

Analyse systémique de la gestion de l'eau par l'application d'un système d'information du système: le cas de Belo Horizonte, Brésil

Brandenberg Philippe, Science et Ingénierie de l'Environnement

Projet de Master – Semestre de printemps 2008

Laboratoire d'écohydrologie

Encadré par

Schenk Colin, EPFL-ENAC-ISTE-ECHO

Roquier Bastien, EPFL-ENAC-ISTE-ECHO

Responsable de la branche

Dr Soutter Marc, EPFL-ENAC-ISTE-ECHO

Lausanne, année 2007-2008



Table des matières

1	Avant-propos	7
2	Remerciements.....	8
3	Introduction.....	9
3.1	Objectifs et étapes du projet	9
3.2	Contexte du projet.....	9
3.3	Cadre théorique	10
3.3.1	La Gestion Intégrée de la Ressource en Eau (GIRE).....	10
3.3.2	La GIRE dans le cadre de ce projet.....	14
3.3.3	La vision holistique	14
3.3.4	Approche systémique	15
3.4	Approche pratique.....	15
3.4.1	Le modèle de gestion de l'eau (WMSM).....	15
3.4.2	Système d'information du système SISE.....	16
4	La gestion de l'eau : du Brésil à la ville de Belo Horizonte	18
4.1	Vue d'ensemble	18
4.1.1	Disponibilité de l'eau au Brésil.....	18
4.1.2	Politique de gestion de l'eau brésilienne	19
4.2	La politique fédérale.....	21
4.3	La politique étatique.....	22
4.4	Politique de la ville de Belo Horizonte.....	23
4.5	Politique de gestion par bassin versant	27
4.6	Conclusion sur la gestion de l'eau	29
5	Mise en place du système d'information du système eau (SISE-BH).....	30
5.1	Démarche	30
5.2	Adaptation du modèle WMSM	30
5.2.1	Modifications et justifications	31
5.2.2	Difficultés rencontrées	31
5.3	Mise en place des entités et des relations	32
5.4	Récolte et implémentation des données	33
5.4.1	Récolte de données.....	33
5.4.2	Mise en place des données	35
5.4.3	Difficultés rencontrées	36
5.5	Conclusion sur l'implémentation du SISE-BH	36

6	Application du système d'information du système eau	38
6.1	Les flux.....	38
6.1.1	Les flux d'eau	38
6.1.2	Les flux monétaires.....	39
6.2	Les problématiques.....	40
6.2.1	Les inondations	41
6.2.2	L'érosion	43
6.2.3	La gestion des eaux usées	44
6.2.4	La gestion des déchets.....	45
6.3	Validation des résultats	47
6.4	Piste de solutions	47
7	Enseignements et conclusion	50
8	Sources.....	51
9	Annexes.....	53

Liste des figures

Figure 1 : Modèle relationnel ; Source : Schenk et al., 2008a	16
Figure 2 : Production annuelle d'eau douce ; Source : Agência Nacional De Águas, http://www.ana.gov.br	19
Figure 3 : Organisation de la gestion de l'eau	20
Figure 4 : Organisation de la gestion de l'eau au niveau du Brésil.....	21
Figure 5 : Organisation de la gestion de l'eau au niveau de l'état du Minas Gerais	22
Figure 6 : Carte de situation géographique de Belo Horizonte.....	24
Figure 7 : Politique municipale de gestion de l'eau pour la ville de Belo Horizonte	25
Figure 8 : Relation entre la municipalité de Belo Horizonte et COPASA ; Source : Smith et al., 2008.....	26
Figure 9 : Bassin versant possédant une politique de gestion de l'eau ; Source : Agência Nacional De Águas, http://www.ana.gov.br	27
Figure 10 : Division en bassin versant de la ville de Belo Horizonte ; Source : Nascimento et al., 2007a	28
Figure 11 : Organisation de la gestion de l'eau par bassin versant	28
Figure 12 : Démarche de mise en place du SISE-BH	30
Figure 13 : Représentation des entités et des relations dans SISE-BH	33
Figure 14 : Démarche d'implémentation des données numériques dans le SISE-BH.....	35
Figure 15 : Les flux d'eau représentés par SISE-BH ; (plus grand en A3 en annexe 5).....	39
Figure 16 : Les flux monétaires représentés par SISE-BH ; (plus grand en A3 en annexe 5).....	40
Figure 17 : Une inondation du Ribeiro Arrudas en ville de Belo Horizonte ; Source : Nascimento et al., 2007a ...	42
Figure 18 : Problématique des inondations pour la ville de Belo Horizonte représentée par SISE-BH ; (plus grand en A3 en annexe 5)	43
Figure 19 : Erosion en milieu urbain à proximité du bassin de rétention de Santa Lucia (avant sa construction) ; Source : Nilo de O. Nascimento, 2006 : Présentation de la perception et mémoire du risque hydrologique.....	44
Figure 20 : La problématique de la gestion des eaux usées représentée par SISE-BH ; (plus grand en A3 en annexe 5)	45
Figure 21 : Déchets piégés dans le réseau de drainage de la ville de Belo Horizonte ; Source : Nascimento et al., 2007a	46
Figure 22 : La problématique de la gestion des déchets représentés par SISE-BH ; (plus grand en A3 en annexe 5)	47

Liste des tableaux

Tableau 1 : Etapes méthodologiques du projet	9
Tableau 2 : Différents thèmes du projet SWITCH ; Source : SWITCH, Executive summary.....	10
Tableau 3 : Thèmes SWITCH actifs pour la ville de Belo Horizonte.....	24

Liste des abréviations

EPFL :	Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne
GIRE :	Gestion Intégrée des Ressources en Eau
SWITCH :	Sustainable Water Management Improves Tomorrow's Cities Health
WMSM :	Water Management System Model
CWIS :	Combined Water Information System
SISE :	Système d'Information du Système Eau
ISWS :	Information System on the Water System
SISE-BH :	Système d'Information du Système Eau pour la ville de Belo Horizonte
LA :	Learning Alliance
SIG :	Système d'Information Géographique
STEP :	Station d'Épuration des Eaux

Liste des annexes

Annexe 9.1 : Description de l'utilisation du SISE-BH.....	53
Annexe 9.2 : Démarche de recherche de représentation visuelle de l'information.....	57
Annexe 9.3 : Liste des sources utilisées pour la récolte des données.....	58
Annexe 9.4 : Diagramme des processus.....	59
Annexe 9.5 : Vues thématiques en A3 représentées par SISE-BH.....	60

Résumé

A l'heure où l'eau devient le thème central des préoccupations mondiales, sa gestion durable devient inévitable. Afin d'arriver à cette gestion, une approche holistique, prenant en compte tous les aspects liés à l'eau, est une solution. Dans les villes des pays du Sud, cette préoccupation est encore plus forte, car c'est dans ces zones-là que les problèmes sont les plus importants. Sur la base du principe de gestion intégrée des eaux, des développements d'outils de gestion de la ressource en eau ont été mis à jour afin de développer une gestion durable.

Le Système d'Information du Système Eau (SISE), développé par l'équipe du Dr Marc Soutter dans le cadre du projet européen SWITCH, est un outil qui permet d'afficher l'organisation et les données (numériques et textuelles) du système lié à l'eau pour une ville. Sur la base de l'analyse de la gestion de l'eau dans un contexte brésilien, plus précisément de la ville de Belo Horizonte, l'implémentation de ce système (appelé SISE-BH) a été réalisée.

En prenant comme point de départ le diagramme de base, des vues thématiques des flux et des problématiques liées à l'eau ont été créées. Les résultats de la visualisation de ces vues thématiques permettent d'avoir une vision globale de la situation et d'appréhender les diverses problématiques. Dans l'avenir, ce genre d'outil pourrait devenir un complément au système d'information géographique (SIG), fortement utilisé lors de la gestion de l'eau.

Mots-clés : gestion intégrée de la ressource en eau, vue holistique, approche systémique, système d'information du système

Abstract

Nowadays when water becomes the central issue of the global preoccupations its management will be inessential. An integral approach considering all aspects related to the management of water could be a successful method to attain this target. In countries round the south region this preoccupation is even stronger because of significant problems in this regard. Due to the principle of the integrated water management, tools have been advanced to achieve a sustainable water management.

The Information System of the Water System (ISWS), developed by Dr Marc Soutter's team within the European project SWITCH, allows illustrating the organisation and the data (text information and numeric values) of the water system of a particular city. The implementation of the information system of the water system to the city of Belo Horizonte (ISWS-BH) has been accomplished by an analysis of the water management in the city.

Thematic views of water-flux and water management issues have been based on the initial diagram. The results of its visualisation allow a global vision of the current situation and help to better understand it. This kind of tools could be an important addition of a geographic information system (GIS) in the future used for water management tasks.

Keywords: Integrated water management, holistic view, systemic approach, information system of the system.

1 Avant-propos

A l'heure actuelle, alors que la population mondiale ne cesse d'augmenter, la demande en eau subit une croissance vertigineuse. La gestion de l'eau s'annonce comme un thème de plus en plus problématique dans les années à venir. L'eau restera au centre des politiques de développement du XXI^e siècle et elle est souvent appelée le « pétrole du 21^{ème} siècle ». Son caractère central pour la survie humaine et l'absence radicale de substituts en font un enjeu social et politique majeur.

Durant longtemps en Amérique du Sud, lorsque les populations étaient moins importantes, la gestion de l'eau ne posait guère de problèmes : l'eau était abondante. Mais avec le développement économique et démographique, les besoins en eau ont augmenté. S'ajoutant aux besoins de base, de nouveaux secteurs consommateurs d'eau se sont développés. Ainsi, le volume disponible annuel par habitant chute et des conflits entre les différents utilisateurs de la ressource font rage.

Afin de pouvoir gérer cette crise, la gestion de l'eau par des méthodes fragmentées et peu systématiques doit être revue pour une appréhension de la gestion dans sa globalité. C'est très probablement la seule possibilité de répartir entre les usagers et les écosystèmes les ressources en eau qui s'épuisent, de manière à éviter les conflits et les détériorations de l'environnement (Roger Hamilton, Gestion de l'eau : nouveaux courants de pensée - le statu quo s'érode).

Le Brésil est la première puissance d'Amérique latine et de l'hémisphère sud. Il est considéré comme une des puissances émergentes à la limite entre pays riches et pays pauvres. Mais, à côté des réussites économiques, se maintiennent de fortes inégalités sociales et de grands déséquilibres régionaux.

2 Remerciements

Mes remerciements vont aux personnes suivantes pour leur aide et leur soutien tout au long de la réalisation de ce travail :

M. Colin Schenk, l'assistant qui m'a suivi tout au long de ce travail, pour l'implication et l'encadrement sans limite et sans faille qu'il a fourni durant toute la durée du travail.

M. Bastien Roquier, pour les conseils et les explications sur les problématiques des métadonnées.

M. Marc Soutter, professeur responsable de ce travail de master, pour la confiance qu'il m'a faite dans la réalisation du travail en Suisse et au Brésil.

M. Nilo de Oliveira Nascimento, professeur à l'UFMG, pour son accueil chaleureux lors du séjour à Belo Horizonte et son encadrement durant les 3 mois passé au sein de son institut.

Mme Sonia Knauer et de M. Pedro Heller, de la municipalité de Belo Horizonte, pour leur aide et leur disponibilité, particulièrement pour la recherche de données, tout au long du travail.

Différents professeurs de l'UFMG : M. Marcos von Sperling, M. Antonio Magalhaes, et tous ceux que j'oublie, pour les documents et leurs explications dans leurs domaines spécifiques.

M. Stef Smits, chef de projet à l'IRC, que j'ai pu suivre durant une semaine lors de sa démarche d'analyse de la gouvernance de l'eau pour la ville de Belo Horizonte.

M. Jean-Julien Dessimoz, collègue de classe qui a réalisé le même travail à Birmingham, pour sa collaboration durant toute la durée du travail.

Ma famille, pour son soutien tout au long de mes études, particulièrement ma maman pour son aide précieuse de relecture orthographique.

Mon amie, pour son soutien et sa confiance durant les quatre mois qu'a duré ce travail.

A mes deux grand-pères, pour la sensibilisation et leur point de vue sur les différents aspects environnementaux qui ont changé durant ces 80 dernières années, qui m'ont quitté durant la période de ce travail de master.

A tous les amis brésiliens qui m'ont entouré durant mon séjour. Un remerciement particulier à Juliano Martins Ribeiro pour m'avoir organisé l'appartement, l'arrivée, etc. à Belo Horizonte et à Paolo Kleber pour m'avoir permis de découvrir la vie brésilienne.

Et à tous ceux que j'ai oubliés.

3 Introduction

3.1 Objectifs et étapes du projet

Le but de ce travail est de réaliser une analyse holistique de la gestion de l'eau, suivie de la mise en place d'une première version du système d'information du système (ISWS « Information system on the water system ») eau de Belo Horizonte (appelé « SISE-BH »). De façon plus détaillée, il contient les étapes méthodologiques suivantes :

Objectifs	Méthodes
1. Analyse globale de la gestion de l'eau liée au contexte local	<ul style="list-style-type: none"> Comprendre la gestion de l'eau sur la base de documents et de rencontres avec les personnes clés des différents secteurs.
2. Validation du modèle du système de gestion de l'eau water (Water Management System Model, WMSM)	<ul style="list-style-type: none"> Confronter le modèle à l'analyse des acteurs locaux de la situation Adapter et valider le modèle
3. Mise en place du système d'information du système, SISE (Information System on the System)	<ul style="list-style-type: none"> Déterminer les limites du système Rassembler les données détaillées sur les entités, leurs relations réciproques et identifier les réseaux causals. Alimenter l'application avec ces données Valider les parties diverses de l'application avec les personnes clés.
4. Analyse des résultats et analyse critique du processus	<ul style="list-style-type: none"> Confrontation des visions thématiques obtenues avec la réalité Acception par des dépositaires locaux Evaluation de l'utilité potentielle

Tableau 1 : Etapes méthodologiques du projet

3.2 Contexte du projet

Ce projet a été réalisé dans le cadre d'un projet de Master dans le laboratoire d'écohydrologie. Ce dernier est impliqué dans le projet européen SWITCH.

Le projet SWITCH est un programme d'action recherche financé par l'Union Européenne. Il s'est donné pour but général de catalyser le changement vers la gestion de l'eau urbaine plus durable dans "la Ville de l'Avenir". Afin de réaliser ce but, une équipe interdisciplinaire de 32 partenaires a été mise en place, l'EPFL en est l'un d'eux (SWITCH, Executive summary).

Le projet a ainsi défini 6 thèmes, qui répondent chacun à une problématique actuelle récurrente dans la gestion de l'eau des villes.

Thèmes	Descriptions
1	Urban water paradigm shift (sustainability & integrated urban water management)
2	Stormwater management (water sensitive urban design)
3	Efficient water supply and use for all (demand management & recycling)
4	Innovations in sanitation and waste mgt (Ecosan & decentralisation)
5	Urban water environments and planning (Natural systems)
6	Governance and institutional change

Tableau 2 : Différents thèmes du projet SWITCH ; Source : SWITCH, Executive summary

L'EPFL, plus précisément l'équipe du Dr Marc Soutter, est active dans le cadre du thème 1. A l'intérieur de ce thème, elle travaille sur le développement d'un système d'aide à la décision pour une gestion et une planification intégrée des eaux. (Schenk et al., 2008a).

Ce projet est ainsi une pièce à l'édifice de cet outil.

3.3 Cadre théorique

Avant de rentrer dans le vif du sujet, un bref rappel théorique des quelques notions importantes abordées dans ce travail est importante.

3.3.1 La Gestion Intégrée de la Ressource en Eau (GIRE)

En matière de lutte pour le développement économique et social, les défis auxquels sont confrontés un nombre croissant de pays sont de plus en plus liés à l'eau. Ainsi, il est nécessaire de s'intéresser plus en profondeur à des problèmes tels que les pénuries, la baisse de la qualité et l'impact des inondations.

La gestion intégrée de la ressource en eau permet d'aider les pays à faire face aux problèmes liés à l'eau de manière économiquement efficace et durable. L'intérêt du concept de gestion intégrée des ressources en eau s'est développé au lendemain des conférences internationales sur l'eau et l'environnement qui se sont tenues à Dublin et Rio de Janeiro en 1992.

Les principaux problèmes qui ont motivé l'intérêt du développement de ce concept de gestion sont :

- Une ressource menacée : les ressources en eau douce de la planète sont confrontées à des menaces croissantes : croissance démographique, intensification des activités économiques et amélioration du niveau de vie, mélange d'inégalités sociales et de marginalisation économique. L'absence de mesures de contrôle de la pollution s'ajoute également à la dégradation de ces ressources.

- Des populations privées d'eau : tout en sachant que la population mondiale a quasiment triplé au cours du XX^e siècle et que les prélèvements d'eau ont été multipliés par sept environ, on estime, qu'à l'heure actuelle, un tiers de la population mondiale vit dans des pays souffrant de pénurie d'eau moyenne à grave. Selon les estimations, ce pourcentage devrait passer à deux tiers de la population d'ici 2025.
- Les effets de la population : la pollution de l'eau est intrinsèquement liée aux activités humaines. La dégradation de la qualité de l'eau due à la pollution diminue sa capacité à être utilisée en aval, menace la santé publique et les écosystèmes aquatiques. Elle réduit ainsi les volumes disponibles et augmente la concurrence pour une eau de qualité acceptable.
- Crise de la gestion de l'eau : tous les problèmes, mentionnés ci-dessus, sont encore aggravés par les carences des systèmes de gestion. En effet, les ressources en eau ont été depuis toujours gérées suivant une approche sectorielle de l'eau. Il découle ainsi de cette approche une gestion fragmentée et non coordonnée de la ressource.

Sur la base de ces problèmes, les enjeux sont:

- Garantir l'eau aux populations et à la production alimentaire.
- La prise en compte des activités qui consomment plus d'eau et produisent plus de déchets que d'autres.
- La protection d'écosystèmes vitaux, d'une part pour leur rôle dans le cycle de l'eau, mais aussi tout l'éventail de bénéfices économiques qu'ils peuvent apporter (le bois d'œuvre, le bois de chauffage et les plantes médicinales).
- La prise en compte de la variabilité spatio-temporelle de l'eau. En effet, la quasi totalité de l'eau douce utilisable à des fins humaines est issue des précipitations. Or, celles-ci varient considérablement dans le temps et dans l'espace.
- La gestion de toute une panoplie de risques. En ce qui concerne les risques dus à des phénomènes météorologiques, une mauvaise gestion des terres peut amplifier des phénomènes tels que les inondations et l'érosion. La pollution de l'eau fait apparaître un autre éventail de risques, puisqu'elle porte atteinte à la santé humaine, au développement économique et aux fonctions des différents écosystèmes. Les risques économiques liés à la gestion et à la valorisation des ressources en eau, sont également loin d'être négligeables.
- La sensibilisation de l'opinion publique permet d'obtenir un soutien efficace pour une gestion durable des ressources en eau et d'encourager les changements de comportement.
- La volonté politique, passant par l'attention et l'engagement, est essentielle pour garantir une prise de décision saine et la réalisation des investissements nécessaires en matière de mise en valeur et de gestion de l'eau.
- Garantir la collaboration entre tous les secteurs et par-delà toutes les frontières permet de coordonner l'élaboration, la planification et l'application des politiques de manière intégrée.

Les principes de la gestion intégrée de la ressource eau se sont basés sur les principes de Dublin qui ont été formulés dans le cadre d'un processus de consultation internationale dont l'apogée a été la Conférence internationale sur l'eau et l'environnement, qui s'est tenue à Dublin en 1992. Ainsi les 4 principes sont les suivants :

Principe I: L'eau est une ressource limitée et vulnérable :

Ce principe souligne le besoin d'une approche intégrée de la gestion prenant en compte toutes les caractéristiques du cycle de l'eau et son interaction avec les autres ressources et écosystèmes naturels.

La quantité produite par le cycle de l'eau étant fixe, la ressource doit être considérée comme un bien naturel qui doit être préservé afin de garantir le maintien des services qui y sont liés.

Néanmoins, il doit également être reconnu que l'eau est nécessaire à de nombreuses fins, et est liée à divers services et fonctions, ainsi sa gestion intégrée doit aussi prendre en compte les exigences et les menaces liées à cette ressource.

Les effets des activités humaines doivent également être pris en considération. En effet, les activités humaines peuvent être de deux ordres : d'une part les incidences négatives telles que la diminution des volumes d'eau disponibles, l'altération de sa qualité ; d'autre part certaines activités peuvent avoir des effets plus positifs, par exemple, lorsqu'elles visent la maîtrise de la variabilité spatio-temporelle naturelle des écoulements.

Au vu de l'impact des activités humaines sur l'eau, il faut prendre en compte les liens entre les usagers en aval et en amont. Ainsi, la mise en place de mécanismes de dialogue ou de résolution des conflits est nécessaire afin d'harmoniser les besoins des usagers en amont et en aval.

La gestion globale des ressources en eau n'implique pas seulement la gestion des systèmes naturels, mais également la coordination des diverses activités humaines qui créent des besoins en eau. En effet, il est nécessaire de coordonner les décisions à tous les niveaux institutionnels afin d'obtenir une approche globale qui permet d'intégrer les différents systèmes humains (économiques, sociaux et politiques).

