



RENOUVELLEMENT ET RÉDUCTION DES FUITES DES CANALISATIONS D'EAU POTABLE ÉTUDE DES COÛTS

Eau potable

BASSINS RHÔNE-MÉDITERRANÉE ET DE CORSE

Mai 2017

Sommaire

RÉSUMÉ	3
INTRODUCTION	6
OBJECTIFS DE L'ÉTUDE	7
1 PRÉSENTATION GÉNÉRALE	8
1.1 LES ENJEUX LIÉS A L'EAU POTABLE.....	8
1.2 DÉFINITIONS ET DONNÉES PRÉALABLES.....	8
1.3 LES PERFORMANCES ET LE RENOUVELLEMENT DES RÉSEAUX D'EAU POTABLE	9
2 RÉFÉRENCES	11
2.1 ANALYSE TECHNIQUE-ÉCONOMIQUE ANTÉRIEURE DES COÛTS SUR LES RÉSEAUX D'EAU POTABLE	11
2.2 BILAN DES AIDES ACCORDÉES PAR L'AGENCE	12
2.3 COÛTS DE PLAFOND DÉTERMINÉS EN 2015	13
3 MÉTHODOLOGIE D'ANALYSE DES COÛTS	14
3.1 POSTES INTERNES ET PARAMÈTRES EXTERNES	14
3.1.1 Postes composant le coût d'un projet.....	14
3.1.2 Paramètres externes	14
3.2 DÉTERMINATION DES INDICATEURS TECHNIQUES CONDITIONNANT LE COÛT DES OPÉRATIONS.....	14
3.2.1 Démarche de la modélisation statistique.....	14
3.2.2 Sélection des variables explicatives ou illustratives	15
3.3 DONNÉES SOURCES ET MÉTHODES.....	19
3.4 CONSTITUTION D'UNE BASE DE DONNÉES.....	19
3.4.1 Définition de la population cible	19
3.4.2 Phase de collecte des données	19
4 ANALYSE STATISTIQUE.....	21
4.1 NATURE ET REPRÉSENTATIVITÉ DES DONNÉES RECUEILLIES.....	21
4.1.1 Nature des données recueillies	21
4.1.2 Représentativité des données.....	21
4.2 ANALYSE DESCRIPTIVE DES DONNÉES.....	25
4.2.1 Localisation et caractéristiques des opérations	25
4.2.2 Montant retenu des projets étudiés	28
4.2.3 Linéaires des réseaux posés aidés.....	34
4.2.4 Composition et diamètre des canalisations posées aidées	40
4.2.5 Volumes d'eau économisés estimés	43
4.2.6 Rendement estimé du réseau	45

4.2.7	Autres variables de performance	48
4.3	ANALYSE TECHNIQUE DU COÛT DES PROJETS	49
4.3.1	Identification des variables explicatives.....	49
4.3.2	Coût au mètre linéaire posé.....	61
4.3.3	Coût au mètre cube économisé	67
4.4	LIMITES DE L'ANALYSE ET PREMIÈRES PISTES D'AMÉLIORATION DU SUIVI DES DOSSIERS AIDÉS.....	70
4.4.1	Représentativité.....	70
4.4.2	Consolidation des données	70
4.4.3	Spécificités	70
5	PROPOSITIONS DE COÛTS DE RÉFÉRENCE	71
5.1	COÛT DE RÉFÉRENCE DES PROJETS	71
5.2	COÛT DES CANALISATIONS ET DES BRANCHEMENTS	71
CONCLUSION		73
Annexes : définitions		74
Table des illustrations		75
Bibliographie		76

RÉSUMÉ

> Objet de l'étude

Cette étude a pour objet d'analyser et de caractériser les coûts des opérations sur les réseaux d'eau potable. Elle a été réalisée dans le cadre de l'observatoire des coûts de l'agence et s'adresse en priorité à l'agence de l'eau, aux maîtres d'ouvrage, aux collectivités et aux bureaux d'étude pour la mise en place de travaux, afin de les aider dans leur prise de décision.

> Objectifs de l'étude

- i. Analyser de manière descriptive les opérations de renouvellement ou de réparation des fuites sur les réseaux d'eau potable selon plusieurs critères techniques et environnementaux.
- ii. Étudier et comprendre l'influence, sur le coût des opérations sur les réseaux d'eau potable, de différents paramètres que sont la longueur du chantier, l'environnement, la nature et le diamètre des canalisations, le type d'opération, les territoires concernés par les délégations de l'agence de l'eau.
- iii. Établir des coûts de références selon les critères définis.

> Méthodologie de l'analyse

L'analyse se base sur les données issues des opérations financées par l'agence de l'eau, sur les réseaux d'eau potable, de 2013 à 2016. Pour cela, un échantillon de 238 projets recensant 1 216 tronçons de canalisations a été constitué, en vue d'obtenir le meilleur niveau de représentativité possible de ces opérations.

Une analyse statistique a été réalisée, à partir de ce qui a été observé dans les dossiers passés, conduisant à la détermination d'un indicateur technique influençant les coûts et à l'estimation des coûts de référence.

Certains facteurs explicatifs n'ont pas pu être étudiés à défaut de données significatives disponibles, comme par exemple le gain de rendement sur le réseau ou l'indice de connaissance et de gestion patrimoniale des réseaux d'eau potable.

> Résultats

i. Analyse descriptive des opérations de renouvellement ou de réparation des fuites

a) Le coût des opérations

Une opération de renouvellement ou de réparation coûte en moyenne **198 100 € HT** par projet. Il existe une dispersion forte des montants des projets autour de cette moyenne qui est encore plus élevée en cas d'objectif d'économie d'eau. Ces deux types d'opérations sont assez similaires d'un point de vue technique mais répondent à deux objectifs distincts : l'alimentation en eau potable (renouvellement des infrastructures) et l'atteinte de l'équilibre quantitatif des milieux (réparation des fuites).

b) Le linéaire de réseau posé aidé

La longueur de réseau posé aidé de canalisations d'eau potable s'élève en moyenne à **1 273 mètres linéaires (ml)** par projet avec une dispersion très forte des valeurs autour du linéaire moyen.

c) La composition et le diamètre des canalisations posées aidées

La fonte est le matériau principal utilisé pour les diamètres supérieurs ou égaux à 100 mm alors que le PEHD et le PVC représentent respectivement 52% et 27% des canalisations de diamètres inférieurs à 100 mm.

Il existe un lien significatif entre la nature du matériau et les classes de diamètres.

d) Les volumes d'eau économisés

Les opérations d'économies d'eau affichent un volume moyen d'eau économisé estimé à **19 860 m³** par an et par projet avec une dispersion très forte de la distribution autour du volume moyen.

e) Le rendement

Le rendement avant travaux du réseau déclaré par les collectivités est évalué en moyenne à **64,7%**. Il est plus faible pour les projets de réduction de fuites (59,8%) que pour le renouvellement des réseaux (69,6%).

ii. Influence de différents paramètres sur le coût des opérations sur les réseaux d'eau potable

Le coût de ces opérations dépend en grande partie (79%) du linéaire de réseau posé aidé.

L'analyse des **coûts des projets au mètre linéaire (ml)** a permis de mettre en évidence plusieurs faits :

- Il existe des économies d'échelle suivant le linéaire de réseau posé aidé : plus les ouvrages ont une longueur importante, plus le coût unitaire de l'ouvrage au mètre linéaire est faible. En effet, ce coût est en moyenne de **315 € / ml pour les linéaires posés de moins de 250 mètres**, de **207 € / ml pour les linéaires compris entre 250 et 750 mètres** et de **145 € HT / ml pour les linéaires supérieurs ou égaux à 750 mètres**.
- **Le coût au ml des opérations** est 1,3 fois plus élevé en milieu urbain (176 € HT) qu'en milieu rural (134 € HT).
- Aucune différence de coûts n'a été observée entre les opérations des communes classées en zone de montagne et celles en zone de plaine.
- Une analyse plus fine sur le coût des canalisations (pose et fourniture stricto sensu hors travaux préparatoires, terrassements, branchements, supervision, etc.), a permis de mettre en évidence l'existence d'un lien de dépendance entre la nature du matériau et le diamètre et d'un effet significatif sur le coût des canalisations. La fonte, plutôt utilisée pour des diamètres importants (≥ 100 mm) est 2,5 fois plus chère au ml que le PEHD et le PVC utilisés pour des diamètres inférieurs.

iii. Coûts de référence des opérations sur les réseaux d'eau potable

Le linéaire de réseau posé aidé a été retenu comme indicateur physique économique (IPE) du coût global d'une opération. Le coût de référence de l'ouvrage, exprimé en € HT / ml, correspond au rapport du montant du projet sur le linéaire de réseau posé aidé.

Les coûts de références pour chacune des classes de linéaires de canalisations posés aidés sont présentés dans le tableau ci-dessous, en distinguant le caractère rural ou urbain du projet.

Le coût au mètre linéaire, qui est plus élevé en milieu urbain, diminue avec la longueur du chantier. Le coût moyen des opérations observées tout linéaire confondu est estimé à 156 € HT / ml.

> Coûts de référence des opérations sur les réseaux d'eau potable (moyennes en € HT/ml)¹

Longueur de réseau de canalisation d'eau potable posé aidé (en ml)	Caractère rural	Caractère urbain	Toutes opérations
Chantiers inférieurs à 250 ml	224 € HT/ml	435 € HT/ml	315 € HT/ml
Chantiers compris entre 250 et 750 ml	170 € HT/ml	255 € HT/ml	207 € HT/ml
Chantiers supérieurs à 750 ml	126 € HT/ml	162 € HT/ml	145 € HT/ml
Toutes opérations	134 € HT/ml	176 € HT/ml	156 € HT/ml

Marge d'erreur de +/- 3,2% : intervalle de confiance : $[m - 0,032 \times m ; m + 0,032 \times m]$.

Exemple de fourchette de coûts : pour un coût de référence estimé à **156 € HT / ml**, on calcule $0,032 \times 155,62 = 4,98$ € HT. L'intervalle de confiance est donc $[155,62 - 4,98 ; 155,62 + 4,98] = [150,64 ; 160,60] = [151 ; 161]$ € HT.

¹ La moyenne du coût unitaire en € HT / ml pour l'ensemble des opérations est pertinente puisqu'elle est proche de la médiane.

INTRODUCTION

L'agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse fait le constat qu'elle manque de connaissance sur le coût en investissement des opérations sur les réseaux d'eau potable pour les collectivités, les financeurs et les usagers du service de l'eau, et qu'elle rencontre des difficultés dans l'évaluation de la pertinence économique des projets présentés. Ainsi, elle souhaite mieux appréhender le coût de ces opérations et fournir les éléments nécessaires à la préparation du 11^{ème} programme d'intervention (modalités d'intervention, définition de nouveaux coûts plafonds, etc.).

La présente étude, réalisée dans le cadre de l'observatoire des coûts², propose donc une analyse des données disponibles sur les coûts des travaux de réparation des fuites sur les réseaux d'eau potable et de renouvellement des canalisations, sur la base des opérations retenues et financées par l'agence de l'eau Rhône-Méditerranée Corse de 2013 à 2016.

Quelques éléments chiffrés sont présentés à travers ce rapport afin de décrire les projets étudiés selon certaines caractéristiques techniques mais cette étude ne prétend en aucun cas être un état des lieux du patrimoine des réseaux posés aidés sur l'ensemble des deux bassins ; elle permet cependant de disposer d'ordres de grandeur et d'éléments un peu plus factuels sur ce type de projet.

L'objectif final est de permettre de définir, à partir de formules simples, des fourchettes de coûts HT minimaux et maximaux sur la base de ce qui a été observé dans les dossiers passés et d'évaluer sommairement les coûts d'investissements à prévoir pour une opération, et le cas échéant de pouvoir appréhender le montant du marché à lancer. Les valeurs ou formules proposées dans cette étude ne fournissent qu'une estimation et en aucun cas un chiffrage précis du type étude d'avant-projet. De ce fait, il convient de rester prudent dans l'utilisation de ces résultats. En effet, du fait de la méthodologie mise en œuvre, les cas particuliers qui peuvent entraîner des surcoûts importants selon le contexte et la complexité de l'opération, ne sont pas pris en compte pour l'estimation des coûts de référence.

² Dans le cadre de la circulaire DCE 2007/18 du 16 janvier 2007, les agences de l'eau doivent « mettre en œuvre dans chaque bassin un observatoire des coûts afin de mettre à disposition les données disponibles sur les coûts unitaires des travaux, compléter l'information des maîtres d'ouvrages et assurer le suivi des coûts des ouvrages inscrits au programme de mesures et, en métropole, au programme d'intervention de l'Agence de l'eau ».

OBJECTIFS DE L'ÉTUDE

La présente étude se fixe plusieurs objectifs :

- i. Déterminer les facteurs explicatifs de coûts des opérations sur les réseaux d'eau potable et comprendre l'influence sur le coût de différents paramètres que sont par exemple, les territoires concernés par les délégations de l'agence de l'eau puis analyser en particulier ces coûts en fonction du niveau de gestion patrimoniale des services publics d'eau des collectivités (rendement des collectivités, indice de connaissance de gestion patrimoniale, taille des collectivités aidées, linéaire aidé, etc.) et en fonction des volumes économisés (en lien avec la restauration de la ressource). L'objectif à plus long terme étant de faire prendre conscience aux collectivités compétentes de la nécessité de s'engager ;
- ii. Établir des coûts de référence selon les critères définis ;
- iii. Réviser éventuellement les coûts plafonds utilisés lors de l'instruction des aides apportées pour des travaux sur les réseaux d'eau potable ;
- iv. Faire des propositions pour le recueil des données nécessaires à l'alimentation de la base de données dans le cadre de l'observatoire des coûts.

L'analyse tentera d'apporter des enseignements sur chacun des objectifs cités³.

Cette étude a pour but de répondre à un certain nombre d'interrogations et d'apporter des éléments factuels. Certaines hypothèses pourront donc être confirmées ou infirmées. Ces hypothèses ou interrogations sont énumérées ci-dessous :

- « Plus le réseau est dense et plus il y a de branchements. Un branchement en secteur rural est plus cher qu'en secteur urbain (plus de ml). »
- « Les travaux sont-ils plus chers en zone de montagne (contraintes techniques liées au dénivelé) ? Est-ce que le coût facturé du tuyau est plus cher en zone de montagne ? »
- « Le matériau le plus utilisé en montagne est le PEHD. Le PVC n'est pas utilisé en montagne. »
- « Quels sont les linéaires de réseau posés aidés en milieu rural et urbain ? Est-ce qu'on observe une différence significative de coûts entre les deux ? »
- « Le linéaire moyen de réseau posé aidé par opération est plus important sur la LCF 25 (finalité de renouvellement) que sur la LCF 21 (finalité de performance) ? Est-ce qu'on observe une différence significative de coûts entre les deux ? »
- « L'ICGP⁴ est-il meilleur sur la LCF 21 (finalité de performance) que sur la LCF 25 (finalité de renouvellement) ? Est-ce que le taux moyen de renouvellement est plus élevé sur la LCF 21 ? »
- « Les travaux réalisés permettent-ils d'augmenter le rendement, le taux de renouvellement ? »

Les résultats de cette étude permettront dans la mesure du possible, d'apporter un éclairage sur ces questions en tentant d'y amener des éléments chiffrés.

³ Un des objectifs envisagés avant le lancement de cette étude n'a pas pu être étudié. Il s'agissait d'évaluer l'impact de l'amortissement des opérations de renouvellement ou de réparation de fuites sur les réseaux d'eau potable sur le prix de l'eau. En effet, la présente étude concerne uniquement les opérations financées par l'agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse et ne permet pas de faire un état des lieux de tous les travaux de renouvellement puisqu'ils ne sont pas tous financés par l'agence. De plus, l'agence n'a pas accès à l'information sur l'amortissement pratiqué par les services publics d'AEP.

⁴ Indice de connaissance et de gestion patrimoniale des réseaux d'eau potable.

1 PRÉSENTATION GÉNÉRALE

1.1 LES ENJEUX LIÉS A L'EAU POTABLE

Les réseaux d'eau potable constituent un maillage dense, permettant la desserte de la population. Ce patrimoine doit faire l'objet d'une attention particulière de la part des collectivités locales, afin d'être maintenu en bon état et d'atteindre un bon niveau de performance.

L'enjeu principal des services d'eau potable est aujourd'hui de préserver ces réseaux, d'atteindre les rendements prévus par la loi⁵, de garantir la continuité de service et la qualité de l'eau distribuée, tout en conservant un prix de l'eau économiquement acceptable pour l'utilisateur. Les services d'eau potable doivent ainsi assurer l'entretien des réseaux, conduire les réparations et le renouvellement des réseaux.

Sur le bassin Rhône Méditerranée, la réduction des pertes en distribution des systèmes d'alimentation en eau potable (AEP) est un enjeu important dans un contexte de tension sur les quantités d'eau mobilisables pour cet usage.

1.2 DÉFINITIONS ET DONNÉES PRÉALABLES

Le réseau français d'alimentation en eau potable regroupe l'ensemble des équipements, des services et des actions permettant de produire et de distribuer, à partir d'une eau brute, une eau conforme aux normes de potabilité en vigueur.

Depuis son prélèvement dans le milieu naturel jusqu'au robinet de l'abonné, l'eau traverse de nombreuses infrastructures. Le réseau d'adduction, appelé aussi réseau primaire, désigne les canalisations de diamètre supérieur à 300 millimètres qui permettent le transfert de l'eau entre le captage (source ou forage) et le réservoir de stockage. Le réseau de distribution d'eau potable constitue le réseau secondaire et comprend toutes les canalisations d'un diamètre inférieur à 300 millimètres et les ouvrages permettant le transfert de l'eau entre le réservoir et les habitations des consommateurs.

Le plus souvent, l'acheminement de l'eau dans le réseau s'effectue par gravité. Elle circule dans les tuyaux du réseau de distribution grâce à la pression naturelle générée par le poids du volume d'eau stocké plus haut, en amont, dans le château d'eau. Afin de gérer au mieux la circulation de l'eau, le réseau dispose de réducteurs de pression pour abaisser la pression trop forte sur le réseau ou des surpresseurs (pompes) pour l'augmenter.

Le branchement désigne la canalisation située entre la canalisation principale de distribution et le réseau privé de l'habitation du consommateur. Cette partie comprend en général une canalisation de faible diamètre, une vanne d'arrêt et le compteur d'eau.

> État des lieux du patrimoine des réseaux d'eau potable

En 2013, la longueur du réseau de distribution d'eau potable (hors branchements) est estimée en France à **996 000 km** qui desservent 23,6 millions d'abonnés en eau potable. Les prélèvements pour l'eau à destination de la consommation humaine ont été évalués à **5,5 milliards de m³** et les volumes consommés à près de 3,7 milliards de m³, soit une consommation moyenne en eau potable de **157 m³/abonné/an**.

La moitié du réseau des canalisations a été posée avant 1972. 20% des canalisations, datant d'avant 1960, sont en fonte ou en acier.

Ce réseau augmente en moyenne de 3 770 km par an. La longueur moyenne de conduite par abonné est de près de 40 mètres. Cette longueur varie selon les communes et leurs caractéristiques (densité de population,

⁵ L'amélioration des rendements des réseaux constitue un enjeu pour les services publics d'eau potable, d'une part pour limiter la sollicitation des milieux aquatiques et d'autre part, pour minimiser les charges de prélèvement et de potabilisation de volumes d'eau qui ne seront pas consommés. Issue du Grenelle de l'environnement, la réglementation française répond à cet enjeu : engagement 111 du Grenelle de l'environnement – Article 161 de la loi n° 2010-788 du 12 juillet 2010 portant engagement national pour l'environnement - Décret n° 2012-97 du 27 janvier 2012. Le contexte réglementaire a évolué pour une meilleure connaissance du patrimoine. Ainsi, le décret du 27 janvier 2012 impose aux gestionnaires de nouvelles règles, sur les plans technique et financier. Dans un souci d'optimisation de leurs réseaux, les collectivités doivent en effet réaliser un inventaire détaillé de leurs réseaux d'eau potable, évaluer les fuites sur les réseaux d'eau potable et disposer d'un plan d'action en cas de rendement insuffisant.

relief)⁶. Le réseau de distribution d'eau potable est constitué de conduites de différents matériaux et diamètres.

Quelques données chiffrées des bassins Rhône Méditerranée et de Corse

L'alimentation en eau potable (AEP) des bassins Rhône Méditerranée et de Corse nécessite environ 180 000 km de réseaux d'eau potable (hors linéaires de branchements), représentant ainsi un patrimoine estimé entre 36 et 53 milliards d'euros.

En 2014, plus de 1,5 milliard de m³ d'eau destinée à la consommation domestique des bassins Rhône-Méditerranée et de Corse ont été prélevés, pour être acheminés jusqu'au robinet des 5 millions d'abonnés en eau potable que comptent les deux bassins. 73,7% de l'eau potable prélevée provient des eaux souterraines contre 26,3% pour les eaux de surface.

1.3 LES PERFORMANCES ET LE RENOUVELLEMENT DES RÉSEAUX D'EAU POTABLE

En France, le rendement moyen du réseau de distribution d'eau potable a été évalué à 79,4% en 2013. Ainsi, le volume de pertes en eau par fuites sur le réseau (qui inclut la partie des branchements avant compteur) est de l'ordre de 20% : pour cinq litres mis en distribution, un litre d'eau revient au milieu naturel sans passer par le consommateur⁷. De ce fait, les pertes en fuites représentent ainsi près d'un milliard de m³, ce qui constitue donc une perte économique et nuit à la qualité du service rendu.

Elles sont souvent dues à la vétusté des canalisations ou à une pression trop élevée, mais aussi aux mouvements des sols. Le vieillissement s'accompagne d'une dégradation lente passant généralement inaperçue qui est souvent l'un des principaux facteurs de dégradation des rendements du fait de l'apparition plus fréquente de casses ou de fuites insidieuses.

« L'atteinte d'un taux de rendement de 100% est irréaliste, mais de nombreuses collectivités peuvent viser un objectif de 80 à 90 %. La recherche des fuites et leur réparation, le renouvellement des conduites, affectent nécessairement le prix de l'eau. Sur un échantillon de 2 129 services, le rendement progresse de 1,6% entre 2009 et 2012⁸. »

La connaissance du patrimoine est le préalable indispensable à la mise en œuvre d'une gestion durable des services d'eau, qui permet d'optimiser les coûts d'exploitation, d'améliorer la fiabilité des infrastructures et de maintenir un niveau de performance. Cependant, même si une diminution des fuites est constatée ces dernières années s'expliquant essentiellement par le renouvellement des canalisations et par des progrès dans les dispositifs de surveillance permettant la détection et la réparation plus rapide des fuites, les efforts restent à poursuivre pour obtenir des rendements acceptables. Il apparaît important de limiter les sollicitations sur la ressource, en améliorant les performances des réseaux et d'agir sur certains secteurs particulièrement fuyards. En 2013, le taux de renouvellement moyen des réseaux d'alimentation en eau potable en France a été évalué à 0,58% par an⁹, ce qui correspondrait à une fréquence de renouvellement du réseau théorique de 172 ans¹⁰. Ceci paraît donc assez éloigné du rythme optimal de renouvellement d'un réseau.

La durée de vie des canalisations, estimée entre 50 et 80 ans, est aujourd'hui un marqueur qui suscite l'attention et permet de poser la question de la gestion de ce patrimoine mais il est important de souligner

⁶Données : SISE-Eaux (Ministère chargé de la santé) - DGS, ARS - 2008 / Source : Enquête Eau 2008, SOeS/SSP, 2011.

⁷Données : SISPEA (Onema) - DDT(M), 2013 / Source : Observatoire des services publics d'eau et d'assainissement - Panorama des services et de leur performance en 2013, Onema, 2016.

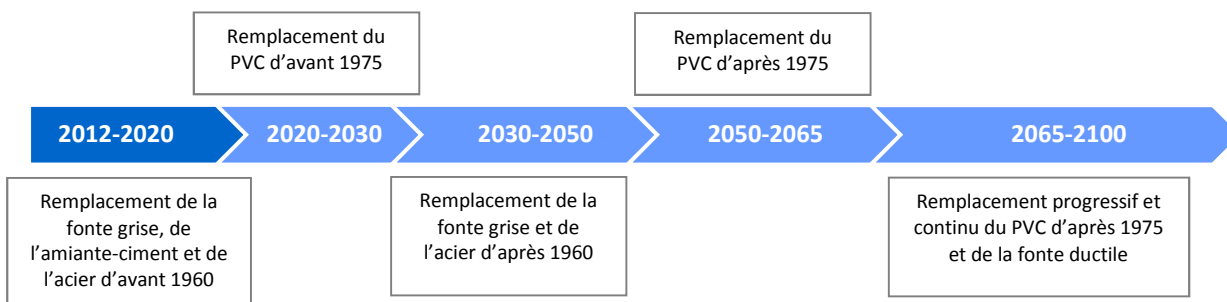
⁸ Commissariat général au développement durable, Office national de l'eau et des milieux aquatiques, *Repères, L'eau et les milieux aquatiques, Chiffres clés*, Edition 2016.

⁹Données : SISPEA (Onema) - DDT(M), 2013 / Source : Observatoire des services publics d'eau et d'assainissement - Panorama des services et de leur performance en 2013, Onema, 2016.

¹⁰ Si le taux de renouvellement est de 0,58% par an, pour calculer le nombre d'années nécessaire pour renouveler 100% du réseau, il faut appliquer le calcul suivant : $(100 \% \times 1 \text{ an}) / 0,58 \% \text{ soit } 1 / 0,0058 = 172 \text{ ans}$.

qu'actuellement, 60% des réseaux ont moins de 40 ans : ce rythme moyen est donc à relativiser, même s'il masque des disparités de situations importantes¹¹.

Sur la base des résultats des inventaires du patrimoine en réseaux d'eau potable réalisés par huit départements, J.M CADOR¹² a procédé en 2002 à une évaluation des hypothèses de renouvellement de conduites d'eau potable, établissant un modèle intégrant l'impact des divers matériaux jusqu'en 2100 :



Toutefois, cette durée de vie ne constitue pas un critère unique pertinent de renouvellement. D'autres éléments sont à prendre en compte à la fois physiques (corrosivité et instabilité des sols, humidité, température, fuites comme facteurs aggravants, etc.) et spécifiques aux canalisations (matériaux, taille, profondeur de la pose, nature de l'eau, débit et taille des tuyaux, etc.).

Selon le principe de « l'eau paie l'eau », il est à la charge de la collectivité de dégager les fonds financiers nécessaires au renouvellement de son patrimoine afin de répondre aux deux objectifs que sont l'atteinte du rendement de référence imposé par le décret du 27 janvier 2012 de la loi Grenelle II¹³ et la remise à niveau l'ensemble des réseaux d'eau.

En ce sens, le plan d'adaptation au changement climatique du bassin Rhône-Méditerranée vise à augmenter la performance des réseaux d'eau destinée à la consommation humaine afin d'atteindre 65% de rendement sur la totalité des réseaux d'eau destinée à la consommation humaine d'ici 2020, puis 85% en 2030 (ajusté en fonction de l'indice linéaire de consommation du décret fuites de janvier 2012).

¹¹ Données : SISPEA (Onema) - DDT(M), 2013 / Source : Observatoire des services publics d'eau et d'assainissement - Panorama des services et de leur performance en 2013, Onema, 2016.

¹² CADOR, JM, Université de Caen Basse Normandie, GEOPHEN, Le renouvellement du patrimoine en canalisations d'eau potable en France, 2002.

¹³ Engagement 111 du Grenelle de l'environnement – Article 161 de la loi n° 2010-788 du 12 juillet 2010 portant engagement national pour l'environnement – Décret n° 2012-97 du 27 janvier 2012.

2 RÉFÉRENCES

2.1 ANALYSE TECHNICO-ÉCONOMIQUE ANTÉRIEURE DES COÛTS SUR LES RÉSEAUX D'EAU POTABLE

Malgré de nombreuses recherches auprès de divers organismes, aucune analyse économique récente n'a pu être fournie sur les coûts de renouvellement ou de réparation de fuites sur les conduites d'eau potable.

Cependant, il est intéressant de présenter quelques éléments tirés de l'étude de l'Office international de l'eau (OIE) de 2012 sur le calcul de la récupération des coûts des services liés à l'utilisation de l'eau pour les bassins hydrographiques français en application de la directive cadre sur l'eau :

« L'étendue du réseau d'eau potable (hors linéaires de branchements) sur chaque district a été évaluée à partir des résultats de l'enquête 2008 du SOeS.

Les coûts unitaires au mètre linéaire de canalisation ont été évalués à partir de références proposées par les Agences de l'Eau en distinguant le réseau des communes rurales d'une part (population inférieure à 2 000 habitants), des communes intermédiaires et des communes fortement urbaines (sur la base d'un seuil de population à 20 000 habitants) d'autre part.

L'hypothèse prise sur la durée de vie et utilisée pour calculer la CCF est de 50 à 80 ans. [...] Les fourchettes de coûts pour les réseaux urbains et ruraux ont été établies en appliquant une hausse de 30 % sur les fourchettes utilisées en 2001».

D'après cette étude, les coûts de référence en 2009 étaient estimés à 130€/mètre en zone rurale contre 170€/mètre en zone urbaine. Le coût des branchements, qui est forfaitaire, était estimé quant à lui entre 1 000 et 1 400 € par branchement. L'hypothèse sur la durée de vie des branchements est de 20 à 30 ans.

Tableau 1 : Coûts de référence¹⁴ de canalisation au mètre linéaire (source : OIE, 2012)

	Zone rurale	Zone urbaine
Coûts de référence en 2001	100 €/ ml	130 €/ ml
Coûts de référence en 2009	130 €/ ml	170 €/ ml

En 2015, une étude de l'observatoire départemental de l'eau de Seine-et-Marne sur les coûts des opérations dans le domaine de l'eau du département a permis d'identifier le linéaire de réseau AEP posé financé comme indicateur technique principal, variable influençant le coût global d'opération. « En effet, si d'autres paramètres, comme le diamètre ou le type de matériau peuvent intervenir, il a été constaté que c'est le linéaire posé qui a le plus fort impact sur les coûts engendrés. De plus, de par la distribution du nombre de dossiers en fonction soit des coûts, soit du linéaire de réseau, les tendances sont relativement proches. Il semble donc qu'il y ait une certaine cohérence entre l'indicateur technique choisi et les coûts observés, les variations pouvant être expliquées par le fait que d'autres variables, peuvent entrer en ligne de compte pour expliquer les coûts des interconnexions de réseaux. »

¹⁴ Les coûts présentés en 2001 et en 2009 correspondent à des coûts en euros courants (coûts tels qu'ils étaient indiqués en 2001 et en 2009).

