



MODELE DE SIMPLIFICATION DES RESEAUX D'EAU POTABLE

MODEL OF SIMPLIFICATION OF DRINKING WATER NETWORKS

HARROUZ O.¹, BRÉMOND B.², HABI M.³, HARROUZ A.⁴

¹ Institut des Sciences de la Nature et de l'Agro-alimentaire de Bordeaux (ISNAB) - 2 Impasse Charles Tellier, 33140 Villenave-d'Ornon – Bordeaux, France.

² Institut national de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture (IRSTEA – UR ETBX). Centre de Bordeaux.

³ Université de Tlemcen ; Faculté de Technologie ; Département d'Hydraulique ; B.P. 230. Tlemcen.

⁴ Département de Génie Electrique Laboratoire d'Energie, Environnement et Système d'Informations (LEESI), Université d'Adrar, Algérie

harrouz@isnab.fr

RESUME

Cet article traite le problème de la simplification des réseaux d'alimentation en eau potable. Il s'agit de schématiser les tronçons d'un réseau d'A.E.P. en gardant fixe le nombre de nœuds. Nous cherchons tout d'abord à recouvrir tous les nœuds par un arbre puis nous proposons le meilleur choix itératif des tronçons maillants à ajouter à cet arbre. En l'absence de connaissance hydraulique du réseau complet à modéliser et afin d'approcher le choix précédent, le choix des tronçons proposé s'appuie sur des valeurs estimées des pertes de charges dans les nouveaux tronçons et prend en compte les nouvelles mailles créées. Pour l'illustration de cette technique de simplification des applications sur des réseaux réels ont été examinées. Les résultats de ces applications sont très intéressants dans le cas de la modélisation de la qualité d'eau dans les réseaux. Le modèle proposé sera donc une des passerelles réalistes entre les SIG et les modèles de calcul hydraulique.

Mots clés : réseaux d'alimentation en eau potable ; simplification ; tronçons ; nœuds ; choix itératif

ABSTRACT

This article deals with the simplification of drinking water networks issues. It consists in systemizing sections of the drinking water supply network by keeping fixed the number of nodes. First, we aim to connect all the nodes with arcs, and then we recommend the best iterative choice for the gill sections to add into the arc's structure. In the absence of knowledge regarding the hydraulic system of the full network to be modeled, and, in order to approach the previous choice, the choice of the suggested sections is based on estimated values of the pressure losses in the new sections and takes into account the new meshes created. To illustrate this skeletonization technique, its application on real networks has been examined. The results of these applications are very interesting especially in the case of the modelization of the water quality in the networks. The suggested model will be one of the realistic bridges between the Geographic Information System and the hydraulic calculation.

Key words: drinking water networks; simplification; sections (arcs), nodes, iterative choice.

INTRODUCTION

Dans la modélisation, la qualité des résultats de calcul dépend des hypothèses du modèle. Une des difficultés fondamentales dans l'élaboration d'un modèle de réseau d'eau est sa construction. Quels nœuds et quels tronçons faut-il retenir ? Cet article essaie de répondre uniquement au problème de sélection des conduites afin de schématiser de façon simplifiée les réseaux d'AEP.

Le graphe du réseau est par définition une représentation schématique du réseau réel qui doit représenter de manière aussi complète que possible les ouvrages, mais en même temps simplifier la réalité, pour élaborer une structure dont la taille soit compatible avec les performances des outils.

Avec le progrès de l'informatique, certaines machines sont en mesure actuellement de calculer des réseaux, pour certains types de modèles, avec un grand nombre de conduites. Mais le problème se pose au niveau de la lisibilité, le traitement et surtout le temps de calcul pour des modèles tel que les modèles de qualité d'eau dans les réseaux.

L'apparition des Systèmes d'Informations Géographiques, qui permettent une information exhaustive jusqu'à identifier l'abonné, entraîne la même nécessité de simplification pour aborder les calculs hydrauliques. Enfin pour les

nombreux réseaux sur lesquels ces systèmes sophistiqués de représentation de données n'existent pas, l'exigence simplificatrice est synonyme d'économie financière car l'acquisition et la maintenance de données sont toujours des opérations onéreuses.

La simplification dépend de la structure du réseau, de la répartition des abonnés sur le réseau et surtout de *l'objectif fixé* par le modélisateur dès le départ (Delattre, 1991 ; Hauguel, 1991 ; Viessman et al., 1985 ; Harrouz, 1996).

La simplification, selon les pratiques actuelles, consiste surtout à la suppression des conduites de faibles diamètres (100 mm voir 125 mm), des conduites de faibles longueurs, des conduites en antenne, à la fusion des arcs parallèles et à l'agglomération des abonnés en nœud après suppression des antennes qui les desservait.

Walski (1983) et Eggener (1976) préconisent de supprimer les conduites de faibles diamètres ou de faibles longueurs dans la schématisation d'un réseau quand elles sont perpendiculaires à la direction du débit, ou quand elles sont proches d'une conduite de grand diamètre, ou quand elles sont en aval d'une grande consommation ou se trouvent à côté d'une source (Bhave Pramond, 1988). Certains auteurs préconisent de simplifier tous les diamètres inférieurs à 6 pouces (≈ 150 mm) voire 8 pouces et de ne pas dépasser, entre les nœuds, une longueur de 600ft (≈ 180 m), (Viessman et all, 1985).