Principe II: L'approche participative

La participation réelle est un élément clé de l'approche participative. Or, il n'y a participation réelle que si tous les intervenants (organismes ou porte-paroles élus ou désignés démocratiquement) ont leur mot à dire lors du processus décisionnel. Néanmoins, le type de participation dépend de la portée des décisions liées à la gestion et à la nature de l'économie politique dans le cadre duquel ces décisions sont prises.

Bien souvent, la participation est assimilée à une simple consultation des parties concernées. Mais une participation efficace revient à permettre aux parties concernées, à tous les échelons d'une structure sociale, d'avoir un impact sur les décisions à différents niveaux de gestion.

L'approche participative est la seule façon d'établir un consensus et des ententes durables. Or, comme il n'est pas toujours évident de dégager un consensus dans le cadre d'une approche participative, il y a lieu de mettre en place des processus d'arbitrage ou d'autres mécanismes de résolution des conflits.

Afin d'avoir une approche participative efficace, il faut créer des mécanismes de consultation des parties concernées à tous les niveaux géographiques (pays, bassin fluvial, nappe, bassin versant, communauté, etc.). Néanmoins la création de ce type de mécanisme n'est pas suffisante pour une participation effective. De leur côté, les gouvernements doivent également faciliter la mise en place de moyens permettant une telle participation, notamment au sein des groupes de femmes et autres groupes sociaux marginalisés.

L'approche participative peut être utilisée pour tenter d'atteindre l'équilibre entre une approche descendante et une approche ascendante de la gestion intégrée des ressources en eau. Les décisions devraient être prises au

niveau le plus bas possible. Afin d'avoir une coordination, l'existence de comités de coordination au niveau les plus élevés (nationaux et transnationaux) est indispensable.

Principe III: importance du rôle des femmes

La participation des femmes au processus décisionnel dépend étroitement de leur place dans la hiérarchie et de leur rôle au sein des différentes cultures, dont certaines ignorent, voire entravent, leur participation à la gestion de l'eau. Il est incontestable que les femmes jouent un rôle primordial en matière d'approvisionnement et de préservation de l'eau à des fins ménagères et, bien souvent, agricoles. Mais leur influence est moindre par rapport aux hommes en ce qui concerne la gestion, l'analyse des problèmes et le processus décisionnel liés à l'eau. Néanmoins Il faut prendre en compte les différences qui caractérisent chaque société en ce qui concerne le rôle social, économique et culturel des hommes et des femmes.

Principe IV: dimension économique de l'eau

Trop souvent, les erreurs commises dans le passé en matière de gestion des ressources en eau découlaient du fait que l'eau était considérée comme une ressource gratuite ou, du moins, que la valeur totale de l'eau n'était pas prise en compte. Néanmoins si l'on veut tirer profit au maximum des ressources disponibles, il y a lieu de modifier notre conception de la valeur de l'eau et de prendre en compte les coûts d'opportunité liés aux schémas actuels de répartition de l'eau. Il est ainsi nécessaire de fixer une valeur et un prix à l'eau.

La valeur totale de l'eau est sa valeur d'utilisation (ou valeur économique) ajoutée à sa valeur intrinsèque.

Le coût économique total est composé: du coût total d'approvisionnement lié à la gestion des ressources, des dépenses d'exploitation et d'entretien, des coûts d'opportunité relatifs aux utilisations subsidiaires de l'eau et des facteurs économiques externes liés aux modifications des activités économiques dans les secteurs indirectement touchés.

Afin de définir un cadre commun à tous en ce qui concerne la gestion intégrée des eaux, le Partenariat Mondial de l'eau (GWP) l'a défini de la façon suivante :

« La gestion intégrée des ressources en eau (GIRE) est un processus qui encourage la mise en valeur et la gestion coordonnée de l'eau, des terres et des ressources associées en vue de maximiser le bien-être économique et social qui en résulte d'une manière équitable, sans compromettre la durabilité d'écosystèmes vitaux. »
(Partenariat Mondial de l'Eau, www.gwpforum.org, 2000).

(GWP, 2000)

3.3.2 La GIRE dans le cadre de ce projet

Au vu des différentes interprétations du concept de GIRE, il est intéressant de spécifier les trois questions prépondérantes de ce projet :

- Qu'est-ce qui devrait être intégré dans la GIRE ?
- Comment l'appréhension holistique du système de gestion de l'eau peut être fournie ?
- Comment appliquer la GIRE au niveau de la ville ?

Qu'est-ce qui devrait être intégré dans la GIRE ?

Par nature, le concept de gestion intégrée des ressources en eau accorde autant d'importance à la gestion de la demande que de l'offre. C'est pourquoi l'intégration doit être appréhendée dans le cadre de deux catégories fondamentales: le système naturel et le système humain. L'intégration doit se faire au sein de chacune de ces catégories et prendre en compte la variabilité spatio-temporelle (GWP, 2000).

Le concept d'intégration a été pris en compte lors du pas initial. La réalisation d'un modèle de gestion de l'eau (Schenk et al., 2008a), d'une carte graphique et de la description des différents composants liés à l'eau et leurs interactions réciproques ont été basées sur une approche intégrée des problèmes liés à l'eau (Schenk et al., 2008a).

Comment l'appréhension holistique du système de gestion de l'eau peut être fournie ?

La création d'un cadre vers une approche holistique pour la GIRE a été entreprise. Elle s'est fondée sur le modèle de gestion de l'eau, développé par Schenk et al., 2008a comme référence. Actuellement en développement, elle propose la réalisation d'une application capable d'afficher et de naviguer dans le système d'information lié à l'eau. Cette application sera fondée sur le concept de « Système d'Information sur le Système Eau » (SISE). Ce concept est un instrument générique capable de manipuler des informations générales du système (Schenk et al. 2008a).

Comment appliquer la GIRE au niveau de la ville ?

Le bassin ou sous-bassin hydrographique est l'unité logique de planification et donc d'exécution des interventions liées à la ressource en eau. Néanmoins, les limites de la ville ne coïncident pas avec les limites hydrologiques. Pourtant, cela ne signifie pas que les principes de la GIRE ne peuvent pas être appliqués dans une ville. Moriarty et al., 2004 ont proposé des solutions quant à leur mise en place au niveau local (ville) (Smith et al., 2008).

3.3.3 La vision holistique

« Holistique » vient du terme « **holisme** » (du grec *ολος* (*holos*) : entier). C'est une approche dans laquelle les caractéristiques d'un être ou d'un ensemble ne peuvent être connues que lorsqu'on le considère et l'appréhende dans son ensemble, dans sa totalité, et non pas quand on en étudie chaque partie séparément. Le holisme est

une vision relationnelle du monde, mais aussi une stratégie de recherche¹. C'est donc cette stratégie de recherche qui a été utilisée pour ce projet.

Ainsi, un système complexe est considéré comme une entité possédant des caractéristiques liées à sa totalité, et des propriétés non-déductibles de celles de ses éléments. L'approche holistique invite à élargir le domaine d'observation des disciplines scientifiques, mais nécessite la pluridisciplinarité et une approche multi-échelle².

3.3.4 Approche systémique

La systémique (ou analyse systémique) est un principe scientifique basé sur la logique de système qui peut s'apparenter à une science en tant que telle, mais aussi à une méthode, un langage, voire même à un état d'esprit, une philosophie. L'approche systémique décrit la démarche qui permet de dépasser les limites de la méthodologie cartésienne classique pour aborder des sujets complexes qui lui étaient réfractaires grâce à une vision holistique. (Nicolas Turenne, Présentation sur Intelligence Artificielle)

3.4 Approche pratique

En appliquant ces différentes méthodes, approches et visions, des développements ont été réalisés en prémices à ce travail. Les deux principaux sont le modèle de gestion de l'eau « The Water Management System Model » et un outil dénommé « Système d'Information du Système Eau » (« Information System on the Water System »).

3.4.1 Le modèle de gestion de l'eau (WMSM)

Le modèle réalisé par Schenk et al., 2008a (voir figure 1) a été proposé comme une vue de référence sur la gestion du système eau dans son sens le plus large. Il a l'avantage d'inclure également des éléments qui n'appartiennent pas strictement au domaine de l'eau (énergie, eau virtuelle, ..).

Les objets présents dans ce modèle sont classés en deux groupes principaux :

- Objets structurel : tous les objets, liés à l'eau, possédant une réalité physique. Ils ne sont pas nécessairement géoréférencés. (bassin de rétention, STEP, usine de traitement d'eau, écosystème,...)
- Ressource anthropogénique : tous les éléments n'ayant pas de réalité physique, mais qui ont une influence sur la gestion de l'eau. (lois, politiques, fonds...)

¹ <http://www.techno-science.net/?onglet=glossaire&definition=277>

² idem

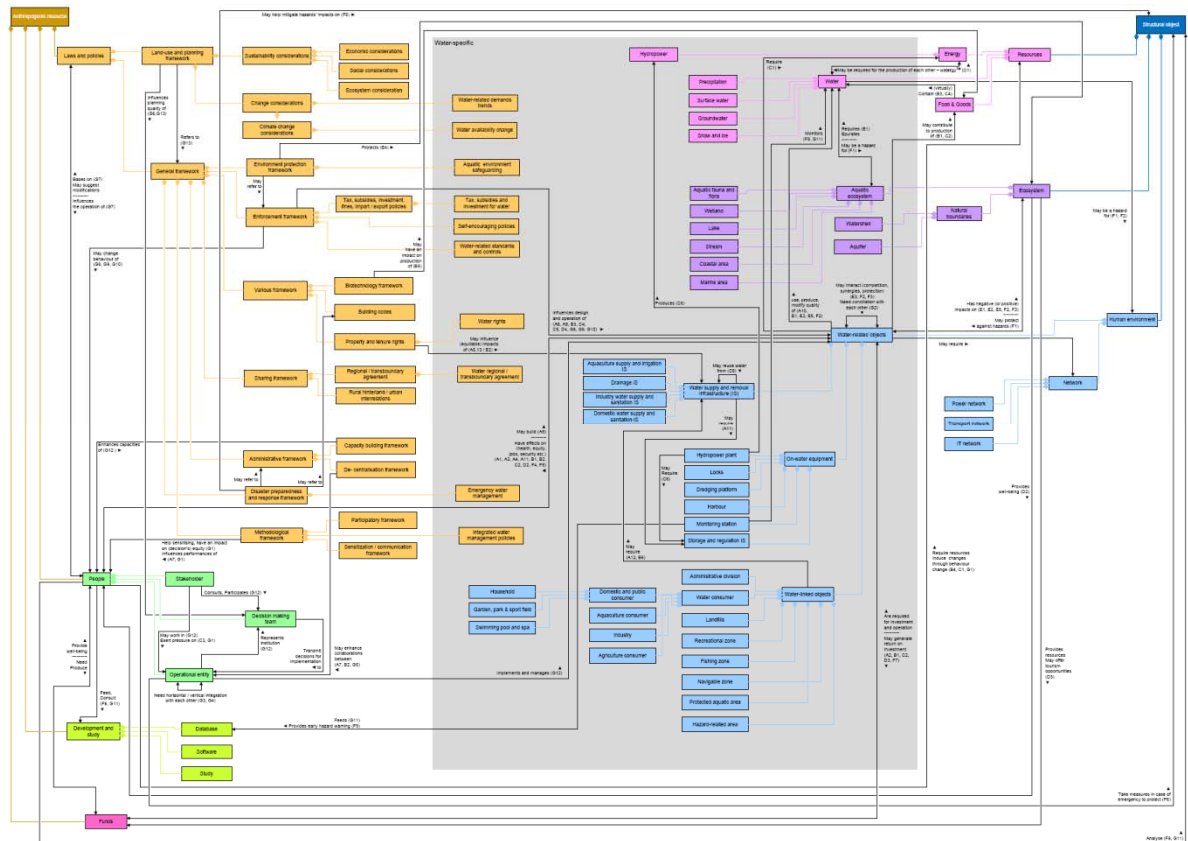


Figure 1 : Modèle relationnel ; Source : Schenk et al., 2008a

3.4.2 Système d'information du système SISE

Le système d'information du système (SISE) (information system on the water system (ISWS)) a été défini comme une application capable d'afficher l'organisation d'un système et de ses données relatives. Les éléments impliqués sont soit des composants (nœuds) soit des interactions (connexions). Les composants peuvent être physiques (infrastructure, environnement, ressources naturelles et anthropogéniques, etc.) ou de nature culturelle (politique, lois, etc.) ; les interactions offrent des informations qualitatives (sous forme de texte) ou quantitatives sur les relations fonctionnelles entre les composants. Les groupes de composants sont aussi des composants et sont appropriés comme support d'information synthétique à l'application. Donc, le SISE doit être capable d'apporter une alternative complémentaire au SIG, spécifiquement pour montrer les informations synthétiques, les interactions et les données non géographiques. (Schenk et al., 2008a).

Son développement a surtout été motivé par la limitation des SIG en ce qui concerne la représentation de vues d'ensemble, des interactions possibles entre les éléments et les objets non-géographiques.

Ce système offre les fonctionnalités suivantes :

- Etre capable de se connecter de façon locale ou à distance à une base de données qui stocke les informations, pour les extraire et les éditer.
- Différentes vues du système (influences, flux physiques, données, flux monétaires, etc.)
- Possibilités de naviguer entre des vues synthétiques (groupes fermés) ou détaillées (groupes, sous-groupes, etc. développés)

- Des tables de données pour naviguer et éditer l'information.

Une description de l'utilisation de ce système, un descriptif de chaque bouton et des potentialités du système se trouvent en annexe 1.

Le SISE est une des composantes du Système Combiné d'Information lié à l'Eau (Combined Water Information System (CWIS)). CWIS est un logiciel qui couvre dans une interface générale les systèmes informatiques suivants :

- Un système d'information géographique (SIG)
- Un système d'information du système Eau (SISE)
- Un visualisateur des indicateurs (VI)

Cela permet donc la navigation alternative et complémentaire dans les renseignements. (Schenk, 2008c)

4 La gestion de l'eau : du Brésil à la ville de Belo Horizonte

La première étape du travail consiste en une compréhension de la gestion de l'eau dans le contexte brésilien, plus spécifiquement pour la ville de Belo Horizonte.

Elle passe en premier lieu par la détermination des acteurs principaux, leur hiérarchie, ainsi que leurs interactions. Sa réalisation a été faite par l'intermédiaire de lecture d'articles, avec comme base l'article de Nascimento et al., 2007b, traitant le sujet. Les rencontres avec les acteurs locaux des différents secteurs de l'eau ont été d'une grande importance, elles ont permis de confirmer et de valider les conclusions tirées des lectures. L'opportunité de suivre la démarche d'une analyse de la gouvernance de l'eau de BH, par Stef Smits de IRC, a été d'une grande utilité.

Elle a permis, d'une part, d'affiner la compréhension des acteurs, des processus et relations dans le système de gestion de l'eau, plus spécifiquement pour la ville de BH, et, d'autre part, a également permis de créer les contacts qui allaient être nécessaires pour la récolte ultérieure des données.

4.1 Vue d'ensemble

Afin d'avoir une bonne compréhension de la gestion de l'eau pour la ville de Belo Horizonte, il est nécessaire de faire une brève vue d'ensemble sur le contexte brésilien.

Le Brésil est un pays à la population d'environ 170 millions d'habitants (IBGE, Recensement démographique de 2000) pour une superficie de 8,5 millions de km². La population est concentrée plutôt près de la côte. En effet, la majorité des grandes villes se trouvent directement sur la côte.

Au vu de sa grande superficie, le climat est très variable. En effet, dans le même pays, on peut trouver des conditions de forêt tropicale, semi-aride, etc.

4.1.1 Disponibilité de l'eau au Brésil

Le Brésil possède environ 12% des réserves d'eau douce de la planète. En effet, il possède un réseau hydrographique des plus étendus du monde. On peut citer comme grand bassin hydrographique, bien évidemment celui de l'Amazonie, mais d'autres tout aussi importants tels que ceux du Tocantins-Araguaia, du Paraná-Paraguay-Uruguay et du São Francisco. En complément avec cette réserve colossale d'eau de surface, l'eau souterraine occupe aussi une part importante de la ressource, mais plus difficilement accessible. Au sein de cette imposante ressource souterraine, dû au climat et aux caractéristiques physiques favorables, il existe un des plus grands aquifères de la planète. Centré sur le bassin du Paraná-Plata, appelé également *Acuífero Gigante del Mercosur* ou *Sistema Acuífero Mercosur*, il constitue une réserve estimée au moins à 1,5 millions de km² et s'étend sur cinq pays : la Bolivie, le Paraguay, l'Argentine, l'Uruguay et le Brésil (Boudier, 2007)

Malgré les quantités astronomiques de ressources en eau présentes sur le territoire brésilien, cette ressource est distribuée de façon très inégale dans le territoire. En effet, comme on peut le voir sur la figure 2, des régions comme celles du nord-est ont des climats de type semi-aride ; elles ont de grandes problématiques liées à la pénurie. Tandis que les régions telles que l'Amazonie ou les régions du centre possèdent une disponibilité de ressources en suffisance ; dans ce cas aucune problématique quand à la quantité de la ressource n'est à signaler. Les problématiques liées à l'eau peuvent donc être bien différentes en fonction des régions.

A part quelques déséquilibres territoriaux de la ressource disponible en eau, le Brésil possède peu de difficultés du point de vue capacitaire.

Ces trente dernières années, le Brésil a connu des importantes transformations démographiques et économiques qui ont entraîné une augmentation de la consommation d'eau. De nouveaux secteurs consommateurs d'eau se sont ainsi développés, tels que l'irrigation, la navigation, l'alimentation en eau, le traitement des effluents urbains et industriels, le secteur du tourisme et du loisir, la pêche etc. Ainsi, de nombreux problèmes de gestion sont apparus. Les principaux à noter sont dus aux bilans hydriques critiques de certaines régions, à la contamination des eaux et aux conflits entre usagers. Il a ainsi fallu changer les comportements du secteur public et de la communauté afin d'inclure dans la planification une gestion intégrée de la ressource, prenant en considération tous les intérêts présents (usagers, système naturel,...). (Raymundo Garrido, Gestion des ressources en eau au Brésil).

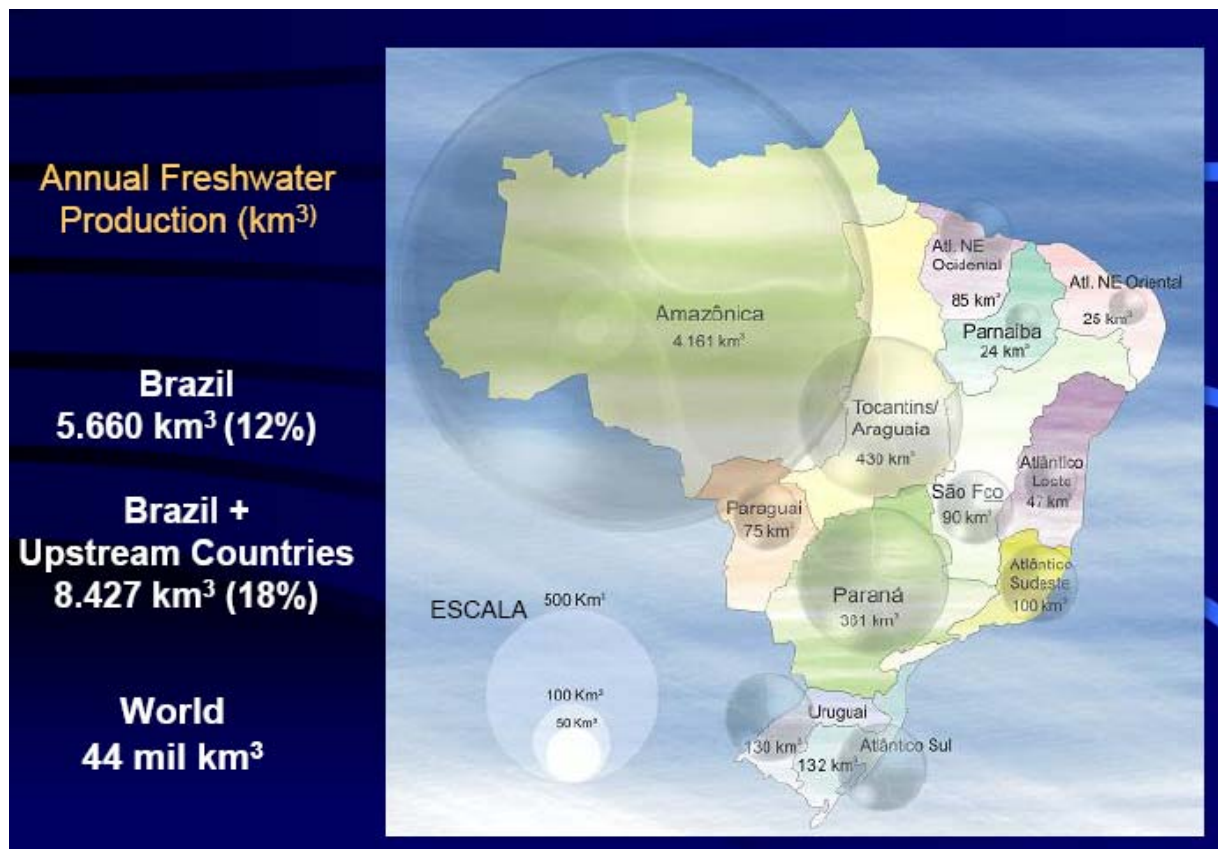


Figure 2 : Production annuelle d'eau douce ; Source : Agência Nacional De Águas, <http://www.ana.gov.br>

4.1.2 Politique de gestion de l'eau brésilienne

Administrativement, Il y a trois niveaux d'organisation au Brésil, à savoir :

- le niveau fédéral (état du Brésil) qui possède un pouvoir exécutif, législatif et juridique.
- le niveau étatique (par exemple l'état du Minas Gerais) qui possède également un pouvoir exécutif, législatif et juridique.
- le niveau municipal qui, quant à lui, ne possède qu'un pouvoir exécutif et législatif.

