

---

## REMERCIEMENTS

Je remercie en premier lieu toute l'équipe de l'HYDRAM qui m'a permis de travailler dans une ambiance sympathique et agréable.

Je remercie Marc Soutter pour avoir proposé ce sujet et avoir supervisé mon travail.

Un grand merci à Colin Schenk pour son aide, ses conseils et sa patience.

Je remercie l'Office cantonal de la statistique ainsi que le Service des Systèmes d'Information et de Géomatique de Genève pour m'avoir fourni une grande quantité de données.

Merci aux personnes présentes lors de ma présentation intermédiaire du 7 juin pour leur attention et leurs remarques.

Merci à M. Apothéloz, M. Ibarrola et Mme Krieg du service des eaux de Lausanne ainsi qu'à M. Luyet et M. Guillet des services industriels genevois d'avoir pris le temps de me recevoir et de répondre à mes questions.

Et surtout, un immense merci à mes parents pour tout ce qu'ils sont et m'ont permis de devenir.

## RÉSUMÉ

Les villes sont actuellement en pleine expansion. Au niveau mondial, on considère que d'ici 2030, les deux tiers de la population humaine vivront dans un environnement urbain. Dans le même temps, les ressources en eau de bonne qualité, continuellement soumises à différentes pressions, se raréfient: pollution des aquifères, surexploitation pour répondre aux besoins de la population, de l'agriculture et des industries, bilans hydriques négatifs,... Ces pressions sont particulièrement accrues en zone urbaine, où la densité de la population est élevée: la demande en eau ainsi que les sources de pollution y sont importantes. Dans ce contexte, les acteurs de la planification urbaine doivent tenir compte de l'aspect « eau » dans leurs prises de décisions, afin d'assurer la protection des ressources, et d'optimiser au maximum la distribution d'eau potable aux différents utilisateurs.

Mais l'eau revêt bien d'autres aspects et même lorsqu'elle ne sort pas d'un robinet, ses fonctions sont multiples: élément du paysage, niche écologique, élément de loisirs et de détente, voie de communication, ressource pour les industries et notamment pour la production électrique, fluide caloporteur, transport des déchets,... La planification urbaine doit tenir compte de tous ces aspects et faire en sorte de les valoriser, tout en évitant les conflits qui peuvent naître d'utilisations antagonistes d'une même ressource.

Pour faciliter cette intégration du paramètre « eau » aux prises de décisions, la situation de la ville par rapport à cette ressource doit être clairement établie. Un système d'indicateurs géoréférencés, permettant de donner une « image » des différents aspects et de leurs problématiques est l'outil adapté.

Cette étude a donc eu pour but de réfléchir à un système d'indicateurs appropriés, en se limitant aux aspects « besoins et utilisations » de l'eau, mettant de côté les thèmes liés à la gestion des écoulements de surface et aux risques liés à l'eau, pourtant essentiels dans la planification urbaine. Le système s'articule autour de trois thèmes principaux: la consommation d'eau potable, répartie selon les différentes catégories d'utilisateurs; les ressources et réseaux d'adduction et d'assainissement; les autres fonctions et utilisations, comprenant les fonctions récréatives, économiques et écologiques.

Des indicateurs ont été proposés pour évaluer chacune de ces catégories, selon trois niveaux d'agrégation: descripteurs, indicateurs de niveau 1 et indicateurs de niveau 2.

Certains indicateurs ont pu être appliqués à la ville de Genève, au moyen du logiciel SIG Manifold. Il en ressort une carte de la consommation domestique, une carte du potentiel de conflits pouvant naître des différentes utilisations des cours d'eau, ainsi qu'une interface d'interrogation pour les activités récréatives liées à l'eau.

Tant la définition des indicateurs que leur mise en place dans un SIG nécessitent d'être revus et affinés pour être réellement applicables. Mais ce travail a permis d'élaborer un premier prototype et de lancer quelques pistes qui serviront à des développements futurs.

## TABLE DES MATIERES

<b><u>I. INTRODUCTION ET GÉNÉRALITÉS.....</u></b>	<b><u>5</u></b>
INTRODUCTION GÉNÉRALE.....	5
L'EAU EN QUELQUES CHIFFRES.....	5
UTILISATIONS DE L'EAU ET CONSÉQUENCES.....	6
LA GESTION DE L'EAU EN EUROPE.....	9
PARTICULARITÉS DU MILIEU URBAIN.....	10
<b><u>II. SYSTÈMES D'INDICATEURS.....</u></b>	<b><u>13</u></b>
DÉFINITION.....	13
QUALITÉS REQUISES.....	13
MISE EN PLACE D'UN SYSTÈME D'INDICATEURS.....	14
INTÉRÊT DES INDICATEURS POUR LA GESTION DE L'EAU URBAINE .....	14
LE CADRE DU SYSTÈME .....	15
RESTRICTION DU DOMAINE.....	15
TOUR D'HORIZON DES INDICATEURS EXISTANTS.....	15
PROPOSITION D'INDICATEURS POUR LES « BESOINS ET UTILISATION DE L'EAU EN VILLE ».....	18
<b><u>III. CAS D'APPLICATION.....</u></b>	<b><u>40</u></b>
POLITIQUE DE L'EAU À GENÈVE.....	40
LE RÉSEAU D'EAU POTABLE GENEVOIS.....	40
ZONE D'ÉTUDE.....	41
SOURCES DE DONNÉES.....	41
APPLICATION DE QUELQUES INDICATEURS.....	42
<b><u>IV. REMARQUES, CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES.....</u></b>	<b><u>51</u></b>
<b><u>V. BIBLIOGRAPHIE.....</u></b>	<b><u>53</u></b>
<b><u>VI. LISTE DES TABLEAUX, FIGURES ET CARTES.....</u></b>	<b><u>55</u></b>
<b><u>VII. ANNEXES.....</u></b>	<b><u>57</u></b>

## Liste des abréviations

CEMAGREF :	Institut de recherche pour l'ingénierie de l'agriculture et de l'environnement (F).
CEROI :	Cities Environment Reports on the Internet
DCE :	Directive Cadre Européenne
DFID :	Department for International development (GB)
EAWAG :	Institut suisse des recherches liées à l'eau
EU :	Eaux Usées
IBGN :	Indice Biologique Général Normalisé
MCD :	Modèle Conceptuel de Données
OCDE :	Organisation de Coopération et de Développement Economique
OCSTAT :	Office Cantonal de la STATistique
PGEE :	Plan Général d'Evacuation des Eaux.
Q <sub>347</sub> :	Pour un cours d'eau, il s'agit du débit qui est dépassé 347 jours par an. C'est ainsi qu'est défini le débit d'étiage dans la législation suisse.
SAU :	Surface Agricole Utile
SESA :	Service des eaux, du sol et de l'assainissement de l'Etat de Vaud
SIG :	Services Industriels Genevois
SIT :	Système d'Information Territorial
SITG :	Système d'Information Territorial Genevois
SMG :	Système Modulaire Gradué, méthode d'évaluation des cours d'eau mise au point par l'EAWAG ( <a href="http://www.systeme-modulaire-gradue.ch">www.systeme-modulaire-gradue.ch</a> )
STEP :	Station d'Epuration
UGB :	Unité Gros Bétail
WSP :	Water and Sanitation Program

# I.Introduction et généralités

## Introduction générale

A une époque où l'eau est toujours plus régulièrement l'objet d'inquiétudes, de débats politiques et de défis techniques, la gestion urbaine se doit de faire une place importante à cette composante, en l'intégrant à ses projets de développement et en participant activement à l'optimisation de sa gestion.

L'eau est présente en quantités limitées, parfois insuffisantes. Elle est de plus délicate, sensible à la pollution et sa protection est une priorité d'intérêt public. Mais elle peut également être responsable de multiples catastrophes, et c'est aussi contre elles que la protection doit être assurée. L'eau étant utilisée dans bien des domaines pour ses différentes qualités, ses acteurs sont nombreux ; qui ont chacun leurs besoins et exigences propres, rendant parfois difficiles les prises de décisions.

Pour faciliter ces dernières, un accès facilité aux informations liées à l'eau urbaine est indispensable. Le but de cette étude est donc d'identifier les besoins et utilisations de l'eau en ville, ainsi que les problèmes qui peuvent en découler et de proposer des indicateurs permettant de rendre compte de la situation, de l'évaluer et de la visualiser.

## L'eau en quelques chiffres

L'eau est avant tout un des éléments principaux et indispensables de la biosphère, sans lequel aucune forme de vie ne serait possible. Elle se présente sous forme gazeuse dans l'atmosphère et sous forme solide et liquide dans l'hydrosphère et la géosphère. Cette répartition est très inégale, puisque environ 97% de la masse totale d'eau de la biosphère se trouve dans les océans. Le reste se trouve sur les continents sous forme de neige, de glace, d'eau courante et souterraine. L'eau atmosphérique ne représente qu'une infime partie de la totalité (Musy, 2005, « Hydrologie générale »).

Les échanges incessants entre ces stocks sont réglés par le cycle de l'eau, illustré par la Figure 1 ci-dessous.

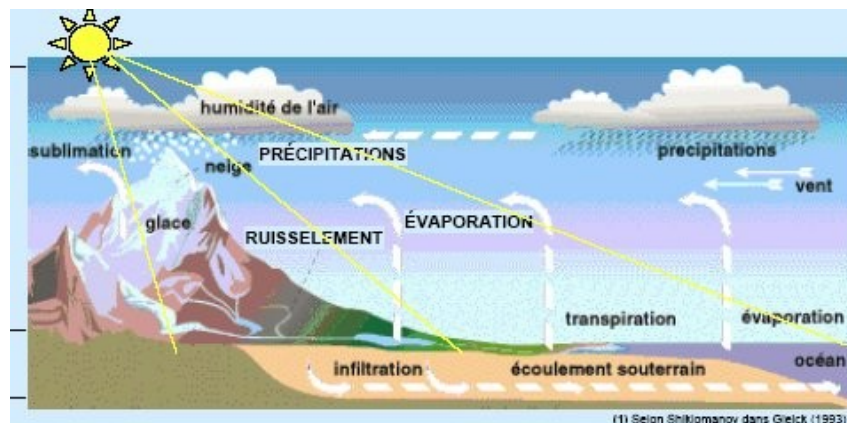


Figure 1: Le cycle de l'eau

Le stock total d'eau terrestre se monte à  $1.386 \cdot 10^9 \text{ km}^3$ . Sur ce volume, l'eau douce ne représente que 2.6%, soit 36 millions de  $\text{km}^3$ . Mais une grande partie de l'eau douce étant immobilisée sous forme de glace, seuls 8.4 millions de  $\text{km}^3$  d'eau douce sont disponibles, ce qui ne représente que 0.6% de la totalité. La quasi-totalité des réserves d'eau douce disponibles se trouve sous forme d'eau souterraine.



L'eau est également mal répartie sur la planète, tant spatialement que temporellement. En effet, l'eau est insuffisamment présente dans de nombreuses parties du globe qui souffrent régulièrement de sécheresses dévastatrices, alors qu'ailleurs des récoltes entières sont perdues car les pluies trop longues et trop fréquentes finissent par engorger le sol et asphyxier les plantes. Il n'est pas rare non plus, même dans les régions tempérées, qu'après de longs mois sans pluie, celle-ci se mette à tomber soudainement et violemment, entraînant des dégâts aux cultures, des inondations et toutes les catastrophes qui s'en suivent.

Selon l'OMS, en 2002, 1,1 milliard de personnes, soit 17% de la population mondiale, n'avaient pas accès à des sources d'eau de bonne qualité. Les conséquences de cette situation sont la mort annuelle de 3.1 millions de personnes (dont 90% d'enfants) atteintes de maladies diarrhéiques ou de paludisme ; des centaines de millions de personnes atteintes de schistosomiase, d'helminthiases intestinales, d'encéphalite japonaise, d'hépatite A ou d'empoisonnement à l'arsenic ou au fluor ; menant à terme à un décès prématuré.

Ainsi, tout au long des réflexions qui suivront, il faudra toujours garder à l'esprit que l'eau est une ressource naturelle, rare et précieuse, qui fait partie d'un ensemble naturel et que le fait de pouvoir en disposer en quantité et en qualité suffisantes est une chance à préserver, ou à provoquer. Le défi d'aujourd'hui est de réussir à satisfaire les besoins des populations en eau, tout en préservant les ressources. Dans ce but, deux axes principaux sont à suivre : éviter toute forme de gaspillage, prévenir et lutter contre la pollution.

## Utilisations de l'eau et conséquences

L'eau revêt de multiples fonctions et ses utilisateurs sont nombreux. C'est avec l'augmentation démographique effrénée de la population qui se poursuit depuis la révolution industrielle, que de réels problèmes quant à la suffisance et à la qualité des ressources ont commencé à se généraliser. En effet, la multiplication des activités nécessitant de l'eau et l'augmentation des volumes demandés pour chacune d'entre elles, provoquent des pressions toujours plus importantes sur les ressources. Les être humains ont domestiqué l'eau pour se l'approprier et satisfaire leurs besoins, ce qui a engendré de lourdes conséquences sur l'environnement et d'importantes modifications des cycles naturels.

### Élément naturel

L'eau est une ressource alimentaire essentielle pour toutes les espèces vivantes, tant végétales qu'animales. Elle sert également d'habitat, de réservoir alimentaire ou encore de lieu de reproduction pour beaucoup d'entre elles. Ainsi, à l'état naturel, tout cours d'eau ou plan d'eau est une niche écologique potentiellement très riche.

L'eau est également un élément du paysage, qui le structure et bien souvent l'embellit.

Initialement, les cycles de l'eau, à petite ou grande échelle, étaient parfaitement équilibrés. Les apports compensaient les prélèvements et les milieux aquatiques n'étaient soumis à aucune pression de pollution excessive. Ces équilibres ont été profondément modifiés par l'expansion des communautés humaines. En tant qu'êtres vivants, leur survie a de tout temps été liée à la présence d'eau. Les zones où celle-ci est abondante sont plus fertiles et donc plus favorables à leur développement. Mais le lien entre la présence d'eau et l'essor des sociétés humaines ne se limite pas à l'utilisation d'eau comme ressource alimentaire. En effet, depuis l'invention du commerce par bateaux, les fleuves et autres cours d'eau ont servi de voies de communication permettant le transport des marchandises. C'est par ce vecteur, que l'essor des grandes villes marchandes est né. Londres, Paris, Prague, Istanbul, Zurich, Dresde, Budapest, ... Presque toutes les grandes villes européennes ont un accès direct aux voies de communication fluviales ou maritimes. On se rend déjà compte que les entités « ville » et « eau » sont indissociables.

L'eau est donc devenue indispensable, bien au-delà de son rôle essentiel d'élément de base de la vie. La dépendance de l'industrie et du fonctionnement de la société en général en ont fait un bien de consommation et une matière première aux implications économiques indéniables. Mais l'importance qu'elle revêt pour l'existence de tout un chacun, pour l'environnement et la biodiversité interdisent de la considérer comme un bien de consommation quelconque. Les problématiques liées à l'eau sont donc au plein cœur de celles du développement durable : comment exploiter durablement les ressources pour permettre à la société de se développer, sans les prêter ni mettre en péril les développements futurs ? Un défi technique, environnemental, économique et social.

### Consommation

L'eau est une ressource alimentaire. Elle est non seulement consommée à l'état brut, mais aussi et surtout en tant qu'intrant indispensable à la production d'aliments, par le biais de l'irrigation principalement. Alors que la consommation domestique représente 10% de la consommation totale mondiale, 70% sont utilisés pour l'agriculture. En Chine, ce taux s'élève à 92%. L'irrigation des cultures nécessite en effet d'énormes quantités d'eau. Celle-ci est pourtant indispensable à la productivité des champs : 30% des cultures mondiales sont irriguées, mais elles représentent à elles seules 70% de la production alimentaire mondiale. Selon les prévisions démographiques, la population mondiale aura besoin de 55% de nourriture en plus en 2030, ce qui se traduira inévitablement par un recours plus important à l'irrigation. Actuellement, rien ne permet d'espérer que

l'augmentation des volumes d'eau utilisés par l'agriculture voit sa courbe diminuer (source: UNEP, fao, 2006).

L'eau est également largement utilisée par les industries, en tant que matière première consommée dans les chaînes de production ou comme matière première non consommée, servant au refroidissement. Au niveau mondial, la demande industrielle se monte à environ 20% (A. Duvalle, cours d'économie hydraulique).

La Figure 2 p.7 montre les tendances quant à l'évolution de la consommation. On se rend compte que la diminution de la consommation individuelle est largement compensée par l'augmentation démographique et qu'en terme de volumes d'eau, la consommation est en augmentation.

Il faut préciser que la consommation d'eau est très inégale selon les pays, et dépend en grande partie du mode de vie et du niveau de confort exigé par ses habitants. Les prélèvements totaux se monteraient à 4500 l/p/j aux Etats-Unis, 900 l/p/j en Suisse et 50 l/p/j au Bénin, selon la base de donnée « Aquastat » de la FAO.

Pour répondre à cette demande, il faut disposer des ressources nécessaires. Le plus souvent, l'eau est pompée dans les nappes phréatiques. Or, celles-ci n'ont pas une capacité d'alimentation illimitée et l'on observe souvent une surexploitation de ces ressources qui se traduit une baisse progressive du niveau des nappes, signe d'un épuisement futur.

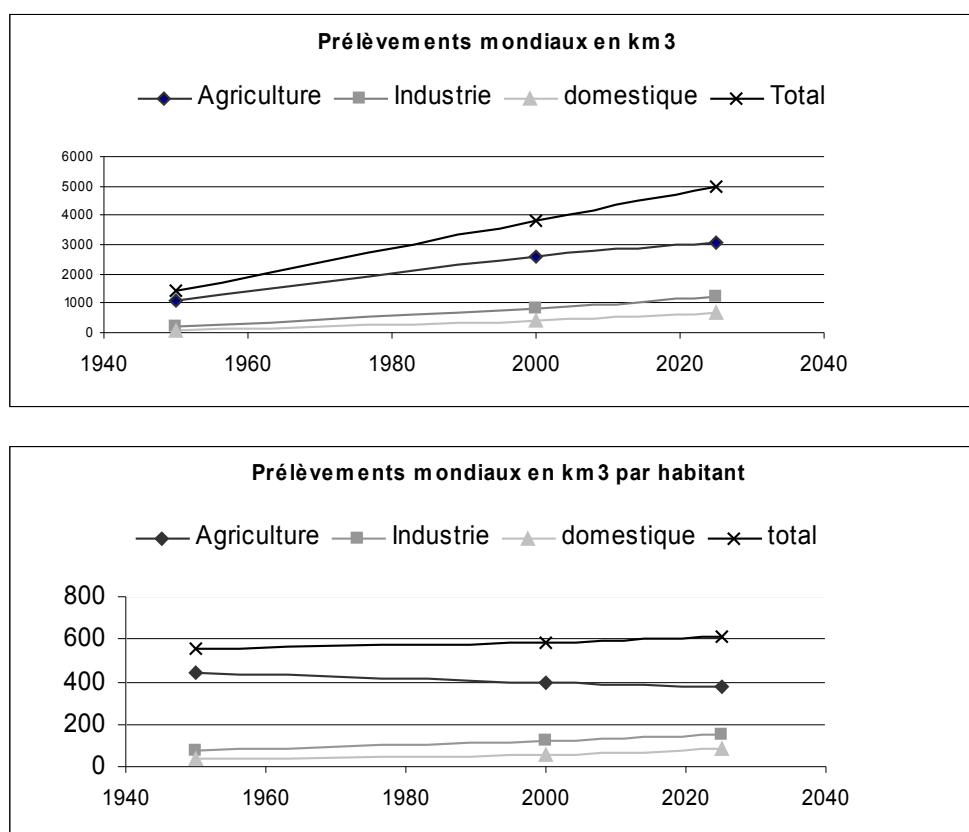


Figure 2: évolution des prélèvements mondiaux (source: E. Duvalle, 2006)

### Transport des déchets

L'eau est un fluide tout à fait particulier, qui présente entre autres des qualités de solvant et qui se trouve à l'état liquide à température ambiante. Ces deux propriétés en font un élément privilégié pour le nettoyage, le transport et l'évacuation des déchets et polluants. De façon volontaire, mais également de façon non contrôlée.

Auparavant, l'eau qui servait à la récolte des déchets était rendue telle quelle au milieu récepteur, sans subir aucun traitement. Au cours des années 70, l'attention s'est portée sur la santé catastrophique des étendues lacustres et des rivières, victimes d'eutrophisation. Une des causes majeures identifiées fut le rejet direct des eaux usées dans l'environnement. Un gros travail fut alors mis en oeuvre pour raccorder toutes les canalisations à des stations d'épuration, afin de diminuer la charge de l'eau en matière organique, en nitrates et en phosphates avant de la remettre en circulation dans l'environnement. Ces efforts ont grandement contribué à améliorer la qualité des eaux lacustres.

