

ANALYSE STATISTIQUE D'INTERVENTIONS POUR LA RÉDUCTION DE LA CONSOMMATION D'EAU POTABLE

Charlotte Rous¹ & Julia Barrault² & Vincent Couallier³ & Laetitia Couderc⁴ & Charlotte Sakarovitch⁵

¹ *SUEZ Le LyRE, France et charlotte.rous@suez.com*

² *SUEZ Le LyRE, France et julia.barrault@suez.com*

³ *IMB, CNRS, Université de Bordeaux, France et vincent.couallier@u-bordeaux.fr*

⁴ *SUEZ Le LyRE, France et laetitia.couderc@suez.com*

⁵ *SUEZ Le LyRE, France et charlotte.sakarovitch@suez.com*

Résumé. La préservation de la ressource en eau est actuellement un enjeu clé en France. Cet enjeu deviendra chaque année de plus en plus central et prégnant notamment en raison du réchauffement climatique et de l'évolution démographique. Dans ce contexte, la compréhension des mécanismes liés à la consommation d'eau est nécessaire afin de déclencher des changements d'habitudes garantissant à terme une réduction de la consommation. Dans le cadre d'une étude à grande échelle sur la Communauté d'Agglomération du Bassin de Brive entre 2022 et 2025, la réduction de la consommation d'eau des usagers particuliers est évaluée en s'appuyant sur les sciences comportementales. Pour cela, nous nous basons sur les données des compteurs connectés (télérelève), fournies par Suez depuis mars 2022 pour les premières mesures, afin d'évaluer différentes interventions (action de communication ou distribution de dispositifs d'économie d'eau), chacune ayant pour but commun une réduction de la consommation d'eau domestique. Pour ce faire, chaque intervention a été mise en place à la façon d'un essai randomisé contrôlé. Après un pré-traitement des données, nous proposons d'utiliser les modèles linéaires mixtes prenant en compte les données répétées et les aspects pré/post intervention afin d'évaluer l'effet de chaque intervention. L'analyse est en cours de réalisation, les premiers résultats sont attendus en avril.

Mots-clés. Essai Randomisé Contrôlé; Maîtrise des consommation et économies d'eau; Modèle Linéaire Mixte

Abstract. The preservation of water resources is a current issue as well as a future concern in France, particularly due to global warming and demographic changes. In this context, understanding the mechanisms related to water consumption is necessary in order to trigger changes in habits that will ultimately guarantee a reduction in resources consumption. As part of a large-scale study on the Agglomeration Community of the Brive Basin between the years 2022 and 2025, the reduction in water consumption by individual users is evaluated based on behavioral sciences. To complete this task, we rely on data obtained from connected water meters (telemetry), provided by Suez since March 2022 for the first measurements. The data gathered from these devices is used to analyze and evaluate different interventions (communication action or distribution of water-saving devices), each with the common goal of reducing domestic water consumption. To that end, each intervention was implemented in the manner of a randomized controlled trial. After pre-processing the data, we propose to use

Linear Mixed Models taking into account repeated data and pre/post intervention aspects to evaluate the effect of each intervention. The analysis is currently being carried out, with the first results expected in April.

Keywords. Randomised Controlled Trial ; Water savings ; Linear Mixed Model

1 Introduction

La Communauté d’Agglomération du Bassin de Brive, particulièrement touchée par la sécheresse intense de 2019, a pour ambition de préserver la ressource en eau de son territoire. L’objectif de ce territoire est d’atteindre une réduction des prélèvements sur la ressource de 21% en 7 ans, en partie grâce à une réduction de 8% de la consommation d’eau après compteur, c’est-à-dire l’eau réellement consommée par les usagers du territoire. Le projet DEM’EAU (*DEMONstrateur d’économie d’EAU*) s’inscrit dans cette trajectoire. Ce projet cible uniquement les usagers particuliers du service de l’eau et a pour but de comparer et quantifier l’efficacité de différentes interventions sur la réduction des consommations. Jusqu’à récemment, la consommation des ménages était évaluée de manière annuelle grâce à des campagnes de relèves à pied permettant d’établir les factures des usagers. La mesure d’une réduction très faible de la consommation d’eau est difficilement perceptible sur une consommation annuelle. Sur l’Agglomération de Brive un nouvel outil de télérelève journalière se déploie progressivement (et à terme exhaustivement) et nous permet une mesure plus efficace et plus fiable de par sa fréquence d’acquisition de données bien plus grande qu’un simple index annuel.