Dans tous les processus de décisions, dans tous les domaines et à tous les niveaux d'organisation, il existe une structure décisionnelle unique et constante. Cette structure est composée de 3 entités, les ministères (ou secrétariats), les comités et les agences.

- Les ministères (ou secrétariats) sont liés directement au système de gouvernement en place et déterminent les lignes directrices des différentes politiques.
- Les comités sont des groupes décisionnels qui prennent les décisions et planifient les actions à venir. Ces comités sont habituellement composés des pouvoirs politiques, et des différentes parties (publiques ou privées) concernées.
- Les agences sont plutôt des groupes exécutifs qui exécutent et mettent en place les décisions des comités.

Les relations sont monodirectionnelles des ministères vers les comités. Par contre, il y a beaucoup plus d'interactions entre les comités et les agences. En effet, les agences ont la possibilité de faire des propositions aux comités, qui vont les étudier et donner réponse. Ce processus peut ainsi être considéré comme participatif.

En raison de cette structure fédérale, la conformité, le non-conflit et la cohérence doivent être garantis dans la législation entre les différents niveaux (étatiques, municipaux et fédéraux). Ainsi, dans un cas de non existence d'une loi au niveau municipal, il faut se référer à la loi étatique, et s'il n'existe pas de loi étatique, il faut se référer à la loi fédérale.

Appliquée au thème de la gestion de l'eau, on obtient ainsi l'organisation suivante (figure 3). La principale particularité du thème de l'eau est la mise en parallèle de cette structure fédérale avec une politique de gestion par bassin versant (en train d'être mise en place).

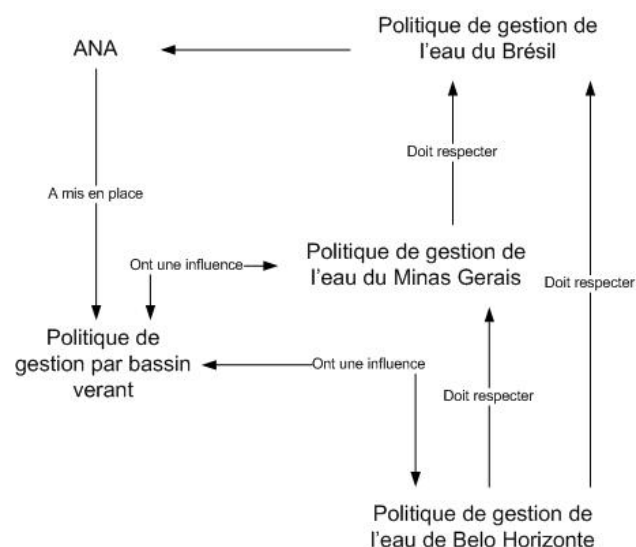


Figure 3 : Organisation de la gestion de l'eau

Afin d'avoir une meilleure compréhension de l'environnement dans lequel on travaille, il est intéressant de détailler chacune de ces politiques, de comprendre les acteurs, les politiques, les influences ainsi que les problématiques qui peuvent exister.

4.2 La politique fédérale

Au niveau fédéral, les systèmes nationaux de l'environnement, la ressources en eau et le système, récemment créé, d'assainissement environnemental constituent la structure légale et institutionnelle dirigeant l'utilisation d'eau et le contrôle de pollution de l'eau au Brésil. La figure 4 résume ainsi les différents acteurs, les politiques de gestion et les instruments proposés.

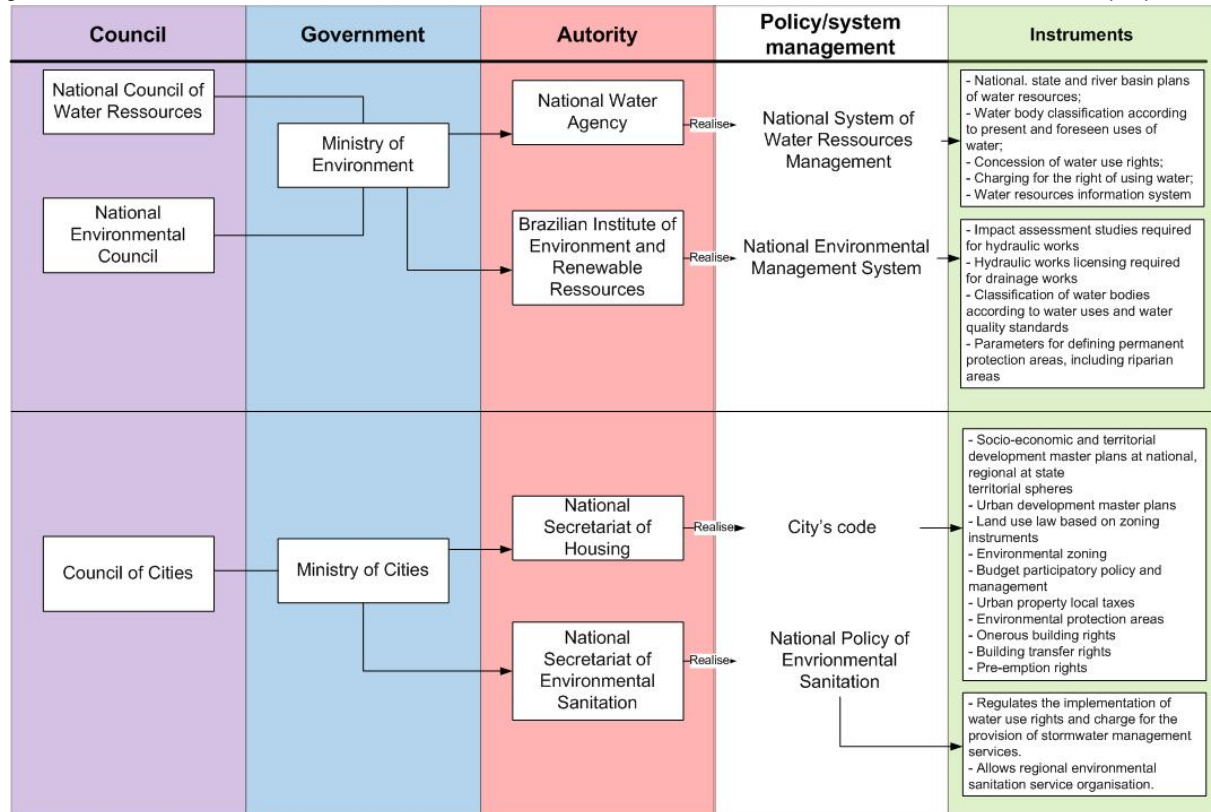


Figure 4 : Organisation de la gestion de l'eau au niveau du Brésil

La structure décrite plus haut de comités, ministères et autorités (agences) est respectée. Les différentes politiques qui ont une influence sur la gestion de l'eau sont proposées par le ministère, mises en œuvre par les autorités et approuvées par les conseils.

Sans rentrer dans les détails, il est intéressant de souligner les lignes directrices de chacune de ces politiques.

- La politique de gestion des ressources en eau a plutôt trait à toute la gestion de la ressource en eau en elle-même (son statut public, sa valeur économique, les priorités quant à son utilisation, et certains principes de base concernant sa gestion (gestion par bassin versant, tenir compte des multiples utilisations de l'eau; administration participative)). Il découle également de cette politique un certain nombre d'instruments de gestion (plan national et étatique des ressources en eau, la classification des étendues d'eau selon le présent et les utilisations prévues de l'eau, concession de droits pour l'utilisation de l'eau, droit de faire payer le droit d'utiliser l'eau, système d'information de la ressource en eau)
- La politique de management environnemental régle principalement les questions de protection environnementale des eaux. Elle possède plusieurs instruments. Le premier, en commun avec la politique de gestion des ressources en eau, est la classification d'étendues d'eau selon les utilisations d'eau et les normes de qualité d'eau. Le second étant la définition des aires de protection (terrestres comme riveraines). Comme dernier point, elle délivre aussi les autorisations pour les grandes constructions, tel que des travaux hydrauliques et de drainage, sur une évaluation par des études d'impacts ou autres études similaires.

- Le code des villes est un innovant code d'urbanisme pour le développement urbain. De nombreux instruments pour les différentes politiques de développement urbain sont proposés. (plan directeur du développement territorial et socio-économique à différent niveau (national, étatique et régional), plan directeur de développement urbain, lois concernant l'utilisation du sol basées sur des instruments de zonage, zonage environnemental, politique et gestion de budget participatif, taxation sur la propriété urbaine, aires protégées, droits sur la construction de bâtiments onéreux, droits sur le transfert de propriétés et droits de préemption). Les municipalités peuvent ainsi employer l'ensemble de ces instruments dans leur politique de développement urbain.
- La politique nationale environnementale d'assainissement régule l'implémentation des droits d'utilisation d'eau et s'occupe de la disposition des services de gestion des eaux de pluie. Elle régule également l'organisation des services d'assainissement au niveau régional. Mais au vu de sa nouveauté, elle ne possède pas encore une grande étendue dans son application.

Les structures légales et institutionnelles existantes comptent une variété d'instruments qui peuvent influencer la gestion de l'eau urbaine. Mais elles sont rarement appliquées dans toute leur extension et leur potentiel au niveau local, principalement en raison du manque de développement institutionnel (manque de traduction et régulation de ces instruments au niveau municipal).

4.3 La politique étatique

Basé sur les politiques fédérales, l'état du Minas Gerais a aussi développé ses propres politiques. La figure 5 résume les différents acteurs, les politiques de gestion et les instruments proposés.

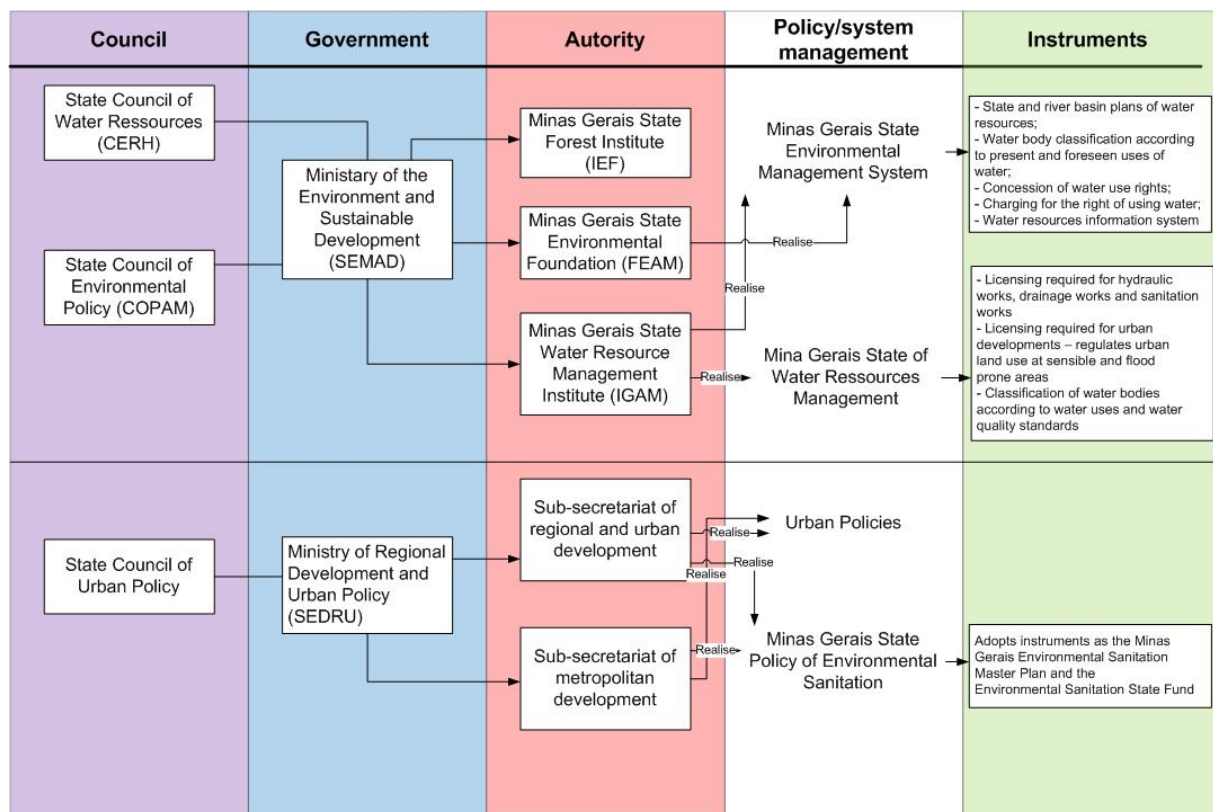


Figure 5 : Organisation de la gestion de l'eau au niveau de l'état du Minas Gerais

La configuration au niveau de l'état du Minas Gerais est passablement la même que celle au niveau fédéral. On observe, par contre, à ce niveau, un nombre plus grand de groupes de pression tel que des ONG, qui peuvent avoir des influences sur les décisions politiques.

Bien que les politiques du Minas Gerais soient assez proches de celles au niveau étatique, Il est néanmoins intéressant de faire une brève description de chacune d'entre-elles.

- Le système de gestion de la ressource en eau au niveau du Minas Gerais se base sur la politique et les instruments de gestion du niveau fédéral. Cette gestion permet entre autre d'accorder le droit d'utilisation des ressources eau, la planification et l'administration de toutes les actions dirigées à la conservation de la quantité et de la qualité d'eau.
- Le système de gestion de l'environnement au niveau du Minas Gerais a comme but de contrôler les projets de travaux hydrauliques, de drainage et d'assainissement par le biais de licence. L'obtention d'une licence est aussi nécessaire pour le développement urbain. Cela permet ainsi de réguler l'utilisation raisonnable des terres en milieu urbain et diminuer l'inondation de certains secteurs. La classification de différents types d'eau selon son utilisation, les normes en vigueur et sa qualité sont également de son ressort.
- La politique environnementale du Minas Gerais au sujet du système sanitaire a adopté des instruments comme le Plan directeur d'Assainissement Environnemental du Minas Gerais et le Fonds d'État pour Assainissement Environnemental. Mais cette politique n'a pas encore été réglée par des décrets applicables. A l'heure actuelle, elle vise majoritairement à respecter la loi fédérale d'assainissement environnemental.
- Les politiques urbaines au niveau du Minas Gerais sont directement adaptées de la politique nationale du Cities Code. Ainsi, il n'y a pas de politique spécifique existante à ce niveau.

4.4 Politique de la ville de Belo Horizonte

Belo Horizonte, capitale de Minas Gerais, est la troisième plus grande ville du Brésil. Dotée d'une population de 2'412'937 habitants (IBGE, 2007), elle est au centre d'une région métropolitaine, appelée Région Métropolitaine de Belo Horizonte (RMBH), d'une superficie de 10000 km², rassemblant 34 municipalités, possédant une population totale de plus de 5 millions d'habitants. La ville est localisée dans la région sud-est du pays, dans un point géographiquement stratégique tant au niveau du pays qu'au niveau du continent sud-américain. Belo Horizonte est entourée par les montagnes de Serra do Curral, qui servent de cadre naturel et de référence historique. Belo Horizonte dispose de nombreux avantages naturels, liés à la disponibilité de nombreuses ressources (l'eau par exemple) et l'accès aisé par les transports aériens et routiers³.

³ <http://www.belo Horizonte.mg.gov.br/>

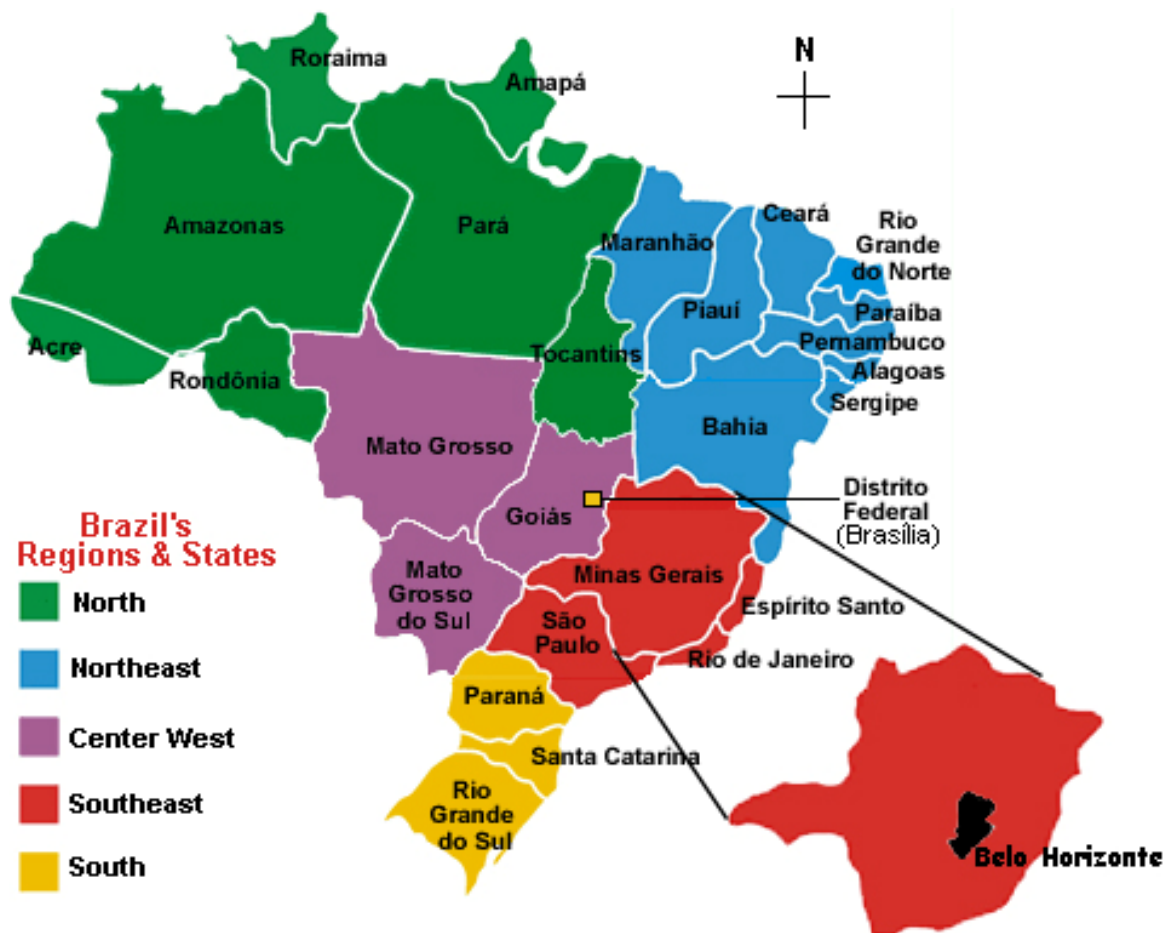


Figure 6 : Carte de situation géographique de Belo Horizonte

Dans le cadre du projet SWITCH, la ville est un des partenaires actifs. Elle est particulièrement active dans les thèmes suivants :

Theme 1 - Urban water paradigm shift	<p>1.1 : Development of a strategic approach and of indicators for sustainability and risk management.</p> <p>1.2 : Modeling of urban water systems and the development of a decision support system.</p>
Theme 2 - Storm water management	<p>2.1 : Technological options for storm water control under conditions of uncertainty.</p> <p>2.2 : Decision-making process for efficient urban storm water management.</p>
Theme 6 - Governance and institutional change	<p>6.1 : Governance for integrated urban water management .</p> <p>6.2 : Learning alliances.</p>

Tableau 3 : Thèmes SWITCH actifs pour la ville de Belo Horizonte

Dans la ville de Belo Horizonte, la gestion de l'eau est faite par 2 acteurs principaux, à savoir la municipalité et l'entreprise COPASA.

- La municipalité, par l'intermédiaire de SUDECAP et du SMAMA, s'occupe de tous les problèmes de drainage et de tous les thèmes environnementaux liés à l'eau, par exemple la qualité des eaux de surface.
- COPASA, une entreprise privée étatique à économie mixte, s'occupe de l'approvisionnement en eau de consommation et du traitement des eaux usées.

D'autres acteurs, comme URBEL (développement des favelas) et SLU (gestion des ordures), n'ont pas une action directe sur la gestion des eaux, mais leurs actions ont une influence dans des domaines liés à l'eau, la qualité par exemple.