Mais des problèmes de pollution subsistent toutefois :

- Une certaine proportion d'eaux usées n'est pas encore reliée à un réseau de traitement des eaux. Cette proportion varie énormément d'un pays à l'autre.
- Même dans les stations les plus efficaces, l'épuration ne peut pas être garantie à 100%. On considère qu'un taux d'abattement de la charge de 90% est très satisfaisant. Or, pour une ville de 100'000 habitants, cela revient à larguer dans l'environnement une pollution équivalente à celle produite par une ville de 10'000 habitants qui ne traiterait pas du tout ses eaux.
- Lors d'événements pluvieux importants et lorsque le réseau d'évacuation des eaux n'est pas en séparatif, les débits arrivant à la station dépassent sa capacité et une grosse proportion de l'eau n'est pas traitée.
- Considérant les trois éléments précédents, on évalue la proportion d'eaux usées traitées efficacement en Europe à 68%. Pour comparaison, ce taux s'élève à 90% en Amérique du Nord, 35% en Asie, 14% en Amérique du Sud et 0% en Afrique ainsi qu'en Australie et Océanie (Duvall, 2006).
- Beaucoup de stations se limitent à un traitement de la matière organique, et ne prévoient aucun traitement spécifique des nitrates et phosphates.
- Les stations d'épuration sont totalement inefficaces pour toutes les autres substances que l'on peut trouver dans les eaux usées, comme les produits pharmaceutiques ou phytosanitaires.
- Il existe d'autres sources de pollution comme l'agriculture et les jardins familiaux par exemple. Il s'agit là de sources diffuses, sur lesquelles il est très difficile d'agir. En plus des nitrates et phosphates, ces activités larguent des pesticides que l'on trouve actuellement en quantités significatives dans les eaux de surfaces. Des études sont en cours quant à l'effet de ces produits (SESA, EAWAG).

Ainsi, le problème de la pollution des milieux aquatiques n'est pas encore résolu et des atteintes sont continuellement portées à des ressources précieuses.

### **Voie de communication**

Comme mentionné précédemment, les cours d'eau sont utilisés comme voie de communication, servant au transport des marchandises et des personnes dans une moindre mesure. Cette activité, qui avait perdu de son attrait au profit du transport routier ou aérien, est en train de vivre un nouvel essor. En effet, le transport par canaux est une alternative économique aux transports traditionnels. Mais pour permettre le passage des bateaux, les cours d'eau doivent être entièrement canalisés, leur niveau d'eau régulé et des ouvrages tels que des écluses ou des ascenseurs mis en place. Toutes ces infrastructures sont difficilement compatibles avec les objectifs écologiques de biodiversité.

### **Production d'énergie**

Les usines hydroélectriques utilisent l'eau pour produire de l'électricité. L'utilisation de la force hydraulique est un des rares moyens rentables d'obtenir de l'énergie propre, au moyen d'une ressource renouvelable. Il existe deux modes de fonctionnement : les usines au fil de l'eau, dont les turbines sont placées directement dans le cours d'eau et les usines par retenue, qui stockent l'eau au moyen de barrages. Quel que soit leur type, la présence de tels ouvrages, qui peuvent atteindre des dimensions gigantesques, provoque des perturbations sur le milieu aquatique. L'impact principal des usines au fil de l'eau est l'effet de barrière créé par les turbines, qui empêchent la migration des poissons, lesquels finissent en partie broyés dans les pales. En plus de l'effet de barrière, les retenues par barrages ont pour principales conséquences la diminution des débits en aval, des modifications physico-chimiques du milieu et le stockage des sédiments dans la retenue. La présence de barrages nuit donc à la qualité écologique des cours d'eau. (C. Lacheret, 1995)

### **Loisirs**

Ce dernier aspect n'est pas à négliger, car les points d'eau sont des lieux privilégiés pour la détente et les loisirs. Promenades sur les rives d'un cours d'eau, baignades, navigation de plaisance, pêche de loisir, ski nautique, planche à voile, kanyoning, bains thermaux... Il existe une multitude d'activités récréatives liées à l'eau. Ainsi, la présence d'eau est une plus-value pour la population, mais revêt également un intérêt touristique, et donc économique indéniable. Selon l'OMS, pratiquer des loisirs liés à l'eau aurait même un effet bénéfique sur la santé.

L'eau est donc présente, utile et indispensable dans bien des domaines. On comprend alors l'ampleur des pressions exercées sur les ressources, dues à la multitude des besoins et des utilisateurs, aux intérêts parfois divergents. De ces constats naissent la nécessité de gérer au mieux l'eau disponible,



de la façon la plus rationnelle possible, afin d'être en mesure de satisfaire les besoins liés à l'eau et d'éviter les conflits.

## La gestion de l'eau en Europe

Ce n'est que dès le milieu des années 1970 que l'Union Européenne s'est intéressée au domaine de l'eau. Elle a alors focalisé son attention sur la protection des eaux utilisées par les humains, comme en témoignent les premiers textes adoptés : directives relatives à la qualité des eaux brutes superficielles destinées à l'alimentation humaine, des eaux de baignade, des eaux à vocation piscicole et des eaux conchylicoles.

Dans les années 1990, d'autres directives ont été adoptées pour réglementer les sources de pollution; il en est ainsi d'une directive relative aux eaux résiduaires urbaines, obligeant les Etats-membres à s'équiper de systèmes de collecte et de traitement des eaux usées domestiques. Une autre directive concerne la réduction de la pollution des eaux par les nitrates d'origine agricole. C'est aussi à cette époque qu'apparaissent des nouveaux concepts tels que "le développement durable" ou « la gestion globale » consacrés par le traité de Maastricht en 1992. En 1995, le « Rapport sur l'environnement dans l'Union européenne » confirme la nécessité d'une action visant à protéger les eaux dans la Communauté, tant qualitativement que quantitativement. Il devient nécessaire d'élaborer une politique communautaire intégrée dans le domaine de l'eau, menant à une harmonisation au sein de l'UE.

Dans ce but, la « directive cadre européenne » (DCE) voit le jour le 23 octobre 2000. Elle a pour objectif de contribuer à la simplification de la politique européenne de l'eau. Elle incite les Etats membres à protéger et restaurer la qualité de leurs ressources en eau afin de parvenir à un bon état chimique et écologique. Un délai de quinze ans après l'entrée en vigueur de la directive est accordé. Elle les incite aussi à arrêter progressivement le rejet de certains produits dangereux dans un délai de 20 ans. L'information et la participation du public doivent être assurées à toutes les étapes de mise en oeuvre des dispositions de la directive. Elle vise également à prévenir la surexploitation des ressources, sans toutefois définir de limites. D'autre part, elle établit que la gestion de l'eau doit toujours se faire à l'échelle du bassin versant, ce qui implique une étroite collaboration entre les pays se trouvant sur un même bassin versant. (La Documentation française)

Depuis maintenant plus de trente ans que la problématique de l'eau a été soulevée, beaucoup de travail a été fait et les progrès sont notables. Toutefois, l'attention s'est principalement focalisée sur les aspects de qualité : normes, valeurs limites, mise en place de systèmes de traitement, ... Bien que les problèmes quantitatifs soient également soulevés, aucune solution n'est proposée et il n'existe pas de loi au niveau européen permettant de réguler la consommation et les prélèvements. Chaque pays a sa propre définition du « débit environnemental », la coordination internationale reste faible.

En 2006, une étude de la commission européenne (« Thematic Strategy on the Urban Environment, Impact Assessment ») a permis d'établir les évolutions suivantes dans les grandes villes européennes (supérieures à 150'000 équivalents habitants), au sein de « l'Europe des 15 » :

- Le nombre de villes ne disposant d'aucun système de traitement des eaux usées est passé de 26 à 17 entre 2002 et 2003. Toutefois, 222 villes sur 571 n'appliquent ni traitement secondaire, ni traitement tertiaire, comme l'exige la « Directive sur le traitement des eaux usées urbaines ». La situation s'améliore donc légèrement, mais des progrès restent à faire, puisque les eaux usées urbaines non traitées sont une cause majeure de pollution des eaux, entraînant de graves effets sur la biodiversité, sur la pérennité des ressources et sur la santé humaine.
- Concernant la consommation d'eau individuelle, la tendance est à l'augmentation. Principalement en raison de l'évolution du mode de vie. En plus d'un besoin de confort toujours plus grand, on observe que le nombre de personnes habitant seules est en augmentation. Or, les foyers individuels sont moins « efficaces » au niveau de la consommation d'eau, comme de celle d'énergie. Par exemple, un foyer de 2 personnes utilise environ 300 litres d'eau par jour, alors que la consommation d'un foyer individuel se monte à 210 litres. De plus, cette tendance à l'augmentation des petits foyers augmente la demande en place et contribue à l'expansion des zones urbaines.
- 60% des grandes villes européennes sont en condition de surexploitation de leurs ressources en eau.

Ainsi, six ans après la mise en place de la DCE, on se rend compte que beaucoup de travail reste à faire et que l'objectif de bonne qualité écologique pour toutes les rivières de l'Union à l'horizon 2015 sera sans doute difficile à tenir.

Brève chronologie de textes essentiels adoptés :

- **1975** : directive relative à la qualité des eaux brutes superficielles destinées à l'alimentation humaine, des eaux de baignade, des eaux à vocation piscicole et des eaux conchyliques.
- **1980** : La directive sur l'eau potable est adoptée par le Conseil Européen. Des standards et valeurs limites sont édictés.
- **1996** : Le plan d'action pour les eaux souterraines et la gestion des eaux édicte des recommandations quant à des actions menant à une gestion durable des ressources en eau potable et à leur protection.
- **2000** : Directive cadre européenne.

(commission européenne, <http://ec.europa.eu/comm/environment>)

## Particularités du milieu urbain

Il n'est pas aisé de définir clairement la notion de ville. Selon les auteurs et les pays, les villes sont délimitées en fonction, de la continuité de l'habitat, du nombre d'habitants ou encore selon que l'activité principale revêt du secteur primaire ou non. Si au Danemark on parle de ville à partir d'une agglomération de 250 habitants, il en faut 30'000 au Japon pour avoir ce statut. Nous garderons la définition des Nations Unies, pour qui une ville est une agglomération de 20'000 habitants au moins (<http://fr.wikipedia.org/wiki/Ville>). Quelle que soit sa taille, la ville doit être vue dans son ensemble, et replacée à l'échelle du bassin versant pour tout ce qui relève de la gestion de l'eau.

D'après l'unep, environ la moitié de la population terrienne vit actuellement en ville, toutes tailles confondues. En 2030, la population urbaine devrait comprendre quasiment les deux tiers de la population mondiale, ce qui entraînera une hausse vertigineuse de la demande en eau dans les zones urbaines. On estime que 2 milliards de personnes vivront dans des bidonvilles, or c'est la population pauvre des zones urbaines qui souffre le plus de l'insuffisance des approvisionnements en eau salubre et des installations d'assainissement. Il est donc indispensable de se pencher sur la problématique de la gestion de l'eau urbaine, car il en va de la vie de millions d'êtres humains. Des moyens doivent être trouvés pour l'optimiser au maximum. Les objectifs à atteindre sont les suivants :

- |   |  |
|---|--|
| - Assurer l'approvisionnement à toute la population | - Gérer les eaux de surfaces : évacuation et protection contre les crues |
| - Assurer l'assainissement                          | - Intégrer l'eau à la ville et la valoriser                              |
| - Préserver les ressources                          |  |

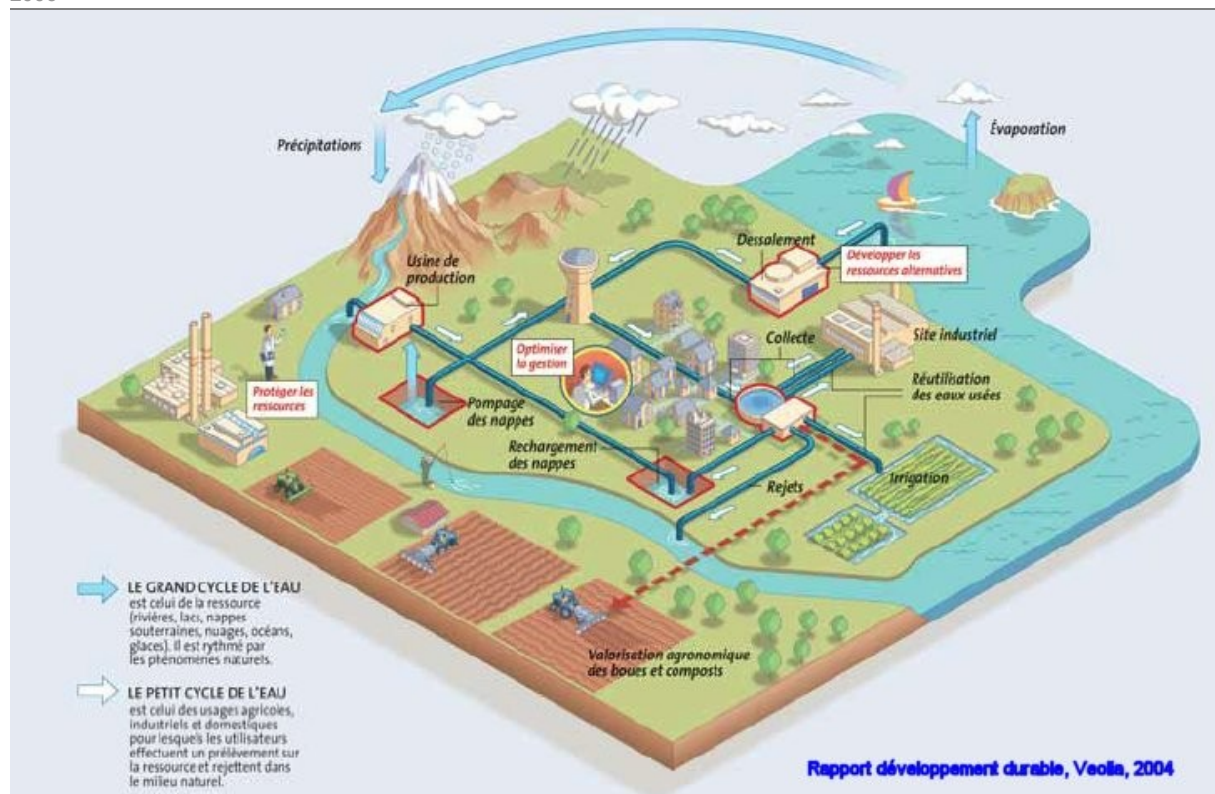
Or, en ville, la densité de la population est élevée, ce qui amplifie tous les problèmes et toutes les difficultés liés à la gestion de l'eau. Les volumes consommés quotidiennement sont très importants, mais il faut pourtant être capables de répondre à la demande, tant au niveau de l'adduction, qu'au niveau du traitement. Les coupures d'eau observées dans les villes du Sud principalement ne sont pas uniquement dues à un manque d'eau réel. Bien souvent, même si celle-ci n'est pas présente en abondance, elle l'est au moins en suffisance. Les manquements sont souvent à un niveau structurel ou organisationnel. Ainsi, le manque de moyens attribués à la mise en place de réseaux, leur vétusté et le manque d'entretien sont responsables de taux de pertes qui peuvent se monter jusqu'à plus de 50%.

Bien que les grandes villes du Sud soient les plus touchées par ces difficultés, notre propos portera principalement sur les villes de type européen. Mais bien que les problèmes et leurs amplitudes ne soient pas les mêmes, les objectifs restent similaires.

Replaçons l'utilisation urbaine de l'eau dans son contexte: le « grand cycle de l'eau ». Par analogie, la consommation d'eau au sein d'une ville s'assimile à un « petit cycle de l'eau », qui s'inscrit dans le grand cycle naturel, comme le montre la Figure 3:

- |                               |                                 |
|-------------------------------|---------------------------------|
| - Prélèvement de la ressource | - Collecte des eaux usées       |
| - Traitement                  | - Traitement                    |
| - Adduction aux consommateurs | - Récupération et réutilisation |
| - Consommation                | - Restitution au milieu naturel |

Ainsi, les points de départ et d'arrivée de toute la consommation urbaine sont parties intégrantes du grand cycle de l'eau. C'est pourquoi chacune de ces étapes doit être optimisée afin de limiter les prélèvements et les impacts sur les ressources, de façon minimiser les perturbations et à garantir l'existence et la qualité des ressources dans le futur.



**Figure 3:** cycle urbain de l'eau

Les villes étant, par définition des espaces à forte densité, de plus en constante croissance, ces objectifs ne sont pas évidents à atteindre et des difficultés spécifiques au milieu urbain se posent à chaque étape :

- *Prélèvement de la ressource* => Il faut garantir l'approvisionnement pour une demande allant toujours en augmentant, or les ressources ne sont pas extensibles. Les nappes souffrent de cette pression et voient souvent leur niveau diminuer. Il faut parfois recourir à des ressources alternatives telles que le dessalement de l'eau de mer ou le transport de l'eau sur de grandes distances. Or, ces moyens sont coûteux et gourmands en énergie. En plus du sceptre de pénuries annoncées, l'abaissement des nappes pose de problèmes écologiques, tels que la disparition des zones humides, niches à haute valeur en biodiversité.

De plus, afin de préserver les ressources, des secteurs de protection des eaux sont mis en place autour des points de pompage. Or, il n'est pas facile de maintenir cet objectif de protection face à la pression urbaine, gourmande en place.

- *Traitement* => Afin de satisfaire la demande, des ressources de moindre qualité doivent être exploitées, ce qui augmente le niveau de traitement exigé. Ceci a une répercussion sur les coûts de production.
- *Adduction aux consommateurs* => Les travaux de maintenance des réseaux sont difficiles en ville. En effet, chaque opération est très lourde car elle exige de bloquer les routes, de dévier la circulation, d'avertir tout le voisinage et de travailler en respectant les délais à l'heure près. Afin de minimiser les nuisances pour la population, ces travaux doivent s'accorder avec des travaux d'entretien des routes ou du réseau de gaz. Ainsi, il n'est parfois pas possible de remplacer les canalisations qui en auraient le plus besoin et de l'argent doit être investi pour le remplacement de canalisations qui sont encore en bon état. Ces opérations de maintenance peuvent être tellement compliquées que dans certaines grandes villes, les gestionnaires préfèrent attendre les ruptures de réseau pour agir. Il en résulte des réseaux dans un état de vétusté parfois très avancé, ce qui engendre des pertes.
- *Consommation* => De gros efforts devraient être mis en œuvre pour diminuer cette consommation. En plus de l'éducation indispensable pour sensibiliser la population à cette problématique et modifier leur comportement, de grosses économies pourraient être faites en récupérant systématiquement l'eau de pluie et en la mettant au service d'activités qui ne nécessitent pas forcément l'utilisation d'eau potable. Il s'agirait entre autres de l'arrosage, du nettoyage des routes et de l'évacuation des déchets.

- *Collecte des eaux usées* : les zones urbaines sont très imperméables, ce qui génère des écoulements superficiels importants. Lorsque le système n'est pas en séparatif, ces débits sont dirigés vers la STEP et perturbent son fonctionnement. D'autre part, les premiers ruissellements d'eaux pluviales sont pollués et nécessitent un traitement minimum (décantation).
- *Traitement* => Les usines créées il y a plusieurs dizaines d'années sont souvent sous dimensionnées pour les besoins actuels.
- *Récupération et réutilisation* : problème de place disponible.
- *Restitution au milieu naturel* => Comme vu précédemment, l'eau rendue au milieu naturel est encore chargée en différents polluants, ce qui perturbe l'élément récepteur.

La gestion de l'eau en milieu urbain doit aussi se pencher sur la problématique des eaux de surface. En effet, les villes sont des zones à très fort taux d'imperméabilisation, assimilable à 100%. A chaque événement pluvieux, l'eau qui ne peut s'infiltrer s'écoule en surface, ce qui peut provoquer de gros volumes de ruissellement. Auparavant, la stratégie retenue était de récolter ces eaux et de les restituer au bassin récepteur le plus rapidement possible. Or, cette méthode a pour effet de diminuer les temps de concentration. Ainsi, pour une pluie de même intensité et de même fréquence, le débit de pointe dans une zone urbanisée est plus élevé et provient plus tôt. Pour des crues importantes, ceci se traduit par des débordements du lit, des inondations, des laves torrentielles et tous les problèmes qui s'en suivent. Afin d'éviter ces situations, on opte maintenant pour une stratégie de stockage et d'infiltration de l'eau pluviale, dans le but d'étaler les crues. Différentes techniques sont mises en œuvre comme les bassins de retenue ou d'infiltration, les tranchées et puits d'infiltration, les chaussées à structure réservoir, le micro-stockage sur les toits ou encore la mise en place de réservoirs, qui ont en plus l'avantage de fournir de l'eau utilisable pour l'arrosage par exemple. Cette liste n'est pas exhaustive, car il existe une multitude de méthodes. En tous les cas, la gestion des eaux de surfaces doit maintenant être prise en compte à part entière dans les projets d'aménagement. Par exemple, on évitera dans les zones sensibles de construire des rues directement dans le sens de la pente, ce qui accélère l'écoulement (B. Hingray).

L'eau est également un élément du paysage urbain, qui le façonne et auquel la ville s'identifie. Les espaces bleus revêtent une importance « ludique, psychologique et esthétique », qu'il est intéressant de mettre en valeur, afin de permettre aux citoyens de s'approprier ces éléments. Ainsi, la ville de Genève a développé en 1994 le concept de « Fil du Rhône » né d'une réflexion sur l'importance du site fluvial au cœur de la ville. Il vise à rendre à la promenade et au cheminement continu des piétons les abords du fleuve, ainsi qu'à mettre en valeur les espaces publics de ce périmètre, en réhabilitant les ponts, passerelles, places, quais et digue centrale.

Les projets d'aménagement urbain doivent donc laisser plus de place à « l'écogestion de l'eau », c'est-à-dire à une gestion intégrée des multiples usages de l'eau, permettant d'assurer les objectifs suivants :

- |   |   |
|---|---|
| - assurer un service de qualité                           | - rendre plus agréable le cadre de vie des citoyens |
| - limiter les coûts pour la collectivité                  | - protéger les milieux récepteurs et fournisseurs   |
| - s'assurer des possibilités de recyclage et récupération |   |

(« L'eau et la ville », UNIL)

Décrire la gestion de l'eau en milieu urbain n'est donc pas aisé, car de multiples domaines sont touchés, ayant chacun leurs acteurs, leurs objectifs et leurs intérêts propres. Dans le cadre de ce travail, nous nous limiterons à l'aspect « besoins et utilisations de l'eau ».

