



HAL
open science

Comment observer de façon optimale la consommation en eau potable ? Le cas de Nantes Métropole

Marine Favre, Marielle Montginoul

► To cite this version:

Marine Favre, Marielle Montginoul. Comment observer de façon optimale la consommation en eau potable ? Le cas de Nantes Métropole. TSM. Techniques Sciences Méthodes – Génie urbain, génie rural, 2020, 1-2, pp.29-42. 10.36904/tsm/201901028 . hal-02963078

HAL Id: hal-02963078

<https://hal.science/hal-02963078>

Submitted on 9 Oct 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.

**Comment observer de façon optimale la consommation en eau potable ? Le cas de Nantes
Métropole**

How to optimally observe urban water consumption? The case of Nantes Métropole

FAVRE Marine¹, MONTGINOUL Marielle²

¹ UMR G-Eau - Univ Montpellier, Montpellier, France, 361 rue JF Breton - BP 5095 - 34196
Montpellier Cedex 5, marine.favre@irstea.fr

² UMR G-Eau – Irstea - INRAE – Univ Montpellier, Montpellier, France, 361 rue JF Breton - BP 5095 –
34196 Montpellier Cedex 5, marielle.montginoul@inrae.fr

CATEGORIE DE L'ARTICLE : Recherche appliquée

FORMAT DE L'ARTICLE : Article scientifique

Pour le citer :

Favre M. et Montginoul M. *Comment observer de façon optimale la consommation en eau potable ?
Le cas de Nantes Métropole*. In TSM (Techniques, Sciences et Méthodes), 2020, 1/2, p. 29-42,
<https://astee-tsm.fr/numeros/tsm-1-2-2020/favre/>

Résumé

Une baisse de la consommation en eau potable est observée en France depuis les années 1990. Non anticipée par les collectivités locales et les opérateurs d'eau, elle marque une rupture après plusieurs décennies de hausse continue des consommations. Des données récentes à l'échelle communale pour toute la France confirment cependant un ralentissement de cette tendance baissière voire une stabilisation de la consommation depuis 2013. La connaissance de la demande en eau est essentielle pour effectuer les prévisions d'évolution des consommations et piloter les services d'eau. Cet article présente un projet d'observatoire des consommations en eau potable développé sur le périmètre pilote de Nantes Métropole.

Les données de consommation recueillies et consolidées pour l'observatoire permettent de mener un grand nombre d'analyses. Les premiers résultats confirment, au niveau de Nantes Métropole, une tendance de consommation unitaire par abonné continuellement à la baisse entre 2011 et 2017 de très faible amplitude. L'exploration des données a également révélé des consommations non homogènes dans le temps, dans l'espace et entre les différents types d'abonnés.

Par ailleurs, ces données, une fois reliées à des données externes (socio-économie et démographie des ménages, typologie de l'habitat, météorologie) ont permis de construire des fonctions de demande à différentes échelles locales (villes et quartiers), qui ont été comparées à une fonction de demande bâtie au niveau national. Les résultats des régressions confirment l'intérêt de descendre à une échelle fine et donc la pertinence de recourir à un observatoire au niveau local pour suivre les comportements des usagers et mieux les anticiper ; produire des indicateurs fiables et des paramètres utiles pour projections des consommations, au-delà de simples moyennes calculées sur les données agrégées ne tenant pas compte des hétérogénéités et suivre l'impact de politiques de gestion de la demande sur les différents groupes d'usagers.

Mots-clés

Consommation, fonction de demande, eau potable, observatoire, Nantes Métropole, modèle, IRIS, statistique

Abstract

Since the 1990s, a drop in drinking water consumption has been observed in France. As a break after several decades of continuous rise in consumption, this decrease was not anticipated by local authorities and water operators. However, recent data at the municipal level for all of France confirm a slowdown in this downward trend or even a stabilization of consumption since 2013. These unanticipated developments and the importance of their impacts reinforce the need to improve knowledge of water demand and forecasting capabilities.

This article presents an observatory project of urban water consumption developed in the pilot area of Nantes Métropole. A large number of analyzes were conducted thanks to consumption data collected and consolidated on behalf of the observatory. The first results confirm a continuous decrease in unit consumption between 2011 and 2017 for Nantes Métropole, although of very low amplitude. Data mining

also highlights non-homogeneous consumption over time, in space and between different types of subscribers on the territory. In addition, these data, once linked to external data (socio-economy and household demography, housing typology, meteorology) were used to build demand functions at different local scales (cities and neighborhoods), which have been compared to a demand function built at national level. Regression results confirm the interest of going down to a finer scale, and therefore the relevance of using a local observatory to monitor users' behavior and better anticipate them, to produce reliable indicators and useful parameters for consumption forecasting, and also to target public actions on certain user groups that would need to be specifically monitored.

Keywords

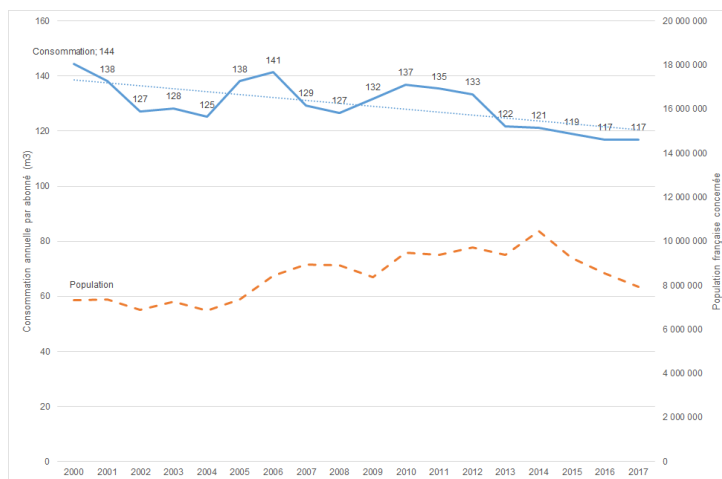
Consumption, demand function, drinking water, observatory, Nantes Métropole

Introduction

Après plusieurs décennies de hausse continue, la consommation en eau potable en France diminue depuis 1990 (Nauges et Thomas, 2000; Barraqué *et al.*, 2011). Cette baisse, commune à d'autres pays européens (Poquet et Maresca 2006), n'a pas été anticipée par les collectivités locales et les opérateurs d'eau. Positive sur le plan environnemental, elle met en difficulté les services d'eau : d'abord techniquement, le dimensionnement des réseaux pouvant nuire à la qualité de l'eau distribuée (par une augmentation des temps de séjour) mais aussi financièrement du fait des déséquilibres budgétaires induits pour les opérateurs des services (Montginoul, 2013). Cette diminution concerne l'ensemble des abonnés (Cambon-Grau, 2000; Poquet et Maresca, 2006). Elle serait imputable, chez les abonnés professionnels, à plusieurs facteurs : abandon des installations de climatisation collective à eau perdue, recherche d'économies d'eau par les industries pour compenser la hausse des prix de vente de l'eau avec rationalisation des circuits d'eau quand les chaînes de production sont renouvelées, rénovation des patrimoines anciens dans les services publics ; chez les usagers domestiques, la modernisation des installations de chauffage dans les habitats collectifs, la hausse continue des prix de l'eau (Nauges et Thomas, 2000)¹, une plus grande sensibilité éco-citoyenne mais surtout des progrès techniques permettant de limiter la consommation des équipements électro-ménagers, sanitaires et de jardin (arrosage automatisé) permettraient d'expliquer cette dynamique (Poquet et Maresca, 2006).