2.2 BILAN DES AIDES ACCORDÉES PAR L'AGENCE

L'agence peut accorder des aides pour les actions ou opérations sur les réseaux d'eau potable répondant directement aux objectifs de son programme d'intervention, tels que définis dans les domaines suivants :

Tableau 2 : Domaines d'intervention et opérations sur les réseaux d'eau potable (source : agence de l'eau RMC, 2016)

Domaine d'intervention		Opération	
Code LCF ¹⁵	Libellé LCF	Code LPS ¹⁶	Libellé LPS
LCF 25	Préservation de l'eau destinée à la consommation humaine	LPS 642	Contribuer à la solidarité avec les collectivités rurales et accompagner le renouvellement des infrastructures
LCF 21	Atteinte de l'équilibre quantitatif des milieux	LPS 513	Limiter les prélèvements et économiser l'eau
		LPS 521	Changement climatique : économie d'eau AEP collectivité

Afin de **limiter les prélèvements et économiser l'eau** (objectif 1-3 du 10^{ème} programme d'intervention), l'agence soutient les études et les travaux d'économies d'eau pour tous les usages.

Sont éligibles à ce titre pour l'eau potable :

- les actions de réduction des pertes en eau avec notamment la réparation des fuites, la gestion des pressions, etc. ;
- la mise en œuvre de technologies économes en eau : le pilotage, la télégestion, la sectorisation, la régulation, la modernisation des réseaux et des équipements, les dispositifs hydro-économes ;
- les actions de communication technique et de sensibilisation des gestionnaires, des usagers et professionnels.

Modalités :

- En territoire déficitaire : taux d'aide jusqu'à 80% ;
- Hors territoire déficitaire : sous forme d'avance ou taux d'aide jusqu'à 50% dans le cadre d'appel à projet ou taux d'aide jusqu'à 30% dans le cadre de bonus contractuels.

Pour **contribuer à la solidarité avec les collectivités rurales et accompagner le renouvellement des infrastructures dans les collectivités rurales** (objectif 4-2 du 10^{ème} programme d'intervention), l'agence contribue à la solidarité avec les communes rurales dans la limite d'une enveloppe de 308 M€ sur la durée du programme pour l'eau potable et l'assainissement. Les enveloppes par département sont fixées par délibération spécifique. Dans le cadre de ces enveloppes de solidarité rurale, le champ des interventions est élargi (notamment pour la remise à niveau des ouvrages vétustes et le renouvellement des ouvrages d'eau potable) et une bonification des taux d'aides peut être apportée. Onze départements (dont 5 départements partagés avec d'autres agences de l'eau) sont identifiés comme ultra ruraux au titre de la densité de population et sont éligibles à un bonus complémentaire de solidarité rurale.

Modalités :

- Enveloppe annuelle de solidarité rurale : taux d'aide 30% pour l'élargissement du champ des interventions ;
- Départements ultra ruraux¹⁷ : bonus pouvant aller jusqu'à 20% supplémentaire.

En 2016, le montant des aides attribuées pour les réseaux AEP était de 43,4 M€ sur la LCF 21 au titre de l'atteinte de l'équilibre quantitatif des milieux et de 36,1 M€ sur la LCF 25 au titre de l'alimentation en eau potable. Par rapport à 2013, ces montants ont été multipliés par 3 pour la LCF 21 et par 2 pour la LCF 25.

¹⁵ Ligne de contrôle financier.

¹⁶ Ligne de programme spécifique.

¹⁷ Départements dont au moins 90% des communes ont une densité de population inférieure à 100 habitants/km² : 04, 05, 09, 12, 2A, 2B, 39, 48, 82, 70 et 88.

Tableau 3 : Aides attribuées sur les LCF 21 et 25 pour les travaux sur les réseaux d'eau potable (source : agence de l'eau RMC, 2016)

	LCF 21 (LPS 513 eau potable et LPS 521)				LCF 25 (LPS 642)			
	2013	2014	2015	2016	2013	2014	2015	2016
Montant d'aide (M€)	14,3	17,9	54,0	43,4	16,3	27,2	37,3	35,5
Nombre de dossiers aidés	167	123	406	178	411	506	634	621
Volume d'eau économisé (Mm³)	7,5	3,9	27,5	11,9	-	-	-	-

Les taux d'aide peuvent varier en fonction de chaque opération ; celles-ci sont regroupées selon les grandes thématiques suivantes :

- i. Amélioration de la connaissance du réseau et des pertes
- ii. **Recherche active des fuites et réparation**
- iii. Gestion des pressions
- iv. **Remplacement et rénovation des réseaux**

Cette étude ciblera uniquement les opérations sur la réparation des fuites et le remplacement et la rénovation des réseaux d'eau potable.

2.3 COÛTS DE PLAFOND DÉTERMINÉS EN 2015

En 2015, une volonté d'affiner la politique de l'agence sur la thématique des économies d'eau a conduit à introduire des limites aux aides apportées sur la réduction de fuites dans les réseaux d'eau potable. Ces limites ont été fixées à partir d'une analyse des dossiers concernant des travaux sur le réseau d'eau potable aidés pendant la période 2010-2015. Ces critères ont été renforcés lors de la révision du programme de 2016.

> Conditions d'interventions de l'agence :

- L'éligibilité des travaux sur les réseaux d'eau potable est conditionnée à la justification d'un indice de connaissance de gestion patrimoniale (ICGP) d'eau potable supérieur à 40 et à l'existence d'un plan d'action visant à atteindre les objectifs de rendement prévus par le corpus législatif et réglementaire en vigueur.
- Pour les opérations d'économie d'eau sur les réseaux d'eau potable, hors intervention au titre de la SUR :
 - o Un coût plafond est fixé à 12 € par m³ économisé. Il peut être dérogé au coût plafond pour des sujétions techniques particulières ou une opération d'intérêt majeur sur décision du conseil d'administration.
 - o Le coût plafond peut être relevé à 50 € par m³ économisé, si l'objectif d'économie d'eau proposé pour l'opération est cohérent avec les objectifs du Plan de gestion de la ressource en eau (PGRE) ou du SAGE couvrant le bassin versant considéré (dès lors que le SAGE inclut un volet gestion quantitative).

3 MÉTHODOLOGIE D'ANALYSE DES COÛTS

Pour répondre à la problématique principale suivante « Quels sont les paramètres qui influent sur le coût des opérations de réparation de fuites ou de renouvellement sur les réseaux d'eau potable ? », différentes variables ont été analysées tout au long de cette étude.

Dans l'optique d'une analyse comparative des différentes opérations, il est important de définir les postes pris en considération dans le prix de l'ouvrage ainsi que les contraintes extérieures pouvant influencer son prix.

3.1 POSTES INTERNES ET PARAMÈTRES EXTERNES

3.1.1 Postes composant le coût d'un projet

L'analyse de plusieurs dossiers d'aides à l'investissement sur ce type d'opération a permis de faire ressortir les principales caractéristiques constitutives des coûts de ces projets.

Les différents postes techniques internes constitutifs du prix total du projet ont pu être regroupés dans la liste suivante :

- Travaux préparatoires
- Terrassements
- Fourniture et pose des canalisations, robinetterie, fontainerie et ouvrage
- Branchements
- Supervision
- Divers

La plupart de ces postes sont pris en compte dans le calcul de la subvention hormis certains coûts annexes relatifs à la pose de poteaux incendies, la reprise de branchements particuliers, etc.

3.1.2 Paramètres externes

D'autres paramètres, dits extérieurs, peuvent également influencer les coûts de ces opérations, tels que la topographie (dénivelés, franchissements de cours d'eau, etc.), la géologie du terrain (présence de roches ou de sous-sols instables) ainsi que les différents états d'urbanisation de la zone de réalisation et les infrastructures présentes sur le site (franchissements d'axes routiers, de ponts, etc.). Certains franchissements techniques (traversées de routes, ponts, etc.) ou passages rocaillieux peuvent influencer fortement les prix des ouvrages de génie civil ainsi que des terrassements.

Ces contraintes extérieures peuvent ainsi affecter le coût de l'ouvrage dans le sens où elles rendent obligatoires des finitions spécifiques, des puissances plus importantes ou des franchissements techniques.

3.2 DÉTERMINATION DES INDICATEURS TECHNIQUES CONDITIONNANT LE COÛT DES OPÉRATIONS

3.2.1 Démarche de la modélisation statistique

L'objectif général est de chercher à modéliser les valeurs d'une variable, notée classiquement Y (variable à expliquer) en fonction d'une ou plusieurs autres variables notées X_i (variables explicatives).

- Lorsque les variables Y et X_i sont quantitatives, le modèle le plus simple, le plus connu et le plus étudié est nommé régression linéaire (linear regression).
- Si Y est qualitative, le modèle est nommé régression logistique (logistic regression). Le cas le plus simple est la régression logistique binaire (Y n'a que deux modalités). Si ce n'est pas le cas, la régression logistique peut être multinomiale, polytomique, ordinale, nominale, etc.
- Lorsque la variable Y quantitative est étudiée en fonction de X_i qualitatives, une analyse de la variance (ANOVA : ANalysis Of Variance) est effectuée.

- L'étude de Y qualitative en fonction de X_i qualitatives, dont le cas le plus simple est l'analyse de tri croisé (via un test du χ^2 d'indépendance), même si il est effectivement possible d'effectuer des régressions logistiques qualitatives. Cela tient sans doute au fait que les calculs utilisés sont fort différents de toutes les autres régressions.

Modélisation	X_i quantitatives	X_i qualitatives	X_i quantitatives et qualitatives
Y quantitative	Régression linéaire	Analyse de la variance	Analyse de la covariance
Y qualitative	Régression logistique	Régression quali-quali ?	Régression logistique

La modélisation statistique

L'analyse statistique des données permet de tester et mesurer l'existence d'une corrélation entre variables et d'obtenir dans la mesure du possible, une formule mathématique, pouvant être représentée par une courbe de tendance modélisant ainsi la relation fonctionnelle entre la variable à expliquer et la ou les variables explicatives.

La précision des résultats issus du modèle dépend non seulement de la quantité et de la qualité des données d'entrée utilisées mais aussi du calage réalisé, qui constitue un critère de fiabilité et de pertinence des résultats obtenus.

Le calage du modèle consiste à comparer les résultats des simulations aux valeurs observées sur une période donnée. Une fois la qualité des résultats obtenus pour un scénario connu vérifiée, le modèle pourra être utilisé pour simuler d'autres périodes et d'autres scénarios pour lesquels aucune mesure n'existe.

3.2.2 Sélection des variables explicatives ou illustratives

Les variables potentiellement à prendre en compte (caractéristiques techniques, environnementales, etc.) dans la variabilité des coûts des projets de réparation et de renouvellement de réseaux sont inventoriées ci-après. Les données dont dispose à ce jour l'agence ont permis de renseigner dans la mesure du possible un certain nombre d'entre elles. Ainsi, les variables listées dans les tableaux ci-après ont pu être exhaustivement ou partiellement collectées de manière directe ou indirecte, au moyen des informations contenues dans les dossiers.

> Variables techniques sur les caractéristiques du réseau de canalisation :

Intitulé de la variable	Descriptif de la variable	Type de variable	Niveau d'information ¹⁸	Fiabilité de l'information
Linéaire de réseau du tronçon posé (hors branchements particuliers)	Longueur des tronçons de canalisation d'eau potable exprimée en mètres	Variable quantitative continue	100%	+++
Nombre de branchements	Nombre de branchements particuliers	Variable quantitative discrète	100%	++
Matériau du tronçon posé	Matériau ¹⁹ constitutif de la conduite : fonte, PVC, PEHD, béton	Variable qualitative nominale	100%	+++

¹⁸ Le niveau d'information correspond au rapport du nombre de projets (dossiers) pour lesquels la variable était renseignée dans les dossiers sur le nombre total de dossiers étudiés. Il est exprimé en pourcentages.

Intitulé de la variable	Descriptif de la variable	Type de variable	Niveau d'information ¹⁸	Fiabilité de l'information
Diamètre nominal du tronçon posé	Diamètre ²⁰ nominal des tronçons de canalisation d'eau potable exprimé en millimètres	Variable quantitative discrète	99,6%	+++
Pression nominale (PN) du tronçon posé	Valeur de référence qui indique l'aptitude d'un élément à résister à une pression intérieure	Variable quantitative discrète	20%	+++
L'année de pose	Année de pose d'origine du réseau changé	Variable quantitative discrète	26%	+++
Fonction du tronçon	Les tronçons sont classés dans les catégories suivantes : canalisations d'adduction et canalisations de distribution d'eau.	Variable qualitative nominale	78%	++

Le matériau, le diamètre et l'année de pose sont généralement bien connus des services d'eau puisqu'il s'agit de données indispensables à l'inventaire du patrimoine, au dimensionnement d'un réseau ou à son renouvellement, à l'élaboration d'un projet de travaux ainsi que d'un plan d'actions de lutte contre les fuites. Certaines informations, comme la technique et les conditions de pose, la cote²¹ du terrain naturel, la profondeur des canalisations et le type de joint²² n'ont pas pu être collectées en raison de l'absence de données ou bien de recherches pouvant s'avérer complexes pour une pertinence au final limitée dans l'analyse de variabilité des coûts.

Par exemple, l'année de pose des canalisations ne peut pas être retenue comme seul critère de planification de travaux de renouvellement ou de réhabilitation des réseaux. En effet, l'espérance de vie des matériaux n'est qu'une indication. La durée de maintien en service de la conduite dépend aussi de ses conditions de pose et d'utilisation. Ainsi, une conduite à faible espérance de maintien en service, soumise à de faibles contraintes extérieures pourra vivre plus longtemps qu'une conduite à longue espérance de vie mais très sollicitée.

> Variables géographiques, géologiques ou environnementales :

Intitulé de la variable	Descriptif de la variable	Type de variable	Niveau d'information	Fiabilité de l'information
Caractère urbain ou rural de la commune²³	Commune considérée comme urbaine ou rurale selon la définition de l'Institut national de la statistique et des études économiques (INSEE), qui	Variable qualitative nominale	100%	+++

¹⁹ Les matériaux influencent le comportement hydraulique d'un réseau et ne réagissent pas de la même façon aux contraintes extérieures et au vieillissement. Par exemple, une canalisation en fonte grise ne réagit pas comme une canalisation en fonte ductile. Il est donc souhaitable d'avoir l'information la plus précise possible.

²⁰ Les diamètres nominaux des conduites en fonte ou en béton sont généralement les diamètres intérieurs alors que les diamètres nominaux des conduites en PEHD ou en PVC sont généralement les diamètres extérieurs, mais il peut y avoir des exceptions.

²¹ Il s'agit de données indispensables à l'établissement de tout projet ou programme de travaux. Elles sont notamment nécessaires pour planifier le raccordement de deux tronçons, pour calculer la pression du réseau ou pour prévoir la nécessité d'équipements particuliers comme les ventouses et les vidanges.

²² Une fuite peut provenir d'une casse mais aussi d'un joint défectueux. L'acquisition progressive des connaissances des types de joints rencontrés sur le réseau peut permettre d'identifier les secteurs dans lesquels une attention particulière doit être apportée à ces éléments.

²³ Source : INSEE. La notion d'unité urbaine repose sur la continuité du bâti et le nombre d'habitants. On appelle unité urbaine une commune ou un ensemble de communes présentant une zone de bâti continu (pas de coupure de plus de 200 mètres entre deux constructions) qui compte au moins 2 000 habitants. Si l'unité urbaine se situe sur une seule commune, elle est dénommée ville isolée. Si l'unité urbaine s'étend sur plusieurs communes, et si chacune de ces communes concentre plus de la moitié de sa population dans la zone de bâti continu, elle est dénommée agglomération multicommunale. Sont considérées comme rurales les communes qui ne rentrent pas dans la constitution d'une unité urbaine : les communes sans zone de bâti continu de 2000 habitants, et celles dont moins de la moitié de la population municipale est dans une zone de bâti continu.

Intitulé de la variable	Descriptif de la variable	Type de variable	Niveau d'information	Fiabilité de l'information
	diffère de celle utilisée pour définir si des collectivités sont éligibles aux aides pour la solidarité rurale ²⁴ .			
Commune de plaine ou de montagne²⁵	Commune classée en zone de plaine ou de montagne selon la définition de l'Observatoire des Territoires	Variable qualitative nominale	100%	+++
Commune littorale ou non littorale	Commune située ou non sur le littoral, d'après les données de l'Observatoire des Territoires	Variable qualitative nominale	100%	+++

Les informations géographiques telles que le caractère urbain ou rural de la commune du maître d'ouvrage ou des travaux ou encore les communes classées en zone de montagne sont exhaustives et reposent sur un référentiel fiable (INSEE, Observatoire des territoires). La définition de l'INSEE a été retenue pour qualifier la nature des travaux car elle intègre la densité de l'habitat alors que la liste des communes éligibles dans le cadre de la SUR ne tient pas compte de ce paramètre.

La nature des ressources utilisées (souterraine ou superficielle, masse d'eau concernée), le contexte géologique (composition ou nature du terrain, mouvement) ou pédologique, le climat et la nature de l'eau (corrosive ou non) n'ont pas été recensées pour les mêmes raisons évoquées précédemment.

- Variables sur la gestion et la performance des réseaux d'eau potable :

Intitulé de la variable	Descriptif de la variable	Type de variable	Niveau d'information	Fiabilité de l'information
Volume (annuel) d'eau prélevé par la collectivité	Volume d'eau en m ³ /an prélevé par la collectivité pour l'opération	Variable qualitative nominale	33%	++
Volume d'eau économisé (IPP²⁶ économie d'eau)	Volume d'eau économisé en m ³ /an déclaré par la collectivité	Variable quantitative continue	55% 100% pour la LCF 21 et 36% pour la LCF 25	+
Indice de connaissance de gestion patrimoniale	Indicateur évaluant, sur une échelle de 0 à 120, à la fois le	Variable quantitative	8%	++

²⁴ Les communes éligibles au programme national de Solidarité urbain rural (SUR) sont définies par le décret n°2006-430 du 13 avril 2006 définissant les communes rurales au sens des articles L. 2335-9, L. 3334-10 et R. 3334-8 du code général des collectivités territoriales : <https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=LEGITEXT000006053559>. Il s'agit des communes dont la population n'excède pas 2 000 habitants et des communes dont la population est supérieure à 2 000 habitants et n'excède pas 5 000 habitants, si elles n'appartiennent pas à une unité urbaine ou si elles appartiennent à une unité urbaine dont la population n'excède pas 5 000 habitants. La liste des communes ainsi définie peut aller au-delà de la définition de l'INSEE reposant sur la continuité du bâti et le nombre d'habitants. De plus, l'INSEE considère une unité (pouvant regrouper plusieurs communes). Certaines communes rurales appartenant à des unités urbaines dont la population n'excède pas 5 000 habitants sont éligibles dans le cadre de la SUR. L'unité urbaine de référence est celle définie par l'INSEE. La population prise en compte est la population totale authentifiée à l'issue du recensement de la population.

²⁵ Source : Observatoire des Territoires, Commissariat général à l'égalité des territoires. Le classement des communes en zone de montagne repose sur les dispositions du règlement n°1257/1999 du Conseil du 17 mai 1999 concernant le soutien au développement rural et plus particulièrement sur son article 18 pour la montagne, et la directive 76/401/CEE du Conseil du 6 avril 1976 (détermination précise des critères pour le classement en France en zone de montagne). La zone de montagne est définie, par l'article 18 du règlement 1257/99, comme se caractérisant par des handicaps liés à l'altitude, à la pente, et/ou au climat, qui ont pour effet de restreindre de façon conséquente les possibilités d'utilisation des terres et d'augmenter de manière générale le coût de tous les travaux.

Selon les textes en vigueur, en France, une zone de montagne comprend des communes ou des parties de communes caractérisées par :

- soit l'existence, en raison de l'altitude (minimum 700m, sauf pour le massif vosgien à 600m, et les montagnes méditerranéennes à 800m), de conditions climatiques très difficiles qui se traduisent par une période de végétation sensiblement raccourcie ;
- soit la présence, à une altitude moindre, dans la majeure partie du territoire (au moins 80%), de fortes pentes (supérieure à 20%), telles que la mécanisation ne soit pas possible ou nécessite l'utilisation d'un matériel très onéreux ;
- soit la combinaison de ces deux facteurs.

²⁶ Indicateur physique du programme.

Intitulé de la variable	Descriptif de la variable	Type de variable	Niveau d'information	Fiabilité de l'information
(ICGP)	niveau de connaissance du réseau et des branchements et l'existence d'une politique de renouvellement pluriannuelle du service d'eau potable.	discrète		
Rendement estimé	Rapport en % entre le volume d'eau consommé par les usagers et le service public et le volume d'eau potable d'eau introduit dans le réseau de distribution	Variable quantitative continue	49%	+
Indice de perte linéaire (ILP)	Indice en m ³ /km/j évaluant, en les rapportant à la longueur des canalisations (hors branchements), les pertes par fuites sur le réseau de distribution.	Variable quantitative continue	28%	++
Taux moyen de renouvellement des réseaux (TMR) ²⁷	% de renouvellement moyen annuel (calculé sur les 5 dernières années) du réseau d'eau potable par rapport à la longueur totale du réseau, hors branchements.	Variable quantitative continue	6%	++

Les données de performance ne sont pas systématiquement présentes dans les dossiers d'aide à l'instruction pour plusieurs raisons : pièces techniques manquantes ou incomplètes, absence d'indicateurs de performance pour certaines collectivités, etc. Par exemple, 49% des dossiers présentent une valeur de rendement estimé et 8% une valeur pour l'indice de connaissance de gestion patrimoniale. En revanche, le volume d'eau économisé est exhaustif sur la LCF 21 ; il est renseigné à 36% sur la LCF 25.

De plus, certaines variables sont peu fiables ; en effet, compte tenu des équipements, il est difficile de définir un volume d'eau économisé sur une portion de tronçon en particulier.

Afin de compléter certaines variables de performance (rendement, ICGP), d'autres sources d'informations telles que les données redevances de l'agence ou encore les données issues du système d'information des services publics d'eau et d'assainissement (SISPEA) ont été explorées ; les principales conclusions de ce travail sont présentées dans un paragraphe ultérieur.

Les éléments sur la collectivité et le mode de gestion du service, comme la taille de la collectivité ou le nombre d'habitants desservis, les variations saisonnières de la population et le mode de gestion du service n'ont pas été collectés. En ce qui concerne les informations sur la performance des réseaux d'eau potable, il manque la densité de réseau (densité d'abonnés de la commune) ainsi que les données de défaillance ou d'intervention²⁸.

²⁷ Cet indicateur permet d'apprécier l'activité du service en matière de remplacement des conduites. Ce taux doit être apprécié en fonction du contexte du service : d'une part l'historique de pose du réseau impacte fortement les besoins en renouvellement et d'autre part, les remplacements de canalisations ne sont pas uniquement liés à la problématique de pertes (qualité de l'eau par exemple).

²⁸ L'historique des défaillances et anomalies permet de mettre en évidence les problèmes récurrents du réseau et ses secteurs sensibles. Exemples de défaillances physiques sur canalisations : trou, joint, casse nette, casse longitudinale, fissure, déboîtement. Exemple d'anomalies signalées par les abonnés : manque d'eau, chute de pression, forte pression, goût, eau colorée. Les causes de défaillances sont les suivantes : détérioration par un tiers, corrosion interne, corrosion externe, mouvement de terrain, surpression, poinçonnement, défaut matériau.

3.3 DONNÉES SOURCES ET MÉTHODES

Cette évaluation des coûts requiert non seulement une collecte rigoureuse des informations propres à la problématique de l'étude mais également le traitement d'un grand nombre de données selon des méthodes bien définies, fiables et reproductibles.

À cet égard, la gestion de ces informations a pu être facilitée par l'utilisation d'outils informatiques décisionnels (système d'information) mais la qualité et la complétude des informations recueillies reposent sur les éléments détaillés transmis par les maîtres d'ouvrages lors de leur demande de financement auprès de l'agence de l'eau et sur la complétude et l'exactitude des variables présentes les bases de l'agence (aides, redevances) ou à défaut complétées par des bases externes (INSEE, Observatoire des territoires, SISPEA).

En complément, une partie des éléments exploités résulte de l'infocentre de l'agence, qui permet de regrouper à un même endroit des informations provenant de sources différentes et de produire plus facilement des analyses consolidées de ces données. Ainsi, les données sources sont extraites des applications de l'agence d'aide aux investissements (AI) et de synergie aides - redevances - données, regroupées depuis juillet 2016, en une seule application de gestion des aides (GDAI).

3.4 CONSTITUTION D'UNE BASE DE DONNÉES

3.4.1 Définition de la population cible

La « population cible » retenue pour mener cette étude concerne **tous les travaux de renouvellement, rénovation ou réparation de canalisations de réseaux d'eau potable aidés par l'agence au cours du 10^{ème} programme. Cela concerne les dossiers soldés ou à solder le 31 juillet 2016 de demandes d'aides accordées et instruits par les chargés d'intervention des délégations de Besançon, Lyon, Marseille et Montpellier pendant la période 2013-2016.** La méthode d'échantillonnage est donc un recensement de tous les dossiers cibles, afin d'assurer un échantillon qui soit le plus exhaustif possible et représentatif du programme en cours.

3.4.2 Phase de collecte des données

Afin de réaliser des analyses fiables dans le temps imparti, l'ensemble des données a été récolté de juillet à novembre 2016 à partir des dossiers de demandes d'aide à l'investissement sur une période allant de 2013 à 2016. Dans un premier temps, un travail de sélection des variables les plus pertinentes à recueillir a été réalisé à partir de quelques dossiers et a permis de constituer la structure de la base de données de l'étude.

Parmi les 322 dossiers relatifs à l'objet de l'étude, 305 étaient archivés en juillet 2016. **Ainsi, le taux de dossiers non archivés s'élève à 5,6%.**

Pour 66 dossiers reçus, les pièces financières étaient inexploitable dans le cadre de cette étude de coût. **Le taux de dossiers non exploitables est donc de 20,5%.** Deux principales causes ont été identifiées :

- Interne à l'agence : les pratiques veulent que lors de l'ouverture d'un dossier, l'agence se satisfait de l'avant-projet général (et n'exige que rarement l'avant-projet détaillé) accompagné du dossier de consultation des entreprises. Pour procéder au versement de l'aide, l'agence demande le retour de l'acte d'engagement et de la notification du marché (composés d'éléments généraux : tel lot, tel entreprise, tel budget global), ainsi l'agence ne possède pas nécessairement à ce stade d'éléments financiers détaillés. De plus, au moment du solde du dossier, l'agence demande un certificat sur l'honneur de bonne réalisation des travaux et de paiement des sommes prévues mais ne dispose pas toujours du décompte général définitif des travaux (DGD) : l'agence « n'engrange » pas l'information du détail des dépenses. Ces pratiques, entièrement conformes aux règles administratives de gestion des aides de l'agence, rendent les dossiers difficilement exploitables par l'observatoire des coûts.
- Externe à l'agence : la forme même du marché de travaux influe sur la qualité des données exploitables par l'observatoire :
 - o Dans le cas d'un marché de travaux réglé sur le quantitatif réellement mis en œuvre, le dossier comprend (généralement), en plus du cahier des clauses techniques particulières

(CCTP), un bordereau des prix unitaires (BPU) et un détail quantitatif estimatif (DQE) ; dans ce cas-là, les données des différents postes sont exploitables par l'observatoire ;

- o Dans le cas d'un marché de travaux réglé au forfait, le dossier ne comprend la plupart du temps, en plus du CCTP, qu'une DPGF (décomposition du prix global et forfaitaire), c'est à dire, pour chaque poste, voire chaque lot, un simple montant (sans quantité ni prix unitaire). Dans ce cas alors, les données ne sont pas exploitables au sens de l'observatoire.

De plus, dans certains cas particuliers :

- Plusieurs demandes d'aides peuvent correspondre à un seul et même ouvrage (par exemple, l'étude du projet et les travaux peuvent représenter deux dossiers pour une seule opération).
- Certains dossiers présélectionnés ne correspondent pas en fait à l'objet de l'étude (cas des dossiers de sécurisation de l'alimentation en eau potable par exemple).

Au final, dans la plupart des cas retenus, les données sont issues du coût réel des opérations. À l'aide des décomptes généraux et définitifs des travaux des dossiers dont l'agence dispose, un inventaire exhaustif des coûts des travaux pris en compte pour le calcul de l'aide a pu être établi pour chaque dossier retenu, en distinguant le coût des canalisations de celui des branchements. Cette décomposition s'est faite à partir d'une vision purement technique des ouvrages et ne préjuge en rien des postes pris ou non en compte lors de l'intervention de l'agence. Il est à noter à ce niveau que la décomposition des postes sur les pièces financières (DGD pour la plupart) peut différer d'un dossier à l'autre, ce qui a eu une incidence sur le temps de traitement de ces données lors du recueil.

Un certain nombre de variables techniques (longueur des tuyaux posés, matériau et diamètre) et géographiques (commune du tronçon posé) a pu être collecté de manière exhaustive. Ainsi, l'étude d'un nombre important de dossiers a permis de bénéficier d'une riche expérience des situations géographiques variées, avec au sein des délégations, des contrastes importants.

4 ANALYSE STATISTIQUE

Cette partie de l'étude est basée sur l'exploitation des données produites sur les coûts des opérations de renouvellement ou de réparation des fuites sur les réseaux d'eau potable. L'objectif de cette étape est de décrire les principales informations contenues dans ces données et de faire ressortir les relations pouvant exister entre ces différentes données.

Tout d'abord, les dossiers retenus ont fait l'objet d'une analyse suivant différents paramètres explicatifs présentés et détaillés par la suite. Les analyses intermédiaires sont également détaillées afin d'expliquer la démarche qui a été conduite au cours de la construction de cette étude. Les résultats ont été analysés à l'aide du logiciel R par l'intermédiaire de divers traitements statistiques décrits par la suite.

4.1 NATURE ET REPRÉSENTATIVITÉ DES DONNÉES RECUEILLIES

4.1.1 Nature des données recueillies

Les données ont été collectées tronçon par tronçon puis agrégées à l'échelle des opérations. Ainsi, deux lectures sont possibles : par tronçon posé aidé ou par opération financée par l'agence. Les données recueillies à partir des dossiers ont été complétées par des données issues de l'Observatoire des Territoires, de l'INSEE et des données de l'agence (aides, redevances).

