

9 CONCLUSIONS

La gestion de l'eau potable des villes de La Paz et d'El Alto est un sujet complexe, dans le sens où elle dépend de nombreuses variables : climatiques, économiques, sociales, démographiques, mais également des aspects relatifs à l'infrastructure utilisée pour produire et distribuer l'eau potable.

Actuellement, il existe de nombreuses incertitudes sur ces variables, notamment la disponibilité en eau des sources et la demande en eau de la population. La projection dans le futur de ces deux aspects est également une inconnue. Pour pouvoir entamer une planification durable de l'eau, il s'avère, donc, nécessaire de résoudre ces incertitudes et ces inconnues.

La capacité de l'apport en eau des bassins sources, l'importance de la contribution des glaciers, la durabilité de l'exploitation des ressources hydriques dans les conditions actuelles et dans celles qui pourraient se présenter dans le futur (soit par l'augmentation de la demande, soit par la diminution de la disponibilité en eau) sont les incertitudes que nous avons essayé de résoudre au cours de cette recherche.

La GIRE est prise comme point de repère théorique permettant d'organiser la planification durable de la gestion de l'eau puisqu'elle apporte un cadre qui intègre tant les aspects économiques, sociaux et techniques que les incertitudes mentionnées aux paragraphes précédents. La GIRE considère le développement des connaissances et la diminution des incertitudes sur l'offre et la demande en eau comme une des premières étapes de cette planification.

Cette thèse aborde cet aspect de la GIRE, une recherche permettant d'approfondir la connaissance de certaines variables considérées comme les variables principales pour la mise en œuvre de la gestion intégrée de l'eau des villes de La Paz et d'El Alto.

Les précipitations, la dynamique hydrologique actuelle et son évolution possible (sur base des changements envisageables dans le régime des précipitations et des températures), l'apport en eau des bassins versants et son évolution ainsi que l'importance de l'apport en eau des glaciers sont les sujets analysés dans cette thèse.

Nous avons, également, traité la demande en eau en étudiant ses deux composantes : la population et sa consommation d'eau ainsi que les pertes dans les processus de production et de distribution de l'eau potable.

Les analyses faites nous ont amenés à établir des limites de variation pour chaque variable, à créer des outils pour la gestion et à formuler des recommandations pour l'application de certains modèles.

Les conclusions générales pour la mise en œuvre de la GIRE ont été obtenues par l'intermédiaire du bilan de l'offre et de la demande en eau comme un outil pour déterminer les temps de la gestion (les dates clés de la gestion) et les exigences futures en eau.

Le bilan de l'offre et de la demande en eau apparaît comme un outil efficace tant pour obtenir des diagnostics des systèmes qui fournissent l'eau aux villes de La Paz et d'El Alto, que pour identifier l'importance relative de chaque variable analysée pour la gestion de l'eau de ces deux villes.

Nous avons conclu que les variables démographiques (évolution de la population et consommation d'eau) sont celles qui détermineront principalement le mode de planification de la gestion selon les valeurs qu'elles pourraient prendre dans le futur. La diminution des pertes est également une tâche indispensable à mener à bien dans le cadre d'une gestion durable de l'eau.

L'apport en eau glaciaire pour les bassins sources, qui est considéré par les autorités boliviennes comme la variable la plus importante et décisive dans la gestion de l'eau vient en deuxième ordre d'importance selon nos analyses. En effet, la diminution potentielle de l'apport en eau glaciaire dans le futur devra être compensée par d'autres sources que les gestionnaires devront trouver ailleurs.

Quant aux variables climatiques, les changements possibles du régime des précipitations et des températures amèneraient aussi des changements dans la quantité et la répartition annuelle de l'écoulement. Selon nos conclusions, elles viennent au troisième ordre d'importance pour la gestion de l'eau en tant que diminution de l'offre des ressources hydriques.

Les conclusions que nous venons de résumer et les analyses réalisées pour les obtenir constituent l'apport de cette thèse pour la mise en œuvre de la gestion de l'eau dans les villes de La Paz et d'El Alto.