La figure 7 présente les différents acteurs, ainsi que les instruments utilisés pour la gestion.

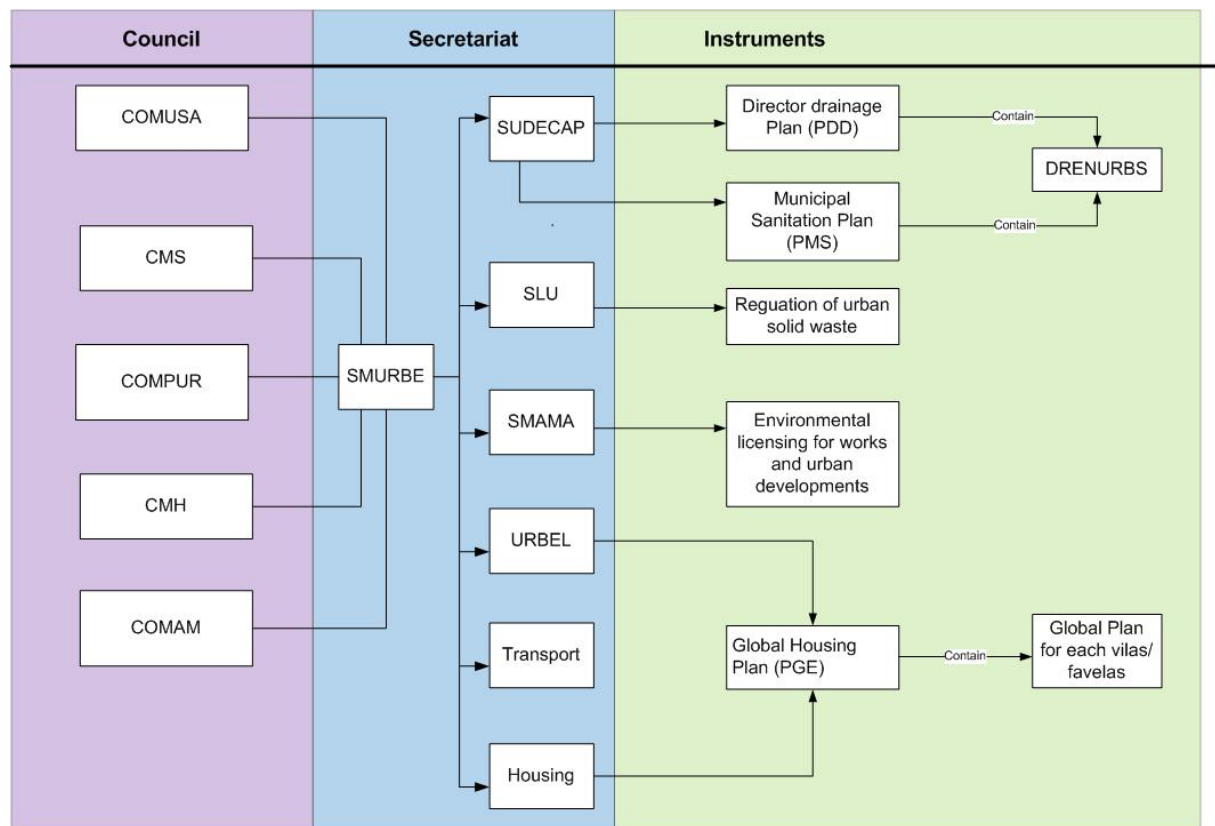


Figure 7 : Politique municipale de gestion de l'eau pour la ville de Belo Horizonte

La politique de gestion de l'eau de la ville de BH est assez complexe et particulière par rapport aux autres villes brésiliennes. En effet, elle possède de nombreux comités et secrétariats. Pour résumer la situation de façon brève et concise, le secrétariat SMURBE est le secrétariat qui conseille et coordonne toutes les politiques de la préfecture de BH. C'est également lui qui a des interactions avec les niveaux hiérarchiques supérieurs (fédéral et étatique). Ainsi dépendant de ce secrétariat global, chaque domaine est confié à un secrétariat spécifique, par exemple le drainage à SUDECAP, la gestion des déchets à SLU, etc. Et ce sont ces secrétariats qui mettent en place les politiques décidées par la préfecture, qui réalisent ou mandatent pour l'exécution de travaux, etc.

Conjointement à ce système de secrétariats il existe plusieurs comités, qui influencent d'une part les décisions de SMURBE et de Belo Horizonte, mais également celles des différents secrétariats. Chaque comité a un domaine spécifique et conseille donc uniquement les secrétariats qui ont un rapport avec son domaine de compétence. On

peut citer, comme exemple, COMAM qui a plutôt une influence sur des domaines relatifs au SMAMA comme l'émission des licences environnementales pour les nouvelles constructions et les mesures de pollution.

Les principaux instruments utilisés sont des plans développés par la municipalité. Il existe ainsi un plan pour l'assainissement (PMS) qui traite de la gestion des eaux potables et usées, un plan de drainage(PDD) qui est en cours de réalisation et un plan d'habitation (PGE) qui régle entre autre tout ce qui concerne l'urbanisation des zones défavorisées.

L'entreprise COPASA, non représentée sur la figure 8, s'occupe uniquement de l'approvisionnement en eau potable et de l'assainissement des eaux usées. Elle travaille comme une entreprise privée et a très peu d'interactions avec la municipalité. Depuis quelques années, des efforts dans la coordination des travaux ont été réalisés grâce à la création du comité COMUSA, qui réunit des membres de la municipalité, de COPASA et des partis publics (figure 8).

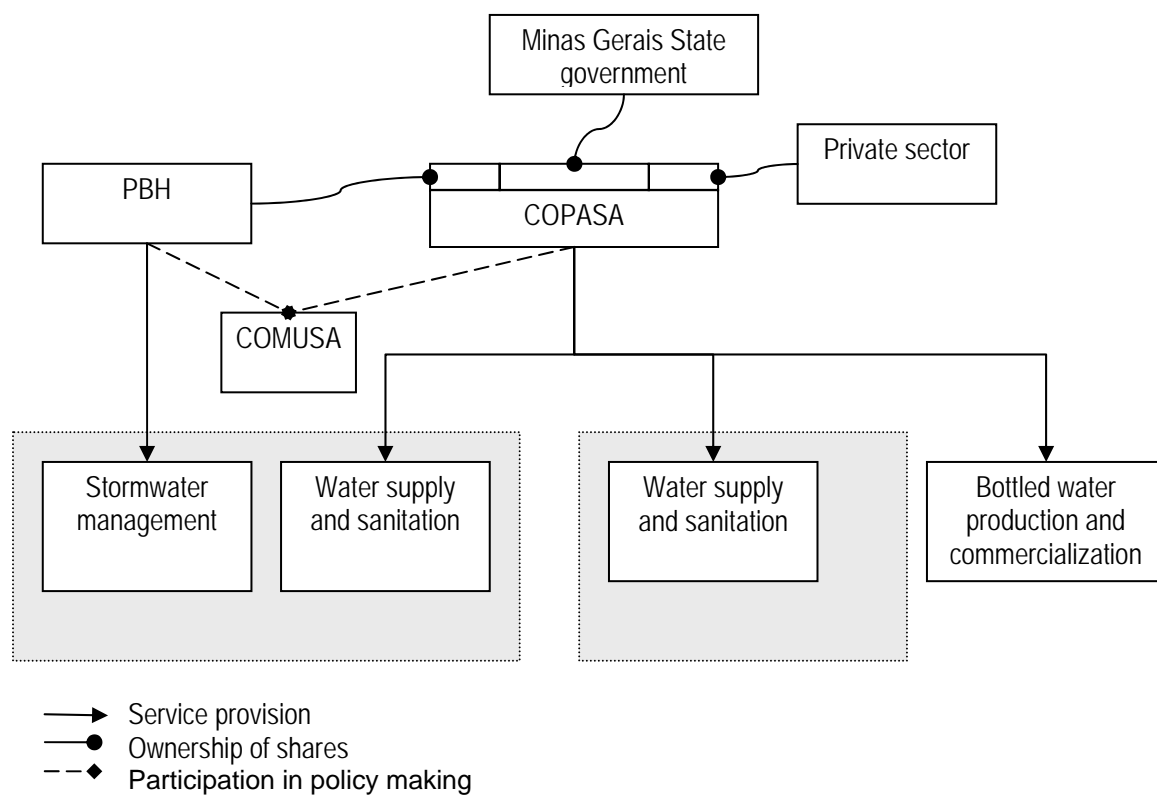


Figure 8 : Relation entre la municipalité de Belo Horizonte et COPASA ; Source : Smith et al., 2008

Néanmoins la communication et la coordination n'est de loin pas parfaite, des problèmes dans différents domaines ont pu être constatés. Parmi ces problèmes, il est intéressant d'en détailler quelques-uns.

- Problème financier : les services offerts par la ville sont gratuits tandis que ceux offerts par COPASA sont payants (approvisionnement comme traitement). Certaines personnes, à des fins de réduction des coûts liés à l'eau, prennent uniquement l'approvisionnement et rejettent les eaux usées dans le réseau de drainage. Ce qui pose de nombreux problèmes de pollution des eaux, l'encombrement des canalisations de drainage, etc.
- Problème de collaboration : malgré la création d'un comité regroupant ces deux acteurs, la collaboration n'est pas toujours aisée et de nombreux problèmes surviennent. Par exemple, COPASA ne traite que les

eaux usées, les eaux provenant du drainage ne sont donc ainsi pas traitées bien qu'elles puissent contenir également des eaux usées. C'est une des raisons pour laquelle le pourcentage d'eau usée traité est si bas (moins de 50%). Le prix payé pour l'approvisionnement en eau potable crée souvent d'intenses discussions.

4.5 Politique de gestion par bassin versant

La politique de gestion par bassin versant, mandatée par le gouvernement brésilien, a été récemment mise en place par l'agence nationale de l'eau (Agência Nacional De Águas, ANA). Au vue de sa nouveauté, ce mode de gestion a été adopté par très peu de bassins versants. Seuls 5 bassins versants ont commencé à mettre en place une telle politique (figure 9).

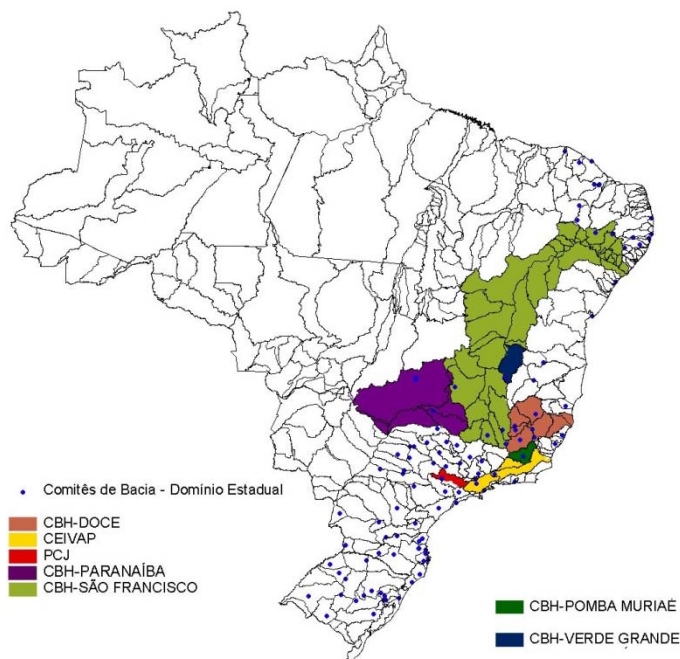


Figure 9 : Bassin versant possédant une politique de gestion de l'eau ; Source : Agência Nacional De Águas, <http://www.ana.gov.br>

Ces quelques bassins versants sont pour l'instant uniquement en train de mettre en place la structure pour réaliser ce genre de gestion. Théoriquement, chaque bassin versant (également sous-bassin versant) devrait contenir comme entité des comités de bassin (organes de décision) et des agences de bassin (organes opérationnels). Pour l'instant, seuls des comités de bassins ont été créés.

La ville de Belo Horizonte se trouve dans le bassin versant du Rio São Francisco. Dans ce grand bassin versant, la région métropolitaine de Belo Horizonte (RMBH) se situe sur deux sous-bassins versants du Rio São Francisco : le Rio Paraopoba et le Rio das Velhas. La ville de Belo Horizonte se trouve sur le bassin versant du Rio das Velhas, plus spécifiquement sur deux sous-bassins versants, portant les noms de Ribeirão Arrudas et Rio da Onça (figure 10).

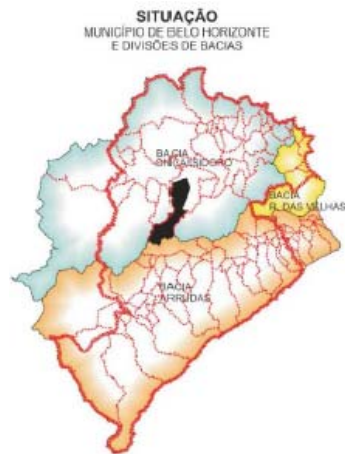


Figure 10 : Division en bassin versant de la ville de Belo Horizonte ; Source : Nascimento et al., 2007a

Etant donné que le bassin versant du Rio São Francisco est en train de mettre en place une politique de gestion par bassin versant, plusieurs comités de ces différents sous-bassins ont été créés :

- Le comité du bassin versant du Rio das Velhas.
- Le sous-comité de bassin versant du Rio Onça.
- Le sous-comité de bassin versant du Ribeirão Arrudas.

Afin de se rendre compte des interactions entre les différents comités présents, la figure 11 essaie de faire un bref constat des interactions actuelles et futures entre les différentes entités de cette gestion.

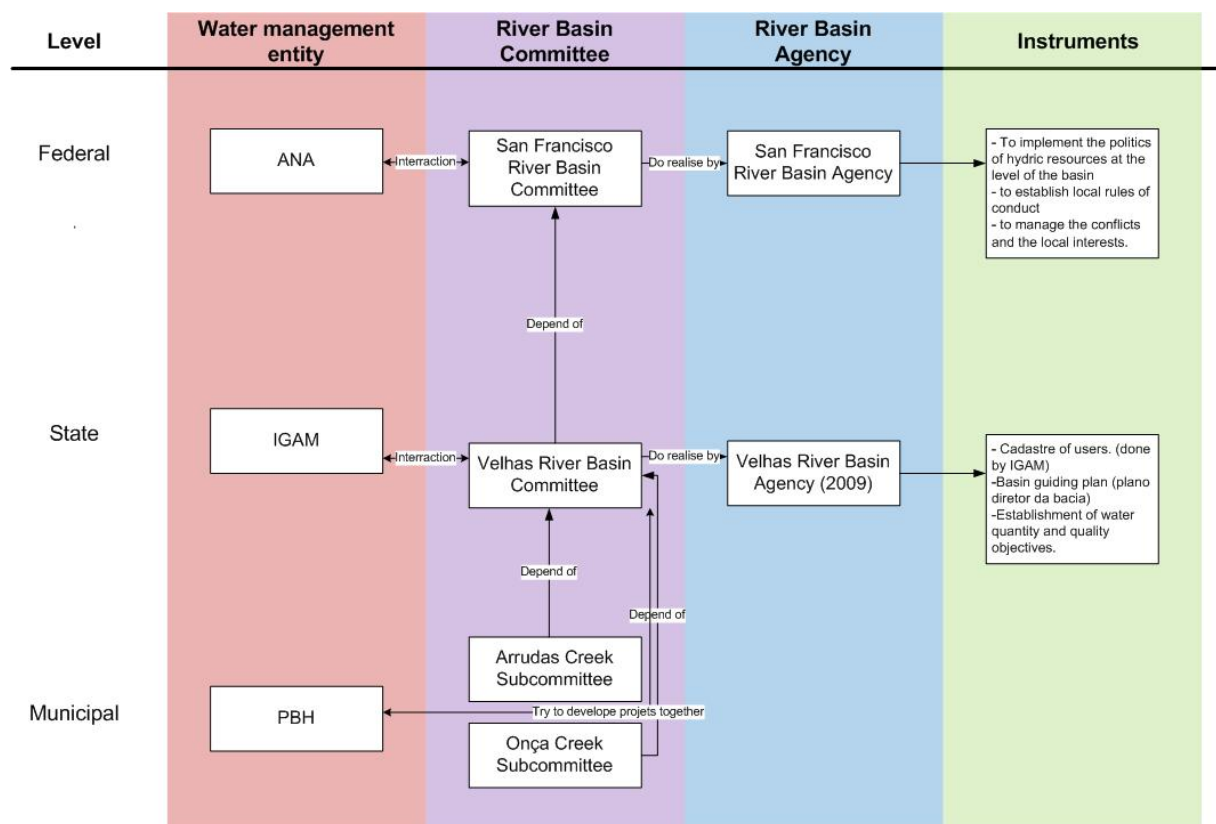


Figure 11 : Organisation de la gestion de l'eau par bassin versant

A l'heure actuelle, il n'y a que les comités de bassins qui existent (partie décisionnelle). La partie opérationnelle (agence de bassin) n'existe pas encore, elle est en cours de création et est prévue pour février 2009. Les comités de bassin versant n'ont que peu d'influence sur la gestion de l'eau de la municipalité, mais celle-ci prévoit augmenter dans le futur. Ces comités ont principalement une vue globale de la gestion de l'eau à une échelle plus large qu'une municipalité. Par ailleurs, les municipalités ont un représentant dans ces comités. Ces comités ont comme activités, de comparer les besoins et rejets de chacune des municipalités, afin de voir si le bassin versant peut y répondre. Ils édictent également quelques principes que les municipalités devraient essayer de respecter (par exemple au niveau des quantités et de la qualité des eaux rejetées et prises dans le réseau hydrographique).

4.6 Conclusion sur la gestion de l'eau

Sur la base de l'analyse de la gestion de l'eau, les conclusions suivantes peuvent être tirées:

- Il existe un grand nombre d'instruments proposé au niveau fédéral, mais le nombre réellement utilisé diminue au fur et à mesure que l'on diminue d'échelle. Ainsi, en pratique, très peu d'entre eux sont employés au niveau municipal.
- Les liaisons entre les organes des différents niveaux sont quasi inexistantes, la seule obligation est que les politiques aux différents niveaux doivent concorder.
- Les liaisons internes entre les différents ministères devraient théoriquement être existantes, mais sont pratiquement très faibles. Il n'est pas rare que des problèmes surviennent lorsque, par exemple le ministère des villes prend une décision liée à une politique d'assainissement qui peut avoir une forte influence sur l'environnement sans même consulter le ministère de l'environnement.
- La disponibilité de la ressource en eau est suffisante pour la ville de Belo Horizonte, mais ce qui pose problème est surtout la mauvaise gestion de la ressource qui peut mettre en péril la suffisance, principalement par la dégradation de la qualité.
- Il a aussi été observé une redondance dans la structure des politiques de gestion de l'eau. De nombreuses institutions sont présentes, mais leurs réelles utilités peuvent être discutables.

5 Mise en place du système d'information du système eau (SISE-BH)

5.1 Démarche

La démarche de création du SISE pour la ville de Belo Horizonte est représentée sur la figure 12.

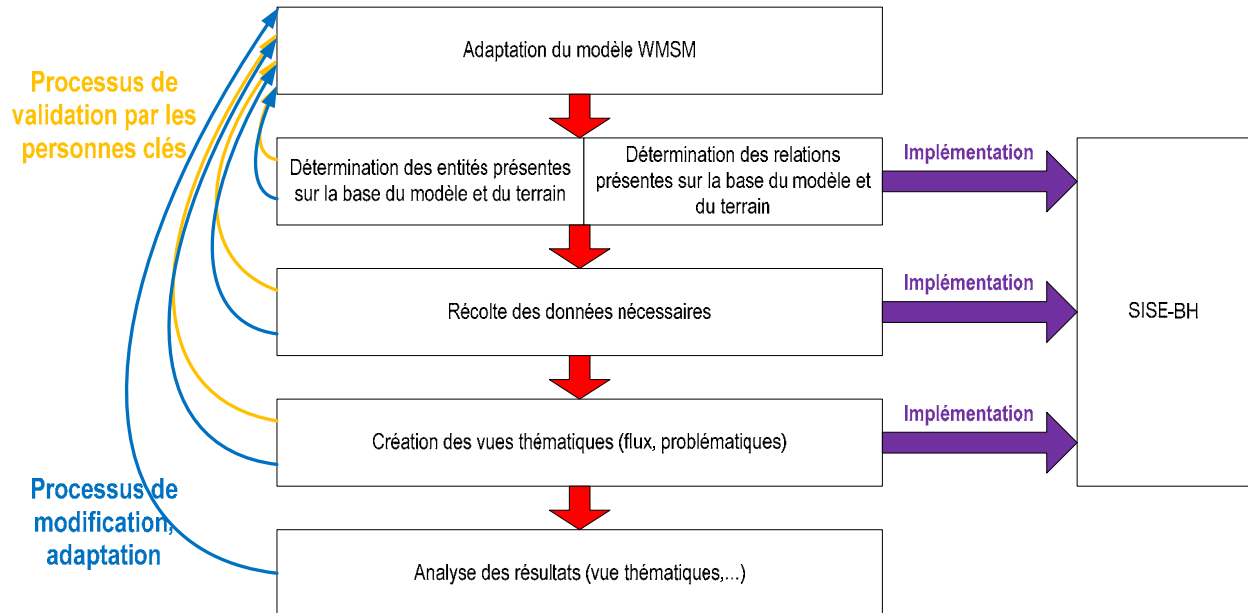


Figure 12 : Démarche de mise en place du SISE-BH

L'implémentation est le fait de mettre dans le SISE toutes sortes d'informations (entités, relations ou données). Elle est donc réalisée parallèlement avec les étapes de récolte des données et de détermination des entités et des relations.