## II. Systèmes d'indicateurs

### Définition

Un indicateur agrège des données statistiques et spatiales en une information succincte, facilitant la compréhension d'un phénomène. Dans ce sens, il est une interprétation empirique et indirecte de la réalité [Repetti, 2004], qui comprend inévitablement un part de subjectivité. Le lecteur d'un indicateur doit y être sensible et être conscient qu'il est toujours possible de « manipuler » un indicateur, en jouant sur les données utilisées ou en biaisant les calculs.

Selon Weber et Lavoux (1994), un indicateur est « la traduction synthétique d'une action, d'une situation ou de son évolution, employée pour l'évaluation, le suivi et l'aide à la décision. Girardin (1997) précise que l'on a recours à des indicateurs lorsqu'il est impossible par la mesure ou la modélisation d'estimer correctement un phénomène (G. Lucas, 2004).

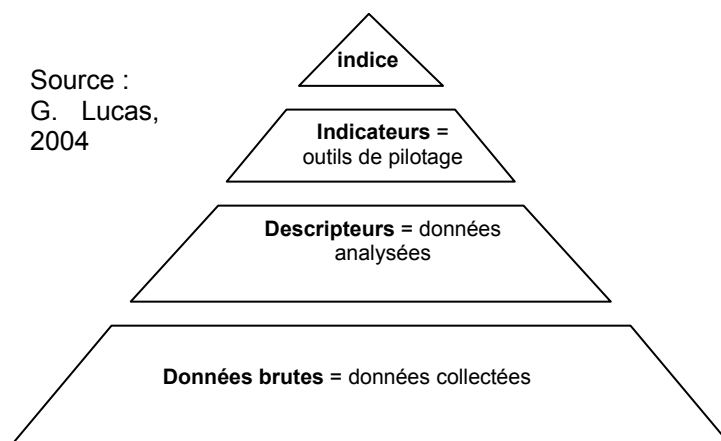
Les fonctions d'un indicateur sont donc les suivantes :

- représentation d'une réalité complexe à appréhender
- évaluation d'un état
- base de communication
- comparaison par rapport à des normes ou des standards, comparaison temporelle et spatiale

Il existe différents types d'indicateurs. Selon les préconisations de l'OCDE, les indicateurs sont organisés selon le modèle Pression-Etat-Réponse. Les indicateurs de pression mettent en évidence l'impact d'un processus (ex : impact environnemental des pratiques agricoles sur la pollution des eaux de surface), les indicateurs d'état offrent une description de la situation (ex : qualité des eaux de surface) et les indicateurs de réponse permettent d'évaluer les efforts consentis pour résoudre un problème (ex : outils législatifs pour garantir une bonne qualité des eaux).

On distingue également les indicateurs simples, basés sur une seule variable directement mesurée ou évaluée ; des indicateurs composites, obtenus par l'agrégation de variables. Cette agrégation peut reposer sur un calcul, une fonction mathématique ou un système de notation. Ces opérations sont toutefois délicates et la représentativité doit être garantie. Raison pour laquelle la validité de l'indicateur doit être établie.

Il est possible de mettre en évidence 3 niveaux d'information, représentés par la Figure 4. Les données, après avoir été collectées et mises en forme deviennent des descripteurs, qui ne sont rien de plus que des données brutes affinées. L'indicateur donne une information plus élaborée, permettant l'évaluation et la comparaison, comprenant une fonction de communication importante. Finalement, l'indice comporte une information très agrégée, portant sur le thème global (indice de développement, indice de consommation,...).



**Figure 4:** niveaux d'information

### Qualités requises

Selon l'OCDE (1993), les principales propriétés attendues des indicateurs sont la pertinence, la justesse d'analyse et la mesurabilité. En pratique, un bon indicateur doit être sensible aux changements attendus, être fondé sur des données fiables et être facilement compris et accepté par ses utilisateurs.

## Mise en place d'un système d'indicateurs

---

Un système d'indicateurs spatiaux permet d'établir une image synthétique du territoire. On leur attribue quatre dimensions par rapport auxquelles chaque indicateur doit se positionner (Repetti, 2004) :

- Une dimension *stratégique* : le décideur politique qui doit établir une planification à long terme aura besoin d'indicateurs globaux tandis que le gestionnaire technique préférera une information plus fournie, spécifique à son champ d'activité.
- Une dimension *territoriale* : des indicateurs doivent être présentés selon diverses représentations spatiales qui correspondent aux échelles des problématiques ciblées.
- Une dimension *thématique* : le système doit représenter l'ensemble des domaines thématiques ciblés par les objectifs d'évaluation.
- Une dimension *synthétique* : choisir les différents niveaux d'agrégation à représenter.

D'autre part, la construction d'un indicateur repose sur une structuration de l'information. Rechatin et Theys proposent une méthode de structuration fixant un certain nombre de conditions nécessaires à l'élaboration d'un système cohérent d'indicateurs :

- Définition claire des objectifs : que veut-on évaluer, pour quelle utilisation ?
- Intégration de la multidimensionnalité, de la multitemporalité et de la diversité des échelles géographiques.
- Limitation du nombre d'indicateurs.

Or, la mise en place d'un système se heurte à différentes difficultés, pour lesquelles des compromis doivent être trouvés. Il est ainsi difficile de se restreindre à un nombre limité, mais optimal d'indicateurs, car deux aspects contradictoires se confrontent : la nécessité d'être synthétique d'une part et le besoin d'exhaustivité d'autre part. Un nombre d'indicateurs insuffisant ne permet pas une bonne analyse, mais un nombre trop important rend le système illisible et va à l'encontre du but de synthèse recherché (Joerin et al, 2001).

D'autre part, un indicateur doit être représentatif à différentes échelles et des solutions doivent être trouvées pour gérer ces changements d'échelle. Différentes techniques sont employées (G.Lucas, 2004) :

- *Le changement d'indicateur* : on répond au changement d'échelle par un changement de sources de données et un changement des indicateurs mis en œuvre.
- *Démarches agrégatives* : l'agrégation permet de passer des constituants au tout. Toutefois, l'interaction entre plusieurs processus crée des difficultés. S'il est possible de représenter un processus isolément, une prise en compte multiple est complexe.
- *Degré de précision de l'information* : une échelle plus grande nécessite un niveau de précision plus élevé des données, qui doivent donner des informations détaillées. Ainsi, le degré de précision des informations qui renseignent l'indicateur est caractéristique des différentes échelles.

Vient enfin le problème de la disponibilité des données. On peut être tenté de prendre en compte des données aisément quantifiables d'intérêt limité, au détriment de données éventuellement capitales, mais difficilement mesurables ; ce qui est à proscrire. Mais il faut également prendre garde à ne pas être trop ambitieux au niveau des données, au risque de ne jamais pouvoir les acquérir et d'obtenir un système performant, mais inapplicable.

## Intérêt des indicateurs pour la gestion de l'eau urbaine

---

Au vu de la raréfaction des ressources et de l'augmentation de la population urbaine, il est actuellement indispensable de rationaliser l'utilisation de l'eau en ville, ainsi que sa gestion. Dans ce but d'optimisation, des outils permettant de rendre compte de la situation de la ville par rapport à l'eau s'avèrent très utiles. Ils doivent permettre de l'évaluer, de mettre en évidence les manquements, de mieux cerner les éventuels problèmes et d'agir en conséquence. D'autre part, un accès facilité aux informations concernant l'eau urbaine permettra aux décideurs de mieux prendre en compte cette thématique dans leurs processus de décision. Un des buts recherchés en particulier est de faciliter l'intégration de la dimension « eau » dans les projets d'aménagement.

A un autre niveau, le système doit également fournir des indicateurs accessibles au grand public, dans le but de l'informer sur la façon dont l'eau est utilisée et gérée d'une part, mais également de le sensibiliser. Il revêt donc une importante valeur de communication.

L'outil créé au final devra donc être facile d'utilisation afin de remplir efficacement son rôle de consultation par le grand public, mais devra également offrir des informations et des possibilités d'analyses pertinentes afin que les professionnels y trouvent un intérêt.

## Le cadre du système

---

Situation :	Villes de type européen
Objectifs :	faciliter l'accès aux informations relatives à l'eau urbaine permettre l'intégration de la dimension « eau » dans les prises de décision politique, en particulier pour les projets de développement urbain
Utilisateurs cibles :	le grand public, les aménagistes, tous les « acteurs de l'eau »
Echelles :	Pâté de maison, quartier 1, quartier 2, global (pour les indicateurs portant sur les cours d'eau ou les lacs, un découpage correspondant à ces échelles est prévu)
Niveaux d'agrégation :	Descripteurs - indicateurs de niveau 1 - indicateurs de niveau 2

## Restriction du domaine

---

Le point de départ de l'étude était de déterminer un système d'indicateurs géoréférencés pour la gestion de l'eau en ville. Or, ce thème étant très vaste, il a fallu cibler certains domaines et objectifs à évaluer. Le champ a donc été réduit à l'aspect « **besoins et utilisations de l'eau urbaine** », mettant ainsi de côté les aspects de qualité, de gestion des eaux superficielles et de risques liés à l'eau. Ceux-ci ne sont pourtant pas à négliger et il sera indispensable de les prendre en considération dans le cadre d'études ultérieures.

## Tour d'horizon des indicateurs existants

---

Le premier travail réalisé fut de répertorier les indicateurs et études déjà existants. La littérature est relativement abondante sur le sujet et il existe une multitude de listes d'indicateurs relatifs à l'eau potable, la plupart d'entre eux portant sur les services de distribution et de traitement des eaux. En effet, le recours aux indicateurs pour évaluer les performances d'une entreprise, sous forme de « benchmarking » s'est généralisé. Les sociétés de gestion de l'eau, qu'elles soient publiques ou privées ne font pas exception.

Voici un petit tour d'horizon des différents organismes ayant mis en place de tels systèmes avec un rapide aperçu du type d'indicateurs proposés. Les listes complètes figurent en annexe I et le lecteur intéressé pourra se rendre sur les liens cités pour de plus amples détails sur la pertinence des indicateurs, leur calcul, les données nécessaires et autres informations. Ne sont présentés ici que les systèmes ayant une portée « universelle », car bien souvent, chaque municipalité développe son propre système, en sélectionnant et en adaptant certains indicateurs, selon ses besoins.

### International Benchmarking NETwork, water and sanitation utilities (IBNET)

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

Le programme IBNET, soutenu par la banque mondiale, le WSP (Water and Sanitation Program) et le DFID (Department for International Development, GB) fournit un ensemble d'indicateurs financiers, techniques et opérationnels, servant de base à l'évaluation et à la comparaison internationale de la gestion de l'eau. Les indicateurs proposés portent sur les domaines suivants :

- |  |                                    |
|--|------------------------------------|
| - Couverture du service                    | - Eau mesurée                      |
| - Consommation et production d'eau potable | - Performance des réseaux          |
| - Eau non consommée                        | - Coûts opérationnels et salariaux |
| - Qualité du service                       | - Facturation                      |
| - Performances financières                 | - Actifs                           |

Au total, plus d'une cinquantaine d'indicateurs sont proposés.



### **Computer Aided REhabilitation of Water networks. Decision Support Tools for Sustainable Water Network Management (Care-W) (H. Alegre, 2003)**

Peut-être l'étude la plus complète réalisée sur le sujet. Huit universités et instituts européens se sont associés pour ce projet, financé par la communauté européenne, afin de développer un outil exhaustif d'évaluation des réseaux et de leur gestion. Le but final étant de produire une méthode scientifique d'évaluation, intégrée à un logiciel informatique et servant d'aide à la décision pour les ingénieurs responsables de la gestion des réseaux. Le système comprend cinq groupes d'indicateurs :

- Economiques et financiers
- Opérationnels
- Qualité
- Ressources
- Physiques

Chaque groupe comprend une dizaine d'indicateurs très détaillés, parfaitement décrits. Chacun a été testé dans les différentes villes liées à l'étude, afin d'étudier leur applicabilité et leur représentativité, dans le but de les valider ou de les améliorer. Tous les indicateurs portent sur la qualité et la gestion du réseau d'eau potable ; allant des investissements annuels à la satisfaction des consommateurs, en passant par le nombre de valves remplacées. Le but du système est clairement de donner l'image la plus complète et la plus précise possible du service de gestion des eaux.

Pour des raisons de confidentialité liées à cette étude, il n'est pas possible de décrire ici plus avant les indicateurs proposés. Le document peut toutefois être consulté en cas de demande.

### **Indicators – Water and wastewater utilities (World Bank, 1996)**

<http://www.worldbank.org/html/fpd/water/pdf/indicators.pdf>

Les indicateurs proposés par la banque mondiale ont été développés dans le but de s'appliquer à des services de distribution et d'assainissement des eaux servant des zones dont la population se situe entre 0.2 et 17 millions de personnes. Ils sont donc conçus pour permettre des comparaisons à large échelle, de la ville au niveau national. Le système est organisé de la façon suivante :

- |                               |                             |
|-------------------------------|-----------------------------|
| I. Indicateurs opérationnels  | II. Indicateurs financiers  |
| - consommation d'eau          | - indicateurs de rendement  |
| - système de distribution     | - retour sur investissement |
| - pertes                      | - liquidités                |
| - système d'évacuation des EU | - profit                    |
| - traitements des EU          | - ratios opérationnels      |
| - personnel                   |                             |

En fait d'indicateurs, il s'agit le plus souvent d'orienter le choix des données à récolter et la façon de les présenter. Est par exemple proposé comme indicateur de traitement des eaux usées la « composition typique des eaux usées municipales non traitées », à présenter sous forme de tableau. Les indicateurs financiers proposés sont ceux habituellement utilisés pour mesurer la santé d'une entreprise.

### **Urban indicators toolkit, (UN-Habitat, 2003)**

<http://www.unhabitat.org>

UN-Habitat propose une liste de 23 indicateurs dont le but est d'évaluer la qualité de vie dans une ville. Le système se veut aussi complet que possible et touche tous les domaines liés à l'environnement urbain. Sur les 23 indicateurs, 5 concernent l'eau, ce qui montre l'importance de ce paramètre.

- |                        |                     |
|------------------------|---------------------|
| - accès à l'eau        | - prix de l'eau     |
| - taux de raccordement | - traitement des EU |
| - consommation d'eau   |                     |



## Encyclopedia of Urban Environment-Related Indicators, (CEROI, UNEP)

<http://www.ceroi.net/ind/indicat.htm>

L'UNEP propose également d'évaluer l'environnement urbain, au travers de cette « encyclopédie d'indicateurs » qui rassemble des indicateurs développés à travers le monde et validés, portant sur cinq domaines : l'économie, l'environnement physique, l'environnement social, les instruments législatifs et les impacts externes. Il en ressort une centaine d'indicateurs, dont certains touchent aux domaines de l'eau :

- |  |                                      |
|--|--------------------------------------|
| - Accès à l'eau potable                                    | - réduction de la consommation d'eau |
| - Origine de l'eau potable                                 | - traitement des EU                  |
| - Prélèvements annuels des eaux souterraines et de surface | - réduction des flux d'EU            |
| - consommation d'eau                                       | - qualité de l'eau potable           |
|  | - qualité de l'eau des rivières      |

## European Environment Agency -Information for Improving Europe's Environment -[http://themes.eea.eu.int/Specific\\_media/water](http://themes.eea.eu.int/Specific_media/water)

Le but poursuivi par l'Agence Européenne pour l'environnement est de fournir des informations permettant d'améliorer l'état de l'environnement de façon générale, à travers l'Europe. Elle propose des indicateurs portant sur une vingtaine de thèmes, parmi lesquels la biodiversité, le bruit, les changements climatiques, la qualité de l'air, la santé humaine... Et évidemment l'eau, thème pour lequel une trentaine d'indicateurs sont proposés. La plupart d'entre eux concernent la qualité de l'eau et servent principalement à l'évaluation de la qualité biochimique des eaux de surface. Toutefois, certains indicateurs quantitatifs, plus spécifiques au milieu urbain sont également proposés :

- |  |   |
|--|---|
| - Consommation d'eau urbaine   | - Proportion d'eau allouée à l'irrigation   |
| - Consommation d'eau par secteur   | - Qualité biologique des rivières   |
| - Taux de fuites   | - Liste des différents polluants éventuellement présent dans les rivières, les lacs et les eaux souterraines. |
| - Prix de l'eau  | - Source des émissions de ces polluants (industrie, ville, agriculture,...)                                   |
| - Traitement des EU urbaines   | - Progrès faits en matière de décontamination de sites pollués.   |
| - Utilisation de l'eau potable (destructive ou non => possibilités de récupération)                  |   |
| - Taux d'exploitation de l'eau (déterminer si une région est en condition de stress hydrique ou non) |   |

Ces indicateurs ont été appliqués par l'agence européenne, afin d'évaluer la situation en Europe. Le niveau de détail reste toutefois grossier puisque les données proviennent de la FAO, de l'Eurostat, ou d'autres grandes bases de données internationales. Les résultats des évaluations portent donc soit sur de vastes régions européennes (Sud, Est, Centre,...), soit sur les pays, mais ne descendent pas à un niveau plus précis. D'autre part, le mode de calcul des indicateurs n'est pas présenté de façon explicite. Seuls les résultats sont donnés sur le site, sous forme de fiches présentant des graphiques ou des cartes. Si les sources des données sont la plupart du temps précisées, on ne sait pas comment elles ont été acquises, ni traitées.

Les principaux indicateurs qui peuvent avoir un intérêt pour une évaluation à l'échelle de la ville figurent à la fin de l'annexe I. La plupart des indicateurs étant qualitatifs, ils peuvent servir à mesurer l'impact d'une ville sur la qualité des eaux. Dans cette même annexe, un commentaire sur la situation globale européenne pour chaque indicateur est présenté, ce qui permet de donner une idée générale de l'évolution des problèmes liés à l'eau en Europe.

**Remarques**

Tous les systèmes se ressemblent finalement beaucoup. Plusieurs éléments communs à ces listes sont à relever:

- L'eau est toujours évaluée par rapport à sa qualité d'eau potable. En dehors de l'agence européenne qui lie des indicateurs quantitatifs de consommation et des indicateurs qualitatifs sur les cours d'eau pris en tant que tels, aucune des autres fonctions de l'eau, aucun de ses autres aspects n'est évoqué.
- Les domaines évalués sont les suivants (par ordre décroissant de quantité d'indicateurs existants et de leur précision): évaluation qualitative et financière des services responsables de l'adduction et du traitement des eaux, consommation d'eau potable, qualité des ressources et de l'eau de boisson, ressources.
- Les indicateurs ne sont pas organisés autour d'un ordre hiérarchique, en fonction de leur niveau d'agrégation. Celui-ci reste par ailleurs assez faible pour la plupart d'entre eux.
- La plus grande échelle prévue pour ces indicateurs est la ville. Il n'est nulle part proposé de les appliquer à un niveau plus fin.

**Proposition d'indicateurs pour les « besoins et utilisation de l'eau en ville »**

En se basant sur ce qui existe déjà, ce système propose d'une part de nouveaux indicateurs permettant de compléter certaines lacunes soulevées ; et d'autre part des indicateurs agrégés, ou du moins une sélection de quelques indicateurs pertinents permettant de donner une information globale sur l'eau en ville au moyen d'un nombre restreint d'indicateurs.

Le thème « besoins et utilisations de l'eau urbaine » reste un sujet vaste qu'il a fallu subdiviser en différentes catégories qui feront chacune l'objet d'un chapitre dans les pages suivantes. Ces catégories sont elles-mêmes constituées de sous-thèmes, dont voici l'articulation :

Catégories	Sous-thèmes
Consommation d'eau potable	Consommation globale Consommation domestique Consommation du secteur primaire Consommation des secteurs secondaires et tertiaire
Autres fonctions et utilisations de l'eau	Fonction récréative Fonction industrielle (voie de communication, production électrique, refroidissement,...) Fonction écologique Fonction de ressource d'eau potable
Ressources et réseaux	Ressource pour la production d'eau potable Réseau de distribution Réseau d'assainissement

**Tableau 1: catégories et thèmes à évaluer**

Comme toute classification, celle-ci est arbitraire et il est évident que les catégories sont interdépendantes. Mais elle présente l'avantage de séparer distinctement l'évaluation des données portant sur les infrastructures liées à l'approvisionnement en eau potable, la consommation de celle-ci et les différentes utilisations.

Les trois catégories susmentionnées seront évaluées au moyen des indicateurs figurant au Tableau 2 p.19, qui ont pour but d'évaluer la situation, de permettre la comparaison entre différentes zones de la ville ou entre différentes villes, ainsi que de soulever certains problèmes.

Catégories	Indicateurs niveau 1	Indicateurs niveau 2
Consommation d'eau potable	Consommation totale annuelle Répartition par catégorie	Tendance <i>Efforts de diminution de la conso.*</i>
Autres fonctions et utilisations de l'eau	<i>Valorisation récréative*</i> <i>Valorisation économique</i> <i>Valorisation écologique</i>	<i>Potentiel de conflits</i>
Ressources et réseaux	Proportion des ressources utilisées Origine de l'eau consommée Fréquence/risque de ruptures <i>Taux d'épuration</i> Coût du m3	<i>Prévision de pénuries</i> Satisfaction des consommateurs <i>Proportion des coûts facturés</i>

**Tableau 2:** tableau synoptique des indicateurs

*\*Les indicateurs qui ont un caractère «original » ou innovateur sont indiqués en italique*

Les modèles conceptuels de données nécessaires à l'établissement de ces indicateurs sont présentés en annexe II.