La méthodologie que nous avons utilisée constitue en soi un autre apport de la thèse, en tant que référence pour d'autres cas d'étude similaires dans la région.

Le modèle descriptif

La construction d'un modèle descriptif de la gestion de l'eau potable des villes de La Paz et d'El Alto (Figure 2.10), a été la première étape que nous nous sommes fixée pour orienter notre réflexion. Tout au long de cette recherche, nous avons constaté que ce modèle est un outil très utile, puisqu'il nous a permis de mettre en rapport les variables analysées. Le modèle a également facilité la vision holistique de la gestion de l'eau dont nous avons besoin pour élaborer cette recherche : ***Les bases de la GIRE pour l'eau potable des villes de La Paz et El Alto.***

Analyse des variables :

Les précipitations

Les changements des quantités de précipitations dans le futur s'avère être l'une des principales incertitudes des chercheurs dans le domaine des impacts des changements climatiques. En ce qui concerne la zone étudiée, il existe plusieurs analyses qui nous présentent des résultats et des tendances opposés pour les changements dans la moyenne annuelle des précipitations.

Les scénarios qui prédisent une augmentation des quantités de précipitations sont positifs pour la gestion de l'eau. Par contre, des prédictions comme celles de l'IPCC (2007) annoncent une possible diminution de la quantité des précipitations annuelles.

Comme il est difficile de prévoir la tendance climatologique dans le futur, nous avons conclu que, pour la planification de la gestion de l'eau, il serait préférable d'élaborer des plans dans les deux éventualités, en donnant toutefois la priorité au cas des tendances négatives.

Pour nos analyses du bilan de l'offre et de la demande, nous avons donc préparé un scénario qui prévoit tant la diminution que l'augmentation des précipitations d'ici l'année 2026, afin de déterminer les conséquences de ces changements sur la gestion de l'eau potable des villes de La Paz et d'El Alto.

L'application de ce scénario a montré que l'influence relative de cette variable par rapport aux autres telles que les facteurs démographiques ou le retrait des glaciers est faible.

Pour suivre l'impact des changements éventuels dans le régime des précipitations, nous proposons une méthode que nous appelons « la courbe de décharge ». Elle se base sur la détermination du jour de l'année (J) où l'on note une proportion déterminée (S) des précipitations totales annuelles avec comme base de référence 1961-1990. A partir de cette courbe et à l'aide de l'analyse d'anomalies par rapport à la référence, il est possible de déterminer la concentration des précipitations et l'arrivée tardive des précipitations d'une année quelconque à une échelle journalière. Sa formulation est présentée dans le chapitre 3.

Notre méthode nous a permis de conclure qu'il n'existe pas, au niveau historique, une tendance linéaire claire de la concentration des précipitations. Par contre, nous avons détecté une tendance de concentration cyclique, avec une période de l'ordre de 15 à 25 ans (pour des moyennes mobiles de 5 ans) (Figure 3.18), correspondant à une proportion des précipitations de 25 et 30% des précipitations totales annuelles ($S_i[\%] = [25 \text{ et } 30]$).

Cette tendance cyclique est visible depuis les années 50. A partir de cette époque, on voit se succéder des périodes d'environ 8 à 13 ans pendant lesquels on constate un retard des précipitations ainsi qu'une concentration de celles-ci, et des périodes équivalentes de dispersions et d'arrivée précoce des précipitations.

Les proportions de $S_i[\%]=[25 \text{ et } 30]$ correspondent aux jours (J) du mois de décembre (10 et 20 respectivement). Ce mois est important pour les précipitations dans notre zone d'étude puisqu'il correspond à l'époque de l'année où débute la période des fortes précipitations (décembre-janvier, Figure 3.7 et Figure 3.8).

Actuellement, nous nous trouvons dans la partie du cycle où la tendance est aux concentrations et aux retards des précipitations depuis l'année 1995. Ceci va dans le sens d'une partie des conclusions du PNCC. Cependant, il est trop tôt pour annoncer une tendance attribuable aux changements climatiques, car il peut s'agir de tendances cycliques.

