodes courtes.

Evapotranspiration

Le volume total d'eau qui s'évapore, soit par évapotranspiration des plantes et cultures agricoles, soit par évaporation des surfaces d'eau tel que les lacs, est de 171,2 m³/s. Une partie des eaux pluviales qui ne s'évapore pas ruisselle vers les égouts. Le ruissellement total dans la vallée est de 18,4 m³/s ce qui équivaut à 8,6 % du total des précipitations. Ces ruissellements concourent à alimenter directement le système d'adduction qui conduit l'eau pluviale hors de

⁴ Même si la Commission des eaux de l'État participe dans tout l'ensemble, les municipales restent les responsables réels du service dans leurs terroires.

la vallée. La quantité de pluie qui sert à recharger les nappes phréatiques de la vallée est de l'ordre de 725 millions de m³ à l'année (débit équivalant à 23,0 m³/s).

Les consommations en eau de la ville

La consommation totale en eau potable de la ville représente un débit de 62,5 m³/s : 44,5 m³/s sont obtenus par pompage dans la nappe phréatique, 1,4 m³/s proviennent de l'eau de pluie retenue dans les barrages de l'ouest de la ville et les 16,6 m³/s restants sont obtenus des bassins voisins -des rivières Lerma et Cutzamala. Comme la capacité de recharge de la nappe n'est que de 23,0 m³/s, l'exploitation de cette nappe (21,5 m³/s) surpasse de 193 % le volume d'eau infiltré dans le sous-sol de la vallée et qui régénère cette nappe : on est donc en situation de surexploitation.

Des 62,5 m³ d'eau potable que la ville consomme par seconde, 46,2 correspondent aux besoins des usagers domestiques ; 7,3 servent aux besoins des industries et les 9,2 restants sont distribués aux usagers agricoles de la vallée. Les usagers industriels et agricoles réutilisent 2,4 et 1,9 m³/s des eaux épurées dans des stations de traitement construites sur différents sites de la ZMVM.

Les eaux usées de la ZMVM

Les réseaux primaire et secondaire des égouts de la ville sont combinés, c'est-à-dire qu'ils collectent les eaux usées et l'eau pluviale. Etant donné les inondations répétées et violentes connues par le passé et la situation de certaines parties de la ville encore très exposées à ce risque actuellement, collecter les eaux est une préoccupation majeure des administrations fédérale et locale ainsi que des habitants de la ville. Ceci a exigé des investissements en infrastructures très importants afin d'évacuer les eaux pluviales qui dans les heures de pointe peuvent dépasser les 70 m³/s (§ chapitre 3).

Le système de drainage profond de la ville permet d'acheminer hors de la ville un débit de 30,9 m³/s à destination des usagers domestiques ; le débit nécessaire pour répondre aux besoins des usagers non domestiques (industriels, services commerciaux et publics) est de 5.5 m³/s. De la totalité des 36,4 m³/s, à peu près 3,8 m³/s sont épurés en vue d'être réutilisés et 2,9 m³/s sont réutilisées, sans aucun traitement, dans l'agriculture.

Le reste de ces eaux, 32,6 m³/s, s'additionnent aux 0,9 m³/s provenant de percolation des eaux usées dans les égouts. Au débit total des eaux usées des égouts qui sortent de la vallée s'accumulent les ruissellements de pluie et l'eau des fuites du réseau primaire des

égouts, 11,7 m³/s et 0,9 m³/s respectivement. De plus, un débit de 2,0 m³/s provient des fuites⁵ des puits d'extraction d'eau potable. Une petite partie de l'eau des réseaux d'égouts s'infiltré aussi dans le sous-sol : 1,7 m³/s. Ainsi, le débit total qui sort de la vallée par le système de drainage est de 48,3 m³/s.

Les experts envisageaient pour la ZMVM une population de 28 millions d'habitants pour l'année 2000. Si l'on estime une dotation d'eau potable de 270 l/hab/jour⁶, le débit permettant d'approvisionner toute la ville serait de 88 m³/s. La seule solution envisagée jusqu'à la fin des années 1980 était de continuer à construire des infrastructures pour l'amener de bassins de plus en plus éloignés. Les autorités publiques considéraient que cet approvisionnement en eau pourrait s'effectuer à partir des bassins de *Cutzamala*, *Libres-Oriental*, *Alto Amacuzac*, *Medio Amacuzac*, *Tecolutla*, *Taxhimay-Tlautla* et *Taxhimay-Tula*. Le Tableau 4.1 montre les débits que ces bassins pourraient apporter à la ville de Mexico. A long terme, la construction de ces ouvrages permettrait de disposer de 91,5 m³/s supplémentaires. Ce volume serait suffisant pour satisfaire la demande estimée en 88,0 m³/s.

Bassin	Débit
Cutzamala (3 ^e étape)	8,0
Libres-Oriental	7,0
Alto Amacuzac	13,0
Medio Amacuzac	48,0
Tecolutla	5,5
Taxhimay-Tlautla	5,0
Taxhimay-Tula	5,0
Totales et Moyenne	91,5

Tableau 1. Sources susceptibles d'apporter de l'eau potable à la ZMVM.

Source : Benitez-Eslava (Edgardo), *Perspectivas de la construcción de Plantas de tratamiento en la ZMVM*, Mexico, UNAM, 1992. Thèse pour l'obtention du "Master in Sciences".

La figure 5.1 présente un schéma du bilan hydrologique de la Vallée de Mexico.

⁵ Débits estimés à partir des volumes mesurés dans les adductions des eaux usées de la ville.

⁶ Ce qui représente une réduction de 25% de la consommation estimée actuellement de 360 l/hab/jour.

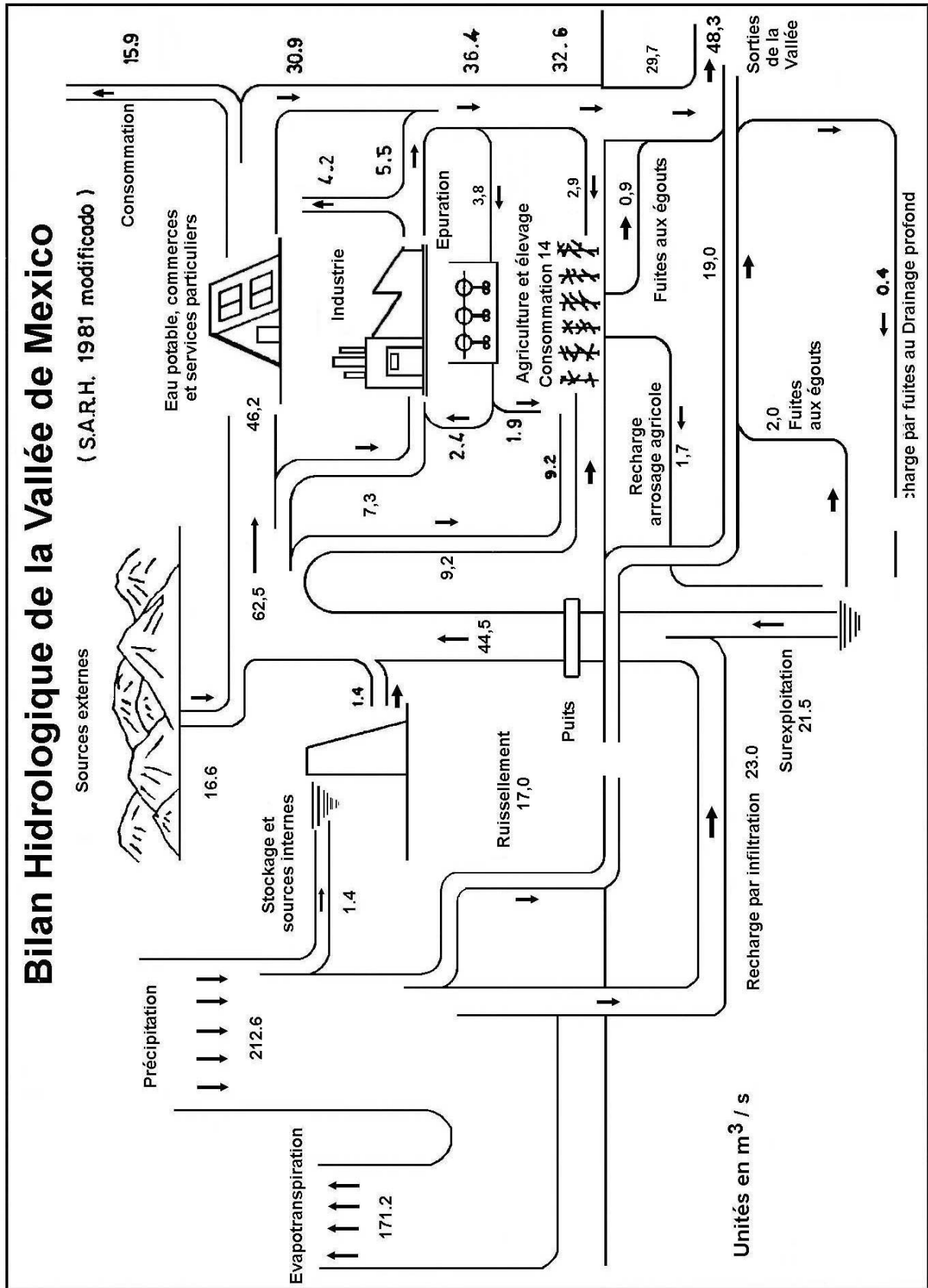


Figure 5.1 Bilan Hydrologique de la Vallée de Mexico.

5.1.2 Du District Fédéral.

Le DF se localise dans la vallée de Mexico. Il occupe 14% du territoire de ce bassin. Les autres États fédérés qui l'occupent sont l'état de Mexico qui occupe 50 % du territoire, Hidalgo (26% du territoire), Tlaxcala (9 % du territoire) et Puebla (1% du territoire). La superficie du District Fédéral est de 1.504 km², chiffre qui correspond à moins de 1 % du territoire du pays. Elle abrite, néanmoins 8,82 % de la population totale du pays⁷.

La ville de Mexico se situe dans la partie Nord du District Fédéral. Elle occupe totalement les *Delegaciones* Azcapotzalco, Benito Juárez, Coyoacán, Cuauhtémoc, Gustavo A. Madero, Iztacalco, Miguel Hidalgo et Venustiano Carranza et une partie des Delegaciones Cuajimalpa de Morelos, Magdalena Contreras, Alvaro Obregón, Tlalpan, Xochimilco, Milpa Alta, Tláhuac et Iztapalapa. Parmi ces dernières, il y a encore de petits villages agricoles. La plupart de ces *Delegaciones* ont été classées comme zones à protéger et de réserve écologique. La figure 5.2 montre les zones urbaines et de conservation écologique du District Fédéral.

