



HAL
open science

Efficacité des actions de réduction des pertes des réseaux d'AEP : rapport synthèse bibliographique

C. Aubrun, Alain Husson, Eddy Renaud

► **To cite this version:**

C. Aubrun, Alain Husson, Eddy Renaud. Efficacité des actions de réduction des pertes des réseaux d'AEP : rapport synthèse bibliographique. [Rapport de recherche] irstea. 2015, pp.42. <hal-02605780>

HAL Id: hal-02605780

<https://hal.inrae.fr/hal-02605780v1>

Submitted on 16 May 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



HAL Authorization

Collaboration Irstea – Veolia Environnement – VEDIF

Projet :

Efficacité des actions de réduction des pertes des réseaux d'AEP

Rapport 2015

Synthèse bibliographique

Décembre 2015

Claire AUBRUN ⁽¹⁾

Alain HUSSON ⁽¹⁾

⁽¹⁾ Groupement de Bordeaux
Unité de recherche ETBX
50, avenue de Verdun, Gazinet
33612 Cestas cedex

Liste des sigles, acronymes et abréviations

AEP	Alimentation en eau potable
AMR	<i>Automatic meter reading</i>
AZNP	<i>Average zone night pressure</i>
AZP	<i>Average zone point</i>
BABE	<i>Bursts and background estimate</i>
CARL	<i>Current annual real losses</i>
CASP	<i>Current average system pressure</i>
CUB	Communauté urbaine de Bordeaux
DMA	<i>District metered area</i>
EWMA	<i>Exponentially weighted moving average</i>
FAVAD	<i>Fixed and variable area discharges</i>
GLI	<i>Global leakage index</i>
Irstea	Institut de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture
ILI	<i>Infrastructure leakage index</i>
ILP	Indice linéaire de pertes
IWA	<i>International water association</i>
PMA	<i>Pressure management area</i>
PMI	<i>Pressure management index</i>
NRR	<i>Natural rate of rise</i>
RMMS	Régie municipale multiservices
RPQS	Rapport sur le prix et la qualité du service
SEDIF	Syndicat des eaux d'Ile-de-France
SIAEP	Syndicat intercommunal d'adduction d'eau potable
SIG	Système d'information géographique
SRELL	<i>Short run economic leakage level</i>
UARL	<i>Unavoidable annual real losses</i>
UKWIR	<i>United Kingdom water industry research</i>
USAID	<i>United States agency for international development</i>
VEDIF	Veolia eau d'Ile-de-France
WSDA	<i>Washington state department of agriculture</i>

Table des matières

Liste des sigles, acronymes et abréviations	2
Table des matières	3
Table des illustrations – Figures	5
Table des illustrations – Tableaux	5
I Introduction	6
II Axe Renouvellement : L’impact du renouvellement des canalisations sur les pertes	7
II.1 Généralités	7
II.2 Modèles de planification des renouvellements	8
II.3 Corrosion	10
II.4 Evaluation des pertes	11
II.5 Synthèse	12
II.5.1 Généralités	12
II.5.2 Modèle de prévision de renouvellement	12
II.5.3 Corrosion	13
II.5.4 Quantification des pertes.....	13
III Axe Pression : Lien entre la pression de service et le débit de fuite.....	16
III.1 Présentation de l’axe Pression	16
III.2 Généralités.....	16
III.3 Concept <i>FAVAD</i>	17
III.4 Expression de N_f	20
III.5 Variations de N_f	21
III.6 Les trois relations liant la pression à d’autres paramètres : débit de fuite, fréquence d’apparition de nouvelles casses et consommation	24
III.7 Impacts de la gestion de pression : études de cas	26
III.8 Indicateurs de pression	29
III.9 Lien entre gestion de pression et sectorisation (sources concernant également l’axe 3).....	31
III.10 Synthèse.....	32
III.10.1 Généralités	32
III.10.2 Concept <i>FAVAD</i>	32
III.10.3 Expression de N_f	33
III.10.4 Variations de N_f	33
III.10.5 Les trois relations liant la pression à d’autres paramètres : débit de fuite, fréquence d’apparition de nouvelles casses et consommation.....	34
III.10.6 Impacts de la gestion de pression : études de cas	34

III.10.7 Indicateurs de pression	35
III.10.8 Lien entre gestion de pression et sectorisation	35
IV Axe Sectorisation : Apports de la sectorisation dans la lutte contre les pertes.....	36
IV.1 Présentation de l'axe Sectorisation.....	36
IV.2 Généralités.....	36
IV.3 Mise en place d'une sectorisation : méthodologies pour un design optimal	37
IV.4 Evaluation des débits de nuit.....	38
IV.5 Impacts de la mise en place d'une sectorisation : études de cas.....	38
IV.6 Sectorisation et techniques alternatives ou complémentaires.....	39
IV.7 Synthèse	40
IV.7.1 Généralités.....	40
IV.7.2 Mise en place d'une sectorisation : méthodologies pour un design optimal	40
IV.7.3 Evaluation des débits de nuit.....	41
IV.7.4 Impacts de la mise en place d'une sectorisation : études de cas.....	41
IV.7.5 Sectorisation et techniques alternatives ou complémentaires.....	41
V Conclusion	42

Table des illustrations – Figures

Figure 1 : Décomposition des fuites en trois états (d'après concept BABE [29]) [26]	13
Figure 2 : Evolution naturel des pertes sur période minimum d'un an (Natural Rates of Rise) [27]	14
Figure 3 : Répartition des pertes sur réseau et branchements avant et après réhabilitation du réseau [22].....	14
Figure 4 : Meilleure prédiction disponible de N_l [03].....	33

Table des illustrations – Tableaux

Tableau 1 : Prédiction de l'effet de la gestion de pression [22]	35
--	----

I Introduction

L'objectif de la collaboration Irstea-Veolia Environnement-VEDIF est d'étudier l'efficacité des actions de réduction des pertes et plus particulièrement :




1. l'impact du renouvellement des canalisations sur les pertes (axe Renouvellement) ;
2. le lien entre la pression de service et le débit de fuite (axe Pression) ;
3. les apports de la sectorisation dans la lutte contre les pertes (axe Sectorisation).

Ce rapport bibliographique a pour objet de rendre compte de l'étude bibliographique menée par Irstea et visant à dresser un état de l'art et des expérimentations dans le champ des objectifs de la collaboration.

Dans les chapitres suivants (un par axe), les sources répertoriées sont présentées sous forme de tableaux ayant la structure suivante.

Auteur(s). Titre. Editeur/Conférence. Année.			
Question à laquelle on répond (thème, contexte, objectif)	Revue bibliographique ou étude de cas	Résultats et Pertinence	ouverture

Dans ces tableaux trois niveaux de pertinence sont distingués :

-  Sources en lien direct avec l'objectif de l'étude
-  Sources dont certains aspects sont intéressants pour l'étude
-  Sources en lien avec l'étude, mais sans apport notable

Toutes les références bibliographiques sont récapitulées par axe et par ordre d'apparition dans le texte dans un fichier annexé au présent rapport : IrsteaVeoliaVedif_EfficaciteActionsPertes_Bibliographie.zip.

II Axe Renouveau : L'impact du renouvellement des canalisations sur les pertes

Des études précédentes ont montré que l'effet d'un renouvellement sur les pertes est très variable d'un chantier à l'autre et que le taux de casses moyen et l'âge moyen du réseau ne sont pas clairement corrélés avec le niveau des pertes.

Pour identifier les tronçons ou branchements à renouveler en priorité lorsque l'on vise une réduction des pertes et pour quantifier l'impact d'un renouvellement sur les pertes, des méthodes de prédiction des volumes perdus à l'échelle du tronçon sont à rechercher.

II.1 Généralités

[01] Lambert A. <i>Losses from water supply systems: standard terminology and recommended performance measures. Blue pages IWA. 2000</i>			
Thème : Pertes Objectif : Harmonisation de la terminologie	Général	Caractérisation pertes réelles et apparentes, terminologie (UARL, ILI,...)	+++
[02] Liu Z. <i>Condition assessment technologies for water transmission and distribution systems. US Environmental Protection Agency. 2012</i>			
Thème : Comment appréhender l'évolution des canalisations, suivre leur évolution dans le temps pour mettre en place une politique de gestion patrimoniale Contexte : Revus sur : -les différents facteurs de dégradations des canalisations physiques, environnementaux ou opérationnels ; -les techniques non destructives d'évaluation de l'état des canalisations pour capitaliser l'information nécessaire à l'évaluation de la structure du réseau avantages et inconvénients ; -les modèles de dégradations déterministes ou statistiques ; -les modèles et logiciels d'aide à la décision pour le renouvellement des canalisations	Etat de l'art des méthodes d'expertise des canalisations, de la modélisation de leur dégradation et présentation des outils de gestion patrimoniale	Biblio très bien documentée	+++
[03] Lambert A. <i>Water loss guidelines – water New Zealand. 2010</i>			
Thème : Guide pratique pour développer des stratégies de réduction des pertes d'eau : -Définition indicateurs de suivi du réseau (bilan annuel, débits de nuits, indice de fuites structurelles (ILI, UARL, CARL),...) -exemples d'application	Général, basés sur exemples services AEP de Nouvelle Zélande	Reprise d'une partie des travaux d'A. Lambert	++
[04] AUBIN, C. <i>Etude du potentiel des actions de réduction des fuites des réseaux d'eau potable. Irstea. 2011</i>			

Thème : Potentiel de réduction des pertes par renouvellement des canalisations.	Bibliographie, analyse terrain, évaluation des résultats.	Attention au protocole, ne pas mélanger les actions. Diminution du débit de fuites non proportionnelle au linéaire renouvelé, d'où l'importance du choix des tronçons à renouveler.	++
[05] CAMBREZY, M ; COUSIN A.C. <i>Intégration de la démarche d'amélioration des pertes en eau dans une démarche de gestion patrimoniale. L'eau, l'industrie, les nuisances. 2009</i>			
Thème : Performance technique du réseau lié sur le long terme à l'effort de renouvellement. Objectif : gestion patrimoniale outils et méthode taux moyen de renouvellement en France estimé à 0,6 % (G. Rebeix, 2001), à ce rythme les réseaux seraient remplacés entièrement en 170 ans	Général Resultats Angleterre (volume pertes fortement diminué avec renouvellement sur zone supérieur à 40 % du linéaire)	Prise en compte niveau de risque = probabilité de casse x conséquence de la casse, outil Mosare choix tronçons à renouveler Influence taux de renouvellement sur taux de casse, outil Vision calcule taux de casse futur. Performance technique d'un réseau d'eau potable jugée sur : -qualité de l'eau distribuée -continuité du service - pertes en eau. Sur le court terme elle dépend des pratiques d'exploitation, mais sur le long terme dépend fortement du niveau actuel de renouvellement	++
[06] Lambert A. <i>Ten years experience in using the UARL formula to calculate infrastructure leakage index. Waterloss. 2009</i>			
Thème : Focus sur UBL, UARL et ILI Objectif : avantages et inconvénients	Général, revue	Définitions et critiques Limites d'utilisation	++
[07] Cador J. M. <i>Le renouvellement du patrimoine en canalisations d'eau potable en France. Rapport au Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement. 2002</i>			
Thème : Amélioration de la connaissance du patrimoine au travers d'enquête départementale	Inventaire sur 8 départements	Extrapolation à la France et hypothèse de renouvellement par type de matériau et année de pose	+
[08] Parker J. <i>Repair or replace dilemma for services and mains. Waterloss. 2009</i>			
Thème : Arbre de décision pour aider services eaux Objectif : Comment remplacer une canalisation à la fin de sa vie	Revue	Bonne pratique pour développer un système d'information et d'analyse	+

II.2 Modèles de planification des renouvellements

[09] Baur R. <i>Selecting and scheduling infrastructure rehabilitation projects. Water science and technology. 2002</i>			
Thème : Identifier les projets qui ont le meilleur impact sur les performances du réseau Objectif : Démarche interactive de sélection des tronçons à renouveler	Théorique	Analyse multicritère dérivée d'une procédure d'élimination interactive destiné aux routes allemandes. Logiciel Spare-I-Net	++
[10] Le Quiniou. <i>Integration Of Waterlosses In Veolia Drinking Water Networks Asset Management Strategy And Tools. Lesam. 2011</i>			
Thème : planification de la gestion patrimoniale du réseau	Théorique	Analyse basée sur le logiciel Vision	++

<p>Objectif : Déterminer l'optimum économique pour atteindre un objectif de performance du réseau en jouant sur le renouvellement et la recherche active de fuites</p>			
<p>[11] Renaud, E. ; Wery C. <i>Les outils de la gestion patrimoniale des réseaux d'alimentation en eau potable. Sinfotech. 2008</i></p>			
<p>Thème : mise en place d'une planification du renouvellement des réseaux Objectif : rythme, hiérarchisation des travaux à partir d'outils et d'approche d'aide à la décision</p>	Général	Outils Siroco lien entre les outils Irstea Casse et Criticité, aide à la décision multicritère	+
<p>[12] Cousin, E. ; Taugourdeau E. <i>Trade-off between water loss and water infrastructure quality : A cost minimization approach. Centre d'économie de la Sorbonne. 2015</i></p>			
<p>Thème : Minimisation statistique des coûts d'entretien des réseaux d'eau Objectif : définir un index caractérisant la qualité optimale d'un réseau, objectif à atteindre pour minimiser les coûts</p>	Théorique et très général	Test du modèle à l'échelle des agences de l'eau en France (Comparaison entre agence, facteurs environnementaux différents)	+
<p>[13] Cobacho, R. <i>Effect of water costs on the optimal renovation period of pipes. Lesam. 2007</i></p>			
<p>Thème : Détermination de la meilleure période pour le renouvellement d'une canalisation Objectif : Développement d'un modèle basée sur les coûts</p>	Théorique	Dans ce modèle, tout est financieriser pression de service, impact sur les infrastructures, pertes d'eau, ... Analyse de l'impact du coût de production de l'eau sur l'optimum de renouvellement. Introduction du MALV (volume de fuite maximum acceptable en m3/km/h)	+
<p>[14] Herz, R. K. <i>Developing Rehab Strategies For Drinking Water Networks. Conference on Durability of Building Materials and Components. 2002</i></p>			
<p>Thème : Analyse cout bénéfice d'un programme réhabilitation Objectif : élaboration d'une procédure multicritère d'évaluation pour choisir le meilleur programme de réhabilitation</p>	Developpement mathématique et application dans l'est de l'Allemagne	Analyse cout bénéfice La détérioration du réseau et l'effet des politiques de réhabilitation sont étudiés avec modèle de survie par cohorte. Approche globale pour optimiser un programme de réhabilitation Travail à compléter par une approche plus fine de choix des canalisations à renouvelée (CARE-W) (Postulat : 1-Fuite augmente de 2%/an, 2-Cana rénovée fuite =0,01m3/km/h)	+
<p>[15] Le Gauffre, P. <i>A multicriteria decision support methodology for annual rehabilitation programs of water networks. Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering. 2007</i></p>			
<p>Thème : Analyses multicritères pour sélectionner le meilleur choix de réhabilitation du réseau d'eau</p>	Théorique	Travail basé sur méthode Electre Tri et application à un cas concret (ville de Reggio Emilia(I)). On cherche a estimé la performance de plusieurs scenarios de réhabilitation en bénéfice et en efficience	+
<p>[16] Christodoulou S. <i>Managing the "Repair or Replace" dilemma on Water Leakages. Waterloss. 2007</i></p>			
<p>Thème : Choix entre réparation ou remplacement de conduites Objectif : A partir de l'historique</p>	Théorique et application réseau Limassol (Chypre)	Méthode intégrée à partir de données sur les canalisations, historiques incidents,... Basée sur des analyses statistiques : analyse de survie, logique floue ...	+

du réseau il s'agit d'évaluer la pertinence du renouvellement de canalisation		Lien vers SIG	
[17] Kunizane T. <i>Estimating Water Leakage Volume in Water Distribution System Using Real-Coded GA. Waterloss. 2014</i>			
Thème : Quantification des pertes en fonction du vieillissement des canalisations Objectif : Construction d'un modèle de prédiction des pertes en fonction de scénarios de renouvellement	Théorique Utilisation des données de fuites et casses de 23 quartiers de Tokyo de 1973 à 2004	Développement d'un modèle (algorithme génétique) de prévision des pertes suivant les stratégies adoptées pour le renouvellement des canalisations principales. Variables utilisées : Occurrence des fuites en fonction de l'âge des canalisations, la longueur de canalisations par âge et type de matériaux, pression moyenne.	+