### Catégorie « consommation d'eau potable »

*But : mieux connaître la consommation afin de la limiter, de la rationaliser et de distribuer stratégiquement les ressources.*

Après la prise de conscience des problèmes posés par la pollution de l'eau ces dernières décennies, les efforts de gestion de cette ressource se sont concentrés sur l'aspect qualitatif. Ainsi, un grand soin a été donné à l'amélioration des réseaux d'assainissement, à la mise en place généralisée de stations d'épuration et à l'élaboration de PGEE. Or, aujourd'hui, en plus de la pollution et des risques d'inondations, l'augmentation de la population urbaine pose également un problème quantitatif de ressource. Dans beaucoup de villes, y compris dans des régions où l'eau est relativement abondante, il devient difficile d'assurer l'approvisionnement en eau potable de toute la population, notamment en période estivale.

L'idée de cette section est de donner une « image de la consommation », afin de savoir quelles catégories de consommateurs consomment quels volumes à quel endroit. Cette image serait complétée par une autre, mettant en évidence les facteurs qui influencent la consommation d'eau.

Ces informations pourraient ensuite être exploitées de différentes façons :

- Identifier les zones de forte consommation (premières concernées par les risques de pénurie) et leurs catégories de consommateurs. Ceci permettant de déterminer les risques de conflits entre les différents utilisateurs, d'attribuer des priorités et d'anticiper les possibilités de restriction.
- Permettre une comparaison entre les consommateurs, grâce à laquelle des « zones de consommation excessive » pourraient être identifiées. Les causes de ces fortes consommations pourraient alors être recherchées et des mesures prises.
- Evaluer l'impact sur la consommation d'un projet d'aménagement et s'assurer que la ville est capable de répondre à la demande générée.
- Permettre la comparaison entre les villes, afin de se positionner quant aux habitudes des consommateurs et éventuellement de profiter de l'expérience de villes mieux loties.

Mais ceci suppose la possibilité d'être précisément renseigné sur les volumes consommés et sur leur utilisation, ce qui n'est habituellement pas le cas. Sur la totalité des volumes d'eau distribués, seuls ceux qui sont facturés sont réellement connus. Et encore, l'emplacement des compteurs n'est parfois pas répertorié, ce qui empêche de les géoréférencer (cas lausannois où les compteurs sont associés à l'adresse du propriétaire du bâtiment, et non à celle du bâtiment). De plus, la part non facturée et donc non connue de l'eau distribuée peut être très importante. Celle-ci comprend de l'eau qui est utilisée mais non facturée, comme la défense incendie, le curage des installations ou encore les fontaines. Le reste est constitué de pertes physiques (fuites, débordements) ou « commerciales » (branchements illégaux, compteurs défectueux). Certains de ces volumes, notamment l'eau utilisée pour le curage des installations, peuvent être relativement bien évalués grâce à des paramètres connus. Les autres ne sont que très grossièrement estimés. Le Tableau 3 ci-dessous montre la composition des parts facturées et non facturées de l'eau distribuée. Selon les indicateurs proposés par l'étude Care-W dont il est issu, chacune des catégories de la colonne D doit pouvoir être connue, ce qui reste pour l'instant théorique. Certaines catégories, telles que les « volumes non mesurés en raisons de compteurs défectueux » ne sont par définition pas mesurables.

A	B	C	D	E
Volumes introduits dans le système [m³/an]	Consommation « autorisée » [m³/an]	Consommation « autorisée » facturée [m³/an]	Consommation facturée au volume [m³/an]	Eau facturée [m³/an]
			Consommation facturée au forfait [m³/an]	
		Consommation « autorisée » non facturée [m³/an]	Consommation mesurée et non facturée [m³/an]	Eau non facturée [m³/an]
			Consommation non mesurée et non facturée [m³/an]	
	Pertes [m³/an]	Pertes « commerciales » [m³/an]	Branchements illégaux [m³/an]	
			Compteurs défectueux [m³/an]	
		Pertes physiques [m³/an]	Fuites dans les canalisations d'eau brut et lors du traitement [m³/an]	
			Fuites sur les canalisations de distribution [m³/an]	
			Fuites et débordements au niveau des réservoirs [m³/an]	
			Fuites au niveau des connections [m³/an]	

**Tableau 3** : parts facturées et non facturées de l'eau distribuée (source : H. Alegre, 2003)

### Descripteurs et indicateurs

Thème	Descripteurs
Consommation	<b>globale</b>
	Consommation totale annuelle
	Facturation totale annuelle
	Consommation moyenne par équivalent habitant
	Consommation moyenne par connexion
	% des connexions où l'eau est payée au volume consommé
	% de bâtiments plus vieux que 20 ans
	proportion d'eau de pluie récupérée
	% personnes sensibilisées
	% eau utilisée à des fins ne nécessitant pas une qualité d'eau potable
	<b>domestique</b>
	Consommation annuelle d'eau domestique
	Dépense moy. annuelle par ménage (4 pers.) pour l'eau
	Consommation moyenne par personne pour l'eau domestique
	% bâtiments avec jardins domestiques
	% bâtiments équipés de climatiseurs à eau perdue
	% de maisons individuelles
	% de propriétaires
	% logements habités par 1 personne
	Présence de piscines privées
	% de logements habités saisonnièrement
	% logements équipés de matériel ménager économiseurs d'eau
	<b>secteur primaire</b>
	Consommation annuelle d'eau du secteur primaire
	Facturation totale annuelle
	Nombre UGB
	SAU, % surfaces de productions irriguées
	<b>secteur secondaire/tertiaire</b>
	Consommation annuelle d'eau des secteurs II et III
	Facturation totale annuelle
	Présence d'industries grandes consommatrices
	<b>Services publics</b>
	Consommation annuelle d'eau des services pub.
	Facturation totale annuelle
	Densité de fontaines
	% de fontaines à débit continu
	Quantité d'eau utilisée pour l'arrosage des parcs et jardins
	% parcs et jardins munis d'arrosage au goutte à goutte
	Quantité d'eau servant au nettoyage des routes
	Consommation des piscines municipales et terrains de sport
	Consommation des écoles/hôpitaux/bâtiments administratifs

#### Indicateurs niveau 1

Consommation totale annuelle

Répartition de la conso. par catégorie

#### Indicateurs niveau 2

Tendance

Effort fourni pour diminuer la consommation

---

**Tableau 4:** descripteurs et indicateurs pour la consommation d'eau potable

## Descripteurs

A ce niveau, on est intéressés à connaître le type de consommateurs, les volumes consommés et le poids financier qu'ils représentent d'une part, les facteurs pouvant influencer la consommation d'autre part. La connaissance de ces facteurs permet d'expliquer des variations de la consommation et donc de savoir sur quels paramètres agir pour la limiter.

### ▪ Consommation domestique :

Selon M. Montginoul dans une étude publiée par le CEMAGREF, les facteurs influençant la consommation domestique se répartissent en quatre catégories : les caractéristiques de l'habitat, celles du ménage, le prix de l'eau et les éventuelles actions de sensibilisation. Certaines variables ont été reconnues par des tests statistiques comme étant des facteurs explicatifs de la consommation d'eau : la température, la pluviométrie, le type et l'âge du logement, la surface habitable, le taux d'équipement, la présence d'un jardin ou d'une piscine, le revenu, la taille et l'âge moyen du ménage, le prix de l'eau. Seuls ceux pouvant varier d'un quartier à l'autre d'une ville ont été retenus, excluant ainsi les paramètres climatiques.

- *Type de logement* : la consommation est plus importante dans les maisons individuelles que dans les immeubles collectifs.
- *Statut de l'occupant* : les propriétaires ont tendance à consommer plus que les locataires.
- *Taux d'occupation* : mettre en évidence des logements inoccupés ou occupés de façon saisonnière.
- *Nombre de personnes occupant les logements* : de plus en plus de personnes vivent seules, ce qui augmente la consommation individuelle.
- *Age du logement* : plus il est ancien, plus la consommation est importante.
- *Présence d'un compteur d'eau* : par rapport à un prix forfaitaire, la consommation est moins importante lorsque l'eau est payée au volume.
- *Equipements ménagers économiseurs d'eau* : leur présence diminue la consommation d'eau.
- *Présence d'un jardin* : augmente significativement la consommation estivale.
- *Présence d'une piscine* : augmente significativement la consommation.
- *Présence de climatiseurs à eau perdue* : augmente significativement la consommation estivale.

### ▪ Consommation du secteur primaire :

Des exploitations agricoles peuvent être présentes à proximité d'agglomérations urbaines, sur le même bassin versant. Il est donc nécessaire d'en tenir compte, d'autant plus que leur consommation d'eau peut être très importante, que ce soit pour l'irrigation ou pour l'alimentation du bétail. Il est alors intéressant de connaître certaines caractéristiques des exploitations, comme la surface agricole utile, la surface irriguée et le nombre d'unités gros bétail. Autant de caractéristiques qui influencent considérablement la consommation d'eau.

### ▪ Consommation des secteurs secondaires et tertiaires:

La présence d'industries dans des secteurs tels que la métallurgie, la chimie, l'agroalimentaire, des raffineries ou encore la pâte à papier nécessite une d'importantes capacité de production d'eau. De même, la présence dans un quartier de lavoirs, de coiffeurs, de garages ou de toute activités reconnue pour consommer de grandes quantité d'eau contribuera à augmenter significativement la consommation globale dudit quartier.

### ▪ Services publics :

Il pourrait être intéressant de détailler la consommation des services publics selon les différents services, mais le niveau de détail de l'information à acquérir devient trop précis. Notons tout de même pour information les barèmes de consommation suivants, établis par Cartel'Eau pour les hôpitaux et les écoles :

- **Hôpitaux** : 250 l/résident/j.
- **Ecoles munie d'une cantine** : 15-20 l/écolier/j.

De grosses économies d'eau peuvent être faites par les municipalités sur les fontaines et sur l'arrosage public. Ainsi, la ville de Vevey a fait chuter cette consommation de moitié en installant des horloges régulant le fonctionnement des fontaines sur 12 heures par jour et en développant un

système d'arrosage automatique intégré, contrôlé par sondes d'humidité sur 80% des surfaces irriguées (observatoire universitaire, 2003). La ville de Genève a quant à elle diminué sa consommation d'eau de 30% en dix ans, en appliquant une vingtaine d'actions visant à en rationaliser l'utilisation. « L'action phare, tant en terme d'investissements que de résultats, a été l'aménagement technique des fontaines, soit par réduction des débits, soit par temporisation des fonctionnements, mais surtout par la mise en circuit fermé des fontaines monumentales » (<http://www.geneva-city.ch>). Les autres actions ont porté sur la recherche de fuites dans les immeubles, la pose de minuteries sur les WC publics, l'optimisation des installations sanitaires, la rationalisation des techniques d'arrosage des parcs et jardins et l'optimisation du nettoyage des rues et de la voirie.

D'autre part, l'eau consommée est en grande partie destinée à des utilisations pour lesquelles une qualité équivalente à de l'eau potable n'est pas indispensable. Les volumes alloués à ces fonctions pourraient être économisés en utilisant de l'eau de récupération. Ainsi, la Ville de Genève développe actuellement un programme visant à substituer l'eau potable par de l'eau de récupération, en particulier pour alimenter les services de voirie (nettoyage des rues), les espaces verts (arrosage) et les bâtiments d'habitation (alimentation des WC).

*Indicateurs de niveau 1 :*

1.1.1 Consommation totale		
<b>Unité</b> : $m^3_{\text{eau}}$ , $m^3_{\text{eau}}/m^2$	<b>Période</b> : une année	<b>Échelles</b> : quartier 1 => global
<b>But</b> : donner une image de la consommation, à comparer avec le type d'utilisateurs et certains facteurs pouvant l'influencer. Identifier les zones de forte consommation.		
<b>Données nécessaires</b> : consommations annuelles sur la zone étudiée, surface de la zone.		
<b>Calcul</b> : consommation totale = $\Sigma$ volumes consommés sur une surface définie		
<b>Représentation</b> : carte thématique		
<b>Remarque</b> : en cas de données inexistantes à l'échelle du bâtiment, se rapporter à des échelles plus petites, pour lesquelles des données existeraient. Sinon, extrapoler en se basant sur d'autres données telles que la population résidente, le type d'activités, l'âge des bâtiments, etc.		

1.1.2 Consommation par secteur		
<b>Unité</b> : $m^3_{\text{eau}}$	<b>Période</b> : une année	<b>Échelles</b> : quartier 1 => global
<b>But</b> : savoir comment la consommation se répartit, qui sont les principaux consommateurs à un endroit donné.		
<b>Données nécessaires</b> : volumes consommés à chaque prise d'eau, nature de ces prises (domestique, secteur primaire,...).		
<b>Calcul</b> : consommation du secteur $i = \Sigma$ volumes consommés sur les prises de type $i$		
<b>Représentation</b> : diagramme « camembert ».		



Indicateurs de niveau 2 :

1.2.1 Tendance		
<b>Unité</b> : +/- %	<b>Période</b> : une année	<b>Échelles</b> : quartier => ville
<b>But</b> : Prévoir l'évolution de la consommation, évaluer l'impact des mesures prises pour influencer la consommation.		
<b>Données nécessaires</b> : consommations annuelles sur les 5 dernières années par zone.		
<b>Calcul</b> : $Tendance = 100 * \frac{(conso. \_ annuelle) - (conso. \_ annuelle \_ moyenne)}{(conso. \_ annuelle \_ moyenne)}$ Avec : conso_ annuelle_moyenne = moyenne sur les 5 dernières années		
<b>Représentation</b> : de façon symbolique comme illustré ci-contre, ou par une carte thématique. <div style="text-align: center;"> </div>		
<b>Remarques</b> : On peut s'intéresser à la consommation totale ou à celle d'un secteur en particulier.		

1.2.2 Effort fourni pour diminuer la consommation		
<b>Unité</b> : -	<b>Période</b> : 5 ans	<b>Échelles</b> : quartier => ville
<b>But</b> : comparer les efforts faits et leurs effets selon les régions, évaluer les insuffisances.		
<b>Données nécessaires</b> : toutes celles entrant dans le calcul des paramètres $a_i$ .		
<b>Calcul</b> : $Effort = \frac{\sum_{i=1}^n a_i}{n}$ Avec : $a_i$ = note sur 10 pour chaque paramètre pris en compte. Exemples : $a_1$ = (% population sensibilisée au problème)/10 $a_2$ = utilisation d'eau récupérée : 0 si nulle, 3 si rare, 7 si souvent, 10 si systématique $a_3$ = (% logements avec équipement économiseur d'eau)/10 $a_4$ = (% irrigation faite au goutte-à-goutte)/10 $a_5$ = (1-% fontaines à débit continu)/10		
<b>Représentation</b> : carte thématique.		
<b>Remarques</b> : l'acquisition des données risque de poser problème pour cet indicateur, car il est peu probable que ce type d'information soit habituellement recensé. Le paramètre « % population sensibilisée au problème » nécessite par exemple un sondage particulier. Les paramètres proposés ne sont que des exemples significatifs, on peut vouloir tenir compte d'autres types d'actions.		

**Catégorie « ressource et réseaux »**

*But : informer sur l'efficacité des réseaux de distribution et d'assainissement ainsi que sur l'état des ressources*

La consommation d'eau potable n'est qu'un des maillons de la chaîne formant le « cycle urbain » de l'eau. Son analyse doit aussi porter sur les étapes que sont l'exploitation de la ressource, la distribution, puis l'épuration. Cette section comprend donc des indicateurs attestant de leur bon ou mauvais fonctionnement. Une comparaison entre l'état des ressources et l'évolution de la consommation (indicateurs 1.1.1 et 1.2.1) permet de prévoir le risque de pénuries.

Une importante notion de coûts entre en jeu, répartis entre la production, la distribution et l'assainissement. Cette notion est incomplète si la part des charges fixes n'est pas différenciée de celle des charges variables, proportionnelles au volume d'eau. En effet, les frais les plus lourds concernent habituellement la manutention des installations, qui est indépendante de la quantité d'eau produite, distribuée ou épurée. Ainsi, le coût de revient du m<sup>3</sup> augmente à mesure que la consommation diminue... Plus la part des charges fixes est importante, plus cette augmentation est marquée, d'où la nécessité de connaître cette information.

**Descripteurs et indicateurs**

Thème	descripteurs	indicateurs niveau 1
Service de gestion des eaux	<b>Ressources eau potable</b>	% de la capacité de la ressource utilisé Pénuries saisonnières Origine de l'eau consommée Risques de rupture et de fuite en fonction du matériau et de l'âge des canalisations % eau réellement épuré Coût total du m <sup>3</sup>
	nb de ressources exploitées pour l'alimentation du réseau	
	Type de ressource	
	Extraction - production annuelle d'eau	
	Capacité de renouvellement des ressources [m <sup>3</sup> /an]	
	Si exploitation source fossile => # années exploitables estimé	
	Qualité de l'eau produite (minéralisation, chlore résiduel)	
	Coût de production du m <sup>3</sup>	
	Proportion de coûts fixes	<b>indicateurs niveau 2</b> Prévisions de pénuries Satisfaction des utilisateurs (f(qualité, goût, prix, continuité approvisionnement...)) Proportion des coûts directement facturés au consommateur
	<b>Réseau de distribution</b>	
	Densité du réseau de distribution [km/km <sup>2</sup> ]	
	Efficience du réseau (consommation/production)	
	Pertes sur le réseau par longueur de canalisations	
	Tx de ruptures des canalisations par an et par unité de longueur	
	Taux de coupures annuelles (prises coupées/nb total prises)	
	Proportion gravitaire	
	Coût de distribution du m <sup>3</sup>	
	Proportion de coûts fixes	
	<b>Réseau d'assainissement</b>	
	Densité du réseau d'assainissement [km/km <sup>2</sup> ]	
	% bâtiments raccordés au réseau	
	% réseau séparatif	
	Niveau de traitement (primaire, secondaire, tertiaire)	
	Efficacité du traitement (réduction de la charge organique, N, P)	
	Volumes perdus par fuites et faux branchements	
	Volumes perdus par dépassement capacité	
	Qualité de l'eau de l'effluent / du récepteur	
	Coût d'assainissement du m <sup>3</sup>	
	Proportion des coûts fixes	

**Tableau 5:** descripteurs et indicateurs pour les réseaux et ressources**Descripteurs**

Comme cela a été mentionné au chapitre « Tour d'horizon des indicateurs existants », p.15, il existe des dizaines d'indicateurs pour l'évaluation des réseaux de distribution et d'assainissement. Il ne s'agit pas de tous les reprendre ici, mais au contraire d'en effectuer une sélection, qui certes ne permet pas une évaluation détaillée de la gestion de ces réseaux, mais suffit néanmoins à informer sur leur qualité globale.

- Ressources d'eau potable :

Exception faite du « nombre de ressources exploitées pour l'alimentation du réseau urbain », les données concernant les ressources sont à appliquer sur chacune d'entre elles, individuellement. Une généralisation peut ensuite être faite sur le bassin d'alimentation total.

La connaissance du taux de renouvellement des ressources est indispensable, car dans l'esprit du développement durable et dans un souci d'éviter l'épuisement des ressources, les prélèvements annuels ne devraient pas dépasser cette limite. Dans le cas où la ville exploite une nappe fossile, ce paramètre ne s'applique pas, puisque le taux de renouvellement est par définition nul. Une information utile pourrait alors être le nombre d'années exploitables estimé, selon les prévisions qui peuvent être faites sur l'évolution de la consommation et selon l'estimation du stock d'eau, bien que cette dernière soit souvent entachée de grandes incertitudes.

Ces informations sont ensuite à comparer avec la production annuelle d'eau potable.

Le nombre de ressources exploitées est également un indicateur de sécurité, en cas de problème sur une des ressources, comme une importante pollution par exemple. Le « type de ressource » indique s'il s'agit d'un captage d'eau souterraine ou d'eau de surface, d'une nappe fossile ou encore d'eau dessalée.

Enfin, la qualité de l'eau produite n'est pas la même selon ses origines, d'où l'intérêt d'en faire une comparaison.

Au niveau de la production, il est intéressant de pouvoir comparer les frais de production au m<sup>3</sup> selon les ressources, afin de définir des ordres de priorités dans leur exploitation. Ces frais de production comprennent l'entretien des installations, le pompage et le traitement des eaux. Mais il faut également tenir compte de l'altitude de la ressource, car celle-ci détermine les possibilités d'écoulement gravitaire, évidemment économiques.

- Réseau de distribution :

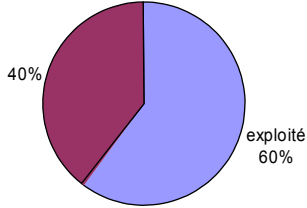
Les données proposées ici sont celles qui figurent systématiquement dans les listes d'indicateurs citées au chapitre « Tour d'horizon des indicateurs existants » p.15, et qui permettent une appréciation globale. La plupart d'entre elles se rapportent à l'efficacité du réseau, mesuré en fonction des pertes sur celui-ci. Pour analyser et régler efficacement le problème des pertes, il est nécessaire de connaître leur nature : physique ou commerciale. Or, s'il est déjà difficile de connaître avec exactitude la proportion d'eau perdue, la nature de ces pertes reste d'autant plus obscure. Pour cette raison, il est préférable de se baser sur le taux de ruptures du réseau, nombre tangible qui est sans doute un indicateur plus fiable de l'état général des canalisations.

Le nombre de connexions et la fréquence à laquelle leur alimentation est coupée au cours d'une année est également un facteur révélateur du bon fonctionnement du service. Enfin, la proportion du réseau qui fonctionne en gravitaire peut expliquer une partie des coûts liés au réseau et rendre compte de l'optimisation de l'utilisation de la pente du terrain.