Tout au long de la mise en place, il y a eu deux processus itératifs :

- Un processus de validation des informations (entités, relations, données et vues thématiques) par les personnes clés connaissant bien le contexte de la ville de Belo Horizonte.
- Un processus de modification et adaptation des données implémentées dans le SISE. En effet, la création de différentes vues thématiques implique souvent une adaptation du diagramme de base ou l'ajout de données numériques supplémentaires.

Les paragraphes suivants permettent de détailler chacune de ces étapes, de ressortir les problèmes et les conclusions lors de leur exécution. Cette description d'expérience vécue lors de la mise en place du SISE-BH permettra d'optimiser les prochaines implémentations de ce système dans d'autres villes.

5.2 Adaptation du modèle WMSM

Sur la base de l'analyse de la gestion de l'eau et un référencement des objets structurels, il a été possible de confronter le modèle WMSM avec la situation de la ville de Belo Horizonte. Ainsi, une adaptation a été réalisée afin de valider le modèle le plus exhaustivement possible.

5.2.1 Modifications et justifications

Sans entrer dans le détail de chacune des entités présentes dans le système d'information du système (pour plus de détails, consulter les données au sein du SISE-BH), quelques commentaires sur chacun des différents grands groupes ont été faits. Ils permettent de se donner une idée succincte des adaptations majeures réalisées par rapport au modèle de référence WMSM.

- **La ressource eau** : La plus grande ressource utilisée est l'eau de surface provenant des différents cours d'eau dans les alentours de la ville. L'eau souterraine est certes également importante, mais n'est pas exploitée surtout pour des raisons financières.
- **Les écosystèmes** : Il doit exister des écosystèmes aquatiques dans la ville, néanmoins aucune donnée ou valeur n'a pu être trouvée concernant ce domaine. Les limites naturelles liées à la ville sont 2 bassins versants qui représentent chacun environ la moitié de la surface de la ville. Ces bassins versants ont pour caractéristiques d'être très fortement urbanisés et d'avoir un relief accidenté.
- **Environnement humain** : Il existe de nombreux éléments structurels. Les principaux sont surtout les infrastructures liées à l'approvisionnement en eau potable et à l'évacuation des eaux usées et de drainage. Très peu d'équipements au fil de l'eau sont présents dans la ville, à part quelques stations de mesures. Les éléments liés à l'eau ont une relativement grande importance dans le contexte local. En effet, la gestion des déchets, les différents incidents liés à l'eau (inondation, érosion) et les consommateurs d'eau sont des éléments clés dans cet environnement.
- **Lois et politiques** : déjà partiellement développées dans le chapitre précédent (cf. chapitre 4), elles correspondent à un système bien étoffé qui régit, en tous cas en théorie, tout ce qui a rapport avec l'eau.
- **Les gens** : Sur la base des membres de la Learning Alliance (LA) pour la ville de Belo Horizonte, il a été possible de se faire une bonne idée des principaux acteurs dans la gestion de l'eau. Complété par certains autres qui sont apparus après coup, le panel obtenu pour ces entités est assez complet et recouvre bien tous les thèmes liés à l'eau.
- **Les fonds** : Dans un contexte de pays en voie de développement, ou émergent, les fonds proviennent d'une part des paiements des habitants pour le service d'eau potable et d'eaux usées, mais également des différentes banques mondiales de développement (World Bank (WB), Inter-American Development Bank (IDB), etc.).
- **Les développements et les études** : concernant le domaine de l'eau, les études et les développements sont pour l'instant assez limités. En effet, les travaux concernant par exemple les inondations, sont actuellement en cours d'élaboration. Seules les infrastructures structurelles liées à l'eau (bassin de rétention par exemple) font la plupart du temps l'objet d'études de la part du corps universitaire.

5.2.2 Difficultés rencontrées

La multitude d'acteurs à différents niveaux (fédéral, étatique et municipal) a fortement compliqué la compréhension des organes réellement influents sur la gestion de l'eau dans le contexte de la ville de Belo Horizonte. Certains acteurs, référencés par la Learning Alliance (LA), sont des associations (d'ingénieurs par exemple) qui n'ont aucun lien direct avec l'eau, leur influence est plus de l'ordre institutionnel. Vu leur relation trop lointaine du thème de l'eau, ils n'ont pas été pris en compte comme acteurs liés à l'eau. Les rencontres avec les acteurs de la gestion de l'eau de la ville ont permis de valider de façon efficace les modifications apportées au modèle WMSM dans le domaine de la gouvernance de l'eau. Elles ont également permis de connaître les installations liées à la gestion de l'eau présentes et utilisées pour la ville de Belo Horizonte.

De nombreux thèmes, tel que le développement et la gestion des déchets dans les zones défavorisées, ont des impacts importants sur la gestion de l'eau. Ces thèmes, moins courant au niveau européen, ne sont de prime abord pas toujours évidents à comprendre. Le thème des favelas (cf. box 1), résultant de la grande différence entre les pauvres et les riches, est une des préoccupations principales du gouvernement. D'autant plus que ce problème touche des problématiques très diverses telles que la santé, l'éducation, la sécurité et la pollution des eaux.

5.3 Mise en place des entités et des relations

Après avoir référencé la grande partie des entités présentes, ainsi que leurs interactions, le SISE peut ainsi être implanté par ces données. C'est à travers l'utilisation du programme SISE-BH, développé par Schenk et al., 2008, que cette opération a été réalisée. Une brève description de l'utilisation du programme se trouve en annexe 1.

Mis à part quelques problèmes de jeunesse de la part du programme, la mise en place s'est faite sans encombre.

Durant la mise en place des entités et des relations, un problème de la représentation graphique de l'information est apparu. En effet, le résultat est devenu très rapidement difficilement compréhensible. Il était particulièrement difficile de s'y retrouver, même pour la personne qui a mis en place le système. Une réflexion sur la représentation du diagramme de base a été faite et a abouti à une représentation basée sur le cycle de l'eau. (Plus de détails sur la réflexion en annexe 2).

La représentation graphique finalement obtenue correspond à la figure 13.

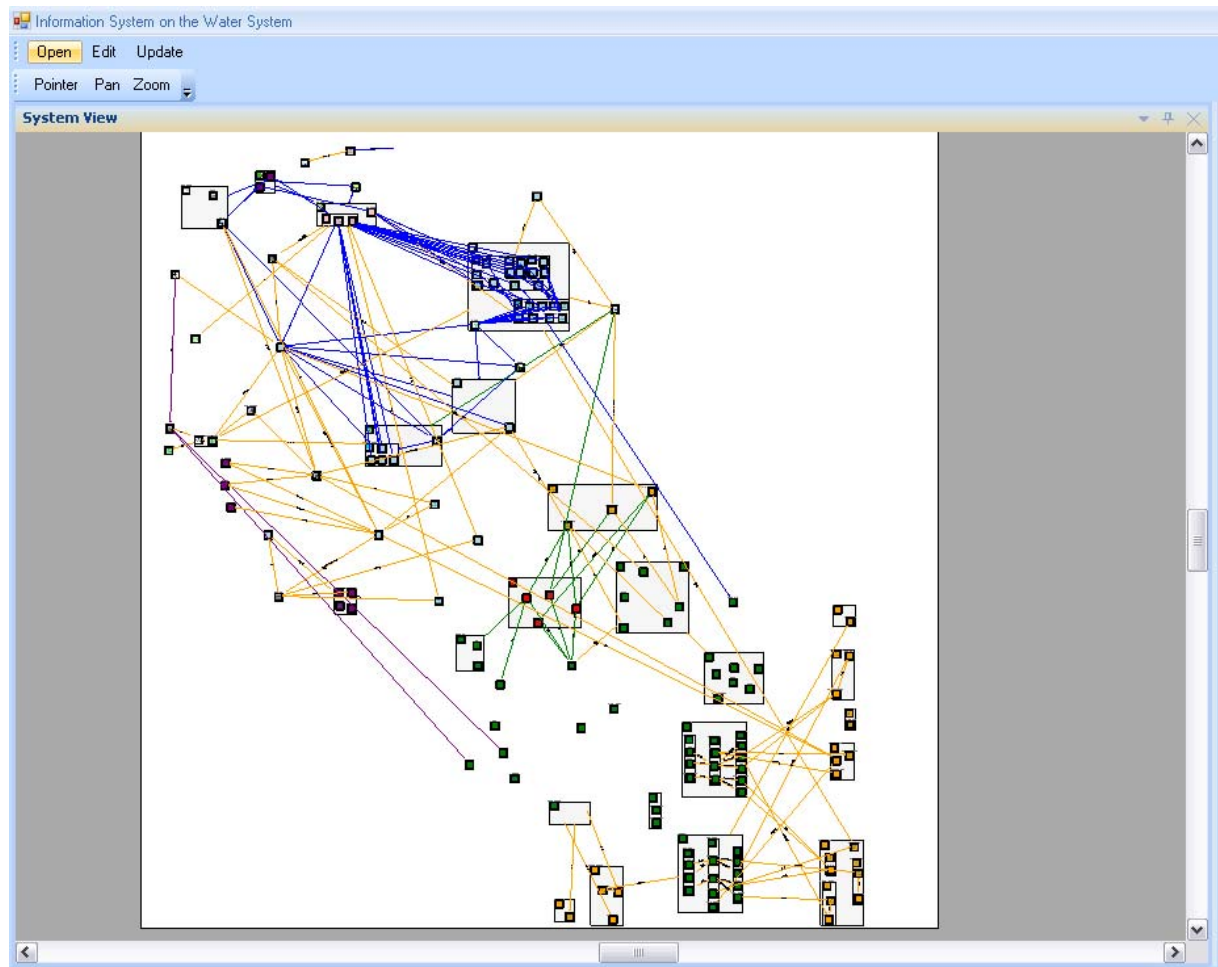


Figure 13 : Représentation des entités et des relations dans SISE-BH

La représentation n'est pas très claire, mais il est possible, à l'aide des couleurs de voir les différents cycles (l'eau en bleu, l'argent en vert, les données en violet). Les influences sont représentées par les flèches de couleur orange.

Néanmoins, ce n'est pas cette interface qui va être utilisée par l'utilisateur potentiel, par conséquent son aspect visuel ne présente pas une grande importance.

5.4 Récolte et implémentation des données

Les données, les plus exhaustives possibles, relatives à chaque entité et relation, ont été récoltées, puis insérées dans la base de données.

5.4.1 Récolte de données

5.4.1.1 Les types de données récoltées

Plusieurs types de données ont été considérés : des valeurs qualitatives, quantitatives, mais également des évaluations personnelles d'influence, de problématiques et des commentaires.

Tous ces différents types de données ont été soumis à une procédure de renseignement sur leur qualité et leur fiabilité. Il existe ainsi plusieurs méthodes pour permettre de quantifier ces renseignements sur les données. Les méthodes prévues d'être utilisées dans le cadre de ce travail sont les incertitudes et les matrices de pédigree.

- Les incertitudes peuvent être d'ordre statistique, si l'on connaît la moyenne et l'écart-type. Si, par contre, les incertitudes n'ont pas de valeur au sens des statistiques, l'incertitude peut être estimée par exemple par des fonctions à chapeaux.
- Les matrices de pédigree ont été développées par le NUSAP et permettent d'établir un diagnostic de l'incertitude dans les connaissances scientifiques. C'est un système de mesure et d'évaluation qui fournit une mesure intégrée de différentes formes d'incertitudes inhérentes à la production de connaissances scientifiques. Plus d'information sont disponibles sur la page Internet : <http://nusap.net/sections.php?op=printpage&artid=12>

Ce système de collecte de métadonnées n'a pas pu être appliqué, car le programme n'était pas prêt pour un tel raffinement. Afin d'avoir quelques informations sur les données, les sources de chaque donnée ont été conservées afin de pouvoir réaliser ce travail une fois la fonction développée. (Une liste complète des différentes sources utilisées pour l'obtention des données est disponible en Annexe 3).

5.4.1.2 La récolte de données en pratique

Les différents rapports SWITCH sur la ville de Belo Horizonte et le travail de master réalisé par César Lador l'année passée (2007) ont été utilisés comme support de base. Ces documents ont permis d'avoir une base de données globale, mais néanmoins sommaire dans certains domaines liés à la gestion de l'eau.

Certaines données, du type statistique, légal et politique se trouvent en ligne sur Internet. Ainsi, en navigant sur les différents sites officiels du Brésil, du Minas Gerais et de la ville de Belo Horizonte, ces données ont pu être collectées.

Guidé par les conseils avisés du Prof. Nilo de Oliveira Nascimento, l'approfondissement des données a pu être réalisé par diverses rencontres :

- Les données telles que les infrastructures de drainage, les mesures de pluviométrie et la qualité des eaux ont été obtenues grâce au contact avec la municipalité de Belo Horizonte, plus spécifiquement SUDECAP et le SMAMA. Cela a permis d'obtenir une partie de ces données, mais également de connaître les données en cours de réalisation ou inexistantes.
- Au niveau académique également, un grand nombre de travaux ont été réalisés dans divers domaines, tels que l'analyse de processus dans les STEP, le dimensionnement de bassins de rétention, la caractérisation des eaux souterraines, etc.
- Pour certains domaines spécifiques, comme l'eau virtuelle, où peu de données spécifiques à la ville de Belo Horizonte existent, des données pour le Brésil ont été récoltées sur la base de documents présents sur Internet.
- Une partie des données liées aux installations d'eau potable et usée, gérée par COPASA, est disponible sur leur site internet.

Ainsi en mettant en commun toutes les informations récoltées, il a été possible d'obtenir une base de données relativement complète sur les différents aspects de la gestion de l'eau pour la ville de Belo Horizonte.

5.4.2 Mise en place des données

Une fois les données récoltées et classées en fonction de leur appartenance, il a été possible de les implémenter dans le SISE-BH. Rappelons que ces données peuvent être aussi bien liées à une entité ou à une relation, si on a affaire à un flux par exemple (d'eau, monétaire, de données, etc.).

Pratiquement, la complexité et le temps nécessaires pour la mise en place des données par l'outil prévu à cet effet par le programme SISE-BH, ont influencé le choix de réaliser cette implémentation directement par les outils de la base de données Oracle. La figure 14 illustre la démarche d'implémentation des données.

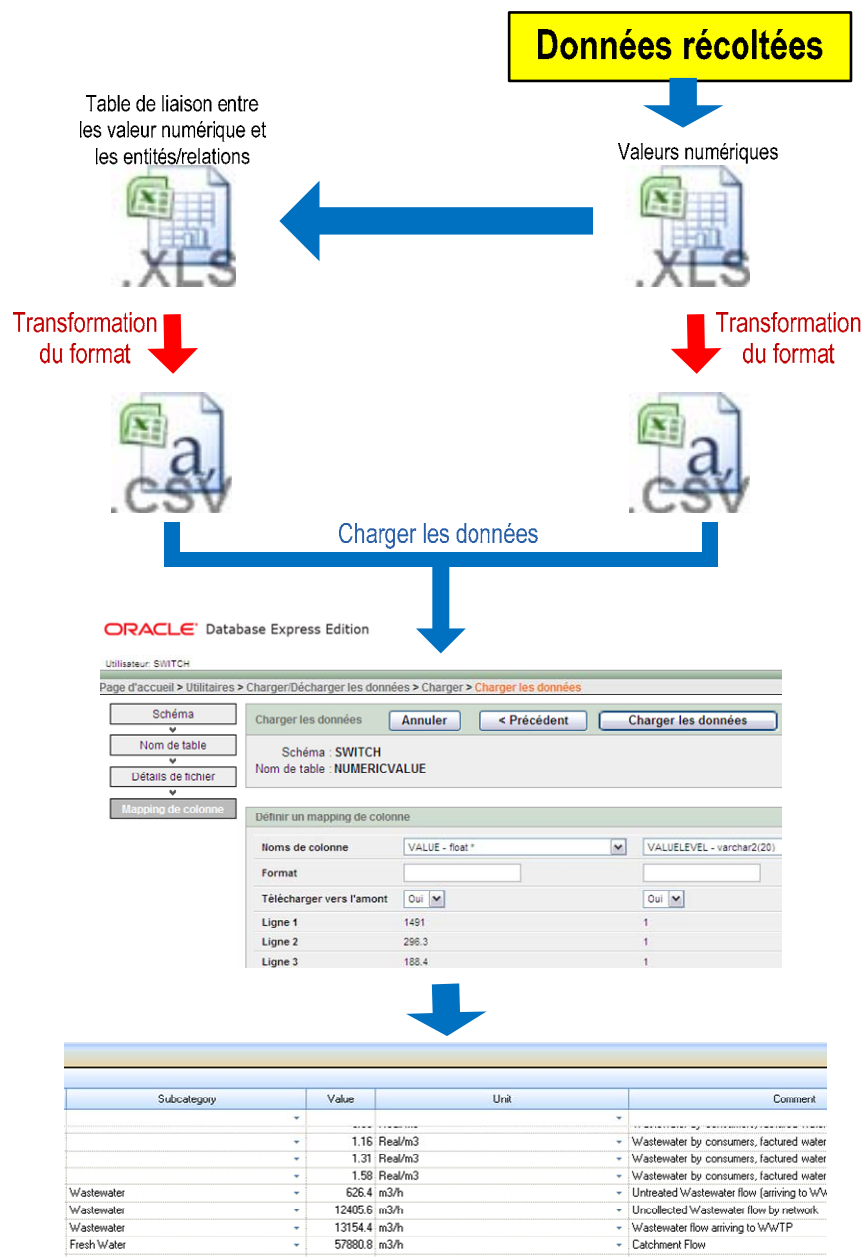


Figure 14 : Démarche d'implémentation des données numériques dans le SISE-BH

Afin d'utiliser cette démarche, différents fichiers Excel ont été créés pour chaque type de valeurs (numériques et textuelles) ainsi que les différentes tables qui lient ces valeurs aux entités ou aux relations. Après avoir vérifié que les colonnes correspondent bien avec celles des tables, il est alors possible de réaliser ce processus. Pour

finir, il est recommandé de vérifier si les données ont bien été implémentées dans la base de données Oracle. Lors de l'ouverture du SISE-BH, les données se trouvent donc directement à leur place et liées à leur entité respective.

Lors de la mise en place du SISE-BH, toutes les valeurs numériques et les différents commentaires ont été implémentés de cette façon.

Dans cette optique de mise en place des données, il faudrait fournir à l'administrateur une série de fichiers Excel qu'il aurait à remplir avec les données et qu'il pourrait ainsi directement implémenter dans la base de données. Néanmoins quelques notions en base de données sont requises pour ce genre de manipulation.

Un ordre dans la mise en place des données pourrait également apporter une certaine structure logique et serait plus facilement utilisable par une tierce personne. Dans cet exemple-ci, il a été déterminé que les valeurs liées au flux d'eau sont les ID⁴ de 200 à 300, les caractéristiques des infrastructures de 0 à 200, etc.

5.4.3 Difficultés rencontrées

La tâche de récolte des données s'est avérée plus ardue que prévu. En effet, de nombreuses entraves se sont posées lors de cette étape :

- Un manque de coordination entre les différents organes possédant des données a été constaté. En effet, il n'est pas rare de se faire renvoyer d'une personne à l'autre et n'obtenir au final aucune donnée. La patience et la ténacité pour l'obtention des données sont requises.
- Pour la ville de Belo Horizonte, de nombreuses données ne sont pas encore disponibles, mais devraient l'être d'ici quelques années. A titre d'exemple, pour les mesure hydrologiques, seule la pluviométrie est disponible, les mesures de débits des cours d'eau est planifiée mais n'est pour l'instant qu'à l'état de projet. La même situation se reproduit concernant les mesures de pollution des eaux de surface. Seules certaines zones de la ville (par exemple la région autour du lac de Pampulha) possèdent des mesures de pollution depuis quelques années. Ces mesures sont souvent le résultat d'une situation critique, où il était nécessaire de faire quelque chose.
- La disponibilité des données est très bonne au niveau académique comme au niveau de la municipalité (SUDECAP et SMAMA). Les données ont été obtenues sans aucun problème. Par contre, l'entreprise privée en charge de l'eau potable et des eaux usées, COPASA, a une tendance à donner les valeurs qui les arrangent. En effet, des données qui pourraient leur porter préjudice, comme le pourcentage d'eau usée qui n'arrive pas aux STEP par exemple, ne sont divulguées ni au public ni aux instances administratives. C'est en train de changer, mais le changement est lent.

5.5 Conclusion sur l'implémentation du SISE-BH

Sur la base de l'expérience vécue de la création du Système d'Information du Système pour la ville de Belo Horizonte (SISE-BH), il a été possible de faire des commentaires concernant la démarche ainsi que des conclusions d'ordre plus général.

