



GESTION DE L'EAU A BELO HORIZONTE (BRESIL) : ETAT DES LIEUX ET IMPLEMENTATION DE L'OUTIL SIG SMURF (SYSTEME DE MONITORING URBAIN FONCTIONNEL)



Superviseur : Dr. Marc Soutter

Laboratoire d'hydrologie et aménagements (HYDRAM)
Institut des sciences et techniques de l'environnement (ISTE)
Faculté de l'environnement naturel, architectural et construit (ENAC)
Ecole polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL)

Résumé

Les méthodes conventionnelles de gestion de l'eau en milieu urbain montrent, aujourd'hui, leurs limites. Les changements globaux, la pénurie, le gaspillage et la dégradation qualitative de la ressource nécessitent une adaptation des méthodes actuelles, plus particulièrement dans les pays en voie de développement, techniquement et financièrement défavorisés. Cette évolution "forcée" associée à la multidisciplinarité des problématiques urbaines peut passer par l'adoption d'une approche intégrée considérant les différents compartiments du système ville. Une approche globale doit passer par une meilleure compréhension de l'ensemble des phénomènes urbains et de leurs interactions. L'intégration de la population dans les processus de prise de décision et de réflexion (processus participatifs) permet non seulement l'adoption de solutions adaptées aux besoins de celle-ci, mais aussi la mise en place d'un système réellement démocratique. Le Brésil, et son urbanisation informelle (*favelas*), sont un exemple flagrant de l'influence des conditions sociales sur les problématiques urbaines, comme la gestion de l'eau.

A Belo Horizonte, les conditions hydrologiques locales; la topographie accidentée, les intensités pluviométriques et l'imperméabilisation importante, couplées aux infrastructures hydrauliques et d'assainissements insuffisantes et/ou inadéquates, conduisent à une situation critique. Les inondations, les glissements de terrain et la contamination des cours d'eau urbains par les eaux usées et les déchets, en sont les conséquences directes. Une augmentation des risques naturels et sanitaires pour la population, est également accentuée.

Manifestement, l'adoption d'une approche globale passe par une meilleure circulation de l'information et/ou une amélioration de la coopération entre les différents acteurs urbains. Cette évolution nécessite, en outre, un support adapté. Cette fonction peut être assurée par un outil numérique de visualisation de l'information, accessible, complet et léger en ressources matérielles et financières. C'est l'objectif du développement d'un outil comme SMURF (système de monitoring urbain fonctionnel) dans un contexte urbain.

Reste que l'adoption d'un instrument comme celui-ci est fortement dépendante du soutien politique, de son actualisation régulière, ainsi que d'une compatibilité accrue avec les outils déjà mis en place localement.

Abstract

The conventional methods of water management in urban areas show, today, their limits. The global changes, the shortage, the waste and the qualitative degradation of the resource require an adaptation of the current methods, more particularly in developing countries, technically and financially discriminated. This "forced" evolution associated with the multidisciplinary urban problems could pass by the adoption of an integrated approach considering the various compartments of the city system. A global approach has to pass by a better understanding of all the urban phenomena and their interactions. The integration of the population in the processes of decision-making and study (participative processes) allows not only the adoption of solutions adapted to the needs of this one, but also the implementation of a really democratic system. Brazil, and its informal urbanization (*favelas*), are a blatant example of the influence of the social conditions on the urban problems, as water management.

To Belo Horizonte, the local hydrological conditions; the topography, the pluviometric intensities and the important waterproofing, coupled with the insufficient and/or inadequate hydraulic and wastewater infrastructures, lead to a critical situation. The floods, the landslides and the contagion of the urban streams by wastewater and waste, are the direct consequences. The increase of the natural and sanitary risks for the population is also stressed.

Manifestly, the adoption of a global approach passes by a better circulation of information and/or an improvement of the cooperation between the various urban actors. This evolution requires, besides, an adapted support. This function can be assured by a digital tool of visualization of the information, accessible, complete and light in material and financial resources. It is the objective of the development of a tool as SMURF (system of functional urban monitoring) in an urban context.

Rest that the adoption of an instrument as this one is strongly dependent on the political support, on its regular updating, as well as on the compatibility increased with tools already set up locally.

Remerciements

Etre projeté dans une culture différente, sur un continent différent est toujours une expérience unique. Lorsqu'en plus, c'est dans le cadre d'un travail de Master, l'expérience se teinte d'une pointe de stress. Effectivement, l'enjeu n'est plus simplement d'apprécier le voyage mais aussi d'atteindre un objectif plus professionnel. Dans mon cas, la découverte de la réalité d'une grande ville du Sud comme Belo Horizonte, et de sa population a éveillé ma curiosité. Mon implication dans ce travail s'est donc faite naturellement.

Mais cette décontraction n'aurait pas été possible sans la disponibilité, les conseils et la sympathie du Professeur Nilo de Oliveira Nascimento du département de l'ingénierie hydraulique à l'université fédérale du Minas Gerais (UFMG), la disponibilité et l'ouverture d'esprit de toute l'équipe de SUDECAP à la municipalité de Belo Horizonte (*Prefeitura de Belo Horizonte*), et particulièrement Sônia Knauer au GGSAN.

Je tiens à remercier également Dr. Marc Soutter au laboratoire d'hydrologie et aménagements (HYDRAM) à l'école polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL), qui m'a fait confiance, m'a laissé travaillé en autonomie et qui a été disponible 24h sur 24h via courrier électronique.

Un grand merci à l'association Ingénieurs du monde (IDM), pour son investissement de tous les jours et pour son soutien financier dans le cadre de projets à l'étranger, et aussi au service de la mobilité qui sait encourager de telles expériences par une aide financière.

Je profite également pour exprimer ma gratitude à mes parents qui m'ont soutenu et encouragé quelles que soient mes initiatives.

Tables des Matières

1. INTRODUCTION	8
2. CONTEXTE	9
2.1. Situation générale :	9
2.2. Description de Belo Horizonte :	10
2.3. Géologie	12
2.4. Histoire de la gestion de l'eau urbaine à Belo Horizonte	13
2.5. Organisation institutionnelle de la gestion de l'eau à BH	14
2.5.1. Organigramme	14
2.5.2. Acteurs	14
2.5.2.1. COPASA :	14
2.5.2.2. PBH :	15
2.5.2.3. SMURBE :	15
2.5.2.4. COMUSA :	15
2.5.2.5. URBEL :	16
2.5.2.6. SMARU :	16
3. DIAGNOSTIC	16
3.1. Etat actuel	16
3.1.1. Introduction	16
3.1.2. Situation	17
3.1.2.1. Plan municipal d'assainissement (PMS)	17
3.1.2.2. Distribution de l'eau	18
3.1.2.3. Eaux usées	19
3.1.2.4. Eaux de pluies	20
3.1.2.4.1. Inondations	21
3.1.2.4.2. Erosion	22
3.1.2.4.3. Plan de drainage urbain (PDDU)	23
3.1.2.5. Déchets	25
3.1.2.6. Sectorisation de la gestion de l'eau	26
3.1.2.7. Quartiers défavorisés	27
3.1.2.8. Législation	28
3.1.3. Nécessité d'une approche intégrée	29
3.2. Processus participatifs	29
3.2.1. Introduction	29
3.2.2. Implémentation à Belo Horizonte (BEHLA)	30
3.2.3. Résultats	31
3.2.4. Projets	32
3.2.4.1. Projet URBEL	32
3.2.4.2. Propam	33
3.2.4.3. Manuelzao	33
3.2.4.4. Suivis expérimentaux	33
3.3. Développement futur	34
3.3.1. Mesures urgentes	34
3.3.2. Expansion démographique	34
3.3.3. Changement climatique	35
3.3.4. Evolution technique et institutionnelle	35

3.4.	Remarques personnelles	37
3.4.1.	Gestion des eaux urbaines	37
3.4.2.	Permis de construire	37
3.4.3.	Réseau séparatif, réseau unitaire ou réseau mixte ?	38
4.	SYSTÈME D'INFORMATION GÉOGRAPHIQUE	38
4.1.	Introduction	38
4.1.1.	Fonctions d'un SIG	38
4.1.2.	SMURF	40
4.1.2.1.	Description	40
4.1.2.2.	Utilité	40
4.1.3.	Situation à Belo Horizonte	41
4.2.	Méthodologie	42
4.2.1.	Généralités	42
4.2.2.	Acquisition des données et des indicateurs	43
4.2.3.	Traitement des données et implantation dans SMURF	43
4.2.4.	Organisation des données	44
4.2.5.	Recommandations	44
4.3.	Résultats	45
4.3.1.	Données existantes	45
4.3.1.1.	Données implantées	45
4.3.1.2.	Données non obtenues, ou à implanter	46
4.3.2.	Indicateurs existants	47
4.3.2.1.	Indicateurs implantés	47
4.3.2.2.	Indicateurs non obtenus, ou à implanter	47
4.3.3.	Autres résultats	47
4.3.4.	Interprétation	48
4.3.5.	Recommandations	50
5.	CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS	51
6.	SOURCES	52
6.1.	Bibliographie	52
6.2.	Webographie	53
7.	ANNEXES	54
Annexe 1	Cartes	54
Annexe 2	Données demandées, obtenues et implémentées	57
Annexe 3	Indicateurs obtenus et implémentés	58
Annexe 4	Cercadinho	59
Annexe 5	Contacts	60
Annexe 6	Contenu du CD-ROM	61
Annexe 7	How to update SMURF	62

Liste des figures

Figure 1. Localisation de Belo Horizonte (source : Wikipédia)	10
Figure 2. Bassins versants de l'Onça et de l'Arrudas (source : Belo Horizonte Threats and Uncertainties, 2006)	11
Figure 3. Situation géologique de BH (source : plan directeur de BH, 1995)	12
Figure 4. Centre ville, production personnelle à partir des données du cadastre, juin 2007.....	13
Figure 5. Organigramme de la gestion de l'eau à Belo Horizonte, inspiré par l'organigramme municipal et par "Different approaches in analysing water governance : case of BH", Heller, 2007	14
Figure 6. Système de traitement de l'eau (source : COPASA)	18
Figure 7. STEP Arrudas (source: COPASA).....	20
Figure 8. Réseau hydrographique de Belo Horizonte (source: Belo Horizonte Threats and Uncertainties, 2006)	21
Figure 9. Evolution de la sédimentation (zone orange) entre 1964 et 2000 (Bandeira, 2004).....	23
Figure 10. Relation entre augmentation de population et occurrence des inondations (source: "Belo Horizonte threats and uncertainties", 2006).....	35
Figure 11. Interface de SMURF_BH_v07, Juin 2007.....	40
Figure 12. Traitement des données pour l'implantation de celles-ci dans SMURF, Juin 2007	43
Figure 13. Arbre organisationnel de SMURF_BH_v07, Juin 2007.....	46
Figure 14. Exemple d'imprécision dans les données. Ici, limites des bassins hydrographiques à Belo Horizonte, Juin 2007	46
Figure 15. Corrélation entre le manque d'intercepteur (intercepteurs en violet) et la contamination des cours d'eau par des rejets d'eau usées (points roses), Juillet 2007	48
Figure 16. Les lacunes dans le réseau d'évacuation des eaux usées (zones rouges) se trouvent en majorité dans les vilas et favelas (zones bleues), Juillet 2007.....	49
Figure 17. Adéquation entre les zones prioritaires (indicateurs de priorité) et les vilas et favelas (zones bleues claires), Juillet 2007	49
Figure 18. Exemple d'intégration de données désirée par la municipalité de Belo Horizonte, Juin 2007 ...	59

1. Introduction

Les réalités des villes actuelles, en Europe comme dans les pays du Sud, semblent montrer les limites des méthodes de gestion urbaines traditionnelles (sectorisation des services, concertation inexistante ou insuffisante, négligence du milieu naturel, gestion de l'eau en aval du réseau, etc...) face aux changements globaux (climat, démographie, exode rural, urbanisation, ressources,...).

SWITCH (*Sustainable Water management Improves Tomorrow's Cities Health*) est un projet de l'UNESCO-IHE visant la promotion d'une gestion durable de l'eau en milieu urbain. Celle-ci est axée sur une amélioration de l'offre, tant en qualité qu'en quantité. A cette fin, une dizaine de villes dans le monde (Accra - Ghana, Alexandria –Egypte, Beijing - Chine, Belo Horizonte – Brésil,...) ont été choisies afin de servir de sites expérimentaux à l'établissement d'une gestion de l'eau plus adéquate (mesures innovantes, techniques alternatives,...). 32 institutions, regroupant 13 pays, participent à la réalisation de ce projet. Le laboratoire d'hydrologie et aménagements (HYDRAM) de l'école polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL) s'occupe plus particulièrement du work package 1.4 *Strategic planning, implementation and performance assessment*¹ du projet SWITCH. Cette partie du programme consiste, entre autres, à développer des instruments et des outils permettant une approche plus intégrée de la gestion de l'eau.

Ce présent travail a été réalisé dans le cadre d'un projet de Master de la section des sciences et ingénieries de l'environnement (SIE) de l'EPFL, en collaboration avec l'université fédérale du Minas Gerais (Brésil), dans la ville de Belo Horizonte. Son objectif particulier est d'adapter un outil informatique d'aide à la décision et de support à la communication au contexte local dans le cadre des processus participatifs, qui ont pour rôle d'intégrer dans le système de gestion tous les acteurs concernés d'un domaine particulier.

En pratique, cet outil se présente, ici, comme une interface de visualisation de l'information relative aux différents domaines de la gestion de l'eau en milieu urbain. Pour sa réalisation, il a nécessité la compréhension des phénomènes et des problématiques présentes à Belo Horizonte (diagnostic), l'acquisition des données spécifiques et leur intégration dans le logiciel.

¹ www.switchurbanwater.eu

2. Contexte

2.1. *Situation générale :*

Un important déséquilibre dans la répartition des richesses perdure au Brésil. Ainsi, selon Bret et Théry (1996)², les 20% les plus riches de la population détiennent 67% du PNB. L'indice de Gini Brésilien (indice exprimant l'inégalité de la répartition des richesses, 1 = répartition très inégale, 0 = répartition équitable) est l'un des plus élevé au monde³ avec une valeur de 0.64⁴ en 2001 (0.27 en France en 2000⁵). L'exode rural amplifie ces inégalités en ville, puisqu'il concerne surtout les populations les plus démunies, à la recherche d'un emploi⁶. En effet, la population brésilienne urbaine a doublé entre 1970 et 1991, passant de 52 millions à 111 millions, au détriment de la population rurale qui, elle, a diminué de 13% entre ces mêmes dates, atteignant 36 millions⁷ en 1991. Cette tendance est représentative de la situation mondiale puisque au cours du 20^{ème} siècle la population urbaine a décuplé tandis que la population rurale a seulement doublé.

Aujourd'hui, 1.1 milliards de personnes dans le monde, souffrent d'un accès à l'eau insuffisant⁸. Selon des études réalisées par les Nations Unies, ce phénomène pourrait toucher entre 2 et 7 milliards de personnes dans la deuxième moitié du XXIème siècle. Sont concernés particulièrement les pays en voie de développement, où l'on attend 2.5 milliards de nouveaux citadins dans les 20 prochaines années⁹. Dès lors, des moyens financiers importants vont être nécessaires, afin d'assurer la distribution d'eau potable et la sécurité sanitaire des populations. Aujourd'hui, dans les pays en voie de développement, 80% des maladies sont dues au manque d'eau potable¹⁰. Selon l'UNICEF, 3900 enfants meurent chaque jour de maladies liées au manque d'accès aux services de base¹¹.

La pénurie d'eau, au niveau mondial, est accentuée par le système économique occidental. La consommation et la contamination d'eau ont fortement augmenté suite à la généralisation de l'industrialisation massive et du modèle consumériste. En effet, le secteur industriel représente 59% de la consommation totale d'eau dans les pays développés contre 22% dans les pays à faibles revenus¹². On parle aujourd'hui d'une *crise de l'eau* mais celle-ci n'est pas uniquement due à l'insuffisance de la ressource, elle est aussi la résultante d'une mauvaise gestion et d'un gaspillage¹³. Le groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), avance que le réchauffement climatique va induire des incertitudes supplémentaires concernant le futur qualitatif et quantitatif de la ressource.

Les problèmes qualitatifs récurrents subsistent déjà. En milieu urbain par exemple, la contamination de l'eau est omniprésente et aggravée par la concentration des activités

² "Storm water management problems in a tropical city – the Belo Horizonte case study", Nascimento et al., 1999

³ Sciences Pó/IEP, Paris, 2000

⁴ Bureau International du Travail

⁵ "L'évolution des inégalités de revenus en France et dans les pays de l'OCDE", OCDE, 2005

⁶ www.fao.org

⁷ www.oecd.org

⁸ www.unwater.org

⁹ L'Observateur OCDE, 1999

¹⁰ www.un.org

¹¹ *Ibid.* (www.un.org/apps/newsFr/storyF.asp?NewsID=8814&Cr=OMS&Cr1=UNICEF)

¹² www.unesco.org

¹³ www.worldwatercouncil.org

anthropiques. Dans les pays en voie de développement, les populations à faibles revenus et leur organisation urbaine informelle (*vilas*¹⁴ ou *favelas*), renforcent ce phénomène. Selon l'UNESCO, l'informalité des habitations, le manque de soutien politique, les difficultés techniques (topographie, densité des habitats...) et le manque de moyens financiers sont des inhibiteurs importants de l'assainissement de ces zones. Toujours selon l'UNESCO, une partie des acteurs de la gestion du territoire refuse de se préoccuper de ces zones informelles car elles représentent des charges financières trop importantes¹⁵.

L'ensemble de ces facteurs mène à une situation complexe, où les difficultés techniques, sociales, politiques, financières et institutionnelles coexistent. Ce constat constitue le premier signe de la nécessité d'adopter une approche globale et intégrée pour la gestion de l'eau, à Belo Horizonte, comme ailleurs.

2.2. Description de Belo Horizonte¹⁶ :

Belo Horizonte ("*Béaga*" pour ses habitants) se situe dans une région montagneuse (Serra do Curral) de l'état du Minas Gerais, dans le Sudeste Brésilien. Construite entre 750 et 1300 m.s.m., sa moyenne pluviométrique annuelle est de 1500 mm, 90% des précipitations ont lieu entre octobre et mars.



Figure 1. Localisation de Belo Horizonte (source : Wikipédia)

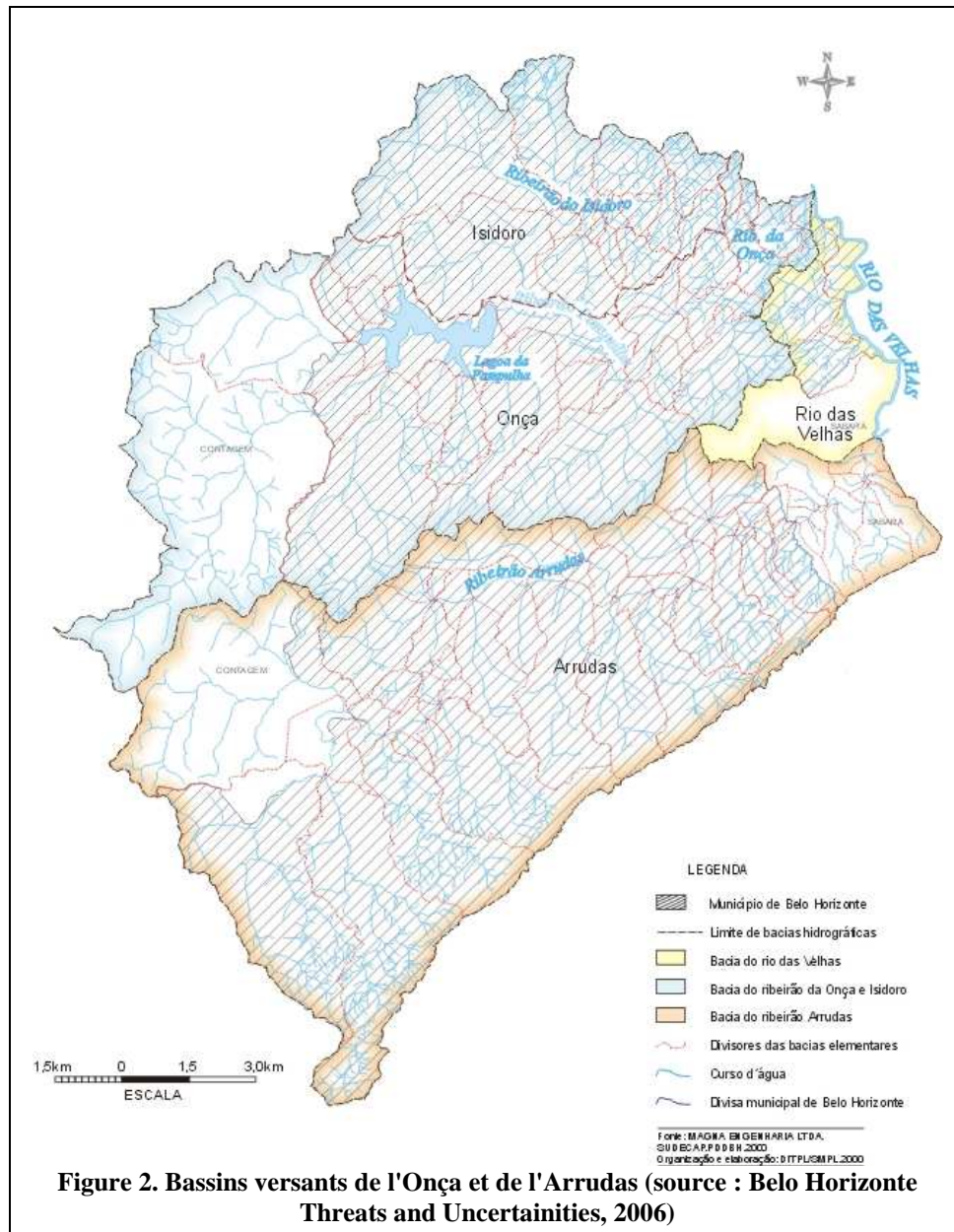
La moyenne mensuelle la plus élevée est observée en Décembre avec 315 mm. Les intensités observées correspondent à un climat tropical et restent élevées. La moyenne des températures annuelles est de 21°C.