Pour les modèles de qualité, certains modélisateurs prennent comme réseau simplifié un réseau dont les diamètres des conduites dépassent 8 pouces (20.3 cm) voire 12 pouces (30.5 cm), (Lewis 1994). Signoret (1995), prend dans son analyse du suivi de la concentration du chlore dans un réseau de 418 tronçons, un seuil en diamètre de 300mm, le diamètre maximum étant de 800 mm.

Grayman (1991), précise que les performances du modèle utilisé dépendent de l'objectif fixé et de la schématisation du réseau. Il a étudié sur un réseau de la région du Connecticut, l'influence de la simplification sur les résultats de calcul. Le critère de sélection était uniquement le diamètre.

Le lien entre le degré de schématisation et la précision des calculs est mal connu. Il n'existe donc que des règles empiriques de simplification non justifiées. Ces règles sont guidées par l'intuition et l'expérience du modélisateur dans la schématisation des conduites d'un réseau.

Harrouz (1996), a étudié l'impact de la simplification des réseaux sur le diagnostic en étudiant l'influence de la simplification sur les charges aux nœuds, sur les débits dans les tronçons et sur les paramètres du réseau à savoir

les demandes des consommateurs et les rugosités dans les conduites. Afin de garantir une cohérence hydraulique entre le réseau complet et le réseau squelettisé, il a fixé des seuils de simplification à ne pas dépasser qui ne tient compte que des caractéristiques physiques des conduites. L'inconvénient, est que cette procédure ne permet qu'une simplification minimale du réseau.

Cet article propose une nouvelle approche de représentation des réseaux. Dans une première partie connaissant les débits et les charges dans le réseau complet, on construit le réseau simplifié optimal ou réseau simplifié de référence constitué d'un nombre donné de tronçons.

Dans une deuxième partie nous proposons un modèle de simplification qui nous rapproche du choix obtenu dans la première partie. Dans les deux cas le réseau de départ est un arbre recouvrant tous les nœuds.

DEFINITIONS

Le réseau d'eau potable sous pression est décrit comme un graphe orienté, simple (deux nœuds ne sont reliés que par un seul arc), connexe et sans boucle.

Soit $G=(X,U)$ le graphe représentant le réseau, X est l'ensemble des nœuds du réseau, et U l'ensemble des arcs où $\text{Card}(U)=a$ et $\text{Card}(X)=N=f+n$. Avec "a" le nombre d'arcs, "n" le nombre de nœuds simples, "f" le nombre de nœuds à charge fixée et " $N=n+f$ " le nombre total de nœuds.

Toutes les informations topologiques du réseau sont contenues dans la matrice A^N ([Piller 1995] ; [Brémond 1996]). Cette matrice permet de connaître le sens d'orientation des arcs par rapport à leurs nœuds d'extrémités.

A^N est la matrice d'incidence nœud-arc, et de la forme :

$$A^N = (A_{ij}^N)_{1 \leq i \leq N, 1 \leq j \leq a} \in M_{N,a}$$

avec

$$A_{ij}^N = \begin{cases} 1 & \text{si l'arc } j \text{ est orienté sortant de } i \\ -1 & \text{si l'arc } j \text{ est orienté entrant en } i \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

$A^N = \begin{pmatrix} A \\ A^f \end{pmatrix}$ se décompose en deux sous-matrices, $A^f \in R_{f,a}$, la matrice d'incidence noeud-arc réduite aux noeuds réservoirs, et $A \in R_{n,a}$, la matrice d'incidence noeud-arc réduite aux noeuds simples.

Par ailleurs il existe $A_1 \in R_{n,n}$, inversible et $A_2 \in R_{n,a-n}$ tel que $A = (A_1 \ A_2)$ où A_1 est une matrice triangulaire supérieure avec uniquement des -1 sur la diagonale.

La perte de charge linéaire correspond à l'énergie dégradée en chaleur le long de la conduite est la suivante :

$$\xi_i = r_i \cdot q_i |q_i|^{0.852} \quad (1)$$

où

$r \in R^a$, le vecteur des résistances dans les conduites, calculé par l'équation

$q \in R^a$, le vecteur débit dans les tronçons,

$\xi(r, q) \in R^a$: le vecteur des pertes de charges sur les arcs.

Dans ce qui suit, la perte de charge est exprimée par l'équation d'Hazen-Williams,

$$r_i = \frac{10.67 L}{C^{1.852} \Phi^{4.87}} \quad (2)$$

où " L_i " est la longueur de la conduite i , " ϕ_i " le diamètre de la conduite i et " C_i " le coefficient de rugosité de la conduites i appelé aussi coefficient de Hazen-Williams.

Posons :

$h^f \in R^f$, le vecteur charge aux noeuds réservoirs,

$d \in R^n$, le vecteur des consommations aux noeuds simples,

$h \in R^n$, le vecteur charge aux noeuds simples.

De (1) nous pouvons écrire que : $|q_i| = \mu_i^c |\xi_i^{1/\alpha}|$ avec $\alpha = 1.852$

où μ_i est défini comme la conductance de la conduite i ($\mu_i = r_i^{1/\alpha}$) :

$$\mu_i = \frac{\Phi^{4,87/\alpha}}{(10.67 L_i)^{1/\alpha}} C_i \quad (3)$$

Cet indice tient compte de la longueur, du diamètre de la conduite et de son état interne. On peut penser qu'il caractérise une capacité de débit et que les faibles indices μ_i conduisent à des faibles débits q_i dans les arcs i .