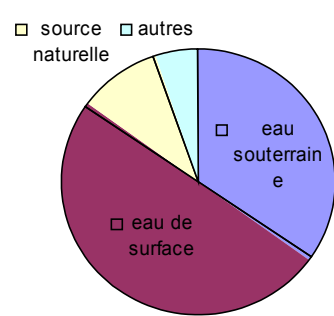
- Réseau d'assainissement :

L'assainissement est indissociable de la production d'eau potable, raison pour laquelle cette section a été incluse. Les données portant sur les traitements ne sont applicables qu'à une petite échelle. Un découpage spatial ne se justifie que dans le cas où la ville dispose de plusieurs stations d'épuration, fonctionnant sur des modes différents.

Indicateurs de niveau 1

2.1.1 Proportion de la capacité des ressources utilisées		
<b>Unité :</b> %	<b>Période :</b> une année	<b>Échelles :</b> Chaque ressource exploitée, individuellement.  Généralisation possible sur plusieurs ressources, selon l'information recherchée : agrégation sur toutes les ressources de même type, sur l'ensemble des ressources alimentant un réservoir ou le réseau entier.
<b>But :</b> Savoir si la ressource est surexploitée, exploitée au maximum de son potentiel, ou s'il est encore possible d'augmenter les soutirages pour répondre à l'évolution de la demande.		
<b>Données nécessaires :</b> les volumes soutirés annuellement dans chaque ressource exploitée, la capacité de renouvellement de ces ressources. Pour les eaux souterraines, cette valeur est déterminée au moyen de méthodes hydrogéologiques. Dans les cas où le soutirage se fait dans un cours d'eau, on retiendra le débit maximum exploitable en accord avec la législation (OEaux). Dans le cas de prélèvements lacustres, la capacité de renouvellement est définie par la somme des affluents du lac.		
<b>Calcul :</b> $Proportion\_utilisée = 100 * \frac{Volume\_soutiré}{Capacité\_renouvellement} \left[ \frac{m^3 / an}{m^3 / an} \right]$		
<b>Représentation :</b> représentation ponctuelle sur la ressource au moyen d'un diagramme « camembert ».		<p>Capacité totale : 1 mio m3/an</p>  <p>40%      exploité 60%</p>
<b>Remarques :</b> Généralisé à toutes les ressources de la ville, cet indicateur permet de prévoir les risques de pénurie. Information à compléter avec l'indicateur suivant.		

2.1.2 Pénuries saisonnières		
<b>Unité :</b> %	<b>Période :</b> un an, données au mois	<b>Échelles :</b> globale
<b>But :</b> les débits alimentant les ressources varient au cours du temps, tout comme les besoins. Il est ainsi possible d'atteindre une situation de pénurie ponctuelle, même si le bilan annuel des apports et prélèvements est positif.		
<b>Données nécessaires :</b> prélèvements maximum exploitables et demande mensuels.		
<b>Calcul :</b> $pénurie\_saison = 100 * \frac{demande}{possibilités\_max\_exploitation} \left[ \frac{m^3 / mois}{m^3 / mois} \right]$		
A appliquer pour tous les mois de l'année, afin de rendre compte du nombre de mois critiques et de la situation le reste du temps.		
<b>Représentation :</b> idem indicateur précédent		

2.1.3 Origine de l'eau consommée	
<b>Unité :</b> -	<b>Échelles :</b> l'indicateur sera applicable au niveau d'une surface correspondant à l'aire de distribution d'un réservoir, ainsi qu'au niveau global, sur l'ensemble de la ville. Ainsi, chaque habitant peut connaître l'origine de l'eau qu'il consomme, selon son lieu d'habitation.
<b>But :</b> principalement informatif pour la population. Si elle en a la possibilité, la ville peut par ce biais vanter la qualité de ses ressources.	
<b>Données nécessaires :</b> les volumes soutirés annuellement dans chaque ressource exploitée, ainsi que leur type.	
<b>Calcul :</b> $origine_i = 100 * \frac{Volumes\_provenance_i}{Volumes\_totaux} \left[ \frac{m^3 / an}{m^3 / an} \right]$	
<b>Représentation :</b> « diagramme camembert ». <div style="text-align: right;">  </div>	

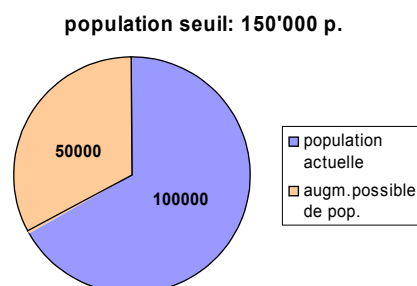
2.1.4 Fréquence de ruptures		
<b>Unité :</b> $\left[ \frac{n / an}{L} \right]$	<b>Période :</b> 5 ans (arbitraire, à discuter)	<b>Échelles :</b> l'indicateur peut être appliqué sur des unités de sous-réseaux. Mais les ruptures n'étant pas si fréquentes, il sera plutôt utilisé pour une évaluation globale du réseau.
<b>But :</b> évaluer l'état et l'efficacité du réseau. En effet, la fréquence de ruptures est caractéristique de l'état général du réseau. Il est justifié de supposer que plus la fréquence de ruptures est élevée, plus le réseau est sujet à des fuites.		
<b>Données nécessaires :</b> les cas de rupture et la longueur des canalisations sur la zone considérée.		
<b>Calcul :</b> $ruptures = \frac{nb\_ruptures}{longueur\_canalisations} \left[ \frac{n / an}{L} \right]$		
<b>Représentation :</b> appliquer différentes couleurs aux tronçons, selon l'historique des ruptures.		
<p><b>Remarques :</b> cet indicateur est une alternative à celui de « taux de fuites », ces dernières n'étant pas toujours mesurées. Les villes ont des politiques différentes quant à l'évaluation et à la recherche des fuites. A Lausanne par exemple, la totalité du réseau est sondée sur une année pour les déceler, alors qu'à Genève, ce travail n'est effectué que tous les 5 ou 10 ans. Entre temps, seules les fuites qui ont un impact significatif sur les courbes de consommation sont considérées.</p> <p>Pour évaluer l'état général du réseau, il existe également un indicateur de <b>risque de rupture</b>, communément utilisé par les services de gestion, pour établir un diagnostic de l'état des canalisations et pour planifier les campagnes d'entretien. Pour chaque tronçon, une probabilité de fuite est calculée, tenant compte du matériau, du diamètre, de l'âge, de la longueur, de la pression exercée et de son historique (fuites antérieures).</p> <p>A partir de cette information portant sur les tronçons, il est possible de faire un diagnostic de tout ou partie du réseau en indiquant quelle proportion présente un risque élevé.</p>		

2.1.5 Proportion d'eaux usées réellement épurées:		
<b>Unité :</b> %	<b>Période :</b> moyenne sur plusieurs années (3-5)	<b>Échelles :</b> l'indicateur s'applique sur tout le bassin versant dont les eaux sont récoltées par une même STEP
<b>But :</b> comme cela a été évoqué au chapitre « Utilisations de l'eau et conséquences » p.7, la proportion d'eau réellement épurée est très variable selon les régions du globe. En Europe, ce taux se situe autour de 70%, avec de grandes différences selon les pays. Il s'agit ici de déterminer si le taux d'épuration pour la ville concernée est suffisant ou non et de suivre son évolution dans le temps.		
<b>Données nécessaires :</b> tous les paramètres entrant dans le calcul de l'indicateur. Il faudra le plus souvent se contenter d'estimations, car ces volumes ne peuvent souvent pas être mesurés.		
<p><b>Calcul :</b> <math>épuration = E * [V_{tot} - (V_1 + V_2 + V_3)]</math> Avec :</p> <p>E = efficacité du traitement (mesurée sur l'abattement de la charge carbonée) [%]</p> <p><math>V_{tot}</math> = volume total d'eaux usées produites [<math>m^3</math>]</p> <p><math>V_1</math> = volume d'eaux usées produites par des établissements non raccordés au réseau d'assainissement [<math>m^3</math>]</p> <p><math>V_2</math> = volumes d'eaux usées non traitées en raison de dépassements de capacité des ouvrages [<math>m^3</math>]</p> <p><math>V_3</math> = volumes non traités en raison de fuites et faux branchements sur le réseau [<math>m^3</math>]</p>		
<b>Représentation :</b> aucune particulière, le chiffre est parlant de lui-même. Cet indicateur est à compléter par une information sur le degré de traitement (primaire, secondaire, tertiaire).		

2.1.6 Coût total du m <sup>3</sup> :		
<b>Unité :</b> CHF	<b>Période :</b> une année	<b>Échelles :</b> globale, indicateur unique pour tout le réseau de distribution
<b>But :</b> exprimer clairement ce que coûte un m <sup>3</sup> d'eau au « producteur », afin de rendre plus transparentes les différences de prix d'une région à l'autre.		
<b>Données nécessaires :</b> les coût de production, de distribution et d'assainissement par m <sup>3</sup> .		
<b>Calcul :</b> $\text{coût}_{total} = \text{coût}_{production} + \text{coût}_{distribution} + \text{coût}_{assainissement}$		
<b>Représentation :</b> aucune particulière, le chiffre est parlant de lui-même.		
<b>Remarques :</b> le « prix de l'eau » fait toujours l'objet de grands débats. Les consommateurs se plaignent notamment régulièrement de disparités selon les régions. Or, celles-ci sont principalement dues à une inégalité au niveau des coûts de production et d'assainissement. Cet indicateur a donc pour but de rendre plus transparentes les raisons du prix appliqué, de le justifier ou au contraire le contester. Une ville dont le réseau est très étendu, à 0% de gravitaire et dont les seules ressources sont des eaux de surfaces produira inévitablement une eau plus chère qu'une ville à la population concentrée, dont l'eau s'écoule en majorité gravitairement et qui dispose de sources d'excellente qualité. Le subventionnement de l'eau est ensuite un choix politique, dont le débat dépasse le cadre de la présente étude.		

## Indicateurs de niveau 2

2.2.1 Prévision de pénurie		
<b>Unité :</b> %	<b>Période :</b> moyenne sur plusieurs années (3-5)	<b>Échelles :</b> globale
<b>But :</b> Comparer la population actuelle à celle correspondant à une situation de stress hydrique, assimilée à une « population seuil ».		
On appelle stress hydrique la situation lors de laquelle les ressources ne sont plus suffisantes pour assurer la satisfaction des besoins. Il est donc évalué en comparant les ressources disponibles et le nombre de personnes à alimenter. La FAO et l'OMS fixent la valeur limite de stress hydrique à 1700 m <sup>3</sup> /p/an, celle de stress sévère à 1000 m <sup>3</sup> /p/an (cette dernière valeur est celle retenue par VEOLIA pour définir le stress simple).		
La situation de stress hydrique est également définie comme le rapport entre les prélèvements et les ressources en eau. Selon la FAO, si un pays prélève annuellement plus de 20% de ses ressources, il est en situation de stress ; au-delà de 40%, on parle de stress sévère.		
<b>Données nécessaires :</b> population, volume des ressources.		
<b>Calcul :</b> $\text{dis tan ce}_{stress} = \frac{\text{population}_{actuelle}}{\text{population}_{seuil}} * 100$ <p>Avec : <math display="block">\text{population}_{seuil} = \frac{\text{ressources}_{totales} [m^3 / an]}{1700 [m^3 / an / p]}</math></p> <p>Plus ce rapport se rapproche de 100, plus les risques de pénuries s'accroissent. Des mesures doivent être prises.</p>		
<b>Représentation :</b> sous forme de diagramme camembert, représentant la population actuelle de la ville en proportion de la population maximum alimentable par les ressources, au rythme de consommation individuelle actuel.		



**Remarques :** la valeur seuil proposée par l'OMS et la FAO paraît à première vue très élevée, aucune justification à cette limite n'a été trouvée. Elle fait sans doute référence à l'ensemble des ressources disponibles, sans intégrer de notion de taux de renouvellement.

2.2.2 Satisfaction des utilisateurs		
<b>Unité :</b> %	<b>Période :</b> 1 sondage tous les 5-10 ans	<b>Échelles :</b> une analyse portant sur un découpage du réseau en sous-unités peut révéler des problèmes ponctuels, par exemple propres aux situations de tête ou de fin de réseau (pression insuffisante ou trop élevée, goût de chlore, etc).
<b>But :</b> les consommateurs peuvent être mécontents en raison de problèmes de goût, d'odeur, de fraîcheur de l'eau, de facturation, de pression, de coupures... Leur taux de satisfaction est donc révélateur du bon ou du mauvais fonctionnement du réseau d'alimentation dans son ensemble et peut révéler des problèmes à une étape particulière.		
<b>Données nécessaires :</b> un sondage spécifique de la population doit être effectué.		
<b>Calcul :</b> $satisfaction = \frac{nb\_personnes\_satisfaites\_à\_très\_satisfaites}{nb\_personnes\_interrogées}$		
<b>Représentation :</b> carte thématique		
<b>Remarques :</b> Il faut être prudents avec ce type d'indicateurs. Des consommateurs habitués à un service d'excellente qualité seront plus exigeants et plus facilement mécontents au moindre dysfonctionnement. Ils sont de plus très sensibles à certains aspects alors que d'autres leur échappe totalement.		

Le tableau ci-dessous représente schématiquement les paramètres entrant dans le calcul de l'indicateur suivant. Malgré la forme, il ne prétend pas représenter les détails d'un compte d'exploitation.

Coûts [CHF] (charges)	Facturations [CHF] (produits)
F <sub>p</sub> Production	P <sub>v</sub> Facturations proportionnelles aux volumes
F <sub>d</sub> Distribution	
F <sub>e</sub> Epuración	P <sub>f</sub> Facturations fixes
	Différence
<b>F = F<sub>p</sub> + F<sub>d</sub> + F<sub>e</sub></b>	<b>P = P<sub>v</sub> + P<sub>f</sub></b>

**Tableau 6 :** Contenu des paramètres

2.2.3 Proportion des coûts directement facturés au consommateur		
<b>Unité :</b> %	<b>Période :</b> mettre à jour tous les 5-10 ans	<b>Échelles :</b> La notion d'échelle géographique n'a pas de sens pour cet indicateur, puisque sa valeur est la même sur l'ensemble du réseau. En revanche, il peut être intéressant de le calculer pour différentes catégories de consommateurs, s'il existe des tarifs différenciés.
<b>But :</b> le prix de l'eau est souvent utilisé comme indicateur de gestion et des comparaisons sont établies entre les régions. Or, ces comparaisons ne sont souvent pas judicieuses, voire même infondées. En effet, les conditions régionales influencent grandement le coût de la production, et les		



modes de facturation sont différents d'un endroit à l'autre : la taxe d'épuration n'est pas toujours comprise dans le prix, il existe une part plus ou moins importante de facturation fixe (taxe de raccordement) et enfin, l'eau n'est pas toujours facturée à son « vrai prix » : la différence peut être couverte par les impôts. En bref, la notion de « prix de l'eau », qu'il faut différencier de la donnée « facturation au m<sup>3</sup> » est mal définie.

L'indicateur proposé ici a pour but de rendre plus transparent le prix de l'eau.

**Données nécessaires :** les données relatives aux coûts figurent dans la comptabilité des entreprises de gestion de l'eau. Le problème est que les charges fixes ayant une part importante, le coût de revient unitaire au m<sup>3</sup> varie en fonction de la production annuelle. Cet indicateur ne sera de toute façon pas exact, mais permettra de donner un ordre de grandeur. Pour plus de représentativité, il devra être calculé sur la base de plusieurs années.

En ce qui concerne la facturation, le même problème se pose : en raison des taxes fixes, le prix final du m<sup>3</sup> n'est pas le même chez tous les consommateurs, mais varie en fonction de leur consommation. Ici aussi, il faudra se contenter d'un prix moyen.

**Calcul :** 
$$Part\_prix = \frac{P/C}{F/D}$$

Avec : P = somme des facturations, qui comprennent les taxes de raccordements et les factures des volumes consommés (pour l'adduction et l'épuration) [CHF].

C = somme des volumes consommés et facturés [m<sup>3</sup>]

F = somme des coûts, liés à la production, la distribution et l'épuration

D = somme des volumes produits [m<sup>3</sup>]

Si : Part\_prix < 1 => le prix du m<sup>3</sup> est sous-évalué par rapport aux coûts de production

Part\_prix = 1 => le prix du m<sup>3</sup> est équilibré par rapport aux coûts de production

Part\_prix > 1 => le prix du m<sup>3</sup> est surévalué par rapport aux coûts de production et comprend une part de bénéfice.

**Remarques :** Il faut tenir compte d'une autre difficulté : les frais sont calculés sur un exercice comptable, allant du mois de décembre au mois de décembre de l'année suivante. Or, les compteurs sont relevés à différentes périodes de l'année, selon leur emplacement géographique. Ainsi, les périodes de facturation ne correspondent pas aux périodes de production. Ici encore, il faut considérer que l'on s'intéresse à la consommation et à la facturation moyennes d'un foyer sur 5 ans, que l'on compare à la moyenne des frais sur 5 ans.

**Catégorie « autres fonctions et utilisations »**

*But : identifier les différentes utilisations de l'eau, sa valorisation par rapport à ces fonctions et les possibilités de conflits pouvant naître.*

Nous avons jusqu'ici considéré l'eau comme un bien de consommation, en particulier une ressource alimentaire puisque nous nous sommes concentrés sur sa gestion en tant qu'eau potable urbaine. Or, l'eau revêt bien d'autres fonctions que nous allons maintenant aborder. Elles ont été classées en quatre différentes catégories : fonction récréative, utilisation par les industries, fonction écologique, fonction de ressource pour l'eau potable. Cette dernière n'est mentionnée que par souci d'exhaustivité, mais n'est pas détaillée, puisque cela a déjà été fait au chapitre précédent.

Les indicateurs proposés ont pour but de mesurer la valorisation des ressources par rapport à chacune de ces fonctions ou utilisations.

Bien qu'incomplète et nécessitant une adaptation au cas par cas, la liste des descripteurs ci-dessous montre les principales fonctions de l'eau, qui sont nombreuses. Chacune d'entre elles est liée à différents acteurs, à des impacts et des exigences spécifiques sur les ressources. Cette situation est génératrice de conflits, dont le potentiel peut être évalué.

**Descripteurs et indicateurs**

Thème	Descripteurs	Indicateurs niveau 1
	Fonction récréative	Valorisation récréative Valorisation économique Valorisation écologique
Autres utilisations/fonctions	% surface bleue	
	Plages – quantités	
	Plages - qualité	
	Berges aménagées pour promenades – quantité	
	Berges aménagées pour promenades – qualité	
	Possibilités de pêche	
	Navigation de plaisance	
	Autres activités récréatives	
	% de parcs qui comprennent des plans d'eau	
	Activités industrielles	
	Volumes soutirés pour production hydroélectrique	
	Qté d'énergie produite annuellement	
	Valeur monétaire de l'énergie produite	
	V soutirés par autres industries (refroidissement)	
	Valeur monétaire de ces volumes	
	Transit de bateaux commerciaux	
	Valeur économique de ce trafic	
	Rejets industriels	
	Fonction écologique	
	Qualité eau - Diversité biologique en amont de la ville	
	Qualité eau - Diversité biologique en aval de la ville	
	Valeur écologique remarquable	
	Ressource d'eau de consommation	
	V captés	
		Indicateur niveau 2 Potentiel de conflits

**Tableau 7:** descripteurs et indicateurs pour les utilisations et fonctions de l'eau

### *Descripteurs*

L'eau est un élément propice aux activités de détente et de loisirs. Il est important qu'une ville valorise cet aspect, au même titre que cela se fait pour les forêts, parcs et autres « surfaces vertes ». Dans un premier temps, un recensement et une évaluation des activités récréatives liées à l'eau doivent être faits. La liste du Tableau 7 p.34 propose quelques activités à évaluer, mais elle n'est pas exhaustive et devra être adaptée en fonction du lieu, chaque endroit ayant ses particularités et offrant différentes possibilités.

D'autre part, des volumes d'eau peuvent être prélevés par les industries, pour leurs besoins en eau de refroidissement principalement. Ces mêmes industries rejettent de l'eau, qui risque de perturber le milieu, en raison de sa température ou de sa composition chimique.

Deux activités « industrielles » particulières sont à relever :

- la production d'électricité, pour laquelle il faut également connaître la quantité d'énergie produite, afin de considérer l'importance de l'usine et donc sa position par rapport à d'autres fonctions du cours d'eau.
- le transport des marchandises, qui nécessite la connaissance du gabarit des bateaux autorisés et de l'importance du trafic.

Quelle que soit l'utilisation finale, il est intéressant de chiffrer la valeur économique que représente la ressource pour ses utilisateurs.

La fonction écologique d'un cours d'eau est également un élément dont il faut tenir compte. La première information à connaître est la qualité de son eau, qui doit être maintenue. La législation suisse prévoit diverses mesures dans le but de « protéger les eaux contre toute atteinte nuisible » (Loi fédérale sur la protection des eaux, 1991). Il en va de même pour tous les cours d'eau d'Europe, puisque la directive cadre européenne prévoit de « parvenir à un bon état chimique et écologique » des rivières à l'horizon 2015. Leur diversité biologique, caractéristique de la qualité du cours d'eau, peut être mesurée au moyen de différents indicateurs portant sur les macroinvertébrés, les poissons, les diatomées<sup>1</sup> ou encore les plantes aquatiques. Ces indicateurs sont ceux proposés par le système modulaire gradué mis en place par l'EAWAG ([www.systeme-modulaire-gradue.ch](http://www.systeme-modulaire-gradue.ch)), en accord avec ce qui se fait à l'étranger. Les données doivent également mentionner si le cours d'eau présente une importance écologique particulière. Ce qui est le cas s'il s'agit d'une zone alluviale ou d'un bas-marais d'importance, s'il abrite des espèces particulières, s'il appartient à la convention Ramsar ou encore s'il est répertorié comme réserve d'oiseaux d'eau et migrants.