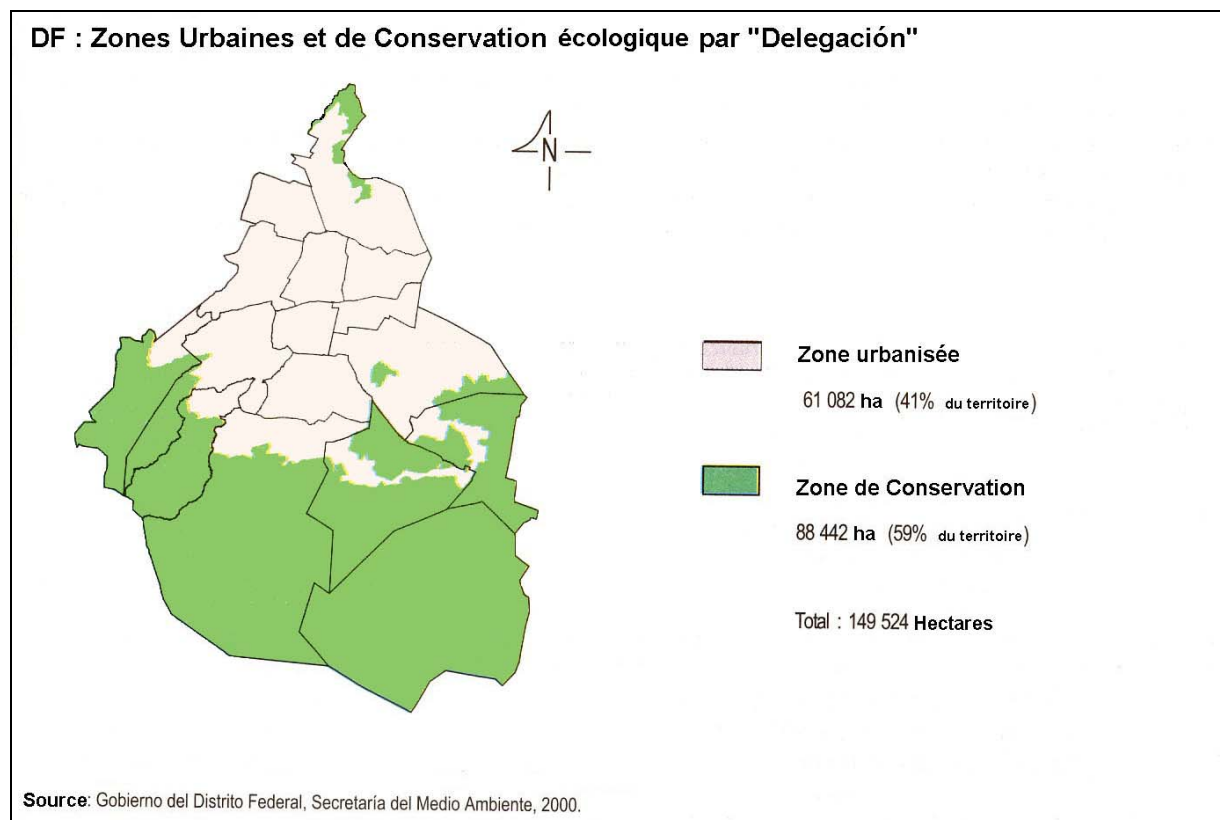


Figure 5.2 Zone de protection écologique du DF.

Source : INEGI, *Estadísticas del Medio Ambiente del Distrito Federal y Zona Metropolitana 2000*, Aguascalientes, INEGI, 2001.

⁷ La Zone Métropolitaine de la Ville de Mexico abrite 18,6 % de la population [totale] nationale, c'est-à-dire, presque un mexicains sur cinq habite dans cette agglomération. INEGI, *Estadísticas del Medio Ambiente del Distrito Federal y Zona Metropolitana 2000*, Aguascalientes, INEGI, 2001. 316 p + indice. Pages 5-6.

Le relief du DF est formé par la *Sierra de Guadalupe* au nord, les parties basses des versants des *Sierras Cuautzin, Ajusco* et *Monte de las Cruces* au sud et sud ouest. A l'ouest se trouvent les *Sierras de Monte alto*. Dans le centre et au sud est se trouvent les collines de *Cerro de la Estrella* et la *Caldera*, la petite *Sierra de Santa Catarina* ainsi que *Chapultepec, los Peñones* et *El Marqués*. Il existe trois types de climat dans le DF : le climat semi froid subhumide dans les montagnes des Sierras de las Cruces et Chichinautzin, le climat tempéré subhumide, dans les parties nord, ouest et sud de la ville et le climat semi sec à l'est de la ville. Le sous-sol du DF est formé par des roches ignées extrusives et néo-volcaniques. Ce type de formation est le plus couramment rencontré dans les montagnes. Dans les parties basses et planes prédominent les roches sédimentaires des âges géologiques tertiaire et quaternaire.

Précipitation pluviale

La saison des pluies du bassin de la vallée de Mexico débute courant mai et se termine en octobre. Pendant cette période, les précipitations sont intenses, de courte durée et très concentrées. Par contre, en saison hivernale, les précipitations sont davantage réparties dans le temps, de plus longue durée et de moindre intensité.

Evapotranspiration

Les surfaces végétales se répartissent comme suit : la surface agricole représente 209 km², les bois occupent 381 km², les arbustes 108 km², et les zones boisées de réserve écologique 41 km². Le tableau suivant quantifie l'évapotranspiration selon le type de couverture végétale.

Type d'occupation	Evapotranspiration	
	m ³ /s	Millions de m ³ .
Agriculture	3,236	102,050
Agricoles permanentes	0,462	14,570
Bois	14,529	458,200
Arbustes	4,107	129,514
Autres	1,559	49,153
Totale	23,893	753,487

Tableau 2. Evapotranspiration dans le territoire du DF.

Source : DDF-DGCOH, *Plan Maestro de Agua potable 1997- 2000*, México, DDF-DGCOH, 1997.

Evaporation des principales surfaces d'eau

La zone des canaux de Xochimilco est une source importante d'évaporation d'eau dans la ville. Le volume de l'eau dû à l'évaporation a été calculé à partir des registres mensuels des stations climatologiques de la Commission nationale de l'eau (CNA). Le volume total évaporé d'eau est de 16.966 millions de m³, ce qui équivaut à un débit de 0,583 m³/s.

Percolation

Les volumes d'eau infiltrée sont très importants pour la ville car ils servent à alimenter les nappes phréatiques desquelles la ville puise l'eau nécessaire pour couvrir ses besoins en eau. Le volume d'eau qui s'infiltré est de 260,88 millions de m³ par année, ce qui équivaut à 8,272 m³/s.

Ruissellement

La plupart des ruisseaux du DF sont intermittents à l'exception des rivières *Magdalena*, *Mixcoac* et *Tacubaya* dont le débit, bien que faible, est permanent. Le volume estimé des ruissellements équivaut à un 282,4 millions de m³ annuels (ou 8.955 m³/s).

Cycle hydrologique	Débit	
	Millions de m ³ par an	m ³ /s
Evapotranspiration	753,487	23,893
Evaporation	16,966	0,583
Percolation	260,880	8,272
Ruissellement	282,396	8,955
Pluie	1 313,728	41,658

Tableau 3. Bilan hydrologique du District Fédéral.

Source : DDF-DGCOH, Plan Maestro de Agua potable del DF, México, DDF-DGCOH, 1997.

La figure 5.1 présente un schéma du bilan hydrologique de la Vallée de Mexico.

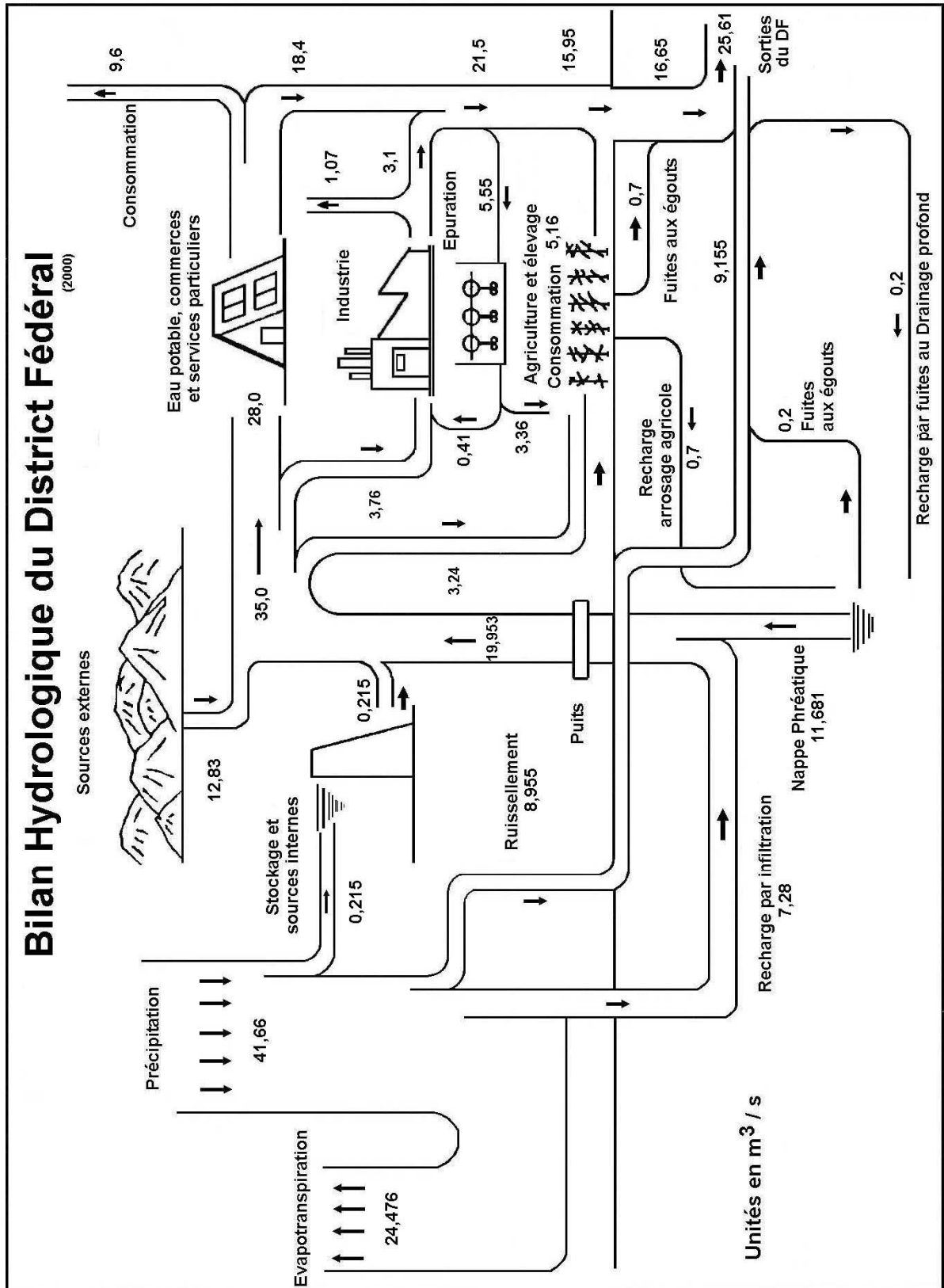


Figure 5.3 Bilan hydrologique du District Fédéral.

5.1.3 Le sous sol de la ville de Mexico

La vallée de Mexico se situe dans un bassin fermé imperméable constitué de roches volcaniques (andésites et dacites). Ce bassin est constitué de sédiments fluviaux, lacustres et volcaniques, dont la présence est issue de la fermeture du bassin son côté sud. Etant donné que les montagnes qui entourent la vallée sont formées par des roches et des clastiques d'éruptions basaltiques ou d'andésites basaltiques, très perméables et de porosité élevée, il est probable que, du point de vue hydrogéologique, le bassin ne soit pas entièrement fermé mais connecté au sud avec celui de Cuernavaca.