Elles concernent des variables financières (coûts des ouvrages), techniques (matériau, diamètre, longueur, année de pose des tronçons), géographiques (libellé de la commune des travaux, code INSEE de la commune des travaux, département des travaux, typologie rurale ou urbaine de la commune, commune classée en zone de montagne ou non, commune littorale ou non) ou de performance (volumes d'eau économisés, ICGP, ILP, rendement, taux de renouvellement des réseaux).

Les **variables financières** proviennent des soldes des opérations et sont très fiables. Les différentes opérations s'étant déroulées sur une plage de temps peu étendue et récente, une actualisation du coût des ouvrages n'était pas nécessaire à leur comparaison.

Les **variables techniques**, collectées en majorité à l'aide des décomptes généraux définitifs et dans certains cas, des plans des réseaux, sont très fiables. Cependant, pour les matériaux, la fonte grise et la fonte ductile ne sont pas systématiquement distinguées mais les tuyaux posés en 2013 ou après sont supposés être en fonte ductile.

Les **variables de performance** indiquées dans les dossiers sont de nature déclarative, dans un bon nombre de cas, et sont à prendre avec précaution car il s'agit plus d'estimations. Elles permettent en l'absence de données issues d'autres systèmes d'informations (SISPEA, données de redevances de l'agence) de disposer d'ordres de grandeur.

4.1.2 Représentativité des données

Le niveau de représentativité des données a été étudié afin de déterminer si l'échantillon était suffisamment important et cohérent pour constituer un modèle robuste d'estimation ou de prévision des coûts. Pour ce faire, différents paramètres ont été précisés au cours de cette étude comme la taille de l'échantillon, le taux de couverture et les limites de l'intervalle de confiance.

Parmi les 322 dossiers relatifs à l'étude (dits dossiers cibles), 238²⁹ se révèlent au final exploitables, soit un **taux de couverture de près de 74%**, variable selon les délégations et les départements des maîtres d'ouvrages. En effet, il est de 83% pour la délégation de Marseille. Des taux de couverture plus élevés (supérieurs à 80%) sont observés pour les départements suivants : Côte-d'Or, Doubs, Haute-Saône, Ardèche, Loire, Haute-Savoie, Corse-du-Sud, Var, Lozère et Pyrénées-Orientales. Ces taux sont inférieurs à 50% pour la Drôme (43%) et l'Ain (41%).

Certains départements ne sont pas représentés (Haut-Rhin, Alpes-de-Haute-Provence, Hautes-Alpes, Alpes-Maritimes et Ariège) en raison de l'absence de dossiers cibles.

²⁹ Il est à noter cependant que les 238 dossiers de l'étude ne représentent que 6,8% des opérations financées par l'agence de l'eau sur les LCF 21 et 25 de 2013 à juillet 2016.

Tableau 4 : Niveau de représentativité de l'échantillon en fonction des délégations et des départements des maîtres d'ouvrages³⁰ (source : agence de l'eau RMC, 2016)

Territoires de compétences de la délégation de Besançon	Nombre de dossiers cibles	Nombre de dossiers exploitables	Taux de dossiers exploitables
21 – Côte-d'Or	6	5	83,3%
25 - Doubs	18	14	84,6%
39 - Jura	14	8	57,1%
52 - Haute-Marne	4	3	75,0%
68 - Haut-Rhin			
70 - Haute-Saône	25	23	92,0%
71 - Saône-et-Loire	19	14	73,7%
88 - Vosges	4	3	75,0%
90 - Territoire de Belfort	8	5	62,5%
Sous-total	98	75	76,5%
Territoires de compétences de la délégation de Lyon	Nombre de dossiers cibles	Nombre de dossiers exploitables	Taux de dossiers exploitables
01 - Ain	17	7	41,2%
07 - Ardèche	36	32	88,9%
26 - Drôme	14	6	42,9%
38 - Isère	32	24	75,0%
42 - Loire	3	3	100,0%
69 - Rhône	13	8	61,5%
73 - Savoie	27	18	66,7%
74 - Haute-Savoie	20	16	80,0%
Sous-total	162	114	70,4%
Territoires de compétences de la délégation de Marseille	Nombre de dossiers cibles	Nombre de dossiers exploitables	Taux de dossiers exploitables
2A - Corse-du-Sud	3	3	100,0%
2B - Haute-Corse	4	3	75,0%
04 - Alpes-de-Haute-Provence			
05 - Hautes-Alpes			
06 - Alpes-Maritimes			
13 - Bouches-du-Rhône	2	1	50,0%
83 - Var	8	8	100,0%
84 - Vaucluse	19	15	78,9%
Sous-total	36	30	83,3%
Territoires de compétences de la délégation de Montpellier	Nombre de dossiers cibles	Nombre de dossiers exploitables	Taux de dossiers exploitables
09 - Ariège			
11 - Aude	8	6	75,0%
30 - Gard	7	4	57,1%
34 - Hérault	3	2	66,7%
48 - Lozère	2	2	100,0%
66 - Pyrénées-Orientales	6	5	83,3%
Sous-total	26	19	73,1%
Total	322	238	73,9%

³⁰ Le département du maître d'ouvrage peut différer de celui des travaux. Dans un souci de cohérence, les effectifs ont été affectés à la délégation de compétence (1 dossier géré par la délégation de Lyon avec comme département du maître d'ouvrage la Saône-et-Loire et 4 dossiers gérés par la délégation de Lyon avec comme département du maître d'ouvrage, le Vaucluse).

Les dossiers de demandes de subventions pour chaque ligne du programme spécifique (LPS) étant gérés au niveau de chaque délégation concernée, le choix a été de respecter cette dispersion selon ces deux critères. La répartition des dossiers cibles, des dossiers consultés et finalement exploitables en fonction des délégations se présente ainsi :

Tableau 5 : Ventilation des dossiers en fonction des délégations (source : agence de l'eau RMC, 2016)

Délégation	Dossiers cibles (population cible)		Dossiers consultés		Dossiers exploitables	
	Effectifs	%	Effectifs	%	Effectifs	%
Besançon	97	30,1%	96	31,6%	74	31,4%
Lyon	167	51,9%	152	50,0%	117	49,2%
Marseille	32	9,9%	32	10,5%	28	11,8%
Montpellier	26	8,1%	24	7,9%	19	8,0%
Total	322	100,0%	304	100,0%	238	100,0%

Pour la délégation de Lyon, une légère sous-représentation des dossiers exploitables est observée par rapport à ceux de la population cible mais la différence observée de 2,7 points de pourcentage n'est pas significative³¹ et est liée aux fluctuations d'échantillonnage. De même, la différence de 1,8 points de pourcentage constatée pour la délégation de Marseille est non significative. **De ce fait, la population cible et l'échantillon de l'étude présentent la même structure selon la délégation.**

Pour ce qui est du deuxième critère de représentativité, les dossiers se décomposent de la manière suivante en fonction des lignes du programme :

Tableau 6 : Ventilation des dossiers en fonction des LPS (source : agence de l'eau RMC, 2016)

LPS	Dossiers cibles (population cible)		Dossiers consultés		Dossiers exploitables	
	Effectifs	%	Effectifs	%	Effectifs	%
513 : économies d'eau	90	28,0%	84	27,6%	68	28,5%
521 : changement climatique / AEP collectivités	13	4,0%	13	4,3%	10	4,2%
642 : FSR AEP (dont très rural)	219	68,0%	207	68,1%	160	67,4%
Total	322	100,0%	304	100,0%	238	100,0%

La répartition des dossiers selon les lignes de programmes est la même entre les dossiers de référence (cibles) et les dossiers finalement exploitables.

De ce fait, en considérant que la « délégation » et la « LPS » sont des critères déterminants dans la constitution de l'échantillon, il ne s'avère pas nécessaire de procéder à un redressement de celui-ci. En effet, ce dernier est représentatif puisque les deux composantes essentielles de la population de référence (opérations aidées de renouvellement ou de réparation des fuites sur les réseaux AEP soldées ou en cours sur la période 2013-juillet 2016) figurent dans l'échantillon, dans des proportions identiques.

Calcul de la marge d'erreur en fonction du seuil de confiance recherché

La probabilité qu'un échantillon représente bien une population, étant donné les lois des probabilités se nomme le **seuil de confiance** c'est-à-dire la certitude quant à la justesse des résultats. Le critère habituellement retenu est de 95%, à savoir que plusieurs échantillons d'une même population sont pris alors l'échantillon constituera une représentation fidèle de cette population pour 95% des fois. Cette proportion correspond à 1,96 écart-type sur la courbe normale. Cette valeur est le $Z_{5\%}$, c'est-à-dire la surface sous la courbe normale pour $1-0,05=0,95$.

³¹ Test statistique de comparaison de ces deux proportions avec $p_1=52\%$ et $p_2=49\%$. Soit l'hypothèse nulle $H_0 : p_1=p_2$ contre l'hypothèse alternative $H_1 : p_1 \neq p_2$. La statistique $u_0=0,5$ et $|u_0| < 1,96$ qui est le fractile de la loi Normale avec un risque d'erreur de 5% donc non rejet de H_0 . Ce test permet d'affirmer qu'il n'y a pas de différence significative entre ces deux proportions avec un risque d'erreur de 5%. La différence observée de 3% est donc due aux fluctuations d'échantillonnage.

La **marge d'erreur**, c'est la précision du résultat obtenu étant donné le **seuil de confiance** prêt à être accepté. La marge d'erreur est alors égale à *Z-erreur-type*.

Lorsque la population est « finie » i.e. moins que 20 fois l'échantillon, la formule de la marge d'erreur est la suivante:

$$e = Z_{5\%} \times \sqrt{\frac{p(1-p)}{n} \times \frac{(N-n)}{(N-1)}}$$

où $Z_{5\%}$ est de 1,96 avec un seuil de confiance accepté de 95%, p est la proportion d'unités statistiques ayant le comportement dont la précision est estimée, n est la taille de l'échantillon et N la taille de la population.

Remarque : la marge d'erreur maximale est calculée, c'est-à-dire celle correspondant à une proportion de 0,5. C'est en effet quand la population se divise de moitié moitié que la marge d'erreur des résultats est la plus grande. Par contre, pour chacun des résultats présentés (proportions dont la marge d'erreur doit être estimée), il est possible de calculer la marge d'erreur spécifique.

Ainsi, pour un échantillon de 238 dossiers et une base (population cible) comprenant 322 projets, un seuil de confiance de 95% et une proportion maximale (0,5), l'équation donnée est la suivante :

$$e = 1,96 \times \sqrt{\frac{0,5(1-0,5)}{238} \times \frac{322-238}{322-1}} = 0,0325$$

À cette condition, les résultats observés sur l'échantillon peuvent être extrapolés à l'ensemble de sa population de référence, mais en considérant une marge d'erreur³² de 3,2% ; l'intervalle de confiance d'une proportion est égal à la valeur estimée $\pm$ la marge d'erreur.

³² La marge d'erreur, ou erreur d'échantillonnage, correspond à la différence entre le résultat obtenu à partir d'un échantillon et le résultat qui serait obtenu si on avait étudié la totalité de la population mère (cible).

4.2 ANALYSE DESCRIPTIVE DES DONNÉES

Cette partie vise à décrire l'échantillon³³ de données retenu dans le cadre de cette étude, qui est composé de **238 opérations** ayant fait l'objet d'une subvention de l'agence de l'eau, dans le cadre de renouvellement (160 projets) ou de réparation de fuites (78 projets) sur les canalisations d'eau potable.

L'exploitation du contenu de ces dossiers a permis de recenser **1 216 tronçons de canalisations** et d'en extraire les principales caractéristiques techniques (linéaire, matériau, diamètre) et de disposer de quelques paramètres externes (lieu des travaux et donc caractère rural ou urbain, zone de montagne ou hors montagne, commune littorale ou non).

Il est important de noter pour la suite, qu'un projet peut concerner plusieurs communes et plusieurs rues au sein d'une même commune. De ce fait, les statistiques présentées par projet ont tendance à masquer cela. De manière générale, les opérations sur des linéaires et des montants très importants concernent souvent plusieurs localités.

Une bonne connaissance de cet échantillon s'avère donc indispensable, afin de disposer d'un cadre de référence préliminaire à toute modélisation statistique et tout calcul de coûts de référence et de plafond.

4.2.1 Localisation et caractéristiques des opérations

La carte suivante permet de localiser les communes sur lesquelles les opérations étudiées de renouvellement de canalisations ou de réparation de fuites ont été engagées. La commune indiquée concerne celle du demandeur (maître d'ouvrage). En effet, il est utile de rappeler qu'une opération peut donner lieu à des travaux sur plusieurs communes.

De plus, la carte identifie plus de 70 territoires en déséquilibre quantitatif en vue d'une gestion durable et équilibrée de la ressource en eau. Ces territoires représentent environ 40% de la superficie du bassin Rhône-Méditerranée.

L'échantillon représente **185 communes** pour les maîtres d'ouvrage et **290** pour la réalisation des travaux. Les projets étudiés se situent majoritairement en Bourgogne-Franche-Comté et en Auvergne-Rhône-Alpes. L'échantillon d'étude comporte une seule commune littorale sur laquelle ont été réalisés des travaux de réhabilitation de réseaux d'eau potable. De ce fait, le coût des projets n'a pas pu être étudié selon ce caractère (commune littorale ou non). Cependant, une vérification du coût des opérations plus ou moins élevé a été effectuée selon les territoires de compétences des délégations, les communes rurales ou urbaines ou encore les communes classées en zone de montagne ou non.

³³ Échantillon de données brutes, avant le traitement de valeurs atypiques éventuelles.

Projets étudiés de renouvellement de canalisations ou de réparation de fuites de 2013 à 2016

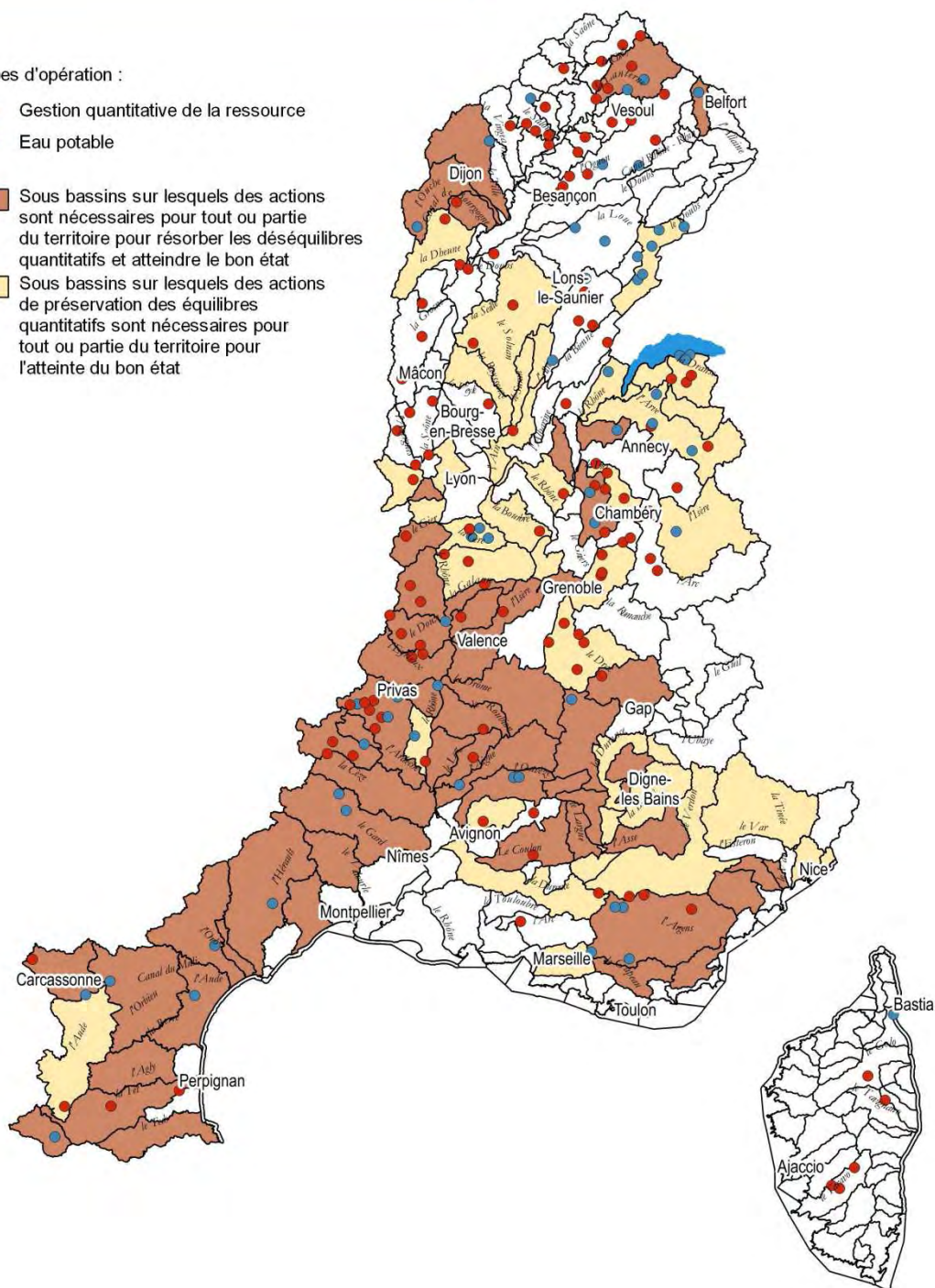
Types d'opération :

● Gestion quantitative de la ressource

● Eau potable

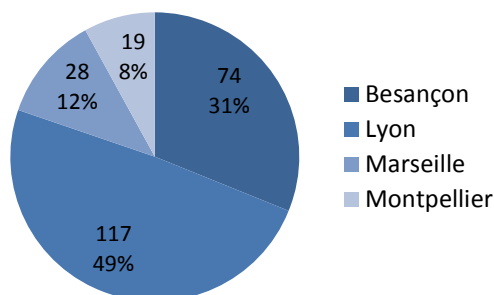
■ Sous bassins sur lesquels des actions sont nécessaires pour tout ou partie du territoire pour résorber les déséquilibres quantitatifs et atteindre le bon état

■ Sous bassins sur lesquels des actions de préservation des équilibres quantitatifs sont nécessaires pour tout ou partie du territoire pour l'atteinte du bon état



Le diagramme en secteurs suivant montre que près de la moitié des projets étudiés concerne la délégation de Lyon, suivie des délégations de Besançon (31%), Marseille (12%) et Montpellier (8%).

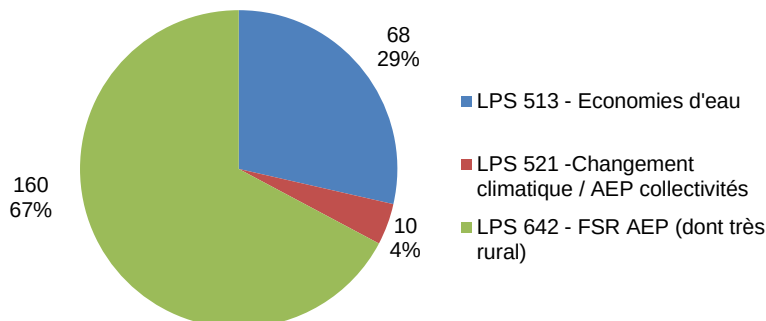
Figure 1 Distribution des dossiers d'aide à l'investissement selon la délégation de 2013 à 2016 – opérations soldées ou à solder au 01/08/2016



La LCF 25 - Préservation de l'eau destinée à la consommation humaine (160 projets soit 67%) correspond à la LPS 642 - FSR AEP (dont très rural) et la LCF 21 - Atteinte de l'équilibre quantitatif des milieux (78 projets soit 33%) aux LPS 513 - Économies d'eau (68 projets soit 29%) et LPS 521 - Changement climatique / AEP collectivités (10 projets soit 4%).

Dans la suite de l'étude, les résultats sont présentés en distinguant ces deux types opérations (LCF 21 / LCF 25) qui répondent à des objectifs et des moyens différents pour y parvenir (économie d'eau par la réparation de fuites / gestion patrimoniale par le renouvellement des réseaux).

Figure 2 Distribution des dossiers d'aide à l'investissement selon la LPS de 2013 à 2016 – opérations soldées ou à solder au 01/08/2016

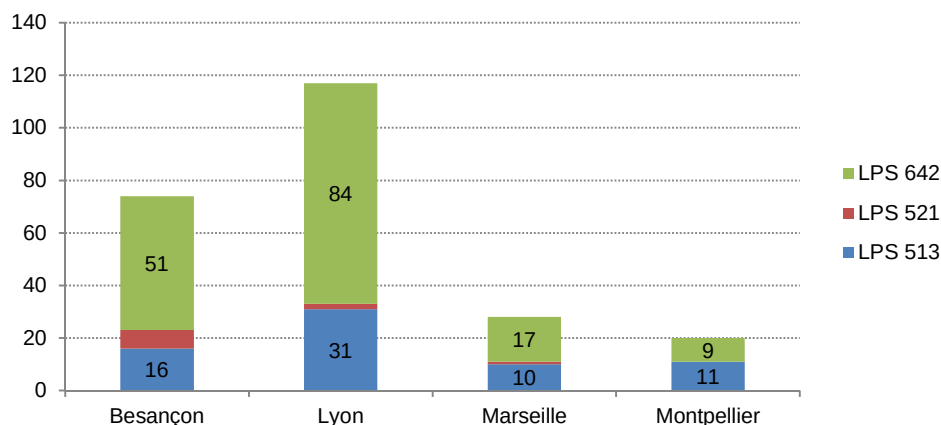


La part de LPS 513 (économies d'eau) atteint 55% à Montpellier ; un test statistique permet de révéler une différence significative³⁴ entre cette part estimée à Montpellier et la part moyenne de 29% estimée sur l'ensemble de l'échantillon. La part de LPS 521 (changement climatique) est de 9,5% à Besançon (différence non significative³⁵ avec l'échantillon total). Une des raisons expliquant ces différences vient du fait que les territoires déficitaires en eau sont très importants pour la délégation de Montpellier et plus faibles pour la délégation de Besançon.

³⁴ Le test statistique de comparaison des proportions 55% et 29% révèle que la différence observée est bien significative.

³⁵ Le test statistique de comparaison des proportions 9,5% et 4% révèle que la différence observée est non significative et est liée aux fluctuations d'échantillonnage.

Figure 3 Distribution des dossiers d'aide à l'investissement par délégation selon la LPS de 2013 à 2016 – opérations soldées ou à solder au 01/08/2016



4.2.2 Montant retenu des projets étudiés

> Analyse selon le nombre de projets (n=238)

L'échantillon se compose de 238 projets présentant un montant total retenu s'élevant à **47 139 362 €** dont 32 519 342 € sur la LCF 25 (soit 69%) et 14 538 141 € sur la LCF 21 (soit 31%), ce qui s'avère relativement proche de la répartition du nombre de projets selon la LPS (67% des projets sur la LCF 25, 33% sur la LCF 21) et ceci est vérifié par la suite sur les linéaires posés aidés (73% des linéaires sur la LCF 25, 27% sur la LCF 21), en notant toutefois une sur représentation des longueurs posées pour le renouvellement. Une des hypothèses est que le renouvellement impose de changer des longueurs de tuyaux plus importantes que dans le cadre de réparation, où les fuites sont localisées sur des portions de canalisation plus réduites.

Le tableau suivant permet de constater que par exemple, les projets d'un montant inférieur à 200 000 € représentent 71% de l'échantillon et près de 30% de la masse totale de montant retenu sur ces projets. Il s'agira donc d'étudier tous les cas de figure pour que la détermination du coût de référence soit applicable à l'ensemble des projets.

Tableau 7 : Distribution des dossiers étudiés en fonction des tranches de montants retenus (source : agence de l'eau RMC, 2016)

Classes de montants retenus en euros	Nombre de dossiers exploitables	% en ligne	Nombre cumulé de dossiers exploitables	Fréquence cumulée de dossiers exploitables	Montant retenu cumulé	Fréquence cumulée du montant retenu
Moins de 100 000 ³⁶	108	45,4%	108	45,4%	5 659 090,73	12,0%
[100 000 - 200 000[	61	25,6%	169	71,0%	14 128 789,45	30,0%
[200 000 - 300 000[	25	10,5%	194	81,5%	20 042 569,86	42,5%
[300 000 - 400 000[	14	5,9%	208	87,4%	24 784 104,30	52,6%
[400 000 - 500 000[	12	5,0%	220	92,4%	30 109 434,71	63,9%
500 000 et plus ³⁷	18	7,6%	238	100,0%	47 139 362,49	100,0%
Total général	238	100,0%				

L'histogramme suivant est dissymétrique avec un étalement de la série vers la droite : plus les classes de montants sont importantes et plus le nombre de projets étudiés diminue, excepté pour la dernière classe qui a une amplitude nettement supérieure à 100 000 €³⁸.

³⁶ [7 415 – 100 000[.

³⁷ [500 000 – 3 381 000[.

Figure 4 Nombre de dossiers d'aide à l'investissement par tranches de montants retenus de 2013 à 2016 – opérations soldées ou à solder au 01/08/2016

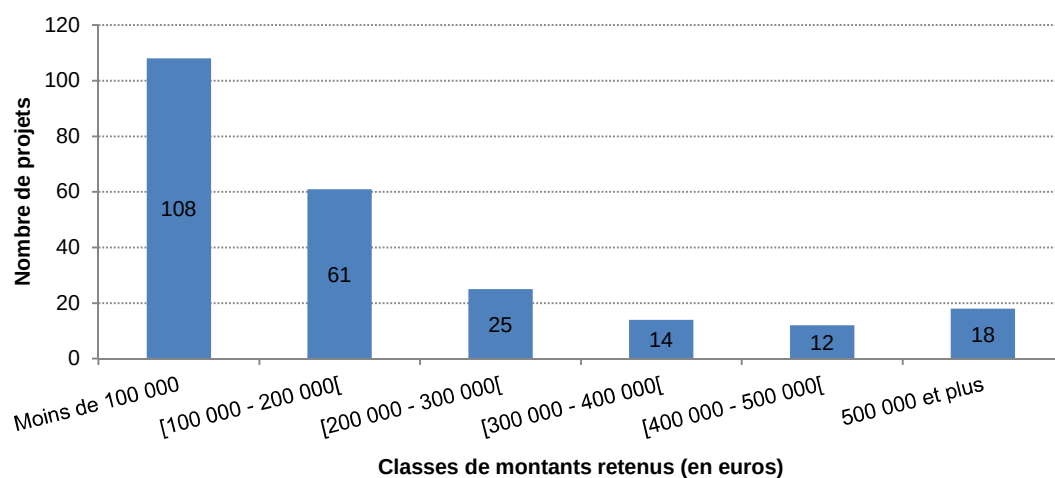
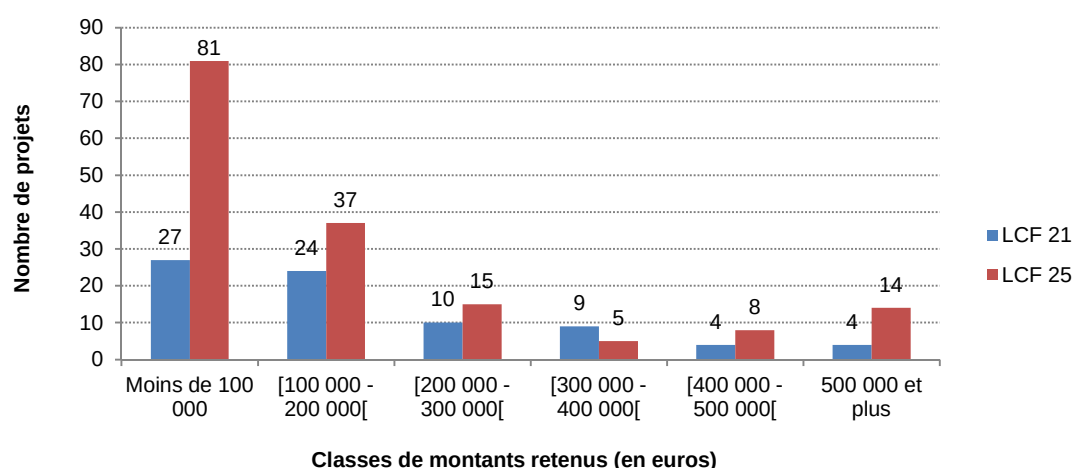


Figure 5 Nombre de dossiers d'aide à l'investissement par tranches de montants retenus selon la LCF de 2013 à 2016 – opérations soldées ou à solder au 01/08/2016



> Indicateurs de tendance centrale et de dispersion des montants

Le montant moyen des travaux de renouvellement de canalisation ou de réparation de fuites sur les réseaux d'eau potable, calculé sur la base de 238 projets, s'élève à **198 100 € HT par projet**.

La valeur médiane (valeur centrale de l'échantillon) est dans ce cas plus significative que la moyenne, car elle est moins influencée par les valeurs extrêmes³⁹. Le montant médian est évalué à **110 000 € HT par projet** ; ainsi, 50% des projets étudiés s'élèvent à un montant inférieur ou égal à 110 000 € (Q2 = 2^{ème} quartile = Médiane). 25% des projets étudiés s'élèvent à un montant inférieur ou égal à 55 230 € (Q1 = 1^{er} quartile). 75% des projets étudiés s'élèvent à un montant inférieur ou égal à 219 400 € (Q3 = 3^{ème} quartile). 18 projets présentent un montant supérieur à 500 000 €.

³⁸ L'amplitude de la dernière classe, qui correspond à l'écart entre la valeur maximale et la valeur minimale de l'intervalle s'élève à 2 281 000€ (3 381 000 – 500 000).

³⁹ Les valeurs extrêmes se situent en dehors d'un intervalle égal à 3 fois la longueur de la boîte à moustache.

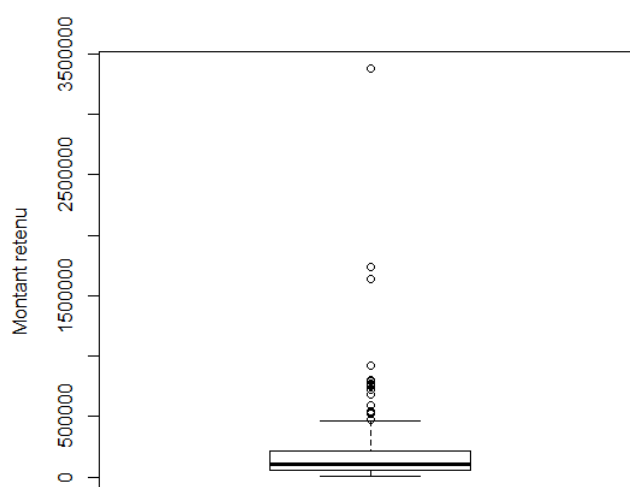
Le montant des travaux retenus varie entre 7 415 € HT (minimum) et 3 381 100 € HT (maximum), soit une étendue⁴⁰ de 3 373 685 €.