Des données récentes à l'échelle communale pour toute la France confirment un ralentissement voire une stabilisation de la consommation depuis 2013 (Figure 1).

¹ L'élasticité prix à court terme est modérée mais à long terme elle se porte à -0.6 (Nauges et Thomas, 2000).



Source : calculs des auteurs à partir de données de facturation de l'opérateur Veolia – données France entière

Figure 1 Evolution des consommations moyennes par ménage (consommation de la commune rapportée au nombre de ménages)

Ces évolutions non anticipées et l'importance de leurs impacts mettent en évidence la nécessité de mieux connaître la demande en eau pour améliorer les capacités à prévoir son évolution.

Cet article présente un projet d'observatoire des consommations en eau potable développé sur un périmètre pilote, celui de Nantes Métropole. L'hypothèse fondatrice du travail de recherche ayant mené à la construction de l'observatoire est celle de la pertinence d'une approche combinant différents niveaux d'échelle d'analyse pour mieux expliquer l'évolution de la consommation. L'ambition de cet observatoire était de développer un outil semi-automatisé permettant de décrire une situation à partir de données sur une population suivie dans le temps et mobilisant des analyses statistiques et graphiques, avec deux sous-objectifs : (1) analyser finement la consommation des usagers, en les identifiant, en estimant leur poids dans la consommation totale et des ratios de consommation unitaire et en dégagant la tendance de leurs consommations ; (2) identifier les facteurs externes influençant la consommation (variables de type climatique, économique et démographique).

L'article débute par la présentation des données et de la démarche méthodologique de l'observatoire, puis expose les résultats du projet pour le territoire pilote de Nantes Métropole, avant de conclure sur la pertinence de l'observatoire et les perspectives de développement de l'outil.

1. Matériels et Méthodes

1.1 Un travail réalisé à partir des fichiers de facturation et de données publiques

En vue de garantir le maintien de l'observatoire dans le temps et de permettre sa répliquabilité sur d'autres territoires, il convient de recourir à des données facilement accessibles par les opérateurs d'eau : données de consommation disponibles dans leurs bases de données de facturation et données externes publiques ou disponibles moyennant des abonnements auprès d'organismes statistiques.

Les données de consommation sont issues des fichiers de facturation clientèle. Il s'agit de données à l'échelle individuelle au niveau de l'abonnement (ou du compteur). Ainsi, on intègre dans le modèle chaque compteur et le numéro d'abonnement correspondant même si rattachés à un même usager

desservi par plusieurs compteurs. Les fichiers des opérateurs comportent souvent un nombre élevé de variables qu'il convient de réduire pour conserver uniquement² :

- identifiant unique de l'abonné ;
- identité de l'abonné : titre ou civilité, nom, prénom ;
- adresse complète : appartement, étage, bâtiment, escalier, numéro de rue, rue, code postal, ville ;
- diamètre du compteur ;
- dates d'abonnement ;
- consommations annualisées des consommateurs présents au moins six mois : il est préférable que la consommation facturée soit obtenue directement des logiciels de facturation, car elle comportera les corrections effectuées a posteriori des relèves d'index ;
- opérateur.

Les données économiques externes nécessaires à l'observatoire sont disponibles auprès de l'INSEE (téléchargeable sur le site internet). Les communes d'au moins 10 000 habitants et la plupart des communes de 5 000 à 10 000 habitants sont découpées par l'INSEE en IRIS pour « Ilots Regroupés pour l'Information Statistique ». Ce découpage, maille de base de la diffusion de statistiques infra-communales, constitue une partition du territoire de ces communes en "quartiers". Un IRIS est caractérisé par son type : habitat (population voisine de 1 800 à 5 000 habitants avec un habitat homogène), activité (au moins 1000 salariés avec un ratio salariés / population supérieur à 2) ou divers (grandes emprises très peu habitées et offrant peu d'emplois). Le territoire national est découpé en 51 000 IRIS. A l'échelle de ces IRIS, l'INSEE met à disposition annuellement (mais avec un décalage de deux à trois ans) un nombre important de données dont des variables démographiques (population, âge, taille et composition des ménages, etc.), socio-économiques (activité, revenus des ménages, etc.) et concernant les conditions de vie et les caractéristiques des logements des ménages.

L'INSEE fournit également une base de données à une échelle plus fine, mais avec un délai plus long d'obtention (ainsi à la date de l'écriture de l'article – été 2019, les données ne sont disponibles que pour l'année 2010) : celle de carreaux de 200 m par 200 m, issue de l'exploitation de fichiers fiscaux localisés. Comme cette échelle peut poser un problème de confidentialité, les carreaux sont rassemblés en rectangles qui contiennent un minimum de 11 ménages. Le territoire national est ainsi découpé en 2,3 millions de carreaux et 700 000 rectangles. Ce sont les données à l'échelle des rectangles qui seront ainsi considérées dans cet observatoire.

Les données météorologiques peuvent être collectées directement par des collectivités ou achetées auprès de Météo France. A minima, il conviendrait de pouvoir obtenir une observation journalière de la température moyenne et de la pluviométrie sur un point (de préférence représentatif) du territoire. Les données utilisées dans cet article pour tester l'observatoire pilote ont été compilées par le centre de

² Remarquons qu'à ce stade de la procédure, des données non anonymisées permettront de mieux catégoriser les usagers. Ceci n'est pas nécessaire si une catégorisation robuste a été préalablement conduite. Une fois la typologie effectuée, la suite de la procédure ne comporte que des données anonymisées.

recherche Irstea à partir du module d'analyse objective SAFRAN (Système d'Analyse Fournissant des Renseignements Adaptés à la Nivologie), développé par le Centre National de Recherches Météorologiques.

Enfin, des données géomatiques complètent le système d'information. Celles présentées dans cet article ont été collectées auprès des services géomatiques de la métropole : un fichier construit à partir du fichier des voies et lieux-dits (FANTOIR) mis à la libre disposition des usagers et des collectivités locales reliant code RIVOLI, commune et IRIS ainsi qu'un second fichier permettant de relier code RIVOLI, numéro de rue et ville à des coordonnées GPS précises. Ces fichiers devraient être aisément disponibles auprès des services géomatiques des collectivités de manière générale.

Si certaines données ne sont pas disponibles (données météorologiques, données IRIS/carreaux ou données de géolocalisation), il est possible de mettre en œuvre la méthode sur des échelles plus grandes (la commune par exemple pour lesquelles les données INSEE sont aisément disponibles).