La formation *Tarango*, qui est constituée par des matériaux clastiques sédimentaires, de dépôts de piémont, de matériaux clastiques d'origine volcanique, des conglomérats fluviaux et des horizons de pierre ponce, repose sur les andésites situées à l'est, l'ouest et le nord de la ville. Il est aussi très perméable, ce qui permet percolation d'eau dans le sous-sol.

Les sols de la partie centrale de la vallée sont d'origine fluvial ou lacustre. Leur perméabilité dépend principalement de la taille des sédiments. Formés de matériaux qui varient entre sables gros et argile, ces sédiments constituent le sous système aquifère de la ville de Mexico qui est exploité pour l'approvisionnement en eau potable. De grands dépôts d'argile d'origine volcanique se sont formés lors d'une période géologique récente. Leur structure microscopique est formée de vides remplis d'eau.

La partie supérieure du sol de la ville s'est formée de couches végétales et de remplissages artificiels ; dans sa partie inférieure se trouvent des couches de sable, de limons (une combinaison de sables limoneux et de limons sableux) et d'argiles plus perméables.

Les couches d'argile ont une épaisseur comprise entre 40 et 60 mètres, dans la quasi-totalité de la vallée. Cette épaisseur diminue en direction des montagnes. Dans les parties centrales des zones de Texcoco et Tláhuac-Chalco, les couches d'argile intercalées et, ou mélangées avec des couches de sable atteignent 100 m d'épaisseur. Ces argiles saturées présentent un niveau phréatique de deux ou trois mètres de profondeur.

Les figures 5.3, 5.4 et 5.5 montrent, respectivement, des schémas des couches du sous-sol de la vallée de Mexico. La première, une coupe verticale dans la direction est-ouest, la deuxième autre coupe verticale dans la direction nord-sud et la troisième présente les points de référence dans une carte de la ville qui présente les épaisseurs de ces couches.

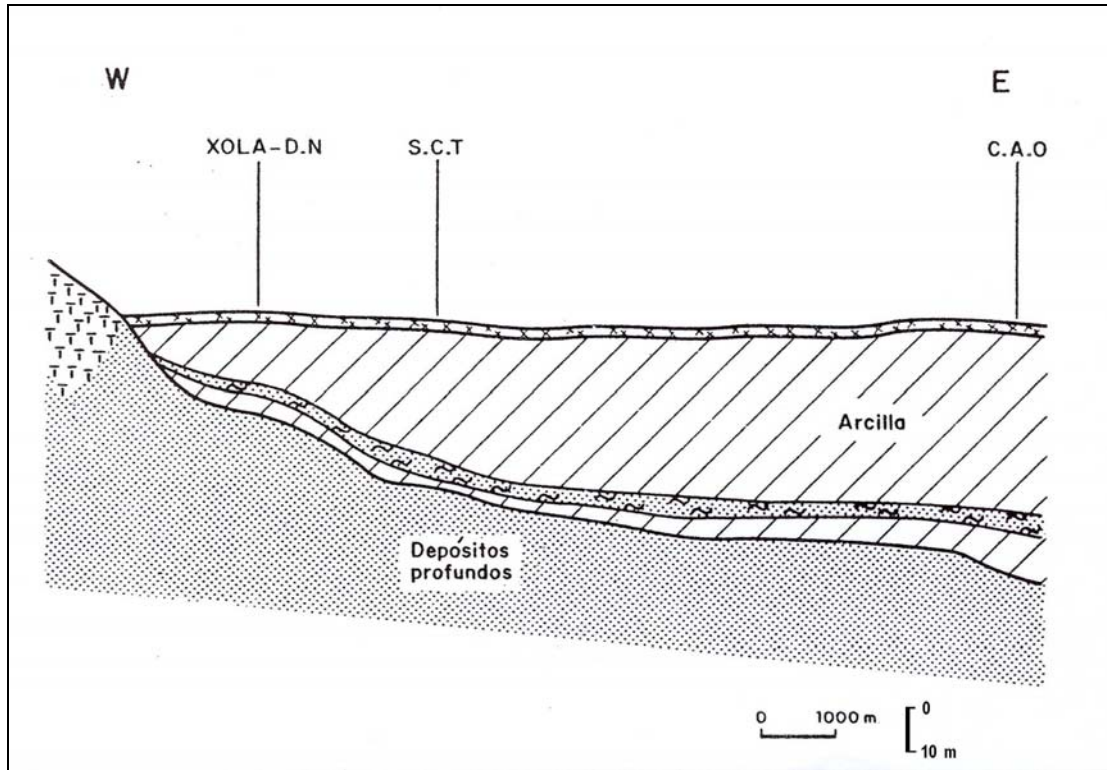


Figure 5.3 Coupe verticale du sous-sol de Mexico. Direction est-ouest.

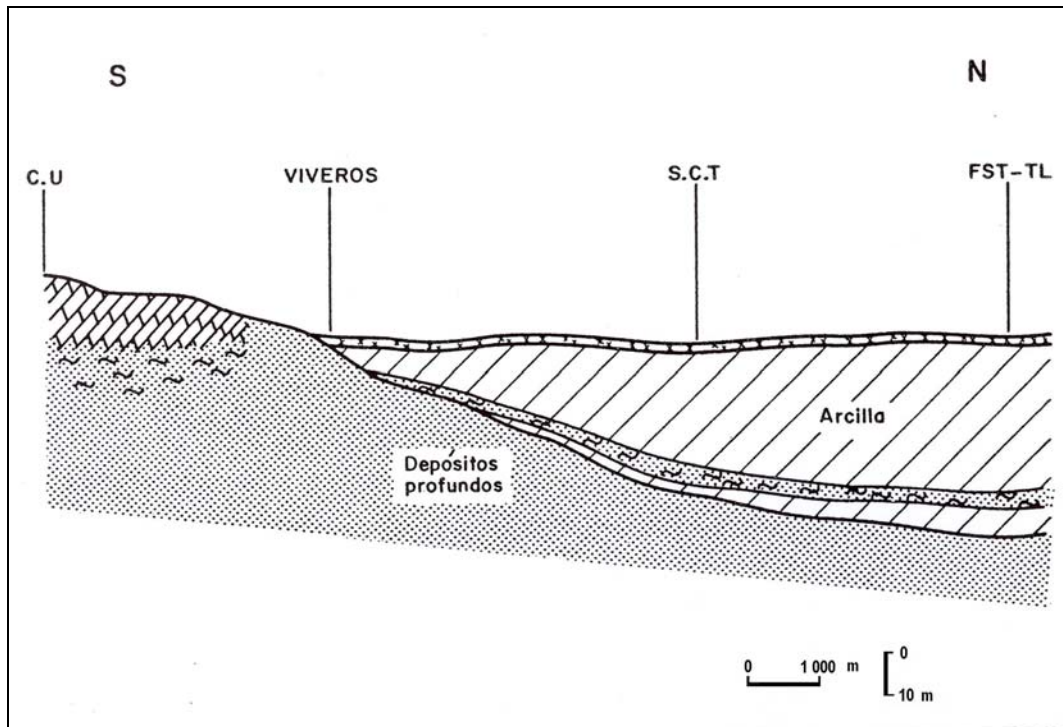


Figure 5.4 Coupe verticale du sous-sol de Mexico. Direction nord-sud.

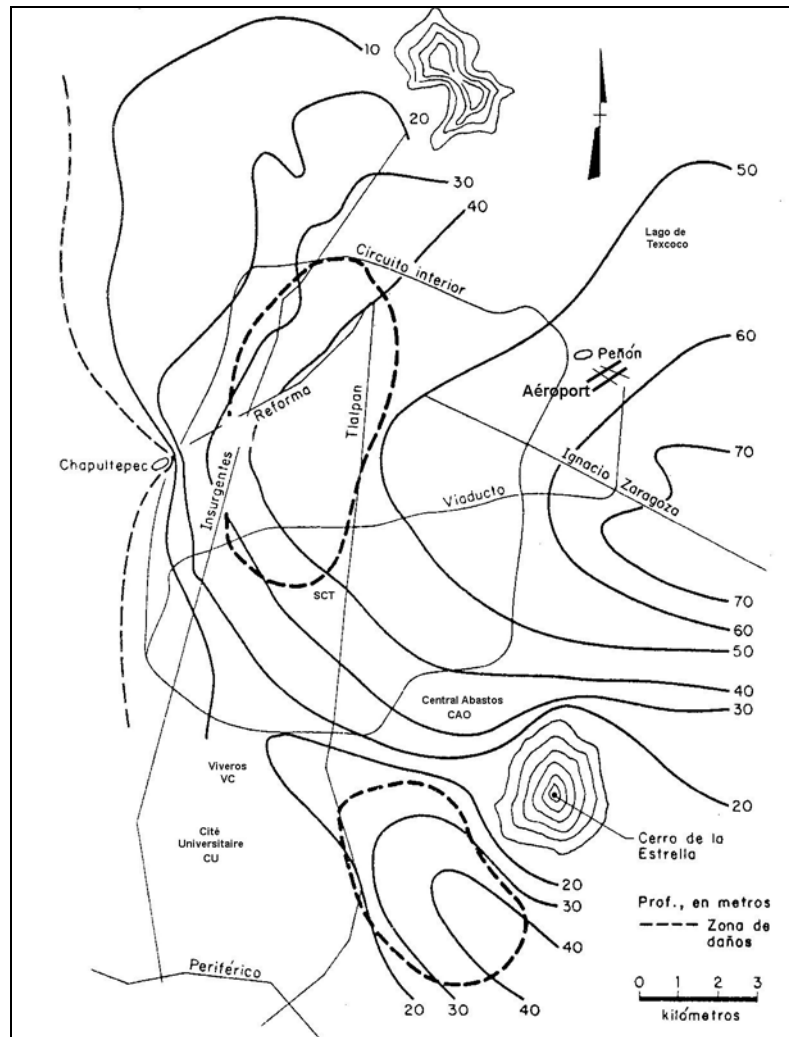


Figure 5.5 Carte des épaisseurs des couches du sous-sol de Mexico.

La recharge naturelle de l'aquifère

Puisque la plupart de l'eau que la ville consomme chaque jour provient de la nappe phréatique, nous analysons la manière dont celle-ci se recharge. Nous étudions d'abord les différentes strates qui la conforment.

La principale source de recharge pour l'aquifère se présente notamment dans les zones sud, est et ouest de la ville : il s'agit des percolations des eaux de pluies qui sont plus intenses dans ces zones. L'autre apport provient des strates argileuses situées au dessus de l'aquifère. La sortie principale d'eau est l'extraction d'eau par des puits. Les puits - et l'extraction d'eau qui résulte de leur utilisation - sont la principale cause de la diminution du niveau de la nappe phréatique.

