Une analyse d'efficience environnementale des réseaux de distribution d'eau

Pauline Pedehour, Margaux Tesson, Thomas Vallée

▶ **To cite this version:**

Pauline Pedehour, Margaux Tesson, Thomas Vallée. Une analyse d'efficience environnementale des réseaux de distribution d'eau. 2019. halshs-02166268

HAL Id: halshs-02166268
https://shs.hal.science/halshs-02166268

Preprint submitted on 26 Jun 2019

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.

Document de Travail
Working Paper

Lemna

EA 4272

Une analyse d'efficience environnementale des réseaux de distribution d'eau

Pauline Pedehour*
Margaux Tesson**
Thomas Vallée*

2019/01

(*) LEMNA - Université de Nantes
(**) Université de Nantes

UNIVERSITÉ DE NANTES

Laboratoire d'Economie et de Management Nantes-Atlantique
Université de Nantes
Chemin de la Censive du Tertre – BP 52231
44322 Nantes cedex 3 – France
http://www.lemna.univ-nantes.fr/
Tél. +33 (0)2 40 14 17 17 – Fax +33 (0)2 40 14 17 49

Une analyse d'efficience environnementale des réseaux de distribution d'eau : Le cas de Nantes Métropole

Environmental efficiency analysis of water distribution system: the case study of Nantes Métropole

Pauline PEDEHOUR

Laboratoire d'Économie et de Management Nantes Atlantique

Université de Nantes

pauline.pedehour@univ-nantes.fr

Auteur correspondant

Margaux TESSON

Université de Nantes

margaux.tesson@etu.univ-nantes.fr

Thomas VALLÉE

Laboratoire d'Économie et de Management Nantes Atlantique

Université de Nantes

thomas.vallee@univ-nantes.fr

Mots clés : Benchmarking ; eau domestique ; performance environnementale ; réseau de distribution

Keywords : Benchmarking ; environmental performance ; distribution networks ; domestic water

Classification JEL : Q25, R15, L95, Q01, R10.

Résumé

Dans un contexte de rareté croissante de l'eau, les procédés d'urbanisation doivent s'adapter aux surcoûts de l'étalement pour offrir l'accès à cette ressource. L'objet de cet article est de comprendre les déterminants du gaspillage induit par les réseaux de distribution d'eau à Nantes Métropole. Une analyse d'efficience environnementale en fonction des kilomètres de réseau et du nombre d'abonnés nous permet de mesurer l'impact de la densité des réseaux et du mode de gestion sur les fuites d'eau. L'étude comparée de l'efficience des communes sur le gaspillage montre que les réseaux peu denses et en régie sont moins efficaces et plus propices aux pertes d'eau lors de son acheminement.

Abstract

In a context of an increasing water scarcity, urbanization processes must adapt to the additional costs of network's extension to provide an access to this resource. The aim of this paper is to identify determinants of waste induced by water distribution system in Nantes Métropole. An applied environmental benchmark based on the network length and the number of subscribers allows us to measure the impact of network density and management structure on water leaks. The comparative study of efficiency between municipalities shows that low-density networks and management by the public sector are less efficient, and subject to more water loss during its delivery.

Points clés

- Nous examinons la performance environnementale des réseaux de distribution d'eau domestique par kilomètres et abonnés.
- Les communes à faible densité d'abonnés par km de réseau sont moins performantes sur le plan environnemental.
- Les communes de Nantes Métropole en régie sont moins performantes sur les pertes d'eau que les opérateurs privés.

Introduction

D'après le Système d'information des services publics d'eau et d'assainissement (SISPEA), les fuites d'eau en France représentaient environ un milliard de mètres cubes (m^3) d'eau en 2015, c'est-à-dire autant que la quantité nécessaire pour toute la distribution de la région île de France. Ce gaspillage de la ressource est d'autant plus préoccupant que la France connait des périodes de pénuries d'eau et de sécheresses locales et saisonnières à l'origine de restrictions d'usages (Erdlenbruch et Montginoul, 2013).

Dans ce contexte de rareté, le gaspillage de cette ressource vitale à l'homme est une problématique multidimensionnelle qui implique des enjeux économiques, un impact sur l'environnement mais aussi des conséquences sociales et politiques importantes. Le cadre légal pouvant être un accélérateur de la lutte contre les pertes en eau, les législations internationale et européenne ont décidé de s'en préoccuper. La désapprobation de la tarification au forfait par le Comité National de l'eau a constitué une première étape vers les économies d'eau (Montginoul, 2004 ; Montginoul, 2007). En 2000, la Directive Cadre sur l'Eau européenne puis sa transposition nationale en 2006 par la Loi sur l'Eau et les Milieux Aquatiques encouragent à la fois la prise en compte des coûts environnementaux, et la responsabilisation des usagers et des fournisseurs.

Découragé par les lois, le gaspillage de la ressource en eau présente un véritable intérêt pour la société et ses implications en termes de politiques publiques sont nombreuses. Erdlenbruch et Montginoul (2013) montrent que suite aux périodes de manque d'eau en France, il faut considérer des alternatives à la gestion conventionnelle. Par exemple, l'introduction de droits d'eau différenciés pour favoriser les usages principaux, ou bien une tarification selon l'état de la ressource peuvent dissuader les pratiques de surconsommation. Des tarifications par paliers croissants et des tarifications saisonnières pour s'adapter à la localité et la saisonnalité des sécheresses peuvent aussi être préconisées (Montginoul, 2013). Montginoul (2007) distingue trois critères essentiels pour lier les économies d'eau et la rentabilité du système : l'efficience, l'équité et la couverture des coûts.

Au-delà des implications de la tarification de l'eau, la sensibilisation est un outil primordial pour réduire le gaspillage de la ressource. La baisse de la surconsommation peut passer par les

équipements hydro-économes comme les mousseurs, les chasses d'eau à double débit, mais aussi plus généralement par la création de points d'informations, des lettres aux consommateurs ou encore des kits pédagogiques afin de sensibiliser les futurs éco-citoyens de demain (Montginoul, 2013). Les compteurs intelligents (Montginoul, 2018) représentent aussi une solution innovante afin d'optimiser la distribution d'eau à la fois pour le consommateur qui déclare les fuites que pour le fournisseur qui peut réparer les réseaux et disposer d'informations sur les disfonctionnements. Des solutions jointes sur tous les maillons de la distribution et la consommation de l'eau semblent donc essentielles pour perfectionner la qualité des réseaux d'eau.

Les gaspillages économique et environnemental de l'eau relèvent de la responsabilité de tous les acteurs à leur niveau, et les fournisseurs ont un rôle à jouer pour sa préservation au sein du processus de distribution, inhérente à la qualité des réseaux. De nombreuses études portent sur le prix de l'eau pour mesurer la performance des réseaux de distribution d'eau (Le Lannier, 2012 ; Carpentier et al., 2006), mais trop peu s'intéressent au gaspillage de la ressource et l'impact environnemental des fuites. Cet article a donc vocation à alimenter le débat sur l'acheminement de l'eau par les distributeurs en amont, en comparant les pertes du réseau de distribution, avant même sa consommation. Il en découle plusieurs questions d'intérêt collectif : Comment mesurer la performance relative (*benchmarking*) des systèmes de distribution de l'eau ? Quels éléments contextuels influencent la performance environnementale et le gaspillage de l'eau sur les réseaux ? Quels procédés d'urbanisation doivent être encouragés pour diminuer les fuites d'eau ?

Ce papier aborde ces questions par le cas d'étude de Nantes Métropole. Il se base sur une comparaison du gaspillage en eau des communes par concentration, que l'on définit comme le nombre d'abonnés par km de réseau de distribution, aussi appelée densité du réseau. Cette analyse avec des communes de concentrations différentes fournit trois principaux résultats :

1. Les réseaux peu denses sont moins performants en matière de déperdition d'eau.
2. La gestion en régie sur le territoire de Nantes Métropole est moins efficace sur les fuites d'eau que le reste du réseau, géré par un opérateur privé (ici Véolia eau).
3. Les communes péri-urbaines ont un indice de pertes linéaire (IPL : pertes par fuites sur le réseau de distribution rapportées à la longueur des canalisations) plus faible que les communes urbaines sur ce territoire et par conséquent une meilleure performance environnementale.