Belo Horizonte se trouve sur deux bassins versants importants, dont les eaux se concentrent dans les deux cours d'eau portant les noms de Arrudas et Onça. Ensemble, ils représentent plus de 98% de la surface de la ville. Ces deux cours d'eau se jettent à l'aval dans la rivière Velhas qui elle, draine un bassin versant de 40'000 km².

¹⁴ Le mot *vila* a été introduit pour remplacer le mot *favelas* qui désigne, péjorativement, l'habitat des population les plus défavorisées

¹⁵ "Rapport mondial des Nations-Unies sur la mise en valeur de la ressource eau", UN-Habitat, 2006

¹⁶ "Draft report – City Scoping – SWITCH", Nascimento et al., 2006



C'est en 1893 que le congrès du Minas Gerais planifia l'établissement de la nouvelle capitale de l'état à cet endroit. La construction a débuté en 1897 et prévoyait une population de 100'000 habitants en 1997. Aujourd'hui, Belo Horizonte compte 2'399'920¹⁷, la densité de sa population est de 7'251 hab/km². et s'étend sur 330 km². La région métropolitaine, quant à elle, compte 3'900'000 habitants, répartis sur 9'180 km². Le taux de croissance de la population est de 1.1% en ville (1999\2000), il est prévu que Belo Horizonte atteigne une population de 3'000'000 en 2030. En région métropolitaine, le taux de croissance est de 5%, la population pourrait atteindre 8'000'000 en 2030.

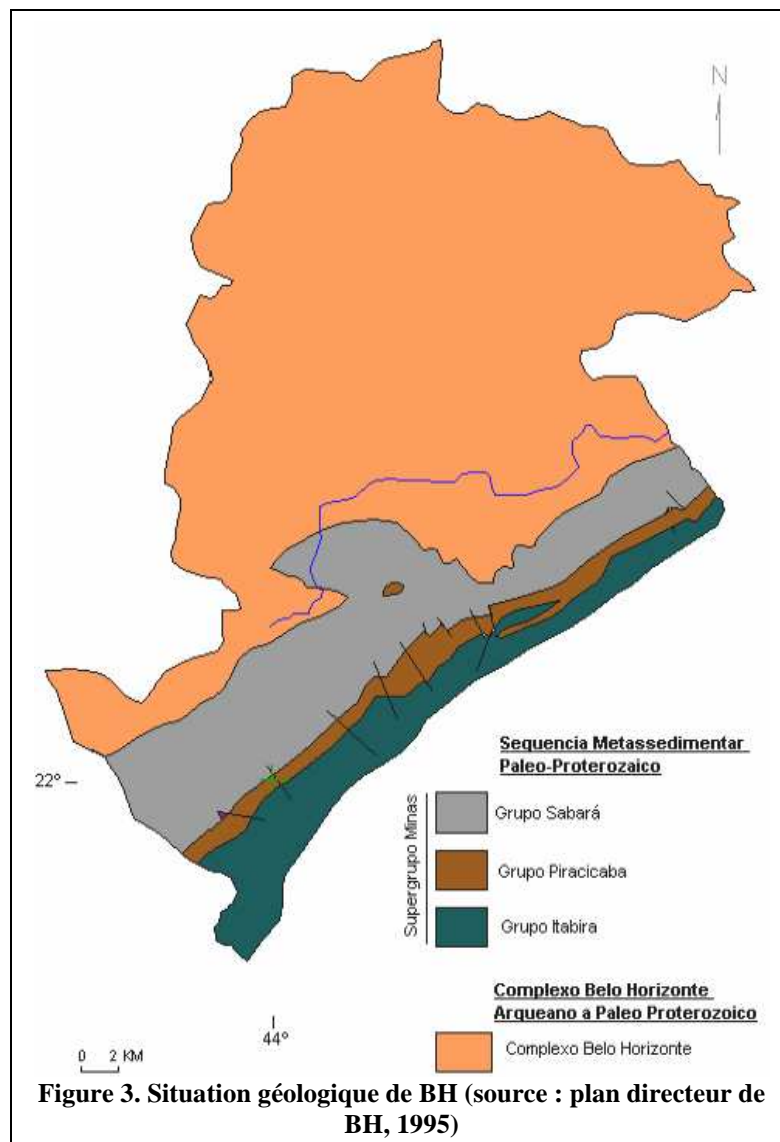
Aujourd'hui, environ 360'000 personnes vivent dans des *vilas* (ou *favelas*). La majorité d'entre elles se trouve sur des collines à la topographie accidentée, où les risques de glissements de terrains sont élevés. L'autre partie de ces occupations informelles se trouve dans les fonds de

¹⁷ IBGE, 2006

vallées qui sont des zones inondables préférentielles. Les populations à faibles revenus se sont souvent illégalement installées dans les zones prévues pour remplir la fonction de plaines inondables.

Le développement urbain à Belo Horizonte a cruellement manqué de planification. La rapidité de la croissance urbaine et la multiplication des occupations informelles du territoire rendent l'application de plans directeurs difficile et irréaliste¹⁸.

2.3. Géologie



La situation géomorphologique de Belo Horizonte est dominée à 70 % par le complexe de Belo Horizonte, composé essentiellement de gneiss/migmatites¹⁹ présentant un degré de métamorphisme important. Au Sud du cours d'eau Arrudas (présent sur la figure 3), on trouve une séquence métasédimentaire avec, comme caractéristiques principales, un relief accidenté

¹⁸ Winarso et Mattingly, 1999

¹⁹ "Sistemas naturais em áreas urbanas", Institut de géographie ufu-UFMG, 2005

(Serra do Curral) et une diversité lithologique importante. Le groupe Sabará est essentiellement constitué de schistes, les formations de surface sont, pour la plupart, des dépôts alluvionnaires du type latérites (typique des climats intertropicaux). Le groupe Piracicaba est formé de quartzites et constitue les aquifères les plus importants. Quant au groupe Itabira, il présente une diversité de quartz, schiste, dolomite et phyllite importante.

Ce sont les deux tiers inférieurs de la Serra do Curral (Groupe Sabará) qui présentent le plus grand potentiel d'érosion. Une attention particulière doit donc être prise pour réduire les risques de glissements de terrains dans cette zone. La mise en place d'infrastructures visant à la réduction du ruissellement (terrasses, tranchées d'infiltration, etc...) s'avérerait utile. En effet, cette zone se situant à l'amont du bassin versant, l'implantation de ce type d'aménagements pourrait apporter divers avantages: les eaux infiltrées ne seraient que peu contaminées et le réseau de drainage existant à l'aval serait soulagé.

2.4. Histoire de la gestion de l'eau urbaine à Belo Horizonte²⁰

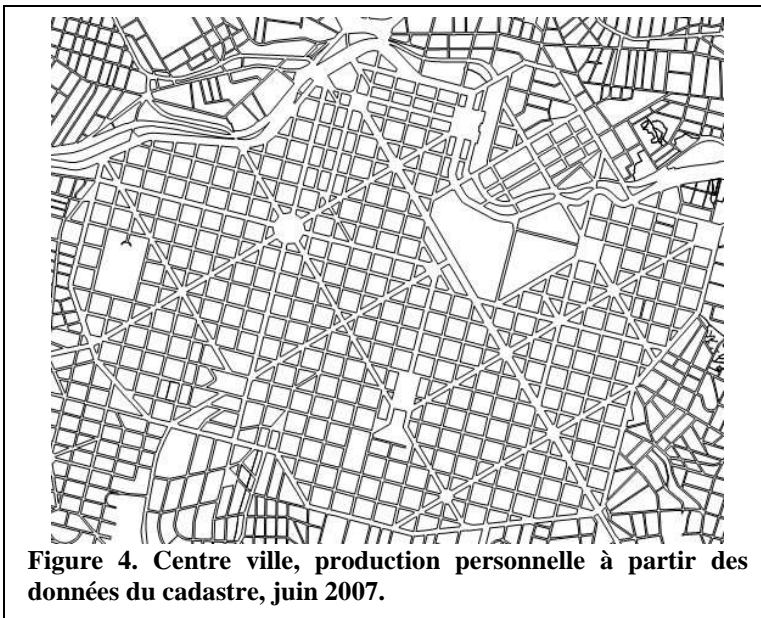


Figure 4. Centre ville, production personnelle à partir des données du cadastre, juin 2007.

Belo Horizonte a été construite à la fin du XIX^{ème} siècle en suivant le modèle *positiviste*, très en vogue à cette époque. Elle a donc été planifiée en avenues rectilignes et en quartiers à angles droits, négligeant totalement les conditions topographiques et hydrographiques locales²¹. Lors de la construction de la ville, les planificateurs ont décidé de mettre en place un système séparatif, novateur pour l'époque, puisque le tout à l'égout était alors la norme.

Pendant les premières années de développement urbain, les cours d'eau ont été canalisés et recouverts de dalles en béton dans le but d'offrir plus d'espace pour la circulation urbaine. Mais aussi, dans l'optique d'éradiquer les maladies véhiculées par les mauvaises conditions sanitaires. La gestion des eaux urbaines a donc été fortement influencée par des objectifs de santé publique. D'où l'aménagement d'infrastructures de gestion des eaux de pluie permettant une évacuation rapide²² de celles-ci (appelé modèle de la "sanitary road"). Les modes de gestion utilisés à cette époque étaient basiques : ils comprenaient une estimation des débits de pointe pour le dimensionnement des conduites et un entretien périodique. Ces méthodes sont encore, aujourd'hui, largement utilisées au Brésil. Elles ont néanmoins permis d'éradiquer une partie des inondations locales en déplaçant le problème vers l'aval. Ce phénomène a été, alors,

²⁰ "O Saneamento Básico em Belo Horizonte: Trajetória em 100 anos" (Sanitation in Belo Horizonte: a trajectory of 100 years). Centro de Estudos Históricos e Culturais, Belo Horizonte, Brazil.

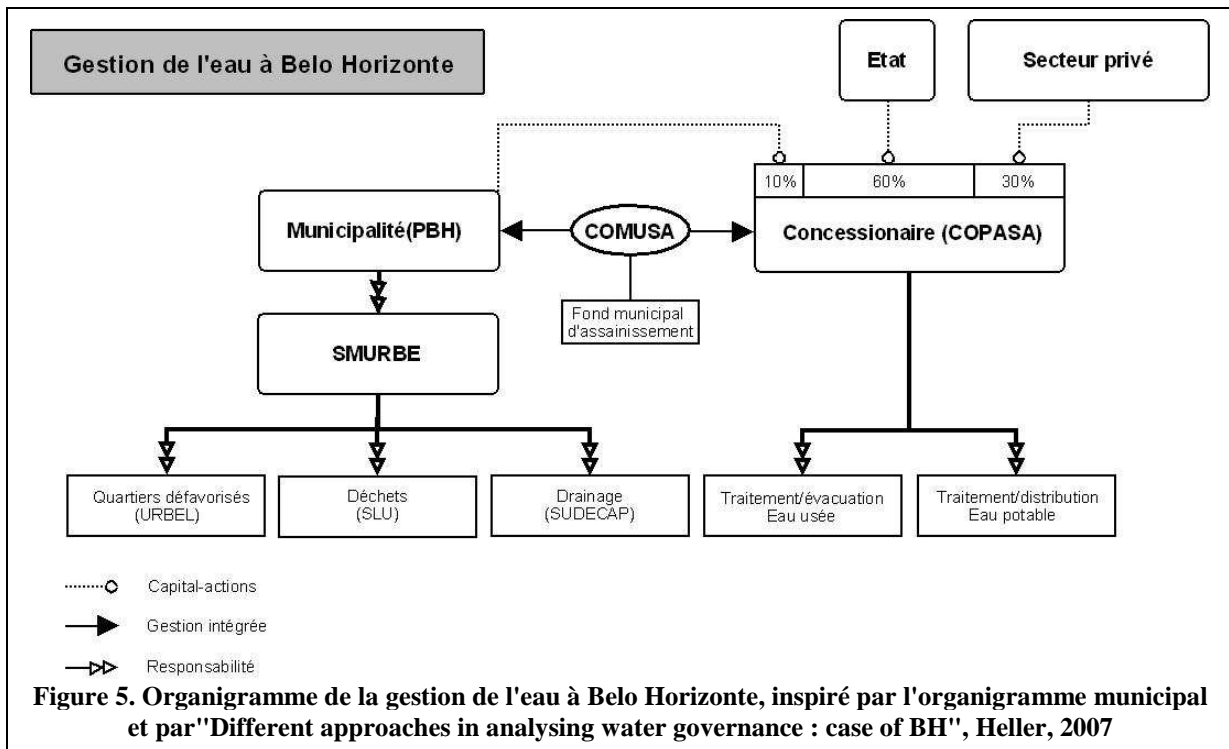
²¹ "Storm water management problems in a tropical city – the Belo Horizonte case study", Nascimento et al., 1999

²² *Ibid.*

accompagné de problèmes de contamination et d'érosion des milieux récepteurs²³ puisque les volumes et les pointes de débits se sont vus fortement augmenter.

2.5. Organisation institutionnelle de la gestion de l'eau à BH

2.5.1. Organigramme



2.5.2. Acteurs

La gestion urbaine est un processus complexe faisant intervenir un grand nombre d'acteurs²⁴. Repetti et Prélaz-Droux [2003] ont défini que ce sont l'ensemble des acteurs politiques, économiques et sociaux, à travers des relations très complexes, qui développent et organisent l'espace. La gestion de l'eau ne déroge pas à cette règle.

2.5.2.1. COPASA :

C'est en 1963 que la dictature militaire a créé COPASA. Cette entreprise est le concessionnaire des domaines de la production et de la distribution d'eau potable, de l'évacuation et du traitement des eaux usées. Dans l'état du Minas Gerais, COPASA fournit l'eau potable à 60% de la population et les services d'évacuation et de traitement des eaux usées à 30% de la population²⁵.

²³ Butler et Maksimovic, UNESCO, 2001

²⁴ Bolay, 1995; Mehta, 1997; Bassand 2003

²⁵ www.copasa.com.br

La municipalité n'avait que très peu de pouvoir de décision sur le fonctionnement de COPASA. C'est pourquoi, au moment du renouvellement de la concession, en l'an 2000, le mode de gestion a changé. Du statut d'entreprise étatique, COPASA est devenue une société d'économie mixte (SEM): 60% étatique, 30% privée et 10% municipale²⁶. Ainsi, la municipalité, la société civile et COPASA collaborent à travers le conseil municipal d'assainissement (COMUSA). Dès lors, COPASA participe à hauteur de 4% de son capital au fond municipal d'assainissement (FMS), administré par COMUSA, et permettant le financement des différents ouvrages dans le domaine de l'assainissement.

2.5.2.2. PBH :

La municipalité (*Prefeitura de Belo Horizonte*) est responsable, à travers SMURBE, de la gestion des eaux de pluies, du drainage urbain et des déchets. Elle a initié d'importants projets dans la gestion de l'eau.

2.5.2.3. SMURBE :

Secrétariat municipal des politiques urbaines. Premier niveau institutionnel et responsable :

- de la politique urbaine
- du logement
- de l'utilisation du sol
- de la mobilité
- de l'environnement
- du développement des *favelas*
- de la régularisation des terres (URBEL)
- des infrastructures de drainage (SUDECAP)
- des déchets (SLU)

SMURBE est aussi responsable de la gestion politique et institutionnelle des différents programmes, lois et plans directeurs (DRENURBS, PMS, PDDU...) ainsi que de leur supervision.

2.5.2.4. COMUSA :

Conseil municipal d'assainissement. Organe délibératif rassemblant différents acteurs de la société civile (ONG, université,...), de la municipalité, et de COPASA. Ce conseil a la responsabilité d'accorder les moyens financiers, nécessaires à la réalisation des ouvrages dans le domaine de l'eau, issus du fond municipal d'assainissement. En principe, les investissements suivent les directives établies dans le plan municipal d'assainissement.

²⁶ "Different approaches in analyzing water governance : implications to the case of Belo Horizonte, Brazil", Heller, Jan 2007

2.5.2.5. URBEL :

La société municipale d'urbanisme de Belo Horizonte a été créée dans l'optique de mener à bien la politique d'urbanisation de la ville, promue par la municipalité et son *système municipal d'habitation*. Ses trois principes sont :

- Une forte attache de la population à la politique urbaine
- Privilégier les processus démocratiques de gestion urbaine
- Garantir l'accès à la terre et au logement décent

Ses principales activités sont :

- Coordonner et exécuter les projets d'infrastructures urbaines dans les quartiers défavorisés
- Développer les programmes d'assainissement des habitations des quartiers défavorisés
- Coordonner la gestion des risques d'inondations et de glissements de terrain dans les quartiers défavorisés
- Coordonner les programmes de développement urbain dans les quartiers défavorisés
- Administrer les bâtiments et espaces publics dans les quartiers défavorisés

2.5.2.6. SMARU :

Secrétariat municipal de la régulation urbaine ayant pour fonction de guider et de renforcer la législation sur l'utilisation du sol, ainsi que "d'assurer une qualité de vie adéquate aux habitants de Belo Horizonte".

3. Diagnostic

3.1. *Etat actuel*

3.1.1. Introduction

Dans l'optique du développement d'un système d'information géographique (SMURF) présentant avec pertinence la ville de Belo Horizonte et les enjeux de sa gestion, il est essentiel d'identifier les principales problématiques rencontrées. Ainsi, la phase de diagnostic constitue une première étape nécessaire à l'accomplissement de ce travail.

Belo Horizonte est confrontée à des problèmes "classiques", rencontrés par la plupart des villes intermédiaires, et des mégapoles, des pays en voie de développement :

- Une importante pollution diffuse contaminant les cours d'eau urbains. A Belo Horizonte, les sources de pollution ne sont pas clairement définies mais proviennent de l'urbanisation amont, de l'agriculture et des industries, particulièrement de l'exploitation minière.
- Une expansion démographique rapide et une urbanisation informelle importante.
- Une organisation institutionnelle lacunaire.

- Une contamination systématique par les déchets.
- Des infrastructures insuffisantes et/ou inexistantes.
- Un important manque de moyens financiers.

Mais Belo Horizonte rencontre également des problèmes liés au contexte local :

- Un risque important d'inondations et de glissements de terrains, essentiellement dû à une topographie accidentée, des pentes et une imperméabilisation importantes.
- Un manque de coopération entre les deux entités responsables de la gestion de l'eau.
- Une pluviométrie de climat tropical (courte durée et intensité importante).

La description de l'état des différents services et de leurs problématiques, a été menée dans l'optique d'identifier les lacunes dans le contexte local rencontré, en vue d'un choix d'actions ciblées efficaces et pertinentes, adaptée à la ville de Belo Horizonte.

3.1.2. Situation

3.1.2.1. Plan municipal d'assainissement (PMS)

Le plan d'assainissement municipal a été créé en 2001, par l'administration municipale afin de diagnostiquer les problèmes liés à l'assainissement et de proposer des mesures et des actions à entreprendre. Ainsi, il matérialise la politique municipale dans ce domaine. Le PMS concerne, en particulier²⁷ :

- les domaines du traitement et de la distribution de l'eau potable
- de l'évacuation et du traitement des eaux usées
- de la collecte et de l'évacuation des déchets
- du drainage urbain
- du contrôle des maladies à vecteurs.

Il est pourvu d'un fond municipal d'assainissement (FMS) qui lui permet de financer ses projets, après leur validation par le COMUSA (conseil municipal d'assainissement, organe délibératif, chapitre 2.5.2.4)²⁸. En 2003, le fond municipal d'assainissement devient autonome financièrement et est destiné uniquement au plan municipal d'assainissement (PMS). Ce dernier a une dynamique de planification des actions et des services importants, il intègre également la population à travers un processus participatif. Néanmoins, Costa & Costa²⁹ pensent qu'une étude approfondie sur le fonctionnement du fond municipal d'assainissement, son implémentation, la gestion de ses ressources financières ainsi que l'identification de conflits potentiels serait bénéfique à la mise en place d'un système de gouvernance optimal.

Les priorités du plan d'assainissement ont été définies à partir d'un indicateur d'assainissement (ISA) définissant un état global de salubrité, à partir du diagnostic de chaque domaine du plan municipal d'assainissement. Il est défini comme suit³⁰ :

²⁷ "Plano Municipal de Saneamento 2004/2007", PBH, Mai 2004

²⁸ *Ibid.*

²⁹ "Urban policy and institutional change in Belo Horizonte", Costa & Costa, 2007

³⁰ "Plano Municipal de Saneamento 2004/2007", PBH, Mai 2004

$$ISA = [Iab] * 0.05 + [Ies] * 0.45 + [Irs] * 0.35 + [Idr] * 0.05 + [Icv] * 0.10$$

Iab: Indice d'approvisionnement en eau potable

Ies: Indice de collectes des eaux usées (Esgotamento Sanitário)

Irs: Indice de collectes des ordures ménagères (Resíduos Sólidos)

Idr: Indice de collecte des eaux pluviales (Drenagem Urbana)

Icv: Indice de contrôle de vecteurs des maladies (=Indice de contrôle de la dingue)

La méthodologie de calcul de chaque indice utilisée par la préfecture est décrite dans le plan municipal d'assainissement.

3.1.2.2. Distribution de l'eau

Aujourd'hui 99.7% de la population a accès à l'eau potable (voir également chap. 3.1.2.7), et consomme en moyenne 286 L/hab/jour. Ce sont principalement des eaux de surfaces (fleuves) qui en assurent l'approvisionnement. La capacité totale de production est de 16,3 m³/s alors que la demande totale de la région métropolitaine (RMBH) est de 11.9 m³/s.