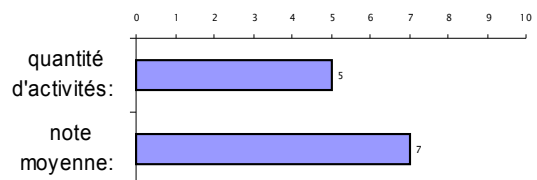
L'impact de la ville sur la qualité du cours d'eau peut être mesuré en comparant les états amont et aval.


---

<sup>1</sup> Algues unicellulaires

Indicateurs de niveau 1

3.1.1 Valorisation récréative		
<b>Unité :</b> note/10	<b>Période :</b> à mettre à jour en cas de changement de la situation ou ts les x ans.	<b>Échelles :</b> cet indicateur s'applique à un objet tel qu'un lac ou un cours d'eau. Une moyenne peut également être faite sur l'ensemble de la ville, s'il y existe plusieurs objets.
<b>But :</b> mesurer les possibilités de loisirs liés à l'eau, ainsi que leur qualité.		
<b>Données nécessaires :</b> la liste des activités répertoriées et leur évaluation.		
<p><b>Calcul :</b> Cet indicateur comporte donc un volet quantitatif et un volet qualitatif.</p> <p>1) quantité = nb d'activités répertoriées (n)</p> <p>2) qualité = <math>\frac{\sum_{j=1}^n p_j}{n}</math> avec : <math>p = \frac{10}{m} \left( \sum_{i=1}^m a_i \right)</math></p> <p>p = la note attribuée respectivement à chaque activité, selon certains critères i = le nombre de critères a<sub>i</sub> = le facteur attribué pour chaque critère, selon son évaluation. Egal à 1 si le critère est évalué au maximum, à 0 s'il est très mauvais</p>		
<p><b>Représentation :</b> carte thématique : couleur variant selon la qualité et intensité de la couleur variant en fonction de la quantité des activités. Ponctuellement, par un graphique à deux barres.</p>		
<p><b>Remarques :</b> Il est important de choisir suffisamment de critères. Une pondération doit également être pensée. Afin de bien rendre compte des possibilités offertes à la population urbaine, la notion d'accessibilité doit ressortir et être prise en compte dans l'évaluation de chacune des activités</p>		
<p><b>Exemple :</b> les plages sont évaluées selon les critères suivants : qualité de l'eau, présence d'aménagements, gratuité, présence d'un parking à proximité, possibilité d'accès en transports publics, confort du revêtement. Une plage qui remplit parfaitement tous les critères, mais qui ne dispose pas de parking et dont le revêtement est d'un confort moyen obtiendra la note suivante :</p> $p = \frac{10}{6} (1 + 1 + 1 + 0 + 1 + 0.5) = 7.5$		



3.1.2 Valorisation économique		
<b>Unité :</b> CHF/an	<b>Période :</b> à mettre à jour en cas de changement de la situation.	<b>Échelles :</b> cet indicateur s'applique à un objet tel qu'un lac ou un cours d'eau. Une moyenne peut également être faite sur l'ensemble de la ville, s'il y existe plusieurs objets.
<b>But :</b> évaluer la valeur de la contribution des ressources en eau à la création de biens et de services ayant une valeur marchande.		
<b>Données nécessaires :</b> Pour les activités qui dépendent entièrement de la ressource (ex : location de bateaux), compter le chiffre d'affaire de l'entreprise.  Pour les activités pour lesquelles l'eau n'est qu'un facteur parmi d'autres, compter la moins-value que représenterait la disparition de la ressource (ex : bar sur les rives d'un lac) ou le coût qu'engendrerait la nécessité de trouver une alternative (ex : utiliser l'eau municipale pour le refroidissement d'une industrie).  Pour être efficace, cet indicateur devrait aussi tenir compte de valeurs « indirectes » tels que la plus-value foncière des parcelles situées sur les rives ou l'augmentation de l'attrait touristique de la région. Seuls des spécialistes peuvent donner une estimation de ces chiffres, difficiles à évaluer.		
<b>Calcul :</b> faire la somme des valeurs		
<b>Représentation :</b> représenter par une barre la valeur totale de l'objet, en montrant la part des différentes catégories d'activités évaluées.  <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 5px;"> <span>0</span> <span>5'000</span> <span>10'000</span> <span>15'000</span> <span>20'000</span> </div> <div style="display: flex; justify-content: center; margin-top: 5px;"> <span style="background-color: blue; width: 10px; height: 10px; display: inline-block; margin-right: 5px;"></span> production électrique           <span style="background-color: red; width: 10px; height: 10px; display: inline-block; margin-right: 5px; margin-left: 10px;"></span> entrées plage           <span style="background-color: yellow; width: 10px; height: 10px; display: inline-block; margin-right: 5px; margin-left: 10px;"></span> location pédalo           <span style="background-color: cyan; width: 10px; height: 10px; display: inline-block; margin-right: 5px; margin-left: 10px;"></span> pêche           <span style="background-color: purple; width: 10px; height: 10px; display: inline-block; margin-left: 10px;"></span> divers         </div>		
<b>Remarques :</b> Les économistes ont conçu une méthode permettant d'estimer la valeur totale d'un actif environnemental, appelée « valeur économique totale », elle-même divisée en valeur d'usage (utilisation directe de la ressource) et valeur de non usage (contribution à la beauté du paysage).  On appelle « évaluation contingente » la méthode qui permet de déterminer la valeur d'un bien, en l'absence d'un marché et donc d'un prix. Elle se limite à sonder la population pour savoir quel prix elle serait prête à mettre pour qu'un bien environnemental soit conservé ou amélioré. (P. Dumas, 2004)		

3.1.3 Valorisation écologique		
<b>Unité :</b> nb d'espèces	<b>Période :</b> évaluation à renouveler tous les 5 ans.	<b>Échelles :</b> un objet tel qu'un lac ou un cours d'eau. Une moyenne peut également être faite sur l'ensemble de la ville, s'il y existe plusieurs objets.
<b>But :</b> rendre compte de l'importance d'une étendue d'eau pour la biodiversité, en recensant le nombre d'espèces végétales ou animales protégées ou ayant une importance particulière pour la biodiversité et dont la présence est liée à celle d'eau superficielle.		
<b>Données nécessaires :</b> nombre d'espèces végétales et animales protégées ou ayant une importance particulière pour la biodiversité et dont la présence est liée à celle d'eau superficielle.		
<b>Calcul :</b> $E = \sum \text{espèces végétales} + \sum \text{espèces animales}$		
<b>Représentation :</b> code de couleur à appliquer aux tronçons		
<b>Remarques :</b> L'importance d'un plan d'eau pour la biodiversité comprend deux aspects : la biodiversité au sein même du cours d'eau et l'importance que revêt le cours d'eau pour la biodiversité à plus large échelle. Le premier aspect est quantifié par des indicateurs de type IBGN, alors que le second est mis en valeur par l'appartenance du cours d'eau à des zones d'intérêt écologique particulier.		

Indicateurs de niveau 2

3.2.1 Potentiel de conflits		
<b>Unité :</b> note/10	<b>Période :</b> à mettre à jour en cas de changement de la situation	<b>Échelles :</b> cet indicateur s'applique à des tronçons de cours d'eau ou des portions de rives lacustres. Il peut être généralisé à toute la longueur de ceux-ci
<p><b>But :</b> quantifier le potentiel de conflits pouvant naître de la diversité des activités liées au cours d'eau.</p> <p>Ceux-ci peuvent porter sur la qualité de l'eau, ou sur sa quantité. En effet, on peut trouver sur le même tronçon des activités susceptibles de provoquer une pollution des eaux (rejets de STEP) et des activités exigeantes quant à la qualité des eaux (lieux de baignade). De même, des divergences existent quant aux niveaux d'eau souhaités : la navigation nécessite un niveau d'eau constant, alors qu'une variation saisonnière est indispensable à la dynamique écologique des marais. La difficulté consiste à chiffrer ces conflits.</p>		
<p><b>Données nécessaires :</b> les utilisations qui sont faites du cours d'eau, leur potentiel polluant ou leur exigence face à la qualité de l'eau, leurs besoins particuliers en terme de niveau d'eau.</p>		
<p><b>Calcul :</b> l'indicateur est calculé en comparant le nombre d'interactions éventuellement litigieuses (<math>n*m</math>), au cas le plus défavorable : celui où, sur toutes les utilisations recensées, une moitié entre en conflit avec l'autre (<math>(a/2)^2</math>). Ce rapport est multiplié par 10, afin d'obtenir des indices portant sur une échelle à dix points.</p> <p>1) potentiel de conflits sur la qualité : <math>n_1 = c * 40 * \frac{n * m}{a^2}</math></p> <p>avec : a = quantité d'utilisations recensées  m = quantité d'utilisations nécessitant une eau de bonne qualité. Ce paramètre est initialisé à 1, en raison de l'obligation légale de maintenir la qualité des eaux au meilleur niveau possible.  n = quantité d'utilisations/d'actions potentiellement polluantes  c = paramètre fonction du débit qui représente la capacité du cours d'eau à assumer les impacts polluants des activités. Ce paramètre est nécessaire pour permettre la comparaison entre différents cours d'eau.</p> <p>2) potentiel de conflits sur la quantité :</p> $n_2 = 10 * \frac{1}{2} \left( \frac{(o * p) + (q * r)}{\left(\frac{a}{2}\right)^2} \right) = 20 * \frac{(o * p) + (q * r)}{a^2}$ <p>avec : a = quantité d'utilisations recensées  o = quantité d'utilisations liées à un débit faible (prélèvement d'eau pour les industries)  p = quantité d'utilisations liées à un débit élevé (production électrique au fil de l'eau)  q = quantité d'utilisations liées à un débit constant (navigation)  r = quantité d'utilisations liées à un débit variable (marais, dynamique écologique)</p> <p>=&gt; potentiel de conflits = <math>\frac{n_1 + n_2}{2}</math></p>		
<p><b>Représentation :</b> une échelle de couleurs traduit le potentiel de conflits sur chaque tronçon</p>		

**Remarques :**

- Cet indicateur ne fait que montrer l'existence d'utilisations antagonistes, desquelles des conflits peuvent naître. Ce qui ne signifie pas que ces conflits existent ouvertement.

Le calcul nécessite d'être affiné, notamment pour considérer les éléments suivants :

- Une pondération de chaque activité devrait être mise en place, selon son importance (cf. commentaire carte 5 p.49)
- Une activité peut entrer en conflit avec elle-même. Par exemple, la baignade est exigeante vis-à-vis de la qualité de l'eau mais la présence de baigneurs peut elle-même être source de pollution. Dans ce cas, l'activité est comptée à double : une fois dans m, une fois dans n et a doit être augmenté d'une unité.
- Les activités qui nécessitent un niveau d'eau faible et celles qui ont pour effet d'abaisser le niveau sont considérées dans la même catégorie.

### III. Cas d'application

La deuxième partie du travail a consisté à mettre en place les indicateurs sur une zone d'étude prédéfinie, à Genève. L'application SIG a été faite au moyen du logiciel Manifold.

#### Politique de l'eau à Genève

Située à la pointe du lac Léman, traversée par le Rhône, la ville de Genève est entourée d'eau. Elle a su mettre à profit cette abondance de ressources allant jusqu'à en faire son symbole en s'identifiant à l'image du célèbre « jet d'eau de Genève ».

Mentionné au chapitre « Particularités du milieu urbain » p.10, le projet « Au fil du Rhône » montre l'intérêt que porte la ville à la valorisation de l'eau dans le milieu urbain. Cette volonté se démontre aussi par les efforts portés à l'amélioration de la qualité des plages genevoises et aux travaux de renaturation de cours d'eau entrepris, le plus souvent associés au développement du réseau de chemins pédestres, permettant aux citoyens de bénéficier de possibilités de promenades dans un cadre agréable, à proximité du centre urbain.

Le réseau hydrographique genevois représente 300 km de cours d'eau, dont 20% sont enterrés.

Depuis plus d'une trentaine d'années, la Ville de Genève a développé une politique très active en terme de gestion rationnelle de l'énergie. D'abord orientée sur les énergies de chauffage au sortir des crises pétrolières des années 70, elle s'est dirigée, dès le début des années 90, sur les économies dans les domaines de l'électricité et de l'eau.

L'analyse de la répartition des dépenses d'énergie montre que la problématique de la gestion rationnelle de l'eau est une priorité pour la Ville de Genève. En effet, sur l'ensemble des achats énergétiques, l'eau représentait, en 2003, 35% des dépenses. Une facture due à l'utilisation continue de pompes pour maintenir le réseau sous pression, la gravité ne pouvant pas être mise à profit. Les actions engagées (cf. « Catégorie « consommation d'eau potable » p.24) ont permis de diminuer la consommation d'eau de la Ville de Genève de plus de 30% depuis 1996. Mais la ville ne compte pas pour autant mettre un terme à ces actions. Au contraire, elle développe actuellement un programme visant à substituer l'eau potable par de l'eau de récupération, en particulier pour alimenter les services de voirie (nettoyage des rues), les espaces verts (arrosage) et les bâtiments d'habitation (alimentation des WC). Des projets pilotes sont actuellement en cours (<http://www.geneva-city.ch/geneve/energie/>).

#### Le réseau d'eau potable genevois



Le réseau genevois est alimenté par deux ressources : le lac Léman et la nappe du Genevois. La Figure 5 ci-contre présente la répartition de l'alimentation en fonction de l'origine de l'eau acheminée. Environ 60 millions de m<sup>3</sup> sont produits annuellement (58 millions en 2005), dont 80% proviennent du lac. L'abaissement de la nappe provoqué par son exploitation, ou plutôt sa surexploitation, a été si remarquable, qu'en 1979, l'Etat de Genève a décidé de construire une station de réalimentation de la nappe, à Vessy. Celle-ci détourne une partie des eaux de l'Arve, les traite pour les rendre conformes à la qualité des eaux souterraines et les infiltre dans le sol.

**Figure 5:** répartition des ressources

Les premiers apports à cette nappe ont débuté en 1982 et ont permis, à ce jour, d'infiltrer 145 millions de m<sup>3</sup> d'eau. Afin de limiter les pressions sur l'exploitation de la nappe, la priorité est donc donnée à l'exploitation de l'eau du lac. (SIG)

Un schéma du réseau, fourni par les SIG est présenté à l'annexe III. Celui-ci est constitué de 20 sous réseaux indépendants. Leur connexion est assurée par des vannes situées sur les canalisations qui lient deux sous réseaux entre eux. De même, le réseau genevois est connecté aux réseaux vaudois et français, afin de garantir la possibilité de transférer de l'eau, en cas de pénurie.

Au niveau de l'assainissement, 99.4% de la population est raccordée à une station d'épuration. Responsable du traitement de 80% des eaux genevoises, la STEP Aire est la principale installation d'assainissement.



## Zone d'étude

Surface : env. 60 km<sup>2</sup> (5814.7 ha)

Coin inférieur gauche :

Y1 = 494'275.35 / X1 = 113'785.71

Coin supérieur droit :

Y2 = 503'058.615 / X2 = 120'405.92

Une carte de la zone se trouve à l'annexe IV.

Répartition des zones d'affectation (selon données SITG):

25% résidentiel

10% habitat/commerce/secteur tertiaire

15% verdure/bois/forêts

7% industries

28% hors zone, développement, protégé, autres



Figure 6 : zone d'étude

Il s'agit d'une zone très fortement urbanisée, qui comprend quasiment toute la ville de Genève et sa banlieue. Elle est traversée par l'autoroute et on y trouve plusieurs dizaines de cours d'eau, dont les principaux : le Rhône, l'Arve et l'Aire.

## Sources de données

L'acquisition des données pour la mise en place d'indicateurs est un travail long et laborieux, qui peut parfois prendre un temps considérable, allant jusqu'à plusieurs mois, voire années. En effet, la qualité des données est primordiale, car la représentativité des indicateurs est directement liée à leur précision, leur abondance, leur rigueur et aux possibilités de les mettre à jour. Dans les délais associés à ce travail, il n'a pas été possible de récolter toutes les données nécessaires à la mise en place des indicateurs, d'autant plus que certaines ne sont pas disponibles.

Toutefois, le canton de Genève dispose d'un système d'information territorial extrêmement bien fourni, dont la qualité et la mise à jour sont garanties (<http://www.sitg.ch>), dont il nous a gracieusement été permis de profiter. La liste des couches vectorielles utilisées figure à l'annexe V.

D'autres informations, comme la qualité des eaux de baignade, proviennent du site de la Ville de Genève (<http://etat.geneve.ch/dt/site/eau>).

Toutefois, malgré l'abondance des informations directement disponibles au travers du SITG, le système reste très lacunaire. Certaines données n'existent pas (mesures de la consommation d'eau non facturée), d'autres ne sont pas accessibles (mesure de la consommation d'eau au bâtiment), et les données existantes ne sont parfois pas assez précises pour l'utilisation que nous aimerions en faire (points de rejets des eaux de drainage pour lesquels il faudrait connaître la charge polluante).

Ainsi, les quelques exemples d'application qui suivent ne sont pas à prendre comme un reflet de la réalité, mais bien comme des exemples de mise en valeur de l'information. Si ces propositions s'avéraient avoir un intérêt, un travail beaucoup plus poussé de récolte des données devrait être fait.

## Application de quelques indicateurs

### Exemple 1 : Consommation

Réalisation de cartes de la consommation d'eau.

#### Données

Les Services Industriels Genevois (SIG) sont entre autres responsables de la gestion de l'eau potable sur le canton. Les informations dont ils disposent quant aux volumes distribués et consommés sont les suivantes :

- Les volumes produits à chaque point de pompage,
- Les volumes distribués dans chaque sous réseau,
- Les volumes consommés mesurés par les compteurs.

Il ne nous a malheureusement pas été possible d'acquérir ces dernières données, qui nous auraient permis d'établir une « carte de la consommation ». En effet, en plus des volumes relevés annuellement sur chaque compteur, l'adresse correspondant à leur emplacement est connue. Avec ces deux informations, il aurait été possible de cartographier la consommation et de différencier la part allant au secteur domestique, industriel ou commercial. En effet, les statistiques cantonales répertorient la nature de activités de chaque bâtiment. Mais le travail d'extraction de ces données était visiblement trop important et n'aurait été envisageable que dans la mesure où une réelle plus-value avait été ensuite offerte au service de gestion des eaux. Si ce n'est pas le cas aujourd'hui, ce le sera sans doute à l'avenir.

Toutefois, même en disposant de ces données, d'importantes lacunes subsisteraient puisque, nous l'avons vu, la part non mesurée de l'eau distribuée et consommée n'est pas négligeable. Mais elles auraient tout de même permis de donner une image réelle de la consommation d'eau domestique, commerciale, agricole et industrielle.

Connaissant la consommation à l'intérieur des sous réseaux, une alternative aurait été d'analyser leur variation, en fonction de la superficie, de la densité d'habitations, de l'occupation du sol et du type d'activités qu'on y trouve. Mais cette information n'est pas exploitable à l'échelle de la zone que nous avons définie, qui se trouve à cheval sur plusieurs sous réseaux et n'en contient aucun entièrement.

Ce problème d'accès aux données de consommation est général ; il est entre autres mentionné dans les études IBNET et Care-W.

Une autre difficulté liée aux données de consommation est à soulever. Tous les compteurs sont relevés annuellement, mais ils le sont à des moments différents de l'année, suivant la « ronde » des releveurs. Ainsi, il ne sera pas possible de comparer la consommation annuelle de différents quartiers sur la même période. En effet, la facture 2003 d'un bâtiment dont le relevé est fait en mai portera sur la période mai 2002- mai 2003 ; alors que la facture d'un bâtiment similaire portera sur la période septembre 2002- septembre 2003. Les consommations record de l'été 2003 dues à des conditions climatiques exceptionnelles seront comptées dans un cas, pas dans l'autre. Des comparaisons géographiques annuelles sur des données brutes ne sont donc pas pertinentes.

#### Exemple réalisé

Au vu des données à disposition, la solution provisoire consiste à prendre le problème dans l'autre sens : connaissant la population résidant sur une zone, le type d'activités commerciales et industrielles qui y sont pratiqués, les caractéristiques des bâtiments et autres facteurs ayant une influence sur la consommation d'eau, celle-ci peut être déduite. On peut alors obtenir une image estimée de la variation de la consommation. Toutefois, cet exercice reste difficile, car pour être représentative, l'estimation nécessite la connaissance d'un grand nombre de paramètres.

Les SIG sont actuellement en train de travailler sur un projet de « projection de la consommation » (le projet 29), qui pourrait s'avérer utile dans ce cadre. Le but est de connaître la consommation d'eau moyenne de certains bâtiments type. Le projet ne devrait véritablement démarrer qu'à la fin du mois de juin. A ce jour, seule la composition de l'échantillon à étudier a été définie : 100 villas, 20 industries, 20 immeubles, 10 parcs ou jardins, 20 immeubles administratifs.

En l'absence d'autre information, seule une carte de la consommation d'eau domestique a pu être établie, à titre d'exemple. Elle se base sur l'hypothèse d'une consommation quotidienne individuelle de 160 litres (selon SIG) et n'est influencée que par la densité de la population résidente.