II.3 Corrosion

[18] Fuchs-Hanusch D. <i>Experiences with a non-failure based condition survey of ductile iron pipes in the water supply system of Vienna. Waterloss. 2014</i>			
Thème : Lien entre âge des canalisations en fonte, type de revêtement, état de corrosion extérieure, et incidents Objectif : Prise en compte de l'état de corrosion des canalisations pour améliorer les choix de renouvellement	Ville de Vienne Démarche intéressante, mais Article incomplet	Analyse statistique de l'état des canalisations. Base de données renseignées depuis 2009 : état extérieur des canalisations Prochaine étape faire le lien avec la nature des terrains (base de données existante)	++
[19] Valls Miro J. <i>A live test-bed for the advancement of condition assessment and failure prediction research on critical pipes. Water Asset Management International, Vol.10 pp.03-08. 2013</i>			
Thème : Evaluation de techniques pour estimer l'état de conduites enterrées Objectif : à partir de mesure réalisées sur quelques tronçons, tentative d'extrapolation à l'ensemble de la conduite	Expérimental. Conduite en place dédiée aux expérimentations	Recherche non finalisée	++
[20] Septe E. <i>A review of corrosion assessment model and parameters of drinking water distribution pipelines. Jurnal Teknologi, Vol.62, No 2. 2014</i>			
Thème : Le point sur les problèmes de corrosion des canalisations	Biblio	Les modèles de corrosion et les paramètres utilisés	+
[21] Rajani B. <i>Non-destructive inspection techniques to determine structural distress indicators in water mains. Conference on evaluation and control of water loss in urban water networks, Valencia, Spain. 2004</i>			
Thème : Détermination de l'état des canalisations Objectif : Quelles conduites inspecter, quand et comment	Biblio	Point sur les techniques non destructives caractérisant l'état des canalisations	+

II.4 Evaluation des pertes

[22] Crosbie R. <i>Linking distribution mains rehabilitation to performance</i>. UKWIR. 2008			
Thème : Evaluation des gains potentiels sur les fuites après renouvellement conduites	Expérimental	Mesures sur sites avant-après renouvellement, évaluation des gains, sur le réseau principal, sur les branchements Très bon article avec des protocoles bien décrits	+++
[23] Chesneau O. <i>Predicting leakage rates through background losses and unreported burst modelling</i>. Waterloss. 2007			
Thème : Distinction fuites diffuses et fuites détectables Objectif : fuites détectables qui vont faire l'objet de recherche et réparation de fuites fuites diffuses supprimées par le renouvellement	Voir thèse ci-dessous	Modélisation pour permettre de différencier les deux types de fuites.	+++
[24] Chesneau O. <i>Un outil d'aide à la maîtrise des pertes dans les réseaux d'eau potable : la modélisation dynamique de différentes composantes du débit de fuite</i>. Thèse. 2006			
Thème : Evaluation de l'évolution naturelle des fuites Objectif : Faciliter le choix entre réparation ou renouvellement des canalisations	Théorique sur la base de chroniques d'observation pour calage du modèle	Modèle dynamique 3 états : les fuites initialement diffuses (Etat 0) passent par différents états et se transforment en fuites non repérées (Etat 1) puis en casses manifestes (Etat 2) Importance des chroniques de données Il reste à travailler sur le lien entre les paramètres du modèle et les caractéristiques du réseau	+++
[25] Kirby R. <i>Natural Rate of Rise in leakage</i>. UKWIR. 2006			
Thème : Evaluation de l'évolution des fuites Objectif : détermination du NRR pour évaluer stratégie de gestion des fuites	Mesures sur sites sur plusieurs années	Deux approches pour déterminer le NRR : - à partir de l'évolution des débits de nuit - à partir de la fréquence des casses (difficulté de déterminer le débit affecté aux fuites) Guide technique de bonne pratique pour le calcul du NRR	+++
[26] Claudio K. <i>Mise en place d'un modèle de fuites multi-états en secteur hydraulique instrumenté</i>. Thèse. 2014			
Thème : Maîtrise des pertes Objectif : Définir les opérations de réductions de fuites à entreprendre	Thèse à partir de données CUB	Modèle de fuites multi états divisé en deux sous modèle (sur secteur avec télérelève) : - modèle simulant l'évolution de la dégradation d'un ouvrage (à partir des données casses et inspection, période de pose, longueur, diamètre) - puis calage d'un modèle de fuite fonction de l'état de dégradation des canalisations	+++
[27] Grimshaw D. <i>NRR: The key to leakage-driven asset renewal</i>. Waterloss. 2007			
Thème : Importance du NRR dans les politiques de renouvellement Objectif : NRR indicateur de performance du réseau	Synthèse services eaux Angleterre et Pays de Galles	Recherche d'un lien entre NRR et les caractéristiques du réseau. Bon résultats pour le lien avec la densité de branchements, travaux à poursuivre pour lier NRR au matériau, âge des	+++

		conduites, type de sol... Estimations de débits moyens de fuites détectées et signalées Comparaison coût efficacité de différentes politiques de renouvellement avec NRR comme indicateur de performance	
[28] Lee V. <i>Factors affecting the Natural Rate of Rise of leakage. UKWIR. 2009</i>			
Thème : Evaluation de l'évolution des fuites Objectif : recherche de facteurs influençant le NRR	Mesures sur site pendant 5 mois	A l'échelle du secteur, il est possible d'estimer le NRR en fonction de la densité de branchements, le matériau et l'âge des canalisations. On peut alors donner des indications sur l'évolution du NRR en fonction des investissements prévus, des variations de pression	++
[29] Lambert A. <i>Accounting for losses The bursts and background concept. IWEM Journal, April, pp.205-214. 1994</i>			
Thème : Catégorisation des fuites Objectif : Détermination débit de fuite annuel	Théorique	Concept BABE distinction fuites en 3 états de dégradation liés à leurs débits : diffuses, détectables et détectées	++
[30] Melato D S. <i>Using component analysis and infrastructure condition factor (ICF) field tests to prioritize service connection replacement and reduce real loss in a sustainable manner. Waterloss. 2009</i>			
Thème : Evaluation de l'évolution des fuites Objectif : recherche optimum entre réparations (court terme) et renouvellement (long terme)	Exploitation ville de Sao Paulo	Exemples de renouvellement et gain potentiel sur les branchements	+
[31] Fantozzi M. <i>Residential night consumption – assessment, choice of scaling units and calculation of variability. Waterloss. 2012</i>			
Thème : Débit minimum de nuit et consommation abonnés Objectif : Facteurs influençant la consommation nocturne des abonnés	Synthèse	Pistes pour déterminer la consommation nocturne des abonnés	+

II.5 Synthèse

II.5.1 Généralités

La plupart des travaux sur le renouvellement des canalisations sont basés sur la limitation des casses, dont la conséquence logique est la réduction des pertes, mais sans aucune approche quantitative. Que ce soit au travers des modèles de dégradation des canalisations, des modèles de casses, l'objectif final est la sélection des tronçons potentiellement les plus à risques.

II.5.2 Modèle de prévision de renouvellement

L'objectif est d'apporter aux décideurs des éléments pertinents de priorisation des tronçons à renouveler basés sur des analyses multicritères, coûts bénéfiques, ...

L'essentiel de ces analyses sont destinées à optimiser l'investissement public par la mise en place d'une politique de renouvellement ciblée sur les tronçons prioritaires. La limitation des casses et donc des pertes est souvent un objectif, mais les volumes économisés ne sont pas quantifiés...

II.5.3 Corrosion

L'objectif est de caractériser les phénomènes de corrosion interne ou externe des canalisations à partir de modèles de dégradation physiques ou statistiques afin de prévenir :

- la dégradation de la qualité des eaux distribuées ;
- les risques de fuites ou de casses.

A l'échelle de la canalisation, des études sont menées pour évaluer l'état de détérioration en lien avec le matériau, l'âge, la pression de service, la nature du sol, ... mais le lien est fait avec un risque de casse, mais pas une quantification de perte.

II.5.4 Quantification des pertes

Deux approches principales peuvent être détaillées, l'une mathématiques basée sur le travail de deux thèses française [24,26], l'autre plus pragmatique, basée sur le travail des anglais de l'UKWIR [22,25].

1) Idée principale : Modélisation dynamique des fuites [24,26]

Lorsque la part de fuites diffuses est prépondérante, les opérations de recherche de fuites deviennent inutiles et seul le renouvellement permettra leur réduction. La connaissance du type de fuite d'un ouvrage est donc un élément à intégrer dans les politiques de renouvellement. L'intérêt de pouvoir qualifier les fuites et leur évolution dans le temps constitue un angle d'approche intéressant pour la gestion patrimoniale des réseaux.

A partir des chroniques de pertes globales d'un secteur, l'objectif est d'estimer par modélisation, la répartition des fuites dans les 3 états (diffuses, détectables et manifestes (Figure 1)), et le volume perdu pour chacun de ces états.

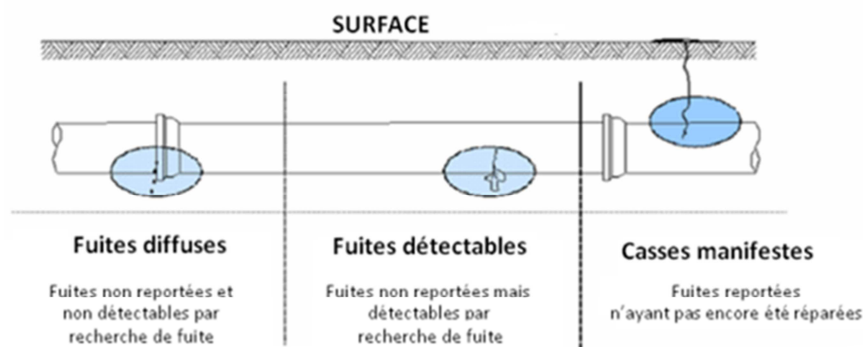


Figure 1 : Décomposition des fuites en trois états (d'après concept BABE [29]) [26]

Difficulté : La modélisation nécessite une estimation des débits de fuites détectables, des chroniques d'intervention et des données patrimoniales complètes, ainsi que des données de pression et de consommation

2) Idée principale : Caractérisation des débits de fuites par le NRR [28] et par les débits de nuits [22]

Objectif 1 : A l'échelle d'un secteur le **NRR** est un indicateur de l'état du réseau et de la stratégie de lutte contre les fuites.

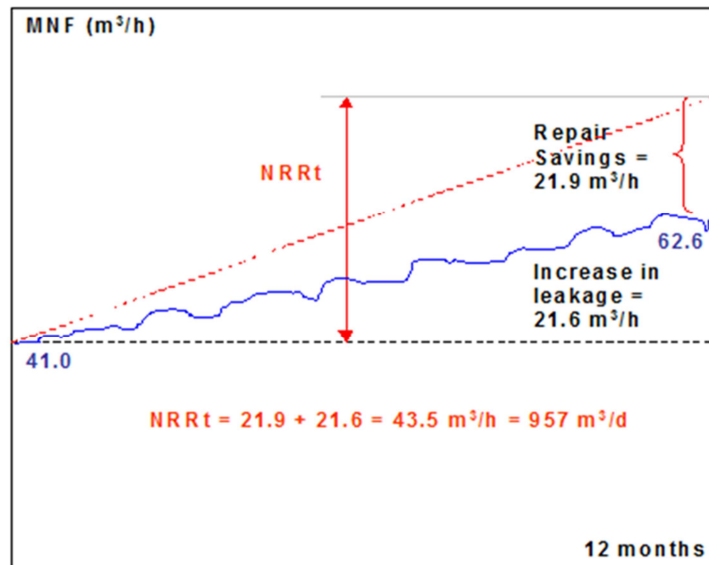


Figure 2 : Evolution naturel des pertes sur période minimum d'un an (Natural Rates of Rise) [27]

Il est possible d'évaluer le NRR à partir des caractéristiques du réseau et de prévoir son évolution en fonction de différents scénarios de gestion patrimoniale mise en place : réduction de pression, renouvellement d'une partie du réseau, ... :

$$NRRt \text{ (m}^3\text{/d)} = a \cdot L^{1.2} A^{0.8} + b \cdot (N \cdot P)^{0.6}$$

Où a et b sont fonctions du type de matériau, L le linéaire de réseau, A l'âge moyen du réseau, N le nombre d'abonnés et P la pression moyenne de nuit [28].

Les résultats obtenus sont à utiliser à titre indicatifs.

Objectif 2 : Quantification des pertes avant après renouvellement de tronçons à l'échelle locale et à l'échelle du secteur [22]

À l'échelle du tronçon, les données sont collectées sur le terrain un an avant et un an après des opérations de renouvellement. En deçà d'un débit de pertes initial de 5 l/h/abonné, la réduction attendue des pertes n'est pas significative. Par contre au-delà, elle est notable, et le gain potentiel sur les pertes peut atteindre 70% sur la canalisation principale (abonnés isolés (cf Figure 3)), sans jamais atteindre leurs suppressions complètes.

