

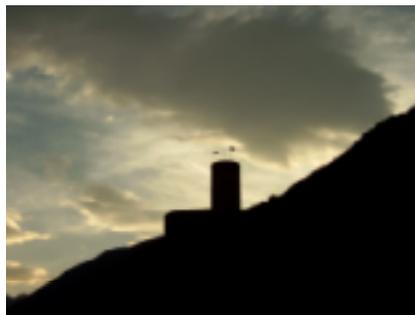


Centre de compétences en urbistrique

Rue des Morasses, 5

1920 Martigny - Suisse

Modèle hydraulique du réseau d'eau de la ville de Martigny



Francisco Ferreira Francisco

CREM, OCTOBRE 2002



Résumé

Les modèles hydrauliques des réseaux d'eau sont l'une des plus récente technologie d'un processus de développement qui a commencé, il y a déjà longtemps, lorsque le premier système de ce genre a été construit. De nos jours, ces modèles se présentent comme un élément essentiel dans la planification, diagnose et gestion opérationnelle d'un système de distribution d'eau capable de servir les populations en qualité, quantité et fiabilité.

Un modèle permet l'analyse, plus ou moins précise, du comportement statique et dynamique d'un système réel. Les résultats obtenus sont dépendants des paramètres du modèle et, par conséquent, de la qualité des données utilisées. Le développement d'un modèle est un processus complexe, qui est soumis à plusieurs sources potentielles d'erreurs.

Ce rapport documente les différentes étapes du développement du modèle hydraulique pour le réseau d'eau de la ville de Martigny. Les simulations ont été calculées sur le logiciel H-NetCAD développé au *Laboratório de Hidráulica, recursos hídricos e Ambiente - Universidade de Coimbra*. Le calibrage du modèle a été réalisé par un processus d'épreuve et erreur et la qualité du modèle s'est traduit par des paramètres statistiques. Ayant un modèle considéré suffisamment adéquat à la réalité, d'autres simulations ont permis d'estimer le comportement dynamique du réseau avec des conditions de fonctionnement différentes.

Quelques commentaires dans ce domaine sont présentés à la fin du rapport.

Tables des matières

APPLICATION DES MODÈLES HYDRAULIQUES DES RÉSEAUX D'EAU.....	1
LE RÉSEAU D'EAU POTABLE DE MARTIGNY.....	3
UN PEU D'HISTOIRE.....	3
LA CONSOMMATION D'EAU DE LA VILLE.....	3
LE RÉSEAU D'ADDUCTION ET DE DISTRIBUTION	6
CARACTÉRISATION DES CONDUITES.....	7
LES RÉSERVOIRS	11
INSTALLATIONS HYDROÉLECTRIQUES.....	12
INSTALLATION DE POMPAGE	12
LA GESTION OPÉRATIONNELLE DU RÉSEAU	12
DÉVELOPPEMENT DU MODÈLE HYDRAULIQUE.....	14
LES DONNÉES DISPONIBLES.....	15
DISTRIBUTION SPATIALE DES CONSOMMATIONS	16
SCHÉMATISATION DU RÉSEAU	19
ÉLÉMENTS DU MODÈLE HYDRAULIQUE	21
<i>Les nœuds du modèle.....</i>	<i>21</i>
<i>Les liaisons du modèle.....</i>	<i>23</i>
<i>Les pompes.....</i>	<i>26</i>
CALIBRAGE DU MODÈLE	29
RÉSULTAT DES SIMULATIONS.....	31
ESSAI 26/27 JUIN 2002.....	33
ESSAI 13 OCTOBRE 2002.....	36
SCÉNARIO HYPOTHÉTIQUE.....	40
CONCLUSION.....	43
SUITE À DONNER	44
REMERCIEMENTS.....	47

Tables des illustrations

TABLEAU 1 - CONSOMMATIONS ANNUELLES DE LA VILLE DE MARTIGNY	4
TABLEAU 2 – DISTRIBUTION DE LA CONSOMMATION	4
TABLEAU 3 – DISTRIBUTION SPATIALE DES CONSOMMATIONS	18
TABLEAU 4 - ÉLÉMENTS DU MODÈLE	21
TABLEAU 5 – DIAMÈTRE INTERNE DES CONDUITES.....	26
TABLEAU 6 – RUGOSITÉ ABSOLUE EN FONCTION DU MATÉRIEL.....	26
TABLEAU 7- EAU TURBINÉE À BIENVENUE (ESSAI 26/27 JUIN).....	33
TABLEAU 8 - EAU CONSOMMÉE À LA VILLE DE MARTIGNY (ESSAI 26/27 JUIN).....	33
TABLEAU 9 - EAU TURBINÉE À BIENVENUE (ESSAI 13 OCTOBRE).....	36
TABLEAU 10 - EAU CONSOMMÉE À LA VILLE DE MARTIGNY (ESSAI 13 OCTOBRE)	36
TABLEAU 11 - ENTRÉE DE LA CHAMBRE DE MISE EN CHARGE AU PONT-NEUF (ESSAI 13 OCTOBRE)	37
TABLEAU 12 - EAU CONSOMMÉE À LA VILLE DE MARTIGNY (SCÉNARIO HYPOTHÉTIQUE)	40
FIGURE 1 – DISTRIBUTION DE LA CONSOMMATION PAR ABONNÉS	4
FIGURE 2 – DISTRIBUTION DE LA CONSOMMATION PAR ABONNÉS	5
FIGURE 3 - DISTRIBUTION SPATIALE DES PETITS CONSOMMATEURS.....	5
FIGURE 4– DISTRIBUTION SPATIALE DES GRANDS CONSOMMATEURS	6
FIGURE 5 – SCHÉMA DU RÉSEAU D'EAU	7
FIGURE 6 – DATE D'INSTALLATION OU RÉNOVATION DES CONDUITES	8
FIGURE 7 – TYPES DE MATÉRIEL DES CONDUITES.....	8
FIGURE 8 - DIAMÈTRE DES CONDUITES.....	9
FIGURE 9 - DISTRIBUTION SPATIALE DES CONDUITES CLASSIFIÉES PAR TYPE DE MATÉRIEL.....	10
FIGURE 10 - DISTRIBUTION SPATIALE DES CONDUITES CLASSIFIÉES PAR DIAMÈTRE	11
FIGURE 11 – FONCTIONNEMENT DU TURBINAGE À BIENVENUE.....	13
FIGURE 12 – FONCTIONNEMENT DU POMPAGE À BIENVENUE.....	13
FIGURE 13 – CHARGEMENTS DES CONSOMMATIONS SUR LES NŒUDS DU RÉSEAU.....	17
FIGURE 14 – REPRÉSENTATION GRAPHIQUE DE L'ASSOCIATION DES CONSOMMATEURS AU NŒUD DU RÉSEAU	17
FIGURE 15 – DISTRIBUTION SPATIALE DES CONSOMMATIONS SUR LES NŒUDS DU MODÈLE.....	19
FIGURE 16 – EXEMPLE DE SCHÉMATISATION DU RÉSEAU	20
FIGURE 17 – REPRÉSENTATION GRAPHIQUE DE LA SCHÉMATISATION DU RÉSEAU.....	20
FIGURE 18 – COURBE DE CONSOMMATION DE LA VILLE.....	22
FIGURE 19 – COURBE D'EAU TURBINÉE À BIENVENUE	22
FIGURE 20 – MODÉLISATION DE LA CHAMBRE DE MISE EN CHARGE AU PONT-NEUF	23
FIGURE 21 – NIVEAU INITIAL DE L'EAU DU RÉSERVOIR DE LA BÂTIAZ.....	23
FIGURE 22 – COURBE CARACTÉRISTIQUE DE LA POMPE BIENVENUE 1	27
FIGURE 23 – COURBE CARACTÉRISTIQUE DE LA POMPE BIENVENUE 1	27
FIGURE 24 – DIAGRAMME TEMPOREL DE FONCTIONNEMENT DES POMPES	28
FIGURE 25 - VARIATION DU NIVEAU D'EAU AU RÉSERVOIR DE LA BÂTIAZ (ESSAI 26/27 JUIN)	34

FIGURE 26 - COURBE DU DÉBIT AU RÉSERVOIR DE LA BÂTIAZ (ESSAI 26/27 JUIN).....	34
FIGURE 27 - COURBE DE PRESSION AU BOURG (ESSAI 26/27 JUIN).....	35
FIGURE 28 - COURBE DE PRESSION AU CLIENT PANOVAL (ESSAI 26/27 JUIN).....	35
FIGURE 29 - VARIATION DU NIVEAU DU RÉSERVOIR DE LA BÂTIAZ (ESSAI 13 OCTOBRE).....	37
FIGURE 30 – COURBE DU DÉBIT AU RÉSERVOIR DE LA BÂTIAZ (ESSAI 13 OCTOBRE)	38
FIGURE 31 - COURBE DE PRESSION AU BOURG (ESSAI 13 OCTOBRE).....	38
FIGURE 32 - COURBE DE PRESSION AU CLIENT PANOVAL (ESSAI 13 OCTOBRE).....	39
FIGURE 33 - COURBE DE PRESSION À BIENVENUE (ESSAI 13 OCTOBRE).....	39
FIGURE 34 – DIAGRAMME TEMPOREL DE FONCTIONNEMENT DE LA POMPE 1 (SCÉNARIO HYPOTHÉTIQUE) .	40
FIGURE 35 – DIAGRAMME TEMPOREL DE FONCTIONNEMENT DE LA POMPE 2 (SCÉNARIO HYPOTHÉTIQUE) .	41
FIGURE 36 - VARIATION DU NIVEAU DU RÉSERVOIR DE LA BÂTIAZ (SCÉNARIO HYPOTHÉTIQUE).....	41
FIGURE 37 – COURBE DE PRESSION À BIENVENUE (SCÉNARIO HYPOTHÉTIQUE).....	41
FIGURE 38 – COURBE DE PRESSION AU BOURG (SCÉNARIO HYPOTHÉTIQUE).....	42
FIGURE 39 – COURBE DE DÉBIT À BIENVENUE (SCÉNARIO HYPOTHÉTIQUE).....	42
FIGURE 40 – FLUX DES DONNÉES DES PRINCIPAUX SYSTÈMES RELIÉS AUX MODÈLES DES RÉSEAUX D'EAU	44
FIGURE 41 – INTÉGRATION DES DONNÉES.....	45

Application des modèles hydrauliques des réseaux d'eau

Dans le domaine des réseaux de distribution d'eau, les modèles hydrauliques assument un rôle fondamental dut à la complexité topologique, à l'expansion plus ou moins fréquente et au comportement dynamique de ces types de réseau. Il est fréquent de faire face à des systèmes qui fournissent de l'eau potable a des populations très nombreuses, donc, les conséquences d'une décision dans ce domaine ont sûrement un énorme impact.

L'application des modèles peut avoir pour but plusieurs objectifs, notamment :

- Planification à long terme, y compris l'expansion et rénovation ;
- Service d'incendie ;
- Analyse de la qualité d'eau ;
- Gestion d'urgences ;
- Gestion d'énergie ;
- Gestion opérationnelle ;

Dans la planification à long terme, par exemple, pour faire face à l'expansion du réseau en conséquence de la croissance de la population, la capacité du réseau hydraulique doit être évaluée de façon à assurer la qualité de service. Les modèles peuvent, aussi, fournir des informations très importantes, comme par exemple, les zones de pression inadéquate, les emplacements de nouvelles conduites maîtresse, des stations de pompages ou des réservoirs. L'impact sur la qualité de service, en conséquence d'un plan de rénovation, peut être correctement maîtrisé.

La capacité de réponse du système hydraulique a un événement anormal, par exemple un incendie, est d'extrême importance. Le modèle peut aider à identifier des zones de risque ou même aider à définir un plan d'urgence selon lequel des vannes du réseau seraient fermer de façon à assurer la disponibilité d'eau en quantité adéquate.

Ces modèles sont fréquemment utilisés pour l'analyse de la qualité. L'âge de l'eau, les contributions de différentes sources ou le chlore résiduel sont des paramètres analysables dans le modèle.

Dans les réseaux où l'adduction est assurée par des stations de pompages, le modèle est indispensable pour l'évaluation de l'efficacité de l'utilisation du pompage, ayant comme but la réduction des coûts d'énergie associée sans mettre en risque les niveaux de qualité de service.

En effet, l'utilisation de ces modèles rend disponible une connaissance profonde du comportement dynamique du réseau et est, sans doute, un outil précieux d'aide à la décision dans la gestion opérationnelle ou la planification.

Le réseau d'eau potable de Martigny

Un peu d'histoire

Le réseau d'eau potable de la ville de Martigny a été construit dès le début du siècle. Les sources de captage du Brocard(1920), du Marioty(1948) et du Plan de l'Au(1916) sont du type captage en galerie. Le captage et station de pompage de Bienvenue ont été construits en 1979 et son utilisation se vérifie à peine quand les captages de montagne, pour des raisons peu fréquentes, sont indisponibles.

Depuis les années 70, le réseau d'eau s'est considérablement étendu jusqu'aux limites du territoire communal. Au nord, jusqu'à Vernayaz avec la conduite de Bienvenue, à l'est, jusqu'au centre d'entretien de l'autoroute (Indivis), et au sud, jusqu'au Champys vers Charrat. Le nombre des abonnés, tant ménages qu'industriels, a augmenté dans des proportions importantes. Il a fallu mettre en place diverses installations et ouvrages pour satisfaire une distribution d'eau de boisson dans des conditions optimales tant au point de vue qualitatif que quantitatif. Des installations de production hydroélectrique ont aussi été intercalées dans le réseau. Parmi les principaux ouvrages des dernières années, on remarque:

- construction du réservoir au château de la Bâtiaz volume 6000 m³ (1972);
- installation de surveillance de détection d'hydrocarbures et de turbidité de l'eau ;
- captation et pompage de Bienvenue avec un débit de 600 m³/h (1979) ;
- usine de turbinage du Pont-Neuf (1981) ;
- réservoir au Gondran volume 2200 m³ (1981) ;
- conduite forcée de diamètre 350 mm d'une longueur de 4130 m (1981) ;
- nouvelle installation de chloration au bioxyde de chlore pour la sécurité de la (1978) qualité de l'eau (bactériologiques) (1982) ;
- turbinage de Bienvenue qui a pour but de transformer le trop-plein du réservoir d'eau potable de la Bâtiaz en énergie (1995).

La gestion et maintient du réseau est de la responsabilité de Sinergy SA (anciens Services Industriels de Martigny)

La consommation d'eau de la ville

Actuellement la population de Martigny est d'environ de 15'000 habitants et se maintient stable ces dernières années. L'évolution des valeurs annuelles de consommation d'eau en est la preuve. Le tableau suivant présente cette évolution dès 1996. La consommation par habitant est d'environ de 400 litres/jour.