Afin d’identifier les moyens les plus efficaces pour préserver la ressource en eau, 4 interventions visant à réduire les consommations des ménages ont été mises en place pour être évaluées et comparées à l’aide d’essais randomisés contrôlés :

- **Intervention 1** : Distribution de nudges par voie postale : Thaler et Sustein [2008], définit le nudge (ou coup de pouce) comme instrument simple à mettre en place et relativement peu coûteux qui permet d’aider les individus à prendre des décisions bénéfiques pour eux-mêmes ou pour la société tout en leur laissant la liberté de choix. Dans cette intervention, il s’agit d’un livret montrant l’intérêt de la préservation de la ressource accompagné de stickers incitant aux éco-gestes (douche, arrosage des fleurs avec de l’eau réutilisée).
- **Intervention 2** : Distribution d’un pommeau de douche hydro-économe aux personnes se présentant en mairie suite à un courrier électronique ou postal les informant de cette mise à disposition. Les pommeaux étaient disponibles 3 semaines après envoi du courrier. De marque *Hydrao*¹, ces pommeaux, en plus de réduire le débit de la douche, éclairent le jet d’eau avec des couleurs différentes en fonction du volume d’eau consommé et sont connectés en bluetooth à une application sur smartphone permettant de surveiller sa consommation. Le fournisseur annonce un objectif de réduction de 70% pour l’eau consommée sous la douche.

1. <https://www.hydrao.com/fr/notre-concept/fonctionnement>

- **Intervention 3** : Installation d'un pommeau de douche hydro-économe à domicile. Il s'agit des même pommeaux que dans l'intervention 2. Pour cette intervention, les foyers sont contactés par téléphone pour leur proposer un rendez-vous pour la pose du pommeau à domicile. Il s'agit ici d'évaluer une autre politique de mise à disposition que celle de l'intervention 2.
- **Intervention 4** : Mise à disposition d'une application numérique, nommée *ModeEco*. Cette application, liée aux données télérelevées, permet à l'utilisateur de connaître en temps réel sa consommation d'eau et d'obtenir également des conseils en vue de diminuer sa consommation (alertes fuites et surconsommation, comparaison de la consommation du ménage à un référentiel, etc.)

2 Population et protocole d'étude

L'étude a lieu sur le territoire de la Communauté d'Agglomération du Bassin de Brive composée de 38 communes classées en 3 catégories (urbain, péri-urbain, ou rural, figure 1), regroupant au total 44 815 ménages qui seront à terme tous dotés de compteurs connectés.