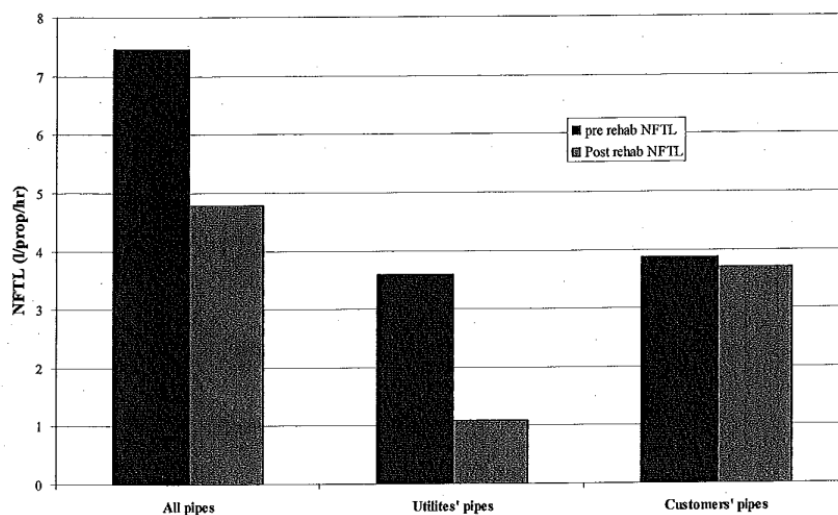


Figure 3 : Répartition des pertes sur réseau et branchements avant et après réhabilitation du réseau [22]

A l'échelle du secteur, l'analyse des débits de nuit a permis d'évaluer les gains potentiels sur les fuites en fonction de la part de réseau renouvelé (dans la limite d'un minimum de 20 % du réseau renouvelé) suivant la formule suivante :

$$NL_{+1} = 1,26 + 2,18 \times FR + 1,03 \times NL_{-1} - 0,53 \times FR \times NL_{-1}$$

Où FR est la fraction de réseau renouvelé (en longueur) et NL le débit de nuit (+1 un an après renouvellement ; -1 un an avant en l/heure/abonné)

III Axe Pression : Lien entre la pression de service et le débit de fuite

III.1 Présentation de l'axe Pression

Pour juger de l'intérêt de la mise en œuvre effective d'une réduction de pression, il faudrait pouvoir prédire son impact sur le niveau de pertes.

La formule de l'IWA liant la pression de service et le débit de fuite est la suivante :

$$\frac{L_1}{L_2} = \left(\frac{P_1}{P_2}\right)^{N_1}$$

La formule ne permet pas, seule, de prédire l'impact d'une réduction de pression sur le niveau de pertes, dans la mesure où N_1 est une inconnue que l'on évalue *a posteriori*. Elle n'est donc pas suffisante pour juger de l'intérêt de la mise en œuvre effective d'une réduction de pression pour limiter le niveau des pertes.

Par ailleurs, l'expérience montre que, pour un même secteur, N_1 n'est pas une constante : on n'a pas la même valeur pour le passage de P_1 à P_2 que pour le passage de P_2 à P_3 .

L'objectif est d'approfondir la formulation du lien entre la pression de service et le débit de fuite.

III.2 Généralités

[01] PUUST, R. ; KAPELAN, Z. ; SAVIC, D. A. ; KOPPEL, T. *A review of methods for leakage management in pipe networks*. *Urban Water Journal*. 2010.

<p>Thème : Méthodes de lutte contre les pertes (dont la gestion de pression).</p> <p>Contexte : Le constat initial est que le débit de fuite dépend de la pression : plus la pression est élevée, plus le débit de fuite est important, et vice-versa. La relation liant le débit de fuite à la pression a d'abord été décrite par l'équation de Wiggert (1968, inspirée de la formule de Torricelli. Cette dernière est encore massivement utilisée, mais des précautions doivent être prises lorsque la canalisation n'est pas faite d'un matériau rigide [Greyvenstein & Van Zyl, 2005] ou lorsque la pression est négative [Todini, 2003]. Ensuite, une équation plus générale permettant des valeurs d'exposant différentes de 0,5 a été adoptée [Germanopoulos, 1985]. Il a été montré que la valeur de l'exposant dépend du type de fuite, du comportement du matériau de la canalisation, de l'hydraulique du sol et de la demande en eau [Cassa, 2005 ; Greyvenstein &</p>	<p>Etat de l'art des méthodes mises en œuvre pour lutter contre les pertes ; recommandations pour le futur.</p> <p>Bibliographie très foisonnante relative à la gestion de pression, et en particulier à l'influence de certains facteurs sur la relation liant la pression et le débit de fuite (coefficient d'écoulement, caractéristiques des canalisations, etc.).</p>	<p>Malgré toutes les avancées faites dans le passé, il est encore possible de faire avancer les travaux sur le lien entre pression et débit de fuite.</p>	<p>+++</p>
---	--	---	------------

<p>Van Zyl, 2005 ; Walski, 2006 ; Noack & Ulanicki, 2006]. Ainsi, cette équation a subi un nombre non négligeable d'évolutions et de modifications.</p> <p>Objectif : Proposer une revue bibliographique des méthodes mises en œuvre pour lutter contre les pertes d'eau des réseaux de distribution d'eau potable.</p>			
<p>[02] DE MARCHIS, M. ; FONTANAZZA, C. M. ; FRENI, G. ; NOTARO V. <i>Experimental analysis of leaks dynamic in a water distribution system. Waterloss. 2014.</i></p>			
<p>Thème : Relation entre pression et débit de fuite.</p> <p>Objectif : Analyser le lien entre l'aire de la fuite et la pression.</p>	<p>Etude de cas : expérimentations à Enna en Italie sur 500 mètres de canalisation en polyéthylène avec huit branchements.</p>	<p>Les auteurs proposent une revue des relations remplaçant la loi de Torricelli (cf. [Ferrante, 2012]). Ils exposent la variation de l'aire de l'orifice de la fuite avec la pression.</p> <p>Ainsi, l'article a pour objet l'ajustement des résultats des expérimentations, menées à Enna Italie, à la loi de Torricelli (aire de la fuite constante ne dépendant pas de la pression), à la loi de l'<i>IWA Water Loss Task Force</i>, et à la loi de Cassa <i>et al.</i> (2010). Un résultat important est qu'il y a une variation linéaire de l'aire de la fuite avec la pression pour des pressions élevées.</p>	<p>+++</p>

III.3 Concept FAVAD

<p>[03] LAMBERT, A. <i>What do we know about pressure: leakage relationships in distribution systems? IWA Conference on System Approach to Leakage Control and Water Distribution Systems Management. 2000.</i></p>			
<p>Thème : Relation entre pression et débit de fuites.</p> <p>Contexte : Au Japon et au Royaume-Uni, l'importance de la gestion de pression dans la lutte contre les pertes est largement reconnue. Les données internationales relatives à la relation entre pression et débit de fuites démontrent que le débit de fuites est habituellement beaucoup plus sensible à la pression que ce que prédit la relation avec la racine carrée (et ce en raison de plusieurs composants différemment sensibles à la pression).</p> <p>Objectif : Présenter l'application du concept FAVAD (présentation de l'équation simplifiée avec</p>	<p>Exemple du Japon qui considère le lien entre pression et débit de fuite (le débit varie en fonction de la pression à la puissance 1,15). Valeurs de N_l issues de tests en laboratoire (canalisations percées) et de tests sur des secteurs (hors charge et de nuit), à l'échelle internationale.</p>	<p>L'aire effective CdA varie avec la pression.</p> <p>N_l varie entre 0,5 et 2,5 selon le matériau et le type de fuites. Les fuites diffuses sont assez sensibles à la pression : N_l proche de 1,5. Pour les fuites détectables sur matériaux plastiques, N_l est supérieur ou égal à 1,5. Pour les fuites détectables sur matériaux métalliques, N_l est proche de 0,5.</p> <p>Pour un secteur donné, si le matériau et l'<i>ILI</i> sont connus, N_l peut être déterminé graphiquement. En l'absence d'information sur le matériau et le niveau de fuite, on suppose que N_l est égal à 1.</p>	<p>+++</p>

déchiffrement de sa pertinence).			
[04] VAN ZYL, J. E. Modeling Elastically Deforming Leaks in Water Distribution Pipes. Journal of Hydraulic Engineering. 2014.			
<p>Thème : Valeurs de N_I pour des canalisations sur lesquelles des déformations s'opèrent ; lien entre L_N et N_I.</p> <p>Objectif : Etudier le lien entre la relation conventionnelle et la relation FAVAD liant le débit de fuite à la pression ; proposer une méthode pour modéliser le comportement pression-débit de fuites individualisées sur la base d'un nouveau nombre adimensionnel, et illustrer comment ce modèle pourrait être combiné avec les travaux antérieurs ; étudier le lien existant entre les deux relations communément utilisées.</p>	<p>Revue bibliographique (état de l'art). Vérification du modèle proposé avec des données existantes. Expériences (déformation des trous de fuites).</p>	<p>L'analyse des deux équations a montré que N_I tend vers 0,5 quand la pression tend vers 0, et tend vers 1,5 quand la pression tend vers l'infini. Le nombre adimensionnel L_N est défini comme étant le rapport des parts variable et fixe du débit de fuite. Une seule fonction peut être utilisée pour décrire la relation entre L_N et N_I. L'équation conventionnelle n'est pas satisfaisante pour caractériser les fuites « élastiques » ; une autre équation basée sur un nombre adimensionnel a été proposée. Il a été montré comment N_I peut être estimé quelle que soit la pression lorsque L_N est connu. Les équations proposées par Cassa et Van Zyl (2013) ont été utilisées afin de faire des prédictions précises pour les fuites déformables.</p>	+++
[05] SCHWALLER, J. ; VAN ZYL, J. E. Implications and Characterisation of the known pressure-response of individual leaks for whole distribution systems. Waterloss. 2014.			
<p>Thème : Relation entre pression et débit de fuite (équation FAVAD).</p> <p>Objectif : Déterminer si la combinaison de fuites distinctes soumises au concept FAVAD peut expliquer les gammes d'exposants trouvés dans les systèmes de distribution.</p>	<p>Revue bibliographique, modélisation d'un réseau fictif.</p>	<p>La réponse à la problématique est oui ; l'équation FAVAD est un modèle fiable pour prédire la variation de débit suite à une variation de pression. La corrélation entre L_N et l'exposant développée par Van Zyl et Cassa (2014) est valide pour tout le réseau.</p>	+++
[06] DEYI, M ; VAN ZYL, J ; SHEPHERD, M. Applying the FAVAD Concept and Leakage Number to Real Networks: a Case Study In Kwadabeka, South Africa. Procedia Engineering (WDSA). 2014.			
<p>Thème : Relation entre pression et débit de fuite (concept FAVAD et valeurs de N_I).</p> <p>Contexte : Beaucoup d'études expérimentales menées sur la relation entre la pression et le débit de fuite ont montré que des valeurs inférieures ou supérieures à la valeur théorique égale à 0,5 sont possibles. En effet, l'aire de la fuite dépend de la pression.</p> <p>Objectif : Présenter les résultats de l'analyse de la relation pression-fuite, qui a été conduite sur plusieurs zones de gestion de pression à KwaZulu-Natal en Afrique du Sud.</p>	<p>Etude de cas : douze zones de gestion de pression à KwaZulu-Natal en Afrique du Sud.</p>	<p>Des valeurs de N_I comprises entre 0,5 et 2,79 ont été observées par différentes sources, en raison de l'influence de plusieurs facteurs : le matériau, l'hydraulique de la fuite, l'hydraulique du sol et la demande en eau. L'équation FAVAD [May, 1994] considère la variation de l'aire de la fuite en fonction de la pression. Le nombre adimensionnel L_N (Leakage Number), qui est le rapport entre les parties fixes et variables de l'équation, a été intégré. Il permet de faire le lien entre l'équation conventionnelle et l'équation FAVAD. Dans les douze zones de gestion de pression à KwaZulu-Natal, un large panel de valeurs de N_I a été obtenu à</p>	+++

		partir de l'équation conventionnelle et de l'équation FAVAD.	
<p>[07] LAUCELLI D. ; MENICONI, S. <i>Water distribution network analysis accounting for different background leakage models. Procedia Engineering (13th Computer Control for Water Industry Conference, CCWI). 2015.</i></p>			
<p>Thème : Relations entre pression et débit de fuite. Contexte : Le débit de fuite peut être plus sensible à la pression que ne le prédit la loi de Torricelli, avec des exposants compris entre 0,5 et 2,95. L'aire de la fuite peut dépendre de la pression, selon le type de fuite et les déformations pouvant affecter les canalisations. Objectif : Comparer les deux relations permettant de modéliser le lien entre débit de fuite et pression les plus largement utilisées dans la littérature : celle de Germanopoulos (équation de puissance) et celle de Van Zyl et Cassa (équation FAVAD).</p>	<p>Revue bibliographique ; test de deux modèles liant débit de fuite et pression à l'aide du système WNetXL.</p>	<p>Germanopoulos (1989) a proposé une équation plus générale que la formule de Torricelli sous la forme d'une équation de puissance :</p> $Q = \beta * P^\alpha$ <p>Les variables α et β sont deux paramètres du modèle qui représentent l'influence de certains facteurs sur la relation fuite-pression. Le paramètre β représente la détérioration de la canalisation au cours du temps ; il dépend des caractéristiques de la canalisation et de divers facteurs externes (pression moyenne, corrosion, etc.). Quant au paramètre α, il n'est fonction que des caractéristiques de la canalisation (matériau et élasticité). En général, β est plus étroitement lié au nombre de fuites (ou à l'aire de fuites) par km, tandis que α est plus fortement lié au type de fuites. La plupart des études expérimentales concernent α ; les variations de β doivent être déterminées par une calibration du modèle.</p> <p>Van Zyl et Cassa (2014) ont complété l'approche FAVAD proposée par May (1994) par le constat que l'aire de plusieurs types de fuites (trou, fuite longitudinale, etc.) varie linéairement avec la pression indépendamment des dimensions et du matériau de la canalisation et des conditions de charge. Ainsi, ils ont proposé l'expression de l'aire d'une fuite soumise à une déformation élastique :</p> $A = A_0 + m * P$ <p>Il s'avère que ce modèle-ci semble plus adéquat en particulier parce la calibration de ses paramètres est plus fiable.</p>	+++
<p>[08] SCHWALLER, J ; VAN ZYL, J. E. ; KABAASHA, A. M. <i>Characterising the pressure-leakage response of pipe networks using the FAVAD equation. Water Science & Technology: Water Supply / 15.6. 2015.</i></p>			
<p>Thème : Equation FAVAD, lien entre L_N et N_I. Objectif : Etudier la faisabilité de la caractérisation du lien entre pression et débit de fuite en utilisant l'équation FAVAD, au lieu de l'équation de puissance conventionnelle avec</p>	<p>Etude basée sur de la modélisation hydraulique (modèle stochastique de gestion de pression typique).</p>	<p>Le débit de fuite et la pression de la zone moyenne (AZP, <i>Average Zone Pressure head</i>), avant et après la réduction de pression, peuvent être utilisés avec l'équation FAVAD pour estimer l'aire initiale de la fuite et la pente de l'aire en fonction de la pression pour chaque</p>	+++