Ces trois principaux résultats agrémentent la littérature existante en offrant un cas d'étude concret de la performance environnementale des réseaux de distribution (Nantes Métropole), la méthode étant transposable à l'échelle d'autres territoires. Ce papier a donc pour vocation d'aider les distributeurs d'eau à améliorer la performance du réseau en comparant les fuites des communes voisines, ou présentant des caractéristiques similaires. Tout d'abord, l'article introduit la pertinence de l'utilisation de la méthode DEA comme outil d'aide à la décision sur la gestion de l'eau et le modèle développé dans ce papier (2). Ensuite, les données utilisées sur Nantes Métropole pour l'analyse sont présentées avec quelques statistiques descriptives (3). Par la suite les résultats sont détaillés (4) avant de poursuivre sur des éléments de discussion (5). Enfin, les commentaires conclusifs et les limites de ce travail constituent une dernière partie (6).

-2-

Le *benchmarking* comme outil décisionnel pour les services d'eau

L'utilisation des méthodes de performances relatives de type DEA permet de mener des études de performance environnementale sur des entreprises et/ou des territoires. La partie

suivante présente des exemples d'applications sur la ressource en eau (2.1), et expose le modèle utilisé dans ce papier (2.2).

2.1 L'utilisation des mesures de performance sur la ressource en eau

Les méthodes de comparaison de performances ont déjà été employées à de nombreuses reprises pour évaluer des entreprises, des systèmes et des réseaux de distribution ou de consommation d'eau (Le Lannier et al., 2012 ; Nicolle et al., 2014 ; Dočekalová et al., 2015 ; Dong et al., 2018). Cela tient notamment au fait que la valeur financière et la fonction du réseau en font l'élément central du service d'eau (Canneva et Guérin Schneider, 2011). En tant qu'outil essentiel de la distribution d'eau, le choix du dimensionnement de ce réseau est crucial et de bonnes prévisions de consommation sont nécessaires pour éviter des problèmes de mauvaise circulation, de stagnation et de fuites d'eau (Montginoul, 2013). Malgré la croissance démographique, la diminution de la consommation journalière au cours des dernières décennies remet en cause le bon fonctionnement du réseau, devenu trop grand en France (Montginoul, 2013) et s'explique notamment par l'équipement des foyers en électroménager plus économe (Carré et Deroubaix, 2009). Cela renvoie à la contradiction entre la volonté de limiter la consommation d'eau et son gaspillage, et la performance des réseaux qui ne sont pas adaptables facilement dans un pays où *« l'eau paie l'eau »* sous contrainte de couverture des dépenses de fonctionnement (Huet, 2014).

Le bénéfice d'une bonne performance des réseaux d'eau et de l'absence de fuites d'eau fait consensus à la fois d'un point de vue économique pour les consommateurs et les fournisseurs, mais aussi pour l'environnement. Néanmoins, le service de distribution d'eau est d'autant plus difficile à évaluer qu'il est essentiel pour que les individus puissent tous bénéficier d'un accès à l'eau potable, malgré des surcoûts de l'étalement très conséquents (Lambotte et al., 2008). Ces auteurs préconisent alors deux types d'urbanisations pour diminuer les coûts de distribution de l'eau : densification d'un espace déjà partiellement urbanisé et installation de vastes lotissements à caractère périurbain. De manière plus générale, pour qu'un service public de l'eau soit efficient et qu'il minimise les coûts, Descamp et al. (2017) encouragent une bonne connaissance des spécificités des territoires, une adaptation des modalités d'organisation à ces spécificités et une pérennisation de la relation au territoire.

Face à cet arbitrage entre économies d'eau et rentabilité d'un service d'accès à un bien vital, les modèles DEA permettent d'évaluer l'état de la ressource et des réseaux de distribution (Thanassoulis, 2000). Nicolle et al. (2014) ont réalisé une étude d'efficience relative sur l'anticipation des flux des rivières et des sources car ces prévisions sont essentielles pour un territoire comme la France qui subit des pénuries d'eau locales et saisonnières. Face à ce manque d'eau à venir, d'autres auteurs utilisent un *benchmarking* sur la consommation d'eau pour en optimiser son utilisation. Ainsi, Hunt et Rogers (2014) étudient les comportements des consommateurs d'eau domestique pour leur permettre de prendre conscience de leur niveau de prélèvement et de leur marge de progression. D'autres auteurs s'intéressent davantage au réseau de distribution d'eau déjà en place en France. C'est le cas de Le Lannier et al. (2012) qui trouvent avec un modèle non paramétrique DEA et un modèle stochastique que les performances d'un opérateur sont influencées par l'efficacité managériale, les caractéristiques de l'environnement d'activité et l'impact des bruits statistiques. Ils montrent aussi que les prix moyens de la gestion déléguée sont plus élevés qu'en régie, mais cela doit être complété par le postulat de Carpentier et al. (2006) selon lequel les opérateurs privés gèrent des réseaux plus complexes.

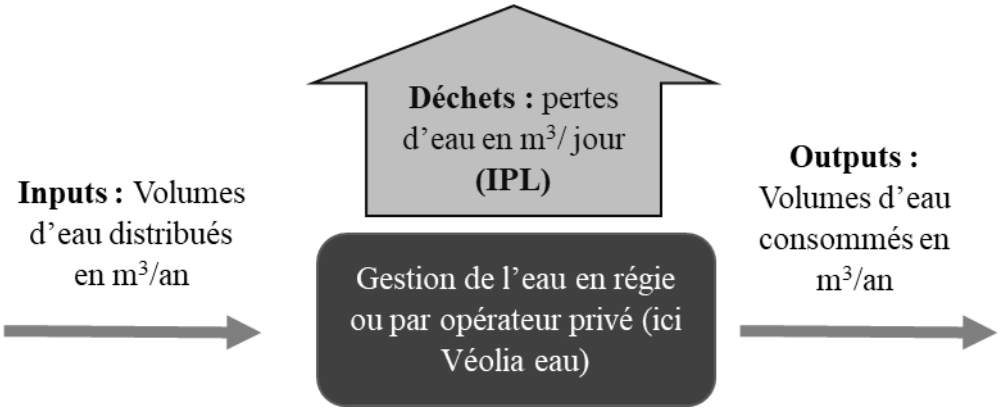
Prenant racine chez Farell (1957), ces études d'évaluation de la performance s'inscrivent dans une démarche plus globale de conventionnement décrite par Canneva et Guérin Schneider (2011). Ces auteurs tentent de construire des indicateurs et exposent le besoin actuel de

quantification de la performance pour pallier au manque de transparence et de concurrence du monopole naturel sur l'eau, et aux externalités environnementales et sanitaires qui en découlent. Dans ce contexte, cet article a vocation à agrémenter le débat en proposant une étude environnementale de la performance des réseaux basée sur le gaspillage par les fuites et la densité des réseaux (nombre d'abonnés/ longueur du réseau), plus que sur le prix déjà amplement traité (Le Lannier, 2012 ; Carpentier et al., 2006).

2.2 Cadre d'analyse et modèle

La partie suivante détaille le modèle DEA utilisé pour l'évaluation environnementale des réseaux d'eau et des fuites sur le territoire de Nantes Métropole. Plusieurs mesures de performance peuvent être utilisées pour étudier le réseau de distribution d'eau. Dans notre article nous nous appuyons sur une mesure des pertes linéaires (IPL) car cet indicateur représente une perte économique mais aussi un gaspillage environnemental d'une ressource potable limitée. La Figure 1 nous donne l'intuition de la construction du modèle.

Figure 1 : Schéma récapitulatif de la méthode DEA sur le gaspillage du réseau d'eau



Source : Auteurs

On définit Y_i comme l'output de la commune *i*, c'est-à-dire le nombre de m^3 d'eau consommé dans le réseau de la commune *i* sur l'année 2017. X_i représente l'input de la commune *i*, c'est-à-dire le nombre de m^3 d'eau distribué dans le réseau de la commune *i* sur l'année 2017. Enfin, on note W_i le déchet de la commune *i*, soit le nombre de fuites d'eau du réseau en m^3 par jour en 2017. Comme chez Kuosmanen et Kortelainen (2004), même si la considération du déchet comme un input ou un output fait débat, nous adoptons la première position car la quantité d'eau perdue engendre malgré tout un coût de distribution pour le service d'eau.