⁴ ID correspond à l'identifiant unique de chaque donnée insérée dans SIS-BH.

Un certain nombre de commentaires ont pu être fait à des fins d'amélioration future de la démarche:

- Il serait intéressant d'avoir une liste des entités représentables sur le diagramme de base, ainsi que celles qui n'apportent rien d'intéressant à la représentation. Cette liste permettrait ainsi d'éviter de compliquer la compréhension du schéma pour une personne tierce, qui n'a pas mis en place cette base de données.
- Une liste des données vitales, que l'on pourrait appeler « de base », pour chacune des entités présentes dans le système permettrait d'assurer un minimum de résultats de visualisation après l'implémentation du SISE. Cela permettrait également d'aiguiller quiconque en charge de réaliser l'implémentation, dans la bonne direction et de connaître les personnes à contacter rapidement. En découlerait ainsi une optimisation du temps pour la mise en place et une forte diminution de chance de passer trop de temps sur des données qui pourraient de prime abord être vitales, mais qui ne le sont pas.

Par l'expérience vécue de la mise en place du SISE-BH, une méthodologie structurée faciliterait grandement le travail. Il est ainsi nécessaire de faire les choses par étapes. Commencer par la mise en place des entités structurantes. Dans le même temps il est également possible de mettre les liens qui rassemblent ces entités. Cette étape pratiquement finalisée, il est maintenant temps de réunir les données déjà collectées et d'affiner les recherches sur les données manquantes. La phase d'insertion des données peut ainsi commencer. Il est, d'après mon expérience, plus facile, pour se repérer, d'avoir un fichier Excel possédant toute les valeurs à insérer dans la base de données. Ce fichier permet ainsi de savoir ce qui a été inséré ou pas, mais également de connaître les valeurs manquantes.

La vision holistique de la gestion de l'eau est très vaste. Il est ainsi important de définir une limite claire du système. En effet, l'eau est un élément central qui est lié, et ceci encore plus dans les pays du sud, à de nombreuses problématiques dans des domaines les plus divers, allant de la santé à l'habitation, passant par les dangers naturels et l'éducation. De ce point de vue, il est ainsi difficile de représenter une vision holistique exhaustive, comprenant vraiment toutes les parties qui ont un lien, même éloigné, avec la gestion de l'eau.

Lors de cette analyse et de la mise en place de cette base de données, une question récurrente revient. A savoir « Où s'arrête la vision holistique de la gestion de l'eau ? ». Tant de questions sont liées à l'eau qu'au final tout devrait rentrer en ligne de compte. L'exemple le plus simple est la problématique des favelas, pour lesquels tous les domaines sont irrémédiablement liés.

Ainsi, durant ce processus de modélisation, il y a eu des choix à faire de façon arbitraire. Ces choix ont été nécessaires afin de cibler la vision du thème de l'eau. De toute façon, tout processus de modélisation de la réalité implique une simplification de celle-ci de façon plus ou moins arbitraire. Cette caractéristique générale des modèles doit être prise en considération lors de son application à des fins d'aide à la décision.

6 Application du système d'information du système eau

Une fois la base de données implémentée par les entités, les relations, les valeurs numériques ainsi que les commentaires, il est possible d'utiliser cette base de données à des fins de visualisation.

Une finalité est la création de vues thématiques. On entend par vue thématique, une sélection d'entités et de relations afin d'obtenir une visualisation spécifique d'un flux ou d'une problématique. Les problématiques sont spécifiques à chaque ville et permettent ainsi de les aborder par une approche holistique.

Afin d'illustrer ceci de façon plus concrète, plusieurs exemples vont être développés par la suite. Plusieurs thématiques vont être abordées, à savoir les flux d'eau et d'argent, mais également les majeures problématiques de gestion de l'eau présentes à Belo Horizonte.

6.1 Les flux

A l'aide de l'interface du SISE-BH, il est possible de réaliser des cartes thématiques pour différents flux. Différents types de flux existent : le plus important, également le plus complexe, est le flux d'eau. D'autres flux, tels que les flux de données, les flux monétaires et les flux énergétiques peuvent également être représentés. Il est également possible de définir des flux spécifiques pour certaines villes, par exemple pour Belo Horizonte, les flux de déchets ont une influence sur la gestion des eaux. Ils rentrent d'une part dans la pollution des eaux de surface par ruissellement, mais surtout dans l'obstruction du réseau de drainage des eaux de pluie, ce qui augmente le risque d'inondation.

Dans le cadre de ce travail, les flux d'eau et monétaires sont développés.

6.1.1 Les flux d'eau

Les flux d'eau correspondent à tous les transferts d'eau entre les différentes entités. Les flux de d'eau sont composés de deux cycles, le cycle naturel de l'eau et le cycle d'alimentation en eau potable.

A travers le SISE-BH, il est possible d'obtenir la représentation suivante (figure 15).

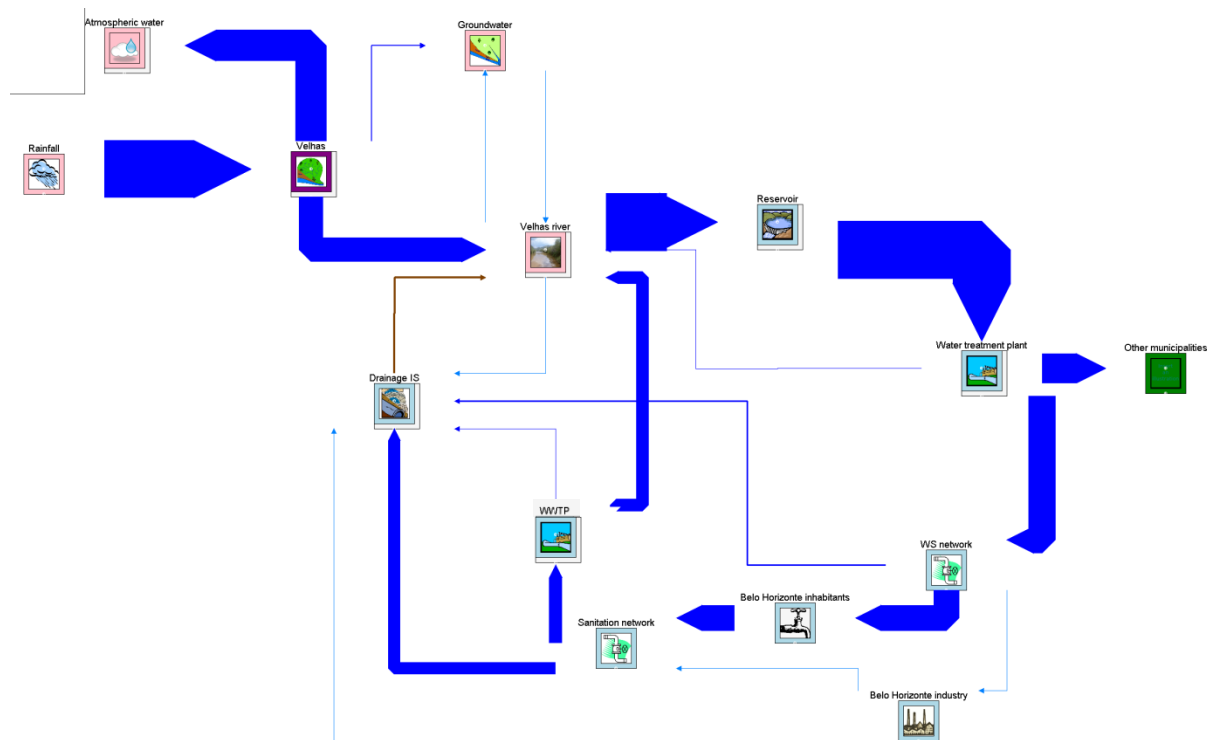


Figure 15 : Les flux d'eau représentés par SISE-BH ; (plus grand en A3 en annexe 5)

Sur la base de ce schéma, on peut arriver aux analyses suivantes.

Concernant le cycle de l'eau, on constate un grand apport d'eau sous forme de pluie. Une fois arrivée au sol, plus de la moitié s'évapore et le reste ruisselle dans les divers cours d'eau. L'infiltration dans le sol est assez faible. Elle s'explique surtout par une très forte urbanisation de la ville de Belo Horizonte, mais également par des types de sol ayant une conductivité hydraulique faible.

Pour le cycle lié à l'eau de consommation, on constate que de grosses quantités sont captées pour alimenter les besoins en eau de Belo Horizonte et de sa région métropolitaine. On observe que, lors du passage des eaux de surface à destination des consommateurs, les pertes d'eau sont assez faibles. L'efficacité du réseau d'approvisionnement en eau potable est bonne.

En ce qui concerne les eaux usées, les conclusions sont moins bonnes. En effet, on observe que plus de la moitié des eaux usées collectées n'arrive jamais à la STEP. La valeur exacte du pourcentage d'eau qui va dans les réseaux de drainage n'est pas connue (le ministère de l'environnement du Minas Gerais (IGAM) a fait cette demande à COPASA ces derniers mois, et pour l'instant aucune valeur n'a été publiée). Ce faible pourcentage s'explique principalement par le manque de canalisations des eaux usées, surtout les gros canaux collecteurs. Les spécialistes estiment à environ 56% de canalisations manquantes (Nascimento et al (2007a)). Ce transfert d'eaux usées dans le réseau de drainage de la ville pose de nombreux problèmes de pollution des eaux et d'obstruction des infrastructures de drainage.

6.1.2 Les flux monétaires

Les flux monétaires correspondent au transfert d'argent lié soit à la taxation liée à l'eau, soit au prêt ou subvention de la part d'organisations institutionnelles. La finalité des flux monétaires, pour le domaine de l'eau,

correspond à leur investissement dans des infrastructures ou aménagements d'équipements lié à l'eau (eau potable, eaux usées, drainage, etc.)

A travers le SISE-BH, il est possible d'obtenir la représentation suivante (figure 16).

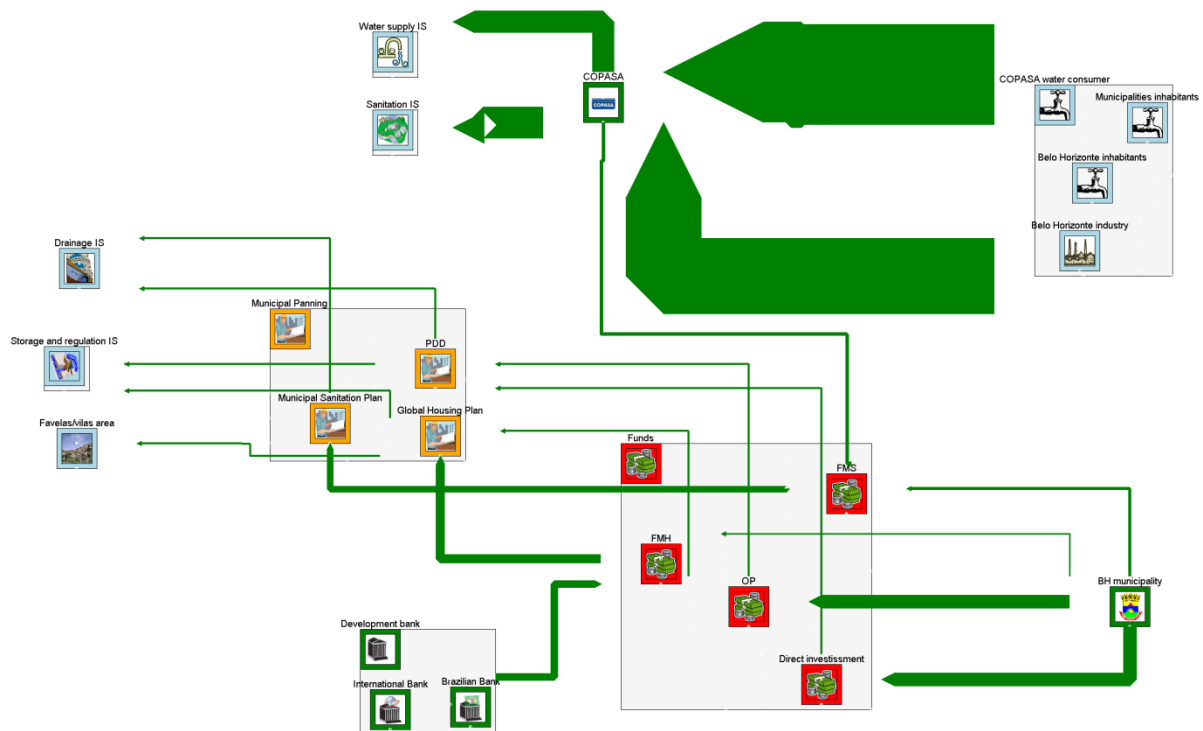


Figure 16 : Les flux monétaires représentés par SISE-BH ; (plus grand en A3 en annexe 5)

La première constatation est la différence de budget entre la municipalité de Belo Horizonte et l'entreprise privée COPASA. On voit bien que les investissements pour les infrastructures de COPASA sont nettement plus importants que ceux pour les infrastructures de drainage de la ville. Cette différence s'explique par le fait que l'entreprise COPASA fournit ses services à de nombreuses villes dans l'état du Minas Gerais. La municipalité de Belo Horizonte, au vu de la taille de sa population, correspond environ à 40% du chiffre d'affaire de l'entreprise.

Cette différence de budget entre la municipalité et COPASA explique pourquoi le système du réseau d'eau potable est efficace et que les principales STEP sont très récentes. Tandis que les travaux liés au drainage, géré par la municipalité, sont plus lents et les aménagements sont aussi plus sommaires.

Concernant les budgets municipaux, on peut constater que le budget le plus important est destiné au développement des quartiers de favelas et de vilas, qui est d'ailleurs la problématique principale des grandes villes brésiliennes (cf. box 1).

6.2 Les problématiques

Les problématiques à long terme de la gestion des eaux urbaines pour la ville de Belo Horizonte ont été déterminées dans le cadre du projet SWITCH. Sur la base des documents de Nascimento et al., 2008a, il a été possible de déterminer les principales problématiques liées à l'eau pour la ville. Les problématiques sont les suivantes :

- Dégradation de qualité et de quantité suffisante de l'eau potable.
- Conflits liés aux différentes utilisations de l'eau.

- Altération du système due au vandalisme, terrorisme, ou action criminelle.
- Pollution diffuse, chronique des eaux sortant du système (pluies et eaux usées).
- Augmentation du coût avec le temps.
- Gestion des déchets avec une plus ou moins forte influence sur la contamination des eaux de surface et de sous-sol.
- Manque de maintenance et d'infrastructures pour les réseaux d'eaux (usées, drainage et potable).
- Accidents liés aux désastres naturels : inondation, érosion et feu.

Toutes ces problématiques n'ont pas le même niveau de préoccupation. Après discussion avec les parties concernées, il a été possible de déterminer les problématiques les plus importantes : la gestion des déchets, le manque d'infrastructures, les inondations, l'érosion, la pollution diffuse et chronique des eaux sortant du système. Ainsi, il est intéressant de représenter ces différentes problématiques avec l'outil mis en place.

Box 1: Les problèmes d'habitation à Belo Horizonte

Un quart de la population de la ville de Belo Horizonte environ vit dans des vilas et favelas. Ces quartiers pauvres ont des situations extrêmement précaires en matière de logement, principalement en raison de la pénurie de services de base comme les routes, les égouts, la collecte de déchets, et le drainage des eaux pluviales. De graves problèmes d'insécurité s'ajoutent encore aux nombreux problèmes déjà présents.

Au vu du non accès de terres constructibles aux populations les plus pauvres, celles-ci ont envahi des terres non constructibles en théorie. Ces terres, impropres à l'établissement, sont, par exemple, des plaines inondables ou des zones à risques géologiques. C'est la croissance et la densification du réseau urbain qui a conduit à cette série de constructions illégales dans des zones inconstructibles.

Cette problématique est l'une des principales de la ville Belo Horizonte, problématique que l'on retrouve dans la majeure partie des grandes villes brésiliennes. La grande quantité de ressources financières nécessaires pour résoudre ce problème fait supposer que sa résolution aura besoin de plusieurs décennies.

Elle est le résultat de la pauvreté d'une partie de la population lié à une forte inégalité entre les riches et les pauvres. La création de favelas, la mendicité et l'insécurité sont des signes visibles au quotidien de cette forte inégalité.

A l'heure actuelle de nombreux efforts, à travers des programmes d'éducation, d'urbanisation, etc., sont réalisés dans les zones les plus pauvres. Mais cette problématique est très complexe et a des répercussions dans tous les domaines : l'eau n'y échappe pas.

(Source : Papiri et Silvano Raverai, 2005)

6.2.1 Les inondations

De nombreux facteurs naturels, sociaux et infrastructurels sont responsables des phénomènes d'inondation :

- La topographie accidentée et la climatologie tropicale (très fortes intensités de pluies) de la ville de Belo Horizonte donnent des conditions plus propices aux phénomènes d'inondation.
- L'impact des nouveaux aménagements provoquent une augmentation de l'imperméabilisation du sol.
- L'augmentation de l'occupation des zones inondables, inconstructibles officiellement, par des personnes pauvres augmentent les risques d'inondation. Mise à part l'emplacement, les constructions réalisées sont plus sommaires, donc plus vulnérables à ces phénomènes.

- Les infrastructures liées au drainage ont été sous-dimensionnées lors de leur conception, principalement par manque de mesures et par l'utilisation de modèles de dimensionnement trop simplifiés.
- L'obstruction du réseau de drainage par des sédiments ou des déchets diminue l'efficacité du réseau de drainage.

Au vu des nombreux facteurs influençant les risques d'inondation, la ville de Belo Horizonte subit plusieurs inondations, toujours localisées dans les mêmes zones chaque année (figure 17). Une étude sur la problématique est en cours au niveau de la municipalité, par l'intermédiaire de SUDECAP, afin de réaliser une carte des risques pour la ville.



Figure 17 : Une inondation du Ribeiro Arrudas en ville de Belo Horizonte ; Source : Nascimento et al., 2007a

Ces études devraient permettre de pouvoir cibler les travaux en vue d'une amélioration de la gestion de ces phénomènes. L'accroissement de la population a aussi un impact sur l'occurrence des inondations. En effet, il a été observé une augmentation du nombre d'inondations lors de ces dernières années, cette augmentation possède une forte corrélation avec l'accroissement de population (Nascimento et al., 2008a).

Cette problématique a pu être représentée à l'aide du système SISE-BH (figure 18).

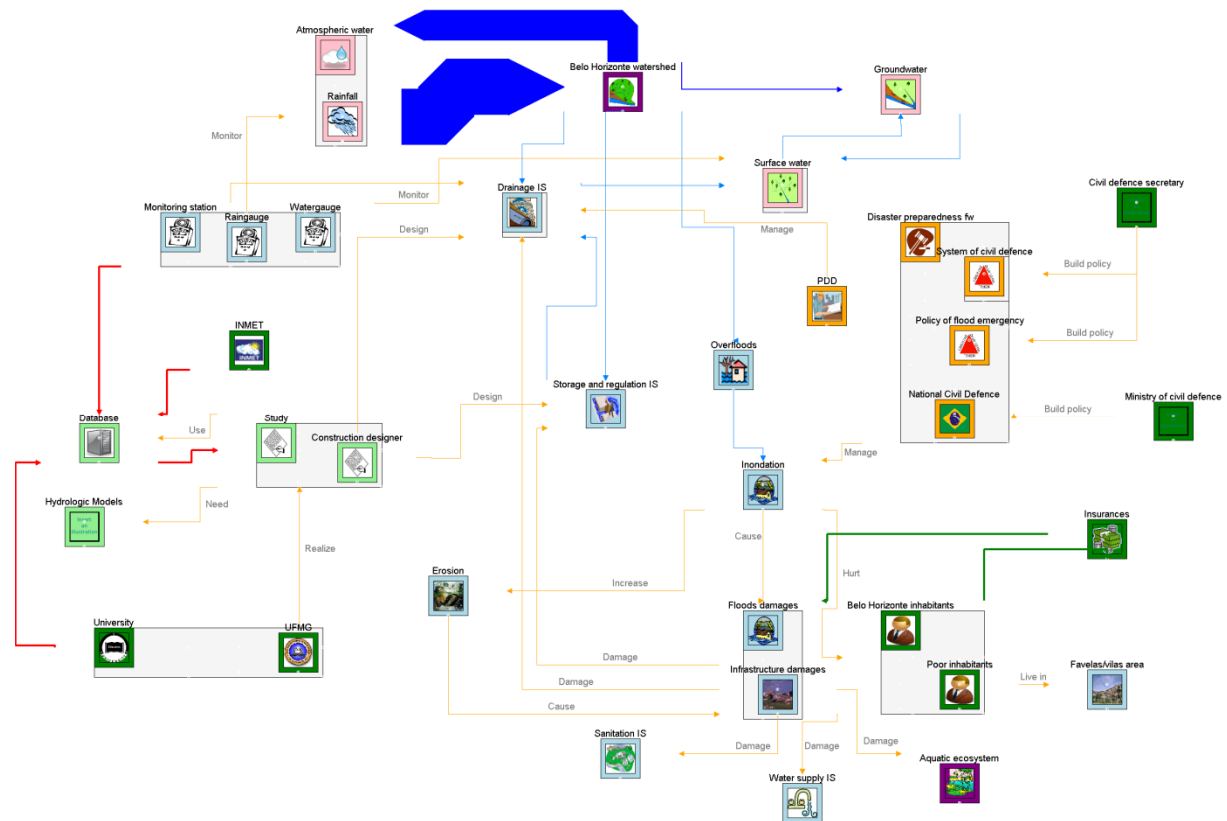


Figure 18 : Problématique des inondations pour la ville de Belo Horizonte représentée par SISE-BH ; (plus grand en A3 en annexe 5)

6.2.2 L'érosion

Dans environ 70% du territoire de la municipalité, les sols sont silto-sableux et sableux. Ces sols sablonneux sont principalement présents dans les zones où la topographie est accidentée. Cela favorise donc l'apparition des processus d'érosion (figure 19). Ces phénomènes sont souvent aggravés par le fait que c'est précisément dans les zones à relief accidenté que sont concentrées les favelas. La construction incontrôlée des favelas implique une élimination complète de la végétation. Donc, après construction, le sol est exposé directement aux pluies et sa vulnérabilité au processus d'érosion est très élevée. Les surfaces imperméabilisées ont aussi une influence sur ce phénomène : en effet les eaux qui ruissellent atteignent des vitesses élevées et possèdent donc une plus grande force érosive.