AGGLOMERATIONS DES ABONNES

Le réseau d'alimentation en eau potable est représenté par un graphe où les arcs que nous appellerons tronçons, sont des conduites de caractéristiques homogènes (mêmes diamètres, mêmes rugosités et mêmes débit) et les sommets que nous appellerons nœuds, sont soit des nœuds de jonction entre conduites de caractéristiques différents, soit des nœuds de consommations, soit des réservoirs (ou assimilés).

La répartition des débits prélevés en chaque nœud du réseau dépend du milieu rural ou urbain, de la structure du réseau, maillé ou ramifié et de la finesse de l'analyse souhaitée.

Il existe très peu d'informations sur la façon de regrouper les abonnés et d'allouer une consommation sur un nœud d'un réseau. Dans une rue où la densité des branchements est constante, on admet qu'il est équivalent de supposer que les abonnés sont répartis également de part et d'autre du tronçon.

Considérons une conduite d'extrémité initiale "a" et d'extrémité finale "b", où les abonnés sont uniformément répartis entre les nœuds a et b. Si on suppose des pertes de charge proportionnelles au carré du débit, on montre que les pertes de charge dans le tronçon sont équivalentes à celles qui existeraient si 45% de la sortie sur le tronçon ab étaient concentrés en "a" et 55% en "b" (Roche, 1995). Comme il est impossible à l'avance de connaître les sens d'écoulement sur un réseau maillé, certains conviennent de répartir 50% de sortie sur le tronçon ab en "a" et autant en "b" (Cemagref, 1988). Nous n'avons trouvé aucune analyse concernant le lien entre la précision des résultats et celle de la schématisation lorsque nous procédons de cette façon.

Harrouz (1996), dans le but d'alléger le réseau, propose une méthode d'agglomération des abonnés selon un critère de distance autour de certains nœuds distincts du réseau appelés des nœuds fixes. Il s'agit des nœuds de connexion des conduites entre elles, des changements de diamètre, des départs

d'antennes. Il considère cette agglomération comme une première étape de simplification avant de simplifier les tronçons du réseau. Il affecte un débit fictif à chacun des abonnés, afin de représenter le comportement moyen de l'ensemble. Sur le réseau de la Salvetat Saint Gilles situé dans la banlieue Ouest de Toulouse, l'agglomération des abonnés ainsi faite conduit à des charges dans le réseau simplifié qui sont très proche de celles du réseau réel.

Nous supposons, pour la suite de cet article, que les abonnés ont été déjà agglomérés et répartis sur les nœuds du réseau.

METHODES D'APPROCHE DE LA SIMPLIFICATION

Réseau complet de référence et réseau simplifié

On appelle réseau complet de référence le réseau connexe comprenant tous les nœuds et toutes les conduites.

La première étape de la construction du réseau simplifié consiste à extraire du graphe $G(X,U)$ du réseau complet un arbre recouvrant tous les nœuds $G'(X,U')$ où $\text{card}(U')=N-1$. Ce graphe est le réseau de base considéré comme le réseau le plus simplifié appelé ici réseau minimal simplifié.

Pour ce faire, on associe à chaque arc i de U un poids égal à sa conductance hydraulique μ_i . Ce poids est donc fonction des caractéristiques physiques des conduites : diamètre, longueur et état interne. Le réseau minimal simplifié est un arbre de poids maximum où on privilégie les conduites de forte conductance, c'est à dire les conduites hydrauliquement importantes a priori. On recherche donc l'arbre G' de poids maximum recouvrant tous les nœuds en utilisant un algorithme tel que celui de PRIM. Il est à noter que le choix n'est pas nécessairement unique.

Passage optimal du réseau minimal au réseau complet de référence

Soit E l'ensemble des arcs pouvant être ajoutés à l'arbre G' . $\text{Card}\{E\} = a-n$. Ces arcs appartiennent au co-arbre $U \setminus U'$. La procédure pour passer de G' à G comprend e étapes.

A la première étape, on ajoute parmi les arcs du coarbre, l'arc qui minimise l'erreur sur les charges entre celles du réseau complet h_i^{rc} et celles du nouveau graphe obtenu h_i^1 suivant la norme du vecteur des différences de charges :

$$\sqrt{\sum_{i=1}^n (h_i^1 - h_i^{rc})^2}$$

On obtient ainsi G'_1 . Ce nouveau graphe comprend une maille et correspond au niveau 1 de simplification ou degré de maillage 1.

Dans les étapes suivantes, on examine l'introduction des autres arcs du coarbre, *sans mettre en cause les choix précédents des arcs* déjà introduits. Ainsi à l'étape k , G' a été augmenté de $k-1$ arcs. On choisit un nouvel arc, conduisant à un graphe G'_k dont les charges h_i^k minimisent

$$\sqrt{\sum_{i=1}^n (h_i^k - h_i^{rc})^2}$$

G'_k comprend k mailles et correspond au niveau k de simplification ou degré de maillage k .

Le choix de cet algorithme glouton a été retenu pour approcher la solution optimale en raison de la combinatoire du problème. Il conduit à une suite d'arcs retenus, $\{e_1, e_2, e_k, \dots, e_{a-n}\}$ qui est appelé *choix optimal*.