Suivant Kuosmanen et Kortelainen (2004), l'objectif formel de ce modèle « orienté environnement » (c'est-à-dire la volonté de réduire la consommation de déchets/pertes d'eau) est de déterminer la réduction maximale de fuites d'eau possible en « copiant » la performance des autres communes ou d'une commune fictive construite par une combinaison linéaire de différentes communes existantes. Les communes copiées sont des communes de référence. Mathématiquement, pour chaque commune *i*, il s'agit de résoudre le problème suivant :

$$\min_{\theta,\lambda_1,\ldots,\lambda_n} \theta \quad sc.(x,\theta w,y) \in T^{ENV} \qquad (1)$$

Avec T^{ENV} l'ensemble des possibilités de production qui se définit comme :

$$T^{ENV} = \{(x, w, y) | l'input\ x\ peut\ produire\ l'output\ y\ et\ le\ déchet\ w\} \quad (2)$$

Il s'agit de minimiser les pertes et les fuites d'eau sur le réseau (déchets) pour un niveau donné de consommation d'inputs et de production d'outputs. La résolution de ce problème passe par la construction d'une frontière d'efficience obtenue à partir de la résolution du système d'inéquations suivant, sous condition de minimisation de θ :

$$T^{ENV} = \{(x, w, y) | x_i \geq \sum_{n=1}^{N} \lambda_n * X_n\ ;\ y_i \leq \sum_{n=1}^{N} \lambda_n * Y_n\ ;\ \theta w_i \geq \sum_{n=1}^{N} \lambda_n * w_n\ ;\ \lambda_n \geq 0\} \quad (3)$$

Cette frontière d'efficience dépend des performances intrinsèques de chaque commune et vise à construire une commune hypothétique sous l'hypothèse de rendements d'échelle constants. La performance d'une commune *i* est donc relative à la performance d'une commune construite par les communes *'j'* pour lesquelles $\lambda_j > 0$. La performance relative des communes étudiées est notée θ en pourcentage, et *(1- θ)* nous donne l'amélioration potentielle en pourcentage de diminution des fuites d'eau si les communes utilisent un modèle similaire aux référents.

Les calculs des valeurs des θ et des λ ont été réalisés à partir d'un solveur Excel, et les résultats sont reproduits dans les Tableaux 4,5,6 et 7 en annexes. Ils permettent de savoir quelles sont les communes de références en ce qui concerne la performance du réseau de distribution d'eau, et quelles sont les valeurs de θ, c'est-à-dire le potentiel de progression de chaque commune par rapport aux référents.

La taille des groupes de communes étudiés a été fixée afin de respecter la règle suivante communément admise concernant le nombre d'unités décisionnelles :

$$N \geq \max\{p * q, 3(p + q)\} \quad (4)$$

La variable *N* nous donne le nombre de communes minimum par groupe de communes étudié, *p* représente le nombre d'inputs et *q* le nombre d'outputs. Soit pour nous, la contrainte :

$$N \geq \max\{2 * 1, 3(2 + 1)\} \Leftrightarrow N \geq \max\{2,9\} \quad (5)$$

Cela signifie que chaque groupe doit comporter au moins 9 communes. Un premier groupe de faible concentration (moins de 60 abonnés par km de réseau) est composé de 14 communes puis un second de forte concentration (plus de 60 abonnés par km de réseau) est composé des 10 communes restantes (Figure 2). Les 24 communes sont ensuite rassemblées pour les études globales.

-3-

Données

La partie suivante présente les données collectées (3.1) et des éléments descriptifs (3.2) utiles à la contextualisation et la compréhension de la suite de l'article.

3.1 Collecte des données

Nantes Métropole regroupe 24 communes afin de favoriser la coopération intercommunale, y compris dans le domaine de la gestion de l'eau. Nous nous intéressons ici aux données de

l'année 2017, les plus récentes accessibles au grand public, disponibles en ligne dans le rapport annuel sur l'eau du territoire pour l'année 2017 de Nantes Métropole. Ce rapport expose une majeure partie des variables caractérisant les communes : le nombre d'abonnés, les km de réseau linéaires de distribution, le mode de gestion (régie/Véolia), les volumes consommés en m^3 annuels. Cela nous a permis de calculer la concentration de chaque commune, c'est-à-dire le nombre d'abonnés de la commune par kilomètre de réseau de la commune.

Par ailleurs, certaines données communales ne sont pas disponibles de manière indépendantes mais regroupées par secteur d'une ou plusieurs communes, selon les différents contrats de distribution du territoire de la métropole. C'est le cas de l'IPL et de la distinction urbain/semi-urbain par secteur. En complément, Nantes Métropole fournit les données sur les volumes d'eau distribués en m^3 annuels par secteur disponibles ce qui permet d'avoir le découpage du territoire par secteur (Tableau 1).

Tableau 1 : Données des volumes distribués par secteur de distribution.

SECTEUR	**Nombre de m^3 annuels distribués**
Territoire DOPEA (Carquefou, La Chapelle sur Erdre, Mauves sur Loire, Nantes, Orvault, Saint Herblain, Saint Sébastien, Sainte Luce sur Loire, Thouaré sur Loire)	30 167 783 m^3
Couëron	1 084 482 m^3
Indre	243 354 m^3
Sautron	418 260 m^3
Secteur Bouguenais/ La Montagne / Rezé	4 151 409 m^3
Secteur Bouaye /Brains/ Le Pellerin/ Saint Aignan/ Saint Jean de Boiseau / Saint Léger les Vignes	1 309 012 m^3
Secteur Vertou / Basse Goulaine	2 273 163 m^3
Les Sorinières	417 191 m^3

Source : Auteurs, Données Nantes Métropole

A l'aide de ces données, nous pouvons définir les indicateurs suivants:

- **Le pourcentage d'abonnés de chaque commune par secteur :** (Nombre d'abonnés de la communes / Nombre d'abonnés total du secteur) *100
- **Le pourcentage de réseau de chaque commune par secteur :** (Nombre de km de réseau de la commune / Nombre de km de réseau total du secteur) * 100

- **Le volume distribué par commune[1] :** Pourcentage d'abonnés de la commune dans le secteur * Volume distribué total dans le secteur.
- **Pertes en m3 de chaque secteur par jour:** IPL sur le secteur * Nombre de km du secteur

Deux mesures des pertes en m^3 de chaque commune par jour sont utilisées respectivement dans la première et dans la deuxième analyse de cet article :

- **Analyse 1 (Pertes en m^3 de chaque commune/ km de réseau) :** Pertes en m^3 du secteur par jour * Pourcentage de réseau de la commune sur le secteur.
- **Analyse 2 (Pertes en m^3 de chaque commune/ nombre d'abonnés):** Pertes en m^3 du secteur par jour * Pourcentage d'abonnés de la commune sur le secteur étudié.

Par construction nous supposons les deux relations suivantes. La première stipule que la répartition des volumes de fuites des communes est proportionnelle à la longueur que son réseau représente sur le secteur[2]. La seconde stipule que la répartition du volume distribué des communes est proportionnelle au nombre d'abonnés que la commune représente sur le secteur[3].

Les données essentielles à notre analyse environnementale sont les Inputs (Volumes distribués en m^3 par commune par an), les Outputs (Volumes consommés en m^3 par commune par an) et les déchets (Volume de pertes en m^3 par commune par jour).

3.2 Eléments descriptifs

Nantes Métropole met à disposition des données publiques sur l'eau pour que chaque individu, abonné et consommateur puissent s'informer sur la tarification, la consommation, l'arbitrage qualité et/ou quantité et les investissements du territoire. L'accessibilité met en avant la volonté de transparence des services de distribution et d'assainissement, et permet également de sensibiliser des citoyens sur les problématiques de la gestion de cette ressource limitée.