Consommation (m ³)

	1996	1997	1998	1999	2000	2001
Abonnés	1 862 674	1 829 100	1 891 196	1 812 240	1 877 055	
Bâtiments publics	218 407	238 515	253 494	147 765	187 204	
Total	2 081 081	2 067 615	2 144 690	1 960 005	2 064 259	1 921 293

Tableau 1 - Consommations annuelles de la ville de Martigny

Les consommations annuelles de l'an 2001, disponibles sur 1717 abonnés, sont présentés dans le tableau suivant. Il est à noter que 53,64% de ces abonnés, avec une consommation moyenne par jour inférieure à 0,01 l/s (0,864 m³/jour) sont responsable à peine pour 7,51% de la consommation totale. Par contre, 36,37% de la consommation est associé à 2,45% des abonnés (42) avec des consommations moyenne par jour supérieures à 0,2 l/s (17,28 m³/jour)

(l/s)	N. d'abonnés		Consommation annuelle (m3)	
0 a 0,01	921	53,64%	144266	7,51%
0,011 a 0,02	271	15,78%	117628	6,12%
0,021 a 0,05	238	13,86%	248008	12,91%
0,051 a 0,2	245	14,27%	712607	37,09%
0,21 a 0,5	30	1,75%	281210	14,64%
Sup. a 0,5	12	0,70%	417574	21,73%
Total	1717	100,0%	1921293	100,0%

Tableau 2 – Distribution de la consommation

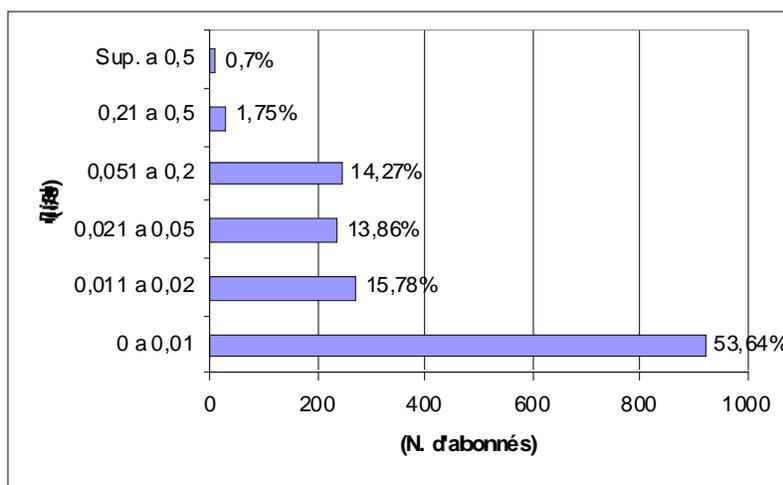


Figure 1 – Distribution de la consommation par abonnés

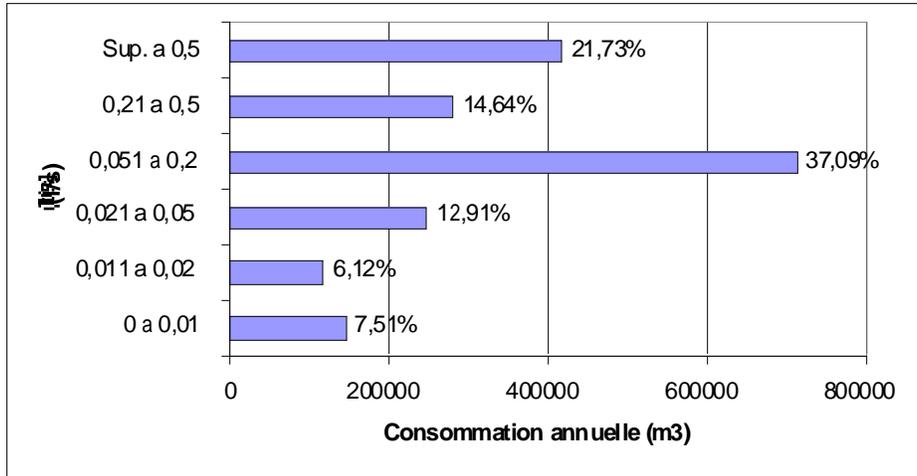


Figure 2 – Distribution de la consommation par abonnés

Figure 3 - Distribution spatiale des petits consommateurs

Figure 4– Distribution spatiale des grands consommateurs

Le réseau d'adduction et de distribution

La figure suivante représente, en schéma, l'état actuel du réseau d'adduction et de distribution.

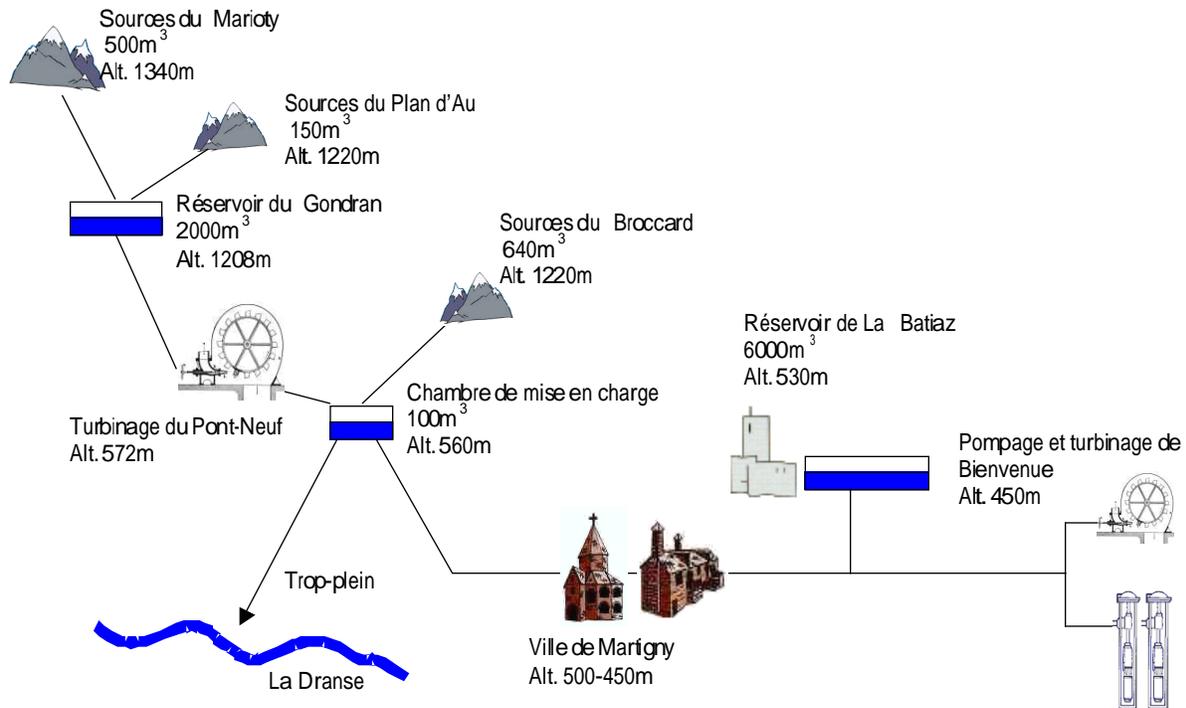


Figure 5 – Schéma du réseau d'eau

L'adduction est assurée, essentiellement, par la conduite forcée qui relie le réservoir du Gondran à la station de turbinage du Pont-Neuf. Après la chambre de mise en charge au Pont-Neuf, la distribution est assurée par environ 74 km de conduites, 274 hydrants, 700 vannes de réseau et 1800 vannes de branchements.

La station de pompage de Bienvenue assure l'adduction directement sur le réseau de distribution et se vérifie à peine dans des situations très exceptionnelles.

Les 50 fontaines de la ville de Martigny, étant essentiellement un élément urbain esthétique, assurent néanmoins un débit minimum dans les conduites, ce qui contribue pour la haute qualité de l'eau.

Caractérisation des conduites

Sur les informations disponibles à ce sujet il est possible de développer quelques analyses concernant les types de matériel, les diamètres et l'année d'installation ou rénovation des conduites. De l'analyse ne fait pas partie ni la conduite forcée d'adduction au Pont-Neuf, ni le sub-réseau de distribution de Chemin-Dessous. Il est important de remarquer que les branchements des abonnés au réseau n'étaient, jusqu'à bien peu de temps, de la responsabilité de Sinergy. En conséquence, le système d'information n'a pas encore été mis à jour sur ce sujet.

Le réseau d'eau s'est considérablement étendu depuis les années 70. Les derniers ouvrages dans ce domaine envisagent surtout la rénovation en utilisant des conduites de nouveau matériel (PE- polyéthylène).

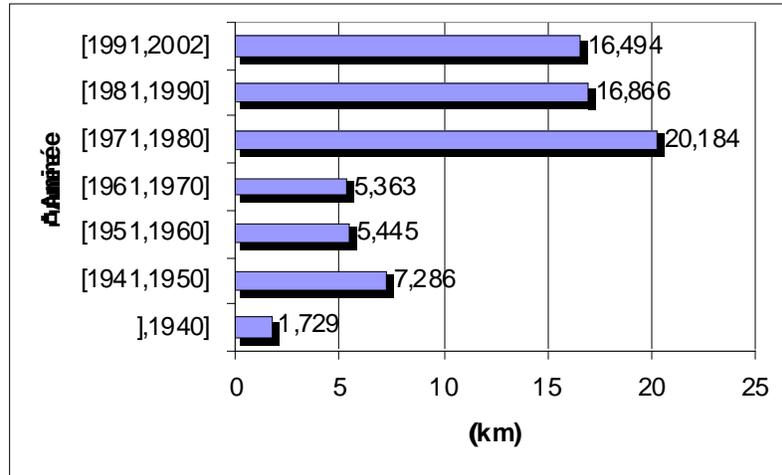


Figure 6 – Date d'installation ou rénovation des conduites

Le réseau de distribution est constitué en grande partie (71,94%) par des conduites en fonte et acier.

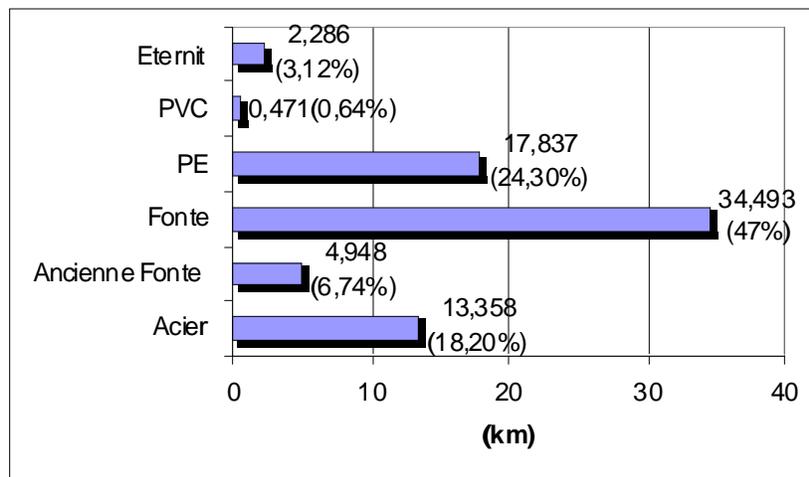


Figure 7 – Types de matériel des conduites

Les diamètres installés varient jusqu'à 500mm étant les plus grands diamètres en fonte et acier.

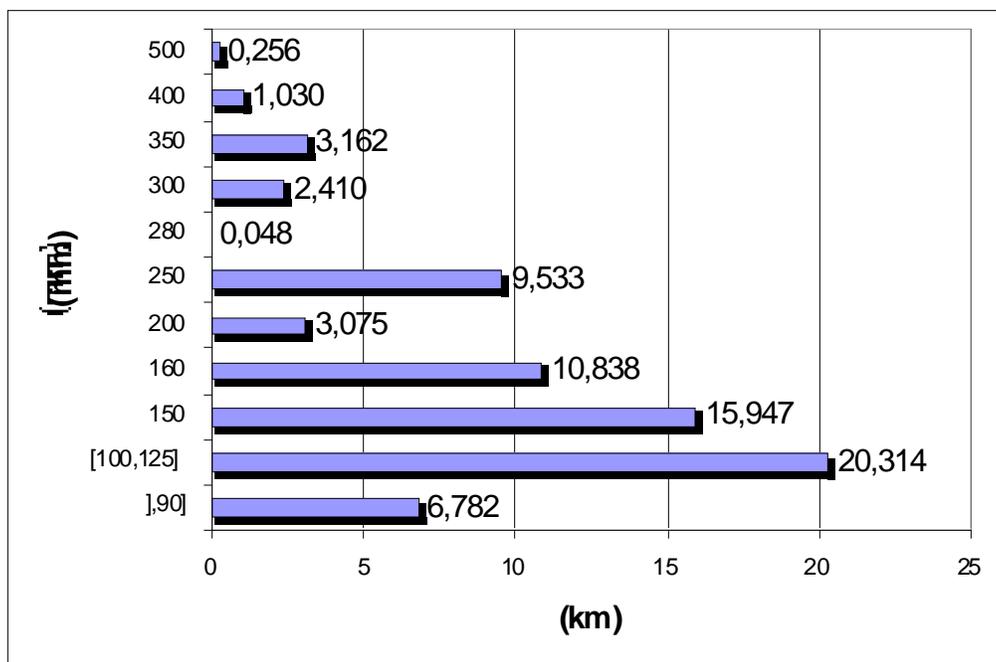


Figure 8 - Diamètre des conduites

Les figures suivantes représentent la distribution spatiale des conduites classifiées par type de matériel et diamètre. On peut identifier facilement les conduites qui constituent le réseau principal.

Figure 9 - Distribution spatiale des conduites classifiées par type de matériel

Figure 10 - Distribution spatiale des conduites classifiées par diamètre

Les réservoirs

Le réservoir de La Bâtiaz est situé à la cote de 530m et a un volume de 6000m³. Avec une aire de 1000m² et une hauteur de 6m, ce réservoir permet de maintenir le niveau de stockage d'eau nécessaire à la ville, mais permet, aussi, de maintenir un niveau de pression très peu variable pendant la journée. L'adduction se fait directement par le réseau de distribution. Jusqu'à 1995 le trop-plein de ce réservoir était déversé dans la rivière. Pour transformer cette énergie, une station de turbinage a été installée à Bienvenue.

La chambre de mise en charge au Pont-Neuf, avec une capacité réduite de 100m³, a pour seul but la stabilisation du niveau d'eau à la cote de 570m. Le trop-plein de ce réservoir est déversé vers la rivière.

Installations hydroélectriques

La ville de Martigny possède deux stations hydroélectriques avec les caractéristiques suivantes :

Turbinage du Pont-Neuf

- Débit d'eau : 650 m³/h
- Hauteur de la chute : 636 m
- Turbine : Pelton à un jet
- Génératrice : synchrone
- Puissance : 950kW
- Nombre de tours : 1 500 t/min
- Productions annuelles moyenne : 5 500 000 kW/h

Turbinage de Bienvenue

- Débit d'eau : 270 m³/h
- Hauteur de la chute : 84 m
- Turbine : Pelton à 2 jets
- Génératrice : asynchrone
- Puissance : 51kW
- Nombre de tours : 1 000 t/min
- Productions annuelles moyenne : 150 000 kW/h

Il est nécessaire de mentionner que le turbinage du Pont-Neuf ne conditionne pas, en situation normale de fonctionnement, le comportement dynamique du réseau d'eau. Seul le turbinage à Bienvenue influe ce comportement.

Installation de pompage

La station de pompage à Bienvenue a été installée pour faire face à des éventuels problèmes d'adduction au Pont-Neuf. Cette station est constituée par deux pompes chacune avec un débit de 300m³/h.

La gestion opérationnelle du réseau

Pour le réseau d'eau potable, Sinergy dispose d'un système de télégestion qui collecte un ensemble de plusieurs mesures distribuées par 4 sites. Sur ces sites, des ordinateurs, équipés avec des systèmes d'acquisition de données, mesurent et transmettent les données numérisées par télé réseau. Grâce à la télégestion toutes ces mesures sont suivies en temps réel. Tous les collaborateurs de Sinergy connaissent heure par heure le fonctionnement des installations, soit en accédant par le réseau informatique de l'entreprise soit par Internet.

Le contrôle des deux stations de turbinage est indépendant. En cas de panne de la

station de turbinage du Pont-Neuf, l'adduction à la chambre de mise en charge est assurée par un *by-pass*.

A Bienvenue, un système automate contrôle le démarrage et l'arrêt du turbinage ou pompage en fonction du niveau du réservoir de La Bâtiaz. Les figures suivantes décrivent le fonctionnement typique de ce système.