Les formations géologiques qui facilitent la recharge des aquifères de la ZMVM sont les zones constituées de roches andésites et dacites qui, selon leur degré de fracturation, de leur porosité (généralement basse) et de perméabilité (moyenne à élevée) permettent la

percolation de l'eau. Leur localisation géographique favorise la recharge, étant donné leur localisation dans les zones où les pluies sont les plus intenses. La formation *Tarango* est la deuxième formation géologique qui permet percolation des eaux de pluie. Cette formation se trouve amplement distribuée dans les versant des chaînes de montagnes (*sierras*) et le sous sol de la ville. Elle se caractérise par une porosité élevée et une perméabilité moyenne. Elle est la plus importante formation géologique par laquelle se recharge l'aquifère de la ville. La troisième forme géologique qui permet à l'aquifère de se recharger est celle des basaltes fortement fracturés et amplement étendus dans le sud de la vallée. Cette formation permet une recharge rapide de l'aquifère. En revanche, elle constitue une source importante de risque de pollution pour l'aquifère même. La figure 5.6 montre les zones prévues pour la recharge de l'aquifère.

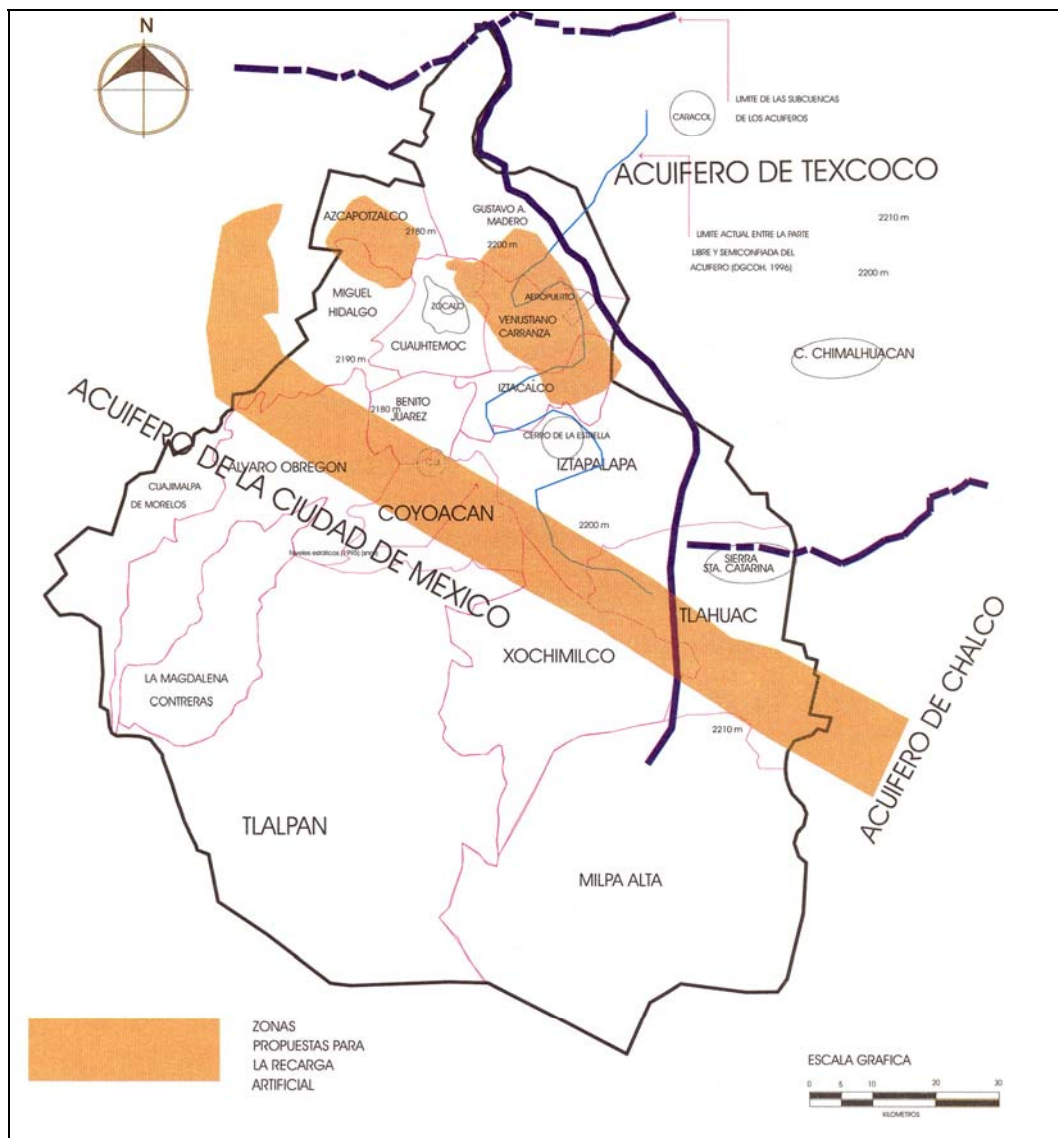


Figure 5.6 Zones de recharge d l'aquifère.

Les argiles lacustres occupent une partie importante du territoire du DF. Leurs principales caractéristiques sont leur faible perméabilité et leur épaisseur qui peut atteindre des centaines de mètres dans le centre des anciennes surfaces lacustres.

5.2 Les infrastructures du service de l'eau

Le système d'approvisionnement en eau potable du DF se compose des sources et des diverses infrastructures pour réaliser les activités de captage, d'adduction, de stockage et de distribution.

5.2.1 Sources internes d'approvisionnement en eau potable

Deux organismes sont responsables du fonctionnement des infrastructures pour l'approvisionnement en eau potable de la ville de Mexico. Le premier est la Direction Générale de Construction et d'Opération Hydraulique (DGCOH), sous la tutelle du Gouvernement du District Fédéral, qui se charge de l'exploitation et de la maintenance des équipements et infrastructures des sources d'approvisionnement situées dans les DF comme du système Lerma et Chiconautla, situés dans l'État de Mexico. Le second est la « Gérenca Regional de Aguas del Valle de México » (Gérance¹¹ régionale des eaux de la vallée de Mexico, Gravamex) qui, sous la tutelle de la Comisión Nacional del Agua (Commission nationale de l'eau, CNA), est responsable de l'approvisionnement en eau de la ville à partir des systèmes Nord, Eaux du sud (sources d'eau souterraine) et Cutzamala (source d'eau superficielle localisée hors du bassin de Mexico).

Il existe par ailleurs des systèmes de puits que sont opérés par des particuliers afin de satisfaire leurs propres demandes en eau. Le débit moyen apporté au DF est de 34,785 m³/s dont 62,75 % apportés par la DGCOH et 37,25 % par Gravamex.

Les sources internes à la vallée

Les sources internes à la vallée sont, dans la plupart des cas, obtenues par des puits et, dans une petite proportion, de sources et de la rivière Magdalena.

¹¹ Cette dénomination n'a rien à voir avec le terme français de « gérance ». Il s'agit plutôt du terme avec lequel la CNA a divisé le territoire national pour l'administration de l'eau.

Sources opérées par la DGCOH

Il existe cinq systèmes de captage opérés par la DGCOH. Il s'agit d'ensembles de puits profonds qui ont été classés selon leur localisation géographique : Nord, Centre-ouest, Ouest, Sud-centre et Sud en plus d'un ensemble de sources et de la rivière Magdalena. En ce qui concerne les puits opérés par les particuliers, ils sont contrôlés par la DGCOH.

L'ensemble de puits du système Nord opère 56, puits dont 26 situés dans la Delegación Azcapotzalco. L'eau de ces puits fournit directement le réseau secondaire de la zone. Les 30 autres puits intègrent le système Chiconautla, qui se situe dans la municipalité de Ecatepec de l'État de Mexico. Ce système apporte ses eaux aux réservoirs Santa Isabel situés dans la Delegacion Gustavo A. Madero. Le Tableau 4 montre l'évolution du débit fourni par ce système.

Tableau 4. Débits apportés par le Système Nord.

Année	1994	1995	1996	1997
Unités en l/s				
Chiconautla	1.815	1.492	1.537	1.598
Puits Azcapotzalco	888	863	867	840
Total	2.703	2.355	2.404	2.438

Source : Rapport mensuel de débits de la DGCOH.

Système Centre-ouest. La zone desservie par ce système correspond aux territoires des Delegaciones Cuajimalpa, Miguel Hidalgo, Alvaro Obregón, Benito Juárez y Cuauhtémoc. Il se compose de 76 puits qui apportent leurs volumes directement au réseau de distribution. Les débits apportés par ce système se présentent dans le Tableau 5.

Tableau 5. Volumes apportés par le système Centro-ouest.

Année	1994	1995	1996	1997
Unités en l/s				
Puits du réseau central	1.711	1.788	1.897	1.922
Puits au réseau ouest	203	264	235	213
Total	1.914	2.052	2.132	2.135

Source : Rapport mensuel de débits de la DGCOH.

Sous-système technique Sud. La zone d'opération de ce système s'étend dans les Delegaciones Coyoacán, Tláhuac, Tlalpan, Xochimilco et Milpa Alta. Ce système se compose de 242 puits qui servent à approvisionner les adductions de Xochimilco et Chalco-Xochimilco¹², en plus de la fourniture directe en eau du réseau. Dans cette zone, on trouve aussi des puits isolés et des sources connectées directement au réseau de distribution ou à des

¹² Qui conduisent l'eau principalement au centre de la ville.

stations de re-pompage qui desservent les parties élevées du sud de la ville. A partir du 1^{er} juin 1997 le sous-système Tulyehualco et les puits de la Gravamex dans cette zone ont été intégrés aux sources opérées par la DGCOH. Les débits apportés par ce système se présentent dans le Tableau suivant.

Tableau 6. Débits apportés par le Système sud.

Année	1994	1995	1996	1997
Unités en l/s				
Puits au réseau	8.290	7.864	7.308	7.343
Puits de Xotepingo	625	607	575	547
Puits Gravamex	---	134	181	176
Puits Tulyehualco	---	536	1.075	975
Station pot. Magdalena	194	189	184	183
Total	8.915	2.052	2.132	9.224

Source : Rapport mensuel de débits de la DGCOH.

Sous-système technique Est. Ce système comprend les territoires des Delegaciones Venustiano Carranza, Iztacalco et Iztapalapa. Outre les 46 puits qui apportent leurs débits au réseau de distribution, ce système est composé des puits qui apportent leurs eaux aux stations de potabilisation Agrícola Oriental et Santa Cruz Meyehualco. A partir du mois de juin 1995 la DGCOH a pris en charge l'opération du sous système Ampliación Tláhuac. Les débits que ce système apporte à la ville sont présentés dans le Tableau 7.

Tableau 7. Débits apportés par le système Est.

Année	1994	1995	1996	1997
Unités en l/s				
Puits au réseau	1.817	1.733	1.413	1.360
Station Agrícola Oriental	127	63	15	0
Station Meyehualco	53	41	40	39
Ampliación Tláhuac	---	248	451	451
Total	1.997	2.085	1.875	1.850

Source : Rapport mensuel de débits de la DGCOH.

Sources et puits particuliers

Actuellement, plusieurs sources en eau se localisent dans les delegaciones Cuajimalpa, Alvaro Obregón, Magdalena Contreras et Tlalpan, c'est-à-dire, dans l'ouest et le sud du DF. Les eaux de ces sources sont captées et chlorées pour leur utilisation dans la ville. Dans certains cas, ces volumes sont envoyés à des bassins de stockage, dans d'autres, ils sont

acheminés directement au réseau de distribution. Des puits particuliers se trouvent disséminés dans tout le territoire du DF. La DGCOH effectue le contrôle de ces puits. Les débits apportés par les sources et par les puits particuliers sont présentés dans le Tableau 8.