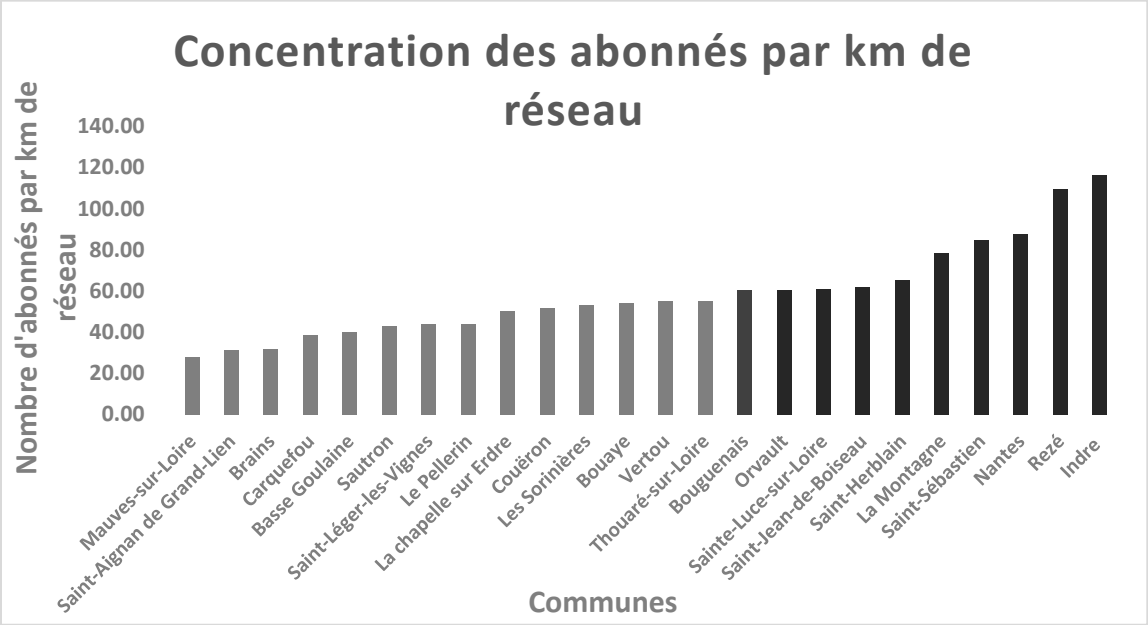
La Figure 2 résume la répartition des communes par groupe de concentration d'abonnés par km de réseau et permet de distinguer les communes avec une très faible densité comme Mauves sur Loire ou à l'inverse l'Indre avec une très forte densité d'abonnés par km de réseau.

[1] On assume ici que les abonnés ont une consommation moyenne homogène d'une commune à l'autre. Sur les 213001 abonnés au service de l'eau en 2017, 19 seulement étaient considérés comme utilisateurs d'eau non domestique (agriculture, industrie).

[2] L'âge moyen du réseau de Nantes Métropole est de 35 ans

[3] Étant ici sur des zones urbaines ou semi urbaines on comprend que les abonnés et la composition des foyers sont similaires entre communes

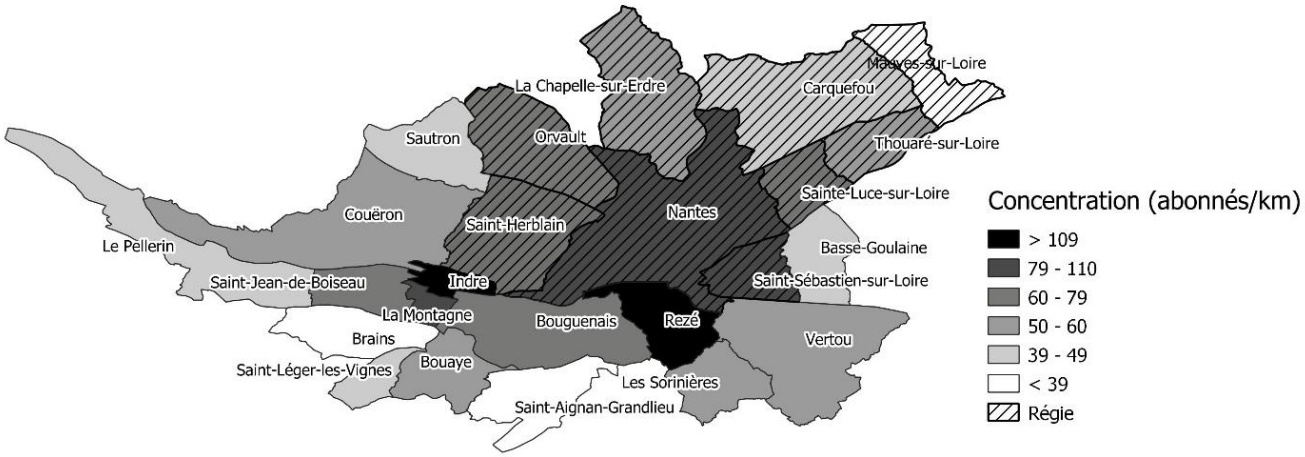
Figure 2 : Les communes selon leur concentration d'abonnés par km de réseau



Source : Auteurs, données Nantes Métropole

La Figure 3 permet de comprendre par une carte la disposition des communes selon leur concentration d'abonnés par km de réseau, et si elles sont desservies par la régie ou l'opérateur privé Véolia eau. On remarque que les communes de plus forte concentration urbaine, c'est-à-dire d'abonnés par km de réseau élevés sont généralement au centre du territoire étudié. Les communes en périphérie de Nantes sur le contour de la zone étudiée ont de moins fortes densités d'abonnés par km de réseau. La gestion en régie comprend toute la partie Est du territoire. Elle est composée de communes de tout type hormis celles très concentrées de plus de 110 abonnés par km de réseau. La régie gère généralement les espaces les plus faciles à desservir ce qui peut expliquer qu'elle ne gère pas les zones avec une densité trop forte d'abonnés par km de réseau car ces zones peuvent présenter un nombre d'interconnections élevé. Cela corrobore les propos de Carpentier et al. (2006) : *« les communes avec un réseau plus difficile à gérer, c'est-à-dire les communes avec un réseau ayant un nombre d'interconnexions élevé, dont l'essentiel de la demande d'eau est d'origine domestique, étant contraintes d'acheter de l'eau (volume acheté/volume distribué) et avec un réseau peu dense (longueur de réseau/nombre d'abonnés domestiques), ont tendance à avoir une gestion déléguée. »*. Dans ce cas on voit que les communes avec un nombre d'interconnections élevé à cause d'une densité trop forte ou à l'inverse les communes avec une densité très faible sont généralement déléguées à Véolia.

Figure 3: Les 24 communes de Nantes Métropole par concentration et système de distribution



Source : Auteurs, résultats d'analyse sur des données Nantes Métropole

Le Tableau 2 offre des informations sur les communes, les IPL par secteur et la distinction urbain/semi-urbain pour interpréter au mieux les résultats. Le réseau est partagé en 7 secteurs avec un IPL propre à chacun (par ordre croissant d'IPL) :

Tableau 2 : Données sur l'IPL et le caractère urbain / semi urbain des secteurs

Mode de gestion	**Communes**	**IPL**	**Urbain /semi urbain**
Régie	Carquefou , La chapelle sur Erdre , Mauves-sur-Loire , Nantes , Orvault, Saint-Herblain , Saint-Sébastien , Sainte-Luce-sur-Loire , Thouaré-sur-Loire Loire	8	Urbain
Véolia eau	Les Sorinières , Vertou, Basse Goulaine	3,3	Urbain
	Rezé , Bouguenais, La Montagne	6,1	Urbain
	Indre	3,2	Urbain
	Couëron	2,8	Urbain
	Sautron	1	Semi-urbain
	Bouaye, Saint-Léger-les-Vignes, Saint-Aignan de Grand-Lieu, Brains, Saint-Jean-de-Boiseau, Le Pellerin	2,1	Semi-urbain

Source : Auteurs, données Nantes Métropole

À l'aide de ces données détaillées, la partie suivante détermine la performance des réseaux de distribution d'eau en matière de gaspillage et de fuites.

-4-

Principaux résultats

Deux analyses de comparaison des performances du réseau de distribution d'eau des 24 communes de Nantes Métropole sont proposées. La première se base sur les pertes en fonction des km de réseau que la commune représente dans sa zone (4.1). La deuxième se base sur les pertes d'eau en fonction du pourcentage d'abonnés que la commune comporte au sein de son secteur (4.2). Sachant que les données sur les volumes distribués ne sont pas disponibles commune par commune, une étude croisée des performances (4.3) permet de pallier au manque de précision de certaines données disponibles uniquement par secteur.