La méthode de la courbe de décharge sert également à l'analyse des années particulières comme celles des « Niños » 1982-1983 et 1998 (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**) ou encore 2005, année importante pour la gestion, car il a été possible d'analyser la situation lorsque les barrages de La Paz et d'El Alto étaient presque vides.

Nous avons dès lors proposé une expression pour déterminer la quantité des précipitations totales de l'année quand nous disposons des valeurs des précipitations cumulées correspondant aux jours J_{min} et J_{max} (Figure 3.22 et Figure 3.23) où l'on attend à n'importe quelle proportion (S) des précipitations (Equation 8, Chapitre 3). Cette méthode a une précision d'environ 5 à 10%.

Ce pronostic, couplé aux estimations des précipitations nécessaires pour couvrir la demande en eau de la population (Tableau 3.5), est un instrument utile pour la gestion des ressources hydriques de La Paz et El Alto. La méthode permettrait d'estimer les quantités de précipitations pour l'année, et il serait ainsi possible de planifier la gestion de l'eau et la gestion des barrages dans les bassins sources.

Nous présentons la méthode de la « courbe de décharge », ses concepts et ses applications pour l'analyse des années particulières et importantes pour la gestion de l'eau et pour la prédiction des précipitations totales annuelles comme une conclusion en soi et un outil qui sert à l'application de la GIRE dans le cas de l'eau potable des villes de La Paz et El Alto.

Bassin versant

Nous avons cherché une méthodologie pour caractériser la réponse hydrologique du bassin versant aux précipitations (l'écoulement) qui devrait prendre en compte la limitation des disponibilités des données d'EPSAS dans la zone d'étude (niveaux des barrages et enregistrement des précipitations quotidiennes).

En premier lieu, nous avons constaté que le rapport entre les précipitations et l'écoulement n'était pas linéaire (Figure 4.4). Ce dernier dépend en effet d'autres facteurs inhérents au fonctionnement du bassin versant comme l'évapotranspiration et/ou le stockage temporaire de l'eau dans le sol.

Nous avons aussi remarqué que le rapport direct E/P appelé coefficient d'écoulement (**Cesc**), tout en étant un paramètre de type linéaire, représente un outil pour les estimations approximatives de l'écoulement.

Notre proposition pour caractériser la réponse hydrologique du bassin versant est un modèle de bilan hydrologique qui a comme variables d'entrée les précipitations (**P**) et la température (**T**) et qui donne comme résultat l'écoulement (**E**). Nous avons inclus une étape de calcul dans le modèle qui consiste en un "forçage" des précipitations pour trouver une valeur **fo**, représentant l'apport d'un élément de régulation (comme les glaciers ou les barrages) en amont du point de contrôle.

Par ailleurs, nous suggérons une manière d'interpréter les résultats en prenant également en compte « l'architecture du bassin versant » ce qui nous conduit à déterminer l'influence de l'apport glaciaire ou des barrages dans l'apport du bassin versant.

Cette manière d'interpréter les résultats a été validée par la comparaison des résultats du modèle de bilan hydrique avec les valeurs de bilan de masse des glaciers de Chacaltaya, Tuni et Zongo, et aussi par les débits du barrage Ajuankhota (Figure 4.8 à Figure 4.11).

Le bassin d'Incachaca, qui ne présente pas de glaciers ou de barrages importants à l'amont du point de contrôle, a été un autre élément essentiel pour tester l'interprétation des résultats du modèle de bilan.

Comme résultat, nous avons trouvé une influence de 8 à 11% de l'apport glaciaire pour le bassin versant de Tuni, et de 11% pour Milluni. L'influence du barrage d'Ajuankhota, en amont du barrage de Hampaturi où se situe notre point de contrôle, a été estimée entre 15 à 22%.

Les incertitudes ont été évaluées entre 2 et 5% pour les 5 bassins sources auxquels nous avons appliqué cette méthode.

Le modèle proposé sert aussi à simuler des situations futures telles que des changements de valeurs des paramètres climatiques comme la température et les précipitations. Nous avons simulé des variations de la température et des précipitations dans plusieurs scénarios et trouvé qu'une diminution des précipitations de 1% est équivalente à une augmentation de la température de 2.5°C en ce qui concerne la diminution de l'écoulement.