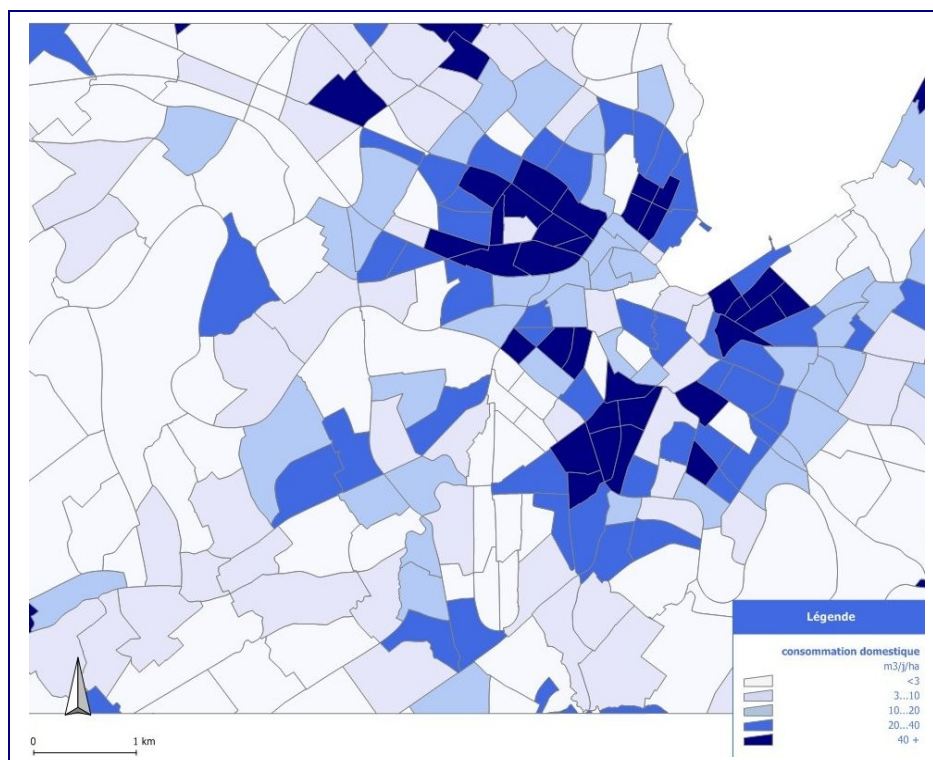
Des données sur les facteurs influençant la consommation sont disponibles, grâce aux statistiques cantonales du bâtiment. Entre autres, l'âge des bâtiments, la présence de jardins et de piscines, le nombre de personnes par logement, le type de logement (immeuble/villa) ou encore le type d'habitants (propriétaire/locataire). Mais s'il a été démontré que ces facteurs ont une influence sur la consommation, l'importance de cette influence est inconnue. En l'absence de plus d'information, il paraissait trop hasardeux de tenir compte de ces paramètres pour un calcul de consommation.

Le résultat est présenté sur la carte 1 ci-dessous:

Découpage spatial : selon découpage de l'OCSTAT.

Données : statistiques de la population au secteur, OCSTAT.

Hypothèse : consommation domestique individuelle de 160 l/j (SIG)



**carte 1:** consommation domestique estimée

### ***Proposition de réalisations futures***

Le même type de carte pourrait être fait pour les consommations agricoles, commerciales et industrielles. Voici les données au secteur<sup>2</sup> de l'Office cantonal de la statistique disponibles et exploitables dans ce but (Nom de la couche, attributs):

Recensement fédéral des entreprises<sup>3</sup> :

- nombre d'établissements liés aux secteurs secondaires et tertiaires

<sup>2</sup> Les « secteurs » sont des unités d'observation correspondent à un découpage géographique préalablement défini par l'OCSTAT

<sup>3</sup> La façon dont sont définis un établissement, une exploitation agricole, une entreprise, un emploi ou une activité économique sont définis sur le site du SITG ([http://www.sitg.ch/dico/pages/table\\_matiere/tablemat.htm](http://www.sitg.ch/dico/pages/table_matiere/tablemat.htm))

- nombre d'établissements liés au secteur 2
- nombre d'établissements du secteur 2 liés à l'industrie manufacturière
- nombre d'établissements du secteur 2 liés à la construction
- nombre d'établissements du secteur 2 liés à d'autres activités
- nombre d'établissements liés au secteur 3
- nombre d'établissements du secteur 3 liés au commerce de gros
- nombre d'établissements du secteur 3 liés au commerce de détail
- nombre d'établissements du secteur 3 liés à l'hôtellerie
- nombre d'établissements du secteur 3 liés aux transports
- nombre d'établissements du secteur 3 liés à la finance
- nombre d'établissements du secteur 3 liés à l'administration publique, l'enseignement, la santé et le social
- nombre d'établissements du secteur 3 liés aux « autres services ménagers »
- nombre d'établissements du secteur 3 liés aux « autres services aux entreprises »
- nombre d'établissements du secteur 3 liés aux activités extraterritoriales
- le nombre d'emplois pour chacune de ces catégories.

#### Recensement fédéral de l'agriculture :

- nombre d'exploitations agricoles
- nombre de personnes employées en permanence dans les exploitations agricoles liées à la culture
- nombre de personnes employées en permanence dans les exploitations agricoles liées à d'autres activités que la culture (élevage, sylviculture)

Données manquantes :

Pour pouvoir exploiter les données de l'office de la statistique, un ordre de grandeur de la consommation moyenne de ces types d'entreprises, en fonction de leur taille ou de leur nombre d'employés est nécessaire. Et encore, cela resterait relativement grossier. En effet, une même catégorie associe des gros et des petits consommateurs (hôpitaux et administration communale typiquement). Il faudrait aller dans un niveau de détail encore plus fin, permettant de connaître où sont placées les activités connues pour être de grosses consommatrices d'eau (garages, coiffure, agro-alimentaire, laveries etc.).

### **Exemple 2 : Valorisation récréative**

Réalisation d'un outil de consultation pour le grand public.

#### **Données**

Parmi l'offre genevoise de loisirs liés à l'eau, nous avons retenu les promenades sur les rives et les possibilités de baignade sur des plages aménagées. Activités répertoriées ou facilement déduites des données du SITG. Les couches vecteurs suivantes ont été utilisées :

#### Qualité de l'eau des plages genevoises

- |   |  |
|---|--|
| - nom de la plage   | - aménagements : présence de sanitaires et vestiaires. Eventuelles restrictions d'accès (payant, limite d'âge) |
| - commune   |  |
| - qualité de l'eau (attribut non référencé, mais l'information est disponible sous <a href="http://www.geneve.ch/plages">www.geneve.ch/plages</a> ) | - date de mise à jour des données  |

#### Réseau TPG – schématique des arrêts

- nom des arrêts

Grâce à ces données, il a été possible d'attribuer une note aux six plages de la zone d'étude, portant sur les critères de qualité de l'eau, présence d'aménagements, gratuité et des possibilités d'accès en transport public. En revanche, la présence de parking et la qualité du revêtement n'étant pas connues, il n'en a pas été tenu compte dans l'évaluation.



## Graphes de l'eau

- numérotation du segment
- longueur du segment
- nom du cours d'eau
- kilométrage aval
- kilométrage amont
- propriété
- état (naturel/modifié/sous canalisation/sous voûtage/sous pont/sous étendue d'eau)
- distance de part et d'autre des rives du cours d'eau dans laquelle il est interdit de construire

## Chemins de randonnée pédestre

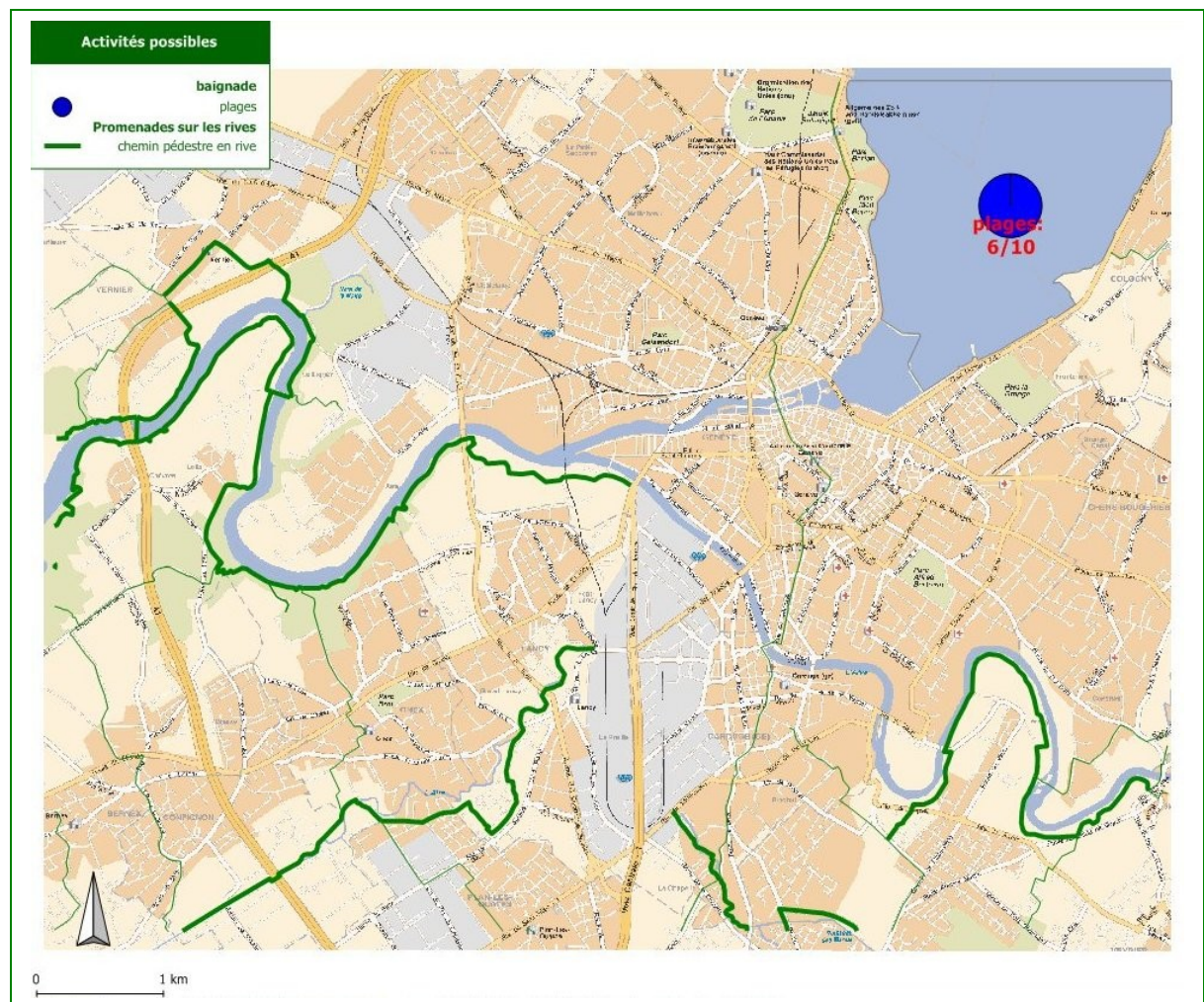
- nom de l'itinéraire

Les randonnées dont le tracé se situe en bordure de cours d'eau sans interruption sur 1 km au minimum ont été identifiées par requête et mises en évidence. Les aspects qualitatifs portant sur ces randonnées tels que l'entretien du chemin ou la beauté du site, n'ont pas été pris en compte, faute d'information.

## Exemple réalisé

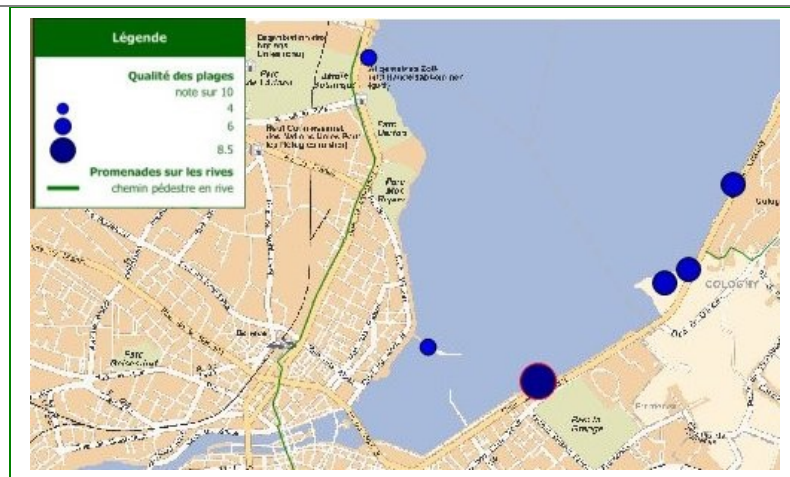
Ci-dessous, un prototype de portail d'accès facilité à l'information, pour toute personne désireuse de s'informer sur les possibilités de loisirs liés à l'eau.

- 1) Une carte générale donne une image de toutes les activités possibles (ici, uniquement baignade et promenade).



**carte 2:** carte des activités possibles sur la zone

- 2) Une personne intéressée par la baignade voudra connaître l'emplacement des plages, qui lui est donné sur une seconde carte. La taille des points symbolisant les plages est proportionnelle à la note qui leur a été attribuée.



carte 3: carte des plages et de leur qualité

- 3) Un « clic » sur une plage permet d'obtenir toutes les informations qualitatives qui la caractérisent :

plages	
Nom de la plage:	Baby-Plage
Qualité de l'eau	bonne
Présence d'aménagements	oui (réservé aux enfants)
Accès gratuit	oui
Parking à proximité	no value
Accès en transports publics	oui
Type de revêtement	no value
NOTE	8 / 10

Figure 7: formulaire de consultation sur les plages

Le script correspondant à la réalisation de ce formulaire de consultation est fourni en annexe VI.

### Proposition de réalisation future

Pour mieux rendre compte des possibilités de loisirs pour les citoyens, une information de distance aux activités de loisirs pourrait être attribuée à chaque quartier. La notion de distance physique serait « améliorée » en variant en fonction des paramètres suivants:

- Facilité d'accès selon différents modes de transport (transports publics, voiture, vélos)
- L'intérêt de l'activité : plus celui-ci est élevé, moins la distance sera grande (les gens sont prêts à se déplacer plus loin pour pratiquer une activité qui en vaut la peine)

### Exemple 3 : Potentiel de conflits

Prototype d'une méthode de calcul du potentiel de conflits sur un cours d'eau et de sa représentation.

## **Données**

L'indicateur de potentiel de conflits par rapport à la qualité a été appliqué sur les cours d'eau présents sur la zone. Voici les données fournies par le SITG que nous avons exploitées :

### Points de rejets

- |  |   |
|--|---|
| - contenu (eaux usées/ eaux<br>mélangées/ eaux pluviales/ eaux de<br>drainage) | - commune                               |
|  | - réseau (prim./sec./branchement/privé) |

### graphe navigable

- |            |               |
|------------|---------------|
| - tronçons | - commentaire |
|------------|---------------|

### sites pollués

- |                     |                              |
|---------------------|------------------------------|
| - type de site      | - eaux de surfaces menacées  |
| - type de pollution | - eaux souterraines menacées |

### chemins de randonnées pédestres

cf § précédent

### qualité de l'eau des plages genevoises

cf § précédent

### Convention de Ramsar (zones humides d'importance internationale)

- surfaces

### Inventaire fédéral des réserves d'oiseaux d'eau et migrateur d'importance internationale et nationale (OROEM)

- surfaces

## **Exemple réalisé**

Les utilisations nécessitant une eau de bonne qualité répertoriées (m) sont les suivantes :

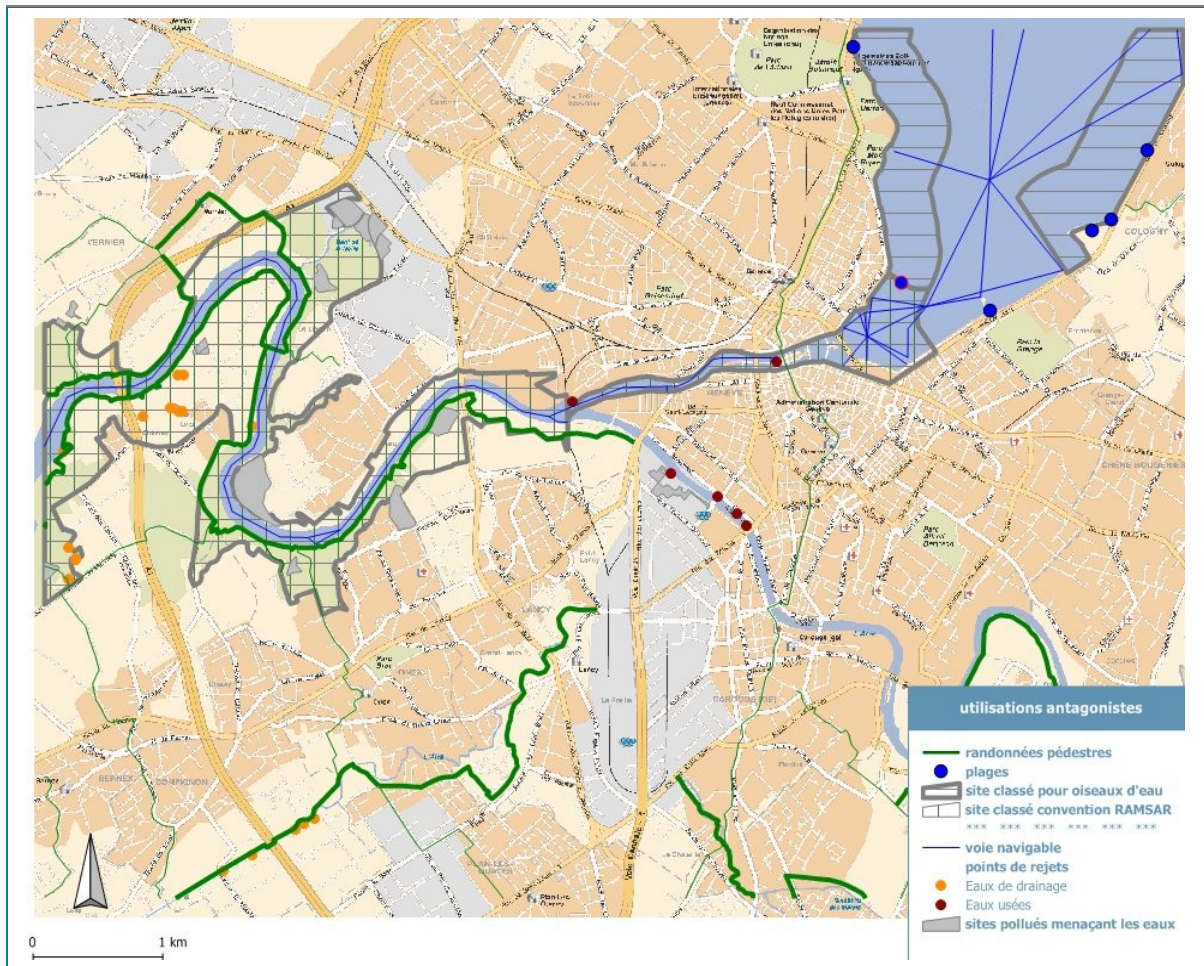
Randonnées, baignade, convention Ramsar ou OROEM, obligation légale de maintien de la qualité des eaux, qui s'applique à tout cours d'eau ou surface d'eau.

Les utilisations potentiellement polluantes (n) sont également au nombre de 4 : rejets d'eaux usées, rejets d'eaux de drainage, navigation, présence de sites pollués présentant un risque pour les eaux à proximité.

Au total, huit activités sont recensées, ce qui n'est certainement pas exhaustif. Il manque par exemple les soutirages d'eau effectués par les industries, ainsi que leurs rejets. Mais au stade actuel, il s'agit principalement de donner une idée du type d'information que peut donner un tel indicateur, sans prétendre que la carte obtenue soit le reflet effectif de la réalité

Toutes ces activités, utilisations ou états relatifs au cours d'eau qui peuvent entrer en conflit sont représentés sur la carte 4 p.48.

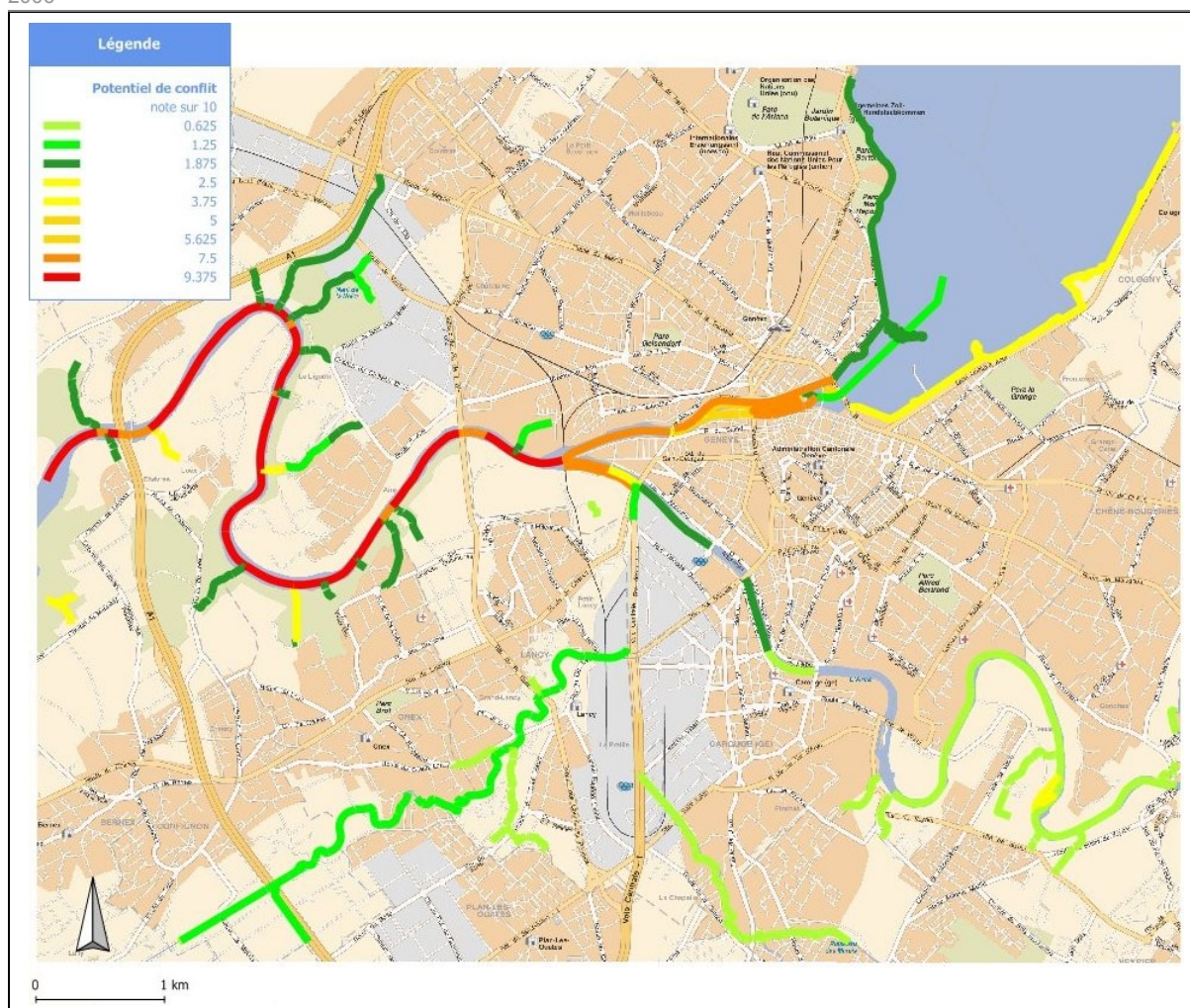




**carte 4 : utilisations et fonctions des ressources en eau**

La carte 5 p.49 montre les résultats obtenus pour le calcul de l'indicateur de potentiel de conflits, appliqué aux différents tronçons





**carte 5: potentiel de conflits sur les cours d'eau**

Ci-dessous, quelques précisions sur la façon dont l'indicateur est calculé (cf. script en annexe VII) :

Les activités sont séparées en deux catégories : les ponctuelles et celles qui ont un impact sur l'aval. Seuls les rejets d'eau et les sites pollués sont compris dans cette deuxième catégorie.