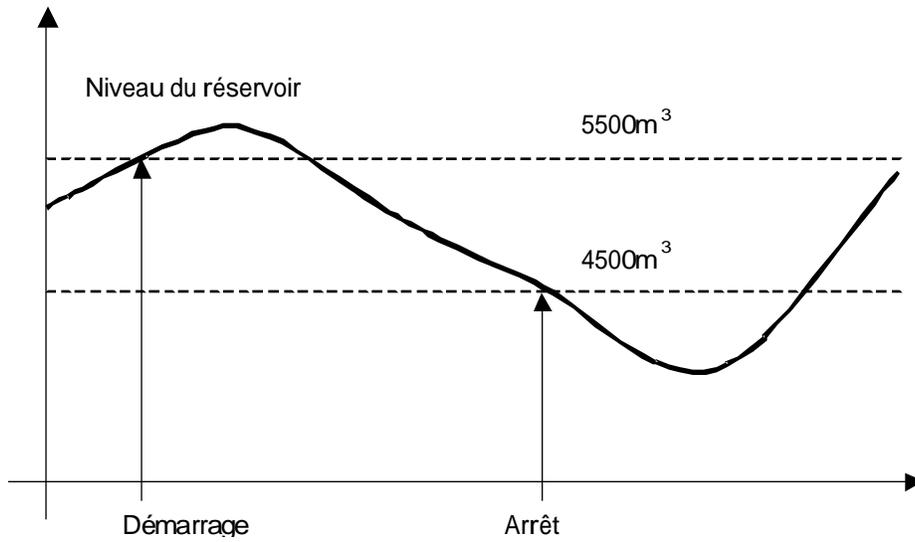


Figure 11 – Fonctionnement du turbinage à Bienvenue

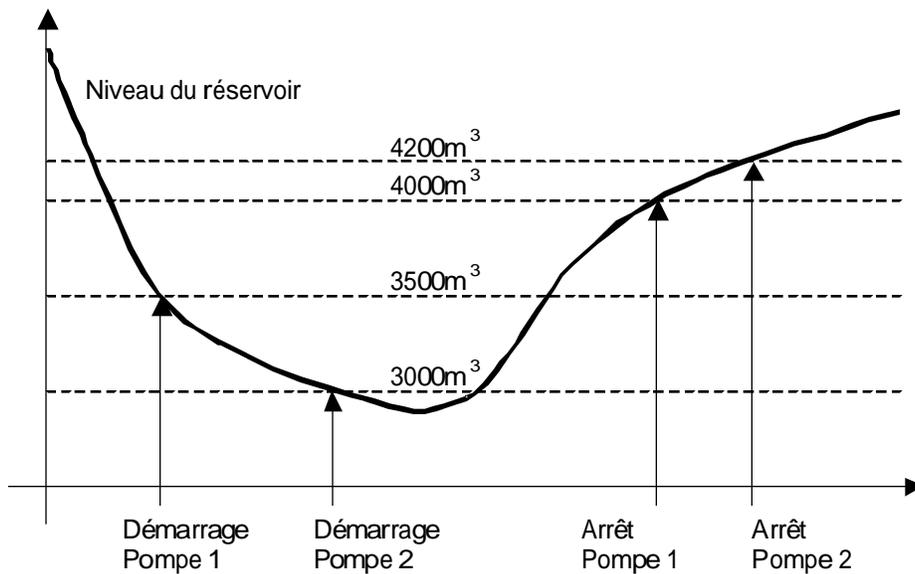


Figure 12 – Fonctionnement du pompage à Bienvenue

Développement du modèle hydraulique

Un modèle est une description mathématique d'un système du monde réel. Avant de construire ce modèle, il est nécessaire de rassembler une énorme quantité de données sur le réseau. Il y a plusieurs façons de rassembler ces données et les sources pour les obtenir varient fréquemment entre organisations responsables de ces réseaux. De plus, chaque organisation développe une stratégie propriétaire pour la structuration de ces informations ce qui oblige à un traitement différencié pour chaque cas.

Plusieurs sources sont normalement disponibles, notamment :

- Carte cadastrale, numérisée ou pas, avec les informations sur les conduites, connectivité, matériel, diamètre, l'emplacement d'autres éléments comme les réservoirs, stations de pompes et vannes ;
- Carte topographique avec les courbes d'altitude ou disponibles sous la forme de modèle numérique d'élévation (modèle altimétrique numérique);
- Carte numérisée sous la forme de dessin assisté par ordinateur (information graphique) ou sous la forme de système d'information géographique (information graphique et non-graphique) ;
- Registre de données de gestion opérationnelle, comme par exemple, les débits ou taux de production des stations de traitement ou de pompage, l'information volumétrique des consommations des abonnés ou l'information des niveaux des réservoirs ;
- Système de gestion de base de données des abonnés, avec les informations de consommation volumétrique ou de facturation ;

Ces dernières années, les systèmes d'information géographique (SIG) jouent un rôle de plus en plus important dans ce domaine. Ces systèmes constituent un outil de traitement et analyse d'objets, d'événements ou phénomènes du monde réel. La technologie SIG intègre les opérations typiques de requête et analyse statistique de base de données avec la visualisation et l'analyse géographique associée aux cartes. Les SIG permettent le stockage de données organisé en couches thématiques ce qui permet que l'information de différentes origines soit intégrée de façon à déterminer des relations entre données ou à synthétiser de nouvelles informations.

Dans le but du développement d'un modèle hydraulique, les SIG peuvent être utilisés dans différentes tâches, comme par exemple :

- Analyse de proximité (identification des abonnés localisés à une certaine distance d'une jonction du réseau) ;
- Analyse de recouvrement (sélection des jonctions localisées dans une zone du

- réseau) ;
- Analyse topologique (identification des conduites reliées sur une jonction) ;
- Visualisation cartographique (production de différents types de plans ou de cartes).

Avec un modèle relié intrinsèquement à un SIG, les avantages sont élargis au delà du processus de construction du modèle et peuvent inclure d'autres opérations, comme par exemple, la schématisation ou le chargement automatique des consommations sur les jonctions du réseau.

Fondamentalement, un modèle hydraulique est constitué par un ensemble de nœuds reliés entre eux par des liaisons. Les nœuds représentent un dispositif à un endroit spécifique et les liaisons définissent les relations entre les nœuds.

Il y a plusieurs façons de structurer l'information intrinsèque aux modèles hydrauliques. Normalement, les nœuds représentent les jonctions, les réservoirs, les pompes ou les vannes de contrôle et les liaisons entre les nœuds représentent les conduites du réseau. Mais ce n'est pas toujours le cas, les pompes ou les vannes de contrôle peuvent être aussi représentés par des liaisons. Les éléments d'un modèle sont donc dépendants des différentes approches de structuration de données, mais d'autres aspects doivent être considérés, notamment, le logiciel utilisé ou le type de simulation à réaliser.

Le logiciel H-NetCAD a été utilisé dans ce travail et il permet de réaliser la simulation en état d'équilibre, supposant que l'état du système ne change pas en fonction du temps, ou la simulation quasi-dynamique. Cette dernière calcule la simulation en état d'équilibre pour différentes conditions frontières (nœuds où l'on connaît la hauteur piézométrique) et de consommations qui varient en fonction du temps.

Les données disponibles

Toutes les données utilisées dans cette étude ont été disponibles par Sinergy. Sinergy utilise, depuis quelques années, le logiciel d'Infographie Hyperbird pour numérisation des plans cadastraux. À partir de ce logiciel, les informations nécessaires ont été exportées et enregistrées dans des fichiers de texte.

Les données disponibles incluent:

- Coordonnées spatiales des points de passages des conduites (identification, coordonnées X, Y et Z) ;
- Informations des conduites (identification, matériel, diamètre nominal, date d'installation, longueur, numéro de rue desservi, liste des points de passages

- topologie) ;
- Informations des bâtiments (identification, coordonnées spatiales) ;

A ce point, il faut remarquer que les branchements des abonnés au réseau de distribution d'eau ne sont pas disponibles. Cela est dû au fait que la responsabilité de ces branchements n'appartenait pas, jusqu'à bien peu de temps, aux services industriels.

D'autres informations d'éléments géographiques (parcelles, rues, bâtiments, etc) ont été mises à disposition sur un fichier DXF.

En ce qui concerne les consommations, l'information disponible se rapporte aux quantités volumétriques annuelles des consommations de l'an 2001 de chaque abonnée. Chaque registre volumétrique est accompagné du numéro de bâtiments respectif. Ceci se révèle fondamental pour le processus d'affectation des consommations aux nœuds du modèle.

Du système de télégestion, disponibles sur Internet, les variations temporelles des débits, des niveaux des réservoirs et des pressions, ont été acquises. Ce système fait le stockage des mesures à chaque heure et correspondent à la moyenne des valeurs qui sont enregistrées localement sur le site toutes les 30 secondes.

Avant de réaliser les simulations sur le logiciel H-NetCAD, les informations disponibles ont dû être manipulées à l'aide d'autres outils informatiques. Ceci compris l'utilisation d'un système de gestion de base de données (SGBD Microsoft Access), d'un système de dessin assisté par ordinateur (DAO AutoCAD) et d'un outil de développement d'applications en langage VBA (Visual Basic for Application).

Dans une première étape, la topologie du réseau a été importée dans le SGBD et le DAO.

Distribution spatiale des consommations

Un aspect important qui conditionne les résultats est la distribution spatiale des consommations. N'ayant pas les branchements des abonnés référencés du point de vue spatial, il a fallu recourir à l'identification du bâtiment qui est associée à chaque registre de consommation.

L'identification du bâtiment inclut le numéro de la rue et cette même information existe associée aux conduites qui desservent la rue. Cette relation pourrait être

utiliser, par exemple, en distribuant uniformément la consommation par tous les nœuds connectés aux conduites visées. Cependant, il est possible d'améliorer les résultats de ce processus. En effet, le cadastre des bâtiments, avec les respectives coordonnées, permet une référence spatiale des consommateurs. En utilisant le critère de proximité, la respective consommation a été associée au nœud du réseau le plus proche. Un exemple de cette approche est démontré dans la figure suivante.

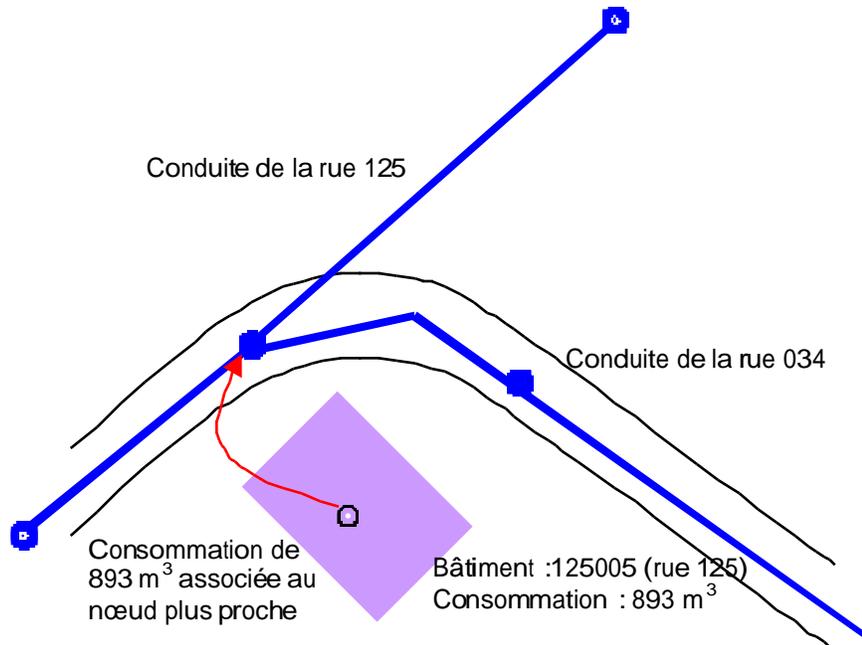


Figure 13 – Chargements des consommations sur les nœuds du réseau

De façon à valider graphiquement ces résultats, l'association entre les abonnés (bâtiments) et les nœuds du réseau a été représentée par une ligne sur l'AutoCAD, tel que l'on peut apercevoir dans l'exemple de la figure suivante.

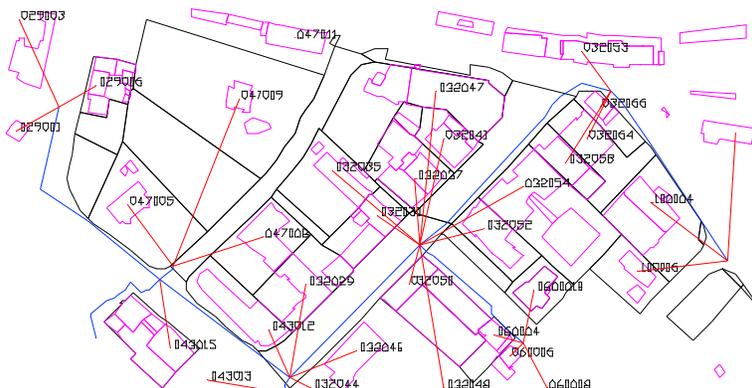


Figure 14 – Représentation graphique de l'association des consommateurs au nœud du réseau

Du fait que la numérisation des cadastres était encore en cours, quelques registres de consommation n'ont pas pu être référencés du point de vue spatial. Deux situations différentes se sont vérifiées. Dans un premier cas, le bâtiment n'avait pas de coordonnées mais l'information de la rue était disponible. Pour cette situation, la respective consommation a été distribuée uniformément par les nœuds de la conduite qui sert cette rue. Le deuxième cas se rapporte aux consommations dont l'identification du bâtiment, par conséquent de la rue, était inconnue (ex.999999). Celles-ci ont été distribuées uniformément par tous les nœuds du réseau. Il est à noter que, dans les deux situations, la distribution uniforme des consommations est effectuée à peine parmi les nœuds où il y a déjà une valeur attribuée.

Comme l'on peut s'apercevoir dans le tableau suivant, ce problème s'est vérifié sur 11,02% du total de la consommation annuelle.

	(m ³)	(%)
Associée au nœud le plus proche	1 709 645	88,98
Distribuée sur les nœuds de la rue	182 663	9,51
Distribuée sur tous les nœuds du réseau	28 985	1,51
Total	1 921 293	

Tableau 3 – Distribution spatiale des consommations

Figure 15 – Distribution spatiale des consommations sur les nœuds du modèle

Schématisation du réseau

Inclure tous les branchements, vannes, conduites de longueur réduite (ex. conduite qui connecte un hydrant au réseau) peut mener à un volume considérable de données et, en conséquence, à des temps de calcul inadmissibles, sans que les résultats soient significativement améliorés. La schématisation est le processus de sélectionner ou exclure du modèle les éléments du réseau hydraulique qui ont un impact plus ou moins significatif dans le comportement dynamique du système. Ce processus ne doit pas être confondu avec l'omission d'éléments du réseau, il s'agit de faire en sorte que leurs effets soient inclus dans d'autres éléments du modèle.

Étant donné que le réseau de Martigny est de dimension relativement réduite, les critères de schématisation développés ont eu pour but :

- L'élimination des conduites de longueur très réduite, comme par exemple celles qui connectent les hydrants au réseau ;
- L'élimination de sub-réseau de topologie arborescente de dimension réduite ;
- L'élimination de sub-réseau déconnecté du réseau principal ;
- La simplification de conduites avec des caractéristiques identiques.

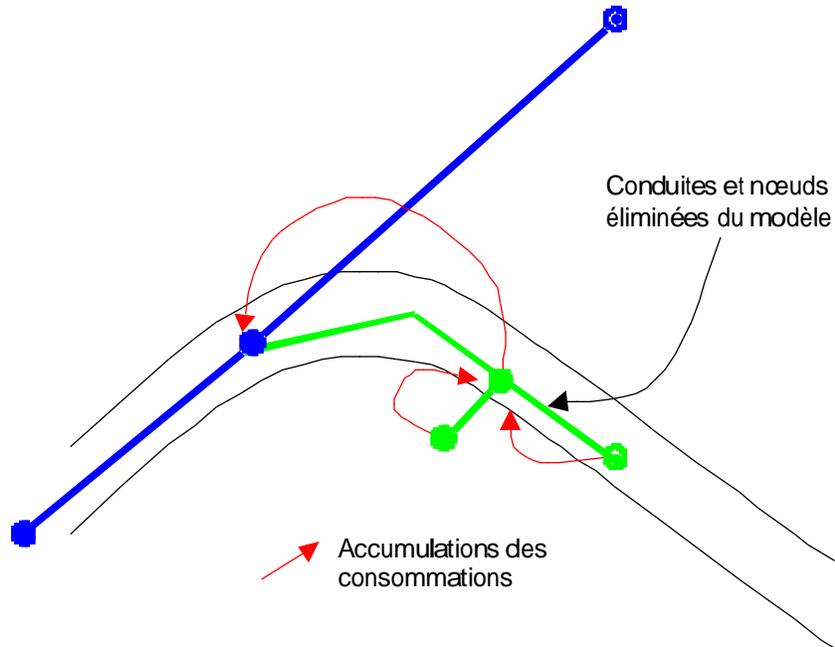


Figure 16 – Exemple de Schématisation du réseau

Comme résultat global on obtient la réduction de 758 conduites a 428 et de 680 nœuds a 342.

La figure suivante exemplifie graphiquement quelques résultats du processus de schématisation.