COPASA est aujourd'hui certifiée ISO 9001 : 2000 et se dit performante. Elle travaille à la réduction des fuites qui s'élevait à 30% en 2006. A ce sujet, le CEMAGREF considère qu'au dessus de 30%, un réseau de distribution d'eau est "dégradé"³¹, il reste donc un important travail d'identification de celles-ci. Ses autres priorités sont la planification, les innovations technologiques et à la satisfaction de la clientèle³².

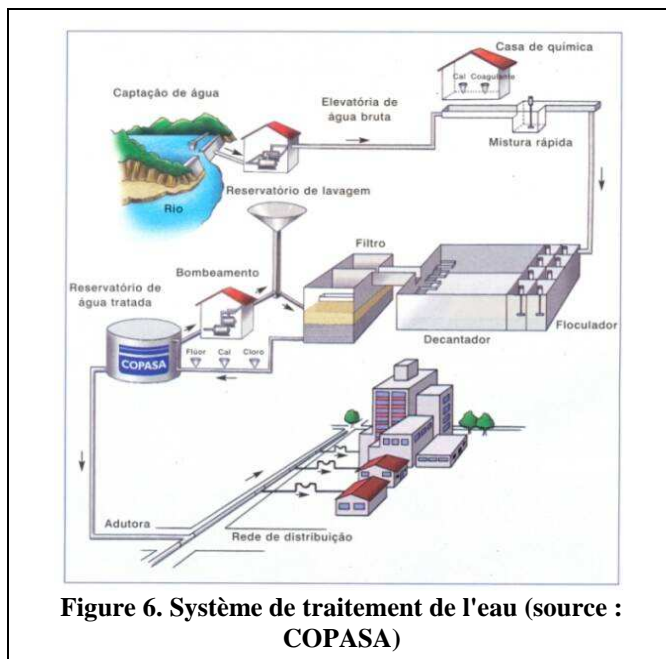


Figure 6. Système de traitement de l'eau (source : COPASA)

La distribution est assurée sans interruption grâce à de nombreux sites de prélèvements d'eaux superficielles et quelques sources souterraines. Néanmoins, chaque maison est équipée d'un réservoir dont le but est de "lisser les irrégularités"³³. Cette citerne présente un risque sanitaire important si elle ne fait pas l'objet d'un entretien régulier, responsabilité du propriétaire. Le procédé de production comprend une unité d'oxydation/floculation, floculation/décantation, filtration sur sable, et une unité de désinfection (Cl)/correction de pH/fluorisation³⁴. Les différentes étapes de production sont accompagnées d'analyses physiques, chimiques, biologiques et bactériologiques.

³¹ "Test d'indicateurs de performance des services d'eau et d'assainissement", ENGREF, 2000

³² <http://www.copasa.com.br>

³³ "Etude sur les services essentiels des ménages à faible revenu", ISTED, 2005

³⁴ <http://www.copasa.com.br>

De plus, COPASA procède à des analyses systématiques en des points précis du réseau. D'autres analyses sont menées par la municipalité qui, elle, réalise des échantillonnages géographiquement aléatoires.

Une des principales usines de production de COPASA se trouve au bord du fleuve Velhas dont les eaux sont exploitées pour produire de l'eau potable. Là, une attention particulière est donnée au traitement des matières en suspension. En effet, l'eau brute est fortement chargée en sédiments, caractéristique des eaux provenant des rivières. L'usine date de 1973 et avait été dimensionnée pour une exploitation à long terme. Les ingénieurs de l'époque avaient correctement évalué les besoins futurs puisque cette usine fonctionne encore très bien et permet à la COPASA de répondre à la demande en eau potable avec satisfaction.

Néanmoins, dans ce cas précis, COPASA n'a pas de concession pour l'ensemble du bassin hydrographique amont. Ce qui pose problème puisque les petites agglomérations urbaines à l'amont utilisent le fleuve Velhas comme exutoire pour leurs eaux usées.

De plus, l'utilisation de filtres céramiques d'appoint est largement répandue au Brésil, permettant une mitigation des risques de maladies liées à l'eau, dans le cas où le filtre est bien entretenu (nettoyage régulier des filtres).

Le prix du m³ s'élève aujourd'hui à R\$ 0.57 (CHF 0.40) au Brésil, il s'élève en moyenne à 1,50 CHF en Suisse romande³⁵. En comparant les salaires minimaux des deux pays, il en ressort que la charge financière représentée par la consommation d'eau, est 4 fois supérieure au Brésil. Les familles à faibles revenus peuvent néanmoins bénéficier d'une réduction allant jusqu'à 50% du prix initial. Le prix de l'eau est défini, par COPASA, et est le même pour tout l'état du Minas Gerais sans distinction, ni considération du contexte local. Une dégradation de la qualité de l'eau de boisson a néanmoins été observée, due à une contamination des réservoirs (agents pathogènes, cyanobactéries, contamination accidentelle, problèmes techniques dans le réseau de traitement). Cet état de fait alimente les critiques destinées à COPASA.

De plus, une réduction des débits d'approvisionnement en période sèche est régulièrement observée. Elle serait due aux changements climatiques³⁶ et aux impacts anthropiques sur le régime hydrologique. Cette situation de pénurie physique risque de devenir fréquente avec l'expansion démographique prévue à Belo Horizonte. L'approvisionnement étant majoritairement satisfait par des eaux de surfaces, des investigations quant à l'état des ressources souterraines, pour des besoins futurs, pourraient être justifiées. Quant aux rares interruptions dans le réseau de distribution, elles sont principalement dues à des catastrophes naturelles (inondations, glissements de terrain) affectant le réseau.

3.1.2.3. Eaux usées

C'est également l'entreprise COPASA qui s'occupe des eaux usées, de leur évacuation et de leur traitement.

³⁵ "Géographie des prix de l'eau en Suisse romande", HEG - Genève, 2006

³⁶ <http://www.fao.org/newsroom/fr/focus/2007/1000521/index.html>

Il existe aujourd'hui deux stations d'épuration principales, celle de l'Arruda et celle de l'Onça (capacité : 1'800 l/s). Environ 90% de la population est reliée à un système d'évacuation des eaux usées, mais seuls 43% de ces mêmes eaux usées arrivent jusqu'aux stations d'épurations (STEPS) de la ville. En effet, d'importantes lacunes dans les infrastructures d'évacuation des eaux usées existent (manque de collecteurs et/ou d'intercepteurs), d'où le rejet d'une importante quantité d'eaux usées dans le réseau hydrographique existant. Il faut également relever l'existence de nombreux déversements illégaux des eaux usées dans les cours d'eau urbains, ainsi que des connections illicites entre le réseau d'eaux usées et le réseau d'évacuation des eaux de pluies (drainage). En effet certains propriétaires mal intentionnés, mal informés ou en manque de moyens financiers, prennent ce genre d'initiative. Plus tard, il est très difficile d'identifier ces connexions.

Finalement, on observe une très forte corrélation entre le manque de collecteurs des eaux usées et la contamination des cours d'eau.

Une nouvelle petite station d'épuration, ne fonctionnant qu'en période d'étiage (concentration en polluant maximale), a été installée au bord du lac artificiel de Pampuhla afin de réduire la charge polluante de ses eaux. Une autre station est également en fonction à Bairro Pilar/Olhos d'Água et contribue à réduire la pollution du bassin versant de Bacia do Córrego Bonsucesso³⁷.



Figure 7. STEP Arrudas (source: COPASA)

La station d'épuration de l'Arruda a été dimensionnée pour le traitement des eaux usées d'une population de 1.6 millions d'habitants. Elle a une capacité de traitement initiale de 2.5 m³/s et devrait atteindre la capacité de 4.5 m³/s. Elle est équipée d'un système de traitement préliminaire, de décanteurs primaire et secondaire et de réacteurs biologique aérobie et anaérobie. Son rendement permet une réduction de 93% de la charge solide et organique des eaux usées collectées³⁸. Néanmoins, la technologie

utilisée n'est pas adaptée aux traitements de certaines pollutions "émergentes" comme les disrupteurs endocrinaux, médicaments, phtalates, etc...

3.1.2.4. Eaux de pluies

Les eaux de pluies et le drainage urbain sont de la responsabilité de la municipalité de Belo Horizonte (PBH), à travers SUDECAP.

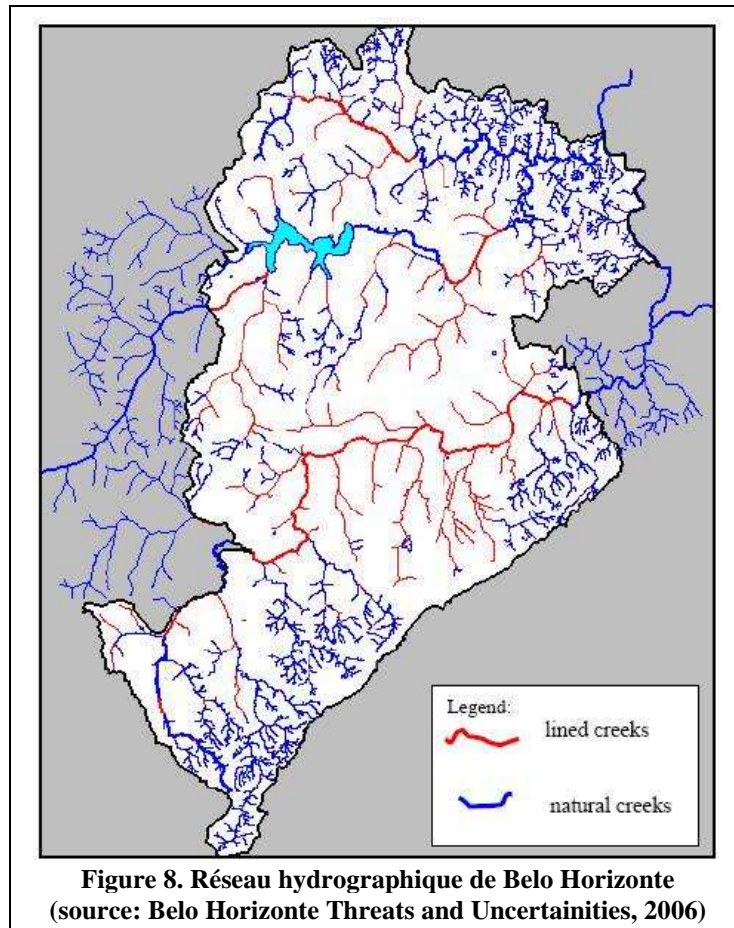
4'300 km de routes sont équipés de réseau d'évacuation. Au total, 770km de conduites d'évacuation des eaux de pluies ont été implantés. Initialement, il y avait 700km de cours d'eau naturels dont environ 200km ont été canalisés³⁹ pour répondre à différents besoins:

³⁷ "Plano Municipal de Saneamento 2004/2007", PBH, Mai 2004

³⁸ www.copasa.com.br

³⁹ Baptista & Nascimento, 1996

- Eradiquer les problèmes d'inondations en augmentant les vitesses d'évacuation des eaux de pluies
- Faciliter le raccordement du système de drainage urbain
- Faciliter l'entretien
- Réduire les zones de contact entre les cours d'eau pollués et la population
- Suivre la demande des habitants des zones riveraines



3.1.2.4.1. Inondations

L'augmentation rapide des surfaces imperméables, la topographie, l'obstruction des drains, le sous dimensionnement des infrastructures et les fortes intensités pluviométriques sont les facteurs rencontrés à Belo Horizonte responsables de la récurrence des inondations, voire de leur aggravation.

En effet, les modèles de dimensionnement des infrastructures d'évacuation des eaux pluviales utilisés jusqu'à aujourd'hui, étaient très simplifiés (méthode rationnelle, hydrogramme unitaire synthétique) et ne nécessitaient aucune donnée mesurée. Dès lors, aucune mesure hydrographique quantitative n'est disponible, à part la pluviométrie. Cet état de fait confère un caractère très approximatif aux dimensionnements hydrauliques et hydrologiques. En 1998, Ramos a simulé différents ruissellements à partir de plusieurs hydrogrammes unitaires synthétiques (dont celui utilisé par la municipalité) et a obtenu des résultats de débits de pointes avec des différences de plus de 70%.

La situation est complexe à Belo Horizonte ; de nombreux cours d'eau et de confluences, des débits variant fortement, des écoulements non uniformes, un climat tropical, des phénomènes orographiques, etc. Cet état de fait nécessite clairement une approche plus globale.

Aujourd'hui, la loi n'exige pas que les nouveaux quartiers issus du développement urbain évaluent leur impact sur le ruissellement aval, ou ne cherchent à le limiter. Les nouveaux systèmes de drainage de ces quartiers sont souvent dimensionnés comme des systèmes indépendants. Néanmoins ils surchargent le réseau aval existant, le rendent rapidement obsolète et accentuent les risques et la fréquence des inondations.

Face aux problèmes récurrents liés aux eaux pluviales et avec l'aide de la population intégrée aux processus de participation, la municipalité (SUDECAP) a mis en place un plan directeur de drainage urbain (PDDU) afin d'en améliorer la gestion. Ce plan directeur de drainage urbain fait partie intégrante du plan directeur d'assainissement (PMS) réalisé par la municipalité afin de planifier la gestion et les actions futures sur l'eau potable, les eaux usées, les eaux pluviales et les déchets. L'un des objectifs de la municipalité est d'assainir les fonds de vallées⁴⁰ afin d'améliorer l'évacuation des eaux de pluies et de réduire l'accumulation de déchets dans ces zones (source de contamination des eaux urbaines).

L'exemple du principal cours d'eau de Belo Horizonte (Arrudas) illustre bien les problèmes d'inondations existants. Ce cours d'eau draine 150km² d'une zone urbaine fortement imperméabilisée. A la fin des années 70, l'Arrudas a été canalisé et dimensionné pour une capacité de 300 m³/s. Néanmoins le débit d'une crue de temps de retour 200 ans est aujourd'hui estimé à 600 m³/s, du fait de la forte urbanisation de la région. Un réaménagement structurel (approfondissement et élargissement) de ce canal coûterait 10 millions US\$/km.

3.1.2.4.2. Erosion

Dans cette région où la topographie est accidentée, les pentes et les surfaces imperméabilisées sont importantes. La couverture végétale est principalement composée d'herbes hautes et de buissons, un phénomène de déforestation a également eut lieu pour les besoins domestiques et comme matériaux de construction. Les eaux qui ruissellent, atteignent des vitesses élevées, ce qui entraîne un important phénomène d'érosion. En plus de l'accentuation des instabilités de pentes, ce phénomène est aussi responsable de la présence de particules en suspension dans l'eau drainée. Ces particules vont, à long terme, obstruer le système de drainage et accélérer son vieillissement. Une campagne d'observations a été menée dernièrement sur l'état du réseau de drainage, y compris sur les problèmes de sédimentation. Des accumulations de sédiments ont surtout été observées dans les zones du réseau où il y a d'importantes pertes de charges singulières (intersection, rupture de pente,...). Malgré tout, le phénomène reste très dynamique et intimement lié à l'intensité des pluies, au phénomène de battance et à la couverture végétale. Il est donc difficile de connaître les zones d'érosion et de sédimentation avec exactitude.

Il faut également préciser que ce type d'obstruction du système de drainage (sédiments) n'a qu'une faible influence sur celui-ci, par rapport aux problèmes d'obstruction par les déchets.

⁴⁰ "Plano Municipal de Saneamento 2004/2007", PBH, Mai 2004

A Belo Horizonte, il n'y a aucune autorité désignée pour le suivi des problèmes d'érosions. Seuls les zones de glissements de terrains sont relevées. Pourtant, comme le montre l'exemple du réservoir de Pampuhla⁴¹, une meilleure gestion de l'érosion pourrait s'avérer judicieuse.

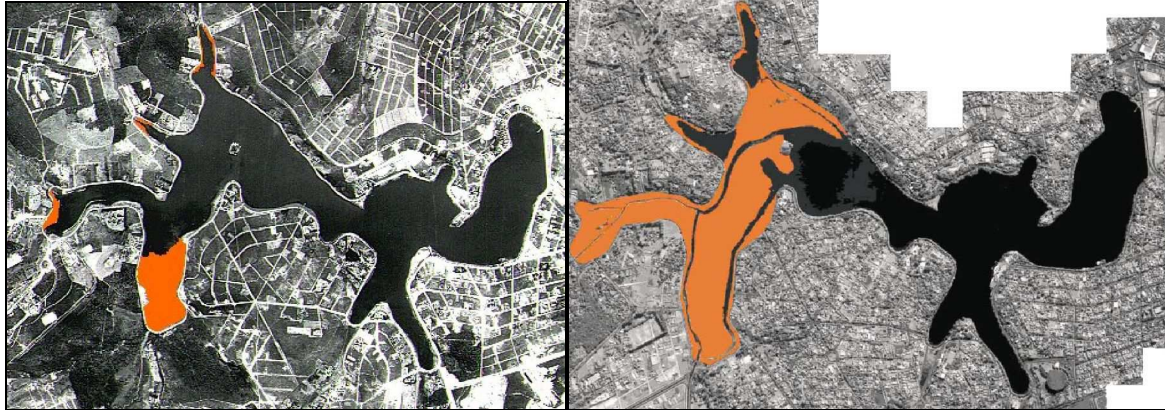


Figure 9. Evolution de la sédimentation (zone orange) entre 1964 et 2000 (Bandeira, 2004)

En 1958, le réservoir est créé dans l'optique de servir de lieu de stockage de l'eau potable, d'infrastructure de laminage des crues, de lieu de récréation, etc. Mais le transport solide et la contamination des eaux de ruissellements ont été tels que le réservoir a vite perdu ses diverses fonctions. A cause du transport solide, son volume est passé en 2000, à 45% de sa capacité initiale de 18 millions de m³. Le transport solide est estimé à 450'000m³/an.

3.1.2.4.3. Plan de drainage urbain (PDDU)

Selon Nascimento et al.⁴², la problématique de la gestion des eaux de pluies en milieu urbain doit passer par l'établissement d'un plan directeur de gestion des eaux pluviales urbaines. Sur la base de ce dernier, un certain nombre de questions doivent être étudiées :

- Quels sont les problèmes ciblés par le plan de gestion des eaux pluviales ?
- Quelles sont les causes des problèmes identifiés ?
- Quelles sont les ressources techniques et financières disponibles ?
- Quel est le support politique, légal et institutionnel pour le développement et l'implémentation du plan directeur de gestion des eaux pluviales en milieu urbain ?
- Quels pourraient être les problèmes potentiellement limitants pour la mise en place et la réalisation de ce plan directeur ?

L'objectif premier d'un plan directeur de gestion des eaux pluviales est de décrire l'état actuel du système de gestion, ses aspects techniques, institutionnels et légaux. Cette première étape servira de base pour l'anticipation des tendances futures. Des objectifs spécifiques peuvent ainsi être développés en fonction du contexte local et de l'évolution à plus long terme.

Le plan directeur de gestion des eaux pluviales permet de définir les alternatives existantes qui pourraient être mises en place pour répondre aux problématiques identifiées. Ainsi il

⁴¹ "Belo Horizonte Threats and Uncertainties", SWITCH, 2006

⁴² "Storm Water Master Planning in Developing Tropical Countries", Nascimento et al., 1998

permet d'orienter le choix du système le plus adéquat ; classique (redimensionnement du système de drainage), alternatif⁴³ (contrôle des débits, bassins de rétentions wetlands...), ou une combinaison des deux. En outre, le choix du système de gestion des eaux pluviales devra être accompagné de mesures de gestion et de maîtrise de l'érosion, de gestion des eaux usées et des déchets, de type structurel et/ou non structurel.

A Belo Horizonte, le plan de drainage urbain a été initié par le plan municipal d'assainissement (PMS, chap. 3.1.2.1) et intégré dans celui-ci. Il a connu différentes étapes ; le diagnostic du système existant par bassin hydrographique, le cadastre des macro et micro drainage et l'implantation des données dans un système d'information géographique. L'étape suivante comportera l'implantation d'un réseau de mesures quantitatives et qualitatives ainsi que la mise en place d'un système d'alerte contre les inondations.

Le PDDU intègre différents projets:

- DRENURBS⁴⁴ : important projet d'assainissement des cours d'eau (230 millions de US\$) ; il comporte des propositions de dépollution des cours d'eau (140km), de gestion des risques (inondations, santé publique,...), de développement du réseau d'évacuation des eaux usées et de rationalisation des routes et des habitations (déplacement des populations des zones à risque).

Ce projet introduit le concept de revitalisation et restauration des cours d'eau naturels, réintégration de ceux-ci dans le paysage urbain et contrôle de l'érosion. Au total, ce programme, soutenu par la Banque Interaméricaine de Développement (BID), concerne 177km² (51%) du territoire et un million d'habitants. Un suivi rigoureux d'un projet comme celui-ci permet, en outre, de révéler les véritables acteurs du développement urbain et d'en optimiser la gestion⁴⁵.

- Un programme de suivi des eaux de pluies (Stormwater monitoring program): qui vise la mise en place d'un réseau de mesures des pluies, des débits et de la qualité de l'eau afin de mieux identifier et évaluer les problèmes liés aux eaux de pluie. Mais aussi de juger de l'efficacité des mesures prises en amont.
- Un programme de modélisation hydraulique et hydrologique (Rainfall-runoff and hydraulic modelling program) utilisant les données récoltées par le programme précédent qui permettra de modéliser le fonctionnement du système de gestion des eaux de pluie, identifier ses lacunes et les priorités d'assainissement.
- Un programme de développement technologique (Research and technological development program) ayant pour objectif principal de développer des technologies de gestion des eaux de pluie pour résoudre les problèmes liés à celles-ci. Une attention particulière sera portée à :
 - La modélisation physique des structures hydrauliques existantes dans l'optique d'une évaluation de leur efficacité

⁴³ Urbonas & Stahre, 1996; Azzout et al., 1994; Schueler, 1987

⁴⁴ "Plano Municipal de Saneamento 2004/2007", PBH, Mai 2004

⁴⁵ "Urban policy and institutional change in Belo Horizonte", Costa & Costa, 2007

- L'évaluation des débits de déchets solides et de la structure adéquate de gestion à adopter
- L'étude de l'efficacité de prototypes de gestion des eaux de pluies (infiltration, abatement de la pollution, etc...) mais aussi des coûts de construction et d'entretien
- L'évaluation économique des bénéfices apportés par une amélioration du système de gestion des eaux de pluies
- Un programme de développement institutionnel (Institutional and managerial development program) qui promouvrait les aspects institutionnels, économiques et législatifs de la gestion des eaux de pluie auprès de la municipalité et ses différents organes.