Nous proposons dès lors un modèle pouvant servir d'outil de gestion de l'eau adapté aux conditions de nos bassins qui puisse servir à :

- simuler la dynamique et la réponse hydrologique du bassin versant ;
- simuler divers scénarios de variation de l'écoulement en fonction de la variation des paramètres climatiques (P et T) ;
- déterminer l'influence de l'apport des éléments de régulation comme les glaciers et les barrages en amont du point de contrôle ;
- proposer des concepts pour l'aménagement de « l'architecture » du bassin versant.

Les résultats obtenus sur la valeur de l'influence de l'apport glaciaire à Tuni et Milluni et sur celle du barrage d'Hampaturi sont des conclusions que nous présentons, ainsi que les résultats sur la modélisation de la variation possible de l'écoulement et sur l'équivalence des scénarios d'augmentation de la température et de la diminution des précipitations.

Glaciers

Nous présentons l'utilisation d'un modèle qui sert à simuler la dynamique glaciaire et qui a été calibré et appliqué sur les glaciers de nos bassins sources.

Grâce à l'étalonnage du modèle, nous sommes arrivés à reconstruire le processus de recul du glacier de Chacaltaya. L'influence de l'orientation locale des versants sur ce processus a été soulignée. Nous avons également remarqué que la prise en compte du glissement basal est négligeable pour la modélisation des glaciers étudiés.

A travers l'application de ce modèle, il a été possible d'estimer la diminution potentielle de l'apport en eau provenant des glaciers sur base de l'hypothèse d'un comportement homogène des glaciers et en fixant pour nos analyses une ELA (Equilibrium Line Altitude) moyenne de 5300 m (± 100 m). De cette façon, à l'horizon 2026, nous avons estimé que la diminution de l'apport en eau glaciaire sera de près de 50% ($\pm 12\%$) de son apport actuel aux bassins sources des villes de La Paz et d'El Alto.

Afin d'estimer le stock glaciaire des bassins sources, nous avons utilisé 3 méthodes :

- 1) la modélisation Farinotti (2009) ;
- 2) l'interpolation des valeurs de « Driving stress » calculées à partir des mesures directes des épaisseurs de glace sur le terrain et des pentes de la surface glaciaire ;
- 3) l'estimation du volume glaciaire à partir des expressions surface/volume ($V=f(S)$), parmi lesquelles nous avons proposé une équation formulée à partir de la reconstruction du recul du glacier Chacaltaya.

Ces trois méthodes procurent des résultats relativement proches. Chacune présente des avantages et des inconvénients dans leur application aux glaciers (ceux-ci ont été évalués au chapitre 5).

Les réserves en eau calculées pour chaque glacier oscillent entre $4 \times 10^5 \text{ m}^3$ et $33 \times 10^6 \text{ m}^3$. Les plus grandes réserves se trouvent dans les bassins sources d'El Alto.

Nous estimons que ce système contient une réserve en eau glaciaire d'environ $136 \times 10^6 \text{ m}^3$ ($\pm 20 \times 10^6 \text{ m}^3$), ce qui équivaut à la consommation annuelle actuelle d'eau d'El Alto de 3 à 5 ans, ce qui n'est pas négligeable. Dans le cas d'Achachicala nous estimons une réserve encore importante d'environ $26 \times 10^6 \text{ m}^3$ ($\pm 11 \times 10^6 \text{ m}^3$). (1.5 an de consommation d'eau pour le système). Quant au système Pampahasi, son stock glaciaire est faible ($\sim 1 \times 10^6 \text{ m}^3$) par rapport à la consommation annuelle d'eau de la population desservie.

Les résultats et conclusions des chapitres 4 et 5 montrent que dans le bilan hydrologique global, l'influence glaciaire n'est pas forcément déterminante et, qu'en outre, elle tendra à diminuer dans le temps. Toutefois à cause de la disparition progressive des glaciers, nous devons trouver une source équivalente pour compenser la diminution dans l'apport du bassin versant. Nous remarquons que pour El Alto cette influence glaciaire traduite en volume d'eau représente $2.5 \times 10^6 \text{ m}^3$ à $3.5 \times 10^6 \text{ m}^3$ par an.