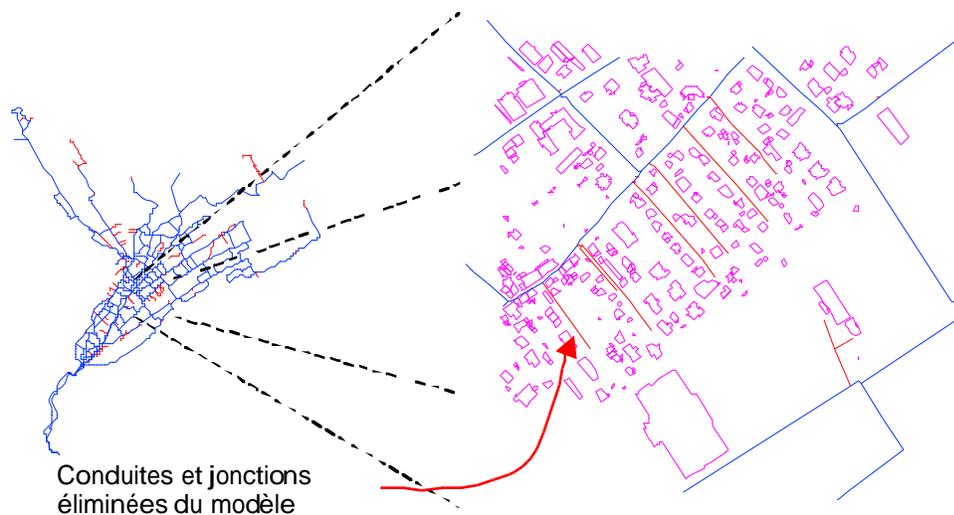


Figure 17 – Représentation graphique de la schématisation du réseau

Éléments du modèle hydraulique

Le tableau suivant résume les éléments et respectives caractéristiques nécessaires au modèle développé pour le réseau de Martigny.

Eléments du réseau	Eléments du modèle	Caractéristiques(attributs)
Jonctions	Nœud	Identification Cote (élévation) Consommation Variation temporelle de la consommation
Réservoirs	Réservoir (Nœud)	Identification Cote (élévation) Niveau initial, minimum et maximum de la superficie de l'eau Variation temporelle de l'adduction
Turbine	Nœud	Identification Cote (élévation) Eau turbinée Variation temporelle de la consommation
Conduites	Liaison	Identification de la liaison Topologie : nœud origine/de fin Longueur Matériel, diamètre nominal et interne, rugosité Consommation Variation temporelle de la consommation
Pompes	Accessoire (tronçon avec un accessoire du type pompe)	Identification de la liaison Sens de l'écoulement Cote (élévation) Etat de fonctionnement (démarrage/arrêt en fonction du temps) Courbe caractéristique hauteur d'élévation=f(débit)

Tableau 4 - Éléments du modèle

Pour le chargement du modèle sur H-NetCAD, la plupart des données (identification, nœuds, liaisons et topologie) sont extraites automatiquement de l'AutoCAD à l'aide de programmes développés avec le langage VBA. Les données restantes sont introduites directement sur le logiciel.

Les nœuds du modèle

Pour chaque nœud, l'identification (automatique), les coordonnées spatiales (y compris la cote) et la valeur de consommation moyenne par jour sont déjà chargées. Il est à noter que cette valeur représente la consommation moyenne par jour obtenu d'après les consommations de l'an 2001. Lors d'une simulation, cette valeur va effectivement être considérée comme un facteur multiplicatif qui permettra le calcul de la consommation réelle du nœud respectif. La courbe de consommation totale de la ville est extraie du système de télémessures. A chaque simulation d'état d'équilibre, les consommations de chaque nœud sont affectées de cette courbe.

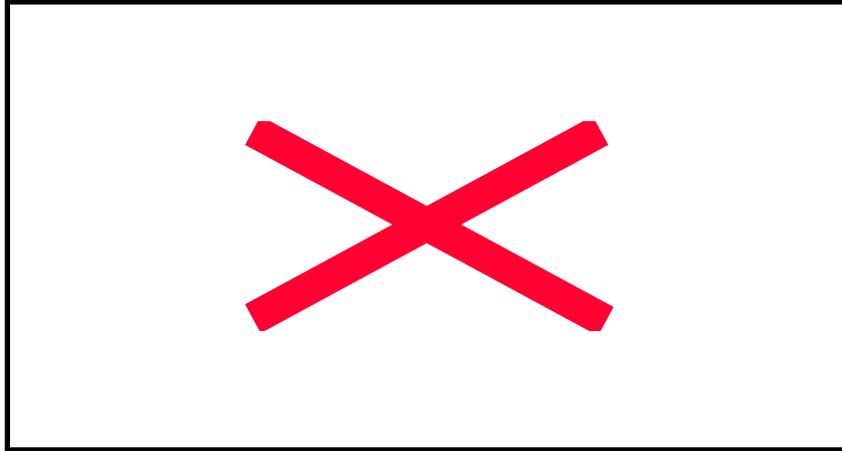


Figure 18 – Courbe de consommation de la ville

Le turbinage à Bienvenue est modélisé comme un nœud du réseau avec une courbe de consommation spécifique disponible aussi sur le site de télémesures.

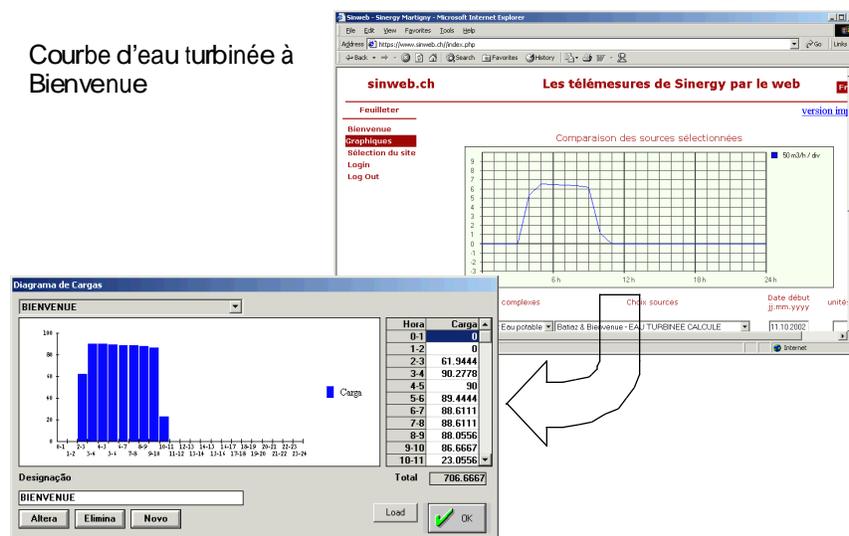


Figure 19 – Courbe d'eau turbinée à Bienvenue

Le trop-plein de la chambre de mise en charge au Pont-Neuf est déversé vers La Dranse. Tans qu'il y a du trop-plein et du point de vue du modèle, cet élément est considéré comme un réservoir ou la hauteur piézométrique de l'eau est constante. Ce type d'élément est normalement associé à un réservoir de grande capacité et, dans ce cas, quel que soit le débit fournit, le niveau de l'eau est considéré stable.

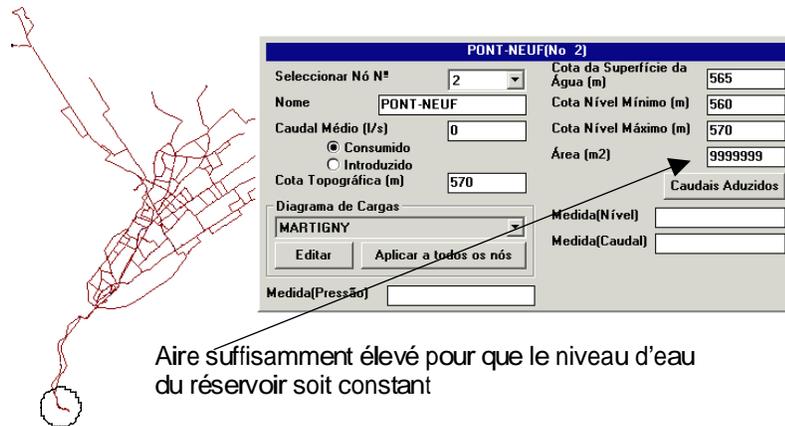


Figure 20 – Modélisation de la chambre de mise en charge au Pont-Neuf

Le réservoir de La Bâtiaz est un réservoir sans adduction directe. Il se vide ou se remplit en fonction de la courbe de consommation du réseau et du fonctionnement des pompes de Bienvenue. La seule donnée qui varie correspond au niveau du réservoir au début de la simulation, normalement (0 :00). Cette valeur est disponible sur le site de télémesures.

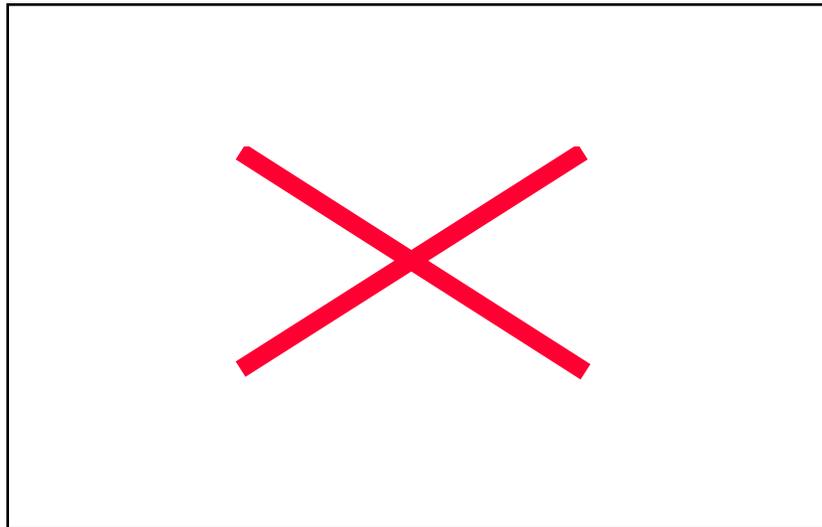


Figure 21 – Niveau initial de l'eau du réservoir de La Bâtiaz

Les liaisons du modèle

Les formulations mathématiques qui permettent le calcul de l'équilibre hydraulique d'un réseau de distribution d'eau sont basées sur les lois fondamentales de la mécanique des fluides (loi de continuité et loi de conservation de l'énergie) et la loi de résistance à l'écoulement (relation entre le débit et les correspondantes pertes de charges). Ces lois supportent la conception des modèles mathématiques utilisés dans ce domaine.

En ce qui concerne les pertes de charge associées à l'écoulement uniforme sous pression dans des conduites circulaires, Il existe plusieurs formules qui permettent le calcul de ces types de perte de charge. Le H-NetCAD emploie la formule de Darcy-Weisbach :

$$\Delta H_c = \frac{f.L}{D} \times \frac{V^2}{2.g} = \frac{8.f.L.Q^2}{g.\pi^2.D^5}$$

ou :

ΔH_c - perte de charge (mH2O) ;

f -coefficient de résistance ou de Darcy-Weisbach (dépend du numéro de Reynolds et/ou de la rugosité relative de la conduite) ;

V -vitesse moyenne d'écoulement (m/s) ;

Q -débit (m³/s) ;

G -accélération de la gravité (9,8 m/s²) ;

D -diamètre interne de la conduite (m) ;

L -longueur de la conduite (m) .

Pour le calcul du coefficient de Darcy-Weisbach deux expressions sont utilisées. Pour des valeurs du numéro de Reynolds inférieur a 3000, la formule de Hagen-Poiseuille (régime laminaire) est utilisée:

$$f = \frac{64}{R_e}$$

et pour des valeurs du numéro de Reynolds supérieur a 3000 le calcul est fait par la formule de Colebrook-White (régime turbulent):

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \frac{k}{3.7D} + \frac{2.51}{R_e \sqrt{f}}$$

ou :

k - rugosité absolue des parois internes de la conduite (m) ;

Re - numéro de Reynolds.

Chaque liaison représente une conduite du réseau d'eau. Aux données déjà

disponibles (identification, topologie, point de passage, longueur, diamètre nominal et matériel) il a fallu ajouter le diamètre interne et la rugosité absolue. Les valeurs choisies de ces paramètres sont présentées dans les tableaux suivants.

Matériel	Diamètre Nominal	Diamètre Interne (mm)
Fonte	70	70
	80	80
	100	100
	150	150
	200	200
	250	250
	300	300
	350	350
	400	400
Ancienne Fonte	60	60
	70	70
	80	80
	90	90
	100	100
	120	120
	150	150
	200	200
	250	250
	300	300
	350	350
Acier	1"1/2	38,1
	1"1/4	31,75
	2"	50,08
	60	60
	70	70
	75	75
	80	80
	90	90
	100	100
	125	125
	150	150
	200	200
	300	300
	350	350
	400	400
500	500	
PVC	80	74
	100	94
	110	104
	125	119
Eternit	100	94
	200	180
	300	280
PE	50	44

	63	57
	90	83
	110	101,4
	160	147,6
	250	234,4
	280	260

Tableau 5 – Diamètre interne des conduites

Matériel	Rugosité absolue (mm)
Acier	0,2
Fonte	0,6
Ancienne Fonte	0,6
Eternit	0,015
PE	0,01
PVC	0,01

Tableau 6 – Rugosité absolue en fonction du matériel

Les pompes

Les pompes sont des éléments introduits dans les réseaux ayant pour but l'augmentation de la hauteur piézométrique de la section en aval. Le fonctionnement des pompes est décrit par une courbe caractéristique qui traduit la relation entre la hauteur manométrique et le débit. Du point de vue du modèle, cette courbe est représentée par un polynôme approximatif :

$$\Delta H = A.Q^2 + B.Q + C$$

ou :

ΔH - énergie fournie (mH₂O);

Q - débit (m³/s);

A, B et C - paramètres du polynôme du deuxième degré.

Normalement, les catalogues techniques des fabricants des pompes présentent les courbes de fonctionnement avec des graphiques. Le H-NetCAD permet le calcul des paramètres A, B et C du polynôme approximatif, d'après, au moins, trois points (hauteur, débit) extrais du catalogue.

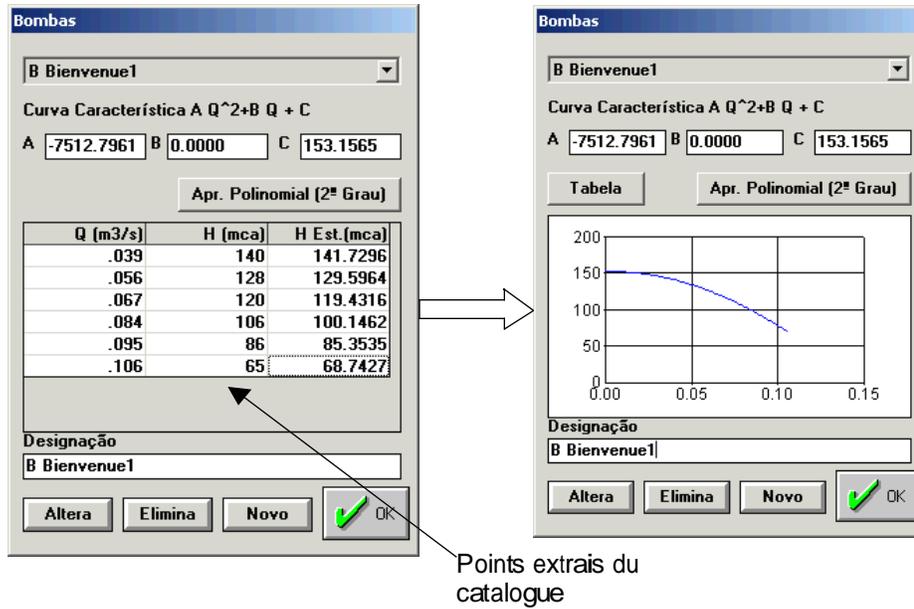


Figure 22 – Courbe caractéristique de la pompe Bienvenue 1

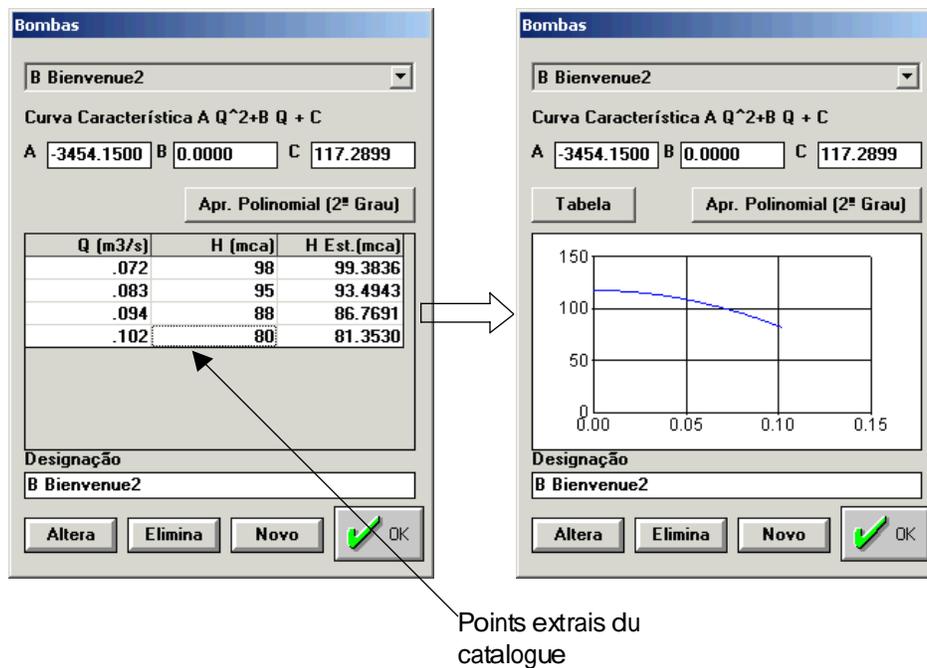


Figure 23 – Courbe caractéristique de la pompe Bienvenue 1

Comme déjà expliqué, l'état de fonctionnement des pompes à Bienvenue, dépend du niveau du réservoir de La Bâtiaz. Pour simuler ce fait il est associé aux pompes un diagramme temporel de fonctionnement. Il est aussi nécessaire d'ajouter un réservoir de grande capacité pour simuler le niveau d'eau adéquat.