3.1.2.5. Déchets

Seuls certains quartiers (*vilas* et *favelas*) ne sont pas desservis par un service d'évacuation des déchets (~100'000 personnes)⁴⁶. Ceux-ci sont alors accumulés dans des décharges informelles. Lorsqu'il pleut les déchets solides non ramassés sont entraînés et se retrouvent dans le système de drainage. Survient une contamination ainsi qu'une obstruction du système d'évacuation des eaux claires et des cours d'eau avals. L'accumulation de déchets dans le tissu urbain entraîne également une augmentation des risques sanitaires. La Dengue, par exemple, est présente principalement dans les quartiers défavorisés, où les déchets participent à la rétention d'eau.

C'est l'organe SLU (*Superintendencia de Limpeza Urbana*) qui s'occupe de la gestion des déchets (collecte et traitement). Il a également la responsabilité du service de balayage des rues (voirie). SLU a un statut de régie et délègue la collecte physique des déchets à deux entreprises locales. Lorsque la topographie, ou la largeur des rues, ne permet plus au camion compactant d'accéder à certains quartiers (en général les *vilas* ou *favelas*), ce sont des brouettes qui sont utilisées pour la collecte porte-à-porte. Lorsque la pente est supérieure à 20%, des locaux de collecte sont mis en place et c'est aux habitants d'évacuer leurs déchets jusqu'à ceux-ci⁴⁷. Une décharge municipale a été mise en place en 1975, une couche imperméable isole les déchets du sol et empêche toute contamination de la nappe phréatique.

Le production moyenne des déchets à Belo Horizonte s'élève à un peu plus de 0.5kg/hab./jour, dont ~67% sont d'origine organique. Néanmoins, il existe un système de tri sélectif (papier, métal, plastique, verre), la masse triée ne représente que 0.4% de la masse totale des déchets collectés quotidiennement. La réalité montre que les résultats de tri sélectif sont en progression⁴⁸. Il a été identifié que 750t/jour de déchets issus d'ouvrages de génie civil pourrait être recyclées ou valorisées sous une autre forme plutôt que d'être stockées⁴⁹. D'où l'existence de 3 usines de stockage et de valorisation de ce type de déchet.

En ville, la collecte est effectuée par des camions compactant de 15m³ pouvant contenir jusqu'à 7 tonnes de déchets. La fréquence de collecte dépend des quartiers. De plus, dans certains quartiers (une très faible minorité), une collecte sélective porte-à-porte est effectuée.

⁴⁶ "Plano Municipal de Saneamento 2004/2007", PBH, Mai 2004

⁴⁷ Issu de l'entretien du 09.05.07 avec SLU

⁴⁸ "Plano Municipal de Saneamento 2004/2007", PBH, Mai 2004

⁴⁹ *Ibid.*

Le système de nettoyage urbain (balayage) est performant. La fréquence des passages de la voirie dépend des quartiers. Un effort particulier est également fourni pour le nettoyage des gueules de loups afin de prévenir l'obstruction de ces dernières par les déchets.

De plus, la régie SLU a mis en place un large réseau d'information, d'éducation et de prévention lié à la gestion des déchets et au respect de l'environnement. Et ce dans les différentes couches sociales de la population, puisque son comportement environnemental ne dépend pas de son revenu⁵⁰. La population conserve, néanmoins, le réflexe de jeter les déchets par terre.

Il est nécessaire de relever l'existence d'un réseau de recycleurs informels, les "Catadores". En pratique, ce sont des personnes qui parcourent la ville avec un chariot et qui récupèrent tous les déchets valorisables dans le but de les revendre. C'est à la fin des années 80 qu'un organisme religieux appelé "Pastoral da Rua" a pris le parti de ces personnes et les a organisées en syndicats par zones distinctes. Ces emplois informels permettent à une frange défavorisée de la population de gagner un salaire. En 2002, une loi fédérale sur le tri sélectif a été adoptée et, les "Catadores" ont obtenu un statut officiel.

Le problème de l'intégration de ces emplois informels dans une organisation du type entreprise est discuté. En effet, la population qui exerce cette activité est très indépendante ce qui permet à des personnes, pas ou peu intégrées, de travailler. Proposer une structure plus rigide mènerait à leur possible exclusion.

3.1.2.6. Sectorisation de la gestion de l'eau

Le problème de la sectorisation de la gestion de l'eau semble fondamental. En effet, la municipalité s'occupe des eaux de drainage urbain et des déchets, selon un système de régie, à travers SUDECAP. Tandis que COPASA est le concessionnaire des services publics du traitement et de la distribution de l'eau potable, ainsi que de l'évacuation et du traitement des eaux usées, avec le statut d'entreprise à économie mixte. Ces deux entités ont donc des statuts et des responsabilités différentes. Ils ne sont aucunement contraints de coordonner leurs activités.

En théorie, cette organisation institutionnelle pourrait fonctionner mais de nombreux problèmes inter-reliés font penser que ces services devraient être gérés par un seul et unique organisme. En effet, dû au manque de collecteurs, une partie des eaux usées (responsabilité de COPASA) est déversée dans le réseau hydrographique et/ou dans le système de drainage (responsabilité de PBH/SUDECAP), les contaminant fortement. Tandis qu'une partie des eaux de pluies est déversée dans les égouts, surchargeant la STEP en aval, qui n'est, pas dimensionnée à cet effet.

Il est donc clair que les problèmes de contamination et d'assainissement sont liés alors qu'ils concernent deux entités distinctes, d'où la nécessité d'une très étroite collaboration. Grant [1999] affirme que l'efficacité de la gestion territoriale, y compris celle de l'eau, dépend de la capacité de l'ensemble des intervenants à s'attacher à des objectifs globaux en échangeant de l'information et en coordonnant leurs activités⁵¹.

⁵⁰ Issu de l'entretien du 09.05.07 avec SLU

⁵¹ "Concept de monitoring participatif au service des villes en développement", Thèse A. Repetti, EPFL, 2004

Cette situation semble être temporaire et une réflexion est en cours sur la création d'un organisme commun de régulation et de gestion⁵². Le récent investissement de la municipalité dans les actions de COPASA lui permet d'avoir une influence sur les choix de cette dernière. Il faut également préciser que l'existence du plan municipal d'assainissement concerne l'ensemble des problèmes liés à l'eau et planifie les futures actions à entreprendre, fixant ainsi une ligne de conduite commune pour la municipalité et pour COPASA. Tandis que le conseil municipal d'assainissement (COMUSA), chargé de valider les actions, mesures et ouvrages futurs, est constitué par des membres des deux parties, ce qui permet également de coordonner les activités de ces deux institutions. De plus, COPASA est contraint d'investir 4% de son chiffre d'affaire au fond municipal d'assainissement (FMS) qui servira à financer les actions validées par COMUSA.

3.1.2.7. Quartiers défavorisés⁵³

Les zones prioritaires d'exclusion sociale (ZEIS) ont été définies à l'aide d'un indice de qualité de vie urbaine (IQVU). Cet indice prend en compte la densité de population, son revenu et son accès aux services publics (transports, santé, éducation,...). 5% de la superficie de Belo Horizonte, regroupant environ 360'000 personnes, est défini comme ZEIS. Environ 90% des habitants de ces zones n'ont pas de titre de propriété mais ont un accès à l'eau direct, ou indirect, légal ou illégal. Les ZEIS se sont développées dans les zones présentant des risques élevés d'inondations ou de glissements de terrains. En effet ces zones étaient exemptes de constructions car légalement destinées à être inondées, ou présentant des risques élevés d'instabilité. Les populations pauvres issues de l'exode rural se sont appropriées ces zones laissées libres dans le tissu urbain, pour construire leurs habitations informelles. En plus de n'être pas planifiées, ces zones se trouvent souvent sur de fortes pentes, où l'érosion est importante. Elles ne sont pas équipées en réseau d'assainissement et déversent leurs eaux usées dans les cours d'eau. Elles présentent souvent une densité de population importante, accroissant le risque en cas de catastrophe. L'assainissement de ces zones est rendu encore plus difficile par le manque d'espace, d'accès et par la topographie, pour le développement d'infrastructures de drainage ou d'évacuation des eaux usées.

Ces quartiers présentent donc de nombreux problèmes concernant différents domaines. En plus des problèmes techniques cités précédemment, d'importants problèmes socio-économiques existent. Par exemple, Vilarinho, une des *favelas* de Belo Horizonte, présente un taux de chômage proche de 80%. Ces zones deviennent, dès lors, une priorité pour les gestionnaires, principalement pour la municipalité. C'est à travers URBEL et des projets comme Manuelzao (chap. 3.2.4.3), que l'assainissement et l'accès aux services de base sont assurés. COPASA affirme d'ailleurs que ce projet est efficace puisque depuis qu'il a été mis en place, les dégrilleurs, placés en amont d'un site important de prélèvement d'eau destiné à la boisson sur le cours d'eau Velhas, ont besoin d'un entretien beaucoup moins important. En effet, les habitants des zones défavorisées en amont semblent jeter moins de déchets dans le cours d'eau⁵⁴.

⁵² "Plano Municipal de Saneamento 2004/2007", PBH, Mai 2004

⁵³ "Etude sur les services essentiels des ménages à faible revenu", ISTED, 2005

⁵⁴ Issu de la visite de terrain à l'usine de production d'eau potable Rio das Velhas du 15.05.2007

En outre URBEL affirme⁵⁵ que le réseau de collecte des déchets est bien développé dans les *vilas* et *favelas*. Malgré cela, la présence de décharges informelles reste fréquente.

3.1.2.8. Législation⁵⁶

Au niveau fédéral, le tissu institutionnel et légal rassemble l'environnement, la ressource eau et, récemment le système national d'assainissement environnemental. Il propose de nombreux outils de gestion de l'eau. Malheureusement, ces derniers sont rarement utilisés au niveau municipal par manque d'efforts d'adaptation et de développement institutionnel au niveau local. Selon la constitution brésilienne, l'eau est un bien public, géré par concessions accordées par l'état ou l'Union (Etats-Unis du Brésil). En 2005, le conseil national de l'environnement a publié des classes de qualité des eaux en fonction de leur utilisation. De plus ce conseil a fixé des limites de concentration des composés rejetés aux exutoires naturels. Si un cours d'eau ou un lac ne correspond pas à la classe à laquelle il a été associé, des objectifs d'assainissement sont définis dans l'optique de réintégrer les standards de qualité établis.

Selon la loi 9011/2005, c'est le secrétariat SMURBE qui a la responsabilité "de définir et d'implémenter les politiques urbaines et environnementales au niveau municipal suivant une approche intégrée". Ils doivent également s'assurer "que le développement urbain soit en harmonie avec les fonctions sociales de la ville".

SUDECAP est responsable de gérer les infrastructures municipales. Ses compétences légales concernent l'élaboration et l'exécution des projets municipaux, l'entretien des bâtiments publics, des routes ainsi que du réseau de drainage. Il apporte un support technique et administratif au conseil municipal d'assainissement (COMUSA). Finalement, il gère les contrats de réalisation avec les entreprises tierces.

La législation en place a également induit la création d'un secrétariat municipal de l'environnement et d'un conseil municipal de l'environnement (COMAM), respectivement responsable de :

- Définir les priorités de surveillance environnementale, surveiller l'application de la législation environnementale ainsi que son renforcement, et finalement sensibiliser le public aux problèmes environnementaux.
- Proposer des lignes directrices pour la gestion environnementale municipale, promouvoir l'amélioration de la qualité de l'environnement, établir la législation environnementale municipale en accord avec la législation fédérale et finalement, décider des autorisations de développement et de l'application d'amendes.

Au niveau national, la création du ministère des villes en 2003 renforce la tendance à considérer les politiques urbaines et sociales et les politiques environnementales comme un tout. En effet, ce ministère s'occupe de quatre domaines: logement, mobilité, régularisation des terres et assainissement.

⁵⁵ Issu de l'entretien avec URBEL du 14.05.07

⁵⁶ "Urban storm water management in the Belo Horizonte learning alliances area, legislative and strategic structures", 2007

Il est également important de relever l'absence d'application des outils légaux visant à la régulation des problèmes de rejets d'eaux usées illégaux, des connections illicites et du développement urbain sauvage qui sont, en partie, responsables des problèmes d'inondations, de pollution, d'érosion et de sédimentation⁵⁷.

3.1.3. Nécessité d'une approche intégrée

A priori, la problématique principale de la ville de Belo Horizonte est liée aux eaux pluviales. Ce problème s'avère complexe car il n'est pas isolé, il est fortement corrélé à la gestion du développement urbain. Les réseaux de routes, des eaux usées, de collecte des déchets, l'érosion et la santé publique y sont également liés. Mais les problèmes ne sont pas seulement techniques, ils sont effectivement aussi institutionnels, sociaux, légaux, politiques et financiers. Dès lors, la problématique de la gestion de l'eau à Belo Horizonte doit s'inscrire dans une approche de développement durable

Une meilleure définition des actions, en vue d'une approche holistique et adéquate, passera par une meilleure intégration de la population au sein de la gestion des eaux urbaines, de la maîtrise de la pollution, des initiatives de restauration des cours d'eau, etc...Il semble clair que c'est la population qui connaît le mieux son environnement et les problèmes auxquels elle est confrontée.

La connaissance des réalités locales peut alors mener à l'adoption d'une approche intégrée. Les principaux impacts de l'urbanisation sur les eaux urbaines à différents niveaux d'organisation du territoire (quartier, ville, RMBH, bassin versant) doivent être connus. Complétés par une connaissance des facteurs techniques, institutionnels, légaux, sociaux et économiques qui pourraient, potentiellement aggraver les impacts identifiés précédemment, ou qui pourraient rendre difficile la mise en place d'une gestion intégrée et durable. Une fois le contexte connu, ses faiblesses identifiées, les alternatives (p.ex. Best management practices) et opportunités pour la mise en place d'une approche intégrée et durable peuvent être évaluées. Et ce, à différentes échelles du territoire, et aux différents domaines liés à l'eau⁵⁸ (adduction, assainissement, eaux de pluies).

3.2. *Processus participatifs*

3.2.1. Introduction

D'après A. Repetti⁵⁹, la très rapide expansion démographique des grandes villes du Sud, ainsi que leur manque de moyens financiers et techniques contribue à la difficulté de planifier et de mettre en place un système de gestion adéquat. De plus, un manque de coordination et de communication entre les différents acteurs responsables du développement territorial inhibe encore un peu plus, cette mise en place.

⁵⁷ "Storm Water Management in a tropical city, the Belo Horizonte case study", Nascimento et al., 1999

⁵⁸ "Belo Horizonte learning alliances action plan", 2006

⁵⁹ "Concept de monitoring participatif au service des villes en développement", thèse d'A. Repetti, EPFL, 2004

Toujours selon A. Repetti, les lacunes existantes dans les actions de planification des pays en voie de développement induisent une forte informalité, un habitat précaire, l'insuffisance et/ou l'inadéquation des infrastructures, une faible efficience des investissements publics, des disparités et des conflits sociaux, une insalubrité, etc. Le développement urbain sans planification exprime la logique économique dans toute sa rigueur. En effet, l'implantation des infrastructures répond à des critères purement économiques : meilleur rapport coût-bénéfice, efficience maximale pour l'utilisation des ressources, etc...⁶⁰.

Ce sont effectivement des réalités rencontrées à Belo Horizonte. Sarpi [2000] a défini cet état de fait comme étant "le syndrome urbain". Celui-ci met en exergue la complexité de la problématique urbaine et la nécessité d'adopter des instruments intégrés et interdisciplinaires.

De plus en plus d'acteurs locaux et d'organisations non-gouvernementales (ONG) s'impliquent dans la gestion locale, complexifiant la coordination et la planification des actions. Dès lors, l'instauration de processus et de monitoring participatifs permet une meilleure connaissance du territoire par les différents acteurs, une meilleure circulation de l'information et une vision stratégique commune menant à une meilleure adéquation entre les actions de gestion et les réalités complexes de la ville.

3.2.2. Implémentation à Belo Horizonte (BEHLA)

C'est en 1993 que les processus participatifs ont été introduits par la municipalité⁶¹ de Belo Horizonte, dans le cadre de la définition de l'utilisation de son budget et de ses priorités. Ainsi, la municipalité a lancé des programmes dans toute la ville et particulièrement dans les quartiers les plus défavorisés quant aux futurs investissements en matière d'infrastructures urbaines. Belo Horizonte est très en avance sur le reste du Brésil dans ce domaine et constitue une référence⁶². Aujourd'hui la population peut intervenir à trois niveaux :

- Au niveau régional, la population participe aux choix des investissements et des priorités de restauration.
- Au niveau de l'habitat, problème important à Belo Horizonte, ce sont surtout les populations des quartiers défavorisés qui sont concernées, et peuvent définir les priorités de la construction de nouvelles habitations.
- Au niveau de la ville, c'est depuis 1999 que la population participe aux choix des priorités de développement sociaux et urbains de la municipalité ; santé, éducation, développement social, sports, cultures,...

En 1994, au lancement des processus participatifs, ils étaient 15'000 participants et en 2004, ils sont environ 30'000⁶³ atteignant un total de 300'000 personnes ayant collaboré dans les processus participatifs depuis 1994.

De plus, en 2006, la municipalité a proposé un processus participatif "digital", permettant la participation de la population via Internet⁶⁴. De nombreux points de votes ont été répartis dans la ville. La seule exigence étant la possession d'une carte de vote par les futurs électeurs. Plus

⁶⁰ Wright, 1996

⁶¹ "Plano Municipal de Saneamento 2004/2007", PBH, Mai 2004

⁶² "Urban policy and institutional change in Belo Horizonte", Costa & Costa, 2007

⁶³ GEOP – SMPL - 2003

⁶⁴ "Principais ações de governo", 2006

de 500'000 votants ont participé et défini un objectif par région métropolitaine (restauration d'espace public, implantation d'un complexe sportif, implantation d'un parc écologique...) ⁶⁵.

Néanmoins, comme le proposent Costa & Costa ⁶⁶, il reste important de connaître la réalité des processus participatifs à Belo Horizonte : rôle et influence réels de la population dans le processus de prise de décision, statut des différentes entités (consultatif, délibératif,...).

3.2.3. Résultats

L'intégration de la population aux processus de réflexion, et de décision, dans la gestion des eaux pluviales et des eaux usées a convaincu la municipalité de considérer les solutions innovantes et alternatives. A cette fin, elle propose différentes mesures ⁶⁷:

- L'étude de la mise en place d'infrastructures de laminages des crues en amont des bassins versants. Les puits et/ou tranchées d'infiltration présentent l'intérêt de retarder et de diminuer l'intensité du ruissellement. Mais la topographie de la ville demande des études géologiques et géotechniques approfondies pour la définition des zones propices à l'infiltration. Celles-ci ne doivent en aucun cas aggraver les phénomènes d'instabilité de versants ou de résurgence.
- La construction de bassins de rétention et d'épuration.
- Le choix d'un logiciel de modélisation adéquat (coût, mise à jour, accessibilité,...) et adapté aux conditions locales
- L'adoption d'un système d'indicateurs qualitatifs portant sur le drainage urbain.
- La définition d'un plan de gestion globale intégrant les différents services (PBH et COPASA)
- Le développement de techniques alternatives pour le contrôle des inondations et plus particulièrement le développement de mesures préventives non structurelles dans le cas des *flash floods*.
- L'évaluation des alternatives proposées par la modélisation.
- Le développement d'indicateurs concernant la gestion intégrée des eaux urbaines (Integrated Urban Water Management, IUWM)
- L'identification d'un réseau institutionnel, législatif et financier idéal, dans l'optique d'optimiser la gestion de l'eau urbaine à l'intérieur de l'organisation existante.
- Le passage d'une approche classique à des méthodes de gestion plus naturelles (renaturalisation, ...)
- La mise en place d'une série de mesures préventives pour limiter les dommages à la population pauvre lors de fortes pluies. La municipalité cherche à déplacer la population des zones à forts risques par des processus d'expropriation et de relogement. Mais une grande partie de cette population ne possède aucun titre de propriété, d'où le lancement d'une campagne de régularisation et d'accès à la terre dans

⁶⁵ *Ibid.*

⁶⁶ "Urban policy and institutional change in Belo Horizonte", Costa & Costa, 2007

⁶⁷ "Draft report – City Scoping – SWITCH", Nascimento et al., 2006

les quartiers défavorisés. La création de centres de secours de proximité est également une proposition de la municipalité⁶⁸.

- La construction prévue de 40 bassins de rétention/épuration répartis dans la ville afin de laminer les crues et de réduire la pollution des eaux de surface.

3.2.4. Projets

En plus des projets de grande envergure comme le plan d'assainissement municipal, le plan directeur de drainage, le projet DRENURBS, un grand nombre d'autres actions se focalisent sur les domaines socio-économiques et visent à l'assainissement des quartiers les plus défavorisés. De nombreux acteurs (municipalité, société civile, ONGs, etc...) se mobilisent dans cette optique.