Tableau 8. Débits apportés par les sources naturelles et les puits particuliers

Année	1994	1995	1996	1997
Unités en l/s				
Sources naturelles	863	812	817	809
Puits particuliers	663	552	485	485
Total	1.526	1.364	1.302	1.294

Source : Rapport mensuel de débits de la DGCOH.

Sources exploitées par Gravamex

Système des « Aguas del Norte » (Eaux du nord). Deux éléments intègrent ce système : *Barrientos* y *El Risco*. Dans les deux cas, il s'agit d'infrastructures pour fournir l'eau en gros. Le système *Barrientos* se compose de 120 puits qui fournissent les adductions Tizayuca-Pachuca et Teoloyucan-Atlamica de de 51 cm et 122 cm de diamètres respectivement (20" et 48"). Leurs eaux sont conduites à la station de relevage de Barrientos pour arriver finalement dans les réservoirs de Chalmita. Le système *El Risco* se compose de 16 puits qui apportent leurs débits aux adductions Ecatepec, Los Reyes et Tultitlán, tous les trois de 122 cm (48") de diamètre. L'adduction Ecatepec apporte une partie de son débit à la station de pompage *El Risco* ainsi qu'au réservoir *Santa Isabel*, tandis que les adductions *Los Reyes* et *Tultitlán* sont refoulés par la station de pompage *Barrientos*. Les réservoirs *Santa Isabel* et *Chalmita* sont opérés par la DGCOH.

Tableau 9. Débits apportés par le système Nord de la Gravamex du DF.

Année	1994	1995	1996	1997
Unités en l/s				
Chalmita	2.491	2.166	2.657	2.457
El Risco	26	6	-8	-106
Total	2.517	2.172	2.649	2.351

Source : Rapport mensuel de débits de la DGCOH.

Sous-système technique « Aguas del Sur » (Eaux du sud)

Ce système est formé par les sous systèmes *Texcoco* et la *Caldera*. L'adduction Tláhuac –Mixquic-Santa Catarina, d'une longueur de 6,7 km et d'un diamètre final de 122 cm (48"), et alimenté par 25 puits et apporte ses débits au réservoir *La Caldera*. Actuellement, l'opération des sous systèmes *Pozos Aislados*, *Ampliación Tláhuac* et *Tulyehualco* est sous la responsabilité de la DGCOH.

Tableau 10. Débits apportés par le Système Sud.

Année	1994	1995	1996	1997
Unités en l/s				
Puits	332	332	---	---
Ampliacion Tláhuac	529	598	---	---
Texcoco	9	12	0	0
La Caldera	511	541	772	661
Tláhuac	5	2	1	0
Tulyehualco	1.060	1.012	0	---
Total	2.446	1.364	773	661

Source : Rapport mensuel de débits de la DGCOH.

5.2.2 Sources Externes à la Vallée

Les sources externes à la vallée de Mexico qui apportent de l'eau au DF sont celles de Lerma et de Cutzamala dans la vallée de Toluca, bassins voisins situés à l'ouest du DF. La première est celle qui correspond à l'exploitation de l'aquifère Lerma. Elle est sous la responsabilité de la DGCOH. La seconde correspond à des sources superficielles du bassin de la rivière Cutzamala. L'entrée de ces deux débits s'effectue par les zones montagneuses de l'ouest de la ville.

Le système Lerma

Ce système a commencé à fonctionner en 1951. Il apportait 4,5 m³/s à l'agglomération. Il se situe dans la Vallée de Toluca, à l'ouest de la ville de Mexico, dans l'État de Mexico. La surface de ce système est approximativement de 2.236 km². Le captage de l'eau se réalise par le biais de 243 puits profonds, dont le diamètre est compris entre 30 et 122 cm, répartis en 16 lignes de puits, d'une longueur totale de 100,7 km. A partir de ces points de captage, l'eau est acheminée à quatre adductions principales (d'une longueur totale de presque 265 km) et de cinq stations de relevage qui la conduisent jusqu'au tunnel *Atarasquillo-Dos Ríos*. Ce tunnel permet de traverser la Sierra de las Cruces pour arriver à l'agglomération.

De l'autre côté du tunnel *Atarasquillo-Dos Ríos*, le débit se divise au point de séparation *El Venado*. Une partie est acheminée vers le nord par une adduction de 20,675 km (d'un diamètre de 2,20 m), jusqu'au réservoir *Dolores*. L'autre partie est conduite par une adduction de 12,854 km vers le sud jusqu'au point de répartition aux réservoirs autour du *Cerro del Judio*.

Les débits apportés par le Système Cutzamala sont présentés dans le Tableau 11.

Tableau 11. Débits apportés par le Système Lerma.

Année	1994	1995	1996	1997
Unités en l/s				
Venado	4.922	5.004	4.905	4.889
Total	4.922	5.004	4.905	4.889

Source : Rapport mensuel de débits de la DGCOH.

Le Système Cutzamala

Ce système a été construit pour réduire la surexploitation de l'aquifère de la vallée et, par conséquent, le tassement de la ville. L'objectif de ce système est de substituer l'utilisation des eaux de puits internes au bassin. L'intention de poursuivre était aussi de couvrir la demande de l'agglomération pour la période 1980–2000. Elle constitue aujourd'hui sa source principale d'eau superficielle.

Ce système se compose de plusieurs barrages qui servent à capter les eaux superficielles qui sont conduites par adduction à la station de potabilisation *Los Berros*. A partir de ce point les eaux sont refoulées jusqu'à une élévation de 2 700 mètres pour être acheminées par plus de 92 km¹⁴ par gravité jusqu'à l'entrée de la ville de Mexico. Ce système a été conçu et construit à partir d'un ancien système de génération d'énergie électrique qui a été complété par des ouvrages construits pour l'approvisionnement en eau de l'agglomération de la ville de Mexico : District Fédéral et municipalités de l'État de Mexico.

La construction de ce système s'est réalisée par étapes. La première, qui a commencé à opérer en 1982 se compose des ouvrages et des équipements pour le de captage de l'eau du barrage *Villa Victoria*. Cette eau est conduite par gravité jusqu'à la station de potabilisation *Los Berros*. Cette station dispose d'une capacité de traitement de 24 m³/s. L'eau est élevée de 174 m à partir de ce point, par la station de pompage n° 5, pour être conduite jusqu'au réservoir *Los Pericos* d'une capacité de stockage de 200.000 m³. Une grande quantité d'eau est acheminée vers la ville de Mexico par une canalisation de 76 km et un tunnel de 16 km, qui traversent la *Sierra de las Cruces*. Actuellement, cette première étape du apporte 21 % du volume total du système.

La deuxième partie de ce système a été mise en fonctionnement en 1985. Elle se compose d'un barrage, *Valle de Bravo*, de trois stations de pompage (numéros 2, 3 et 4 qui

¹⁴ 76 km de la station de refoulement 5 (PB5) au tunnel Analco – San José de longueur de 16 km pour un total de 92.090 m. Page 30 de la brochure Sistema Cutzamala. Agua para millones de mexicanos, México, CNA, 1997.

élèvent l'eau de 122, 350 et 350 mètres respectivement), d'une adduction et d'un réservoir de régulation dénommé *Donato Guerra* dont la capacité de stockage est de 77.000 m³. Cette partie des installations apporte 32 % du total du système. Les éléments qui intègrent la troisième partie du système sont les barrages *Chilesdo* et *Colorines*, qui ont été mis en fonctionnement en 1993 et 1994. L'eau captée du barrage *Chilesdo* est élevée de 275 m par la station de pompage n° 6. Le barrage *Colorines* sert à stocker les eaux des barrages interconnectés *Tuxpan - El Bosque-Ixtapan del Oro*. L'eau stockée dans le barrage *Colorines* est refoulée 157 m par la station de pompage n° 1 pour arriver, soit à la station de pompage n° 2, soit au barrage *Valle de Bravo*. Par rapport au total de l'eau que la ville reçoit de cette partie du système Cutzamala (47%), 45 % de ce volume provient du sous-système *Colorines* et 2 % de *Chilesdo*. La quatrième étape, qui est encore en construction, servirait à capter l'eau de la rivière *Temascaltepec*. Dans le trajet que l'eau suit vers la ville de Mexico, elle est stockée dans les réservoirs dénommés *Los Pericos*. Une partie de l'eau de ces réservoirs dessert aussi la ville de Toluca, capitale de l'État de Mexico.

Il faut noter que 95 % des composantes du système Cutzamala est mexicain et 5 % est d'origine étrangère, surtout les équipements électromécaniques. La conception et les modèles de fonctionnement ont été élaborés dans l'*Instituto de Ingeniería de la UNAM*.

Tableau 12. Débits apportés par le Système Cutzamala.

Année	1994	1995	1996	1997
Unités en l/s				
Venado	9.417	9.666	9.615	9.943
Total	9.417	9.666	9.615	9.943

Source : Rapport mensuel de débits de la DGCOH.

5.2.3 Eaux « renouvelées »

A cause de la rareté d'eau potable dans la ville, de la surexploitation des nappes phréatiques et de la difficulté pour amener de l'eau de bassins voisins, les eaux usées constituent aujourd'hui une ressource en eau qui n'était pas auparavant considérée valable pour son utilisation. Cette eau épurée, qui est reconnue comme une ressource en eau par la ville, est dénommée « renouvelée » et elle a commencé à remplacer l'eau pour des usages qui ne nécessitent pas d'eau de qualité potable.

Réutilisation des eaux épurées dans le District Fédéral

Les eaux usées et pluviales collectées dans les égouts sont une ressource importante qui peut servir à compléter une partie de la demande en eau de l'agglomération, pourvu qu'elle soit utilisée dans des activités ayant besoin d'une qualité inférieure à l'eau potable. Par exemple, l'arrosage de jardins publics et privés, le rétablissement des niveaux d'eau des canaux et lacs de plaisance, le nettoyage et le refroidissement industriel, sont des applications qui ne requièrent pas d'eau de qualité potable. Les eaux usées épurées peuvent servir aussi à la recharge des nappes souterraines dont se sert la ville pour son approvisionnement en eau à condition qu'elles soient traitées pour que leur qualité n'affecte pas la santé des consommateurs potentiels. Il existe également une composante économique dans la décision de réutiliser les eaux usées épurées. Tout au long de son histoire, l'approvisionnement en eau de la ville de Mexico a requis des solutions complexes qui, dans le futur, deviendront de plus en plus coûteuses. C'est pourquoi il fallait penser à réutiliser les eaux usées.

La DGCOH avait mis sur pied un programme de traitement des eaux usées pour remplacer partiellement l'utilisation de l'eau potable. Ces programmes ont commencé bien avant que le Mexique ait mis en route, à l'échelle nationale, des programmes de traitement des eaux usées municipales pour des raisons écologiques et environnementales. La raison principale de cette décision de la DGCOH était le coût que représente le transport de l'eau de bassins vers de distances de plus en plus lointaines. Ainsi, selon l'expérience de la DGCOH, les eaux usées épurées signifient, pour l'agglomération, une source alternative à l'importation d'eau de bassins externes.