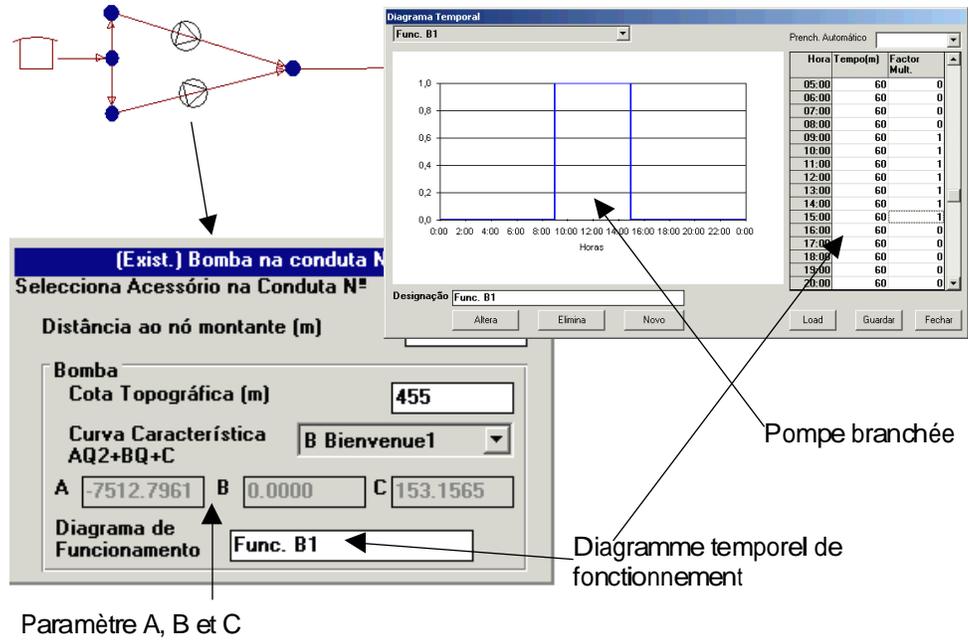


Figure 24 – Diagramme temporel de fonctionnement des pompes

Calibrage du modèle

Avec un modèle sur ordinateur, on essaie de simuler le comportement hydraulique du réseau réel le plus proche possible en terme de caractéristique spatiale et temporelles. Le rassemblement de mesures sur le réseau permet la compréhension du comportement du système réel sur des endroits et des instants spécifiques. Le calibrage est un processus où les paramètres du système sont corrigés de façon à rapprocher les valeurs mesurées des valeurs simulées par le modèle. Une fois le modèle calibré, il peut être utilisé pour différentes applications, notamment, estimer les caractéristiques hydrauliques du système réel pour les endroits où les mesures ne sont pas disponibles.

Le développement d'un modèle est affecté de plusieurs sources d'erreurs :

- Erreurs des données de base (topographie, mesures, etc) ;
- Incertitude de paramètre pour la rugosité ou même le diamètre interne exact des conduites ;
- Distribution spatiale des consommations sur les jonctions quand, en réalité, elles se vérifient tout au long d'une conduite ;
- Erreurs de topologie associées aux plans cadastraux des réseaux;
- Erreurs résultantes du fait que les courbes de charges soient discrétisées dans le temps ;
- Erreurs introduites par la schématisation du réseau ;
- Erreurs introduites par des anomalies comme des vannes partiellement fermées ;
- Approximation des courbes caractéristiques des pompes ;
- Exactitude des systèmes de mesures (capteurs, enregistreurs de données, SCADA)

Pour le réseau de Martigny, l'expérience acquise permet d'effectuer une évaluation qualitative de chaque une des sources potentielles d'erreurs. Une spéciale attention doit être placée par rapport à la rugosité des conduites. Mais, probablement, d'autres préoccupations qui concernent l'exactitude et la quantité des systèmes de mesures de débits et pressions disponibles pourraient être envisagées. Pour mieux estimer les rugosités, des essais pourraient être menés en utilisant les hydrants du réseau. Les valeurs de rugosité utilisées dans cette étude, initialement basées sur des données publiées, sont le résultat d'une méthode d'épreuve et erreur, c'est à dire, ces valeurs ont été successivement ajustées de façon à diminuer l'amplitude des erreurs entre les valeurs simulées et les mesures réelles.

D'autre part, le degré d'exactitude envisagé pour un modèle dépend toujours du but de son application. Quels doivent être les critères pour assurer que le modèle est

suffisamment représentatif de la réalité? Pour l'évaluation de la qualité du modèle, les valeurs maximales et de moyenne des différences absolues entre les valeurs simulées et les valeurs mesurées seront calculées.

Résultat des simulations

L'équilibre hydraulique d'un réseau d'eau consiste à calculer les cotes piézométriques (pressions disponibles) des nœuds, les débits qui écoule dans chacune des conduites (y inclus le sens de l'écoulement), les débits des réservoirs et les pertes ou profit de charges des éléments accessoires (vannes de réduction de pression, pompes, etc). D'après la loi de continuité et la loi de conservation de l'énergie (mécanique des fluides), plusieurs formulations mathématiques peuvent être établies pour calculer l'équilibre hydraulique en régime permanent. Le logiciel H-NetCAD utilise la formulation des nœuds et la méthode décrit par Gessler pour calculer le système d'équations. Les simulations en régime quasi-permanent sont obtenues par le calcul successif de l'équilibre hydraulique en régime permanent pour les différents intervalles de temps au long du période de simulation.

Les simulations ont été réalisées pour différentes périodes de 24 heures de façon à valider le modèle en différentes conditions de fonctionnement du réseau. La comparaison de résultat se fait sur les mesures disponibles, à savoir :

- Niveau et débit du réservoir de La Bâtiaz ;
- Pression du site de mesure à Bienvenue ;
- Pression du site de mesure au Bourg ;
- Pression du site de mesure au client Panoval ;

Pour une évaluation de la qualité du modèle, sur chaque variable de mesures l'erreur moyenne absolue est calculée par :

$$E_{Moyenne} = \frac{\sum_{i=1}^{NMH} |M_i - S_i|}{NMH}$$

et l'erreur maximale par :

$$E_{Max} = \text{MAX} (|M_i - S_i|), i = 1..NMH$$

ou :

$E_{Moyenne}$ - erreur moyenne absolue;

E_{Max} - erreur maximale;

NMH - nombre de mesures horaires ;

M_i - valeur mesurée à l'heure i ;

S_i - valeur simulée à l'heure i ;

$|M_i - S_i|$ - Erreur absolue ;

Le premier essai est relatif à la période de 26-05-2002 01 :00 a 27-05-2002 01 :00.

Cette simulation se caractérise par :

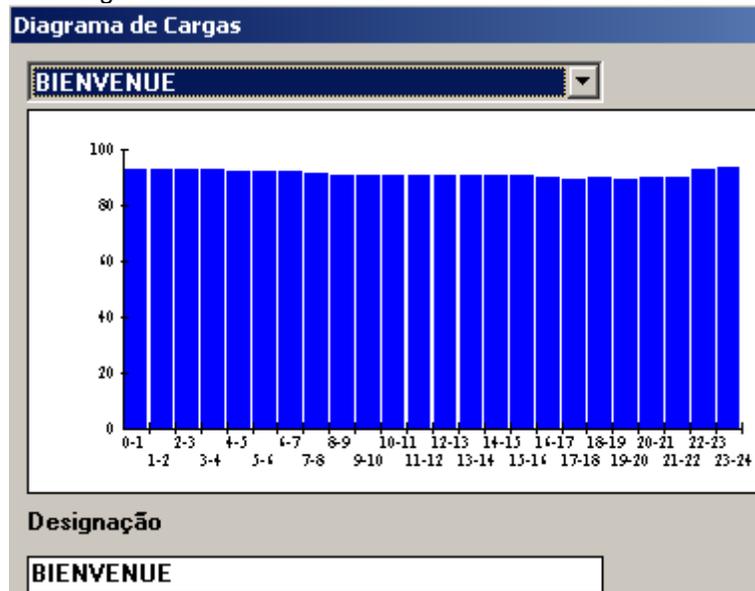
- La turbine est restée en marche durant les 24 heures ;
- Il s'est vérifié le trop-plein, c'est à dire que la hauteur piézométrique à la chambre de mise en charge est restée stable durant les 24 heures.

Une deuxième simulation correspond à ce qui s'est passé le 13 octobre 2002. Ce jour là, la turbine a fonctionnée à peine pendant quelques heures de la nuit. Un autre aspect important de cette période est le fait que le niveau de la chambre de mise en charge ne soit pas constant. En effet, l'eau disponible est insuffisante pour assurer un niveau d'eau invariable. La chambre de mise en charge a aussi un clapet qui se ferme quand le niveau d'eau descend jusqu'à un niveau minimum. En conséquence, les pressions à la ville présentent des variations brusques de pression. Du point de vue du modèle, comme les données du niveau de la chambre n'étaient pas disponibles, l'adduction a été simulée par un nœud qui introduit un débit égal au débit d'entrée mesurée au Pont-Neuf.

Le dernier exemple, un scénario strictement hypothétique, simule le comportement du réseau lorsqu'il n'existe pas d'adduction au Pont-Neuf. D'après le contrôle automatique préétablis les pompes seraient mises en fonctionnement.

Essai 26/27 juin 2002

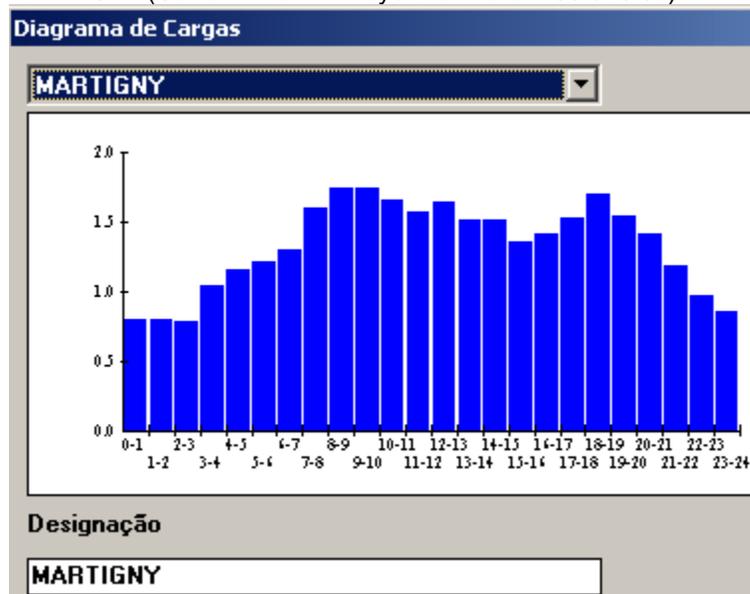
Turbinage à Bienvenue



Heure	(l/s)	(m ³ /h)
0-1	92.7778	334
1-2	93.0556	335
2-3	93.0556	335
3-4	93.0556	335
4-5	92.5	333
5-6	92.5	333
6-7	91.9444	331
7-8	91.3889	329
8-9	90.8333	327
9-10	90.8333	327
10-11	90.8333	327
11-12	90.5556	326
12-13	90.5556	326
13-14	90.5556	326
14-15	90.5556	326
15-16	90.5556	326
16-17	90.2778	325
17-18	89.4444	322
18-19	89.7222	323
19-20	89.4444	322
20-21	89.7222	323
21-22	90	324
22-23	93.0556	335
23-24	93.3333	336
Total		7886

Tableau 7- Eau turbinée à Bienvenue (essai 26/27 juin)

MARTIGNY(Consommation moyenne totale = 60.929 l/s)



Heure	(l/s)	(m ³ /h)
0-1	0.8024	48.8894
1-2	0.8024	48.8894
2-3	0.7796	47.5002
3-4	1.0486	63.8901
4-5	1.1626	70.8361
5-6	1.2173	74.1689
6-7	1.3039	79.4453
7-8	1.6002	97.4986
8-9	1.7416	106.1139
9-10	1.7416	106.1139
10-11	1.6549	100.8314
11-12	1.5729	95.8352
12-13	1.6458	100.2769
13-14	1.5227	92.7766
14-15	1.5227	92.7766
15-16	1.3632	83.0584
16-17	1.4087	85.8307
17-18	1.5364	93.6113
18-19	1.7005	103.6098
19-20	1.5501	94.446
20-21	1.4133	86.111
21-22	1.1899	72.4994
22-23	0.9665	58.8879
23-24	0.8571	52.2222
Total		7042

Tableau 8 - Eau consommée à la Ville de Martigny (essai 26/27 juin)

Niveau initial (0 :00) au réservoir de La Bâtiaz : 535.607 m

Résultats de la simulation

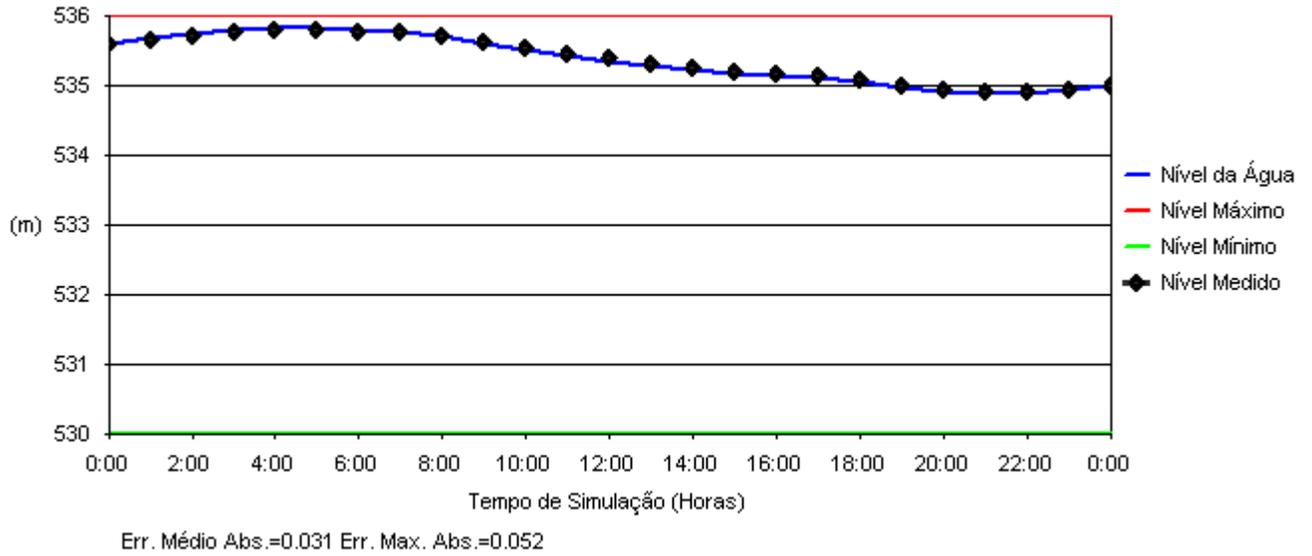


Figure 25 - Variation du niveau d'eau au réservoir de La Bâtiaz (essai 26/27 juin)