3.2.4.1. Projet URBEL

La méthodologie de travail d'URBEL commence, avant tout, par une étude à travers un questionnaire. Les informations obtenues concernent l'état des habitations des populations défavorisées, leurs conditions de vie, les principaux problèmes auxquels elles sont confrontées, la valeur de leurs biens (en vue d'une expropriation, régularisation,...), leur connexion aux différents réseaux, etc. Cela permet surtout de procéder à un suivi spatial et qualitatif de cet habitat informel qui se développe très rapidement. La pondération des problèmes et la priorité des actions sont également basées sur les résultats de ce même questionnaire. Les problèmes sont nombreux : insalubrité, déchets, eaux usées, eaux de boisson et drainage.

Dans l'optique de l'élaboration d'un outil d'aide à la décision et de comparaison entre *vilas* (ou *favelas*), URBEL a adapté l'indice de salubrité environnementale (ISA) au niveau des quartiers (appelé ISAquadra⁶⁹). En effet, l'ISA est caractérisé par un faible niveau de détail, calculé par bassins hydrographiques élémentaires. Il ne permet donc pas de caractériser clairement les problèmes spécifiques aux quartiers défavorisés puisque ceux-ci se trouvent à un niveau de détail plus fin. En outre, le calcul de l'ISA englobe un grand nombre de paramètres ce qui peut masquer un problème particulier. Ainsi, un quartier sans évacuation des eaux usées peut avoir un indice ISA acceptable s'il est équipé d'infrastructure de drainage, d'un réseau de collecte des déchets, etc...

La priorité d'URBEL est de représenter les problèmes rencontrés dans les *vilas* et *favelas* au niveau micro et d'éviter une perte d'information engendrée par une zonation inadaptée. L'expérience d'URBEL, acquise sur le terrain, les a convaincu de l'inadéquation des critères utilisés lors de la caractérisation de la ville formelle et des réalités des quartiers défavorisés.

Au niveau technique, URBEL rencontre des problèmes logistiques dus à un manque de moyens financiers et de temps⁷⁰. Comme dans la majorité des autres bureaux de la municipalité visités, le parc informatique est obsolète. En ce qui concerne leurs données, elles sont entrées dans un système de base de données (Access[®]) mais ne sont pas valorisées

⁶⁸ "Draft report – City Scoping – SWITCH", Nascimento et al., 2006

⁶⁹ Issu de l'entretien du 14.05.2007 avec les responsables d'URBEL

⁷⁰ *Ibid.*

puisque aucun système d'information géographique, permettant un traitement ou une manipulation, n'est utilisé. Des questions de représentation de celle-ci, de formats hétérogènes ou encore d'agrégation restent sans réponse, faute de spécialiste.

3.2.4.2. Propam

Le projet Propam (Program de recuperação e desenvolvimento ambiental da bacia da Pampuhla) se concentre sur la zone du lac artificiel de Pampuhla. Comme décrit dans le chapitre 3.2.4.2, cette infrastructure est, aujourd'hui, fortement contaminée par les eaux de ruissellement s'y accumulant. Une des mesures prise récemment est l'implantation d'une petite station d'épuration (Estação de Tratamento de Águas Fluviais Ressaca e Sarandi) traitant ses eaux en période d'étiage.

Ses actions comprennent l'assainissement et la préservation des cours d'eau amont, l'amélioration des conditions sanitaires des riverains et la limitation des phénomènes d'érosion et d'inondations.

3.2.4.3. Manuelzao

Manuelzao est un projet créé à la faculté de médecine de l'université fédérale du Minas Gerais (UFMG), où une partie des professeurs ont pris conscience que les problèmes de santé de la population dépendaient de la qualité de son environnement. L'objectif principal de ce projet vise la revitalisation du fleuve Rio das Velhas et le retour d'un élément important de son écosystème : les poissons, qui ont aujourd'hui disparus.

Les actions initiées dans le cadre de ce projet concernent la sensibilisation et la mobilisation de la population, des actions d'informations dans les médias et sous formes de prospectus. Mais le projet Manuelzao fait également de la recherche sur les opportunités d'actions, leurs pertinences et l'évaluation de leurs impacts⁷¹.

3.2.4.4. Suivis expérimentaux⁷²

Dans le cadre du projet SWITCH, une série de campagnes de mesures, d'études quantitatives et qualitatives vont être mises en place. Ces mesures pilotes ont divers objectifs :

- Définir l'origine, la destination, le type et l'intensité de la pollution, maîtriser le ruissellement, et, finalement, modéliser ces phénomènes.
- Procéder aux suivis expérimentaux d'un prototype de bassin de rétention et d'une zone de lagunage (constructed wetland) dans l'optique de quantifier le ruissellement, la capacité épuratoire (abattement) de ces infrastructures et les caractéristiques des flux entrant. Mais aussi d'évaluer les dangers d'instabilités ou de santé publique liés à de telles infrastructures, de modéliser leur fonctionnement hydrologique et hydraulique et finalement de les adapter au contexte local.

⁷¹ [http : \www.mauelzao.ufmg.br](http://www.mauelzao.ufmg.br)

⁷² "Plan des Work Packages 2.1 et 2.2", SWITCH, 2006

- Ces expérimentations apporteront d'autres informations. Elles permettront une caractérisation de la pollution, des processus hydrologiques et hydrographiques et de préciser les impacts du développement urbain sur les eaux urbaines. Les enseignements apportés par ces expériences vont développer les compétences des techniciens sur le suivi des eaux de pluies et leur maîtrise. Et, dans le cas de renaturation de cours d'eau, les données obtenues par ces suivis permettront d'évaluer les bénéfices de telles actions.

3.3. Développement futur

3.3.1. Mesures urgentes

L'utilité d'un plan directeur de gestion des eaux pluviales n'est plus à démontrer, sa mise en place nécessite des campagnes de mesures coûteuses en temps et en argent. Néanmoins, les inondations sont également coûteuses matériellement et en vie humaine. C'est pourquoi l'adoption de mesures complémentaires urgentes est la première étape d'une meilleure gestion des eaux pluviales. Nascimento et al. ont identifié quelles seraient ces mesures :

- Restauration des infrastructures hydrauliques existantes endommagées
- Mesures structurelles et non structurelles afin de réduire les risques lors d'une prochaine inondation
- Service d'aide à la population (aide sanitaire et matérielle) lors de catastrophes
- Programme de relogement des populations occupant les zones à risques (inondations et glissements de terrain)

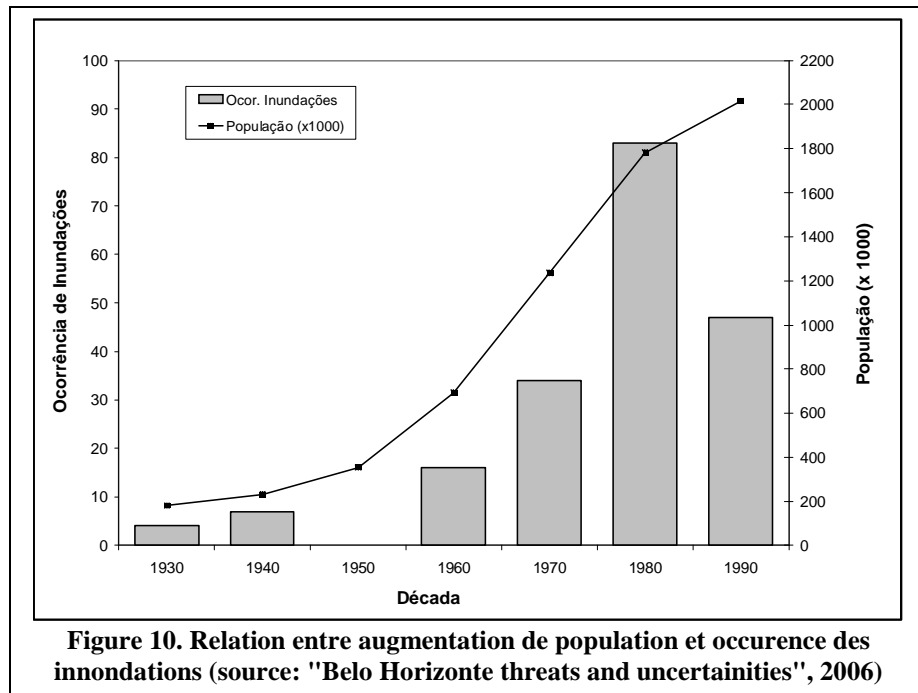
Aujourd'hui la politique de gestion urbaine de la municipalité suit ces recommandations, à travers son plan directeur de drainage et le plan municipal d'assainissement. Des mesures non structurelles doivent être favorisées car elles peuvent être mises en place rapidement, à des coûts réduits. La formation, l'information ainsi que la sensibilisation de la population (enfants, écoles...) face aux problèmes environnementaux doivent être développées dans le but de régler certains problèmes en amont (contamination des cours d'eau, obstruction du système de drainage, etc...). Responsabiliser la population face aux problèmes récurrents est primordiale.

3.3.2. Expansion démographique

D'après la loi en vigueur, le bâti existant pourrait être densifié, donc la ville n'aurait pas besoin de s'étendre plus. De plus, d'après une étude menée dans le cadre du projet SWITCH⁷³, le bassin versant qui a le taux d'imperméabilisation le plus faible aujourd'hui (Onça) serait celui susceptible de voir son taux d'imperméabilisation augmenter le plus rapidement pour un même accroissement de population.

De plus, d'après une étude réalisée par la municipalité (Figure 10), il existe une corrélation évidente entre l'expansion démographique et la fréquence des inondations. Cette relation peut être expliquée par le lien entre l'expansion démographique, ou plutôt, la densité de population et le taux d'imperméabilisation, lui-même responsable de l'augmentation du ruissellement.

⁷³ "Belo Horizonte threats and uncertainties", SWITCH, 2006



L'attrait que constituent les zones périphériques de Belo Horizonte pour les personnes des classes aisées, et leurs habitats particuliers (gated communities⁷⁴), pose problème. Ce type d'organisation urbaine favorise une emprise importante sur le sol pour une densité de population faible et une imperméabilisation toujours plus grande à l'amont des bassins versants. En plus de soulever la question de la ségrégation sociale par une ségrégation spatiale, ce phénomène peut mener à une privatisation du paysage et des lieux potentiels de récréation.

3.3.3. Changement climatique

Le climat de Belo Horizonte montre une faible variabilité des températures durant l'année ainsi qu'une très forte variabilité des précipitations (une saison sèche et une saison humide).

Les changements climatiques pourraient avoir une influence sur les températures et non sur les précipitations (Pinheiro and Naghettini, 1998). Mais une augmentation de 2 à 3°C pourrait avoir un impact sur la végétation tropicale (diminution de 40% de la végétation dans la forêt amazonienne, Nobre et al, 2005), ce qui induirait un accroissement du phénomène de battance, d'imperméabilisation du sol et du ruissellement. Ce phénomène pourrait également induire une diminution du potentiel de recharge des nappes phréatiques, et donc, une fragilisation du régime hydrique local.

3.3.4. Evolution technique et institutionnelle

Les techniques alternatives (Best Management Practices), selon l'Encyclopédie de l'hydrologie urbaine et de l'assainissement, *sont des techniques d'assainissement dont le but*

⁷⁴ "Quartiers dont l'accès est contrôlé, [...]et dans lequel l'espace public (rues, trottoirs, parcs, terrains de jeu...) est privatisé", Thèse Renaud LE GOIX, Université de Paris 1 – Sorbonne, 2003

n'est plus d'évacuer le plus loin et le plus rapidement possible, mais, au contraire, de retarder, infiltrer, les eaux de ruissellement. Cette approche a donné naissance au puits d'infiltration, tranchée drainante, bassin de rétention/infiltration,...C'est, aujourd'hui le désir de la municipalité d'investir dans ces technologies pour répondre aux problèmes des eaux pluviales (inondations, flash floods⁷⁵) rencontrés dans le contexte de Belo Horizonte.

Jusqu'à aujourd'hui, c'est l'approche classique "hygiéniste" qui a dicté les méthodes de gestion des eaux à Belo Horizonte. Les gestionnaires se sont bornés à aménager les fonds de vallée comme des "sanitary roads". Cette approche cherche à optimiser l'utilisation de l'espace pour le trafic urbain. Dès lors, le cours d'eau, qui occupe initialement le fond de vallée, est canalisé et mis sous terre. Les autres réseaux urbains sont installés le long du canal. L'espace offert par la mise sous terre du cours d'eau est ainsi utilisé pour les voies de circulation. La mise sous terre des eaux polluées a aussi pour objectif de résoudre les problèmes d'esthétique, d'odeurs, de déchets et de maladies vectorielles. Cette approche n'est en soi pas une solution durable puisqu'elle se borne à masquer les problèmes plutôt que de les résoudre. En outre, ce concept considère que les eaux de pluies ne sont pas polluées et qu'elles ne nécessitent aucun traitement.

Ces observations montrent la tendance à trop simplifier le problème des eaux urbaines⁷⁶. Les 200km de cours d'eau naturels canalisés aujourd'hui⁷⁷ sont le résultat flagrant de cette simplification.

Cette vision de la gestion de l'eau urbaine a mené à une très forte imperméabilisation des fonds de vallées, qui s'est avérée incompatible avec le régime naturel puisque les fonds de vallées sont les lieux de concentrations des eaux de ruissellement. D'où des inondations récurrentes. Les techniques alternatives permettent de résoudre plusieurs problèmes (qualité des milieux récepteurs, qualité de vie, ressources en eau, inondations urbaines), néanmoins leur adoption nécessite le changement de l'approche "hygiéniste" et la revalorisation du milieu naturel. La gestion des eaux redevient une affaire "publique", puisque une partie des techniques alternatives s'applique à la source (aux parcelles), et que les ouvrages deviennent visibles⁷⁸.

Mais aujourd'hui, l'adoption des techniques alternatives se heurte à différents problèmes. Le nombre croissant d'acteurs intervenant dans les processus de décisions, les problèmes de gouvernance et le manque de circulation de l'information entre les différents acteurs sont des freins à la prise de décision⁷⁹. Le développement et l'adoption d'un outil comme SMURF (en tant qu'outil de communication et d'aide à la décision) s'intègre parfaitement dans l'évolution institutionnelle nécessaire à l'adoption des techniques alternatives.

Il semble également évident qu'une amélioration de la coordination et de la coopération inter municipalités soit nécessaire lorsque celles-ci appartiennent au même système hydrographique, sachant que les activités, actions et investissements amonts influencent les municipalités aval. Ainsi, une meilleure coordination permet de mieux cibler les actions et d'optimiser l'efficacité des mesures, tout en limitant les investissements.

⁷⁵ "Crues soudaines provoquées par des événements pluvieux orageux", www.h2o.net

⁷⁶ "Storm water management problems in a tropical city – the Belo Horizonte case study", Nascimento et al., 1999

⁷⁷ Baptista & Nascimento, 1996

⁷⁸ "Analyse des conditions de développement des techniques alternatives", thèse E. Chouli, ENPC, 2006

⁷⁹ Azzout, 1994

Les défis du futur et une gestion intégrée de l'eau urbaine exigeront des transformations techniques, de gestion, de planification, de prise de décision, etc... Ces changements demanderont aux professionnels des différents secteurs un important effort d'adaptation. Les difficultés seront donc essentiellement institutionnelles, au niveau de l'acceptation et de l'adoption des changements législatifs, politiques et méthodologiques.

3.4. Remarques personnelles

3.4.1. Gestion des eaux urbaines

Les années 70 au Brésil ont été marquées par une dictature militaire. Le gouvernement a imposé que la distribution de l'eau soit assurée par une entreprise étatique. C'est ainsi que COPASA a été créée dans l'état du Minas Gerais. Aujourd'hui, alors que cet état contient plus de 800 municipalités, COPASA est en charge de la distribution de l'eau dans environ 700 municipalités. D'après COPASA, les taxes prélevées sur l'eau sont réinvesties dans le renouvellement des infrastructures des municipalités les plus pauvres. Mais les lacunes de gestion et d'infrastructures dans le domaine des eaux usées ont motivé la municipalité de Belo Horizonte à étudier la manière la plus appropriée de gérer les problèmes complexes et inter reliés des eaux urbaines (distribution eau potable, eaux de pluie et eaux usées). En 2000, au moment du renouvellement du contrat avec COPASA (pour 30ans), la municipalité a proposé l'instauration d'une régie unique s'occupant de l'assainissement, et de la distribution d'eau potable. Belo Horizonte représentant 40% des recettes de COPASA, cette dernière, soutenue par l'état du Minas Gerais, a refusé.

Les deux parties ont défini un accord par lequel, COPASA s'engage à investir 4% de son capital dans le fonds d'assainissement municipal (FMS). Malgré tout, COPASA n'a encore jamais transmis les détails comptables de sa gestion à la municipalité. Certaines personnes critiquent ouvertement la politique libérale de COPASA et son manque de transparence pour une entreprise de service publique.

3.4.2. Permis de construire

A Belo Horizonte, le droit des constructions est défini par quartiers, ou par zones. Il existe donc différents types de zones d'utilisation du sol; habitations (plus ou moins fortes densités), commerciales, et industrielles. Des coefficients relatifs à l'utilisation du sol, taux d'imperméabilisation, etc... sont attribués à chaque zone. Selon certaines sources, le quartier de Sion/Belvedere est un exemple typique d'un changement de coefficient soudain, voté, et qui a, d'après ces sources, été influencé par des intérêts économiques et/ou immobiliers. Pourtant, il semble clair que dans le cadre des mesures non-structurelles de la gestion des eaux pluviales et des inondations, ces coefficients jouent un rôle important.

Ceci montre la nécessité de renforcer les mesures législatives au niveau de la gestion des eaux de pluies, mais aussi pour les autres domaines relatifs à l'assainissement et à l'environnement. S'il existe une réelle volonté de réduction des problématiques urbaines, il est nécessaire d'offrir un cadre strict qui permettrait aux objectifs de planification de se réaliser.

3.4.3. Réseau séparatif, réseau unitaire ou réseau mixte ?

La politique du réseau séparatif adoptée très tôt par la municipalité de Belo Horizonte était très en avance sur son temps. Mais aujourd'hui, avec un réseau séparatif incomplet, où les collecteurs (éléments essentiels d'un réseau d'évacuation des eaux usées) ne sont pas implantés et où une partie des eaux usées est déversée dans le réseau de drainage, son efficacité peut être jugée insuffisante. De plus, lors de grosses averses, les débits aux STEPs doublent et celles-ci ne sont pas dimensionnées pour cela. Dès lors, nous pouvons nous poser la question de la pérennité d'un tel système.

La configuration de Belo Horizonte devrait permettre une limitation des coûts d'un réseau séparatif puisqu'il y a de nombreux exutoires (cours d'eau urbains) possibles répartis sur l'ensemble du territoire pour les eaux pluviales drainées. En théorie, un réseau séparatif devrait permettre également d'optimiser le fonctionnement des STEPs et d'en assurer l'efficacité puisque la pollution est concentrée. D'un autre côté, un réseau séparatif est beaucoup plus exigeant en investissements financiers et en gestion qu'un réseau unitaire.

Aujourd'hui, l'urbanisation rapide dans les régions en amont des bassins hydrographiques et les inondations récurrentes soulèvent la question du renouvellement et/ou de l'assainissement des infrastructures existantes.

Le choix d'un réseau séparatif est-il durable et, quel est le prix de son assainissement ? Car l'argument de l'efficacité du traitement aux STEPs n'est pas réaliste si les eaux claires, également contaminées, sont rejetées sans aucune forme de traitement dans le milieu naturel. Les investissements pour assainir le réseau séparatif existant peuvent-ils être justifiés ? La considération de solutions alternatives, localisées et complémentaires ne peut être que bénéfique. Pourquoi ne pas étudier les coûts d'installation de petites STEPs localisées dans les quartiers importants où il manque des collecteurs et où leur raccordement nécessiterait des investissements financiers élevés. Ces mêmes quartiers vont également créer une charge supplémentaire sur le réseau de drainage. Des aménagements localisés pour la gestion des eaux pluviales doivent aussi être considérés, des bassins de rétention/épuration, des tranchées drainantes peuvent être implantés afin de limiter le ruissellement et la contamination aval.

Pour une ville d'une surface de plus de 330 km², présentant une topographie très accidentée, peut-on imaginer et justifier l'existence de différents réseaux indépendants les uns des autres ? Cela nécessiterait des études économiques sur les différentes alternatives possibles.

4. Système d'information géographique

4.1. Introduction

4.1.1. Fonctions d'un SIG

Aujourd'hui, la ville, ou système urbain, peut être décrite comme un tout organisé de composants en interaction, à la manière d'un écosystème⁸⁰, d'où la nécessité d'une approche systémique⁸¹. Par définition, les systèmes d'informations géographiques facilitent l'adoption

⁸⁰ "Concept de monitoring participatif au service des villes en développement", thèse d'A. Repetti, EPFL, 2004

⁸¹ Maldague *et al.*, 1977

de cette approche en permettant une manipulation aisée d'une grande quantité de données, une représentation spatiale et un suivi temporel de celles-ci, renforçant ainsi les compétences individuelles des différents acteurs. Le suivi temporel permet également de comprendre et de prévoir l'évolution de nombreux phénomènes (contamination, urbanisation, migration,...).

Une action de gestion territoriale est initiée par un acteur dont la vision est influencée par les informations qu'il reçoit du système auquel il appartient. Sa décision dépend également de ses propres valeurs, des normes, du rôle qu'il tient dans le système et finalement de sa vision globale et de l'état futur souhaité. Ainsi, dans l'optique d'aider l'acteur dans le processus de prise de décision, il est possible d'agir à différents niveaux : sur sa perception propre, sa vision stratégique par une définition d'objectifs de développement communs et finalement sur ses valeurs et son rôle en favorisant les échanges et la communication⁸².

L'eau partage une grande quantité des caractéristiques avec les autres problèmes environnementaux; multidisciplinarité (technique, environnementales, sociales, politiques,...), complexité, dynamisme, spatialisation...La compréhension de ces phénomènes et de leur gestion exige, aujourd'hui, l'utilisation d'outils numériques.