<p>l'exposant N_I; étudier l'application de l'équation <i>FAVAD</i> pour caractériser le lien entre pression et débit de fuite pour des systèmes avec de nombreuses fuites.</p>		<p>système. De plus, il a été montré que ces deux éléments produisent de bonnes estimations respectivement de la somme des aires initiales et des pentes de toutes les fuites du système.</p> <p>Un nombre adimensionnel (L_N) peut être calculé pour chaque système et être utilisé pour caractériser le lien entre pression et débit de fuite. Il est possible de lier l'exposant N_I et ce nombre adimensionnel par une simple équation.</p>	
--	--	---	--

III.4 Expression de N_I

<p>[09] IRIART, M. R. <i>Estimation of the relationship between FAVAD N_I and ILI values for flexible pipe material water systems using field data in South Africa. IWA Efficient. 2013.</i></p>			
<p>Thème : Lien entre N_I et l'<i>ILI</i>.</p> <p>Contexte : La relation entre la pression et le débit de fuite reconnue est la loi de puissance de Thornton et Lambert (2005). Si la pression est réduite de P_0 à P_I, le débit de fuite varie de L_0 à L_I, et la variation dépend de la valeur de l'exposant N_I. La variation de la valeur de N_I est liée à l'<i>ILI</i> (<i>Infrastructure Leakage Index</i>), égal au rapport entre <i>CARL</i> (<i>Current Annual Real Losses</i>) et <i>UARL</i> (<i>Unavoidable Annual Real Losses</i>). N_I est un exposant <i>FAVAD</i> proposé par [May, 1994].</p> <p>Objectif : Analyser de nouvelles données afin de tester la relation entre la pression et le débit de fuite, en considérant le lien de N_I avec l'<i>ILI</i> (développement d'une méthode par l'<i>IWA</i> afin de prédire N_I en utilisant l'<i>ILI</i> comme mesure du niveau de fuite).</p>	<p>Analyse de 40 zones de gestion de pression en Afrique du Sud afin d'étudier le lien entre N_I et <i>ILI</i>.</p>	<p>Les valeurs de N_I obtenues sont comprises entre 0,97 et 1,79 avec une valeur moyenne égale 1,29.</p> <p>De courbes logarithmiques sont présentées pour différentes valeurs de p (pourcentage de pertes réelles détectables sur des canalisations de matériau rigide) avec N_I variant entre 1,5 et 1,0 (N_I tend vers 1,5 pour $ILI < 4$ et il tend vers 1,0 pour $ILI > 10$). La valeur de N_I diminue avec un incrément de l'<i>ILI</i>, et ce décrétement est d'autant plus prononcé que l'<i>ILI</i> est faible.</p> <p>Deux nouvelles équations adimensionnelles en lien avec la loi de puissance sont obtenues. Elles caractérisent l'influence du facteur nuit-jour et de la pression moyenne d'une zone.</p>	+++
<p>[10] LAMBERT, A. O ; MCKENZIE, R. D. <i>Practical Experience in using the Infrastructure Leakage Index. IWA Conference (Water Board of Lemesos). 2002.</i></p>			
<p>Thème : Combinaison de l'<i>UARL</i> et de l'<i>ILI</i> dans le cadre de la lutte contre les pertes.</p> <p>Contexte : L'<i>ILI</i> est reconnu comme étant l'indicateur de performance le plus utile et le plus pratique. La gestion des pressions est présentée comme étant l'une des méthodes de réduction des pertes les plus efficaces.</p>	<p>Foire aux questions, issues des interrogations des services utilisant le concept de l'<i>ILI</i> (par exemple : « <i>How reliable is the assumption of a linear pressure:leakage relationship when calculating UARL?</i> » ou « <i>To what extent can pressure alone influence simple perceptions of true performance?</i> »).</p>	<p>L'<i>ILI</i> est le ratio entre <i>CARL</i> (<i>Current Annual Real Losses</i>) et <i>UARL</i> (<i>Unavoidable Annual Real Losses</i>).</p> <p>Les brusques variations de pression, ainsi qu'une pression élevée dans les réseaux, influencent la fréquence d'apparition de nouvelles fuites. Pour de réseaux avec des conduites de matériaux variés, la relation</p>	+

<p>Objectif : Faire le bilan des avis des services utilisant l'approche <i>ILI</i>.</p>		<p>liant la pression et le débit de fuite est presque linéaire, et pour des réseaux avec des conduites en plastique, le débit de fuite varie approximativement avec la pression à la puissance 1,5 [Lambert, 2001].</p> <p>La pression a une influence sur la performance (impact sur <i>CARL</i>). Des services ont pu diminuer leurs pertes réelles pour presque atteindre $CARL = UARL$ (<i>ILI</i> proche de 1). La formule de l'<i>UARL</i> prédit donc convenablement jusqu'où le service peut aller en termes de réduction des pertes.</p>	
--	--	--	--

III.5 Variations de N_I

<p>[11] GREYVENSTEIN, B. ; VAN ZYL, J. E. <i>An Experimental Investigation into the Pressure Leakage Relationship of some failed water pipes. Leakage Conference. 2005.</i></p>			
<p>Thème : Etude des variations des valeurs de N_I.</p> <p>Contexte : Des études ont montré que la valeur de N_I est souvent considérablement supérieure à 0,5.</p> <p>Objectif : Identifier et analyser les facteurs pouvant être responsables des valeurs de N_I élevées (hydraulique des fuites, comportement du matériau des canalisations, hydraulique du sol, demande en eau); présenter les résultats d'une étude expérimentale menée sur plusieurs matériaux de canalisations à Johannesburg.</p>	<p>Revue bibliographique de l'impact des quatre facteurs sur N_I.</p> <p>Expérimentations sur divers matériaux de canalisations (Johannesburg en Afrique du Sud).</p>	<p>Les quatre facteurs ayant un impact sur N_I sont :</p> <ul style="list-style-type: none"> - l'hydraulique des fuites : prise en compte de l'impact du nombre de Reynolds sur N_I ; - le comportement du matériau des canalisations : principale cause impliquant que N_I est généralement supérieur à 0,5 ; - l'hydraulique du sol : prise en compte de l'impact des particules du sol ; - la demande en eau : valeur de N_I élevée attendue pour les usages extérieurs. <p>Les valeurs de N_I trouvées pour chaque matériau sont présentées. L'impact du type et de la forme de la défaillance sur N_I est mis en évidence. Les valeurs de N_I les plus élevées ont été trouvées pour des canalisations en acier corrodé. Cette observation est contraire aux résultats de Farley et Trow (2003) indiquant que les valeurs de N_I seraient les plus élevées pour les canalisations en plastique.</p>	+++
<p>[12] CHARALAMBOUS, B. <i>Effective Pressure Management of District Metered Areas. Waterloss. 2007.</i></p>			
<p>Thème : Mise en place d'un plan de gestion de pression.</p> <p>Objectif : Lister les expériences internationales liées à l'application et à l'optimisation de la gestion</p>	<p>Revue bibliographique à l'échelle internationale de la mise d'un plan de gestion de pression.</p> <p>Description de la méthode pour la mise en place d'un</p>	<p>L'article présente l'exemple du <i>Water Board of Lemosos</i> : équiper tous les secteurs de Limassol de vannes de régulation de pression afin de réduire la pression jusqu'au minimum atteignable, et lorsque la réduction est</p>	+++

<p>de pression.</p>	<p>plan de gestion de la pression au <i>Water Board of Lemesos</i>.</p>	<p>impossible, mettre en place des dispositifs de contrôle et de stabilisation de la pression. La gestion de pression est intégrée dans un plan de sectorisation du réseau.</p> <p>Le plan de gestion de pression a permis de réduire les débits de fuites détectables et diffuses, et la fréquence d'apparition des casses.</p> <p>Les rapports P_i/P_0 et L_i/L_0 ont été calculés et la valeur de N_i en découlant pour chaque secteur a été déterminée (valeurs comprises entre 0,64 et 2,83 avec une valeur moyenne égale à 1,47). Les valeurs obtenues sont du même ordre de grandeur que celles calculées par Lambert (2001), ce qui renforce la légitimité de cette relation.</p>	
<p>[13] FANTOZZI, M. ; LAMBERT, A. <i>Including the effects of pressure management in calculations of Short-Run Economic Leakage Levels. Waterloss. 2007.</i></p>			
<p>Thème : Calcul du <i>SRELL</i> (<i>Short Run Economic Leakage Level</i>), correspondant au niveau de fuite économique à courte échéance, en incluant l'influence de la gestion de pression.</p> <p>Contexte : La gestion des pressions a un effet significatif sur la fréquence d'apparition des fuites et des casses. Pourtant, de nombreuses méthodes développées au Royaume-Uni dans les années 90 ne tiennent pas compte de l'influence des changements de pression.</p> <p>Objectif : Proposer une méthode pour inclure les effets de la gestion de pression dans les calculs du <i>SRELL</i>, en considérant les variations du débit de fuite, du nombre de fuites et de leur coût de réparation, et des revenus liés aux volumes d'eau facturés.</p>	<p>Revue bibliographique à l'échelle internationale des méthodes permettant de déterminer le <i>SRELL</i> (comment atteindre un niveau économique de pertes réelles, quelles sont les étapes pour le développement d'une méthode de calcul internationale du <i>SRELL</i>, comment la gestion de pression influence les composants du <i>SRELL</i>).</p>	<p>Le niveau de fuites économique se situe entre les pertes réelles annuelles courantes et les pertes réelles annuelles incompressibles.</p> <p>Des valeurs différentes de N_i sont déterminées selon la nature des matériaux et le contexte (fuites associées à des branchements de mauvaise qualité raccordés à la canalisation principale par exemple).</p> <p>Il est montré que les tentatives pour calculer le <i>SRELL</i> sans considérer la pression n'ont pas de sens : l'influence de la pression sur les fuites, sur les coûts des réparations, etc., est trop importante pour être ignorée.</p> <p>Les recherches sur le sujet se poursuivent.</p>	++
<p>[14] MOREAU, J. M. G. <i>Réguler la pression – Réduire les pertes – Protéger le réseau. 2007.</i></p>			
<p>Thème : La régulation de pression dans le but de réduire les pertes et de protéger le réseau.</p> <p>Contexte : De 1999 à 2003, l'<i>UKWIR</i>, a étudié pour l'industrie de l'eau anglaise</p>	<p>Synthèse de l'étude de l'<i>UKWIR</i>, menée entre 1999 et 2003, sur 65 secteurs de la <i>Bristol Water</i> et 750 secteurs de la <i>Yorkshire Water</i>.</p> <p>Présentation de résultats issus d'autres études.</p>	<p>L'exposant égal à la racine carrée est remis en cause car la section de passage des fuites sur un matériau souple n'est pas constante.</p> <p>La conclusion de l'étude de l'<i>UKWIR</i> est : « Un rapport à la racine carrée entre la pression moyenne de nuit et la</p>	++

<p>la relation entre pression et pertes d'eau, et a mis en évidence une relation entre le débit de nuit (dont les fuites sont la composante essentielle) et la pression de service.</p> <p>Objectif : Présenter les relations entre pression et fréquence de fuites, et pression et débit des fuites ; présenter les bénéfices de la régulation de pression ; étudier la régulation de pression sur plusieurs études de cas.</p>	<p>Etudes de cas : zone d'Oval Brixton à Londres, zone d'Hampton 30" à Londres, l'Etage 85 à Casablanca.</p> <p>Annexes du rapport : fonctionnement d'une vanne de régulation hydraulique à pilote, d'un stabilisateur aval à pilote, etc.</p>	<p>fréquence des casses peut être utilisé pour prédire, de façon pessimiste et <i>a minima</i>, les effets du contrôle de pression. Les résultats obtenus devraient être meilleurs, grâce à la stabilité apportée par la régulation de pression. »</p>	
<p>[15] AUBIN, C. <i>Etude du potentiel des actions de réduction des fuites des réseaux d'eau potable</i>. Irstea. 2011.</p>			
<p>Thème : Potentiel de la modulation de pression sur la réduction des fuites.</p> <p>Objectif : Etudier l'impact de la pression sur le débit de fuites ; valider ou non la relation de Farley (2001).</p>	<p>Revue bibliographique ; étude de cas (SIAEP de Coulounieix-Razac).</p>	<p>Sur un secteur d'étude, L_I est déterminé pour différentes variations de pression avec la relation de Farley (2001). Ensuite, l'impact de la diminution ou de l'augmentation de pression sur les débits de fuites est étudié, grâce au suivi des débits de nuit. Ceci permet de déterminer les valeurs réelles de l'exposant N_I à chaque changement de pression.</p> <p>Le lien entre la pression et le débit de fuites et l'influence de la pression sur l'apparition des fuites sont mis en évidence. Cependant, l'utilisation de la formule liant la pression et le débit n'est pas validée : les valeurs déterminées pour L_I ne sont conformes aux prédictions issues de la littérature, et ces valeurs sont très variables.</p> <p>Une autre approche doit donc être recherchée afin d'établir le lien entre la pression et le débit à l'échelle d'un secteur.</p>	++
<p>[16] FUCHS-HANUSCH, D. ; MÖDERL, M. ; SITZENFREI, R. ; FRIEDL, F. ; MUSCHALLA, D. <i>Systematic estimation of discharge water due to transmission mains failure by the means of EPANET2</i>. Waterloss. 2014.</p>			
<p>Contexte : Il existe de nombreuses études portant sur l'exposant N_I, mais peu portant sur les modes casses selon les matériaux et sur l'aire de l'orifice.</p>	<p>Utilisation d'EPANET (modélisation du type de défaillance et du matériau).</p>	<p>L'article comprend un tableau exposant l'aire de l'orifice et la valeur de l'exposant N_I pour plusieurs types de défaillances et matériaux.</p> <p>Les principaux paramètres influençant l'écoulement d'une fuite sont : le type de défaillance, le matériau, l'aire de l'orifice et la pression.</p>	++
<p>[17] THORNTON, J. ; LAMBERT, A. <i>Managing pressures to reduce new breaks</i>. Water 21 (December). 2006.</p>			
<p>Thème : Relations entre pression et fuites, pression et consommation, et pression et</p>	<p>Présentation d'exemples issus de différents pays sur l'influence immédiate et</p>	<p>Une des conclusions est que l'exposant N_2 n'est pas adapté pour faire le lien entre la pression et la</p>	+