Le calcul passe sur chaque tronçon au moyen d'une boucle.

- A chaque pas  $i$ , l'ensemble des tronçons en amont du tronçon  $i$  est sélectionné. Ce qui comprend les tronçons amont du même cours d'eau; ainsi que les affluents du cours d'eau considéré.
- Une requête sur cette sélection indique si des rejets d'eau usée, de drainage ou des sites pollués sont présents sur ces tronçons. L'information est de type booléen. Les variables `rejet_eu`, `rejet_drain` et `site_pol` valent 0 en l'absence de ces objets, 1 s'ils sont présents, sans considération de leur abondance.
- Une requête est effectuée sur le tronçon lui-même, afin de détecter la présence de randonnées, de plages, de navigation, ou encore d'appartenance à la convention RAMSAR ou au recensement OROEM. Les variables qui les répertorient (respectivement `chemin`, `plages`, `navig` et `ecol`) sont également de type booléen.
- Les sommes des activités exigeantes (`chemin + ecol + plages`<sup>4</sup>) et respectivement polluantes (`rejet_drain + rejet_eu + site_pol + navig`) sont faites.
- L'indicateur est calculé, selon la formule  $(40 \cdot m \cdot n) / 8^2$

Le résultat obtenu n'est pas optimal et n'est pas vraiment représentatif de la réalité, en raison des grosses simplifications qui ont été admises pour le calcul :

<sup>4</sup> cette dernière valeur représente le but de protection de la qualité associé à tout cours d'eau, en vertu de l'OEau.

- Seule la présence ou l'absence d'un type d'activités est à considérer, sans notion de quantité. Or, le potentiel de pollution n'est pas le même si un seul point de rejet est présent en amont ou s'il y en a dix.
- Chaque activité a le même poids. Or, la présence d'un site pollué en bordure du cours d'eau ne présente certainement pas le même risque de pollution que le passage de bateaux ou le rejet d'eaux usées. De même, une activité de randonnée sera surtout exigeante par rapport à une pollution visuelle (mousses, invasions d'algues,...) alors qu'une activité de baignade aura des critères de qualité beaucoup plus pointus, notamment au niveau biologique.
- La formule ne tient absolument pas compte de la dilution qui s'opère sur la distance. Selon la façon dont l'indicateur est calculé, l'influence d'un rejet est exactement la même à 2 mètres de l'embouchure que 10 kilomètres en aval. Ce qui est tout de même une grosse simplification.
- La capacité des cours d'eau à supporter des pressions n'ayant pas été évaluée, il n'a pas été tenu compte de ce paramètre dans les calculs. Ceci rend toute comparaison entre les différents cours d'eau impossible et une image non conforme à la réalité observée.
- Il n'est pas tenu compte de ce qui se passe en dehors de la zone. Le « capital pollution » de l'Arve et de l'Aire est par exemple initialisé à 0 pour les tronçons les plus amont... De la zone considérée. Or, il est fort probable que des sources de pollution existent en amont de la zone. Ceci montre l'importance de faire ce type d'étude à l'échelle du bassin versant. La connaissance des conditions aux limites du système serait nécessaire pour initialiser les paramètres à leur juste valeur.

En dehors du mode de calcul, le découpage des tronçons peut également être critiqué. Pour des raisons de facilité, celui proposé par les données provenant du SITG a été conservé. Or, un découpage régulier aurait sans doute été plus judicieux : plus le tronçon est long, plus il a de chances d'être à proximité de différentes activités, ce qui augmente artificiellement son potentiel de conflits, par rapport à un tronçon plus court.

Ce premier prototype de calcul d'un indice de conflit n'est donc pas encore abouti. Mais sur la base de ce qui a été fait et des propositions d'amélioration identifiées, il sera probablement possible d'élaborer quelque chose de plus robuste.

A défaut de données quant au niveau souhaité par les différents acteurs, le deuxième indicateur de potentiel de conflits n'a pas été calculé.

## IV. Remarques, conclusions et perspectives

Le but initial de ce travail était de proposer un système d'indicateurs adaptés à la gestion de l'eau urbaine, afin de faciliter la prise en compte du paramètre « eau » dans les décisions de planification urbaine. Partant de zéro, il a d'abord fallu cerner les différents thèmes liés à la problématique, afin d'identifier les phénomènes à mesurer. La recherche de travaux existants sur le sujet a abouti à différentes listes d'indicateurs, nombreux et relativement exhaustifs pour l'évaluation de la gestion de l'eau en tant qu'eau potable. Toutefois, ces indicateurs ne tiennent pas compte des autres aspects de l'eau et de ses différentes fonctions. Ils s'appliquent d'autre part à des petites échelles : celle du pays ou celle d'une ville au maximum.

Sur cette base, un système a été proposé, reprenant certains indicateurs de la littérature et en proposant de nouveaux, dans le but de combler certaines lacunes. La construction du système et de ses indicateurs a été faite en se basant sur les principes énoncés au début du chapitre « Systèmes d'indicateurs ». Toutefois, beaucoup d'entre eux ne sont pour autant pas respectés, ces principes théoriques n'étant pas si évidents à mettre en pratique.

Ainsi, le système n'est pas vraiment exhaustif, car même en ayant limité la problématique, celle-ci reste vaste. Il n'était pas possible de la couvrir entièrement au niveau de détail du descripteur, leur nombre aurait été bien trop élevé. Il a fallu choisir et se limiter. D'autre part, certains aspects, peut être plus faciles à évaluer, sont surreprésentés par rapport à d'autres.

De plus, certains indicateurs ne sont actuellement pas mesurables, en raison de données inexistantes. Il est aussi possible qu'une partie d'entre eux ne soient pas pertinents et se révèlent n'être d'aucune utilité en pratique.

La plupart des calculs restent d'autre part grossiers. Pour une analyse plus juste, rendant compte de la réalité, ils devraient tous être revus et affinés. La nature exacte des données à utiliser devrait par ailleurs être précisée.

Toute une réflexion autour de l'intégration des différentes échelles a été faite, qui ne ressort pas du tout dans le travail. Les indicateurs ne portent pas tous sur les mêmes échelles et beaucoup d'entre eux ne sont par ailleurs applicables qu'à une échelle globale. Les échelles elles-mêmes n'ont pas été précisément définies. Cet aspect nécessiterait donc quelques approfondissements.

A chaque étape, des questions se sont posées, auxquelles il a parfois été difficile de donner une réponse satisfaisante. En tout premier lieu, celle de la définition des besoins, et donc des objectifs liés à la réalisation de ce système, qui sont longtemps restés relativement flous. Par la suite, le choix des indicateurs s'est révélé difficile. Etant donné le caractère multidisciplinaire des utilisations de l'eau, chaque type d'information peut se révéler utile pour au moins un acteur. Un effort a donc été fourni pour restreindre le système à des informations allant dans le sens des objectifs finalement définis.

Mais la difficulté majeure a été la mise en place d'un ordre hiérarchique et plus précisément la détermination d'indicateurs agrégés : comment rendre compte au moyen d'un seul indicateur de tous les phénomènes sous-jacents ? Au terme de ce travail et disposant d'un certain recul, il semble que deux possibilités soient offertes :

- Construire une formule qui intègre les données de niveau inférieur, les pondère, les compare et les transforme en un indicateur de niveau supérieur. Mais ce type d'indicateur est difficile à mettre en place, la formule utilisée et ses paramètres doivent être justifiés et validés. Le nombre de paramètres inhérents à ce type de formules est inévitablement élevé (ne serait-ce qu'au niveau de la pondération), or chacun d'entre eux devra être estimé. Chaque estimation étant entachée d'une certaine subjectivité et d'une inévitable erreur, le risque est qu'au final, l'indicateur ne soit plus du tout représentatif ou qu'il soit difficilement compréhensible par ses utilisateurs ; ou encore que le travail nécessaire à une évaluation correcte des paramètres soit trop laborieux pour être applicable.
- Choisir un indicateur simple à calculer et à mesurer, qui n'agrège pas les données d'ordre inférieur, mais qui soit représentatif du fonctionnement d'un système dans son ensemble. Par exemple, la satisfaction des utilisateurs du réseau n'est mesurée qu'en les interrogeant. Or, cet indicateur dépend de toute une quantité de paramètres liés au réseau, qu'il serait difficile d'agréger. Mais il n'est pas évident de trouver un tel indicateur. Dans l'exemple donné, la représentativité n'est par exemple pas assurée, car les utilisateurs sont très sensibles à certains aspects alors que d'autres leur échappent totalement.

La partie de réalisation d'un prototype pour la ville de Genève a dû être réduite, pour des raisons de temps, de disponibilités des données et de difficultés techniques. Certaines étapes ont en effet pris plus de temps que prévu, la communication entre le logiciel et son utilisateur n'ayant pas toujours été optimale. De plus, certains indicateurs qui auraient été pertinents dans d'autres villes, ne le sont pas pour Genève: mesurer la proportion des ressources utilisées n'est pas très intéressante lorsque 80% de l'eau potable provient du lac Léman qui, dans la situation actuelle, s'apparente à une ressource illimitée.

Comme cela a déjà été mentionné, les applications qui ont été faites ne sont pas entièrement abouties et un gros travail resterait à faire pour les rendre réellement utilisables.

Concernant les indicateurs pour lesquels les données ne sont pas disponibles, une analyse coût-rentabilité devrait être faite, pour rendre compte de la valeur apportée par les indicateurs pour la gestion, par rapport au coût d'acquisition des données.

Toutefois, le fond de la toile a été posé et certains éléments ont été dessinés. Bien qu'une grande partie de « l'œuvre » n'ait pas encore été modelée, que l'ensemble reste lacunaire et que toutes les finitions restent à faire, une forme générale se dégage, des pistes ont été lancées, sur la base desquelles les réflexions peuvent continuer, ce qui était finalement l'objectif de ce travail.

Il faudrait par la suite reprendre ce système, en dégager les indicateurs réellement utiles et applicables, affiner leur calcul, définir précisément les échelles d'observation et la façon de gérer ces changements d'échelle. D'autres indicateurs pourraient sans doute être proposés. Un travail au niveau des données devrait également être fait, afin d'évaluer les possibilités de les acquérir. Mais surtout, la même réflexion doit avoir lieu pour les thématiques que nous avons intentionnellement laissées de côté : la gestion des eaux de surfaces et des risques liés à l'eau. D'après les recherches faites, aucun indicateur n'existe actuellement sur ce sujet. Il s'agit pourtant d'une composante essentielle de l'urbanisation. En effet, une urbanisation « intelligemment pensée » par rapport à l'eau permet d'éviter nombre de catastrophes et de problèmes liés au manque d'eau ou à sa surabondance.

## V. Bibliographie

- ?, 2002, « La politique de l'eau », La documentation française, Dossiers Politiques publiques, <http://ase.ouvaton.org/eaupolitique.htm>
- ?, 2003, « Architecture des données du Module Qualité dans Gesreau »
- ?, 2003, « healthy recreational waters », OMS, <http://www.who.int/features/2003/10/en/>
- A. Musy, 2005, « Hydrologie Générale », EPFL, <http://hydram.epfl.ch/e-drologie>
- B. Hingray, 2005, « cours d'hydrologie urbaine », EPFL
- C. Lacheret, septembre 1995, « Assouan, le prix écologique à payer », Institut international de recherche et de formation, éducation et développement, Réseau d'information Tiers Monde
- Cartel'Eau, ?, « Consommation et économies d'eau », Eau et environnement, France <http://www.cartелеau.org>
- CEROI, "Encyclopedia of Urban Environment-Related Indicators", UNEP/GRID-Arendal <http://www.ceroi.net/>
- Commission of the european communities, 2006, « Thematic Strategy on the Urban Environment, Impact Assessment », Brussels
- E. Duvalle, 2006, « Cours d'économie hydraulique », EPFL.
- Environnement Canada, 2001, « Urban Water indicators », SOE bulletin n° 2001-1 <http://dsp-psd.communication.gc.ca/Collection/En1-19-2001-1E.pdf>
- European Commission, 2003, "European Common Indicators (ECI)", Milano, Italy
- European Environment Agency -Information for Improving Europe's Environment -[http://themes.eea.eu.int/Specific\\_media/water](http://themes.eea.eu.int/Specific_media/water)
- F. Macary, F. Vernier, 2004, « Indicateurs environnementaux pour le zonage de risque potentiel de transferts de pesticides à l'échelle de bassins versants : méthodologies pour un changement d'échelle », cemagref
- Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2005, "Aquastat database", <http://www.fao.org/>
- G. Lucas, 2004, « Approche du transfert d'échelle spatiale d'un indicateur agro-environnemental d'aléa phytosanitaire, sur des bassins versants emboîtés de la Save », Ecole Nationale d'Ingénieurs des Travaux Agricoles, Bordeaux
- H. Alegre, J. Melo Baptista, 2003, "WP-1 Construction of a control panel of performance indicators for rehabilitation", CARE-W, Lisbonne
- IBNET, 2004, "indicators definition", <http://www.ib-net.org/en/ibnet-toolkit/ibnet-indicators.php>
- Institut français de l'environnement (IFEN), 2004, « Indicateurs », L'Observatoire du littoral, <http://www.ifen.fr/littoral/index.htm>
- J. Daoust, 2006, « SIG – Aspects pratiques, modélisation orientée objet », [www.geog.umontreal.ca/donnees/](http://www.geog.umontreal.ca/donnees/)
- L. Guérin-Schneider, 2001, « Indicateurs de performance des services de l'eau et d'assainissement dans le cadre du suivi par les collectivités », ENGREF, Montpellier, [pastel.paristech.org/bib/archive/00000056/00/guerin\\_liste\\_ind.pdf](http://pastel.paristech.org/bib/archive/00000056/00/guerin_liste_ind.pdf)
- La documentation française, 2004, « La politique de l'eau en Europe », <http://www.vie-publique.fr/politiques-publiques/politique-eau>
- M. Montginoul, 2002, « La consommation d'eau des ménages en France : Etat des lieux », Cemagref et Ecole Nationale du Génie de l'Eau et de l'Environnement de Strasbourg, France
- N. Chèvre, ?, « pesticides, quel risque pour les eaux », EAWAG, Zurich
- Observatoire universitaire de la ville et du développement durable, 2003, « L'eau et la ville », Vues sur la ville, Lausanne
- Office des publications officielles des Communautés européennes, 1991, « Directive concernant la qualité requise des eaux superficielles destinées à la production d'eau alimentaire dans les Etats membres »
- OMS, 2004, « Liens entre l'eau, l'assainissement l'hygiène et la santé », [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/publications/facts2004/fr/](http://www.who.int/water_sanitation_health/publications/facts2004/fr/)
- P. Dumas, 2004, "Economie de l'environnement", cours donné à l'ENS Paris [http://www.environnement.ens.fr/docs/eco\\_env/eco\\_env\\_top.html](http://www.environnement.ens.fr/docs/eco_env/eco_env_top.html)
- Parlement européen et conseil de l'Union Européenne, 2000, directive établissant un cadre pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau, Journal officiel des Communautés européennes
- Ph. Vioget et A. Strawczynski, 2005, « pesticides dans les cours d'eau vaudois », SESA, canton Vaud

- R. Devilliers, 2000, « Patrons d'implantation de la représentation géométrique multiple dans les SIG », Université Laval, Canada
- Regnault René, 2002, « Gestion de l'eau et aménagement du territoire : un rendez-vous vers le développement durable en Bretagne », Conseil d'administration de l'agence de l'eau Loire-Bretagne, France
- Repetti Alexandre, 2004, « Un concept de monitoring participatif au service des villes en développement. Approche méthodologique et réalisation d'un observatoire urbain », thèse EPFL n° 2903, Lausanne
- SSIG, 2001, « Consommation d'eau dans les ménages : étude représentative, <http://www.eaupotable.ch>
- The international benchmarking network for water and sanitation utilities (IBNET), <http://www.ib-net.org/> modele conceptuel donnees awel
- UICN, 2004, « Estimation et disposition des Débits Environnementaux dans les cours d'eau méditerranéens », <http://www.iucn.org/places/medoffice/cdflow/conten/4/pdf/Folleto-FRA.pdf>
- UNEP, 2006, « Rapport mondial des Nations Unies sur la mise en valeur des ressources en eau »
- Ville de Genève, 2003, « Gestion rationnelle de l'eau potable », <http://www.geneva-city.ch/geneve/energie/>
- World Bank, 2006, "Urban Development", <http://web.worldbank.org/>
- Yepes, Guillermo, and Augusta Dianderas. 1996. [\*Water & Wastewater Utilities Indicators: 2nd Edition\*](#), Water and Sanitation Division, World Bank, Washington D.C.



## **VI. Liste des tableaux, figures et cartes**

### **Liste des tableaux**

---

<b><u>TABLEAU 1: CATÉGORIES ET THÈMES À ÉVALUER.....</u></b>	<b><u>18</u></b>
<b><u>TABLEAU 2: TABLEAU SYNOPTIQUE DES INDICATEURS.....</u></b>	<b><u>19</u></b>
<b><u>TABLEAU 3 : PARTS FACTURÉES ET NON FACTURÉES DE L'EAU DISTRIBUÉE (SOURCE : H. ALEGRE, 2003).....</u></b>	<b><u>20</u></b>
<b><u>TABLEAU 4: DESCRIPTEURS ET INDICATEURS POUR LA CONSOMMATION D'EAU POTABLE.....</u></b>	<b><u>22</u></b>
<b><u>TABLEAU 5: DESCRIPTEURS ET INDICATEURS POUR LES RÉSEAUX ET RESSOURCES.....</u></b>	<b><u>26</u></b>
<b><u>TABLEAU 6 : CONTENU DES PARAMÈTRES.....</u></b>	<b><u>32</u></b>
<b><u>TABLEAU 7: DESCRIPTEURS ET INDICATEURS POUR LES UTILISATIONS ET FONCTIONS DE L'EAU.....</u></b>	<b><u>34</u></b>

### **Liste des figures**

---

<b><u>FIGURE 1: LE CYCLE DE L'EAU.....</u></b>	<b><u>5</u></b>
<b><u>FIGURE 2: ÉVOLUTION DES PRÉLÈVEMENTS MONDIAUX (SOURCE: E. DUVALLE, 2006).....</u></b>	<b><u>7</u></b>
<b><u>FIGURE 3: CYCLE URBAIN DE L'EAU.....</u></b>	<b><u>11</u></b>
<b><u>FIGURE 4: NIVEAUX D'INFORMATION.....</u></b>	<b><u>13</u></b>
<b><u>FIGURE 5: RÉPARTITION DES RESSOURCES.....</u></b>	<b><u>40</u></b>
<b><u>FIGURE 6 : ZONE D'ÉTUDE.....</u></b>	<b><u>41</u></b>
<b><u>FIGURE 7: FORMULAIRE DE CONSULTATION SUR LES PLAGES.....</u></b>	<b><u>46</u></b>

### **Liste des cartes**

---

<b><u>CARTE 1: CONSOMMATION DOMESTIQUE ESTIMÉE.....</u></b>	<b><u>43</u></b>
<b><u>CARTE 2: CARTE DES ACTIVITÉS POSSIBLES SUR LA ZONE.....</u></b>	<b><u>45</u></b>
<b><u>CARTE 3: CARTE DES PLAGES ET DE LEUR QUALITÉ.....</u></b>	<b><u>46</u></b>
<b><u>CARTE 4 : UTILISATIONS ET FONCTIONS DES RESSOURCES EN EAU.....</u></b>	<b><u>48</u></b>
<b><u>CARTE 5: POTENTIEL DE CONFLITS SUR LES COURS D'EAU.....</u></b>	<b><u>49</u></b>



## **VII. Annexes**