Nous allons maintenant voir comment on peut approcher cette solution sans calcul préalable sur le réseau complet.

METHODES DE SELECTION SUR CRITERES PHYSIQUES

Diamètre (SD)

La procédure adoptée est d'ajouter, partant du réseau minimal simplifié G' , les arcs maillants qui ont les diamètres les plus importants.

Volume (SV)

A partir de l'arbre G' , les arcs sont introduits dans l'ordre décroissant des volumes.

Conductance (SC)

La procédure adoptée est d'ajouter, partant du réseau minimal simplifié, les arcs maillants qui ont les indices de conductance les plus importants,

METHODE DE SELECTIO SUR CRITERES PHYSIQUES ET TOPOLOGIQUES (ST)

L'équilibre du réseau maillé revient à chercher les débits dans les arcs et les charges aux nœuds qui vérifient les deux types d'équation suivants :

- Conservation de la masse : la somme algébrique des débits en chaque nœud simple est nulle, ce qui se traduit matriciellement par l'équation :

$$A.q+d=0 \quad (5)$$
- Conservation de l'énergie : la perte de charge sur un tronçon est égale à la différence de charge entre l'extrémité finale et l'extrémité initiale et qui est exprimée de façon matricielle pour l'ensemble des arcs comme :

$$\xi(q)-{}^tA.h-{}^tA^f.h^f = 0 \quad (6)$$

Posons $q = \begin{pmatrix} q^b \\ q^c \end{pmatrix}$ où q^b désigne les composantes de q sur l'arbre, q^c les composantes sur le coarbre E.

La décomposition de A et celle de q sur l'arbre et le coarbre permettent d'écrire l'équation 5 :

$$(A_1 \ A_2) \cdot \begin{pmatrix} q^b \\ q^c \end{pmatrix} = -d$$

Donc : $q^b = -A_1^{-1} \cdot (d + A_2 \cdot q^c)$ et de façon vectorielle :

$$q = {}^tM_0 \cdot q^c + q_d \quad (7)$$

Avec

$$M_0 = \left(-{}^t(A_1^{-1} \cdot A_2) \mid I_{a-n} \right) \quad (8)$$

$$q_d = \begin{pmatrix} -A_1^{-1} \cdot d \\ 0_{a-n} \end{pmatrix}$$

On appelle matrice d'incidence maille-arc augmentée, la matrice $M_0 \in \mathbb{R}_{a-n,a}$. I_{a-n} matrice d'identité de "a-n" colonnes et lignes.

Les "a-n" lignes correspondent soit à des chaînes entre nœuds réservoirs, soit à des cycles. q^c représente donc les débits de mailles dans les arcs du coarbre et les débits sur les chaînes entre réservoirs, correspondant au $i^{i\text{ème}}$ vecteur-ligne de M_0 .

Selon (7), le débit sur un arc s'obtient comme la somme algébrique des débits de mailles circulant dans les différentes chaînes entre réservoirs ou cycle auxquels il appartient d'ajouter un débit q_d tenant compte de d . En remplaçant dans (6) et en multipliant de part et d'autre par M_0 , tout en remarquant que $M_0 \cdot A$ est nulle, on obtient finalement un système d'équation à résoudre qui devient *l'ensemble des équations aux mailles*.

$$F(q^c) = M_0 \cdot (\xi(M_0 \cdot q^c + q_d) - A^f \cdot h^f) = 0_{a-n} \quad (9)$$

Le nombre d'inconnu a été réduit de "a+n" à "a-n". La résolution du système (9) soit par la méthode de Newton soit par linéarisation, conduit à inverser la matrice $M_0 D_k M_0$, où D_k est une matrice jacobienne de la fonction perte de charge (matrice diagonale) et k est le pas de l'itération à laquelle on se trouve.

A chaque ajout d'un nouvel arc dans le processus de construction du réseau simplifié, partant de l'arbre du réseau, on introduit une nouvelle ligne et une nouvelle colonne dans cette matrice.

La méthode consiste à ajouter l'élément qui perturbe le plus la diagonale d'une matrice de la forme $M_0 W M_0$ dont les éléments diagonaux ii peuvent être les estimations dans les arcs i soit des débits, soit des conductances, soit des pertes de charge ou de leurs dérivées. La valeur de ces variables dans l'arc maillant introduit à l'étape k est estimée à partir des charges calculées dans le réseau précédent G_{k-1} . au niveau de simplification $k-1$ pour choisir l'élément à rajouter et aboutir au niveau de simplification k .

Sur la nouvelle maille créée par l'ajout d'un arc et pour chacune de ces variables, il a été testé plusieurs critères χ :

- moyenne par arc, par exemple moyenne des pertes de charge sur la maille C_k à l'étape k , si n_k est le nombre d'arc de C_k alors $\chi^k = \frac{\sum_{j \in C^k} |\xi_j|}{n^k}$
- proportion relative sur la maille, par exemple pour les pertes de charge,
$$\chi^k = \frac{\xi_k}{\sum_{j \in C^k} |\xi_j|}$$

Les choix ont été effectués en combinant les critères moyens ou proportion relative avec les variables débits, conductances, pertes de charge, dérivées des pertes de charge. Les meilleurs résultats ont été obtenus en utilisant le critère construit sur la moyenne des pertes de charge estimées dans les arcs maillants.