<p>fréquence d'apparition de nouvelles fuites et casses. Contexte : Les chercheurs de l'équipe <i>Pressure Management</i> de l'<i>IWA Water Loss Task Force</i> ont pour volonté d'améliorer la compréhension des relations liant la pression et les débits de fuites, la pression et la consommation, et la pression et la fréquence d'apparition de nouvelles fuites et casses. Objectif : Présenter les développements sur les douze derniers mois de ces trois relations.</p>	<p>souvent majeure de la gestion de pression sur la fréquence d'apparition des casses. Présentation de l'approche proposée par l'équipe <i>Pressure Management</i> pour analyser le lien entre la pression et la fréquence d'apparition des casses.</p>	<p>fréquence d'apparition de casses (cf. conférence <i>Waterloss</i> 2007). Les auteurs espèrent que l'article va encourager les lecteurs à considérer sérieusement l'influence de la gestion de pression sur les réseaux de distribution, et à devenir actifs en termes de gestion de pression sur leurs réseaux.</p>	
---	--	---	--

III.6 Les trois relations liant la pression à d'autres paramètres : débit de fuite, fréquence d'apparition de nouvelles casses et consommation

<p>[18] THORNTON, J. ; LAMBERT, A. O. <i>Pressure management extends infrastructure life and reduces unnecessary energy costs. Waterloss. 2007.</i></p>			
<p>Thème : Relation entre pression et fréquence d'apparition de nouvelles casses. Contexte : La gestion des pressions a été présentée comme étant la « méthode préventive par excellence » dans le cadre de la lutte contre les pertes. Alors que les variations de débit de fuites et les impacts sur certains composants des consommations sont prévisibles de manière fiable [Thornton & Lambert, 2005], peu d'études ont été menées quant à l'influence de la gestion de pression sur la fréquence d'apparition de nouvelles casses. Objectif : Résumer les données liant pression et fréquence de casse fournies par les membres de l'équipe <i>Pressure Management</i> de <i>Water Loss Task Force</i> ; proposer une approche conceptuelle pour comprendre et prédire pourquoi la réduction de la fréquence d'apparition de nouvelles casses est si marquée en cas de baisse de pression.</p>	<p>Présentation de données issues de cent exemples internationaux.</p>	<p>Les réductions de la fréquence d'apparition de nouvelles casses observées sont comprises entre 25 et 90 %, avec une réduction moyenne de 50 %. L'équipe <i>Pressure Management</i> de <i>Water Loss Task Force</i> continuera d'analyser les données disponibles et de publier ses résultats. Les impacts et bénéfices sur la gestion des infrastructures et de l'énergie à long terme seront traités ultérieurement.</p>	+++
<p>[19] LAMBERT, A. O. ; FANTOZZI, M. <i>Recent Developments in Pressure Management. Waterloss. 2010.</i></p>			
<p>Thème : Développement de méthodes de gestion de pression ; relations entre pression et débit de</p>	<p>Résumé de l'état de l'art des concepts et méthodes de gestion de la pression</p>	<p>Les auteurs présentent les lois de puissance avec N_1, N_2 et N_3. L'article inclut l'expression de N_1</p>	+++

<p>fuite, pression et nombre de casses, et pression et consommation.</p> <p>Contexte : Il y a trente ans, les recherches menées au Japon et au Royaume-Uni ont identifié que la relation moyenne entre la pression et le débit de fuites était approximativement linéaire, plutôt qu'à la racine carrée.</p> <p>Objectif : Etablir un résumé de l'état de l'art des concepts et méthodes utilisés pour prédire les bénéfices liés à un plan de gestion de pression.</p>	<p>dans le but de promouvoir une coopération internationale afin de les améliorer ; vue d'ensemble sur les bénéfices dus à la gestion de pression.</p>	<p>en fonction de l'<i>ILI</i> et du pourcentage de matériau rigide (<i>p</i>) [Thornton & Lambert, 2005]. La relation liant la pression et le débit de fuites basée sur le concept <i>FAVAD</i> est fiable.</p> <p>D'après Pearson <i>et al.</i>, (2005), l'équation <i>FAVAD</i> basique liant le nombre de casses et la pression à la puissance N_2 n'est pas appropriée. Cependant, la compréhension du lien entre pression et casses s'améliore (méthodes actuelles basées sur la fréquence de casses connue et le taux de réduction de la pression maximale) ; les recherches se poursuivent.</p> <p>Il est possible de déterminer la réduction de la consommation en utilisant le concept <i>FAVAD</i>, en supposant que la consommation varie avec la pression à la puissance N_3. Des méthodes de prédiction des réductions des consommations mesurées, basées sur le partage des usages intérieurs et extérieurs et sur l'exposant N_3, sont disponibles.</p>	
<p>[20] LAMBERT, A. ; THORNTON, J. <i>Pressure: Bursts Relationships: Influence of Pipe Materials, Validation of Scheme Results, and Implications of Extended Asset Life. Waterloss. 2012.</i></p>			
<p>Thème : Relation entre pression et casses.</p> <p>Contexte : Il existe une équation de prédiction de la réduction de la fréquence des casses en fonction de la réduction de pression (datant de 2007 et basée sur des données issues de 112 zones à gestion de pression) [Thornton & Lambert, 2006-2007].</p> <p>Objectif : Relever les méthodes pratiques permettant de prédire le lien entre pression et casses.</p>	<p>Revue bibliographique : état de l'art des méthodes pratiques utilisées pour sélectionner les zones de gestion de pression et analyser les données qui en sont issues.</p>	<p>L'article présente plusieurs méthodes permettant l'analyse des données liant pression et casses issues de zones de gestion de pression.</p> <p>Les auteurs proposent une nouvelle relation avec l'exposant N_2 incluant le composant de la fréquence de casses <i>BFnpd</i> (ne dépendant pas de la pression).</p>	+++
<p>[21] LOUREIRO, D. ; ALEGRE, H. ; TEIXERA COELHO, S. ; COVAS, D. ; MAMADE, A. <i>Assessing the potential of pressure management to control leakage and water consumption. IWA Efficient. 2013.</i></p>			
<p>Thème : Relations entre pression et fuites, et pression et consommation (distinction des consommations intérieures et extérieures).</p> <p>Contexte : La réduction de pression permet de réduire les pertes réelles, et de diminuer la fréquence des fuites et des casses, mais il y a un manque de connaissance concernant les impacts de la réduction de pression sur la consommation.</p> <p>Objectif : Montrer l'effet de la</p>	<p>Etude détaillée de trois petits secteurs équipés de télémétrie.</p>	<p>Les auteurs présentent les lois de puissance avec N_1, N_2 et N_3.</p> <p>Les variations de pression n'ont pas d'influence sur la consommation intérieure (part la plus importante des consommations) ; elles ont une influence sur les fuites après compteurs (N_3 supérieur à 1,5) et sur la consommation extérieure (N_3 supérieur à 0,5). Les résultats suggèrent qu'une part importante</p>	+++

gestion de pression sur les fuites et la consommation.		de la consommation facturée n'est pas influencée par les variations de pression. Concernant les consommations extérieures, des recherches supplémentaires doivent être menées (systèmes d'irrigation influencés par la pression par exemple).	
--	--	---	--

III.7 Impacts de la gestion de pression : études de cas

[22] FANTOZZI, M. ; LALONDE, A. ; LAMBERT, A. ; WALDRON, T. <i>Some international experiences in promoting the recent advances in practical leakage management.</i> IWA Publishing. 2006.			
<p>Thème : Méthodes pour la réduction des pertes d'eau (dont la gestion de pression).</p> <p>Contexte : D'importantes avancées ont été menées par l'<i>IWA Water Losses Task Force</i> ces dernières années dans le développement de méthodes de réduction des pertes d'eau (gestion de pression, recherche active de fuites, etc.).</p> <p>Objectif : Lister les expériences de réduction des pertes d'eau menées par des services publics d'Australie, d'Europe et d'Amérique du Nord.</p>	<p>Revue bibliographique des méthodes de réduction des pertes d'eau (exemples en Australie, Europe et Amérique du Nord).</p> <p>Tableau de prédiction des réductions du débit de fuites, de la fréquence d'apparition de nouvelles casses et de la consommation résidentielle, dans le cadre d'un plan de gestion de pression.</p>	<p>L'article présente de nombreux exemples illustrant l'impact bénéfique de la gestion de pression sur la réduction de la fréquence d'apparition de nouvelles casses.</p>	+++
[23] FIGUERES, F. ; ANSELME, C. <i>Modulation de pression : l'expérience de Bordeaux.</i> IWA Efficient. 2013.			
<p>Thème : Mise en place d'un plan de modulation de pression sur le territoire de la CUB.</p> <p>Objectif : Etudier l'impact de la mise en place d'un système de modulation de pression sur le territoire de la CUB ; quantifier les impacts du renouvellement d'une part, de la modulation de pression d'autre part, sur le taux de casse sur branchements et sur le volume de pertes.</p>	<p>Etude de la mise en place d'un système de modulation de pression sur le territoire de la CUB avec quantification des impacts liés au renouvellement et à la modulation de pression.</p>	<p>Les conséquences de la mise en place d'un système de modulation de pression sur le territoire de la CUB sont la diminution du volume livré au réseau, la diminution du taux de casse sur branchements, et l'augmentation du rendement de réseau.</p>	+++
[24] LAMBERT, A. O. <i>International Report – Water Losses Management and Techniques.</i> IWA Congress. 2001.			
<p>Thème : Gestion des volumes d'eau non vendus et des pertes d'eau.</p> <p>Objectif : Promouvoir une définition, l'évaluation et la gestion standardisées des volumes d'eau non vendus et des pertes d'eau, à l'échelle internationale.</p>	<p>Etat de l'art des plans de gestion de pression menés dans le monde.</p> <p>Tableau listant les références à la gestion des pressions dans les rapports nationaux (hors Japon et Royaume-Uni).</p>	<p>L'article inclut la présentation quatre méthodes de base permettant de réduire les pertes réelles (dont la gestion des pressions).</p> <p>Les bénéfices apportés par la gestion des pressions sont : l'amélioration de la durée de vie des réseaux, la réduction de la fréquence de casses et de fuites, la réduction du débit des fuites, etc.</p>	++

		<p>La relation de type <i>FAVAD</i> simplifiée liant le débit de fuite et la pression est présentée. Les valeurs de N_f sont déterminées grâce au suivi des débits de nuit (plus la valeur de N_f est élevée, plus les débits de fuite sont sensibles aux variations de pression).</p> <p>La gestion des pressions est de plus en plus largement reconnue comme un moyen efficace pour lutter contre les pertes. La compréhension de base de la relation liant la pression est le débit de fuite s'améliore.</p>	
<p>[25] FARLEY, M., et al. <i>The Manager's Non-Revenue Water Handbook – A Guide to Understanding Water Losses</i>. USAID, Ranhill. 2008.</p>			
<p>Thème : Méthodes pour la réduction des pertes d'eau (dont la gestion de pression).</p> <p>Objectif : Comprendre et quantifier les pertes d'eau ; proposer des méthodes de réduction de pertes d'eau.</p>	<p>Guide de bonnes pratiques.</p>	<p>L'article présente la relation entre la pression et le débit de fuites en fonction de N_f. Il cite des méthodes de réduction de la pression.</p>	<p>++</p>
<p>[26] LEE, V. <i>Factors Affecting the Natural Rate of Rise of Leakage</i>. UKWIR. 2009.</p>			
<p>Thème : Evolution du <i>NRR</i> (<i>Natural Rate of Rise</i>).</p> <p>Objectif : Etudier l'influence de plusieurs facteurs tels que la pression sur le <i>NRR</i> et les fuites ; prévoir l'évolution du <i>NRR</i> suite à la mise en place d'un plan de gestion de pression (modèles prédictifs tenant compte de plusieurs facteurs impactant le <i>NRR</i>).</p>	<p>Etude menée sur les fuites de trois compagnies des eaux volontaires durant environ cinq mois ; valeurs des <i>NRR</i> fournies par six compagnies des eaux volontaires.</p>	<p>L'<i>AZNP</i> (<i>Average Zone Night Pressure</i>) est utilisée pour classifier les secteurs par gamme de pression.</p> <p>La prédiction du <i>NRR</i> est effectuée par classe d'âge pour chaque gamme de pression. La pression a un impact significatif sur le <i>NRR</i>. Tous les facteurs impactant l'évolution du <i>NRR</i> sont inclus dans des modèles prédictifs.</p>	<p>++</p>
<p>[27] BOTHA, M. <i>Water Loss Reduction through Pressure Management</i>. Warloss. 2009.</p>			
<p>Thème : Mise en place conjointe de la sectorisation et d'un plan de gestion de pression afin de lutter contre les pertes d'eau.</p> <p>Contexte : Il y a une corrélation entre la pression et le débit de fuite : lorsque l'on réduit de 1 % la pression, on réduit d'environ 1,15 % le débit de fuite. Il est avéré qu'une bonne gestion de la pression est l'une des nombreuses solutions permettant de réduire les pertes d'eau ; c'est en général l'approche la plus économique permettant d'obtenir des résultats immédiats.</p> <p>Objectif : Présenter les bénéfices de la mise en place conjointe de la sectorisation et d'un plan de gestion</p>	<p>Revue bibliographique à l'échelle internationale.</p> <p>Tableau de l'influence de la gestion des pressions sur la fréquence d'apparition de casses sur 112 systèmes dans dix pays.</p>	<p>Lorsque la pression est réduite, la fréquence des casses sur canalisations décroît. Souvent les casses sur canalisations ont lieu la nuit lorsque la demande est faible et la pression élevée.</p> <p>L'article introduit le principe de la sectorisation et de ses bénéfices lorsqu'elle est couplée par un plan de gestion de pression. Il inclut la présentation des différentes technologies de gestion de la pression (vannes de régulation de pression notamment).</p>	<p>++</p>