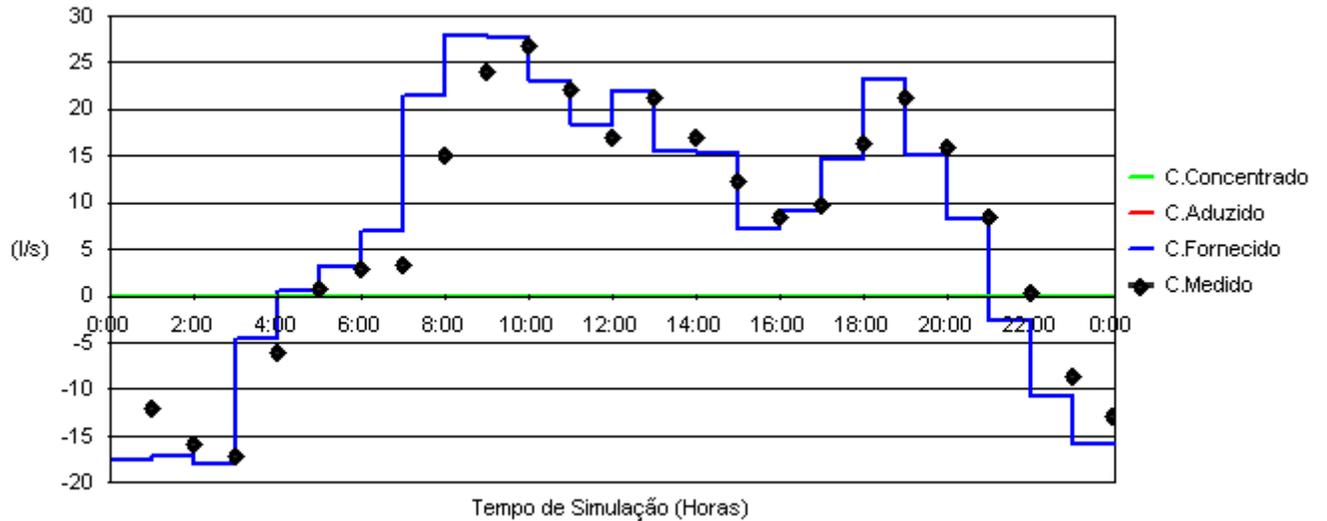
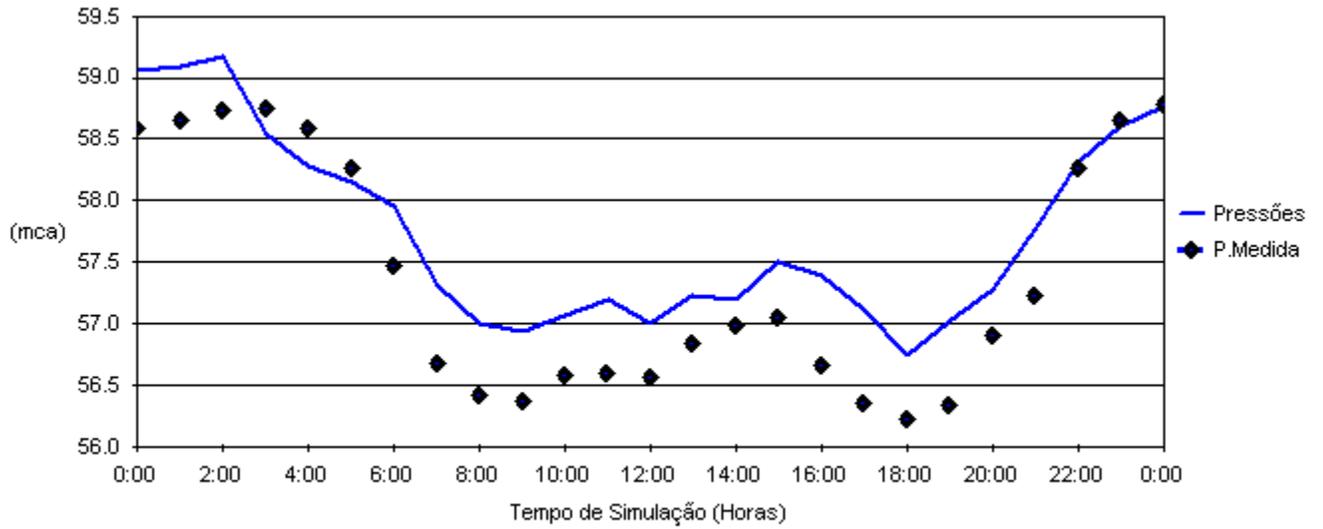
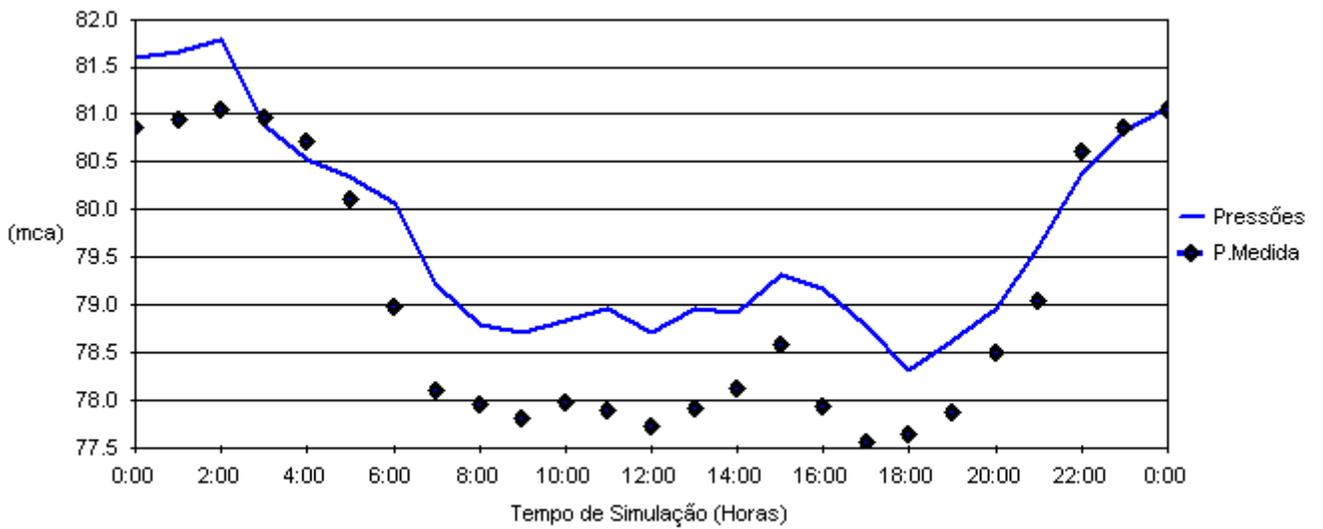


Figure 26 - Courbe du débit au réservoir de La Bâtiaz (essai 26/27 juin)



Err. Médio Abs.=0.419 Err. Max. Abs.=0.754

Figure 27 - Courbe de pression au Bourg (essai 26/27 juin)

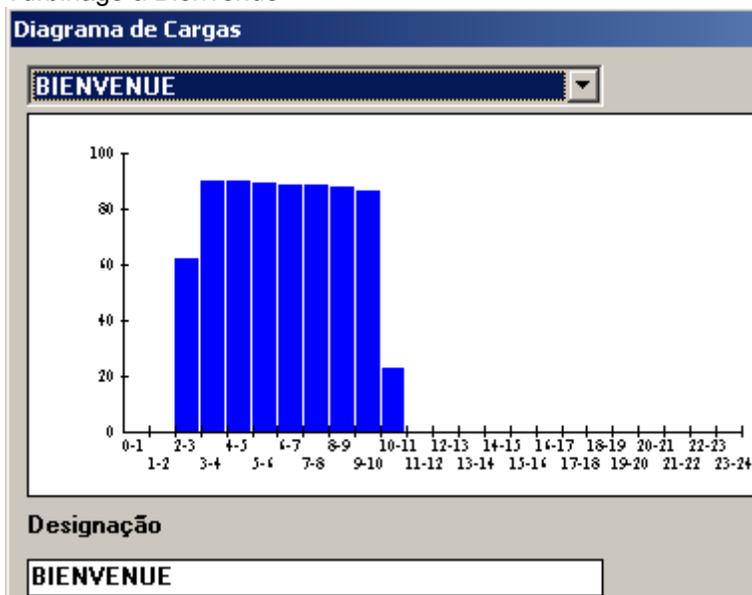


Err. Médio Abs.=0.689 Err. Max. Abs.=1.220

Figure 28 - Courbe de pression au client Panoval (essai 26/27 juin)

Essai 13 octobre 2002

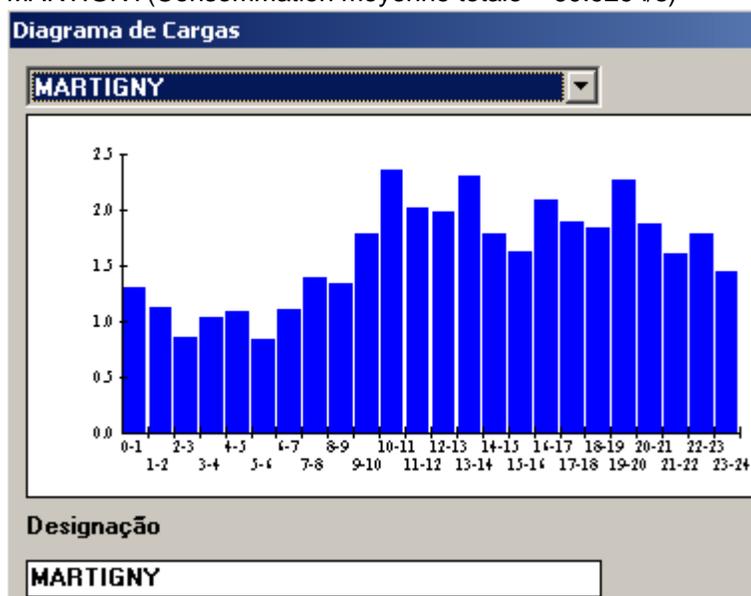
Turbinage à Bienvenue



Heure	(l/s)	(m ³ /h)
0-1	0	0
1-2	0	0
2-3	61.9444	223
3-4	90.2778	325
4-5	90	324
5-6	89.4444	322
6-7	88.6111	319
7-8	88.6111	319
8-9	88.0556	317
9-10	86.6667	312
10-11	23.0556	83
11-12	0	0
12-13	0	0
13-14	0	0
14-15	0	0
15-16	0	0
16-17	0	0
17-18	0	0
18-19	0	0
19-20	0	0
20-21	0	0
21-22	0	0
22-23	0	0
23-24	0	0
Total		2544

Tableau 9 - Eau turbinée à Bienvenue (essai 13 octobre)

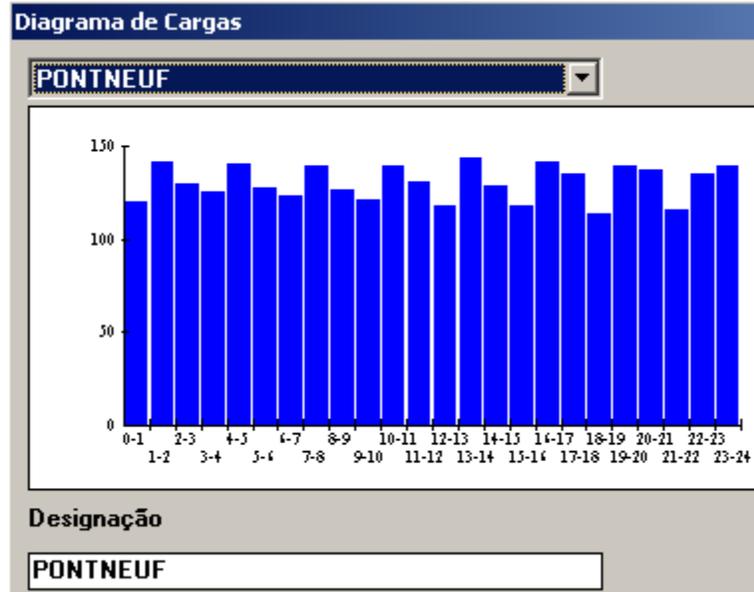
MARTIGNY(Consommation moyenne totale = 60.929 l/s)



Heure	(l/s)	(m ³ /h)
0-1	1.295	78.903
1-2	1.564	95.293
2-3	0.853	51.972
3-4	1.039	63.305
4-5	1.085	66.108
5-6	0.843	51.363
6-7	1.103	67.205
7-8	1.395	84.996
8-9	1.345	81.95
9-10	1.783	108.636
10-11	2.366	144.158
11-12	2.024	123.32
12-13	1.988	121.127
13-14	2.298	140.015
14-15	1.783	108.636
15-16	1.623	98.888
16-17	2.097	127.768
17-18	1.892	115.278
18-19	1.837	111.927
19-20	2.27	138.309
20-21	1.869	113.876
21-22	1.614	98.339
22-23	1.792	109.185
23-24	1.445	88.042
Total		8599

Tableau 10 - Eau consommée à la Ville de Martigny (essai 13 octobre)

Entrée de la chambre de mise en charge



Heure	(l/s)	(m ³ /h)
0-1	120	432
1-2	141.389	509
2-3	129.722	467
3-4	125	450
4-5	140	504
5-6	127.222	458
6-7	123.611	445
7-8	139.722	503
8-9	126.667	456
9-10	120.833	435
10-11	138.889	500
11-12	130.278	469
12-13	118.333	426
13-14	143.611	517
14-15	128.889	464
15-16	117.5	423
16-17	141.389	509
17-18	135.278	487
18-19	113.611	409
19-20	138.889	500
20-21	136.944	493
21-22	115.556	416
22-23	135.556	488
23-24	138.889	500
Total		11260

Tableau 11 - Entrée de la chambre de mise en charge au Pont-Neuf (essai 13 octobre)

Niveau initial (0 :00) au réservoir de La Bâtiaz : 535.026 m

Résultats de la simulation

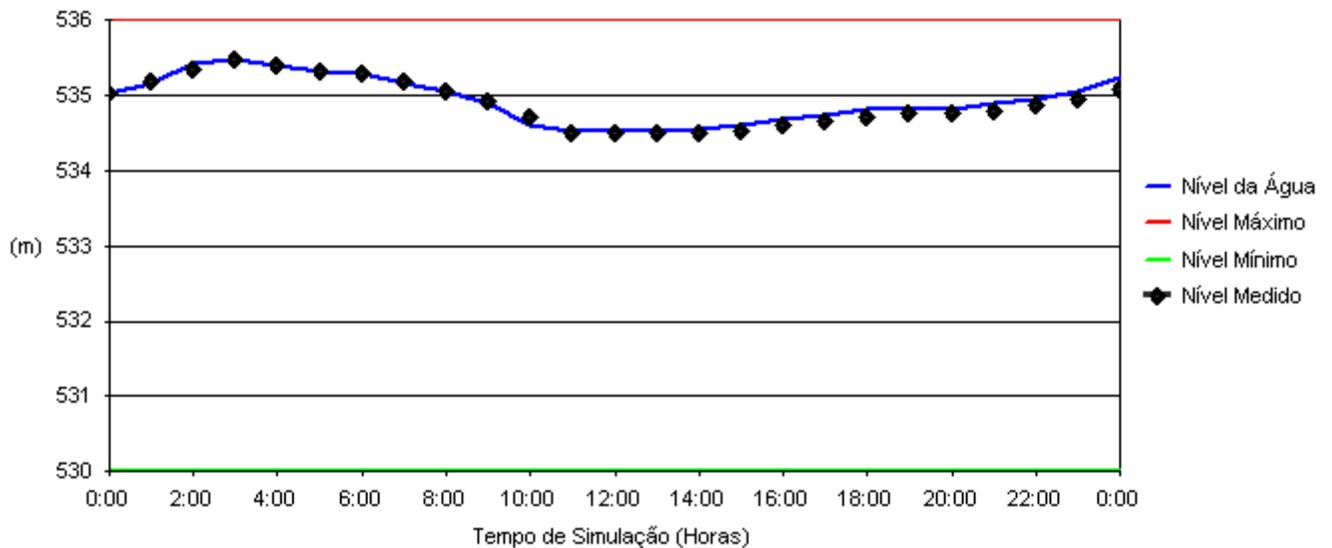


Figure 29 - Variation du niveau du réservoir de La Bâtiaz (essai 13 octobre)