1.2 Une démarche méthodologique en 6 étapes

L'observatoire a été mis en application en procédant en six étapes successives :

1. *Définition de l'échelle d'observation.* Pour une compréhension plus fine des phénomènes observés, l'échelle d'analyse est celle de l'abonné, du quartier ou de la ville selon la disponibilité des données. Le quartier est défini par les mailles de l'INSEE : IRIS (2000 habitants), Rectangles (11 ménages minimum, 38 ménages en moyenne).
2. *Identification et collecte des données.* Les données utilisées sont des données historiques de consommation et d'identification des abonnés, ainsi que des données externes publiques et aisément accessibles contribuant à expliquer les raisons de l'évolution des consommations.
3. *Organisation des données.* Les données recueillies provenant de sources différentes doivent être formatées pour être fusionnées entre elles en une unique base de données.
4. *Segmentation de la population.* Pour analyser leur consommation, les abonnés sont regroupés selon deux critères : leur localisation géographique et leurs caractéristiques géographiques. Concernant le critère géographique, les abonnés sont rattachés aux différentes échelles auxquelles les données publiques sont disponibles (quartier, ville, etc.) ; concernant le critère économique sont regroupés les usagers qui partagent une même activité économique et un même usage principal de l'eau, en se basant sur les informations disponibles dans le fichier d'abonné. D'un point de vue pratique, la segmentation de la population se fait par le déroulement d'un code informatique qui lit les champs usuels du fichier de facturation (titre ou civilité, nom, adresse, diamètre compteur) et ventile les abonnés selon les critères prédéfinis à partir d'une recherche lexicale par mots-clés.
5. *Géolocalisation des compteurs des abonnés.* Les ménages abonnés repérés par la typologie sont rattachés à leur IRIS à partir du code Rivoli (fichier Fantoir) du site de comptage (localisation du compteur) et de leur commune. Il est donc supposé que l'abonné se situe dans la même IRIS que son compteur d'eau. Pour descendre au niveau des rectangles INSEE, ont été rapprochés l'adresse précise des abonnés (code RIVOLI, numéro de rue et ville), à un fichier des services géomatiques reliant les coordonnées GPS à ces trois champs. Les coordonnées GPS ont ensuite été projetées sur une carte des rectangles INSEE permettant ainsi de rattacher chaque abonné à un Rectangle.

6. *Analyse des données.* Les analyses permettant d'étudier la population de l'observatoire s'appuient sur des outils statistiques, graphiques, cartographiques et économétriques, notamment avec la construction de fonctions de demande à l'échelle locale permettant de révéler les déterminants de la demande.

Les étapes 4 à 6, donc de la consolidation des données à l'analyse, ont été réalisées sous R (R Development Core Team, 2005), à la fois langage de programmation et logiciel libre spécialisé dans les analyses statistiques. Ce choix permet ainsi de s'assurer de la transmissibilité de l'outil développé et donc de sa pérennité.

2. Nantes Métropole, territoire pilote de l'observatoire

En 2015, Nantes Métropole regroupe 24 communes pour près de 615 000 habitants et 297 000 ménages (INSEE, 2018). En moyenne, un ménage comporte 2,1 personnes, variant de 1,9 à Nantes à 2,6 dans des petites communes de moins de 6 000 habitants. Les ménages vivent majoritairement en appartement (58%) ; la part des résidences secondaires est très faible (3%).

En 2015, le revenu annuel médian par ménage s'élève à 22 896 euros pour la métropole dans son ensemble, allant de 20 558 euros à Saint-Herblain à 27 500 euros à Sautron. Il est de 21 263 euros pour la ville de Nantes. Cette dernière se distingue de l'ensemble par ses écarts de revenus (le rapport du revenu moyen du 9e décile sur celui du premier décile est de 4 contre 3 en moyenne) et son taux de pauvreté élevé (16.3% contre 8% en moyenne).

Dans la métropole, l'eau est distribuée par un opérateur public (la Régie de l'eau Nantes Métropole) pour 9 communes et un opérateur privé (Veolia) pour quinze communes. En 2017, les deux services d'eau comptent un total de 213 001 abonnés. Ils distribuent 39,9 millions de m³ pour une consommation de 31,7 millions de m³ grâce à 3 199 km de réseau de distribution. La consommation moyenne s'élève à 120 litres par jour par habitant. Depuis 2006, le prix de l'eau a été harmonisé : il y a donc une seule grille tarifaire qui est appliquée à l'ensemble des abonnés, quel que soit l'opérateur. Au 1^{er} janvier 2017, le prix moyen de l'eau est de 3,36 euros TTC/m³ pour une consommation de 120 m³ (Nantes Métropole, 2018).

La méthodologie de l'observatoire présentée précédemment a été appliquée au territoire de Nantes Métropole, s'appuyant sur les données de consommation de 285 894 abonnés présents tout ou partie (avec un minimum de 6 mois) de la période allant de 2011 à 2017, soit près de 1,4 million d'observations de consommation.

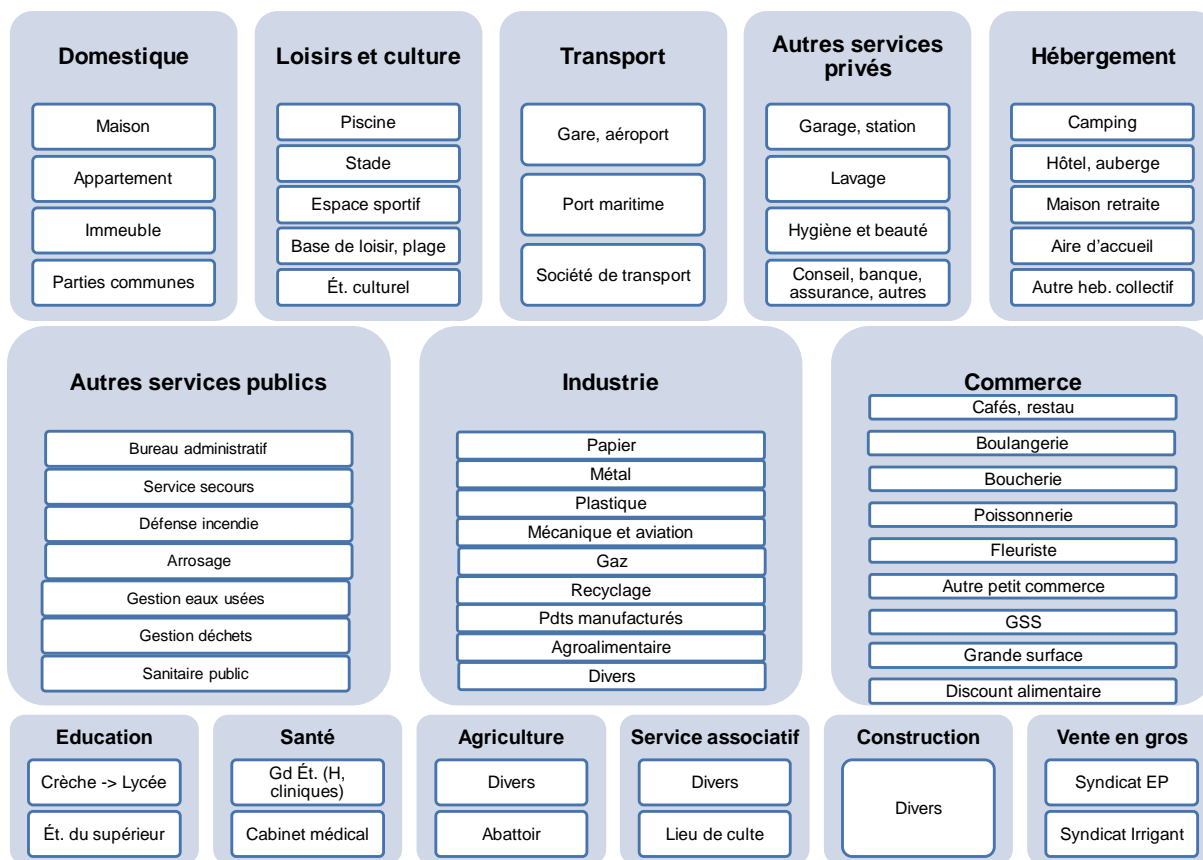
3. Résultats et Discussion

Les données de l'observatoire permettent de nombreuses analyses des consommations sur la base de différents critères (type d'usagers, localisation géographique, volume de consommation). L'article en expose ici une sélection.