Figure 19 : Erosion en milieu urbain à proximité du bassin de rétention de Santa Lucia (avant sa construction) ;
Source : Nilo de O. Nascimento, 2006 : Présentation de la perception et mémoire du risque hydrologique.

Les phénomènes d'érosion créent un transport solide, qui se retrouve dans les fonds de la vallée et dans les cours d'eau canalisés. La production de sédiments génère l'envasement des sections du réseau de drainage, avec réduction de la capacité des conduites, des rivières canalisées et la diminution des volumes de stockage des bassins de rétention. Le cas du lac de Pampulha en est un exemple flagrant. (Papiri et Silvano Raverai, 2005)

6.2.3 La gestion des eaux usées

Avec 4 STEP, dont deux (STEP de l'Arrudas et de l'Onça) possédant une grosse capacité et des technologies récentes, le potentiel de traitement des eaux usées de la ville de Belo Horizonte est bon. Mais le principal problème est le manque de canalisation du réseau des eaux usées. En effet, un manque de plus de la moitié des canalisations (env. 56%) du réseau de drainage est à déplorer (Nascimento et al., 2008a). D'autant plus que c'est souvent les grosses canalisations devant récupérer l'eau usée qui manquent. Ce qui implique donc un grand flux d'eaux usées dans le réseau de drainage, principalement dans les cours d'eau canalisés de la ville. Il s'ajoute encore les rejets illégaux de populations, souvent les plus pauvres, qui ne sont pas informées, et surtout ne possèdent pas les moyens de payer les services d'assainissement des eaux. Cette absence de grosses canalisations des eaux usées et les rejets illégaux influencent donc fortement la qualité des eaux des cours d'eau dans la ville, mais aussi de ceux en aval.

La pollution diffuse provenant de diverses origines (ruissellement des pollutions dues au trafic automobile, rejets illégaux de produits nocifs (huile, essence, produits chimiques,...), etc.) n'améliore pas la situation et s'ajoute encore à cette dégradation déjà élevée des cours d'eau urbains.

Cette problématique a pu être représentée à l'aide du système SISE-BH (figure 20).

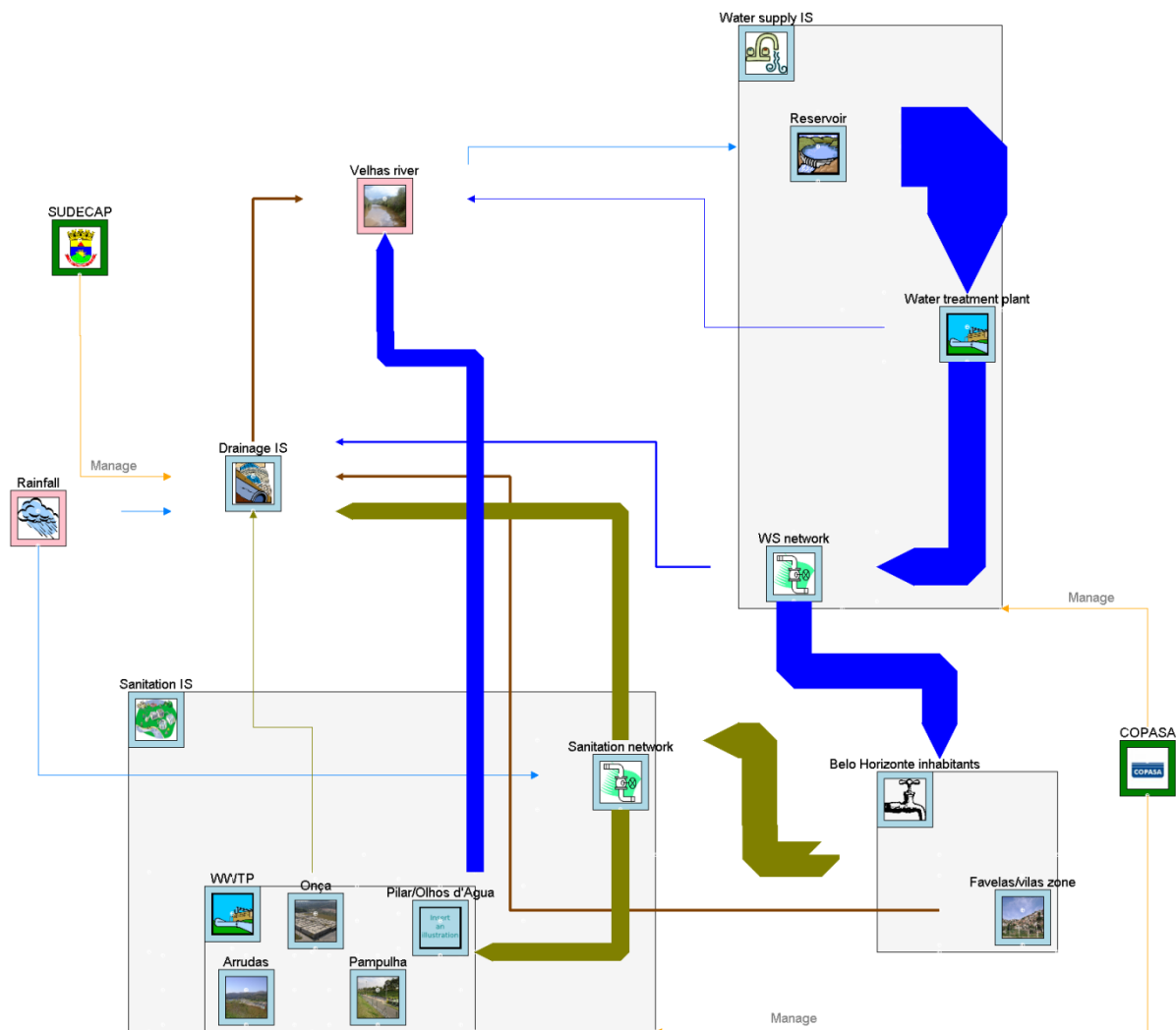


Figure 20 : La problématique de la gestion des eaux usées représentée par SISE-BH ; (plus grand en A3 en annexe 5)

6.2.4 La gestion des déchets

Pour une grande partie de la population, les déchets sont collectés et traités par la municipalité, à travers l'organe SLU (Superintendencia de Limpeza Urbana). Mais quelques quartiers (vilas et favelas) ne sont pas desservis par ces services. Les déchets se retrouvent alors dans des décharges informelles. On retrouve également dans certains coins de rues ce même genre de tas d'immondices.

Non ramassés, ces déchets sont, durant la période des pluies, emportés par les flux d'eau torrentielle dans le réseau de drainage (figure 21). Il survient, par conséquent, une diminution du volume des canaux drainage et une pollution des eaux transitant dans ces canaux.



Figure 21 : Déchets piégés dans le réseau de drainage de la ville de Belo Horizonte ; Source : Nascimento et al., 2007a

Les déchets collectés par la municipalité se retrouvent dans une décharge municipale. Bien que possédant une couche imperméable l'isolant les eaux souterraines, il reste néanmoins, dans la décharge municipale, les eaux de lixiviats. Ces eaux, en quantité faible certes, mais possédant une forte charge de pollution, finissent par rejoindre le réseau hydrographique de la ville. Ainsi, elles participent à la pollution des cours d'eau de surface. Néanmoins des études de station de traitement de ces eaux sont en cours de réalisation dans le but de diminuer l'apport en polluant de ces eaux.

Cette problématique a pu être représentée à l'aide du système SISE-BH (figure 22).

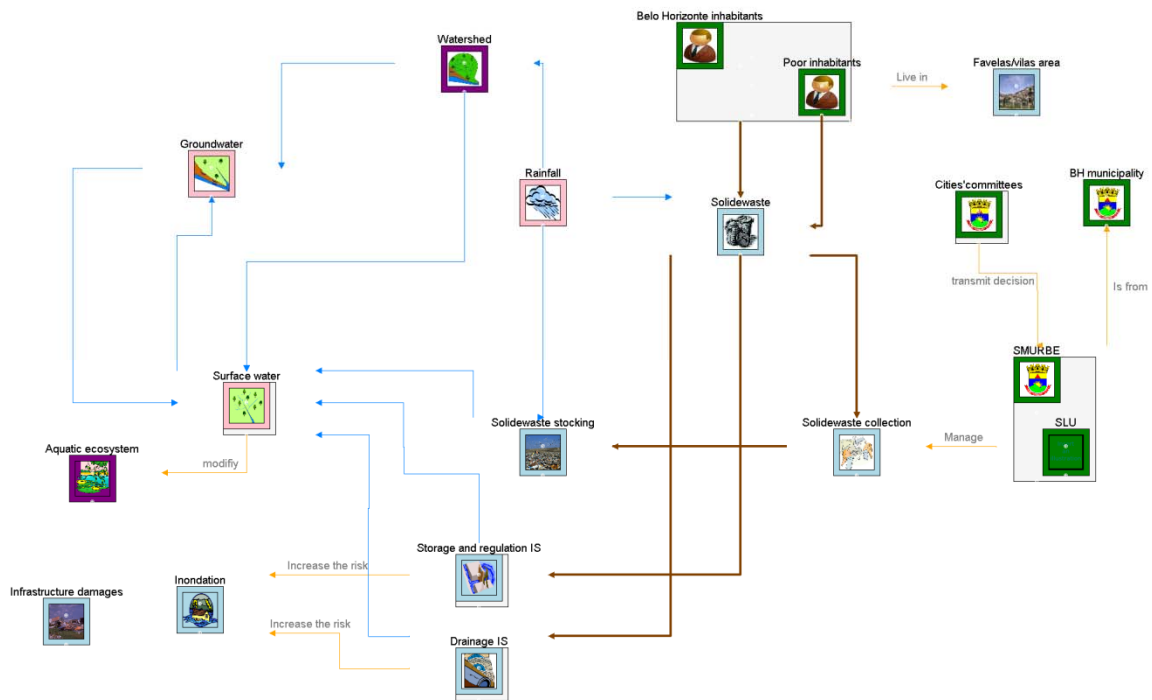


Figure 22 : La problématique de la gestion des déchets représentés par SISE-BH ; (plus grand en A3 en annexe 5)

6.3 Validation des résultats

Ces différentes cartes réalisées avec le SISE-BH ont été réalisées sur la base de l'implémentée réalisée précédemment. Un processus de validation, par les personnes clés des résultats obtenus avec le programme, a été réalisé. En effet, afin de pouvoir confronter le résultat obtenu du programme avec la réalité, les différents schémas des flux et des problématiques ont été soumis à un groupe d'experts⁵.

Cette étape a également permis de démontrer les capacités de l'outil en développement ; et de pouvoir, par la même occasion, juger de son intérêt pour des futurs utilisateurs potentiels futurs de cette application.

6.4 Piste de solutions

Papiri et Silvano Raverai, 2005 ont établi, sur la base d'un diagnostic, des propositions d'amélioration et des conclusions sur les différentes problématiques.

Pour les inondations, la première conclusion est une approche par sous-bassins. De nombreuses actions ont été proposées afin d'avoir une meilleure gestion :

- Identifier les zones sujettes aux inondations avec leur fréquence et leurs niveaux de risque.

⁵ Le groupe d'experts est composé de :

- Nilo de Oliveira Nascimento, UFMG.
- Sonia Knauer, SMAMA (Prefecture de Belo Horizonte).
- Pedro Heller, SUDECAP (Prefecture de Belo Horizonte).

- Etablir un système de surveillance et d'alerte, complété par des modèles appropriés de prévision des événements critiques de pluie, de mesure des précipitations et de quantification des inondations.
- Améliorer le système de gestion des situations d'urgence, associé à ces événements, avec un système d'alerte et de mise en sécurité des personnes et des installations.
- Mettre en œuvre et gérer les travaux de retenue et de diminution des inondations : bassins de rétention, bassins de captage des eaux pluviales, etc.
- Revitaliser les cours d'eau lorsque cela est possible.

Pour les problèmes liés aux eaux usées, la problématique est plus complexe. Le modèle de traitement des eaux usées est basé sur un système séparatif. Le traitement des eaux usées est fait de façon centralisée par deux grandes STEP en dehors de la ville. Le grand problème réside dans le fait qu'il faut pour qu'un tel système fonctionne bien, avoir un réseau de canalisations des eaux usées avec un minimum de lacunes. Au vu des lacunes dans le réseau de la ville de Belo Horizonte, de gros investissements sont à faire dans la construction des collecteurs afin d'arriver au modèle prévu. Cette tâche s'annonce d'ores et déjà très onéreuse, compliquée, car, par exemple, dans les favelas, il est techniquement très difficile de construire ce type de système. Néanmoins des propositions ont été faites :

- les intercepteurs devraient être conçus de manière à ce qu'à l'avenir, la première partie de l'eau de pluie, la plus polluée, pourrait également arriver aux STEP.
- Les stations d'épuration devraient être conçues en tenant compte de la réalité, et, dans un avenir proche, elles pourraient être également utilisées pour traiter la première partie de l'eau de pluie.
- Un niveau de traitement requis pour l'assainissement des eaux usées devrait être défini. La planification devrait répondre aux objectifs de qualité environnementale à atteindre par les différentes masses d'eau.
- Le réseau pluvial de microdrainage, qui actuellement est éliminé sans aucun traitement, devrait être acheminé vers des dispositifs de stockage et pouvoir recevoir un traitement.
- Dans les zones actuellement non desservies, dû à l'étalement urbain, le choix du système de collecte des eaux usées (unique ou séparatif) ne devrait pas être effectué conformément à la loi, mais selon les caractéristiques de la région: prédominance de ménages ou d'industries, quantité des eaux usées et d'eau potable, caractéristiques environnementales des milieux récepteurs, etc.

Pour la gestion des déchets, c'est principalement des efforts de gestion et de mise en place d'un système encore plus efficace de collecte qui permettraient d'améliorer la situation. Certaines propositions peuvent être faites :

- Une phase de sensibilisation de la population à cette problématique peut être importante.
- L'aménagement d'infrastructures de collecte de déchets dans les quartiers non encore pourvus pourrait apporter des améliorations dans le pourcentage de déchets ramassés.
- L'installation d'emplacements pour ces décharges informelles, ramassés de façon régulière, permettrait également de diminuer l'impact de cette problématique.

Pour l'érosion, la principale solution réside dans un aménagement des zones à fort potentiel érosif. L'urbanisation des zones de favelas, où se trouve la grande partie des zones d'érosion, est la clé pour limiter ce phénomène. De nombreux aménagements, par des géotextiles par exemple, peuvent limiter les risques d'érosion de ces

zones. Des mesures en aval, telles que des décanteurs sur les cours d'eau fortement chargés en sédiments permettraient d'avoir un fort impact sur les conséquences dues à l'érosion.

Depuis la mise en place de la loi du 1^{er} janvier 2005, il y a eu une modification dans la politique d'appréhension de la gestion de l'eau et des risques qu'elle peut encourir envers la population. L'implémentation du plan directeur de drainage et du plan municipal d'assainissement a permis de prendre en considération toutes ces problématiques et leurs solutions afin. Mais ces plans ne sont pour l'heure pas encore terminés. A titre d'exemple, le programme DRENURBS, qui est un projet d'assainissement des cours d'eau, comporte des propositions de dépollution des cours d'eau, de gestion des risques d'inondations, d'érosion, etc., de développement du réseau d'évacuation des eaux usées et de régularisation des routes et des habitations.

Toutes ces pistes de solutions sont certainement très justes et très intéressantes, mais afin qu'elles puissent être mises en pratique, l'argent reste toujours une condition essentielle. Le manque de moyens et les investissements pharaoniques nécessaires pour arriver à un résultat intéressant montrent le dilemme dans lequel les autorités se trouvent.

7 Enseignements et conclusion

La mise en place d'une vision holistique de la gestion de l'eau pour la ville de Belo Horizonte a été possible grâce à l'analyse de la gestion de l'eau, de l'implémentation du système d'information du système eau (SISE-BH), puis de la création des différentes vues thématiques. Ce processus de développement a permis d'arriver aux conclusions suivantes.

L'approche systémique de la gestion de l'eau a permis d'atteindre ses objectifs. La création du SISE-BH a permis d'obtenir des résultats, en réalisant des vues thématiques. Elles présentent une approche multisectorielle des problématiques. Ces vues fournissent une approche différente aux autorités qui gèrent l'eau de la ville. Elle permet ainsi à coup sûr de prendre en considération tous les enjeux.

Afin d'avoir un outil efficace pour la prise de décision, il est nécessaire de disposer d'une grande quantité de données dans des domaines très divers. Cette caractéristique est à prendre en compte, car, dans beaucoup de pays, surtout ceux du sud, de nombreuses données ne sont pas disponibles. Comme les pays du sud sont les plus confrontés aux problématiques liées à l'eau, ils sont les plus susceptibles d'utiliser ces développements. Il faut tenir compte de cet état de fait lors du développement de ce genre d'outil. Des difficultés comme le manque d'organisation et de coordination intersectoriel, et le manque de coordination institutionnelle au sein des différents échelons de l'administration compliquent d'autant la mise en place d'un tel instrument.

L'analyse de la gestion de l'eau de la ville de Belo Horizonte réalisée par un œil extérieur a été une approche intéressante pour les acteurs locaux. Elle a permis d'avoir une vue critique de la situation locale et de partager les connaissances et les expériences dans ce domaine.

Plus spécifiquement pour le SISE-BH, mis en place lors de ce travail, les acteurs locaux paraissent intéressés par les résultats qu'ils pouvaient obtenir (vues thématiques). Il est nécessaire de souligner que les pays du sud sont plus réceptifs à ce genre de développement, car les problèmes de gestion de l'eau sont plus conséquents que dans les pays du nord. Par contre, le concept d'approche holistique de la gestion de l'eau est encore très récent. Le changement d'un type de gestion sectorielle à multisectorielle va être progressif et sa mise en place sur le terrain va encore prendre quelques années, voir des décennies.

Afin d'obtenir de bons résultats, il est nécessaire d'investir du temps et de l'argent pour la finalisation du SISE-BH et sa mise à jour pour le futur. Cette mise à jour est l'élément clé qui va permettre d'avoir un système complet et utilisable pour la prévision de scénarios futurs. L'envie d'investir du temps et de l'argent reste la question primordiale pour la pérennité de cet outil.

Tous ces développements peuvent apporter des solutions durables pour la conservation de la ressource eau. Mais dans le contexte de l'hémisphère sud, il faut toujours garder en tête de ne pas trop comparer avec l'hémisphère nord. Le contexte local est bien différent et doit être pris en compte sérieusement lors de l'implémentation de toutes sortes d'outils, de politiques, de projets, etc. Il faut savoir que la préoccupation locale principale est de permettre à la population de manger, de boire et d'avoir un logement, ce qui est encore loin d'être le cas au Brésil.

8 Sources

Articles scientifiques :

SCHENK, C., SOUTTER, M., ROQUIER, B. AND MERMOUD, A. (2008a), Towards an information system on the water system, 2nd SWITCH Scientific Meeting, Tel-Aviv, 11p.

SCHENK, C., SOUTTER, M., ROQUIER, B. AND MERMOUD, A. (2008b), A system model for water management. Environmental Management, Accepted, EPFL, Lausanne, Switzerland, 11p.

GWP (2000), La gestion intégrée des ressources en eau. Partenariat mondial pour l'eau - Comité Technique Consultatif (TAC), Stockholm, Suède, 76 p.

SMITS, S.J., NASCIMENTO, N.O., JANISE DIAS, J., NUNES, T., KNAUER, S. (May 2008), Governance of urban environmental sanitation: a case from Belo Horizonte, Brazil, Belo Horizonte, Brazil, 24 p.

SCHENK, C. (2008c), Storyboard: Using the Combined Water Information System (CWIS) as a discussion and decision support in IWM: An illustration through a fictitious case study featuring flooding problems, EPFL, Lausanne, 25p.