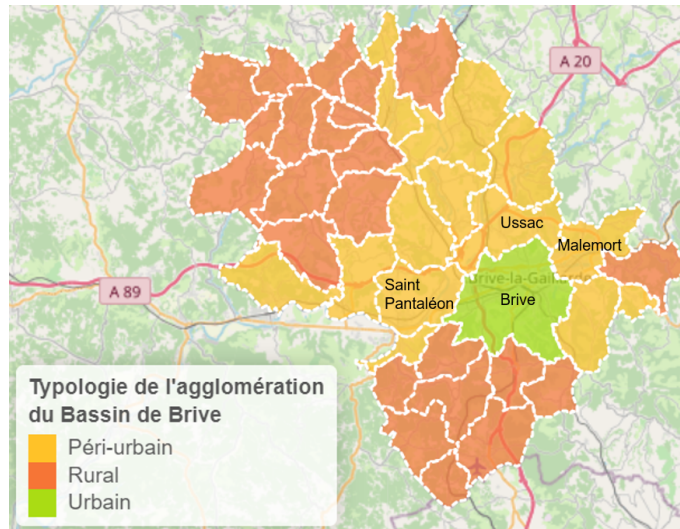


FIGURE 1 – Périmètre de l'étude

L'évaluation des trois premières interventions repose sur un protocole de type essai randomisé contrôlé, avec un groupe de ménages touchés par l'intervention et sélectionnés aléatoirement dans la population éligible, le reste formant le groupe contrôle. Les interventions 2 et 3 sont destinées aux 6 000 ménages les plus gros consommateurs d'eau. L'intervention 1 est destinée aux ménages restants. Pour des raisons matérielles d'activation de l'application *ModeEco* par commune entière, l'intervention 4 nécessite un tirage aléatoire de communes, tous les ménages des communes sélectionnées intègrent donc le groupe test (échantillonnage par grappe).

Afin de prendre en compte les variations saisonnières ou infra saisonnières dues notamment

à la météo, aux périodes de vacances scolaires ou aux évènements touristiques, les données de consommations de chaque groupe sont collectées avant et après l'intervention. Un modèle mixte permettra de prendre en compte l'aspect répété des données longitudinales de consommations étudiées (Verbeke [1997]).

Les périodes de mise en place ainsi que les dates d'évaluation de ces interventions sont détaillées dans la figure 2. L'expérimentation prévue pour durer 2 ans doit prendre fin au premier trimestre 2025.

Grâce à l'expertise en science sociale du LyRE et aux études déjà réalisées dans ce domaine par l'équipe projet sur des échantillons plus réduits (Lecourt et al. [2023]), des hypothèses d'efficacité des différentes interventions ont pu être posées. Pour le nombre de sujets nécessaires, un calcul naïf de puissance pour la comparaison de deux échantillons gaussiens a pu être mis en place avec des ordres de grandeur réalistes pour les consommations et les dispersions individuelles.

Suite à l'hypothèse d'une réduction de la consommation d'eau de 5% pour les nudges, le groupe test de l'intervention 1 est de 3 100 ménages avec un groupe contrôle de 5 200 ménages. Pour les interventions 2 et 3, l'hypothèse de réduction de la consommation d'eau des pommeaux est de 20%. 1 000 pommeaux ont été envoyés à chacun des groupes test des interventions 2 et 3.

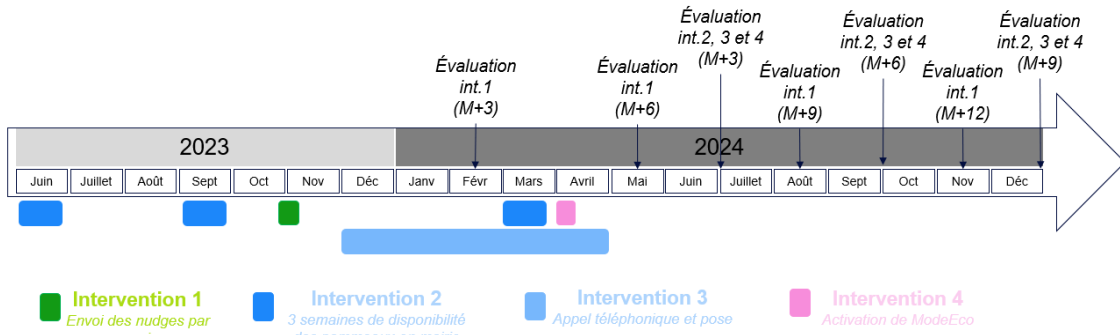


FIGURE 2 – Planning du déploiement des actions et des évaluations

La figure 3 synthétise la répartition des interventions sur les ménages de l'agglomération de Brive disposant de la télérelève.

Comme indiqué sur la figure 3, les ménages de Brive et la moitié des communes péri-urbaines et rurales feront l'objet de l'intervention 4 consistant au déploiement de l'application *ModeEco*. Le reste des ménages de l'agglomération (toutes les communes ne faisant pas partie du groupe test) inclus dans l'étude servira de groupe contrôle à cette intervention. La mise en place de l'application est possible uniquement à l'échelle communale et non pas par usager. Les communes tests ont été choisies en stratifiant sur la typologie de la commune (rural, péri-urbain ou urbain). Ainsi, l'intervention 4 induit un emboîtement des interventions de par son mode d'activation, il faudra alors prendre en compte les potentiels effets dus aux autres interventions lors de l'évaluation de cette action. À l'inverse, il faudra ajuster les autres modèles

avec l'intervention 4 afin d'isoler les effets des autres interventions.