3.1 Caractérisation des abonnés

La segmentation de la population réalisée à l'aide du code informatique précédemment décrit répartit les abonnés dans une quinzaine de grandes catégories d'usagers, elles-mêmes découpées en sous-catégories selon la grille présentée dans la Figure 2. Pour le territoire pilote de Nantes Métropole, en

2017, cette typologie automatique permet de classer 94% des abonnés sur la période d'étude (16 000 abonnés restent non classés).



EP : Eau potable ; Et : Etablissement ; Gd : Grand ; GSS : grandes surfaces spécialisées ; H : Hôpital ; Heb : hébergement.

Figure 2 Typologie des abonnés

Cette segmentation permet d'évaluer le poids de chaque type d'utilisateur dans la consommation totale du territoire, comme présenté dans la Figure 3. Ainsi, sur les deux périmètres confondus (Régie des eaux et Veolia), les abonnés domestiques représentent 92% de l'échantillon en 2017. Plus spécifiquement, 60% des abonnés sont des maisons (pour 36% des consommations), 28% des appartements dotés de compteurs individuels (pour 12% des consommations) et 4% des immeubles ne disposant que de compteurs collectifs (pour 17% des consommations). Les usages non domestiques représentent 4% des abonnés mais consomment 17% des volumes totaux. Enfin 5% des abonnés restent dans cette classification automatique non classés.

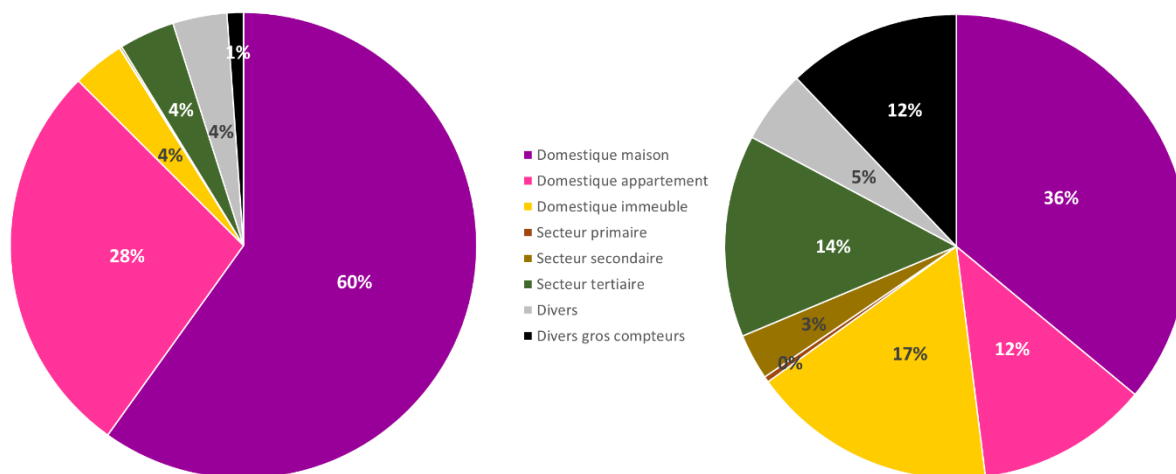
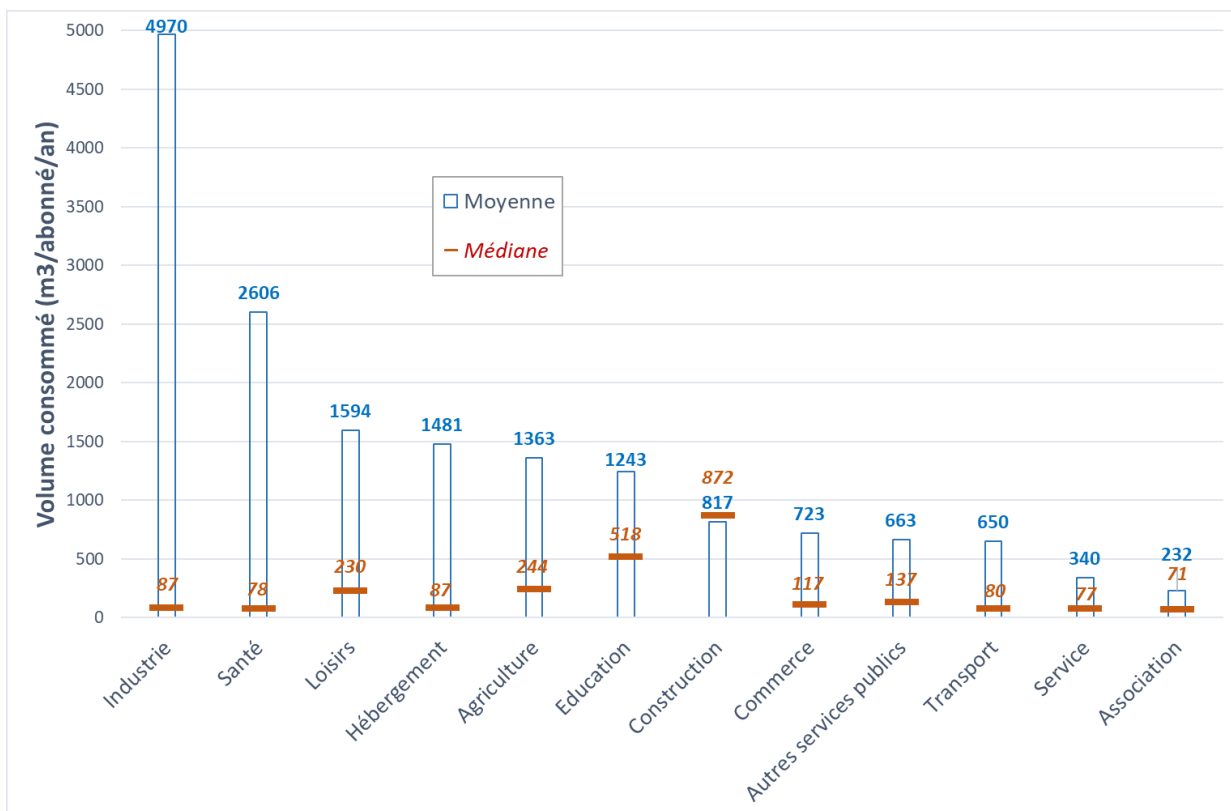