de la pression (multiplier les petits secteurs et ne fournir que la pression nécessaire pour alimenter les abonnés en eau potable).			
[28] WALDRON, T. J. ; WISKAR, D. ; BRITTON, T. ; COLE, G. <i>Managing Water Loss and Consumer Water Use with Pressure Management. Waterloss. 2009.</i>			
Thème : Débit de nuit minimal, et impact du contrôle de la pression sur la fréquence de casses, la consommation et les fuites. Objectif : Evaluer le débit de nuit minimal ; étudier l'impact du contrôle de la pression sur la fréquence de casses, la consommation et les fuites.	Analyse de données australiennes (Hervey Bay) : secteurs incluant 22 000 propriétés domestiques et 2 000 propriétés commerciales.	L'article inclut la présentation des débits de nuit minimaux obtenus sur les secteurs étudiés, ainsi que la quantification de l'impact de la réduction de pression sur le débit de fuite, la fréquence de casses et la consommation.	++
[29] FARLEY, M. <i>Leakage management and control – A best practice training manual. World Health Organization. 2001.</i>			
Thème : Méthodes pour la réduction des pertes d'eau (dont la gestion de pression). Objectif : Proposer des méthodes de réduction de pertes d'eau.	Guide de bonnes pratiques.	Le guide expose les méthodes de mise en place de zones de gestion de pression, ainsi que les méthodes pour choisir des vannes de régulation de pression et autres systèmes de contrôle de la pression.	+
[30] ZIEGLER, D, et al. <i>Guide pour la réduction des pertes en eau centré sur la gestion de la pression. GIZ. 2011.</i>			
Thème : Concepts de gestion de la pression. Objectif : Décrire une approche progressive de mise en place d'un plan de gestion de pression.	Guide de bonnes pratiques ; études de cas. Présentation d'un graphique d'aide à la prise de décision pour les sept cas typiques d'utilisation de techniques de gestion de la pression.	Le guide expose les concepts de modulation de pression (vannes de régulation de la pression, secteurs de gestion de pression, etc.).	+
[31] RENAUD, E ; KHEDHAOURIA, D ; CLAUZIER, M. ; NAFLI, A. ; WITTNER C. ; WEREY C. <i>Réduction des fuites dans les réseaux d'alimentation en eau potable – Systèmes d'indicateurs et méthodologies pour la définition, la conduite et l'évaluation des politiques de lutte contre les fuites dans les réseaux d'eau potable – Fiches pratiques. ONEMA, Irstea. 2012.</i>			
Thème : Modulation de pression. Contexte : La pression dans les réseaux influence les fuites en les intensifiant ou en les créant. L'intérêt d'abaisser la pression dans une perspective de diminution des volumes de pertes est aujourd'hui largement démontré. Objectif : Evaluer la pression d'une zone de desserte ; présenter les possibilités de réduction de la pression d'un secteur.	Fiches pratiques (Axe 3 : Plan d'actions – Fiche 3.3 : Modulation de pression).	La valeur de N_f varie suivant les caractéristiques des canalisations concernées : N_f est le plus souvent compris entre 0,5 (matériaux rigides) et 2,5 (matériaux déformables pour lesquels l'augmentation de la pression s'accompagne d'une augmentation de la section de l'orifice).	+
[32] TROW, S. ; SMITH, A. "Case Study: Forecasting the financial and other benefits of pressure management for a long term investment plan". Waterloss. 2014.			
Thème : Bénéfices financiers et autres d'un plan de gestion de pression. Objectif : Etudier les bénéfices de la mise en place d'un plan de gestion de	Revue bibliographique, étude de cas au Royaume-Uni (<i>Anglian Water</i>).	L'article expose les bénéfices du plan de gestion de pression sur le débit de fuite, la réduction de la fréquence des casses, la consommation ainsi que sur les	+

pression ; formuler une méthodologie pour intégrer les bénéfices de la réduction et du contrôle de la pression.		investissements.	
[33] POONA, V. A. ; BAZET, J. I. ; PENA, I. M. <i>Pressure Management and System Stabilisation Case Study in eSikhaleni, South Africa. Waterloss. 2014.</i>			
Thème : Mise en place d'un plan de gestion de pression. Objectif : Etudier la mise en place d'un plan de gestion de pression.	Etude de cas : eSikhaleni en Afrique du Sud.	L'article expose les impacts de la mise en place du plan de gestion de pression à eSikhaleni en Afrique du Sud : réduction de la fréquence d'apparition de casses, etc.	+
[34] ČARAPOVIC, V. ; BOZIC, M. ; KOVAC, J. <i>Advanced Pressure and Flow control – pilot project for water loss reduction in Daruvar, Croatia. Waterloss. 2014.</i>			
Thème : Mise en place d'un plan de réduction des pertes. Objectif : Etudier la mise en place d'un plan de réduction des pertes.	Etude de cas : Daruvar en Croatie.	L'article expose les impacts de la mise en place du plan de gestion de pression à Daruvar en Croatie : économie d'eau, réduction de la fréquence d'apparition de casses, etc.	+

III.8 Indicateurs de pression

[35] RENAUD, E. ; SISSOKO, M. T. ; CLAUZIER, M. ; GILBERT, D. ; KHEDHAOUIRIA, D. <i>Comparative study of different methods to assess average pressures in water distribution zones. Water Utility Journal. 2011.</i>			
Thème : Développement d'indicateurs de pression. Contexte : Dans le cadre de la loi Grenelle du 10 juillet 2010, il y a le développement d'une méthodologie et d'indicateurs techniques et financiers pour définir et évaluer les actions de lutte contre les pertes. Les indicateurs communément utilisés en France ne tiennent pas compte de la pression bien que cette dernière soit maintenant considérée comme un facteur important dans la lutte contre les pertes. Objectif de l'article : Etudier la définition et les mesures d'indicateurs de pression représentatifs d'une zone de service, dans le contexte français.	Synthèse de l'étude de Sissoko (2010). Présentation des concepts et méthodes développés par l'IWA : <i>CASP (Current Average System Pressure)</i> , <i>AZNP (Average Zone Night Pressure)</i> , et <i>AZP (Average Zone Point)</i> . Etudes de cas : RMMS de La Réole et SIAEP de Coulounieix-Razac.	L'article présente le lien entre l' <i>UARL</i> et la pression. Afin d'établir la relation entre pression et fuites, la pression doit être déterminée à l'échelle du secteur car elle est variable à la fois dans l'espace et au cours du temps. Trois méthodes sont possibles pour évaluer la pression : la méthode topographique, le modèle hydraulique et les mesures (avantages et inconvénients pour chacune). L'utilisation de l'indicateur <i>CASP</i> pourrait être préconisée dans la France entière et il pourrait être inclus dans le RPQS.	++
[36] BEN HASSEN, F. <i>Caractérisation et évaluation de la pression moyenne minimale d'une zone de desserte d'un réseau d'alimentation en eau potable. Irstea. 2012.</i>			
Thème : Création d'un indicateur de pertes des réseaux d'alimentation en eau potable considérant la pression de service du réseau. Objectif : Evaluer la pression moyenne minimale qui peut être atteinte sur une zone de desserte avec les technologies disponibles et	Rapport de stage : revue bibliographique (état de l'art concernant l'utilisation des stabilisateurs de pression aval) et expérimentations sur trois logiciels de modélisation hydraulique.	Le rapport se base sur l'utilisation de la méthode hydraulique [Sissoko, 2010] pour calculer la pression moyenne d'une zone (<i>CASP, Current Average System Pressure</i>). L'auteur propose trois relations (incluant des indicateurs	++

<p>dans le respect des standards de qualité du service délivré aux usagers.</p>		<p>représentatifs de la distribution des pressions des secteurs) permettant d'évaluer la pression minimale d'un secteur sans avoir à mettre en œuvre une simulation via un modèle hydraulique.</p>	
<p>[37] TROW, S. W. <i>Development of a Pressure Management Index (PMI)</i>. Waterloss. 2009.</p>			
<p>Thème : Développement du <i>PMI</i> (en lien avec l'<i>ILI</i>).</p> <p>Contexte : Le <i>PMI</i> a été présenté aux conférences de Waterloss en 2007. Il a ensuite été discuté en détails avec les autres membres de <i>Water Loss Task Force</i> (en particulier avec Allan Lambert et David Pearson), qui ont proposé des commentaires pour améliorer le concept. Le <i>PMI</i> doit être une mesure simple permettant de fournir une estimation de la portée des impacts de la gestion de pression. Afin d'être cohérent avec l'<i>ILI</i>, il est proposé que le <i>PMI</i> soit le ratio entre la pression courante moyenne du système (<i>CASP</i>) sur la pression minimale annuelle de référence (<i>ASP</i> ou <i>AZP</i>).</p> <p>Objectif : Exposer le contexte et la pensée actuelle sur le développement du <i>PMI</i> ; donner les premiers résultats de son application.</p>	<p>Revue bibliographique sur le <i>PMI</i>.</p>	<p>L'article inclut une présentation d'une méthode d'estimation d'un niveau économique de gestion de pression.</p> <p>Il n'est pas suggéré que le <i>PMI</i> soit adopté universellement, mais il peut être utilisé sur les secteurs sur lesquels les quatre grands axes de lutte contre les pertes sont mis en œuvre.</p> <p>Lorsque la pression est modifiée, la fréquence d'apparition de nouvelles casses change ; il y a une modification du <i>NNR (Natural Rate of Rise)</i> des pertes réelles.</p>	+
<p>[38] RENAUD, E. <i>Towards a global performance indicator for losses from water supply systems</i>. Waterloss. 2010.</p>			
<p>Thème : Développement d'un indicateur de performance global.</p> <p>Contexte : Dans le cadre de la loi Grenelle du 10 juillet 2010, il y a le développement d'une méthodologie et d'indicateurs techniques et financiers pour définir et évaluer les actions de lutte contre les pertes.</p> <p>Objectif : Etudier les indicateurs de pertes couramment utilisés en France et à l'international ; proposer un indicateur global qui pourrait harmoniser les différentes approches.</p>	<p>Revue bibliographique des indicateurs de performance utilisés en France et à l'international ; développement d'un indicateur de performance global.</p> <p>Etude de cas (terrain rural).</p>	<p>L'article inclut la définition de <i>GLI (Global Leakage Index)</i>, égal au produit de l'<i>ILI (Infrastructure Leakage Index)</i> et de <i>PMI (Pressure Management Index)</i>. Cet indicateur est égal au rapport entre les pertes annuelles réelles courantes et les pertes annuelles réelles inévitables à la pression minimale annuelle de référence.</p> <p>Il semble pertinent pour une première évaluation du niveau de pertes, en particulier lorsque la pression moyenne du réseau n'est pas disponible.</p> <p>Une valeur approximative de <i>GLI</i>, notée GLI^E, peut être dérivée à partir de <i>CARL</i> et du nombre de branchements. Cette approche est en lien avec l'<i>ILP</i> français.</p>	+

III.9 Lien entre gestion de pression et sectorisation (sources concernant également l'axe 3)

<p>[39] FANTOZZI, M. ; CALZA, F. ; KINGDOM, A. <i>Introducing Advanced Pressure Management at Enia utility (Italy): experience and results achieved. Waterloss. 2010.</i></p>			
<p>Thème : Mise en place de <i>DMA</i> (<i>District Metered Area</i>) et <i>PMA</i> (<i>Pressure Management Area</i>).</p> <p>Contexte : Mise en place d'un programme de lutte contre les pertes à Enia en Italie.</p> <p>Objectif : Présenter les éléments principaux du programme de lutte contre les pertes à Enia.</p>	<p>Etude de cas : mise en place d'un programme de lutte contre les pertes à Enia en Italie.</p>	<p>L'article présente les résultats obtenus pour la quantification des impacts de la mise en place conjointe de la sectorisation et de la gestion de pression sur la consommation, la fréquence d'apparition de casses, les fuites, etc.</p>	+++
<p>[40] HØGH, K. <i>Assessment of Real Losses from Minimum Night Flows. Waterloss. 2014.</i></p>			
<p>Thème : Evaluation des pertes réelles.</p> <p>Objectif : Proposer une méthode de détermination des pertes réelles à partir des débits de nuit minimaux.</p>	<p>Mise en place d'une méthode.</p> <p>Graphe liant les variations de pression et les variations du débit de fuites.</p>	<p>L'article présente le cas de la mise en place conjointe de la sectorisation et de la gestion de pression.</p> <p>Les valeurs de N_l dépendent de l'agencement des secteurs et de la nature des fuites existant.</p>	+++
<p>[41] ILICIC, K. ; KOVAČ, J. ; HERCEG, V. ; BOHATKA, B. ; MEDVEN, M. ; GRDENIĆ, I. <i>Large scale water loss management improvement program in Zagreb (Croatia) water distribution network. Waterloss. 2014.</i></p>			
<p>Thème : Mise en place de <i>DMA</i> (<i>District Metered Area</i>) et <i>PMA</i> (<i>Pressure Management Area</i>).</p> <p>Contexte : Mise en place d'un programme de lutte contre les pertes à Zagreb en Croatie.</p> <p>Objectif : Etudier le découpage en <i>DMA</i> et <i>PMA</i> du réseau ; présenter les éléments principaux du programme de lutte contre les pertes à Zagreb.</p>	<p>Etude de cas : mise en place d'un programme de lutte contre les pertes à Zagreb en Croatie.</p>	<p>L'article présente le cas de mise en place conjointe de la sectorisation et de la gestion de pression, avec pour résultat la réduction des pertes dans les <i>DMA</i> et <i>PMA</i>.</p>	+++
<p>[42] PEDRONI M. ; ZAGHINI, M. ; LEONI, F. ; FANTOZZI, M. ; FRANCHINI, M. ; ANSALONI, N. ; ALVISI, S. ; GAVIOLI, D. ; BENATI, E. ; LOTTI, A. <i>Advanced leakage and pressure control in TeaAcque water utility in Mantova (Italy) by means of integrated mathematical models, leakage specialist software and real time pressure control system. Waterloss. 2014.</i></p>			
<p>Thème : Mise en place conjointe de la sectorisation et d'un plan de gestion de pression.</p> <p>Contexte : Projet intégrant un modèle mathématique pour créer des zones de gestion de pression et des secteurs, afin d'optimiser la gestion de pression et de gérer les fuites.</p> <p>Objectif : Présenter les éléments principaux du programme de lutte contre les pertes à Mantova.</p>	<p>Etude de cas : Mantova en Italie.</p>	<p>Les bénéfices principaux de la mise en place conjointe de la sectorisation et de la gestion de pression sont la réduction des pertes réelles, ainsi que la réduction de la fréquence d'apparition des casses et de la consommation.</p>	+

III.10 Synthèse

III.10.1 Généralités

Le constat initial est que le débit de fuite dépend de la pression : plus la pression est élevée, plus le débit de fuite est important, et vice-versa. La relation liant le débit de fuite à la pression a d'abord été décrite par l'équation de Wiggert (1968), inspirée de la formule de Torricelli. Cette dernière est encore massivement utilisée, mais des précautions doivent être prises lorsque la canalisation n'est pas faite d'un matériau rigide (Greyvenstein & Van Zyl, 2005) ou lorsque la pression est négative (Todini, 2003). Ensuite, une équation plus générale permettant des valeurs d'exposant différentes de 0,5 a été adoptée (Germanopoulos, 1985). Il a été montré que la valeur de l'exposant dépend du type de fuite, du comportement du matériau de la canalisation, de l'hydraulique du sol et de la demande en eau (Cassa, 2005 ; Greyvenstein & Van Zyl, 2005 ; Walski, 2006 ; Noack & Ulanicki, 2006 [01]).