Les interventions 2 et 3, quant à elles, sont réparties sur les ménages de Brive et 3 autres communes péri-urbaines (Malemort, Ussac et Saint Pantaléon).

L'intervention 1 a été répartie sur l'ensemble des communes de l'agglomération et ne concerne que les plus petits consommateurs d'eau afin de ne pas interférer avec les interventions 2 et 3.

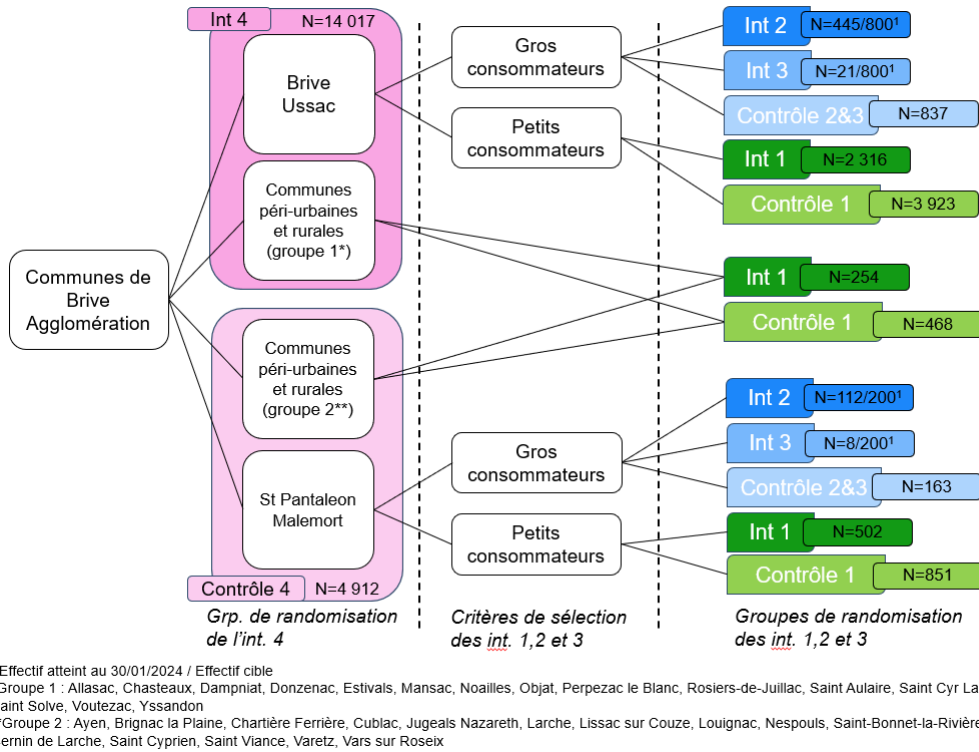


FIGURE 3 – Répartition des ménages dans les différentes interventions

3 Définition de la variable d'intérêt

Afin d'évaluer la réduction de consommation d'eau des particuliers, nous avons à disposition un index journalier pour chaque ménage de notre étude (données issues de la télérelève). Cependant, de par la présence de données manquantes (échec de transmission), de la très grande variabilité inter-journalière de la consommation d'eau, du manque d'information sur la présence des usagers jour par jour, de l'échelle temporelle des effets attendus, nous proposons une définition adaptée de la consommation d'eau journalière moyenne mensuelle. Un premier filtre des données a été réalisé en éliminant les jours où la consommation est supérieure à 2000 litres (consommation exceptionnelle correspondant à la présence de plus de 13 personnes dans le foyer ou encore une consommation aberrante liée à une erreur de mesure), et en ne conservant que les jours de présence, identifiés par une consommation journalière

mesurée supérieure à 5 litres, qui correspond dans la littérature à la consommation d'une seule chasse d'eau. On note l'indicatrice de prise en compte du jour d dans notre étude $p(d) = \mathbb{1}_{\text{Conso}(d) \geq 5} \times \mathbb{1}_{\text{Conso}(d) \leq 2000}$, et on définit la consommation journalière au jour d par $\text{Conso}(d) = [\text{Index}(d)] - [\text{Index}(d - 1)]$. La consommation journalière mensuelle au mois m est alors définie par :

$$\text{Conso}(m) = \frac{\sum_{d \in m} \text{Conso}(d) \times p(d)}{\sum_{d \in m} p(d)}.$$