Figure 3 Répartition des 190 136 abonnés (gauche) et du volume facturé (droite) en 2017

La sous-catégorisation effectuée sur les abonnés non domestiques en 2017 permet d'estimer les niveaux de consommation moyenne annuelle unitaire des différents secteurs économiques (Figure 4). Seules les consommations d'eau potable sont considérées ici, y compris pour le secteur agricole. Le secteur de l'industrie apparait en moyenne comme le plus consommateur, suivi par celui de la santé. Figurent ensuite quatre secteurs dont la consommation moyenne est comprise entre 1000 et 2000 m³ : les loisirs, l'hébergement, l'éducation et l'agriculture ; et six secteurs consomment en moyenne moins de 1 000 m³ : la construction, les autres services publics, le transport, le commerce, les entreprises de service et les services associatifs. Sauf pour le secteur de la construction, les médianes sont très inférieures aux moyennes, révélant de grandes disparités des niveaux de consommation avec des majorités d'abonnés consommant des niveaux nettement inférieurs, mais aussi des usages qui en moyenne sont plutôt d'ordre domestique, correspondant à un usage similaire (utilisation de toilettes, etc.).

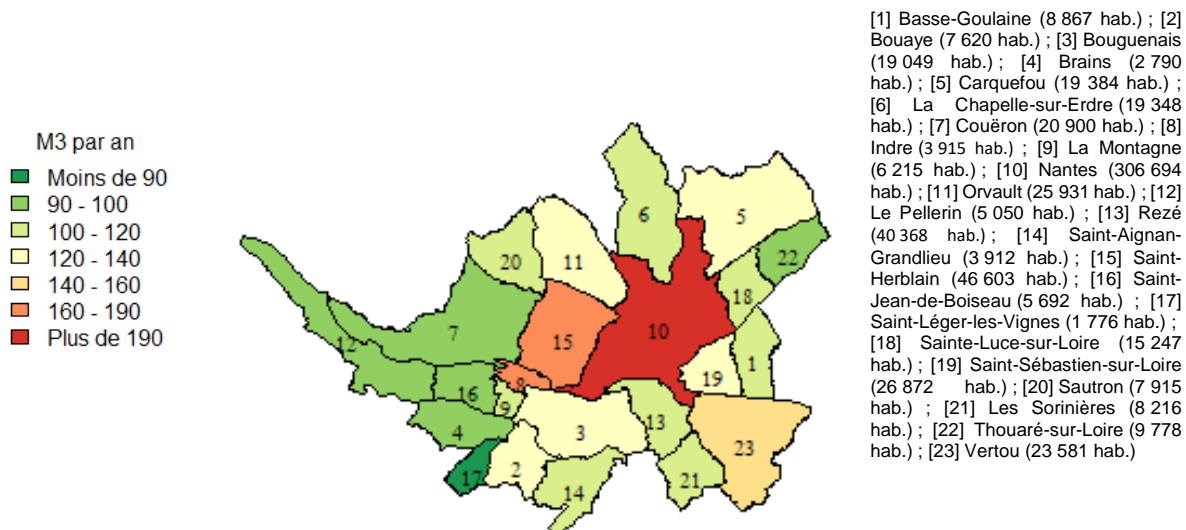


Source : fichiers de facturation, 3714 abonnés observés en 2017

Figure 4 Consommation en eau moyenne par abonné non domestique en 2017

3.2 Dynamique spatiale

A partir des données de l'observatoire, il est possible de représenter des cartes de consommation sur le territoire, à l'échelle des villes pour l'ensemble des abonnés (Figure 5).

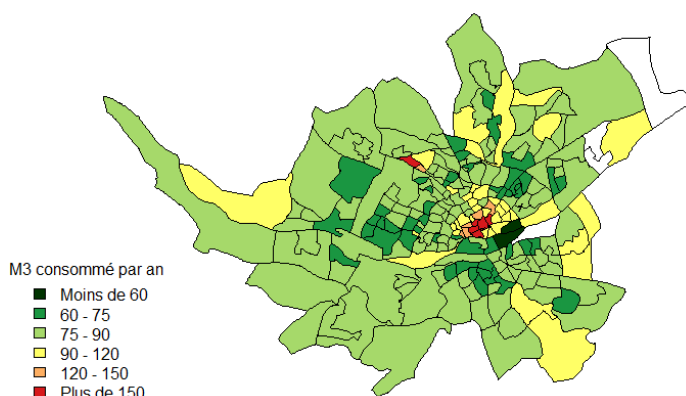


Source : Openstreetmap (fond de carte) ; Veolia et Nantes Métropole (données de consommation) ; INSEE Fiche synthétique - Évolution et structure de la population en 2016 diffusée au 1^{er} janvier 2019 (population des communes)

Figure 5 Consommation des abonnés en 2017, moyenne par commune (m³/abonné/an), 122 911 abonnés observés (chroniques complètes 2011-2017)

Le fichier unique des consommations comporte 4 833 codes Rivoli, permettant la géolocalisation de 232 542 ménages abonnés (avec compteur individuel) dans 230 IRIS habitat entre 2011 et 2017. La

consommation moyenne calculée à cette échelle géographique confirme l'hétérogénéité des consommations à l'échelle du territoire (Figure 6).

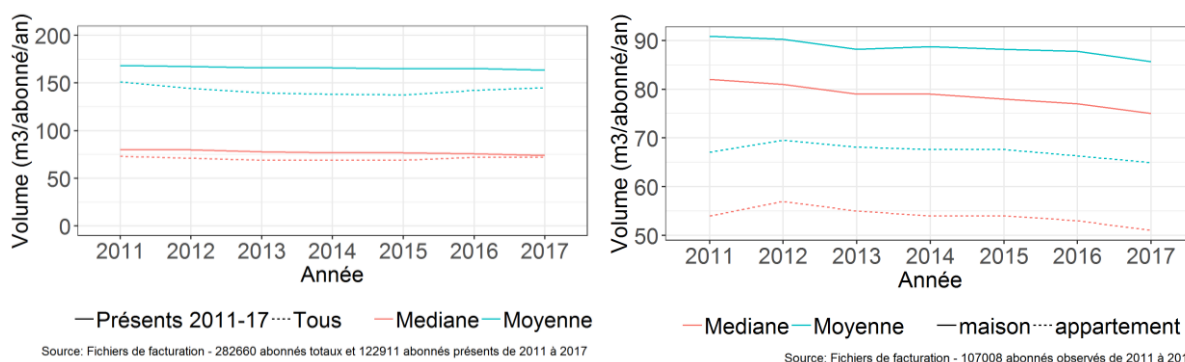


Source : IGN pour fonds de carte GEOFLA, Veolia et Nantes Métropole (données de consommation)

Figure 6 Consommation des abonnés domestiques avec compteur individuel (maison ou appartement) en 2017, moyenne par IRIS Habitat (m³/abonné/an), 183 340 abonnés observés

3.3 Dynamique temporelle

La baisse des consommations au niveau local est confirmée mais la tendance apparaît statistiquement de très faible amplitude : la consommation moyenne passe de 151 m³ à 145 m³ pour l'ensemble des abonnés (soit une baisse de 3%) et de 169 m³ à 164 m³ (-4%) pour les seuls abonnés présents de manière continue entre 2011 et 2017. Si l'on regarde plus spécifiquement les abonnés domestiques avec compteur individuel (maison ou appartement), la baisse est également continue mais faible : entre 2011 et 2017, la consommation moyenne annuelle a diminué de 6% pour les maisons, de 3% pour les appartements.