NASCIMENTO, N.O, HELLER, L, BAPTISTA, M, HELLER, P., CHERNICHARO, C, KNAUER, S. AND J.R. CHAMPS (2007a) *Long-term uncertainties and potential risks to urban waters in Belo Horizonte*. Paper presented at SWITCH Scientific Meeting, 9-10 Jan 2007, Birmingham, UK, 38p.

NASCIMENTO, N.O., KNAUER, S., CHAMPS, J.R. (2007b), Urban Storm Water Management in the Belo Horizonte area: legislative and strategic structures, Belo Horizonte, Brazil, 19p.

PAPIRI, S., SILVANO RAVERAI, S. (2005), Acordo de Cooperação Interinstitucional Hydroaid-Ministério das Cidades; Gestão do território e das águas pluviais urbanas : Cidade de Belo Horizonte (MG), Belo Horizonte, Brazil, 64p.

CHAMPS, J.R., AROEIRA, R. AND NASCIMENTO, N.O. (2005), Serviço municipal de drenagem pluvial: dados gerais, situação atual e perspectivas para futuro desenvolvimento, Belo Horizonte: SUDECAP.

Dossier :

CÉSAR LADOR, (juillet 2007), Gestion de l'eau a Belo Horizonte (Brésil) : état des lieux et implémentation de l'outil SIG SMURF (système de monitoring urbain fonctionnel), Travail de Master, HYDRAM, EPFL, Lausanne, Suisse, 67p.

Articles :

SWITCH, (page consultée le 12.03.2008), Executive summary, [en ligne], Adresse URL : <http://www.switchurbanwater.eu/>.

NICOLAS TURENNE, INRA, (page consultée le 10.03.2008), Présentation sur Intelligence Artificielle, [en ligne], Adresse URL : http://genome.jouy.inra.fr/~turenne/cours/CoursIA_intro_sup.pdf.

CHEF D'ESCADRON FRÉDÉRIC BOUDIER (gendarmerie nationale, France, 14e promotion du CID) (2007), L'eau au Brésil. Les paradoxes de l'abondance, [en ligne], Adresse URL : <http://www.diploweb.com/forum/eaubresil08037.htm>.

RAYMUNDO GARRIDO (page consultée le 08.05.2008), Gestion des ressources en eau au Brésil, [en ligne], Adresse URL : <http://www.oieau.fr/ciedd/contributions/at1/contribution/garrido2.htm>.

NILO DE OLIVEIRA NASCIMENTO (2006), Présentation lors des 5^{èmes} Journées Franco-brésiliennes d'hydrologie urbaine : Perception et mémoire du risque hydrologique, Paris, France, décembre 2006.

ROGER HAMILTON (1997), Gestion de l'eau : nouveaux courants de pensée - le statu quo s'érode, [en ligne], Adresse URL : <http://www.iadb.org/idbamerica/archive/stories/1997/fre/8d1.htm>.

Sites internet :

ACTUALITÉ TECHNOLOGIQUE ET SCIENTIFIQUE – NEWS ET DOSSIERS, DÉFINITIONS, [en ligne], Adresse URL : <http://www.techno-science.net>.

IBGE INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, [en ligne], Adresse URL : <http://www.ibge.gov.br>.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, [en ligne], Adresse URL : <http://www.mma.gov.br>.

MINISTÉRIO DAS CIDADES, [en ligne], Adresse URL : <http://www.citates.gov.br>.

MINAS ON-LINE - PORTAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SERVIÇOS DO GOVERNO DO ESTADO DE MINAS GERAIS, [en ligne], Adresse URL : <http://www.mg.gov.br>.

SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL, [en ligne], Adresse URL : <http://www.semam.mg.gov.br>

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS, [en ligne], Adresse URL : <http://www.igam.mg.gov.br>

FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE, [en ligne], Adresse URL : <http://www.feam.mg.gov.br>

SECRETARIA DE ESTADO DE DESENVOLVIMENTO REGIONAL E POLÍTICA URBANA - SEDRU, [en ligne], Adresse URL : <http://www.urbano.mg.gov.br>

PREFEITURA DE BELO HORIZONTE, [en ligne], Adresse URL : <http://portal.pbh.gov.br>

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, [en ligne], Adresse URL : <http://www.ana.gov.br>

SWITCH, [en ligne], Adresse URL : <http://www.switchurbanwater.eu/>

BELO HORIZONTE – MG, [en ligne], Adresse URL : <http://www.belo Horizonte-mg.com.br/>

9 Annexes

9.1 Description de l'utilisation du SISE-BH (ISWS-BH)

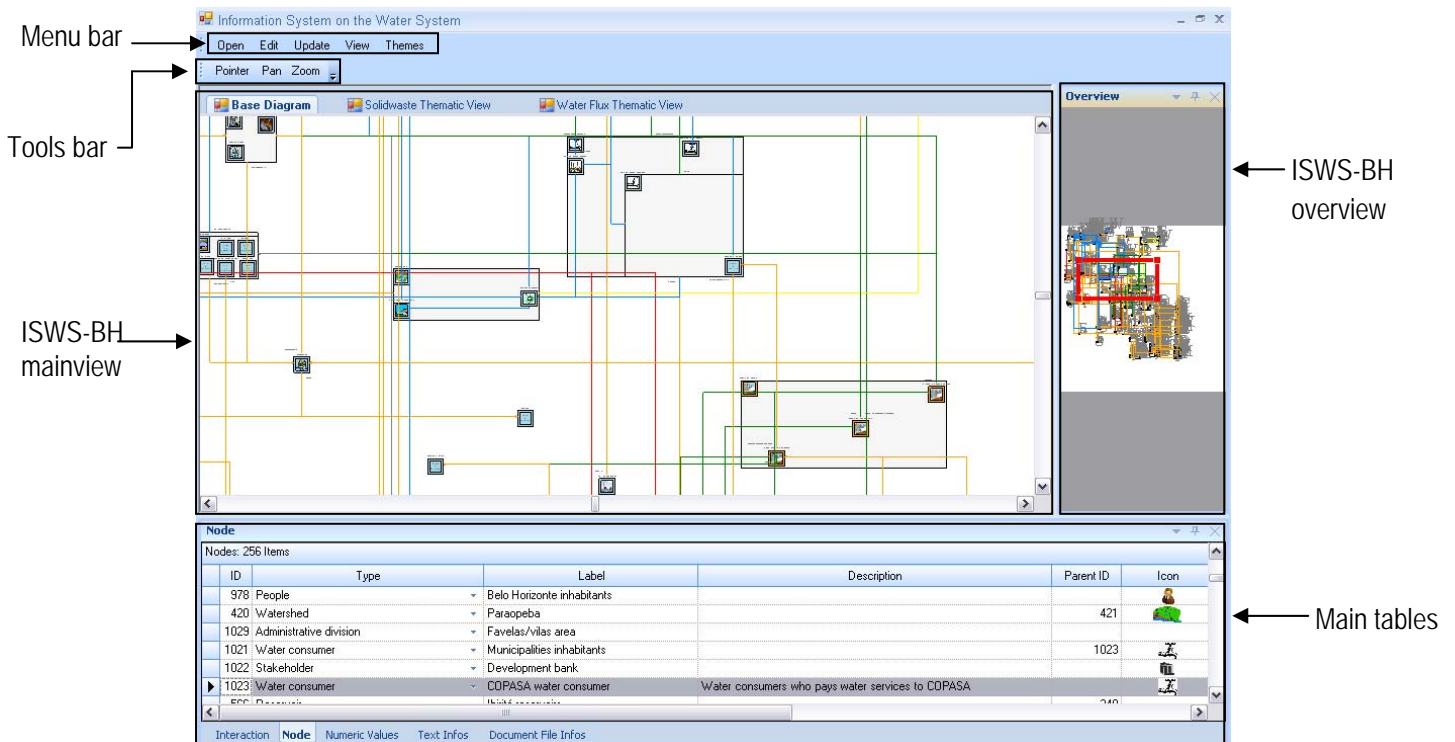
9.1.1 Structure

The ISWS-BH is composed by an Oracle database and by a software interface (the ISS) created by Colin Schenk. It allows to display a wide and holistic view of all the involved elements (organizations, legislation, ecosystem, groundwater, surface water, water supply and treatment infrastructures, drainage networks, etc.) and to visualize the relations, fluxes and influences between them.

Each component in the ISWS-BH is identified with a unique ID number. A parent-key sets the potential belonging within a group. Information (text information, numeric values, and documents) are provided and attached to the appropriate nodes, through secondary tables relating for instance a numeric value with a node.

9.1.2 Interface

The ISWS-BH interface displays the data held in the Oracle database. It is a user-friendly interface which allows to navigate within the information (main view or thematic view) and to find the required data by selecting a specific node. Changes can be made through the interface or directly through the database.



9.1.3 ISWS-BH main view

The main view contains two types of views, the base diagram and different thematic views.

- **Base diagram**

The base diagram is the graphic representation of the entire node and their relations. Attached icons for each node give a pictorial view of the water system and aim to facilitate a fast understanding of the views displayed.

- **Thematic view**

All thematic view created from the base diagram. Thematic views for specific issues come next by selecting all the required components and by setting them in an understandable view.

9.1.4 ISWS-BH overview

It is the overview of the map (thematic view or base diagram) in the main view.

9.1.5 Tools bar

- **Pointer :** Allow to select node, interaction and flux of the main view.

Rem: the double click allows to open and to close a group of entities and open the details of flux

- **Pan :** Allows to move the map inside the window (main view and overview).

- **Zoom :** Allows to enlarge and to reduce the display of the map.

9.1.6 Menu bar

The ISWS-BH menu bar is constituted by the following tabs:

- **Open.**

Diagram :	Open the ISWS-BH main view.
Document File :	Open the selected document.
Website :	Open the selected website.

- **Edit.**

Add Node :	Add a node in the main view.
Add Interaction :	Add an interaction in the main view.
Modify Node Icon :	Modify selected node's icon.
Upload Document :	Upload a document in the ISWS-BH.
Change Node's Group :	Change parent node of the selected node.
Modify Interaction Color :	Modify the color of an interaction.
Default Interaction Color :	Return to the default interaction color.

- **Update.**

Nodes :	Update information related on nodes.
Interaction :	Update information related on interactions.
Numeric Info :	Update information related on numeric values.
Text Info :	Update information related on text information.
Document Files :	Update information related on documents.

- **View.**

Show Selected Only :	Display the selected node and the information related on it only.
----------------------	---

- **Themes.**

New Thematic View :	Create a new thematic view.
Add Element into View :	Add element from the base diagram to the thematic view.
Save :	Save the thematic view on a file (.iss).
Load :	Load a thematic view from a file.
Create info Bubble :	Create a information bubble .
Create Flux Arrow :	Create a flux arrow.
Fluxes Groups Properties :	Properties (color, size, ...) of the different flux.
Export as Image :	Export a thematic view or the base diagram to a image (.png)

9.1.7 Tables

The ISWS-BH interface is constituted by the following main tables:

- **Nodes.**

The nodes represent the real objects or entities of the water system. It includes laws and policies, people and organizations, resources, ecosystem, water-related elements, developments and studies.

- **Interactions.**

The interactions stand for the relations between the nodes. It can be an influence, a flux, an equivalence or a condition. The different types of fluxes are: cash flow, data flux, water flux, sludge flux, energy flux.

- **Text informations.**

This type of element is useful to provide any kind of text information on a node or an interaction. The text information is bound up with nodes and/or interactions. The different types of text information are: website, e-mail, address, scenario, information, vision, strategy, problem, assessment, opinion, comment.

- **Numeric values.**

The numeric values are in different forms and units and provide numeric information on nodes or interactions. It can be a reference value, a measure, an expert judgment or a statistic value.

- **Document file informations.**

The document files are bound up with nodes or interactions in order to provide further information on the linked element. They are available for consultation by using the tab Open Document.

9.2 Démarche de recherche de représentation visuelle de l'information

Durant la démarche d'implémentation des entités et des relations, une réflexion quant à la représentation visuelle, s'est opérée. Voici donc la réflexion :

La première étape fut une représentation basée directement sur la structure du modèle WMSM. L'organisation suivait rigoureusement la représentation papier du modèle au niveau des groupes et des sous-groupes. Une fois les groupes mis en place, les relations entre les différents objets en fonction des flux et des influences ont été mises en place. Lors de la mise en place de ces relations, un grand désordre dans les relations est très vite arrivé et un nombre de groupes totalement inutiles et surchargeant le dessin altérait la compréhension du système de gestion globale de l'eau. La vision était beaucoup trop systématique et trop peu intuitive pour être utilisée et comprise par une personne non initiée.

Ainsi une autre approche de représentation des données a été développée afin de mettre un minimum de grands groupes d'objets et de privilégier les groupes à forte influence comme éléments de base du schéma. Ces éléments de bases du schéma contiennent la plupart du temps des sous-éléments qui permettent d'augmenter le détail de l'information. Après plus de 150 entités et plus de 100 liens insérés dans le diagramme, la vision et la compréhension devenait de plus en plus ardue. Même la personne qui implémente la base de données a de la peine à se retrouver dans le fouillis d'informations, de relations, de flux et d'influences. Le problème réside dans le manque de méthodologie pour l'implémentation des entités et des relations dans le diagramme. Il n'y avait pas de logique, pas de fil rouge. Mais si l'on pense à la pérennité de l'application et que des personnes non initiées puissent reprendre et utiliser le travail réalisé, il est nécessaire d'avoir un fil rouge, une méthodologie claire pour la démarche utilisée lors de la mise en place du SISE-BH.

L'ajout de couleurs aux relations et aux entités a déjà fortement amélioré la représentation visuelle des problématiques.

Après quelques recherches sur internet et quelques réflexions sur la façon la plus logique et la plus intuitive possible de représenter une somme si importante d'informations, l'idée de cycle, fortement utilisée dans le domaine de l'eau (gouvernance, cycle de l'eau), a été adoptée comme stratégie de base pour la représentation.

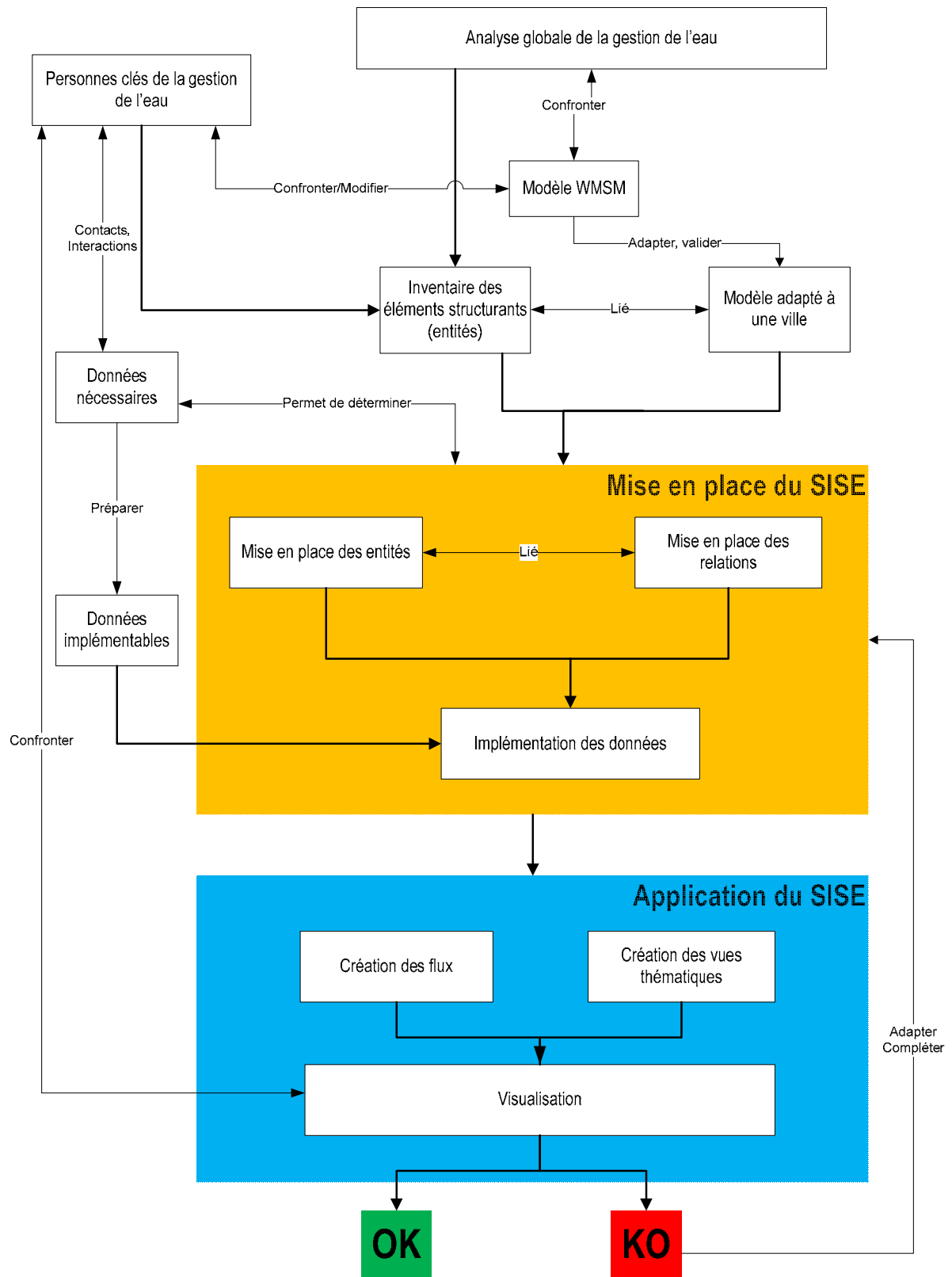
La représentation de l'information a été basée sur une vue globale des principaux cycles, s'entrecoupant, avec une vue détaillée de chaque étape. Cette vue permet aussi de représenter de façon aisée les éléments qui ont un lien moins direct avec l'eau en les implémentant en tant que satellite autour des différents cycles.

9.3 Liste des sources utilisées pour la récolte des données

Sources des données présentes dans le SISE-BH
NASCIMENTO, N.O, HELLER, L, BAPTISTA, M, HELLER, P., CHERNICHARO, C, KNAUER, S. AND J.R. CHAMPS (2007a) Long-term uncertainties and potential risks to urban waters in Belo Horizonte. Paper presented at SWITCH Scientific Meeting, 9-10 Jan 2007, Birmingham, UK, 38p.
CÉSAR LADOR, (juillet 2007), Gestion de l'eau a Belo Horizonte (Brésil) : état des lieux et implémentation de l'outil SIG SMURF (système de monitoring urbain fonctionnel), Travail de Master, HYDRAM, EPFL, Lausanne, Suisse, 67p.
COPASA : A Água de Minas, [en ligne], Adresse URL : http://www.copasa.com.br
PREFEITURA DE BELO HORIZONTE, [en ligne], Adresse URL : http://portal.pbh.gov.br
WALTER DUARTE COSTA, (2002) Caracterização das condições de uso e preservação das águas subterrâneas do município de Belo Horizonte - MG, Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, Instituto de geociências, São paulo, Brasil, 350p.
HOEKSTRA, A.Y. & HUNG, P.Q.(2002) Virtual Water Trade: A quantification of virtual water flows between nations in relation to international crop trade. Value of Water: Research Report Series, n.11, september, UNESCO/IHE, 66p..
Ministério das Cidades; Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental ; Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada - IPEA; Diagnóstico dos serviços de Água e Esgotos - 2002 ; Systema Nacional de Informações sobre Saneamento - SNIS (1995-2006)
OSMAR VASCONCELOS COSTA, (septembre 1999), Estudo Hidrologico e Hidráulico do sistema de macrodrenagem da bacia hidrographica do córrego leitão, UFMG, Belo Horizonte, Brasil.
Discussion with Nilo de Oliveira Nascimento.
BAPTISTA, M.B. & NASCIMENTO, N.O. (1996) Sustainable development and urban stormwater management in the context of a tropical developing country. In: Proc. of XXV Congreso Interamericano de Ingenieria Sanitaria y Ambiental, AIDIS, Mexico, november 1996, vol. IV, 523-529
PAPIRI, S., SILVANO RAVERAI, S. (2005), Acordo de Cooperação Interinstitucional Hydroaid-Ministério das Cidades; Gestão do território e das águas pluviais urbanas : Cidade de Belo Horizonte (MG), Belo Horizonte, Brazil, 64p.
UNITED NATIONS STATISTICS DIVISION, [en ligne], Adresse URL : http://unstats.un.org/
SUDECAP : Superintendence for the development of the Capital.
IBGE : INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, [en ligne], Adresse URL : http://www.ibge.gov.br .
CEMIG : A melhor energia do Brasil, [en ligne], Adresse URL : http://www.cemig.com.br/

9.4 Diagramme des processus

Diagramme des processus



9.5 Vues thématiques représentées par SISE-BH

9.5.1 Les flux d'eau

Page 61

9.5.2 Les flux monétaires

Page 62

9.5.3 La gestion des déchets

Page 63

9.5.4 Les inondations

Page 64

9.5.5 La gestion des eaux usées

Page 65