C'est celui qui est retenu par la suite soit
$$\chi^k = \frac{\sum_{j \in C^k} |\xi_j|}{n^k}$$

TEST D'ARRET

Afin de quantifier le niveau de simplification atteint, on définit un indice global de conductance I_c qui représente la somme des indices des conductances des a' conduites non retenues :

$$I_c = \sum_i^{a'} \mu_i = \sum_i^{a'} (r_i)^{-1/\alpha} = \sum_i \frac{\phi_i^{4.87/\alpha}}{(10.67 L_i)^{1/\alpha}} C_i \quad (10)$$

La valeur de cet indice sera précisée à la lumière des résultats présentés ci-après.

APPLICATIONS ET RESULTATS

Pour illustrer nos propos, nous allons appliquer le modèle de simplification à différents réseaux.

Exemple sur un petit réseau

Dans l'exemple 1, le réseau est constitué de 16 arcs, 8 nœuds simples, un réservoir R, 3 classes de rugosités et une gamme de diamètres compris entre 80 mm et 150 mm.

Une fois l'arbre du réseau construit, en gras sur la figure 1, les arcs constituant le coarbre sont [9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16]. Le choix optimal a conduit, dans l'ordre, aux arcs [16, 11, 9, 15, 14, 10, 12, 13] formant ainsi les mailles suivantes : (2, 3, 16), (3, 4, 11), (2, 3, 8, 9), (4, 5, 6, 8, 15), (4, 5, 8, 14), (4, 8, 10), (5, 7, 12), (6, 7, 13).

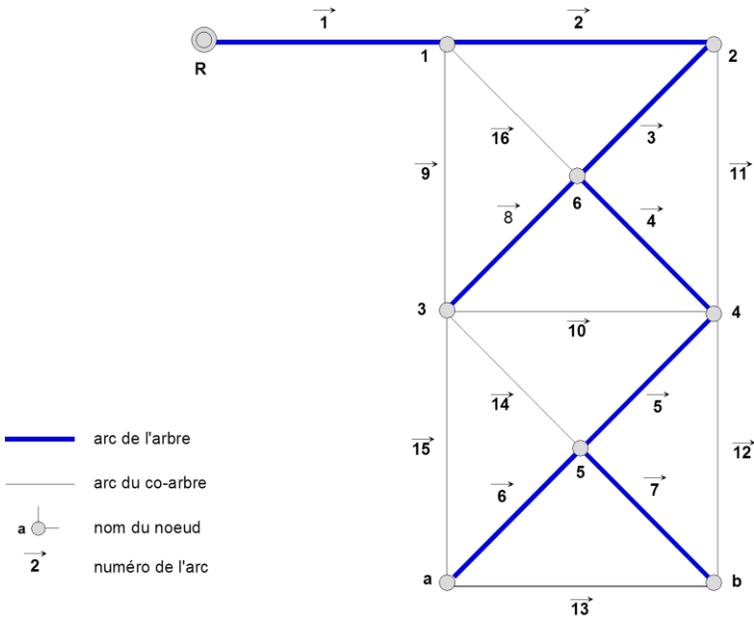


Figure 1 : Réseau 1, réseau complet de référence

La figure 2 représente l'écart quadratique en termes de charges aux nœuds avec le réseau complet pour le choix optimal selon les niveaux de simplification ou degrés de maillage.

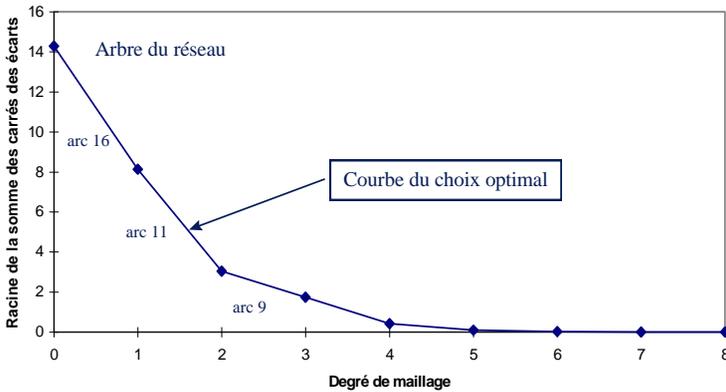


Figure 2 : Réseaux 1, Evolution de l'écart des charges aux noeuds selon le degré de maillage

Reprenons l'exemple cité précédemment où nous avons à ajouter 8 arcs à l'arbre pour former 8 mailles.

La simplification par choix SD (ou le choix le choix SC) ne permet pas une simplification réaliste.

Le choix ST a conduit dans l'ordre aux arcs suivants : 10, 9, 16, 11, 14, 15, 12 et 13.

L'analyse des résultats (figure 3) montre que la courbe du choix ST approche celle du choix optimal à partir d'un niveau de simplification et que le choix par indice de conductance n'est pas un bon indicateur dans le choix des arcs maillants.