4.1. Résultats de l'étude des pertes selon les km de réseau de chaque commune

4.1.1 Comparaison des communes par groupe de concentration :

Avant de mener une étude globale sur le territoire de Nantes Métropole, deux groupes de concentration (respectivement inférieure et supérieure à soixante abonnés par km de réseau) ont été analysés. Cela permet d'obtenir des premières tendances avant toute analyse à l'échelle du territoire.

Il en ressort que sur les communes à faible concentration d'abonnés par km (< 60), le nombre de pertes journalières en 2017 était de 5970 m^3 par jour. Si elles adoptaient un système plus performant comme celui de Sautron, elles auraient néanmoins une grande marge de réduction des pertes en eau possible en passant à 1556 m^3 par jour avec une baisse de 4414 m^3, soit presque quatre fois moins de m^3 perdus.

Si l'on considère à présent la somme des pertes en eau de toutes les communes à forte concentration urbaine, on a une diminution potentielle des pertes de 14136 m^3 par jour à 7890 m^3. En se basant sur un réseau plus performant comme ceux d'Indre et de Bouguenais on obtiendrait une diminution de 6246 m^3 de pertes d'eau, soit environ une division par deux des pertes journalières.

Il est intéressant de voir que le ratio de diminution des pertes d'eau est différent entre les deux groupes de concentration d'abonnés par km de réseau. Le groupe de faible densité peut diminuer par quatre ses pertes alors que le groupe de forte densité ne peut le diminuer que par deux. Outre le fait que les références des groupes ont des IPL différents, cela peut aussi provenir de la structure des groupes. Effectivement, une grande partie des volumes distribués et des pertes du réseau avec une forte densité d'abonnés par m^3 sont rattachés à la ville de Nantes. Hors, comme celle-ci dispose d'un bon niveau d'efficience du réseau avec seulement 26,5 % d'amélioration possible, elle atténue le potentiel de perfectionnement du groupe de communes avec une forte densité d'abonnés. Ce résultat reste toutefois intéressant et confirme la littérature (Lambotte et al., 2008) sur la densité des communes et les surcoûts de la distribution d'eau.

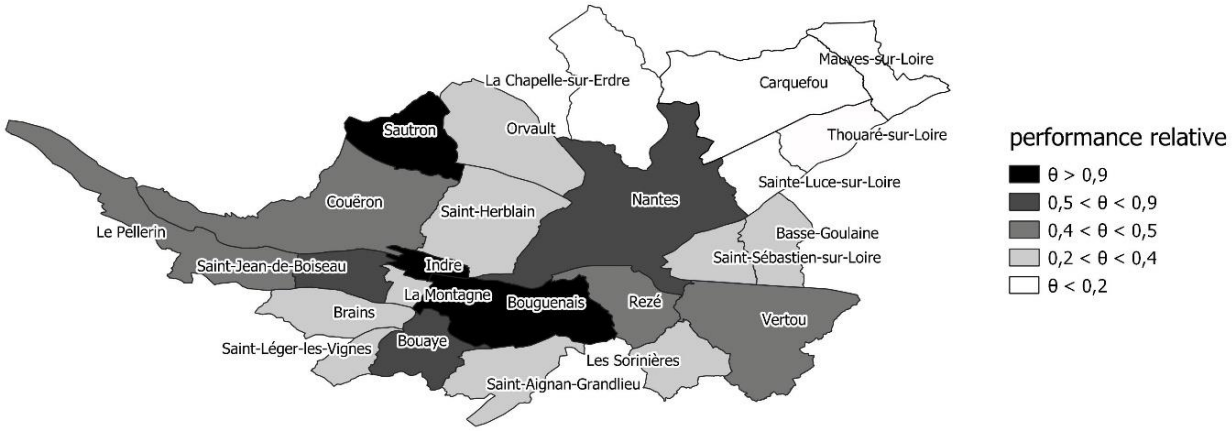
4.2.2 Étude générale sur toute la métropole

Par la suite, les deux groupes de communes sont regroupés pour établir une étude globale sur l'ensemble du territoire. D'abord, il faut noter que les villes de référence des deux études précédentes gardent des performances très élevées dans l'étude globale. Sautron qui était référence du groupe à faible densité d'abonnés au km de réseau reste une référence pour toutes les autres villes hormis Bouguenais qui sert de référence pour elle-même et pour Nantes. On remarque qu'Indre n'est plus une référence mais que sa marge de progression reste très faible par rapport aux autres communes de référence.

Si Sautron reste une référence pour les autres communes cela peut s'expliquer par son IPL qui est le plus faible de toutes les communes et par le fait que son réseau soit concentré sur seulement 85,5 km pour 3684 abonnés. L'écart entre les volumes distribués (418260 m^3/an) et les volumes consommés (386888 m^3/an) en eau est aussi relativement faible.

Afin de mieux cerner les évolutions en matière de fuites d'eau sur le territoire, il est préférable de scinder les communes par potentiel d'amélioration pour comprendre les déterminants de l'efficacité du réseau de distribution d'eau. Dans ce papier cinq groupes sont distingués comme illustré par la Figure 4.

Figure 4 : Carte des performances relatives selon le nombre de km de réseau des communes



Source : Auteurs, résultats d'analyse sur des données Nantes Métropole

Un premier groupe est composé des références et des communes hyper-performantes avec un potentiel de diminution des fuites d'eau inférieur à 10 %. Par exemple, l'Indre peut diminuer de presque 5 % ses pertes en eau et passer de 51,8 à 49,4 m^3 de pertes d'eau par jour. Ces trois villes (Bouguenais, Sautron et Indre) sont fournies par l'opérateur privé Véolia et ont un IPL très faible et une forte concentration d'abonnés par km de réseau.

Le deuxième groupe regroupe les villes ayant un potentiel de diminution des pertes d'eau inférieur à 50 %, et ayant un système de fourniture d'eau relativement bon. Nantes, Saint Jean de Boiseau et Bouaye sont à la fois fournies en régie et par Véolia eau. Toutefois, pour ces communes, le pourcentage d'abonnés desservis est nettement supérieur au pourcentage de km de réseau qu'elles représentent sur leurs périmètres d'étude par contrat.

Le troisième groupe est constitué de quatre communes qui sont un peu au-dessus des 50 % de diminution de pertes en eau potentielles. Elles sont de secteurs différents mais toutes desservies par Véolia eau. Elles ont aussi un pourcentage d'abonnés au moins égal au pourcentage de km de réseau.

Le quatrième groupe est composé de communes ayant un score entre 60 % et 80 % de réduction des pertes d'eau possible par rapport à la référence, donc un grand potentiel d'amélioration. Elles sont réparties entre opérateur privé et régie et leur pourcentage d'abonnés

est parfois supérieur, parfois inférieur au pourcentage du réseau du secteur représenté par la commune.

Enfin dans le cinquième groupe se trouvent les communes avec les plus grandes marges de progression potentielle. Elles pourraient en se basant sur un système de distribution d'eau plus performant comme celui de Sautron diminuer de plus de 80 % leurs pertes d'eau. Elles sont toutes gérées en régie, font partie du réseau urbain avec un IPL de 8. De plus, leur nombre d'abonnés en pourcentage est inférieur au pourcentage de km de réseau de chacune de ces communes. On a ainsi une forte dispersion des abonnés dans l'espace et comme l'IPL est important, la marge de progression de ces communes en devient considérable.

Pour conclure sur cette étude globale, de nombreuses villes pourraient améliorer les performances de leur réseau de distribution d'eau. En prenant exemple sur une ville comme Sautron, il serait possible de passer de 20106 m^3 de pertes par jour à 7975 m^3 par jour. Cela permettrait donc de baisser de plus de 60 % les fuites d'eau du réseau actuel.