Ainsi, cette équation a subi un nombre non négligeable d'évolutions et de modifications. Malgré toutes les avancées accomplies dans le passé, il est encore possible de faire avancer les travaux.

III.10.2 Concept FAVAD

Une équation incluant le concept FAVAD (*Fixed and Variable Area Discharges*) a été proposée. Cette relation permet de considérer les variations de l'aire de l'orifice de la fuite en fonction de la pression pour les canalisations faites de matériaux souples.

L'équation initiale, dite équation « orifice », tirée de la formule de Torricelli, est la suivante :

$$Q = C_d * A * \sqrt{2gh}$$

L'équation conventionnelle, plus générale, proposée par Lambert (2001), est la suivante :

$$Q = C * h^{N_1}$$

Or, cette équation n'est pas adaptée pour les matériaux souples. Ainsi, le concept FAVAD a été développé afin de considérer les variations de l'aire de l'orifice de la fuite (May, 1994 ; Cassa et al., 2010) :

$$A(h) = m * h + A_0$$

L'équation FAVAD en découlant tient donc compte de l'écoulement par la partie initiale de l'orifice et de l'écoulement par la partie en expansion de l'orifice :

$$Q = C_d * \sqrt{2g} * (A_0 * h^{0,5} + m * h^{1,5})$$

Avec Q le débit, C_d le coefficient d'écoulement, A l'aire de l'orifice, h la pression, N_1 l'exposant fuite, m la pente de l'aire en fonction de la pression, A_0 l'aire initiale de l'orifice [06].

Afin de lier l'équation conventionnelle et l'équation FAVAD, le ratio des parts variables et fixes, noté L_N , a été introduit (Van Zyl & Cassa, 2014) :

$$L_N = \frac{mh}{A_0}$$

$$L_N = \frac{N_1 - 0,5}{1,5 - N_1}$$

Il est souligné que l'équation conventionnelle est à l'échelle d'un secteur car N_1 est à l'échelle du secteur (N_1 est fonction de l'ILI, *Infrastructure Leakage Index*, et de p , le pourcentage de matériaux rigides), tandis que

l'équation *FAVAD* est à l'échelle d'une fuite donnée. Néanmoins, l'équation *FAVAD* est applicable pour un réseau entier en considérant le réseau comme une somme de fuites distinctes [05].

III.10.3 Expression de N_I

L'équation empirique liant N_I à l'*ILI* et p est la suivante (Thornton & Lambert, 2005) :

$$N_I = 1,5 - \left(1 - \frac{0,65}{ILI}\right) * \frac{p}{100}$$

Avec p le pourcentage de matériaux rigides.

Nota bene : L'*ILI* est le rapport entre *CARL* et *UARL*.

Un graphique est proposé par Lambert (2001) pour prédire N_I en fonction du matériau et de l'*ILI*.

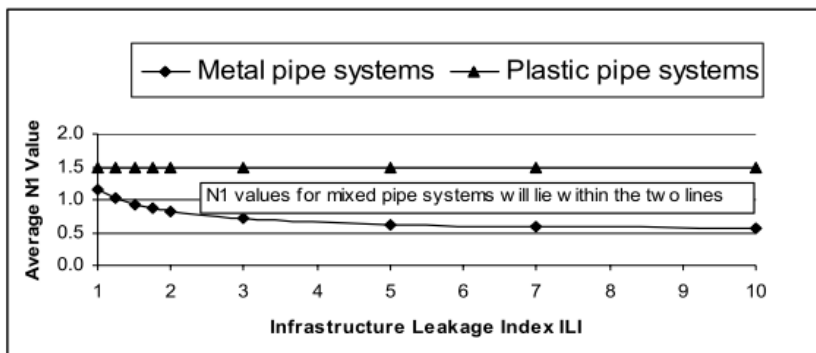


Figure 4 : Meilleure prédiction disponible de N_I [03]

III.10.4 Variations de N_I

La racine carrée dans l'équation de puissance de base a été remise en cause car la valeur de N_I est généralement plus élevée, notamment du fait du matériau, mais aussi du fait du type de la défaillance (casse, trou, corrosion, etc.). Ainsi, la relation de Lambert (2001) avec l'exposant N_I a été proposée.

L'objectif est donc d'étudier les variations des valeurs de l'exposant N_I (initialement égal à la racine carrée, mais en fait généralement supérieur à 0,5).

Quatre facteurs ont une influence sur la valeur de N_I [11] :

- le matériau de la canalisation (facteur le plus impactant : l'aire de l'orifice augmente lorsque la pression augmente pour les matériaux souples) ;
- l'hydraulique de la fuite (selon si le régime hydraulique est laminaire, transitoire ou turbulent) ;
- l'hydraulique du sol (interaction des particules du sol avec l'orifice de la fuite, etc.) ;
- la demande en eau.

Les valeurs de N_I observées [Farley & Trow, 2003] sont généralement comprises entre 0,5 et 2,79 avec une valeur moyenne égale à 1,15 et la majorité des valeurs comprises en entre 0,5 et 1,5 [05].

D'après Lambert (2001), la gamme des valeurs de α est comprise entre 0,50 et 2,50, en fonction du type de fuites dominant :

- simple trou : $\alpha = 0,5$;
- fente longitudinale s'ouvrant sur une dimension : $\alpha = 1,5$;
- ouverture linéaire-radiale : $\alpha = 2,0 - 2,5$.

Les canalisations en plastique ont généralement des valeurs de α élevées en raison d'une propension à subir des fentes longitudinales.

III.10.5 Les trois relations liant la pression à d'autres paramètres : débit de fuite, fréquence d'apparition de nouvelles casses et consommation

Outre la relation liant la pression et le débit de fuite avec l'exposant N_1 , il existe deux autres relations mettant en jeu la pression :

- l'une liant la pression à la fréquence d'apparition de nouvelles casses avec l'exposant N_2 ;
- l'autre liant la pression à la consommation avec l'exposant N_3 .

Il s'agit de relations incluant le concept *FAVAD*.

Concernant le lien entre la pression et la fréquence d'apparition de nouvelles casses, la relation initiale est la suivante [20] :

$$\% \text{ reduction in bursts (or burst frequency)} = S * \% \text{ reduction in } P_{max}$$

Avec P_{max} la pression maximale à un point d'une zone moyenne (*Average Zone Point*), S variant de 0 à 3 (avec une valeur moyenne égale à 1,4).

Ensuite, une autre relation a été proposée [20] :

$$BF = BF_{npd} + 1 * P^{N_2}$$

Avec BF la fréquence d'apparition de nouvelles casses, BF_{npd} la fréquence d'apparition de nouvelles casses ne dépendant pas de la pression, P la pression.

La réduction de pression a un impact sur la diminution de la fréquence d'apparition de nouvelles casses, mais le lien entre pression et fréquence d'apparition de nouvelles casses est encore à travailler (le coefficient N_2 n'est pas correctement défini).

Par ailleurs, la relation liant la pression à la consommation est la suivante [19] :

$$\% \text{ reduction in consumption} = 1 - OC\% * \left(\frac{P_1}{P_0}\right)^{N_{3o}} - (1 - OC\%) * \left(\frac{P_1}{P_0}\right)^{N_{3i}}$$

Avec $OC\%$ le pourcentage de consommations extérieures, N_{3i} l'exposant pour les consommations intérieures, N_{3o} l'exposant pour les consommations extérieures.

Il est supposé que :

- la pression n'a pas d'influence sur les consommations intérieures (vaisselle, etc.) avec $N_3 \approx 0,04$;
- la pression a une influence sur les consommations extérieures (irrigation, etc.) avec $N_3 \approx 0,45$.

Les variations de pression n'ont pas d'influence sur la consommation intérieure (part la plus importante des consommations) ; elles ont une influence sur les fuites après compteurs et sur la consommation extérieure. Les résultats suggèrent qu'une part importante de la consommation facturée n'est pas influencée par les variations de pression. Concernant les consommations extérieures, des recherches supplémentaires doivent être menées (systèmes d'irrigation influencés par la pression par exemple).

III.10.6 Impacts de la gestion de pression : études de cas

L'objectif est d'étudier les impacts de la gestion de pression (bénéfices relevés sur le réseau grâce à des méthodes de gestion de pression), avec la mise en place d'un plan de gestion de pression sur le territoire d'une

commune, d'une agglomération, etc. Ainsi, il s'agit de quantifier la réduction du débit de fuite, de la fréquence d'apparition des casses, etc., en cas de réduction de pression.

Des méthodes de prédiction ont été développés par la *Water Loss Task Force* afin de quantifier l'effet de la gestion de pression pour une réduction de la pression moyenne du réseau de $P_0 = 65$ mCE à $P_1 = 50$ mCE (réduction de 23,1 %).

Tableau 1 : Prédiction de l'effet de la gestion de pression [22]

Gamme probable de variations	Bas	Médian	Elevé
Débit de fuite	- 12 %	- 23 %	- 33 %
Fréquence d'apparition de nouvelles casses	- 5 %	- 48 %	- 88 %
Consommation résidentielle	- 0,9 %	- 2,4 %	- 3,8 %

Dans la bibliographie nationale et internationale, de nombreuses études de cas sont disponibles, comme la mise en place d'un plan de gestion de pression à la CUB [23]. Pour ce cas, après deux ans d'exploitation, sur la zone modulée, le volume livré au réseau a baissé de 19 % et le taux de casse sur branchements a baissé de 25 %.

III.10.7 Indicateurs de pression

Les indicateurs français de lutte contre les pertes ne tiennent pas compte de la pression. Quant aux indicateurs américains de lutte contre les pertes, principalement issus de l'*IWA*, ils sont discutables.

Des indicateurs sont donc proposés, notamment par Irstea (exemple de *GLI*, un indicateur de performance global), afin de mettre en avant l'utilité de la gestion de pression dans la lutte contre les fuites.

III.10.8 Lien entre gestion de pression et sectorisation

Un service liant gestion de pression et sectorisation a pour objectif de découper un réseau en secteurs avec mise en place de plan de gestion de pression par secteur, puis de quantifier les impacts de la mise en place conjointe de la sectorisation et de la gestion de pression sur la consommation, la fréquence d'apparition de casses, les fuites, etc.

Il a été observé que les valeurs de N_I dépendent de l'agencement des secteurs et de la nature des fuites existant.

La bibliographie nationale et internationale présente de nombreuses études de cas avec la mise en place conjointe d'une sectorisation et d'un plan de gestion de pression. Ainsi, par exemple, à Enia en Italie, une étude de l'impact de la réduction de pression a été menée sur les différents secteurs entre 2004 et 2009. Les réductions du débit de fuite, du nombre de casses et de la consommation ont été observées [39].

IV Axe Sectorisation : Apports de la sectorisation dans la lutte contre les pertes

IV.1 Présentation de l'axe Sectorisation

La sectorisation des réseaux s'est imposée comme outil de connaissance des pertes du réseau, mais son impact réel ou potentiel en termes de réduction des pertes n'est pas quantifié. Des méthodes restent à élaborer pour caractériser l'intérêt de mettre en place ou de pousser plus loin une sectorisation en regard d'autres actions de lutte contre les pertes.

L'objectif est notamment de comparer l'intérêt de la mise en place ou de l'approfondissement d'une sectorisation par rapport ou conjointement à d'autres actions de lutte contre les pertes.

IV.2 Généralités

<p>[01] RENAUD, E. ; PILLOT, J. ; LARGE, A. ; KHEDHAOUIRIA, D. Réduction des pertes dans les réseaux d'alimentation en eau potable du département de la Gironde (Prélocalisation acoustique à poste fixe et sectorisation / Consommation nocturne d'un secteur). Rapport final. Irstea. 2012.</p>			
<p>Thèmes : Prélocalisation acoustique à poste fixe, sectorisation, consommation nocturne d'un secteur. Objectif : Dans le cadre de la quantification des pertes, utiliser des données issues de la sectorisation et estimer la consommation nocturne ; dans le cadre de la réduction des fuites, mettre en place un réseau de prélocalisateurs acoustiques et l'exploiter conjointement à la sectorisation.</p>	<p>Document technique, étude de cas (deux collectivités de Gironde).</p>	<p>Le rapport explique comment mieux estimer les consommations nocturnes et ainsi fiabiliser l'interprétation des débits de nuit dans un contexte de fortes variations de la consommation des usagers.</p> <p>Il cite les apports de la prélocalisation acoustique à poste fixe lorsque le niveau de maillage du réseau ne permet pas une sectorisation fine.</p> <p>Une méthode d'évaluation de la consommation nocturne d'un secteur (proportionnalité avec la consommation moyenne) est présentée. Il est nécessaire de caler le coefficient de proportionnalité entre consommations nocturnes et consommations moyennes (possibilité de variations saisonnières).</p> <p><i>A priori</i>, il est possible d'interpréter conjointement les données issues de la sectorisation et de la prélocalisation acoustique à poste fixe.</p>	+++
<p>[02] RENAUD, E. ; KHEDHAOUIRIA, D. ; CLAUZIER, M. Réduction des pertes dans les réseaux d'alimentation en eau potable du département de la Gironde. Valorisation de la sectorisation dans la lutte contre les fuites. Rapport Final. Irstea. 2011.</p>			
<p>Thème : Sectorisation. Objectif : Quantifier les fuites par le biais d'indicateurs ; proposer une méthodologie de traitement des données issues de la sectorisation ; valoriser les résultats issus de la sectorisation, en intégrant l'influence de la pression et des caractéristiques du réseau.</p>	<p>Etude de cas (trois collectivités de Gironde).</p>	<p>Le rapport relève les difficultés rencontrées pour obtenir de façon continue des informations débitométriques fiables ; des propositions de solutions pour surmonter ces difficultés sont proposées.</p> <p>Les auteurs proposent de nouveaux indicateurs, ainsi que des méthodes de valorisation des données issues de la sectorisation.</p> <p>Suite à cette étude, les points à consolider sont : l'évaluation de la consommation nocturne en valorisant les modifications</p>	++

		saisonniers de la demande, la modélisation du débit cible d'un secteur, la combinaison de la sectorisation et des prélocalisateurs acoustiques.	
[03] PEARSON, D ; TROW, S. W. <i>An approach to target setting in DMAs with limited data or high apparent losses. Waterloss. 2012.</i>			
<p>Thème : Traitement des données issues de la sectorisation.</p> <p>Objectif : Présenter une méthode permettant d'estimer le débit de fuite et prioriser les secteurs pour la détection des fuites, même en cas d'informations issues de la sectorisation manquantes (proposition d'une approche objective).</p>	Méthodologie.	L'article présente l'estimation du débit de fuite sur les secteurs malgré le manque de données et l'expansion du nombre de branchements illégaux (estimation de la population équivalente dans chaque secteur pour chaque jour de la semaine, établissement de niveaux de priorité pour la mise en place de détection sur les secteurs).	+