Résumé statistique de la distribution du montant retenu des projets :

Minimum	Quartile 1	Médiane = Quartile 2	Moyenne	Quartile 3	Maximum
7 415	55 230	110 000	198 100	219 400	3 381 000

Enfin, la boîte à moustache⁴¹ suivante permet de résumer ces caractéristiques de position et de visualiser un certain nombre de valeurs atypiques en raison de montants extrêmes (supérieurs à 500 000€) et non représentatifs. Par exemple, 3 projets présentent des montants supérieurs à 1 million d'euro. L'utilisation par la suite de coûts médians, quartiles, déciles ou indicateurs permettra d'atténuer cet effet.

Figure 6 Boîtes à moustaches du montant retenu des projets de renouvellement et de réparation de fuites sur les réseaux d'eau potable



Le coefficient de variation⁴² est de 1,54, ce qui traduit **une dispersion forte du montant éligible des travaux autour du montant moyen.**

Les statistiques suivantes ont pour objet d'étudier le montant retenu moyen par projet selon la LCF. Il est estimé à 186 400 € sur la LCF 21 contre 203 800 € sur la LCF 25.

Afin de comparer ces deux moyennes estimées à partir de l'échantillon, une analyse de variance à un facteur est mise en œuvre.

Résumé statistique de la distribution du montant retenu pour les projets relevant de la LCF 21 :

Minimum	Quartile 1	Médiane = Quartile 2	Moyenne	Quartile 3	Maximum
8 891	80 360	129 200	186 400	252 400	790 700

⁴⁰ Différence entre les valeurs observées les plus élevées et les plus faibles dans un ensemble de données. L'étendue, valeurs aberrantes comprises, est donc la dispersion réelle des données.

⁴¹ Dans les représentations graphiques de données statistiques, la boîte à moustaches (aussi appelée diagramme en boîte ou box plot en anglais) est un moyen rapide de résumer quelques caractéristiques de position du caractère quantitatif étudié (médiane, quartiles, minimum, maximum ou déciles). Ce diagramme est utilisé principalement pour comparer un même caractère dans deux populations de tailles différentes. Il s'agit de tracer un rectangle allant du premier quartile au troisième quartile et coupé par la médiane. Ce rectangle suffit pour le diagramme en boîte. On ajoute alors des segments aux extrémités menant jusqu'aux valeurs extrêmes, ou jusqu'aux premier et neuvième déciles, voire aux 5^{ème} et 95^{ème} centiles. On parle alors de diagramme en boîte à moustaches ou de diagramme à pattes.

⁴² L'écart-type seul ne permet le plus souvent pas de juger de la dispersion des valeurs autour de la moyenne. Plus la valeur du coefficient de variation est élevée, plus la dispersion autour de la moyenne est grande. Ce nombre est sans unité et permet la comparaison séries de données d'unités différentes.

Résumé statistique de la distribution du montant retenu pour les projets relevant de la LCF 25 :

Minimum	Quartile 1	Médiane = Quartile 2	Moyenne	Quartile 3	Maximum
7 415	49 050	95 740	203 800	204 700	3 381 000

L'analyse de variance : une comparaison de moyennes

Le test statistique d'analyse de la variance (ANOVA : ANalysis Of VAriance) vise à comparer les moyennes de plusieurs échantillons et à se prononcer sur une différence ou une similarité entre ces moyennes. L'objectif est de déterminer si une variable quantitative a des valeurs significativement différentes selon les modalités d'une variable qualitative. Autrement dit, il s'agit d'« apprécier l'effet de variables qualitatives sur une variable numérique et revient dans le cas de l'ANOVA à un facteur, à comparer plusieurs moyennes d'échantillon gaussiens » (Saporta 2006, P.352). Tout test statistique consiste à calculer un indicateur qui est comparé avec la table d'une loi de probabilité, pour en déduire une probabilité d'acceptation ou de rejet d'une hypothèse nulle H_0 .

Avant d'effectuer un test statistique, il est nécessaire de vérifier au préalable un certain nombre de conditions d'applications qui, si elles ne sont pas réunies, invalident le test.

Une comparaison de moyennes sur deux échantillons est possible grâce au test de Student ou à un test z utilisant la loi normale. En revanche, une analyse sur trois échantillons indépendants ou plus nécessite une ANOVA. Le but de l'ANOVA est d'identifier un facteur de variabilité. La variable qualitative sur laquelle est testée une éventuelle différence entre échantillons est nommée «facteur» et ses modalités sont des «niveaux».

L'hypothèse statistique nulle à vérifier (H_0) est que tous les échantillons ont la même moyenne. L'hypothèse alternative (H_1) est qu'au moins l'un d'eux ait une moyenne sensiblement différente des autres.

L'analyse de variance est un test de comparaison de moyennes faisant appel à la loi de Fisher. À partir des moyennes de chaque échantillon, un indicateur (F-value) est calculé afin de déduire une probabilité d'acceptation ou de rejet de l'hypothèse nulle selon laquelle « les moyennes de la variable quantitative sont toutes égales entre les groupes ». Pour pouvoir appliquer ce test, deux conditions doivent être remplies : la normalité des distributions et l'homogénéité des variances.

Conditions d'application de l'analyse de la variance (montant retenu des projets en fonction de la LPS)

Dans un premier temps, la normalité de la distribution du montant retenu est testée avec le test de Shapiro Wilk. Les résultats indiquent que la p-value est inférieure à 0,05, ce qui conduit à rejeter l'hypothèse nulle (H_0) qui est « la distribution suit une loi normale » et à impliquer l'acceptation de (H_1) qui est « la distribution ne suit pas une loi normale ».

Test de Shapiro Wilk sur le montant retenu

Shapiro-wilk normality test

w = 0.50036 p-value < 2.2e-16

Afin de normaliser les données, une fonction est appliquée sur le montant et parmi les méthodes possibles, il existe la transformation logarithmique. Cette méthode requiert l'absence de valeurs négatives et l'absence de valeurs nulles pour le montant retenu, ce qui est vérifié sur toutes les données de l'étude.

La p-value étant supérieure à 0,05, l'hypothèse nulle (H_0) qui est « la distribution suit une loi normale », est acceptée.

Test de Shapiro Wilk sur le log du montant retenu

Shapiro-wilk normality test

W = 0,99519 p-value = 0,6611

L'homogénéité des variances est ensuite testée avec le test de Levene⁴³.La p-value étant supérieure à 0,05, le test est non significatif, ce qui implique donc à accepter l'hypothèse nulle (H_0) selon laquelle « les variances des populations sont homogènes ».Test de Levene sur le log du montant retenu et la LCF

modified robust Brown-Forsythe Levene-type test

based on the absolute deviations from the median

Test Statistic = 3,141 p-value = 0,07764

Comme les deux conditions d'applications de l'ANOVA sont réunies sur la transformation logarithmique (log) du montant retenu des projets de l'échantillon, l'analyse de variance est donc appropriée.

Analyse et interprétation de l'analyse de la variance (log du montant retenu des projets en fonction de la LPS)L'hypothèse à vérifier (H_0) est que les deux échantillons (LCF 21 / LCF 25) ont le même montant moyen retenu par projet.L'analyse de variance teste l'hypothèse nulle (H_0) qui est « les moyennes de la variable quantitative sont toutes égales entre les groupes », autrement dit les deux échantillons (LCF 21 / LCF 25) ont des montants moyens retenus égaux. L'hypothèse alternative (H_1) est que ces deux échantillons ont une moyenne sensiblement différente l'une de l'autre.

La valeur de la p-value étant largement supérieure au seuil de signification 0,05, l'hypothèse nulle qui est « les moyennes de la variable quantitative sont toutes égales entre les groupes » est acceptée (pas de différence significative entre les échantillons).

Par ailleurs, les médianes observées (valeurs centrales) sur les LCF 21 et 25 indiquent que la moitié des opérations ont un montant retenu inférieur ou égal à 129 200 € sur la LCF 21 contre 95 740 € HT sur la LCF 25.

Conclusion : pour cette série de mesures, les deux LCF ne diffèrent pas significativement par leur montant moyen retenu avec un seuil de signification (risque d'erreur) de 5%. La différence observée de 17 400 € HT n'est pas significative et peut être expliquée par un pur effet du hasard. Cependant, la valeur centrale est un plus élevée dans le cas de réparation de fuites.

Analyse de variance de la transformation logarithmique du montant en fonction de la LCF :

Summary : analysis of variance

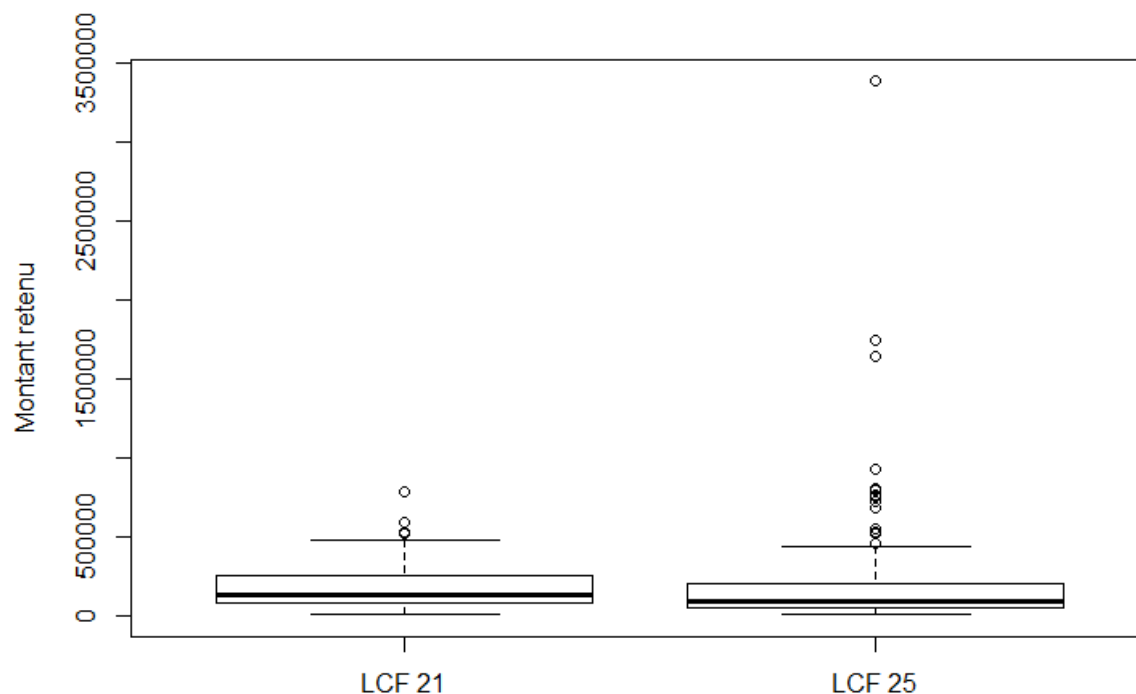
	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
LCF	1	3,01	3,006	2,602	0,108
Residuals	236	272,59	1,155		

Les boîtes à moustaches présentées ci-après permettent d'étudier les caractéristiques de position du montant retenu par projet selon la LCF. L'étendue de la distribution des montants est nettement plus élevée sur la LCF 25 (3 373 585 € HT) que sur la LCF 21 (781 809 €). Le montant médian est de 129 200 € sur la LCF 21 contre 95 740 € sur la LCF 25.

⁴³ Test de Levene (homogénéité des variances) : pour chaque variable dépendante, une analyse de variance est réalisée sur les écarts absolus des valeurs aux moyennes des groupes respectifs. Si le test de Levene est statistiquement significatif, l'hypothèse d'homogénéité des variances doit être rejetée.

Le coefficient de variation est de 0,84 pour la LCF 21 et de 1,75 pour la LCF 25, ce qui traduit une **dispersion des montants par projet plus élevée en cas d'objectif de renouvellement des réseaux d'eau potable**.

Figure 7 Boîtes à moustaches du montant retenu des projets de renouvellement et de réparation de fuites sur les réseaux d'eau potable



> La concentration des montants

La concentration d'une série

La courbe de de Lorenz permet de mesurer la concentration des montants retenus des projets de l'échantillon. Elle repose sur les hypothèses d'équirépartition des effectifs (nombre de dossiers étudiés) dans chaque classe de montants retenus (deux points consécutifs de la courbe sont ainsi reliés par un segment de droite) et sur le fait que les centres de classes sont considérés comme les moyennes de classes.

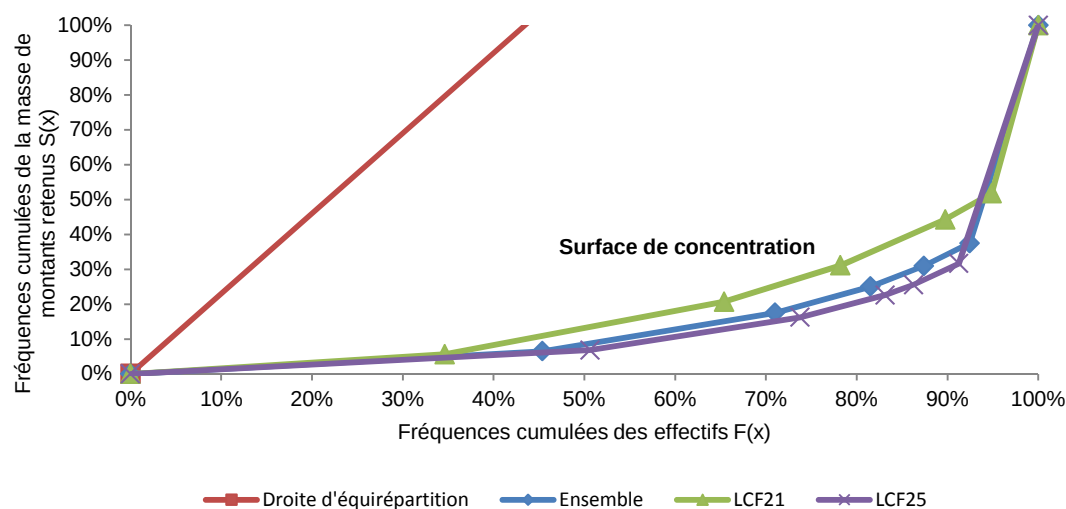
Plus la courbe de concentration de Lorenz est éloignée de la diagonale d'équirépartition et plus la surface de concentration (située entre la droite d'équirépartition et la courbe de Lorenz) est forte c'est-à-dire que la répartition des montants est inégale.

L'indice (ou coefficient) de Gini est un indicateur synthétique permettant de mesurer la concentration d'une série. Il varie entre 0 et 1. Il est égal à 0 dans une situation d'égalité parfaite où tous les salaires, les revenus, les niveaux de vie, etc. seraient égaux. À l'autre extrême, il est égal à 1 dans une situation la plus inégalitaire possible, celle où tous les salaires (les revenus, les niveaux de vie, etc.) sauf un seraient nuls. Entre 0 et 1, l'inégalité est d'autant plus forte que l'indice de Gini est élevé.

La courbe de Lorenz pour l'ensemble des projets étudiés est très éloignée de la droite d'équirépartition ($y = x$), ce qui montre que la surface de concentration est forte c'est-à-dire que la répartition des montants retenus est inégale.

Il est intéressant de comparer cette concentration entre les projets de la LCF 21 et ceux de la LCF 25 et de constater que la concentration des montants retenus est plus élevée sur la LCF 25. L'inégalité des montants des projets retenus est donc plus marquée sur cette dernière.

Figure 8 Courbe de concentration de Lorenz : concentration des montants retenus des projets de réparation de fuites ou de renouvellement de canalisations d'eau potable
Opérations soldées ou à solder au 01/08/2016



4.2.3 Linéaires des réseaux posés aidés

1 216 tronçons de canalisations de réseaux AEP (hors branchements particuliers) ont été recensés à partir des **238 projets** étudiés soldés ou en cours entre janvier 2013 et juillet 2016. Ils représentent un linéaire total aidé de **302 922 mètres**.

> Analyse selon le nombre de projets (n=238)

61,3% des projets étudiés représentent un linéaire total posé aidé inférieur à 1 000 mètres, 29,8% un linéaire compris entre 1 000 mètres et 3 000 mètres et 8,8% un linéaire supérieur ou égal à 3 000 mètres.

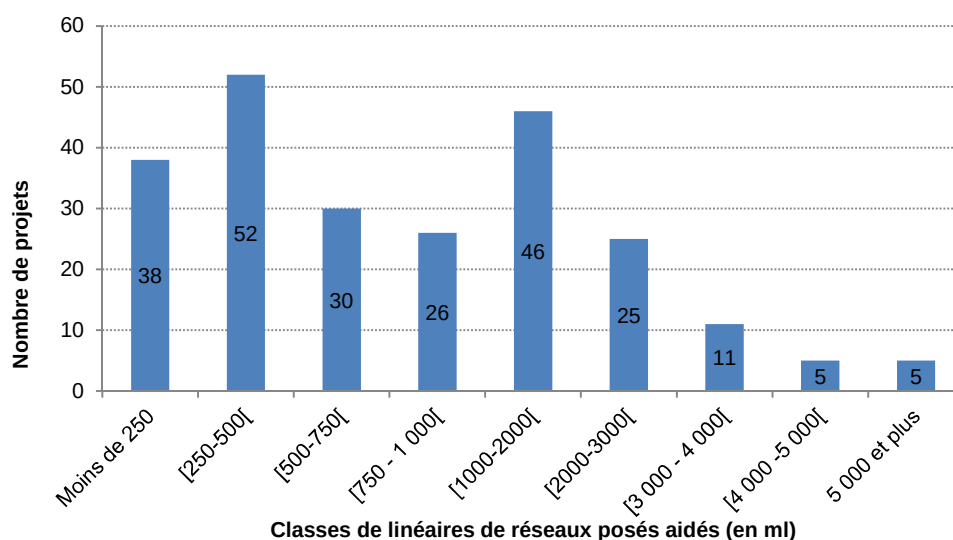
Tableau 8 : Distribution des dossiers étudiés en fonction des linéaires de canalisations posées aidées (source : agence de l'eau RMC, 2016)

Classes de linéaires de réseaux posés aidés par projets en mètres	Nombre de dossiers exploitables	%	% cumulé
Moins de 250	38	16,0%	16,0%
[250-500[	52	21,8%	37,8%
[500-750[	30	12,6%	50,4%
[750 - 1 000[	26	10,9%	61,3%
[1000-2000[	46	19,3%	80,6%
[2000-3000[	25	10,5%	91,1%
[3 000 - 4 000[	11	4,6%	95,7%
[4 000 -5 000[	5	2,1%	97,8%
5 000 et plus	5	2,1%	100,0%
Total général	238	100,0%	

L'histogramme suivant montre la distribution bimodale des classes de linéaires de réseaux posés par projet subventionné par l'agence. Cette série pourrait être décomposée en distinguant les linéaires inférieurs ou bien

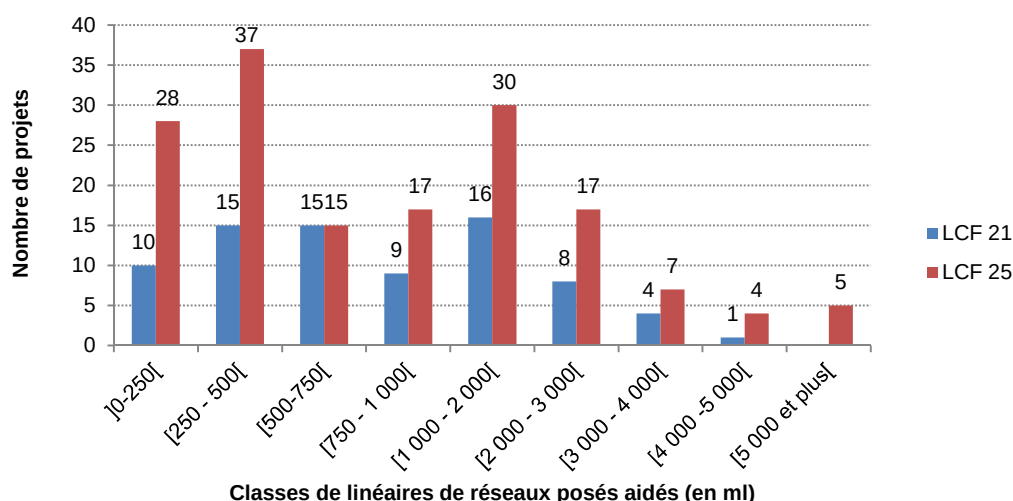
supérieurs ou égaux à 750 mètres. Ainsi, pour chacune de ces distributions, les classes modales⁴⁴ sont [250 - 500[et [1 000 - 2 000[mètres. Dans la suite de l'analyse, les chantiers « courts » (inférieurs à 750 mètres de canalisations) et chantiers « longs » (supérieurs à 750 mètres de canalisations) sont distingués.

Figure 9 Nombre de dossiers d'aide à l'investissement par tranche de linéaire de réseau posé aidé de 2013 à 2016 – opérations soldées ou à solder au 01/08/2016



La répartition des dossiers en fonction des classes de linéaires de canalisations posées aidées varie selon la LCF. Le graphique suivant permet de constater que la distribution bimodale est nettement plus marquée sur la LCF 25 et que les projets relatifs à la LCF 21 sont moins nombreux sur des linéaires totaux supérieurs à 2 000 mètres. Il est important de souligner qu'un projet peut concerner plusieurs communes et plusieurs rues au sein d'une même commune. Par exemple, sur les dix dossiers concernant un linéaire total posé de 4 000 mètres ou plus, 8 concernent des opérations sur plusieurs communes (de 2 à 9 communes).

Figure 10 Nombre de dossiers d'aide à l'investissement par tranche de linéaire de réseau posé aidé selon la LCF de 2013 à 2016 – opérations soldées ou à solder au 01/08/2016



Le tableau suivant permet de croiser pour chacune des opérations étudiées, le linéaire total posé aidé avec le montant retenu. Par exemple, 114 projets (soit 48%) représentent des chantiers courts (<750 mètres) avec des montants inférieurs à 200 000€ HT.

⁴⁴ Une classe modale d'une série statistique est une classe du caractère quantitatif discret correspondant au plus grand effectif (ou à la plus grande fréquence).

Tableau 9 : Distribution des dossiers étudiés en fonction des linéaires de canalisations posées aidées et des tranches de montants retenus (source : agence de l'eau RMC, 2016)

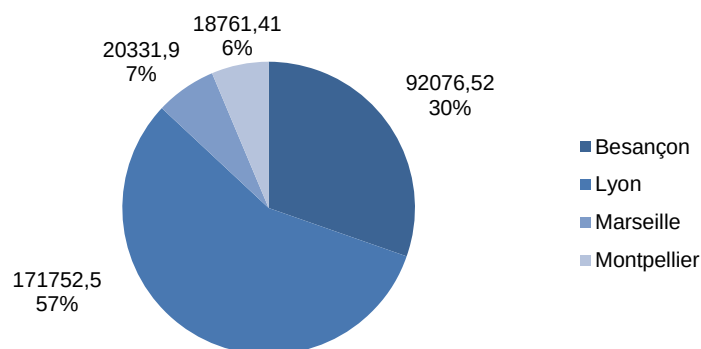
Montant retenu Linéaire posé	Moins de 100 000	[100 000 - 200 000[	[200 000 - 300 000[	[300 000 - 400 000[	[400 000 - 500 000[	[500 000 - 600 000[	600 000 et plus	Total en colonnes
Moins de 250	37			1				38
[250 - 500[	39	12	1					52
[500-750[	14	12	2	2				30
[750-1 000[	10	11	4		1			26
[1 000-2 000[	8	18	12	5	2	1		46
[2 000-3 000[		7	5	4	5	3	1	25
[3 000-4 000[		1	1	1	4		4	11
[4 000-5 000[				1		2	2	5
5 000 et plus							5	5
Total en lignes	108	61	25	14	12	6	12	238

> Analyse selon le linéaire total posé aidé (n=302 922,33 mètres)

72% de ce linéaire est posé afin de renouveler une partie des réseaux (LCF 25) et 28% pour réparer des fuites sur des tronçons identifiés en particulier (LCF 21).

57%⁴⁵ des linéaires de canalisations posées aidées concernent la délégation de Lyon et 30% la délégation de Besançon.

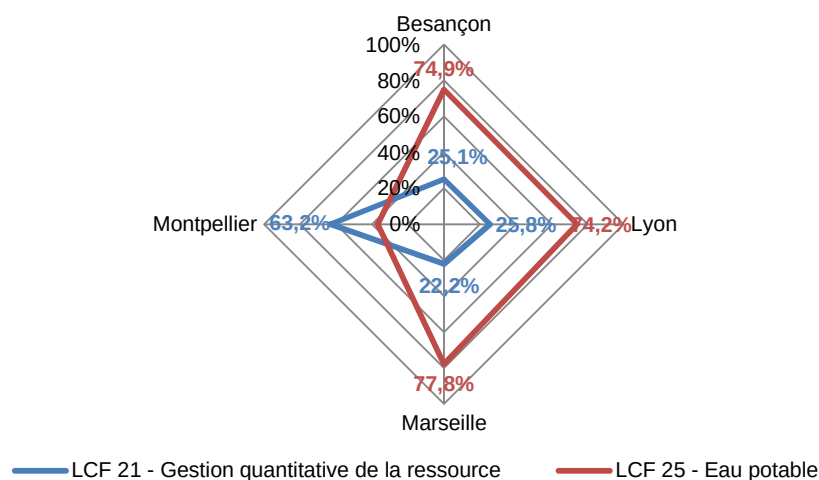
Figure 11 Distribution des linéaires de réseaux posés aidés selon la délégation de 2013 à 2016 – opérations soldées ou à solder au 01/08/2016



Le diagramme en radar met en évidence le fait que contrairement aux autres délégations, les projets aidés pour la délégation de Montpellier sont plus représentés par des opérations sur la LCF 21 (LPS 513 + LPS 521). En effet, 63% du linéaire posé aidé pour la délégation de Montpellier concerne la LCF 21 contre 22% pour celle de Marseille, 25% pour Besançon et 26% pour Lyon.

⁴⁵ Pour la délégation de Lyon, la part observée sur les projets était de 49% ce qui indique que la longueur des réseaux posés est plus élevée.

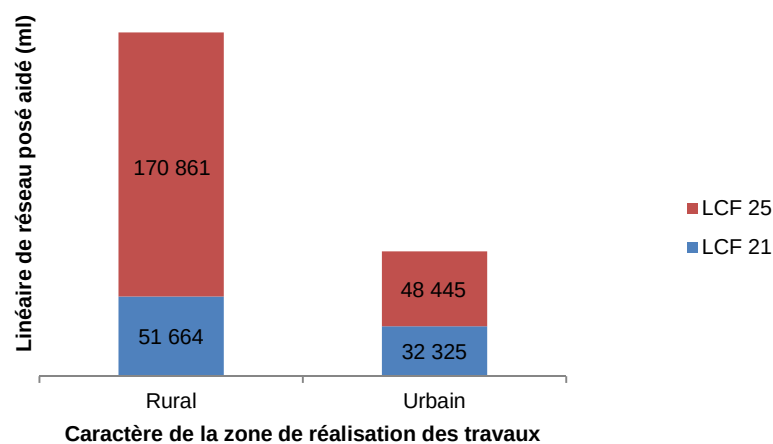
Figure 12 Part de linéaire de réseau posé aidé par LCF en fonction de la délégation de 2013 à 2016 – opérations soldées ou à solder au 01/08/2016



73% du linéaire de réseau aidé a été posé en milieu rural⁴⁶ (222 525/302 922) et 27% en milieu urbain (80 770/302 922).

77% des longueurs de réseaux d'eau potable posés en secteur rural relèvent d'opérations de renouvellement contre 23% dans le cadre d'économies d'eau. Cette différence de proportions est moins prononcée en secteur urbain puisque les parts respectives de ces deux types d'opérations sont de 60% et 40%.

Figure 13 Linéaire de réseau posé aidé selon le caractère rural ou urbain et la LCF de 2013 à 2016 – opérations soldées ou à solder au 01/08/2016⁴⁷

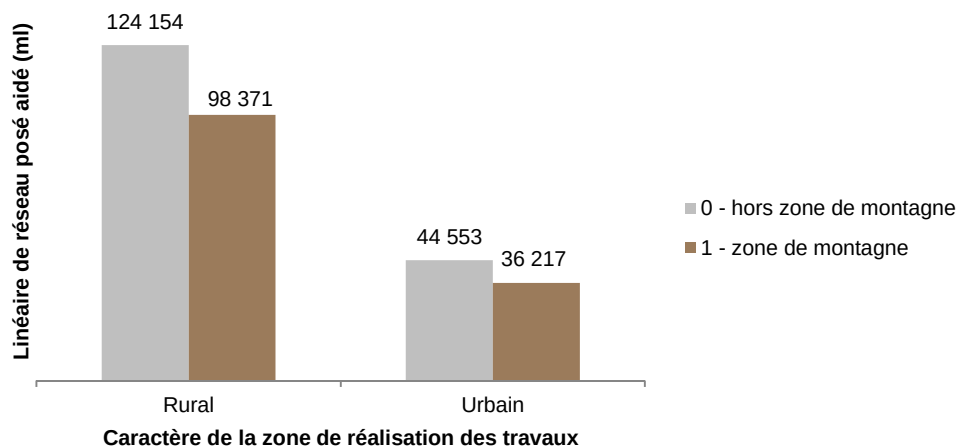


De plus, 44% du linéaire total posé aidé concerne des communes classées en zone de montagne et 56% hors zone de montagne.

⁴⁶ Voir définition des communes rurales, page 16.

⁴⁷ La plupart des communes sur la LCF 25 concernent des communes rurales puisqu'il s'agit d'opérations visant à contribuer à la solidarité avec les collectivités rurales. Or, d'après la typologie des communes de l'INSEE, 49 communes sont considérées comme urbaines, ce qui représente un linéaire total posé aidé de 48 445 mètres.

Figure 14 Linéaire de réseau posé aidé selon la topographie et le caractère rural ou urbain de 2013 à 2016 – opérations soldées ou à solder au 01/08/2016



> Indicateurs de tendance centrale et de dispersion des linéaires

Le linéaire moyen de réseau de canalisation posé aidé par projet permet de mesurer en partie l'ampleur des travaux, que ce soit dans le cadre de renouvellement de réseaux ou de réparation de fuites. Ainsi, ce linéaire moyen calculé à partir des longueurs recensées sur chacun des 1 216 tronçons est estimé à **1 273 mètres** par opération et varie selon les projets de 28 à 13 700 mètres, soit une étendue de 13 672 mètres.