Totalité des abonnés

Abonnés domestiques avec compteur individuel

Figure 7 Evolution annuelle des consommations moyennes par abonné entre 2011 et 2017

Pour détecter les tendances d'évolution de la consommation en eau de chaque abonné, nous mobilisons le test de Mann-Kendall (un test non-paramétrique de non-stationnarité). La lecture des résultats de ce test présentés dans le Tableau I appelle les commentaires suivants :

- La relative courte période d'observation (sept années tandis que le test est adapté pour l'analyse de séries temporelles longues – supérieures à 10 observations) peut expliquer le nombre important d'abonnés pour lesquels aucune tendance n'est détectée (81%) ;

- Les abonnés présentant une tendance décroissante (11%) sont plus nombreux que les abonnés assortis d'une tendance croissante (8%) ;
- Parmi les usagers domestiques observés la part de ceux en baisse est supérieure à ceux qui sont en hausse (12% contre 8%) spécifiquement pour les maisons et les appartements dotés de compteurs individuels (pour les compteurs collectifs, la proportion des abonnés à la hausse 6% est similaire à celle de ceux à la baisse : 7%) ;
- Les abonnés professionnels comptent autant d'unités statistiquement reconnues en baisse qu'en hausse (7%). Peu d'éléments se dégagent sur les grandes catégories. Il faut descendre à l'échelle des sous-catégories pour observer certaines tendances : ainsi, la consommation des 62 « grandes surfaces spécialisées » présentes sur la totalité de la période diminue annuellement de 2%, mais 10% d'entre elles ont une baisse détectée et 5% une hausse, alors que les 22 hard discounts accusent plutôt une tendance à la hausse (pour 14% contre 4% à la baisse) ; 18% des hôtels ont augmenté significativement leur consommation au cours de la période alors que 4% ont enregistré une baisse.

3.4 Facteurs externes impactant la consommation

Les sections précédentes ont révélé que les consommations ne sont pas homogènes que cela soit dans le temps, entre les différents types d'abonnés, mais aussi sur différents points du territoire pour les abonnés d'un même type. Pour mieux caractériser l'évolution de la consommation d'eau et révéler les facteurs externes qui impactent la consommation, une analyse économétrique est menée. L'économétrie est une méthode dont l'objectif est d'exprimer quantitativement les corrélations existantes entre des phénomènes économiques. Modéliser une fonction économétrique de demande en eau consiste à chercher à expliquer la variable **consommation** par d'autres variables exogènes, c'est-à-dire à identifier et quantifier l'effet des différents facteurs d'influence de la consommation en eau potable. La fonction de demande a été ici spécifiée **à l'échelle des quartiers**, donc à partir de variables pertinentes disponibles à l'échelle de l'IRIS et des rectangles issues des données de l'observatoire. Mener l'analyse à cette échelle permet de se concentrer sur les consommations des abonnés domestiques dotés d'un compteur individuel dont le comportement est plus homogène, en comparaison de celles des abonnés non domestiques.

3.4.1 Spécification de la fonction de demande

La fonction de demande en eau présentée dans cet article a été estimée sur la seule année 2011³, les données à l'échelle des rectangles n'étant disponibles que cette année-là. Son équation prend la forme suivante :

$$CU_i = \beta_1 S_i + \beta_2 H_i + \beta_3 C_i + \varepsilon_i$$

où i est l'index des individus (les ménages avec compteur individuel en maison ou appartement),

³ Cette analyse statistique réalisée « en coupe » reste entièrement valable, le nombre d'observations étant important, mais ne permet pas alors de faire ressortir l'impact de variables qui sont stables à cette échelle d'observation, à savoir le prix (s'il est unique sur le territoire considéré ce qui est le cas ici) ou les données météorologiques (ces variables pouvant ne différer que très faiblement d'un endroit du territoire à l'autre).

CU_i est la consommation moyenne par abonné domestique issue du fichier de facturation,
 S_i est le vecteur des caractéristiques socio-économiques et démographiques du quartier i ,
 H_i est le vecteur des caractéristiques de l'habitat du quartier i ,
 C_i est le vecteur des caractéristiques climatiques du quartier i ,
 ε_i est le terme d'erreur que l'on suppose non corrélé avec les variables explicatives.

les β représentent les vecteurs des paramètres que l'on souhaite estimer.

Nous avons un intérêt particulier pour β_1 qui capture l'impact des modifications sociodémographiques des quartiers et pour β_2 qui mesure celui de la modification de la typologie de l'habitat. Les coefficients liés aux variables météo β_3 risquent par contre de ne pas être lisibles, la météo à l'échelle du territoire étant similaire. Enfin, le prix de l'eau étant identique sur l'ensemble du territoire de Nantes Métropole, l'élasticité prix ne peut pas être estimée.

Afin de permettre une lecture directe du coefficient *revenu* en tant qu'élasticité, le log de la consommation unitaire est régressé sur le log de la variable revenu tandis que les autres variables ne sont pas transformées.

3.4.2 Présentation de la fonction de demande et des paramètres estimés

Le Tableau II restitue les résultats des régressions du modèle à l'échelle des quartiers : IRIS dans la colonne (1), rectangles dans la colonne (2), qu'il met en comparaison avec une régression du modèle à l'échelle nationale (3) estimée en coupe pour l'année 2011. Dans le modèle (3), les individus statistiques ne sont plus les quartiers mais des communes françaises dont les services d'eau sont confiés à Veolia. Les trois modèles sont régressés par les Moindre Carrés Ordinaires (MCO) qui repose sur l'hypothèse d'homogénéité des comportements des individus.

Au niveau des IRIS et des rectangles, les variables socio-économiques et démographiques représentent les caractéristiques de l'ensemble des habitants des aires géographiques concernées, tandis que les variables de consommation concernent les seuls abonnés domestiques dotés de compteurs individuels. Or, il est possible que les ménages vivant en maison ou en immeuble aient des caractéristiques bien différentes dans certaines aires, mais cette contrainte ne peut être évitée à cette échelle étant données les données disponibles. A l'échelle nationale la consommation totale de la ville est ramenée au nombre de ménages tandis que seules les consommations des abonnés domestiques avec compteur individuel sont observées à l'échelle des IRIS et des rectangles.

A l'échelle locale, plus fine qu'au niveau national, les variabilités de revenu sont plus fortes et permettent de révéler une élasticité positive comprise entre 0,3 et 0,4. Cela signifie que lorsque le revenu moyen d'un quartier augmente de 10%, les consommations en eau, toutes choses égales par ailleurs, s'accroissent de 3 à 4%, ce qui est cohérent avec la littérature.