IV.3 Mise en place d'une sectorisation : méthodologies pour un design optimal

[04] GOMEZ, P. ; CUBILLO, F. <i>Looking for a comprehensive and efficient approach through sectorized networks. IWA Efficient. 2013.</i>			
<p>Thème : Design d'une sectorisation.</p> <p>Contexte : La sectorisation permet une gestion efficace du réseau. La difficulté est qu'il existe un grand nombre de possibilités pour établir le contour des secteurs. Il est donc nécessaire d'identifier le découpage en secteurs optimal pour une gestion efficace du réseau.</p> <p>Objectif : Définir le design optimal d'une nouvelle structure de zones hydrauliques sur des réseaux existants ; fournir une méthodologie pour revoir le design de zones hydrauliques déjà dessinées sur des réseaux sectorisés ; proposer une méthodologie de design commune pour réorganiser et homogénéiser les réseaux existants afin d'améliorer l'efficacité du service de distribution d'eau potable, compte tenu de la variété des contextes des réseaux.</p>	Méthodologie, étude de cas (Communauté de Madrid).	Pour définir le meilleur schéma de sectorisation, il est nécessaire d'analyser le contexte et les paramètres clés du système (niveau de service, risque, rendement). Pour ce faire, les auteurs proposent des indicateurs, visent l'optimisation des coûts, etc.	++
[05] HUNAIDI, O. ; BROTHERS, K. <i>Optimum Size of District Metered Areas. Waterloss. 2007.</i>			
<p>Thème : Taille optimale des secteurs d'un point de vue économique.</p> <p>Contexte : La taille d'un secteur en termes de branchements est généralement comprise entre 500 et 3 000. L'aspect économique n'est pas encore systématiquement considéré pour déterminer la taille des secteurs.</p> <p>Objectif : Etablir une taille optimale de secteurs du point de vue économique, sur la base de modèles théoriques.</p>	Méthodologie, exemple d'application. Graphes du coût annuel en fonction de la taille des secteurs.	La taille optimale des secteurs dépend de plusieurs paramètres : coût marginal de l'eau, fréquence de fuites, coût de la détection des fuites, et critères d'intervention (trois de ces critères sont étudiés). Selon ces critères, il est possible que : <ul style="list-style-type: none"> - la taille optimale des secteurs augmente lorsque la fréquence de fuites diminue, lorsque le coût des études de fuites augmente, etc. ; 	+

		- le coût annuel décroît continuellement lorsque la taille des secteurs augmente.	
[06] Kyoungphil Kim, Jayong Koo, Sung-Gyun Jeong, Yong-Gyun Park. <i>Optimal Design Methodology of District Metered Area utilizing Geographic Information Systems</i>. Waterloss. 2014.			
Thème : Design d'une sectorisation. Objectif : Présenter une méthodologie de design d'une sectorisation, basée sur l'utilisation d'un SIG, afin de déterminer les frontières optimales d'un secteur.	Méthodologie, étude de cas (Corée du Sud).	L'article présente les paramètres à prendre en compte pour le design d'une sectorisation, afin de déterminer les frontières optimales d'un secteur. La réduction des pertes est observée grâce à la sectorisation et à la gestion des pressions.	+

IV.4 Evaluation des débits de nuit

[07] LOUREIRO, D. ; ALEGRE, H. ; TEIXEIRA COELHO, S. ; BORBA, R. <i>A new approach to estimating household night consumption at DMA level</i>. 2012.			
Thème : Débits de nuit. Objectif : Présenter des méthodes développées pour prédire la consommation de nuit des ménages par secteur.	Méthodologie, étude de cas (deux municipalités portugaises).	La part du débit de nuit due aux pertes réelles compte tenu de la consommation nocturne des ménages est déterminée. Il s'avère que la consommation nocturne des ménages dépend du contexte. Ainsi, une méthode de détermination de consommation nocturne des ménages par secteur est proposée grâce à la télégestion (prise en compte des différentes habitudes de consommation des ménages).	+

IV.5 Impacts de la mise en place d'une sectorisation : études de cas

[08] KORAL, W. ; DZIUBA, K. <i>Sectorisation, reduction and stabilisation of pressure as a key to control and decrease of leakage. Case study from Bytom, Poland</i>. Waterloss. 2012.			
Thèmes : Sectorisation ; réduction et stabilisation de la pression. Contexte : De nombreux problèmes sont rencontrés sur le réseau de la ville de Bytom en Pologne (pas de ressource en eau propre, nécessité de réduire la pression, etc.). Objectif : Dresser les difficultés rencontrées lors de la mise en place de la sectorisation.	Etude de cas (Bytom en Pologne).	Pour parer au problème des pertes d'eau à Bytom, la meilleure solution a été de concilier stabilisation et réduction de pression avec recherche active de fuites et télégestion pour chaque secteur. Les bénéfices ont été la réduction du nombre de défaillances et la limitation des coûts d'exploitation.	++
[09] Lu Yuchen, Lin Feng, Li ming, Jiang Shibo, Yi Chunlai. <i>How to control leakage through leakage separation in block DMA</i>. Waterloss. 2014.			
Thème : Sectorisation. Objectif : Etudier la réduction des pertes par le biais de leur « séparation » par secteur : - mesure des consommations nocturnes ; - amélioration de la « séparation » par secteur des pertes physiques ;	Etude de cas (Shenzhen en Chine).	La sectorisation elle-même ne permet pas de réduire les fuites. Elle est plutôt considérée comme un outil utile à la détection des fuites. Son efficacité n'est observée que pour des secteurs de taille suffisamment réduite.	++

- influence de la taille des secteurs sur leur gestion.			
---	--	--	--

IV.6 Sectorisation et techniques alternatives ou complémentaires

[10] FARLEY, M. R. <i>Are there Alternatives to the DMA? Waterloss. 2012.</i>			
<p>Thème : Sectorisation et alternatives à la sectorisation.</p> <p>Contexte : La sectorisation peut être mise en place sur tous les types de réseau. Cependant, elle n'est pas toujours employée, et il existe des alternatives.</p> <p>Objectif : Présenter les atouts et inconvénients de la sectorisation (qui a pour principe de diviser les grandes zones en plus petites afin d'avoir un meilleur suivi des débits de nuit).</p>	<p>Revue bibliographique, réflexions.</p> <p>Historique de la sectorisation au Royaume-Uni.</p>	<p>Les inconvénients de la sectorisation sont : les coûts de mise en place et d'exploitation, le risque de problèmes d'alimentation dus à la fermeture de vannes de sectorisation, les conflits possibles entre suivi des débits de nuit/identification des fuites, et alimentation des usagers, les risques de problèmes de qualité d'eau pouvant engendrer des plaintes d'usagers.</p> <p>L'auteur présente des méthodes alternatives à la sectorisation ne nécessitant ni d'installer des comptages, ni de fermer des vannes. Il s'agit des corrélateurs acoustiques, de la surveillance multi-paramètres (bruit, pression et débit ; utilisation sur secteurs ou zones de mesures virtuelles), de l'utilisation de modèles hydrauliques pour déterminer les zones de fuites.</p> <p>Cet article initie le lecteur au développement de technologies alternatives pour lutter contre les fuites et les casses, avec la volonté de les produire massivement.</p> <p>Il est relevé que la sectorisation est universellement reconnue comme étant un outil efficace de lutte contre les pertes. Pour les réseaux sur lesquels une sectorisation est déjà mise en place, il existe des options de comptages à bas coûts, permettant de réduire le temps de localisation et détection des fuites.</p>	+++
[11] CLAUDIO, K. ; COUALLIER, V. ; LECLERC, C. ; LE GAT, Y. ; LITRICO, X. ; SARACCO, J. <i>Detecting leaks through AMR data analysis. Water Science & Technology: Water Supply / 15.6. 2015.</i>			
<p>Thème : Utilisation de l'outil AMR (<i>Automatic Meter Reading</i>) pour la détection des fuites.</p> <p>Contexte : Habituellement le calcul des pertes est basé sur le débit de nuit minimal avec pour hypothèse que la consommation nocturne est constante. L'AMR fournit des informations sur les consommations journalières (ou horaires) ; c'est un outil plus précis que le calcul des pertes à partir du débit de nuit minimal. Les pertes calculées par différences entre les volumes produits et les volumes consommés nécessitent un traitement</p>	<p>Méthodologie, étude de cas (sectorisation de Canéjan en France).</p>	<p>L'AMR peut être considéré comme l'outil manquant pour le contrôle en temps réel des pertes dans un réseau.</p> <p>Le calcul basique des pertes (différence entre les volumes produits et les volumes consommés) peut conduire à de mauvaises interprétations par rapport à ce qu'il se passe vraiment sur le réseau. Ainsi, le graphe de contrôle (<i>EWMA chart</i>) permet une meilleure évaluation des pertes, avec support visuel pour la détection des fuites. Il s'agit d'un outil basé sur un traitement statistique qui permet la transformation des données de</p>	+++

<p>statistique. Objectif : Proposer un outil statistique fiable permettant une lecture et un contrôle des pertes journalières, calculées avec l'AMR et les données débitométriques ; construire et utiliser des <i>EWMA charts</i> (<i>Exponentially Weighted Moving Average</i>), soit des graphes à moyenne glissante pondérée de manière exponentielle.</p>		<p>base en information fiable, ce qui favorise un meilleur contrôle et une meilleure détection des fuites. L'inconvénient cet outil est qu'il est utile pour la détection des fuites mais pas pour leur localisation. Il s'agit d'un outil complémentaire aux technologies existantes de localisation des fuites (corrélation acoustique, etc.). L'objet de l'étude était d'approfondir l'analyse des débits de fuite afin de mieux connaître le réseau et d'adapter les moyens d'intervention (recherche active, réparation, etc.). L'AMR est un outil qui a vocation à améliorer le contrôle en temps réel du réseau.</p>	
<p>[12] ROGERS, D. ; BETTIN, A. <i>Optimum leakage management – a tale of two EU projects. Waterloss. 2012.</i></p>			
<p>Thème : Réduction des pertes. Contexte : Il est nécessaire de réduire les pertes pour préserver la ressource en eau. Objectif : Présenter des méthodes de lutte contre les pertes (modélisation hydraulique, sectorisation, etc.).</p>	<p>Revue bibliographique. Etude des variations des débits de nuit.</p>	<p>L'article décrit le projet d'automatisation « Autoleak » (évaluation économique, évaluation des bénéfices environnementaux, etc.). La mise en place d'une sectorisation n'a pas un impact direct sur le niveau de fuite, mais elle est une étape essentielle pour le réduire. Elle permet d'avoir un contrôle permanent sur le réseau (lorsque qu'une fuite apparaît, connaître sa taille et sa position). Il est souvent nécessaire d'avoir un système de télégestion pour suivre la sectorisation.</p>	++

IV.7 Synthèse

IV.7.1 Généralités

La sectorisation est très utile pour le suivi des débits de nuit.

Il s'avère que l'utilisation conjointe de la sectorisation et de la prélocalisation à poste fixe est bénéfique : les deux méthodes sont complémentaires [01].

Il est possible d'estimer le débit de fuite et de prioriser les secteurs même en l'absence de données de sectorisation complètes [03].

IV.7.2 Mise en place d'une sectorisation : méthodologies pour un design optimal

De nombreuses références présentent les paramètres à prendre en compte lors de la mise en place d'une sectorisation [4, 5].

Certaines indiquent comment déterminer des frontières optimales du secteur en se basant sur un SIG (Système d'Information Géographique) [6].

IV.7.3 Evaluation des débits de nuit

Des références présentent des méthodes d'évaluation des consommations nocturnes à partir des débits de nuit issus de la sectorisation [07].

IV.7.4 Impacts de la mise en place d'une sectorisation : études de cas

La sectorisation ne permet pas de réduire les fuites elle-même (elle n'a pas un impact direct sur le niveau de fuites), mais elle permet de les identifier, et ce plus ou moins aisément et précisément selon la taille du secteur.

La sectorisation ne suffit pas à elle seule. Il est primordial de la coupler à d'autres actions que sont notamment la stabilisation et la réduction de pression, ainsi que la recherche active de fuites et la télégestion (ces actions pouvant être appliquées selon les besoins à chaque secteur).

Ainsi, la sectorisation est une méthode complémentaire à d'autres (recherche active des fuites, gestion des pressions, etc.) en matière de lutte contre les pertes.

IV.7.5 Sectorisation et techniques alternatives ou complémentaires

La sectorisation est un outil démocratisé mais pas employé par tous les services (quelques inconvénients tels que les coûts de mise en place et d'exploitation, la manipulation des vannes, etc.). Il existe des techniques alternatives, mais aussi des techniques complémentaires lorsque la sectorisation est déjà mise en place (exemple des corrélateurs acoustiques) [10] [11].

Lorsqu'un service d'une sectorisation, il est intéressant qu'il ait un système de télégestion pour suivre ses débits sectorisation.

V Conclusion

Le renouvellement des canalisations ne supprime pas la totalité des pertes, cependant assez logiquement, le débit de nuit décroît en fonction de la part de réseau renouvelé. En même temps, il peut y avoir augmentation du taux de réparation sur le reste du réseau.

Les relations liant la pression au débit de fuite ont beaucoup évolué au cours du temps afin de tenir compte de critères variés tels que la déformation du trou de la fuite pour les matériaux souples. La relation générale intégrant l'exposant N_1 est actuellement largement utilisée car elle permet notamment de tenir compte des variations de l'aire du trou de la fuite pour les matériaux souples. Cette relation bien qu'amplement utilisée et ayant fait ses preuves (par rapport aux relations liant la pression et la fréquence d'apparition de nouvelles casses avec l'exposant N_2 et liant la pression et la consommation avec l'exposant N_3), présente pour inconvénient majeur le fait que l'exposant N_1 est sensible à de nombreux paramètres.

La sectorisation en tant qu'outil de connaissance des débits et donc des pertes a fait ses preuves. Néanmoins, elle peut être optimisée par le biais d'outils spécifiques ou complétée par la mise en place d'un plan de gestion de pression.