La variable d'intérêt de notre étude est le logarithme de la consommation journalière (en litres) $\text{LogConso}(m) = \ln(\text{Conso}(m))$, le passage au logarithme permettant une interprétation en pourcentage de la réduction de la consommation.

4 Évaluation

Dans le cadre des évaluations d'interventions, il est d'usage de distinguer l'évaluation en intention de traiter (ITT) ou en *per procole* (PP). L'ITT compare les résultats des groupes test et contrôle indépendamment de la réelle utilisation des dispositifs par les ménages dans le groupe testé. Dans l'analyse per protocole, seuls les individus du groupe testé qui auront utilisé les dispositifs seront pris en compte (Lachin, J. M., 2007, McNamee, R., 2009, Sedgwick, P., 2015).

Pour évaluer nos différents dispositifs, il est naturel de considérer des modèles linéaires mixtes, adaptés aux mesures répétées sur le sujet "ménage". L'évaluation de l'ensemble de nos actions requiert l'ajustement de plusieurs modèles puisque la population des groupes contrôle est différente pour chacune des interventions (gros consommateurs pour les interventions 2 et 3, petits consommateurs pour l'intervention 1). De plus, l'intervention 4 déployée par commune va cibler des ménages ayant pu être concernés par une autre intervention. Il faudra donc prendre cela en compte dans les différents modèles afin d'isoler l'effet recherché.

Pour analyser l'impact de l'intervention 1 (population en vert sur la figure 3), le modèle suivant est proposé :

$$\begin{aligned} \text{LogConso}(\text{im}) = & \beta_0 + \beta_1 \mathbb{1}_{\text{Int.1}}(\text{im}) + \beta_4 \mathbb{1}_{\text{Int.4}}(\text{im}) + \beta_5 \text{mois}_{\cos}(\text{m}) + \beta_6 \text{mois}_{\sin}(\text{m}) + \\ & + \beta_7 \text{Commune}(\text{i}) + \gamma_i + \epsilon(\text{im}) \end{aligned}$$

où i correspond au ménage, β_1, β_4 correspondent à l'effet de l'intervention 1 et 4, β_5, β_6 , l'ajustement sur le mois à l'aide de transformations trigonométriques, β_7 , l'ajustement sur la commune, γ_i , l'effet aléatoire sur le ménage et $\epsilon(\text{im})$ le terme d'erreur. Dans ce modèle, β_4 , ne sera pas interprété, c'est le coefficient associé à l'intervention 4 sur laquelle on se doit d'ajuster. En effet, l'ajustement sur l'intervention 4 est nécessaire puisque l'application va être communiquée sur différentes communes, mais pas à l'ensemble des ménages de notre panel (intervention 1), il permettra de séparer l'effet de ces deux interventions.

Pour analyser l'impact des interventions 2 et 3 (le groupe contrôle étant identique, en bleu

sur la figure 3), le modèle suivant est proposé :

$$\text{LogConso}(\text{im}) = \beta_0 + \beta_2 \mathbb{1}_{\text{Int.2}}(\text{im}) + \beta_3 \mathbb{1}_{\text{Int.3}}(\text{im}) + \beta_4 \mathbb{1}_{\text{Int.4}}(\text{im}) + \beta_5 \text{mois}_{\text{cos}}(\text{m}) + \beta_6 \text{mois}_{\text{sin}}(\text{m}) + \beta_7 \text{Commune}(\text{i}) + \gamma_i + \epsilon(\text{im})$$

où β_2 , β_3 correspondent aux effets des interventions 2 et 3. Dans le même objectif que précédemment, le β_4 ne sera pas interprété, afin d’ajuster sur l’intervention 4.