L'avènement du SIG et sa quasi-généralisation ont permis à une large frange de la population d'accéder à l'information. Cet état de fait renforce la nécessité d'adopter ces technologies dans le cadre de processus participatifs en milieu urbain, dans une optique de distribution de l'information. De plus, ces technologies apportent la possibilité d'avoir une compréhension d'une même problématique à différentes échelles en fonction des besoins de l'utilisateur.

La complexité des problèmes rencontrés à Belo Horizonte, leur interactions et influences, ainsi que les nombreux acteurs concernés, appuie l'utilité de l'implantation d'un système géographique au sein des différents organes concernés. Souvent, ces derniers doivent faire face à une problématique commune, mais l'organisation institutionnelle actuelle inhibe la coopération et la communication des informations et des données. Finalement, les SIGs, par leurs fonctions de support à la communication, à la décision et au diagnostic [Dransch, 1999] introduisent une vision commune et assurent une approche globale, plus intégrée.

Les problématiques liées à l'aménagement du territoire, au développement urbain et à la gestion de l'eau, entre autres, nécessitent la création d'une entité responsable de la mise en place d'une base de donnée et d'un système d'information géographique commun. La centralisation et l'organisation de ces données devraient permettre à tous, de mieux planifier leurs actions futures, leur gestion, leur coopération, ainsi que leurs investissements. Les barrières les plus importantes à l'implantation d'un tel système sont le manque de moyens financiers et le manque de soutien politique.

Pourtant, le partage des données permet à chacun d'économiser du temps et des ressources financières. En effet, le risque de redondance et le manque de productivité sont d'autant plus marqués que le manque d'échange est grand.

⁸² "Concept de monitoring participatif au service des villes en développement", thèse d'A. Repetti, EPFL, 2004

4.1.2. SMURF

4.1.2.1. Description

Le Système de Monitoring URbain Fonctionnel (SMURF) est un SIG de bureau simplifié. Il rassemble les fonctions de support à la communication, d'aide à la décision et au diagnostic et permet donc la visualisation des données et des indicateurs spatialisés, relatifs au développement urbain et, dans le cas présent, à la gestion de l'eau. En plus de sa fonction de consultation, il permet également l'ajout, la modification ou la suppression d'informations selon les besoins de l'utilisateur. Il contient également quelques analyses préprogrammées (distance,...).

Il a été développé dans l'optique d'être implanté dans un contexte de villes de pays en voie de développement. Cette réalité comporte certaines contraintes particulières qui ont été prises en compte lors du développement de cet outil. Ainsi, il devait être simple d'utilisation et peu exigeant en ressources matérielles. Le résultat est une interface conviviale, simple et épurée.

Au niveau technique, SMURF est programmé en langage MS Visual Basic® complété par le composant SIG MapX®. C'est un logiciel autonome ne nécessitant aucun autre programme pour fonctionner. Il nécessite le système d'exploitation Windows 95®, au minimum.

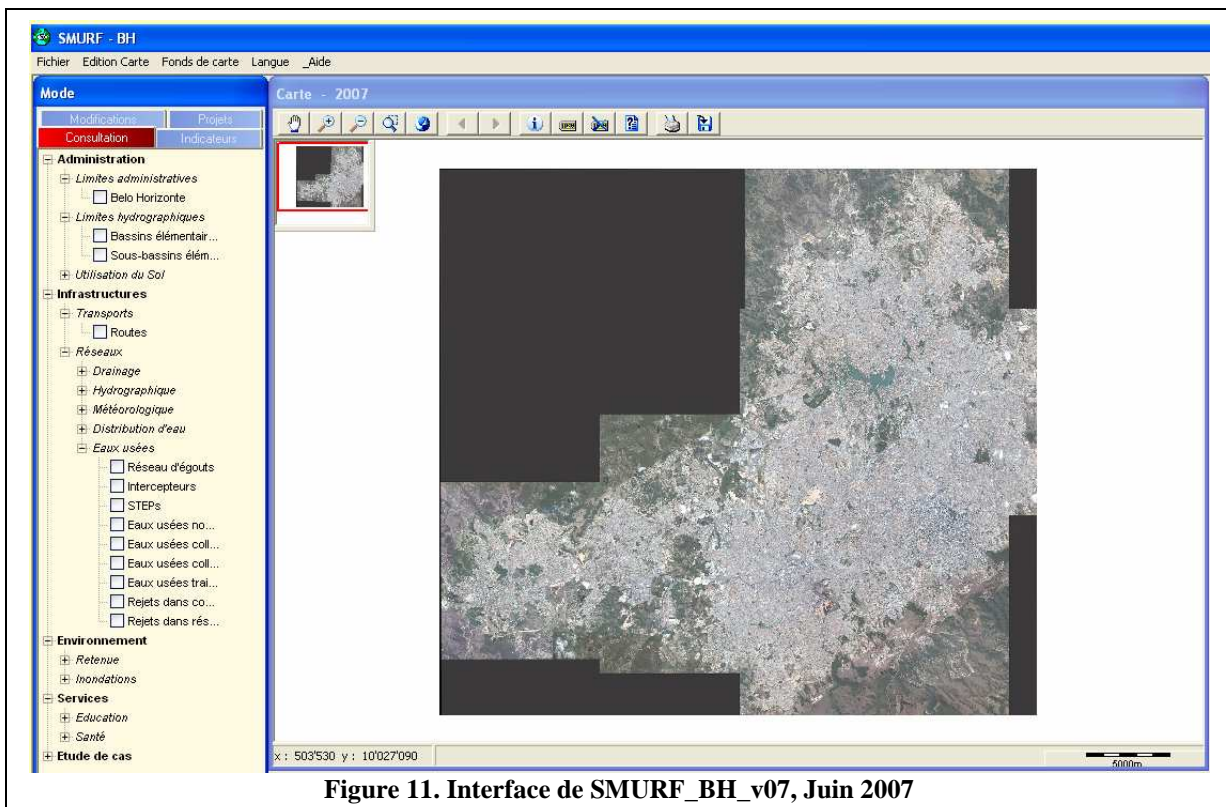


Figure 11. Interface de SMURF_BH_v07, Juin 2007

4.1.2.2. Utilité

L'objectif principal visé, lors du développement de SMURF, est d'offrir un outil qui rassemblerait une quantité importante d'informations. Celles-ci sont destinées aux différents

acteurs du territoire concernés dans le cadre de processus participatifs. Ainsi, les différentes entités du développement urbain peuvent regrouper et échanger leurs données et informations respectives. Ce support d'échange facilite la communication et induit, ainsi, une vision globale, commune. Cette première étape, descriptive, s'avère nécessaire en vue de l'adoption d'un ensemble de mesures dans une vision intégrée (voir chap.3.1.3).

Comme présenté au chapitre 3.3.4, l'adoption des techniques alternatives passent par un important processus de communication entre les acteurs, qu'ils appartiennent au domaine technique, social, économique ou politique. SMURF et ses caractéristiques de support à la communication permettra, ainsi, l'amélioration de la coordination et de la coopération. Eléments essentiels à la réussite de la mise en place d'une structure de gestion adéquate et d'un ensemble de mesures pertinentes. SMURF permet aussi de fournir un support d'aide à la décision aux décideurs, optimisant leurs futurs investissements.

4.1.3. Situation à Belo Horizonte

Dernièrement, la municipalité, à travers SUDECAP, a procédé à une caractérisation physique (dimensions, état,...) des infrastructures de gestion des eaux pluviales existantes. Elle a aussi déterminé la topographie des bassins versants ainsi que l'utilisation du sol. L'ensemble des données ainsi obtenues a ensuite pu être intégré dans un système d'information géographique, en l'occurrence Microstation Geographics[®]. Le service responsable de la gestion des déchets (SLU), quant à lui, utilise Mapinfo[®] et l'entreprise COPASA, Arcview[®] pour la gestion de leurs données spatialisées respectives.

Cette inhomogénéité au niveau logiciel témoigne du manque de communication et d'échange entre les différents acteurs, dû à une importante sectorisation des activités et des responsabilités. En terme de données, cela s'exprime par des formats très différents renforçant ce manque d'interaction. Le parc informatique est souvent obsolète, incomplet (p.ex.: absence de support d'échange) et poussif.

Mais les limites ne sont pas uniquement techniques; Fayman et Santana [2001] ont relevé l'ambivalence de l'utilisation de ces nouvelles technologies, avec les défauts de la privation (exclusion et isolement) ainsi que des répercussions sociales fortes, qui ne s'avèrent pas toujours positives. D'où une attention particulière portée aux conditions locales, à l'intégration de la participation, à la transparence, au coût et à la dynamique d'expansion orientée sur la demande⁸³. L'infrastructure importante nécessaire à la mise en place d'un SIG public participatif (PPGIS), comme SMURF, exige une forte volonté politique de mise en œuvre de ce type d'outil⁸⁴.

Comme toutes les bases de données, SMURF nécessitera une actualisation régulière, condition sine qua non de son utilité. L'adoption de ce logiciel doit également être favorisée et distribuée à tous les acteurs concernés, car une implantation partielle n'offrira qu'une information incomplète. Limitant ainsi l'adoption d'une réflexion et de mesures communes.

⁸³ Brown [2001], James [2002], d'après "Concept de monitoring participatif au service des villes en développement", thèse d'A. Repetti, EPFL, 2004

⁸⁴ Abbot et al. [1998], Drescher [2001], Craig et al. [2002]

4.2. Méthodologie

4.2.1. Généralités

SMURF par son caractère de SIG, donc d'outil d'aide à la décision et à la communication doit essentiellement permettre la transmission de l'information. Mais celle-ci doit être adaptée à la problématique. C'est la raison pour laquelle le développement d'un outil comme SMURF, passe par une première phase de diagnostique. Il doit proposer une vision globale des problématiques rencontrées dans la ville qu'elles soient structurelles ou non, exprimées par une série de données et d'indicateurs pertinents. Le choix de ceux-ci est un élément central du système de monitoring, puisqu'une trop grande quantité de données entraînent une surabondance néfaste d'éléments d'informations et une diminution de l'efficacité du système dû à une surcharge de ce dernier⁸⁵. L'absence de certaines données peut, quant à elle, porter préjudice à la définition d'indicateurs ou à la compréhension des réalités locales.

Dans le cas du projet SWITCH et de Belo Horizonte, l'accent a été mis sur les données relatives à la gestion de l'eau. Ce sont donc, principalement, les réalités locales précédemment rencontrées et décrites (chapitre 3) qui ont été abordées. Ainsi les domaines du traitement et de la distribution de l'eau de boisson, de l'évacuation et du traitement des eaux usées, de la gestion des eaux pluviales, des déchets et des populations défavorisées ont été particulièrement étudiés. Après une recherche bibliographique et des échanges avec M. Nilo de Oliveira Nascimento (superviseur), la première étape a été une définition, à priori, des éléments du présent projet :

- Identification des problématiques principales rencontrées à Belo Horizonte
- Définition de données nécessaires à la représentation et à l'illustration de ces problématiques
- Définition des objectifs et des mesures choisies dans l'optique d'une mitigation de ces problématiques et/ou de leurs impacts
- Identification et définition des mesures nécessaires à la réalisation des objectifs précédemment cités
- Définition des données nécessaires à la représentation et à l'illustration des actions à entreprendre ou déjà entreprises

Ces démarches sont résumées et présentées dans l'annexe 1. Cette approche, à priori, définit l'organisation des données et propose une ébauche de modèle conceptuel de données.

Mais la description du système ville ne peut se faire que si elle est accompagnée d'indicateurs permettant l'évaluation de l'état de celle-ci. En effet si les données décrivent le système, elles rendent possible la création d'indicateurs. Ceux-ci, permettent d'évaluer les différents éléments structuraux ou non structuraux de la ville, de les comparer à un référentiel, à d'autres villes ou de suivre l'évolution temporelle des domaines dignes d'intérêts. Finalement, ils facilitent l'identification des forces, des faiblesses, des lacunes et des priorités du système étudié créant, ainsi, une image synthétique du territoire⁸⁶. L'objectif de SMURF est d'offrir un outil de diagnostic dynamique, qui, s'il est régulièrement actualisé, permet aux différents acteurs d'étudier l'impact des mesures prises sur le système. Un pilotage actif et prospectif est ainsi possible.

⁸⁵ "Concept de monitoring participatif au service des villes en développement", thèse d'A. Repetti, EPFL, 2004

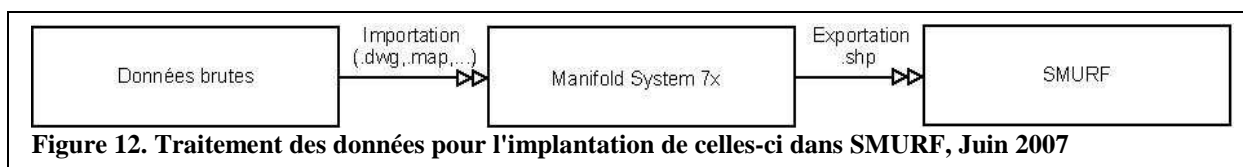
⁸⁶ "Concept de monitoring participatif au service des villes en développement", thèse d'A. Repetti, EPFL, 2004

4.2.2. Acquisition des données et des indicateurs

Après avoir défini les données nécessaires à l'élaboration de l'outil SMURF, identifié les différents acteurs et leurs responsabilités respectives, il reste à acquérir les données. Le contact avec les différents acteurs s'est effectué sur l'ensemble du séjour, et souvent, à plusieurs reprises. Les présentations des projets SWITCH et SMURF ont souvent trouvé un écho positif, malgré les difficultés linguistiques. Des efforts ont néanmoins été fait par les différents acteurs du présent rapport et ont permis des échanges et une collaboration optimale. D'autres difficultés liées à la variété des systèmes d'information géographiques, utilisés dans les divers services, et à leurs formats spécifiques, ont été rencontrées. Dès lors, un travail d'exportation des données dans le format désiré, devait avoir lieu dans les différents organismes visités. Cela a été fait avec plus ou moins de succès.

4.2.3. Traitement des données et implantation dans SMURF

SMURF exige un format de données spatialisées particulier ; le format *shape* (SHP), ainsi qu'une homogénéisation du système de projection pour toutes les couches de données. C'est pour ces étapes de traitement des données que le système d'information géographique Manifold System 7x[®] est utilisé. Ce dernier permet d'importer des données d'une grande variété de formats (environ 80)⁸⁷, de les manipuler selon les besoins (agrégation, topologie, représentation, requête...) pour finalement exporter ces mêmes données au format SHP nécessaire à leur implantation dans SMURF.



Le système de projection utilisé à Belo Horizonte est le système *Universal Transverse Mercator -23* combiné au datum *South American 1969 (Brazil)*. Une grande quantité des données obtenues, existent au format de Microstation V7, mais ce format spécifique à ce logiciel, est reconnu pour poser passablement de problèmes de compatibilité pour une utilisation ultérieure avec d'autres logiciels. D'où la nécessité d'exporter ces données dans un format plus stable et présentant une meilleure compatibilité. Ce format est matérialisé par le format Autocad[®], DWG⁸⁸. Toutefois, ce dernier ne conserve pas les informations relatives au système de projection utilisée, il est donc primordial de se renseigner sur l'origine et les caractéristiques (méta données) des données lors de leur acquisition.

Le format DWG ne présente pas uniquement un problème relatif au système de projection. Certains attributs de visualisation (couleurs, géométrie, texte) ne sont pas parfaitement compatibles, il en découle un important travail de reproduction des cartes sur Manifold en se basant sur des images obtenues ou à partir d'Autocad[®] qui affiche une partie supplémentaire des informations manquantes.

⁸⁷ www.manifold.net

⁸⁸ DGN/DWG sont les formats standards de Microstation et Autocad respectivement

Les indicateurs spatialisés (IIE, ICE, ISA,...) par exemple ont été réalisés à la main par la municipalité, à l'aide de Microstation V7[®], sans réelle méthodologie. En effet, les zones appartenant à une même classe ou catégorie ne sont pas décrites par un attribut commun ou dans une même couche d'information. D'où un travail nécessaire d'attribution de classes pour chaque bassin élémentaire afin de rendre plus aisée la différenciation des classes d'indicateurs par SMURF. Les lacunes du logiciel utilisé par la municipalité ont également rendu nécessaire un travail de transformation des zones délimitées par des polygones en aires pour une représentation plus adéquate de phénomène surfacique continu.

4.2.4. Organisation des données

Comme précisé dans *Howtosmurf*, SMURF nécessite des données au format SHP, différents fichiers relatifs à la programmation de SMURF et une ou plusieurs images de fond apportant un support visuel et un référentiel aux acteurs et aux données choisies. Ces images de fond doivent également être dans un format particulier. Ce dernier est le format ECW (Enhanced Compressed Wavelet de la firme ERmapper[®]) qui est une forme de compression par ondelettes affectant peu la géométrie de l'image tant que le ratio de compression reste raisonnable, induisant tout de même une perte d'information. Il présente néanmoins un taux de compression efficace. Il est donc recommandé pour la consultation d'images volumineuses sur un support physique lent⁸⁹. Dès lors, il est des plus adéquat dans le cadre de projet dans un pays en voie de développement où le parc informatique peut être peu performant. La perte d'information induite par cette compression peut être négligée lorsque l'image concernée ne sert que de référence visuelle, comme c'est le cas dans SMURF.

Lorsque les données nécessaires sont au format adéquat, il reste à les implémenter dans SMURF. Cette manipulation est simple puisqu'il suffit de placer les données dans les bons dossiers. Il reste à procéder à l'organisation de l'arbre hiérarchique par domaines, des données choisies. Cela est aisé grâce au document explicatif *Howtosmurf*.

4.2.5. Recommandations

Après avoir démontré l'utilité de l'implantation d'un outil comme SMURF dans le cadre de la gestion de l'eau dans le contexte d'une ville d'un pays en voie de développement, il faut s'assurer de la pérennité de ce dernier. A cette fin, deux éléments sont fondamentaux : un gestionnaire SIG et un réseau d'utilisateurs⁹⁰. Le premier est responsable de la maintenance du logiciel, de la centralisation des données mais surtout de l'actualisation de la base de données. Cette dernière est fondamentale dans le cadre du développement d'un outil servant de support à la décision. En effet, la mise à jour des données permet un suivi de l'évolution urbaine en temps réel, une vision actualisée et réaliste de l'état de la ville, des phénomènes ayant lieu en son sein, ainsi que des impacts des actions entreprises (chap. 4.2.1).

Quant au réseau d'utilisateurs, il est important de le maintenir et de le compléter par tous les acteurs concernés par la problématique de la gestion urbaine (et pas seulement du domaine de l'eau). Ainsi, la collaboration de chacun enrichira la base de données et permettra une vision des plus holistiques. Dès lors, cette participation renforcera le réalisme de l'outil, sa

⁸⁹ <http://ditwww.epfl.ch/SIC/SA/publications/FI01/fi-4-1/4-1-page3.html>

⁹⁰ "Concept de monitoring participatif au service des villes en développement", thèse d'A. Repetti, EPFL, 2004

crédibilité, son utilisation et son utilité. La gestion du réseau d'utilisateurs comprend donc une gestion physique, avec la distribution des versions actualisées de SMURF, mais elle est aussi politique et institutionnelle (chap. 3.3.4), pour ce qui est de l'acceptation de l'outil dans les différentes entités concernées.

Dans le cas présent, la formation d'une personne semble primordiale pour la pérennité de SMURF à Belo Horizonte. En effet, sa fonction de support à la communication, peut s'avérer très utile au vu des lacunes de coopération et de coordination des différentes entités. De plus, l'absence d'un système d'information géographique commun (chapitre 4.1.3) pourrait justifier, encore un peu plus, l'adoption d'un tel logiciel. C'est pourquoi, l'initiative a été prise de former un employé de la municipalité et un doctorant de l'UFMG dans l'optique d'assurer la mise à jour de SMURF et sa distribution. Un document d'aide (*HowtoUpdateSmurf*, voir l'Annexe 7) a également été développé en complément à *Howtosmurf* afin de faciliter l'apprentissage et la prise en main de SMURF.

Néanmoins, une réflexion doit également avoir lieu, au niveau logiciel, sur la façon dont les acteurs voulant ajouter des données ou des cartes à SMURF, peuvent le faire au format SHP, sans passer par un logiciel coûteux comme Manifold. L'idéal serait un convertisseur de format permettant l'utilisation des différents systèmes d'information géographique déjà utilisés à Belo Horizonte pour la création de couches d'informations. Complété par un logiciel permettant d'importer et d'exporter les données, à l'image de Manifold System 7x[®] à la Figure 12. Traitement des données

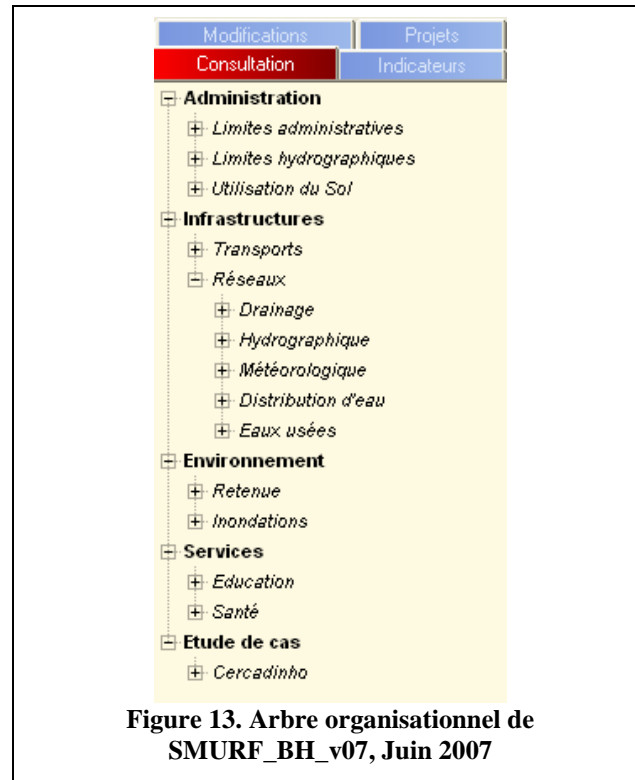
SMURF nécessite encore une optimisation et des compléments. Il est également nécessaire de prendre en compte les propositions de chacun et de les intégrer dans cet outil si celles-ci semblent réalisables et pertinentes. Dès lors, la nécessité d'avoir une personne techniquement compétente et autonome (gestionnaire SIG) est encore plus justifiée. En exemple, le désir de la municipalité de pouvoir visualiser les caractéristiques d'un bassin élémentaire particulier (Cercadinho, voir l'Annexe 4). A cette fin, les caractéristiques visuelles spatiales du bassin élémentaires ont été complétées par les descriptions désirées (densité de population, dénivellation, taux d'imperméabilisation, surface, etc.) et intégrées à la table d'attributs de l'objet. Leur visualisation passe obligatoirement, par le menu *Modifications* de SMURF, ce qui n'est pas sa fonction première.