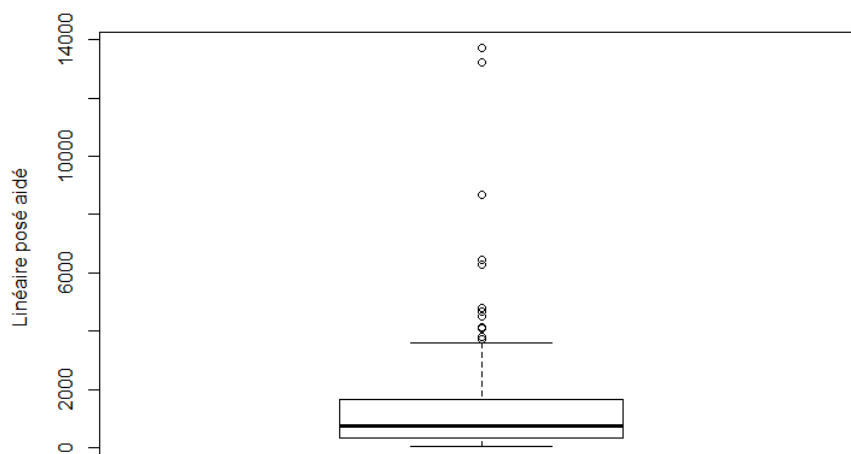
De plus, d'après le tableau 9 présentant la distribution des dossiers étudiés en fonction des linéaires de canalisations posées aidées, 21 projets présentent un linéaire posé aidé supérieur à 3 000 mètres. La valeur médiane (valeur centrale de l'échantillon) est dans ce cas plus significative que la moyenne, car elle est moins influencée par ces valeurs extrêmes. Le linéaire médian s'élève à **739,5 mètres** ; Ainsi, 50% des projets étudiés concernent des chantiers avec un linéaire inférieur à 739,5 mètres (Q2=Médiane). 25% des projets étudiés se rapportent à des chantiers avec un linéaire inférieur ou égal à 326,8 mètres (Q1=1^{er} quartile) et 75% avec un linéaire inférieur ou égal à 1 642 mètres (Q3=3^{ème} quartile).

Résumé statistique de la distribution de linéaires des projets :

Minimum	Quartile 1	Médiane = Quartile 2	Moyenne	Quartile 3	Maximum
28,0	326,8	739,5	1 273,0	1 642,0	13 700,0

Enfin, la boîte à moustache suivante résume ces caractéristiques de position et identifie un certain nombre de valeurs de linéaires extrêmes (**au-delà de 3 700 mètres**). L'utilisation de coûts médians, quartiles ou déciles plutôt que de moyennes permettra d'atténuer l'effet de ces valeurs.

Figure 15 Boîte à moustache du linéaire posé aidé des projets de renouvellement et de réparation de fuites sur les réseaux d'eau potable



Le coefficient de variation⁴⁸, défini comme le rapport entre l'écart-type et la moyenne, est de 1,31. **La dispersion du linéaire total posé aidé par projet autour du linéaire moyen est forte.**

Ce linéaire est très variable d'une délégation à l'autre et d'un département à l'autre. Il est en effet plus élevé pour la délégation de Lyon (près de 1 468 mètres) et plus faible pour les délégations de Marseille (726 mètres) et Montpellier (957 mètres). Cette variabilité est certainement liée à une multitude de paramètres combinés tels que le type d'opération (renouvellement ou économie d'eau), le caractère rural ou urbain, la topographie du site, etc.

D'après les données issues de l'échantillon, le linéaire moyen de réseau posé aidé est estimé à **1 077 mètres** pour les opérations **sur la LCF 21** (réparation des fuites) et à **1 368 mètres** sur la **LCF 25** (renouvellement de réseaux). Le linéaire médian est très proche d'une LCF à l'autre : il est évalué à **725 mètres sur la LCF 25** et à **743 mètres sur la LCF 21**. Les opérations sur la LCF 25 comportent certainement des chantiers très longs tirant ainsi la moyenne vers le haut. En effet, deux projets de renouvellement se dégagent nettement des autres avec des linéaires posés supérieurs à 13 000 mètres (et des montants retenus compris entre 500 000 et 700 000 euros). De ce fait, les moyennes calculées précédentes sont influencées par ces valeurs extrêmes.

Afin de vérifier si les linéaires moyens estimés diffèrent selon la LCF, une analyse de variance à un facteur est réalisée.

Résumé statistique de la distribution des linéaires pour les projets relevant de la LCF 21 :

Minimum	Quartile 1	Médiane = Quartile 2	Moyenne	Quartile 3	Maximum
58,0	330,0	725,0	1 077,0	1 418,0	4 073,0

Résumé statistique de la distribution des linéaires pour les projets relevant de la LCF 25 :

Minimum	Quartile 1	Médiane = Quartile 2	Moyenne	Quartile 3	Maximum
28,0	331,2	743,5	1 368,0	1 749,0	13 700,0

Conditions d'application de l'analyse de la variance (linéaire posé aidé de canalisation par projet en fonction de la LPS)

Le test de Student (ou t-test) est utilisé pour comparer les linéaires moyens posés des deux groupes d'échantillons indépendants (LCF 21 / LCF 25). La p-value étant supérieure à 0,05, le test est non significatif et

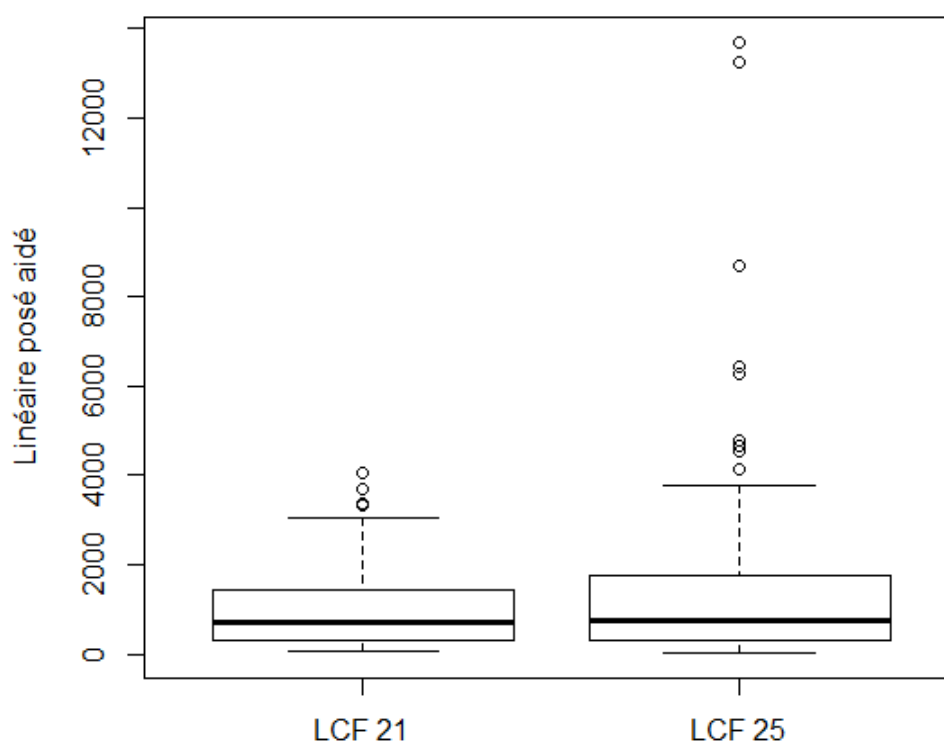
⁴⁸ L'écart-type seul ne permet le plus souvent pas de juger de la dispersion des valeurs autour de la moyenne. Un coefficient de variation correspondant au rapport de l'écart-type sur la moyenne est alors calculé. Plus la valeur du coefficient de variation est élevée, plus la dispersion autour de la moyenne est grande. Ce nombre est sans unité et permet la comparaison séries de données d'unités différentes.

conduit à accepter l'hypothèse nulle (H_0) selon laquelle les deux groupes indépendants (LCF 21 / LCF 25) ont des linéaires moyens posés aidés équivalents, avec un seuil de signification (risque d'erreur) de 5%. La différence observée de 291 mètres entre les LCF 21 et 25 n'est pas significative et peut donc être expliquée par un pur effet du hasard.

Test de Student de comparaison des linéaires moyens posés aidés entre la LCF 21 et la LCF 25 :

Two Sample t-test
 alternative hypothesis: true difference in means is not equal to 0
 95 percent confidence interval : [-660,49384 - 77,39817]
 t = -1,5568 df = 235,48 **p-value = 0,1209**

Figure 16 Boîtes à moustaches du linéaire posé aidé des projets de renouvellement et de réparation de fuites sur les réseaux d'eau potable en fonction de la LCF



Conclusion : le linéaire moyen posé de canalisation n'est significativement pas plus important dans le cadre d'opérations de renouvellement du patrimoine de réseaux d'eau potable plutôt que dans celui d'économie d'eau sur les réseaux.

4.2.4 Composition et diamètre des canalisations posées aidées

4.2.4.1 Compositions des canalisations posées aidées

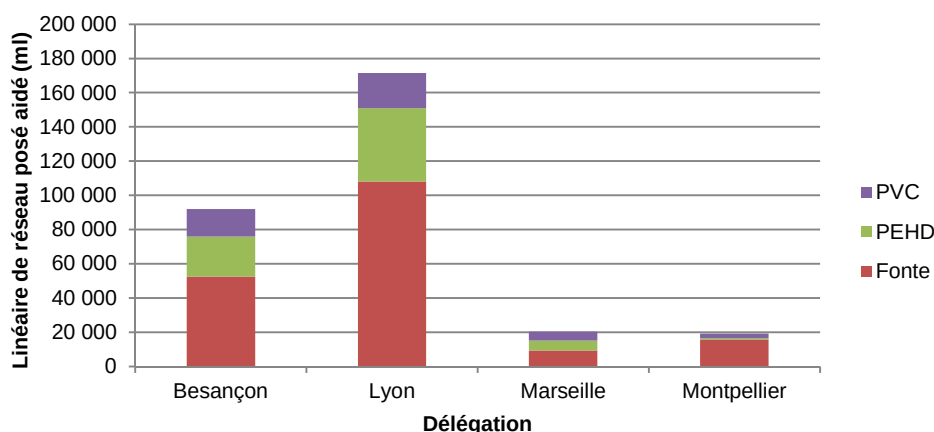
L'étude des matériaux est fiable et aisée à présenter puisque 100% des linéaires posés aidés sont connus sur ce plan, après consultation des décomptes généraux définitifs ou d'autres pièces financières des dossiers. Le matériau posé dominant est la fonte ductile avec 61% des longueurs posées aidées. Le PEHD et le PVC représentent respectivement 24% et 15% du linéaire posé aidé. Le béton étant très faiblement représenté (0,1%), il n'apparaît pas sur les graphiques présentés par la suite.

Tableau 10 : Linéaire de réseau posé aidé en fonction du matériau (source : agence de l'eau RMC, 2016)

Matériau	Linéaire de canalisation (en mètres)	% en lignes
Fonte ductile	184 899,52	61,0%
PEHD	72 963,26	24,1%
PVC	44 793,55	14,8%
Béton	266,00	0,1%
Total	302 922,33	100,0%

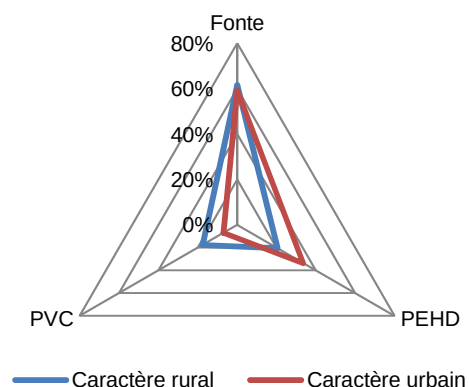
Des différences géographiques dans l'utilisation des matériaux sont constatées notamment pour la fonte et le PVC. La part de fonte est plus élevée dans les départements de la délégation de Montpellier (81%), en particulier pour l'Aude. La part de PVC est un peu plus élevée pour les départements de la délégation de Marseille (26%), majoritairement en Corse-du-Sud mais ce résultat est à prendre avec précaution car l'échantillon ne concerne que quatre opérations situées dans ce département.

Figure 17 Linéaire de réseau posé aidé par matériau en fonction des délégations de 2013 à 2016 - Opérations soldées ou à solder au 01/08/2016



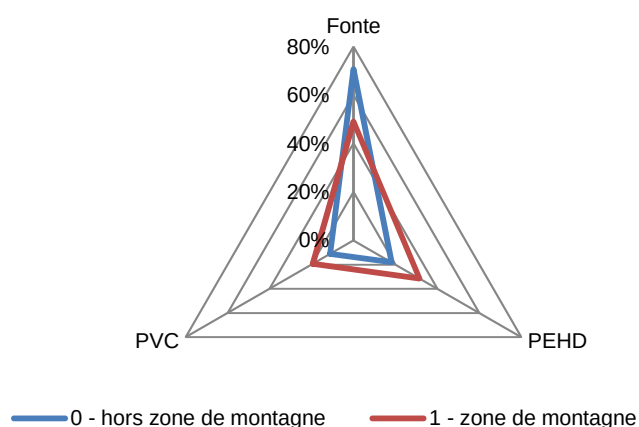
La part de PEHD est un peu plus importante en milieu urbain (33,6%) tandis que la part de PVC l'est un peu plus en milieu rural (17,6%). La présence de ces matériaux et leur distribution concentrée en secteurs bien définis peut s'expliquer par la présence de fabricants ou des choix individuels mais cette hypothèse ne peut être vérifiée car les linéaires posés aidés par l'agence ne représentent qu'une partie de l'ensemble des linéaires posés sur les deux bassins.

Figure 18 Part de linéaire de réseau posé aidé par matériau en fonction du caractère urbain ou rural des communes de 2013 à 2016 - Opérations soldées ou à solder au 01/08/2016



Des différences dans les matériaux utilisés en zone de montagne et zone de plaine sont constatées. Pour les communes classées en zone de montagne, le PEHD est plus représenté (31,5% contre 24,1% en moyenne) tandis que pour celles classées hors zone de montagne, c'est la fonte qui prédomine (70,7% contre 61,1% en moyenne).

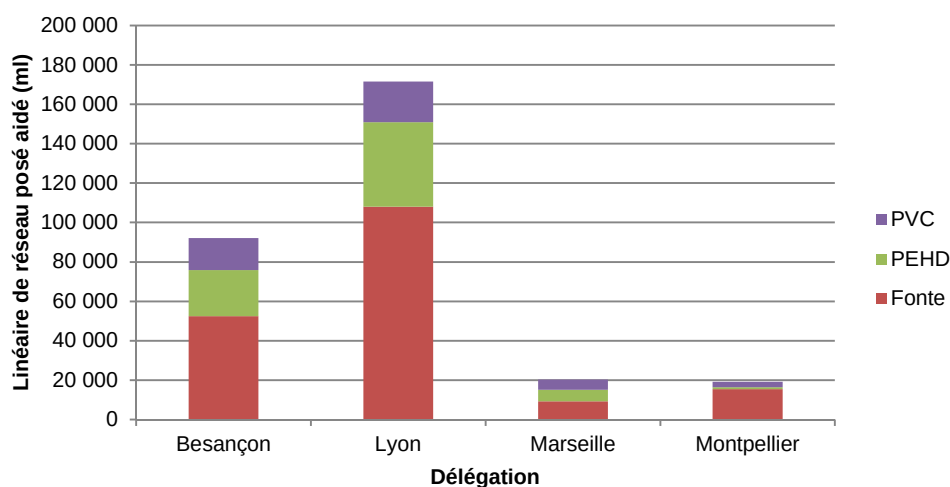
Figure 19 Part de linéaire de réseau posé aidé par matériau en fonction des communes classées en zone de montagne ou hors zone de montagne de 2013 à 2016 - Opérations soldées ou à solder au 01/08/2016



4.2.4.2 Diamètres des canalisations posées aidées

52% des linéaires de réseau posé aidé présentent un diamètre compris entre 100 et 200 mm et 36% sont inférieurs à 100 mm. La majorité des linéaires concerne des diamètres inférieurs à 200mm ; 8% sont compris entre 200 et 300 mm et 3% entre 300 et 500 mm.

Figure 20 Linéaire de réseau posé aidé par matériau en fonction des classes de diamètres de 2013 à 2016
- opérations soldées ou à solder au 01/08/2016



Conclusion : Il existe un lien entre la composition et le diamètre des canalisations. En effet, la fonte est le matériau principal utilisé pour les diamètres supérieurs ou égaux à 100 mm alors que le PEHD et le PVC représentent respectivement 52% et 27% des canalisations de diamètres inférieurs à 100 mm.

4.2.5 Volumes d'eau économisés estimés

Le volume d'eau économisé à l'année étant directement lié à l'objectif environnemental de réduction des prélèvements dans les ressources fragiles, il apparaît nécessaire d'étudier cette variable, déclarée par les collectivités, de manière exhaustive sur l'ensemble des projets de l'échantillon, relatifs aux réparations des fuites sur les réseaux d'eau potable (LCF 21).

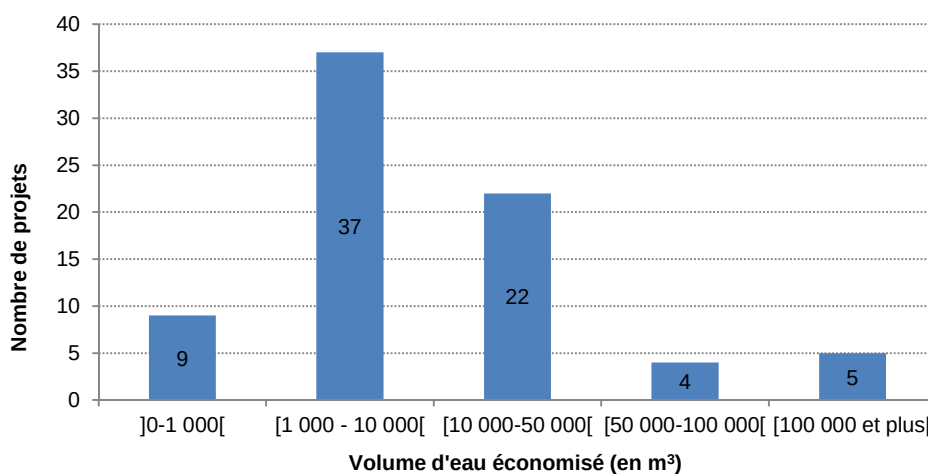
Les volumes étant renseignés à 36% sur l'ensemble des projets étudiés de renouvellement de réseaux pour la LCF 25, ils ne sont donc pas étudiés. Surtout, ce type d'opération est davantage lié à un objectif premier de renouvellement de patrimoine plutôt que d'économie d'eau. Les statistiques présentées sont réalisées à partir de **77 projets**, présentant des volumes non nuls sur la LCF 21. Une valeur aberrante (nulle) a en effet été retirée.

> Analyse selon le nombre de projets (n=77)

Sur les 77 projets étudiés relatifs à la LCF 21, un volume total de **1 528 958 m³** a été déclaré⁴⁹ ; ce volume ne correspond pas à l'ensemble des économies d'eau réalisées sur les bassins Rhône-Méditerranée et de Corse au cours du 10^{ème} programme. En effet, il prend en compte uniquement les opérations de réparation de fuites sur les canalisations d'eau potable qui étaient soldées en juillet 2016. Ainsi, l'échantillon des 77 projets représente 7% des projets financés par l'agence de l'eau sur la LCF 21 entre 2013 et juillet 2016. Les dossiers de l'appel à projet lancé en 2015 sont sous-représentés car la part de dossiers soldés est moins importante sur les dernières années étudiées (projets plus récents et pas encore achevés).

⁴⁹ Ce volume économisé concerne uniquement les projets de l'échantillon ; il ne couvre donc pas la totalité des projets financés par l'agence.

Figure 21 Nombre de dossiers d'aide à l'investissement par tranche de volume d'eau économisé à l'année pour les travaux de réparation de fuites (LCF 21) de 2013 à 2016 - opérations soldées ou à solder au 01/08/2016



> Indicateurs de tendance centrale et de dispersion des volumes économisés (n=77)

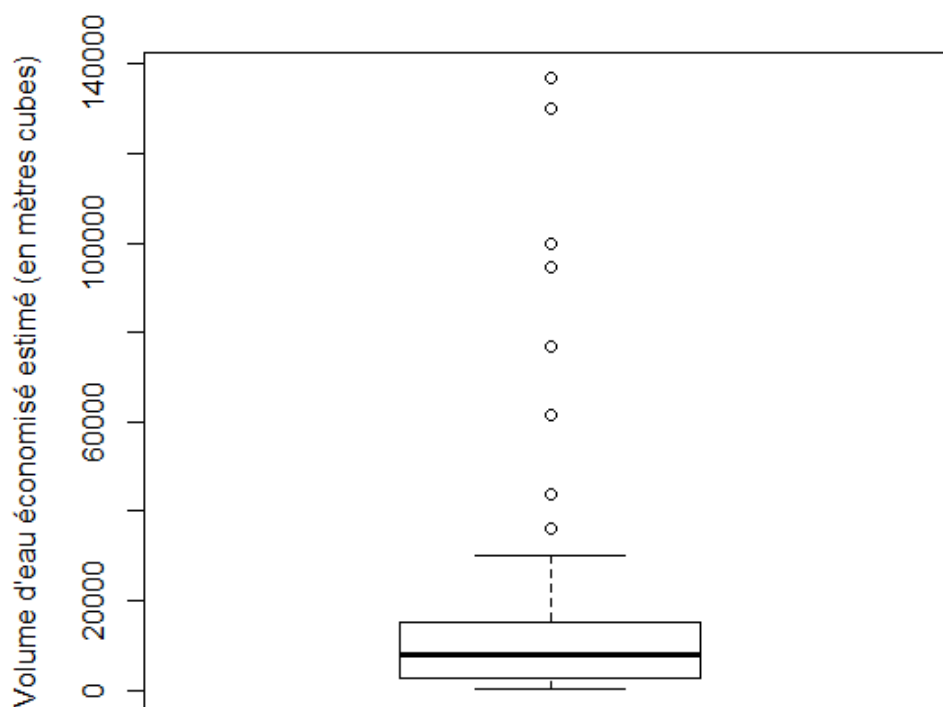
En moyenne, le volume d'eau économisé déclaré par les collectivités est estimé à **19 860 m³** par projet étudié. Il est très variable d'une délégation à l'autre et apparaît plus élevé pour les délégations de Montpellier (11 projets pour un volume moyen par projet de 46 542 m³) et Lyon (32 projets pour un volume moyen de 21 623 m³) et plus faible pour les délégations de Besançon (23 projets pour un volume moyen de 10 563 m³) et de Marseille (11 projets pour un volume moyen de 7 465 m³). Cette variabilité est certainement liée au contexte local et aux zones identifiées comme étant en déséquilibre quantitatif relatif par rapport aux prélèvements d'eau.

Le volume économisé médian (**8 000 m³**) est nettement moins élevé que la moyenne (19 860 m³). Ainsi, pour 50% des projets étudiés, le volume déclaré est inférieur ou égal à cette valeur (Q2). 25% des projets étudiés concernent des volumes inférieurs ou égaux à 2 500 m³ (Q1). 75% des projets concernent des volumes inférieurs ou égaux à 15 000 m³ (Q3). 9 projets présentent un volume économisé supérieur ou égal à 50 000 m³. Ce volume varie de 200 à 137 000 m³, soit une étendue de 136 800 m³. Le coefficient de variation est de 1,65, ce qui révèle une dispersion forte des valeurs autour du volume moyen économisé.

Résumé statistique de la distribution des volumes économisés (non nuls) pour les projets relevant de la LCF 21 :

Minimum	Quartile 1	Médiane = Quartile 2	Moyenne	Quartile 3	Maximum
200	2 500	8 000	19 860	15 000	137 000

Figure 22 Boîte à moustaches du volume d'eau économisé des projets de renouvellement et de réparation de fuites sur les réseaux d'eau potable



Conclusion : les opérations d'économie d'eau potable affichent un volume moyen économisé estimé à 19 860 m³.

4.2.6 Rendement estimé du réseau

Réduire les fuites dans les réseaux d'eau potable : de nouvelles obligations réglementaires depuis 2012

La loi Grenelle 2 et son décret d'application du 27 janvier créent une obligation de performance minimum des réseaux d'eau potable. Les collectivités doivent avoir établi un inventaire de leur patrimoine réseaux depuis fin 2013 et défini un plan d'actions d'amélioration lorsque le rendement du réseau est inférieur au seuil minimum fixé par le décret 85 % pour les collectivités urbaines et entre 65 et 80 % pour les communes rurales. Les collectivités qui ne satisfont pas l'une de ces deux obligations verront doubler leur redevance pour prélèvement payée à l'agence de l'eau.

Le rendement du réseau de distribution, exprimé en pourcentage, correspond au rapport entre le volume d'eau consommé par les usagers et le service public et le volume d'eau potable d'eau introduit dans le réseau de distribution.

Le rendement initial (avant travaux) a été estimé à partir des informations recueillies à partir des documents techniques des dossiers d'aide à l'investissement. Les valeurs des rendements sont renseignées à 49% sur l'ensemble des projets étudiés de l'échantillon et portent ainsi sur **116 projets**.

> Indicateurs de tendance centrale et de dispersion des rendements (n=116)

Sur la base des **116 projets** issus de l'échantillon, le rendement initial du réseau déclaré par les collectivités est estimé en moyenne à **64,7%**.

Le rendement médian (Q2) est relativement proche du rendement moyen puisqu'il s'élève à **66,8%**. 25% des projets étudiés concernent des rendements inférieurs ou égaux à 55% (Q1). 75% des projets concernent des rendements inférieurs ou égaux à 75% (Q3). Ce rendement varie de 9,3 à 92,2%, soit une étendue de près de 83%. Le coefficient de variation est de 0,24, ce qui s'avère être une dispersion très faible des valeurs autour du

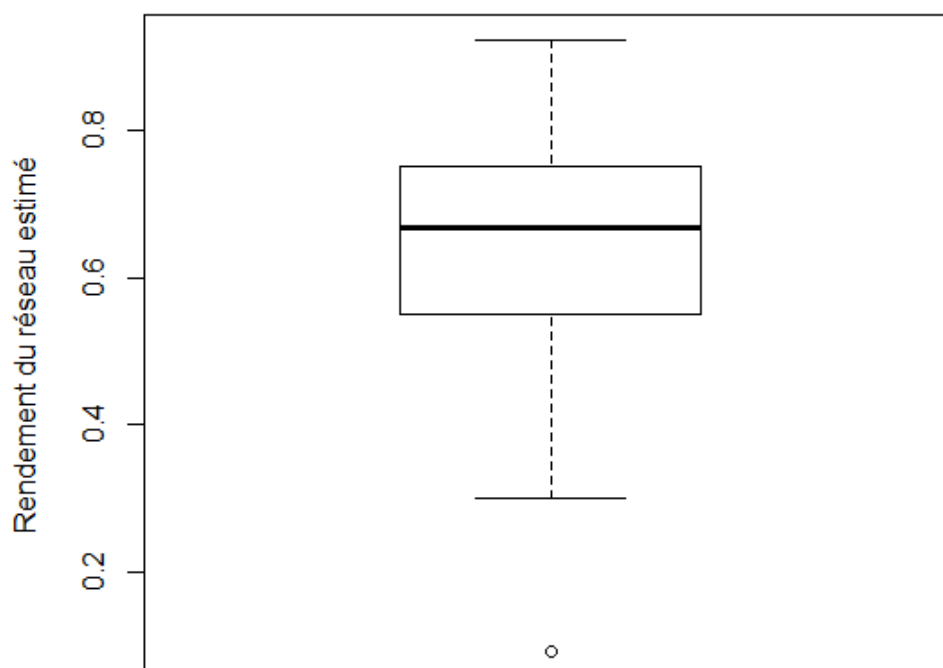
rendement moyen estimé. Les rendements observés sont donc très proches de la moyenne et 75% des projets présentent un rendement estimé entre 55% et 75%.

Résumé statistique de la distribution des rendements

(les valeurs doivent être multipliées par 100 pour être exprimées en pourcentages)

Minimum	Quartile 1	Médiane = Quartile 2	Moyenne	Quartile 3	Maximum
0,0930	0,5500	0,6685	0,6467	0,7500	0,9220

Figure 23 Boîte à moustaches du rendement de réseau des projets de renouvellement et de réparation de fuites sur les réseaux d'eau potable



D'après les données de l'échantillon d'étude, le rendement est plus faible pour les projets de réparation de fuites (59,8%) que pour le renouvellement des réseaux (69,6%).

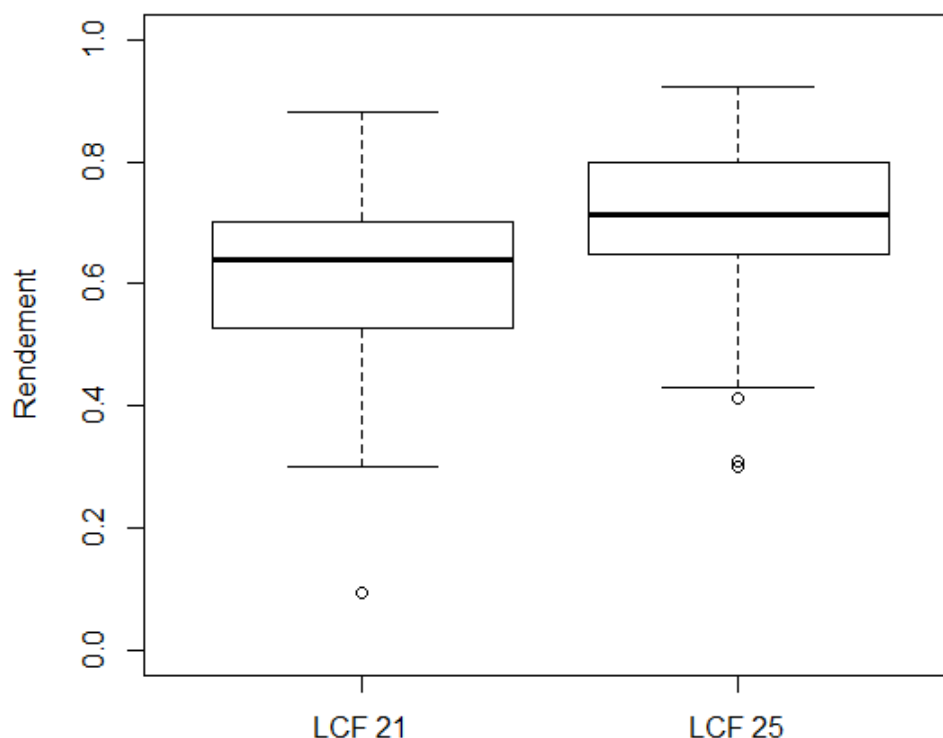
Résumé statistique de la distribution des rendements pour les projets relevant de la LCF 21 :

Minimum	Quartile 1	Médiane = Quartile 2	Moyenne	Quartile 3	Maximum
0,0930	0,5270	0,6400	0,5985	0,7020	0,8800

Résumé statistique de la distribution des rendements pour les projets relevant de la LCF 25 :

Minimum	Quartile 1	Médiane = Quartile 2	Moyenne	Quartile 3	Maximum
0,3000	0,6500	0,7120	0,6965	0,8000	0,9220

Figure 24 Boîte à moustaches du rendement de réseau des projets de renouvellement et de réparation de fuites en fonction de la LCF



Une analyse de variance à un facteur permet de démontrer que les rendements moyens estimés diffèrent significativement selon la LCF.