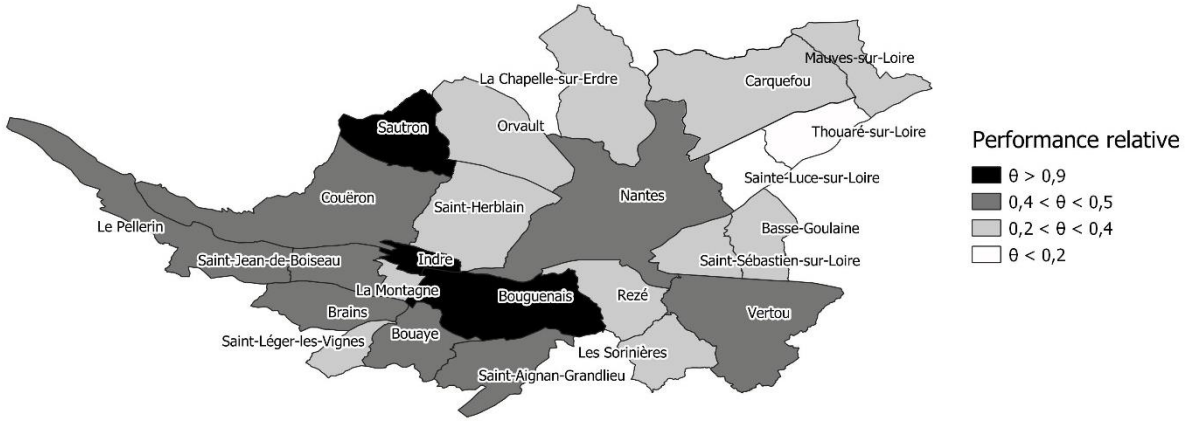
4.2 Résultats de l'étude des pertes selon les abonnés au réseau de chaque commune

Pour compléter l'étude précédente des pertes d'eau en fonction des km de réseau de chaque commune, nous analysons ces pertes en fonction du nombre d'abonnés des communes. Le calcul des pertes d'eau se fait donc de la façon suivante :

Perte d'eau par jour de la commune = Total des pertes d'eau sur le secteur * Pourcentage d'abonnés du secteur dans la commune étudiée.

L'observation des communes de référence ($\lambda_j > 0\,, \forall j$) nous donne deux principaux résultats. Toutes les villes hormis Bouguenais doivent prendre exemple sur la ville de Sautron. Cela peut s'expliquer par son IPL qui est le plus faible de toute la métropole. En outre, Bouguenais est sa propre référence et sert également d'exemple à la ville de Nantes. Elle ressort comme référence sûrement par sa capacité, malgré un grand volume distribué, à avoir très peu de pertes journalières. On remarque sur la Figure 5 que les valeurs des θ, et donc des marges de progression, ont évolué entre l'étude en fonction des km de réseau et celle par rapport au pourcentage d'abonnés par commune de chaque secteur.

Figure 5 : Carte des performances relatives selon le nombre d'abonnés des communes



Source : Auteurs, résultats d'analyse sur des données Nantes Métropole

Dans cette étude globale sur le nombre d'abonnés, la somme des pertes d'eau est de 20106 m^3 par jour toutes communes confondues. Cependant, si elles calquaient leur gestion de

l'eau sur un modèle plus performant comme celui de Sautron, elles pourraient diminuer leurs pertes jusqu'à 7560 m^3 par jour soit une économie d'eau et un impact environnemental très important. La Figure 5 donne les communes par tranche de potentiel d'amélioration. Certaines communes comme Thouaré sur Loire et Sainte Luce sur Loire peuvent diminuer de plus de 80 % leurs pertes d'eau. Thouaré pourrait passer de 453 m^3 de pertes par jour à 86 m^3, diminuant ainsi de 81 % ses pertes d'eau. On note aussi un regroupement des communes avec des performances relatives (θ) entre 0.2 et 0.5 ce qui laisse à penser que lorsque l'on considère le nombre d'abonnés, une majeure partie des communes peut diminuer les pertes d'eau de 50 % à 80 %. Nantes par exemple peut diminuer de 58% ses pertes en eau réduisant ainsi son gaspillage de 8568m^3 à 3603m^3 par jour. À l'inverse de l'étude selon les km de réseau, il n'existe pas de communes pouvant diminuer ses pertes entre 50 % et 10 %. Seules trois références sont identiques aux deux études et ont une marge de progression potentielle inférieure à 10 % comme le montre l'étude comparée suivante.

4.3 Comparaison de l'étude des km de réseau et par nombre d'abonnés

Le Tableau 3 dresse la comparaison des villes entre les 2 études précédentes sur l'intégralité du territoire. Il indique l'évolution des villes par leur performance relative entre l'étude par km de réseau et celle par le nombre d'abonnés :

- ayant augmenté (↑) ce qui signifie qu'elles ont un potentiel d'amélioration plus faible.

- ayant diminué (↓) ce qui signifie qu'elles ont un potentiel d'amélioration plus important.

- n'ayant pas changé de tranche de performance relative (→) c'est à dire avec un potentiel d'amélioration sensiblement identique d'une étude à l'autre.

Tableau 3 : Les évolutions des performances relatives des villes entre l'étude des pertes par km de réseau et celle par le nombre d'abonnés.

Valeur du θ	**Villes associées dans l'étude par km de réseau**	**Villes associées dans l'étude par pourcentage d'abonnés**
0,9 < θ	Indre(→), Bouguenais (→), Sautron (→)	Indre, Bouguenais, Sautron
0,5 < θ < 0,9	Nantes (↓), Saint Jean de Boiseau(↓), Bouaye (↓)	
0,4 < θ < 0,5	Rezé (↓) , Couëron (→), Le Pellerin(→), Vertou (→)	Saint Aignan de Grand Lieu, Brains, Le Pellerin, Vertou, Couëron, Bouaye, Saint Jean de Boiseau, Nantes
0,2 < θ < 0,4	Saint Aignan de Grand Lieu (↑), Brains (↑), Basse Goulaine (→), Saint Léger les Vignes (→), Les Sorinières (→), Orvault (→), Saint Herblain (→), Saint Sébastien sur Loire (→), la Montagne (→)	Mauves sur Loire, Carquefou, Basse Goulaine, Saint Léger les Vignes, La Chapelle sur Erdre, Les Sorinières, Orvault, Saint Herblain, Saint Sébastien sur Loire, La Montagne, Rezé
θ < 0,2	Mauves sur Loire (↑), Carquefou (↑), La Chapelle sur Erdre (↑), Thouaré sur Loire (→), Sainte Luce sur Loire (→)	Thouaré sur Loire, Sainte Luce sur Loire

Source : Auteurs, données Nantes Métropole

Ce tableau comparatif souligne trois résultats importants. Tout d'abord les communes de références et celles hyper-performantes sont conservées d'une étude à l'autre. Les performances relatives selon ces deux critères évoluent peu ce qui montre la robustesse des résultats malgré les hypothèses posées initialement. L'étude par nombre d'abonnés concentre les villes dans une échelle de performance potentielle entre 80 % et 50 % et trouve peu de villes avec moins de 20 % de performance relative. Hormis pour les références, considérer le nombre de km de réseau accentue globalement les performances potentielles et relatives des communes. Un point notable est que le classement des communes ne change pas radicalement, et que des communes en régie avec une faible densité restent peu performantes, comme Mauves sur Loire ou Thouaré sur Loire.

-5-

Discussion

Cette discussion s'appuie sur les résultats des deux études précédentes pour définir les éléments contextuels qui favorisent les fuites d'eau et des procédés d'urbanisation adéquats pour optimiser la distribution. Trois points essentiels sont abordés : les différents fournisseurs d'eau (5.1), la dispersion des abonnés et la densité des réseaux (5.2), et le caractère urbain ou semi urbain (5.3).

5.1 Gestion en régie ou opérateur privé ?

Rappelons que la France est un pays particulier avec 80 % de la population desservie par un opérateur privé ce qui en fait un mode de gestion largement majoritaire (Carpentier et al., 2006). Sur le secteur étudié, on observe que neuf des villes étudiées sont fournies en eau par la régie, alors que les quinze villes restantes reposent sur l'opérateur privé Véolia eau. Comme le souligne Pezon (2009), cette répartition entre régie et opérateur privé tient au fait que : *« Des communautés (la CU de Nantes par exemple) optent délibérément pour le maintien d'une pluralité de modes de gestion sur leur territoire ».*

En se basant sur les résultats obtenus, les villes desservies par une régie sont dans l'ensemble moins performantes pour lutter contre le gaspillage de l'eau. À l'exception de Nantes, toutes les villes gérées en régie peuvent diminuer d'au moins 69 % leurs pertes en eau si l'on se base sur le nombre de km de réseau de chaque commune. Les villes avec les plus grandes marges de progressions sont toutes sur le réseau de distribution en régie (Mauves sur Loire, Sainte Luce sur Loire, Thouaré sur Loire par exemple). On note que sur la zone gérée en régie, l'IPL est le plus important avec une valeur de $8 m^3$/km/jour.