Les résultats obtenus constituent la première référence de l'influence glaciaire dans la gestion de l'eau en Bolivie. Les estimations faites représentent également une référence utile pour la planification de l'eau à court et à moyen terme. Cependant, l'utilisation de ces valeurs devra être prudente et il faudra tenir compte de la marge d'erreur sur les résultats obtenus.

Capacité de mobilisation de l'eau

Nous avons pu vérifier qu'il existe des pertes non négligeables dans tout le processus de production et de distribution de l'eau potable (Tableau 6.8). Les systèmes qui présentent les pertes les plus importantes sont Achachicala et El Alto.

Nous avons déterminé que pour qu'un litre d'eau arrive aux robinets des réseaux, il faut, actuellement, prélever des bassins versants :

du système El Alto	1.48 l
du système Achachicala	1.53 l
du système Pampahasi	1.34 l.

Dans l'acheminement de l'eau des barrages jusqu'aux usines de traitement, les pertes les plus importantes proviennent des canaux (17.5% à Milluni et 12% à Incachaca) alors que les conduites ne provoquent que des pertes minimales.

Au niveau des usines de traitement de l'eau, les pertes ont été réduites (< 1.5%) grâce au processus de recyclage qu'EPSAS a implanté à El Alto et Pampahasi. Par contre, les pertes sont plus élevées à Achachicala (9%) à cause du type de traitement nécessaire.

Les pertes les plus importantes au niveau de l'ensemble du processus de production et de distribution de l'eau potable sont observées dans les réseaux El Alto (44.03 %), Pampahasi, (25.11 %) et Achachicala (19.59 %). On pourrait penser que l'ampleur de ces pertes est due au vieillissement des canalisations du réseau. Mais, ce n'est pas le cas, puisque les pertes les plus faibles sont observées dans le système Achachicala où les conduites sont les plus anciennes.

Selon EPSAS ces pertes sont dues, d'une part, aux connexions clandestines et, d'autre part, aux fortes variations de pression à l'intérieur des conduites entre le jour et la nuit.

La quantité des pertes dues aux connexions clandestines correspond à des consommations de la population qui ne sont pas prises en compte dans le bilan des besoins en eau. Celles-ci devraient être quantifiées pour planifier plus précisément les besoins.

Les pertes dues à la variation de pression ou au vieillissement des réseaux devraient justifier des investissements de renouvellement des conduites ou d'installation de dispositifs de réduction de pression pour le consommateur.

Nous estimons que ce problème est prioritaire pour la planification de la distribution de l'eau. Puisque le but consiste à exploiter l'eau de manière durable, des pertes de cette ampleur ne sont pas acceptables et justifient des mesures de rénovation même si elles peuvent déranger la population.

Nous considérons que la conclusion à laquelle nous sommes arrivés suite à l'analyse de la capacité technique de mobilisation de l'eau est fondamentale pour déterminer les bases de la gestion. Nous connaissons ainsi l'état d'origine de nos systèmes et les failles susceptibles d'être éliminées. Diminuer les pertes, même si elles sont considérables, est une tâche réalisable qui peut aider à optimiser les services et la gestion de l'eau.

En ce qui concerne les barrages et les besoins de régulation, nous proposons un critère de gestion des barrages, basé sur le temps de stockage de l'eau à l'intérieur du barrage (**Tres**) et le temps de stockage indispensable pour couvrir la demande en eau de la population (**Tbes**). La différence entre les deux temps est le temps nécessaire de régulation du stock d'eau du barrage, selon les critères présentés au chapitre 6.

Ce critère permettra aux responsables des barrages de prendre les décisions adéquates lorsque l'apport prévu du bassin versant est minimal en fonction des prévisions de précipitations et du stock d'eau présent dans le barrage. Les prévisions de précipitations et d'apport en eau du bassin pourraient être faites avec la méthodologie de pronostic que nous proposons.

Le technicien aura comme information les prévisions de l'apport du bassin versant et le temps nécessaire pour réguler l'eau du barrage. Il pourra donc prendre les décisions appropriées alors qu'actuellement, la gestion des barrages faite par EPSAS, est basée uniquement sur l'expérience du technicien.