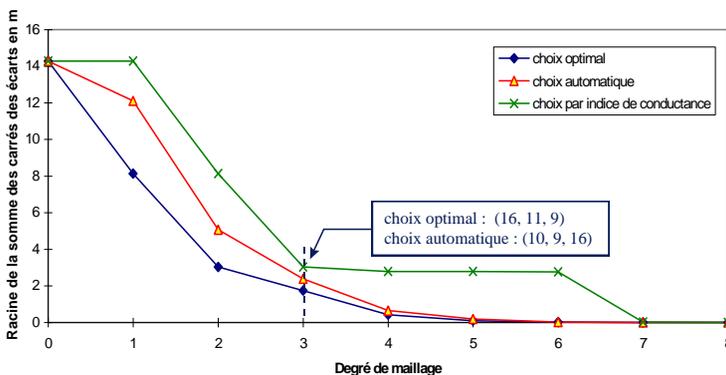


Figure 3 : Réseaux 1, Comparaison des écarts sur les charges suivant les différentes procédures de choix

L'utilisation d'autres indices tels que l'indice adimensionnel ne permettent pas d'approcher la solution. Il a suffi donc d'ajouter 3 arcs à l'arbre pour avoir le même comportement hydraulique entre les deux modèles. Le réseau simplifié final est constitué de 3 mailles au lieu de 8, représenté sur la figure 4.

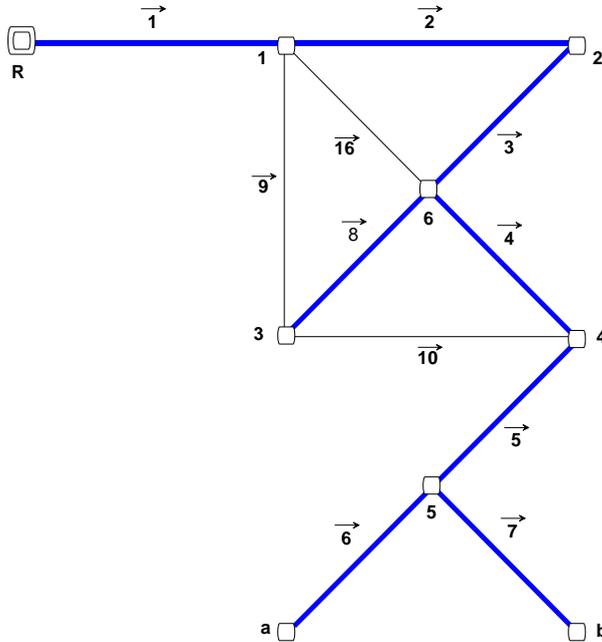


Figure 4 : Réseau 1, réseau simplifié

APPLICATIONS SUR RESEAUX REELS

Le réseau de la Salvetat Saint Gilles. Situé en Banlieue Ouest de Toulouse (en France), Le graphe du réseau est composé de 171 arcs, 134 nœuds simples, un réservoir, 3 classes de rugosité, 38.89 km de longueur totale et un volume total de conduite de 570.90 m³. Il comprend 37 mailles (figure 5). Le taux de maillage est :

$$\tau = \frac{(171 - 134)}{134} = 0.276$$

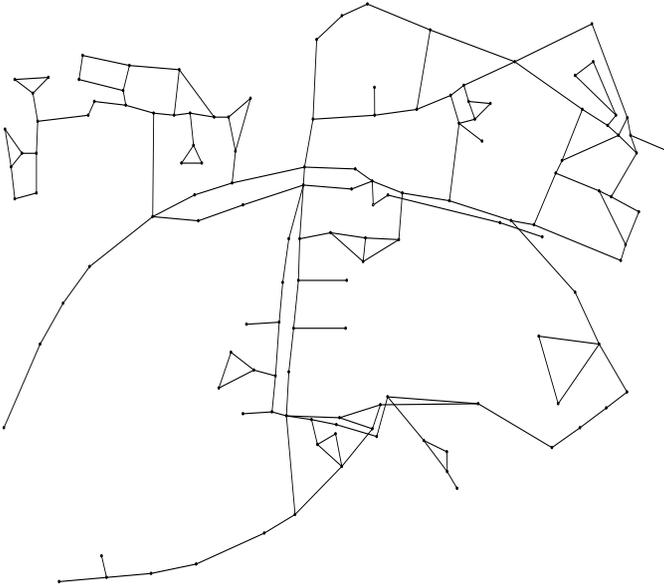


Figure 5 : Réseau de la Salvetat

Sur la figure 6, où nous avons représenté l'écart quadratique (à voir) de charges en mètre selon les niveaux de simplification, entre les valeurs réelles et les valeurs calculés selon les trois modes de sélection SO, SC et ST (le modèle de simplification topologique ST approche correctement la solution donnée par le choix optimal.

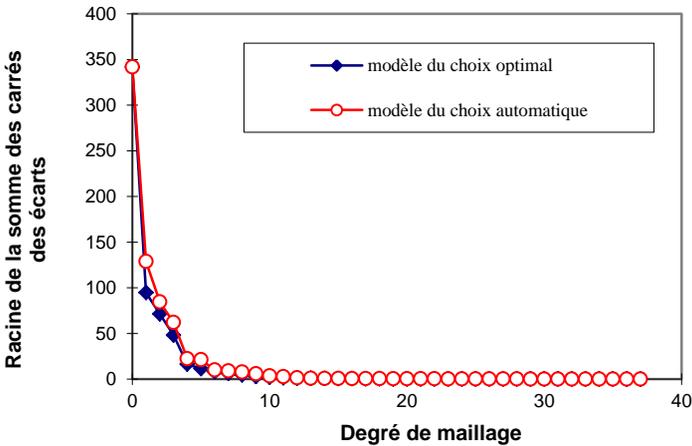


Figure 6 : Réseau de la Salvetat, comparaison des écarts moyens en m sur les charges entre le choix optimal et le choix automatique