À l'inverse, la gestion déléguée au secteur privé (Véolia) semble plus performante. Toutes les communes de références sont desservies par Véolia eau comme Sautron qui ressort comme le meilleur exemple à suivre pour les communes de Nantes Métropole et qui dispose de IPL le plus faible du territoire étudié. Cette étude montre globalement une meilleure performance environnementale en rendements d'échelle constants des services d'eau délégués au secteur privé. Ce n'est toutefois pas le cas de toutes les villes car certaines sont plus faciles à desservir que d'autres comme Nantes, dont la densité d'abonnés joue en la faveur.

Ainsi, sur le territoire de Nantes Métropole - qui semble globalement être facile à gérer car il ne subit pas de stress hydrique et n'est pas composé de communes fortement rurales - l'opérateur privé semble permettre une meilleure distribution d'eau. Cela peut s'expliquer car les communes délèguent généralement les territoires avec une gestion difficile aux opérateurs privés (Carpentier et al., 2006), qui disposent alors de compétences internes importantes pour la gestion de l'eau. Dans la littérature, l'étude des performances relatives se base souvent sur le

prix de l'eau et montre qu'il est inférieur lorsque la distribution se fait en régie (Le Lannier et al., 2012) ou sur des zones laissées à l'état naturel et peu urbanisées (Abildrup et al., 2015). Néanmoins, dans le contexte de notre étude, en se basant sur les pertes des réseaux de distribution d'eau on observe qu'à l'inverse l'opérateur privé est plus performant que la régie.

5.2 La dispersion des abonnés : densité du réseau

La concentration du réseau de distribution d'une ville est très influente sur sa performance. Sur les fuites d'eau du réseau, cela peut s'expliquer notamment par le fait que l'IPL se calcule sur la base des kilomètres du réseau, ce qui impacte la densité. Toutefois, cette étude environnementale retrouve les résultats de la littérature et montre que les zones où les abonnés sont concentrés ont pour la plupart une meilleure performance et une marge de progression moindre.

Cela renvoie aux recommandations urbanistiques de Lambotte et al. (2008) selon lesquelles il faut favoriser la densification d'un espace déjà partiellement urbanisé ou bien installer de grands lotissements à caractère périurbain mais concentrés. Cela permettrait de diminuer le nombre de km de réseau par rapport au nombre d'abonnés et d'éviter des longueurs de réseau avec des pertes importantes et des surcoûts d'étalement. Si les réseaux peu denses sont reconnus comme moins performants (Carpentier et al., 2006), une trop forte concentration créant des interconnections élevées sur le réseau ne sont pas non plus bénéfiques pour la performance comme le montre la distinction suivante.

5.3 Urbain ou semi-urbain ?

Sur le territoire étudié, la distinction entre secteur urbain et semi-urbain est bien présente. Notons que les communes urbaines sont partagées entre la gestion en régie et le secteur privé avec Véolia alors que les communes semi-urbaines sont toutes rattachées à l'opérateur privé Véolia eau, ce qui peut orienter les résultats. D'après Décamps et al. (2017), certains territoires avec une complexité technologique élevée nécessitent des compétences spécifiques en interne ce qui peut pousser des territoires urbains à recourir à la délégation de service publique. On remarque que les trois secteurs avec les IPL élevés sont tous urbains, alors qu'à l'inverse les quatre secteurs avec un IPL inférieur sont dans le semi-urbain ce qui reprend l'idée de Le Lannier et al. (2012) selon qui les opérateurs privés gèrent généralement les territoires plus complexes à desservir. Il n'en reste pas moins important que des territoires très urbanisés avec une densité d'abonnés par km de réseau trop importante sont difficiles à gérer (Carpentier et al, 2006) et induisent des performances environnementales perfectibles. L'urbanisation du territoire a donc des conséquences sur la densité des abonnés et peut entraîner des difficultés à gérer le réseau d'eau lorsqu'il et trop urbain et concentré ou à l'inverse rural.

D'autres données comme l'âge du réseau par commune et le taux de renouvellement peuvent également influer sur la performance environnementale. De tels éléments auraient pu compléter les facteurs contextuels qui encouragent ou freinent la performance environnementale de la distribution d'eau des communes.

-6-

Conclusion

Cet article vise à conforter l'intérêt des méthodes DEA pour répondre aux problématiques environnementales actuelles. Il se détache de la littérature existante en offrant une étude de performance relative permettant de mesurer la performance des réseaux de distribution selon les pertes d'eau et non plus selon le prix de l'eau. Il agrémente aussi l'étude de performance des réseaux d'eau en France en proposant une distinction des communes par concentration d'abonnés par rapport aux km de réseau sur les communes de Nantes Métropole. Il conforte

certains résultats de la littérature sur la densité optimale des réseaux mais offre aussi des incitations sur les politiques d'urbanisation à mettre en place pour optimiser l'exploitation de ressources rares et vitales comme l'eau. Ce cas d'étude met en lumière plusieurs résultats sur la performance des réseaux en ce qui concerne le gaspillage de l'eau. D'abord, la densité du réseau impacte le gaspillage de la ressource, notamment lorsqu'elle est trop faible et que les abonnés sont dispersés. De plus, sur ce territoire la gestion en régie est moins efficace d'un point de vue des pertes en eau que l'opérateur privé. Cela peut s'expliquer car les fournisseurs privés ont l'habitude de gérer des réseaux complexes et disposent des compétences en interne pour maitriser la distribution de l'eau sur un tel territoire, offrant ainsi un IPL plus faible que la gestion en régie.

Si ce papier propose un cas d'étude nouveau, il présente toutefois des limites notables. D'abord le manque de données sur les IPL et les volumes distribués par communes force l'analyse à se baser sur le pourcentage d'abonnés et de km de réseau de chaque commune par secteur étudié. Disposer de ces données communales indépendantes permettrait une étude encore plus précise et aboutie. Ensuite, pour rester cohérent avec le calcul des pertes par communes et les données limitées aux secteurs, nous avons fait l'hypothèse des rendements d'échelles constants ce qui pour un territoire comme Nantes Métropole semble compréhensible par son développement urbain. Cependant, avec des données plus détaillées, il aurait aussi été possible d'étudier l'hypothèse des rendements d'échelle variables, le tarif de distribution d'eau étant composé à la fois d'un coût fixe du raccordement de l'habitat au réseau mais aussi du volume consommé par l'abonné. De plus, le territoire étudié présente déjà des disparités en termes de concentration urbaine et de qualité du système de distribution. Néanmoins, une étude sur un territoire encore plus étendu (départemental, régional, national) pourrait offrir bien d'autres perspectives sur les procédés d'urbanisation et de distribution d'eau afin de limiter les surcoûts liés à l'étalement des habitations pour une ressource vitale et nécessaire. Par exemple, au sein du même département de la Loire Atlantique, il aurait été intéressant de comparer les communes de Nantes Métropole avec la Baule ou Saint Nazaire qui connaissent des manques d'eau en période estivale. Plus généralement, cela permettrait d'offrir des territoires de référence à l'échelle nationale en fonction des caractéristiques intrinsèques aux espaces et de servir d'outil décisionnel sur les processus de distribution à implémenter. Par ailleurs, une analyse économétrique pour mesurer l'impact de chaque variable (concentration des abonnés, mode de gestion, ressources en eau disponibles sur le territoire concerné, …) sur la performance du réseau pourrait être complémentaire à cette étude et ouvrir des perspectives nouvelles. Une étude pluriannuelle sur le territoire, prenant en compte le pourcentage de réparation du réseau chaque année pourrait aussi permettre d'expliquer la performance.

Pour finir, nous pensons que le cas d'étude de Nantes Métropole est une proposition éclairante qui ouvre la voie pour d'autres recherches sur la performance environnementale et le gaspillage des systèmes de distribution d'eau, une préoccupation actuelle et future vitale. Pour y répondre des installations innovantes telles que les compteurs intelligents (Montginoul, 2018) semblent pertinents pour la lutte contre le gaspillage, mais rencontrent des problématiques récentes comme la propriété des données des consommateurs. Il serait intéressant de mesurer la performance de leur mise en place pour faire évoluer les installations existantes.