Les eaux usées traitées, pendant longtemps considérées comme des éléments nocifs, qu'il fallait évacuer le plus rapidement possible des villes, sont considérées aujourd'hui comme des éléments pour remplacer l'utilisation d'eau potable dans l'agglomération. Cette idée a tellement été acceptée par les acteurs de l'eau de Mexico qu'au cours des années le terme des « eaux renouvelées » s'est imposé dans le jargon nationale pour nommer les eaux usées qui sont épurées pour être réutilisées.

Le tableau 13 présente les caractéristiques des stations de traitement des eaux usées dans le District Fédéral.

Delegación	Nom SEEU	Type de réutilisation	Capacité en l/s		Niveau traitement	Responsable opération
			N*	E**		
Azcapotzalco	El Rosario	Arrosage jardins	20	16	Avancé	DGCOH
Tlalpan	C. U.	Arrosage jardins	54	30	Tertiaire	UNAM
Coyoacán	Coyoacán	Canaux et irrigation	240 400	H.O. 336	Secondaire	Concession
Cuauhtémoc	Tlatelolco	Arrosage jardins	18	14	Secondaire	DGCOH
G. A. Madero	Acueducto Guadalupe	C, Industrie, Arrosage jardins	80	57	Secondaire	Concession
G. A. Madero	Aragón	LA, AJ, Ind.	450	364	Secondaire	Concession
Iztacalco	Iztacalco	Arrosage jardins	12	10	Avancé	DGCOH
Iztacalco	Ciudad Deportiva	C, Ind, AJ	200	80	Secondaire	Concession
Iztapalapa	Cerro de la Estrella	Lacs, irrigation	3.500	2.300	Tertiaire	DGCOH
M.Hidalgo	Bosques - Lomas	Arrosage jardins	50	27	Secondaire	DGCOH
M.Hidalgo	Chapultepec	Lacs, AJ	130	106	Secondaire	DGCOH
M.Hidalgo	Campo Militar	AJ, Irrigation	27	16	Secondaire	Sedena
Tláhuac	Ixtayopan	Arrosage jardins	15	15	Secondaire	DGCOH
Tláhuac	Tetelco	Arrosage jardins	15	15	Secondaire	DGCOH
Tlalpan	Abasolo	Arrosage jardins	15	15	Secondaire	DGCOH
Tlalpan	Colegio militar	Irrigation	15	12	Secondaire	Sedena
Tlalpan	Parrés	Irrigation, AJ	7,5	7,5	Secondaire	DGCOH
Tlalpan	Pemex- Picacho	Arrosage jardins	20	6	Secondaire	DGCOH
Tlalpan	Xicalco	Irrigation	7,5	7,5	Secondaire	DGCOH
Xochimilco	San Luis Tl.	AJ, I, Canaux	150	110	Tertiaire	DGCOH
Xochimilco	Reclusorio S.	Arrosage jardins	21	13	Secondaire	DGCOH
A. Obregón	Santa Fe	AJ, Percolation	280	280	Avancé	DGCOH
Tlalpan	Topilejo	Assainissement	7	H. O.	Secondaire	DGCOH
Milpa Alta	Rastro	Assainissement	7	H. O.	Secondaire	DGCOH
Tláhuac	Actopan	Irrigation	---	---	Primaire	DGCOH
Tláhuac	Mixquic	Irrigation	---	---	Primaire	DGCOH
Tláhuac	S. Lorenzo	I, AJ, Lacs	---	---	Tertiaire	DGCOH
		Sous total	5.741	3.837		
	Particuliers	Ind, AJ, Nett.	76	68	Tertiaire	Usagers
	Non regist.	Ind, AJ, Nett.	38	34	Tertiaire	Usagers
		Total	5.854	3.939		

Tableau 13. Stations d'épuration des eaux usées (SEEU) du District Fédéral.

 Source : DDF-DGCOH, *Plan Maestro de Agua potable 1997- 2000*, México, DDF-DGCOH, 1997.

A : arrosage ; AJ : Arrosage de jardins ; I : irrigation ; N : nettoyage N* Capacité nominal de travail ; E** Capacité effective de travail ; H. O. Hors opération

L'infrastructure pour l'épuration des eaux usées du DF se compose de 18 stations opérées par la DGCOH, 4 opérées par des particuliers sous un contrat de concession, une autre opérée par la Universidad Nacional Autónoma de México, deux opérées par le Secrétariat fédéral de la Défense nationale et 44 opérées par les usagers eux-mêmes. L'origine des problèmes de gestion de ces stations sont : la instabilité géotechnique du sol, le manque

d'entretien et de renouvellement des pièces des équipements électromécaniques et le manque de formation des opérateurs. Ainsi, la capacité de production ne correspond pas à la capacité nominale. Le Tableau 13 montre que la capacité de production (nominale) est de 5 854,93 l/s, alors que la capacité effective de production est uniquement de 3 939,5 l/s, soit un taux d'utilisation de ces stations de 67 % de leur capacité totale seulement.

Le tableau 14 présente de stations d'épuration des eaux usées selon le type d'opérateur par rapport aux conditions de leur opération : niveau et type de traitement et de réutilisation.

Tableau 14. Utilisation des eaux usées épurées dans le DF.

Unités en l/s	Nombre de stations opérées					Non registrées	Total
	DGCOH	SEDE NA	UNAM	Concession	Usagers		
En Opération	18	2	1	4	44	---	69
Construction	2						2
Capacité nominale	4.275	42	54	1.370	76	38	5.855
Capacité production	3.061	43	50	1.180	68	34	4.436
Niveau Traitement							
Primaire	2						2
Secondaire	12	2		4			18
Tertiaire	3		1		44		48
Avancé	3						3
Type de Traitement							
Bouées activées	14	2	1	4			21
Bouées activées aérées	1						1
Traitement anaérobie	2						2
Aéré à contre- courant	1						1
Physico chimique	2						2
Autres					44		44
Réutilisation							
Industriel, commercial				431	34	17	482
Irrigation	1.575	13					1.588
Arrosage jardins	572	30	50	415	34	17	1.118
Canaux et lacs	208			334			542
Recharge aquifère	706						706

Source : DDF-DGCOH, *Plan Maestro de Agua potable 1997- 2000*, México, DDF-DGCOH, 1997.

Le volume épuré par ces stations se substitue à un débit important d'eau potable utilisée dans des activités qui n'ayant pas besoin d'une eau de cette qualité. La production totale des eaux épurées de qualité secondaire est de 1 371 l/s. L'eau épurée au niveau tertiaire est de 2 542 l/s et de 26 l/s pour les eaux épurées à un niveau « avancé ». La DGCOH a un projet de réinjection d'eau épurée dans les nappes phréatiques. Il existe une station « pilote » pour traiter 30 l/s. De plus, il y a une lagune percolation pour 600 l/s dans la zone de la sierra de Santa Catarina.

L'utilisation des eaux épurées produites par les stations de traitement est de 240 l/s dans l'industrie, de 170 l/s dans le commerce, de 890 l/s dans les terrains agricoles, de 950 l/s pour l'arrosage de jardins, de 920 l/s pour remplir des lacs et 5 600 l/s pour la recharge de l'aquifère. Le débit perdu en fuites est estimé à 670 l/s des réseaux de distribution de ces eaux.

A l'échelle locale, c'est le Règlement de réutilisation de l'eau qui établit les Normes de qualité pour les eaux « renouvelées ». Il fixe les paramètres maximaux pour les diverses applications : irrigation agricole, recharge d'aquifères, arrosage de jardins, utilisation de plaisance, refroidissement industriel, etc. A l'échelle nationale, les Normes techniques écologiques déterminent la qualité des eaux usées épurées pour l'utilisation agricole, l'irrigation de légumes, et l'arboriculture. La Commission nationale de l'eau a publié un Manuel technique pour l'utilisation des eaux usées dans l'irrigation agricole¹⁵.

Encadré 4.1 Les niveaux de traitement des eaux usées

A propos de l'épuration des eaux usées de la ville de Mexico, la classification que la DGCOH a fait selon les critères établis par les règlements et normes techniques mexicaines sont : primaire secondaire et tertiaire ou avancé.

Niveau Primaire : dégrillage, dessablage, décantation primaire, traitement biologique, décantation secondaire et désinfection. Le traitement des boues comprend l'épaississement.

Niveau Secondaire : dégrillage, décantation primaire, traitement biologique, décantation secondaire, filtration et désinfection. Le traitement des boues est le même que le précédent mais il intègre la déshydratation.

Niveau Avancé : c'est le même que le précédent mais il inclut l'absorption entre la filtration et la désinfection. Le train de traitement des boues est également le même que pour le niveau précédent.

¹⁵ DDF-DGCOH, *Plan Maestro del agua potable del DF*, México, DDF-DGCOH, 1997. Page 3-17.

Perspectives de réutilisation des eaux usées épurées

En 1997, le DF produisait 21,51 m³/s d'eaux usées dont 5,55 m³/s sont traitées dans les stations d'épuration. La production de ces stations est de 4,44 m³/s. Les 15,96 m³/s restants sont destinés à l'irrigation agricole dans les États fédérés voisins au DF. La qualité des eaux ne pose pas de problème pour cette irrigation. Au cours des dernières années, l'extension des zones urbaines entraîne la diminution des terrains agricoles. De même, la technification des zones agricoles réduit la demande en eau, ce qui laisse supposer que, dans le futur, les débits apportés à l'agriculture dans la vallée seront supérieurs à la demande. Ces considérations permettent d'estimer que la disponibilité des eaux usées pour l'année 2010 sera de 26,28 m³/s. La demande en eau pour l'irrigation des États de Mexico et Hidalgo serait uniquement de 14,27 m³/s. Si l'on considère que l'eau la plus chère est celle qui n'existe pas, les volumes des eaux usées se présentent comme une source importante d'eau depuis quelques années.

Les perspectives de construction de stations d'épuration sont positives pour la ville. Un changement dans les mentalités en ce qui concerne la réutilisation des eaux usées a commencé à s'opérer, étant donné que les investissements requis pour amener de l'eau de bassins éloignés de la ville sont de plus en plus élevés et que les collectivités qui habitent dans les régions et qui pratiquent l'agriculture et l'élevage dans ces bassins n'acceptent plus de céder l'eau, qui est indispensable à leur développement. Ainsi, les responsables du service de l'eau du DF ont réalisé des analyses pour déterminer dans quelle mesure les divers usagers pourraient profiter des eaux « renouvelées ». La DGCOH a également analysé la possibilité de continuer à construire des stations d'épuration des eaux usées. Ces études ont mis en exergue les facteurs de décision de la construction de telles stations. La capacité et la localisation de ces stations de traitement sont déterminées par plusieurs facteurs : taille de la station, qualité requise de l'eau, localisation de la demande, disponibilité des eaux usées et de terrains dans la même zone, propriétés géotechniques et géohydrologiques de ces terrains.

Des autres facteurs qui favorisent l'idée de réutiliser les eaux usées sont les résultats positifs des expériences de concession de ces installations, qui ont montré les avantages de ces contrats pour l'opération de telles infrastructures à des associations d'usagers particuliers¹⁶. Les résultats d'une étude de marché ont permis d'identifier plusieurs tracés des réseaux pour la réutilisation des eaux usées qui pourraient être construites dans la ville.