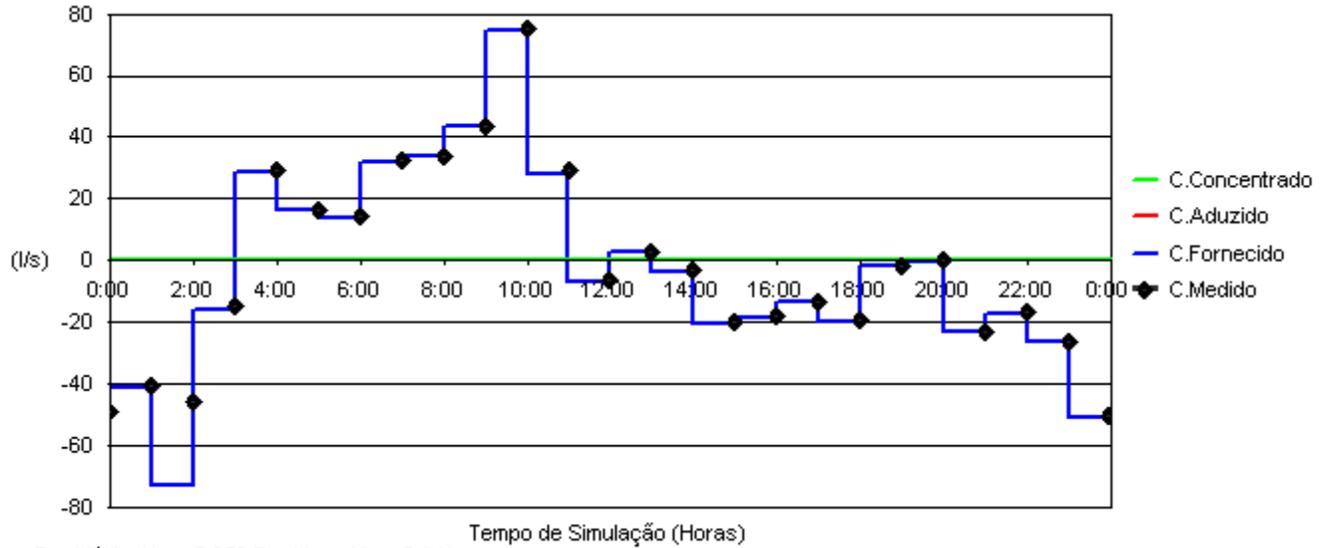


Figure 30 – Courbe du débit au réservoir de La Bâtiaz (essai 13 octobre)

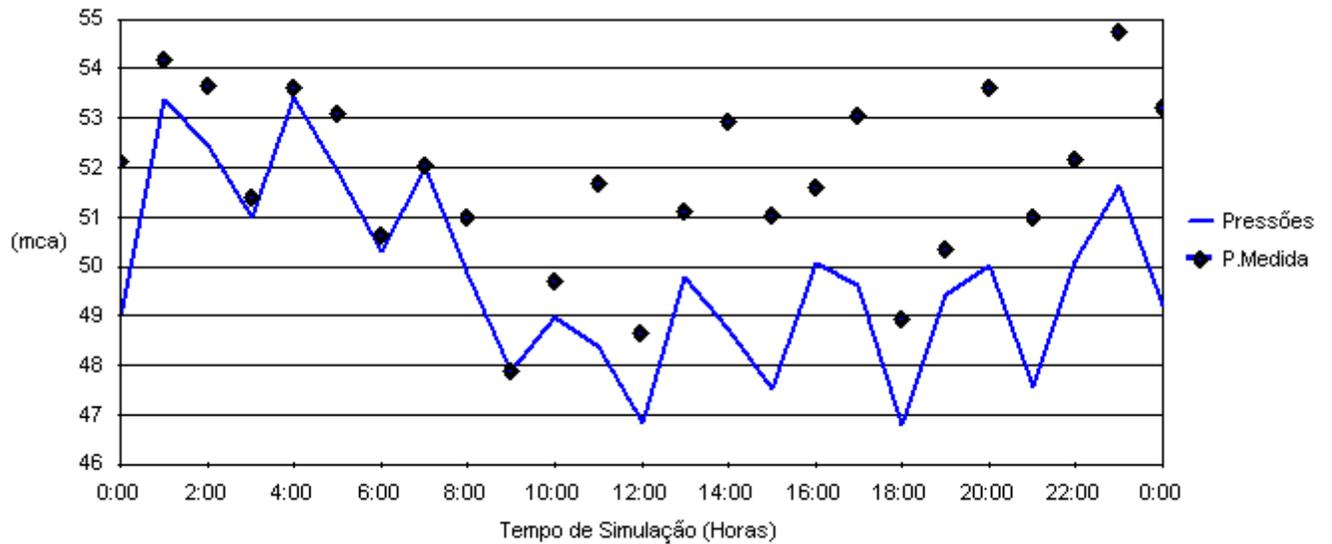


Figure 31 - Courbe de pression au Bourg (essai 13 octobre)

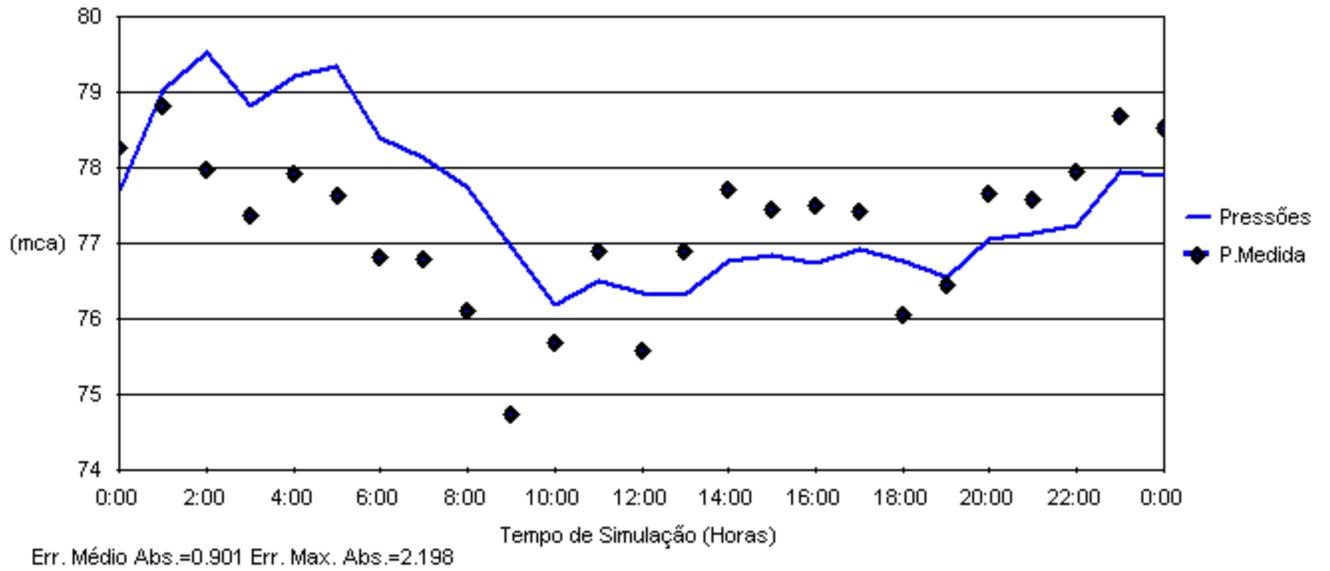


Figure 32 - Courbe de pression au client Panoval (essai 13 octobre)

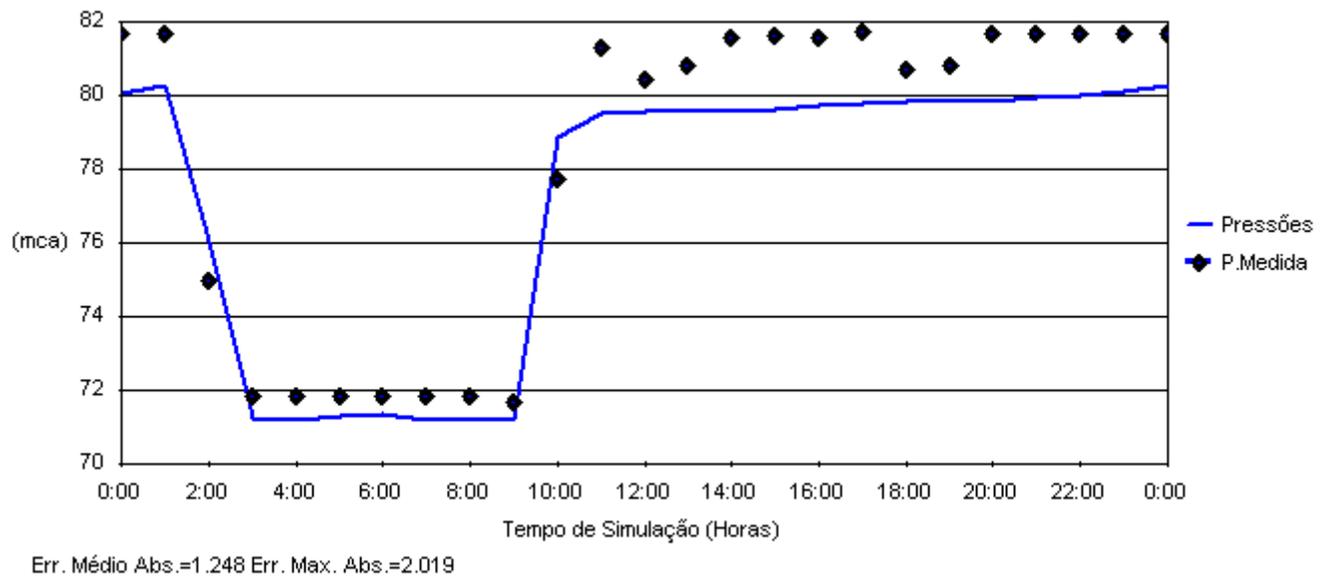
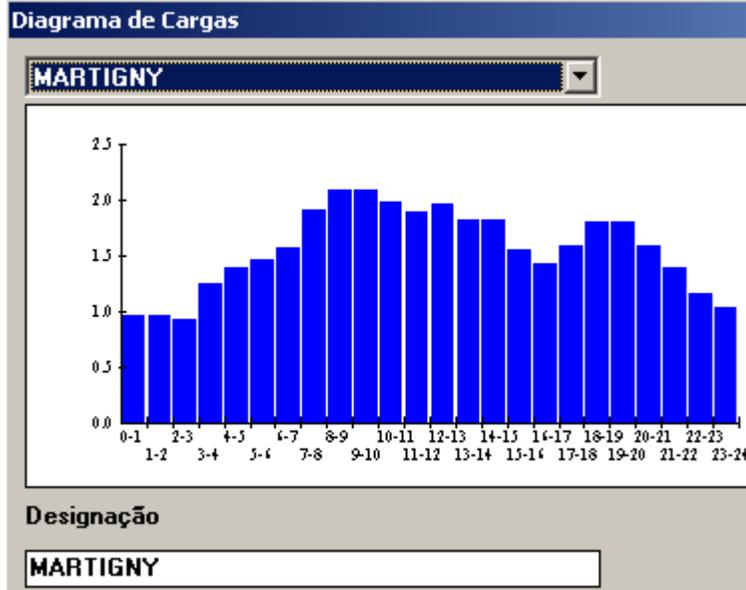


Figure 33 - Courbe de pression à Bienvenue (essai 13 octobre)

Scénario hypothétique

MARTIGNY(Consommation moyenne totale = 60.929 l/s)



Heure	(l/s)	(m ³ /h)
0-1	0.9629	58.6685
1-2	0.9629	58.6685
2-3	0.9355	56.9991
3-4	1.2583	76.667
4-5	1.3951	85.002
5-6	1.4608	89.0051
6-7	1.5647	95.3356
7-8	1.9202	116.9959
8-9	2.0899	127.3355
9-10	2.0899	127.3355
10-11	1.9859	120.9989
11-12	1.8875	115.0035
12-13	1.9750	120.3348
13-14	1.8272	111.3295
14-15	1.8272	111.3295
15-16	1.5530	94.6227
16-17	1.4330	87.3113
17-18	1.6000	97.4864
18-19	1.8000	109.6722
19-20	1.8000	109.6722
20-21	1.6000	97.4864
21-22	1.4000	85.3006
22-23	1.1598	70.6655
23-24	1.0285	62.6655
Total		8828

Tableau 12 - Eau consommée à la Ville de Martigny (scénario hypothétique)

D'après les consommations choisies, le volume du réservoir attendrait les 3500 m³ à 2h00, ce qui provoque le démarrage de la pompe 1 qui resterait en fonctionnement jusqu'à 21h00 (volume de La Bâtiaz a 4000 m³).

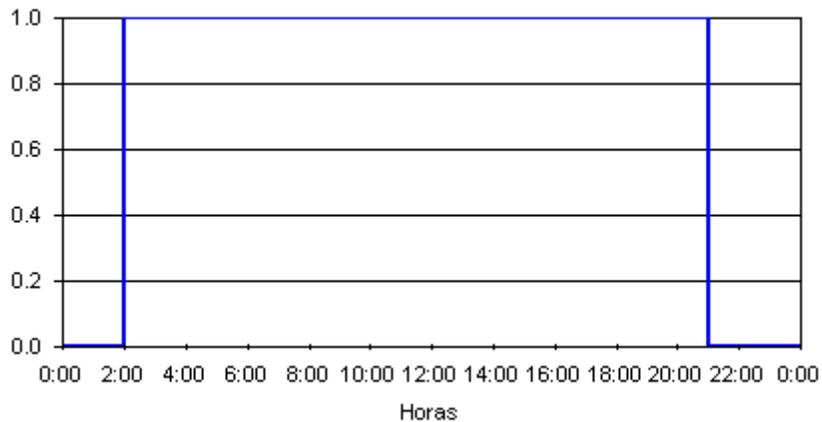


Figure 34 – Diagramme temporel de fonctionnement de la pompe 1 (scénario hypothétique)

Le démarrage de la pompe 2 aurait lieu à 15h00 (volume de La Bâtiaz a 3000 m³) et resterait en fonctionnement jusqu'à 23h00 (volume de La Bâtiaz a 4200 m³).

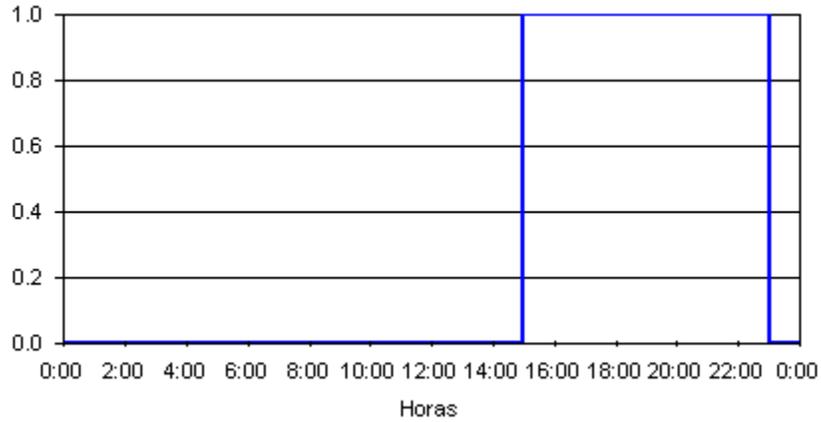


Figure 35 – Diagramme temporel de fonctionnement de la pompe 2 (scénario hypothétique)

Niveau initial (0 :00) au réservoir de La Bâtiaz : 534.000 m

Résultat de la simulation

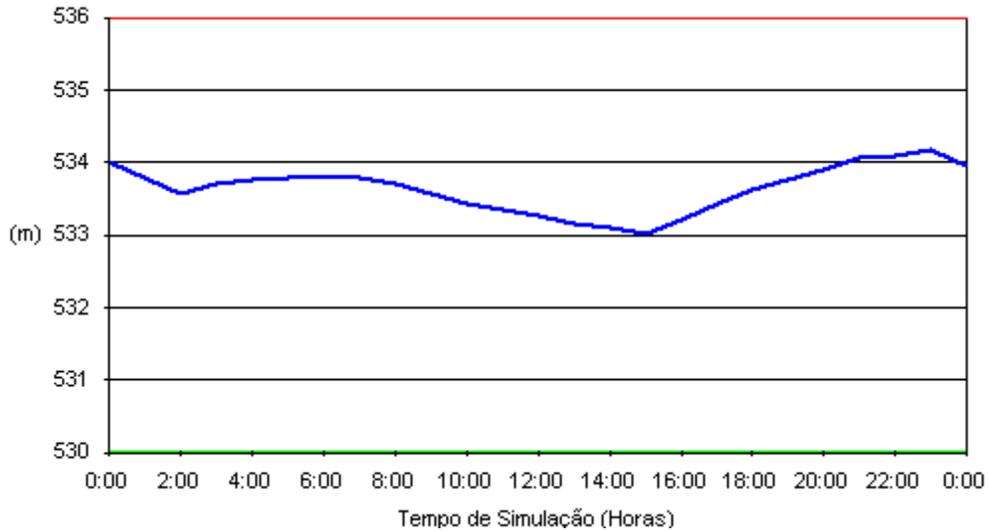


Figure 36 - Variation du niveau du réservoir de La Bâtiaz (scénario hypothétique)