4.3. Résultats

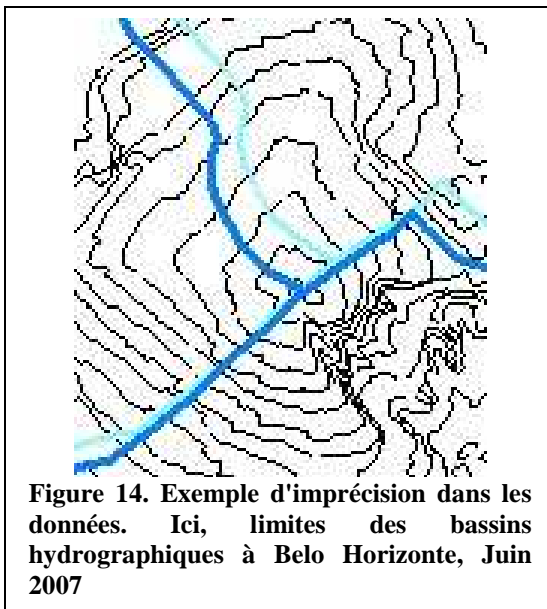
4.3.1. Données existantes

4.3.1.1. Données implantées

Différentes données spatialisées des domaines administratifs, techniques, structurels et socio-économiques ont été demandées. Les données obtenues et implémentées, classées par thème dans SMURF, sont présentées à l'Annexe 2. Un accent particulier a été mis sur les domaines directement concernés par la gestion de l'eau, domaine de recherche du projet SWITCH. Mais, les observations faites précédemment, sur la multidisciplinarité de cette gestion mènent à considérer des facteurs importants d'autres domaines (par exemple : la population totale).



4.3.1.2. Données non obtenues, ou à implanter



L'implantation d'un certain nombre de données, qui s'avèrent pertinentes, s'est heurtée à différentes barrières. Techniquement, le grand nombre de formats différents (voir chapitre 4.2.3), a induit des problèmes d'importation dans Manifold System 7x[®] et empêché leur intégration dans SMURF. En effet, cette dernière, exigeant le format SHP obtenu grâce à une exportation depuis Manifold System 7x[®], n'a pas toujours été atteinte. Des métadonnées incomplètes ou des coordonnées inadéquates ont également rendu difficile, voire impossible l'intégration de toutes les données existantes sur la ville de Belo Horizonte. De plus, l'imprécision de certaines données a également demandé une étape de "nettoyage" et de tri de celle-ci.

Cela appuie la nécessité d'une entité, ou organe de centralisation et de gestion des données plus efficace. La mise en place d'une méthodologie et d'une rigueur structurelle dans l'acquisition et le traitement de ces données s'avère également primordiale. Une plus grande compatibilité des données et de leur format faciliterait leur échange. Ainsi, l'objectif de support à la communication et à la coopération de SMURF pourra ainsi, être amélioré.

4.3.2. Indicateurs existants

4.3.2.1. Indicateurs implantés

Les indicateurs obtenus et implantés sont présentés à l'Annexe 3. Ils concernent également plusieurs domaines décrivant la ville de Belo Horizonte. La représentation de ces indicateurs est obtenue par l'existence d'attributs spatiaux discriminants. En effet ces indicateurs ont dû être reconstruits totalement afin de rendre possible leur intégration dans SMURF. Leurs attributs ont donc été définis afin de rendre possible la création d'intervalles de discrimination et la création de classes de visualisation dans SMURF.

Le choix d'une majorité de ces indicateurs est justifié par le fait que la plupart sont utilisés pour la définition de l'ISA. Cet indicateur (présenté au chapitre 3.1.2.1) est utilisé, par la municipalité pour définir les bassins élémentaires prioritaires. Les mesures proposées dans le plan municipal d'assainissement sont, ainsi, dictées par cette classification.

4.3.2.2. Indicateurs non obtenus, ou à planter

Il existe un grand nombre d'indicateurs pour l'évaluation de la gestion de l'eau. La banque mondiale⁹¹, UN-habitats⁹², International Benchmarking NETwork, water and sanitation utilities (IBNET)⁹³, etc. proposent de nombreuses banques d'indicateurs permettant une analyse pertinente des conditions rencontrées dans un contexte urbain, comme celui de Belo Horizonte. Des études approfondies sont également menées, dans ce domaine, au sein du projet SWITCH.

Connaissant le contexte local, il semblerait intéressant d'étudier les domaines économiques et institutionnels de la gestion de l'eau à Belo Horizonte. Le calcul du taux d'investissement, par exemple, pourrait s'avérer pertinent. En effet, le réseau de distribution d'eau, mais surtout le réseau d'évacuation des eaux usées, étant lacunaires à Belo Horizonte, il reste d'importants investissements financiers à réaliser.

Le domaine technique ne doit, néanmoins, pas être négligé; le taux de conformité des analyses aux normes en vigueur, le taux de renouvellement des infrastructures, l'indice de rejets sans traitement dans le milieu récepteur, etc. sont autant d'indicateurs permettant une évaluation de l'efficacité des infrastructures existantes et une identification des faiblesses de ces dernières.

Dès lors, si des indicateurs pertinents peuvent être implantés dans SMURF, le rôle de support d'aide à la décision revendiqué par celui-ci, sera renforcé.

4.3.3. Autres résultats

S'intégrant dans un projet de dimension européenne, et dans le contexte d'un pays de langue portugaise, SMURF a été développé en français, en anglais et en portugais. Il est distribué avec un document décrivant en détail sa structure (*Howtosmurf*) et un document expliquant,

⁹¹ "Indicators, 2 edition, water and wastewater utilities", 1996

⁹² <http://www.unhabitat.org>

⁹³ <http://www.ib-net.org/en/ibnet-toolkit/ibnet-indicators.php>

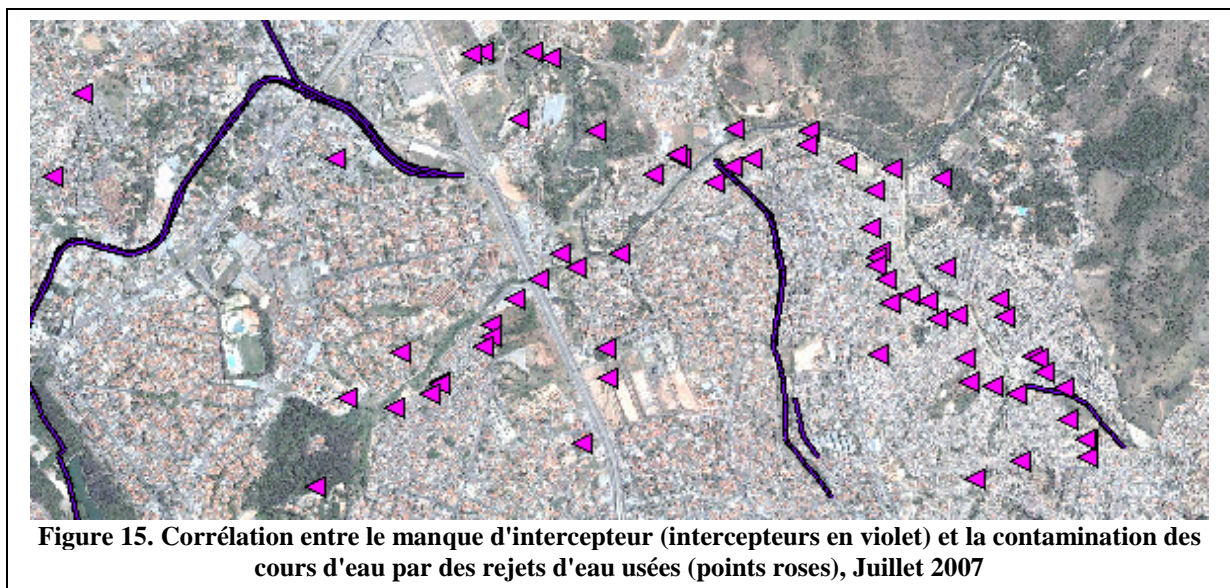
sous forme de marche à suivre, les différentes étapes de sa mise à jour (*How to update SMURF*, présenté à l'0). Ces deux documents sont en anglais. Connaissant l'importance de cette mise à jour, l'objectif est d'assurer et de faciliter l'actualisation de ses données. Dès lors, une personne sans compétence technique avancée peut actualiser le contenu de SMURF.

SMURF_BH_v07 a été distribué à la municipalité et à l'université (UFMG) dans une version "Setup" réalisée grâce à Inno Setup 5[®]. En plus de SMURF, le CD-ROM distribué contient la documentation d'aide décrite précédemment.

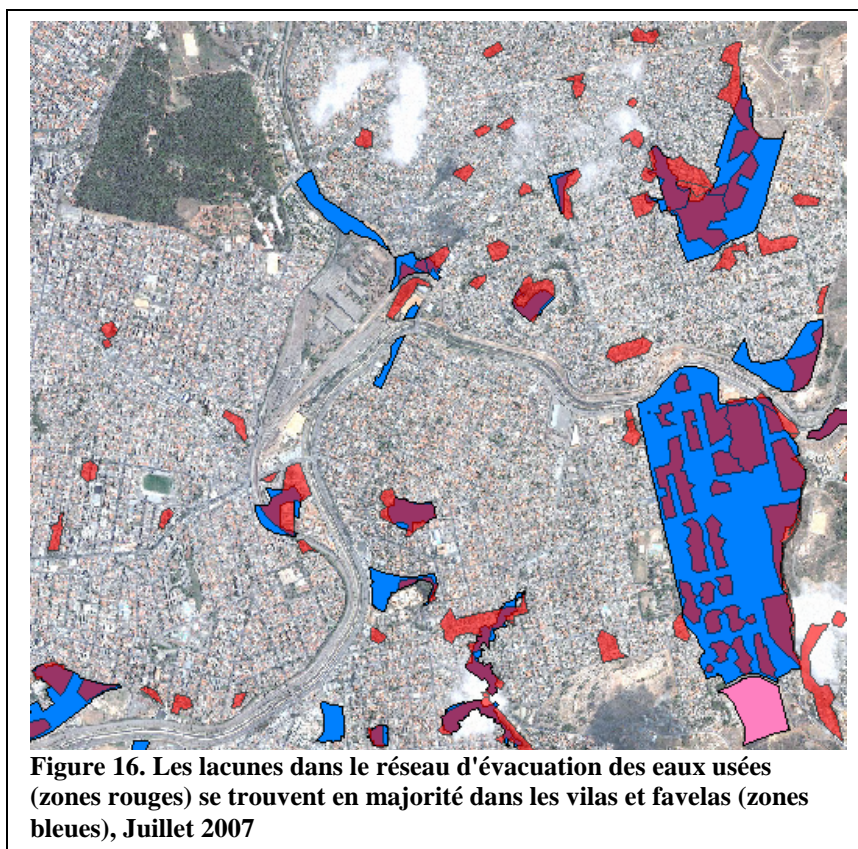
4.3.4. Interprétation

Le rôle de support d'aide à la décision de SMURF est atteint grâce aux possibilités d'agrégation, de manipulation et d'interprétation des données. Cette dernière sera d'autant plus facilitée que le choix des données, et des indicateurs, est pertinent et adéquat à la problématique.

Dès lors, les possibilités d'analyses spatiales et de compréhension des phénomènes se déroulant sur le territoire sont aisées. Par exemple le fait que le manque d'intercepteurs du réseau d'évacuation des eaux usées soit fortement corrélé avec les rejets d'eaux usées dans les cours d'eau, les contaminants, est illustré ci-dessous.



Autre exemple (Figure 16. Les lacunes dans le réseau d'évacuation des eaux usées (zones rouges) se trouvent en majorité dans les vilas et favelas (zones bleues), Juillet 2007, par leurs situations topographique et économique, ce sont les vilas et favelas qui présentent l'accès aux services d'évacuation des eaux usées les plus défavorables.



Ci-dessous, l'expression de la concentration des problèmes urbains dans les *vilas* et *favelas*.



Les objectifs définis à priori, dans l'Annexe 1, ont donc été partiellement atteints. Un grand nombre de données existantes pourraient encore être implantées dans SMURF. Elles auraient nécessité plus de temps de développement car elles demandent un travail de traitement important (formats, structuration,...).

Néanmoins, la version 0.7 de SMURF_BH remise à la municipalité, contient déjà un nombre important d'informations sur le territoire. Les différentes présentations faites, au sujet du présent travail, ont généralement trouvé un accueil positif. En effet, la facilité d'utilisation et la visualisation rapide et aisée des données sont les arguments qui ont, le plus souvent, séduits les différents acteurs rencontrés. Les arguments avancés précédemment sur la nécessité d'adopter un outil plus accessible et plus efficace semblent ainsi, être justifiés.

4.3.5. Recommandations

Cette version est, comme indiqué dans SMURF lui-même, provisoire. Elle nécessite un travail d'optimisation et de stabilisation. En effet, des messages d'erreurs, apparemment injustifiés, peuvent apparaître au cours de son utilisation. De plus, l'interface ne s'adapte pas au texte décrit dans les fichiers de configuration. Il en résulte une incapacité à lire l'intégralité du nom d'un indicateur ou d'une couche de données, ce qui est relativement gênant. Ceci est également lié au caractère de "boîte noire" de SMURF. Les données d'entrée ainsi que les outputs sont connus, mais le traitement interne des données reste inconnu. En effet, la programmation de SMURF n'a pas été abordée dans le cadre de ce travail. Pourtant, il est clair que la compréhension de celle-ci aurait permis d'adapter au mieux ce logiciel aux besoins et aux désirs des différents utilisateurs, ainsi qu'au contexte.

Belo Horizonte fait figure d'exemple au Brésil, dans le cadre des processus participatifs, mais cela ne s'arrête pas à ça. En effet, la municipalité détient énormément de données numériques spatialisées. Néanmoins, le manque de collaboration, l'inhomogénéité des formats et le manque de rigueur dans la structure des données sont les principaux freins à l'adoption d'un système d'information géographique commun. Ce contexte exige de SMURF une plus grande flexibilité dans les formats d'importation.

De plus, certaines données restent essentielles pour une interprétation et une compréhension réalistes des problématiques urbaines à Belo Horizonte. La topographie, par exemple, joue un rôle prépondérant dans cette ville. Pourtant, il n'existe que des données vectorielles sous forme de courbes de niveau, difficiles à interpréter dans le cadre de superposition d'informations ou de requêtes. Dès lors, il n'est pas aisé d'utiliser ces données dans la phase d'interprétation. Le manque de données quantitatives se révèle également être une lacune importante. Par exemple, l'inexistence de données quantitatives concernant les conditions hydrographiques de la région rend difficile, voire impossible l'attribution d'une zone prioritaire dans le domaine de la gestion des eaux pluviales.

Dans ces conditions, les actions entreprises par la municipalité concernant les campagnes de mesures projetées semblent justifiées. Des données sous forme de modèle numérique de terrain et/ou de surface sont également primordiales dans les démarches de modélisation projetées par la municipalité et s'avéreront également plus faciles à interpréter.

5. Conclusion et Recommandations

L'implantation de SMURF à Belo Horizonte est tout à fait justifiée. La multidisciplinarité de la problématique de l'eau, la sectorisation de sa gestion, le manque de communication entre les différents acteurs et l'absence d'un support de l'information commun en font un élément pertinent et adapté.

SMURF a séduit par différents arguments; particulièrement sa simplicité d'utilisation et la rapidité de visualisation des informations, données et indicateurs. Il a soulevé l'intérêt de tous les acteurs rencontrés. Mais sa distribution et son utilité restent, tout de même, fortement corrélés à une actualisation régulière et à un soutien politique.

Reste le problème de la spécificité du format exigé par SMURF (SHP). Il est nécessaire d'offrir, dans le but d'une adoption par les différents services existants, un outil de traduction des formats de données déjà utilisés.

De manière générale, les dirigeants (plus particulièrement la municipalité) ont pris conscience de l'importance d'une gestion de l'eau plus intégrée et des enjeux qui y sont liés. L'adoption des méthodes alternatives et des processus participatifs, le changement de statut du milieu ambiant dans le tissu urbain, ainsi que l'ouverture d'esprit de la population sont des facteurs importants dans l'évolution des conditions actuelles.

L'amélioration de l'accessibilité de la population aux services de base semble aboutir grâce à une politique sociale forte de la municipalité de Belo Horizonte. La cohérence et l'efficacité de cette politique passe par une considération et une approche globale des problèmes d'assainissement, d'urbanisation et de logement. Pour preuve, la municipalité de Belo Horizonte investit aujourd'hui 25% de son budget pour assurer et améliorer ces services de base aux populations les plus démunies. L'adoption d'un système législatif souple en est un autre exemple, et permet, entre autres, la régularisation de l'habitat en l'absence de titre de propriété. Reste que l'eau potable est relativement plus chère à Belo Horizonte, et dans le reste de l'état, qu'en Suisse (voir chapitre 3.1.2.2), même en considérant l'allègement financier pour les populations à faibles revenus, mais cela n'est pas du ressort de la municipalité.

Aujourd'hui, une partie des problèmes liés à l'eau résulte d'une gestion inadéquate, inefficace ou inexistante⁹⁴ de cette ressource. Par exemple, consommer de 13'000 à 15'000 litres d'eau pour produire un kilo de bœuf est une aberration, sachant que les besoins vitaux d'une personne sont de 2 à 4 litres quotidiens. Cette gestion peut donc être améliorée par une adaptation technologique, institutionnelle et une volonté politique locales, mais aussi, et peut-être fondamentalement, par une prise de conscience et une mobilisation mondiales.

L'implication de tous est donc primordiale dans l'optique d'assurer aux populations défavorisées des conditions de vie plus décentes. A Belo Horizonte, la situation pourrait évoluer plus rapidement et efficacement si les intérêts publics étaient une motivation partagée par tous. Mais il semblerait qu'une fois de plus, des intérêts individualistes et égoïstes ternissent et étouffent les énergies créatrices et positives déployées par certains.