Demande : Population et Consommation Journalière en Eau (CJE)

La variation de la population dans les trois systèmes est hétérogène. Tandis que celle d'El Alto peut être considérée comme importante (+ 4% par an), Achachicala présente une décroissance de sa population comme nous l'avons exposé au chapitre 7.

L'estimation de la population et de sa variation est une des incertitudes majeures que nous avons relevée dans notre recherche. Les données démographiques les plus récentes datent de 2001 et la dynamique de la population n'est pas facilement prévisible, principalement dans une ville aussi active qu'El Alto. D'une part, elle est le lieu d'une migration rurale importante et, d'autre part, elle se développe et se transforme progressivement comme une ville avec des exigences précises au niveau des services.

Malgré que, nous considérons un taux de croissance de population qui va en diminuant jusqu'en 2026, la population d'El Alto sera équivalente à 5 fois celle du système Pampahasi et à 10 fois la population desservie par le système Achachicala.

Nous avons également calculé les valeurs de la consommation journalière en eau (CJE) de la population des villes de La Paz et d'El Alto et avons constaté que la CJE est aussi hétérogène que la population.

Tandis que dans le système Achachicala, la CJE est près de 213 l/hab-jour, à El Alto nous avons constaté une consommation beaucoup plus faible de l'ordre de 50 l/hab-jour. Dans le premier cas, la consommation peut être comparée à celle d'un pays européen comme l'Allemagne. Par contre, dans le second cas, elle est équivalente à la consommation d'un pays africain comme le Niger. Notre zone d'étude présente, donc, une hétérogénéité marquée au niveau de la consommation d'eau et nous avons également remarqué, que cette hétérogénéité est présente au sein d'une même agglomération urbaine.

Nous nous sommes également interrogés sur la croissance possible de la CJE parce que, comme nous l'avons constaté, la CJE d'El Alto est très faible. Or, si nous considérons que la ville d'El Alto est en train de se transformer en une ville qui a des besoins importants au niveau des services (l'eau incluse) parce que la qualité de vie s'y améliore, nous pourrions avoir un scénario de double croissance (population et CJE). Dans ce cas, la consommation d'eau augmentera d'une façon considérable.

La consommation totale en eau du réseau dépend de la croissance démographique, de la CJE et de la couverture du service d'eau potable. Le troisième aspect est lié à la planification d'EPSAS, mais les deux premiers sont sources d'incertitudes car proviennent d'estimations.

A cause de ces incertitudes, nous avons estimé la consommation d'eau d'une façon conservatrice : la croissance de la population a été calculée avec un taux atténué dans le temps et nous avons maintenu la CJE constante jusqu'en 2026. Ce contexte a constitué une première approche pour envisager la situation actuelle et un possible scénario de la gestion jusqu'en 2026.

A partir de l'estimation de la consommation du réseau et des pertes du système, nous avons aussi calculé la demande à chaque étape du processus de distribution de l'eau potable. Les résultats qui correspondent à la demande au niveau des sources et de l'usine de traitement servent à déterminer le bilan de l'offre et de la demande.

Un aspect à souligner est l'incertitude de l'estimation de la demande du fait des différents scénarios possibles qui peuvent influencer l'évolution de la consommation d'eau et de la croissance démographique. Cet aspect s'est reflété dans les marges où les besoins de prélèvement d'eau des sources peuvent se trouver pour l'année 2026 (Figure 7.10 à Figure 7.12). On remarque alors une incertitude qui est aussi importante pour la planification de la gestion de l'eau.

Bilan de l'offre et de la demande

Le bilan de l'offre et de la demande est la mise en rapport de l'ensemble des variables étudiées afin de déterminer leur importance relative dans le contexte de la gestion de l'eau potable des villes de La Paz et d'El Alto.

Nous avons évalué les variables de la gestion de l'eau pour les cas de La Paz et d'El Alto par rapport à une situation de base qui représente l'évolution du bilan de l'offre et de la demande de 2008 à 2026 et qui suit les tendances actuelles identifiées.