Le coefficient relatif à la variable *propriétaire* est significatif et varie dans le sens attendu : lorsque la part des ménages propriétaires de leur logement croît, la consommation moyenne baisse toutes choses égales par ailleurs. Cela peut s'expliquer par les investissements faits par les propriétaires en équipements hydro-économiques sur les installations intérieures (chasse d'eau, réducteurs de pression des robinets, etc.) ou en forage privé. Les propriétaires pourraient également porter une plus grande

attention aux éventuelles fuites d'eau par un meilleur entretien de leurs canalisations et appareils consommant de l'eau. Enfin l'accès direct à la facture d'eau leur permettrait de prendre conscience de leur niveau de consommation pour mieux la contrôler.

Au niveau des rectangles, la variable *surface du logement* est bien positivement corrélée avec la consommation d'eau. Mais il est étonnant de lire que les IRIS avec davantage de ménages résidant en maison consomment moins d'eau, toutes choses égales par ailleurs : les maisons sont associées généralement à des usages extérieurs s'ajoutant aux usages domestiques intérieurs. La présence de puits et forages pourrait justifier des consommations moindres.

Le coefficient relatif à la variable *résidence secondaire* des modèles IRIS et national est significatif et varie dans le sens attendu : une part plus importante de résidences secondaires augmente la consommation moyenne estimée à partir des seuls ménages résidant de manière permanente.

L'ancienneté dans le logement est, au niveau des rectangles, une variable significative : les ménages plus anciens auraient une consommation moindre, toutes choses égales par ailleurs, que les ménages plus récemment installés. Est-ce dû à l'apprentissage permettant de contrôler la consommation au fil du temps ?

Les variables démographiques sont toutes significatives à l'échelle locale, à l'exception de la variable indiquant les ménages formés d'une seule personne pour l'échelle IRIS. Plus la *taille du ménage* augmente, plus la consommation croît, comme attendu ; les quartiers avec une population jeune plus importante consomment moins d'eau, de même que ceux avec une part plus importante de seniors, mais dans une moindre mesure. Comme attendu, les coefficients relatifs à ces deux derniers paramètres sont d'un signe opposé au niveau national : lorsqu'une ville comporte davantage de population sénior ou de population jeune, la consommation totale de la ville ramenée au nombre d'habitants est plus importante toutes choses égales par ailleurs. Ces villes ont certainement davantage d'équipements et d'infrastructures grosses consommatrices d'eau (maisons de retraites, hôpitaux, cliniques, établissements scolaires, infrastructures sportives, etc.) dont les consommations sont comptabilisées dans la consommation totale de la ville entrant dans la régression.

La trop faible variabilité de la météo ne permet pas à l'échelle des quartiers IRIS de faire ressortir de coefficient significatif, ce qui était à prévoir, contrairement au niveau national où les impacts sont significatifs, notamment concernant la température.

Conclusion

Le projet d'observatoire avait pour ambition de valoriser les données disponibles auprès des opérateurs des services d'eau potable (fichiers de facturation) et des données publiques (INSEE, ...) ou aisément accessibles (météo) en vue de mieux connaître les consommations sur un territoire donné (typologie des abonnés, niveau de consommation et évolution). Pour cela, il a été élaboré à l'aide d'une interface libre © qui a permis de programmer le déroulé des étapes à suivre (classification automatique des abonnés en catégories à partir des éléments du fichier de facturation, calcul des statistiques descriptives, analyse des tendances, rendu des résultats sous format de tableaux ou de cartes réalisées directement à partir des librairies disponibles sous ©).

Les données recueillies et consolidées pour l'observatoire permettent ainsi de mener un grand nombre d'analyses dont seule une sélection a été présentée ici. Les premiers résultats confirment, au niveau de Nantes Métropole, une tendance de consommation unitaire continuellement à la baisse entre 2011 et 2017 mais de très faible amplitude, comme c'est le cas au niveau national jusqu'en 2015. L'exploration des données a également révélé des consommations non homogènes dans le temps, dans l'espace et entre les différents types d'abonnés.

Par ailleurs, ces données ont permis de construire des fonctions de demande à différentes échelles locales (IRIS et rectangles de INSEE), qui ont été comparées à une fonction de demande bâtie au niveau national. Au niveau local, le pouvoir explicatif du modèle à l'échelle des quartiers est satisfaisant, mais à condition de s'arrêter à une échelle permettant de conserver une bonne variabilité de l'échantillon : il convient donc de travailler avec les quartiers regroupés par IRIS (maille INSEE, 2000 habitants observés en moyenne) plutôt qu'à l'échelle plus petite des rectangles. Le pouvoir explicatif du modèle à l'échelle nationale est quant à lui plus faible, les données disponibles ne permettant pas de renseigner des variables qui pourraient capter d'autres phénomènes tels que :

- des facteurs de long terme comme les effets de la loi SRU (individualisation des compteurs d'eau), la prise de conscience écologique progressive individuelle et collective (qui pourrait être captée par le recensement des campagnes de sensibilisation dans la presse par exemple), le remplacement progressif des appareils électroménagers plus économes, la mise en place de normes de construction et d'équipement des bâtiments publics, etc.
- des facteurs plus conjoncturels comme les arrêtés sécheresse, des événements économiques particuliers, etc.

Cependant, des contraintes demeurent lorsque l'on travaille à une échelle locale. En effet, au niveau des IRIS et des rectangles, les variables socio-économiques et démographiques issues de l'INSEE représentent les caractéristiques de l'ensemble des habitants de ces quartiers, tandis que les variables de consommation concernent les seuls abonnés domestiques dotés de compteurs individuels. Cette contrainte est susceptible d'entraîner des biais et, pour les limiter, il serait utile de disposer de variables permettant de caractériser les ménages par type d'habitat.

Malgré tout, ces éléments confirment l'intérêt de descendre à une échelle fine et donc la pertinence de recourir à un observatoire au niveau local pour :

- suivre les comportements des usagers et mieux les anticiper ;
- produire des indicateurs fiables et des paramètres utiles pour projections des consommations, au-delà de simples moyennes calculées sur les données agrégées ne tenant pas compte des hétérogénéités ;
- cibler des actions publiques sur certains groupes d'usagers qu'il est possible de suivre spécifiquement.

Ces éléments appellent également à conserver les données de consommation sur une longue durée, pour être mieux à même de détecter les déterminants des évolutions observées et estimer les tendances mais aussi de chercher à inclure d'autres données disponibles localement pour enrichir davantage les analyses. Il semble également pertinent de veiller à conserver des échelles d'analyse

compatibles avec les informations publiques pour confronter les résultats avec d'autres territoires qui produiraient leur propre observatoire. Cette démarche permettrait de comparer les comportements d'un territoire à l'autre, d'avoir un échantillon d'observation plus large sur les usagers non domestiques, mais aussi de révéler la sensibilité au prix et aux variations météorologiques des usagers, non observables à l'échelle locale du fait de leur homogénéité locale, mais qui constitue, pour la première une information cruciale aux politiques de gestion de la demande via la tarification, et pour l'autre un des paramètres les plus utilisés par les opérateurs d'eau dans leur exercice de prévision (cf. le coefficient de pointe).