¹⁶ Le cas de la réutilisation dans les industries est notable d'après l'opinion de l'expert Luis Guerra. GUERRA (Luis), *Agua y energía en la ciudad de México : perspectivas de año 2000*, México, Fundación Friedrich Ebert, 1989. 95 p.

5.3 Les infrastructures du réseau du service de l'eau du DF

5.3.1 Approvisionnement en eau potable

Actuellement, les infrastructures du service de l'eau du DF se compose de puits (dans et hors la vallée de Mexico), de sources naturelles, d'adductions, de canaux, de réservoirs de régulation, de stations de pompage, des réseaux primaire et secondaire, de stations de potabilisation, de stations de désinfection, d'installations automatisées. Puisque les eaux usées sont considérées aujourd'hui comme un élément utile pour certains besoins du service d'eau, les composantes du sous-système de réutilisation des eaux usées sont aussi considérées comme partie intégrante de ce système global du service de l'eau : stations d'épuration, réseaux de distribution, points pour fournir en eau les camions citernes.

Le tableau 15 montre le nombre des infrastructures qui composent le réseau du service d'eau potable du District fédéral.

Tableau 15. Infrastructures du service d'eau potable du District Fédéral.

Infrastructure	Quantité	Unité d'opération
Puits Lerma	227	Puit
Puits de la Vallée	367	Puit
Sources naturelles	65	Source
Adductions et canaux	758	Kilomètre
Réservoirs de régulation	380	Réservoirs
Stations de pompage	173	Station
Réseau primaire	875	Kilomètre
Réseau secondaire	11.953	Kilomètre
Stations de potabilisation	16	Station
Stations de Chloration	14	Station
Installations automatisées	239	Installation

Source : DDF-DGCOH, *Plan Maestro de Agua potable 1997- 2000*, México, DDF-DGCOH, 1997.

Le tableau 16 présente le nombre d'infrastructures qui forment la partie correspondante aux eaux « renouvelées » utilisées dans le District Fédéral.

Tableau 16. Infrastructure en eaux renouvelées du DF.

Infrastructure	Quantité	Unité d'opération
Réseau de distribution	657	Kilomètre
Stations de traitement	27	Station
Stations de particuliers	44	Station
Stations de camions citerne	30	Station

Source : DDF-DGCOH, *Plan Maestro de Agua potable 1997- 2000*, México, DDF-DGCOH, 1997.

Puits et sources naturelles principales

Actuellement, la profondeur des puits varie entre 50 et 400 mètres selon la situation de l'aquifère. Les volumes d'extraction minimaux sont de 10 l/s et les volumes maximaux de 90 l/s. Les principales sources naturelles se trouvent dans les Delegaciones du Sud-ouest de la ville. Dans la Delegacion Alvaro Obregón, se trouvent les sources naturelles : *San Bartolo Ameyalco, Santa Rosa Xochiac, Santa Fe* ; en Cuajimalapa : *El Ranchito, Chimalapa, Cuajimalpa et Xometitla* ; dans la Delegacion Magdalena Contreras : *El Sauco, Rancho Viejo, Potrero, Las ventanas et Apapaxtla, Ojo de agua et las Palomas* ; dans la Delegacion Tlalpan : *Tulmiac, Potrero chico et la Saucedá, Monte alegre, Viborillas, Fuentes brotantes et Peña pobre*.

Le tableau 17 montre le nombre des puits ainsi que de sources d'eau situés dans chaque Delegación du District fédéral.

Tableau 17. Distribution des puits et sources naturelles dans le District Fédéral

Delegacion	Puits (1996)	Débit		Débit moyen par puit	Sources
		l/s	%		
Alvaro Obregón	16	367	1,85	22,94	3
Azcapotzalco	22	785	3,95	35,68	
Benito Juárez	22	760	3,83	34,55	
Coyoacán	56	2.375	11,95	42,41	
Cuajimalpa de Morelos	2	34	0,17	17,00	4
Cuauhtémoc	4	136	0,68	34,00	
Gustavo A. Madero	0	0	0,00	0,00	
Iztacalco	2	27	0,14	13,50	
Iztapalapa	30	1.287	6,48	42,90	
Magdalena Contreras	2	27	0,14	13,50	5
Miguel Hidalgo	24	738	3,71	30,75	
Milpa Alta	15	642	3,23	42,80	
Tláhuac	5	272	1,37	54,40	
Tlalpan	53	1.693	8,52	31,94	6
Venustiano Carranza	2	69	0,35	34,50	
Xochimilco	60	2.738	13,78	45,63	
Chiconautla	26	1.410	7,10	54,23	
Anciens puits CNA	26	1.731	8,71	66,58	
Lerma	227	4.777	24,04	21,04	
Total	594	19.868	100,0	33,45	18

Source : DDF-DGCOH, *Plan Maestro de Agua potable 1997- 2000*, México, DDF-DGCOH, 1997.

Adductions

Les adductions et canalisations servent à acheminer les réservoirs et bassins de stockage en eau, sans approvisionner les usagers. Les adductions et canalisations sous la responsabilité de Gravamex sont les systèmes Nord et Sud. Dans le premier l'eau est prélevée des lignes de puits *Barrientos*, *Chiconautla* et *El Risco*. Elle est ensuite transportée ensuite aux réservoirs de *Chalmita* par une adduction de 15 km de longueur et 122 cm de diamètre vers le DF. Le système sud compte une seule adduction de 15,6 km, *Nezahualcóyotl*. Ce système prélève l'eau des lignes de puits *Tláhuac-Nezahualcóyotl* qui se localise dans la frontière entre les Delegaciones Xochimilco et Iztapalapa et de la ligne de puits *Mixquic*. Pour transporter l'eau de Cutzamala, (également sous la responsabilité de Gravamex), à l'agglomération de Mexico le système compte avec un total de 211,84 km d'adductions¹⁷.

Les adductions sous la responsabilité de la DGCOH sont le Système Lerma, L'*Acuaférico*, le Système *Chiconautla* et les adductions du sud : *Xochimilco*, *Xotepingo* et *Chalco-Xochimilco*.

Le système Lerma dispose de la plus longue adduction car sa partie nord mesure 54 km et sa partie sud 210,7 km. Ces deux parties convergent dans l'entrée du tunnel *Atarasquillo-Dos Ríos* (de 14,3 km de longueur) qui conduit leurs eaux au point où l'adduction se sépare : *El Venado*. A partir de ce point, ce sont deux adductions qui conduisent l'eau vers les réservoirs du DF. La ramification nord, de 20,675 km, dessert les réservoirs de *Dolores* et *Aero-club*. La ramification sud, qui mesure 12,854 km va jusqu'au réservoir de la colline *Del Judío*.

Un des aqueducs qui contourne la ville du point de réception des eaux du Lerma vers le sud et l'est de la ville –la partie qui manque le plus d'eau– a été dénommé « *Acuaférico* ». Il a été construit pour distribuer l'eau du Système Cutzamala. Il commence à la sortie du tunnel *Analco-San José* et suit un tracé parallèle à la ramification sud du Lerma. Ces deux adductions partagent, si nécessaire, de l'eau par de connexions intermédiaires.

Par ailleurs, l'eau prélevée des puits du Système *Chiconautla* est conduite par gravité et par une adduction de 30,50 km jusqu'aux trois réservoirs *Santa Isabel*, où l'eau est élevée par deux stations de pompage.

Pour conduire l'eau des puits du sud, la ville utilise des adductions *Xochimilco* de 13,9 km, *Xotepingo* de 3,0 km et celui de *Chalco-Xochimilco* de 27,0 km de longueur. L'eau du

¹⁷ Jusqu'au point d'entrée au tunnel Analco-San José.

premier est refoulée par la station de pompage *Xotepingo*. Il y a un sous système qui permet de relier les stations de pompage et les réservoirs entre eux. Le but de ces interconnexions est de mieux distribuer l'eau dans les quartiers de la ville, en prévoyant des dysfonctionnements du réseau ou de possibles réparations nécessaires pour l'entretien.

Le tableau 18 présente le nombre d'interconnexions entre les réservoirs et les stations de pompage du réseau d'eau potable du District fédéral par Delegación.

Tableau 18. Interconnexions de réservoirs et stations de pompage du DF.

Delegación	Interconnexions	
	Km	%
Alvaro Obregón	38,16	8,72
Azcapotzalco	---	
Benito Juárez	8,40	1,92
Coyoacán	---	
Cuajimalpa de Morelos	36,19	8,27
Cuauhtémoc	6,64	1,52
Gustavo A. Madero	22,45	5,13
Iztacalco	---	
Iztapalapa	37,87	8,66
Magdalena Contreras	23,50	5,37
Miguel Hidalgo	26,34	6,02
Milpa Alta	102,88	23,51
Tláhuac	---	
Tlalpan	113,46	25,93
Venustiano Carranza	0,34	0,08
Xochimilco	21,28	4,86
Total	439,51	100,0

Source : Planes Hidráulicos Delegaciones

Réservoirs

L'ensemble des réservoirs de stockage et régulation s'intègre par 380 bassins avec une capacité globale de 1.694.669 m³ dont 360 ont une capacité de moins de 5.000 m³ et seulement 20 disposent au moins de 50.000 m³.

Le tableau 19 présente le nombre, la capacité de stockage et le pourcentage de répartition des réservoirs du District fédéral.

Tableau 19. Réservoir de stockage et régulation du DF.

Delegacion	nombre	Réservoirs capacité m ³	%
Alvaro Obregón	80	319.672	18,86
Azcapotzalco	3	15.474	0,91
Benito Juárez	---	0	0,00
Coyoacán	3	25.000	1,48
Cuajimalpa de Morelos	22	32.779	1,93
Cuauhtémoc	0	0	0,00
Gustavo A. Madero	41	379.694	22,41
Iztacalco	0	0	0,00
Iztapalapa	35	208.950	12,33
Magdalena Contreras	42	87.030	5,14
Miguel Hidalgo	14	290.110	17,12
Milpa Alta	21	16.130	0,95
Tláhuac	6	1.950	0,12
Tlalpan	68	75.380	4,45
Venustiano Carranza	1	50.000	2,95
Xochimilco	39	16.500	0,97
Etat de Mexico	5	176.000	10,39
Total	380	1.694.669	100,0

Source : Planes Hidráulicos Delegaciones

Stations de pompage

Le nombre total de stations de pompage du DF est de 173, la capacité totale de de refoulement est de 40 292 l/s.

Les principales stations de pompage, celles de *Xotepingo Antigua* (« Ancienne ») de 11,5 m³/s et *La Nueva* de 6,0 m³/s, se situent dans la Delegación Coyoacán. La troisième plus grande station se trouve dans le Cerro de la Estrella avec une capacité de 5,0 m³/s. L'ensemble de ces trois stations représente 55,7 % de la capacité totale de pompage installée dans le DF.

Le tableau 20 montre la capacité de ces réservoirs et les capacités de stockage par Delegación.

Tableau 20. Capacité des réservoirs d'eau du District Fédéral.