Nous les présentons ci-dessous selon leur ordre d'importance:

- Diminution des pertes
- Augmentation de la consommation journalière en eau (CJE)
- Croissance démographique
- Recul des glaciers
- Diminution des précipitations

Nous avons estimé que la diminution des pertes est un point prioritaire pour la gestion de l'eau. En effet, si on arrive à réduire les pertes de 50%, on pourrait faire face à la diminution de l'apport des glaciers (Figure 8.2) avec les ressources dont on dispose dans les bassins ou on pourrait affronter l'augmentation de 50% de la CJE d'El Alto (Figure 7.9). Il est donc primordial de diminuer ces pertes dans l'optique d'une gestion durable de l'eau.

L'augmentation de la CJE et la croissance de la population représentent des paramètres extrêmement négatifs pour la planification de la gestion de l'eau. Mais, nous sommes tenus de les prendre en compte car la probabilité que ces événements se produisent est loin d'être nulle.

Dans la situation actuelle, vu l'accroissement de la population, la demande en eau est devenue équivalente à l'offre des ressources pour El Alto. Quant à la CJE d'El Alto, celle-ci reste faible pour le moment, ce qui permet de maintenir l'équilibre entre l'offre et la demande. Cet équilibre est néanmoins fort instable et nous avons dès lors décidé de considérer la croissance démographique et l'augmentation de la CJE comme une deuxième priorité dans la gestion de l'eau.

En ce qui concerne les réserves glaciaires, celles-ci sont encore actuellement importantes et leur apport dans la production de l'eau est considérable. Mais, nous devons nous attendre à une diminution d'environ 50% de ces réserves d'ici 2026. Cette diminution sera progressive et devrait donc laisser le temps de prendre des mesures d'adaptation.

Quant à la diminution des précipitations suite aux changements climatiques, celle-ci est probable mais pas certaine. Actuellement, on constate plutôt une variabilité interannuelle (succession d'années sèches et humides).

A partir des conclusions du bilan de l'offre et de la demande et des conclusions de l'analyse de chaque variable, nous élaborons un diagnostic par système d'eau potable avec quelques alternatives et observations :

Système El Alto

Le Système d'El Alto est déjà vulnérable à cause de la croissance de la population. L'offre des ressources en eau du bassin est sur le point d'être dépassée par la demande de la population. Cette situation est atténuée par une CJE faible. Tant la croissance de la population que l'augmentation probable de la CJE constituent des menaces qui peuvent conduire à une situation de pénurie d'eau.

L'apport glaciaire est appréciable (entre 8 et 11%) et son stock en glace aussi (il est équivalente à près de 3 à 5 ans de la consommation en eau). On s'attend, pour 2026, à une diminution de 50% de cet apport due au recul des glaciers, mais ce processus sera progressif et il y a, donc, une marge de manœuvre qui permettrait de compenser cette baisse. Nous considérons que la réduction des pertes du réseau est une bonne alternative.

L'estimation du bilan entre l'offre et la demande ne donnera que des valeurs négatives (demande > offre) à partir de 2012. L'usine de traitement de l'eau sera également surpassée dans sa capacité de production d'eau potable dès 2010.

Les pertes du réseau sont appréciables (près de 50%). Il faut que la réduction des pertes soit un objectif prioritaire puisque cette mesure peut compenser l'effet du recul des glaciers ou l'augmentation probable de la CJE.

Les nouvelles sources probables d'eau superficielle sont conditionnées à un processus de négociation entre EPSAS et les habitants du bassin versant. Il faudrait chercher des médiateurs à un haut niveau de décision comme le gouvernement central pour résoudre les conflits et rendre possible l'utilisation de l'eau en fonction d'objectifs stratégiques de développement de la région et du pays.

Les ressources potentielles d'eau souterraine sont jusqu'à présent inconnues. Il serait souhaitable de les repérer à court terme. Les résultats préliminaires des recherches ébauchées devraient être connus afin de procéder à une évaluation exploratoire des possibilités d'exploitation. Ces nouvelles ressources permettraient de résoudre le problème de déséquilibre entre l'offre et la demande.