Pour analyser l’impact de l’intervention 4 (les encadrés rose sur la figure 3), le modèle suivant est proposé :

$$\text{LogConso}(\text{im}) = \beta_0 + \beta_1 \mathbb{1}_{\text{Int.1}}(\text{im}) + \beta_2 \mathbb{1}_{\text{Int.2}}(\text{im}) + \beta_3 \mathbb{1}_{\text{Int.3}}(\text{im}) + \beta_4 \mathbb{1}_{\text{Int.4}}(\text{im}) + \beta_5 \text{mois}_{\text{cos}}(\text{m}) + \beta_6 \text{mois}_{\text{sin}}(\text{m}) + \beta_7 \text{Commune}(\text{i}) + \gamma_i + \epsilon(\text{im})$$

Dans ce modèle, l’intérêt porte seulement sur l’interprétation du β_4 . Les autres paramètres servent d’ajustement.

5 Résultats

À ce jour il n’y a pas encore de résultats. Comme illustré dans le planning des évaluations (figure 2), l’analyse de l’effet de l’intervention 1 après 3 mois est en cours de réalisation et les résultats pourront être communiqués en avril. Une précédente étude sur Bordeaux Métropole (Lecourt et al. [2023]), sur un échantillon plus petit (630 ménages), nous laisse penser que les effets des nudges (intervention 1) sont réels mais de faible envergure. Ceci concorde avec les enseignements de la littérature sur des expérimentations similaires menées à l’étranger par Nisa et al. [2019].

Il est à noter que les dates d’inclusion (mise en place du compteur connecté) ainsi que les dates d’intervention pour les panels 2 et 3 sont différentes pour chaque ménage, c’est pourquoi une analyse prenant en compte l’aspect longitudinal des données comme le modèle mixte est indispensable. A terme ce projet permettra d’évaluer les effets dans le temps des différentes intervention de réduction de la consommation en eau grâce à des analyses réalisées à $M_0 + 3$, $M_0 + 6$, $M_0 + 12$ et $M_0 + 24$ (où M_0 correspond au mois de l’intervention).

Bibliographie

Bates, D. (2010). Ime4 : Mixed-effects modeling with R. Récupéré sur <http://lme4.r-forge.r-project.org/book/>

Bates, D., Mächler, M., & Bolker, B. (2015). Fitting Linear Mixed-Effects Models Using Ime4. *Journal of Statistical Software*, 67(1), pp. 1-48.

- Jiang, J., & Nguyen, T. (2007). *Linear and generalized linear mixed models and their applications*. New York : Springer, 1.
- Lachin, J. M. (2007). Intention-to-Treat Analysis. *Wiley Encyclopedia of Clinical Trials*, 1-9.
- Lecourt, M., et al. (2023) Les sciences comportementales au service de la sobriété des consommations d'eau. *Communications ASFEE* (Conference of the French Association of Experimental Economics), et *ASTEE* (Association scientifique et technique pour l'eau et l'environnement)
- Lecourt, M., et al. (2023) Les sciences comportementales au service de la sobriété des consommations d'eau. *TSM à paraître* (Techniques Sciences et Méthodes)
- McNamee, R. (2009). Intention to treat, per protocol, as treated and instrumental variable estimators given non-compliance and effect heterogeneity. *Statistics in medicine*, 28(21), 2639-2652.
- Nisa, C., Bélanger, J., & Schumpe, B. e. (2013). Meta-analysis of randomised controlled trials testing behavioural interventions to promote household action on climate change. *Nat Commun*, 4545(10).
- Sedgwick, P. (2015). Intention to treat analysis versus per protocol analysis of trial data. *Bmj*, 350.
- Thaler, R., & Sustein, C. (2008). *Nudge. Improving Decisions About Health, Wealth, and Happiness*. (Y. U. Press, Éd.) New Haven.
- Verbeke, G. (1997). *Linear Mixed Models for Longitudinal Data*. In : *Linear Mixed Models in Practice. Lecture Notes in Statistics*, vol 126. Springer, New York, NY. https://doi.org/10.1007/978-1-4612-2294-1_3