Delegación	Réservoirs		
	nombre	capacité m ³	%
Alvaro Obregón	20	1 684	4,18
Azcapotzalco	3	460	1,14
Benito Juárez	0	0	0,00
Coyoacán	5	17 603	43,69
Cuajimalpa de Morelos	6	439	1,09
Cuauhtémoc	0	0	0,00
Gustavo A. Madero	27	1 820	4,52
Iztacalco	1	170	0,42
Iztapalapa	25	2 746	6,82
Magdalena Contreras	7	388	0,96
Miguel Hidalgo	4	77	0,19
Milpa Alta	10	1 010	2,51
TLáhuac	9	670	1,66
Tlalpan	29	3 930	9,75
Venustiano Carranza	3	1 380	3,42
Xochimilco	21	975	2,42
Etat de Mexico	3	6 940	17,22
Total	173	40 292	100,0

Source : Base de données de la DGCOH.

5.3.2 Réseau de distribution

Dans le cas du DF, les réseaux de distribution sont classés selon leurs diamètres. Le réseau primaire de distribution se compose des tuyaux égaux à, ou de plus de, 508 mm (20") et ne dessert pas directement les usagers du service. Le réseau secondaire se compose de tuyaux d'un diamètre inférieur et il dessert les usagers du service. Une autre particularité de ces réseaux est que le premier est opéré par la DGCOH et le deuxième par les Delegaciones.

Le tableau 21 montre le nombre de kilomètres et le pourcentage des réseaux primaire et secondaire d'eau potable de chaque Delegación du District fédéral.

Tableau 21. Réseau de distribution d'eau potable du DF.

Delegacion	Réseaux de distribution		Proportion
	Primaire	Secondaire	
Alvaro Obregón	64,6	864,9	12,92
Azcapotzalco	50,1	580,2	11,58
Benito Juárez	44,8	600,4	13,40
Coyoacán	59,4	876,8	14,76
Cuajimalpa de Morelos	19,8	290,5	14,67
Cuauhtémoc	62,5	685,8	10,97
Gustavo A. Madero	134,5	1 692,0	12,58
Iztacalco	21,3	288,0	13,52
Iztapalapa	52,3	726,3	13,89
Magdalena Contreras	6,4	256,0	40,00
Miguel Hidalgo	38,9	524,9	13,49
Milpa Alta	146,5	2 060,9	14,07
Tláhuac	52,5	478,8	9,12
Tlalpan	54,7	796,8	14,57
Venustiano Carranza	32,3	643,5	19,92
Xochimilco	34,5	617,7	17,90
Totaux	875,1	11 953,5	13,66

Source : Base de données de la DGCOH.

Epuration de l'eau potable

La qualité de l'eau n'est pas la même selon qu'il s'agisse des eaux superficielles ou souterraines. Dans le cas du DF, l'eau provenant de la nappe phréatique est généralement de bonne qualité. La plupart des eaux superficielles requièrent un traitement à cause du contact avec l'environnement. A l'exception de certains puits, il suffit d'un traitement par chloration pour assurer la qualité potable de l'eau à la source. C'est le cas notamment le cas des sources naturelles de l'ouest du DF. Les puits et sources naturelles connectées directement au réseau disposent de mécanismes de dosage de chlore dans les points de connexion. Les puits qui concentrent leurs eaux avant de les acheminer dans le réseau de distribution disposent de mécanismes de chloration dans certains points.

A cause de la surexploitation de l'aquifère et de la présence de décharges d'ordures (aujourd'hui fermées), l'eau de certaines zones du DF contient des niveaux élevés de métaux, tels que le fer et le manganèse. Leur élimination est nécessaire pour éviter des colorations suspectes des yeux des usagers¹⁸.

¹⁸ Principalement dans la Delegacion Iztapala les quantités de minéraux, tel que le fer, confèrent une couleur jaunâtre à l'eau.

Par rapport aux eaux superficielles, la source la plus importante est celle provenant du Système Cutzamala qui dispose d'une station de traitement de potabilisation de 24 m³/s de capacité totale. L'autre source superficielle qui requiert un traitement de potabilisation est celle de la rivière Magdalena qui se trouve dans le DF. L'eau de cette source nécessite uniquement un traitement par chlore pour atteindre la qualité potable.

Afin d'assurer la qualité de l'eau dans tout le réseau et d'éviter de problèmes de santé de la population, la DGCOH a établi un programme d'inspection, tant dans les réservoirs que dans les réseaux, pour vérifier la composition chimique du liquide et l'absence de pathogènes. Ainsi, la DGCOH a réalisé, en 1996, 57 931 analyses de la qualité de l'eau. Une autre activité pour vérifier la qualité de l'eau est la quantité de chlore libre contenue dans l'eau. Cette activité s'effectue principalement à l'intérieur des maisons des usagers. Ainsi, plus de 100 000 échantillons ont été prélevés¹⁹ pour la même année.

Les infrastructures automatisées

En vue de mieux contrôler la gestion des éléments du service d'eau du DF, la DGCOH a mis en service plusieurs stations de vérification des paramètres principaux du système hydraulique. Ainsi, ces stations mesurent la pression dans le réseau de distribution, dans les adductions, et au niveau de quelques points importants du maillage de distribution primaire (54 stations), ainsi que les niveaux d'eau dans les réservoirs. Les techniciens responsables de la DGCOH mesurent aussi les débits et les pressions dans les puits d'approvisionnement. Les avantages de cette automatisation sont l'économie en transport pour vérifier le fonctionnement des équipements situés dans des zones difficiles d'accès et de contrôler en même temps plusieurs points du réseau pour y maintenir une pression uniforme.

Le tableau 22 présente les infrastructures du service d'eau potable du DF qui ont été automatisées dans chaque Delegación. Il s'agit parfois de plus d'une installation. L'automatisation s'est effectuée dans des infrastructures tels que les puits, les réservoirs et les stations de pompage.

¹⁹ DDF-DGCOH, Plan Maestro, México, DDF-DGCOH, 1997. Pp 3-40 et 3-41.

Tableau 22. Infrastructures automatisées du service d'eau du DF.

Sous système	Installation		
	Puit	Réservoir	Station pompage
Xochimilco	21	3	4
Milpa Alta	15	6	7
Padierna (Tlalpan)	8	7	4
Azcapotzalco	18	---	---
Vertebra (Tlalpan)	12	10	9
Iztapalapa	1	11	11
Cuautepec (GAM)	---	9	12
Hidalgo (Tlalpan)	8	7	3
Coyoacán	38	---	---
Centro	2	---	---
Centro Universidad	13	---	---
Total	136	53	50

Source : DDF-DGCOH, Plan Maestro 1997-2010, México, DDF-DGCOH, 1997. Page 3-43.

5.3.3 Les eaux « renouvelées »

Depuis 1956, le DF a étudié et exploité l'alternative de la réutilisation des eaux usées pour les usages en eau qui n'ont pas besoin de l'eau potable. Ainsi, le réseau de distribution des eaux usées épurées accumule 657 km. Dans la plupart des cas, ce sont des adductions qui se sont développées autour des stations d'épuration comme *Ciudad Deportiva*, *Coyoacán*, *Aragón*, *Acueducto de Guadalupe* et *Cerro de la Estrella*. Les diamètres de ce réseau varient de 10 à 122 cm. Dans les Delegaciones où il n'y a pas de stations de traitement, le réseau provient d'autres Delegaciones. Les Delegaciones qui disposent de la partie la plus importante de ce réseau sont G. A. Madero et Miguel Hidalgo. Dans les deux cas, l'eau est utilisée pour l'arrosage de jardins et le remplissage des lacs des parcs (*Aragón* et *Chapultepec* respectivement). Dans le cas de la Delegacion G. A. Madero, ce sont les industriels qui réutilisent les eaux usées épurées.

Tableau 23. Réseau de distribution des eaux usées épurées du DF.

Delegación	Réseau (1996)	
	km	%
Alvaro Obregón	13,0	2,0
Azcapotzalco	52,1	7,9
Benito Juárez	22,0	3,3
Coyoacán	31,9	4,9
Cuajimalpa de Morelos	0,0	0,0
Cuauhtémoc	25,6	3,9
Gustavo A. Madero	167,0	25,4
Iztacalco	47,2	7,2
Iztapalapa	67,0	10,2
Magdalena Contreras	0,0	0,0
Miguel Hidalgo	109,0	16,6
Milpa Alta	0,0	0,0
Tláhuac	41,0	6,2
Tlalpan	20,2	3,1
Venustiano Carranza	36,3	5,5
Xochimilco	25,0	3,8
Total	657,3	100,0

Source : DDF-DGCOH, *Plan Maestro de Agua potable 1997- 2000*, México, DDF-DGCOH, 1997.

Conclusions

Ce chapitre nous a permis de nous rendre compte de la complexité du fonctionnement du service technique en réseau de l'eau du District Fédéral.

Plusieurs plans d'action s'entremêlent chaque jour pour son fonctionnement. D'abord, les dispositions pour construire les éléments du réseau technique : réservoirs, réseaux primaire et secondaire. En deuxième lieu, la gestion des équipements d'approvisionnement et de distribution des sources internes et externes à la vallée, et des eaux « renouvelées ».

Les autorités publiques et les techniciens mexicains avaient réussi à surmonter les difficultés de mise en œuvre d'une gestion bien qu'elle soit en déséquilibre par rapport à l'extraction d'eau des nappes phréatiques. La durabilité de ce déséquilibre n'est pas parfaitement appréhendée car on ne connaît pas, pour l'instant, la capacité totale de la nappe phréatique. On connaît la vitesse de l'abaissement du niveau de la nappe phréatique, mais on connaît moins bien la capacité totale de cette nappe ni l'horizon de son épuisement ou de la possible pollution.

Les eaux usées sont considérées aussi comme une ressource en eau pour la ville. Cela ne correspond pas réellement à la politique nationale car la politique d'épuration et de réutilisation des eaux usées a commencé avant que les changements dans les politiques

nationales de traitement des eaux usées. De plus, la politique nationale avait pour objet l'épuration, pour respecter des normes de décharge. Autrement dit, la justification de la Loi nationale est plus de caractère environnemental alors que la politique du DF a toujours été la réutilisation de ces eaux pour substituer l'eau potable. Actuellement, les autorités ont démarré des programmes pour l'injection des eaux usées traitées (ou « renouvelées ») ainsi que des eaux pluviales pour la récupération des niveaux de la nappe phréatique.

Malgré la construction des grandes et complexes infrastructures, que Haggarty qualifie d'« héroïques »²⁰, réalisées par des techniciens nationaux, aucune Delegación n'est pas indépendante pour son approvisionnement en eau potable ni pour leur assainissement. Le système technique est tellement complexe qu'il est très difficile de le séparer du jour au lendemain. Cela serait une tâche de longue durée.

En dépit de tous les efforts des autorités et des responsables techniques, le service fonctionnait avec des difficultés, surtout en ce qui concerne la partie commerciale. Le chapitre suivant nous permet d'analyser le processus de modernisation du service que les autorités ont commencé en 1992 pour permettre la participation des entreprises privées dans la gestion du service.

²⁰ HAGGARTY (Luke), BROOK (Penelope) et ZULUAGA (Ana Maria), *Thirst for Reform? Private sector participation in Providing Mexico city's Water Supply*, Washington, The World Bank, 2001. Working Paper 2654.