Un apport des sources existantes et qui servent aux autres systèmes serait souhaitable. La Figure 8.4 décrit la proposition de nouvelles infrastructures que nous considérons comme importantes à concrétiser et qui prennent aussi en compte la planification d'EPSAS.

Dans cette région, l'eau et le service environnemental du bassin versant représentent une valeur précieuse puisque les ressources qui seront disponibles au delà des usages actuels sont peu abondantes.

Système Achachicala

Achachicala est un système qui présente une tendance de diminution de la demande en eau. Cette situation est due à une concurrence d'espace entre l'administration publique et la population de la zone desservie par ce système.

Les pertes sur le canal d'adduction et lors du traitement de l'eau sont les principaux problèmes de ce système. Les pertes sur le canal pourraient être limitées sans difficulté. Par contre, au niveau du traitement de l'eau la réduction des pertes n'est pas évidente et devrait être étudiée en détail.

L'influence combinée des glaciers et du barrage Jankho Khota apporte du bassin versant environ 11%.

Système Pampahasi

Pampahasi est un système où il existe une abondance d'eau, surtout dans le bassin de Hampaturi qui est capable de couvrir, à lui seul, la demande en eau du système. Il existe deux menaces pour le dépassement de l'offre par la demande à partir de l'année 2026 : Si le taux de croissance de la population se maintient et si sa CJE augmente vers une valeur de 180 l/hab-jour.

Il faut noter l'influence importante du barrage Ajuankhota sur l'apport du bassin.

Notre contribution rassemble les bases de connaissances et d'informations indispensables pour prendre les décisions afin de définir les stratégies indispensables pour la gestion de la ressource.

Bases de la GIRE

Les données présentées au bilan de l'offre et de la demande, les analyses des variables intervenant dans la gestion de l'eau, les conclusions et les diagnostics des systèmes sont les bases que nous apportons à la GIRE et plus précisément, les bases pour mettre en route la gestion de l'eau potable des villes de La Paz et El Alto dans les cadres suivants:

- Évaluation des ressources hydriques*
- Création et suggestions d'instruments de gestion*
- Plans pour la GIRE*
 - Planification stratégique globale*
 - Plan d'infrastructure nécessaire*
 - Planification de temps*
- Gestion de la demande*
- Résolution des conflits*

Les incertitudes analysées pour chaque variable, les diagnostics effectués, les conclusions et la mise en rapport ces aspects dans le contexte holistique de la gestion sont les bases dont nous avons besoin pour mettre en route la Gestion de l'eau potable des villes de La Paz et d'El Alto.

Grâce à ces connaissances, nous soutenons la gouvernance de l'eau, l'un des objectifs principaux de la GIRE. Notre apport a consisté à fournir les bases pour que la GIRE soit mise en œuvre dans les villes de La Paz et d'El Alto.

Perspectives

L'analyse des variables, des processus et des aspects liés à la gestion de l'eau a été une tâche qui a exigé des approfondissements de concepts sur les thématiques particulières de chacune d'entre elles, qui parfois sont complètement différentes, mais qui jouent un rôle dans le contexte de la gestion. Nous avons également dû appliquer des outils tels que la modélisation pour obtenir des résultats qui puissent servir de références ou de points de repère à la gestion de l'eau.

Ce travail a impliqué une recherche de type « appliqué », c'est-à-dire une recherche dans le cadre d'une problématique à résoudre. Nous considérons que ce type d'étude est nécessaire dans un pays comme la Bolivie où l'on doit résoudre des problèmes de développement. Dans le cas particulier de cette thèse, nous avons appliqué cette idée pour la détermination de bases pour la planification de l'eau qui est un élément fondamental pour le développement.

Selon Turton (2007), la gouvernance de l'eau est le produit d'un dialogue entre le gouvernement, la société et la science. Dans le cas de cette recherche « nous avons voulu jouer un peu le rôle de la science » en essayant toutefois de prendre en compte les deux autres perspectives.

Pour passer de la théorie à la pratique, nous avons besoin de ce dialogue. Toutes les analyses présentées dans cette thèse constituent notre apport.