Tableaux

Abonnés	Nombre	Moyenne		Médiane		Variation annuelle	Tendance	
	2011-17	2011	2017	2011	2017		En baisse	En hausse
Domestiques	113 193	115	110	78	72	-1,2%	12%	8%
Professionnels	3 714	1 051	1 036	126	124	-1,6%	7%	7%

Source : Fichiers de facturation – 116 885 abonnés présents sur la totalité de la période 2011-2017

Tableau I Evolution de la consommation en eau (en m³/abonné/an et en %) en fonction du test de Mann-Kendall (pour un intervalle de confiance statistique de 95%)

Variables	IRIS (1)	Rectangle (2)	National (3)
Constante	-0,31 (1,77)	-0,43 (0,46)	3,52*** (0,15)
Log Prix unitaire			-0,04*** (0,01)
Urbain			-0,06*** (0,02)
Part des logements secondaires	2,30** (1,03)		1,02*** (0,08)
Surface moyenne résidence principale		0,00*** (0,00)	
Part des maisons	-0,33*** (0,12)		-0,49*** (0,07)
Part des propriétaires	-0,04 (0,18)	-0,29*** (0,04)	-0,09 (0,09)
Part des ménages occupant + 5 ans		-0,03 (0,03)	
Log Revenu	0,31*** (0,10)	0,30*** (0,04)	0,00*** (0,00)
Taille du ménage	0,68** (0,28)	0,10*** (0,02)	0,41*** (0,03)
Part des ménages avec personne seule	0,35 (0,58)	0,44*** (0,05)	
Part de la population jeune (-14 ans national, -18 ans local)	-2,71*** (0,69)	-0,36*** (0,08)	0,07 (0,31)
Part de la population senior (+60 ans national et IRIS, +65ans Rectangles)	-0,52* (0,32)	-0,26*** (0,05)	0,70*** (0,17)
Nombre de jours de pluie			-0,00** (0,00)
Pluie (mm par an)	-0,00 (0,00)	-0,00*** (0,00)	
Température moyenne annuelle	0,16 (0,14)	0,18** (0,03)	0,03*** (0,00)
Nombre d'observations	172	3 563	5 665
R2 ajusté	0,37	0,13	0,22

Notes : *** indique un paramètre significatif à 1%, ** à 5% et * à 10%, L'écart-type est précisé entre parenthèse. Les coefficients sont corrigés de l'hétéroscédasticité. La multicolinéarité entre les variables a été contrôlée (VIF <4)

Tableau II Estimation de la fonction de demande en eau d'un ménage à deux échelles sur Nantes Métropole (IRIS et Rectangle) et communale (National – fichier Veolia) pour l'année 2011

Lexique des termes statistiques mobilisés

Données. Une analyse statistique de la demande peut être basée sur un échantillon observé sur deux dimensions (l'espace et le temps) ; elle est alors dite « en panel » ; lorsque les données ne sont observées que sur une seule année, elle est « en coupe ».

Intervalle de confiance. Dans les modèles statistiques, représente la marge d'erreur que l'on accepte. S'il est de 95%, c'est l'intervalle dans lequel il y a 95% de chance que la vraie valeur de la valeur observée se trouve à l'intérieur.

Elasticité. L'élasticité mesure le degré de sensibilité de la demande par rapport au prix (élasticité prix) ou au revenu d'un consommateur (élasticité revenu). Plus cette élasticité est forte, plus la variation du

prix (ou revenu) a un effet important sur sa consommation. De façon générale, si l'élasticité (prix ou revenu) est nulle, le prix ou le revenu n'a pas d'influence sur la demande du bien (demande rigide) ; elle est supérieure à 1 en valeur absolue si la demande réagit dans une proportion supérieure à la variation de prix ou de revenu ; plus elle est proche de 0 (et inférieure à 1), plus elle est inélastique. Ainsi, une valeur de -0,3 pour une élasticité prix s'interprète de la manière suivante : lorsque le prix augmente de 10%, la consommation, toutes choses égales par ailleurs, diminue de 3%.

Méthode des moindres carrés ordinaires (MCO). C'est une méthode de régression mathématique. Elle cherche à établir une relation linéaire entre une variable à expliquer et une ou des variables explicatives. Elle va pour cela calculer les coefficients affectés aux différentes variables qui permettent de minimiser la somme des carrés des écarts entre chaque point du nuage de régression et son projeté sur la droite de régression. *Régresser.* Acte entrepris pour analyser la relation d'une variable (dite expliquée) par rapport à une ou plusieurs autres (dites explicatives) à l'aide de méthodes statistiques (comme les MCO).

Test de Mann-Kendall. Test non-paramétrique qui permet de détecter l'existence de non stationnarité dans une série chronologique de données. L'hypothèse nulle H_0 est qu'il n'y a pas de tendance. Cette hypothèse sera rejetée uniquement si la série observée montre une rupture nette et durable. Plus la série est courte, moins il pourra être détecté de rupture. C'est pourquoi il est préférable de le faire uniquement sur des chroniques longues (supérieures à 10 observations), même s'il est possible de le faire sur des chroniques courtes (de plus de 4 ou 5 observations), car cela ne permettra pas de distinguer les stationnarités et les non-stationnarités. Les non-stationnarités observées gardent toutefois leur entière validité.

Remerciements

Ce travail est issu du projet de recherche sur l'observation des consommations en eau potable impliquant Nantes Métropole, Veolia Région Pays de Loire et Irstea. En plus de ces trois institutions impliquées dans le projet nous remercions en particulier : Moira Cambrezy Caboche (Veolia), Céline Carriou (Nantes Métropole), François Codet (Nantes Métropole), Jeanne Godard (Veolia), Denis Guilbert (Nantes Métropole), Régis Taisne (FNCCR) et Arnaud Vestier (Montpellier 3M). Nous remercions enfin vivement Khan Truong, pour sa précieuse aide dans la phase de nettoyage et de compilation des bases de données nationales en tant que stagiaire Veolia.

Bibliographie

Barraqué, B. *et al.* (2011) « Baisse des consommations d'eau potable et développement durable », *Responsabilité et Environnement*, 63, p. 102-108.

Cambon-Grau, S. (2000) « Baisse des consommations d'eau à Paris : enquête auprès de 51 gros consommateurs », *TSM (Techniques, Sciences et Méthodes)*, 2, p. 37-46.

INSEE (2018) *Chiffres détaillés – Logement - Année 2015*.

Montginoul, M. (2013) « La consommation d'eau en France : historique, tendances contemporaines, déterminants », *Revue SET*, 10, p. 68-73. Disponible sur: <http://www.set-revue.fr/la-consommation-d-eau-en-france-historique-tendances-contemporaines-determinants>.

Nantes Metropole (2018) *Rapport annuel sur l'eau 2017. Prix et qualité des services publics d'eau*

potable et d'assainissement.

Nauges, C. et Thomas, A. (2000) « Dynamique de la Consommation {d'Eau} Potable Des Ménages: Une Étude sur un Panel Des Communes Françaises », *Économie et Prevision*, 143-144, p. 175-184.

Poquet, G. et Maresca, B. (2006) *La consommation d'eau baisse dans les grandes villes européennes, Consommation et modes de vie*. Credoc.

R Development Core Team (2005) « R: A language and environment for statistical computing ». Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing. Disponible sur: ISBN 3-900051-07-0.