Remerciements

Annexes

Tableau 4 : Potentiel d'amélioration et gains après perfectionnement du réseau selon le nombre de km de réseau des communes à faible concentration urbaine

Communes	θ CRS	W CRS
Mauves-sur-Loire	0,09	33,24
Saint-Aignan de Grand-Lieu	0,33	35,88
Brains	1,00	75,60
Carquefou	0,15	220,28
Basse Goulaine	0,31	100,65
Sautron	1,00	85,50
Saint-Léger-les-Vignes	0,37	13,37
Le Pellerin	0,43	44,91
La chapelle sur Erdre	0,15	188,31
Thouaré-sur-Loire	0,15	85,91
Les Sorinières	0,32	75,00
Vertou	0,48	319,81
Couëron	0,41	198,79
Bouaye	0,59	78,71

Source : Auteurs, résultats d'analyse sur des données Nantes Métropole

Tableau 5 : Potentiel d'amélioration et gains après perfectionnement du réseau selon le nombre de km de réseau des communes à forte concentration

Communes	θ CRS	W CRS
Orvault	0,24	292,48
Saint-Herblain	0,33	630,02
Sainte-Luce-sur-Loire	0,18	142,84
Bouguenais	1,00	849,73
Saint-Jean-de-Boiseau	0,59	47,63

Nantes	0,74	5085,63
Saint-Sébastien	0,28	267,63
La Montagne	0,30	64,98
Rezé	0,43	457,62
Indre	1,00	51,84

Source : Auteurs, résultats d'analyse sur des données Nantes Métropole

Tableau 6 : Potentiel d'amélioration des communes dans l'étude en fonction des km de réseau et du nombre d'abonnés

Communes	θ selon le nombre de km de réseau	θ selon le nombre d'abonnés
Mauves-sur-Loire	0,09	0,24
Saint-Aignan de Grand-Lieu	0,33	0,48
Brains	0,32	0,45
Carquefou	0,15	0,27
Basse Goulaine	0,31	0,40
Sautron	1,00	1,00
Saint-Léger-les-Vignes	0,37	0,38
Le Pellerin	0,43	0,44
La chapelle sur Erdre	0,15	0,21
Thouaré-sur-Loire	0,15	0,19
Les Sorinières	0,32	0,31
Vertou	0,48	0,45
Couëron	0,41	0,41
Bouaye	0,59	0,49
Orvault	0,22	0,26
Saint-Herblain	0,31	0,34

Sainte-Luce-sur-Loire	0,17	0,20
Bouguenais	1,00	1,00
Saint-Jean-de-Boiseau	0,56	0,40
Nantes	0,54	0,42
Saint-Sébastien	0,27	0,22
La Montagne	0,28	0,31
Rezé	0,41	0,32
Indre	0,95	0,95

Source : Auteurs, résultats d'analyse sur des données Nantes Métropole

Tableau 7 : Communes de références selon le nombre d'abonnés des communes par secteur

LAMBDAS CRS	**Sautron**	**Bouguenais**
Mauves-sur-Loire	0,389	0,000
Saint-Aignan de Grand-Lieu	0,420	0,000
Brains	0,279	0,000
Carquefou	2,576	0,000
Basse Goulaine	1,177	0,000
Sautron	1,000	0,000
Saint-Léger-les-Vignes	0,156	0,000
Le Pellerin	0,525	0,000
La chapelle sur Erdre	2,203	0,000
Thouaré-sur-Loire	1,005	0,000
Les Sorinières	0,877	0,000
Vertou	3,740	0,000
Couëron	2,325	0,000
Bouaye	0,921	0,000

Orvault	3,259	0,000
Saint-Herblain	7,020	0,000
Sainte-Luce-sur-Loire	1,592	0,000
Bouguenais	0,000	1,000
Saint-Jean-de-Boiseau	0,531	0,000
Nantes	38,015	0,598
Saint-Sébastien	2,982	0,000
La Montagne	0,724	0,000
Rezé	5,099	0,000
Indre	0,578	0,000

Source : Auteurs, résultats d'analyse sur des données Nantes Métropole

Remarque : les autres colonnes pour les autres villes ont été supprimées du tableau car elles ne comportaient que des zéros, les deux seules communes de référence étant Sautron et Bouguenais pour les analyses globales,

Références bibliographiques

Abildtrup J, Garcia S, Kere E (2015) Land use and drinking water supply: a spatial switching regression model with spatial endogenous switching. *Revue d'Economie Régionale Urbaine* (1) : 321-342.

Carré C, Deroubaix J (2009) L'utilisation domestique de l'eau de pluie révélatrice d'un modèle de service d'eau et d'assainissement en mutation?. *Flux* (2) : 26-37.

Canneva G, Guérin-Schneider L (2011) La construction des indicateurs de performance des services d'eau en France: mesurer le développement durable?. *Natures Sciences Société 19* (3) : 213-223

Carpentier A, Nauges C, Reynaud A, Thomas A (2006) Effets de la délégation sur le prix de l'eau potable en France. *Economie et Prévision* (3) : 1-19.

Décamps A, Barbat G. (2017) Gouvernance durable du service public de l'eau et ancrage territorial: une approche par les profils de territoires. *Revue d'Economie Régionale Urbaine* (2) : 297-334.

Dočekalová M P, Kocmanová A, Hornungová J (2015) Measuring and benchmarking corporate environmental performance. In *International Symposium on Environmental Software Systems* (pp. 503-511). Springer, Cham.

Dong X, Du X, Li K, Zeng S, Bledsoe B P (2018) Benchmarking sustainability of urban water infrastructure systems in China. *Journal of cleaner production 170* : 330-338.

Erdlenbruch K, Loubier S, Montginoul M, Morardet S, Lefebvre M (2013) La gestion du manque d'eau structurel et des sécheresses en France. *Sciences Eaux Territoires* (2) : 78-85.

Farrell M J (1957) The measurement of productive efficiency. *Journal of the Royal Statistical Society: Series A (General), 120* (3) : 253-281.

Huet J (2014) Vers une gestion coopérative de l'eau : l'utilisation des données coopératives d'intérêt collectif. Fondation Gabriel Péri.

Hunt D, Rogers C (2014) A benchmarking system for domestic water use. *Sustainability 6* (5) : 2993-3018.

Kortelainen M, Kuosmanen T (2004) *Data envelopment analysis in environmental valuation: environmental performance, eco-efficiency and cost-benefit analysis*. Working paper. Retrieved November 5, 2017, from https://ideas. repec. org/p/wpa/wuwpot/0409004. html.

Lambotte J M, Brück L, Halleux J M (2008) Étalement urbain et services collectifs: Les surcoûts d'infrastructures liés à l'eau. Revue d'Economie Régionale Urbaine (1) : 21-42.

Le Lannier A, Porcher S (2012) Gestion Publique ou Privée? Un benchmarking des services d'eau en France. Revue d'économie industrielle (140) : 19-44.

Montginoul M (2004) La structure de la tarification de l'eau potable et de l'assainissement en France.

Montginoul M (2007) Quelle structure tarifaire pour économiser l'eau ?. Gérer et comprendre 87 : 35-47.

Montginoul M (2013) La consommation d'eau en France: historique, tendances contemporaines, déterminants. Sciences Eaux Territoires (1) : 68-73.

Montginoul M, Vestier A (2018) Smart metering: A water-saving solution? Consider communication strategies and user perceptions first. Evidence from a French case study. Environmental Modelling & Software 104 : 188-198.

Nicolle P, Pushpalatha R, Perrin C, François D, Thiéry D, Mathevet T, ... , Regimbeau F (2014) Benchmarking hydrological models for low-flow simulation and forecasting on French catchments. Hydrology and Earth System Sciences 18 : 2829-2857.

Pezon C (2009) Organisation et gestion des services d'eau potable en France hier et aujourd'hui. *Revue d'économie industrielle* (127) : 131-154.

Thanassoulis E (2000) The use of data envelopment analysis in the regulation of UK water utilities: water distribution. *European Journal of Operational Research 126* (2) : 436-453.

Nantes Métropole (2017) Rapport annuel sur l'eau. Rapport [en ligne] https://www.nantesmetropole.fr/medias/fichier/rapport-annuel-eau-2017-def_1532684999867.pdf?INLINE=FALSE