La figure 7 représente la comparaison des écarts maximaux en mètres selon la conductance relative des conduites retenues pour les deux modèles. Les résultats montrent que, l'écart avec le réseau de référence est infime, avoisinant les deux mètres, dès la valeur de 97% soit 3% des conductances des conduites non retenues. Au seuil de 3%, nous avons un gain de temps très significatif par rapport au choix optimal et seulement 6 mailles formées sur 37. C'est à dire 84% de mailles en moins, ce qui à notre avis important. L'arbre du réseau représentait 67% et 83% des longueurs et des volumes totaux.

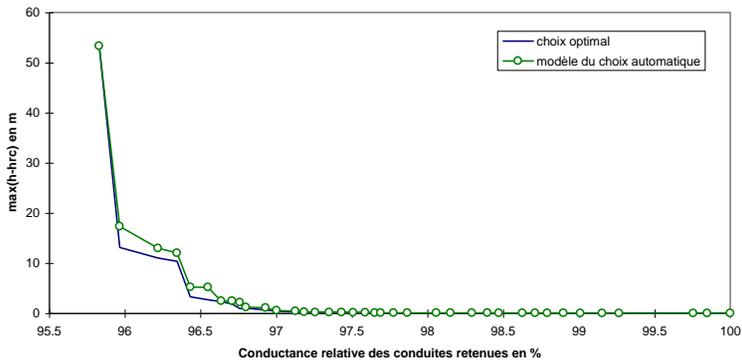


Figure 7 : Réseau de la Salvetat, comparaison des écarts maximaux en m selon la conductance relative des conduites retenues pour le choix optimal et le choix automatique

Le choix selon l'indice de conductance le plus élevé a été rajouté afin de montrer qu'il n'est pas pertinent dès qu'il s'agit de choisir un arc maillant.

D'autres réseaux ont été étudiés afin de valider ce modèle tel que le réseau de Muret ou celui de Bron. Le réseau de Muret, Situé en Haute-Garonne (en France), est composé de 210 arcs, 161 noeuds simples et un réservoir. Il comprend 49 mailles. Le réseau est assez maillé : $\tau = 0.304$. Pour un seuil d'arrêt de ± 3 sur l'écart maximal des charges aux noeuds, erreur généralement admise dans la modélisation des réseaux d'eau potable, le modèle de simplification automatique avoisine très bien celui du choix optimal. L'indice de conductance I_c étant égal à 2%.

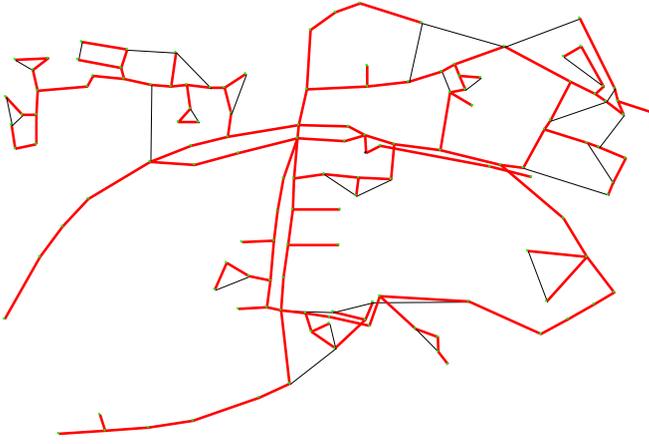


Figure 8 : Réseau simplifié de la Salvetat



Figure 9 : Réseau simplifié de Muret

Le réseau simplifié finale ne comporte que 5 mailles sur 49. C'est-à-dire 89% de mailles en moins ce qui est très significatif. Il faut remarquer que nous avons obtenu les mêmes résultats sur le réseau de Bron où nous avons 51% de mailles en moins dans le réseau simplifié final pour un indice de simplification I_c de 2%.

Les schémas des réseaux simplifiés de la Salvetat et de Muret, pour répondre aux exigences du seuil de 3m sur l'écart maximal, sont représentés en trait foncé sur la figure 8 et la figure 9.

On peut dire finalement, qu'en ce qui concerne la simplification des tronçons le seuil concernant la somme des indices conductances de conduites retenue est de l'ordre de 2% sur les réseaux étudiés quand la méthode des mailles est utilisée.

CONCLUSION

Cette étude originale permet de représenter de façon simplifiée et réaliste les réseaux d'eau potable. La littérature sur le sujet, tournée principalement jusqu'alors vers les modèles de résolution, ne fait état que de règles empiriques de simplification non justifiées. Le modèle de simplification proposé permet d'aller très loin dans la simplification par rapport à la pratique actuelle de simplification, qui même si elles sont améliorées risquent d'induire à des résultats non exploitables. Ainsi on peut considérer de tels modèles comme des passerelles entre les SIG et les modèles de calculs hydrauliques. Il permet un gain de temps et une économie financière. Car un réseau représenté trop précisément coûte cher à gérer (pour la saisie pour la maintenance, pour le calcul).