⁹⁴ Jaques Diouf, directeur général de la FAO

6. Sources

6.1. *Bibliographie*

- "Analyse des conditions de développement des techniques alternatives", thèse E. Chouli, ENPC, 2006
- "Indicateurs de performance des services d'eau et d'assainissement dans le cadre du suivi par les collectivités.", Guérin-Schneider, ENGREF, 2001
- "Prototype d'un système d'indicateurs géoréférencés pour la gestion de l'eau urbaine", travail de master E. Gex, EPFL, 2006
- "Un concept de monitoring participatif au service des villes en développement. Approche méthodologique et réalisation d'un observatoire urbain", thèse A. Repetti, EPFL, 2004
- "Indicators, second edition, water and wastewater utilities", Banque mondiale, 1996
- "L'évolution des inégalités de revenus en France et dans les pays de l'OCDE", OCDE, 2005
- "Storm water management problems in a tropical city – the Belo Horizonte case study", Nascimento et al., 1999
- "Résumé rapport mondial sur le développement humain", PNUD, 2006
- "Les "Gated Communities" aux Etats-Unis. Morceaux de villes ou territoires à part entière ?", R. Le Goix, Sorbonne, 2003
- "Draft report – City Scoping – SWITCH", Nascimento, Champs, Butterworth, 2006
- "Sistemas naturais em áreas urbanas", Institut de géographie UFU-UFMG, 2005
- "Different approaches in analyzing water governance : implications to the case of Belo Horizonte, Brazil", Heller, 2007
- "Plano Municipal de Saneamento 2004/2007", Prefeitura de Belo Horizonte, 2004
- "Urban policy and institutional change in Belo Horizonte", Costa & Costa, 2007
- "Urban storm water management in the Belo Horizonte learning alliances area, legislative and strategic structures", SWITCH, 2007
- "Etude sur les services essentiels des ménages à faible revenu", ISTED, 2005
- "Géographie des prix de l'eau en Suisse romande", HEG, Genève, 2006

6.2. *Webographie*

- <http://www.switchurbanwater.eu>
- <http://www.unitar.org>
- <http://www.copasa.com.br>
- <http://www.pbh.gov.br>
- <http://www.worldbank.org>
- <http://www.ib-net.org>
- <http://www.iadb.org>
- <http://www.unige.ch>
- <http://www.esrifrance.fr>
- <http://www.cetp.ipsl.fr>
- <http://www.fao.org>
- <http://www.unwater.org>
- <http://www.unicef.org>
- <http://www.worldwatercouncil.org>

7. Annexes

Annexe 1 Cartes

Thèmes	Problèmes Identifiés	Objectifs	Données Nécessaires	Cartes Nécessaires	Cartes obtenues
Populations pauvres	Population à risque	Identification quartier/population à risque	Localisation quartiers à faible revenus/favelas	Zones de glissements préférentiels Zones d'inondations préférentielles	Population à risque
	Quartiers peu développés	Identification domaines d'action Potentiel de développement (sensibilisation aux problèmes des déchets, mesures non structurelles)	Localisation quartiers à faible revenus/favelas Localisation centres de secours/prévention des inondations localisation écoles localisation centre de santé réseau de collecte des déchets existant Localisation décharges informelles		Développement quartiers défavorisés
Glissements de terrain/ Erosion	Risque de glissements de terrain	Identification des zones à risque de glissements	Géologie/géotechnique Zones de glissements observés Topographie		Zones de glissements préférentiels
	Risque d'érosion	Identification des zones à risque d'érosion	Géologie/géotechnique Zones d'érosion observées Topographie		Zones d'érosion préférentielles
	Sédimentation	Identification des zones d'obstruction des drains par les sédiments	Réseau de drainage Lacunes dans le réseau de drainage	Zones d'érosion préférentielles	Zones d'obstruction des drains par les sédiments
Inondations	Risque d'inondations	Identification des zones à risque d'inondations	Occupation du sol/imperméabilisation Topographie Réseaux hydrographiques (y.c canalisés) Réseau de drainage	Zones d'obstruction des drains par les sédiments Zones d'obstruction des drains par les déchets	Zones d'inondations préférentielles

	Zones d'inondations observées				
	Augmentation des intensités des inondations	Identification des futures zones d'inondations Identification des zones d'implantation des bassins de rétention	Localisation zone de développement urbain préférentielle	Zones d'inondations préférentielles	Zones d'inondations futures Emplacement des bassins de rétention
Déchets	Lacune dans le système de collecte	Identification des zones d'accumulation des déchets Identification des zones à risque sanitaire	Réseau de collecte existant		Zones d'accumulation de déchets
			Localisation quartiers à faible revenus/favelas Décharges informelles		
	Obstruction des drains par les déchets	Identification des zones d'obstruction des drains par les déchets Identification des zones de contamination du réseau de drainage par déchets	Réseau de drainage Topographie	Zones d'accumulation de déchets	Zones d'obstruction des drains par les déchets Zones de contamination du réseau de drainage par les déchets
	Contamination cours d'eau "naturels" par déchets	Identification des zones de contamination par les déchets	Réseau hydrographique	Zones de contamination du réseau de drainage par les déchets	Zone de contamination des cours d'eau par les déchets
Réseau d'assainissement	Incomplet	Identification réseaux collecteurs à construire	Réseau d'assainissement		Zone de lacunes du réseau d'assainissement
			Occupation du sol		
	Contamination des cours d'eau par les eaux usées	Identification tronçons de cours d'eau contaminé par eaux usées	Réseau hydrographique Cours d'eau contaminés Rejets d'eaux usées dans cours d'eau identifiés Localisation zone de développement urbain préférentielle	Zone de lacunes du réseau d'assainissement	Tronçons de cours d'eau contaminé par eaux usées Zones propices pour des alternatives à la construction des intercepteurs (STEPSs)

	Interruption du fonctionnement du réseau	Identification des zones à risque d'interruption	Réseau d'assainissement	Zones de glissements préférentiels Zones d'inondations préférentielles	Zone de vulnérabilité du réseau d'assainissement
Réseau d'adduction	Contamination de l'eau de boisson	Identification des sources de contamination	Localisation des sites de prélèvements		Sources ponctuelles de pollution
			Occupation du sol Topographie		
	Interruption du fonctionnement du réseau	Identification des zones à risque d'interruption	Réseau d'adduction	Zones de glissements préférentiels Zones d'inondations préférentielles	Zone de vulnérabilité du réseau d'adduction
Réseau de drainage	Insuffisance du réseau	Identification des zones de déficit	Réseau de drainage	Zones d'obstruction des drains par les sédiments	Tronçons à assainir
			Localisation zone de développement urbain préférentielle	Zones d'obstruction des drains par les déchets Zones de contamination du réseau de drainage par les déchets	
	Interruption du fonctionnement du réseau	Identification des zones à risque d'interruption	Réseau de drainage	Zones de glissements préférentiels Zones d'inondations préférentielles	Zone de vulnérabilité du réseau de drainage
Cours d'eau	Contamination des cours d'eau	Identification des zones de contamination		Zone de contamination des cours d'eau par les déchets Tronçons de cours d'eau contaminé par eaux usées	Zones de cours d'eau contaminés
Voies de communication	Imperméabilisation des fonds de vallée	Connaissance du réseau de routes	Réseau de routes	Zones d'inondations préférentielles	Réseau de routes
			Topographie		
Zones d'infiltration préférentielles		Identification zones d'infiltration potentielle	Géologie/géotechnique	Sources ponctuelles de pollution	Zones d'infiltration préférentielle
			Occupation du sol/imperméabilisation Localisation zone de développement urbain préférentielle		

Annexe 2 Données demandées, obtenues et implémentées

Niveau 1 (Thème)	Niveau 2	Niveau 3	Niveau 4
Administration	Limite municipale		
	Limites hydrographiques	Bassins hydrographiques élémentaires	
	Zones d'affectation du sol	Sous bassins hydrographiques	
Infrastructures	Transports	Cadastre des routes	
	Réseaux	Drainage	Canalisations
			Gueules de loups
		Hydrographiques	Naturels
			Artificiels à ciel ouvert
			Artificiels fermés
		Météorologiques	Pluviomètres
			Pluviographes
		Eau potable	Canalisations
		Eaux usées	Canalisations
			Intercepteurs
			STEPs
			Eaux usées non collectées
			Eaux usées collectées mais non interceptées
			Eaux usées collectées, interceptées mais non reliées aux STEP s
			Eaux usées traitées
			Rejets d'eaux usées dans les cours d'eau
			Rejets d'eaux usées dans le réseau de drainage
Environnement	Retenue d'eau	Lac de Pampulha	
	Inondations	Période de 1980 à 2005	
		Année 2006	
Services	Education	Ecoles	
	Santé	Centre de santé	
Etude de cas	Quartier de Cercadinho	Débits mesurés	
		Caractéristiques du bassin élémentaire	

Annexe 3 Indicateurs obtenus et implémentés

Niveau 1 (Thème)	Niveau 2	Niveau 3
Education	Distance aux écoles	
	Indice de l'éducation pour tous [IDE]	
Santé	Distance aux centres de santé	
	Indicateur de Dengue (IDG)	
Démographie	Population totale [hab.]	
	Densité de population [hab./ha]	
	Espérance de vie [ans]	
Assainissement	Indicateur de salubrité environnementale (ISA)	
	Indicateur de l'état du réseau d'évacuation des eaux usées (IES)	Indicateur d'évacuation des eaux usées (ICE)
		Indicateur de connectivité aux intercepteurs d'eaux usées (IIE)
Habitat	Taux d'imperméabilisation en 1999 [%]	
	Taux d'imperméabilisation projeté pour 2020 [%]	
Transports	Distance au réseau routier	
Economie	Moyenne salariale mensuelle	
Autres	Indicateur de priorité d'intervention dans les bassins élémentaires	
	Indicateur de développement humain [%]	

Annexe 4 Cercadinho

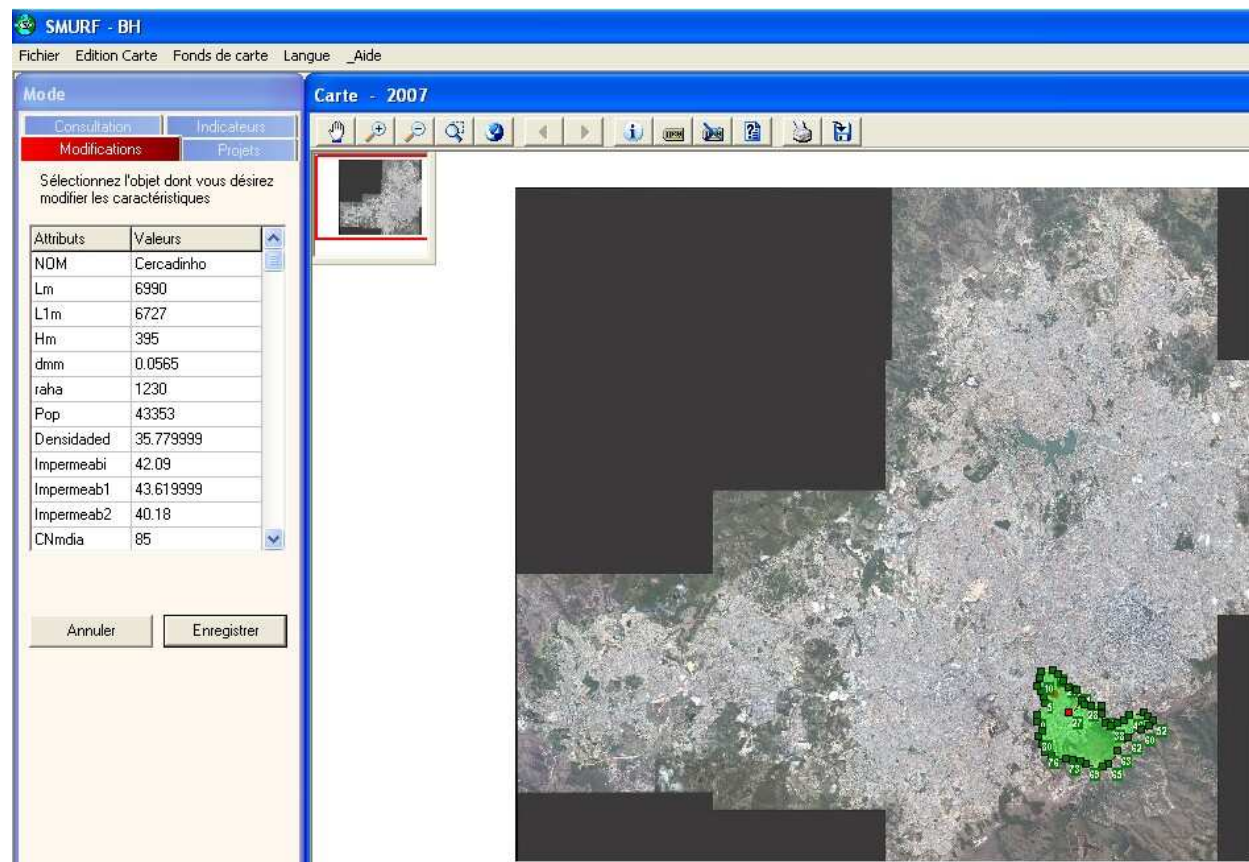


Figure 18. Exemple d'intégration de données désirées par la municipalité de Belo Horizonte, Juin 2007

Annexe 5 Contacts

- Municipalité, SUDECAP :
 - José Roberto Borges **Champs**, coordinateur du groupe de gestion du plan directeur de drainage, jrchamps@pbh.gov.br
 - Sônia Mara Miranda **Knauer**, coordinatrice du groupe de gestion de l'assainissement (GGSAN), knauer@pbh.gov.br
 - Luiz **Edu**, responsable SIG et dessinateur, luizedu@pbh.gov.br
 - Pedro **Heller**, ingénieur, formé à l'utilisation de SMURF, Pedro.heller@pbh.gov.br

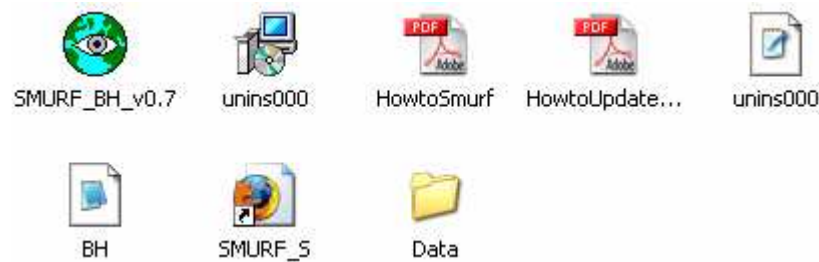
- Université fédérale du Minas Gerais (UFMG) :
 - Nilo **de Oliveira Nascimento**, superviseur et professeur au département d'ingénierie hydraulique, niloon@ehr.ufmg.br
 - Lucas **Brasil**, étudiant PhD, formé à l'utilisation de SMURF, lucasbrasil@ehr.ufmg.br

Annexe 6 Contenu du CD-ROM

Le CD-ROM rendu en annexe du présent rapport contient :



- Une version DOC (Microsoft Office Word 2003[®]) du présent rapport pour un éventuel suivi des corrections et/ou des modifications.
- Une version PDF (Adobe PDF[®]) du présent rapport pour une distribution plus aisée.
- Une version "Setup" de SMURF_BH_v07 créée avec Inno Setup 5[®] contenant le logiciel SMURF, les deux documents d'aide et les divers fichiers nécessaires au bon fonctionnement de SMURF, dont les données récoltées et implantées. Lors de l'installation de cette version "Setup", l'ensemble se présente comme suit :



Annexe 7 How to update SMURF

How to update SMURF

1.	Introduction.....	63
a.	SMURF folder	63
b.	Data folder	63
c.	2007 folder	64
2.	How to add data in SMURF.....	64
a.	Preliminary remarks	64
b.	Methodology	64
3.	How to add indicators in SMURF	65
a.	Methodology	65
4.	How to add background datas	66
5.	How to visualize fields (attributes) of spatialized objects.....	66

1. Introduction

SMURF is composed by different files or folder more or less important.

a. SMURF folder

Nom	Type
SMURF_BH_v07	Application
BH	Fichier SMU
Data	Dossier de fichiers

Figure 19. SMURF folder

There is the application (SMURF_BH_v07), the data folder (which contains different sub-folders) and the file **BH.smu** (which is one of the most important file of SMURF).

BH.smu can be edited by any text editor (Notepad, WordPad...), it is structured in a special way and has to be kept respected (blank lines...). To understand the meaning and the function of each line, please refer to *Howtosmurf*.

b. Data folder

The Data folder is containing many sub folders also described in *Howtosmurf*(§1).

Nom	Type
Tree	Fichier DAT
topics	Fichier de valeurs séparées par une virgule (CSV) Microsoft Office Excel
Users	Dossier de fichiers
Projects	Dossier de fichiers
Modifications	Dossier de fichiers
Languages	Dossier de fichiers
InfoFiles	Dossier de fichiers
Indicators	Dossier de fichiers
HelpFiles	Dossier de fichiers
Grids	Dossier de fichiers
Empty	Dossier de fichiers
Background	Dossier de fichiers
2007	Dossier de fichiers

Figure 20. Data folder

One file necessary to run SMURF is the **topics.csv**. It is the file which explicit the treeview present in SMURF. The **Tree.dat** file is also necessary to run SMURF but is automatically created when running SMURF for the first time after having created the **topics.csv**.

Caution : when changing, updating or anything else in the topics.csv, don't forget to delete the existing Tree.dat, which order SMURF to consider the new topics.csv.

<ul style="list-style-type: none"> Infrastructures <ul style="list-style-type: none"> Transportes Redes <ul style="list-style-type: none"> Drenagem Hydrografica <ul style="list-style-type: none"> Natural Canalisé et ouv... Canalisé et fermé Meteorologica Abastecimento de agua Esgoto Sanitario

Figure 22. SMURF treeview

```

1,0,0,0,Infrastructures,Infrastructures,Infrastructures,No
2,0,0,0,Transports,Transports,Transportes,No
3,1,0,0,Routes,Roads,Stradas,Cadastre
2,0,0,0,Réseaux,Networks,Redes,No
3,0,0,0,Drainage,Stormwater,Drenagem,No
4,1,0,0,Canalisations,Pipes,Canalisation,Macrodrainage
4,1,0,0,Gueule-de-loups,Mouthwolfs,Boca-de-lobos,Gueules-de-loups
3,0,0,0,Hydrographique,Hydrografic,Hydrografica,No
4,1,0,0,Naturel,Natural,Natural,Naturel
4,1,0,0,Canalisé et ouvert,Canalisé et ouvert,Canalisé et ouvert,CanaliséOuvert
4,1,0,0,Canalisé et fermé,Canalisé et fermé,Canalisé et fermé,CanaliséFermé
3,0,0,0,Météorologique,Meteorologic,Meteorologico,No

```

Figure 21. topics.csv composition

The relation between the **topics.csv** and the **treeview** is illustrated here. In fact, the first number explains the rank in the **treeview** of the theme. *Redes* is a second rank theme and is incorporated in *Infrastructures* which is first rank theme. The words *Réseau* and *Networks* are the translation of *Redes* in the 3 languages announced in the **BH.smu**.

The first four numbers are:

- Rank in the treeview
- Checkbox or not (1/0 for presence/absence)
- Data visualization (0/1 for data/no data)
- Legend (no matter the number but one has to be here)

The words after:

- One word for each languages announced in the ***.smu** file
- At the end, the exact name (without .shp extantion) of the ***.shp** in SMURF\Data\2007 file or 'No' if there isn't a specific data file linked to the theme ranked

The second number is for the presence/absence(1/0) of a checkbox. The last terms of each lines referred to the file of data (***.shp**) linked to each theme. If there isn't a specific data file linked to the theme ranked, write "No".

c. 2007 folder

This folder is containing every ***.shp/*.shx/*.dbf** datas introduced by the last term of each line in the **topics.csv**.

2. How to add data in SMURF

a. Preliminary remarks

The first step to be able to add data in SMURF is to have the files ESRI (***.shp/*.shx/*.dbf**) of the interesting data.

To be able to visualize the data, make sure that the data you add has the same projection system that the image background. In the fact of SMURF_BH_v07, the projection system used is the **Universal Transverse Mercator -23(S)** with the datum **South American 1969 (Brazil)**.

b. Methodology

There are different steps to add, or actualize, datas in SMURF :

- 1) Copy the interesting data in the right formats (***.shp/*.shx/*.dbf**) and with the right projection in the folder SMURF\Data\2007.
- 2) Add as many lines as new files ***.shp** are added in the folder SMURF\Data\2007 in the **topics.csv** in the right rank of the right theme (if it don't exist, create it) and don't forget to precise, with the last term of the line, how is called your file in the folder SMURF\Data\2007.

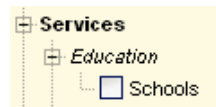
Example: Adding localization of schools in SMURF

Copy the files **schools.shp**, **schools.shx**, **schools.dbf** in the folder SMURF\Data\2007.

If the treeview don't contain a theme education, create it also (first 2 lines). The creation of the sub theme *Schools* will contain these following lines :

```
1,0,0,0,Services,Services,Servicios,No
2,0,0,0,Education,Education,Educação,No
3,1,0,0,Ecoles,Schools,Escolas,Ecoles
```

Which will create the following part of the treeview :



Caution : make sure to save the **topics.csv** created in the right format (CSV)

3. How to add indicators in SMURF

The preliminary remarks of the chapter a are always valid.

a. Methodology

1. The data files which will be used to build indicators must be also copy in the folder SMURF\Data\2007.
2. Edit the **Indic.csv** in the SMURF\Data\Indicators folder with a text editor (Wordpad, Notepad) and fill the columns regarding the chapter 4 of the *Howtosmurf*.
3. It exists different types of indicators, especially, the ones with a mathematical formula, and the others without. In general, the first are referring to attributes of spatialized objects present in the SMURF\Data\2007. So, it is important to know the structure of the data, the objects but also their attributes.

The first line of the **Indic.csv** is referring to *Howtosmurf*. Particularly, the column *Avar* of the **Indic.csv** is referring to the fields (column of the attributes table) which will be used to calculate the indicator.

Be sure that each class of the interesting indicator is discriminating by a different value of a same field.

Example: adding an indicator of *Students per class* from a formula based a file named *schoolprimary* present in the folder SMURF\Data\2007. The table (attributes) of this data file is containing fields called *Number of students* (NUM_OF_STU) and *Number of class* (NUM_OF_CLA).

Then to obtain the indicator *Students per class*, the formula is simple, it is *Number of students* (NUM_OF_STU) / *Number of class* (NUM_OF_CLA).

The first line of the Indic.csv is the following, and is always the same :

```
Num,Caption_F,Caption_E,Caption_K,Type,NbSrc,ASrc,NbPar,Sformula,Alayer,Ava
r,NbDest,Sdest,labels,NbCla,Round,Emin,Emax,Nodata,Interval,Colstart,Colend
```

The line to be insert to visualize this indicator is the following, the blank between the comma must be present :

```
11,Eleves      par      classe,Students      per      class,Eleves      par
classe,3,1,Schoolsprimary,2,NUM_OF_STU/NUM_OF_CLA,Schoolsprimary
Schoolsprimary,NUM_OF_STU NUM_OF_CLA,,,Eleves Students Eleves,,,,,,,,,
```

Caution : when changing, updating or anything else in the Indic.csv, don't forget to delete the existing Indic.dat, which order SMURF to consider the new Indic.csv. Make sure to save the topics.csv created in the right format (CSV).

For more details, see the *Howtosmurf* documentation.

4. How to add background datas

The background datas can be in the image format ***.ECW** or in the format ***.SHP** and must be copying in a new folder SMURF \Data\Background\New folder.

To consider this new background file, you need to complete the file **BH.smu** under the following section :

```
# Number of backgrounds,names and folders, nb of the default background,
position of the first non-exclusive background
```

For more details, see the *Howtosmurf* documentation in the chapter 1.

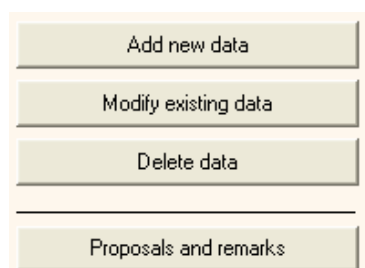
5. How to visualize fields (attributes) of spatialized objects



1) It is possible to visualize the attributes associated to objects (*.SHP files). In SMURF the only possibility is to go through the *Modification* menu.



2) Then choose the data file you want to visualize the attributes, click in the *Modification* checkbox.



3) Click on the *Modify existing data*



4) Click on the *cursor button*, and, finally, assign the interested object.