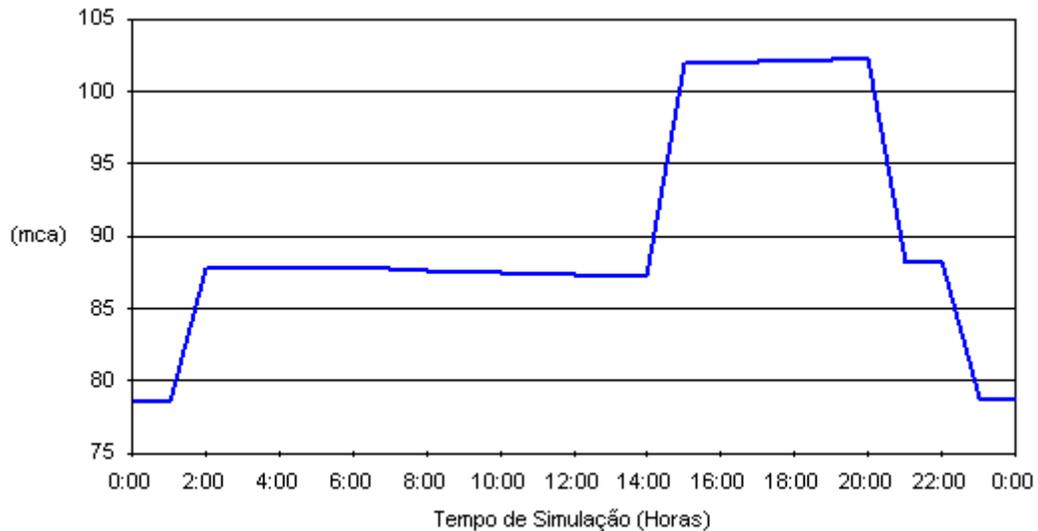


Figure 37 – Courbe de pression à Bienvenue (scénario hypothétique)

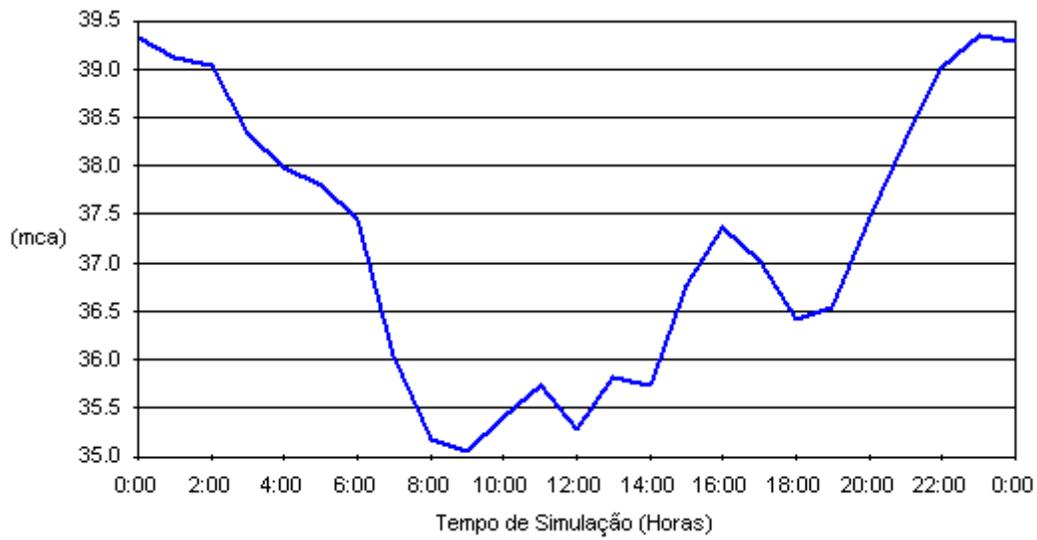


Figure 38 – Courbe de pression au Bourg (scénario hypothétique)

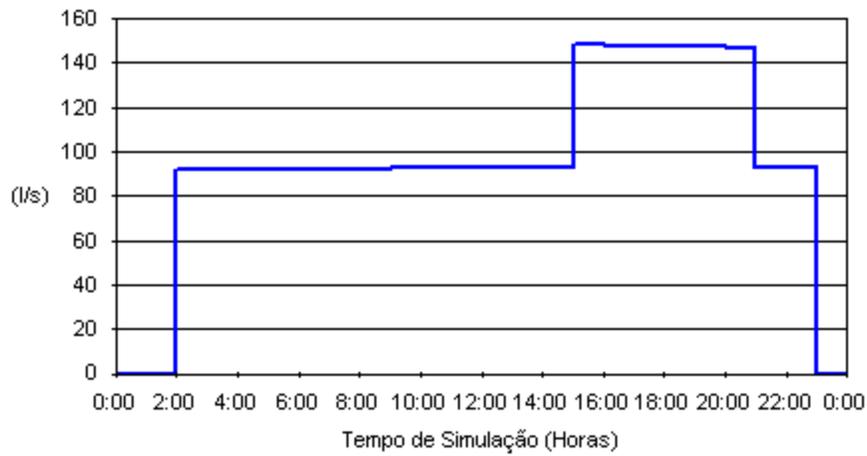


Figure 39 – Courbe de débit à Bienvenue (scénario hypothétique)

Conclusion

Plusieurs facteurs ont conditionné les résultats du développement du modèle, notamment :

- Les données incomplètes par rapport à l'endroit de branchement des abonnés au réseau ;
- Les relevées cadastrales incomplètes ;
- Les mesures hydrauliques insuffisantes ;

Plusieurs améliorations peuvent être envisagées. Cela dépend, bien sur, des besoins dans ce domaine et du niveau d'exactitude à définir pour le modèle.

D'autres facteurs, intrinsèques au modèle lui-même, sont toujours présents dans ce type d'analyse, comme par exemple, le fait que les consommations soient concentrées dans les nœuds, quand, en effet, elles se vérifient au long des conduites, le fait de la variation temporelle des consommations soit discrétisée dans le temps ou les erreurs associées à l'approximation du fonctionnement de quelques éléments (ex. pompes) par des expressions mathématiques.

Malgré cela, le modèle permet déjà une compréhension raisonnable du comportement du réseau.

Quelques travaux supplémentaires doivent être envisagés :

- Réalisation d'essais sur quelques conduites du réseau de façon à mieux estimer leur rugosité (utilisation des essais d'hydrants) ;
- Comparaison de résultat de simulations dans des conditions de fonctionnement où les pompes se trouvent en marche (cela n'a pas été possible durant la période de stage) ;
- Installation de capteurs de pression et de débits dans les conduites maîtresses du réseau ;
- Installation d'un capteur de niveau à la chambre de mise en charge au Pont-Neuf (le niveau d'eau varie quand le débit disponible à l'entrée est réduit) ;
- Validation plus précise de quelques informations de topographie ;
- Application de méthodes automatiques de calibrage ;
- Analyses de sensibilité.

Suite à donner

L'expérience acquise au long du processus de construction du modèle a permis l'identification de quelques aspects qui contribuent pour l'utilisation peu fréquente de ces modèles. C'est, en effet, un processus plus ou moins long et de mise à jour difficile étant donnée la dynamique qui caractérise ces types de systèmes. Les données sont souvent dispersées, stockées dans des systèmes hétérogènes ou le problème d'interopérabilité est normalement présent. L'intégration des résultats des simulations dans les systèmes de gestion opérationnelle ou des systèmes d'aide à décision est aussi une tâche complexe.

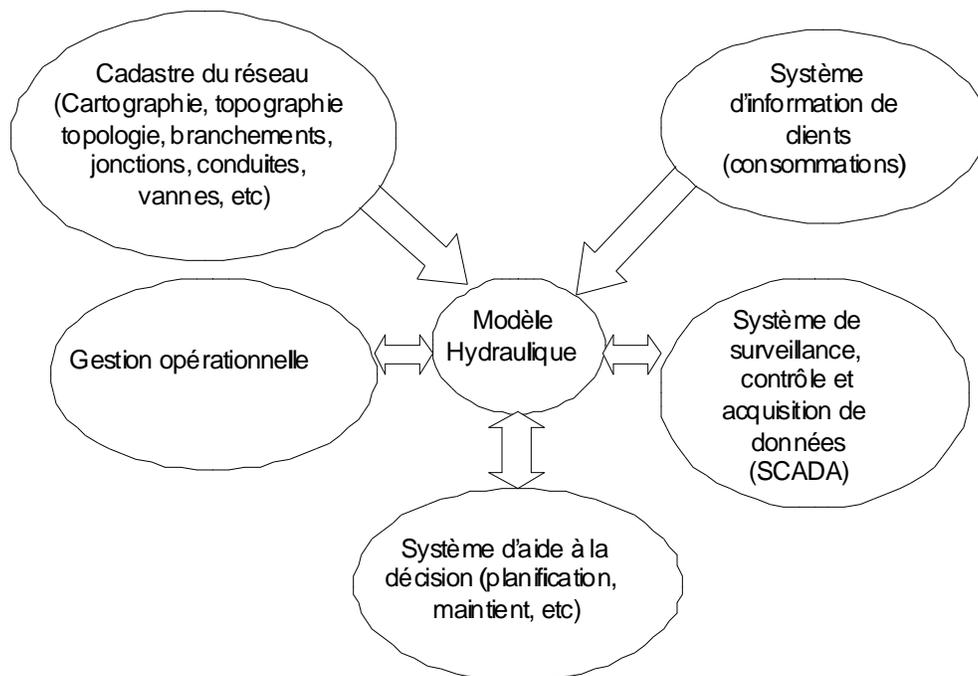


Figure 40 – Flux des données des principaux systèmes reliés aux modèles des réseaux d'eau

En conséquence de l'utilisation banalisée des ordinateurs dans les organisations, sans que, dans la plupart des cas, la question de l'interopérabilité des données fut considérée, un nombre d'applications et de système de gestion de base de données (SGBD) diverses a été installé. L'habileté de créer de nouvelles bases de données interopérable est un facteur critique au développement de nouveaux systèmes d'informations. Du point de vue technologique, plusieurs solutions d'intégration sont disponibles, soit par des applications spécifiques qui interconnectent des paires de SGBD, soit par la conception de base de données virtuelle basé sur des SGBD distribués. Néanmoins l'existence des solutions technologiques, les modèles

conceptuels des données sont le support à l'intégration cohérente et consistante des systèmes d'informations au sein des organisations.

La gestion des réseaux d'eau doit être intégrée dans un cadre plus élargie de gestion des services communaux. Les systèmes d'information géographique (SIG) sont de plus en plus important dans ce domaine. C'est une expérience déjà acquise, bien maîtriser et de plus en plus présente dans les cycles de la décision communale. La technologie SIG supporte le développement des systèmes d'informations du territoire (SIT) dans les activités comme la gestion cadastrale et foncière, l'urbanisme et aménagement du territoire, les réseaux, le patrimoine ou les informations au public. La création et maintient d'un SIT est un processus dynamique en évolution constante qui doit être envisagée comme étant naturellement liée à des partenaires extérieurs avec lesquels les informations doivent aisément être échangées.

Dans le domaine plus restreint des réseaux d'eau et ayant pour but l'interopérabilité des données, Il est donc nécessaire de définir, en terme conceptuel, un modèle intégrateur de données associé a un modèle d'échange de données. Cela ne veut pas dire que tous les systèmes intervenants doivent être redéfinis en fonction du nouveau modèle de données mais leur participation dans cette plate-forme d'échanges doit supporter un même modèle. Cet abordage oblige au développement d'une seule interface par système.

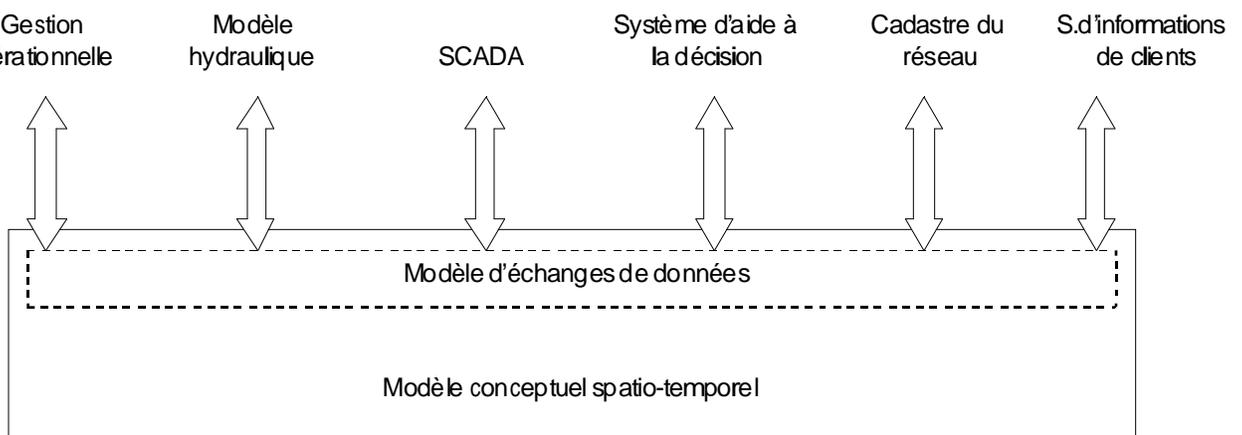


Figure 41 – Intégration des données

Les avantages de la modélisation conceptuelle sont connues, particulièrement l'indépendance du modèle conceptuel des modèles logiques qui assureront sa mise en œuvre. D'autre part, le modèle conceptuel restera valable en cas de changement

technologique car seule la traduction du schéma conceptuel en schéma logique sera affectée. Par sa lisibilité, la modélisation conceptuelle favorise les échanges d'information entre différents systèmes, applications et organisations.

Les données traitées dans ces systèmes sont de nature classique (structurée ou semi-structurée) mais aussi de nature spatiale et temporelle. À la complexité des modèles conceptuels classiques, il faut ajouter les difficultés supplémentaires des aspects spatio-temporels. De plus, on ne dispose que soit des modèles logiques classiques, qui ignorent les concepts spatio-temporels, soit des modèles intrinsèques des SIG qui reflètent les techniques d'implantation interne plutôt que les aspects de niveau conceptuel.

Après avoir développé le modèle conceptuel, un abordage structuré de la mise en pratique de ces concepts doit être envisagé. L'Internet est de nos jours le véhicule de référence pour l'accès à des sources d'information internes et externes à une organisation. L'utilisation correcte de ces informations dépend de la capacité de comprendre leur sémantique. Plusieurs technologies, normes et spécifications émergent dans ce domaine notamment :

- Le langage XML (*eXtensible Markup Language*) et toutes les spécifications associées (XML Schema, XSL, XSLT, XPath)
- Le langage GML (*Geography Markup Language*) est une recommandation du consortium OpenGIS, qui est basé sur le langage XML et qui définit une spécification pour le transport et le stockage d'information géographique, incluant des propriétés spatiales et non spatiales des éléments géographiques.
- Le langage SVG (*Scalable Vector Graphics*) est une recommandation W3C pour la représentation de vecteurs bidimensionnels et images graphiques *raster* en XML.

Un abordage structuré de la mise en pratique de ces concepts et technologies dans le domaine de la gestion des réseaux d'eau est sans doute un défi et un sujet de recherche et développement.

Remerciements

L'auteur de ce rapport tient à exprimer sa gratitude à M. Jean-Marc Revaz, Administrateur-délégué du CREM, pour avoir gentiment accédé à la réalisation de ce stage si enrichissant du point de vue personnel et professionnel, à M. Christophe Matas pour sa précieuse et inestimable collaboration, à l'ensemble du personnel du CREM pour leur accueil sympathique, à l'ensemble du personnel de Sinergy SA pour le temps consacré dans les réponses aux demandes de renseignements techniques et leur collaboration efficace et patiente, particulièrement à M. Patrick Pralong.

L'auteur tient aussi à remercier chaleureusement ses partenaires de bureau.