Conditions d'application de l'analyse de la variance (rendement estimé par projet en fonction de la LPS)

Le test de Student de comparaison des rendements moyens entre les projets de la LCF 21 et ceux de la LCF 25 se révèle significatif ($p \leq 0,05$) ; l'hypothèse nulle (H_0) selon laquelle les deux groupes indépendants ont des rendements moyens estimés équivalents est rejetée avec un risque d'erreur de 5%. **La différence observée de 10% entre les rendements de la LCF 21 et de la LCF 25 est significative.**

Test de Student de comparaison des rendements moyens entre la LCF 21 et la LCF 25 :

```
Two Sample t-test
alternative hypothesis: true difference in means is not equal to 0
95 percent confidence interval : [-0,15181347 - 0,04427365]
t = -3,6126          df = 112,72          p-value = 0,0004543
```

Sur l'échantillon, le rendement est estimé à 63,6% pour les collectivités urbaines et à 65,1% pour les collectivités rurales.

Résumé statistique de la distribution des rendements pour les projets des collectivités urbaines :

Minimum	Quartile 1	Médiane = Quartile 2	Moyenne	Quartile 3	Maximum
0,0930	0,5500	0,6635	0,6360	0,7432	0,8800

Résumé statistique de la distribution des rendements pour les projets des collectivités rurales :

Minimum	Quartile 1	Médiane = Quartile 2	Moyenne	Quartile 3	Maximum
0,3000	0,5500	0,6600	0,6508	0,7500	0,9220

Une analyse de variance à un facteur du rendement est également effectuée pour vérifier si le rendement moyen estimé diffère selon le caractère urbain ou rural des collectivités aidées.

Conditions d'application de l'analyse de la variance (rendement estimé par projet en fonction du caractère urbain ou rural)

Le test de Student de comparaison des moyennes de deux groupes d'échantillons indépendants (caractère urbain / caractère rural) n'est pas significatif ($p > 0,05$) ; l'hypothèse nulle (H_0) selon laquelle ces deux groupes ont des rendements moyens estimés équivalents est acceptée avec un risque d'erreur de 5%. **La différence observée de 1,5% entre les rendements des collectivités urbaines et rurales n'est pas significative.**

Test de Student de comparaison des rendements moyens entre caractère rural et urbain :

```
Two Sample t-test
alternative hypothesis: true difference in means is not equal to 0
95 percent confidence interval : [-0,07229207 - 0,04257949]
t = -0,51257          df = 110,63          p-value = 0,6093
```

Conditions d'application de l'analyse de la variance (rendement estimé par projet en fonction de la topographie)

De plus, le test de Student est significatif ($p \leq 0,05$) ; les collectivités classées en zone de montagne ou non présentent des rendements moyens estimés différents. **Le rendement est plus faible (60,2%) pour les communes classées en zone de montagne que pour les autres (66,7%).**

Test de Student de comparaison des rendements moyens entre zone de montagne ou hors zone de montagne :

```
Two Sample t-test
alternative hypothesis: true difference in means is not equal to 0
95 percent confidence interval : [-0,12319837 - -0,00615334]
t = -2,1968          df = 86,362          p-value = 0,03071
```

Conclusion : un quart des projets concernent des rendements inférieurs à 55% et la moitié des rendements compris entre 55% et 75%. Le rendement du réseau AEP de la collectivité dépasse 85% pour 5% des projets (1 sur la LCF 21 et 5 sur la LCF 25). Les données collectées ne permettent pas d'étudier le gain de rendement visé par les travaux. Le rendement initial estimé est significativement plus faible pour les projets de réduction de fuites sur les réseaux d'eau potable, dont l'objectif principal est de contribuer à l'amélioration des performances du réseau de distribution d'eau et à la réduction des volumes prélevés.

4.2.7 Autres variables de performance

L'ICGP⁵⁰, l'ILP⁵¹ et le TMR⁵² étant respectivement renseignées à 8%, 28% et 6% dans les dossiers, aucune statistique n'a été calculée sur ces trois variables. Toutefois, il est possible de disposer de ces informations à partir des données de l'agence sur les redevances mais uniquement pour les années 2014 et 2015, ce qui ne couvre pas l'ensemble des projets de l'échantillon. De ce fait, ces données n'ont pas été étudiées dans le cadre de cette étude.

⁵⁰ Indice de connaissance de gestion patrimoniale.

⁵¹ Indice de perte linéaire.

⁵² Taux moyen de renouvellement des réseaux.

Intitulé de la variable	Niveau d'information ⁵³		
	Données étude coûts AEP	Données redevances en 2014	Données redevances en 2014
Indice de connaissance de gestion patrimoniale (ICGP)	8%	89,5%	89,5%
Rendement estimé	49%	89,5%	89,5%
Indice de perte linéaire (ILP)	28%	-	-
Taux moyen de renouvellement des réseaux (TMR) ⁵⁴	6%	-	-

4.3 ANALYSE TECHNIQUE DU COÛT DES PROJETS

4.3.1 Identification des variables explicatives

Afin d'identifier les principaux indicateurs influençant le coût des projets, un travail de modélisation statistique a été effectué à partir des données issues des dossiers retenus.

Cette étude consiste à déterminer un modèle⁵⁵ visant à chercher à expliquer les différences de coûts de réparation de fuites et de renouvellement des canalisations sur les réseaux d'eau potable.

Pour cela, deux types de modélisations sont abordées en fonction du type des variables explicatives X_i : la régression linéaire (X_i quantitative) et l'analyse de la variance (X_i qualitative) qui a été abordée dans une section précédente.

Régression linéaire : les différentes étapes

Une régression linéaire cherche à expliquer un phénomène et à le prédire, avec une marge d'erreur plus ou moins importante selon les modèles.

Pour réaliser une régression linéaire, il est nécessaire de procéder par étapes.

Tout d'abord, il faut choisir un modèle parmi les modèles possibles. Si plusieurs X_i se présentent, la sélection de variables, en régression multiple avec ou sans interaction (variables supplémentaires définies comme produits des variables de départ), est une étape souvent délicate.

Il s'agit de tester dans un premier temps l'existence d'une corrélation entre X_i et Y .

Si un lien existe et que le nombre de données est suffisamment important ($n > 30$), la relation fonctionnelle entre la variable à expliquer et la ou les variables explicatives peut être modélisée par une courbe de tendance d'équation $Y_i = a + bX_i$ où a représente l'ordonnée à l'origine et b le coefficient directeur de la droite (pente). Cette étape consiste donc à déterminer les paramètres du modèle, c'est-à-dire trouver la valeur de ces coefficients dans la ou les équations de régression.

L'objectif final est de pouvoir expliquer un phénomène voire de le prédire, avec une marge d'erreur plus ou moins importante selon les modèles.

Après, il faut tester la qualité générale du modèle, tester la nullité des coefficients, et analyser l'ajustement du modèle aux données par l'analyse des résidus.

⁵³ Le niveau d'information correspond au rapport du nombre de projets (dossiers) pour lesquels la variable était renseignée dans les dossiers sur le nombre total de dossiers étudiés. Il est exprimé en pourcentages.

⁵⁴ Cet indicateur permet d'apprécier l'activité du service en matière de remplacement des conduites. Ce taux doit être apprécié en fonction du contexte du service : d'une part l'historique de pose du réseau impacte fortement les besoins en renouvellement et d'autre part, les remplacements de canalisations ne sont pas uniquement liés à la problématique de pertes (qualité de l'eau par exemple).

⁵⁵ De manière générale, la précision des résultats issus d'un modèle dépend non seulement de la quantité et de la qualité des données d'entrée utilisées mais aussi du calage réalisé, qui constitue un critère de fiabilité et de pertinence des résultats obtenus.

Le calage du modèle consiste à comparer les résultats des simulations aux valeurs observées sur une période donnée. Une fois la qualité des résultats obtenus pour un scénario connu vérifiée, le modèle pourra être utilisé pour simuler d'autres scénarios pour lesquels aucune mesure n'existe.

Chaque type de régression (linéaire, logistique) a ses propres calculs et estimateurs pour la détermination du modèle via la sélection de variables, le ou les tests de qualité de la régression, l'analyse des résidus. De plus, les variables X_i doivent parfois vérifier certaines conditions (normalité, non colinéarité, non multi-colinéarité, etc.) pour qu'on ait le droit d'utiliser le modèle.

Les variables explicatives X_i testées au final pour cette étude de coût sont :

- **le linéaire de réseau posé aidé par projet,**
- **le nombre de branchements par projet,**
- **le type d'opération (LCF),**
- **la délégation,**
- **le caractère rural ou urbain,**
- **la topographie (zone de montagne),**
- **la composition et le diamètre des canalisations posées,**
- **et le volume d'eau économisé.**

Cette section présente donc les hypothèses sous-jacentes ainsi que les résultats des différents traitements statistiques pour chaque variable testée, toutes choses étant égales par ailleurs. Cette démarche vise principalement à écarter l'explication consistant à imaginer un ou plusieurs autres critères dont résulterait le coût du projet. Il faudrait théoriquement prendre en compte tous les facteurs intervenant dans le coût d'un projet mais il est évidemment impossible matériellement de considérer l'ensemble des facteurs explicatifs de coût. Un choix s'est donc imposé et les facteurs finalement retenus relèvent des informations observées et collectées de manière rigoureuse et exhaustive.

Interactions entre variables explicatives :

Avant de présenter ces analyses, il est important de tester l'existence d'un lien statistique pouvant exister entre ces variables explicatives pour identifier des interactions éventuelles.

L'effet de chaque variable explicative (indépendante) X_i est considéré comme constant quel que soit la valeur prise par les autres variables indépendantes. La possibilité existe pourtant que l'effet de X_i ne soit pas constant, mais varie en fonction des valeurs prises par une des autres variables indépendantes introduite dans le modèle. Par exemple, que l'effet de X_1 diffère selon la valeur prise par X_2 (interaction entre X_1 et X_2). Pour vérifier ces interactions, le lien entre ces variables explicatives est mesuré grâce à deux tests : le test de contingence et le test de corrélation linéaire.

Test de khi-deux de Pearson (ou de contingence)

Le test de khi-deux de contingence permet de tester le lien statistique entre deux variables qualitatives. L'hypothèse d'indépendance selon laquelle il n'existe pas de différence significative entre ces deux variables, est testée. En général, l'hypothèse d'indépendance est acceptée lorsque p-value est supérieure à 0,05.

En l'occurrence, si la p-value est inférieure à 0,001, l'hypothèse d'indépendance est largement rejetée et il est alors possible d'affirmer avec moins d'une chance sur mille de se tromper qu'il existe un lien statistique entre les lignes et les colonnes du tableau de contingence (croisant les modalités des deux variables qualitatives).

Le tableau suivant présente les résultats du test de khi-deux des variables explicatives qualitatives décrivant chacun des projets de l'échantillon. Pour la composition et le diamètre des canalisations, mesurés au niveau de chaque tronçon, il existe également une corrélation (voir paragraphe 4.2.4).

Tableau 11 Résultats du test de khi-deux de contingence des variables explicatives (source : agence de l'eau RMC, 2016)

	Délégation	Type d'opération	Caractère	Topographie
Délégation		p-value = 0,06621	p-value = 0,0000667	p-value = 0,0000008564
Type d'opération (LCF)	p-value = 0,06621		p-value = 0,0000169	p-value = 0,9725
Caractère	p-value*** = 0,0000667	p-value*** = 0,0000169		p-value = 0,05837
Topographie	p-value*** = 0,0000008564	p-value = 0,9725	p-value = 0,05837	

 signif. codes: 0 '***' 0,001 '**' 0,01 '*' 0,05

Il existe un lien statistique entre le caractère rural ou urbain d'un projet et la délégation. Pour la délégation de Besançon, plus de trois quarts des projets concernent des communes rurales. Près de la moitié des projets de la délégation de Lyon se situent en milieu rural. Les projets des délégations de Montpellier et Marseille sont plutôt à dominante urbaine.

Tableau 12 : Part des dossiers selon le caractère rural ou urbain par délégation (source : agence de l'eau RMC, 2016)

Délégation	Rural	Urbain	Total
Besançon	76,4%	23,6%	100,0%
Lyon	49,5%	50,5%	100,0%
Marseille	31,8%	68,2%	100,0%
Montpellier	36,8%	63,2%	100,0%
Total	55,4%	44,6%	100,0%

De même, le caractère rural ou urbain et le type d'opération sont liés statistiquement. En effet, les opérations d'économies d'eau concernent davantage des communes urbaines alors que le renouvellement des infrastructures se rapporte plus aux communes rurales, dans le cadre de la solidarité avec les collectivités rurales.

Tableau 13 : Part des dossiers selon le caractère rural ou urbain par LCF (source : agence de l'eau RMC, 2016)

LCF	Rural	Urbain	Total
LCF 21	35,1%	64,9%	100,0%
LCF 25	66,2%	33,8% ⁵⁶	100,0%
Total	55,4%	44,6%	100,0%

Enfin, il existe un lien entre la topographie et la délégation. Les projets des délégations de Marseille, Besançon et Montpellier se situent davantage hors zone de montagne alors que pour la délégation de Lyon, deux tiers des projets sont localisés en zone de montagne.

Tableau 14 : Part des dossiers selon la topographie par délégation (source : agence de l'eau RMC, 2016)

Délégation	Zone de montagne	Hors zone de montagne	Total
Besançon	27,8%	72,2%	100,0%
Lyon	66,1%	33,9%	100,0%
Marseille	18,2%	81,8%	100,0%
Montpellier	31,6%	68,4%	100,0%
Total	45,9%	54,1%	100,0%

⁵⁶ Certains dossiers de la LCF 25 sont en zone urbaine d'après la définition de l'INSEE mais sont éligibles aux aides de la solidarité rurale. Voir définition des communes rurales, page 16.

Test de corrélation linéaire de Spearman

Le test de corrélation est utilisé pour évaluer une association (dépendance) entre deux variables quantitatives. Le test de nullité du coefficient de corrélation de Spearman est testé.

Le coefficient de corrélation mesuré entre le linéaire de réseau posé aidé et le nombre de branchements est de 0,6 et l'existence d'un lien significatif entre ces deux variables est démontré ($p\text{-value} < 2,2 \text{ e-}16$).

En revanche, le coefficient de corrélation entre le linéaire et le volume d'eau économisé est faible (0,3), soit une liaison très faible entre ces deux variables.

Il est important de prendre en considération ces éléments d'interaction entre variables explicatives dans la modélisation et dans les conclusions de l'analyse.

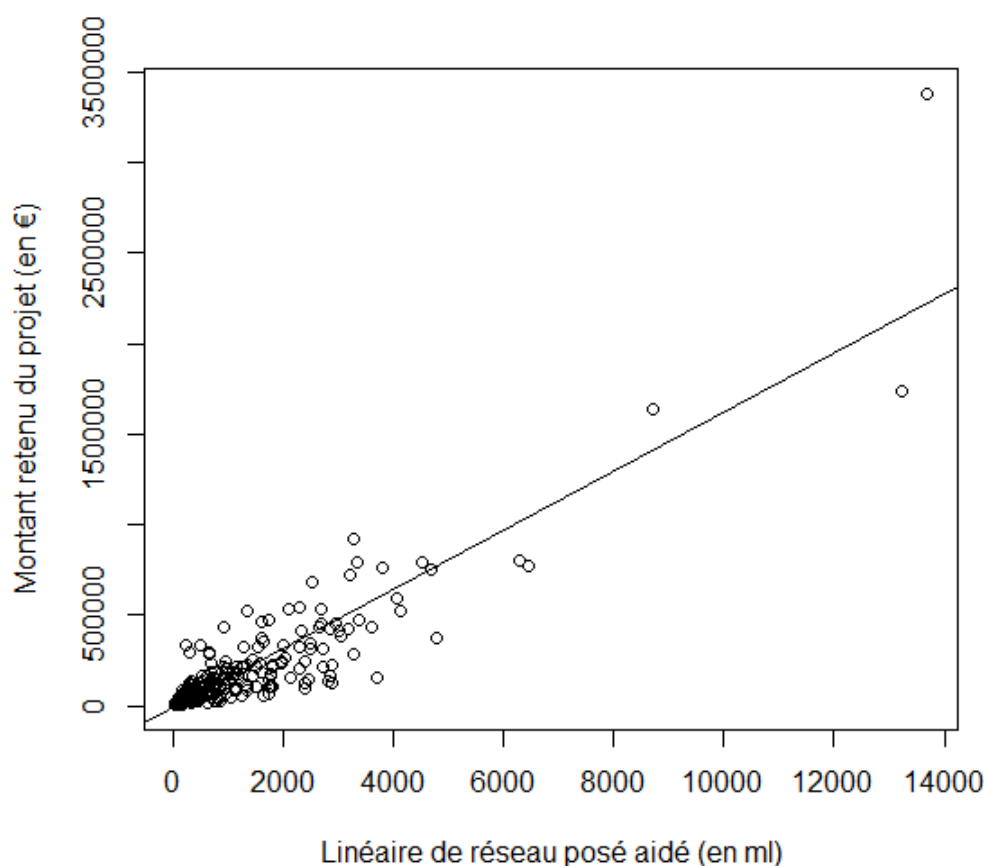
4.3.1.1 Le linéaire de réseau posé aidé

> **Hypothèse : plus le linéaire est important, plus le projet est coûteux.**

Le graphique suivant en nuage de points suppose l'existence d'une relation linéaire entre le montant des projets et la longueur des canalisations posées. Chaque unité statistique (projet) représente un point dans le nuage positionné en fonction de deux valeurs (coordonnées sur l'abscisse et sur l'ordonnée). L'abscisse (axe horizontal) représente le montant retenu du projet et l'ordonnée le linéaire total de réseau posé aidé.

Une droite de régression se rapprochant le plus de tous les points peut être tracée afin de montrer la force et la direction de la relation entre les variables. Plus les points sont rapprochés, plus la corrélation est importante.

Figure 25 : Montant retenu des projets aidés de renouvellement et de réparation de fuites sur les réseaux d'eau potable en fonction du linéaire de réseau posé aidé (hors branchements)



> Résultats : test de corrélation et mesure de l'intensité du lien entre coût et linéaire

Avant d'effectuer une régression, il est important de s'assurer d'un point de vue statistique de l'existence d'un lien significatif entre le montant retenu du projet et le linéaire posé aidé de canalisations d'eau potable (hors branchements particuliers), en calculant les coefficients de corrélation et de détermination.

Test de corrélation entre le montant retenu du projet et le linéaire posé aidé :

Pearson's product-moment correlation

alternative hypothesis: true correlation is not equal to 0
95 percent confidence interval: [0,8610853 - 0,9143177]

cor = 0,8907162 t = 30,103 df = 236 p-value < 2,2e-16

Le coefficient de corrélation $R_{(cor)}$ mesuré sur ces deux variables est de **0,89**. Celui-ci étant positif et très proche de 1, l'existence d'une corrélation positive⁵⁷ entre le montant retenu des travaux et le linéaire de réseau posé aidé peut être affirmée.

Conclusion : plus le linéaire est important et plus le coût du projet l'est aussi.

Afin de mesurer l'adéquation entre un modèle issu d'une régression linéaire simple ou multiple et les données observées qui ont permis de l'établir, il est usuel de calculer également le coefficient de détermination R^2 (Multiple R-squared) qui s'élève à 0,79, ce qui est très satisfaisant puisque le linéaire de réseau posé aidé permet d'expliquer **79%** des variations du coût des travaux.

La taille de l'échantillon étant suffisamment importante ($n \geq 30$) et R^2 aussi, il est possible d'effectuer une régression linéaire simple pour représenter le coût de ces travaux en fonction du linéaire posé.

> Estimation des paramètres et test sur les paramètres

$$Y_i = a + bX_i + \varepsilon$$

Pour chaque paramètre a (ordonnée à l'origine) et b (coefficient directeur de la droite), la table donne la statistique observée ainsi que la probabilité critique associée au test d'hypothèse (p-value) : l'hypothèse à vérifier (H_0) est que le paramètre est nul contre l'hypothèse alternative (H_1) est que le paramètre n'est pas nul. Par exemple, si a est nul alors Y est une fonction linéaire de X et la droite coupe l'axe vertical en 0. Si b est nul alors Y est une constante et la droite est horizontale.

Le test de Student de nullité des coefficients indique une p-value < 2e-16 très proche de 0. Ainsi, le coefficient b (Intercept) est conclu comme non nul, ce qui n'est pas le cas pour a , où la p-value = 0,408. L'ordonnée à l'origine, obtenue avec $a = 0$, représente les coûts incompressibles théoriques lors d'une opération de renouvellement de canalisations ou de réparations de fuites sur les réseaux. Or dans le modèle actuel, cette valeur est négative, ce qui n'a pas vraiment de sens dans notre étude, en particulier pour les linéaires. En effet, si on réalise des travaux sur un linéaire de 28 mètres (linéaire minimum observé sur l'ensemble des projets) alors le coût est de $4\,564,14 - 9\,405,76 = -4\,841,62$. En effectuant une simulation avec le montant minimum observé sur les projets ($Y = 7\,415$ €), la formule $Y_i = -9405,76 + 163,01X_i$ renvoie un linéaire de -12 mètres ($X = 12$), ce qui est également incohérent. **Cette formule n'est donc pas adaptée sur des projets avec des linéaires courts et des montants peu élevés.**

De ce fait, la courbe de tendance la mieux adaptée au nuage de points obtenu est représentée par la droite d'équation $Y_i = 163X_i$. Elle résume l'information apportée par le nuage de points et modélise ainsi la relation fonctionnelle entre les deux variables, avec une marge d'erreur ε (proche de 0) qu'il conviendra de mesurer.

⁵⁷ Corrélation positive, c'est-à-dire à toute augmentation au niveau de X correspond une augmentation au niveau de Y . Les deux variables varient dans le même sens et avec une intensité similaire.

Régression linéaire du montant retenu des projets en fonction du linéaire de réseau posé aidé :

Summary : linear regression

Coefficients	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	9 405,757	11 346,095	-0,829	0,408
Linéaire	163,005	5,415	30,103	<2e-16 ***

Signif. codes: 0 '***' 0,001 '**' 0,01 '*' 0,05 '.' 0,1 ' ' 1

Residual standard error: 139 000 on 236 degrees of freedom

Multiple R-squared: 0,7934, Adjusted R-squared: 0,7925

F-statistic: 906,2 on 1 and 236 DF, p-value: < 2,2e-16

> [Ajustement du modèle](#)

Le test de Fisher (F-statistic) permet de tester la significativité du modèle. La p-value étant < 2,2e-16 et ainsi très proche de 0, la régression linéaire a lieu d'être.

Analysis of Variance Table

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Linéaire	1	1,7519e+13	1,7519e+13	906,17	< 2,2e-16 ***
Residuals	236	4,5627e+12	1,9333e+10		

Signif. codes: 0 '***' 0,001 '**' 0,01 '*' 0,05 '.' 0,1 ' ' 1

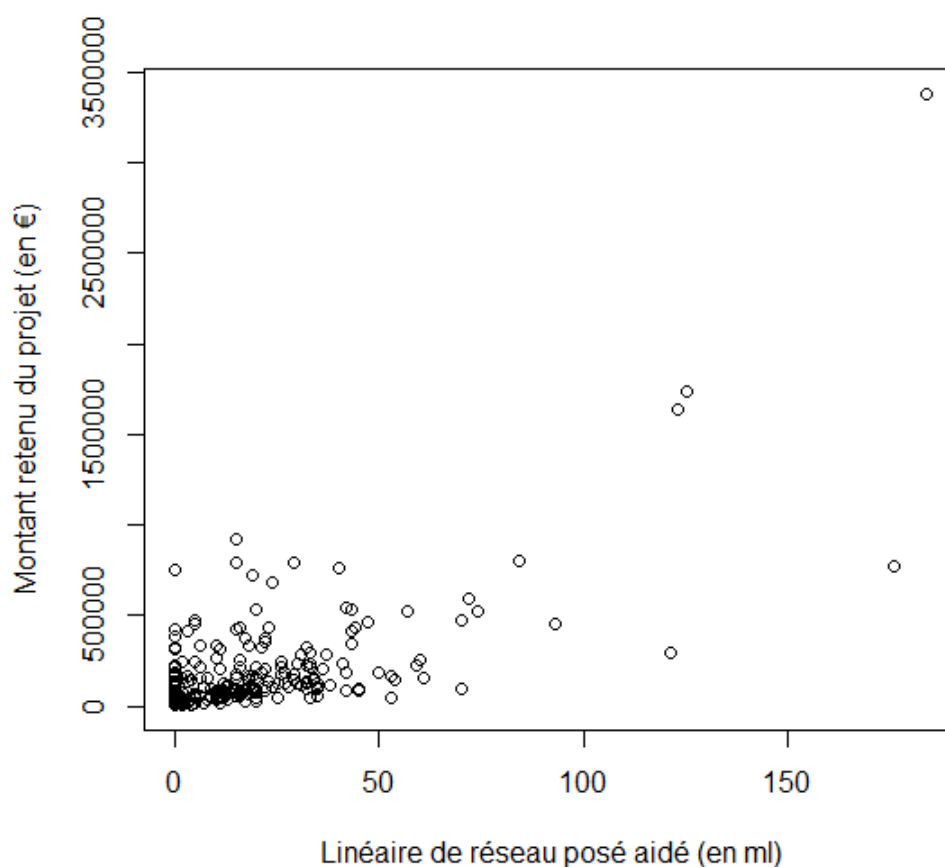
> [Validation du modèle](#)

Le modèle suppose que la régression soit linéaire, les termes d'erreurs ont même variance, ils sont indépendants et issus d'une loi normale. Ces hypothèses ont été vérifiées.

4.3.1.2 Le nombre de branchements> [Hypothèse : plus le nombre de branchements est important, plus le projet est coûteux.](#)

D'après le graphique en nuage de points ci-après, les points du nuage sont plus dispersés que dans le cas précédent, ce qui peut laisser supposer une corrélation plus faible entre le montant retenu des projets et le nombre de branchements qu'entre le montant et le linéaire.

Figure 26 Montant retenu des projets aidés de renouvellement et de réparation de fuites sur les réseaux d'eau potable en fonction du nombre de branchements posés aidés



> Résultats : test de corrélation et mesure de l'intensité du lien entre coût et linéaire

L'approche des coûts peut également être réalisée via la corrélation du coût au nombre de branchements.

Test de corrélation entre le montant retenu du projet et le nombre de branchements associés

Pearson's product-moment correlation

alternative hypothesis: true correlation is not equal to 0
95 percent confidence interval: [0,5891810 - 0,7315801]

cor = 0,6664142 t = 13,731 df = 236 p-value < 2,2e-16

Le coefficient de corrélation R mesuré sur ces deux variables est de **0,67**, ce qui prouve l'existence d'une corrélation positive entre le montant retenu des travaux et le nombre de branchements posés aidés. Cependant, ceci est affirmé dans une moindre mesure puisque le coefficient de détermination R^2 s'élève à 0,44, ce qui indique que le nombre de branchements posés permet d'expliquer seulement **44%** des variations du coût du projet.

La taille de l'échantillon étant suffisamment importante ($n \geq 30$) mais R^2 étant trop faible, il n'est pas approprié d'effectuer une régression linéaire simple pour représenter le coût du projet en fonction du nombre de branchements.

De plus, le nombre de branchements étant corrélé à la longueur des réseaux de canalisations posées ($R = 0,63$), il est probable que la part expliquée par le nombre de branchements soit liée au linéaire. De ce fait, cette variable n'est pas retenue comme explicative dans la modélisation du coût.

Test de corrélation entre le linéaire de réseau posé aidé du projet et le nombre de branchements associés

Pearson's product-moment correlation

alternative hypothesis: true correlation is not equal to 0

95 percent confidence interval: [0,5425473 - 0,6980393]

cor = 0,626487

t = 12,348

df = 236

p-value < 2,2e-16

Conclusion : le nombre de branchements est lié au linéaire de réseau posé aidé, corroborant ainsi le lien existant entre le linéaire et le coût.**4.3.1.3 La LCF**

> **Hypothèse :** le montant moyen par projet ne diffère pas selon le type d'opération (renouvellement de réseaux d'eau potable ou réparation de fuites).

> **Résultats :** analyse de la variance

L'hypothèse à vérifier (H_0) est que les deux échantillons (projets sur la LCF 21 / projets sur la LCF 25) présentent des montants moyens équivalents. L'hypothèse alternative (H_1) est qu'ils aient des moyennes sensiblement différentes. Pour cela, une analyse de la variance (ANOVA) est mise en œuvre pour comparer les deux moyennes estimées à partir de l'échantillon qui s'élèvent à 186 400 € HT par projet pour la LCF 21 et à 203 800 € HT pour la LCF 25.

Le test ANOVA n'est pas significatif (acceptation de H_0) et conduit à la conclusion selon laquelle les montants moyens de projets sont équivalents d'une LPS à l'autre. La différence observée de 17 400 € HT n'est pas significative et est liée aux fluctuations d'échantillonnage.

Analyse de variance du montant retenu du projet en fonction de la LCF :

Summary : analysis of variance

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
LCF	1	1,582e+10	1,582e+10	0,169	0,681
Residuals	236	2,207e+13	9,350e+10		

Conclusion : le coût moyen d'un projet ne diffère pas selon le type d'opération (renouvellement des infrastructures ou économie d'eau).**4.3.1.4 La délégation**

> **Hypothèse :** les montants des projets ne diffèrent pas selon les délégations.