Dans un premier temps, une solution optimale du problème de la simplification des réseaux a été donnée. Ensuite et en l'absence de connaissance hydraulique du réseau complet à simuler nous avons proposé un modèle de simplification automatique se rapprochant du modèle dit optimal. Dans ce processus de simplification nous avons utilisé les informations concernant la topologiques du réseau. Pour ce faire, nous avons classé les influences des arcs maillants sur les résultats hydrauliques et le choix des arcs à retenir dans la schématisation était basé selon cette influence. Et dans un deuxième temps, nous avons montré sur des réseaux réels que cette façon de procéder conduisait à des résultats bien meilleurs que seule l'utilisation des caractéristiques physiques des conduites.

D'après les résultats et dans le cas des réseaux étudiés, nous avons 86%, 89% et 51% de mailles en moins sur le réseau de la Salvetat, Muret et Bron, ce qui est

très significatif et l'indice de simplification retenu, pour ce type de modèle, est de 2%. De tels résultats sont très intéressants dans le cas de la modélisation des temps de séjour et de la décroissance d'un réactant comme le chlore. Ce type de modélisation a tout à gagner de la simplification des réseaux, sur lesquels elle est mise en œuvre, parce que très gourmande en temps de calcul.

REFERENCES

- BHAVE PRAMOND R., "Calibrating water Network Models", Journal of the Environmental Engineering, Vol 114, No 1, Février 1988, pp 121-136.
- BREMOND B., "Problème de l'Analyse hydraulique d'un Réseau d'Eau Potable" Cours de DEA Mécanique et Ingénierie, 1996, 19 pages.
- CEMAGREF, "Simulation du fonctionnement d'un réseau AEP sur 24 heures" Logiciel ZOMAYET, Groupement de Bordeaux, 1988.
- DELATTRE SE., C de THE, "Adéquation des Modèles de Réseaux d'Eau Potable au Comportement Réel de la Distribution", Congrès AGHTM, Annecy, pp 479-493, 1991.
- EGGENER C. L., POLKOWSKI L. B., "Network Models and the Impact of Modeling assumptions", J. AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION, Avril 1976, pp 189-196.
- GRAYMAN W. M., MALES R.M. et CLARK R. M. "The Effects of Skeletonization in Distribution System Modeling", AWWA Computer Conference April 1991, pp. 661-684.
- HARROUZ O., " Conséquences de la Squelettisation des Réseaux d'Alimentation en Eau Potable sur le Diagnostic - Modèle de simplification - "Thèse de Doctorat, décembre 1996, Université Louis Pasteur de Strasbourg (Institut de Mécanique des Fluides) /CEMAGREF de Bordeaux, 150 pages.
- HAUGUEL A., "La modélisation des Réseaux de distribution d'Eau et de son Evolution". T.S.M-L'EAU, N° 11, Novembre 1991, pp 527-534
- LEWIS A. ROSSMAN "Modeling Chlorine Residuals in Drinking-Water Distribution Systems" Journal of Environmental Engineering, Vol.120, No. 4, Juillet/Aôut 1994, pp. 803-819.
- PILLER O. " Modélisation du fonctionnement d'un réseau d'Alimentation en Eau Potable, Analyse Hydraulique et choix des mesures pour l'estimation de paramètres", Thèse de doctorat 1995, Université de Bordeaux I / CEMAGREF de Bordeaux.
- ROCHE E., "Cours de Formation Continue : Calcul des réseaux ", ENGEES de Strasbourg, Août 1995.

- SAKAROVITCH M., " Optimisation Combinatoire : Graphes et Programmation Linéaire", Enseignement des Sciences, 31, Herman, 1984.
- SIGNORET F., "Analyse des Données de Chlore sur un Réseau d'Alimentation en Eau Potable : Influence de la modélisation hydraulique et de la Cinétique de Réaction", Mémoire de DEA, ULP/CEMAGREF, Octobre 1995, 51pp.
- VIESSMAN W. and HAMMER M.J., "Water Supply and Pollution Control" 4rd Ed, Harper and Row Publishers, New York, NK, Chapitre 6, 1985.
- WALSKI T. M., "Using Water Distribution System Models", J. AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION, Février 1983, pp 53-63.

NOTATION

- a = le nombre d'arc ;
- n = le nombre de nœuds simples;
- f = le nombre de nœuds à charge fixée;
- $n+f$ = le nombre total de nœuds;
- I_c = l'indice global de conductance;
- L = longueur de la conduite;
- ϕ = diamètre de la conduite;
- μ^c = conductance de la conduite;
- h = le vecteur des charges aux nœuds simples;
- h^f = le vecteur des charges fixées aux nœuds réservoirs;
- h^{rc} = le vecteur des charges aux nœuds pour le réseau de référence;
- d = le vecteur des demandes aux nœuds simples;
- q = le vecteur des débits dans les arcs;
- r = le vecteur des résistances hydrauliques dans les arcs;
- ξ = le vecteur des pertes de charge sur les arcs;
- C = coefficients d'Hazen-Williams;
- im^k = le vecteur des indices caractérisant la maille k formée;
- A^f = la sous-matrice d'incidence nœud-arc réduite aux nœuds à charges fixées;
- A = la sous-matrice d'incidence nœud-arc réduite aux nœuds simples;
- M_o = la matrice d'incidence maille-arc augmentée;
- M_m = la matrice des mailles;
- W = une matrice diagonale;