> **Résultats :** analyse de la variance

Le test ANOVA n'est pas significatif ($\text{Pr}(>F)=0,266$). L'hypothèse H_0 est acceptée : les délégations ont des montants moyens de projets équivalents.

Analyse de variance du montant retenu du projet en fonction de la délégation :

Summary : analysis of variance

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Délégation	3	3,698e+11	1,233e+11	1,328	0,266
Residuals	234	2,171e+13	9,279e+10		

Conclusion : le coût moyen d'un projet ne diffère pas selon la délégation.

4.3.1.5 Le caractère rural ou urbain

> **Hypothèse : les montants des travaux sont plus élevés en zone urbaine. De plus, le nombre de branchements y est plus élevé.**

> **Résultats : analyse de la variance**

Le test ANOVA est significatif ($\Pr(>F)=0,002$). De ce fait, l'hypothèse H_0 selon laquelle les deux échantillons (caractère rural / urbain) ont la même moyenne peut être rejetée. En effet, **le montant moyen retenu pour les projets diffère selon le caractère urbain (275 300 € HT) ou rural (146 000 € HT).**

Analyse de variance du montant retenu du projet en fonction du caractère urbain ou rural :

Summary : analysis of variance

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Caractère	1	9,179e+11	9,179e+11	9,784	0,002 **
Residuals	220	2,064e+13	9,382e+10		

Signif. codes: 0 '***' 0,001 '**' 0,01 '*' 0,05 '.' 0,1 ' ' 1

De plus, le montant médian est de 155 300 € HT par projet en milieu urbain contre 93 370 € en milieu rural. La série est beaucoup plus étendue sur les projets en milieu urbain.

Résumé statistique de la distribution des montants retenus pour les projets des collectivités urbaines :

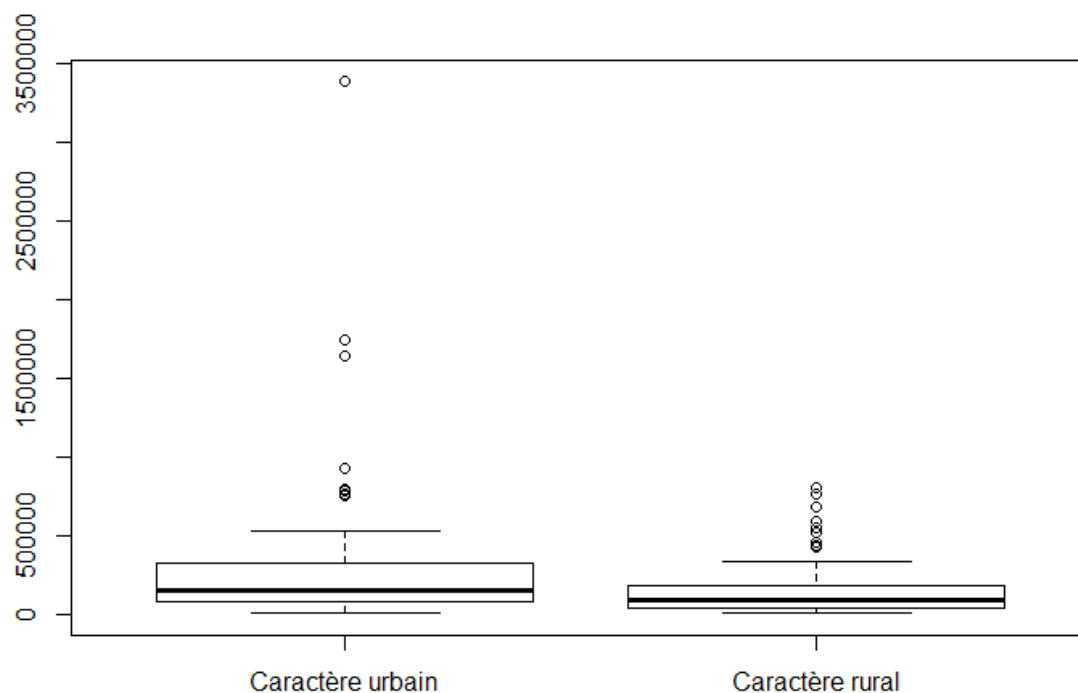
Minimum	Quartile 1	Médiane = Quartile 2	Moyenne	Quartile 3	Maximum
10 280	86 340	155 300	275 300	323 600	3 381 000

Résumé statistique de la distribution des montants retenus pour les projets des collectivités rurales :

Minimum	Quartile 1	Médiane = Quartile 2	Moyenne	Quartile 3	Maximum
7 415	45 620	93 370	146 000	185 200	802 900

Les boîtes à moustaches suivantes montrent une dispersion de ces montants moins importante sur les projets en milieu rural.

Figure 27 Boîtes à moustaches du montant retenu des projets de renouvellement et de réparation de fuites sur les réseaux d'eau potable en fonction du caractère urbain ou rural du maître d'ouvrage



De plus, le nombre moyen de branchements par projet est plus important dans les communes urbaines. Les résultats de l'ANOVA conduisent à rejeter l'hypothèse nulle. **Le nombre de branchements moyen est donc significativement plus élevé en milieu urbain (24,31) qu'en milieu rural (16,76).**

Analyse de variance du nombre de branchements en fonction du caractère urbain ou rural :

Summary : analysis of variance

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Caractère	1	3 132	3132,5	4,619	0,0327 *
Residuals	220	149 188	678,1		

Signif. codes: 0 '***' 0,001 '**' 0,01 '*' 0,05 '.' 0,1 ' ' 1

Conclusion : le coût moyen d'un projet est généralement plus élevé pour les communes urbaines (coût multiplié par 1,9) et le nombre de branchements également (nombre multiplié par 1,4).

4.3.1.6 La topographie

- > **Hypothèse : les montants des travaux sont plus élevés en zone de montagne.**
- > **Résultats : analyse de la variance**

Les résultats du test statistique ($Pr(>F)=0,804$) réfutent l'hypothèse selon laquelle le montant moyen des travaux est plus important en zone de montagne.

Analyse de variance du montant retenu des projets en fonction de la topographie :

Summary : analysis of variance

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Topographie	1	6,045e+09	6,045e+09	0,062	0,804
Residuals	220	2,155e+13	9,796e+10		

Conclusion : le coût moyen des projets ne diffère pas entre les communes classées ou non classées en zone de montagne.

4.3.1.7 La composition et le diamètre des canalisations posées

L'étude plus particulière du coût du poste canalisations⁵⁸ permet de tester l'influence de la composition et des diamètres de canalisations sur ce coût. Pour ce faire, une analyse par tronçon plutôt que par projet est plus adaptée, du fait que les projets peuvent concerner des tuyaux de matériaux et diamètres différents.

> **Hypothèses : la fonte qui a un coût unitaire plus élevé a une incidence sur le coût de l'opération. Plus le diamètre du tuyau est important, plus le coût pour le poste « canalisations » l'est également.**

Pour effectuer ce test d'hypothèses, seul le montant du poste « canalisations » est considéré, c'est-à-dire le coût de la pose et de la fourniture de chaque tronçon posé, auquel se rajoutent les coûts de fontainerie et robinetterie. Le coût des autres postes comme par exemple la préparation du chantier, la maçonnerie, les branchements particuliers ne sont pas pris en compte car cela ne dépend pas majoritairement du type de matériau posé et de son diamètre.

La logique adoptée pour le type de matériau a également été appliquée pour confirmer ou infirmer l'existence d'un lien significatif entre le diamètre de la canalisation posée et le coût du poste « canalisations ».

> **Résultats : analyse de la variance**

Les résultats du test statistique conduisent à accepter l'hypothèse selon laquelle le montant moyen des projets diffère selon la nature des matériaux. La fonte représente un coût significativement plus élevé que le PEHD et le PVC.

Analyse de variance du montant retenu des projets en fonction du caractère rural ou urbain de la commune :

Summary : analysis of variance

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Matériau	3	6.059e+10	2.020e+10	33,76	<2e-16 ***
Residuals	1 205	7.208e+11	5.982e+08		

> **Résultats : coefficient de corrélation**

Le coefficient de corrélation R , calculé pour mesurer l'intensité d'une liaison, entre le coût et le diamètre des canalisations s'élève à 0,40, soit un lien moyen.

Conclusion : le coût moyen des canalisations est plus élevé pour les tuyaux en fonte par rapport à ceux en PVC ou en PEHD. Il existe une corrélation positive entre le diamètre du tuyau et son coût mais qui est moyenne.

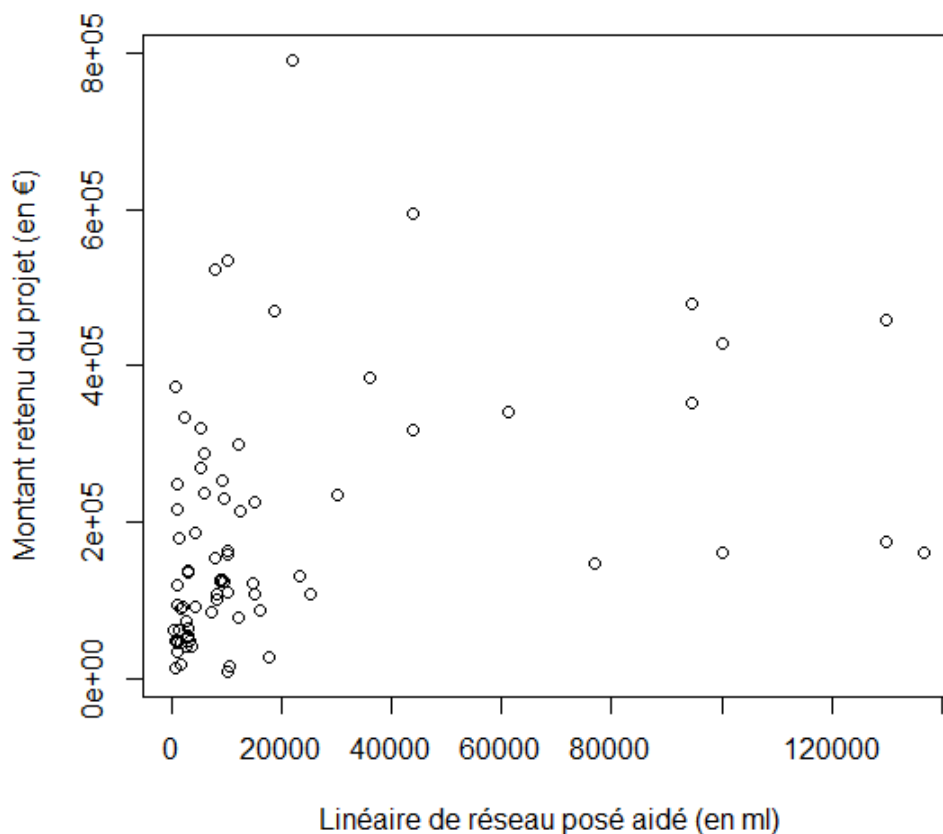
4.3.1.8 Le volume d'eau économisé

> **Hypothèse : les projets visant des économies d'eau importantes nécessitent des travaux plus conséquents et donc des montants plus importants.**

⁵⁸ Dans le poste « canalisations », sont généralement pris en compte la pose et la fourniture des canalisations, des accessoires de robinetterie et fontainerie. Le montant des travaux préparatoires, terrassement, branchements, etc. ne sont pas pris en compte.

La dispersion des points sur le graphique suivant laisse supposer qu'il n'existe pas de lien (linéaire ou non) entre les deux variables.

Figure 28 Montant retenu des projets aidés d'économies d'eau sur les réseaux d'eau potable en fonction du volume d'eau économisé déclaré



> Résultats : test de corrélation et mesure de l'intensité du lien entre coût et volume

Avant d'effectuer une régression, il est important de s'assurer de l'existence d'un lien significatif entre le montant retenu du projet et le volume d'eau économisé déclaré par la collectivité.

Test de corrélation entre le montant retenu du projet et le volume d'eau économisé associé :

```
Pearson's product-moment correlation
alternative hypothesis: true correlation is not equal to 0
95 percent confidence interval: [0,1488895 - 0,5410839]
cor = 0,3608352      t = 3,3507      df = 75      p-value = 0,001265
```

Le coefficient de corrélation R mesuré sur ces deux variables est de **0,36** et le coefficient de détermination R^2 s'élève à 0,13. **Ainsi, le volume d'eau économisé explique à seulement 13% les variations du coût du projet.** De ce fait, une régression linéaire du coût du projet en fonction du volume d'eau économisé n'est pas justifiée.

Régression linéaire du montant retenu du projet en fonction des volumes économisés :

Summary : linear regression

Coefficients	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	1.535e+05	1.942e+04	7.902	1.69e-11 ***
Volume économisé	1.678e+00	5.133e-01	3.269	0.00162 **

Signif. codes: 0 '***' 0,001 '**' 0,01 '*' 0,05 '.' 0,1 ' ' 1

Residual standard error: 146 700 on 76 degrees of freedom

Multiple R-squared: 0,1233, Adjusted R-squared: 0,1117

F-statistic: 10,69 on 1 and 76 DF, p-value: 0,001622

Conclusion générale : le coût de renouvellement ou de réparation des fuites sur les réseaux d'eau potable augmente avec le linéaire de canalisations posé en mètre et il est différent selon le caractère rural ou urbain de la commune : les travaux effectués en milieu urbain (plus de branchements) présentent des coûts plus élevés qu'en milieu rural.

4.3.2 Coût au mètre linéaire posé

Suite aux analyses précédentes, il a été démontré que le linéaire de réseau posé aidé avait une influence sur le coût de renouvellement et de réparation des fuites sur les réseaux d'eau potable.

L'indicateur physique économique du coût global d'une opération est la longueur de réseau posé aidé exprimée en mètres linéaires. Le coût de référence est donc le coût par mètre linéaire correspondant au montant retenu des travaux aidés rapporté au linéaire de réseau posé aidé, exprimé en € HT / ml.

Ce coût au mètre linéaire est estimé en moyenne⁵⁹ à **155,62 € HT** sur l'ensemble des 238 projets retenus dans le cadre de cette étude de coûts.

> Dispersion des coûts au mètre linéaire

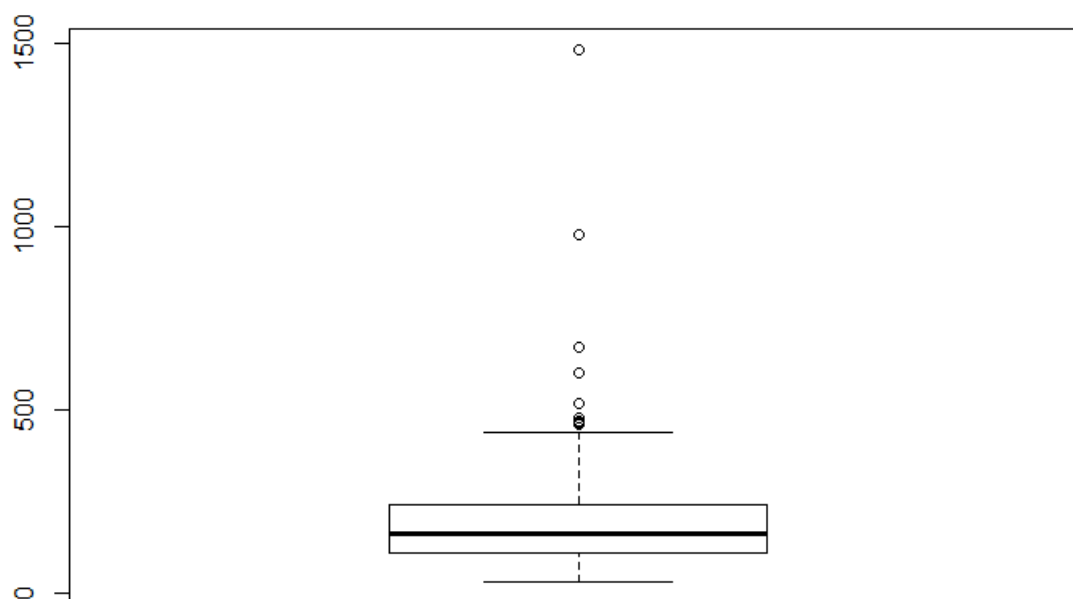
Le coût estimé au mètre linéaire varie de 28,1 à 1 481 € HT, soit une étendue de 1 453 €. **Le coefficient de variation est de 0,77 ce qui traduit une dispersion assez forte des valeurs autour de la moyenne.** 50% des projets ont un coût compris entre 108,4 et 239,9 € HT au mètre linéaire. Pour donner quelques ordres de grandeur, 80% des projets ont un coût au mètre linéaire inférieur à 265 € et 87,4% des projets ont un coût au mètre linéaire inférieur à 300 €.

Résumé statistique de la distribution des coûts des projets en euros au mètre linéaire :

Minimum	Quartile 1	Médiane = Quartile 2	Moyenne	Quartile 3	Maximum
28,06	108,40	160,40	155,62	239,90	1 481,00

⁵⁹ Moyenne harmonique pondérée correspondant au coût moyen au mètre linéaire pondéré par la longueur de canalisations posée aidée (en mètres linéaires) : $47\,139\,362,49 / 302\,922,33 = 155,62$.

Figure 29 Boîte à moustaches du coût au mètre linéaire des projets de renouvellement et de réparation de fuites sur les réseaux d'eau potable



Le coût moyen au mètre linéaire varie en fonction de certaines caractéristiques présentées ci-après.

4.3.2.1 Environnement

> Caractère rural ou urbain

Le coût moyen pondéré des projets est de 175,5 € HT au mètre linéaire pour les projets dont la commune du demandeur est située en milieu urbain contre 134 € HT en milieu rural. Il est donc 1,3 fois plus élevé dans les communes à caractère urbain. La différence entre ces coûts moyens est de 42 € HT au mètre linéaire.

Tableau 15 Récapitulatif et calcul du coût moyen au mètre linéaire en fonction du caractère rural ou urbain de la commune du maître d'ouvrage (source : agence de l'eau RMC, 2016)

Caractère de la commune du maître d'ouvrage	Nombre de projets aidés	Linéaire total de canalisation posé aidé	Linéaire moyen de canalisation posé aidé	Montant total du projet	Coût au mètre linéaire posé
Caractère rural	134	145 447,17	1 085,43	19 498 635,55	134,06
Caractère urbain	104	157 475,16	1 514,18	27 640 726,94	175,52
Total	238	302 922,33	1 272,78	47 139 362,49	155,62

Un même projet peut avoir lieu sur plusieurs communes et il n'est donc pas possible de déterminer le caractère rural ou urbain d'un projet.

Les résultats⁶⁰ du test de Student amènent à rejeter l'hypothèse nulle (H_0) d'égalité des deux moyennes. De ce fait, la différence de coût observée de 41 € HT au mètre linéaire entre les projets à caractère urbain et rural est significative.

⁶⁰ Test significatif : p-value < 0,05.

Test de Student de comparaison des coûts de réseau posé aidé au mètre linéaire entre le caractère rural et urbain :

Two Sample t-test
 alternative hypothesis: true difference in means is not equal to 0
 95 percent confidence interval : [30,16141 - 110,17482]
 t = 3,4637 df = 160,5 **p-value = 0,0006832**

Le coût au mètre linéaire des projets de renouvellement ou de réduction de fuites varie selon le caractère rural ou urbain.

Analyse de variance du coût des projets au mètre linéaire en fonction du caractère urbain ou rural :

Summary : analysis of variance

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Caractère	1	270 064	270 064	13,12	0,000364***
Residuals	220	4 529 969	20 591		

 Signif. codes: 0 '***' 0,001 '**' 0,01 '*' 0,05 '.' 0,1 ' ' 1

Conclusion : le coût des projets au mètre linéaire varie selon le contexte rural ou urbain ; il est significativement plus élevé en milieu urbain (175,5 € HT/ml) qu'en milieu rural (134 € HT/ml).

> Zone de montagne ou hors zone de montagne

Le coût moyen pondéré des projets est de 159 € HT au mètre linéaire pour les projets dont la commune du demandeur est située en zone de montagne contre 152 € HT hors zone de montagne. La différence est donc moins nette que dans les cas précédents et un test de Student est effectué afin de vérifier si la différence estimée à partir des données de l'échantillon est significative ou bien liée aux fluctuations d'échantillonnage.

Tableau 16 Récapitulatif et calcul du coût moyen au mètre linéaire en fonction de la commune du maître d'ouvrage classées en zone de montagne ou hors zone de montagne (source : agence de l'eau RMC, 2016)

Caractère de la commune du maître d'ouvrage	Nombre de projets aidés	Linéaire total de canalisation posé aidé	Linéaire moyen de canalisation posé aidé	Montant total du projet	Coût au mètre linéaire posé
Zone de montagne	115	140 952,08	1 225,67	22 478 949,94	159,48
Hors zone de montagne	123	161 970,25	1 316,83	24 660 412,55	152,25
Total	238	302 922,33	1 272,78	47 139 362,49	155,62

Un même projet peut avoir lieu sur plusieurs communes et il n'est donc pas possible de déterminer si un projet est en zone de montagne.

La valeur de la p-value du test de Student conduit à accepter l'hypothèse nulle (H_0) d'égalité des deux moyennes.

De ce fait, la différence de coût observée de 7 € HT au mètre linéaire entre les projets en zone de montagne ou hors zone de montagne n'est pas significative. Cette différence de coût est liée aux fluctuations d'échantillonnage.

Test de Student de comparaison des coûts de réseau posé aidé au mètre linéaire entre zone de montagne et hors zone de montagne :

Two Sample t-test
 alternative hypothesis: true difference in means is not equal to 0
 95 percent confidence interval : [-63.62742 - 11.48873]
 t = -1,3688 df = 197,03 **p-value = 0,1726**

L'analyse de la variance du coût des projets au mètre linéaire en fonction de la topographie confirme l'absence de corrélation entre ces deux variables. Les variations de coûts au mètre linéaire ne peuvent pas être expliqués par le dénivelé de la commune.

Analyse de variance du coût des projets au mètre linéaire en fonction de la topographie :

Summary : analysis of variance

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Topographie	1	37 470	37 470	1,731	0,19
Residuals	220	4 762 563	21 648		

Conclusion : le coût des projets au mètre linéaire ne varie pas selon la topographie de la commune du demandeur (zone de montagne / hors zone de montagne).

4.3.2.2 LocalisationAnalyse de variance du coût des projets au mètre linéaire en fonction de la délégation :

Summary : analysis of variance

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Délégation	3	183 170	61 057	2,904	0,0356 *
Residuals	234	4 919 737	21 025		

Signif. codes: 0 '***' 0,001 '**' 0,01 '*' 0,05 '.' 0,1 ' ' 1

Tableau 17 Récapitulatif et calcul du coût moyen au mètre linéaire en fonction de la délégation
 (source : agence de l'eau RMC, 2016)

Délégation	Nombre de projets aidés	Linéaire total de canalisation posé aidé	Linéaire moyen de canalisation posé aidé	Montant total du projet	Coût au mètre linéaire posé
Besançon	74	92 076,52	1 244,28	13 088 410,21	142,15
Lyon	117	171 752,50	1 467,97	27 481 418,58	160,01
Marseille	28	20 331,90	726,14	3 459 073,71	170,13
Montpellier	19	18 761,41	987,44	3 110 459,99	165,79
Total	238	302 922,33	1 272,78	47 139 362,49	155,62

Conclusion : le coût moyen pondéré des projets au mètre linéaire varie selon la délégation. Il est significativement plus faible pour la délégation de Besançon, qui regroupe davantage de projets réalisés en milieu rural.

4.3.2.3 Type d'opération

Le coût moyen pondéré des projets est de 173 € HT au mètre linéaire dans le cadre d'opérations d'économies d'eau (LCF 21) contre 149 € HT pour les opérations de renouvellement de réseaux d'eau potable (LCF 25). Il est donc 1,16 fois plus élevé sur la LCF 21. La différence entre ces coûts moyens est de 24€ HT au mètre linéaire.

Résumé statistique de la distribution des coûts des projets en euros au mètre linéaire de réseau posé aidé pour les projets relevant de la LCF 21 :

Minimum	Quartile 1	Médiane = Quartile 2	Moyenne	Quartile 3	Maximum
42,79	123,80	173,70	173,09	264,90	1 481,00

Résumé statistique de la distribution des coûts des projets en euros au mètre linéaire de réseau posé aidé pour les projets relevant de la LCF 25 :

Minimum	Quartile 1	Médiane = Quartile 2	Moyenne	Quartile 3	Maximum
28,06	92,97	147,30	148,91	218,20	978,10

Tableau 18 Récapitulatif et calcul du coût moyen au mètre linéaire en fonction de la LCF (source : agence de l'eau RMC, 2016)

LCF	Nombre de projets aidés	Linéaire total de canalisation posé aidé	Linéaire moyen de canalisation posé aidé	Montant total du projet	Coût au mètre linéaire posé
LCF 21	78	83 989,18	1 076,78	14 538 141,31	173,09
LCF 25	160	218 933,15	1 368,33	32 601 221,18	148,91
Total	238	302 922,33	1 272,78	47 139 362,49	155,62

Afin de vérifier si cette différence est significative, un test de Student est effectué ; les résultats⁶¹ conduisent à rejeter l'hypothèse nulle (H_0) d'égalité des deux moyennes. L'analyse de variance confirme ce résultat.

De ce fait, la différence de coût observée de 24 € HT au mètre linéaire entre les LCF 21 et 25 est significative, avec un risque d'erreur de 5% de rejeter H_0 à tort.

Test de Student de comparaison des coûts de réseau posé aidé au mètre linéaire entre la LCF 21 et la LCF 25 :

```
Two sample t-test
alternative hypothesis: true difference in means is not equal to 0
95 percent confidence interval : [7,022963 - 99,127208]
t = 2,2845          df = 108          p-value = 0,0243
```

Analyse de variance du coût des projets au mètre linéaire en fonction de la LCF :

Summary : analysis of variance

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
LCF	1	147 713	147 713	7,035	0,00853 **
Residuals	236	4 955 194	20 997		

Signif. codes: 0 '***' 0,001 '**' 0,01 '*' 0,05 '.' 0,1 ' ' 1

⁶¹ Test significatif : p-value < 0,05.

Conclusion : le coût des projets au mètre linéaire est significativement plus élevé dans le cadre de réparation des fuites (173 € HT/ml) plutôt que dans le cadre de renouvellement de réseaux d'eau potable (149 € HT/ml). Ce résultat résulte d'un effet d'interaction entre le type d'opération et le caractère rural ou urbain de la commune. En effet, les opérations d'économies d'eau concernent davantage les collectivités urbaines or le paragraphe suivant démontre que le coût au mètre linéaire y est plus cher.

4.3.2.4 Linéaire de réseau posé aidé

Le coût au mètre linéaire estimé est très variable selon les tranches de linéaires posées aidées, avec des coûts décroissant au fur et à mesure que les classes de linéaires augmentent puis une croissance au-delà de 3 000 mètres linéaires.

Toutefois, certaines classes ayant des coûts assez similaires méritent d'être regroupées :

- pour les linéaires posés de **moins de 250 mètres**, le coût moyen estimé est de **315 € HT / ml** ;
- pour ceux **entre 250 et 750 mètres**, le coût est de **207 € HT / ml** ;
- pour les linéaires compris entre 750 et 3 000 mètres, ce coût décroît de 155 à 125€ avec l'augmentation de la longueur.

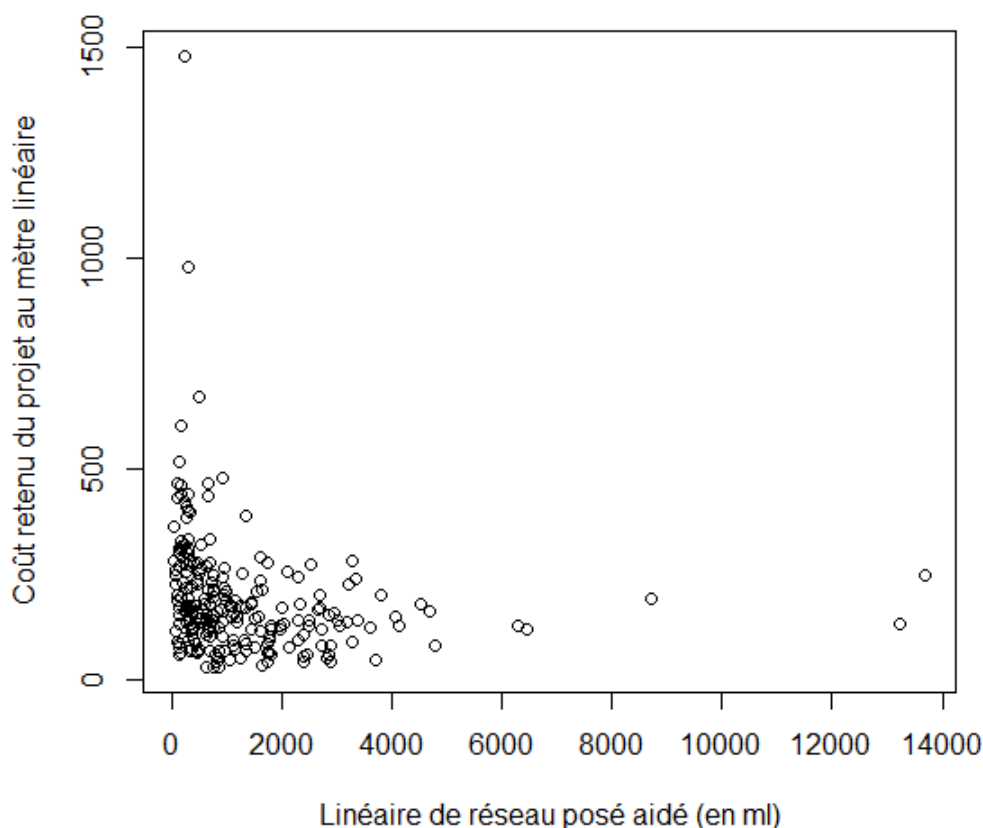
Par contre, au-delà de 3 000 mètres, les coûts augmentent à nouveau. Dans de nombreux cas, il s'agit de projets un peu particuliers regroupant des travaux importants de renouvellement ou d'extension sur plusieurs secteurs dans le cadre de la solidarité urbain-rural.

En regroupant les quatre dernières classes en une unique, le coût moyen est estimé à **145 € HT / ml** pour les chantiers **supérieurs ou égaux à 750 mètres**.

Tableau 19 Récapitulatif et calcul du coût moyen au mètre linéaire en fonction des classes de linéaires posés aidés (source : agence de l'eau RMC, 2016)

Linéaire de réseau posé aidé par projet en mètres	Nombre de projets aidés	Linéaire total de canalisation posé aidé	Linéaire moyen de canalisation posé aidé	Montant total du projet	Coût au mètre linéaire posé
Moins de 250	38	5 323,70	140,10	1 678 331,98	315,26
[250-500[	52	18 554,90	356,83	3 847 125,53	207,34
[500-750[	30	18 911,86	630,40	3 916 919,73	207,11
[750-1 000[	26	22 231,37	855,05	3 452 580,43	155,30
[1 000-2000[	46	67 321,95	1 463,52	9 151 672,1	135,94
[2 000-3 000[	25	63 206,40	2 528,26	7 922 089,14	125,34
3 000 et plus	21	107 372,15	5 112,96	17 170 643,58	159,92
Total	238	302 922,33	1 272,78	47 139 362,49	155,62

Figure 30 Coût au mètre linéaire des projets aidés de renouvellement et de réparation de fuites sur les réseaux d'eau potable en fonction du linéaire de réseau posé aidé (hors branchements)



Conclusion : il existe une corrélation négative entre le coût des projets au mètre linéaire et les classes de longueur des chantiers. Les projets représentant une longueur totale supérieure à 3 000 mètres ne suivent pas cette tendance du fait de certaines particularités pouvant expliquer un coût au mètre linéaire plus élevé (programme de travaux AEP au titre de la solidarité urbain rural sur plusieurs secteurs, extension de réseaux, etc.).

4.3.3 Coût au mètre cube économisé

Comme il est de fait utilisé depuis 2015, le coût global du projet peut être approché par les volumes d'eau économisés (en m³) à l'année. L'étude du coût au mètre cube des dossiers de l'échantillon a pour objet de vérifier si le calcul du coût au mètre cube économisé est cohérent avec les résultats de l'analyse statistique. Ce coût au mètre cube est évalué en moyenne⁶² à **9,30 € HT** sur l'ensemble des 77 projets de l'échantillon, concernant des travaux de réparation de fuites sur les réseaux d'eau potable.

> Dispersion des coûts au mètre cube

Le coût estimé au mètre cube varie de 0,89 à 524,9 €, soit une étendue de 524 €. 50% des projets ont un coût au mètre cube compris entre 7,8 et 47,2 €. Pour se donner quelques ordres de grandeur, 83% des projets ont un coût au mètre cube inférieur à 65 €.

⁶² Moyenne harmonique pondérée correspondant au coût moyen au mètre cube pondéré par le volume total d'eau économisé (en mètres cubes) : $14 \quad 213 \quad 976,58/1 \quad 528 \quad 958=9,30$. La moyenne harmonique pondérée d'une série de n valeurs $x_1, x_2, \dots, x_n$ dont les poids respectifs (ou coefficients) est la suite de nombres suivante : $p_1, p_2, \dots, p_n$, est donnée par la formule : $\frac{\sum p_i}{\sum \frac{p_i}{x_i}}$.

Résumé statistique de la distribution des coûts des projets en euros au mètre cube économisé pour les projets relevant de la LCF 21 :

Minimum	Quartile 1	Médiane = Quartile 2	Moyenne	Quartile 3	Maximum
0,8891	7,7940	17,1800	43,9800	47,2500	524,9000

Enfin, la boîte à moustache⁶³ résumant ces caractéristiques de position, identifie un certain nombre de valeurs extrêmes.

Le coefficient de variation⁶⁴, défini comme le rapport entre l'écart-type et la moyenne, est de 1,65. La dispersion du volume d'eau économisé par projet autour du volume moyen est donc très forte.

Figure 31 Boîte à moustaches du coût au mètre cube des projets de renouvellement et de réparation de fuites sur les réseaux d'eau potable

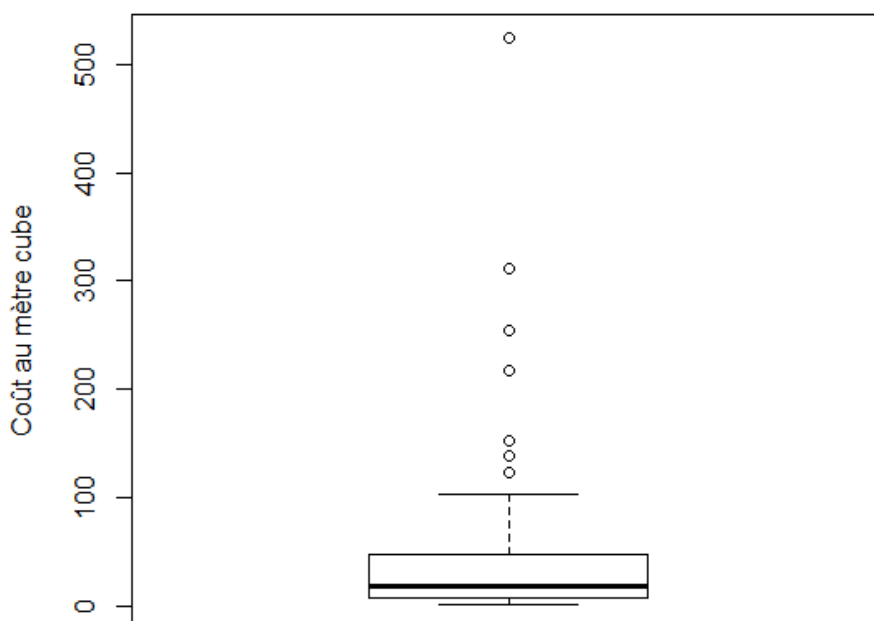


Tableau 20 Récapitulatif et calcul du coût moyen au mètre cube économisé en fonction des classes de volumes d'eau économisés aidés (source : agence de l'eau RMC, 2016)

Volume d'eau économisé en mètres cubes	Nombre de projets aidés	Volume total d'eau économisé en mètre cube	Volume moyen d'eau économisé en mètre cube	Assiette totale : montant total des projet en euros	Coût au mètre cube économisé
Moins de 1 000	9	6 518	724,22	1 051 934,98	161,39
[1 000-10 000[	37	176 076	4 758,81	5 699 054,68	32,37
[10 000-50 000[	22	421 984	19 181,09	4 763 850,36	11,29
50 000 et plus	9	924 380	102 708,89	2 699 136,56	2,92
Total	77*	1 528 958	19 856,60	14 213 976,58*	9,30

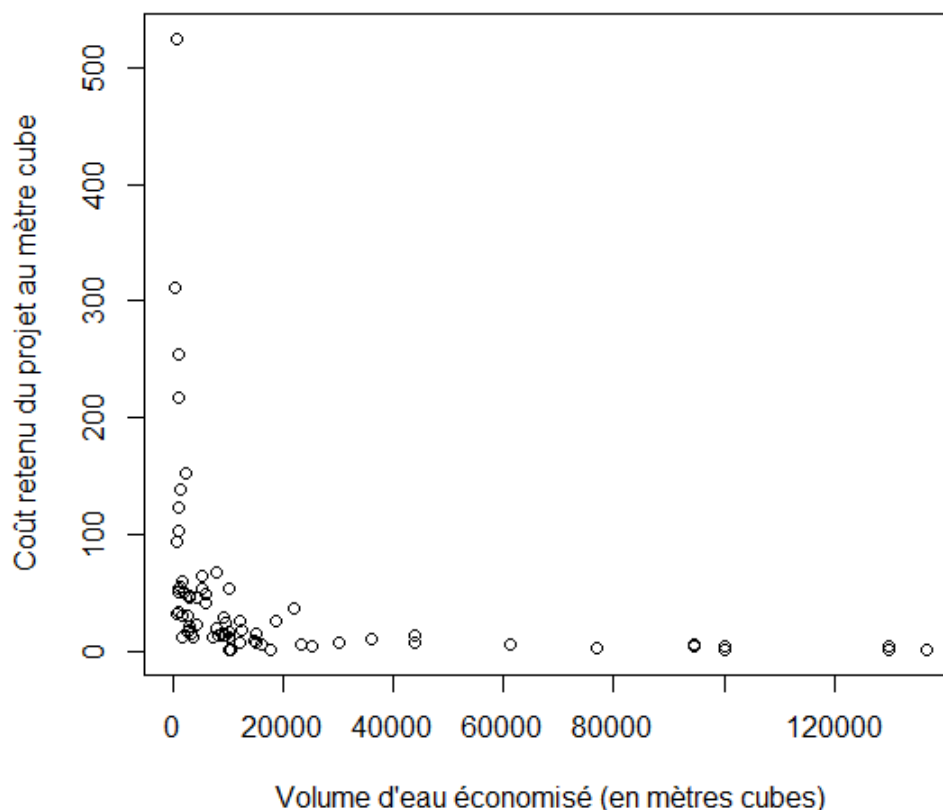
*Un dossier pour lequel le volume économisé était indiqué à 0 est exclu de ce tableau. De ce fait, le montant total est ramené à 14 213 976,58 au lieu de 14 538 141,31€.

⁶³ Dans les représentations graphiques de données statistiques, la boîte à moustaches (aussi appelée diagramme en boîte ou box plot en anglais) est un moyen rapide de résumer quelques caractéristiques de position du caractère quantitatif étudié (médiane, quartiles, minimum, maximum ou déciles). Ce diagramme est utilisé principalement pour comparer un même caractère dans deux populations de tailles différentes. Il s'agit de tracer un rectangle allant du premier quartile au troisième quartile et coupé par la médiane. Ce rectangle suffit pour le diagramme en boîte. On ajoute alors des segments aux extrémités menant jusqu'aux valeurs extrêmes, ou jusqu'aux premier et neuvième déciles, voire aux 5e et 95e centiles. On parle alors de diagramme en boîte à moustaches ou de diagramme à pattes.

⁶⁴ L'écart-type seul ne permet le plus souvent pas de juger de la dispersion des valeurs autour de la moyenne. Plus la valeur du coefficient de variation est élevée, plus la dispersion autour de la moyenne est grande. Ce nombre est sans unité et permet la comparaison séries de données d'unités différentes.

Il existe une forte disparité entre les projets qui permettent d'économiser de gros volumes et ceux dont les gains sont moindres. 40 % des dossiers (31/77) permettent des économies supérieures ou égales à 10 000 m³/an, soit 88 % du volume total économisé (1 346 364 / 1 528 958), pour 52 % (7 462 986,92 / 14 213 976,58) de l'assiette totale (montant retenu des projets). Pour autant, les « petites économies » représentent plus de 60 % des dossiers aidés.

Figure 32 Coût au mètre cube économisé des projets aidés de réparation de fuites sur les réseaux d'eau potable en fonction des volumes d'eau économisés



L'étude plus particulière des volumes économisés montre qu'aucune corrélation ne semble ressortir de cette analyse : le bénéfice environnemental ne s'apprécie pas directement en fonction du coût du projet mais plutôt du contexte local (taille de la collectivité et volumes distribués, degré de connaissance du réseau, état du réseau : linéaire nécessitant d'être changé, etc.) et des ouvrages à mettre en œuvre pour économiser le volume en question. De plus, une formule directement proportionnelle au volume économisé sans coût fixe de projet (sans ordonnée à l'origine) ne paraît pas logique du point de vue technique (coût forfaitaire d'étude, d'installation de chantier de démarches administratives).

Cependant, il reste essentiel en termes d'objectif, de fixer un coût plafond indexé sur ce déterminant pour ne pas se lancer dans la réalisation de projets justifiables d'un point de vue environnemental mais économiquement disproportionnés.

Conclusion : le volume d'eau économisé n'est pas corrélé au coût du projet. L'établissement d'un coût de référence par m³ économisé s'avère complexe, le coût pouvant en effet être lié à des paramètres techniques et locaux.

4.4 LIMITES DE L'ANALYSE ET PREMIÈRES PISTES D'AMÉLIORATION DU SUIVI DES DOSSIERS AIDÉS

4.4.1 Représentativité

L'échantillon représente les linéaires de réseaux d'eau potable aidés par l'agence de l'eau sur le 10^{ème} programme en cours, de 2013 à 2016. Il est actuellement difficile d'estimer la part du patrimoine financé par l'agence sur l'ensemble du patrimoine renouvelé ou remplacé sur l'ensemble des bassins Rhône Méditerranée et de Corse. Seuls les dossiers soldés en juillet 2016 ont été pris en compte car des écarts ont été constatés entre le montant prévisionnel du projet et le montant final indiqué sur le solde de l'opération. De ce fait, les projets soldés des années 2015 et 2016 sont sous représentés par rapport à ceux des années 2013 et 2014.

4.4.2 Consolidation des données

Afin de faciliter à l'avenir la révision ou l'actualisation de ces coûts de référence, il serait pertinent d'identifier les variables influençant les variations de coûts lors de l'instruction des dossiers : le linéaire total de réseau posé aidé à l'issue de l'opération pourrait par exemple être renseigné par le demandeur d'aide dans le dossier déposé à l'agence et sur l'application ; le caractère rural ou urbain du projet peut facilement être retrouvé à partir du code de la commune qui est effectivement saisi en ligne.

Les données de performance (ICGP, rendement) sont très incomplètes et quelques incohérences ont été relevées. Avec la consolidation des données de l'agence à partir de 2015, ces données devraient être progressivement plus fiables.

Concernant l'analyse des coûts au mètre cube, des dossiers avancent des volumes dont il est difficile d'en vérifier l'exactitude. La valeur actuellement renseignée pour l'indicateur physique du programme (IPP) d'économie d'eau doit correspondre aux volumes économisés par les travaux aidés, et non à la valeur finale attendue après réalisation de toutes les tranches de travaux. De plus, toutes les collectivités ne disposent pas de méthode standardisée pour évaluer ce volume suite à un projet de réduction de fuites sur les réseaux. Cette estimation s'avère également difficile pour les collectivités outillées. Pour pallier à ces difficultés, une méthode de calcul a été proposée pour estimer les volumes économisés attendus avec la réalisation des travaux. Les formulaires de demande d'aide ont été ajustés en ce sens, contribuant ainsi à une meilleure homogénéisation des données prises en compte. Des études complémentaires pourraient par ailleurs être conduites pour analyser à posteriori le lien entre la réalisation des travaux de réduction de fuite dans les réseaux et les réductions de prélèvements effectivement réalisés dans la ressource. Par ailleurs, depuis juin 2015, les critères d'attribution des aides pour les économies d'eau sur les réseaux d'eau potable ont été renforcés par la mise en place de coûts plafonds tenant compte du coût des travaux, des volumes économisés et de l'engagement des plans de gestions de la ressource en eau sur le territoire. Une étude complémentaire pourrait être conduite pour évaluer l'impact de ces évolutions sur les dossiers aidés par l'agence.

Pour le rendement de départ et le rendement attendu après les travaux, cette information pourrait être examinée lors de l'instruction du dossier (le formulaire de demande d'aide pourrait être ajusté pour intégrer ces informations).

4.4.3 Spécificités

Les résultats de cette étude sont à nuancer car il existe une très grande variabilité des données qui se retrouve dans les différents projets. « La difficulté liée au maniement des coûts tient très souvent aux spécificités des installations développées, limitant la possibilité d'extrapoler un coût identifié d'une situation à une autre. Ainsi la pose d'une même longueur de canalisation en milieu urbain dense ou bien le long d'une route de campagne ne nécessitera pas les mêmes dépenses (sécurisation du chantier, gestion de la circulation, différences liées aux prestations connexes comme la réfection des sols après chantiers, etc.). De plus, les coûts unitaires de certaines dépenses (comme les frais de personnel) sont variables d'une région à l'autre⁶⁵. »

⁶⁵ Office International de l'Eau, *Étude de calcul de la récupération des coûts des services liés à l'utilisation de l'eau pour les bassins hydrographiques français en application de la directive cadre sur l'eau*, 2012.

5 PROPOSITIONS DE COÛTS DE RÉFÉRENCE

5.1 COÛT DE RÉFÉRENCE DES PROJETS

Le coût de référence **global** du projet comprend en plus du coût de la canalisation **stricto sensu**, les coûts liés aux travaux préparatoires, terrassements, fourniture et pose de branchements, supervision, etc. Un projet peut concerner des opérations de renouvellement ou de réparation sur plusieurs communes et des localités différentes au sein d'une même commune.

Le coût de référence **global** du projet varie en fonction du **caractère rural ou urbain** des travaux et de la **longueur du chantier** (linéaire de réseau posé aidé).

Tableau 21 Coût global des projets de renouvellement de réseaux ou de réduction de fuites en euros HT par mètre linéaire de réseau posé aidé (source : agence de l'eau RMC, 2016) - 238 opérations - 1 216 tronçons de canalisation

Linéaire de réseau posé aidé par projet en mètres linéaires	Caractère rural	Caractère urbain	Total
Moins de 250	224	435	315
[250 - 750[	170	255	207
750 ou plus	126	162	145
Total	134	176	156

Tableau 22 Coût global des projets de de réduction de fuites en euros HT par mètre cube d'eau économisé (source : agence de l'eau RMC, 2016) - 77 opérations – 279 tronçons de canalisation

Volume d'eau économisé par projet en mètres cubes	Total
Moins de 1 000	161
[1 000 - 10 000[	32
[10 000 - 50 000[	11
50 000 ou plus	3
Total	9

5.2 COÛT DES CANALISATIONS ET DES BRANCHEMENTS

Les natures et diamètres des canalisations sont fortement influencés par l'environnement du chantier. La **nature des canalisations** posées aidées, corrélée à leurs **diamètres**⁶⁶ est également un critère à prendre en compte dans la variabilité des coûts. Étant donné le caractère composite des réseaux au sein d'un même projet, les coûts de référence ont été établis à partir du coût de chaque tronçon de **canalisation stricto sensu**⁶⁷. Seuls les coûts de référence par nature de matériau sont présentés et sont exprimés en euros par mètre linéaire.

Le coût des **branchements**, qui est forfaitaire, a été estimé par branchement en fonction du caractère rural ou urbain.

⁶⁶ La fonte est le matériau le plus utilisé pour les diamètres supérieurs ou égaux à 100 mm alors que le PEHD représente environ la moitié des canalisations de diamètres inférieurs à 100 mm et le PVC le quart.

⁶⁷ Hors travaux préparatoires, terrassements, fourniture et pose de branchements et supervision, etc.

Tableau 23 Coût des canalisations stricto sensu en euros HT par mètre linéaire de réseau posé aidé
(source : agence de l'eau RMC, 2016) – 1 216 tronçons – linéaire total de 302 922 mètres

Nature du matériau posé aidé	Caractère rural	Caractère urbain	Total
Fonte	54	71	59
PEHD	22	28	24
PVC	23	21	23
Total	42	53	45

Tableau 24 Coût des branchements en euros HT (source : agence de l'eau RMC, 2016) – 4 691 branchements

	Caractère rural	Caractère urbain	Total
Total	586	811	658

CONCLUSION

Cette analyse statistique avait pour objectif de déterminer les principaux facteurs explicatifs de coûts des opérations de renouvellement de réseaux d'eau potable ou de réduction de fuites sur les bassins Rhône-Méditerranée et Corse et de comprendre l'influence de ces paramètres sur le coût.

Cette étude de coûts de référence a mis en évidence deux variables explicatives : le linéaire de réseau d'eau potable posé aidé hors branchements et le caractère rural ou urbain du projet. Avec les données utilisées dans le cadre de ce travail, ces variables ont pu être statistiquement testées, ce qui a permis de montrer un lien décroissant entre le linéaire posé et le coût unitaire rapporté au mètre linéaire en € HT / ml et de constater également que ce coût est 1,3 fois plus élevé pour les collectivités urbaines.

Les autres variables testées, soit n'ont pas montré qu'elles avaient un effet sur le coût des réseaux d'eau potable, soit elles étaient liées au linéaire ou au caractère urbain ou rural de la commune, corroborant ainsi le lien existant entre ces variables et le coût.

Toutefois, aucune conclusion sur l'influence des variables de performance n'a pu être mise en lumière, en raison de données incomplètes ou parfois incohérentes. Avec la consolidation à partir de 2015 du système d'information de l'agence sur les redevances, ce premier travail de définition de coût unitaire de référence mériterait d'être complété par l'analyse de nouvelles données de performance.

De plus, l'impact de l'amortissement des opérations de renouvellement ou de réparation de fuites sur les réseaux d'eau potable sur le prix de l'eau n'a pas pu être étudié car cette étude ne couvre pas l'ensemble de ces opérations sur les deux bassins. Cette problématique mériterait de faire l'objet d'une étude à part entière pour évaluer le coût théorique annuel du renouvellement et la consommation en eau des bassins Rhône-Méditerranée et de Corse afin d'estimer l'augmentation « potentielle » du prix de l'eau potable liée à la rénovation théorique des réseaux.

Des coûts de référence ont donc été établis selon les critères définis et serviront de base aux discussions et aux réflexions conduites dans le cadre de la préparation du 11^{ème} programme d'intervention. Le renforcement (LCF 21) et le renouvellement (LCF 25) disposent de modalités d'intervention et de règles de gestion distinctes, même si la lecture des dossiers de l'échantillon a permis de constater que la frontière entre renouvellement et renforcement n'est pas toujours très évidente.

Enfin, des propositions d'amélioration pour le recueil des données nécessaires au calcul dans le cadre de l'observatoire des coûts ont été formulées.

ANNEXES : DEFINITIONS

> Indicateurs techniques prévus par la réglementation

- **Rendement du réseau de distribution (en %)** : c'est le rapport entre le volume d'eau consommé par les usagers (particuliers, industriels) et le service public (pour la gestion du dispositif d'eau potable) et le volume d'eau potable d'eau introduit dans le réseau de distribution.
- **Indice linéaire de pertes en réseau (en m³/km/j)** : cet indice évalue, en les rapportant à la longueur des canalisations (hors branchements), les pertes par fuites sur le réseau de distribution.
- **Taux moyen de renouvellement des réseaux d'eau potable** : cet indicateur donne le pourcentage de renouvellement moyen annuel (calculé sur les 5 dernières années) du réseau d'eau potable par rapport à la longueur totale du réseau, hors branchements.
- **Indice de connaissance et de gestion patrimoniale des réseaux d'eau potable** : cet indicateur évalue, sur une échelle de 0 à 120, à la fois le niveau de connaissance du réseau et des branchements et l'existence d'une politique de renouvellement pluriannuelle du service d'eau potable.

> Variables financières

- **Coût global présenté** : montant total des travaux présenté par le maître d'ouvrage y compris la part non éligible à l'agence et le coût des travaux financé sur une autre LPS.
- **Coût prévisionnel de l'opération** : coût estimé du projet. Le coût prévisionnel du projet devient le coût réel au moment du solde de l'opération.
- **Taux d'aide spécifique ou affecté à l'avance** : taux défini en fonction des règles du programme d'intervention de l'agence.
- **Montant retenu** : montant des travaux retenus pour le calcul de l'aide.

> Variables techniques

- **Linéaire de réseau hors branchements (en km)** : ensemble des équipements publics (canalisations et ouvrages annexes) acheminant, de manière gravitaire ou sous pression, l'eau potable issue des unités de potabilisation jusqu'aux points de raccordement des branchements des abonnés ou des appareils publics (tels que les bornes incendie, d'arrosage, de nettoyage...) et jusqu'aux points de livraison d'eau en gros. Il est constitué de réservoirs, d'équipements hydrauliques, de conduites de transfert, de conduites de distribution mais ne comprend pas les branchements.
- **Indice linéaire de consommation (en m³/km/jour)** : c'est le volume d'eau consommé rapporté au linéaire de réseau hors branchements. Il permet de caractériser la densité d'un réseau de distribution d'eau potable.
- **Densité linéaire d'abonnés (hab/km)** :
$$\frac{\text{Nombre d'abonnés}}{\text{Linéaire de réseau hors branchements}}$$

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Tableau 1 : Coûts de référence de canalisation au mètre linéaire (source : OIE, 2012)	11
Tableau 2 : Domaines d'intervention et opérations sur les réseaux d'eau potable (source : agence de l'eau RMC, 2016)	12
Tableau 3 : Aides attribuées sur les LCF 21 et 25 pour les travaux sur les réseaux d'eau potable (source : agence de l'eau RMC, 2016)	13
Tableau 4 : Niveau de représentativité de l'échantillon en fonction des délégations et des départements des maîtres d'ouvrages (source : agence de l'eau RMC, 2016)	22
Tableau 5 : Ventilation des dossiers en fonction des délégations (source : agence de l'eau RMC, 2016)	23
Tableau 6 : Ventilation des dossiers en fonction des LPS (source : agence de l'eau RMC, 2016)	23
Tableau 7 : Distribution des dossiers étudiés en fonction des tranches de montants retenus (source : agence de l'eau RMC, 2016)	28
Tableau 8 : Distribution des dossiers étudiés en fonction des linéaires de canalisations posées aidées (source : agence de l'eau RMC, 2016)	34
Tableau 9 : Distribution des dossiers étudiés en fonction des linéaires de canalisations posées aidées et des tranches de montants retenus (source : agence de l'eau RMC, 2016)	36
Tableau 10 : Linéaire de réseau posé aidé en fonction du matériau (source : agence de l'eau RMC, 2016)	41
Tableau 11 Résultats du test de khi-deux de contingence des variables explicatives (source : agence de l'eau RMC, 2016)	51
Tableau 12 : Part des dossiers selon le caractère rural ou urbain par délégation (source : agence de l'eau RMC, 2016)	51
Tableau 13 : Part des dossiers selon le caractère rural ou urbain par LCF (source : agence de l'eau RMC, 2016)	51
Tableau 14 : Part des dossiers selon la topographie par délégation (source : agence de l'eau RMC, 2016)	51
Tableau 15 Récapitulatif et calcul du coût moyen au mètre linéaire en fonction du caractère rural ou urbain de la commune du maître d'ouvrage (source : agence de l'eau RMC, 2016)	62
Tableau 16 Récapitulatif et calcul du coût moyen au mètre linéaire en fonction de la commune du maître d'ouvrage classées en zone de montagne ou hors zone de montagne (source : agence de l'eau RMC, 2016)	63
Tableau 17 Récapitulatif et calcul du coût moyen au mètre linéaire en fonction de la délégation	64
Tableau 18 Récapitulatif et calcul du coût moyen au mètre linéaire en fonction de la LCF (source : agence de l'eau RMC, 2016)	65
Tableau 19 Récapitulatif et calcul du coût moyen au mètre linéaire en fonction des classes de linéaires posés aidés (source : agence de l'eau RMC, 2016)	66
Tableau 20 Récapitulatif et calcul du coût moyen au mètre cube économisé en fonction des classes de volumes d'eau économisés aidés (source : agence de l'eau RMC, 2016)	68
Tableau 21 Coût global des projets de renouvellement de réseaux ou de réduction de fuites en euros HT par mètre linéaire de réseau posé aidé (source : agence de l'eau RMC, 2016) - 238 opérations - 1 216 tronçons de canalisation	71
Tableau 22 Coût global des projets de de réduction de fuites en euros HT par mètre cube d'eau économisé (source : agence de l'eau RMC, 2016) - 77 opérations – 279 tronçons de canalisation	71
Tableau 23 Coût des canalisations stricto sensu en euros HT par mètre linéaire de réseau posé aidé (source : agence de l'eau RMC, 2016) – 1 216 tronçons – linéaire total de 302 922 mètres	72
Tableau 24 Coût des branchements en euros HT (source : agence de l'eau RMC, 2016) – 4 691 branchements	72

BIBLIOGRAPHIE

Références techniques

Agence de l'eau Rhône-Méditerranée Corse, DREAL, *Plan de bassin d'adaptation au changement climatique dans le domaine de l'eau*, 2014.

CADOR, JM, Université de Caen Basse Normandie, GEOPHEN, *Le renouvellement du patrimoine en canalisations d'eau potable en France, synthèse des études départementales d'inventaires des réseaux d'eau potable*, 2002.

Cellule Economique Rhône-Alpes, *Étude des pertes d'eau potable dans les réseaux, Analyse des performances du réseau d'eau potable en Rhône-Alpes*, 2013.

Commissariat général au développement durable, Office national de l'eau et des milieux aquatiques, *Repères, L'eau et les milieux aquatiques, Chiffres clés*, Edition 2016.

Département de Seine-et-Marne, Direction de l'eau, de l'environnement et de l'agriculture, *Observatoire de l'eau, Les couts des opérations dans le domaine de l'eau en Seine-et-Marne*, 2015.

Observatoire départemental de l'eau, *État des lieux du patrimoine des réseaux d'eau potable en Seine-et-Marne*, 2012.

Observatoire des Territoires, Commissariat général à l'égalité des territoires : <http://www.observatoire-des-territoires.gouv.fr/observatoire-des-territoires/fr>

Office International de l'Eau, *Étude de calcul de la récupération des coûts des services liés à l'utilisation de l'eau pour les bassins hydrographiques français en application de la directive cadre sur l'eau*, 2012.

ONEMA, ASTEE, AITF, *Gestion patrimoniale des réseaux d'eau potable*, 2013.

ONEMA, Irstea, ASTEE, *Estimation des besoins de renouvellement des réseaux d'eau et d'assainissement collectif*, 2013.

ONEMA, Irstea, ASTEE, *Réduction des pertes d'eau des réseaux de distribution d'eau*, 2014.

ONEMA, *Observatoire des services publics d'eau et d'assainissement, Panorama des services et de leur performance en 2013*, 2016.

Sully Group, *Manuel utilisateur application synergie aides-redevances-données (ARD)*, V3.0, 2010.

Références statistiques

http://www.info.univ-angers.fr/~gh/wstat/Perfectionnement_R/perfc3.php

http://khaneboubi.u-cergy.fr/cours/meth_quant/co/anova.html

Observatoire des coûts

RENOUVELLEMENT ET RÉDUCTION DES FUITES DES CANALISATIONS D'EAU POTABLE ÉTUDE DES COÛTS

Ce rapport présente les coûts des travaux de renouvellement des canalisations et de réparation des fuites sur les réseaux d'eau potable dans les bassins Rhône-Méditerranée et de Corse. Il a été réalisé par l'agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse, dans le cadre de son observatoire des coûts, à partir de l'analyse de plus de 200 opérations, représentant environ 1 200 tronçons de canalisations, financées entre 2013 et 2016 par l'agence de l'eau.

Cette étude vise à mieux connaître le coût et les déterminants du coût des investissements sur les réseaux d'eau potable. Elle repose sur une analyse statistique cherchant à identifier les paramètres influant sur les coûts : linéaire de réseau posé aidé, matériau, type d'opération, situation géographique, etc.
